UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA TUSCIA DI VITERBO

DIPARTIMENTO DI SCIENZE ECOLOGICHE E BIOLOGICHE

Corso di Dottorato di Ricerca in

Ecologia e gestione delle risorse biologiche - XXVII Ciclo.

Modelli induttivi applicati al rilevamento dei parametri funzionali al monitoraggio dello stato di conservazione delle specie di interesse europeo a scala regionale

BIO/07 ECOLOGIA

Tesi di dottorato di:

Dott.ssa Ivana Pizzol

Coordinatore del corso

Prof. Daniele Canestrelli

Tutore

Prof. Fulvio Cerfolli

Co-tutore

Dott. Marco Scalisi

Data della discussione

26 giugno 2015

A chi, come me, crede ancora alle chimere…

RINGRAZIAMENTI

Desidero ringraziare tutte le persone che mi hanno accompagnato e sostenuto in tutte le fasi del progetto, in particolare i carissimi colleghi e amici dell'Agenzia Regionale Parchi della Regione Lazio: Marco Scalisi e Iacopo Sinibaldi per l'inestimabile contributo nella pianificazione e realizzazione del lavoro di ricerca e per la passione e tenacia dimostrata durante questi tre anni di lavoro, Stefano Sarrocco e Dario Capizzi per i preziosi consigli nelle fasi più critiche del lavoro e Andrea Monaco per aver sostenuto il carico e essersi preso cura, in mia assenza, delle attività lavorative a me assegnate.

Allo stesso modo desidero ringraziare Fulvio Cerfolli, tutor del presente lavoro, per la costante presenza e per il supporto che mi ha dato durante lo svolgimento del dottorato di ricerca.

Ringrazio inoltre il Professore Giuseppe Nascetti, Direttore del Dipartimento di Scienze Ecologiche e Biologiche e il Professore Daniele Canestrelli, coordinatore del Corso di Dottorato, per avermi dato l'opportunità di realizzare la presente ricerca.

Infine desidero ringraziare Vito Consoli, direttore dell'Agenzia Regionale Parchi, e Stefano Cresta, dirigente dell'Area Biodiversità e Geodiversità dell'Agenzia Regionale Parchi, per la disponibilità e l'interesse dimostrati nel sostenere una proficua collaborazione con l'Università degli Studi della Tuscia.

Sommario

Premessa 6
Introduzione 10
1.1. La Direttiva habitat e il monitoraggio dello stato di conservazione delle specie 11
1.2. Le specie tutelate dalla Direttiva Habitat e Uccelli 13
1.3. Analisi dei parametri per la definizione dello stato di conservazione delle specie di interesse comunitario 14
1.3.1 Valore Favorevole di Riferimento 14
1.3.2 Il range 16
1.3.3 La popolazione 16
1.3.4 L'habitat delle specie 17
1.3.5 Le prospettive future 17
1.4. Lo stato di conservazione attuale delle specie di interesse europeo 18
1.5. La misurazione dei parametri e l'uso dei modelli 19
1.5.1 Modelli deduttivi 20
1.5.2 Modelli induttivi 20
1.5.3 Le specie virtuali 21
2. Materiali e metodi 22
2.1. Area di Studio 22
2.2. I parametri per la misurazione dello stato di conservazione delle specie 23
2.3. Le banche dati delle specie 24
2.4. Scelta dei modelli 28
2.4.1 ENFA 29
2.4.2 MaxEnt 31
2.4.3 Variabili ambientali 34
2.5. La validazione dei modelli e le chimere 37
2.5.1 Costruzione delle distribuzioni e delle idoneità ambientali delle chimere 39
2.5.2 I modelli delle chimere 45
2.5.3 Data analysis 46
2.6. I modelli delle specie 47
3. Risultati 48
3.1. Chimere: le mappe di idoneità ambientale 49
3.2. Chimera *vs* modelli: data analysis 50
3.3. Chimera *vs* modelli: confronto spaziale 62
3.4. Chimera *vs* modelli: le variabili ambientali selezionate 69

3.5. Modelli delle specie 70
4. Discussione 77
5. Conclusioni 81
Bibliografia 83
Appendice I - La Carta dell'Uso del Suolo e la Carta delle Formazioni Naturali e Seminaturali
Appendice II - I modelli di idoneità ambientale delle Chimere

Premessa

Negli ultimi 20 anni, i modelli induttivi applicati allo studio dell'ecologia delle specie hanno avuto un'ampia diffusione, tra gli specialisti, con il risultato di produrre diversi software dedicati (Guisan et al., 2000, 2005, 2013; Rushton et al., 2006). In letteratura, si evidenzia un ampio utilizzo di due modelli induttivi, MaxEnt e ENFA, per l'individuazione dell'idoneità ambientale di numerose specie (Lobo et al, 2010) soprattutto nell'ambito dell'implementazione dei piani di monitoraggio dello stato di conservazione delle specie e dei piani per la conservazione della biodiversità (Guisan et al., 2013; Peterman et al., 2013). Entrambi i modelli sopracitati necessitano solo di dati di presenza per l'elaborazione delle mappe di idoneità ambientale risolvendo, predittivamente, la criticità del rilevamento del dato di assenza di una specie, dato la cui acquisizione sul campo richiede un investimento in termini di tempo, risorse di personale. I due modelli, restituendo una classificazione di idoneità del territorio, che può essere correlata alla probabilità di presenza della specie, consentono di misurare due parametri (o indici ad essi associati) richiesti dalla Direttiva 92/43/CEE del Consiglio, del 21 maggio 1992, relativa alla conservazione degli habitat naturali e seminaturali e della flora e della fauna selvatiche (da qui in poi DH) per il monitoraggio dello stato di conservazione delle specie: (i) la distribuzione potenziale (range) e (ii) l'idoneità e estensione dell'habitat potenziale (habitat della specie), come definiti dalla stessa DH. La misurazione dei parametri richiesti dalla DH è stata estesa anche per il monitoraggio dello stato di conservazione delle specie tutelate dalla Direttiva 2009/147/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 30 novembre 2009, relativa alla conservazione degli uccelli selvatici (da qui in poi DU).

Il principale vantaggio dell'uso dei modelli induttivi per la pianificazione di un piano di monitoraggio (*sensu* DH) su ampia scala è rappresentato dalla possibilità di ottenere misurazioni statisticamente affidabili anche con ridotte risorse disponibili rispetto all'applicazione di metodologie tradizionali di rilevamento (ad esempio gli inventari che richiedono l'esplorazione di ampie porzioni dei territori indagati).

Il progetto della presente tesi di dottorato ha avuto come scopo generale l'individuazione di strumenti affidabili per la messa a punto ed implementazione di un programma per la misurazione dei parametri indicati dalla DH, funzionali alla definizione e al monitoraggio dello stato di conservazione di alcuni gruppi di specie di interesse europeo (ETC/BD, 2011) perseguendo l'obiettivo primario di minimizzare il rapporto costo/benefici rispetto all'individuazione delle aree potenziali di campionamento specie-specifiche.

Come riportato di seguito, gli obblighi derivanti dalla normativa comunitaria, infatti, non sono totalmente perseguibili utilizzando le metodologie classiche di rilevamento senza la disponibilità di risorse economiche adeguate.

L'obiettivo generale che ne è disceso è stato l'individuazione di strumenti alternativi e/o complementari alle metodologie tradizionali utilizzate per la misurazione di tali parametri applicabili a scala regionale ed eventualmente esportabili a scala nazionale.

In particolare, la ricerca, focalizzata sulla misurazione dei parametri "range" e "habitat della specie", è stata articolata in tre obiettivi specifici che hanno previsto la sperimentazione (in termini di simulazione) di

alcuni modelli induttivi, utilizzando specie virtuali appositamente progettate (*sensu* Hirzel et al., 2001), la validazione per verificarne la congruenza (in termini di affidabilità statistica) nella misurazione dei due parametri e la successiva applicazione alle specie reali utilizzando alcune banchedati faunistiche ottenute da recenti progetti realizzati dalla Regione Lazio (Brunelli et al., 2011). Le specie per cui sono stati elaborati i modelli di idoneità ambientale appartengono al gruppo degli uccelli per il quale è disponibile una banca-dati esaustiva che comprende l'intero territorio regionale.

Di seguito sono sintetizzati i tre obiettivi specifici che tracciano anche le tre fasi di svolgimento della ricerca:

- l'analisi dei parametri richiesti dalla DH per il monitoraggio dello stato di conservazione delle specie e l'individuazione generale delle specie e dei modelli induttivi da sperimentare sulla base della qualità dei dati di presenza faunistica disponibili;
- la validazione statistica dei modelli induttivi individuati attraverso la sperimentazione in diverse condizioni (set di variabili ambientali e di punti di presenza) su specie virtuali (denominate "chimere") appositamente progettate (specie con distribuzione e idoneità dell'habitat noti);
- la valutazione del rapporto costi/benefici, effettuata per le attività di monitoraggio per le specie reali (confronto tra i risultati ottenuti applicando i modelli validati rispetto a quelli ottenuti dalle metodologie classiche utilizzate per la misurazione dei due parametri indagati).

Per il presente lavoro di ricerca sono state create otto specie virtuali ispirate ad altrettante specie reali, appartenenti al gruppo degli uccelli selvatici tutelati dalla DU, la cui distribuzione e idoneità dell'habitat sono stati elaborati per l'intero territorio regionale (1.720.000 ha circa) utilizzando due set di variabili ambientali costituiti da variabili geografiche (altitudine, pendenza ecc.) e categoriche. Le variabili categoriche derivano dalla Carte dell'Uso del Suolo (approfondimento al III e IV livello Corine Land Cover), dalla Carta delle formazioni naturali e seminaturali (approfondimento al IV e V livello Corine Land Cover) e dalla Carta delle tipologie forestali disponibili per la regione Lazio. Le variabili ambientali sono state trattate e trasformate in strati georeferenziati, ad ottenere due set finali composti, rispettivamente, di 34 (CUS IV) e 27 (CUS III) variabili ambientali. Il territorio regionale è stato suddivido in celle (pixel) di 100 m di lato ognuna delle quali associata ai valori di distanza dalle variabili ambientali trattate.

Per ogni chimera sono stati elaborati 20 modelli di idoneità ambientale realizzati con MaxEnt e ENFA in diverse condizioni (4 set di punti di presenza e 2 set di variabili ambientali), per un totale di 160 modelli utilizzati per la validazione degli stessi attraverso analisi statistiche e di confronto spaziale rispetto alle distribuzioni e idoneità definite a priori per ogni chimera.

Per l'elaborazione dei modelli di idoneità ambientale delle 8 specie reali sono stati utilizzati un totale di 638 osservazioni relative alla nidificazione certa e probabile estrapolate dalla banca-dati degli Uccelli Nidificanti nel Lazio (Brunelli et al., 2011).

La messa a sistema e l'elaborazione dei dati hanno comportato circa 24 mesi di attività espletata utilizzando i software dedicati alle analisi geografiche in ambiente GIS (ArcGis 10.1 e Quantum GIS 2.6.1-Brighton) e all'elaborazione dei modelli (Biomapper 4.0, MaxEnt).

I risultati ottenuti hanno portato all'individuazione di strumenti alternativi rispetto alla metodologia tradizionale per la misurazione dei due parametri indagati consentendo, per le specie selezionate, un'importante riduzione del rapporto costi/benefici nell'espletamento delle attività di monitoraggio. I risultati, infatti, identificando l'estensione e le aree campionarie dove svolgere tali attività, con un'affidabilità misurata statisticamente, rappresentano un punto di partenza indispensabile per la programmazione delle attività di monitoraggio che la Regione Lazio ha l'obbligo di condurre e permettono di dedicare risorse umane ed economiche più contenute rispetto all'impiego di altre metodologie di indagine. I risultati ottenuti, inoltre, sono funzionali all'elaborazione della Rete Ecologica Regionale (RecoRd Lazio), strumento, quest'ultimo, fondamentale per la conservazione della biodiversità del Lazio previsto dalla Legge Regionale n. 29 del 6-10-1997 relativa alle aree naturali protette regionali. La Rete Ecologica Regionale infatti si pone come obiettivo principale la conservazione e/o il ripristino dei tasselli di paesaggio frammentati al fine di ristabilire la connettività tra popolazioni, popolamenti o comunità (Bruschi et al., 2011): l'individuazione attraverso i modelli delle aree idonee del territorio o di potenziale presenza delle specie è alla base del raggiungimento di tale obiettivo.
Durante lo svolgimento della ricerca sono stati pubblicati e/o presentati i seguenti contributi:

- Forconi P., Davoli F., Di Clemente G., Dell´Orso M., Pizzol I., Randi E., Ciucci P., 2014. Fatal long distance roaming of a male bear highlights survival threats to dispersing bears in the Apennines, central Italy. Hystrix, vol 25, no. 1, pp. 56-58.

- Forconi P., Davoli F., Di Clemente G., Dell´Orso M., Pizzol I., Randi E., Ciucci P., 2014.Long distance dispersal of a male appennine bear (*Ursus arctos marsicanus*) emphasizes the importance of non invasive monitoring in the peripheral range. In Imperio S., Mazzaracca S., Preatoni D.G. (Eds.), 2014. IX Congr. It. Teriologia. Hystrix, vol 25 (suppl): 104.

- Pizzol I., Scalisi M., Sinibaldi I., Capizzi D., Sarrocco S., 2014. Inductive models to monitor the conservation status of union interest species: first results. In Imperio S., Mazzaracca S., Preatoni D.G. (Eds.), 2014. IX Congr. It. Teriologia. Hystrix, vol 25 (suppl): 130.

- Carotenuto L., Pizzol I., Di Clemente G., Caporioni M., Davoli F., Donfrancesco S., Guj I., Lecce A., Monaco A., Peria E., Saltari M.C., Serafini D., Tarquini L., 2014. Long-distance, long-term movements of apennine brown bear outside its core area. In Imperio S., Mazzaracca S., Preatoni D.G. (Eds.), 2014. IX Congr. It. Teriologia. Hystrix, vol 25 (suppl): 6.

- Di Clemente G., Guj I., Carotenuto L., Caporioni M., Donfrancesco S., Monaco A., Lecce A., Peria E., Pizzol I., Saltari C., Serafini D., Tarquini L., 2013. Otto anni di raccolta dati. Esperienza della Regione Lazio. 3ª Conferenza del Centro Studi per le Reti Ecologiche "Gestione e monitoraggio dell'Orso Bruno marsicano nelle aree esterne al Parco d'Abruzzo, Lazio e Molise", Pettorano sul Gizio, 8 giugno 2013.

- Pizzol I., Peria E., Caporioni M., Carotenuto L., Di Clemente G., Donfrancesco S., Guj I., Lecce A., Monaco A., Saltari C., Serafini D., Tarquini L., 2013. La Rete Regionale di Monitoraggio dell'Orso bruno marsicano nel Lazio. 3ª Conferenza del Centro Studi per le Reti Ecologiche "Gestione e monitoraggio dell'Orso Bruno marsicano nelle aree esterne al Parco d'Abruzzo, Lazio e Molise", Pettorano sul Gizio, 8 giugno 2013.

- Sarrocco S., Capizzi D., Pizzol I., Scalisi M., 2013. Il monitoraggio delle specie della Direttiva Uccelli (2009/147/CE): stima dei parametri per alcuni *taxa* di interesse conservazionistico nel Lazio. Riassunti del XVII Convegno Italiano di Ornitologia: 133-134.

- Latini R., Monaco A. Asprea A., Pizzol I., 2012. The conservation status of Apennine Chamois (*Rupicapra pyrenaica ornata*) in The Abruzzo, Lazio and Molise national park: temporal evolution over the last eighty years. In Prigioni C., Balestrieri A., Preatoni D. G., Masseroni E. (eds 2012). VIII Congr. It. Teriologia, Hystrix, It. J. Mamm. (N.S.) Supp. 2012: 1-200 (pag.19).

- Di Clemente G., Carotenuto L., Caporioni M., Donfrancesco S., Guj I., Monaco A., Peria E., Pizzol I., Serafini D., Tarquini L., 2012. Seven years of surveillance of the apennine brown bear outside its core area. In Prigioni C., Balestrieri A., Preatoni D. G., Masseroni E. (eds 2012). VIII Congr. It. Teriologia, Hystrix, It. J. Mamm. (N.S.) Supp. 2012: 1-200 (pag. 114).

- Pizzol I., Guj I., Caporioni M., Carotenuto L., Di Clemente G., Donfrancesco S., Lecce A., Monaco A., Peria E., Serafini D., Tarquini L., Saltari C., 2012. Monitoring the presence of endangered Apennine brown bear: results of four years of standardized and coordinated approach. In Prigioni C., Balestrieri A., Preatoni D. G., Masseroni E. (eds 2012). VIII Congr. It. Teriologia, Hystrix, It. J. Mamm. (N.S.) Supp. 2012: 1-200 (pag. 170).

La Direttiva Habitat, da qui in poi DH, (Dir.92/43/CEE) rappresenta la principale strategia di conservazione della biodiversità messa in campo dall'Unione Europea. Individua le specie e gli habitat naturali e seminaturali (allegati I, II, II, IV e V), per i quali ogni Stato dell'Unione ha l'obbligo di assicurare uno stato di conservazione soddisfacente.

La DH impone obblighi di tutela delle specie e degli habitat su tutto il territorio nazionale. Lo strumento principale che viene messo in campo per la conservazione degli habitat e delle specie è l'individuazione e la successiva istituzione di Zone Speciali di Conservazione (ZSC). Si tratta di siti che ogni Stato dell'Unione ha individuato sul proprio territorio (nel caso dell'Italia il compito dell'individuazione dei siti è stato demandato alle Regioni).

Dalle specie protette dalla DH è escluso il gruppo degli Uccelli tutelati attraverso la cosiddetta Direttiva Uccelli, da qui in poi DU, (Dir. 79/409/CEE) che rappresenta la prima Direttiva comunitaria in materia di conservazione della natura.

La DU individua tra le minacce principali per la conservazione degli uccelli selvatici la perdita e il degrado degli habitat ed individua tra i suoi obiettivi la protezione degli habitat delle specie elencate nell'Allegato I e di quelle migratorie. La protezione degli habitat di tali specie si esplica attraverso l'istituzione di una rete coerente di Zone di Protezione Speciale (ZPS) al cui interno sono compresi i territori più adatti alla sopravvivenza di queste specie. Le ZPS insieme alle ZSC costituiscono la Rete Natura 2000 ossia la più importane strategia politico economica europea per la conservazione della biodiversità.

Nei siti della Rete Natura 2000 vengono applicate specifiche misure di conservazione che le Regioni hanno individuato come essenziali per la conservazione a lungo termine degli habitat e delle specie tutelati.

Le due direttive sono integrate tra loro, in particolare l'articolo 17 della DH obbliga ogni Stato dell'Unione a monitorare lo stato di conservazione delle specie e degli habitat e a rendicontare ogni sei anni i risultati ottenuti dalle attività di monitoraggio. Il monitoraggio previsto dalla DH è stato esteso anche alle specie tutelate dalla DU, in Italia il compito di provvedere a tali attività è stato demandato alle Regioni.

Il monitoraggio prevede, su tutto il territorio nazionale, la misurazione di alcuni parametri ritenuti cruciali per la definizione dello stato di conservazione delle specie (range, popolazione, habitat delle specie, pressioni e minacce). Sebbene la misurazione dei parametri richiesti dalla DH (ETC/BD, 2011) sia sicuramente realizzabile da un punto di vista tecnico scientifico (Elzinga et al., 2001; Gibbs, 2000; Thompson et al., 1998), non sono state stanziate risorse dedicate sufficienti a svolgere le attività su una scala territoriale così ampia.

La mancata realizzazione di esaustive attività di monitoraggio si è tradotta in un'insufficiente conoscenza dello stato di conservazione delle specie tutelate che a sua volta non permette di individuare azioni strategiche mirate necessarie per la tutela delle specie e degli habitat. Nonostante la DH sia entrata in vigore, nel 1992, e il primo rapporto sui risultati del monitoraggio sia del 2008 (AA.VV., 2008) ad oggi circa il 10% degli habitat, il 5% delle specie animali e il 16% delle specie vegetali tutelati sono classificate nella categoria di stato di conservazione "sconosciuto". (AA.VV., 2008; Genovesi et al., 2014). Inoltre tale

mancanza potrebbe nel tempo tradursi anche nell'avvio di procedure di infrazione verso gli Stati inadempienti.

Nelle ultime due decadi sono state sviluppate diverse tecniche alternative e/o complementari rispetto a quelle tradizionali nell'ambito dell'uso dei modelli probabilistici per l'individuazione dell'idoneità ambientale di un territorio per le specie tutelate (Lobo et al., 2010). Tali modelli, in certe condizioni, possono fornire le misurazioni di alcuni parametri, quali la distribuzione potenziale e la qualità dell'habitat di una specie, richiesti dal monitoraggio *sensu* DH. I modelli forniscono una misura probabilistica della presenza di una specie o dell'idoneità di un habitat anche per le aree di cui non si dispone di dati di presenza; consentono quindi di indirizzare le attività di monitoraggio in aree definite del territorio indagato riducendo notevolmente il rapporto costo/benefici che tali attività comportano.

1.1. La Direttiva habitat e il monitoraggio dello stato di conservazione delle specie

Il monitoraggio imposto dalla DH è considerato lo strumento di verifica dell'attuazione e dell'efficacia della Direttiva stessa nel raggiungimento del suo scopo principale, ossia il mantenimento di uno stato di conservazione favorevole delle specie e degli habitat naturali e seminaturali elencati negli allegati I, II, IV e V della Direttiva presenti nelle regioni biogeografiche europee. In Italia sono presenti 3 regioni biogeografiche (alpina, continentale e mediterranea), 130 habitat, 113 specie di flora e 212 specie di fauna. Nel Lazio 2 regioni biogeografiche (continentale e mediterranea) 70 habitat, 3 specie di flora e 46 specie animali tutelati dalla DH. Il monitoraggio è considerato un essenziale strumento di verifica dell'attuazione e dell'efficacia della Direttiva stessa. Sebbene non esplicitato concettualmente, il monitoraggio così definito è parte integrante del modello virtuoso dell'adaptive management in cui le azioni gestionali finalizzate al raggiungimento di obiettivi specifici vengono valutate e ricalibrate sulla base dei risultati ottenuti e misurati dal monitoraggio (Kremen et al.,1994; Meffe et al., 2002). Nella figura 1 viene schematizzato il ciclo dell'adaptive management nel contesto della DH.

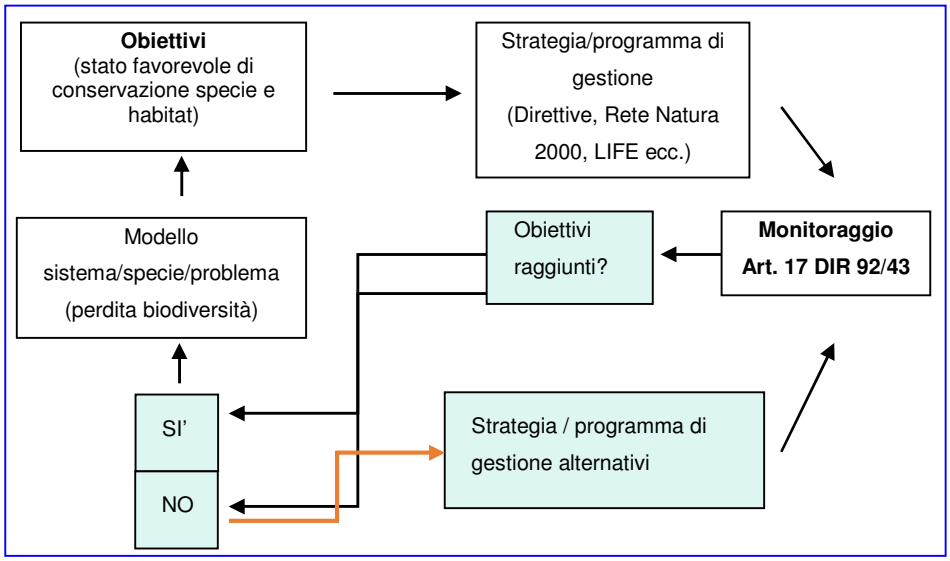


Figura 1: Il monitoraggio è uno strumento di verifica del raggiungimento degli obiettivi della Direttiva: anche se non esplicitato concettualmente nei documenti tecnici, può essere considerato parte integrante del modello virtuoso dell'adaptive management.

L'articolo 1 della Direttiva definisce lo stato di conservazione di una specie come … *"l'effetto della somma dei fattori che, influendo sulle specie in causa, possono alterare a lungo termine la ripartizione e l'importanza delle sue popolazioni nel territorio di cui all'articolo 2*[1]*"* … e definisce soddisfacente lo stato di conservazione di una specie quando:

- i dati relativi all'andamento delle popolazioni della specie in causa indicano che tale specie continua e può continuare a lungo termine ad essere un elemento vitale degli habitat naturali cui appartiene,
- l'area di ripartizione naturale di tale specie non è in declino né rischia di declinare in un futuro prevedibile, e
- esiste e continuerà probabilmente ad esistere un habitat sufficiente affinché le sue popolazioni si mantengano a lungo termine.

I criteri riportati nell'articolo 2 della Direttiva nonostante siano lontani da una definizione quantitativa individuano da subito i quattro parametri chiave che sono stati successivamente esplicitati nei documenti tecnici di linee guida che rappresentano il punto di riferimento tecnico scientifico per le attività di monitoraggio a livello europeo (ETC/BD, 2011).

Il principale documento tecnico di riferimento sul monitoraggio dello stato di conservazione delle specie e degli habitat di interesse comunitario è stato elaborato dall'European Topic Centre on Biological Diversity (ETC/BD) e rappresenta le linee guida ufficiali che la Commissione Europea ha fornito ad ogni Stato membro per l'adempimento dell'obbligo normativo derivante dall'articolo 17 della DH. Il documento, "Assessment and reporting under Article 17 of the Habitats Directive. Explanatory Notes & Guidelines for the period 2007-2012", è datato 2011.

Nel documento tecnico viene indicato il percorso per arrivare alla definizione dello stato di conservazione di una specie. Le categorie di stato di conservazione sono quattro e vengono definite attraverso una matrice di valutazione a partire dalla combinazione dei valori misurati di quattro parametri ritenuti cruciali per le specie (fig. 2).

I parametri sono:

- il range (in termini di EOO, extent of occurence)
- la popolazione, solo per le specie (stima, trend, pressioni e minacce)
- l'habitat delle specie (in termini di AOO, area of occupancy e idoneità dell'habitat potenziale)
- le prospettive future (parametro che include le pressioni e le minacce).

Per ognuno dei parametri devono essere rilevati, inoltre, i trend, l'intervallo temporale di misurazione, la percentuale di variazione del trend, la soglia (in %) scelta per la misurazione del trend, la metodologia usata per le misurazioni.

[1]Territorio europeo degli Stati membri

Parametri	Stato di Conservazione			
	Favorevole (verde)	**Non favorevole - Inadeguato (giallo)**	**Non favorevole - Cattivo (rosso)**	***Sconosciuto (informazioni insufficienti a fare una valutazione)***
Range	Stabile (perdite ed incrementi si bilanciano) o in aumento E non più piccolo del "range favorevole di riferimento"	Ogni altra combinazione	Grande declino: Equivalente a una perdita di più dell'1% l'anno nell'ambito del periodo specificato dallo SM O più del 10% sotto il range favorevole di riferimento	*Informazioni attendibili non disponibili o insufficienti*
Popolazione	Popolazione(i) non più piccola della 'popolazione favorevole di riferimento' E riproduzione, mortalità e struttura di età che non deviano dai valori normali (se dati disponibili)	Ogni altra combinazione	Grande declino: Equivalente a una perdita di più dell'1% l'anno (valore indicativo, lo SM può deviare da questo se lo giustifica adeguatamente) nell'ambito del periodo specificato dallo SM E sotto la 'popolazione favorevole di riferimento" O Più del 25% sotto la popolazione favorevole di riferimento O riproduzione, mortalità e struttura di età che non deviano fortemente dai valori normali (se dati disponibili)	*Informazioni attendibili non disponibili o insufficienti*
Habitat della specie	L'area dell'habitat è sufficientemente grande (e stabile o in aumento) E la qualità dell'habitat è adatta alla sopravvivenza a lungo termine della specie	Ogni altra combinazione	L'area dell'habitat è chiaramente non grande a sufficienza da assicurare la sopravvivenza a lungo termine della specie O La qualità dell'habitat è cattiva e chiaramente non permette la sopravvivenza a lungo termine della specie	*Informazioni attendibili non disponibili o insufficienti*
Prospettive future (relativamente alla popolazione, range e disponibilità di habitat)	Principali pressioni e minacce alla specie non significative; la specie rimarrà vitale a lungo termine	Ogni altra combinazione	Seria influenza di pressioni e minacce sulla specie; prospettive molto cattive per il suo futuro, vitalità a lungo termine a rischio	*Informazioni attendibili non disponibili o insufficienti*
Valutazione globale dello Stato di Conservazione	Tutti "verdi" O tre "verdi" e uno "sconosciuto"	Uno o più "gialli" ma nessun "rosso"	Uno o più "rossi"	Due o più "sconosciuti" combinati con "verdi" o tutti "sconosciuti"

Figura 2: La matrice di valutazione dello stato di conservazione delle specie. Tratto e modificato da: ETC/BD, 2011.

1.2. Le specie tutelate dalla Direttiva Habitat e Uccelli

La Direttiva habitat definisce (e tutela) le specie di interesse comunitario come segue[2]:

specie di interesse comunitario: le specie, "……", che, nel territorio dell'Unione europea, alternativamente:

1) sono in pericolo con l'esclusione di quelle la cui area di distribuzione naturale si estende in modo marginale sul territorio dell'Unione europea e che non sono in pericolo né vulnerabili nell'area del paleartico occidentale;

[2] art.2, comma 1, lettere g e h del DPR 357/97

2) sono vulnerabili, quando il loro passaggio nella categoria delle specie in pericolo è ritenuto probabile in un prossimo futuro, qualora persistano i fattori alla base di tale rischio;
3) sono rare, quando le popolazioni sono di piccole dimensioni e, pur non essendo attualmente né in pericolo né vulnerabili, rischiano di diventarlo a prescindere dalla loro distribuzione territoriale;
4) endemiche e richiedono particolare attenzione, a causa della specificità del loro habitat o delle incidenze potenziali del loro sfruttamento sul loro stato di conservazione;

La DH individua diversi livelli e diversi strumenti per la tutela delle specie. Nell'allegato II della Direttiva sono riportate le specie per la cui tutela è necessario istituire Zone Speciali di Conservazione. Tra queste specie alcune sono classificate come prioritarie ossia specie di interesse comunitario *"per la cui conservazione l'Unione europea ha una responsabilità particolare a causa dell'importanza della loro area di distribuzione naturale…"*.

L'allegato IV della DH comprende invece tutte le specie per le quali è necessaria una protezione rigorosa; infine l'allegato V include le specie che possono essere oggetto controllato di prelievo e sfruttamento.

In Italia sono presenti 212 specie animali tutelate dalla direttiva di cui 16 prioritarie, nella Regione Lazio 46 specie animali di cui 3 anfibi, 5 rettili, 14 mammiferi, 13 invertebrati, 11 pesci.

L'altro importante riferimento normativo per la conservazione della biodiversità è la cosiddetta Direttiva Uccelli, di seguito DU, (DIR 79/409, 1979; DIR 2009/147, 2009) concernente la conservazione delle specie di uccelli selvatici. La DU identifica il fenomeno della perdita e del degrado degli habitat come una delle minacce principali per la conservazione degli uccelli selvatici e pone tra i suoi obiettivi la protezione degli habitat delle specie elencate nell'Allegato I e di quelle migratorie per le quali è stata prevista e istituita una rete coerente di Zone di Protezione Speciale (ZPS) al cui interno sono compresi i territori più adatti alla sopravvivenza delle specie. Il monitoraggio previsto dalla DH è stato esteso alle specie incluse nell'allegato I della DU. Nella regione Lazio sono presenti 142 specie di uccelli tutelati dalla DU.

1.3. Analisi dei parametri per la definizione dello stato di conservazione delle specie di interesse comunitario

Di seguito viene riportata l'analisi effettuata per ognuno dei parametri individuati dalla DH ed esplicitati nel documento di linee guida prodotto dall'European Topic Centre on Biological Diversity (ETC/BD, 2011). L'analisi dei parametri ha rappresentato il primo step della ricerca per l'individuazione degli strumenti e le metodologie più adatte alla loro misurazione e per la verifica dell'idoneità dei dati disponibili (banche-dati faunistiche) alla misurazione dei parametri e all'uso dei modelli.

1.3.1 Valore Favorevole di Riferimento

Come si evince anche dalla figura 2 per ogni parametro oltre alla misurazione dell'andamento nel tempo (trend) viene richiesto di valutare gli scostamenti di tale misurazione rispetto a un Valore Favorevole di Riferimento (di seguito VFR). Questo punto rappresenta ancora oggi a livello comunitario e nel mondo

scientifico, una delle questioni aperte più rilevanti che ancora non ha trovato una soluzione condivisa (ETC/BD, 2011).

Stabilire infatti quale sia un valore soglia al di sopra o al di sotto del quale un parametro quale ad esempio la "popolazione" (la stima) o il range di una specie possa essere ritenuto favorevole o meno, è ancora molto difficile poiché non si dispone di una conoscenza esaustiva della nicchia ecologica di ogni specie né di dati sufficienti a definirne una stima. Solo per alcune specie di uccelli selvatici un recente lavoro svolto nell'ambito del Piano d'Azione Europeo per la Biodiversità e dell'iniziativa "Countdown 2010" della IUCN ha stimato il VFR richiesto (LIPU, 2009).

Per questo motivo, facendo una forzatura utile per "risolvere" la questione da un punto di vista operativo, nei documenti comunitari è prevista la possibilità di definire il VFR per i parametri ricorrendo anche al giudizio dell'esperto. Quest'ultimo può essere utilizzato solo quando non ci siano dati sufficienti all'individuazione di un valore. Viene comunque fornita per i parametri range e popolazione una definizione teorico-concettuale del VFR e quali fattori devono essere considerati per determinarne il valore (tabella 1).

PARAMETRO	FATTORI PER LA STIMA DEL VFR
RANGE	- estensione potenziale del range - range storico e cause del cambiamento - area necessaria per la dispersione e i movimenti di una specie (incluse la connettività e i fenomeni di migrazione - variabilità genetica
POPOLAZIONE	- distribuzione e abbondanza storica - range potenziale - condizioni ecologiche e biologiche - rotte migratorie e "corridoi" di dispersione (dispersal) - flusso genico o variazione genetica (inclusi i "clines") - la popolazione deve essere sufficientemente grande da poter "affrontare" le fluttuazioni naturali conservando una struttura di popolazione "healty".

Tabella 2: Fattori utili per la stima del VFR

Come si evince dalla matrice di valutazione riportata nella figura 2, il VFR è fondamentale per la valutazione dei parametri e per la successiva valutazione globale dello stato di conservazione di una specie. Ad esempio quando anche solo uno dei parametri misurati è classificato nella categoria "non favorevole-cattivo" (colore rosso) anche la valutazione globale dello stato di conservazione di una specie ricadrà nella categoria "non favorevole-cattivo". Il parametro, responsabile dell'attribuzione a questa categoria viene valutato in base al VFR, ad esempio il range viene classificato nella categoria "rosso" se è inferiore a oltre il 10% rispetto al VFR (fig. 2).

In alternativa, e in via eccezionale, quando il VFR non può essere determinato viene indicato anche un percorso decisionale che attraverso l'uso di operatori logici definisce se il VFR di un parametro sia superiore o inferiore al valore attuale (VA) misurato (fig. 3).

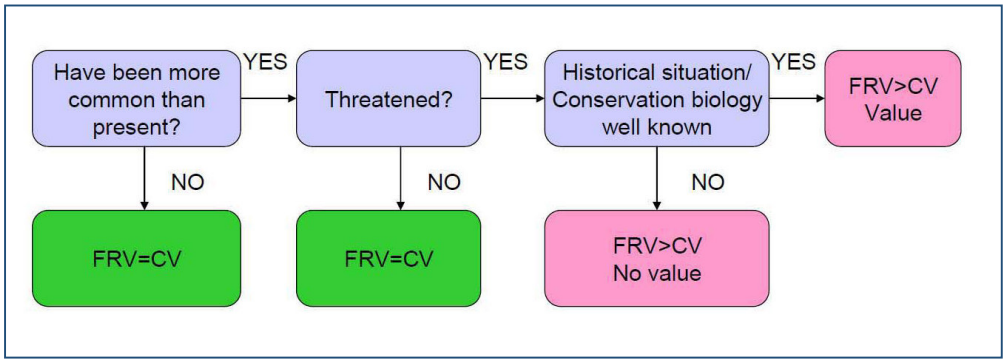


Figura 3: Processo logico decisionale per stabilire se il VFR è inferiore o superiore al VA. CV= Current Value; FRV= Favourable Reference Value. Tratto da: ETC/BD, 2011).

1.3.2 Il range

Il range naturale è considerato il principale parametro per la valutazione degli aspetti spaziali dello stato di conservazione di una specie e viene definito come "*...the outer limits of the overall area in which a habitat type or species is found at present. It can be considered as an envelope within which areas actually occupied occur...*" Il range così definito comprende al suo interno anche aree non attualmente occupate dalla specie ma dove la specie potrebbe essere potenzialmente presente e tutte le aree naturali non utilizzate in modo permanente (come per esempio accade per le specie migratrici in cui anche le aree che, sia sulla terraferma sia aeree o acquatiche, la specie utilizza durante la migrazione sono ricomprese nel range. In accordo con la definizione data dalla IUCN (IUCN, 2014), il range naturale così definito comprende al suo interno le località dove la specie o l'habitat sono presenti. Il range, quindi, non è necessariamente coincidente con la distribuzione puntuale di una specie e le località o i territori di presenza di una specie o di un habitat possono, all'interno del range naturale, anche essere disgiunti. Questa definizione implica un concetto di dinamicità del range stesso determinato anche da fluttuazioni naturali delle popolazioni. Tuttavia dal range vengono escluse tutte quelle aree che per caratteristiche ecologiche rappresentano una discontinuità e non sono quindi idonee per la specie.

1.3.3 La popolazione

Il parametro "popolazione" si riferisce alla stima e al trend della consistenza della popolazione delle specie di interesse comunitario. Per quanto riguarda l'unità di misura da utilizzare nella stima di popolazione, il documento tecnico, al fine di uniformare e confrontare i dati provenienti da ogni Stato membro, prioritariamente indica il monitoraggio del trend del numero di individui maturi ossia degli individui adulti. In alternativa, possono essere utilizzate altre unità di popolazione che vanno poi convertite nell'unità di riferimento indicata. Ad esempio per alcune specie si può utilizzare come unità di misura il numero di località di presenza della specie (p.es n. di siti ipogei utilizzati come rifugi stagionali dalle colonie di diverse specie di chirotteri) e convertire il dato in un intervallo di n. di individui stimati (n. minimo- n. massimo) o in una classe del numero di individui stimati. La conversione può essere fatta o estrapolando dati campionari o attraverso il giudizio dell'esperto. Per alcune specie (soprattutto vegetali e alcuni invertebrati) sono state

elaborate, e incluse in un elenco ad hoc, unità di misura alternative come ad esempio la superficie ricoperta da alcuni molluschi sessili da cui può essere ricavato il numero di individui.

1.3.4 L'habitat delle specie

Questo parametro è richiamato anche nella definizione di stato di conservazione favorevole nell'articolo 1 della Direttiva e nel documento della ETC/BD: *"… there is, and probably continue to be, a sufficiently large habitat to mantain its population on a long term basis"*

L'habitat di una specie viene definito come l'ambiente caratterizzato da fattori biotici e abiotici nel quale la specie vive in ogni stadio del suo ciclo biologico. Questa definizione si basa sul concetto classico di nicchia ecologica di una specie, *sensu* Hutchinson (1957), rivisitato e rielaborato da diversi autori (Chase et al.,2003): la nicchia ecologica di una specie è definita come un ipervolume in uno spazio multidimensionale di variabili ecologiche nella quale ciascuna specie può mantenere la popolazione vitale; la nicchia ecologica comprende quindi l'insieme di tutte le relazioni esistenti tra una specie e l'ambiente in cui vive. Per questo parametro è richiesta la misurazione del trend dell'area dell'habitat utilizzata dalla specie e dell'habitat idoneo per la specie. Questo parametro è ancora oggetto di discussione a livello comunitario poiché la sua misurazione è strettamente legata all'ecologia delle specie e ci sono casi, come ad esempio le specie generaliste che utilizzano un ampio range di habitat, per le quali è impossibile misurare l'area dell'habitat utilizzato. In questi casi (si pensi ad esempio ai grandi carnivori) è più appropriato procedere alla misurazione del trend dell'habitat idoneo alla specie piuttosto che dell'area occupata. Inoltre proprio per le specie generaliste sembrano essere più critici altri fattori come la disponibilità di risorse trofiche piuttosto che l'estensione dell'area di habitat occupato. Per le specie "specialiste" legate ad habitat specifici il parametro habitat e l'estensione dell'habitat utilizzato assumono invece un ruolo rilevante poiché possono influire direttamente sulla capacità riproduttiva della specie e sul mantenimento della vitalità delle popolazioni. Ad esempio per gli anfibi è stato osservato che le specie sono organizzate spesso in metapopolazioni cioè in sottopopolazioni tra le quali avviene un scambio di individui e quindi un flusso genico che ne aumenta, potenzialmente, il livello di sopravvivenza (aumento dell'eterozigosi). La riduzione, frammentazione e isolamento degli habitat idonei può per questo gruppo zoologico avere effetti deleteri anche in tempi relativamente brevi, considerando la loro scarsa capacità di dispersione su lunghe distanze che accentua gli effetti dell'isolamento soprattutto nelle popolazioni di dimensioni ridotte e la comparsa dei fenomeni di deriva genetica (ETC/BD, 2011).

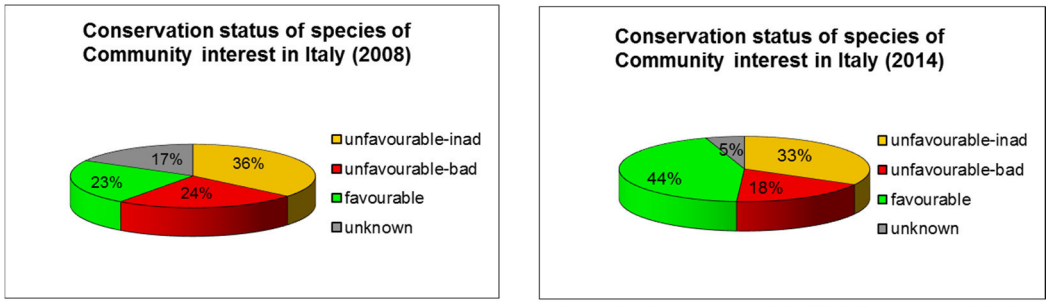
1.3.5 Le prospettive future

Il parametro "prospettive future" non è numericamente misurabile ma è il risultato combinato della valutazione degli altri parametri e delle pressioni e minacce a cui la specie è sottoposta. Con il termine pressioni si intendono i fattori che hanno un impatto attuale su uno o più parametri mentre sono considerate minacce i fattori che possono rappresentare un impatto nel futuro. Le prospettive future, al pari dello stato di conservazione di una specie, sono classificate in 4 categorie (favorevole, non favorevole-inadeguato, non

favorevole-cattivo, sconosciuto). Per la valutazione del parametro vanno considerati i trend futuri prevedibili per ogni parametro sulla base dei trend attuali e delle eventuali pressioni e/o minacce che impattano sulla specie. Anche in questo caso il VFR per ogni parametro gioca un ruolo cruciale nell'interpretazione della direzione dei trend e quindi delle prospettive future. Le pressioni e le minacce sono state catalogate ed identificate attraverso un codice, la lista è disponibile on-line nel sito della commissione dedicato al reporting secondo l'art.17.

1.4. Lo stato di conservazione attuale delle specie di interesse europeo

Il primo report sulle attività di monitoraggio e la prima valutazione dello stato di conservazione delle specie di interesse comunitario a livello europeo e nazionale attraverso la misurazione dei parametri descritti nei paragrafi precedenti, è datato 2008 (AA.VV., 2008). Per quanto riguarda il nostro Paese, in particolare le specie animali, solo per il 23% delle specie era stato valutato uno stato di conservazione "favorevole", per il 36% "inadeguato", per il 24% "cattivo" e per il 17% sconosciuto". Considerando solo le specie prioritarie (N=16) per il 40% lo stato di conservazione era stato valutato "cattivo". Il terzo rapporto (Genovesi et al., 2014) presenta importanti differenze rispetto al precedente ma sostanzialmente la percentuale delle specie e degli habitat in stato di conservazione "sconosciuto" rimane ancora alta (il 10% degli habitat, il 5% delle specie animali e il 16% delle specie vegetali. La figura 4 sintetizza i risultati dei due rapporti (AA.VV., 2008; Genovesi et al., 2014). Le criticità che si continuano a riscontrare anche nel terzo rapporto (sia in Italia sia negli altri Stati europei), e che non hanno consentito la realizzazione di un vero e proprio sistema di monitoraggio, sono: la difficoltà a misurare i parametri richiesti su scala territoriale ampia (la Direttiva richiede infatti che il monitoraggio sia effettuato in tutto il territorio nazionale), la difficoltà di elaborazione dei dati raccolti con metodologie differenti che non rendono confrontabili i valori ottenuti e quindi la rielaborazione a scala nazionale e tanto meno europea e, infine, la carenza di risorse economiche per l'implementazione a lungo termine di un sistema di monitoraggio.



Tratto da: AA.VV., 2008. Attuazione della Direttiva Habitat e stato di conservazione di habitat e specie in Italia. 2008,

Tratto da: Genovesi P. et al., 2014. Specie e habitat di interesse comunitario in Italia: distribuzione, stato di conservazione e trend. ISPRA, Serie Rapporti, 94/2014.

Figura 4: Stato di conservazione delle specie di interesse comunitario: rapporto 2008 a sx; rapporto 2014 a dx.

1.5. La misurazione dei parametri e l'uso dei modelli

La misurazione del trend dei parametri richiesti dalla DH (ETC/BD, 2011) è sicuramente realizzabile da un punto di vista tecnico scientifico. Sono state infatti sviluppate e messe a punto negli ultimi 20-30 anni molte tecniche di indagine per diverse specie, ripetibili e affidabili da un punto di vista statistico, oltre a un crescente sviluppo di schemi e programmi di monitoraggio soprattutto nell'ambito della Biologia della Conservazione (Elzinga et al., 2001; Gibbs, 2000; Thompson et al., 1998).

Tali tecniche però richiedono un investimento in termini di risorse umane ed economiche quasi mai sostenibile alla scala alla quale viene richiesta la misurazione dei parametri. L'aggiornamento ogni 6 anni (questo è il periodo stabilito tra un report e l'altro) per ogni specie di interesse e per ogni parametro a una scala territoriale nazionale e/o nelle regioni biogeografiche individuate in ogni Stato membro è molto oneroso. Se in alcuni casi, ad esempio per specie estremamente localizzate, il monitoraggio dei parametri può essere relativamente semplice per altre specie (per esempio i chirotteri legati agli ambienti forestali) è molto complesso. Per questo motivo spesso si ricorre all'uso di modelli deduttivi o, più recentemente, induttivi che restituiscono una potenzialità o una probabilità di presenza (nel caso della distribuzione-range) o di occupancy (che può essere correlata alla densità di popolazione) o di idoneità ambientale (qualità dell'habitat per una specie).

I modelli si basano sulla conoscenza della relazione specie-habitat, e più in generale della nicchia ecologica di una specie (Peterson et al., 2011) e sulla disponibilità di dati reali di presenza, presenza/assenza e densità delle specie. L'uso dei modelli sviluppati in ambiente GIS e applicati al monitoraggio dei parametri che possono essere utilizzati per definire lo stato di conservazione di una specie ha avuto una larga diffusione e sviluppo negli ultimi 20 anni ed esistono ormai diversi software che ne permettono uno sviluppo e utilizzo relativamente semplice (Guisan et al., 2000; Rushton et al., 2006). Il GIS, Geographical Information System, attraverso una serie di software dedicati, consente di visualizzare, catalogare, archiviare, estrarre, integrare, trasformare ed analizzare dati spaziali ai quali possono essere associati più elementi geografici. I modelli restituiscono i valori di idoneità dell'habitat di un determinato territorio che rappresenta la nicchia realizzata della specie per le variabili ambientali considerate. Si basano, infatti, sull'assunto che ogni specie seleziona il proprio habitat sulla base di un set ideale di valori per ciascuna variabile ambientale che caratterizza l'habitat (ad esempio un range altimetrico, di temperatura, di copertura boschiva ecc.). I dati necessari per lo sviluppo di modelli distributivi o di idoneità ambientale delle specie animali sono di due tipi: faunistici (dati di presenza geolocalizzati di una specie) e ambientali (altimetria, temperatura, uso del suolo, sviluppo del sistema stradale e infrastrutturale, densità popolazione umana ecc.). Scale diverse di indagine implicano l'uso di differenti set di variabili ambientali in grado di esprimere la relazione specie-habitat (Guisan et al., 2000), sono state , infatti, rilevate risposte diverse delle specie alle variabili ambientali rispetto a una scala spaziale gerarchica di indagine. Alcuni autori hanno osservato un pattern di selezione delle variabili ambientali da parte delle specie in funzione dell'ampiezza della scala spaziale dell'area di studio e hanno dimostrato che un approccio di indagine multi scala nella definizione di modelli di idoneità degli habitat aumenta la capacità predittiva dei modelli rispetto alla definizione della probabilità di presenza

delle specie (Holland et al., 2004; Luoto et al., 2007; Pearson et al., 2004; Sanchez et al., 2013). In accordo con Stoms et al. (1992) i modelli possono essere distinti in due gruppi principali: deduttivi e induttivi.

1.5.1 Modelli deduttivi

I modelli deduttivi si basano sulle conoscenze pregresse dell'ecologia di una specie e a partire da queste viene effettuata la scelta delle variabili ambientali e dei valori da considerare per lo sviluppo del modello. Nella fase di scelta delle variabili ambientali rilevanti per l'ecologia della specie entra in gioco l'opinione dell'esperto che riclassifica le variabili ambientali secondo valori di idoneità specie-specifici: ad esempio per la variabile ambientale "altitudine" vengono definiti range di valori della variabile a diversi gradi di idoneità per la specie (nulla, bassa, media, alta) oppure per le categorie dell'uso del suolo vengono stabilite quali tipologie ambientali hanno idoneità nulla, bassa, media o alta per la specie.
Il procedimento viene ripetuto per tutte le variabili ambientali disponibili e individuate come "sensibili" per la specie. Attraverso una matrice di regole, le variabili riclassificate sono combinate a restituire una rappresentazione cartografica dell'idoneità ambientale dell'area di studio per la specie (suddivisa in classi). Le elaborazioni vengono realizzate utilizzando strumenti in ambiente GIS di cui oggi sono disponibili diversi software (per es. ArcGis e QuantumGIS). Questa tipologia di modelli è uno sviluppo dell'Habitat Evaluation Procedures (HEP) messa a punto negli anni '80 dal U.S. Fish and Wildlife Service (U.S.F.W.S., 1980). Un esempio di modello deduttivo realizzato in Italia è la REN (Rete Ecologica Nazionale) che restituisce, tra gli altri risultati, l'idoneità ambientale del territorio nazionale per i vertebrati (Boitani et al., 2002). I modelli deduttivi sono utili soprattutto per l'organizzazione e sistematizzazione delle conoscenze relative alla distribuzione (potenziale e reale) o all'idoneità ambientale per le specie ma presentano alcuni limiti importanti. Primo fra tutti l'elemento di soggettività introdotto dall'uso "dell'opinione dell'esperto" nella fase della scelta delle variabili ambientali e dell'attribuzione del valore di idoneità delle variabili. Inoltre non restituiscono una probabilità di presenza della specie.

1.5.2 Modelli induttivi

I modelli induttivi si basano su dati reali di presenza, di presenza/assenza o di densità della specie. A partire dai valori delle variabili ambientali misurati nei punti di localizzazione del dato reale restituiscono una probabilità di presenza (utile per la valutazione della distribuzione-range o della qualità dell'habitat), di occupancy (che può essere correlata alla densità di popolazione) o di densità attesa, anche nelle porzioni di territorio dove non c'è disponibilità di dati reali assumendo che tale probabilità sia correlata alla distribuzione/frequenza nello spazio dei valori delle variabili ambientali (Corsi et al., 2000). Si tratta, quindi, di modelli probabilistici basati su funzioni matematiche. In generale i modelli induttivi più utilizzati in biologia della conservazione appartengono alla famiglia dei General Linear Model (GML) e dei General Additive Model (GAM). Utilizzano funzioni lineari di regressione, di cui la regressione logistica è una delle possibili funzioni, sono applicabili a variabili binarie (per esempio presenza/assenza) e richiedono anche l'integrazione di fattori che misurano eventuali autocorrelazioni tra i dati di presenza e i valori delle variabili

ambientali (Guisan et al., 2000). Altri modelli induttivi utilizzati per la misurazione della distribuzione potenziale di una specie o dell'idoneità degli habitat di un'area si basano sul concetto di "distanza" cioè restituiscono l'idoneità ambientale del territorio o una probabilità di presenza della specie misurando la distanza tra i valori delle distribuzioni delle variabili ambientali nei punti di presenza delle specie e quelli delle variabili ambientali rilevate nell'area di studio per cui viene elaborato il modello. In questa categoria rientrano due modelli molto utilizzati per misurare l'idoneità degli habitat per le specie: ENFA, Ecological Niche Factor Analysis, (Hirzel et al., 2002) e MaxEnt, Maximum Entropy modeling of species geographic distributions, (Phillips et al., 2006).

1.5.3 Le specie virtuali

Per la validazione della capacità predittiva dei modelli induttivi vengono utilizzati diversi strumenti che includono una robusta conoscenza teorica delle metodologie e analisi matematiche alla base del funzionamento dei modelli, l'effettuare test con valori differenti dei parametri utilizzati dal metodo alla base dei modelli e l'uso di dati con caratteristiche note (Elith et al., 2009). Quest'ultimo metodo è basato sull'uso di specie virtuali ossia specie le cui caratteristiche ecologiche, distribuzione e utilizzo dell'habitat sono definite a priori. Le specie virtuali sono state utilizzate in numerosi lavori finalizzati alla definizione della capacità predittiva dei modelli induttivi e diversi autori hanno elaborato differenti metodologie per la costruzione di tali specie (Austin et al., 2006; Hoffman et al., 2010; Meynard et al., 2007, 2013).

2. Materiali e metodi

2.1. Area di Studio

La sperimentazione dei modelli probabilistici per la misura dei parametri range e habitat delle specie è stata effettuata sull'intero territorio della regione Lazio che si estende per 17.203 km^2. Il Lazio è caratterizzato da una notevole diversità ambientale dovuta al peculiare sviluppo territoriale che si estende dagli Appennini fino al mare Tirreno, con valori altitudinali che variano da 0 m s.l.m. a 2.425 m s.l.m.

Nel territorio del Lazio è presente un sistema di aree protette naturali costituito da 19 tra parchi regionali e nazionali, 36 tra riserve regionali e statali e 223 siti della Rete Natura 2000 (fig. 5).

In ambiente GIS al territorio regionale è stata sovraimposta una griglia con celle di 100 m di lato (1.720.300 celle equivalenti ad altrettanti ettari). Ad ogni cella (pixel) è stato associato il valore categorico delle variabili ambientali derivate dalla Carta dell'Uso del Suolo (approfondimento al III livello Corine Land Cover realizzata nel 2003; fig. 6), dalla Carta delle formazioni naturali e semi-naturali della Regione Lazio (approfondimento al IV e V livello Corine Land Cover della Carta dell'Uso del Suolo, realizzata nel 2011; fig. 7) dalla Carta delle tipologie forestali e i valori continui delle variabili ambientali geografiche (altitudine, esposizione e pendenza). Il territorio regionale, quindi, è stato classificato e descritto attraverso strati informativi (uno strato per ogni variabile ambientale) successivamente trattati per l'elaborazione dei modelli (cfr. par. 2.4.3).

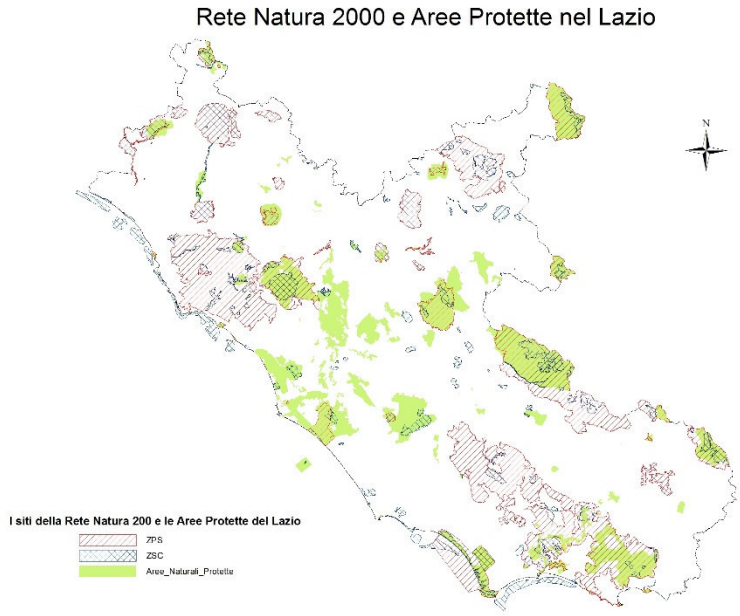


Figura 5: Le Aree Naturali Protette e i siti (ZSC e ZPS) della Rete Natura 2000 nel territorio della Regione Lazio.

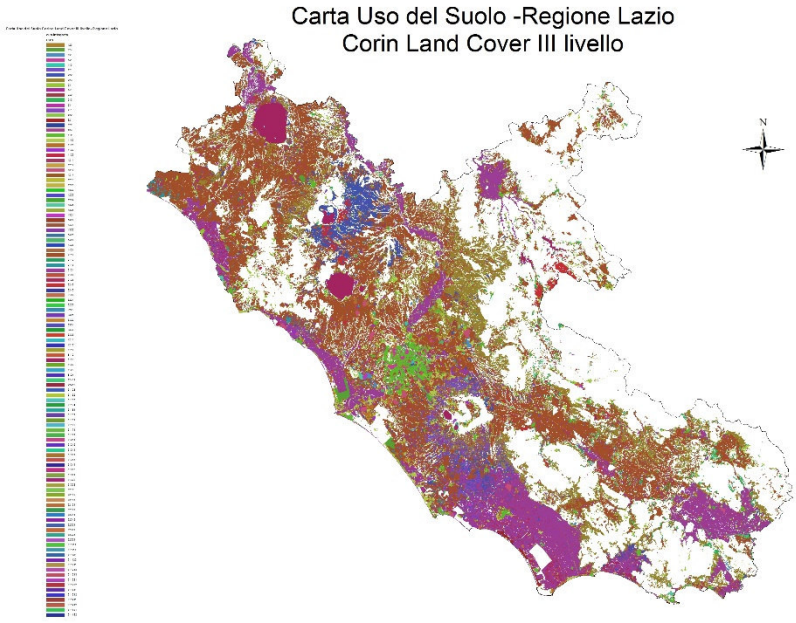


Figura 6: Carta dell'Uso del Suolo della Regione Lazio. Corine Land Cover III livello. Tratta e modificata da: Direzione Regionale Territorio ed Urbanistica Area Pianificazione Paesistica e Territoriale Regione Lazio 2004.

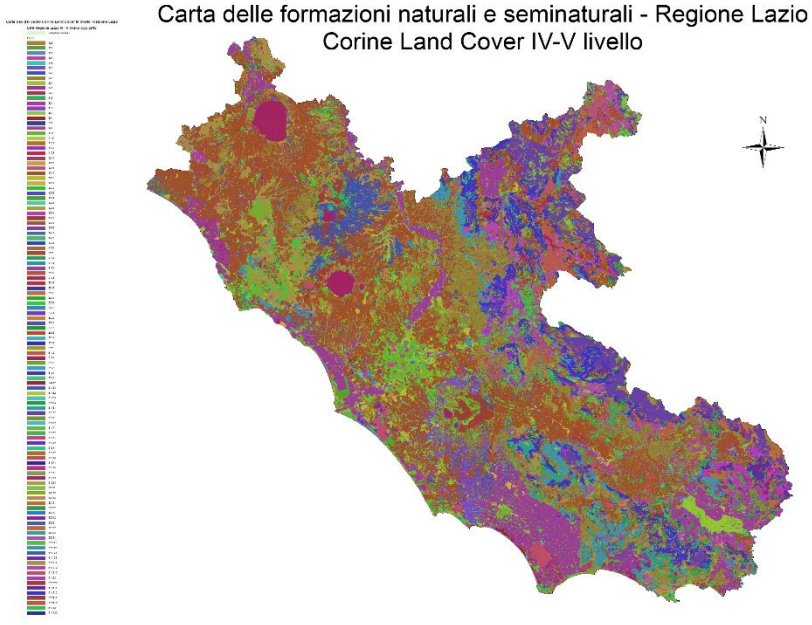


Figura 7: Carta delle formazioni naturali e seminaturali, approfondimento al IV e V livello della CUS. Tratto e modificato da: ARP, 2010.

2.2. I parametri per la misurazione dello stato di conservazione delle specie

Il documento tecnico di riferimento sul monitoraggio dello stato di conservazione delle specie e degli habitat di interesse comunitario (ETC/BD, 2011) rappresenta le linee guida ufficiali che la Commissione

Europea ha fornito ad ogni Stato membro. Nel documento viene indicato il percorso per arrivare alla definizione dello stato di conservazione di una specie individuato in 4 categorie definite dai valori misurati di quattro parametri ritenuti cruciali per le specie: il range (in termini di EOO, extent of occurence), la popolazione, solo per le specie (stima, trend, pressioni e minacce), l'habitat delle specie (in termini di AOO, area of occupancy e idoneità dell'habitat potenziale) e le prospettive future (parametro che include le pressioni e le minacce). Le quattro categorie di stato di conservazione sono definite attraverso una matrice di valutazione a partire dalla combinazione dei valori misurati dei quattro parametri ritenuti cruciali per le specie (fig. 2).

La presente ricerca si è focalizzata sulla misurazione di due dei quattro parametri indicati dalla Direttiva Habitat:

- *Range* definito come "*...the outer limits of the overall area in which a habitat type or species is found at present. It can be considered as an envelope within which areas actually occupied occur...*". Il range così definito comprende al suo interno anche aree non attualmente occupate dalla specie ma dove la specie potrebbe essere potenzialmente presente.
- *Habitat della specie* definito come l'ambiente caratterizzato da fattori biotici e abiotici nel quale la specie vive in ogni stadio del suo ciclo biologico. Questa definizione si basa sul concetto di nicchia ecologica di una specie, definito nel suo significato originale di risorse (biologiche e fisiche) utilizzate da una specie durante la sua vita.

2.3. Le banche dati delle specie

Le banche-dati disponibili derivano da progetti realizzati dalla Regione Lazio negli ultimi 10 anni (Capizzi et al., 2013; Brunelli et al., 2011; Bologna et al., 2008; Sorace et al., 2011; Guglielmi et al., 2011; Russo et al., 2009; ARP, 2008). I progetti hanno interessato tutti i *taxa* di vertebrati terrestri e il gruppo dei Pesci di acqua dolce. La maggior parte di essi ha curato la riorganizzazione e sistematizzazione di dati bibliografici, di dati provenienti da raccolte di campo pregresse e di dati inediti raccolti durante la realizzazione dei progetti per un totale di 69 specie di interesse europeo presenti nel Lazio. L'analisi della qualità delle banche-dati zoologiche e del loro potenziale utilizzo per l'applicazione dei modelli, ha evidenziato che la banca-dati degli uccelli nidificanti del Lazio presenta le caratteristiche di precisione di localizzazione, di accuratezza della raccolta del dato di presenza (raccolta sistematica e ripetuta che ha coperto l'intero territorio regionale) e di indipendenza richieste per l'applicazione dei modelli induttivi (Corsi et al., 2000; Guisan et al., 2000).

Gruppo	N specie	N record
Mammiferi	73	18.000
Uccelli (nidificanti)	186	57.000
Rettili	15	666*
Anfibi	12	908*
Pesci	12	400 (1500)**
*In aggiornamento; ** Si tratta di 400 stazioni di rilevamento, 12 campionamenti per stazione e una presenza media delle specie di interesse nel 30-40% delle stazioni		

Tab. 1: Gruppi, n. di specie e n. di record presenti nel Lazio.

Sono state quindi selezionate 8 specie di interesse comunitario incluse nell'allegato I della DU, per le quali sono stati selezionati un totale di 638 punti di presenza riferiti ai siti di nidificazione certa e probabile aggiornati al 2010 (Brunelli et al., 2011). Per le 8 specie sono state elaborate le mappe di idoneità ambientali del territorio regionale sperimentando due modelli induttivi, ENFA e MaxEnt (cfr. par. 2.6), preventivamente validati attraverso l'uso di 8 specie virtuali (specie a distribuzione e consistenza nota): le chimere (cfr. par. 2.5.1).

Di seguito si riportano la descrizione delle principali caratteristiche ecologiche e delle distribuzioni regionali delle specie selezionate sintetizzate nelle figure 8-15 dove sono riportate la distribuzione ambientale e altitudinale tratte dal lavoro di Brunelli et al., 2011.

Balia dal collare (*Ficedula albicollis*)

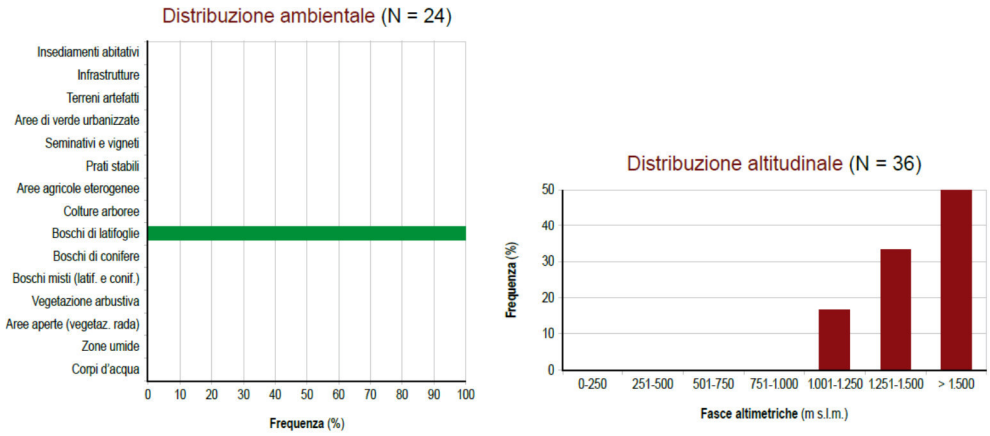


Figura 8: Distribuzione ambientale e altitudinale della Balia dal collare (*Ficedula albicollis*).

Picchio dalmatino (*Dendrocopos leucotos*).

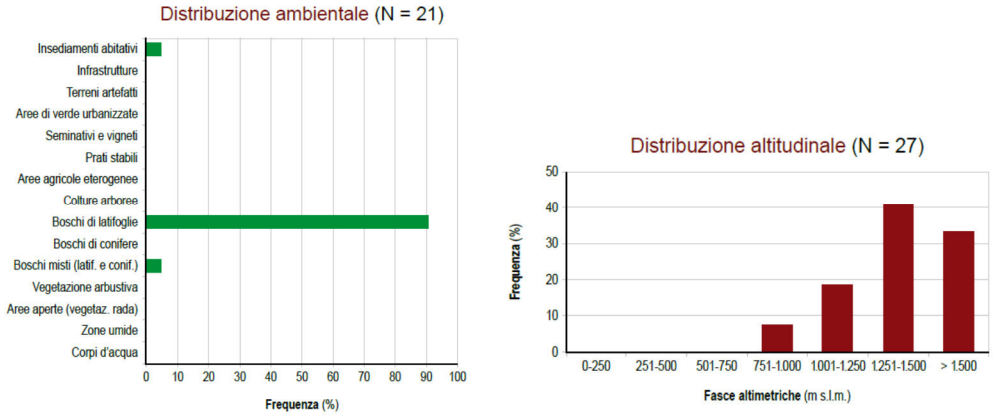


Figura 9: Distribuzione ambientale e altitudinale della Picchio dalmatino (*Dendrocopos leucotos*).

Coturnice (*Alectoris graeca*)

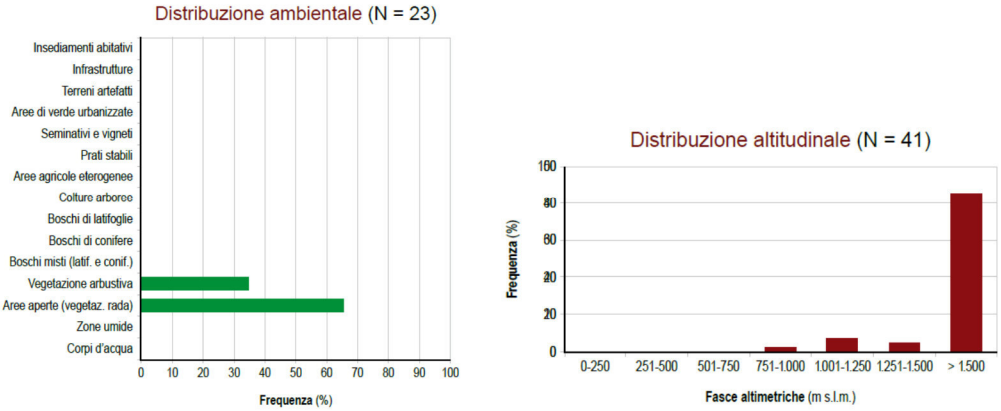


Figura 10: Distribuzione ambientale e altitudinale della Coturnice (*Alectoris graeca*).

Calandra (*Melanocoripha calandra*).

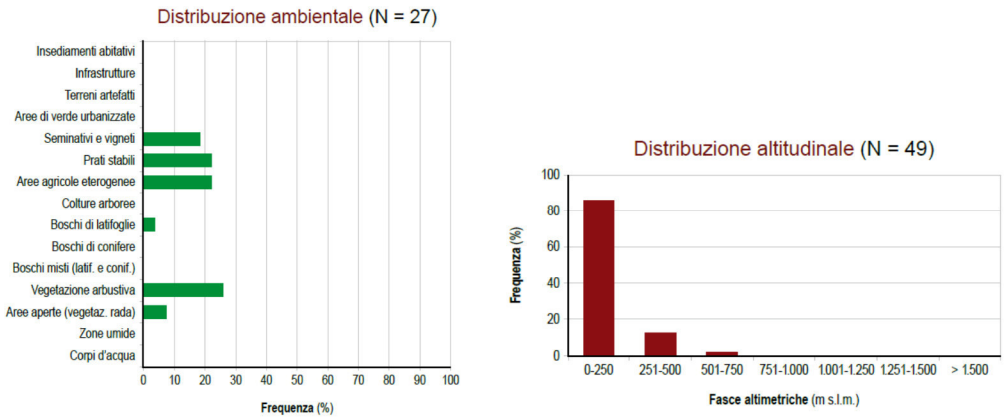


Figura 11: Distribuzione ambientale e altitudinale della Calandra (*Melanocoripha calandra*).

Calandro (*Anthus campestris*).

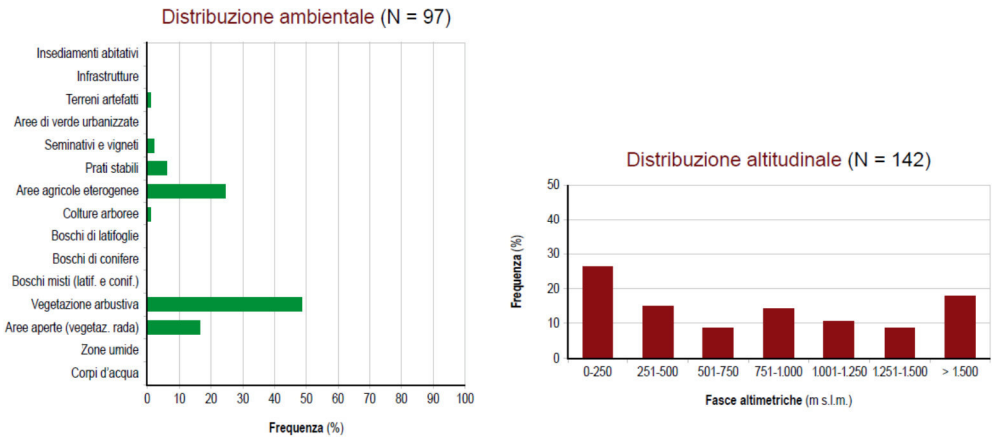


Figura 12: Distribuzione ambientale e altitudinale del Calandro (*Anthus campestris*).

Falco pecchiaiolo (*Pernis apivorus*).

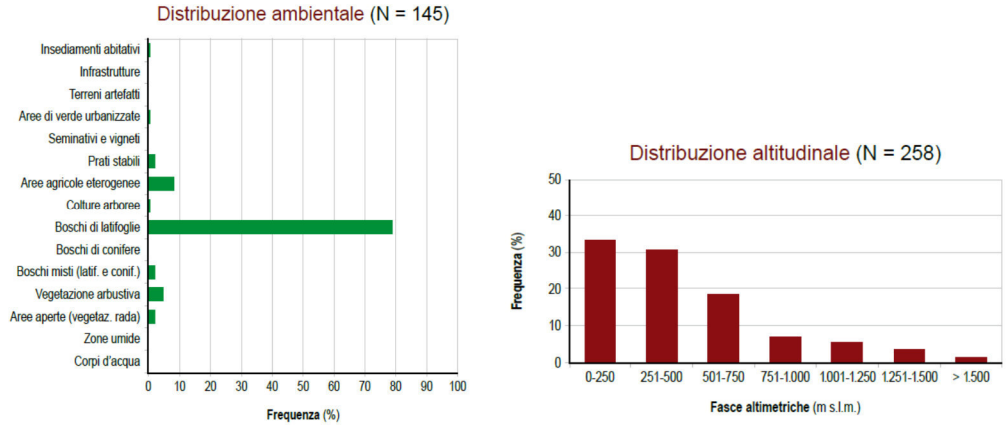


Figura 13: Distribuzione ambientale e altitudinale del Falco pecchiaiolo (*Pernis apivorus*).

Biancone (*Circaetus gallicus*).

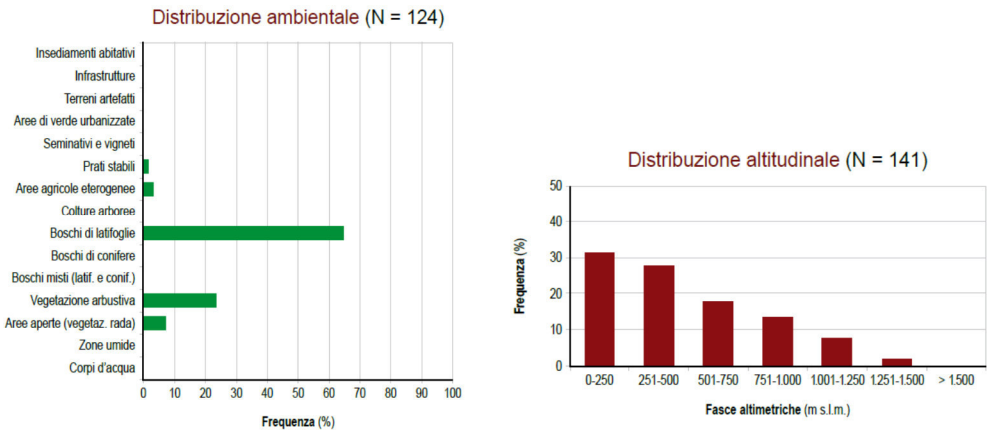


Figura 14: Distribuzione ambientale e altitudinale del Biancone (*Circaetus gallicus*).

Nibbio bruno (*Milvus migrans*).

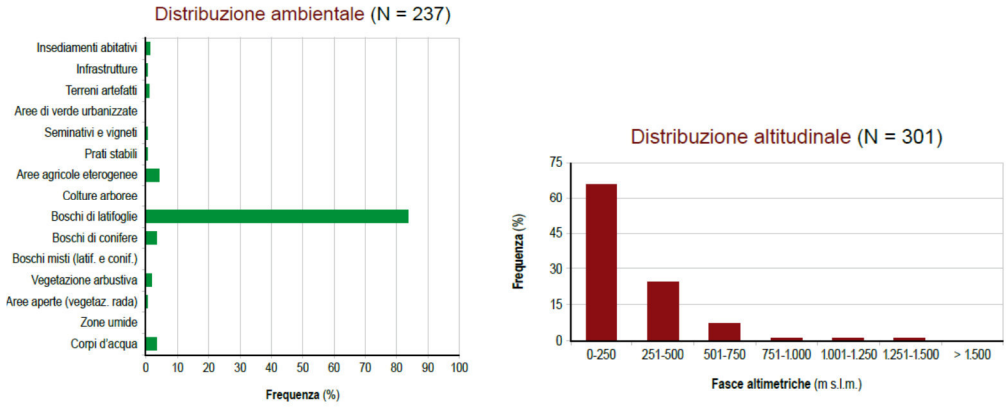


Figura 15: Distribuzione ambientale e altitudinale del Nibbio bruno (*Milvus migrans*).

Per ogni specie è stato calcolato il numero di variabili ambientali utilizzato (in base alla frequenza di presenza rilevata), per descriverne il grado di specialismo e/o generalismo secondo il gradiente riportato nella figura 16. Le variabili ambientali utilizzate derivano dall'accorpamento delle categorie della CUS IV (cfr. par. 2.4.3).

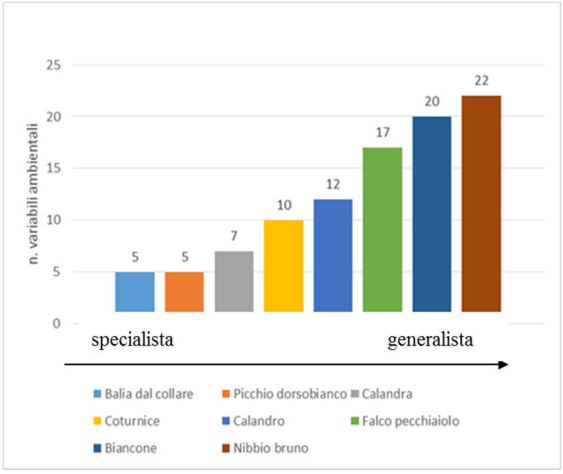


Figura 16: Le variabili ambientali utilizzate dal set di specie indagate.

2.4. Scelta dei modelli

L'uso di modelli quantitativi nell'ambito dell'ecologia delle specie ha avuto una prima ampia diffusione negli anni 80', in particolare nell'ambito delle attività del U.S. Fish and Wildlife Service attraverso le procedure di valutazione degli habitat, HEP, e lo sviluppo di indici di idoneità degli habitat, HSI, (USFWS, 1980, 1981).

Negli ultimi decenni si è assistito a un uso e sviluppo esponenziali delle tecniche della modellistica come strumento per l'analisi dell'idoneità dell'habitat e delle distribuzioni potenziali delle specie (Lobo et al., 2010). In particolare sono stati sviluppati e sperimentati soprattutto i modelli di tipo induttivo, come definiti da Stoms et al. (1992), ossia modelli probabilistici che restituiscono un valore di idoneità del territorio per una specie.

L'analisi del tipo di dati necessario a soddisfare gli assunti per l'applicazione di modelli induttivi e delle banche-dati faunistiche disponibili (cfr. par. 2.3) ha portato all'individuazione dei due modelli matematici sperimentati nella presente ricerca: Ecological Niche Factor Analisys, ENFA, (Hirzel et al., 2002) e MaxEnt, Maximum Entropy modeling of species geographic distributions, (Phillips et al., 2006) per la misurazione dei parametri "range" e "habitat della specie" (tab.2) A differenza dei modelli GLM e GAM, infatti, ENFA e MaxEnt non necessitano della conoscenza del dato di assenza ma solo di quello di presenza. Ciò rappresenta un vantaggio considerevole poiché il dato di assenza di una specie è difficilmente accertabile e comunque non attualmente disponibile nelle banche-dati faunistiche utilizzate.

Parametro	Modello	Metodi alternativi	Parametro
RANGE	Induttivo: MaxEnt (probabilità presenza)	Modelli deduttivi, Atlanti, Range-tool, Alpha Hull	Areale (Extent of occurence)
HABITAT	Induttivo: ENFA, MaxEnt	Modelli deduttivi, opinione dell'esperto	Area dell'habitat idoneo, qualità dell'habitat

Tab.2: Modelli matematici induttivi selezionati per la misurazione dei parametri "range" e "habitat della specie". Sono stati selezionati modelli che richiedono solo dati di presenza.

Di seguito sono descritte le caratteristiche dei due modelli selezionati.

2.4.1 ENFA

ENFA si basa sul concetto multidimensionale di nicchia ecologica *sensu* Hutchinson (1957) e segue un approccio multivariato per lo studio della distribuzione geografica delle specie. L'analisi fattoriale, attraverso l'applicazione di diversi algoritmi (Braunisch et al., 2008), restituisce la "marginalità" e la "specializzazione" di una specie (fig. 17). La marginalità esprime la distanza ecologica tra l'optimum dell'habitat utilizzato dalla specie (calcolato a partire dalla frequenza di presenza osservata nelle variabili ambientali disponibili) e il valore medio dell'habitat nell'area di riferimento. La specializzazione misura la porzione delle variabili ambientali utilizzate dalla specie rispetto al range dei valori delle variabili ambientali disponibili (Hirzel et al., 2002).

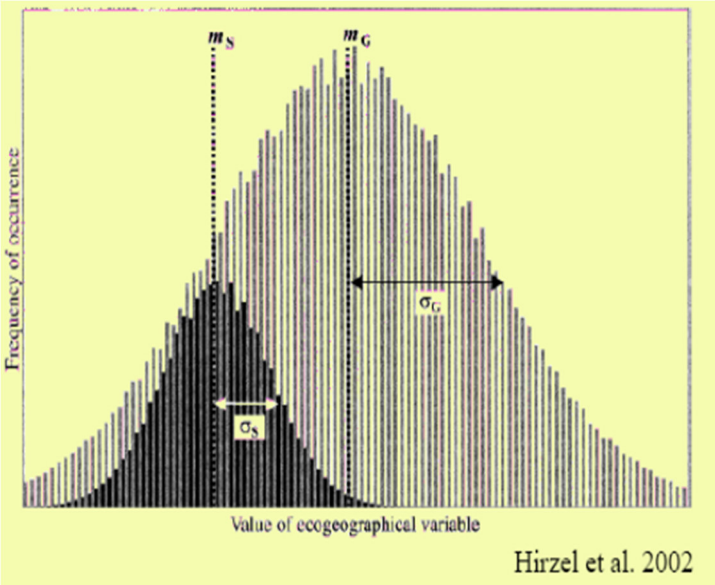


Figura 17: Le barre grigie rappresentano le risorse ambientali disponibili mentre le barre nere le risorse utilizzate da una specie. La marginalità è descritta dalla discrepanza tra le due medie (m_G e m_s) ed è espressa dall'equazione

$$M = \frac{|m_G - m_s|}{1.96\ \delta_G}$$

La specializzazione è descritta dalla discrepanza tra le due deviazioni standard (σ_s σ_g) ed è espressa dal rapporto tra le due deviazioni standard:

$$\frac{\delta_G}{\delta_S}$$

dove δ_G = deviazione standard della distribuzione della variabile ambientale, δ_S deviazione standard della distribuzione della specie.

ENFA individua le variabili ambientali che determinano il modello e restituisce il contributo di ciascuna variabile ambientale alla marginalità e alla specializzazione. La marginalità, M, è espressa dal primo fattore e assume valori compresi tra 0 e 1, dove i valori maggiori esprimono che l'*optimum* della specie è distante dal valore medio dell'habitat dell'area di studio. La specializzazione, S, è stimata dai fattori successivi e varia da 0 a ∞. La misura inversa della specializzazione rappresenta il coefficiente di tolleranza globale che assume valori compresi tra 0 e 1 e fornisce una misura dell'ampiezza della nicchia. ENFA restituisce una matrice di punteggi attraverso la quale è possibile ottenere una lettura più fine del tipo di contributo delle variabili ambientali nel determinare l'idoneità del territorio (tab 3). Nella tabella 3 è riportato un esempio di matrice dei punteggi: punteggi alti corrispondono a contributi significativi delle variabili. Per il fattore di marginalità la matrice individua il tipo di selezione della variabile ambientale (valori positivi indicano una preferenza). L'affidabilità del modello viene misurata attraverso l'indice di Boyce (Boyce et al., 2002; Hirzel et al., 2006) che assume valori compresi tra -1 e 1 (-1 = modello scorretto, 0 = modello non differisce da una distribuzione casuale, 1 = la previsione del modello è coerente con le distribuzioni dei punti di presenza nel set di variabili ambientali.

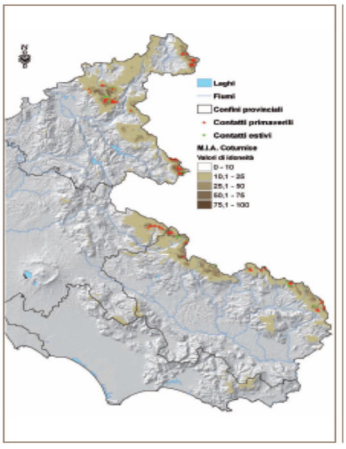


Figura 18: Esempio di mappa del modello di idoneità di una specie elaborato da ENFA (in questo caso il modello per la specie *Alectoris graeca*.)

I risultati vengono graficamente restituiti in una mappa a diversi livelli di idoneità del territorio per la specie indagata (fig. 18). L'idoneità è espressa in un range di valori compreso tra 0 e 100 (0 = idoneità nulla, 100 = massima idoneità). I modelli ENFA sono stati elaborati attraverso il software Biomapper 4.0 (Hirzel et al., 2007). Il software consente la selezione di diversi algoritmi per l'elaborazione dei modelli di idoneità. In questo lavoro è stato utilizzato l'algoritmo della media geometrica della distanza che, in accordo con quanto osservato da Hirzel et al. (2003) rappresenta un buon compromesso tra la precisione e la generalità di individuazione dell'idoneità ambientale dell'area di studio.

Variabili ambientali	Factor 1 (87%)	Factor 2 (7%)	Factor 3 (3%)
11-box_QT	++	****	0
12-box_QT	0	**	*
211-box_QT	+	**	**
212-box_QT	0	*	*
21-box_QT	++	**	**
224-box_QT	-	**	*
22-box_QT	+++	**	****
23-box_QT	+	*	**
241-box_QT	-	0	0
311-box_QT	-	*	***
312-box_QT	-	***	*
3131-box_QT	0	*	**
314-box_QT	--	***	***
315-box_QT	++++	*	*
31-box_QT	+++++	*	0
323-box_QT	----	**	*
324-box_QT	-	*	0
332-box_QT	-	**	****
333-box_QT	-	***	**
334-box_QT	+	**	*
33-box_QT	--	*	0
41-box_QT	0	**	*
51-box_QT	+	*	*
COP2-box_QT	-	**	**
COP3-box_QT	++	*	***
COP4-box_QT	0	**	*
DTM_QT	++	**	*
ESP_QT	++	*	*
PENDENZA_QT	++	*	*

Tabella 3: Matrice dei punteggi. Il primo fattore indica la marginalità, M, e spiega l'87% della nicchia ecologica della specie. il contributo delle singole variabili alla marginalità è espresso dai segni "+" e "-". Il segno "+" indica che la specie utilizza la variabile ambientale in proporzione maggiore rispetto alla sua distribuzione media nel territorio. Si noti che escludendo la variabile DTM che esprime l'altitudine, le altre variabili sono espresse in distanze: al segno "+" corrisponde quindi una selezione negativa della variabile. I fattori successivi esprimono la specializzazione, S. Maggiore è il numero dei simboli "*" maggiore è il contributo della variabile alla specializzazione. Anche in questo caso le variabili ambientali sono trasformate in distanze. A differenza del primo fattore non viene espressa un valore positivo o negativo di selezione della variabile ma solo l'entità del contributo della variabile nella determinazione della specializzazione.

2.4.2 MaxEnt

MaxEnt si basa sul concetto di massima entropia, analizza la nicchia ecologica realizzata di una specie (Sillero, 2011) e restituisce l'idoneità dell'habitat per la specie per ogni cella di un grid in cui viene

classificata l'area di studio. Utilizza un algoritmo che, con una serie di iterazioni successive, individua la distribuzione della specie conosciuta più vicina alla massima entropia, ossia la probabilità P di dispersione più omogenea possibile, all'interno dei valori delle distribuzioni di densità delle variabili ambientali nell'area di studio, applicando l'equazione generale:

$$P(x) = \exp(c1 * f1(x) + c2 * f2(x) + c3 * f3(x) \ldots) / Z$$

dove *c1*, *c2*, ... sono costanti, *f1*, *f2*, ... sono le categorie (variabili) ambientali, e *Z* è una costante scalare che assicura che il valore massimo di P sia = 1 per ogni cella della griglia.

Opera restituendo un modello di idoneità che minimizza la distanza tra due funzioni di densità di distribuzione: quella che descrive la disponibilità relativa delle variabili ambientali nell'area di studio e quella che descrive la disponibilità relativa delle variabili ambientali nei punti di presenza della specie (Phillips et al., 2006; Elith et al., 2011). Il software permette di impostare i parametri dell'algoritmo, in questa ricerca è stata utilizzata l'impostazione di base (Phillips et al., 2006).

L'affidabilità del modello viene calcolata dalla ROC, Receiver Operating Characteristic, e dalla AUC, Area Under Curve, viene cioè misurata la sensibilità (probabilità di classificare correttamente i "veri positivi") e la specificità (probabilità di classificare i falsi negativi) del modello. L'AUC, quindi, misura la capacità del modello di classificare accuratamente un sito dove è stata registrata la presenza della specie rispetto a un sito selezionato casualmente dove non è stato registrato un dato di presenza o un sito di pseudo-assenza. Sostanzialmente viene quantificata l'accuratezza della mappa distributiva e dell'idoneità dell'habitat risultanti (fig. 19). L'AUC ha valori compresi tra 0 e 1.Per l'interpretazione dei valori di AUC si è fatto riferimento a Hosmer e Lemeshow 1989 (tab.4).

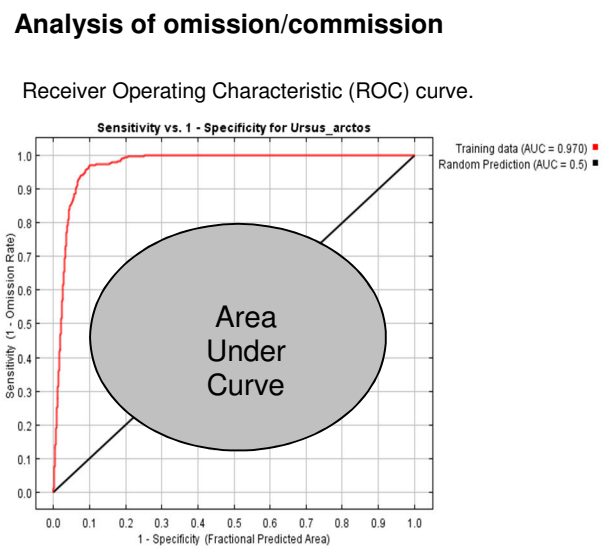


Figura 19: Esempio di AUC per la specie *Ursus arctos marsicanus*

AUC (valori)	Livello di discriminazione
0 - 0.5	Non discriminante
0.5 - 0.7	Bassa discriminazione
0.7 - 0.8	Discriminazione accettabile
0.8 - 0.9	Discriminazione eccellente
0.9 - 1	Discriminazione eccezionale

Tabella 4. Linee guida per l'interpretazione dei livelli di discriminazione dei modelli secondo i valori di AUC (Hosmer, D.W. and S. Lemeshow, 1989).

MaxEnt restituisce per ogni specie una mappa di idoneità ambientale e di distribuzione potenziale espressa in una scala di idoneità di valori compresi tra 0 e 1 dove 0 = idoneità nulla, 1 = idoneità massima (fig. 20). MaxEnt individua inoltre le variabili ambientali che hanno una maggiore influenza nel determinare il modello attraverso un test Jackknife (fig. 21).

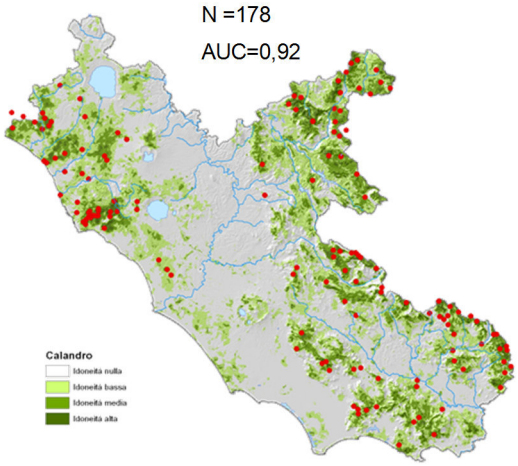


Figura 20: Esempio di mappa del modello di idoneità di una specie elaborato da MaxEnt (in questo caso il modello per la specie *Anthus campestris*.)

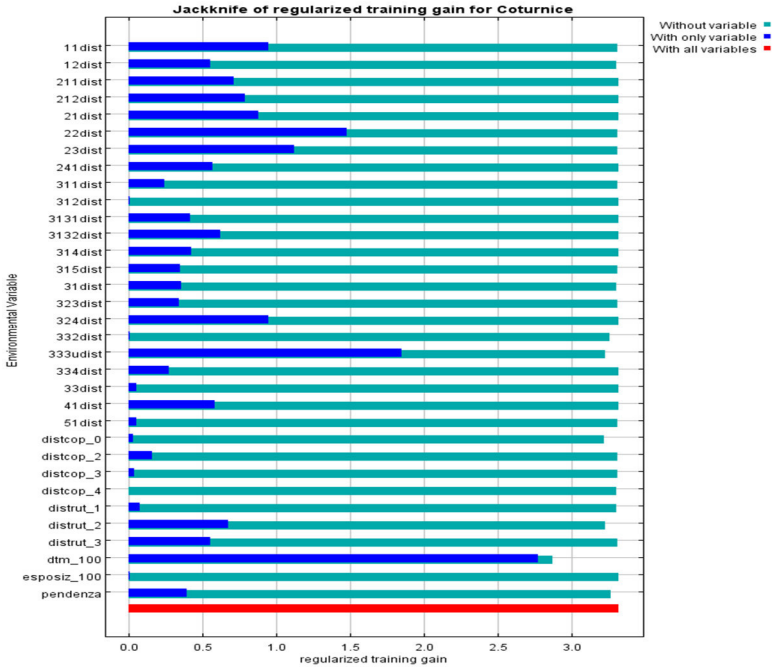


Figura 21: Test Jackknife sull'importanza di ogni singola variabile ambientale nella determinazione del modello. Le barre blu indicano il contributo al modello di ciascuna variabile rispetto al modello ottenuto con tutte le variabili (barra rossa). In questo caso la variabile più significativa selezionata per la specie *Alectoris graeca* è l'altitudine, dtm 100, (indicata dalla freccia) che da sola contiene la maggior parte delle informazioni che spiegano il modello.

Il modello stima infine i contributi relativi di ogni variabile ambientale (tab. 5).

Variable	Percent contribution	Permutation importance
dtm_100	80	28.9
333	5.5	56.6
distrut_2	3.7	6.1
distcop_0	2.7	0.6
distcop_3	1.5	1.8
12dist	1.2	0.1
332dist	1.1	3.5
pendenza	0.8	0.4
22dist	0.6	0
314dist	0.5	0
11dist	0.4	0.1
…….	……	……

Tabella 5: Tabella dei contributi e dell'importanza di permutazione delle variabili ambientali. In questo esempio per il modello della specie *Alectoris graeca*: la variabile "dtm_100" (altitudine) è quella che contribuisce per l'80%. La permutazione dei valori della variabile 333 (ambiti rupicoli) è quella che maggiormente influisce sul decremento di AUC del modello. I valori nulli indicano assenza di contributo o di importanza delle variabili per il modello.

Per l'elaborazione di entrambi i modelli è stato necessario predisporre gli strati informativi (variabili ambientali e punti di presenza) trattati in ambiente GIS utilizzando i software ArcGis 10.1 e Quantum GIS 2.6.1-Brighton.

I modelli sono stati validati utilizzando 8 specie virtuali, le chimere, progettate e costruite con le caratteristiche ecologiche di 8 specie reali (cfr. par. 2.5.1) appartenenti alla classe degli Uccelli, tutte nidificanti nel territorio regionale.

2.4.3 Variabili ambientali

Per lo sviluppo dei modelli probabilistici è necessario disporre di dati di presenza geolocalizzati di una specie e di dati relativi alle variabili ambientali che esprimano la relazione specie-habitat. La scelta delle variabili ambientali rappresenta uno degli aspetti cruciali per l'elaborazione dei modelli, infatti, scale diverse di indagine implicano l'uso di differenti set di variabili ambientali in grado di esprimere la relazione specie-habitat (Guisan et al., 2000). La nicchia ecologica di una specie può essere descritta da fattori ambientali che esprimono differenti livelli di influenza secondo una scala spaziale gerarchica e diversi autori hanno osservato un pattern di selezione delle variabili ambientali da parte delle specie in funzione dell'ampiezza della scala spaziale dell'area di studio. In generale è stato osservato che un approccio di indagine multi scala nella definizione di modelli di idoneità degli habitat aumenta la capacità predittiva dei modelli rispetto alla probabilità di presenza delle specie (Holland et al., 2004; Luoto et al., 2007; Pearson et al., 2004; Sanchez et al., 2013). Per le specie considerate in questo lavoro la scala spaziale di riferimento è quella del paesaggio che viene definita "intermedia" (Peterson et al., 2011). A questa scala e per le specie ornitiche selezionate in questo lavoro la letteratura individua tra le variabili ambientali più rilevanti le categorie di uso e copertura del suolo oltre alle variabili geografiche quali altitudine, la pendenza e l'esposizione (Ficetola et al., 2014; Peterson et al., 2011).

Per lo sviluppo dei modelli di idoneità ambientale è stato necessario predisporre gli strati informativi relativi alle variabili ambientali che caratterizzano il territorio regionale. Le variabili ambientali utilizzate derivano dagli strati informativi che descrivono la Carta dell'Uso del Suolo (approfondimento al III livello Corine Land Cover realizzata nel 2003), la Carta delle formazioni naturali e semi-naturali della Regione Lazio (approfondimento al IV e V livello Corine Land Cover della Carta dell'Uso del Suolo, realizzata nel 2011) e le tipologie forestali. Sono inoltre state utilizzate le variabili che descrivono l'altitudine, la pendenza e l'esposizione del territorio regionale. Gli strati informativi sono stati elaborati in ambiente GIS. Il GIS, attraverso una serie di software dedicati, consente di visualizzare, catalogare, archiviare, estrarre, integrare, trasformare ed analizzare dati spaziali ai quali possono essere associati più elementi geografici. Le categorie dell'uso del suolo sono state organizzate secondo criteri di similarità nella struttura e funzione ecologica per le specie (accorpamento) o di esclusione quando ritenute non significative (formazioni con estensione ridotta, e prevalentemente di origine alloctona, per esempio colture di eucalipti per un estensione totale di 40 ha). Per i criteri di accorpamento delle variabili si è fatto riferimento alle conoscenze pregresse dell'ecologia delle specie considerate e ai dati di distribuzione ambientale noti per il Lazio (cfr. par. 2.3).
Per la CUS IV livello, a partire da 115 categorie, la riorganizzazione (accorpamento) ha portato a un totale di 31 categorie con l'esclusione di 5 categorie ed ha interessato l'intero territorio regionale (circa 172.000 ha). Dall'accorpamento delle 75 categorie della CUS III livello ne sono state ottenute 23 e ne sono state escluse 2 (tab. 6 e tab. 7).
Nell'appendice I sono riportati i codici e le descrizioni delle CUS III e IV livello e una tabella riepilogativa degli accorpamenti effettuati.
Le CUS così trasformate sono state quindi riclassificate nelle categorie ottenute e gli strati informativi convertiti in formato raster (griglia) con celle (pixel) di 100 x 100 m, creando uno strato per ogni categoria dell'uso del suolo. Ogni cella del raster di una variabile ambientale è classificata con una funzione booleana in valori 0/1 (1 = nella cella è presente la variabile ambientale, 0 = la variabile è assente). Lo stesso processo è stato effettuato per le altre variabili disponibili: classi di copertura e di struttura delle formazioni forestali. Gli strati informati delle variabili geografiche (pendenza, esposizione e altitudine) non sono stati trattati.
Per ridurre gli effetti dovuti a eventuali geolocalizzazioni non esatte dei punti di presenza delle specie è stata effettuata la trasformazione degli strati delle variabili ambientali in "distanze": ogni variabile ambientale è rappresentata da uno strato informativo che esprime la distanza, da 0 a ∞, di ogni punto del territorio regionale dalla variabile stessa. In questo modo il modello selezionerà, per la specie considerata, le variabili ambientali che più frequentemente saranno spazialmente associate con i dati di presenza delle specie.
Infine per eliminare la restituzione di valori ridondanti del contributo delle variabili selezionate dal modello sono state scartate dal set finale le variabili autocorrelate (indice r di correlazione lineare di Pearson) attraverso un processo di esclusione progressiva basato sul numero di correlazioni rilevate con valori del coefficiente $r \geq +/- 0.7$ fino ad ottenere una matrice di 24 variabili indipendenti per la CUS IV livello e 19 per la CUS III livello utilizzate per elaborare i modelli di idoneità ambientale.

Codice	Descrizione	Area (ha)
11	Antropizzazione densa	115931,2
12	Antropizzazione rada	18222,36
21	Seminativi non irrigui	392128,3
211	Agricoltura artificiale	15010,29
212	Seminativi irrigui	142032,1
22	Colture arboree	208626,1
224	Castagneti	56675,88
225	Superfici a copertura erbacea densa	6458,069
23	Conifere termofile	54440,16
24	Sistemi particellari complessi	15721,42
241	Colture associate a spazi naturali	27474,86
31	Querceti caducifogli	217287,8
311	Formazioni miste di valloni e forre	3328,631
312	Faggete termofile	5354,626
313	Faggete montane	80723,67
3131	Querceti sempreverdi	46860,14
3132	Conifere	14930,57
314	Boschi igrofili	83580,91
315	Orno-ostrieti	15279,93
32	Cespuglieti d'altitudine	11680,46
321	Praterie primarie	42900,8
322	Cespuglieti dinamici	54347,89
323	Praterie secondarie	43244,4
324	Spiagge	13354,76
33	Macchia termofila	1266,517
332	Falesie	154,06
333	Ambiti rupicoli	3949,7
334	Ambiente ripariale	6152,439
41	Paludi	786,251
45	Zone umide alofile	1088,551
51	Bacini	22266,02

Codice	Descrizione	Area in(ha)
11	Antropizzazione densa	111399
12	Antropizzazione rada	17856
22	Colture Arboree	209883
23	Superfici a copertura erbacea densa	54051
33	Spiagge	1050
211	Seminativi non irrigui	410071
212	Seminativi in aree irrigue	153902
224	Altre colture permanenti	1429
242	Sistemi colturali e particellari complessi	15576
243	Colture associate a spazi naturali	17368
311	Boschi di latifoglie	512833
312	Conifere termofile	6223
313	Boschi misti	754
314	Conifere	11703
321	Aree a pascolo naturale e praterie	84813
322	Brughiere e cespuglieti	63666
323	Macchia termofila	12710
332	Scogliere con vegetazione rada a *Limonium sp. e Crithmum maritimum*	26
333	Ambiti rupicoli	3795
411	Paludi	640
422	Zone umide alofile	1065
511	Ambiente ripariale	3983
512	Bacini	22357

Tabelle 6 e 7: Codice, descrizione ed estensione delle categorie accorpate della CUS IV livello (sx) e della CUS III livello (dx).

Sono state trattate in ambiente GIS e utilizzate per i modelli anche le variabili ambientali relative alla copertura e alla struttura forestale che derivano dalla carta delle formazioni forestali realizzata nell'ambito della CUS IV livello e le variabili geografici relative all'altitudine, alla pendenza e all'esposizione del territorio (tab. 8).

Codice	Descrizione
Cop_0	Assenza di copertura arborea
Cop_1	Non bosco= copertura arborea < 10%, arbusteti con copertura arborea < 50%
Cop_2	10%<Copertura arborea>50%
Cop_3	Copertura arborea > 50%
Cop_4	Arbusteti con copertura arborea >50% con eventuale compresenza di arbusteti <50% e bosco < 10%
Strutt_0	No bosco
Strut_1	ceduo
Strut_2	fustaia
Strut_3	Altro: soprassuolo a struttura composita
DTM	altitudine
Pendenza	pendenza
Esposizione	esposizione

Tabella 8: Le variabili ambientali utilizzate relative alla copertura, alla tipologia forestale e alle caratteristiche geografiche del territorio regionale.

I due set finali utilizzati sono composti di 34 variabili per il set contenente la CUS IV e 27 per il set contenente la CUS III.

Tutte le elaborazioni sono state effettuate utilizzando il software ArcGis 10.1, e Q_GIS 2.6 Brighton.

2.5. La validazione dei modelli e le chimere

Per definire l'affidabilità dei due modelli utilizzati per elaborare l'idoneità ambientale per le otto specie indagate è stato scelto di utilizzare otto specie virtuali, progettate e costruite in ambiente GIS, la cui distribuzione e modello di idoneità ambientale sono stati definiti a priori (Hirzel et al., 2001). Infatti, sebbene le prime simulazioni effettuate sia con ENFA che con MaxEnt utilizzando gli stessi set di dati di presenza delle specie abbiano ottenuto una performance elevata in termini statistici (valori di alta attendibilità sia dell'AUC per MaxEnt e sia dell'indice di Boyce per ENFA), hanno restituito, mappe di idoneità ambientale con chiare diversità nella classificazione, dimensione e localizzazione spaziale delle aree (fig. 22), evidenziando uno degli aspetti più critici nell'uso dei modelli matematici applicati all'ecologia delle specie: l'affidabilità e la validazione. Negli ultimi anni, inoltre, diversi autori hanno confrontato l'uso di diversi indici per misurare la capacità predittiva dei modelli suggerendo in alcuni casi l'uso di indici alternativi rispetto, per esempio, all'AUC (Hirzel et al., 2006; Lobo et al., 2008).

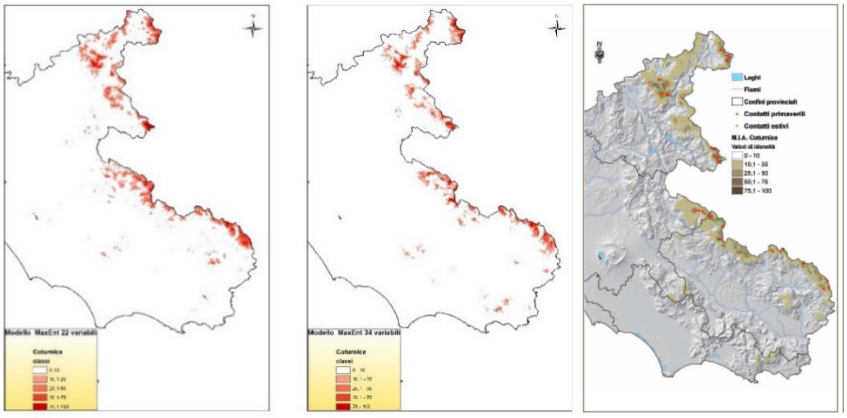
I modelli si fondano sull'assunto che ogni specie seleziona il proprio habitat sulla base di un set ideale di valori per ciascuna variabile ambientale che caratterizza l'habitat da cui discendono due corollari: che i punti in cui viene rilevata la presenza di una specie riflettano le migliori condizioni dell'habitat per la specie nell'area indagata e che tali condizioni corrispondano alle condizioni dell'habitat ideale per la specie (Boitani & Powell, 2012). Tali assunzioni sono difficili da verificare. I dati di localizzazione delle specie, infatti, possono essere affetti da un errore di geolocalizzazione dovuto a diversi fattori: la sensibilità degli strumenti utilizzati, la capacità del rilevatore, le condizioni metereologiche al momento della raccolta dei dati, l'osservabilità della specie ed infine l'assenza di una raccolta sistematica e standardizzata dei dati. Ciò

comporta che il dato potrebbe essere georeferenziato in tipologie (variabili) ambientali i cui valori non rappresentano necessariamente l'*optimum* per la specie e che i modelli, quindi, potrebbero restituire livelli di probabilità di presenza o classificazioni di idoneità del territorio non affidabili. Inoltre, le variabili ambientali cartografabili disponibili per la modellistica, escludendo quelle geografiche (altimetria, pendenza, esposizione) e fisiche (temperatura, umidità relativa ecc.), derivano da classificazioni del territorio che possono contenere diversi livelli descrittivi basati su definizioni fortemente influenzate dalla visione e uso del territorio da parte della componente antropica. Infine la presenza di una specie in una determinata categoria ambientale potrebbe non essere associata alla variabile considerata ma ad altri fattori non noti. La validazione dei modelli rappresenta quindi un aspetto cruciale per le potenziali applicazioni dei risultati che ne derivano sia nell'implementazione di piani di monitoraggio sia nella pianificazione di azioni di conservazione della biodiversità.

Sebbene la verifica dell'affidabilità di un modello possa essere effettuata anche con campioni di dati reali di controllo, in questa ricerca è stato scelto di verificarne l'affidabilità utilizzando alcune specie virtuali "chimere", la cui distribuzione e modello di idoneità ambientale sono stati definiti a priori (Hirzel et al., 2001; Elith et al., 2009). Per le chimere sono stati poi analizzati i modelli di idoneità ambientale ottenuti applicando ENFA e MaxEnt utilizzando diversi set di dati di presenza e i due set di variabili ambientali definiti nel paragrafo precedente.

La validazione dei modelli è stata effettuata applicando le più appropriate tipologie di analisi:

- analisi statistiche: modellizzazione attraverso funzioni di regressione lineare, analisi della varianza univariata multifattoriale, test post hoc di Tukey e di Fischer per il confronto tra la distribuzione dei valori delle variabili ambientali definiti a priori e quelle elaborate dai modelli;
- confronto spaziale tra le aree di idoneità definite a priori e quelle restituite dai modelli;
- confronto tra le variabili ambientali utilizzate per la definizione dell'idoneità del territorio per le specie chimera e quelle individuate dai modelli come determinanti per la definizione degli stessi.



Alectoris graeca					
Classi di idoneità	***0-0,1***	***0,1-0,25***	***0,25-0,5***	***0,5-0,75***	***0,75-1***
Area (ha) Maxent (CUS III)	1.693.813	11.757	8.137	4.340	368
Area (ha) Maxent (CUS IV)	1.697.361	11.045	6.491	2.854	757
Area (ha) ENFA (CUS III)	1.588.584	98.2 52	18.282	4.259	1.3 65

Figura. 22: Classificazione ed estensione delle aree a diversa idoneità ottenute per la specie *Alectoris graeca* utilizzando lo stesso set di dati di presenza ma diversi set di variabili ambientali con ENFA e MaxEnt.

2.5.1 Costruzione delle distribuzioni e delle idoneità ambientali delle chimere

La distribuzione e l'idoneità ambientale delle chimere sono state progettate e costruite ispirandosi alle caratteristiche ecologiche delle 8 specie di uccelli presentate nel paragrafo 2.3.

Le caratteristiche ecologiche delle specie di riferimento sono state definite utilizzando la frequenza di presenza delle specie rilevata in diverse tipologie ambientali riportata nel Nuovo Atlante degli Uccelli Nidificanti nel Lazio (Brunelli et al., 2010).

Per la costruzione delle chimere è stato fatto riferimento alla procedura utilizzata da Hirzel et al. (2001) per la validazione dei modelli di idoneità ambientale attraverso l'uso di specie virtuali.

Ogni singola chimera, quindi, è stata generata creando una nicchia ecologica simulata in uno spazio multidimensionale. Il modello di nicchia ecologica simulata è definito da un coefficiente di nicchia, H, che esprime la probabilità di ogni cella, in cui è stato suddivido il territorio indagato, di appartenere alla nicchia ($H \in$ 0-1). Ad ogni variabile ambientale selezionata per la chimera è stato assegnato un peso specifico ed applicata una "funzione di nicchia" che ne definisce e quantifica il range spaziale di utilizzo e l'idoneità (in una scala di valori compresi tra 0 e 1) in accordo con quanto riportato per le specie reali di riferimento. Ogni variabile è espressa dal coefficiente parziale di nicchia, H_i, la media pesata dei coefficienti parziali di nicchia restituisce l'idoneità globale dell'habitat per ogni cella (100 m di lato) in cui è stato suddiviso il territorio secondo l'equazione:

$$H = \frac{1}{\sum w_i} \sum w_i \, H_i + \varepsilon$$

dove:

H = idoneità dell'habitat nella cella

w_i = è il peso assegnato al i-esimo coefficiente parziale di nicchia

H_i è valore del i-esimo coefficiente parziale di nicchia

ε = valore casuale (coefficiente stocastico).

Il criterio generale adottato per l'attribuzione del peso alle singole variabili è stato basato sulla frequenza relativa di presenza osservata della specie di riferimento nelle tipologie ambientali, in tabella 9 sono riportati i criteri e i pesi utilizzati.

Frequenza	Peso
>10% e <20%	1
≥ 20%	1,5
≥ 40%	2

Tabella 9: Criteri di attribuzione del peso alle variabili ambientali *sensu* Hirzel et al. , 2001.

Le variabili ambientali sono state trattate applicando differenti funzioni di nicchia:

- funzione booleana (uso/non uso) che restituisce in ambiente GIS strati informativi con valori 0/1 (0 = non uso/non idoneo, 1= uso/idoneo);
- funzione lineare troncata che restituisce in ambiente GIS strati informativi con valori crescenti/decrescenti dell'idoneità del territorio all'aumentare della distanza dalla variabile stessa fino un valore soglia (per esempio: idoneità massima = 1 all'interno di una tipologia forestale e decrescente fino al valore soglia di distanza dalla tipologia forestale fissato a 100 m dove l'idoneità è nulla);
- funzione lineare crescente/decrescente che restituisce in ambiente GIS strati informativi con valori crescenti/decrescenti all'aumentare della distanza dalla variabile ambientale (per esempio: idoneità massima per valori della pendenza pari a 0^o e decrescente all'aumentare del valore di pendenza fino al valore massimo di 90^0 a cui corrisponde il valore di idoneità nulla).

Per l'attribuzione del peso alla variabile dtm_100 (altitudine) è stato seguito un criterio specie specifico: alla funzione di nicchia utilizzata per determinare la distribuzione altitudinale delle specie è stato applicato un fattore moltiplicativo (pari a 1,5 o 2) per quelle specie la cui distribuzione è fortemente condizionata dall'altimetria (per esempio specie che utilizzano tipologie ambientali solo in determinate fasce altimetriche).

L'idoneità globale dell'habitat di ogni chimera è stata ottenuta dalla media pesata delle variabili ambientali così trattate applicando l'equazione riportata sopra. A differenza di quanto effettuato da Hirzel et al. (2001) non è stato utilizzato il coefficiente stocastico ε poiché in questo caso, essendo le chimere costruite con riferimento alle distribuzioni ambientali e altimetriche di specie reali, l'effetto di casualità può essere ritenuto minimo. La mappa di idoneità ambientale creata per ogni chimera riporta per ogni cella (100x100 m) in cui è stato suddiviso il territorio regionale il valore di idoneità dell'habitat in un intervallo che va da 0= idoneità nulla a 100 = idoneità massima.

Tutte le elaborazioni sono state effettuate in ambiente GIS utilizzando il software ArcGis 10.1.

Di seguito viene illustrato, a titolo esemplificativo, il processo di costruzione della mappa di idoneità ambientale di una chimera.

<u>La distribuzione e la mappa di idoneità ambientale della Chimera A</u> (*Ficedula carmelinae*)

Per la classificazione dell'idoneità ambientale del territorio regionale per la chimera A (*Ficedula carmelinae*) è stato fatto riferimento alla specie *Ficedula albicollis* (Balia dal collare). Le variabili ambientali selezionate dalla specie sono state illustrate nel paragrafo 2.3. Nella tabella 10 sono riportate le

variabili ambientali selezionate, i codici identificativi il peso attribuito, secondo i criteri appena descritti, e la funzione di nicchia utilizzata.

Si tratta di una specie che utilizza esclusivamente ambienti forestali, rilevata solo nelle faggete montane in una fascia altitudinale compresa tra 1000 e 1800 m.

CODICE	DESCRIZIONE (CUS IV livello)	PESO	Tipo di funzione
313	Faggete montane	2	booleana
cop_2	Copertura: bosco tra 10 e 50%	1	booleana
cop_3	Copertura: bosco > 50%	1,5	booleana
Dtm_100	ALTITUDINE (1000-1800 m)	2	Lineare crescente

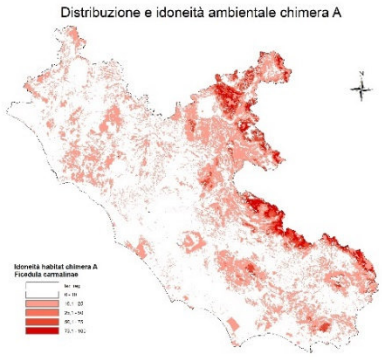
Tabella 10: Variabili ambientali, pesi e media pesata utilizzati per la determinazione della distribuzione e idoneità ambientale della Chimera A (*Ficedula carmelinae*).

In ambiente GIS è stato creato uno strato informativo per ogni variabile ambientale selezionata con le caratteristiche riportate in tabella 10. I file raster delle variabili ottenuti sono costituiti da celle (pixel) di dimensioni 100 x100 m che ricoprono l'intero territorio regionale (n. tot pixel = 1.718.508, corrispondente ad altrettanti ha) a cui è associato un valore di idoneità ambientale secondo la funzione di nicchia utilizzata. Per esempio lo strato informativo della variabile 313 (faggete montane) è costituito da pixel a cui è associato il valore 1 quando il pixel ricade a distanza di 0 metri dalla faggeta, 0 quando ricade a una distanza superiore. L'idoneità globale del territorio regionale per la chimera A è ottenuta dalla media pesata del coefficiente parziale di nicchia H_i di ogni variabile ambientale per ogni pixel utilizzando, nel caso specifico della chimera A, l'equazione corrispondente è:

$$H_i = (2*313 + cop_2 + 1{,}5* cop_3 + 2*dtm_100) / 5{,}5$$

dove H_i è il valore di idoneità del pixel i.

La media pesata restituisce per ogni pixel valori compresi nell'intervallo 0-100 (0= idoneità nulla, 100= massima idoneità). La mappa ottenuta è stata riclassificata in 5 classi di idoneità ambientale (fig. 23 e tab.11).



Classi	Idoneità
0-10	nulla
10,1-25	bassa
25,1-50	medio bassa
50,1-75	medio alta
75,1-100	alta

Tabella 11: Classi di idoneità ambientale

Figura 23: Idoneità dell'habitat per la chimera A (*Ficedula carmelinae*)

Il procedimento illustrato per la creazione delle mappe di idoneità ambientale è stato ripetuto per le 8 specie chimera. Le tabelle 12-18 riassumono le caratteristiche ecologiche della specie di riferimento, le variabili

ambientali utilizzate, il peso attribuito ad ogni variabile, la funzione di nicchia e la media pesata applicata per ogni chimera.

CHIMERA B (*Dendrocopos lucianae*)				
Specie di riferimento	Var. amb.	Descrizione	Peso	Funzione
Picchio dalmatino *Dendrocopos leucotos*	313	Faggete montane	2	Booleana
	Dtm_100	Altitudine (1000-1800 m)	1,5	Lineare Troncata
Media pesata: $H_i = (2 \cdot 313 + 1{,}5 \cdot \text{dtm_100})/3{,}5$				

Tabella 12: Specie di riferimento, variabili ambientali, pesi e media pesata utilizzati per la determinazione della distribuzione e idoneità ambientale della Chimera B (*Dendrocopos lucianae*)

CHIMERA C (*Alectoris scalisii*)				
Specie di riferimento	Var.amb.	Descrizione	Peso	Funzione
Coturnice *Alectoris graeca*	32	Cespuglieti d'altitudine	1,5	Booleana
	321	Praterie primarie	2	Booleana
	323	Praterie secondarie	2	Booleana
	Dtm_100	Altitudine (100-1800 m)	3	Lineare Troncata
Media pesata: $H_i = (1{,}5 \cdot 32 + 2 \cdot 321 + 2 \cdot 323 + 3 \cdot \text{dtm_100})/8{,}5$				

Tabella 12: Specie di riferimento, variabili ambientali, pesi e media pesata utilizzati per la determinazione della distribuzione e idoneità ambientale della Chimera C (*Alectoris scalisii*)

CHIMERA D (*Melanocoripha sinibaldii*)				
Specie di riferimento	Var. amb.	Descrizione	Peso	Funzione
Calandra *Melanocoripha calandra*	21	Seminativi non irrigui	1,5	Booleana
	212	Seminativi irrigui	1,5	Booleana
	23	Superfici a copertura erbacea densa	1	Booleana
	24	Sistemi particellari complessi	1	Booleana
	323	Praterie secondarie	1	Booleana
	Cop_4	Arbusteti copertura arborea >50% eventuale compresenza arbusteti <50% e bosco < 10%	1	Booleana
	Dtm_100	Altitudine (0-500 m)	1,5	Lineare troncata decrescente
Media pesata: $H_i = (1{,}5 \cdot 21 + 1{,}5 \cdot 212 + 23 + 24 + 323 + \text{cop_4} + \text{dtm_100})/3$				

Tabella 13: Specie di riferimento, variabili ambientali, pesi e media pesata utilizzati per la determinazione della distribuzione e idoneità ambientale della Chimera D (*Melanocoripha sinibaldii*)

CHIMERA G (*Anthus capizzii*)				
Specie di riferimento	Var. amb.	Descrizione	Peso	Funzione
Calandro *Anthus campestris*	32	Cespuglieti d'altitudine	2	Booleana
	321	Praterie primarie	2	Booleana
	241	Colture associate a spazi naturali	2	Booleana
	323	Praterie secondarie	2	Booleana
	Strut_0	No bosco	2	Booleana
	Dtm_100	Altitudine (0-2000 m)	1,5	Lineare crescente
Media pesata: $H_i = (2{\cdot}32 + 2{\cdot}321 + 2{\cdot}241 + 2{\cdot}323 + 2{\cdot}\text{strut_0} + \text{cop_4} + 1{,}5{\cdot}\text{dtm_100})/5$				

Tabella 14: Specie di riferimento, variabili ambientali, pesi e media pesata utilizzati per la determinazione della distribuzione e idoneità ambientale della Chimera G (*Anthus capizzii*).

CHIMERA H (*Pernis monaci*)				
Specie di riferimento	Var. amb.	Descrizione	Peso	Funzione
Falco pecchiaiolo *Pernis apivorus*	224	Castagneti	2	Booleana- buffer
	31	Querceti caducifogli	2	Booleana- buffer
	312	Faggete termofile	2	Booleana- buffer
	3131	Querceti sempreverdi	2	Booleana- buffer
	Cop_3	Copertura arborea > 50%	1,5	Booleana- buffer
	Dtm_100	Altitudine (0-750 m)	1	Booleana
Media pesata: $H_i = [(2 \cdot 224 + 2 \cdot 31 + 2 \cdot 312 + 2 \cdot 3131 + 1{,}5 \cdot \text{cop_3}) \cdot \text{dtm_100})]/7{,}5$				

Tabella 15: Specie di riferimento, variabili ambientali, pesi e media pesata utilizzati per la determinazione della distribuzione e idoneità ambientale della Chimera H (*Pernis monaci*)

CHIMERA I (*Circaetus sarrocci*)				
Specie di riferimento	Var. amb.	Descrizione	Peso	Funzione
Biancone *Circaetus gallicus*	23	Superfici a copertura erbacea densa	1,5	Booleana
	31	Querceti caducifogli	2	Booleana
	312	Faggete termofile	2	Booleana
	311	Formazioni miste di valloni e forre	1,5	Booleana
	313	Faggete montane	1	Booleana
	3131	Querceti sempreverdi	2	Booleana
	322	Cespuglieti dinamici	1	Booleana
	323	Praterie secondarie	2	Booleana
	324	Macchia termofila	1	Booleana
	Cop_3	Copertura arborea > 50%	2	Booleana
	Cop_4	Arbusteti cop. Arb. >50% eventuale compr. arbusteti <50% e bosco < 10%	2	Booleana
	241	Colture associate a spazi naturali	1	Booleana
	Dtm_100	Altitudine (0-750 m)	1	Lineare dec. troncata
Media pesata: $Hi = (1{,}5 \cdot 23 + 2 \cdot 31 + 1{,}5 \cdot 311 + 2 \cdot 312 + 313 + 2 \cdot 3131 + 322 + 2 \cdot 323 + 324 + 2 \cdot \text{cop_3} + 2 \cdot \text{cop_4} + 241) \cdot \text{dtm_100})/4$				

Tabella 16: Specie di riferimento, variabili ambientali, pesi e media pesata utilizzati per la determinazione della distribuzione e idoneità ambientale della Chimera I (*Circaetus sarrocci*)

CHIMERA L (*Milvus cerfollii*)				
Specie di riferimento	Var. amb.	Descrizione	Peso	Funzione
	212	Seminativi irrigui	1	
	224	Castagneti	2	
Nibbio bruno *Milvus migrans*	23	Superfici a copertura erbacea densa	1	Booleana
	24	Sistemi particellari complessi	1	
	241	Colture associate a spazi naturali	1	
	31	Querceti caducifogli	2	Booleana
	312	Faggete termofile	2	Booleana
	311	Formazioni miste di valloni e forre	1	Booleana
	314	Orno-ostrieti	1	
	315	Boschi igrofili	2	
	3131	Querceti sempreverdi	2	Booleana
	322	Cespuglieti dinamici	1	Booleana
	323	Praterie secondarie	1	Booleana
	324	Macchia termofila	1	Booleana

	334	Ambiente ripariale	2	Booleana
	Dtm_100	Altitudine (0-1000m)	1	Lineare decr. troncata
Media pesata: Hi = $[(212 + 2 \cdot 224 + 23 + 24 + 241 + 2 \cdot 31 + 2 \cdot 312 + 311 + 314 + 2 \cdot 315 + 2 \cdot 3131 + 322 + 323 + 324 + 2 \cdot 334) \cdot \text{dtm_100})]/2$				

Tabella 17: Specie di riferimento, variabili ambientali, pesi e media pesata utilizzati per la determinazione della distribuzione e idoneità ambientale della Chimera L (*Milvus cerfollii*)

Per l'elaborazione delle distribuzioni delle chimere sono stati immaginati due scenari, seguendo l'approccio utilizzato da Hirzel et al. (2002) per la validazione dei modelli attraverso le specie virtuali. Il primo scenario rappresenta una condizione in cui è presente una bassa competizione interspecifica che consente alla chimera di occupare/utilizzare soprattutto le aree ad alta idoneità. Nel secondo scenario la specie è sottoposta a un più alto livello di competizione interspecifica ed occupa/utilizza anche aree ad idoneità più bassa. Gli scenari sono stati realizzati estraendo due serie di punti di presenza da utilizzare successivamente per testare i modelli di idoneità dell'habitat ottenuti utilizzando MaxEnt ed ENFA. Le due serie di punti sono state create al fine di rappresentare le due differenti distribuzioni. La serie 2 rappresenta una distribuzione in condizioni di bassa competizione interspecifica in cui la specie occupa per il 95% le celle (pixel) ad idoneità ambientale alta e medio alta (classi 5 e 4). La serie 1 rappresenta una distribuzione in condizioni con più alto grado di competizione interspecifica rispetto alla serie 1 in cui la specie occupa anche celle ad idoneità più bassa.

Le due condizioni sono state definite attribuendo differenti pesi alle 5 classi di idoneità ambientale, in cui è stato classificato il territorio regionale per ogni specie chimera (tab.11) ed assumendo che i punti di presenza delle specie siano quindi distribuiti in modo stratificato rispetto ai pesi attribuiti e alla superficie di ogni classi di idoneità. Nella tabella 18 sono riportati i pesi attribuiti alle classi di idoneità per le due condizioni ipotizzate. Infine per l'elaborazione dei modelli è stato estratto un campione stratificato (in base all'estensione e ai pesi attribuiti alle classi di idoneità ambientale) di punti di presenza per ogni chimera. Al fine di testare la capacità predittiva dei modelli anche rispetto al numero di punti di presenza utilizzati sono stati estratti e utilizzati, per ogni serie, campioni di diversa dimensione: N= 100 e N=30.

L'estrazione random stratificata dei punti di presenza è stata effettuata utilizzando la funzione:

$$C_n = P_n \frac{\frac{a_n}{A}}{N}$$

Dove:

C_n= numero di punti nella classe n
P_n=proporzione della classe n
a_n= area della classe n
A= area totale
N=numero di classi

Serie 1		Serie 2	
Classe idoneità	Peso in %	Classe idoneità	Peso in %
0-10	0	0-10	0
10,1-25	2	10,1-25	5
25,1-50	3	25,1-50	15
50,1-75	20	50,1-75	25
75,1-100	75	75,1-100	55

Tabelle 18: I punti di presenza delle chimere si assume siano distribuiti in modo stratificato secondo i pesi attribuiti alle classi di idoneità ambientale

2.5.2 I modelli delle chimere

Per ogni chimera sono stati realizzati 20 modelli di idoneità ambientale (per un totale di 20 x 8 = 160 modelli) utilizzando 4 campioni estratti per le 2 serie di punti di presenza e i 2 set di variabili ambientali contenenti la CUS III livello e la CUS IV livello (tab.19).

SERIE	CAMPIONE (N)	CUS	MODELLO (E/M/A)
Serie1	100_1	CUS III	M_100_1_III
Serie1	100__2	CUS III	M_100_2_III
Serie1	30_1	CUS III	M_30_1_III
Serie1	30_2	CUS III	M_30_2_III
Serie1	100_1	CUS III	E_100_1_III
Serie1	100__2	CUS III	E_100_2_III
Serie1	30_1	CUS III	E_30_1_III
Serie1	30_2	CUS III	E_30_2_III
Serie1	30_1	CUS III	A_30_1_III
Serie1	30_2	CUS III	A_30_2_III
Serie 2	100_1	CUS IV	M_100_1_IV
Serie 2	100__2	CUS IV	M_100_2_IV
Serie 2	30_1	CUS IV	M_30_1_IV
Serie 2	30_2	CUS IV	M_30_2_IV
Serie 2	100_1	CUS IV	E_100_1_IV
Serie 2	100__2	CUS IV	E_100_2_IV
Serie 2	30_1	CUS IV	E_30_1_IV
Serie 2	30_2	CUS IV	E_30_2_IV
Serie 2	30_1	CUS IV	A_30_1_IV
Serie 2	30_2	CUS IV	A_30_2_IV

Tabella 19: Serie e dimensione del campione dei punti di presenza, set di variabili ambientali e software utilizzato per l'elaborazione dei modelli di idoneità ambientale di ogni chimera. M= MaxEnt, E= ENFA (funzione utilizzata: media geometrica) , A= ENFA (funzione utilizzata: media armonica).

Per le serie 30_1 e 30_2 (campioni delle serie 1 e 2 con 30 punti di presenza) sono stati realizzati i modelli con ENFA utilizzando anche l'algoritmo della media armonica che attribuisce un peso elevato alle osservazioni enfatizzando l'importanza delle variabili ambientali misurate nei punti di presenza, questo algoritmo può rivelarsi utile quando i campioni sono di piccole dimensioni (Hirzel et al., 2003).

Nell'appendice II sono riportate i 160 modelli di idoneità ambientale ottenuti per ogni chimera.

2.5.3 Data analysis

Le distribuzioni dei valori di idoneità del territorio costruite per le chimera sono state confrontate con quelle risultanti dai 20 modelli, testando un campione random di 34.368 pixel pari al 2% del territorio regionale. Il confronto è stato effettuato attraverso la modellizzazione della regressione lineare. Dato che il coefficiente di regressione R^2 assume valori compresi tra 0 e 1 dove 1 indica che le distribuzioni possono ritenersi identiche (Zar, 1998), valori risultanti del coefficiente di regressione forniscono una misura della capacità predittiva del modello. Sui valori dei coefficienti di regressione ottenuti per i modelli è stata effettuata un ANOVA (I.C.= 95%, α = 0,05) e i test post hoc HSD di Tukey, Honestly Significant Difference, e LSD di Fischer, Least Significant Difference, (Zar, 1998) al fine di individuare il o i fattori (software, serie, cus, dimensione del campione dei punti di presenza) che determinano differenze statisticamente significative tra i modelli. Le analisi statistiche sono state effettuate con il software XLSTAT 2015. E' stato inoltre effettuato, propositivamente, un confronto spaziale tre le aree individuate dai modelli e quelle definite per le chimere, estraendo almeno il 30% del territorio a maggior idoneità definito per le chimere e di quello individuato dai modelli. Il territorio è stato selezionato sommando a decrescere i pixel a maggiore idoneità ambientale fino al valore soglia del 30% equivalente a circa 515.552 ha. Per le chimere che utilizzano una porzione ridotta del territorio regionale inferiore al 30 % la percentuale di sovrapposizione spaziale è stata calcolata quasi per l'intera distribuzione della chimera. Infine è stata effettuata una verifica della sovrapposizione spaziale delle aree ad alta idoneità selezionando e sovrapponendo i pixel con valore ≥ 50 (tab. 20-21).

VALORE IDONEITÀ	N. PIXEL	SOMMA (1pixel= 1ha)	Area %
88	3	3	0,0
87	46	49	0,0
86	158	207	0,0
85	576	783	0,0
84	948	1.731	0,1
83	1707	3.438	0,2
82	2009	5.447	0,3
24	5422	103.392	6,0
23	8478	111.870	6,5
22	**411752**	**523.622**	**30,5**
21	1341	524.963	30,5
20	1440	526.403	30,6
19	1957	528.360	30,7

..

VALORE IDONEITÀ	N. PIXEL	SOMMA (1pixel= 1ha)	Area %
88	3	3	0,0
87	46	49	0,0
86	158	207	0,0
85	576	783	0,0
84	948	1.731	0,1
83	1707	3.438	0,2
.....	.....	.....	.....
70	4990	60.965	3,5
52	22	81.211	4,7
51	17	81.228	4,7
50	**35**	**81.263**	**4,7**
49	25	81.288	4,7
48	34	81.322	4,7

Tabelle 20-21: modalità di selezione dei pixel per il confronto della sovrapposizione spaziale tra le aree utilizzate dalle chimere e quelle individuate dai modelli, a sx, e tra le aree ad alta idoneità della chimera e quelle individuate dai modelli, a dx.

La sovrapposizione spaziale è stata effettuata per le aree dei modelli che hanno evidenziato significatività ai test statistici (ANOVA e post hoc di Tukey e di Fischer) o per i modelli con valori più alti del coefficiente R^2. I confronti spaziali sono stati effettuati in ambiente GIS utilizzando il software ArcGis 10.1.
Infine è stata analizzata la capacità predittiva dei modelli rispetto all'individuazione delle variabili ambientali che maggiormente contribuiscono alla definizione dell'idoneità ambientale del territorio regionale per ogni chimera. Tale analisi deriva dal confronto comparato tra le variabili utilizzate per la costruzione delle chimere e quelle individuate dal test Jackknife per MaxEnt e l'analisi fattoriale per ENFA (cfr. par 2.4.1 e par. 2.4.2)

2.6. I modelli delle specie

I fattori (software, serie, CUS) dei modelli che hanno restituito valori più alti del coefficiente di regressione e significatività statistica sono stati poi utilizzati per elaborare i modelli delle specie reali di riferimento.
Per ogni specie è stato utilizzato un set di almeno 30 punti di presenza (estratti casualmente) in coerenza con i risultati ottenuti dalla validazione statistica che ha individuato differenze significative e medie stimate del coefficiente di regressione più elevate per la serie 30_2. Per le specie *Alectoris graeca* (Coturnice) e *Dendrocopos leucotos* (Picchio dalmatino) i cui set dei dati di presenza sono inferiori alle 30 unità, sono stati utilizzati tutti i dati disponibili.
I dati di presenza utilizzati derivano dalla banca-dati prodotta nell'ambito del progetto Nuovo Atlante degli Uccelli Nidificanti del Lazio (Brunelli et al., 2011).
Per le otto specie selezionate sono stati realizzati i modelli di idoneità ambientale utilizzando il software MaxEnt e la CUS III livello in coerenza con i risultati delle analisi statistiche (cfr. par 3.2).
I modelli ottenuti, sono stati riclassificati a distinguere 5 classi idoneità ambientale (tab.11). Tutti i punti di presenza delle specie sono stati proiettati sulle mappe di idoneità ed è stata analizzata la % di associazione spaziale tra i punti di presenza e le classi di idoneità individuate dal modello con valore di idoneità ≥ 50.
Infine è stata analizzata la capacità dei modelli nell'individuazione delle variabili ambientali che influenzano la distribuzione delle specie confrontando i risultati ottenuti dall'analisi Jackknife con le distribuzioni riportate in Brunelli et al.,2011.

3. Risultati

Le righe che seguono introducono e riassumono i risultati delle analisi statistiche e spaziali effettuate.
La verifica della qualità delle banche dati disponibili per le specie tutelate dalle due Direttive europee, DH e DU, e degli assunti che sono alla base dell'utilizzo dei modelli induttivi per l'elaborazione dei modelli di idoneità ambientale ha portato a selezionare otto specie del gruppo *Aves* (inserite nell'allegato I della DU) e i due modelli ENFA e MaxEnt. I modelli selezionati restituendo una classificazione dell'idoneità di un territorio per le specie indagate consentono, potenzialmente, di misurare i parametri "range" e "habitat della specie" come richiesti e definiti dalla DH (cfr. par. 2.2) per il monitoraggio delle stato di conservazione delle specie. Gli strati informativi predisposti per l'applicazione dei due modelli hanno portato alla definizione di due set di variabili ambientali composti da 34 variabili per il set contenente la CUS IV e 27 per il set contenente la CUS III. Le simulazioni preliminari effettuate con i due modelli per le otto specie selezionate, utilizzando gli stessi set di dati di presenza e di variabili ambientali hanno restituito mappe di idoneità ambientali con importanti differenze nella classificazione, dimensione e localizzazione spaziale delle aree evidenziando una delle principali criticità nell'uso della modellistica: la stima dell'affidabilità e la validazione dei risultati prodotti dai modelli. In accordo con altri autori (Hirzel et al., 2006; Lobo et al., 2008) la validazione dei modelli, in questa ricerca, è stata effettuata utilizzando alcune specie virtuali, le chimere, la cui distribuzione e idoneità ambientale è stata definita a priori. Seguendo la metodologia di Hirzel et al., (2001), sono state costruite le distribuzioni e mappe di idoneità ambientale di otto specie chimera per testare l'affidabilità statistica dei due modelli ENFA e MaxEnt. Le chimere riflettono le caratteristiche ecologiche del set di specie reali selezionato per la sperimentazione. Per ogni chimera sono stati elaborati 20 modelli di idoneità ambientale (per un totale di 20 x 8 = 160 modelli). I modelli sono stati elaborati utilizzando i due set di variabili ambientali e diversi set di punti di presenza rappresentativi di due possibili pattern distributivi condizionati da una diversa intensità di competizione interspecifica: bassa intensità = la specie occupa /utilizza principalmente le aree a maggior idoneità, media intensità = la specie occupa /utilizza anche aree a minor idoneità. Le analisi statistiche (modellizzazione attraverso la regressione lineare, ANOVA, test post hoc di Tukey e Fischer) hanno evidenziato i fattori (tipo di software, set di variabili e set di punti di presenza) che hanno determinato le differenze statisticamente significative ottenute, permettendo di individuare le condizioni e i modelli da utilizzare per la misurazione e il monitoraggio dell'idoneità degli habitat per le otto specie protette dalla DU. Dall'analisi spaziale è stata ottenuta la percentuale delle superfici delle aree a maggior idoneità e ad alta idoneità delle chimere individuate correttamente dai modelli. Infine sono stati elaborati i modelli di idoneità ambientale per le otto specie tutelate dalla DU e misurati i valori di sovrapposizione spaziale tra i punti di presenza delle specie e le aree idonee individuate dai modelli. In generale è stato possibile verificare che i modelli di idoneità ambientale prodotti con MaxEnt rappresentano un ottimo strumento per l'implementazione del monitoraggio dei due parametri richiesti dalla DH. I modelli infatti individuano correttamente un campione rappresentativo delle aree in cui attivare le azioni di monitoraggio consentendo di minimizzare il rapporto costo/benefici rispetto a quello ottenuto con l'utilizzo delle metodologie tradizionali.

Di seguito sono riportati i risultati dettagliati di quanto appena riassunto.

3.1. Chimere: le mappe di idoneità ambientale

Seguendo la procedura utilizzata da Hirzel et al.,2001 sono state elaborate le distribuzioni ambientali e le mappe di idoneità ambientale per otto chimere le cui caratteristiche ecologiche fanno riferimento alle specie reali selezionate per questa ricerca (cfr. par. 2.3). Di seguito sono riportate le mappe di idoneità ambientale ottenute per ogni chimera (figure 24-31).

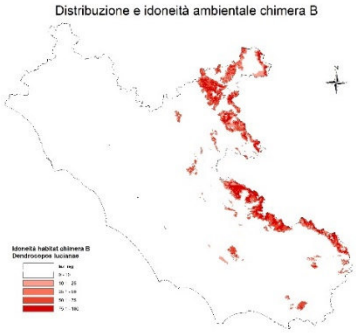


Figura 24: Idoneità dell'habitat per la chimera A (*Ficedula carmelinae*).

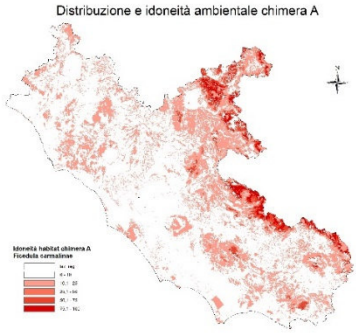


Figura 25: Idoneità dell'habitat per la chimera B (*Dendrocopos lucianae*).

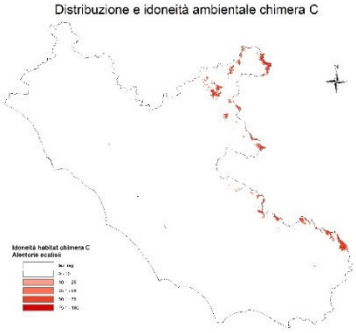


Figura. 26: Idoneità dell'habitat per la chimera C (*Alectoris scalisii*).

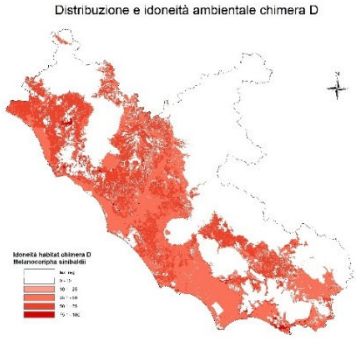


Fig. 27: Idoneità dell'habitat per la chimera D (*Melanocoripha sinibaldii*).

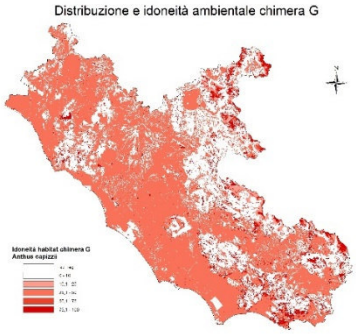


Fig. 28: Idoneità dell'habitat per la chimera G (*Anthus capizzii*).

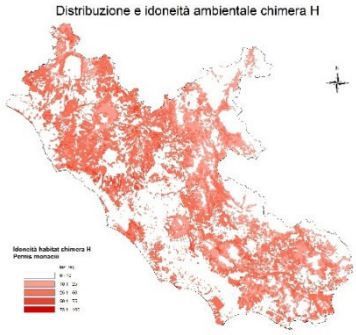


Fig. 29: Idoneità dell'habitat per la chimera H (*Pernis monaci*).

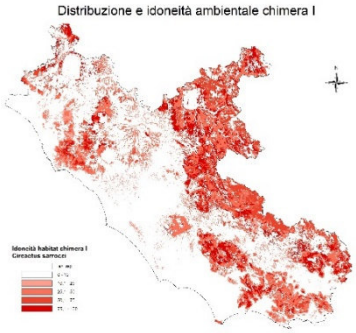


Fig. 30: Idoneità dell'habitat per la chimera I (*Circaetus sarrocci*).

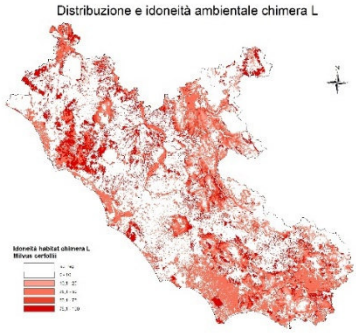


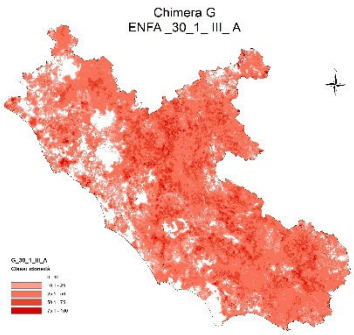
Fig. 31: Idoneità dell'habitat per la chimera L (*Milvus cerfollii*).

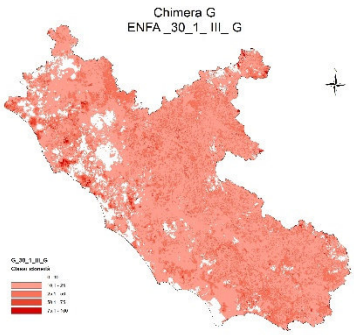
3.2. Chimera vs modelli: data analysis

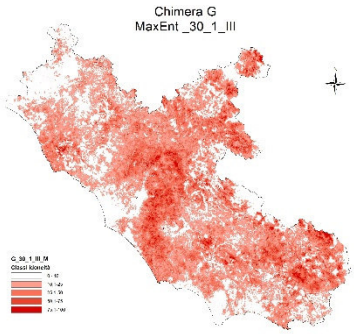
Per ogni chimera sono stati elaborati attraverso MaxEnt ed ENFA 20 modelli di idoneità ambientale (per un totale di 8 x 20 = 160 modelli di idoneità prodotti) utilizzando due differenti set di variabili ambientali (cfr. par. 2.4.3) e due serie di punti di presenza (cfr. par. 2.5.1). I 160 modelli risultanti con l'uso di ENFA e MaxEnt sono riportati nell'appendice II.

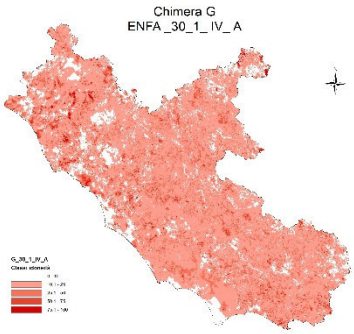
Di seguito sono riportate, in modo esemplificativo, le 20 mappe di idoneità ambientale ottenute per la chimera G, *Anthus capizzii*, dove per ogni mappa di idoneità ambientale sono riportati, in ordine: il modello (ENFA o MaxEnt), il numero e la serie di punti di presenza ("n"_1 e "n"_2 dove n = 30 o n = 100) e il set di variabili ambientale (CUS III e CUS IV) utilizzati. Per i modelli realizzati con ENFA e 30 punti di presenza viene riportata una lettera che indica l'algoritmo utilizzato: G = media geometrica, A = media armonica (cfr. par. 2.4.1).

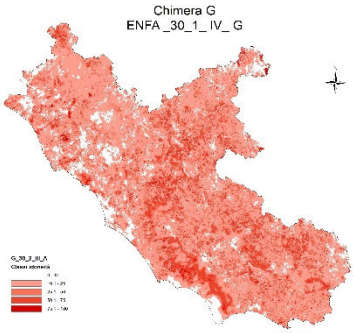
Mappe di idoneità ambientale ottenute per la chimera G, *Anthus capizzii*, dove per ogni mappa di idoneità ambientale sono riportati, in ordine: il modello (ENFA o MaxEnt), il numero e la serie di punti di presenza (”n”_1 e “n”_2 dove n = 30 o n = 100) e il set di variabili ambientale (CUS III e CUS IV) utilizzati.

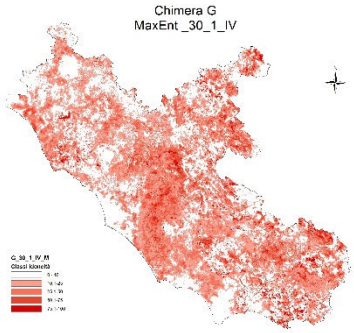


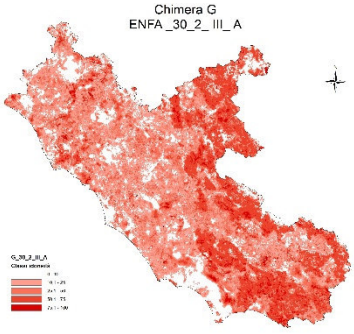


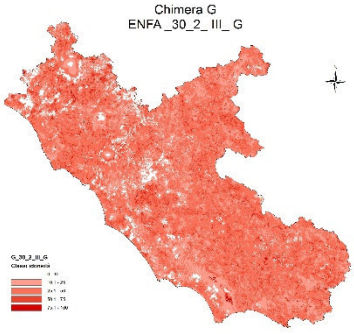




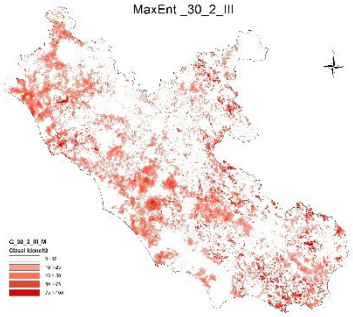




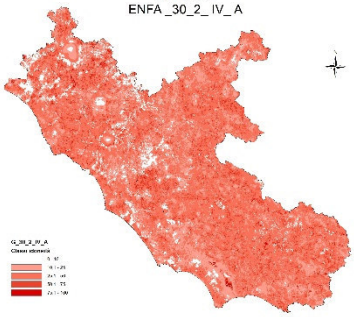




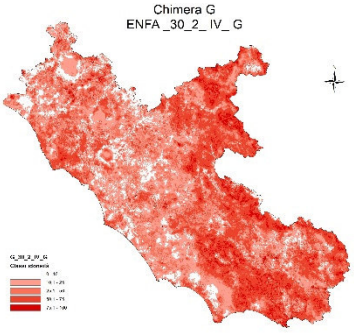
Chimera G
MaxEnt _30_2_III



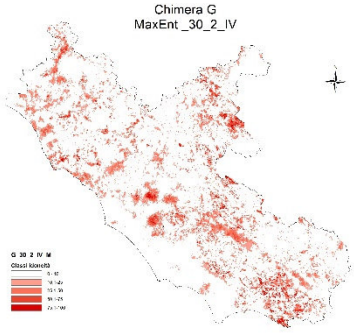
Chimera G
ENFA _30_2_ IV_ A



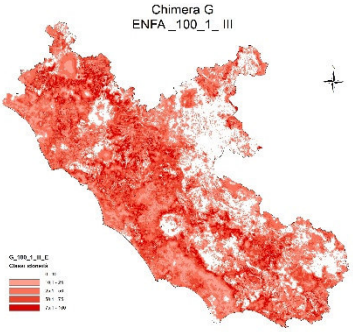
Chimera G
ENFA _30_2_ IV_ G



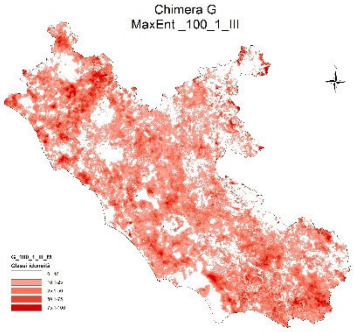
Chimera G
MaxEnt _30_2_IV



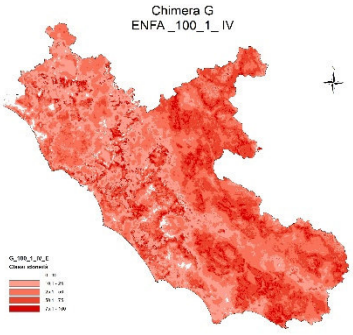
Chimera G
ENFA _100_1_ III



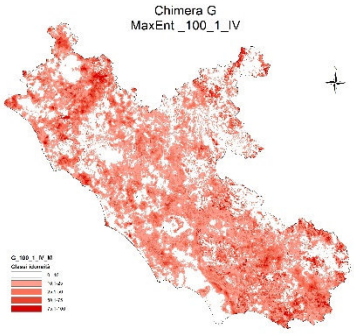
Chimera G
MaxEnt _100_1_III

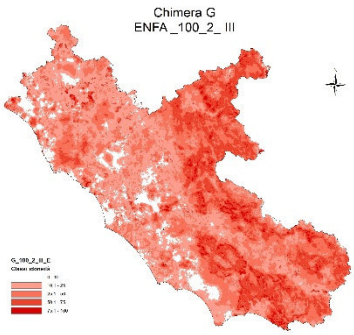


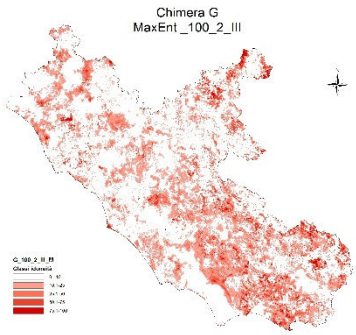
Chimera G
ENFA _100_1_ IV

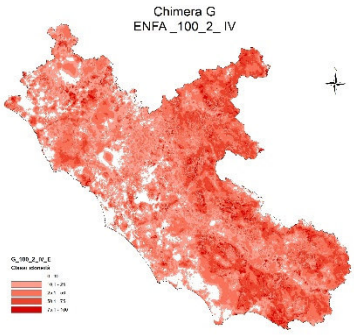


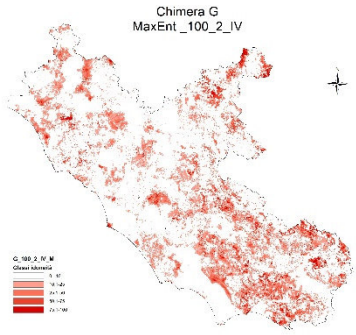
Chimera G
MaxEnt _100_1_IV











Le distribuzioni dei valori di idoneità del territorio costruite per le chimera sono state confrontate con quelle risultanti dai 160 modelli, testando un campione random di 34.368 pixel (34.368 ha) pari al 2% del territorio regionale. Il confronto, effettuato attraverso la modellizzazione della regressione lineare, ha restituito, ad eccezione della Chimera A, valori più alti del coefficiente di correlazione R^2 per i modelli realizzati con MaxEnt, la CUS III livello e le serie di punti 30_1 e 30_2 (tab.29).

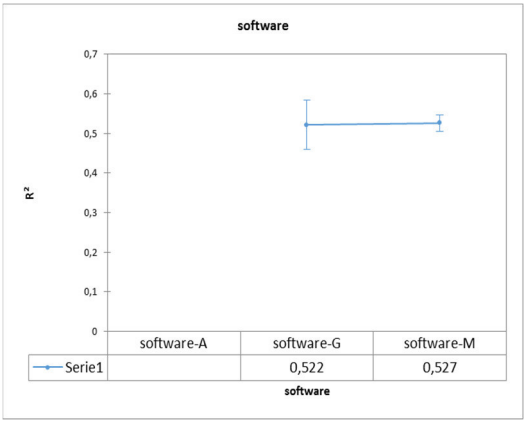
L'analisi della varianza univariata multifattoriale e i test post hoc di Tukey e Fischer hanno generalmente evidenziato differenze significative tra i software utilizzati e le serie dei punti di presenza con l'eccezione della chimera D (vedi dopo). Di seguito sono riportati i risultati ottenuti per ogni chimera.

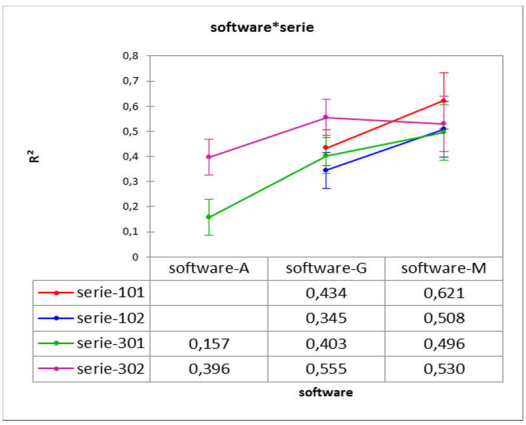
Chimera A (*Ficedula carmelinae)*

I valori più alti del coefficiente di regressione R^2 sono stati ottenuti dal confronto tra la distribuzione dei valori di idoneità definiti a priori per la chimera e quella dei modelli realizzati con MaxEnt utilizzando la serie 30_1 per entrambi i set delle variabili ambientali (CUS III livello, CUS IV livello). Nella tabella 21 sono riportati i valori di R^2 ottenuti dalla modellizzazione della regressione lineare. L'analisi della varianza evidenzia una differenza statisticamente significativa tra i modelli ottenuti ($F_{2,19} = 38{,}784$, $p < 0{,}05$); i test post hoc di Tukey e Fischer non hanno evidenziato alcuna differenza statisticamente significativa né tra i software utilizzati né tra i set delle variabili. Esiste invece una differenza significativa tra le serie 30_1 e 30_2 e nell'analisi del contrasto software *vs* serie restituendo valori delle medie stimate del coefficiente di regressione più elevati per la serie 100_1 utilizzata con il software MaxEnt (fig. 32).

Modello	R^2
A_100_1_III_E	0,509
A_100_1_III_M	0,496
A_100_1_IV_E	0,475
A_100_1_IV_M	0,496
A_100_2_III_E	0,569
A_100_2_III_M	0,564
A_100_2_IV_E	0,530
A_100_2_IV_M	0,496
A_30_1_III_A	0,302
A_30_1_III_G	0,520
A_30_1_III_M	**0,595***
A_30_1_IV_A	0,213
A_30_1_IV_G	0,488
A_30_1_IV_M	**0,599***
A_30_2_III_A	0,431
A_30_2_III_G	0,554
A_30_2_III_M	0,499
A_30_2_IV_A	0,269
A_30_2_IV_G	0,477
A_30_2_IV_M	0,469

Tabella 21: Valori di R^2 ottenuti dall'analisi di regressione lineare chimera *vs* modelli per la chimera A.





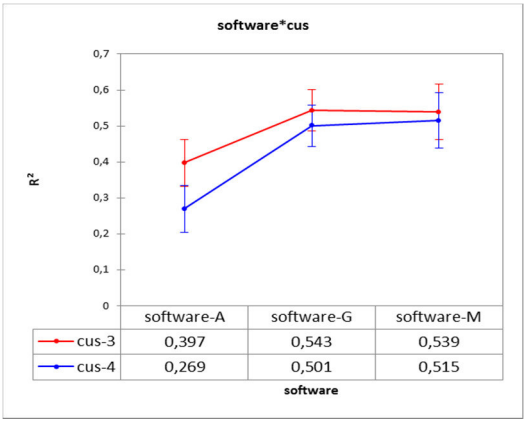


Figura 32. Grafici delle medie dei valori del coefficiente di regressione R^2 ottenuti dall'ANOVA per i modelli di idoneità della chimera A.

Chimera B (*Dendrocopos lucianae*)

I valori più alti del coefficiente di regressione R^2 sono stati ottenuti dal confronto tra la distribuzione dei valori di idoneità definiti a priori per la chimera e quella dei modelli realizzati con MaxEnt utilizzando le serie 100_1 per entrambi i set delle variabili ambientali (CUS III livello, CUS IV livello). Nella tabella 22 sono riportati i valori di R^2 ottenuti dalla modellizzazione della regressione lineare. L'analisi della varianza ha evidenziato una differenza statisticamente significativa tra i modelli ($F_{2,19} = 7{,}231$, $p < 0{,}05$) e i test post hoc di Tukey e Fischer hanno evidenziato una differenza statisticamente significativa tra i software utilizzati con valori delle medie del coefficiente R^2 più elevati per MaxEnt; nessuna differenza significativa emerge tra i due set di variabili ambientali quando viene utilizzato MaxEnt (mentre è evidenziata una differenza significativa tra i set dei dati spaziali con valori delle medie del coefficiente R^2 più elevati per la serie 30_1 (fig. 33).

MODELLI	R^2
B_30_2_iv__A	0,389
B_30_1_iv_A	0,436
B_30_2_iv_G	0,492
B_30_1_iv_G	0,499
B_30_2_IV_M	0,528
B_30_2_iii_A	0,553
B_30_1_III_G	0,559
B_100_1_IV_E	0,559
B_30_1_iii_A	0,563
B_30_2_III_G	0,566
B_30_2_III_M	0,581
B_30_1_III_M	0,598
B_100_1_III_E	0,607
B_30_1_IV_M	0,609
B_100_2_IV_M	0,631
B_100_2_IV_E	0,633
B_100_2_III_M	0,643
B_100_2_III_E	0,667
B_100_1_III_M	**0,670**
B_100_1_IV_M	**0,681**

Tabella 22: Valori di R^2 ottenuti dall'analisi di regressione lineare chimera *vs* modelli per la chimera B.

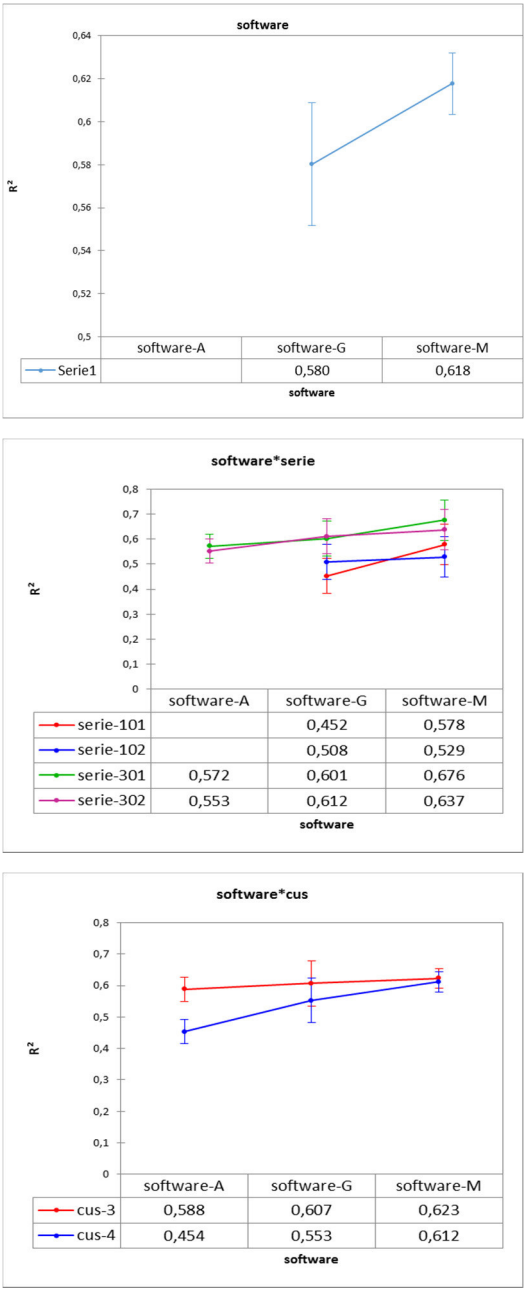


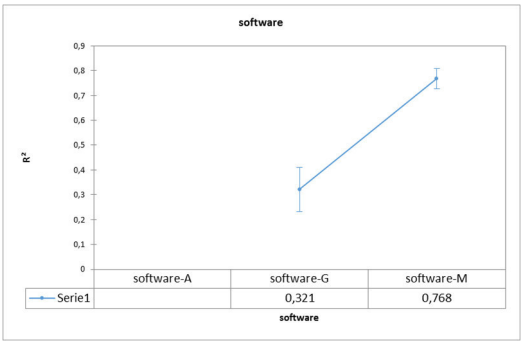
Figura 33. Grafici delle medie dei valori del coefficiente di regressione R^2 ottenuti dall'ANOVA per i modelli di idoneità della chimera B.

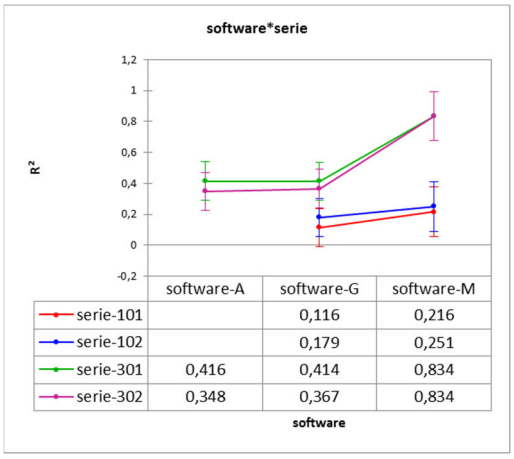
Chimera C (*Alectoris scalisii*)

I valori più alti del coefficiente di regressione R^2 sono stati ottenuti dal confronto tra la distribuzione dei valori di idoneità definiti a priori per la chimera e quella dei modelli realizzati con MaxEnt utilizzando le serie 100_1 e 100_2, per entrambi i set delle variabili ambientali (CUS III livello, CUS IV livello). Nella tabella 23 sono riportati i valori di R^2 ottenuti dalla modellizzazione della regressione lineare. L'analisi della varianza ha evidenziato una differenza statisticamente significativa tra i modelli ($F_{2,19} = 64{,}127$, $p < 0{,}05$), i test post hoc di Tukey e Fischer hanno evidenziato una differenza statisticamente significativa tra i software utilizzati e tra le serie (solo test di Fischer) con valori delle medie del coefficiente R^2 più elevati per MaxEnt e per le serie 30_1 e 30_2 (fig. 34); non è stata evidenziata alcuna differenza statisticamente significativa tra i set delle variabili ambientali utilizzati.

MODELLO	R^2
C_100_2_IV_E	0,220
C_30_2_III_A	0,226
C_30_2_IV_G	0,229
C_100_1_IV_E	0,234
C_30_1_IV_A	0,235
C_30_1_IV_G	0,236
C_30_2_IV_A	0,238
C_30_2_III_G	0,273
C_30_1_III_G	0,292
C_30_1_III_A	0,296
C_100_1_III_E	0,335
C_100_2_III_E	0,407
C_30_1_IV_M	0,679
C_30_1_III_M	0,689
C_30_2_IV_M	0,704
C_30_2_III_M	0,733
C_100_1_III_M	**0,834**
C_100_2_III_M	**0,834**
C_100_2_IV_M	**0,834**
C_100_1_IV_M	**0,835**

Tabella 23: Valori di R^2 ottenuti dall'analisi di regressione lineare chimera *vs* modelli per la chimera C.





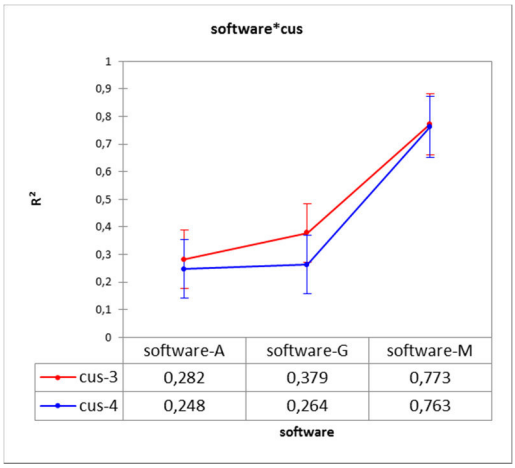


Figura 34. Grafici delle medie dei valori del coefficiente di regressione R^2 ottenuti dall'ANOVA per i modelli di idoneità della chimera C.

Chimera D (*Melanocoripha sinibaldii*)

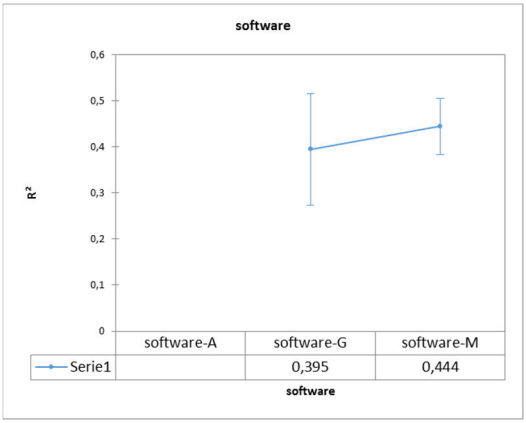
I valori più alti del coefficiente di regressione R^2 sono stati ottenuti dal confronto tra la distribuzione dei valori di idoneità definiti a priori per la chimera e quella del modello realizzato con MaxEnt utilizzando le serie 100_1 CUS IV e ENFA utilizzando la serie 30_1 CUS III. Nella tabella 24 sono riportati i valori di R^2 ottenuti dalla modellizzazione della regressione lineare.

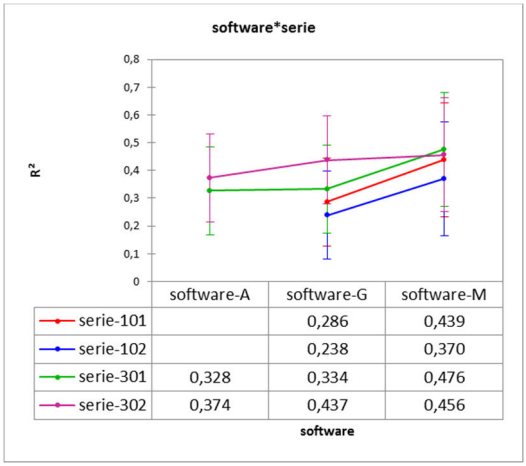
L'analisi della varianza non ha evidenziato nessuna differenza statisticamente significativa tra i modelli ($F_{2,19}$ = 2,359, p > 0,05) e i test post hoc di Tukey e Fischer non hanno evidenziato alcuna differenza statisticamente significativa né tra i software, né tra le serie né tra i set di variabili ambientali utilizzati.

Tuttavia l'analisi della varianza restituisce valori del coefficiente di regressione più elevati per la serie 30_1 e 30_2 utilizzate con il software MaxEnt (fig. 35).

CHIMERA_D	R^2
D_30_2_IV_A	0,266
D_30_1_III_A	0,302
D_30_1_IV_G	0,308
D_30_2_III_G	0,314
D_30_1_IV_A	0,314
D_30_1_III_G	0,321
D_100_1_III_E	0,347
D_30_2_III_A	0,347
D_100_2_IV_E	0,351
D_30_2_IV_M	0,365
D_100_2_III_E	0,387
D_100_1_IV_E	0,391
D_30_2_III_M	0,412
D_30_2_IV_G	0,426
D_30_1_IV_M	0,439
D_100_2_III_M	0,456
D_100_2_IV_M	0,456
D_100_1_III_M	0,474
D_30_1_III_G	**0,475**
D_100_1_IV_M	**0,479**

Tabella 24: Valori di R^2 ottenuti dall'analisi di regressione lineare chimera *vs* modelli per la chimera D.





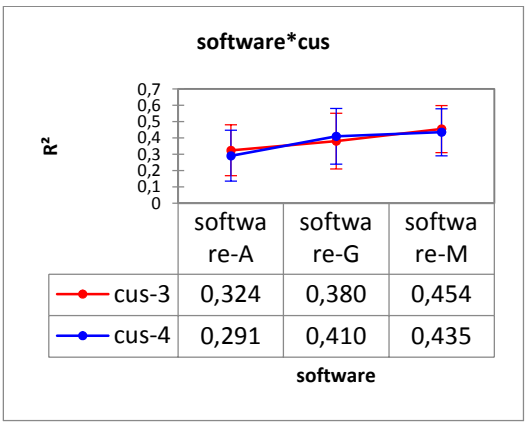


Figura 35. Grafici delle medie dei valori del coefficiente di regressione R^2 ottenuti dall'ANOVA per i modelli di idoneità della chimera D.

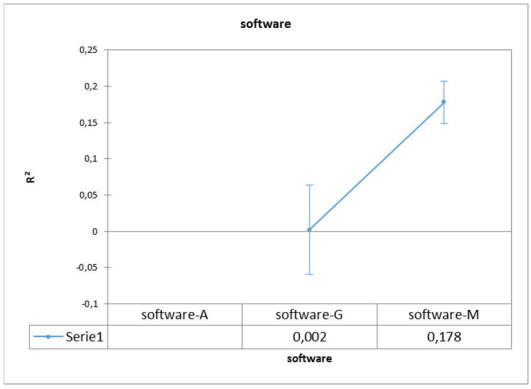
Chimera G (*Anthus capizzii*)

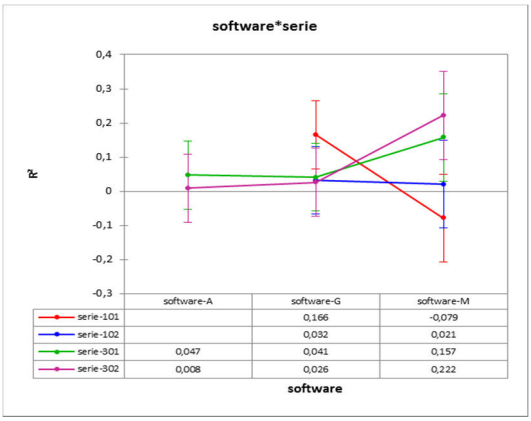
I valori più alti del coefficiente di regressione R^2 sono stati ottenuti dal confronto tra la distribuzione dei valori di idoneità definiti a priori per la chimera e quella del modello realizzato con MaxEnt utilizzando le serie 30_2 CUS III e con ENFA utilizzando la serie 100_1 CUS IV. Nella tabella 25 sono riportati i valori di R^2 ottenuti dalla modellizzazione della regressione lineare.

Sia l'analisi della varianza sia i test post hoc di Tukey e Fischer hanno evidenziato una differenza statisticamente significativa tra i modelli ($F_{2, 19} = 16{,}487$, $p < 0{,}05$) in particolare tra i software utilizzati e le serie restituendo valori delle medie del coefficiente R^2 più elevati per MaxEnt e per la serie 30_2 (fig. 36); non è stata evidenziata alcuna differenza statisticamente significativa tra i set delle variabili ambientali utilizzati.

CHIMERA_G	R^2
G_30_1_III_G	0,000
G_30_1_III_A	0,000
G_30_2_III_A	0,002
G_30_2_IV_G	0,002
G_30_2_IV_A	0,003
G_30_1_IV_G	0,013
G_30_1_IV_A	0,014
G_30_2_III_G	0,039
G_100_2_IV_E	0,041
G_100_2_III_E	0,070
G_30_1_III_M	0,117
G_30_1_IV_M	0,117
G_100_1_IV_M	0,137
G_30_2_IV_M	0,160
G_100_1_III_M	0,177
G_100_1_III_E	0,200
G_100_2_IV_M	0,201
G_100_2_III_M	0,243
G_100_1_IV_E	**0,247**
G_30_2_III_M	**0,272**

Tabella 25: Valori di R^2 ottenuti dall'analisi di regressione lineare chimera *vs* modelli per la chimera G.





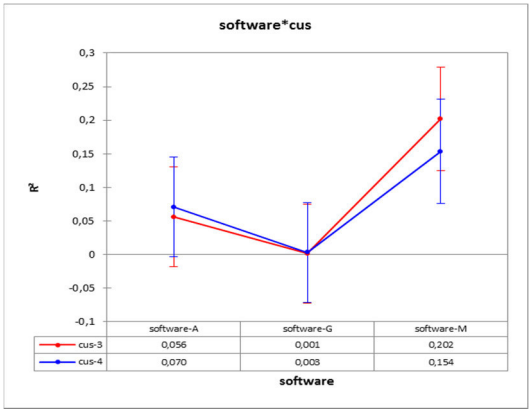


Figura 36. Grafici delle medie dei valori del coefficiente di regressione R^2 ottenuti dall'ANOVA per i modelli di idoneità della chimera G

Chimera H (*Pernis monaci*)

I valori più alti del coefficiente di regressione R^2 sono stati ottenuti dal confronto tra la distribuzione dei valori di idoneità definiti a priori per la chimera e quella del modello realizzato con MaxEnt utilizzando le serie 30_2 CUS III. Nella tabella 26 sono riportati i valori di R^2 ottenuti dalla modellizzazione della regressione lineare. L'analisi della varianza e i test post hoc di Tukey e Fischer hanno evidenziato una differenza statisticamente significativa tra i modelli ($F_{2,19} = 6{,}896$, $p<0{,}05$), in particolare tra i software e le serie utilizzati restituendo valori delle medie del coefficiente R^2 più elevati per MaxEnt e la serie 30_2 (fig. 37); non è stata evidenziata alcuna differenza statisticamente significativa tra i set delle variabili ambientali utilizzati.

CHIMERA_H	R^2
H_30_2_III_A	0,076
H_30_1_III_A	0,085
H_30_2_IV_A	0,119
H_100_2_III_E	0,134
H_30_1_III_G	0,140
H_30_2_III_G	0,153
H_100_1_III_E	0,164
H_100_2_IV_E	0,172
H_100_1_IV_E	0,176
H_30_1_III_M	0,207
H_30_1_IV_M	0,227
H_30_1_IV_G	0,255
H_30_1_IV_A	0,264
H_30_2_IV_G	0,290
H_100_1_IV_M	0,292
H_100_2_III_M	0,317
H_100_1_III_M	0,336
H_30_2_IV_M	0,340
H_100_2_IV_M	0,346
H_30_2_III_M	**0,390**

Tabella 26: Valori di R^2 ottenuti dall'analisi di regressione lineare chimera *vs* modelli per la chimera H.

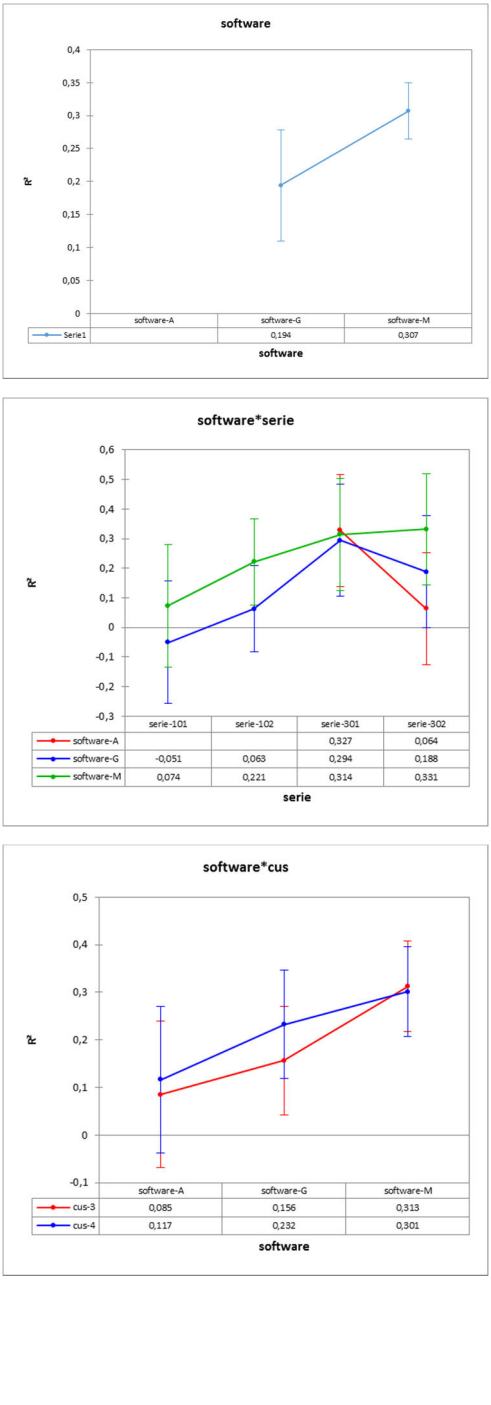


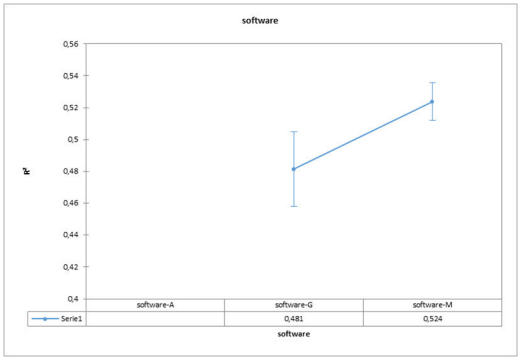
Figura 37. Grafici delle medie dei valori del coefficiente di regressione R^2 ottenuti dall'ANOVA per i modelli di idoneità della chimera H.

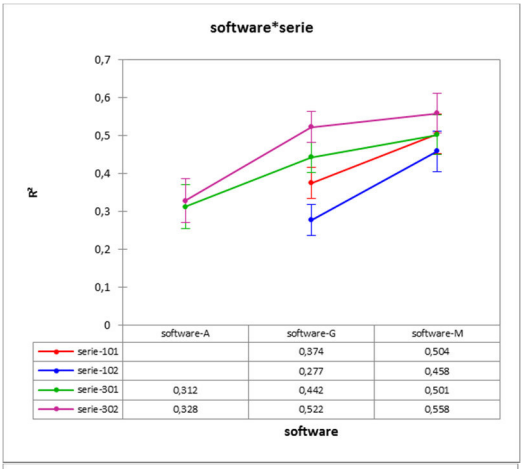
Chimera I (*Circaetus sarrocci*)

I valori più alti del coefficiente di regressione R^2 sono stati ottenuti dal confronto tra la distribuzione dei valori di idoneità definiti a priori per la chimera e quella del modello realizzato con MaxEnt utilizzando le serie 100_2 CUS IV. Nella tabella 27 sono riportati i valori di R^2 ottenuti dalla modellizzazione della regressione lineare. L'analisi della varianza e i test post hoc di Tukey e Fischer hanno evidenziato una differenza statisticamente significativa tra i modelli ($F_{2,19} = 111{,}142$, $p < 0{,}05$), in particolare tra i software utilizzati e le serie restituendo valori delle medie del coefficiente R^2 più elevati per MaxEnt e per la serie 30_2 (fig. 38); non è stata evidenziata alcuna differenza statisticamente significativa tra i set delle variabili ambientali utilizzati per MaxEnt.

CHIMERA_I	R^2
I_30_2_IV_A	0,212
I_30_1_IV_A	0,303
I_30_2_III_A	0,316
I_30_1_III_A	0,421
I_30_2_III_G	0,449
I_30_2_IV_G	0,466
I_30_1_III_G	0,471
I_100_1__IV_M	0,492
I_30_1_IV_G	0,492
I_30_2_IV_M	0,493
I_30_2_III_M	0,496
I_100_1_III_E	0,508
I_100_2_III_E	0,508
I_100_1_III_M	0,511
I_30_1_III_M	0,537
I_100_2_III_M	0,544
I_30_1_IV_M	0,545
I_100_1_IV_E	0,549
I_100_2_IV_E	0,560
I_100_2_IV_M	**0,573**

Tabella 27: Valori di R^2 ottenuti dall'analisi di regressione lineare chimera *vs* modelli per la chimera I.





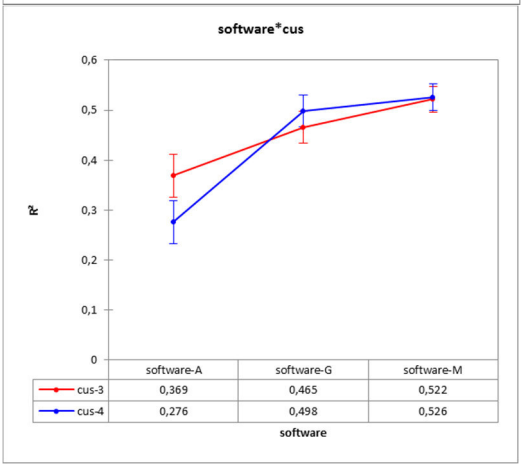


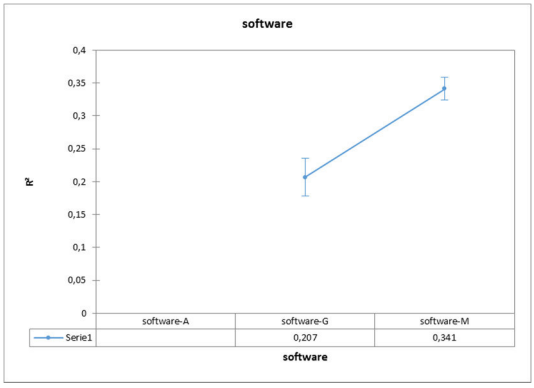
Figura 38. Grafici delle medie dei valori del coefficiente di regressione R^2 ottenuti dall'ANOVA per i modelli di idoneità della chimera I.

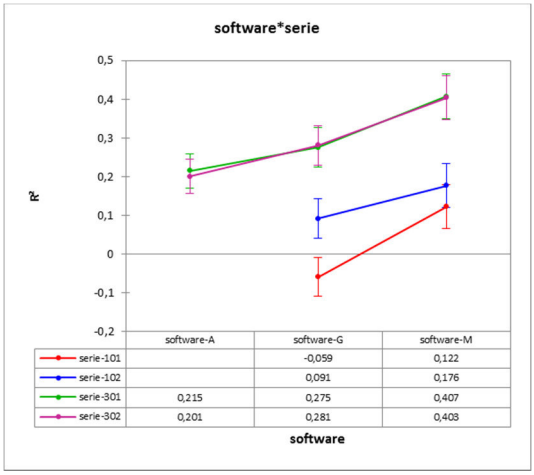
Chimera L (*Milvus cerfollii*)

I valori più alti del coefficiente di regressione R^2 sono stati ottenuti dal confronto tra la distribuzione dei valori di idoneità definiti a priori per la chimera e quella del modello realizzato con MaxEnt utilizzando le serie 100_2 CUS IV. Nella tabella 28 sono riportati i valori di R^2 ottenuti dalla modellizzazione della regressione lineare. L'analisi della varianza e i test post hoc di Tukey e Fischer hanno evidenziato una differenza statisticamente significativa tra i modelli ($F_{2,19}$ =118,156, p <0,05), in particolare tra i software utilizzati e le serie restituendo valori delle medie del coefficiente R^2 più elevati per MaxEnt e per la serie 30_1 (fig. 39); non è stata evidenziata alcuna differenza statisticamente significativa tra i set delle variabili ambientali utilizzati per MaxEnt.

CHIMERA L	R^2
L_30_1_IV_A	0,052
L_30_1_III_A	0,054
L_30_2_IV_A	0,069
L_30_1_III_G	0,107
L_30_1_IV_G	0,118
L_30_2_III_A	0,124
L_30_2_III_G	0,173
L_100_1_IV_E	0,178
L_30_2_IV_G	0,180
L_100_1_III_E	0,190
L_30_1_III_M	0,241
L_30_1_IV_M	0,248
L_100_2_III_E	0,262
L_100_2_IV_E	0,290
L_30_2_IV_M	0,299
L_30_2_III_M	0,325
L_100_2_III_E	0,395
L_100_1_IV_M	0,404
L_100_1_III_M	0,410
L_100_2_IV_M	**0,411**

Tabella 28: Valori di R^2 ottenuti dall'analisi di regressione lineare chimera *vs* modelli per la chimera L.





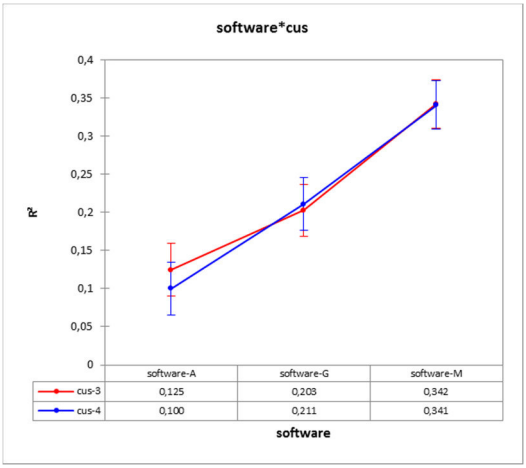


Figura 39. Grafici delle medie dei valori del coefficiente di regressione R^2 ottenuti dall'ANOVA per i modelli di idoneità della chimera L.

Nella tabella seguente sono sintetizzati i risultati appena descritti.

CHIMERA	MODELLO	CUS	SERIE PUNTI	R^2 stima media
A - *Ficedula carmelinae*	G-M	III-IV	100_1	0,64
B - *Dendrocopos lucianae*	M	III-IV	30_1	0,68
C - *Alectoris scalisii*	M	III-IV	30_1, 30_2	0,83
D – *Melanocoripha sinibaldii*	M	III-IV	30_1, 30_2	0,47
G – *Anthus capizzii*	M	III-IV	30_2	0,22
H – *Pernis monaci*	M	III-IV	30_2	0,33
I – *Circaetus sarrocci*	M	III-IV	30_2	0,56
L – *Milvus cerfollii*	M	III-IV	30_1	0,41

Tabella 29: Fattori e modelli selezionati per ogni chimera.

3.3. Chimera *vs* modelli: confronto spaziale

Per il confronto spaziale tra le aree individuate dai modelli e quelle utilizzate dalle chimere e per la valutazione del grado di sovrapposizione spaziale tra le aree a maggior idoneità individuate dai modelli e quelle delle chimere sono state utilizzate le mappe ottenute con i modelli risultati statisticamente significativi all'analisi dell'ANOVA e ai test post hoc di Tukey e di Fischer.
Di seguito si riportano i risultati ottenuti dettagliati per ogni chimera.

Chimera A (*Ficedula carmelinae)*

La sovrapposizione spaziale del 30% tra il territorio a maggior idoneità della chimera A e quello ottenuto dal modello elaborato con MaxEnt utilizzando la CUS III livello e la serie dei punti di presenza 100_1 (fig. 40) ha evidenziato che il modello individua correttamente il 73% del campione e che il 74% del territorio a maggiore idoneità del modello è sovrapposto a quello della chimera (tab. 30). La sovrapposizione spaziale del territorio ad alta idoneità della chimera (≥50) ha evidenziato che il modello ne individua correttamente il 70% e che il 96% del territorio ad alta idoneità del modello ricade in quello della chimera (tab. 31). Il modello quindi presenta un'estensione dell'area ad alta idoneità minore rispetto a quella della chimera.

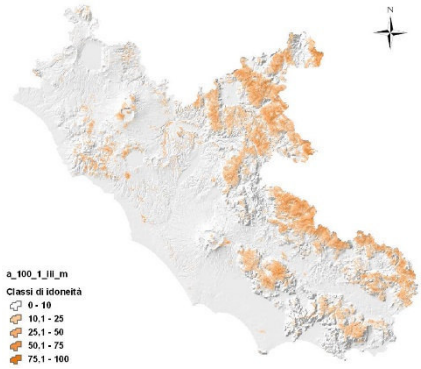


Figura 40: Modello di idoneità ambientale per la chimera A ottenuto con MaxEnt, CUS III, serie 100_1.

30 % territorio	AREA CHIM (ha)	AREA MOD M_100_1_III (ha)
INIZ	523.622	514.334
SOVR	381.555	381.555
%SOV	73	74

Tabella 30: % delle aree a maggior idoneità correttamente individuate dal modello M_100_1_III realizzato per la chimera A.

ID.≥50	AREA CHIM (ha)	AREA MOD M_100_1_III (ha)
INIZ	81.263	58.873
SOVR	56.571	56.571
%SOV	69,6	96,1

Tabella 31: % delle aree ad alta idoneità correttamente individuate del modello M_100_1_III realizzato per la chimera A.

Chimera B (*Dendrocopos lucianae*)

Per la chimera B non è stato possibile effettuare la sovrapposizione spaziale sul 30% del territorio poiché la specie utilizza un'area di 152.845 ha pari al 9% del territorio regionale. La sovrapposizione è stata effettuata quindi per l'intera distribuzione della chimera con l'area selezionata dal modello elaborato con MaxEnt utilizzando la CUS III livello e la serie dei punti di presenza 30_1 (fig. 41). Il modello individua correttamente il 76% della distribuzione della chimera mentre il 77% del territorio a maggiore idoneità del modello è sovrapposto a quello della chimera (tab. 32). La sovrapposizione spaziale del territorio ad alta idoneità della chimera (≥50) ha evidenziato che il modello ne individua correttamente il 21% e che il 96% del territorio ad alta idoneità del modello ricade in quello della chimera (tab. 33). Il modello quindi presenta un'estensione dell'area ad alta idoneità minore rispetto a quella della chimera.

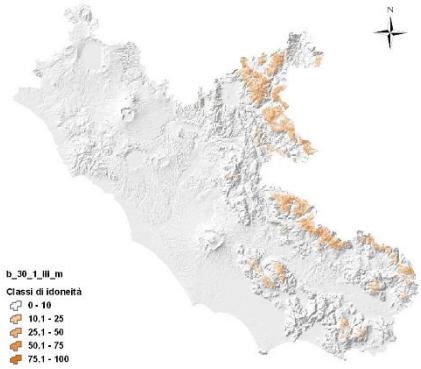


Figura 41: Modello di idoneità ambientale per la chimera B ottenuto con MaxEnt, CUS III, serie 30_1.

9 % territorio	AREA CHIM (ha)	AREA MOD M_30_1_III (ha)
INIZ	152.485	150.931
SOVR	116.040	116.040
%SOV	76	77

Tabella 32: % delle aree a maggior idoneità correttamente individuate dal modello M_30_1_III realizzato per la chimera B.

ID.≥57	AREA CHIM (ha)	AREA MOD M_30_1_III (ha)
INIZ	81.477	18.306
SOVR	172.66	17.266
%SOV	21	94

Tabella 33: % delle aree ad alta idoneità correttamente individuate dal modello M_30_1_III realizzato per la chimera B.

Chimera C (*Alectoris scalisii*)

Per la chimera C non è stato possibile effettuare la sovrapposizione spaziale sul 30% del territorio poiché la specie utilizza un'area di 18.886 ha pari al 1% del territorio regionale. La sovrapposizione è stata effettuata quindi per l'intera distribuzione della chimera con l'area selezionata dal modello elaborato con MaxEnt utilizzando la CUS III livello e la serie dei punti di presenza 30_1 (fig. 42). Il modello individua correttamente il 80% della distribuzione e l'80% del territorio a maggiore idoneità del modello è sovrapposto a quello della chimera (tab. 34). La sovrapposizione spaziale del territorio a maggiore idoneità della chimera (≥50) ha evidenziato che il modello ne individua correttamente il 42% e che l'82% del territorio ad alta idoneità del modello ricade in quello della chimera (tab. 35). Il modello quindi presenta un'estensione dell'area ad alta idoneità minore rispetto a quella della chimera.

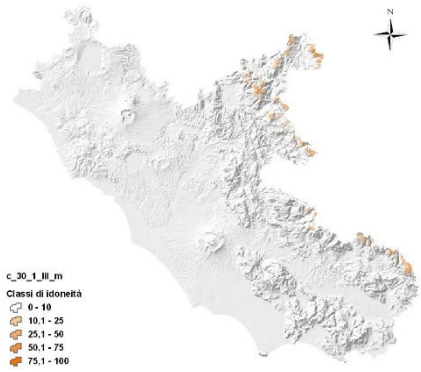


Figura 42: Modello di idoneità ambientale per la chimera C ottenuto con MaxEnt, CUS III, serie 30_1.

1% territorio	AREA CHIM (ha)	AREA MOD M_30_1_III (ha)
INIZ	18.886	18.871
SOVR	15.084	15.084
%SOV	80	80

Tabella 34: % delle aree a maggior idoneità correttamente individuate dal modello M_30_1_III realizzato per la chimera C.

ID ≥ 50%	AREA CHIM (ha)	AREA MOD M_30_1_III (ha)
INIZ	15892	8135
SOVR	6674	6674
%SOV	42	82

Tabella 35: % delle aree ad alta idoneità correttamente individuate dal modello M_30_1_III realizzato per la chimera C.

Chimera D (*Melanocoripha sinibaldii*)

Per la chimera D non è stato possibile effettuare la sovrapposizione spaziale sul 30% del territorio poiché i valori di idoneità ottenuti per la chimera non permettono di estrapolarne tale valore, è stata quindi selezionata la soglia prossima pari al 46% del territorio regionale che rappresenta anche l'intera distribuzione della specie. La chimera D infatti utilizza circa 799.935 ha del territorio regionale. La sovrapposizione è stata effettuata quindi per l'intera distribuzione della chimera con l'area selezionata dal modello elaborato con MaxEnt utilizzando la CUS III livello e la serie dei punti di presenza 30_1 (fig. 43). Il modello individua correttamente l'85% della distribuzione e l'85% del territorio a maggiore idoneità del modello è sovrapposto a quello della chimera (tab. 36). La sovrapposizione spaziale del territorio ad alta idoneità della chimera (≥50) ha evidenziato che il modello ne individua correttamente il 15% e che l'57% del territorio ad alta idoneità del modello ricade in quello della chimera (tab. 37). Il modello quindi presenta un'estensione dell'area ad alta idoneità minore rispetto a quella della chimera.

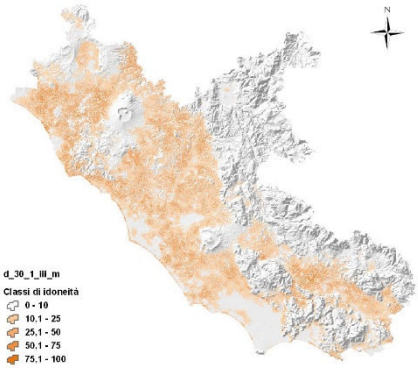


Figura 43: Modello di idoneità ambientale per la chimera D ottenuto con MaxEnt, CUS III, serie 30_1.

46% territorio	AREA CHIM (ha)	AREA MOD M_30_1_III (ha)
INIZ	799.935	796.380
SOVR	678.053	678.053
%SOV	85	85

Tabella 36: % delle aree a maggior idoneità correttamente individuate dal modello M_30_1_III realizzato per la chimera D.

ID.≥57	AREA CHIM (ha)	AREA MOD M_30_1_III (ha)
INIZ	326.723	87.488
SOVR	50.185	50.185
%SOV	15	57

Tabella 37: % delle aree ad alta idoneità correttamente individuate dal modello M_30_1_III realizzato per la chimera D.

Chimera G (*Anthus capizzii*)

La sovrapposizione spaziale del 30% tra il territorio a maggior idoneità della chimera G e quello del modello ottenuto con MaxEnt utilizzando la CUS III livello e la serie dei punti di presenza 30_2 (fig. 44) ha evidenziato che il modello individua correttamente il 40% del campione e che il 40% del territorio a maggiore idoneità del modello è sovrapposto a quello della chimera (tab. 38). La sovrapposizione spaziale del territorio ad alta idoneità della chimera (≥50) ha evidenziato che il modello ne individua correttamente

il 58% e che l'82% del territorio ad alta idoneità del modello ricade in quello della chimera (tab. 39). Il modello quindi presenta un'estensione dell'area ad alta idoneità minore rispetto a quella della chimera.

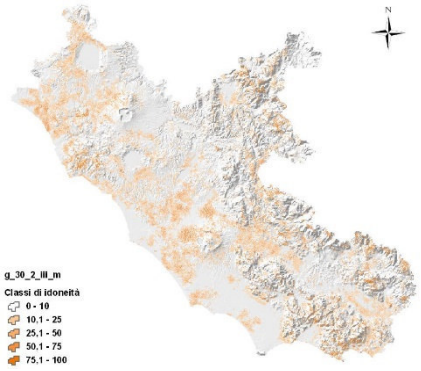


Figura 44: Modello di idoneità ambientale per la chimera G ottenuto con MaxEnt, CUS III, serie 30_2.

30% territorio	AREA CHIM (ha)	AREA MOD M_30_2_III (ha)
INIZ	515.930	508.174
SOVR	204.835	204.835
%SOV	40	40

Tabella 38: % delle aree a maggior idoneità correttamente individuate dal modello M_30_2_III realizzato per la chimera G

ID. ≥50	AREA CHIM (ha)	AREA MOD M_30_2_III (ha)
INIZ	108.172	75.765
SOVR	62.406	62.406
%SOV	58	82

Tabella 39: % delle aree ad alta idoneità correttamente individuate dal modello M_30_2_III realizzato per la chimera G

Chimera H (*Pernis monaci*)

La sovrapposizione spaziale del 30% tra il territorio a maggior idoneità della chimera H e quello del modello ottenuto con MaxEnt utilizzando la CUS III livello e la serie dei punti di presenza 30_2 (fig. 45) ha evidenziato che il modello individua correttamente il 62% del campione e che il 63% del territorio a maggiore idoneità del modello è sovrapposto a quello della chimera (tab. 40). La sovrapposizione spaziale del territorio ad alta idoneità della chimera (≥50) ha evidenziato che il modello ne individua correttamente il 29% e che il 7% del territorio ad alta idoneità del modello ricade in quello della chimera (tab. 41). Il modello quindi presenta un'estensione dell'area ad alta idoneità maggiore rispetto a quella della chimera.

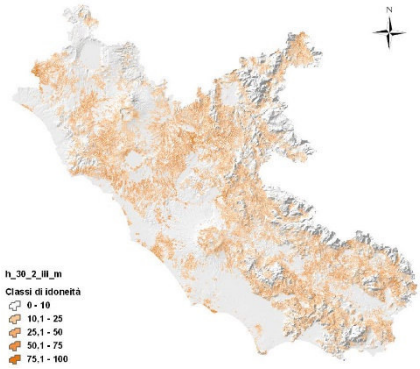


Figura 45: Modello di idoneità ambientale per la chimera H ottenuto con MaxEnt, CUS III, serie 30_2.

30% territorio	AREA CHIM (ha)	AREA MOD M_30_2_III (ha)
INIZ	538.767	531.550
SOVR	334.785	334.785
%SOV	62	63

Tabella 40: % delle aree a maggior idoneità correttamente individuate dal modello M_30_2_III realizzato per la chimera H.

ID.≥50	AREA CHIM (ha)	AREA MOD M_30_2_III (ha)
INIZ	30.828	121.315
SOVR	8.944	8.944
%SOV	29	7

Tabella 41: % delle aree ad alta idoneità correttamente individuate dal modello M_30_2_III realizzato per la chimera H.

Chimera I (*Circaetus sarrocci*)

La sovrapposizione spaziale del 30% tra il territorio a maggior idoneità della chimera I e quello del modello ottenuto con MaxEnt utilizzando la CUS III livello e la serie dei punti di presenza 30_2 (fig. 46) ha evidenziato che il modello individua correttamente il 77% del campione e che il 77% del territorio a maggiore idoneità del modello è sovrapposto a quello della chimera (tab. 42). La sovrapposizione spaziale del territorio ad alta idoneità della chimera (≥50) ha evidenziato che il modello ne individua correttamente il 30% e che il 88% del territorio ad alta idoneità del modello ricade in quello della chimera (tab. 43). Il modello quindi presenta un'estensione dell'area ad alta idoneità minore rispetto a quella della chimera.

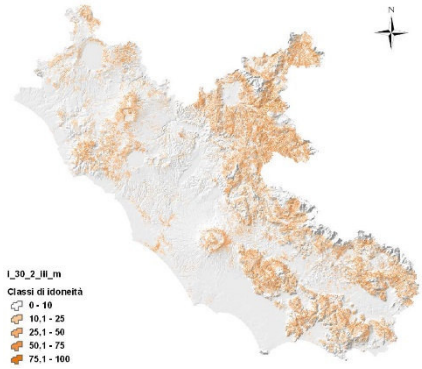


Figura 46: Modello di idoneità ambientale per la chimera I ottenuto con MaxEnt, CUS III, serie 30_2.

30% territorio	AREA CHIM (ha)	AREA MOD M_30_2_III (ha)
INIZ	519.432	514.145
SOVR	398.267	398.267
%SOV	77	77

Tabella 42: % delle aree a maggior idoneitàcorrettamente individuate dal modello M_30_2_III realizzato per la chimera I

ID.>50	AREA CHIM (ha)	AREA MOD M_30_2_III (ha)
INIZ	451.062	152.301
SOVR	133.602	133.602
%SOV	30	88

Tabella 43: % delle aree ad alta idoneità correttamente individuate dal modello M_30_2_III realizzato per la chimera I

Chimera L (*Milvus cerfollii*)

La sovrapposizione spaziale del 30% tra il territorio a maggior idoneità della chimera L e quello del modello ottenuto con MaxEnt utilizzando la CUS III livello e la serie dei punti di presenza 30_1 (fig. 47) ha evidenziato che il modello individua correttamente il 53% del campione e che il 53% del territorio a maggiore idoneità del modello è sovrapposto a quello della chimera (tab. 44). La sovrapposizione spaziale del territorio ad alta idoneità della chimera (≥50) ha evidenziato che il modello ne individua correttamente il 13% e che il 70% del territorio ad alta idoneità del modello ricade in quello della chimera (tab. 45). Il modello quindi presenta un'estensione dell'area ad alta idoneità minore rispetto a quella della chimera.

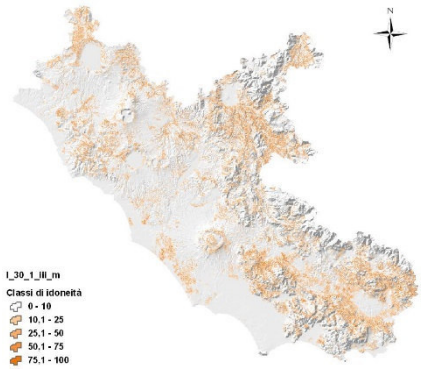


Figura 47: Modello di idoneità ambientale per la chimera L ottenuto con MaxEnt, CUS III, serie 30_2.

30% territorio	AREA CHIM (ha)	AREA MOD M_30_1_III (ha)
INIZ	517.755	517.088
SOVR	272.913	272.913
%SOV	53	53

Tabella 44: % delle aree correttamente individuate dal modello M_30_1_III realizzato per la chimera L

ID.≥50	AREA CHIM (ha)	AREA MOD M 30_1_III_M (ha)
INIZ	512.997	98.466
SOVR	68.660	68.660
%SOV	13	70

Tabella 45: % delle aree ad alta idoneità correttamente individuate dal modello M_30_1_III realizzato per la chimera L

Nella tabella seguente è riportata una sintesi dei risultati relativi all'analisi spaziale.

CHIMERA	MODELLO	% sov (soglia30%) CHIM_MOD	% sov (soglia30%) MOD_CHIM	%sovr A.I. (≥50) CHIM MOD	%sovr A.I. (≥50) MOD_CHIM
A	M_100_1_III	72,9	74,2	69,6	96,1
B	M_30_1_III	76,1	76,9	21,0	94,0
C	M_30_1_III	79,9	79,9	42,0	82,0
D	M_30_1_III	85,0	85,0	15,0	57,0
G	M_30_2_III	40,0	40,0	58,0	82,0
H	M_30_2_III	62,1	63,0	29,0	7,4
I	M_30_2_III	76,7	77,5	29,6	87,7
L	M_30_1_III	52,7	52,8	13,4	70,0

Tabella 46: Analisi spaziale. % delle aree individuate correttamente dai modelli. A.I. = alta idoneità

3.4. Chimera *vs* modelli: le variabili ambientali selezionate

I risultati ottenuti attraverso i test di Jackknife per MaxEnt e l'analisi dei fattori per ENFA hanno evidenziato che generalmente entrambi i software utilizzati selezionano correttamente come fattori determinanti dell'idoneità ambientale del territorio regionale una o più delle variabili ambientali utilizzate per la costruzione delle chimere o variabili associate ad esse.

A titolo esemplificativo si riportano i risultati ottenuti per la chimera A con il modello ottenuto utilizzando il set di variabili contenente la CUS IV livello e la serie di punti 100_1. La figura che segue (fig. 48) illustra i contributi delle variabili ambientali determinati rispettivamente con l'analisi Jackknife, MaxEnt, e l'analisi fattoriale, ENFA (ta.b 47).

Le variabili selezionate per la costruzione della chimera A sono: 313 (faggete montane), cop_3 (copertura> 50 %) e DTM, altitudine (2.5.1).

Nel test Jackknife le barre blu indicano il contributo al modello di ciascuna variabile rispetto al modello ottenuto con tutte le variabili (barra rossa). In questo caso la variabile più significativa selezionata per la chimera A è la DTM, altitudine (indicata dalla freccia) che da sola contiene la maggior parte delle informazioni che spiegano il modello. L'analisi del contributo dei fattori elaborata da ENFA evidenzia che il contributo maggiore che spiega la marginalità è attribuito alla variabile DTM mentre la specializzazione è spiegata dalle variabili cop_3 (copertura> 50%) e 314 (Orno-ostrieti). La variabile 314 è risultata essere correlata con le faggete montane, 313.

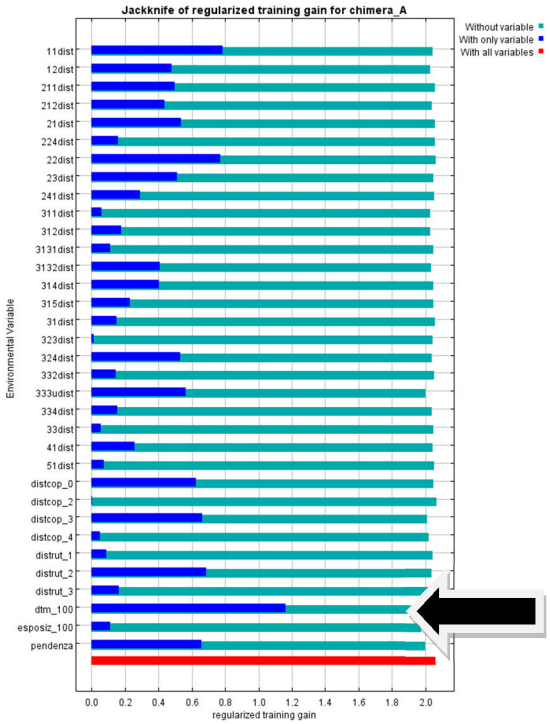


Figura 48: sx) Le barre blu indicano il contributo al modello di ciascuna variabile rispetto al modello ottenuto con tutte le variabili (barra rossa). In questo esempio la variabile più significativa selezionata per la specie *Ficedula carmelinae* (chimera A) è l'altitudine, dtm 100, (indicata dalla freccia) che da sola contiene la maggior parte delle informazioni che spiegano il modello. dx) ENFA elabora un'analisi fattoriale che individua il contributo delle variabili alla marginalità e alla specializzazione: per la chimera A la variabile DTM, altitudine, ha il peso maggiore nella misura della marginalità. Le variabili cop_3, copertura forestale >50%, e la 314, orno ostrieti, che è correlata con le faggete montane,313, sono quelle che più delle altre spiegano la specializzazione della chimera.

EGV contr.	Marginality	Specialisation
ST1_QT	0,004	8,862
51_QT	0,057	9,376
311_QT	0,029	10,865
COP2_QT	0,008	11,422
ESP_QT	0,086	11,574
ST3_QT	0,139	12,408
323_QT	0,028	12,925
33_QT	0,016	13,468
COP4_QT	0,051	13,587
315_QT	0,106	13,821
COP0_QT	0,206	14,244
3131_QT	0,122	14,792
334_QT	0,092	14,978
41_QT	0,163	16,901
PENDENZA_QT	0,244	17,492
241_QT	0,133	18,169
31_QT	0,088	18,781
12_QT	0,231	19,249
11_QT	0,314	20,318
23_QT	0,272	20,672
332_QT	0,008	22,393
21_QT	0,140	22,489
224_QT	0,061	23,235
312_QT	0,082	23,899
ST2_QT	0,149	25,354
22_QT	0,339	26,462
212_QT	0,219	28,520
3132_QT	0,141	29,005
211_QT	0,211	29,107
DTM_QT	**0,392**	32,938
333_QT	0,173	33,777
324_QT	0,234	34,336
COP3_QT	0,117	**34,783**
314_QT	0,140	**44,615**

3.5. Modelli delle specie

Per le otto specie del gruppo Aves tutelate dalla DU sono stati quindi elaborati i modelli di idoneità ambientale utilizzando i fattori (software, MaxEnt e ENFA, set di cariabili ambientali, CUS III livello e CUS IV livello, e le serie di punti di presenza) per i quali i test statistici hanno evidenziato differenze statisticamente significative. Come riportato nel paragrafo precedente la combinazione di fattori che

restituito valori del coefficiente R^2 maggiori è rappresentata dall'uso di MaxEnt, la CUS III e la serie dei punti 30_1 e 30_2.

Per l'elaborazione dei modelli ambientali delle specie è stata utilizzata, quindi, tale combinazione e un campione random di almeno 30 punti di presenza per ogni specie tratto dalla banca dati disponibile. Per le specie *Alectoris graeca* (Coturnice) e *Dendrocopos leucotos* (Picchio dalmatino) i cui set dei dati di presenza sono inferiori alle 30 unità, sono stati utilizzati tutti i dati disponibili.

I modelli ottenuti, riclassificati in 5 classi di idoneità, sono riportati nelle figure 49-56.

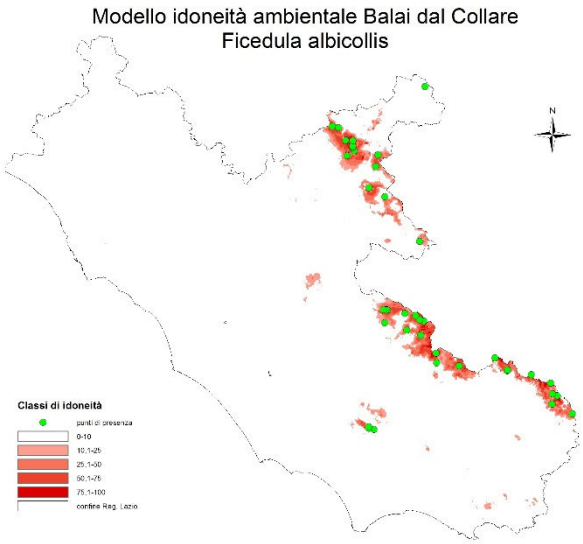


Figura 49: Modello di idoneità ambientale ottenuto con MaxEnt, CUS III per la specie *Ficedula albicollis*.

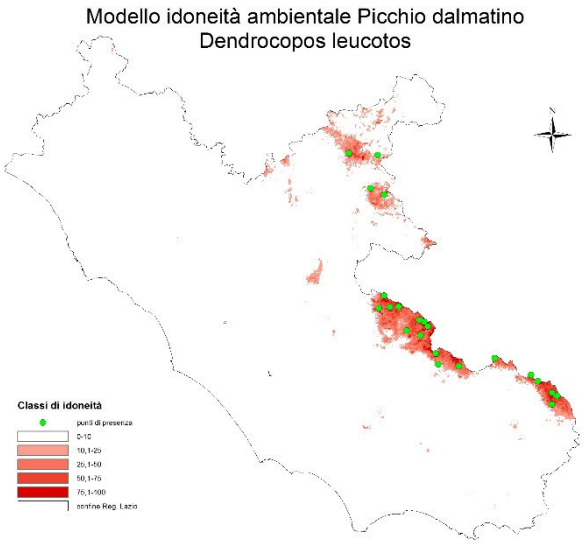


Figura 50: Modello di idoneità ambientale ottenuto con MaxEnt, CUS III per la specie *Dendrocopos leucotos*

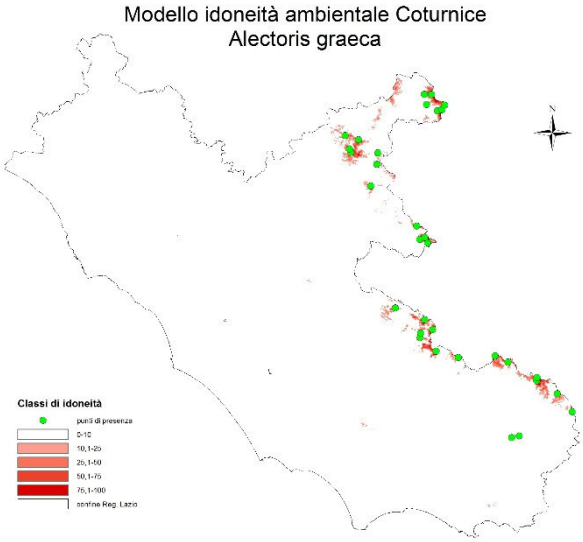


Figura 51: Modello di idoneità ambientale ottenuto con MaxEnt, CUS III per la specie *Alectoris graeca*

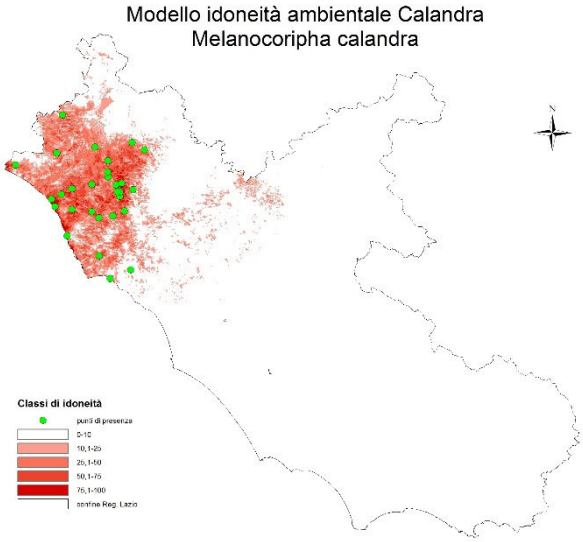


Figura 52: Modello di idoneità ambientale ottenuto con MaxEnt, CUS III per la specie *Melanocoripha Calandra*

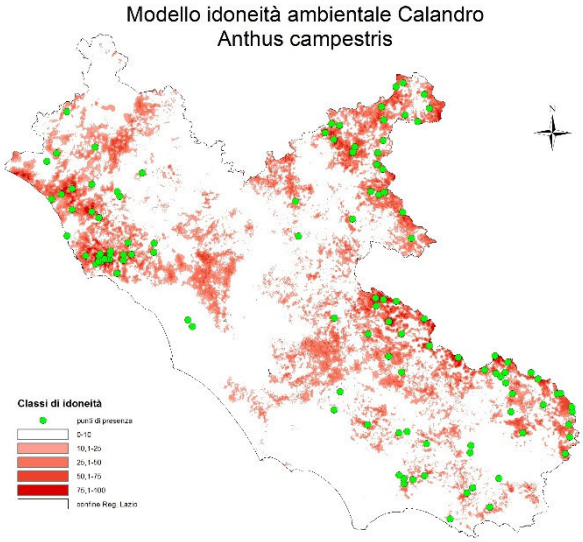


Figura 53: Modello di idoneità ambientale ottenuto con MaxEnt, CUS III per la specie *Anthus campestris*

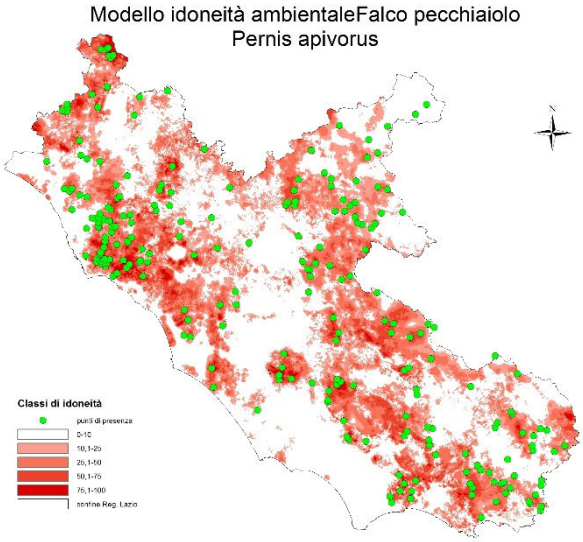


Figura 54: Modello di idoneità ambientale ottenuto con MaxEnt, CUS III per la specie *Pernis apivorus*

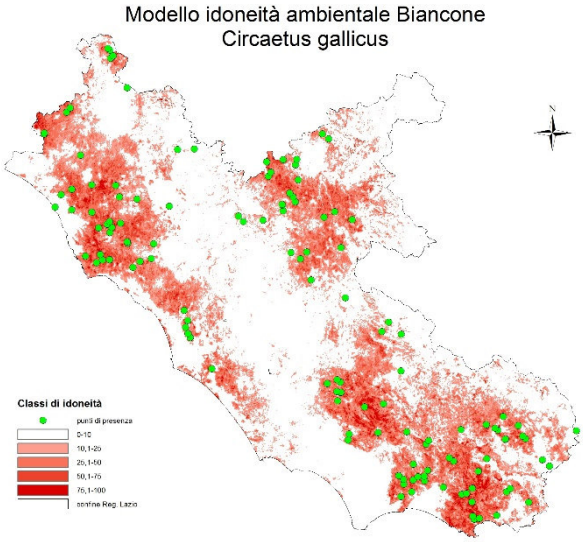


Figura 55: Modello di idoneità ambientale ottenuto con MaxEnt, CUS III per la specie *Circaetus gallicus*

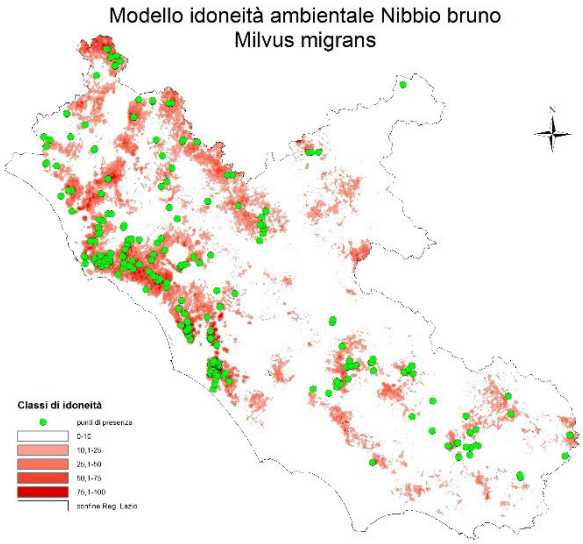


Figura 56: Modello di idoneità ambientale ottenuto con MaxEnt, CUS III per la specie *Milvus migrans*

La sovrapposizione spaziale tra i punti di presenza delle specie e le aree idonee individuate dai modelli (tab. 47) hanno evidenziato che, mediamente, il 52% delle osservazioni sono localizzate nelle aree ad alta idoneità (classi 4 e 5) individuate dai modelli.

Specie	N. tot. Punti di presenza	% punti presenza utilizzati	% punti presenza in classi id 4 e 5
Picchio dalmatino (*Dendrocopos leucotos*)	20	100	75
Calandra (*Melanocoripha calandra*)	30	100	63
Balia dal collare (*Ficedula albicollis*)	41	73	60
Coturnice (*Alectoris graeca*)	22	100	59
Nibbio bruno (*Milvus migrans*)	169	18	47
Calandro (*Anthus campestris*)	135	22	47
Biancone (*Circaetus gallicus*)	40	75	40
Falco pecchiaiolo (*Pernis apivorus*)	71	42	27

Tabella 47: Sovrapposizione spaziale tra le osservazioni registrate per le otto specie di uccelli indagate e le aree ad alta idoneità individuate dai modelli.

Per valutare la capacità del modello nell'individuazione delle variabili ambientali che influenzano la distribuzione ambientale della specie sono stati confrontati i risultati ottenuti attraverso i test di Jackknife e la distribuzione ambientale riportata in Brunelli et al., 2011 (cfr. 2.3). In generale MaxEnt seleziona correttamente come fattori determinanti dell'idoneità ambientale del territorio regionale almeno una delle variabili ambientali dove è stata registrata una frequenza di presenza più elevata della specie o variabili associate ad esse.

A titolo esemplificativo si riportano i risultati ottenuti dall'analisi Jackknife e le distribuzioni ambientale e altitudinale osservati per la Coturnice.

La figura che segue (fig. 57) illustra i contributi delle variabili ambientali determinati con l'analisi Jackknife (MaxEnt) e la distribuzione ambientale (frequenza) misurata per la specie.

Nel test Jackknife le barre blu indicano il contributo al modello di ciascuna variabile rispetto al modello ottenuto con tutte le variabili (barra rossa). In questo caso la variabile più significativa selezionata per la Coturnice è la DTM, altitudine (indicata dalla freccia) che da sola contiene la maggior parte delle informazioni che spiegano il modello. I dati reali di distribuzione della coturnice indicano un'elevata selettività per la aree aperte (vegetazione rada e arbustiva) situate oltre la fascia altimetrica dei 1500 m.

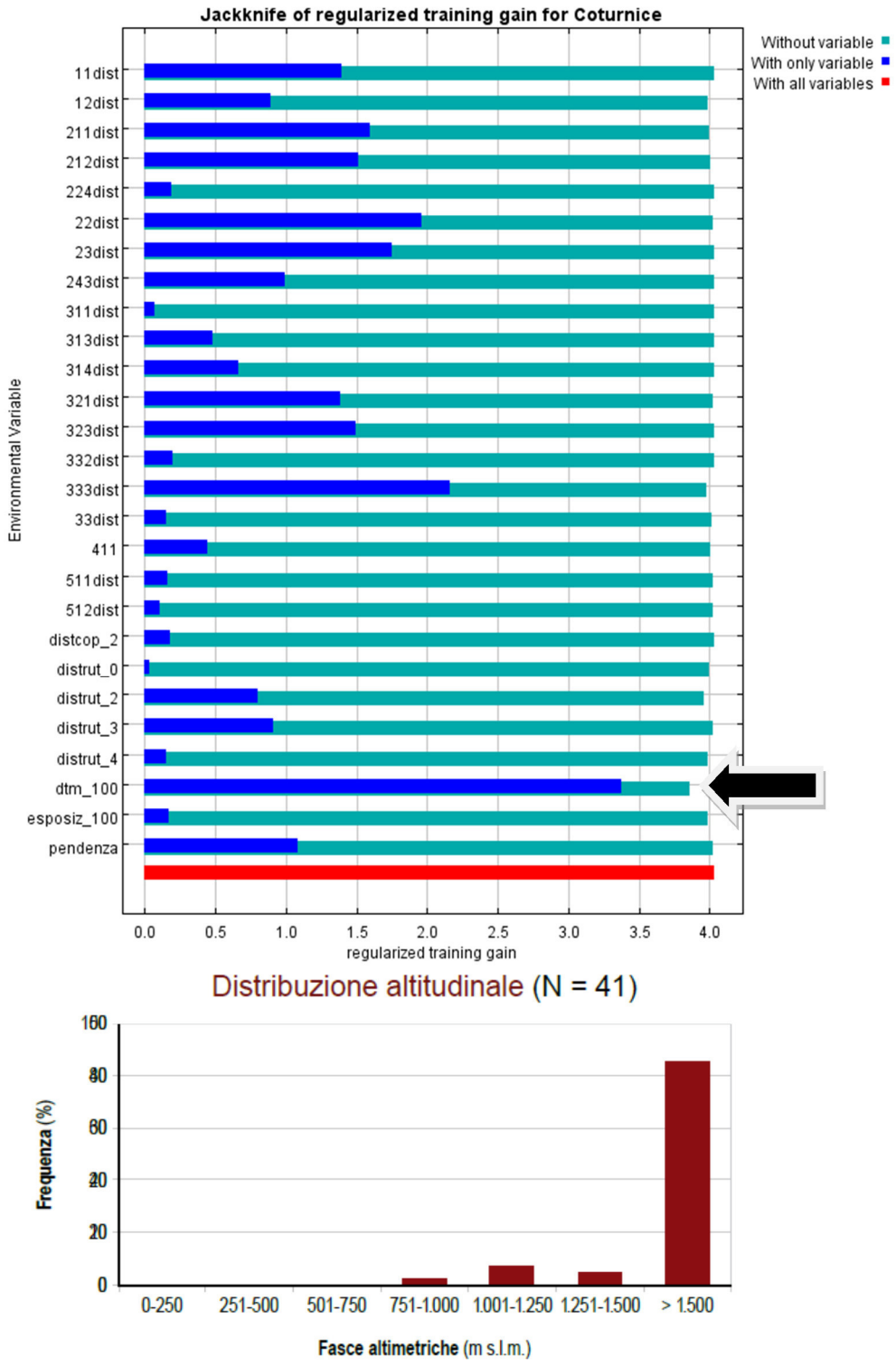


Fig. 57: Sx) Le barre blu indicano il contributo al modello di ciascuna variabile rispetto al modello ottenuto con tutte le variabili (barra rossa). In questo caso la variabile più significativa selezionata per la specie *Alectoris graeca* è l'altitudine, dtm 100, (indicata dalla freccia) che da sola contiene la maggior parte delle informazioni che spiegano il modello; dx) La distribuzione altitudinale della specie evidenzia una netta selezione per una stretta fascia altitudinale al di sopra dei 1500 m (altitudine max. = 2425 m s.l.m.).

4. Discussione

La sperimentazione e l'uso dei modelli induttivi hanno avuto un'ampia diffusione negli ultimi decenni nell'ambito dello studio dell'ecologia delle specie (Guisan et al., 2000, 2005, 2013; Rushton et al., 2006) con un incremento del numero di articoli pubblicati pari a 20,2/anno solo nel decennio 1995-2006 (Lobo et al., 2010). I modelli applicati in questo lavoro, MaxEnt ed ENFA, spiccano in letteratura tra quelli utilizzati per l'individuazione dell'idoneità ambientale per le specie (Guisan et al., 2000). I due modelli, restituiscono una classificazione di idoneità del territorio che può essere correlata con la probabilità di presenza della specie (Phillips et al., 2006; Hirzel et al., 2006) e consentono di misurare almeno due parametri (o indici ad essi associati) richiesti dalla DH per il monitoraggio dello stato di conservazione delle specie: la distribuzione potenziale e l'idoneità e estensione dell'habitat potenziale, come definiti dalla stessa Direttiva (ETC/BD, 2011).

Recentemente alcuni autori hanno messo a confronto diversi indici utilizzati per misurare l'affidabilità statistica dei modelli suggerendo l'uso di indici alternativi rispetto, per esempio, all'AUC (Hirzel et al., 2006; Lobo et al., 2008; Yackulic et al., 2012). Altri autori (Hirzel et al., 2001; Elith et al., 2009; Maynard et al., 2013) hanno invece stimato l'affidabilità dei modelli di idoneità ambientale utilizzando alcune specie virtuali con distribuzione e idoneità ambientale del territorio determinate a priori che consentono quindi di valutare la capacità predittiva dei modelli. In questo lavoro è stato seguito il secondo approccio: le specie virtuali, chimere, sono state progettate e costruite secondo la metodologia di Hirzel et al., 2001 creando una nicchia ecologica simulata in uno spazio multidimensionale (Hutchinson, 1957). Per definizione, la nicchia ecologica simulata è composta dalle variabili ambientali selezionate per la chimera espresse da un coefficiente parziale di nicchia H_i. la cui media pesata restituisce il valore del coefficiente H della nicchia ed esprime la probabilità di ogni cella (100 x 100 m), in cui è stato suddiviso il territorio, di appartenere alla nicchia. Nella procedura seguita da Hirzel et al. (2001) per ogni H_i è introdotto un coefficiente stocastico ε che introduce l'effetto di casualità nelle distribuzioni e nelle caratteristiche ecologiche delle specie virtuali. In questo lavoro di tesi, le specie virtuali, le chimere, sono state progettate facendo riferimento alle distribuzioni e alle caratteristiche ecologiche di 8 specie reali, riducendo al minimo l'effetto di casualità (cfr. par. 2.5).

La validazione è stata effettuata confrontando la distribuzione dei valori di idoneità ambientale ottenuti da 160 modelli realizzati utilizzando i software MaxEnt e ENFA rispetto a quella definita a priori per otto chimere, progettate e costruite facendo riferimento alle caratteristiche ecologiche di otto specie reali appartenenti al gruppo degli uccelli (cfr. par. 2.5). Il confronto tra le distribuzioni ha restituito per tutte le chimere differenze statisticamente significative delle idoneità ambientali ottenute dai due software dedicati per l'implementazione dei modelli e utilizzando le serie di punti di presenza (ANOVA, test di Tukey e test di Fischer). MaxEnt è risultato essere il modello che meglio descrive le distribuzioni "reali" delle chimere ottenendo i valori più alti del coefficiente di correlazione R^2 (cfr. par 3.2). Risultati simili sono stati osservati da altri autori (Ortega et al., 2008; Rebelo et al., 2010) che hanno rilevato una maggior capacità predittiva di MaxEnt rispetto ad ENFA, e ad altri modelli predittivi (Latif et al., 2014), nell'individuazione di

potenziali siti di presenza delle specie in assenza di dati noti. Non è stata invece rilevata nessuna differenza statisticamente significativa nell'uso dei 2 set di variabili ambientali sebbene l'uso del set contenente la CUS III, caratterizzato da un numero minore di variabili ambientali, abbia generalmente prodotto valori medi del coefficiente di regressione R^2 più elevati. Questo risultato si accorda con quanto osservato da altri autori che hanno evidenziato valori più elevati della performance dei modelli di idoneità ambientale ottenuti con MaxEnt quando sono utilizzati set con un numero inferiore di predittori (Ficetola et al., 2014). Altri autori hanno inoltre rilevato come sia la varietà delle variabili ambientali anziché il numero ad aumentare l'accuratezza dei modelli (Wilson et al., 2013). Considerata l'assenza di differenze statisticamente significative tra i due set di variabili ambientali si può affermare che per una lettura più fine del territorio e per individuare quali dei sottotipi accorpati nelle variabili ambientali della CUS III maggiormente contribuiscono al modello può comunque essere utilizzata la CUS IV livello.

I quattro set di punti di presenza utilizzati hanno evidenziato differenze statisticamente significative con valori più alti del coefficiente R^2 per la serie 30_1 e 30_2, ad eccezione della chimera A che seleziona la serie 100_1 (cfr. par 3.2). Il modello quindi evidenzia in generale una maggior accuratezza quando sono utilizzati set caratterizzarti da pochi punti di presenza e, in accordo con quanto osservato da altri autori, MaxEnt si conferma essere una tecnica che ottiene performance elevate anche quando si dispone di pochi dati di presenza (Pearson, 2007; Ficetola et al., 2014). Questa caratteristica offre notevoli vantaggi considerando che per alcune delle specie ornitiche di riferimento reali a cui sono ispirate le chimere sono disponibili set di dati di presenza di poche decine di unità così come per altre specie di interesse europeo per le quali deve essere implementato il programma di monitoraggio dello stato di conservazione, come richiesto dalla DH.

L'analisi spaziale di sovrapposizione tra le aree di distribuzione delle chimere e i modelli elaborati, condotta sul 30% del territorio regionale a maggior idoneità, ha restituito valori di sovrapposizione mediamente alti (media pari al 68%) fornendo un'ulteriore indicazione sulla capacità del modello di individuare correttamente le aree dove implementare il monitoraggio dei due parametri richiesti: la distribuzione potenziale e l'idoneità e estensione dell'habitat potenziale (ETC/BD, 2011).

Un'altra importante indicazione sull'affidabilità dei modelli, considerata in questo lavoro, è la stima della capacità del modello di individuare correttamente le aree idonee per le chimere (classi 4 e 5 con valori di idoneità ≥ 50): i risultati indicano che mediamente il 72% delle aree idonee definite dai modelli sono spazialmente sovrapposte a quelle delle chimere e che i modelli individuano mediamente il 35% del territorio idoneo per le chimere.

I modelli si confermano un importante strumento per indirizzare le attività di monitoraggio poiché individuano spazialmente un campione robusto dell'area dove effettuare il rilevamento del dato di presenza (Elzinga et al., 2001).

Un caso particolare è rappresentato dai risultati ottenuti dai confronti spaziali per la chimera H per la quale nonostante i modelli definiscano correttamente il 70% dell'area potenzialmente occupabile dalla specie solo il 7% delle aree delle classi di idoneità 4 e 5 individuate dai modelli sono spazialmente sovrapposte a

quelle della chimera. In questo caso il modello, sovrastimando l'area ad alta idoneità della chimera, comporterebbe, se utilizzato per l'individuazione delle aree di indagine, un dispendio di risorse nelle attività di monitoraggio.

Tuttavia se il modello venisse utilizzato per individuare le aree a maggiore idoneità dove implementare azioni di conservazione dell'habitat della specie a fronte di un eccessivo uso di risorse si garantirebbe la conservazione di almeno il 30% dell'habitat idoneo della specie, commettendo un errore le cui conseguenze, facendo valere il principio di precauzione andrebbero comunque in favore della conservazione della specie.

I risultati ottenuti dalle validazioni sono stati confrontati con quelli ottenuti dai modelli elaborati per le specie ornitiche reali utilizzate per la definizione delle chimere. Per le specie reali sono stati utilizzati, come precedentemente descritto, dati di presenza ottenuti da campionamenti sistematici che hanno interessato, esaustivamente, l'intero territorio regionale durante le attività svolte dal 2007 al 2010 (Brunelli et al., 2011), e che soddisfano gli assunti per un'applicazione corretta di MaxEnt (Phillips et al., 2006). I modelli per queste specie, ottenuti utilizzando un set di almeno 30 dati di presenza, in coerenza con i risultati ottenuti dalla validazione dei modelli, hanno evidenziato che mediamente nelle classi di idoneità 4 e 5 (idoneità $\geq$ 50) ricade il 52% dei punti di presenza noti delle specie. Un'analisi più dettagliata evidenzia importanti differenze tra le specie; in particolare i modelli sembrano individuare meglio le aree idonee per le specie che, sul criterio basato sul numero di variabili ambientali utilizzato, potremmo definire "specialiste". Per la Balia dal collare (*Ficedula albicollis*) e per la Coturnice (*Alectori graeca*) i modelli hanno inoltre individuato alcune aree occupate dalle specie in tempi recenti (anni 80') la cui presenza non è stata accertata nel censimento a scala regionale condotto negli anni 2007-2010 (Brunelli et al., 2011). Questo dato conferma la capacità di MaxEnt, osservata anche da altri autori (Rebelo et al., 2010), d'individuare potenziali siti di presenza, dove implementare specifiche azioni di conservazione per favorire l'espansione dell'areale delle specie. Le azioni di conservazione e/o ripristino degli habitat delle specie sono infatti ritenute fondamentali soprattutto per quelle specie che presentano distribuzioni frammentate a causa dell'azione antropica o il cui stato di conservazione è ritenuto "sfavorevole- cattivo" (cfr. par. 1.1) perchè l'habitat disponibile è insufficiente a garantirne la sopravvivenza a lungo termine (ETC/BD, 2011).

In generale sia per le chimere che per le specie reali, presenti nel Lazio i modelli prodotti con MaxEnt hanno individuato correttamente, tra i fattori che maggiormente contribuiscono al modello, almeno una delle variabili utilizzate per la costruzione delle chimere o riportate nelle distribuzioni ambientali delle specie (Brunelli et al., 2011). Tuttavia per alcune specie è stato evidenziato che la trasformazione delle variabili ambientali in distanze possa comportare, nei modelli, una selezione a favore delle variabili ambientali spazialmente distanti dai punti di presenza delle specie utilizzati. Il modello infatti restituisce un valore di idoneità ambientale di ogni cella del territorio calcolato attraverso un algoritmo che minimizza la distanza tra due funzioni di densità di distribuzione: quella che descrive la disponibilità relativa delle variabili ambientali nell'area di studio e quella che descrive la disponibilità relativa delle variabili ambientali nei punti di presenza della specie (Phillips et al., 2006; Elith et al., 2001). Variabili ambientali

la cui distanza è spazialmente elevata dai punti di presenza utilizzati per il modello possono essere selezionate quindi come fattori ad alto contributo (maggiore è la distanza da tali variabili maggiore è l'idoneità del territorio) sebbene non siano tra quelle utilizzate dalla specie. Alcuni autori hanno utilizzano un valore soglia nelle trasformazioni delle variabili in distanze (Hirzel et al., 2001) oltre il quale la variabile ha valore nullo. Tale soglia potrebbe essere specie specifica basata, per esempio, sul valore medio degli home-range noti per la specie. Quest'ultimo aspetto, cioè la calibratura dei valori di distanza utilizzati per la restituzione degli strati informativi delle variabili ambientali, rappresenta uno dei temi evidenziati dalla ricerca che dovranno essere esaminati attraverso ulteriori applicazioni dei modelli. Un altro aspetto di rilevante interesse ai fini dell'implementazione dei piani di monitoraggio, riguarda l'approfondimento delle potenzialità dell'uso dei modelli probabilistici per la misurazione degli altri parametri utili alla definizione dello stato di conservazione delle specie tutelate dalla DH.

I risultati ottenuti indicano che i modelli sperimentati in questo lavoro di ricerca sono, al momento, applicabili alle specie che utilizzano le variabili ambientali descritte e cartografabili alla scala spaziale regionale e di cui si dispone di una buona conoscenza della nicchia ecologica grazie a progetti di ricerca e di monitoraggio condotti nei decenni passati. Tra queste specie sicuramente quelle appartenenti al gruppo degli uccelli nidificanti nel Lazio (N= 186 specie) presentano, come già discusso (cfr. par. 2.3), banche-dati che soddisfano gli assunti per l'applicazione dei modelli. Recenti progetti di ricerca e monitoraggio realizzati dalla Regione Lazio (Capizzi et al., 2013; Bologna et al., 2008; Sorace et al., 2011; Guglielmi et al., 2011; Russo et al., 2009; ARP, 2008) hanno portato all'acquisizione e sistematizzazione di rilevanti banche-dati per altri gruppi, in particolare per i mammiferi per i quali è stata avviata una prima fase di sperimentazione e applicazione della modellistica induttiva per la determinazione e misurazione dell'idoneità ambientale del territorio regionale (Capizzi et al., 2013). Altri gruppi, in particolare gli anfibi, presentano relazioni specie – habitat definite da variabili ambientali per le quali al momento non si dispone di esaustivi strati informativi georeferenziati e cartografabili alla scala regionale, limite che rende al momento difficile l'uso dei modelli induttivi ai fini del monitoraggio dello stato di conservazione di queste specie. Tuttavia alcuni autori (Bologna et al., 2008;) hanno evidenziato che, nel Lazio, per alcune specie di anfibi è stata rilevata una correlazione tra i siti di presenza ed alcune delle variabili ambientali per le quali si dispone di strati informativi georeferenziati che consentirebbero l'avvio della sperimentazione dei modelli induttivi anche per queste specie; in letteratura, inoltre, è riportato l'uso di alcune specie di anfibi come bioindicatori della qualità delle acque fluviali (Mucciolo et al., 2004; Andreani et al., 2003) dove sono esplicitati alcuni parametri ambientali potenzialmente utilizzabili per l'applicazione dei modelli induttivi finalizzati a monitorare la qualità degli habitat per queste specie.

5. Conclusioni

Complessivamente, nel presente lavoro di tesi, i risultati ottenuti dalla validazione dei modelli attraverso l'uso delle chimere e l'applicazione alle 8 specie ornitiche reali di riferimento sembrerebbero garantire l'affidabilità necessaria per implementare programmi di monitoraggio di almeno due dei parametri individuati dalla DH per definire lo stato di conservazione delle specie ornitiche nidificanti: la distribuzione potenziale e l'idoneità e estensione dell'habitat potenziale.

I modelli, infatti, individuando mediamente il 30% del territorio regionale idoneo per le specie, permettono di indirizzare le attività di monitoraggio su tali aree garantendo una dimensione del campione statisticamente robusta (Elzinga et al., 2001) e una riduzione del rapporto costo/benefici rilevante. Considerando che le attività di monitoraggio richieste dalla DH comportano la pianificazione di un investimento in termini di tempo, di risorse di personale e finanziarie che può essere definito importante dato che la scala di indagine richiesta dalla DH è rappresentata dall'intero territorio di ogni Stato dell'Unione, i risultati ottenuti dalla ricerca si delineano come uno strumento innovativo ed adeguato per la programmazione regionale. Questo risultato è in accordo con altri autori che (Guisan et al., 2013; Peterman et al., 2013) hanno individuato nei modelli di idoneità ambientale uno strumento estremamente efficace per la pianificazione delle attività di monitoraggio e conservazione. L'uso di strumenti alternativi e/o complementari a quelli tradizionali è tra l'altro suggerito anche dalla stessa Unione Europea (ETC/BD, 2011). Recentemente anche altri autori hanno sperimentato e proposto i modelli di idoneità ambientale come strumento per gli adempimenti degli obblighi derivanti dalla Direttiva Habitat (Sousa-Silva, 2014; Marcer et al., 2013; Sarrocco et al., 2013).

Il presente lavoro apre notevoli prospettive sull'uso delle informazioni contenute e in ingresso nelle banche-dati regionali relative all'individuazione dello stato di conservazione delle specie d'interesse comunitario. In particolare le tecniche modellistiche messe a punto permetteranno di indagare lo status di conservazione di specie che attualmente non sono inserite negli allegati della DH e della DU ma che risultano d'interesse conservazionistico quali ad esempio alcune specie endemiche e alcune specie geograficamente rarefatte.

L'affidabilità dei modelli permetterà inoltre di indagare altre caratteristiche ecologiche, quali l'ambito trofico o riproduttivo, di altri gruppi di specie e mettere a punto ulteriori strumenti di conservazione potenzialmente estendibili ad altri ambiti e scale geografiche.

L'applicazione dei modelli di idoneità ambientale sperimentati e adottati nel corso del presente lavoro di ricerca, inoltre, permetterà la misurazione di altri parametri ambientali ed ecologici richiesti dalla DH. A titolo esemplificativo, il parametro "prospettive future" comprende le pressioni e le minacce a cui una specie può essere sottoposta. Tra queste, c'è la diffusione delle specie aliene invasive, per contrastare la quale la stessa Unione Europea ha elaborato un piano strategico nell'ambito degli adempimenti alla Convenzione di Berna sulla conservazione delle specie selvatiche e degli habitat europei (Genovesi et al., 2011).

In tal senso, i modelli di idoneità ambientale potrebbero rappresentare uno strumento fondamentale nell'ambito della strategia per l'individuazione delle aree di potenziale espansione delle specie aliene

invasive, sia reali che virtuali, dove effettuare interventi preventivi mirati alla tutela della biodiversità autoctona, come evidenziato, ad esempio, in un recente lavoro (Di Febbraro et al., 2013) che, nel Lazio, ha individuato le aree focali per gli interventi di prevenzione e tutela dello scoiattolo rosso (S*ciurus vulgaris*) minacciato dalla potenziale espansione dello scoiattolo grigio (*Sciurus carolinensis*), specie aliena originaria degli Stati Uniti.

Ciò permetterebbe alle amministrazioni di assumere un ruolo proattivo in grado di migliorarne notevolmente la performance sia rispetto all'efficacia delle azioni di conservazione de monitoraggio della biodiversità implementate sia rispetto all'efficienza nella gestione delle risorse umane e finanziarie, in accordo con quanto introdotto anche dai più recenti dispositivi legislativi (D. Lgs 27 ottobre 2009 n. 150, L. 4 marzo 2009, n. 15).

Il contributo più significativo del lavoro realizzato può essere identificato nella messa a punto di strumenti di analisi complementari e/o alternativi rispetto alle metodologie classiche per il monitoraggio delle stato di conservazione delle specie ornitiche e alla potenziale applicazione di tali metodologie ad altre specie e in altri ambiti regionali. L'uso di variabili ambientali ad una scala appropriata può consentire, inoltre, l'esportazione e l'applicazione dei modelli sperimentati anche alla scala spaziale delle regioni biogeografiche individuate dall'European Topic Centre on Biological Diversity quale strumento per la verifica dei risultati delle strategie di conservazione della biodiversità messe in campo dall'Unione Europea.

Bibliografia

- Andreani P., Santucci F., Nascetti G., 2003. Le rane verdi del complesso Rana esculenta come bioindicatori della qualità degli ambienti fluviali italiani. Biologia Ambientale, 17 (1): 35-44.

- ARP, 2008. PATOM: supporto alle attività di monitoraggio e conservazione dell'orso bruno marsicano. Report interno – Agenzia Regionale Parchi – Regione Lazio.

- Austin M.P., Belbin L., Meyers J. A., Doherty M. D., Luoto M., 2006. Evaluation of statistical models used for predicting plant species distributions: Role of artificial data and theory. Ecological Modelling 199: 197-216.

- AA.VV., 2008. Attuazione della Direttiva Habitat e stato di conservazione di habitat e specie in Italia. 2008, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. http://www.minambiente.it/home_it/menu.html?mp=/menu/menu_attivita/&m=Rete_Natura_2000.html%7CMonitoraggio_e_rendicontazione.html.

- Boitani L., Falcucci A., Maiorano L., Montemaggiori A., 2002. Rete Ecologica Nazionale: il ruolo delle aree protette nella conservazione dei Vertebrati. Dip. B.A.U. Università di Roma "La Sapienza", Dir. Conservazione della Natura-Ministero Ambiente e delle Tutela del Territorio, Istituto di Ecologia Applicata, Roma.

- Boitani L., Powell R.A., 2012. Carnivore Ecology and Conservation: A Handbook of Techniques. Oxford University Press, 12 gen 2012 – pp. 506.

- Bologna, M. A., Luiselli L., Pitzalis M., Salvi D., Vignoli L., 2008. Monitoraggio delle comunità di anfibi e della testuggine palustre nelle aree protette della regione Lazio ed analisi dei fattori di minaccia. Assegno ricerca per studio commissionato dall'Agenzia regionale Parchi. Report finale.

- Boyce M.S., Vernier P.R., Nielsen S.E., Schmiegelow F.K.A., 2002. Evaluating resource selection functions. Ecological Modelling 157: 281-300.

- Braunisch V., Bollmann K., Graf R.F. & Hirzel, A.H., 2008. Living on the edge - Modelling habitat suitability for species at the edge of their fundamental niche. Ecological Modelling, 214: 153-167.

- Brunelli M., Sarrocco S., Corbi F., Sorace A., Boano A., De Felici S., Guerrieri G., Meschini A. e Roma S. (a cura di), 2011. Nuovo Atlante degli Uccelli Nidificanti nel Lazio. Edizioni ARP (Agenzia Regionale Parchi), Roma, pp. 464.

- Bruschi M., Scalisi M., (a cura di), 2011. Verso un piano per il Sistema delle aree protette del Lazio. Contributi ARP 2007-2010, Edizioni ARP, Roma; pp.320.

- Capizzi D., Mortelliti A., Amori G., Colangelo P., Rondinini C. (a cura di), 2012. I mammiferi del Lazio. Distribuzione, ecologia e conservazione. Edizioni ARP, Roma, pp. 251.

- Chase J. M., Leibold M. A., 2003. Ecological Niches: Linking Classical and Contemporary Approaches Press, Chicago, IL, 212 pp.,

- Corsi F., De Leeuw J, Skidmore A., 2000. Modelling species distribution with GIS. In Research Techniques in animal ecology, Boitani & Fuller (eds), 2000.

- Direttiva 79/409/CEE del Consiglio, del 2 aprile 1979, concernente la conservazione degli uccelli selvatici. G. U. delle Comunita' europee n. L 103 del 25/04/1979).

- Direttiva n. 92/43/CEE del Consiglio del 21 maggio 1992 (Direttiva Habitat) relativa alla conservazione degli habitat naturali e seminaturali e della flora e della fauna selvatiche. G.U. delle Comunità Europee n. 206 del 22-7-92.
- Direttiva 2009/147/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 30 novembre 2009 concernente la conservazione degli uccelli selvatici. G.U. dell'Unione europea L20 del 26 gennaio 2010.

- Di Febbraro M., Lurz P.W.W., Genovesi P., Maiorano L., Girardello M., Bertolino S., 2013. The Use of Climatic Niches in Screening Procedures for Introduced Species to Evaluate Risk of Spread: A Case with the American Eastern Grey Squirrel. PLoS ONE 8(7): e66559. doi:10.1371/journal.pone.0066559.

- ETC/BD-Douglas Evans and Marita Arvela compiled by, 2011. Assessment and reporting under Article 17 of the Habitats Directive Explanatory Notes & Guidelines for the period 2007-2012. Final Draft July 2011. European Topic Centre on Biological Diversity. http://circa.europa.eu/Public/irc/env/monnat/library?l=/habitats_reporting/reporting_2007-2012&vm=detailed&sb=Title.

- Elith J., Graham C. H., 2009. Do they? How do they? WHY do they differ? On finding reasons for differing performances of species distribution models. Ecography, 32:66–77.

- Elith J., Phillips S., Hastie T., Dudík M., Chee Y. E., Yates C., 2011.A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. Diversity and Distributions, 17: 43-57.

- Elzinga C.L., Salzer D.W., Willoughby J.W., Gibbs J.P., 2001. Monitoring Plant and Animal Populations, Paperback - Spiral edition Blackwell Science Inc..

- Ficetola G.F., Bonardi A., Mucher C.A., Gilissen N.L.M., Padoa-Schioppa E., 2014. How many predictors in species distribution models at the landscape scale? Land use versus LiDAR-derived canopy height. International Journal of Geographical Information Science 28: 1723-1739.

- Genovesi P., Shine C., 2011. European Strategy on Invasive Alien Species. Convention on the Conservation of European Wildlife and Habitats (Bern Convention). Nature and environment, No. 161.

- Genovesi P., Angelini P., Bianchi E., Duprè E., Ercole S., Giacanelli V., Ronchi F., Stoch F., 2014. Specie e habitat di interesse comunitario in Italia: distribuzione, stato di conservazione e trend. ISPRA, Serie Rapporti, 194/2014.

- Gibbs J. P., 2000. Monitoring population. (L. Boitani & T. K. Fuller, eds.) Research Techniques in Animal Ecology. Columbia University Press, New York, pp. 213-252.

- Guisan A. and Thuiller W., 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. Ecology Letters, 8: 993–1009.

- Guisan A., Zimmerman N. E., 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. Ecol. Modell. 135: 147–186.

- Guisan A., Broennimann O., Engler R., Vust M., Yoccoz N.G., Lehmann A., Zimmermann N.E., 2006. Using niche-based models to improve the sampling of rare species. Conserv Biol.;20: 501-11.

- Guisan A., Tingley R., Baumgartner J.B., Naujokaitis-Lewis I., Sutcliffe P.R., Tulloch A.I., Regan T.J., Brotons L., McDonald-Madden E., Mantyka-Pringle C., Martin T.G., Rhodes J.R., Maggini

R., Setterfield S.A., Elith J., Schwartz M.W., Wintle B.A., Broennimann O., Austin M., Ferrier S., Kearney M.R., Possingham H.P., Buckley Y.M., 2013. Predicting species distributions for conservation decisions. Ecology Letters, 16: 1424-35.

- Guglielmi S., Properzi S., Scalisi M., Sorace A., Trocchi V., Riga F., 2011. La lepre italica nel Lazio: status e piano d'azione. Edizioni ARP, Roma; 80 pp.

- Hirzel A. H., Helfer V., Metral F., 2001. Assessing habitat suitability model with a virtual species. Ecological Modelling,145: 111-121.

- Hirzel A. H., Hausser J., Chessel D., Perrin N., 2002. Ecological Niche Factor Analysis: how to compute habitat-suitability maps without absence data? Ecology, 83: 2027-2036.

- Hirzel A. H., Arlettaz R., 2003. Modeling Habitat Suitability for Complex Species Distributions by Environmental-Distance Geometric Mean. Environmental Management, 32: 614-623.

- Hirzel A. H., Le Laya G., Helfera V., Randina C., Guisana A., 2006. Evaluating the ability of habitat suitability models to predict species presences. Ecological modelling, 199: 142–152.

- Hirzel A. H., Hausser J., Perrin N., 2007. Biomapper1.0–4.0. Lab. of Conservation Biology. Department of Ecology and Evolution, University of Lausanne, Switzerland (URL:http://www.unil.ch/biomapper).

- Hoffman J. D., Aguilar-Amuchastegui N. Tyre, A. J. (2010). Use of simulated data from a process-based habitat model to evaluate methods for predicting species occurrence. Ecography, 33:656–666.

- Holland J.D., Bert D. G., Fahrig L., 2004. Determining the Spatial Scale of Species' Response to Habitat. BioScience, 54: 227-233.

- Hosmer D.W., Lemeshow S., 1989. Applied logistic regression. New York: John Wiley & Sons.

- IUCN, Standards and Petitions Subcommittee, 2014. Guidelines for Using the IUCN Red List Categories and Criteria. Version 11. Prepared by the Standards and Petitions Subcommittee. Downloadable from http://www.iucnredlist.org/documents/RedListGuidelines.pdf.

- Kremen C., Merenlender A. M., Murphy D. D., 1994. Ecological monitoring: a vital need for integrated conservation and development programs in the tropics. Conservation Biology, 8: 388–397.

- Latif Q. S., Saab V. A., Mellen-Mclean K., Dudley, J. G., 2014. Evaluating habitat suitability models for nesting white-headed woodpeckers in unburned forest. The Journal of Wildlife Management.
- 79:263–273.

- Lipu, 2009.Valutazione dello stato di conservazione dell'avifauna italiana. Rapporto Tecnico – MATTM.

- Lobo J. M., Jiménez-Valverde A., Real R., 2008. AUC: a misleading measure of the performance of predictive distribution models. Global Ecology and Biogeography, 17: 145-151.

- Lobo J. M., Jiménez-Valverde A., Hortal J., 2010. The uncertain nature of absences: implications in species distribution modelling. Ecography, 33: 103-114.
-
- Luoto M., Virkkala R., Heikkinen R. K., 2007. The role of land cover in bioclimatic models depends on spatial resolution. Global Ecology and Biogeography, 16: 34–42.
- MacKenzie D.I., Nichols J. D., Royle A.J., Pollock K.H., Bailey L. L., Hines J.E., 2006. Occupancy Estimation and Modeling. Academic Press, Elsevier.
- Marcer A., Sáezb L., Molowny-Horasa R., Ponsb X., Pinoa, J., 2013. Assessing the conservation status of species with limited available data and disjunct distribution. Biological Conservation, 166: 221–230.
- Mateo Sánchez M.C., Cushman S. A., Saura S., 2013. Scale dependence in habitat selection: the case of the endangered brown bear (Ursus arctos) in the Cantabrian Range (NW Spain). International Journal of Geographical Information Science.
- Meffe G. K., Nielsen A. A., Knight R. L., Schenborn D. A., 2002. Ecosystem management: adaptive, community based conservation. Island Press, Washington, DC.
- Meynard C.N., Quinn J.F., 2007. Predicting species distributions: A critical comparison of the most common statistical models using artificial species. Journal of Biogeography 34(8): 1455–1469.
- Meynard C. N., Kaplan D. M., 2013. Using virtual species to study species distributions and model performance. Journal of Biogeography, 40: 1–8.
- Mucciolo L., Venanzi D., Scialanca F., Nascetti G., 2003. Indici biotici e bioindicatori per la caratterizzazione della qualità ambientale del bacino idrografico del Fiume Marta - Lago di Bolsena: il caso del Torrente Urcionio. Studi Trent. Sci. Nat., Acta Biol., 80 (2003): 85-88.
- Ortega-Huerta M. A., Peterson A. T., 2008. Modeling ecological niches and predicting geographic distributions: a test of six presence-only methods. Revista mexicana de Biodiversidad,79: 205-216.
- Pearson R. G., Raxworthy C. J., Nakamura M., Townsend Peterson A., 2007. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. Journal of Biogeography, 34: 102–117.
- Pearson R. G., Dawson T. P. and Liu C., 2004. Modelling species distributions in Britain: a hierarchical integration of climate and land-cover data. Ecography, 27: 285–298.
- Peterman W.E., Crawford J.A., Kuhns A.R., 2013. Using species distribution and occupancy modeling to guide survey efforts and assess species status. Journal for Nature Conservation 2: 114–121.
- Peterson A. T., Soberón J., Pearson R. G., Anderson R. P., Martínez-Meyer E., Nakamura M., Araújo M. B., 2011. Ecological Niches and Geographic Distributions. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 314 pp.
- Phillips S.J., Anderson R.P., Schapire R.E., 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecological Modelling, 190: 231-259.

- Rebelo H., Jones G., 2010. Ground validation of presence-only modelling with rare species: a case study on barbastelles Barbastella barbastellus (Chiroptera: Vespertilionidae). Journal of Applied Ecology, 47: 410-420.

- Rushton S. P, Ormerod S. J, Kerby G., 2006. New paradigms for modelling species distributions? Journal of Applied Ecology, 41: 193–200.

- Russo D., Biscardi S., Cistrone L., Del Vaglio A., Migliozzi A., Mazzoleni S., 2009. Analisi spaziale della biodiversità della chirotterofauna laziale: applicazioni alla gestione e alla conservazione. Report finale – progetto dell'Agenzia Regionale Parchi-Regione Lazio

- Segurado P., Araújo M. B., 2004. An evaluation of methods for modelling species distributions. Journal of Biogeography, 31: 1555–1568.

- Sarrocco S., Capizzi D., Pizzol I., Scalisi M., 2013. Il monitoraggio delle specie della Direttiva Uccelli (2009/147/CE): stima dei parametri per alcuni taxa di interesse conservazionistico nel Lazio. Riassunti del XVII Convegno Italiano di Ornitologia: 133-134.

- Sillero N., 2011. What does ecological modelling model? A proposed classification of ecological niche models based on their underlying methods. Ecol. Model., 222: 1343–1346.

- Sorace A., Properzi S., Guglielmi S., Riga F., Trocchi V., Scalisi M., 2011. La coturnice nel Lazio: status e piano d'azione. Edizioni ARP, Roma; 80pp.

- Sousa-Silva R. , Alvesa P.,Honradoa J., Lomba A., 2014. Improving the assessment and reporting on rare and endangered species through species distribution models. Global Ecology and Conservation, 2: 226–237.

- Stoms D. M., Davis F. W., Cogan C. B., 1992.Sensitivity of wildlife habitat models to uncertainties in GIS data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 58: 843-850.

- Thompson W. L., White G. C., 1998. Monitoring vertebrate population. Academic Press, San Diego, CA.

- Warren D.L., Seifert S.N., 2011. Environmental niche modeling in Maxent: the importance of model complexity and the performance of model selection criteria. Ecological Applications 21: 335-342.

- Yackulic C. B., Chandler R., Zipkin E. F., Royle J. A., Nichols J. D., Campbell Grant E. H., Veran S., 2013. Presence-only modelling using MAXENT: when can we trust the inferences? Methods in Ecology and Evolution, 4: 236–243.

- U.S. Fish and Wildlife Service, 1980. Habitat Evaluation Procedures (HEP). Ecological Service Manual 102.Washington, D.C.: U.S. Department of Interior, Fish and Wildlife Service, Division of Ecological Service.

- U.S. Fish and Wildlife Service, 1981. Standard for the development of habitat suitability index model. Ecological Service Manual 103.Washington, D.C.: U.S. Department of Interior, Fish and Wildlife Service, Division of Ecological Service.

- Wilson J. W., Sexton J. O.; Todd J. R.; Haddad N. M., 2013. The relative contribution of terrain, land cover, and vegetation structure indices to species distribution models. Biological Conservation. 164: 170–176.

- Williams J. N., Seo C., Thorne J., Nelson J. K., Erwin S., O'Brien J. M., Schwartz M. W., 2009. Using species distribution models to predict new occurrences for rare plants. Diversity and Distributions, 15: 565–576.

- Zar J.H., 1998. Biostatistical Analysis (4th Edition) Prentice Hall, New Jersey.

Appendice I

La Carta dell'Uso del Suolo e la Carta delle Formazioni Naturali e Seminaturali della Regione Lazio: riclassificazione e definizione delle variabili ambientali.

Per lo sviluppo dei modelli di idoneità ambientale è stato necessario predisporre gli strati informativi relativi alle variabili ambientali che caratterizzano il territorio regionale. Le variabili ambientali utilizzate derivano dagli strati informativi che descrivono la Carta dell'Uso del Suolo (approfondimento al III livello Corine Land Cover realizzata nel 2003), la Carta delle formazioni naturali e semi-naturali della Regione Lazio (approfondimento al IV e V livello Corine Land Cover della Carta dell'Uso del Suolo, realizzata nel 2011) e le tipologie forestali. Sono inoltre state utilizzate le variabili che descrivono l'altitudine, la pendenza e l'esposizione del territorio regionale. Gli strati informativi sono stati elaborati in ambiente GIS. Il GIS, attraverso una serie di software dedicati, consente di visualizzare, catalogare, archiviare, estrarre, integrare, trasformare ed analizzare dati spaziali ai quali possono essere associati più elementi geografici. Le categorie dell'uso del suolo sono state organizzate secondo criteri di similarità nella struttura e funzione ecologica per le specie (accorpamento) o di esclusione quando ritenute non significative (formazioni con estensione ridotta, e prevalentemente di origine alloctona, per esempio colture di eucalipti per un estensione totale di 40 ha). Per i criteri di accorpamento delle variabili si è fatto riferimento alle conoscenze pregresse dell'ecologia delle specie considerate e ai dati di distribuzione ambientale noti per il Lazio (cfr. par. 2.3 della tesi di dottorato).
Per la CUS IV livello, a partire da 115 categorie, la riorganizzazione (accorpamento) ha portato a un totale di 31 categorie con l'esclusione di 5 categorie ed ha interessato l'intero territorio regionale (circa 172.000 ha). Dall'accorpamento delle 75 categorie della CUS III livello ne sono state ottenute 23 e ne sono state escluse 2 (tab. 6 e tab. 7).

Di seguito si riporta una descrizione dettagliata delle due Carte tematiche, la legenda originale e una tabella riepilogativa degli accorpamenti effettuati.

La Carta dell'Uso del Suolo della Regione Lazio (CUS 2003)

La Carta di Uso del Suolo (CUS) è una carta tematica di base che rappresenta lo stato attuale di utilizzo del territorio e si inquadra nell'ambito del Progetto CORINE Land Cover dell'Unione Europea.
Il Programma europeo CORINE (Coordination of Information on the Environment) è stato approvato il 27 giugno 1985, come programma sperimentale per la raccolta, il coordinamento e la messa a punto delle informazioni sullo stato dell'ambiente e delle risorse naturali della Comunità Europea. All'interno dei progetti che compongono la totalità del programma CORINE (Biotopi, Emissioni atmosferiche, Vegetazione naturale, Erosione costiera, etc.) il Land Cover costituisce il livello di indagine sull'occupazione del suolo. Obiettivo primario è la creazione di una base dati vettoriale omogenea, relativa alla copertura del suolo classificato sulla base di una nomenclatura unitaria per tutti i Paesi della Unione Europea.
Il rilievo, effettuato all'inizio degli anni novanta dalla UE sul territorio di tutti gli stati membri (rappresentato alla scala 1:100.000), ha prodotto una classificazione secondo una Legenda di 44 classi suddivisa in 3 livelli gerarchici con una unità minima cartografata di 25 ettari. La CUS della Regione Lazio

prodotta nel 2003, costituisce un naturale prodotto di approfondimento dell'originario rilievo eseguito dall'UE, ed è stata realizzata nell'ambito della redazione del Piano Territoriale Paesistico Regionale.

La CUS, con un linguaggio condiviso e conforme alle direttive comunitarie, si fonda su 5 classi principali (Superfici artificiali, Superfici agricole utilizzate, Superfici boscate e ambienti seminaturali, Ambienti umidi, Corpi idrici) e si sviluppa per successivi livelli di dettaglio in funzione della scala di rappresentazione.

La CUS della Regione Lazio articola la lettura dell'intero territorio regionale al IV° livello di dettaglio per un totale di 76 classi di uso del suolo. (Di queste però le classi 2.4.4 – 3.3.5 – 4.1.2. – 4.2.3 non sono state registrate durante il lavoro di fotointerpretazione).

La struttura della Carta (e del relativo database), costruita attraverso una legenda a sviluppo gerarchico, consente una grande flessibilità applicativa in ordine all'approfondimento e alla integrazione delle classi, nonché un confronto temporale delle informazioni contenute consentendo la lettura territoriale e il monitoraggio delle dinamiche evolutive.

La CUS della Regione Lazio (2003), estesa all'intero territorio regionale per un totale di 1.720.300 ettari, è realizzata alla scala nominale 1:25.000 con una unità minima cartografata di un ettaro tramite fotointerpretazione a video delle ortofoto digitali a colori "Terraitaly" del volo "it2000" (1998-99) e delle immagini satellitari Landsat 7 ETM +, rilevate in doppia copertura estiva ed invernale, negli anni 2001-2002 ed è appoggiata sulla aerofotogrammetria della Carta Tecnica Regionale (volo 1989-90) in scala 1:10.000.

La CUS è realizzata completamente in forma numerica vettoriale, in formato shape, nel sistema di riferimento UTM 33 ED50. Ad ogni unità (poligono di uso del suolo) rilevata è associata una banca dati alfanumerica.

I poligoni delle classi individuati dalla CUS (con riferimento all'ambito regionale) sono circa 77.000, per una occupazione di memoria di circa 200 MB.

La CUS si articola in 537 sezioni e 42 Fogli disponibili in formato cartaceo, numerico vettoriale e raster. E' stata collaudata il 4 novembre 2003.

Legenda della Carta dell'Uso del Suolo della Regione Lazio, 2003.

1. SUPERFICI ARTIFICIALI Ambiente urbanizzato
1.1 Insediamento residenziale
1.1.1. Insediamento continuo
    1.1.1.1. Tessuto residenziale continuo e denso
    1.1.1.2. Tessuto residenziale continuo e mediamente denso
1.1.2. Insediamento discontinuo
    1.1.2.1. Tessuto residenziale discontinuo
    1.1.2.2. Tessuto residenziale rado
    1.1.2.3. Tessuto residenziale sparso
1.2. Insediamento produttivo, dei servizi generali pubblici e privati, delle reti e delle aree infrastrutturali
1.2.1. Insediamento industriale, commerciale e dei grandi impianti di servizi pubblici e privati
    1.2.1.1. Insediamento industriale o artigianale
    1.2.1.2. Insediamento commerciale
    1.2.1.3.Insediamento dei grandi impianti di servizi pubblici e privati
    1.2.1.4. Insediamenti ospedalieri
    1.2.1.5. Insediamenti degli impianti tecnologici
1.2.2. Reti ed aree infrastrutturali stradali e ferroviarie e spazi accessori, aree per grandi impianti di smistamento merci, reti ed aree per la distribuzione idrica e la produzione e il trasporto dell'energia
    1.2.2.1. Reti stradali e territoriali con zone di pertinenza
    1.2.2.2. Reti ferroviarie comprese le superfici annesse
    1.2.2.3. Grandi impianti di concentramento e smistamento merci
    1.2.2.4. Aree per impianti delle telecomunicazioni
    1.2.2.5. Reti per la distribuzione, la produzione e il trasporto di energia
    1.2.2.6. Reti ed aree per la distribuzione idrica compresi gli impianti di captazione, serbatoi e stazioni di pompaggio
1.2.3. Aree portuali
1.2.4. Aeroporti
1.3. Aree estrattive, cantieri, discariche e terreni artefatti e abbandonati
1.3.1. Aree estrattive
1.3.2. Discariche e depositi di rottami
    1.3.2.1. Discariche e depositi
    1.3.2.2. Depositi di rottami a cielo aperto
1.3.3. Cantieri (Spazi in costruzione,scavi e suoli rimaneggiati)
    1.3.3.1. Cantieri e spazi in costruzione e scavi
    1.3.3.2. Suoli rimaneggiati ed artefatti
1.4. Aree verdi urbanizzate
1.4.1. Aree urbane verdi
1.4.2. Aree ricreative e sportive
    1.4.2.1. Campeggi e Bungalows
    1.4.2.2. Strutture di sport e tempo libero
    1.4.2.3. Parchi di divertimento
    1.4.2.4. Aree archeologiche
1.4.3. Cimiteri
2. SUPERFICI AGRICOLE UTILIZZATE. Ambiente coltivato.
2.1. Seminativi
2.1.1. Seminativi in aree non irrigue
    2.1.1.1. Seminativi in aree non irrigue
    2.1.1.2. Vivai in aree non irrigue
    2.1.1.3. Colture orticole in pieno campo, in serra e sotto plastica in aree non irrigue
2.1.2. Seminativi in aree irrigue
    2.1.2.1. Seminativi in aree irrigue
    2.1.2.2. Vivai in aree irrigue
    2.1.2.3. Colture orticole in pieno campo, in serra e sotto plastica in aree irrigue
2.2. Colture permanenti
2.2.1. Vigneti
2.2.2. Frutteti e frutti minori
2.2.3. Oliveti
2.2.4. Altre colture permanenti

2.2.4.1. Arboricoltura da legno
2.2.4.1.1. Pioppeti, saliceti e altre latifoglie
2.2.4.1.2. Conifere a rapido accrescimento
2.2.4.2. Castagneti da frutto
2.2.4.3. Altre colture (eucalipti)
2.3. Prati stabili (Foraggere permanenti)
2.3.1. Superfici a copertura erbacea densa (graminacee)
2.4. Zone agricole eterogenee. Aree con presenza di almeno tre differenti classi d'uso
2.4.1. Colture temporanee associate a colture permanenti
2.4.2. Sistemi colturali e particellari complessi
2.4.3. Aree prevalentemente occupate da coltura agraria con presenza di spazi naturali importanti
3. SUPERFICI BOSCATE ED ALTRI AMBIENTI SEMINATURALI
3.1. Aree boscate. Aree con copertura arborea costituita da specie forestali a densità superiore al 10%
3.1.1. Boschi di latifoglie
3.1.2. Boschi di conifere
3.1.3. Boschi misti di conifere e latifoglie
3.2. Ambienti caratterizzati da copertura vegetale prevalentemente arbustiva e/o erbacea in evoluzione naturale
3.2.1. Aree a pascolo naturale e praterie di alta quota
3.2.2. Cespuglieti e arbusteti
3.2.3.Aree a vegetazione sclerofilla
3.2.4. Aree a vegetazione arborea e arbustiva in evoluzione
3.2.4.1. Aree a ricolonizzazione naturale
3.2.4.2. Aree a ricolonizzazione artificiale
3.3. Zone aperte con vegetazione rada o assente
3.3.1. Spiagge, dune e sabbie
3.3.2. Rocce nude, falesie, affioramenti
3.3.3. Aree con vegetazione rada
3.3.4. Aree interessate da incendi o da altri eventi dannosi
3.3.4.1. Boschi percorsi da incendi
3.3.4.2. Altre aree della classe 3 percorse da incendi
3.3.4.3.Aree degradate per altri eventi
4. AMBIENTE UMIDO
4.1.Zone umide interne
4.1.1. Paludi interne
4.2 Zone umide marittime
4.2.1.Paludi salmastre
4.2.2. Saline
5. AMBIENTE DELLE ACQUE
5.1. Acque continentali
5.1.1. Corsi d'acqua, canali e idrovie. Corsi d'acqua naturali o artificiali che servono per il deflusso delle acque: larghezza minima da considerare 25 m
5.1.1.1. Fiumi, torrenti e fossi
5.1.1.2. Canali e idrovie
5.1.2. Bacini d'acqua. Superfici naturali o artificiali coperte da acque, destinate o meno all'uso agricolo e/o ittico
5.1.2.1. Bacini senza manifeste utilizzazioni produttive
5.1.2.2. Bacini con prevalente utilizzazione per scopi irrigui
5.1.2.3. Bacini con prevalente altra destinazione produttiva, esclusa la 5.1.2.4. (bacini idroelettrici, bacini di potabilizzazione)
5.1.2.4. Acquacolture
5.2 Acque marittime
5.2.1. Lagune, laghi e stagni costieri
5.2.2. Estuari. Parte terminale dei fiumi, alla foce, che subisce l'influenza delle acque marine
5.2.3. Aree al di là del limite delle maree più basse

Per l'accorpamento delle categorie è stata effettuata un'analisi spaziale in ambiente GIS sovrapponendo alle categorie della CUS III livello quelle della CUS IV livello. Ciò ha permesso una lettura di dettaglio delle categorie di gerarchia superiore (CUS III livello) e un accorpamento in base ai criteri di similarità discussi nel paragrafo 2.4.3 della tesi. Di seguito si riporta una tabella in cui sono riportate le categorie della CUS III, le corrispondenti categorie della CUS IV livello risultanti dalla sovrapposizione spaziale e il codice di riclassificazione.

Codice liv3	Desc. 3 livello	Codice liv4	Desc. 4 livello	Codice reclass CUS liv3
123	Aree portuali	123	Aree portuali	11
124	Aree aeroportuali ed eliporti	124	Aree aeroportuali ed eliporti	
111	Insediamento continuo	111	Insediamento continuo	11
111	Insediamento continuo	111	Insediamento continuo	11
112	Insediamento discontinuo	112	Insediamento discontinuo	11
112	Insediamento discontinuo	112	Insediamento discontinuo	11
112	Insediamento discontinuo	112	Insediamento discontinuo	11
121	Insediamento industriale, commerciale e dei grandi impianti di servizi pubblici e privati	121	Insediamento industriale, commerciale e dei grandi impianti di servizi pubblici e privati	11
121	Insediamento industriale, commerciale e dei grandi impianti di servizi pubblici e privati	121	Insediamento industriale, commerciale e dei grandi impianti di servizi pubblici e privati	11
121	Insediamento industriale, commerciale e dei grandi impianti di servizi pubblici e privati	121	Insediamento industriale, commerciale e dei grandi impianti di servizi pubblici e privati	11
122	Reti ed aree infrastrutturali stradali e ferroviarie e spazi accessori, aree per grandi impianti di smistamento merci, reti ed aree per la distribuzione idrica e la produzione e il trasporto dell'energia	122	Reti ed aree infrastrutturali stradali e ferroviarie e spazi accessori, aree per grandi impianti di smistamento merci, reti ed aree per la distribuzione idrica e	11

			la produzione e il trasporto dell'energia	
121	Insediamento industriale, commerciale e dei grandi impianti di servizi pubblici e privati	121	Insediamento industriale, commerciale e dei grandi impianti di servizi pubblici e privati	11
122	Reti ed aree infrastrutturali stradali e ferroviarie e spazi accessori, aree per grandi impianti di smistamento merci, reti ed aree per la distribuzione idrica e la produzione e il trasporto dell'energia	122	Reti ed aree infrastrutturali stradali e ferroviarie e spazi accessori, aree per grandi impianti di smistamento merci, reti ed aree per la distribuzione idrica e la produzione e il trasporto dell'energia	11
122	Reti ed aree infrastrutturali stradali e ferroviarie e spazi accessori, aree per grandi impianti di smistamento merci, reti ed aree per la distribuzione idrica e la produzione e il trasporto dell'energia	122	Reti ed aree infrastrutturali stradali e ferroviarie e spazi accessori, aree per grandi impianti di smistamento merci, reti ed aree per la distribuzione idrica e la produzione e il trasporto dell'energia	11
122	Reti ed aree infrastrutturali stradali e ferroviarie e spazi accessori, aree per grandi impianti di smistamento merci, reti ed aree per la distribuzione idrica e la produzione e il trasporto dell'energia	122	Reti ed aree infrastrutturali stradali e ferroviarie e spazi accessori, aree per grandi impianti di smistamento merci, reti ed aree per la distribuzione idrica e la produzione e il trasporto dell'energia	11
122	Reti ed aree infrastrutturali stradali e ferroviarie e spazi accessori, aree per grandi impianti di smistamento merci, reti ed aree per la distribuzione idrica e la produzione e il trasporto dell'energia	122	Reti ed aree infrastrutturali stradali e ferroviarie e spazi accessori, aree per grandi impianti di smistamento merci,	11

			reti ed aree per la distribuzione idrica e la produzione e il trasporto dell'energia	
122	Reti ed aree infrastrutturali stradali e ferroviarie e spazi accessori, aree per grandi impianti di smistamento merci, reti ed aree per la distribuzione idrica e la produzione e il trasporto dell'energia	122	Reti ed aree infrastrutturali stradali e ferroviarie e spazi accessori, aree per grandi impianti di smistamento merci, reti ed aree per la distribuzione idrica e la produzione e il trasporto dell'energia	11
131	Aree estrattive	131	Aree estrattive	12
132	Discariche e depositi di rottami	132	Discariche e depositi di rottami	11
132	Discariche e depositi di rottami	132	Discariche e depositi di rottami	11
133	Cantieri	133	Cantieri	11
141	Aree verdi urbane	141	Aree verdi urbane	12
142	Aree ricreative e sportive	142	Aree ricreative e sportive	11
143	Cimiteri	143	Cimiteri	12
211	Seminativi in aree non irrigue	2111	Seminativi in aree non irrigue	211
211	Seminativi in aree non irrigue	2112	Vivai in aree non irrigue	211
211	Seminativi in aree non irrigue	2113	Colture orticole in pieno campo, in serra e sotto plastica in aree non irrigue	211
212	Seminativi in aree irrigue	2121	Seminativi in aree irrigue	212
212	Seminativi in aree irrigue	2122	Vivai in aree irrigue	212
212	Seminativi in aree irrigue	2123	Colture orticole in pieno campo, in serra e sotto plastica in aree irrigue	212
221	Vigneti	221	Vigneti	22
222	Frutteti e frutti minori	222	Frutteti e frutti minori	22
223	Oliveti	223	Oliveti	22
224	Altre colture permanenti	2242	Castagneti da frutto	224
224	Altre colture permanenti	2243	Altre colture (eucalipti)	224
224	Altre colture permanenti	2241	Pioppeti, saliceti e altre latifoglie	224
224	Altre colture permanenti	2241	Conifere a rapido accrescimento	224

231	Superfici a copertura erbacea densa a composizione floristica rappresentata principalmente da graminacee non soggette a rotazione	231	Superfici a copertura erbacea densa (graminacee)	23
241	Colture temporanee associate a colture permanenti	241	Colture temporanee associate a colture permanenti	22
242	Sistemi colturali e particellari complessi	242	Sistemi colturali e particellari complessi	242
243	Aree prevalentemente occupate da coltura agrarie con presenza di spazi naturali importanti	243	Aree prevalentemente occupate da coltura agraria con presenza di spazi naturali importanti	243
311	Boschi di latifoglie	3112	Querceti a prevalenza di farnia	311
311	Boschi di latifoglie	3113	Formazioni miste di valloni e forre (a tiglio, orniello e aceri; a carpino bianco e nocciolo; ad alloro)	311
311	Boschi di latifoglie	3113	Nuclei a betulla	311
311	Boschi di latifoglie	3113	Nuclei forestali di neoformazione in ambito agricolo e artificiale	243
311	Boschi di latifoglie	3115	Faggete termofile dei piani collinare e submontano	311
311	Boschi di latifoglie	3115	Faggete montane	311
311	Boschi di latifoglie	3116	Boscaglie ripariali a salici arbustivi	
311	Boschi di latifoglie	3116	Boschi igrofili a pioppi e salice bianco e/o ad ontano nero e/o a frassino meridionale	311
311	Boschi di latifoglie	3117	Formazioni spontanee a robinia e/o ailanto	311
311	Boschi di latifoglie	3117	Rimboschimenti ad eucalipti	311
311	Boschi di latifoglie	3111	Leccete termomediterranee costiere	311
311	Boschi di latifoglie	3111	Leccete con caducifoglie	311
311	Boschi di latifoglie	3111	Sugherete miste a sempreverdi su terre rosse o suoli decarbonati	311
311	Boschi di latifoglie	3111	Sugherete dei substrati sabbiosi e arenacei con farnetto o altre caducifoglie	311

311	Boschi di latifoglie	3112	Cerrete collinari	311
311	Boschi di latifoglie	3112	Cerrete submontane	311
311	Boschi di latifoglie	3112	Cerrete con farnetto	311
311	Boschi di latifoglie	3112	Boschi mesomediterranei di roverella	311
311	Boschi di latifoglie	3112	Boschi submontano-montani di roverella	311
311	Boschi di latifoglie	3113	Orno-ostrieti e boscaglie a carpinella	311
311	Boschi di latifoglie	3113	Ostrieti mesofili	311
311	Boschi di latifoglie	3114	Castagneti (eutrofici) su depositi vulcanici e castagneti (oligotrofici) su lave acide	311
311	Boschi di latifoglie	3114	Castagneti dei substrati arenacei e marnosi	311
311	Boschi di latifoglie	3114	Castagneti da frutto (eutrofici) su depositi vulcanici e castagneti (oligotrofici) su lave acide	311
311	Boschi di latifoglie	3114	Castagneti da frutto dei substrati arenacei e marnosi	311
311	Boschi di latifoglie	3116	Boscaglie ripariali a salici arbustivi	511
312	Boschi e rimboschimenti di conifere (esclusa arboricoltura)	3122	Boschi e piantagioni misti a prevalenza di pino nero, abeti, larice, cembro, pino silvestre	314
312	Boschi e rimboschimenti di conifere (esclusa arboricoltura)	3121	Pinete artificiali a pino domestico e/o pino marittimo	312
312	Boschi e rimboschimenti di conifere (esclusa arboricoltura)	3121	Pinete naturali o artificiali di pino d'Aleppo	312
313	Boschi e rimboschimenti misti di conifere e latifoglie	3131	Boschi misti a prevalenza di querce sempreverdi	313
313	Boschi e rimboschimenti misti di conifere e latifoglie	3131	Boschi misti a prevalenza di querce caducifoglie	313
313	Boschi e rimboschimenti misti di conifere e latifoglie	3131	Boschi misti a prevalenza di latifoglie mesofile e mesotermofile	
313	Boschi e rimboschimenti misti di conifere e latifoglie	3131	Boschi misti a prevalenza di castagno	313
313	Boschi e rimboschimenti misti di conifere e latifoglie	3131	Boschi misti a prevalenza di faggio	313

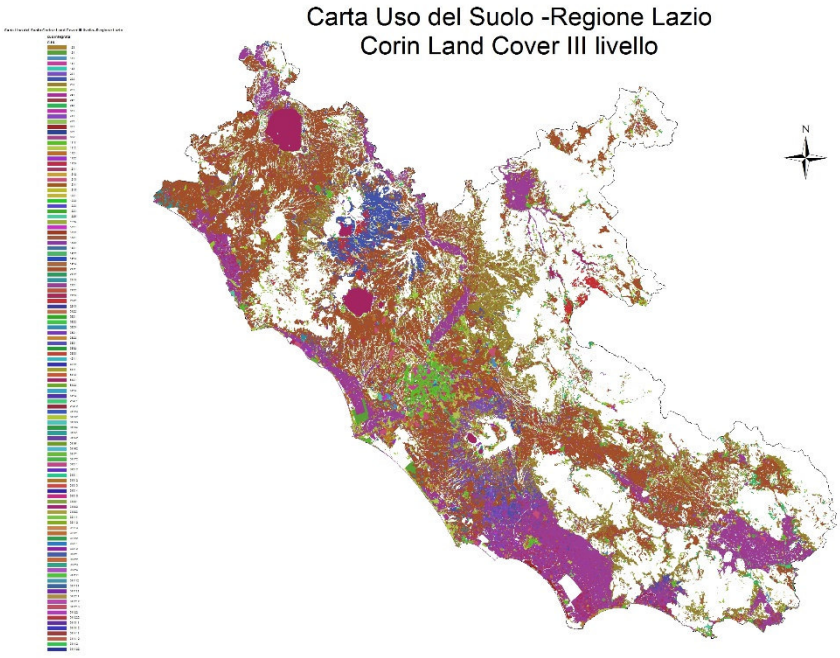
313	Boschi e rimboschimenti misti di conifere e latifoglie	3132	Boschi e piantagioni misti a prevalenza di pini mediterranei o cipressi	314
313	Boschi e rimboschimenti misti di conifere e latifoglie	3132	Boschi e piantagioni misti a prevalenza di pino nero, abeti, larice, cembro, pino silvestre	314
313	Boschi e rimboschimenti misti di conifere e latifoglie	3132	Boschi e piantagioni misti a prevalenza di altre conifere	314
321	Aree a pascolo naturale e praterie	3211	Praterie montane e alto-montane (a Nardus stricta e/o a Festuca paniculata; a Festuca violacea subsp. italica; a Sesleria nitida; locali prati-pascoli a Cynosurus cristatus e Lolium perenne o a Festuca arundinacea)	321
321	Aree a pascolo naturale e praterie	3211	Praterie a Dasypirum villosum, Avena sp.pl. e prati-pascoli collinari a dominanza di leguminose	321
321	Aree a pascolo naturale e praterie	3211	Praterie pseudo-steppiche ad Ampelodesmos mauritanicus e/o a Hyparrhenia hirta	321
321	Aree a pascolo naturale e praterie	3212	Praterie montane e d'altitudine (a Brachypodium genuense, Sesleria tenuifolia, Nardus stricta, Festuca rubra) con locali comunitÓ ad elina e salici nani	321
321	Aree a pascolo naturale e praterie	3212	Praterie e pseudo-garighe collinari e submontane (a Bromus erectus, Festuca circummediterranea, Brachypodium rupestre, Salvia officinalis, Helichrysum italicum)	321
322	Brughiere e cespuglieti	3221	Cespuglieti d'altitudine e montani a mirtillo, ginepro nano, ramno alpino,	322

			rosacee e leguminose arbustive	
322	Brughiere e cespuglieti	3222	Cespuglieti a dominanza di prugnolo, rovi, ginestre e/o felce aquilina	322
322	Brughiere e cespuglieti	3223	Boscaglia illirica a Pistacia terebinthus e Paliurus spina-christi o a Cercis siliquastrum e Pistacia terebinthus	322
323	Aree a vegetazione sclerofilla	3231	Macchia alta retrodunale e interdunale	323
323	Aree a vegetazione sclerofilla	3231	Macchia alta interna e collinare	323
323	Aree a vegetazione sclerofilla	3232	Macchia a ginepro coccolone o a ginepro fenicio delle dune stabilizzate	323
323	Aree a vegetazione sclerofilla	3232	Macchia a ginepro fenicio delle coste alte, con euforbia arborescente e/o palma nana	323
323	Aree a vegetazione sclerofilla	3232	Macchia a mirto e lentisco o a olivastro e lentisco	323
323	Aree a vegetazione sclerofilla	3232	Garighe a cisti, erica e rosmarino o ad Helichrysum litoreum	323
331	Spiagge, dune e sabbie	331	Spiagge, sabbia nuda e dune con vegetazione erbacea psammofila	33
332	Rocce nude, falesie, rupi, affioramenti	3321	Scogliere con vegetazione rada a Limonium sp. e Crithmum maritimum	332
332	Rocce nude, falesie, rupi, affioramenti	3322	Rupi e pareti interne con vegetazione casmofitica	333
333	Aree con vegetazione rada	3331	Ghiaioni e falde di detrito	333
333	Aree con vegetazione rada	3332	Calanchi	333
333	Aree con vegetazione rada	3333	Greti fluviali con vegetazione rada (Dittrichia viscosa, Xanthium italicum, Helichrysum italicum, Tamarix africana, Vitex agnus-castus, Arundo donax, Paspalum distichum, ecc.)	511

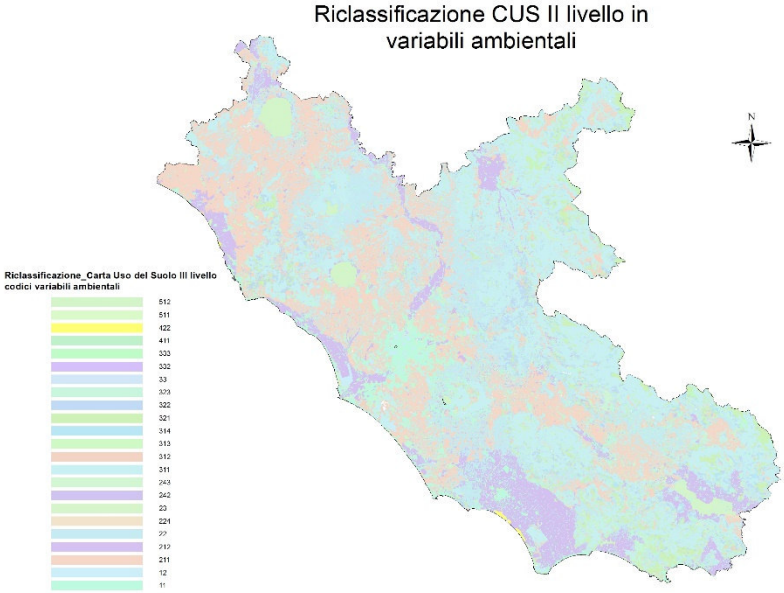
411	Paludi interne a vegetazione a rizofite sommerse o appena affioranti, ad elofite, a grandi carici, a giunchi; prati su suoli idromorfi; vegetazione pioniera igro-nitrofila e vegetazione pioniera effimera a piccole ciperacee	411	Paludi interne a vegetazione a rizofite sommerse o appena affioranti, ad elofite, a grandi carici, a giunchi; prati su suoli idromorfi; vegetazione pioniera igro-nitrofila e vegetazione pioniera effimera a piccole ciperacee	411
421	Paludi salmastre	4211	Vegetazione a salicornie annuali e/o altre specie alonitrofile annuali; garighe alofile a camefite e nanofanerofite succulente; praterie emicriptofitiche e giuncheti alofili	422
421	Paludi salmastre	4212	Canneti oligoalini (fragmiteti e scirpeti)	511
422	Saline	422	Saline	422
511	Corsi d'acqua, canali e idrovie	5111	Fiumi, torrenti e fossi	511
511	Corsi d'acqua, canali e idrovie	5112	Canali e idrovie	511
512	Bacini d'acqua	5121	Bacini senza manifeste utilizzazioni produttive	512
512	Bacini d'acqua	5122	Bacini con prevalente utilizzazione per scopi irrigui	512
512	Bacini d'acqua	5123	Bacini con prevalente altra destinazione produttiva	512
512	Bacini d'acqua	5124	Acquacolture	512
521	Lagune, laghi e stagni costieri	521	Lagune, laghi e stagni costieri	422
522	Estuari	522	Estuari	422
523	Aree al di là del limite delle maree più basse	523	Aree al di lÓ del limite delle maree pi¨ basse	422

Dagli accorpamenti sono state ottenute 23 categorie di uso del suolo che costituiscono, insieme alle variabili geografiche (cfr. par.2.4.3) uno dei due set (CUS III) utilizzato per l'elaborazione dei modelli. Nella tabella che segue si riporta la sintesi dei codici e delle descrizioni del categorie riclassificate.

Codice	Descrizione	Area (ha)
11	Antropizzazione densa	115931,2
12	Antropizzazione rada	18222,36
21	Seminativi non irrigui	392128,3
211	Agricoltura artificiale	15010,29
212	Seminativi irrigui	142032,1
22	Colture arboree	208626,1
224	Castagneti	56675,88
225	Superfici a copertura erbacea densa	6458,069
23	Conifere termofile	54440,16
24	Sistemi particellari complessi	15721,42
241	Colture associate a spazi naturali	27474,86
31	Querceti caducifogli	217287,8
311	Formazioni miste di valloni e forre	3328,631
312	Faggete termofile	5354,626
313	Faggete montane	80723,67
3131	Querceti sempreverdi	46860,14
3132	Conifere	14930,57
314	Boschi igrofili	83580,91
315	Orno-ostrieti	15279,93
32	Cespuglieti d'altitudine	11680,46
321	Praterie primarie	42900,8
322	Cespuglieti dinamici	54347,89
323	Praterie secondarie	43244,4
324	Spiagge	13354,76
33	Macchia termofila	1266,517
332	Falesie	154,06
333	Ambiti rupicoli	3949,7
334	Ambiente ripariale	6152,439
41	Paludi	786,251
45	Zone umide alofile	1088,551
51	Bacini	22266,02



Carta dell'Uso del Suolo della Regione Lazio. Corine Land Cover III livello. Tratta e modificata da: Direzione Regionale Territorio ed Urbanistica Area Pianificazione Paesistica e Territoriale Regione Lazio 2004.



Riclassificazione della Carta dell'Uso del Suolo III livello in 23 variabili ambientali. Carta elaborata da: Ivana Pizzol.

Carta delle formazioni naturali e seminaturali della Regione Lazio (2011).

Approfondimento e aggiornamento al 4° e 5° livello Corine Land Cover della Carta dell'Uso del Suolo (2003)

Il progetto per la realizzazione della "Carta delle formazioni naturali e seminaturali della Regione Lazio" si configura come un approfondimento di 4° e 5° livello tematico della Carta di Uso del Suolo della Regione Lazio realizzata nel 2003 in scala 1:25.000.

La carta delle formazione naturali e seminaturali della Regione Lazio è un progetto basato sulla integrazione di diversi strati informativi:

- Cartografia di uso del suolo della Regione Lazio del 2003 basata su un sistema di nomenclatura a 76 classi.
- Carta della copertura del suolo al IV livello (Sistema Europeo Corine Land Cover) in aree protette regionali e siti natura 2000 del Lazio, con approfondimento tematico al V livello nelle formazioni naturali e seminaturali realizzata sperimentalmente per 189.635,39 ha della Regione Lazio.

La cartografia è stata realizzata in formato *shape* come un'unica copertura vettoriale (un unico file) per tutta la Regione Lazio alla scala nominale 1:10.000 e tramite fotointerpretazione utilizzando le seguenti fonti:

- Copertura immagini telerilevate dal sensore aviotrasportato multispettrale ADS40 (3 bande: verde, rosso, NIR) risoluzione di 0,5 m, anno di acquisizione 2005-2007;
- Copertura immagini telerilevate multispettrali satellitari SPOT5 HRG (4 bande: verde, rosso, NIR x 2) risoluzione 10 m, anno di acquisizione 2005-2006, proiezione UTM33N WGS84;
- Carta Uso del Suolo della Regione Lazio 1: 25.000 (2003)
- Cartografia sperimentale ARP Lazio (Inform);
- Cartografie tematiche: 30 differenti strati informativi localizzati in differenti aree della Regione Lazio (habitat, vegetazione, paesaggio, ecc.);
- Altri dati ancillari: copertura ortofotografica IT2000,
- DEM 20 m;

La cartografia ha unità minima cartografabile pari a 0,5 ha, la larghezza minima degli elementi lineari è pari a 20 m, ha come geometria di riferimento quella della copertura delle immagini ADS40, l'accuratezza posizionale è quindi verificata secondo tale copertura. Per i nuovi poligoni è assicurata una congruenza geometrica media rispetto alla copertura ADS40 di 5 m. Per i restanti poligoni si è fatto riferimento all'originale geometria della carta CUS 2003. E' considerata una copertura minima della vegetazione pari al 10% della proiezione delle chiome (per le zone boscate), 50% nel caso delle formazioni arbustive. Per ogni poligono di zone boscate è stata definita la classe di copertura in due classi a seconda che sia inferiore o superiore al 50%.

Nel corso della realizzazione della cartografia e in seguito a una richiesta da parte dell'Area Foreste della Regione Lazio è stata progettata la derivazione di una carta forestale su basi tipologiche. E' stato per questo necessario modificare il sistema di nomenclatura utilizzato dai fotointerpreti in modo da poter derivare

automaticamente, alla fine del progetto, entrambe le cartografie (quella delle "Formazioni naturali e semi-naturali" e la "Carta forestale su basi tipologiche") in via automatica, mantenendo così una rigida coerenza geometrica e tematica tra le due.

Il criterio di classificazione su base tipologica proposto per la Regione Lazio segue, coerentemente con gli analoghi studi condotti sul territorio nazionale, un criterio gerarchico, in cui i tipi rappresentano le unità fondamentali. I tipi sono caratterizzati da un'omogeneità dal punto di vista ecologico, floristico e colturale e, pertanto, si possono configurare quali unità elementari di gestione. La derivazione della carta forestale su basi tipologiche è avvenuta in una fase unica di fotointerpretazione condivisa con quella di creazione della carta delle formazione naturali e seminaturali della Regione Lazio.

Il collaudo finale di entrambe le carte è stato effettuato a febbraio 2011. La cartografia è consultabile sul WebGis SITAP Lazio (previa registrazione) ed è disponibile, su richiesta, in CD/DVD.

Il risultato finale cartografico è organizzato secondo il sistema di nomenclatura riportato di seguito, costituito da un totale di 115 categorie di cui 69 appartenenti alle sole classi 3,4 e 5.

Legenda della Carta delle formazioni naturali e seminaturali della Regione Lazio, 2011.

CODICE	DESCRIZIONE
1	AREE ARTIFICIALI
11	Aree urbane
111	Aree urbane continue
1111	Tessuto residenziale continuo e denso
1112	Tessuto residenziale continuo e mediamente denso
112	Aree urbane discontinue
1121	Tessuto residenziale discontinuo
1122	Tessuto residenziale rado
1123	Tessuto residenziale sparso
12	Unità industriali, commerciali e di trasporto
121	Unità industriali o commerciali
1211	Insediamento industriale o artigianale
1212	Insediamento commerciale
1213	Insediamento dei grandi impianti di servizi pubblici e privati
1214	Insediamenti ospedalieri
1215	Insediamenti degli impianti tecnologici
122	Reti di trasporto e aree pertinenti
1221	Reti stradali
1222	Reti ferroviarie
1223	Grandi impianti di concentramento e smistamento merci
1224	Aree per impianti delle telecomunicazioni
1225	Reti per la distribuzione, la produzione e il trasporto di energia
1226	Reti ed aree per la distribuzione idrica compresi gli impianti di captazione, serbatoi e stazioni di pompaggio
123	Aree portuali
124	Aeroporti
13	Aree estrattive, discariche e cantieri
131	Aree estrattive
132	Discariche
1321	Discariche e depositi
1322	Depositi di rottami a cielo aperto
133	Cantieri
1331	Cantieri e spazi in costruzione e scavi
1332	Suoli rimaneggiati ed artefatti
14	Aree verdi artificiali non-agricole
141	Aree urbane verdi
142	Aree ricreative e sportive
1421	Campeggi e Bungalows
1422	Strutture di sport e tempo libero
1423	Parchi di divertimento
1424	Aree archeologiche
143	Cimiteri
2	AREE AGRICOLE
21	Seminativi
211	Seminativi in aree non irrigue
2111	Seminativi in aree non irrigue
2112	Vivai in aree non irrigue
2113	Colture orticole in pieno campo, in serra e sotto plastica in aree non irrigue
212	Seminativi in aree irrigue
2121	Seminativi in aree irrigue
2122	Vivai in aree irrigue
2123	Colture orticole in pieno campo, in serra e sotto plastica in aree irrigue

22	Colture permanenti
221	Vigneti
222	Frutteti e frutti minori
223	Oliveti
224	Coltivazioni arboree
2241	Arboricoltura da legno
22411	Pioppeti, saliceti e altre latifoglie
22412	Conifere a rapido accrescimento
2242	Castagneti da frutto
2243	Altre colture (eucalipti)
23	Prati
231	Superfici a copertura erbacea densa (graminacee)
24	Aree agricole eterogenee
241	Colture temporanee associate a colture permanenti
242	Sistemi colturali e particellari complessi
243	Aree prevalentemente occupate da coltura agraria con presenza di spazi naturali importanti
244	Aree agroforestali
3	TERRITORI BOSCATI E AMBIENTI SEMI-NATURALI
31	Zone boscate
311	Boschi di latifoglie
3111	Boschi a prevalenza di leccio e/o sughera
31111	Querceti sempreverdi a prevalenza di leccio
311111	Leccete termomediterranee costiere
311112	Leccete con caducifoglie
31112	Querceti sempreverdi a prevalenza di sughera
311121	Sugherete miste a sempreverdi su terre rosse o suoli decarbonati
311122	Sugherete dei substrati sabbiosi e arenacei con farnetto o altre caducifoglie
3112	Boschi a prevalenza di querce caducifoglie (cerro e/o roverella e/o farnetto e/o rovere e/o farnia)
31121	Querceti a prevalenza di cerro
311211	Cerrete collinari
311212	Cerrete submontane
311213	Cerrete con farnetto
31122	Querceti a prevalenza di roverella
311221	Boschi mesomediterranei di roverella
311222	Boschi submontano-montani di roverella
31123	Querceti a prevalenza di farnia
3113	Boschi a prevalenza di latifoglie mesofile e mesotermofile (acero-frassino, carpino nero-orniello, olmo)
31131	Boschi a dominanza di carpino nero e/o carpinella
311311	Orno-ostrieti e boscaglie a carpinella
311312	Ostrieti mesofili
31132	Formazioni miste di valloni e forre (a tiglio, orniello e aceri; a carpino bianco e nocciolo; ad alloro)
31133	Nuclei a betulla
31134	Nuclei forestali di neoformazione in ambito agricolo e artificiale
3114	Boschi a prevalenza di castagno
31141	Castagneti cedui puri e misti con altre latifoglie
311411	Castagneti (eutrofici) su depositi vulcanici e castagneti (oligotrofici) su lave acide
311412	Castagneti dei substrati arenacei e marnosi
31142	Castagneti da frutto
311421	Castagneti (eutrofici) su depositi vulcanici e castagneti (oligotrofici) su lave acide
311422	Castagneti dei substrati arenacei e marnosi
3115	Boschi a prevalenza di faggio
31151	Faggete termofile dei piani collinare e submontano
31152	Faggete montane
3116	Boschi e boscaglie a prevalenza di specie igrofile (salici e/o pioppi e/o ontani, ecc.)
31161	Boscaglie ripariali a salici arbustivi
31162	Boschi igrofili a pioppi e salice bianco e/o ad ontano nero e/o a frassino meridionale
3117	Boschi e piantagioni a prevalenza di latifoglie non native (robinia, eucalipti, ailanto, ...)
31171	Formazioni spontanee a robinia e/o ailanto

31172	Rimboschimenti ad eucalipti
312	Boschi e rimboschimenti di conifere
3121	Boschi e rimboschimenti a prevalenza di pini mediterranei (pino d'Aleppo, pino domestico, pino marittimo) o cipressi
31211	Pinete artificiali a pino domestico e/o pino marittimo
31212	Pinete naturali o artificiali di pino d'Aleppo
3122	Boschi e piantagioni misti a prevalenza di pino nero, abeti, larice, cembro, pino silvestre
313	Boschi e rimboschimenti misti di conifere e latifoglie
3131	Boschi misti a prevalenza di latifoglie
31311	Boschi misti a prevalenza di querce sempreverdi
31312	Boschi misti a prevalenza di querce caducifoglie
31313	Boschi misti a prevalenza di latifoglie mesofile e mesotermofile
31314	Boschi misti a prevalenza di castagno
31315	Boschi misti a prevalenza di faggio
3132	Boschi misti a prevalenza di conifere
31321	Boschi e piantagioni misti a prevalenza di pini mediterranei o cipressi
31322	Boschi e piantagioni misti a prevalenza di pino nero, abeti, larice, cembro, pino silvestre
31323	Boschi e piantagioni misti a prevalenza di altre conifere
32	Zone caratterizzate da vegetazione arbustiva e/o erbacea
321	Aree a pascolo naturale e praterie
3211	Praterie continue
32111	Praterie montane e alto-montane (a Nardus stricta e/o a Festuca paniculata; a Festuca violacea subsp. italica; a Sesleria nitida; locali prati-pascoli a Cynosurus cristatus e Lolium perenne o a Festuca arundinacea)
32112	Praterie a Dasypirum villosum, Avena sp.pl. e prati-pascoli collinari a dominanza di leguminose
32113	Praterie pseudo-steppiche ad Ampelodesmos mauritanicus e/o a Hyparrhenia hirta
3212	Praterie discontinue e pseudo-garighe
32121	Praterie montane e d'altitudine (a Brachypodium genuense, Sesleria tenuifolia, Nardus stricta, Festuca rubra) con locali comunità ad elina e salici nani
32122	Praterie e pseudo-garighe collinari e submontane (a Bromus erectus, Festuca circummediterranea, Brachypodium rupestre, Salvia officinalis, Helichrysum italicum)
322	Brughiere e cespuglieti
3221	Cespuglieti d'altitudine e montani a mirtillo, ginepro nano, ramno alpino, rosacee e leguminose arbustive
3222	Cespuglieti a dominanza di prugnolo, rovi, ginestre e/o felce aquilina
3223	Boscaglia illirica a Pistacia terebinthus e Paliurus spina-christi o a Cercis siliquastrum e Pistacia terebinthus
323	Aree a vegetazione sclerofilla
3231	Macchie alte
32311	Macchia alta retrodunale e interdunale
32312	Macchia alta interna e collinare
3232	Macchie basse e garighe
32321	Macchia a ginepro coccolone o a ginepro fenicio delle dune stabilizzate
32322	Macchia a ginepro fenicio delle coste alte, con euforbia arborescente e/o palma nana
32323	Macchia a mirto e lentisco o a olivastro e lentisco
32324	Garighe a cisti, erica e rosmarino o ad Helichrysum litoreum
33	Zone aperte con vegetazione rada o assente
331	Spiagge, sabbia nuda e dune con vegetazione erbacea psammofila
332	Rocce nude, falesie, rupi, affioramenti
3321	Scogliere con vegetazione rada a Limonium sp. e Crithmum maritimum
3322	Rupi e pareti interne con vegetazione casmofitica
333	Aree con vegetazione rada
3331	Ghiaioni e falde di detrito
3332	Calanchi
3333	Greti fluviali con vegetazione rada (Dittrichia viscosa, Xanthium italicum, Helichrysum italicum, Tamarix africana, Vitex agnus-castus, Arundo donax, Paspalum distichum, ecc.)
4	ZONE UMIDE
41	Zone umide interne
411	Paludi interne a vegetazione a rizofite sommerse o appena affioranti, ad elofite, a grandi carici, a giunchi; prati su suoli idromorfi; vegetazione pioniera igro-nitrofila e vegetazione pioniera effimera a piccole ciperacee

42	Zone umide marittime
421	Paludi salmastre
4211	Vegetazione a salicornie annuali e/o altre specie alonitrofile annuali; garighe alofile a camefite e nanofanerofite succulente; praterie emicriptofitiche e giuncheti alofili
4212	Canneti oligoalini (fragmiteti e scirpeti)
422	Saline
5	ACQUE SUPERFICIALI
51	Acque interne
511	Idrografia
5111	Fiumi, torrenti e fossi
5112	Canali e idrovie
512	Bacini idrici
5121	Bacini senza manifeste utilizzazioni produttive
5122	Bacini con prevalente utilizzazione per scopi irrigui
5123	Bacini con prevalente altra destinazione produttiva
5124	Acquacolture
52	Acque esterne
521	Lagune, laghi e stagni costieri
522	Estuari
523	Aree al di là del limite delle maree più basse

Le categorie dell'uso del suolo sono state organizzate secondo criteri di similarità nella struttura e funzione ecologica per le specie (accorpamento) o di esclusione quando ritenute non significative (formazioni con estensione ridotta, e prevalentemente di origine alloctona, per esempio colture di eucalipti per un estensione totale di 40 ha). Per i criteri di accorpamento delle variabili si è fatto riferimento alle conoscenze pregresse dell'ecologia delle specie considerate e ai dati di distribuzione ambientale noti per il Lazio (cfr. par. 2.3). Per la CUS IV livello, a partire da 115 categorie, la riorganizzazione (accorpamento) ha portato a un totale di 31 categorie con l'esclusione di 5 categorie. Di seguito si riporta una tabella in cui sono riportate le categorie della Carta delle formazioni naturali e seminaturali (IV-IV livello) e il codice di riclassificazione.

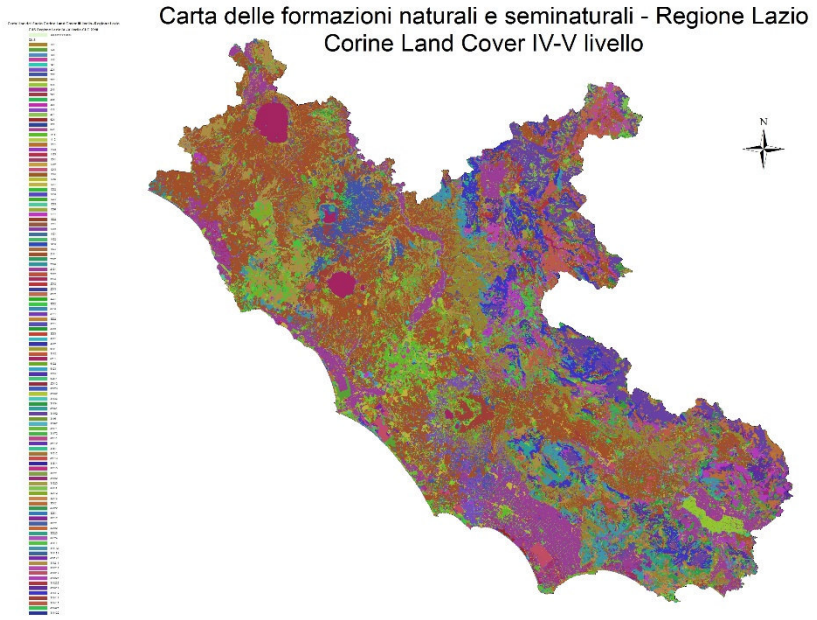
CODICE	DESCRIZIONE	RECLASS	new_cod
123	Aree portuali	Antropizzazione densa	11
124	Aeroporti	Antropizzazione rada	12
131	Aree estrattive	Antropizzazione rada	12
141	Aree urbane verdi	Antropizzazione rada	12
143	Cimiteri	Antropizzazione rada	12
221	Vigneti	Colture arboree	22
222	Frutteti e frutti minori	Colture arboree	22
223	Oliveti	Colture arboree	22
231	Superfici a copertura erbacea densa (graminacee)	Superfici a copertura erbacea densa	23
241	Colture temporanee associate a colture permanenti	Colture arboree	22
242	Sistemi colturali e particellari complessi	Sistemi particellari complessi	24
243	Aree prevalentemente occupate da coltura agraria con presenza di spazi naturali importanti	Colture associate a spazi naturali	241
331	Spiagge, sabbia nuda e dune con vegetazione erbacea psammofila	Spiagge	33
411	Paludi interne a vegetazione a rizofite sommerse o appena affioranti, ad elofite, a grandi carici, a giunchi; prati su suoli idromorfi; vegetazione pioniera igro-nitrofila e vegetazione pioniera effimera a piccole ciperacee	Paludi	41
422	Saline	Zone umide alofile	45
521	Lagune, laghi e stagni costieri	Zone umide alofile	45
522	Estuari	Zone umide alofile	45
523	Aree al di là del limite delle maree più basse	Zone umide alofile	45
1111	Tessuto residenziale continuo e denso	Antropizzazione densa	11
1112	Tessuto residenziale continuo e mediamente denso	Antropizzazione densa	11
1121	Tessuto residenziale discontinuo	Antropizzazione densa	11
1122	Tessuto residenziale rado	Antropizzazione densa	11
1123	Tessuto residenziale sparso	Antropizzazione densa	11
1211	Insediamento industriale o artigianale	Antropizzazione densa	11
1212	Insediamento commerciale	Antropizzazione densa	11
1213	Insediamento dei grandi impianti di servizi pubblici e privati	Antropizzazione densa	11
1214	Insediamenti ospedalieri	Antropizzazione densa	11
1215	Insediamenti degli impianti tecnologici	Antropizzazione densa	11
1221	Reti stradali	Antropizzazione densa	11
1222	Reti ferroviarie	Antropizzazione densa	11
1223	Grandi impianti di concentramento e smistamento merci	Antropizzazione densa	11
1224	Aree per impianti delle telecomunicazioni	Antropizzazione densa	11
1225	Reti per la distribuzione, la produzione e il trasporto di energia	Antropizzazione densa	11
1226	Reti ed aree per la distribuzione idrica compresi gli impianti di captazione, serbatoi e stazioni di pompaggio	Antropizzazione densa	11
1321	Discariche e depositi	Antropizzazione densa	11
1322	Depositi di rottami a cielo aperto	Antropizzazione densa	11
1331	Cantieri e spazi in costruzione e scavi	Antropizzazione densa	11
1332	Suoli rimaneggiati ed artefatti	Antropizzazione rada	12
1421	Campeggi e Bungalows	Antropizzazione rada	12
1422	Strutture di sport e tempo libero	Antropizzazione rada	12
1423	Parchi di divertimento	Antropizzazione densa	11
1424	Aree archeologiche	Antropizzazione rada	12

2111	Seminativi in aree non irrigue	Seminativi non irrigui	21
2112	Vivai in aree non irrigue	Agricoltura artificiale	211
2113	Colture orticole in pieno campo, in serra e sotto plastica in aree non irrigue	Agricoltura artificiale	211
2121	Seminativi in aree irrigue	Seminativi irriguii	212
2122	Vivai in aree irrigue	Agricoltura artificiale	211
2123	Colture orticole in pieno campo, in serra e sotto plastica in aree irrigue	Agricoltura artificiale	211
2242	Castagneti da frutto	Castagneti	224
3221	Cespuglieti d'altitudine e montani a mirtillo, ginepro nano, ramno alpino, rosacee e leguminose arbustive	Cespuglieti d'altitudine	32
3222	Cespuglieti a dominanza di prugnolo, rovi, ginestre e/o felce aquilina	Cespuglieti dinamici	322
3223	Boscaglia illirica a Pistacia terebinthus e Paliurus spina-christi o a Cercis siliquastrum e Pistacia terebinthus	Cespuglieti dinamici	322
3321	Scogliere con vegetazione rada a Limonium sp. e Crithmum maritimum	Falesie	332
3322	Rupi e pareti interne con vegetazione casmofitica	Ambiti rupicoli	333
3332	Calanchi	Ambiti rupicoli	333
3333	Greti fluviali con vegetazione rada (Dittrichia viscosa, Xanthium italicum, Helichrysum italicum, Tamarix africana, Vitex agnus-castus, Arundo donax, Paspalum distichum, ecc.)	Ambiente ripariale	334
4211	Vegetazione a salicornie annuali e/o altre specie alonitrofile annuali; garighe alofile a camefite e nanofanerofite succulente; praterie emicriptofitiche e giuncheti alofili	Zone umide alofile	45
4212	Canneti oligoalini (fragmiteti e scirpeti)	Ambiente ripariale	334
5111	Fiumi, torrenti e fossi	Ambiente ripariale	334
5112	Canali e idrovie	Ambiente ripariale	334
5121	Bacini senza manifeste utilizzazioni produttive	Bacini	51
5122	Bacini con prevalente utilizzazione per scopi irrigui	Bacini	51
5123	Bacini con prevalente altra destinazione produttiva	Bacini	51
5124	Acquacolture	Bacini	51
22411	Pioppeti, saliceti e altre latifoglie	Ambiente ripariale	334
22412	Conifere a rapido accrescimento	Conifere termofile	225
31123	Querceti a prevalenza di farnia	Querceti caducifogli	31
31132	Formazioni miste di valloni e forre (a tiglio, orniello e aceri; a carpino bianco e nocciolo; ad alloro)	Formazioni miste di valloni e forre	311
31134	Nuclei forestali di neoformazione in ambito agricolo e artificiale	Colture associate a spazi naturali	241
31151	Faggete termofile dei piani collinare e submontano	Faggete termofile	312
31152	Faggete montane	Faggete montane	313
31161	Boscaglie ripariali a salici arbustivi	Ambiente ripariale	334
31162	Boschi igrofili a pioppi e salice bianco e/o ad ontano nero e/o a frassino meridionale	Boschi igrofili	315
31211	Pinete artificiali a pino domestico e/o pino marittimo	Conifere termofile	225
31212	Pinete naturali o artificiali di pino d'Aleppo	Conifere termofile	225
31311	Boschi misti a prevalenza di querce sempreverdi	Querceti sempreverdi	3131
31312	Boschi misti a prevalenza di querce caducifoglie	Querceti caducifogli	31
31314	Boschi misti a prevalenza di castagno	Castagneti	224
31315	Boschi misti a prevalenza di faggio	Faggete montane	313

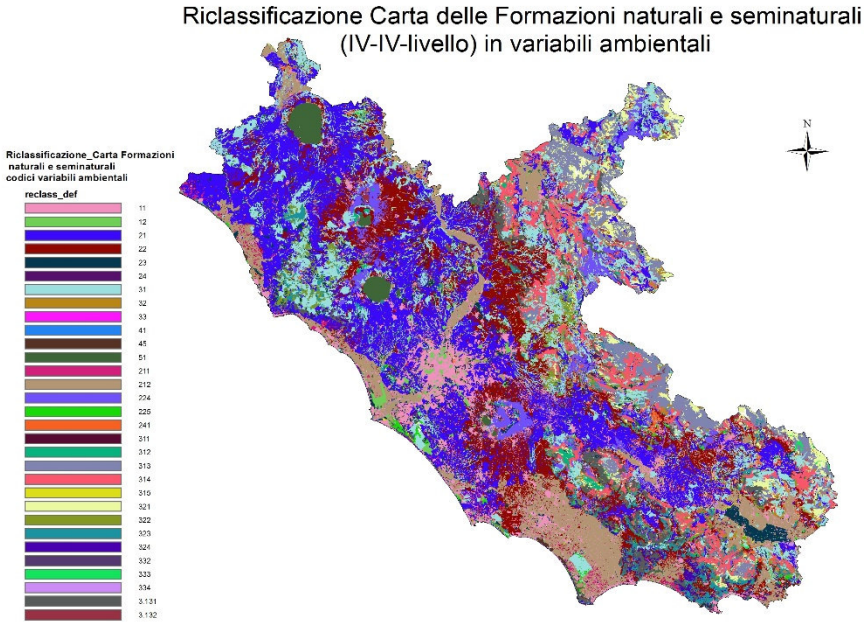
31323	Boschi e piantagioni misti a prevalenza di altre conifere	Conifere	3132
32111	Praterie montane e alto-montane (a Nardus stricta e/o a Festuca paniculata; a Festuca violacea subsp. italica; a Sesleria nitida; locali prati-pascoli a Cynosurus cristatus e Lolium perenne o a Festuca arundinacea)	Praterie primarie	321
32112	Praterie a Dasypirum villosum, Avena sp.pl. e prati-pascoli collinari a dominanza di leguminose	Praterie secondarie	323
32121	Praterie montane e d'altitudine (a Brachypodium genuense, Sesleria tenuifolia, Nardus stricta, Festuca rubra) con locali comunitÓ ad elina e salici nani	Praterie primarie	321
32122	Praterie e pseudo-garighe collinari e submontane (a Bromus erectus, Festuca circummediterranea, Brachypodium rupestre, Salvia officinalis, Helichrysum italicum)	Praterie secondarie	323
32311	Macchia alta retrodunale e interdunale	Macchia termofila	324
32312	Macchia alta interna e collinare	Macchia termofila	324
32321	Macchia a ginepro coccolone o a ginepro fenicio delle dune stabilizzate	Macchia termofila	324
32322	Macchia a ginepro fenicio delle coste alte, con euforbia arborescente e/o palma nana	Macchia termofila	324
32323	Macchia a mirto e lentisco o a olivastro e lentisco	Macchia termofila	324
32324	Garighe a cisti, erica e rosmarino o ad Helichrysum litoreum	Macchia termofila	324
311111	Leccete termomediterranee costiere	Querceti sempreverdi	3131
311112	Leccete con caducifoglie	Querceti sempreverdi	3131
311121	Sugherete miste a sempreverdi su terre rosse o suoli decarbonati	Querceti sempreverdi	3131
311122	Sugherete dei substrati sabbiosi e arenacei con farnetto o altre caducifoglie	Querceti sempreverdi	3131
311211	Cerrete collinari	Querceti caducifogli	31
311212	Cerrete submontane	Querceti caducifogli	31
311213	Cerrete con farnetto	Querceti caducifogli	31
311221	Boschi mesomediterranei di roverella	Querceti caducifogli	31
311222	Boschi submontano-montani di roverella	Querceti caducifogli	31
311311	Orno-ostrieti e boscaglie a carpinella	Orno-ostrieti	314
311312	Ostrieti mesofili	Orno-ostrieti	314
311411	Castagneti (eutrofici) su depositi vulcanici e castagneti (oligotrofici) su lave acide	Castagneti	224
311412	Castagneti dei substrati arenacei e marnosi	Castagneti	224
311421	Castagneti da frutto (eutrofici) su depositi vulcanici e castagneti (oligotrofici) su lave acide	Castagneti	224
311422	Castagneti da frutto dei substrati arenacei e marnosi	Castagneti	224
3122	Rimboschimenti a prevalenza di pini montani e oromediterranei (pino nero), di abete bianco e/o abete rosso, di larice e/o pino cembro o di altre conifere esotiche	Conifere	3132
31321	Boschi e piantagioni misti a prevalenza di pini mediterranei o cipressi	Conifere	3132
31322	Boschi e piantagioni misti a prevalenza di pino nero, abeti, larice, cembro, pino silvestre	Conifere	3132
32113	Praterie pseudo-steppiche ad Ampelodesmos mauritanicus e/o a Hyparrhenia hirta	Praterie secondarie	323
3331	Ghiaioni e falde di detrito	Ambiti rupicoli	333

Per la CUS IV livello, a partire da 115 categorie, la riorganizzazione (accorpamento) ha portato a un totale di 31 categorie con l'esclusione di 5 categorie. Di seguito si riporta una tabella in cui sono riportate le categorie accorpate e il codice di riclassificazione.

Codice	Descrizione	Area (ha)
11	Antropizzazione densa	115931,2
12	Antropizzazione rada	18222,36
21	Seminativi non irrigui	392128,3
211	Agricoltura artificiale	15010,29
212	Seminativi irrigui	142032,1
22	Colture arboree	208626,1
224	Castagneti	56675,88
225	Superfici a copertura erbacea densa	6458,069
23	Conifere termofile	54440,16
24	Sistemi particellari complessi	15721,42
241	Colture associate a spazi naturali	27474,86
31	Querceti caducifogli	217287,8
311	Formazioni miste di valloni e forre	3328,631
312	Faggete termofile	5354,626
313	Faggete montane	80723,67
3131	Querceti sempreverdi	46860,14
3132	Conifere	14930,57
314	Boschi igrofili	83580,91
315	Orno-ostrieti	15279,93
32	Cespuglieti d'altitudine	11680,46
321	Praterie primarie	42900,8
322	Cespuglieti dinamici	54347,89
323	Praterie secondarie	43244,4
324	Spiagge	13354,76
33	Macchia termofila	1266,517
332	Falesie	154,06
333	Ambiti rupicoli	3949,7
334	Ambiente ripariale	6152,439
41	Paludi	786,251
45	Zone umide alofile	1088,551
51	Bacini	22266,02



Carta delle formazioni naturali e seminaturali, approfondimento al IV e V livello della CUS. Tratto e modificato da: ARP, 2010.



Riclassificazione della Carta dell'Uso del Suolo III livello in 23 variabili ambientali. Carta elaborata da: Ivana Pizzol.

Appendice II

I modelli di idoneità ambientale delle Chimere

Per definire l'affidabilità dei due modelli utilizzati (ENFA e MaxEnt) per elaborare l'idoneità ambientale per le otto specie indagate è stato scelto di utilizzare otto specie virtuali, progettate e costruite in ambiente GIS, la cui distribuzione e modello di idoneità ambientale sono stati definiti a priori (Hirzel et al., 2001).
La distribuzione e l'idoneità ambientale delle chimere sono state progettate e costruite ispirandosi alle caratteristiche ecologiche delle 8 specie di uccelli presentate nel paragrafo 2.3.
Le caratteristiche ecologiche delle specie di riferimento sono state definite utilizzando la frequenza di presenza delle specie rilevata in diverse tipologie ambientali riportata nel Nuovo Atlante degli Uccelli Nidificanti nel Lazio (Brunelli et al., 2010).
Per la costruzione delle chimere è stato fatto riferimento alla procedura utilizzata da Hirzel et al. (2001) per la validazione dei modelli di idoneità ambientale attraverso l'uso di specie virtuali.
Per ogni chimera sono stati realizzati 20 modelli di idoneità ambientale (per un totale di 20 x 8 = 160 modelli) utilizzando 4 campioni estratti per le 2 serie di punti di presenza e i 2 set di variabili ambientali contenenti la CUS III livello e la CUS IV livello (tab.1).

SERIE	CAMPIONE (N)	CUS	MODELLO (E/M/A)
Serie1	100_1	CUS III	M_100_1_III
Serie1	100__2	CUS III	M_100_2_III
Serie1	30_1	CUS III	M_30_1_III
Serie1	30_2	CUS III	M_30_2_III
Serie1	100_1	CUS III	E_100_1_III
Serie1	100__2	CUS III	E_100_2_III
Serie1	30_1	CUS III	E_30_1_III
Serie1	30_2	CUS III	E_30_2_III
Serie1	30_1	CUS III	A_30_1_III
Serie1	30_2	CUS III	A_30_2_III
Serie 2	100_1	CUS IV	M_100_1_IV
Serie 2	100__2	CUS IV	M_100_2_IV
Serie 2	30_1	CUS IV	M_30_1_IV
Serie 2	30_2	CUS IV	M_30_2_IV
Serie 2	100_1	CUS IV	E_100_1_IV
Serie 2	100__2	CUS IV	E_100_2_IV
Serie 2	30_1	CUS IV	E_30_1_IV
Serie 2	30_2	CUS IV	E_30_2_IV
Serie 2	30_1	CUS IV	A_30_1_IV
Serie 2	30_2	CUS IV	A_30_2_IV

Tabella 11: Serie e dimensione del campione dei punti di presenza, set di variabili ambientali e software utilizzato per l'elaborazione dei modelli di idoneità ambientale di ogni chimera. M= MaxEnt, E= ENFA (funzione utilizzata: media geometrica) , A= ENFA (funzione utilizzata: media armonica).

Per le serie 30_1 e 30_2 (campioni delle serie 1 e 2 con 30 punti di presenza) sono stati realizzati i modelli con ENFA utilizzando anche l'algoritmo della media armonica che attribuisce un peso elevato alle osservazioni enfatizzando l'importanza delle variabili ambientali misurate nei punti di presenza, questo algoritmo può rivelarsi utile quando i campioni sono di piccole dimensioni (Hirzel et al., 2003).

Di seguito si riportano le mappe di idoneità ambientale ottenute per ogni chimera. Nella legenda delle mappe è riportata una sigla che identifica le carte come segue:

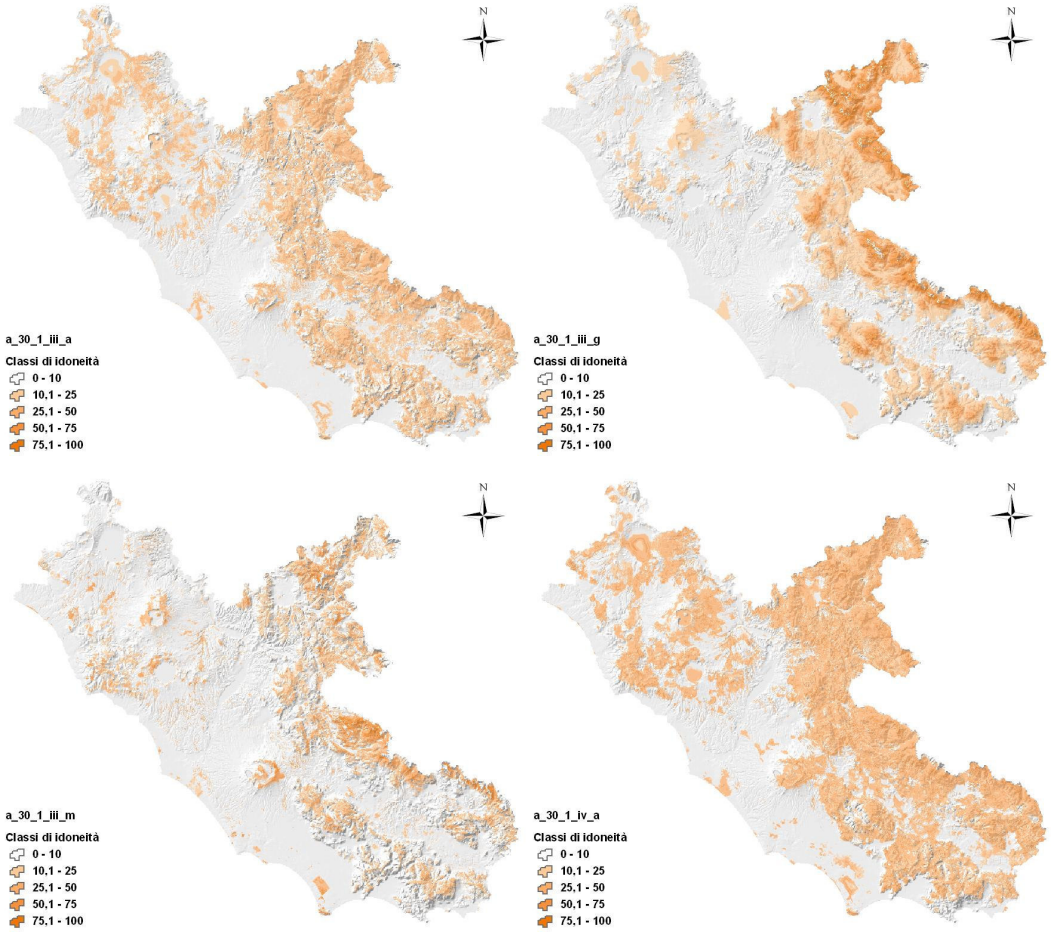
"A-H"= lettera identificativa della chimera;

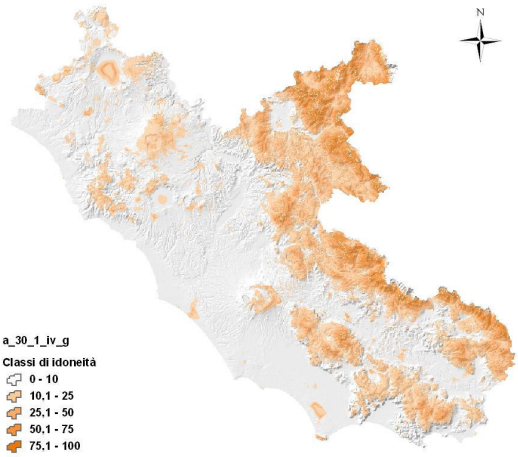
n_n = numero punti di presenza e numero della serie utilizzata;

"III o IV"= set di variabili ambientale utilizzato;

"M, E, G, A" = lettera che identifica il modello: M = MaxEnt, E= ENFA, G= ENFA media geometrica, A= ENFA media armonica.

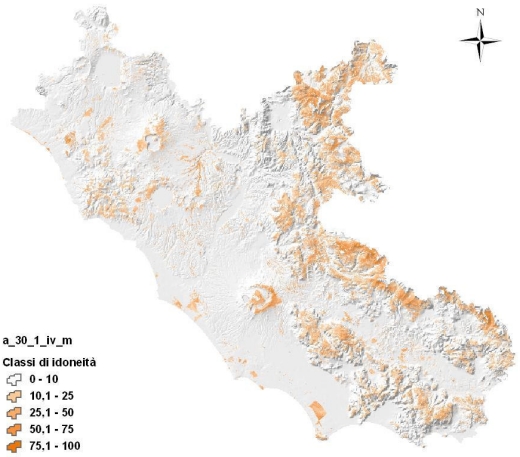
CHIMERA A, *Ficedula carmelinae*





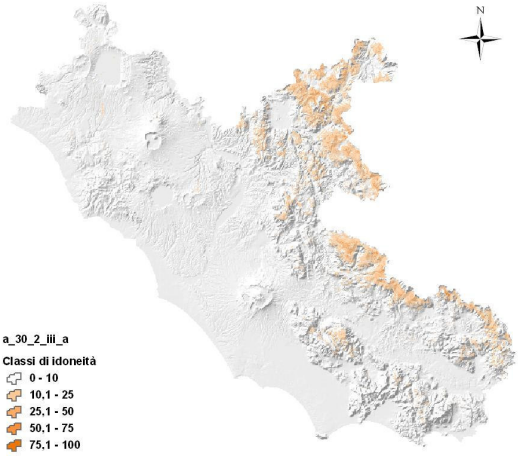
a_30_1_iv_g

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



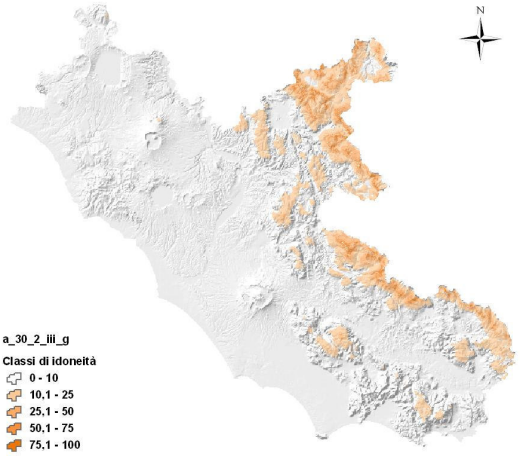
a_30_1_iv_m

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



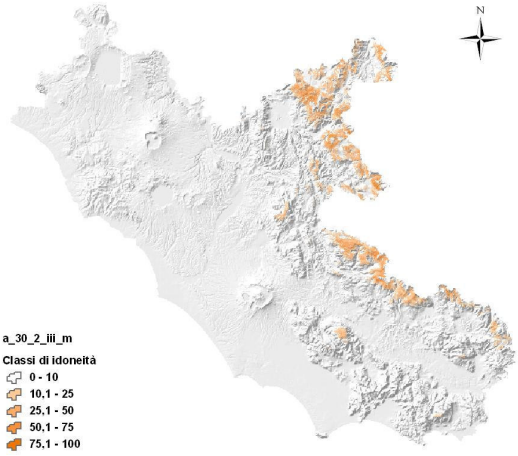
a_30_2_iii_a

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



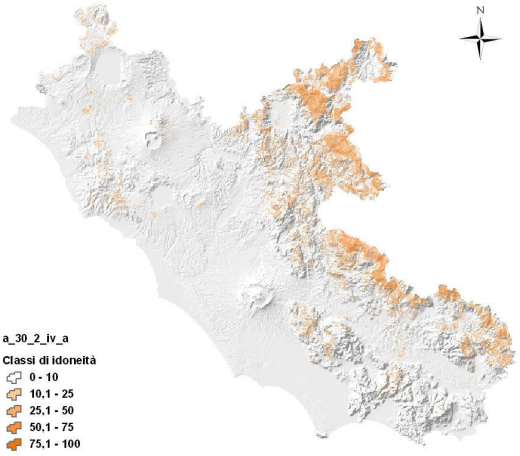
a_30_2_iii_g

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



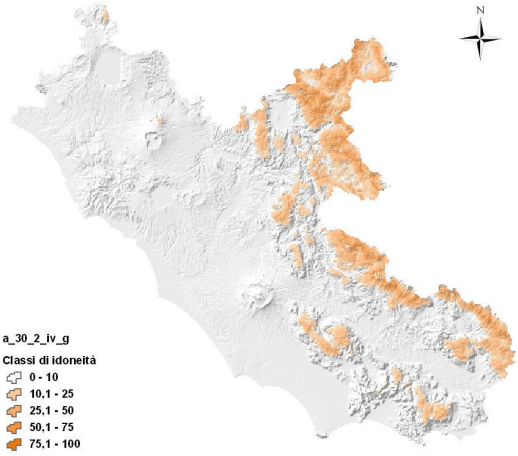
a_30_2_iii_m

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



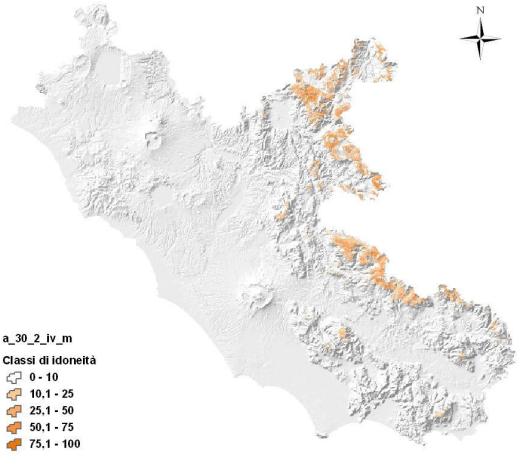
a_30_2_iv_a

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



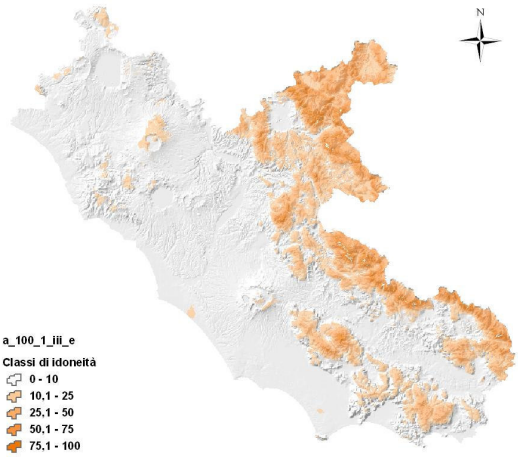
a_30_2_iv_g

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



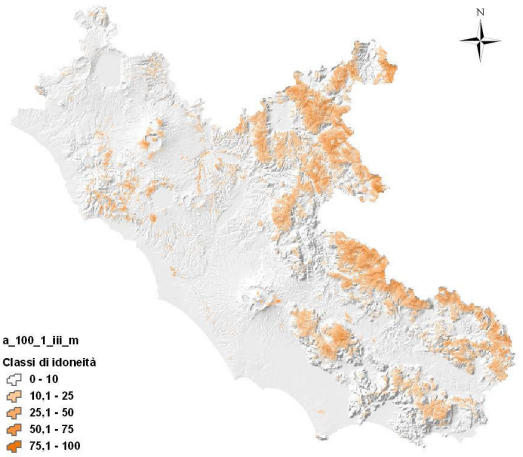
a_30_2_iv_m

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



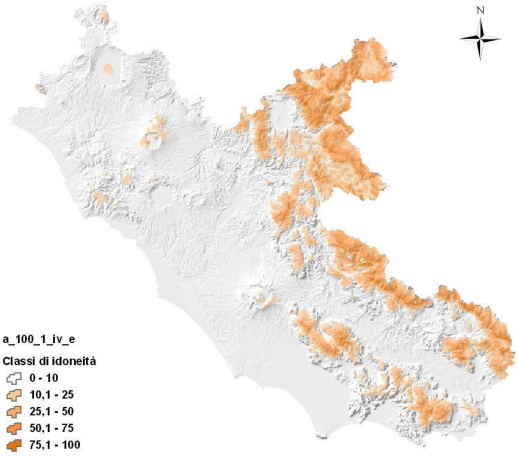
a_100_1_iii_e

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



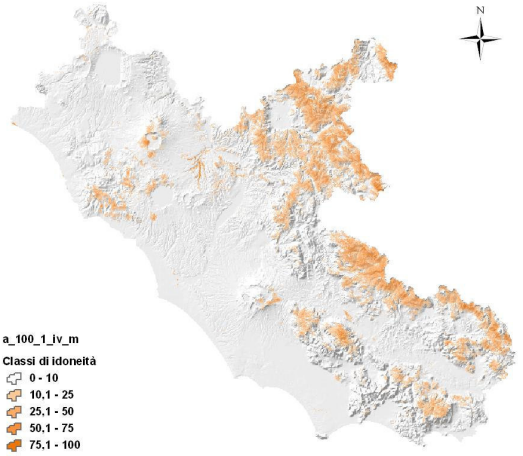
a_100_1_iii_m

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



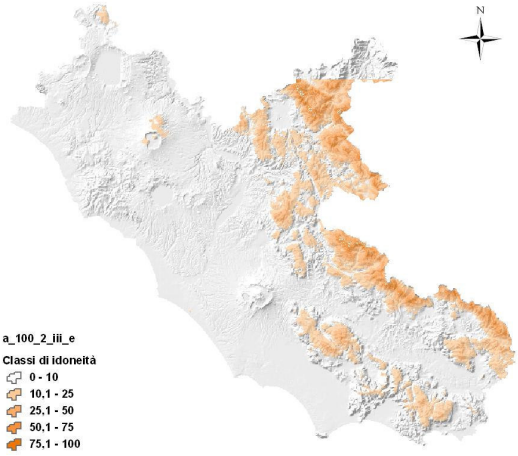
a_100_1_iv_e

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



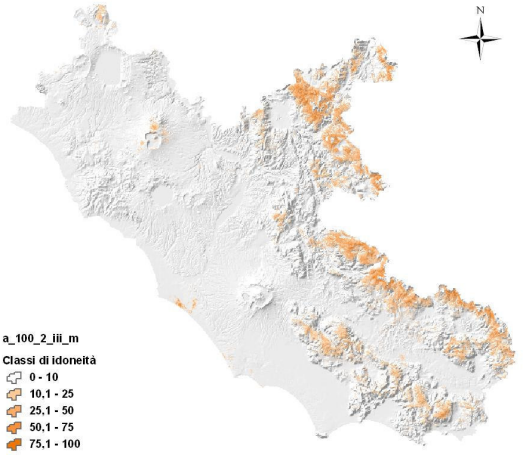
a_100_1_iv_m

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



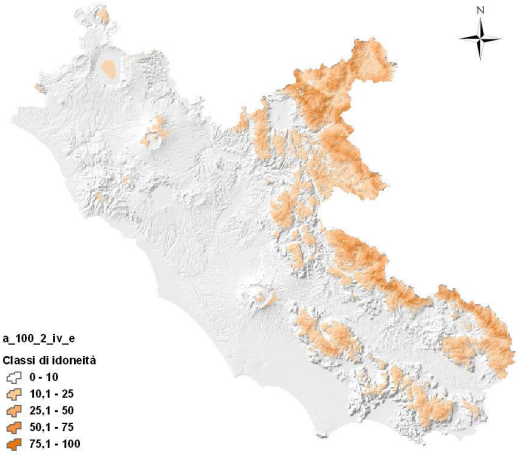
a_100_2_iii_e

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



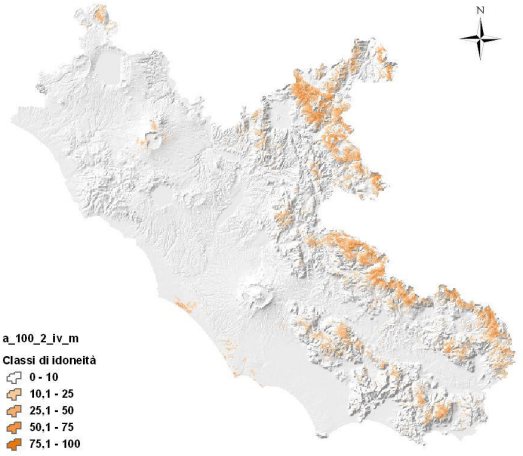
a_100_2_iii_m

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



a_100_2_iv_e

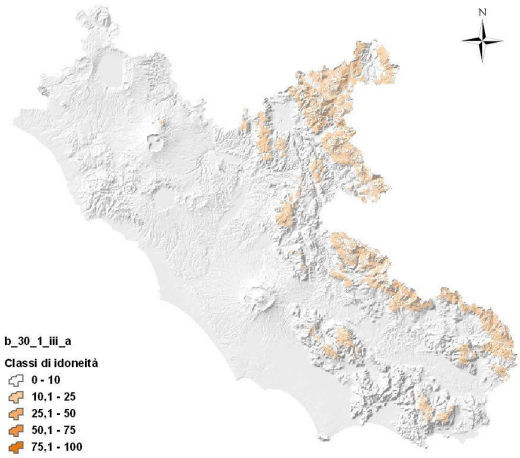
Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100

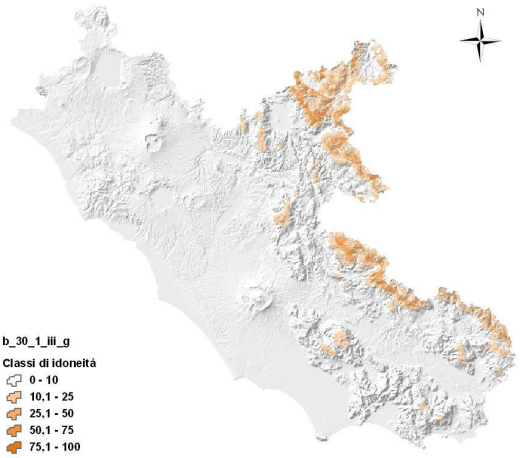


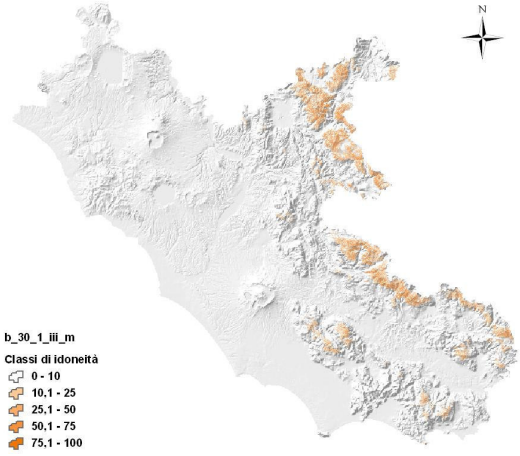
a_100_2_iv_m

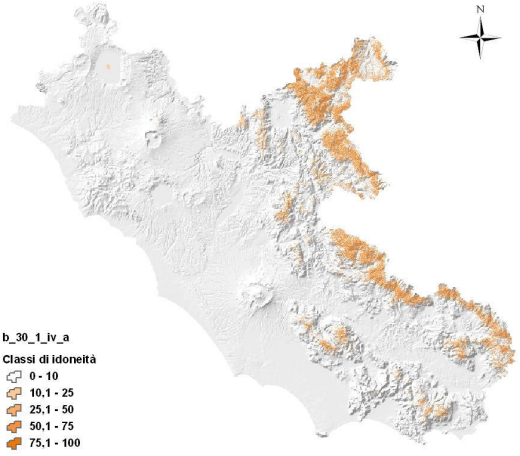
Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100

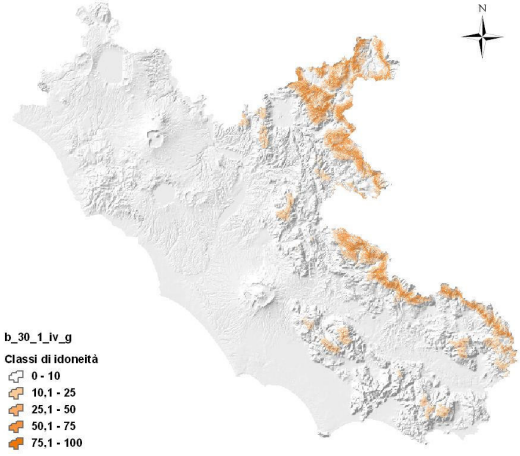
CHIMERA B - *Dendrocopos lucianae*

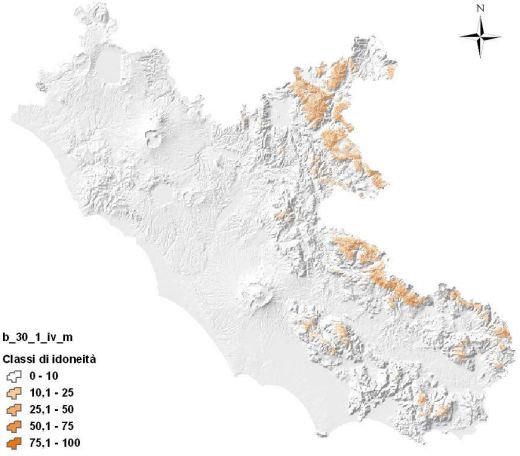


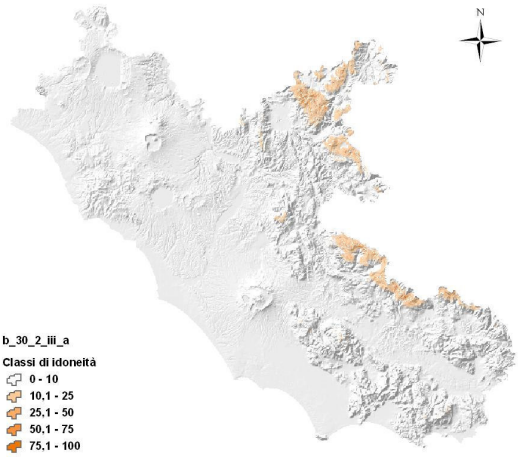






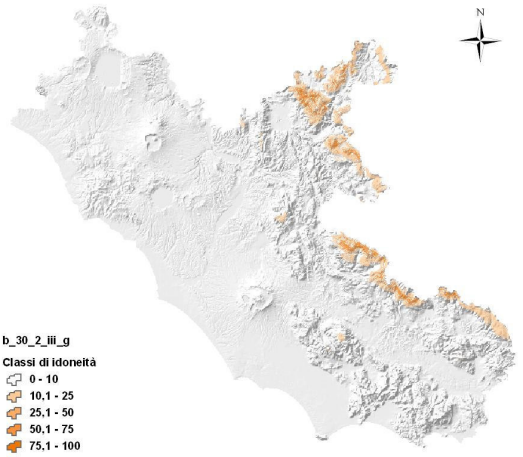






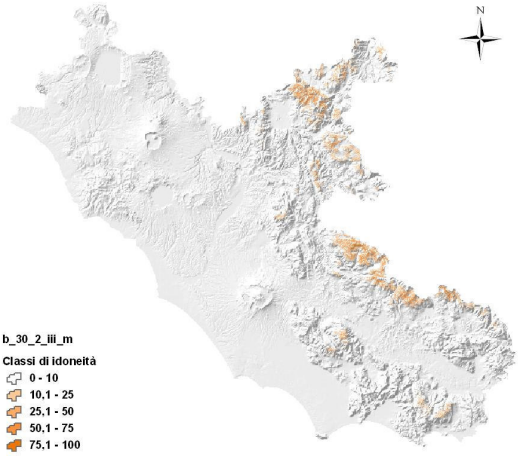
b_30_2_iii_a

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



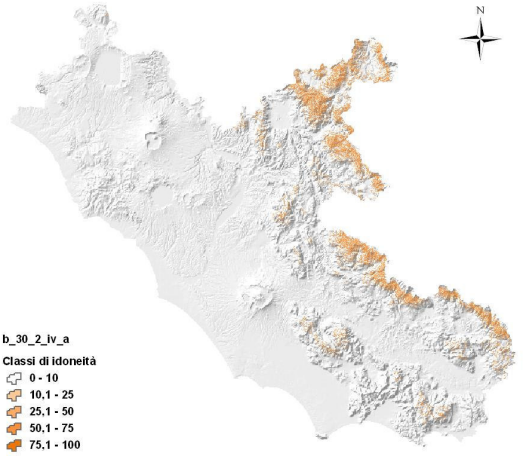
b_30_2_iii_g

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



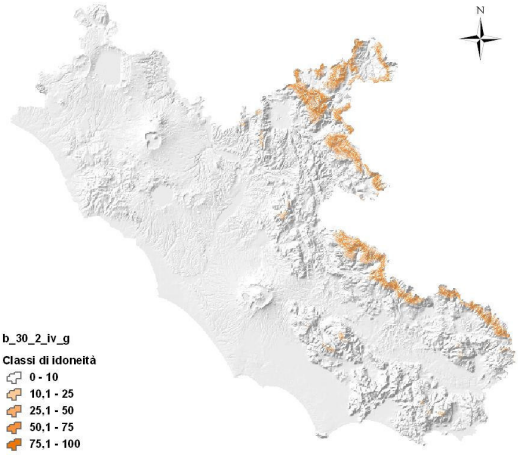
b_30_2_iii_m

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



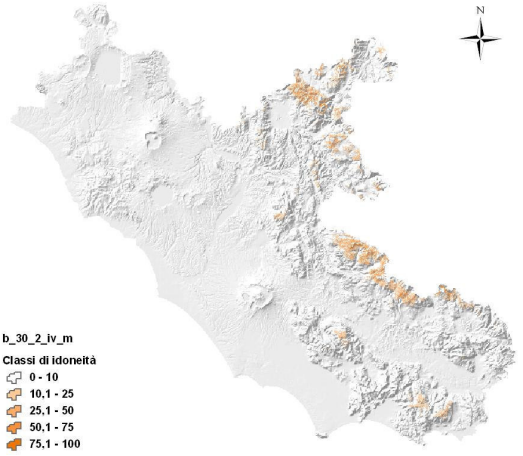
b_30_2_iv_a

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



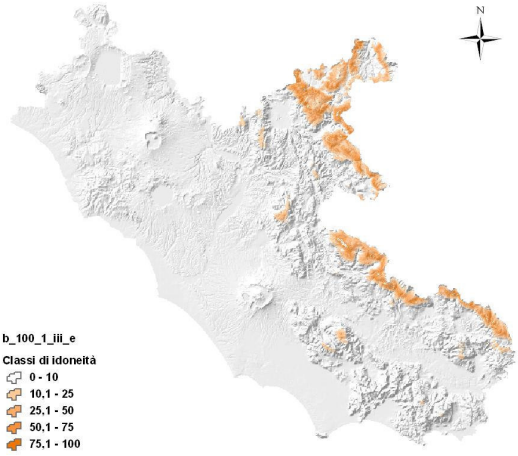
b_30_2_iv_g

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



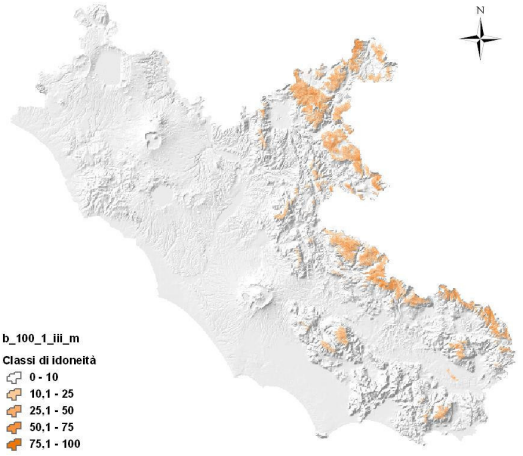
b_30_2_iv_m

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



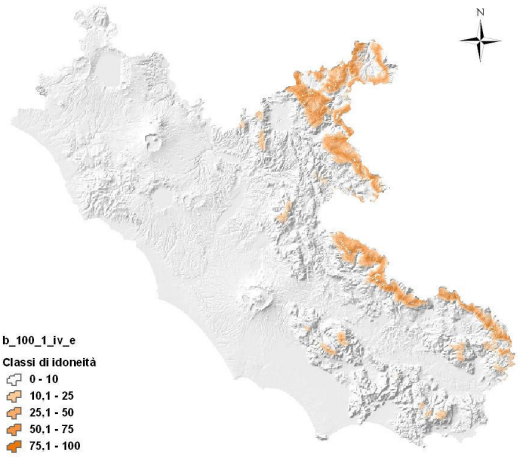
b_100_1_iii_e

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



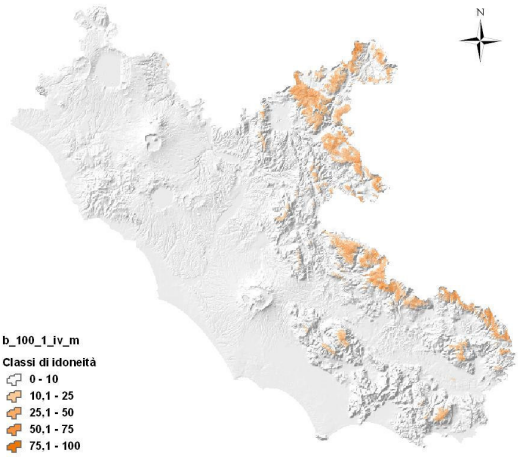
b_100_1_iii_m

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



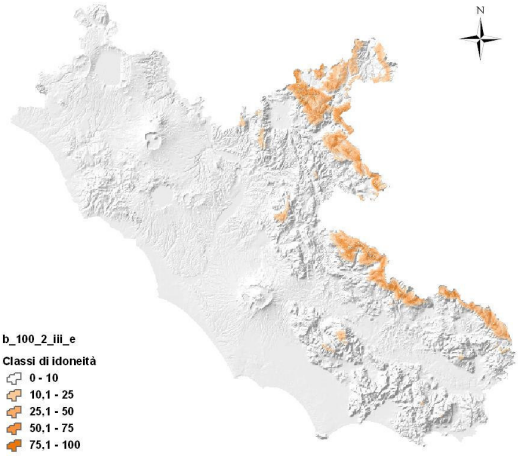
b_100_1_iv_e

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



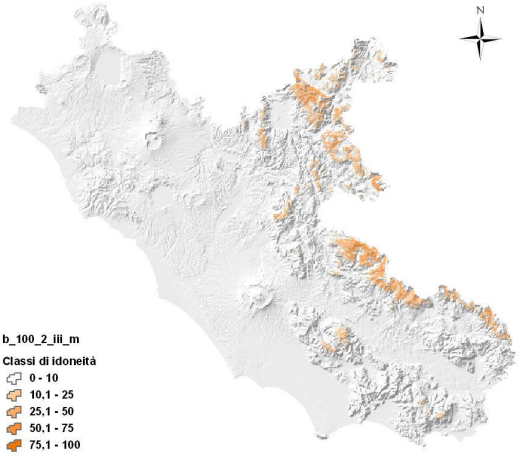
b_100_1_iv_m

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



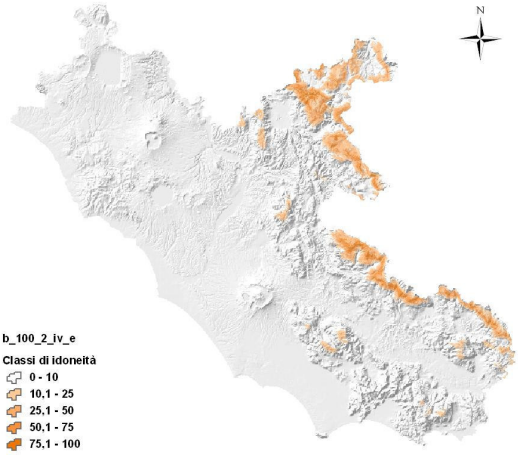
b_100_2_iii_e

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



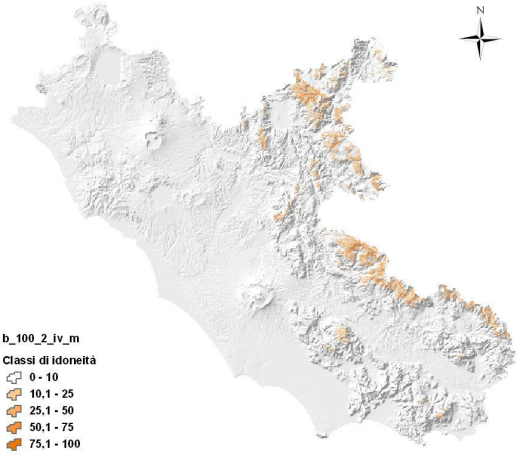
b_100_2_iii_m

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



b_100_2_iv_e

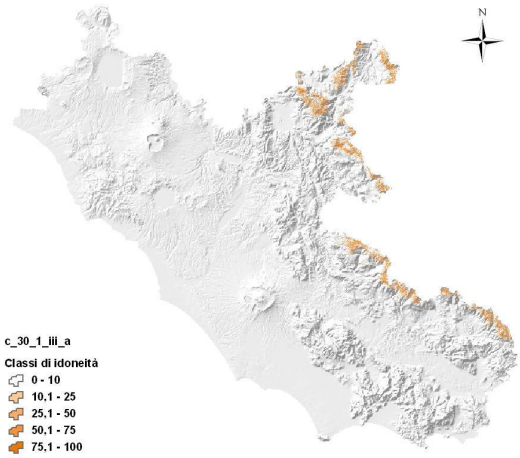
Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100

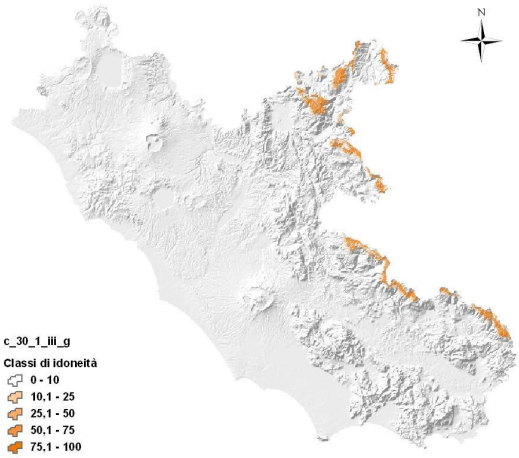


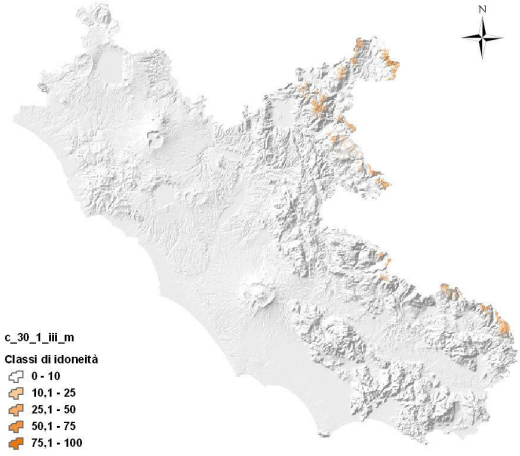
b_100_2_iv_m

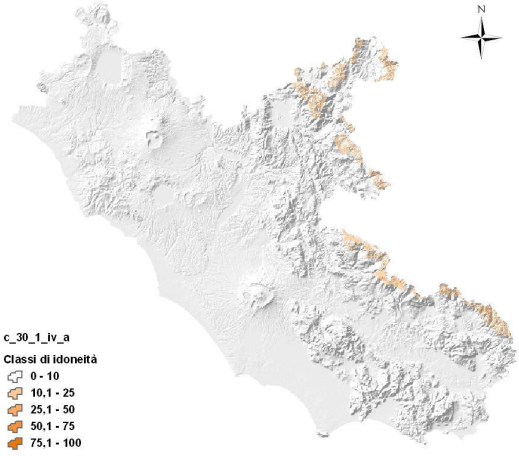
Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100

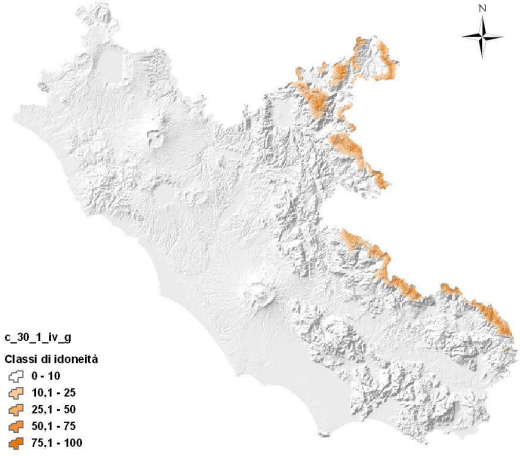
CHIMERA C - *Alectoris scalisii*

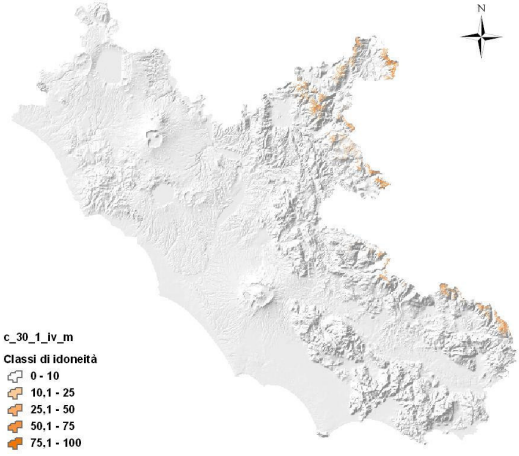


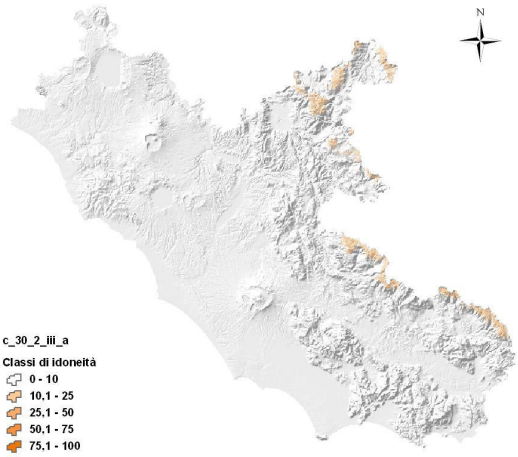






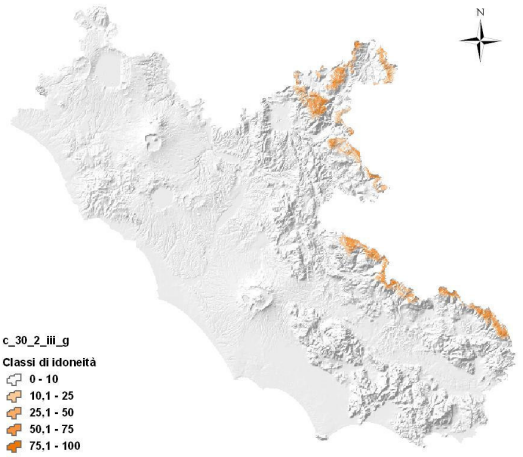






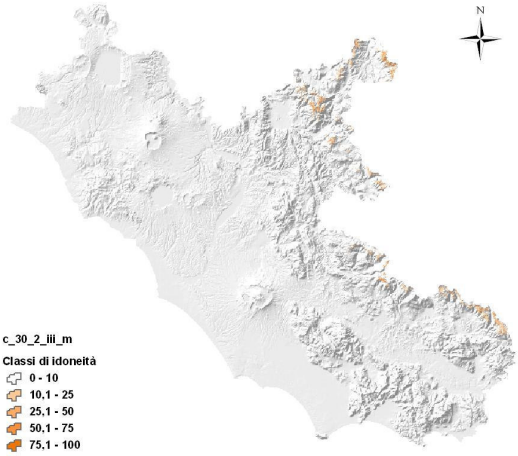
c_30_2_iii_a

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



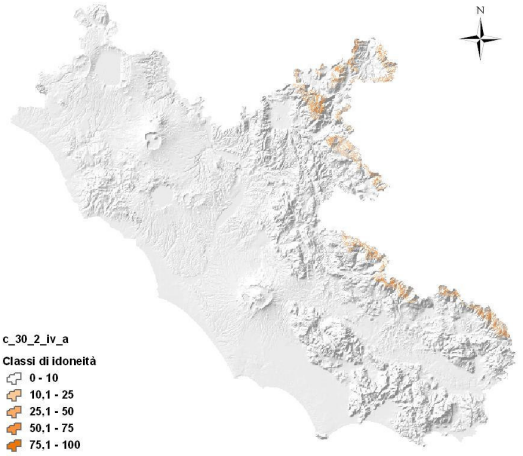
c_30_2_iii_g

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



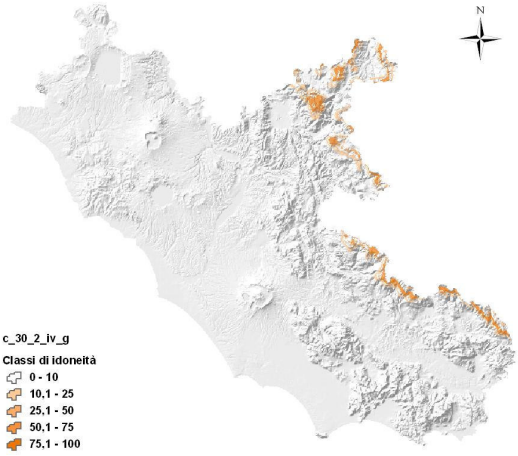
c_30_2_iii_m

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



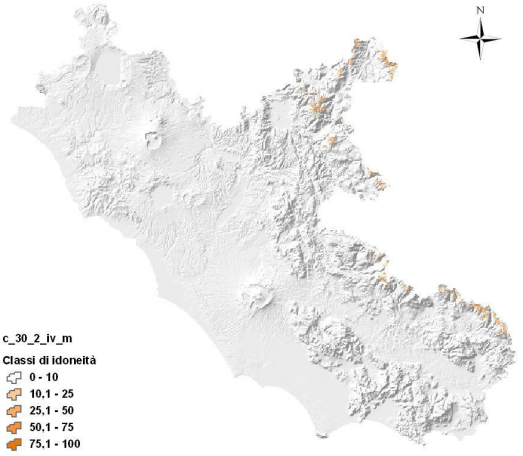
c_30_2_iv_a

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



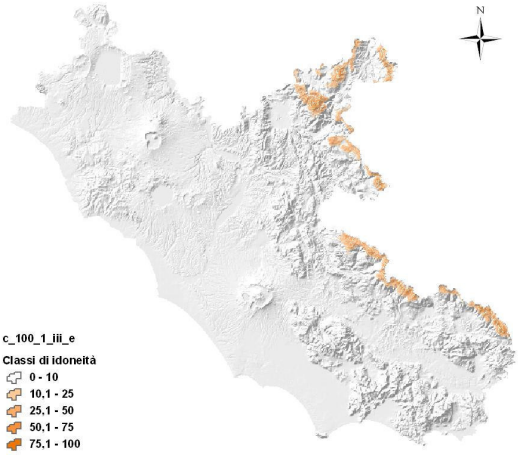
c_30_2_iv_g

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



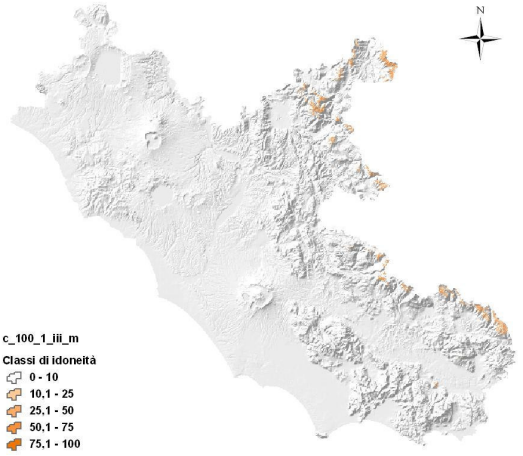
c_30_2_iv_m

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



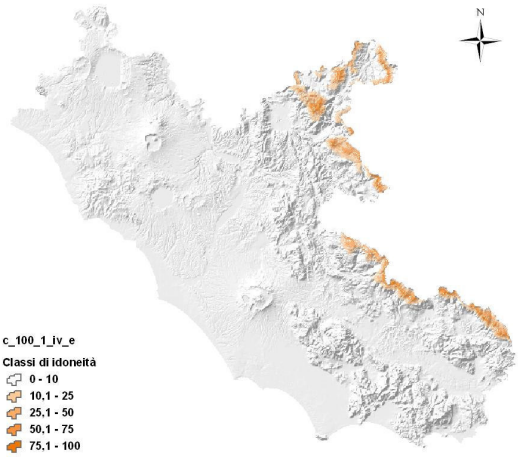
c_100_1_iii_e

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



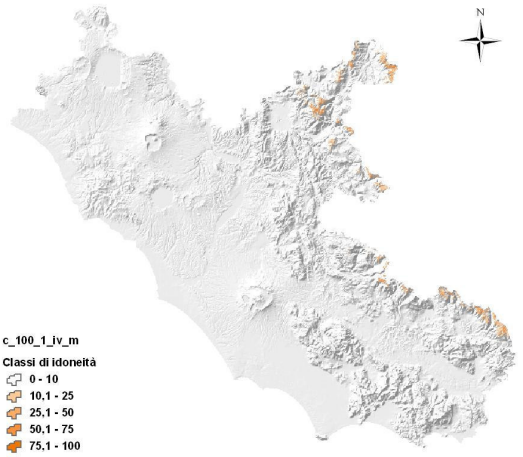
c_100_1_iii_m

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



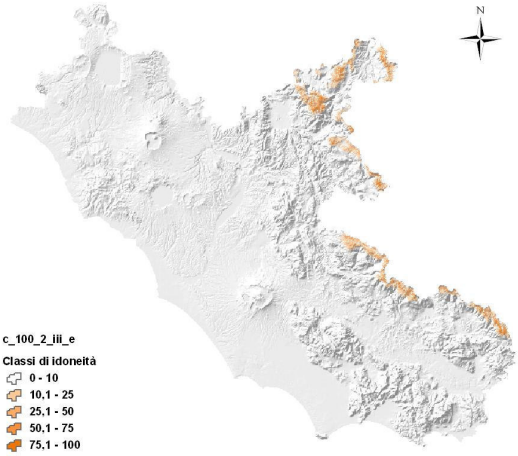
c_100_1_iv_e

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



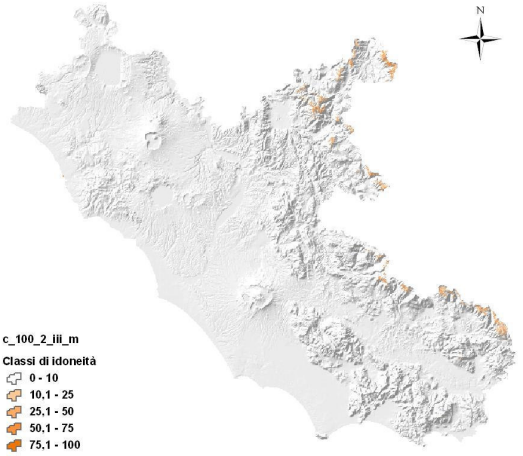
c_100_1_iv_m

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



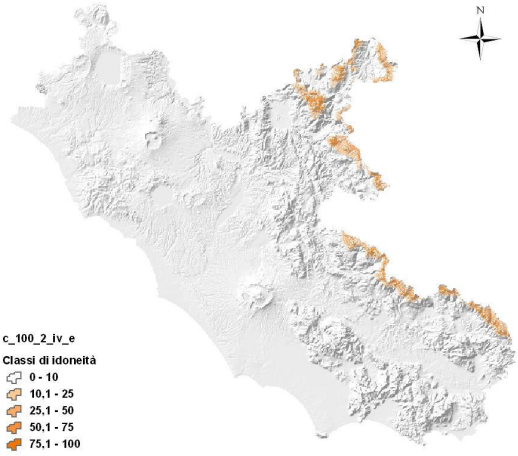
c_100_2_iii_e

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



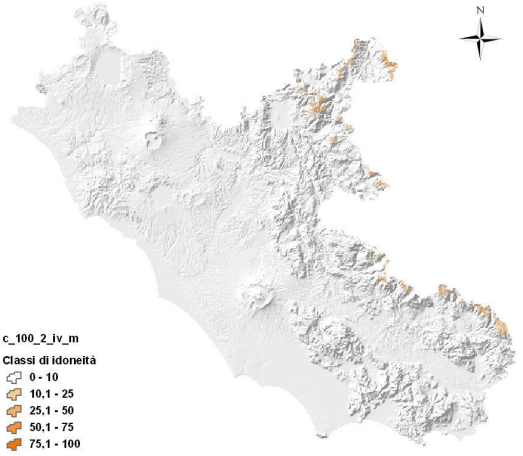
c_100_2_iii_m

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



c_100_2_iv_e

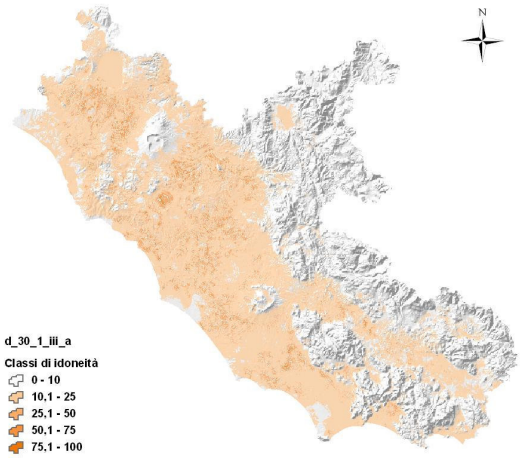
Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100

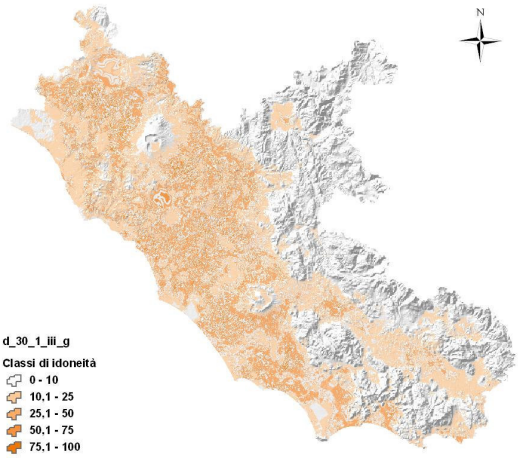


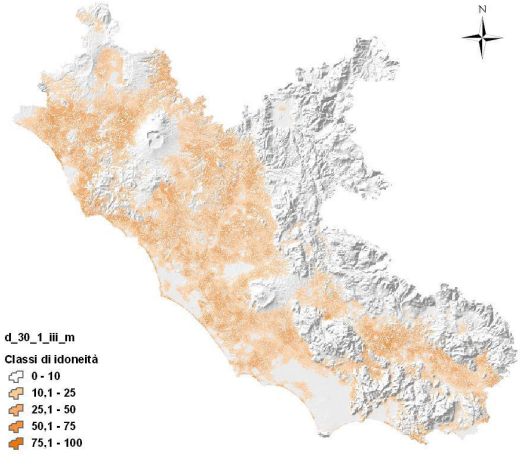
c_100_2_iv_m

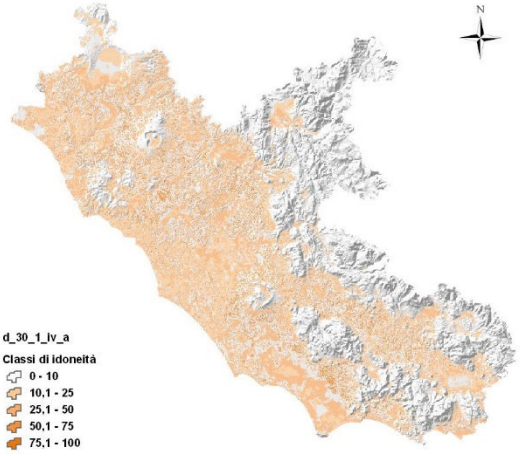
Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100

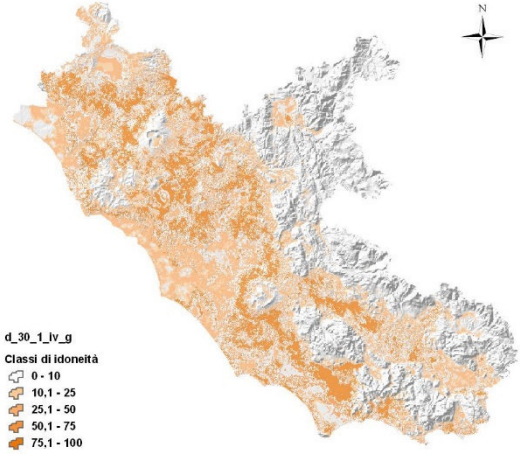
CHIMERA D - *Melanocoripha sinibaldii*

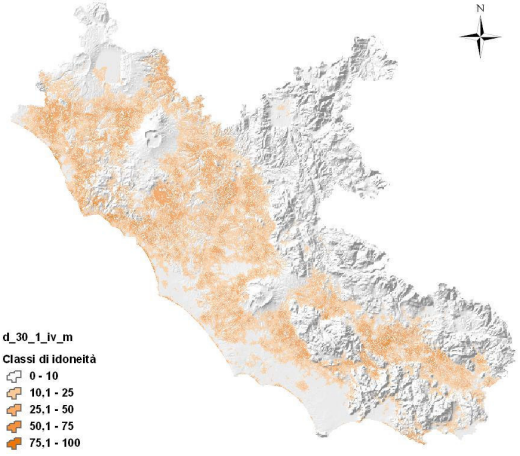


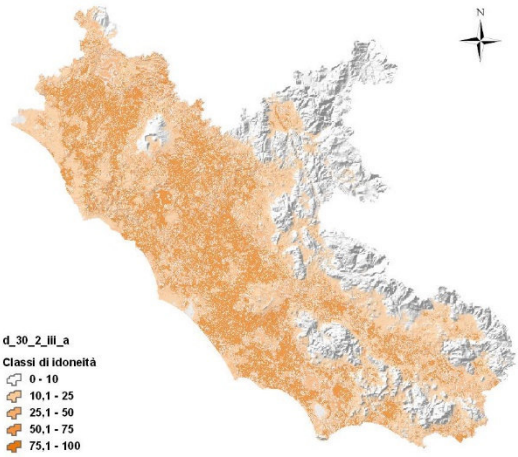






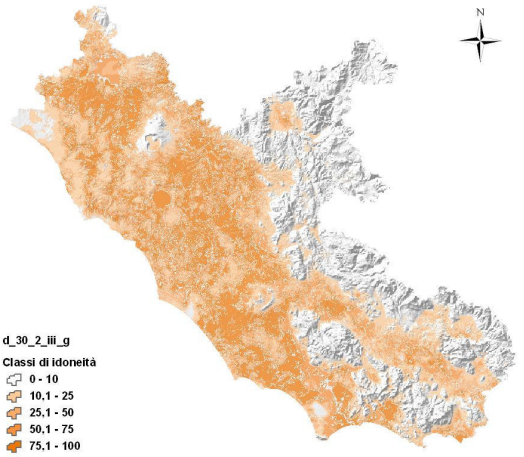






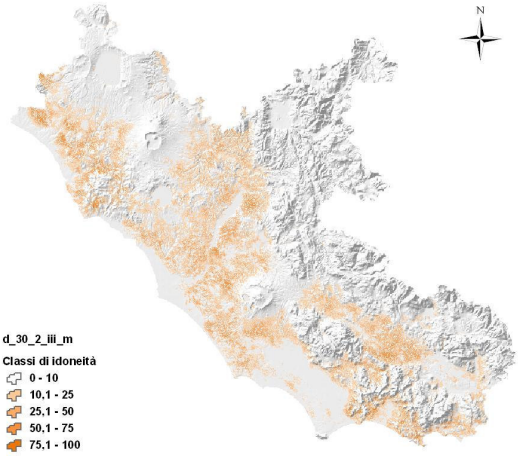
d_30_2_iii_a

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



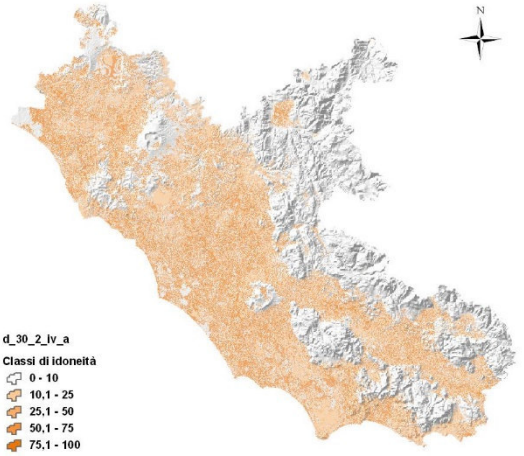
d_30_2_iii_g

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



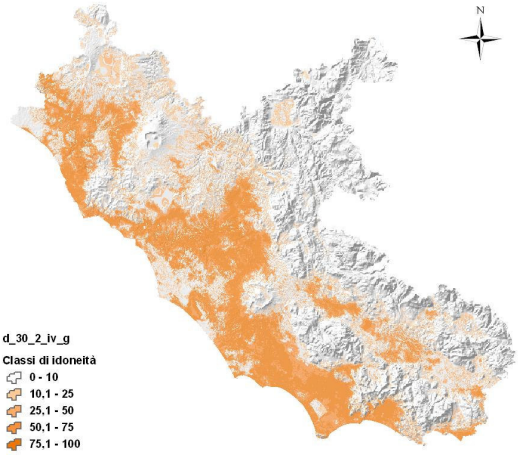
d_30_2_iii_m

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



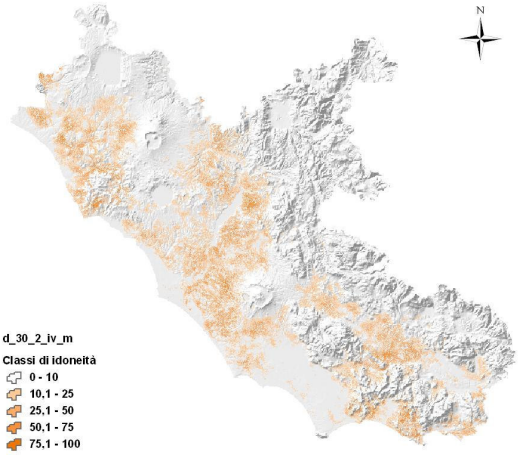
d_30_2_iv_a

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



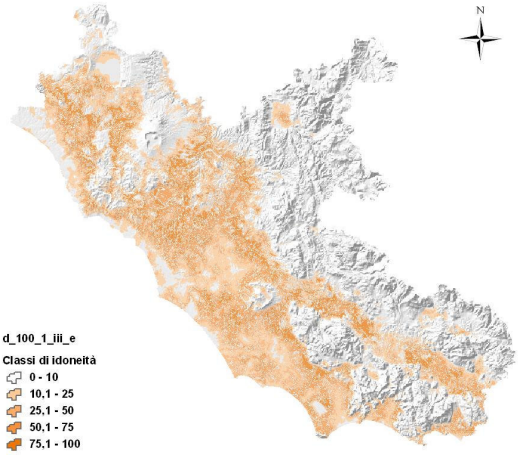
d_30_2_iv_g

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



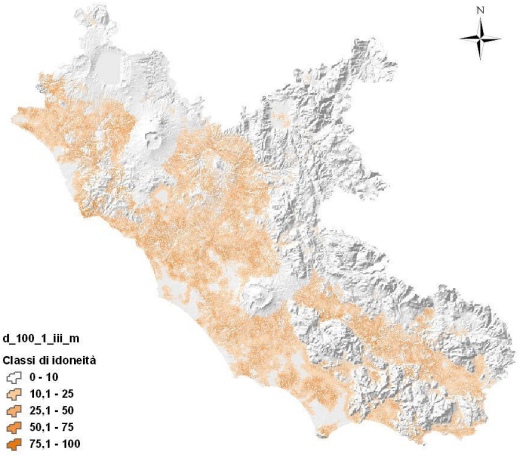
d_30_2_iv_m

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



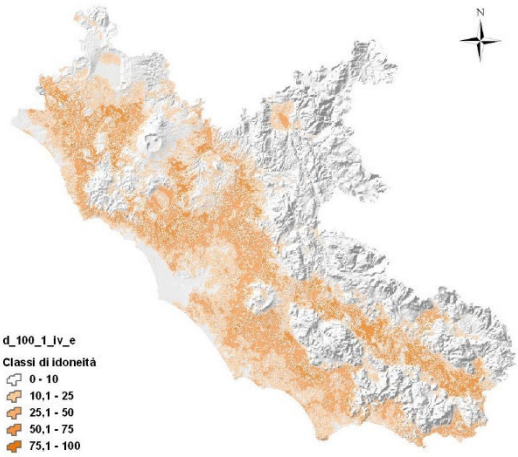
d_100_1_iii_e

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



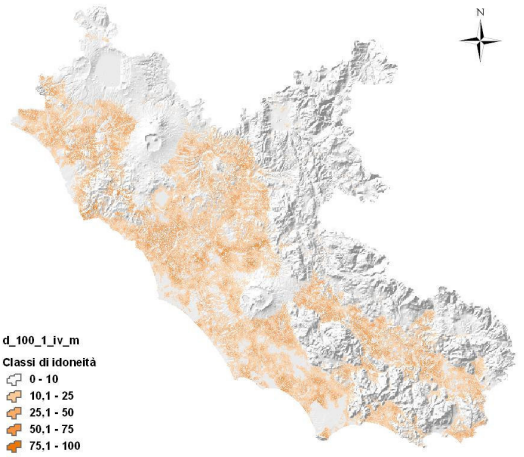
d_100_1_iii_m

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



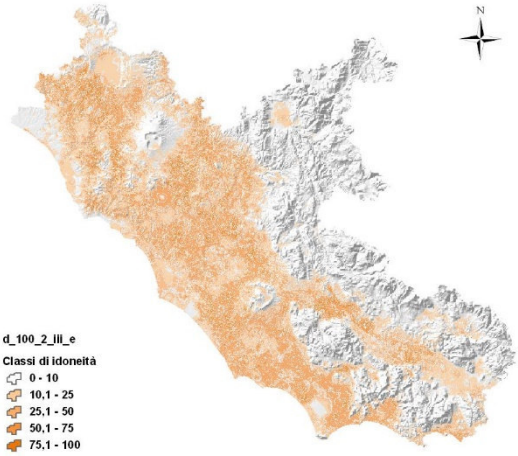
d_100_1_iv_e

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



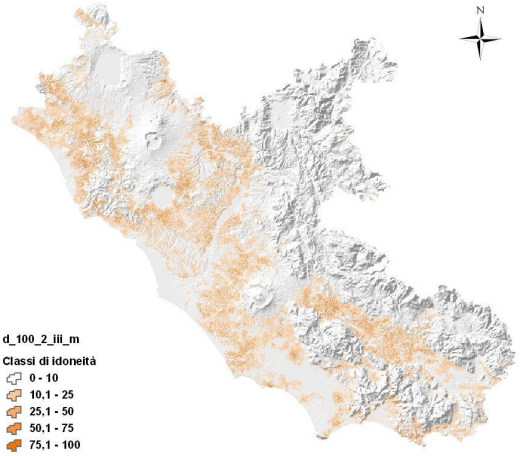
d_100_1_iv_m

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



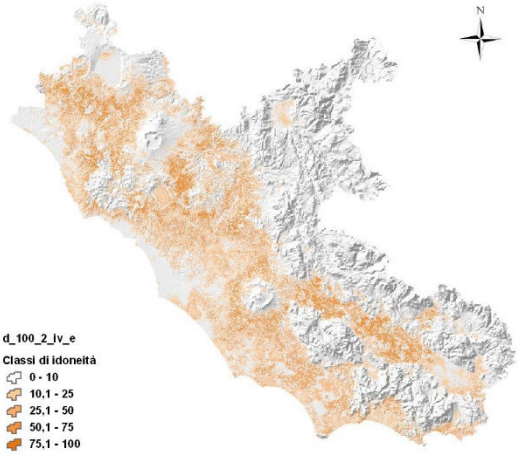
d_100_2_iii_e

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



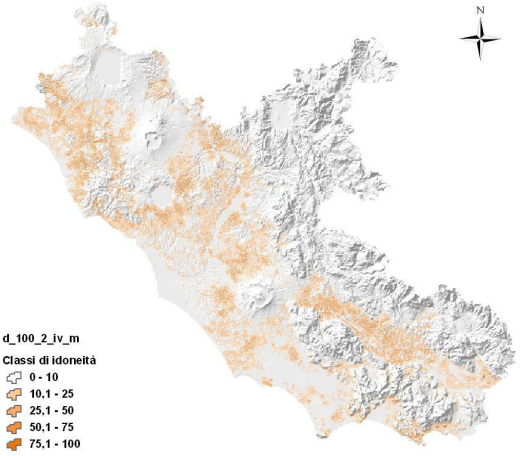
d_100_2_iii_m

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



d_100_2_iv_e

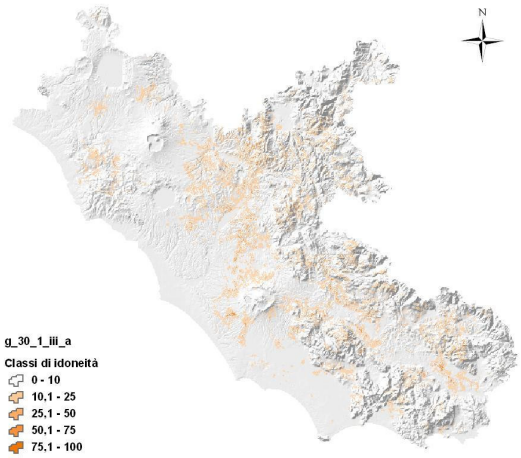
Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100

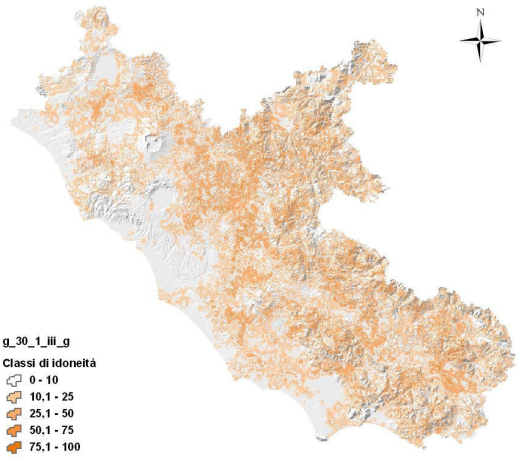


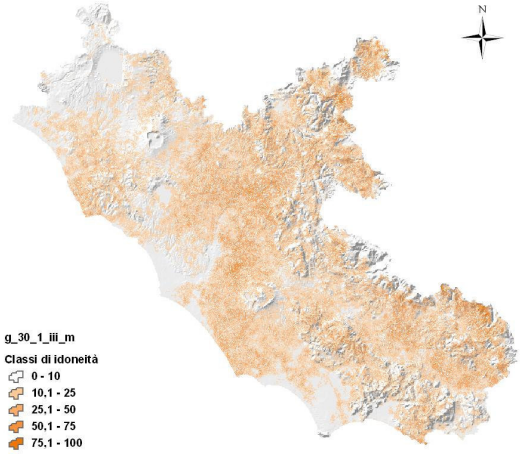
d_100_2_iv_m

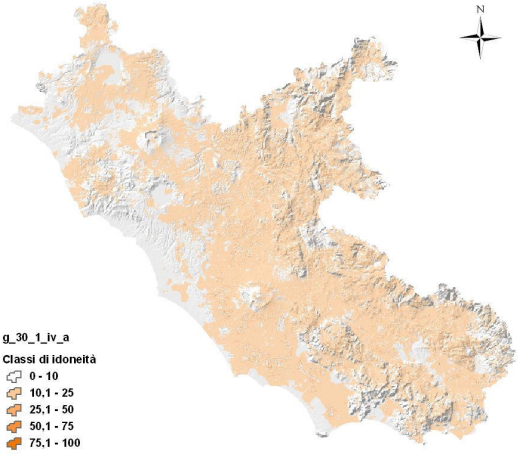
Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100

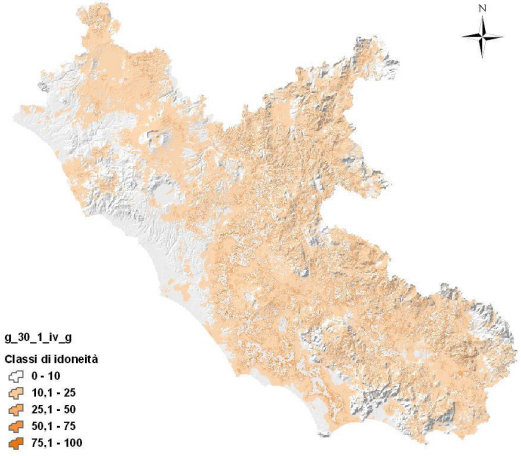
CHIMERA G - *Anthus capizzii*

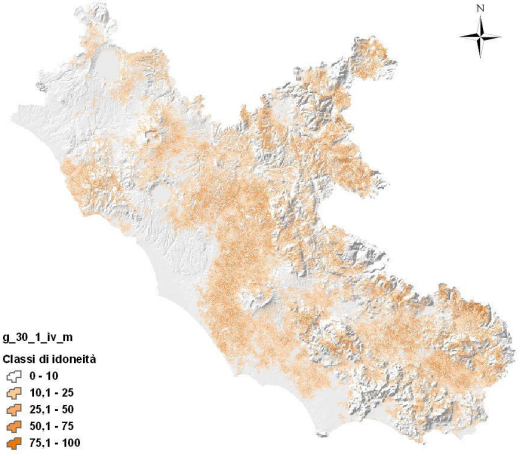


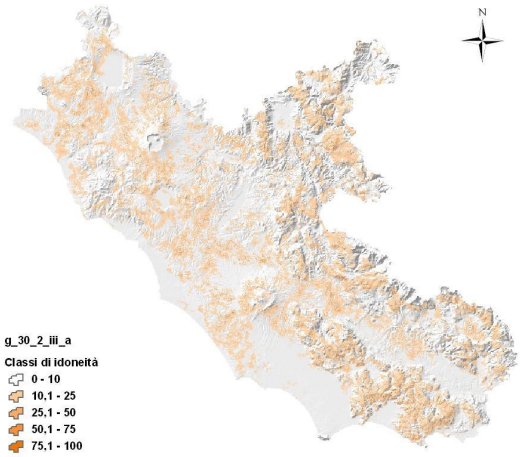






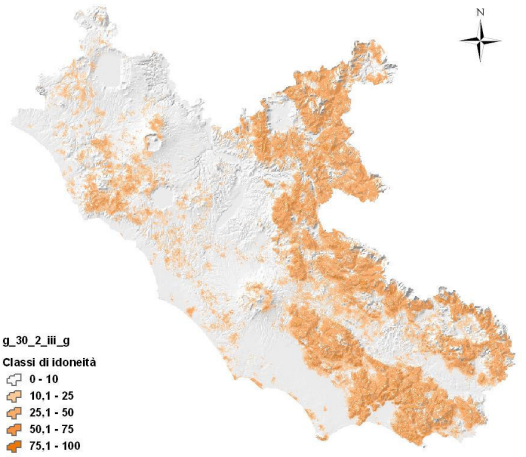






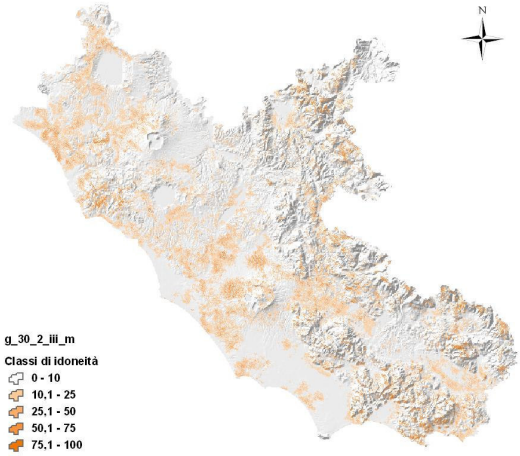
g_30_2_iii_a

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



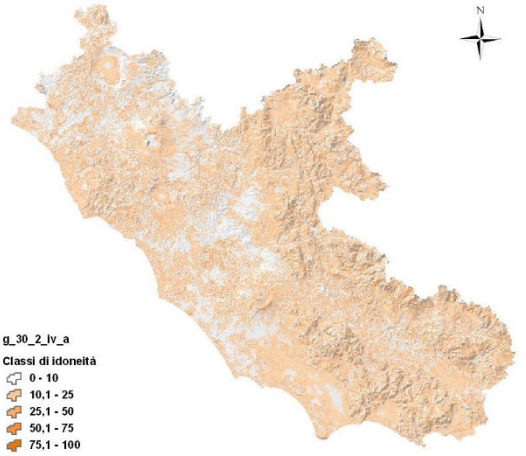
g_30_2_iii_g

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



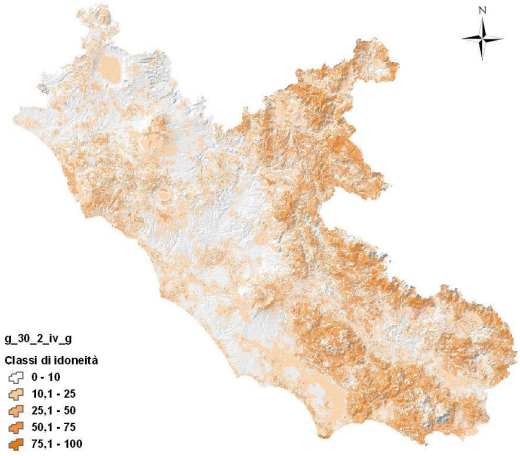
g_30_2_iii_m

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



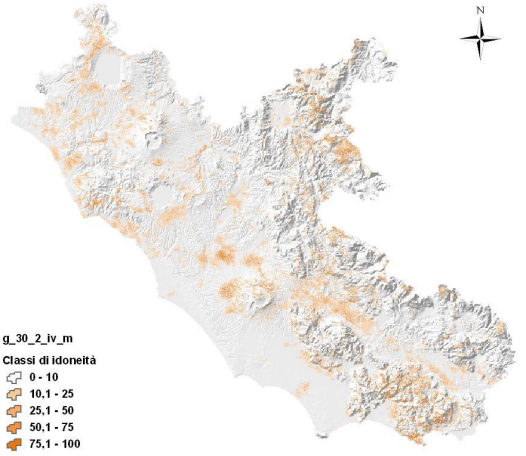
g_30_2_iv_a

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



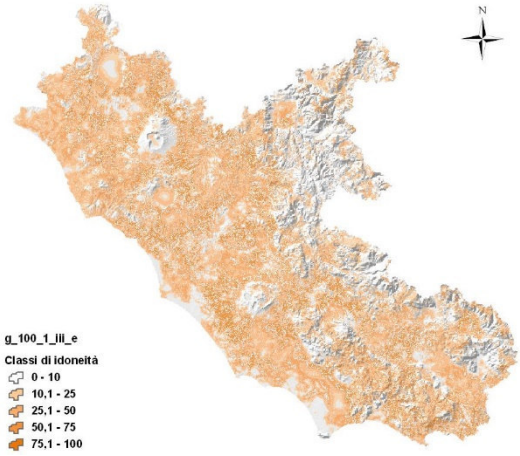
g_30_2_iv_g

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



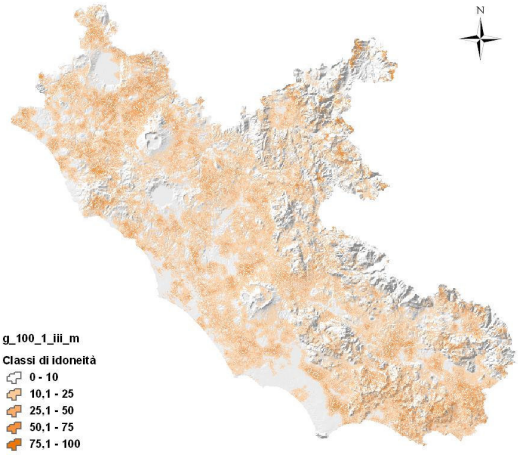
g_30_2_iv_m

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



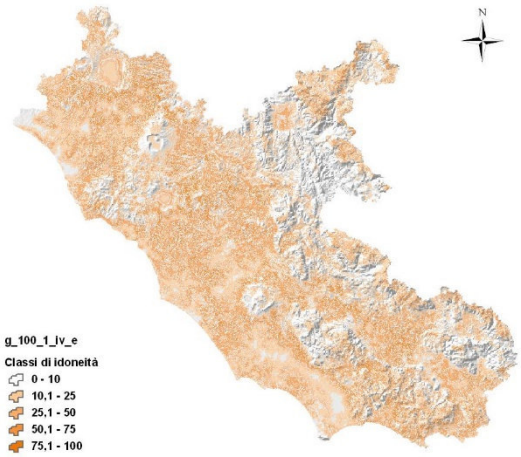
g_100_1_iii_e

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



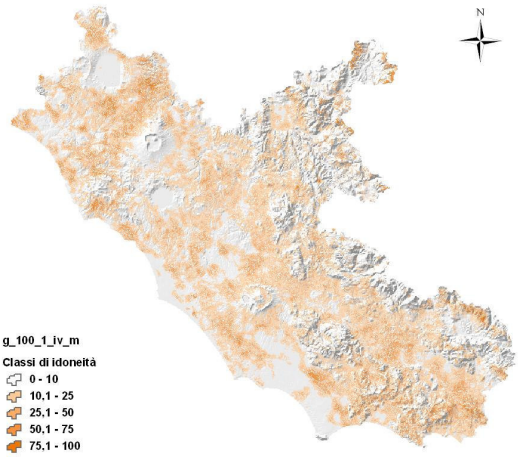
g_100_1_iii_m

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



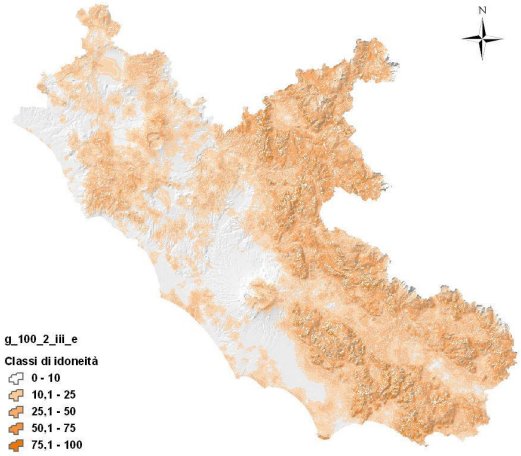
g_100_1_iv_e

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



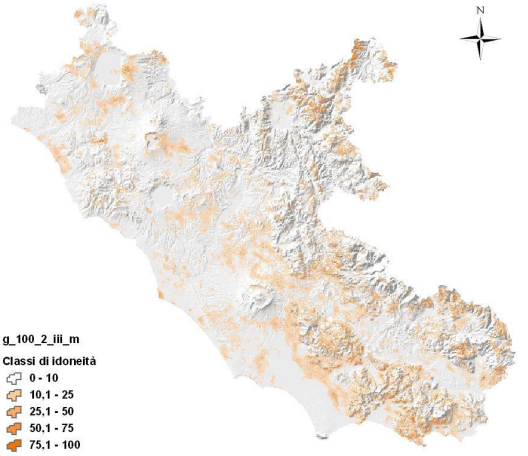
g_100_1_iv_m

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



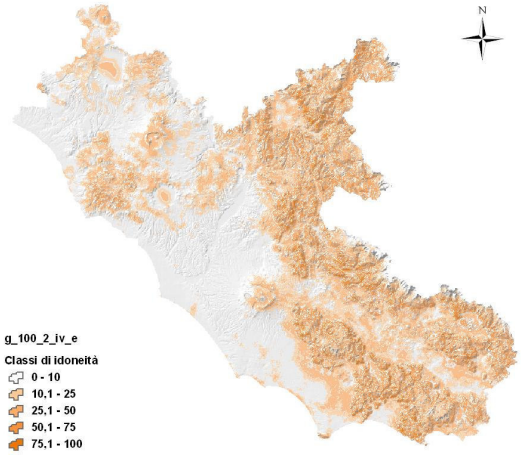
g_100_2_iii_e

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



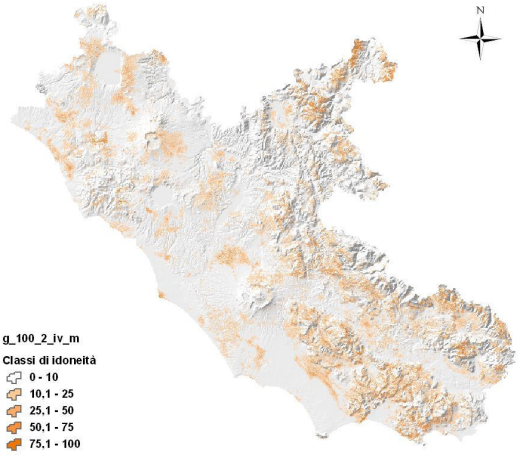
g_100_2_iii_m

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



g_100_2_iv_e

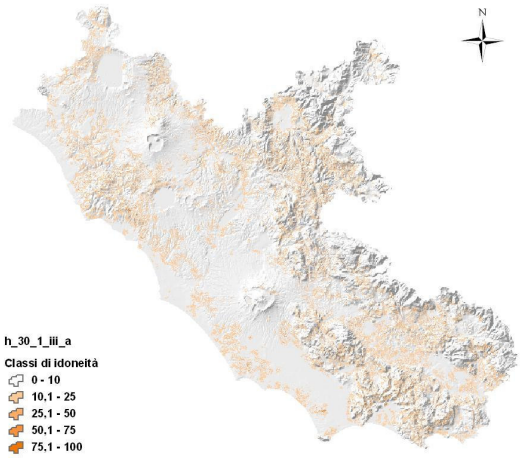
Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100

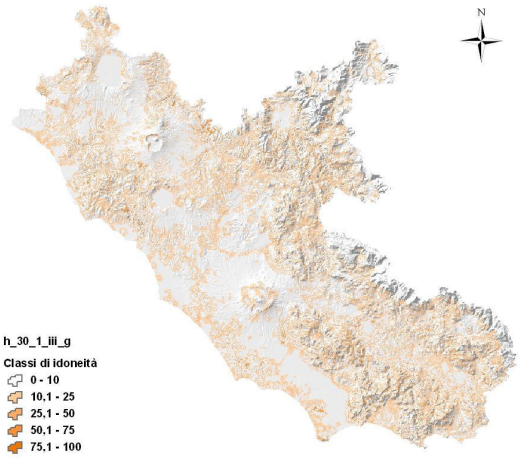


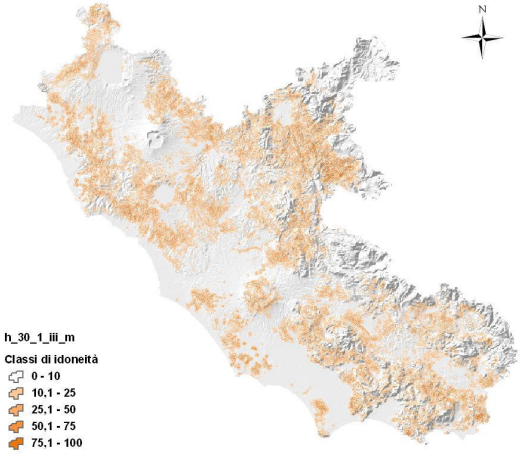
g_100_2_iv_m

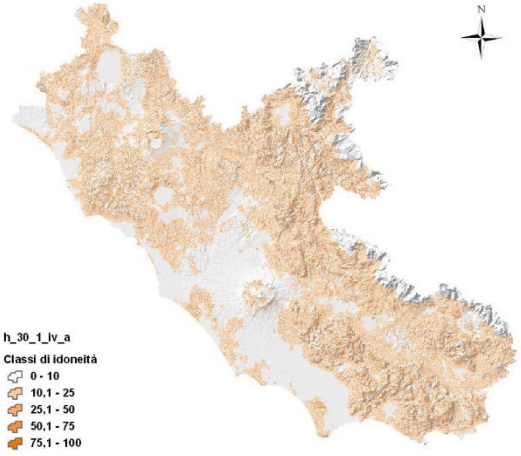
Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100

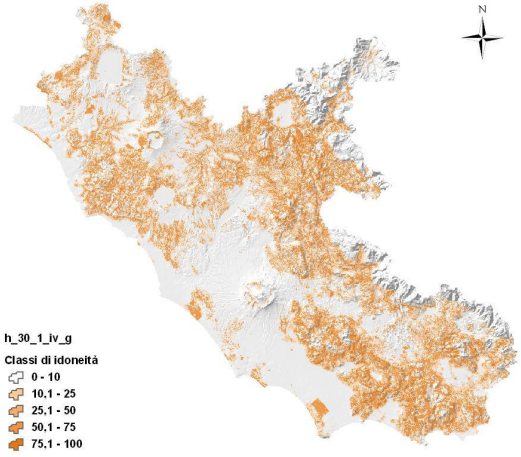
CHIMERA H - *Pernis monaci*

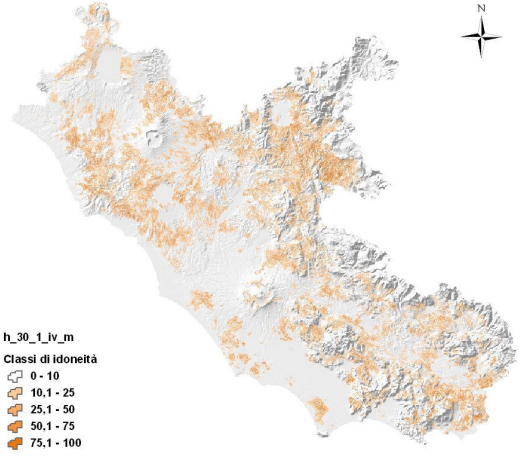


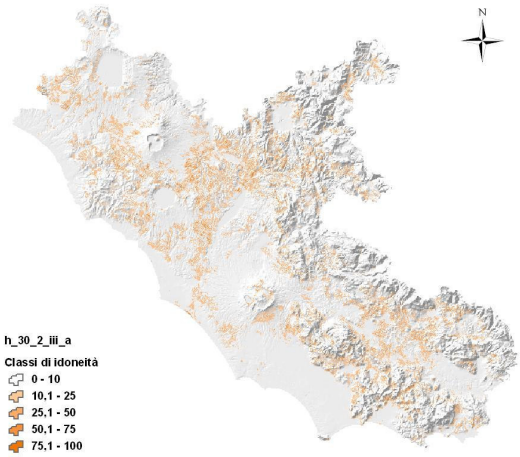






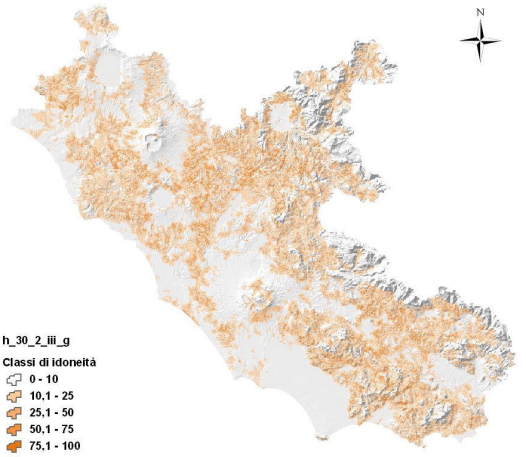






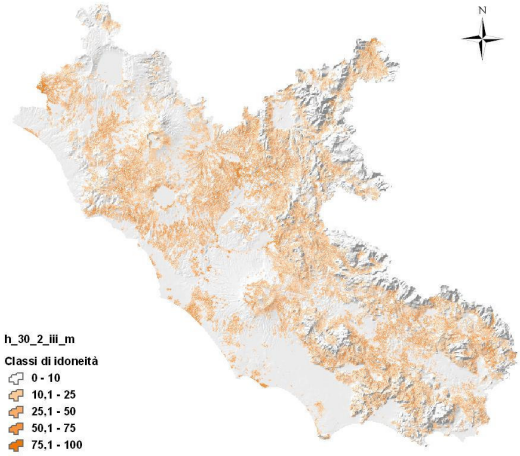
h_30_2_iii_a

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



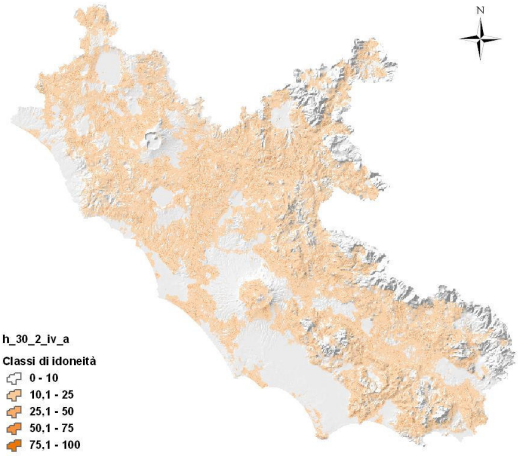
h_30_2_iii_g

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



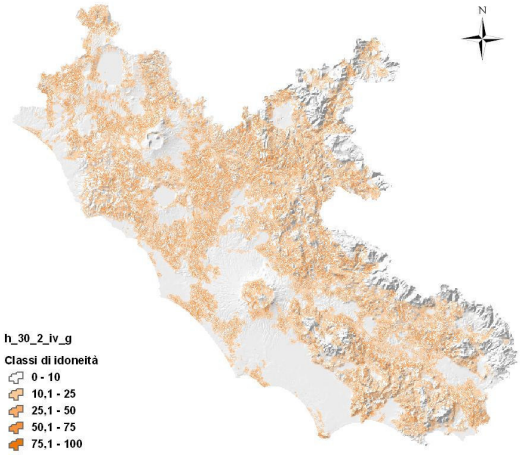
h_30_2_iii_m

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



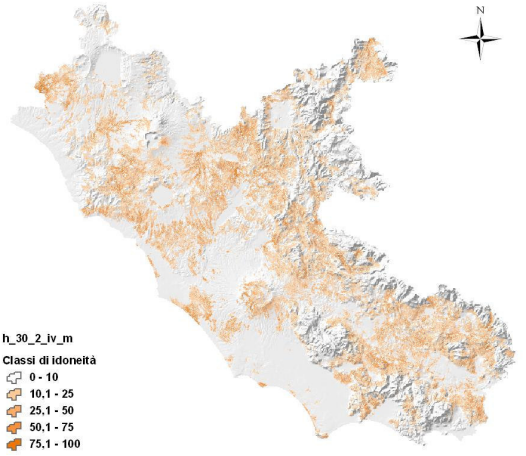
h_30_2_iv_a

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



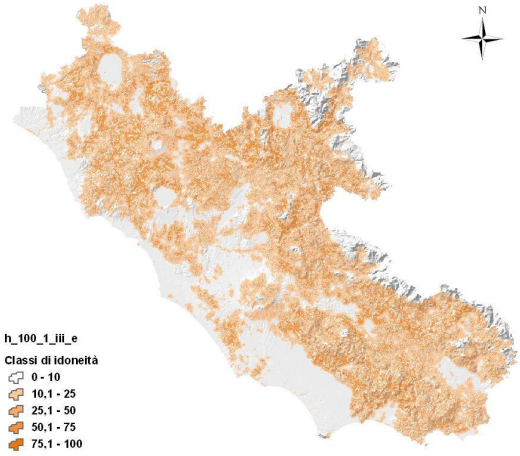
h_30_2_iv_g

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



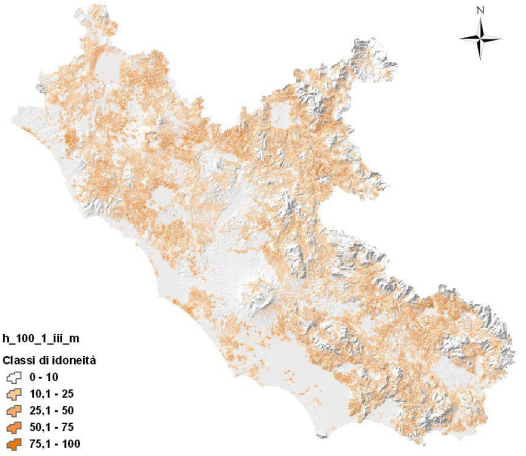
h_30_2_iv_m

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



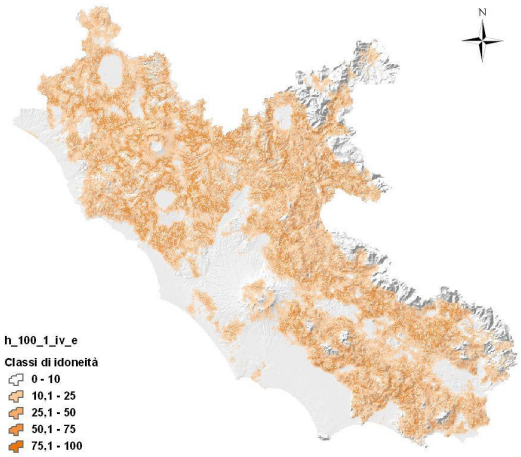
h_100_1_iii_e

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



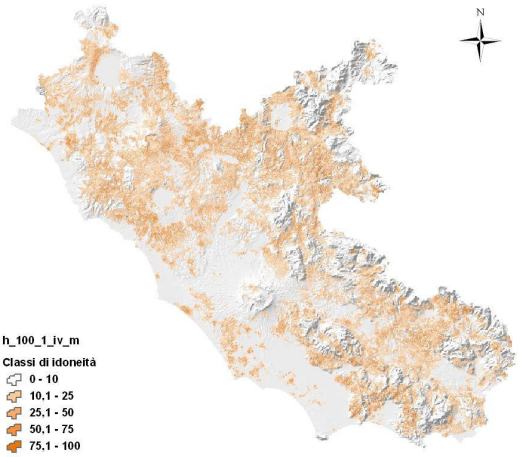
h_100_1_iii_m

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



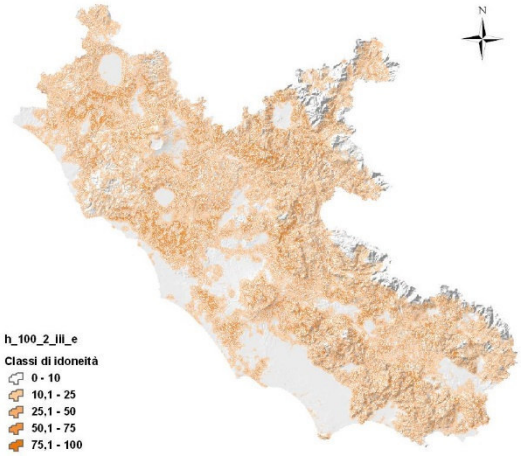
h_100_1_iv_e

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



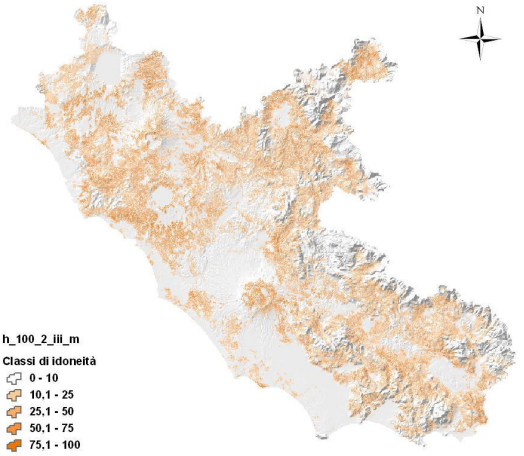
h_100_1_iv_m

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



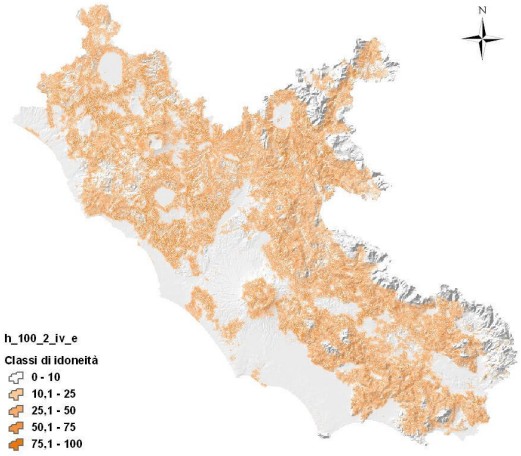
h_100_2_iii_e

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



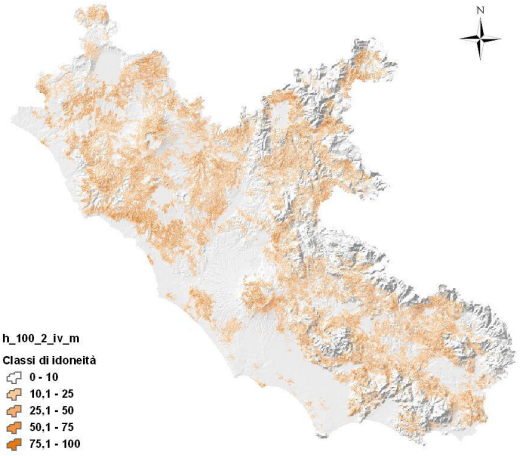
h_100_2_iii_m

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



h_100_2_iv_e

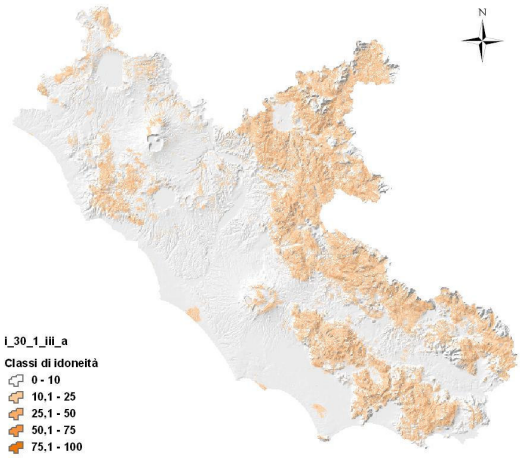
Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100

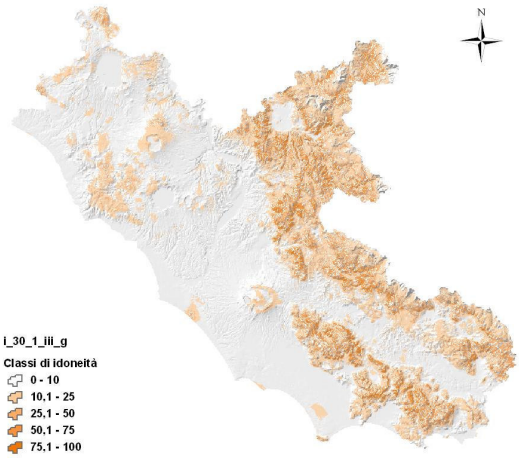


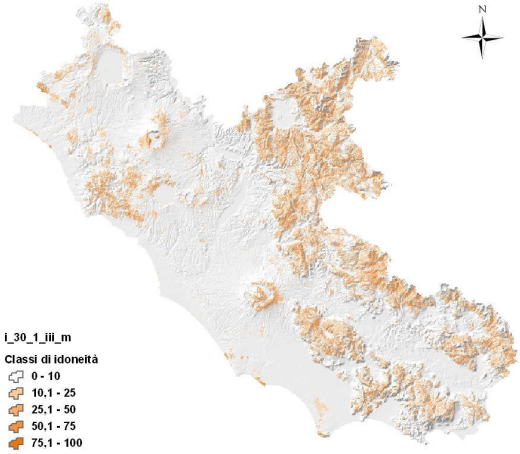
h_100_2_iv_m

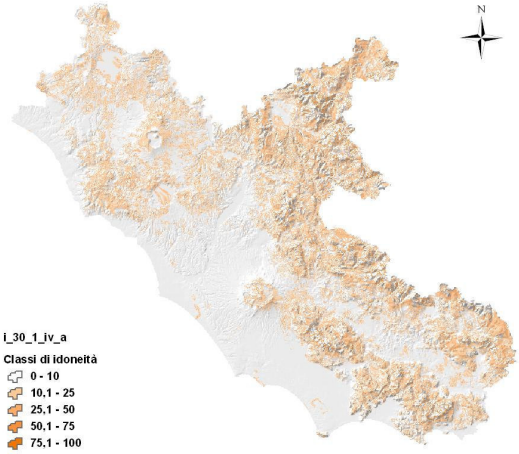
Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100

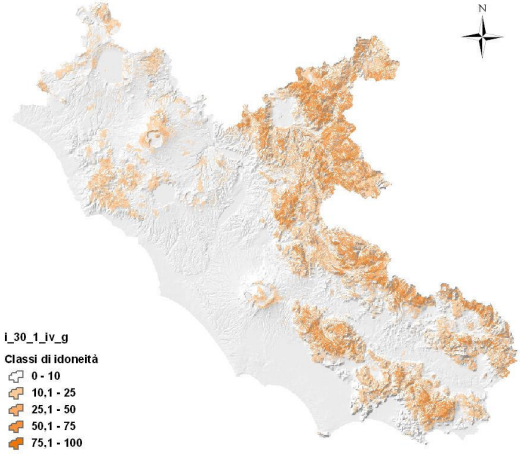
CHIMERA I - *Circaetus sarrocci*

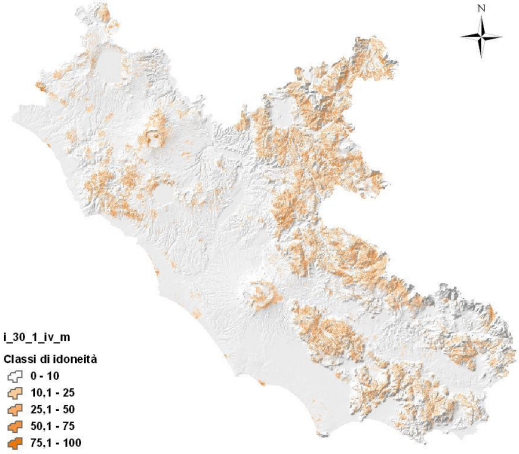


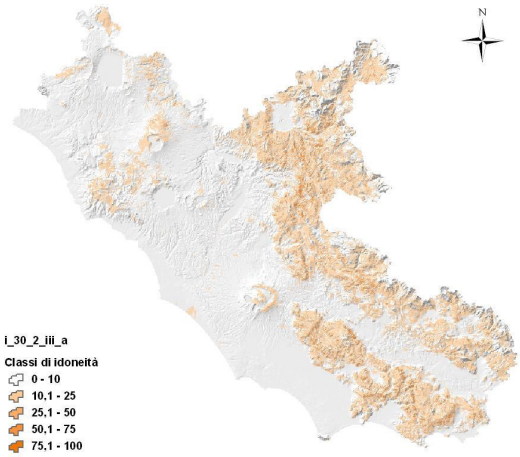






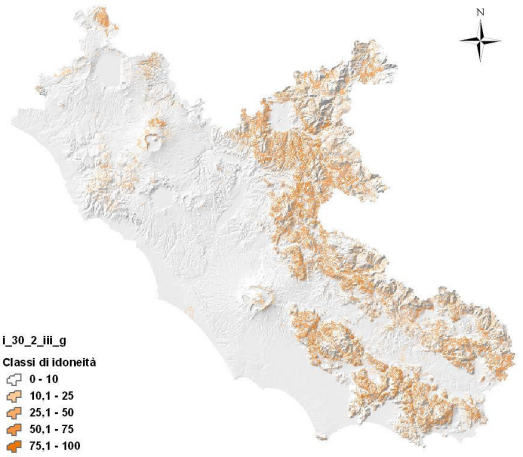






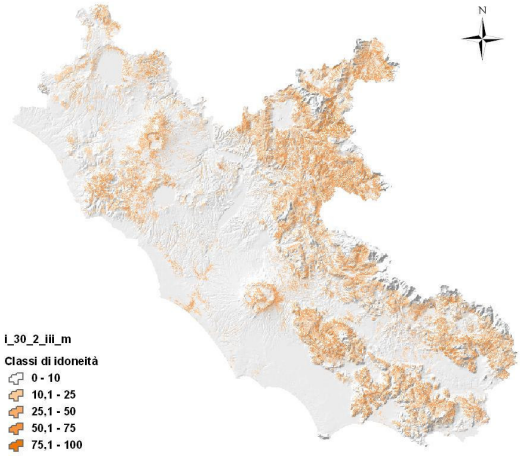
i_30_2_iii_a

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



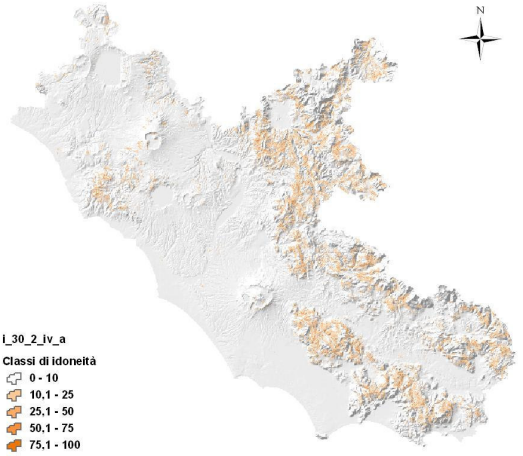
i_30_2_iii_g

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



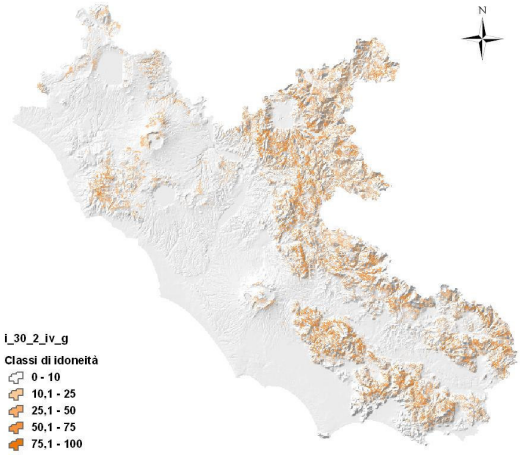
i_30_2_iii_m

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



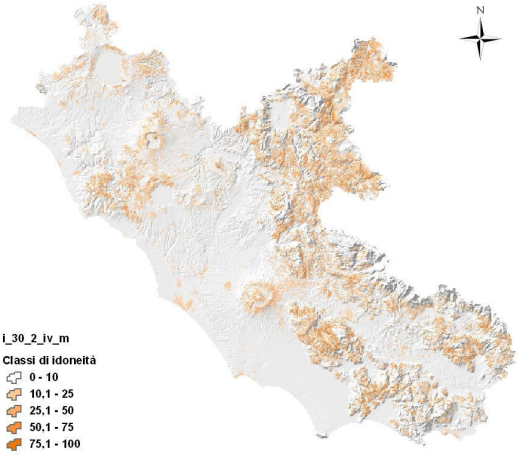
i_30_2_iv_a

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



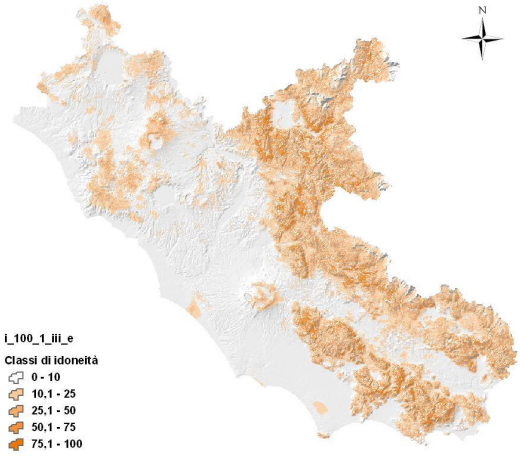
i_30_2_iv_g

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



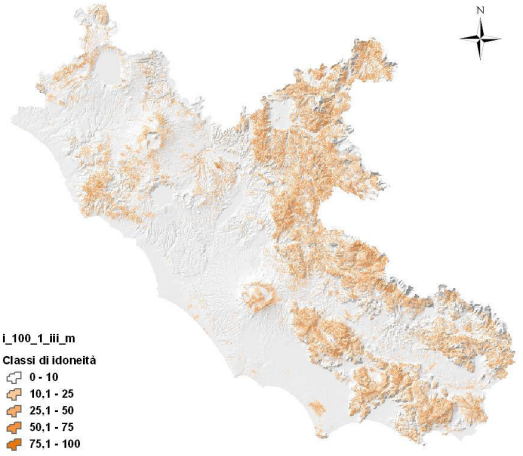
i_30_2_iv_m

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



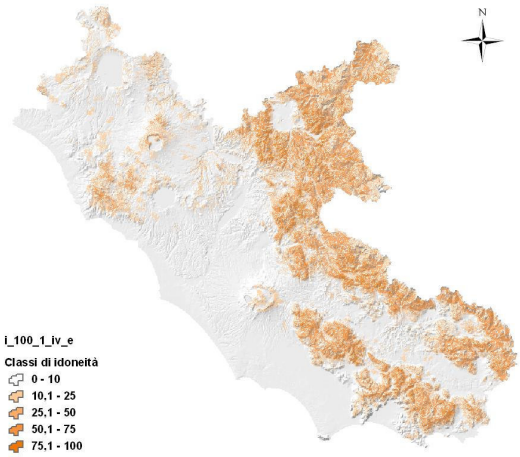
i_100_1_iii_e

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



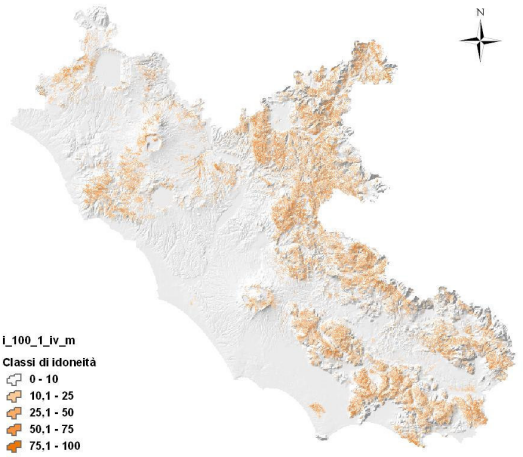
i_100_1_iii_m

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



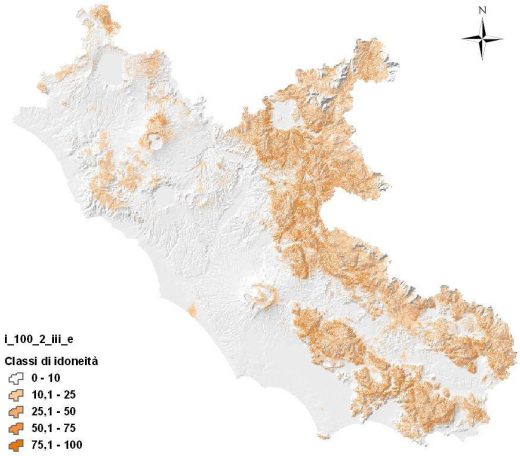
i_100_1_iv_e

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



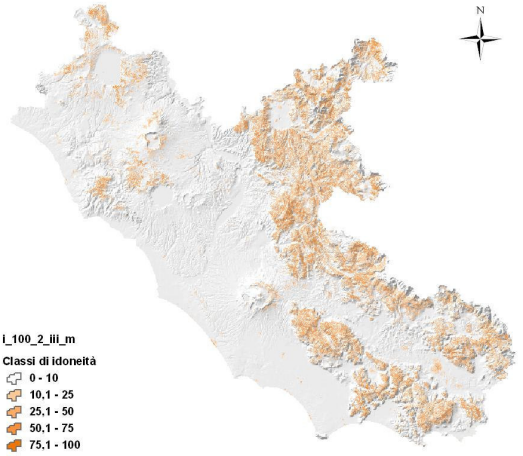
i_100_1_iv_m

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



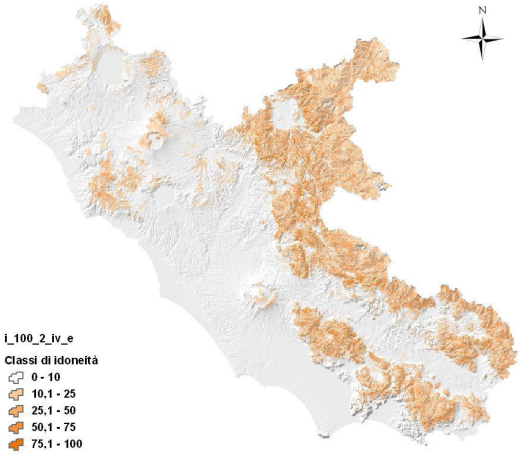
i_100_2_iii_e

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



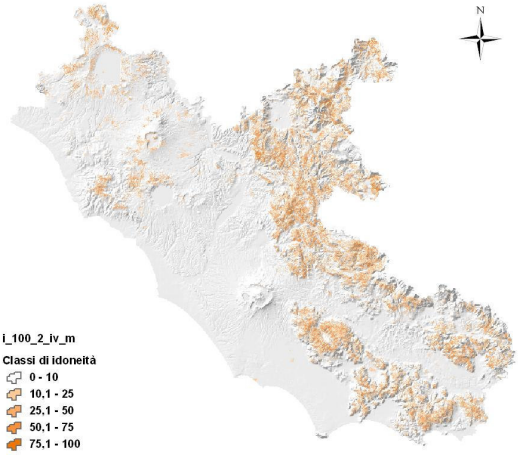
i_100_2_iii_m

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



i_100_2_iv_e

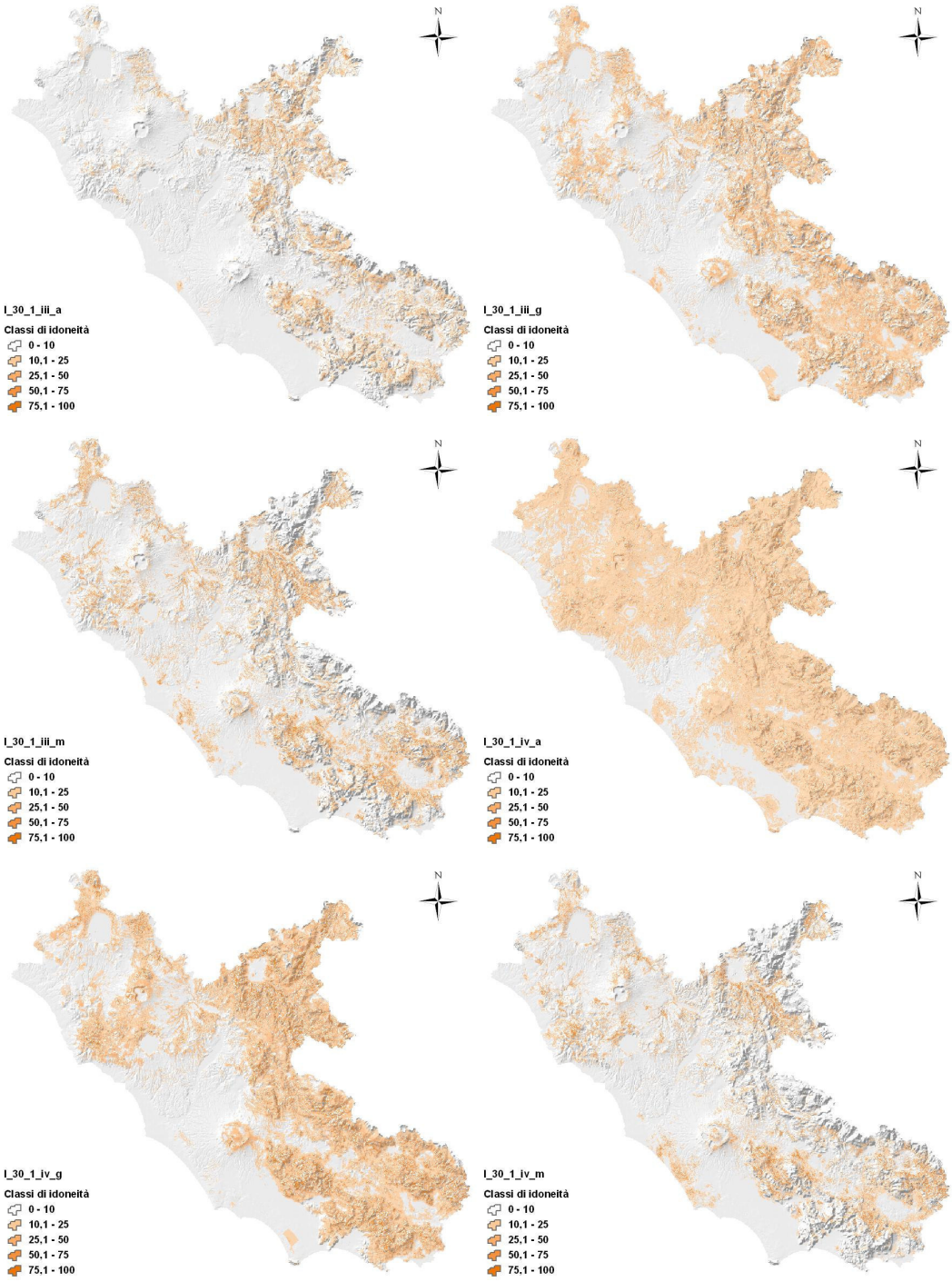
Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100

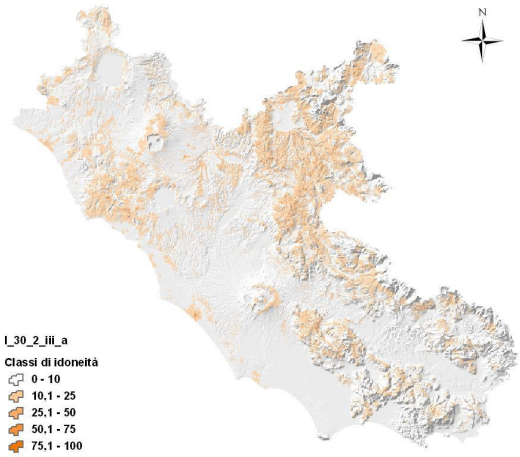


i_100_2_iv_m

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100

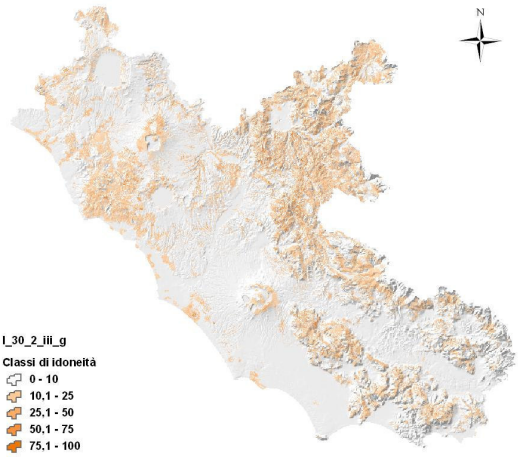
CHIMERA L - *Milvus cerfollii*





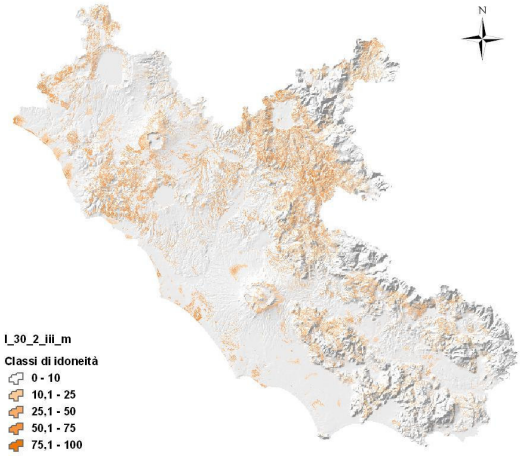
I_30_2_iii_a

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



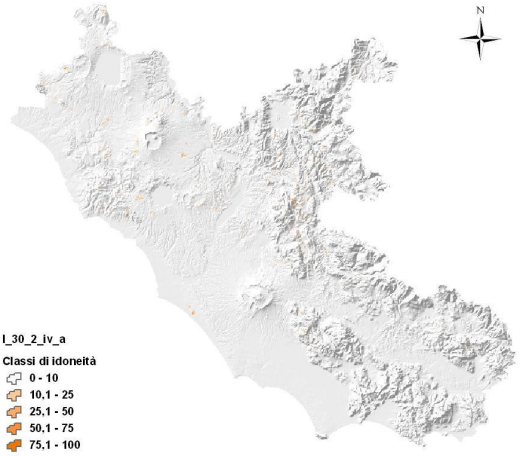
I_30_2_iii_g

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



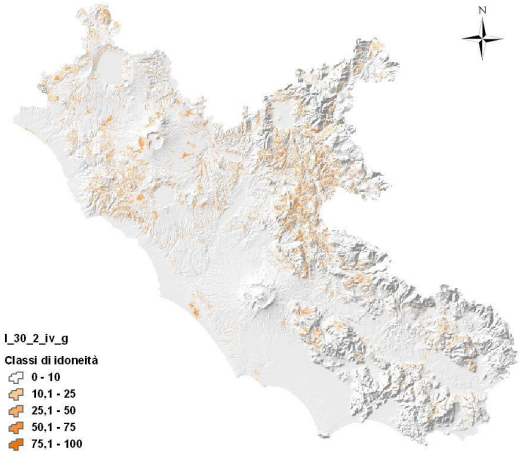
I_30_2_iii_m

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



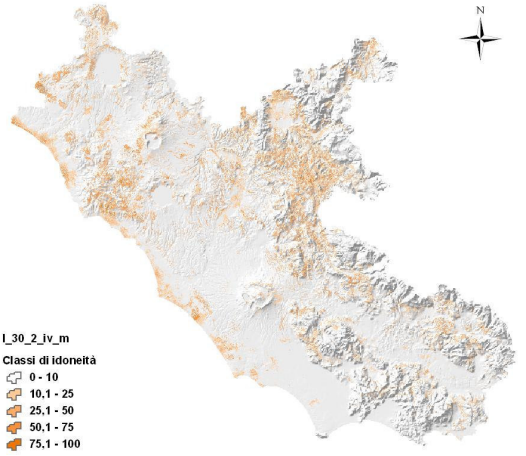
I_30_2_iv_a

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



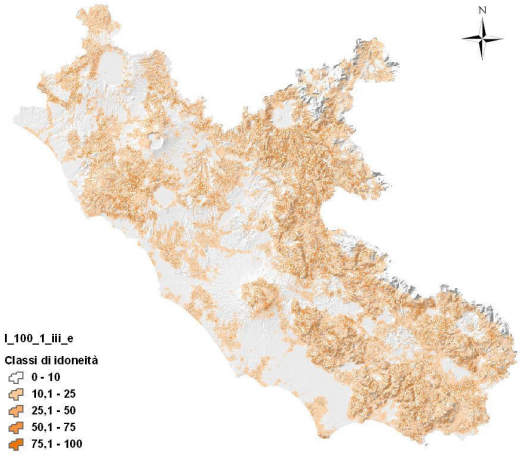
I_30_2_iv_g

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



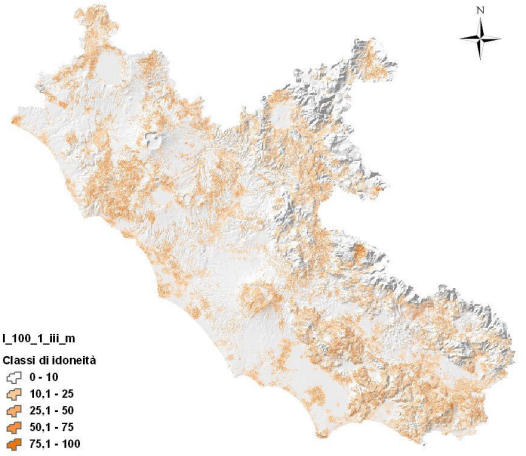
I_30_2_iv_m

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



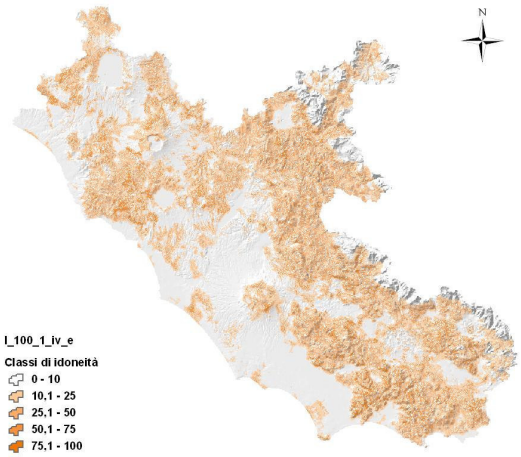
I_100_1_iii_e

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



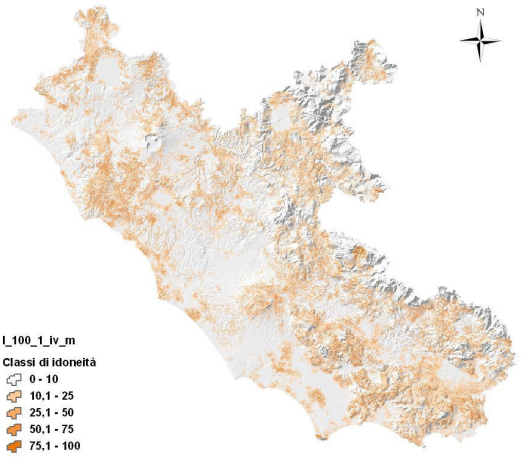
I_100_1_iii_m

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



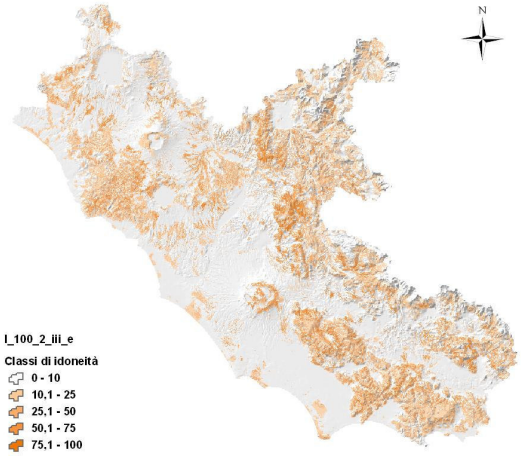
I_100_1_iv_e

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



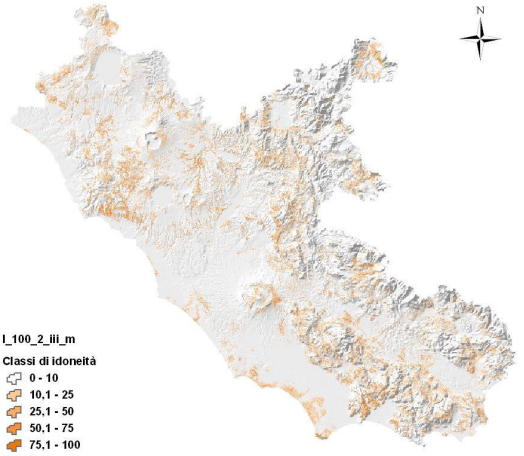
I_100_1_iv_m

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



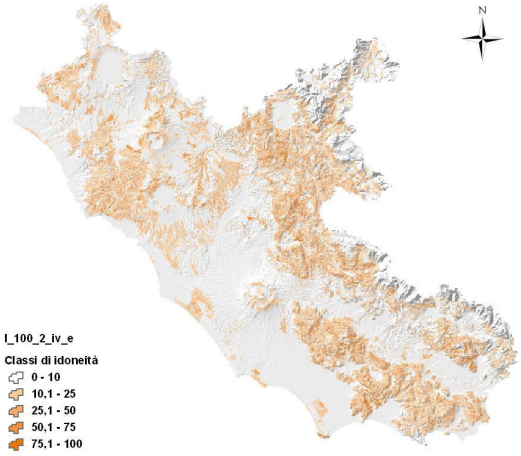
I_100_2_iii_e

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



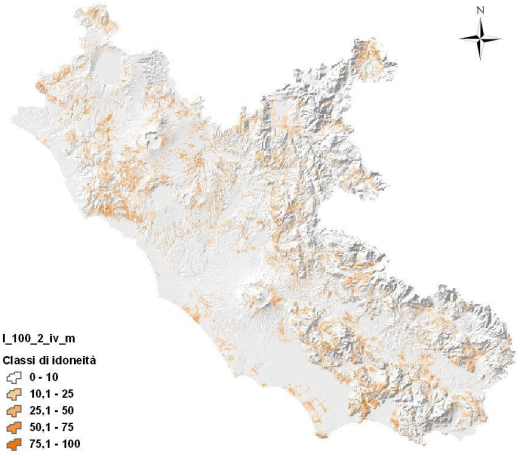
I_100_2_iii_m

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



I_100_2_iv_e

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100



I_100_2_iv_m

Classi di idoneità
- 0 - 10
- 10,1 - 25
- 25,1 - 50
- 50,1 - 75
- 75,1 - 100