

ANNA BARBATI (*) - ANDREA LAMONACA (*) - DAVIDE MELINI (**)
SUSANNA NOCENTINI (***) - PIERMARIA CORONA (*)

VALUTAZIONE MULTICRITERIALE DELLA SUSCETTIVITÀ A INTERVENTI DI RINATURALIZZAZIONE DEI RIMBOSCHIMENTI DI PINO NERO E DEI SOPRASSUOLI DI CERRO IN TOSCANA

*La rinaturalizzazione è uno degli orientamenti colturali di riferimento della gestione sostenibile di formazioni forestali semplificate nella composizione e nella struttura. La pianificazione degli interventi su area vasta può essere utilmente supportata da informazioni georeferenziate sulle condizioni di suscettività alla rinaturalizzazione dei complessi boscati. Nel presente lavoro si applica un approccio multicriteriale alla mappatura della suscettività a interventi di rinaturalizzazione dei rimboschimenti di pino nero (*Pinus nigra* Arn.) e soprassuoli di cerro (*Quercus cerris* L.) presenti in Toscana. La valutazione è basata su un approccio fuzzy, mediante costruzione di funzioni di appartenenza in grado di esprimere il variare delle condizioni di suscettività in rapporto ai seguenti fattori mappati su base raster: i) efficienza ecobiologica del popolamento forestale, stimata mediante un indice guidato da dati telerilevati, e utilizzata per definire il grado di opportunità culturale dell'intervento; ii) fattori di contesto (grado di adiacenza del soprassuolo con altre tipologie forestali e diversità fisionomica della copertura forestale a scala locale) intesi come fattori in grado di rafforzare (o depotenziare) l'opportunità culturale dell'intervento; iii) accessibilità e dimensione del soprassuolo, condizionanti la fattibilità operativa dell'intervento. I valori fuzzy dei singoli fattori sono combinati mediante una funzione moltiplicativa in un indice sintetico di suscettività, per individuare a scala vasta ambiti territoriali a cui accordare priorità di intervento. Su scala comprensoriale o aziendale, la disponibilità di indicatori più puntuali può permettere di collegare in maniera coerente gli indirizzi della pianificazione di area vasta alla concreta programmazione degli interventi.*

Parole chiave: rinaturalizzazione; valutazione multicriteriale; classificazione fuzzy; supporto alla pianificazione forestale.

Key words: re-naturalisation; multicriteria evaluation; fuzzy classification; forest planning tool.

(*) Dipartimento di Scienze dell'Ambiente Forestale e delle sue Risorse, Università degli Studi della Tuscia, Viterbo.

(**) Dipartimento di Scienze e Tecnologie Ambientali Forestali, Università degli Studi di Firenze.

1. INTRODUZIONE

Nel pianificare gli indirizzi di politica forestale è utile conoscere quali siano le priorità di intervento al fine di ottimizzare l'allocazione delle risorse disponibili nello spazio e nel tempo. Per l'implementazione concreta di una gestione forestale sostenibile che tenga conto della necessità di conservare la diversità biologica, sempre più spesso nel nostro Paese si fa riferimento alla rinaturalizzazione. Così, per pianificare su vasta scala è utile disporre di indicazioni georeferenziate relative alle condizioni di maggiore o minore suscettività alla rinaturalizzazione dei diversi complessi boscati presenti sul territorio. Su scala comprensoriale o aziendale, la disponibilità di indicatori più puntuali consente poi di collegare in maniera coerente gli indirizzi della pianificazione di area vasta alla concreta programmazione degli interventi.

Con rinaturalizzazione si intende un processo colturale tendente a favorire l'aumento della diversità compositiva e della complessità strutturale di formazioni forestali semplificate nella composizione e nella struttura dalla gestione passata. La rinaturalizzazione riguarda in primo luogo i rimboschimenti, ma può interessare anche tutti quei soprassuoli di origine naturale che sono stati semplificati da una gestione improntata dall'applicazione di trattamenti selvicolturali uniformi, come i cedui e i soprassuoli transitori derivanti dall'avviamento alla conversione (NOCENTINI 1995, 2000, 2001; CIANCIO e NOCENTINI, 2004).

Per i rimboschimenti, una gestione orientata alla rinaturalizzazione mira a favorire la reintroduzione, per via autonoma, delle specie locali. I tempi e i modi del processo di rinaturalizzazione dipendono da un insieme di fattori di varia natura (condizioni vegetative della specie del rimboschimento, vicinanza di nuclei di specie arboree autoctone in grado di disseminare, maggiore o minore facilità di intervento in relazione ai costi di utilizzazione, ecc.: vd. BOSCALERI *et al.*, 2004).

Per i cedui, la rinaturalizzazione prevede la conversione a fustaia attraverso interventi colturali che non tendono alla creazione di una fustaia «regolare», ottenuta con trattamenti uniformi e sulla base di cicli colturali legati a considerazioni economico-finanziarie (turno fisiocratico, turni tecnici o economici), ma alla costituzione di un bosco efficiente sotto l'aspetto bioecologico (CIANCIO e NOCENTINI, 2004). Sul piano pratico-operativo la rinaturalizzazione del ceduo si traduce in una serie di interventi graduali che iniziano generalmente dopo un periodo di attesa di durata variabile in funzione delle condizioni iniziali del ceduo e della stazione e che sono mirati, in un primo momento, a mantenere la stabilità

del soprassuolo (diradamenti sulle ceppaie), e poi a favorire la rinnovazione da seme che viene a insediarsi naturalmente, in particolare quella delle specie che sono state sfavorite dalla precedente gestione. Anche in questo caso la scelta del percorso colturale dipende da un insieme di considerazioni di diverso tipo, tra le quali sicuramente determinanti sono le condizioni del soprassuolo (sviluppo in relazione alla fertilità della stazione, vicinanza di nuclei di altre specie in grado di disseminare, ecc.) e le considerazioni di tipo operativo.

Qui si presentano i risultati di un approccio multicriteriale per l'individuazione su area vasta della suscettività a interventi di rinaturalizzazione di due tipologie forestali presenti in Toscana e che caratterizzano il paesaggio forestale di ampie zone di questa regione: i rimboschimenti di pino nero (*Pinus nigra* Arn.) e i soprassuoli di cerro (*Quercus cerris* L.) (in particolare cedui cosiddetti «invecchiati» e soprassuoli transitori).

2. MATERIALI E METODO

La suscettività a interventi di rinaturalizzazione per i popolamenti di pino nero e i soprassuoli di cerro in Toscana è stata valutata attraverso un'analisi multicriteriale (FAO, 1976; BERNETTI E FAGARAZZI, 2002; CORONA *et al.*, 2008) sviluppata su base *raster*, assumendo come matrice di riferimento le classi boscate di copertura del suolo Corine Land Cover al IV livello di tematico (CLC_IV, BOLOGNA *et al.*, 2004), ricampionate mediante griglia con passo di 100 m.

Sono stati scelti cinque fattori, ciascuno espressione di un criterio per la valutazione su area vasta della vocazione a interventi di rinaturalizzazione e tali da poter essere quantificati mediante dati omogeneamente disponibili per l'intera Toscana:

- accessibilità;
- indice di efficienza ecologico-produttiva;
- indice di interposizione e giustapposizione delle tessere forestali;
- diversità fisionomica tra tessere del paesaggio forestale;
- dimensione delle superfici forestali.

Per ciascun fattore è stata prodotta una mappa georeferenziata in ambiente GIS, che ne descrive le variazioni su tutto il territorio della Toscana. In una prima fase, i fattori sono stati valutati singolarmente mediante approccio sfocato (*fuzzy*) basato sull'utilizzo di funzioni di appartenenza (ZADEH, 1965; ZANOLI e GAMBELLI, 1998; CORONA *et al.*, 2008) per esprimere il grado di suscettività alla rinaturalizzazione in una scala di valori

continui compresi tra 0 (susceptività nulla) e 1 (susceptività massima). Partendo dal valore *fuzzy* assegnato a ciascun fattore per ciascun *pixel* di 1 ha è stato poi calcolato il valore medio di ciascun fattore per ciascun poligono boscato CLC_IV. I valori medi così ottenuti sono stati infine combinati al fine di ottenere per ciascun poligono il valore complessivo di susceptività a interventi di rinaturalizzazione.

2.1 Cartografia delle fustaie di pino nero e dei cedui invecchiati e fustaie di cerro

Il database cartografico è stato realizzato sulla base di CLC_IV che, con riferimento a quanto di interesse per il presente lavoro, riporta le seguenti classi tematiche: boschi a prevalenza di querce caducifoglie, boschi a prevalenza di pini oro-mediterranei e montani, boschi misti di conifere e latifoglie a prevalenza di querce caducifoglie, boschi misti di conifere e latifoglie a prevalenza di pini oro-mediterranei e montani. Questi dati sono stati integrati con quelli dell'Inventario Forestale della Toscana (REGIONE TOSCANA - GIUNTA REGIONALE, 1993), con la carta della vegetazione forestale realizzata a corredo dello studio delle principali unità fisionomiche e fitosociologiche della Toscana (REGIONE TOSCANA - GIUNTA REGIONALE, 1998) e con i piani di gestione e di assestamento forestale disponibili localmente.

A supporto sono state utilizzate inoltre: tre immagini multispettrali Landsat 7 ETM+, acquisite durante la stagione estiva nel 2000 e nel 2001, come parte integrante del prodotto IMAGE2000, ortorettificate e ricampionate a 25 m (NUNES DE LIMA, 2005); le ortofoto digitali a colori del progetto IT2000; il modello digitale del terreno (DTM) con passo di 75 m.

2.2 Fattori esaminati

2.2.1 Accessibilità

L'accessibilità è stata valutata ricorrendo alla pendenza media, a sua volta quantificata mediante il DTM ricampionato alla risoluzione adottata per l'analisi (100 m). Alle aree con pendenza nulla, considerate facilmente accessibili, è stata assegnata la massima susceptività; le aree con pendenze più elevate, presentando maggiori limitazioni alla fattibilità operativa degli interventi, sono state considerate a minor susceptività alla rinaturalizzazione.

La susceptività a interventi di rinaturalizzazione in funzione della pendenza è stata valutata utilizzando una funzione lineare decrescente, applicata alla mappa delle pendenze, in modo da assegnare susceptività alla rinaturalizzazione nulla ai soprassuoli situati nei poligoni a più elevata pendenza media.

2.2.2 Indice di efficienza ecologico-produttiva

Una valutazione oggettiva dell'efficienza funzionale dei boschi toscani

può essere ottenuta dalla mappa dell'indice di efficienza ecologico-produttiva (*IEF*) elaborato da AISF (2005):

$$IEF = \frac{PPN_r}{PPN_p}$$

dove

PPN_p = produttività primaria netta potenziale dei popolamenti forestali ($\text{g C m}^{-2} \text{ anno}^{-1}$) stimata attraverso l'indice di Lieth, basato sulle caratteristiche climatiche della stazione (temperatura media annua, precipitazione media annua); PPN_r = produttività primaria netta reale dei popolamenti forestali ($\text{g C m}^{-2} \text{ anno}^{-1}$), calcolata tramite il modello C-Fix guidato da dati telerilevati, adattato alla realtà italiana (MASELLI *et al.*, 2006).

L'indice *IEF* esprime l'efficienza relativa dei popolamenti forestali rispetto alle potenzialità produttive della stazione, definite sulla base dei parametri bioclimatici: esso racchiude gli effetti dei fattori antropici di degrado e dei fattori pedologici che possono deprimere la capacità produttiva dei soprassuoli rispetto alla potenzialità bioclimatica della stazione.

La funzione di classificazione *fuzzy* adottata è una funzione «a triangolo»: si è infatti considerata minima la suscettività a interventi di rinaturalizzazione sia per i popolamenti più degradati, dove occorre almeno temporaneamente consentire il reinnescimento autonomo dei processi funzionali attraverso il naturale accumulo di una quantità minima di biomassa, sia per i popolamenti con organizzazione e struttura a elevato grado di efficienza ecobiologica, dove i processi di autorganizzazione che si instaurano naturalmente tendono in genere autonomamente alla naturalizzazione (in assenza di disturbi significativi). Sono stati pertanto presi in considerazione il valore minimo (min) e massimo (max) dell'*IEF* sulla Toscana: nell'intervallo tra min e max la funzione *fuzzy* varia tra 0 e 1, con valori pari a zero in corrispondenza di min e max, e pari a 1 in corrispondenza di $(\text{min}+\text{max})/2$. La funzione è crescente tra min e $(\text{min}+\text{max})/2$, e decrescente tra $(\text{min}+\text{max})/2$ e max. In questo modo, la massima suscettività a interventi di rinaturalizzazione è stata assegnata ai poligoni CLC_IV con *IEF* prossimo ai valori medi per la Toscana.

2.2.3 Indice di interposizione e giustapposizione delle tessere forestali

L'indice di interposizione e giustapposizione (di seguito: *IIG*) quantifica il grado di contaminazione, in senso geometrico, delle diverse classi di tessere all'interno dei mosaici paesaggistici forestali della Toscana.

In sostanza, esso aumenta se le tessere considerate tendono ad essere adiacenti a tessere appartenenti a più classi diverse. L'indice è stato calcolato secondo la formula proposta da MCGARIGAL e MARKS (1995), applicata

alla mappa delle aree boscate tratta dalla copertura del suolo CLC_IV, attraverso un'analisi a finestra mobile circolare con raggio di 1500 m:

$$IIG = \frac{- \sum_{k=1}^m \left[\left(\frac{e_{ik}}{\sum_{k=1}^m e_{ik}} \right) \ln \left(\frac{e_{ik}}{\sum_{k=1}^m e_{ik}} \right) \right]}{\ln(m-1)} \cdot 100$$

dove

e_{ik} = lunghezza totale (m) del bordo tra la tessera afferente alla classe i -esima e quella afferente alla classe k -esima, all'interno del paesaggio; m = numero delle classi di tessere nel paesaggio analizzato.

L'ampiezza della finestra mobile è stata calibrata in modo da contenere un intorno sufficientemente ampio dei soprassuoli oggetto di valutazione: essa delimita una superficie pari a circa sei volte la dimensione media dei soprassuoli di cerro e dei rimboschimenti di pino nero in Toscana.

Si assume che la suscettività a interventi di rinaturalizzazione cresca quanto più le tessere boscate confinano con altre tessere forestali e quanto più queste appartengono a classi differenti; in tal caso, la suscettività è da intendersi come una condizione di contesto che può facilitare fenomeni di ricolonizzazione spontanea dei rimboschimenti da parte di latifoglie autotone presenti nelle tessere forestali contigue, diffusione di rinnovazione naturale con composizione specifica diversificata, rinaturalizzazione dei cedui che hanno superato il turno consuetudinario con ingresso di rinnovazione naturale di specie diverse da quella dominante. Viceversa, tale probabilità si annulla nel caso in cui le tessere forestali siano completamente circondate da classi non forestali (es. pascoli, arbusteti, superfici agricole).

La suscettività a interventi di rinaturalizzazione in funzione dell' IIG è stata valutata utilizzando una funzione di appartenenza *fuzzy* lineare crescente, applicata alla mappa dell' IIG in modo da assegnare suscettività nulla ai soprassuoli situati nei poligoni CLC_IV con minore IIG e pari a 1 nei poligoni con IIG massimo.

2.2.4 Diversità fisionomica tra tessere del paesaggio forestale

Questo fattore indica la diversità compositiva del paesaggio (α -diversità). Anche in questo caso, la diversità tra tessere è stata quantificata attraverso un'analisi a finestra mobile circolare con raggio di 1500 m, applicando l'indice di diversità di Shannon (MCGARIGAL e MARKS, 1995):

$$H = - \sum_{i=1}^m (P_i \ln P_i)$$

dove

P_i = proporzione di ciascuna classe di copertura forestale all'interno della finestra mobile di analisi.

La suscettività a interventi di rinaturalizzazione in funzione della diversità fisionomica tra tessere forestali è stata valutata utilizzando una funzione di appartenenza *fuzzy* lineare decrescente, applicata alla mappa di H , in modo da assegnare suscettività alla rinaturalizzazione massima laddove la tessera di rimboschimento o bosco ceduo sia la fisionomia forestale con maggiore copertura relativa nel mosaico paesistico delimitato dalla finestra mobile e suscettività via decrescente in presenza di altre fisionomie forestali all'interno della finestra mobile con coperture relative simili.

A seconda della struttura del contesto paesistico in cui sono inserite le tessere di rimboschimento o bosco ceduo, le componenti IIG e H possono combinarsi in modo differente. A parità di altri fattori, in presenza di una matrice paesistica non forestale ($IIG=0$), è accordata un priorità più alta per interventi di rinaturalizzazione ai soprassuoli di rimboschimento/ceduo copertura forestale prevalente del mosaico paesistico ($H \Rightarrow 1$), piuttosto che a tessere inserite in mosaici paesistici con presenza ben equilibrata di più tipologie fisionomiche. Al contrario nel caso di valori bassi di H , la priorità d'intervento tende a aumentare in presenza di elevata contaminazione della tessera ($IIG \Rightarrow 1$).

2.2.5 Dimensione

La funzionalità ecologica delle superfici forestali dipende dalla dimensione delle stesse: si considera che per tessere con dimensioni maggiori, a scala di paesaggio, corrisponde un maggior potenziale evolutivo e funzionale. In questo caso è stata valutata la dimensione dei poligoni definiti come bosco secondo la classificazione adottata nella copertura del suolo CLC_IV. La funzione di classificazione *fuzzy* utilizzata è lineare crescente, con valori compresi tra 0 e 1 rispettivamente per i poligoni CLC_IV di dimensione minima e massima.

2.3 Combinazione dei fattori

I fattori sono stati combinati secondo la formula:

$$SUSCETTIVITÀ = IEF_fuzzy * ((Accessibilità_fuzzy + Iig_fuzzy + H_fuzzy + Dimensione_fuzzy) / 4)$$

La scelta di una funzione moltiplicativa in luogo di una additiva deriva dal differente contributo dei fattori considerati alla suscettività di una

determinata tessera forestale a interventi di rinaturalizzazione. Il valore *fuzzy* dell'*IEF* esprime il grado di opportunità colturale dell'intervento, stabilito a partire da una conoscenza complessiva dello stato di efficienza ecobiologica delle tipologie colturali indagate. Le condizioni di contesto (*IG fuzzy* e *H fuzzy*) rafforzano (o depotenziano) tale opportunità, per le ragioni prima indicate. L'accessibilità e la dimensione delle tessere forestali ne condizionano la fattibilità operativa. I fattori non possono dunque essere posti sullo stesso piano né compensarsi a vicenda; di qui, l'esclusione di una funzione additiva.

La funzione moltiplicativa consente di calibrare la suscettività agli interventi di rinaturalizzazione in base alle condizioni di opportunità colturale; la suscettività così quantificata viene quindi diminuita in misura proporzionale della distanza degli altri fattori da condizioni ritenute ottimali per la realizzazione degli interventi. Si tratta evidentemente di un approccio cautelativo, che produce valori elevati di suscettività soltanto in presenza di una combinazione di fattori colturali e stazionali particolarmente favorevoli agli interventi di rinaturalizzazione.

3. RISULTATI

Nelle Figure 1 e 2 sono visibili le mappe della suscettività a interventi di rinaturalizzazione delle fustaie di pino nero e dei cedui invecchiati e fustaie di cerro in Toscana. Si può ritenere che i poligoni con valori maggiori della mediana (Tabella 1) abbiano buona suscettività e sono quindi da preferire in una scala di priorità di intervento. In particolare, per i rimboschimenti di pino nero le superfici con maggior suscettività a interventi di rinaturalizzazione sono ubicate in corrispondenza dei rilievi dell'Appennino Tosco-Emiliano e nei rilievi della Toscana meridionale (M. Amiata); per i soprassuoli di cerro, i soprassuoli con la maggiore suscettività sono localizzati nelle Colline Metallifere e, in minor misura, nell'Appennino Tosco-Emiliano.

4. CONCLUSIONI

Nel complesso il modello di valutazione elaborato costituisce un contributo informativo e orientativo a disposizione e supporto dei responsabili della programmazione forestale e della pianificazione ambientale: attraverso la procedura elaborata è possibile individuare le aree (vaste) dove dare priorità agli interventi di rinaturalizzazione.

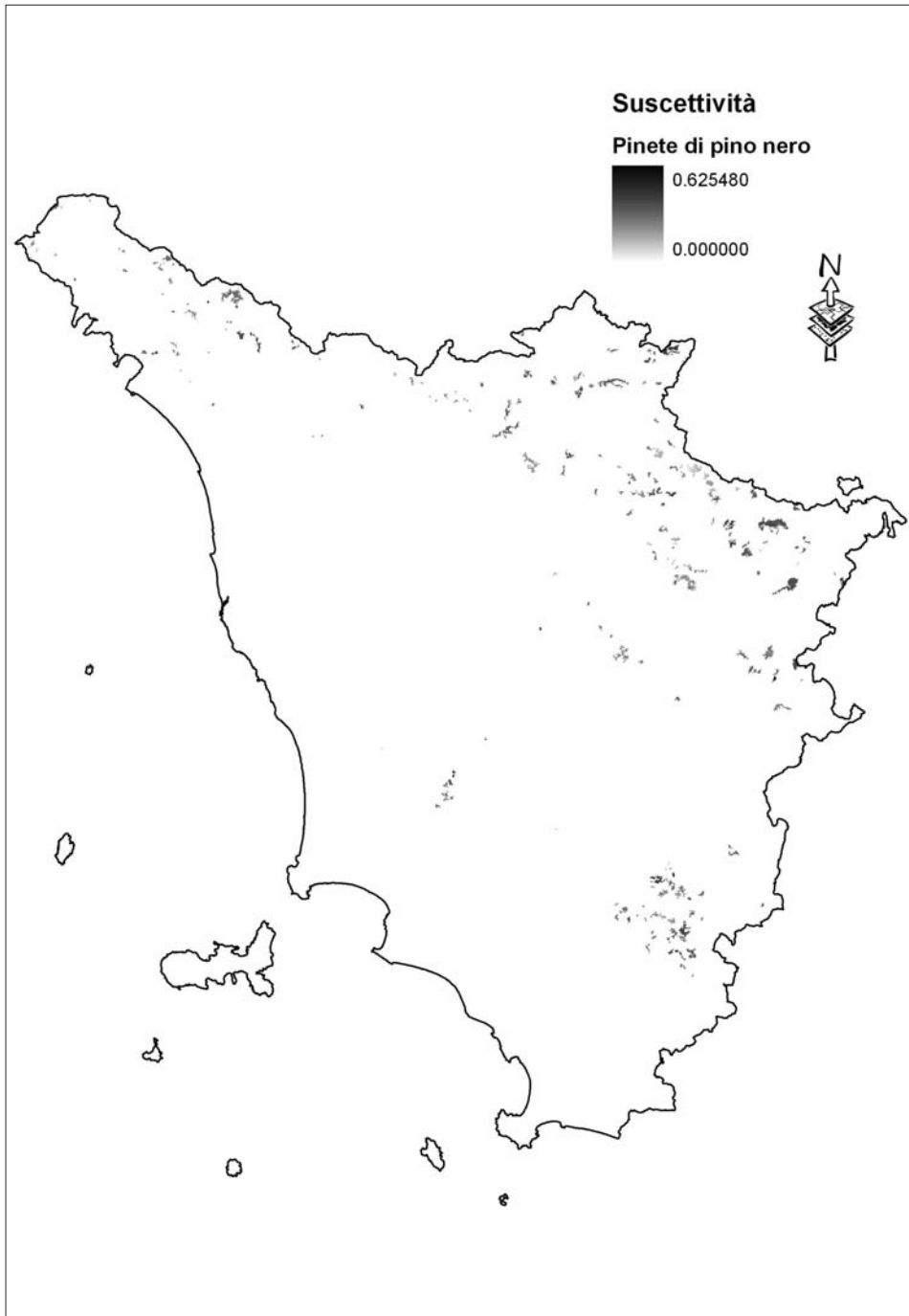


Figura 1 – Mappa della suscettività a interventi di rinaturalizzazione delle pinete di pino nero in Toscana.

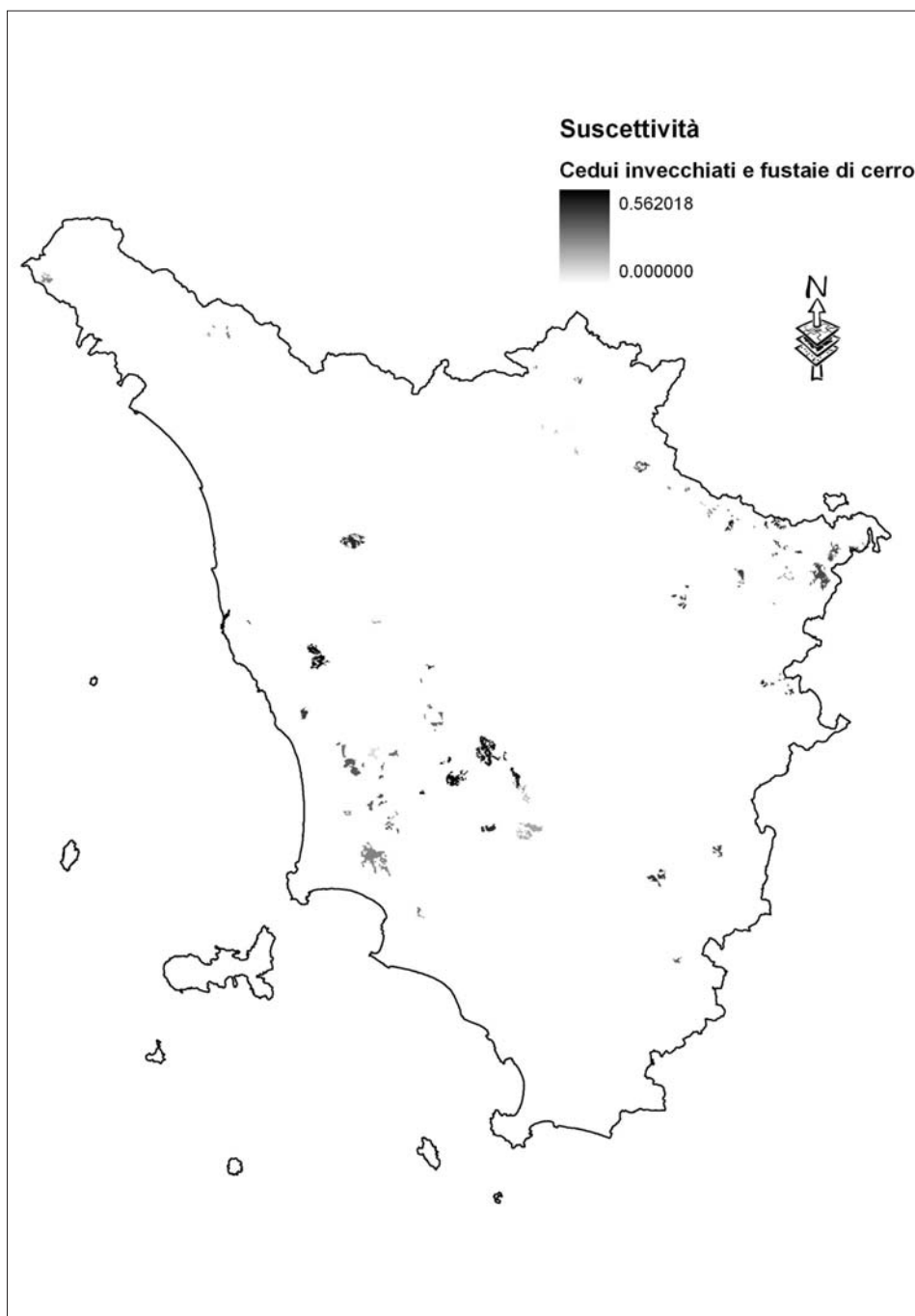


Figura 2 – Mappa della suscettività a interventi di rinaturalizzazione dei cedui invecchiati e fustaie di cerro in Toscana.

Tabella 1 – Media e mediana dei valori *fuzzy* di suscettività a interventi di rinaturalizzazione per i poligoni CLC_IV afferenti, rispettivamente, a fustaie di pino nero e cedui invecchiati e fustaie di cerro.

<i>Specie</i>	<i>media</i>	<i>mediana</i>
Pino nero	0,314	0,318
Cerro	0,391	0,394

La metodologia proposta è oggettivamente ripercorribile: a partire dagli stessi dati, il risultato è univoco. In realtà, pur dichiarate, alcune delle semplificazioni operate rispetto alla variabilità interpretativa dei fenomeni esaminati possono rendere localmente aleatori i risultati dell'applicazione multicriteriale, anche alla scala considerata. Va peraltro ribadito che il modello proposto non è rivolto alla valutazione della potenzialità dei popolamenti forestali considerati rispetto ai processi di rinaturalizzazione in sé, quanto piuttosto alla loro suscettività a interventi di rinaturalizzazione, nel senso che tale suscettività è stata considerata minima sia per i popolamenti più degradati, dove occorre almeno temporaneamente consentire il reinnesco autonomo dei processi funzionali attraverso il naturale accumulo di una quantità minimale di biomassa, sia per i popolamenti con organizzazione e struttura a elevato grado di efficienza ecobiologica, dove i processi di autororganizzazione che si instaurano naturalmente tendono in genere autonomamente alla naturalizzazione (in assenza di disturbi significativi).

Affinché le indicazioni del modello possano tradursi operativamente in pratica può essere utile un successivo collegamento dalla scala regionale alla scala di comprensorio e di foresta. Attraverso un processo di *downscaling*, gli indicatori di area vasta andranno verificati alla scala degli strumenti di pianificazione e gestione locale (piani di gestione e piani di assestamento) e integrati con altri indicatori più sensibili a scala di particella e di popolamento. In tal senso, il modello proposto, derivando dalla combinazione di più criteri di valutazione, è flessibile e si presta a essere integrato con altri fattori utili a discriminare condizioni stazionali o dello stato dei soprassuoli favorevoli per interventi di rinaturalizzazione: a esempio, l'accessibilità può essere meglio valutata in funzione della distanza dalla viabilità; l'età dei soprassuoli (stimata attraverso dati inventariali) può essere utilizzata per accordare priorità maggiore, a parità di altri fattori, a rimboschimenti adulti o a boschi cedui molto «invecchiati».

RICONOSCIMENTI

Lavoro svolto nell'ambito del progetto MOGFUS - *Nuove metodologie operative per la gestione sostenibile delle fustaie a prevalenza di pino nero e*

delle fustaie e dei cedui «invecchiati» di cerro della Toscana (coordinatore: O. Ciancio) finanziato da ARSIA Toscana. Si ringrazia DREAM srl, in particolare nella persona del dr. Miozzo, per la collaborazione nella redazione degli elaborati cartografici.

SUMMARY

Multicriteria evaluation of sensitivity to renaturalisation of black pine reforestations and Turkey oak stands in Tuscany

Renaturalisation is a reference approach for the sustainable management of forest ecosystems with simplified structure and composition. Georeferenced information on forest stand sensitivity to renaturalisation is critical to support forest planning in prioritizing this kind of silvicultural interventions on a large scale. In this paper we apply multicriteria evaluation to assess sensitivity to renaturalisation of black pine reforestations (*Pinus nigra* Arn.) and Turkey oak (*Quercus cerris* L.) stands in Tuscany. We use fuzzy membership functions to model sensitivity to renaturalisation with regard to the following factors, mapped by raster GIS layers: i) eco-biological efficiency of forest stands, assessed through an index based on remote sensing data, used to define the degree of silvicultural opportunity of renaturalisation interventions; ii) context factors (adjacency to other forest types and diversity of forest types in the neighborhoods of the examined forest stand), intended as constraints affecting (positively or negatively) silvicultural opportunity; iii) accessibility and size of the examined forest stand, affecting the feasibility of intervention. Single factor fuzzy values are combined by means of a multiplicative function in a synthetic index of sensitivity to localize, on a large scale, priority areas for renaturalisation interventions. Site specific indicators of sensitivity to renaturalisation may help in linking large scale delineation of sensitive areas to the operational planning of silvicultural interventions.

BIBLIOGRAFIA

- ACCADEMIA ITALIANA DI SCIENZE FORESTALI, 2005 – *Foreste, biodiversità e cambiamenti climatici*. Rapporto finale, Firenze.
- BERNETTI I., FAGARAZZI C., 2002 – *L'impiego dei modelli multicriteriali geografici nella pianificazione territoriale*. *Aestimium*, 41: 1-26.
- BOLOGNA S., CHIRICI G., CORONA P., MARCHETTI M., PUGLIESE A., MUNAFÒ M., 2004 – *Sviluppo e implementazione del IV livello Corine Land Cover 2000 per i territori boscati e ambienti semi-naturali in Italia*. Atti della 8^a Conferenza Nazionale ASITA. Roma, 14-17 dicembre 2004, p. 467-472.
- BOSCALERI F., CORONA P., MATZKE F., 2004 – *Valutazione dell'attitudine alla rinaturalizzazione dei rimboschimenti*. EM-Linea Ecologica, 1: 13-18.
- CORONA P., SALVATI R., BARBATI A., CHIRICI G., 2008 – *Land suitability for short rotation coppice plantations assessed through fuzzy membership functions*. CAB International, Wallingford (in stampa).
- FAO, 1976 – *A framework for land evaluation*. Fao Soils Bulletin 32, Roma.

- NOCENTINI S., 1995 – *La rinaturalizzazione dei rimboschimenti. Una prova sperimentale su pino nero e laricio nel comprensorio di Monte Morello (Firenze)*. L'Italia Forestale e Montana, 50 (4): 425-435.
- NOCENTINI S., 2000 – *La rinaturalizzazione dei sistemi forestali: aspetti concettuali*. L'Italia Forestale e Montana, 55 (4): 211-218.
- NOCENTINI S., 2001 – *La rinaturalizzazione come strumento di recupero dei sistemi forestali semplificati nell'Italia Meridionale*. L'Italia Forestale e Montana, 56 (5): 344-351.
- NOCENTINI S., 2006 – *La rinaturalizzazione dei sistemi forestali: è necessario un modello di riferimento?* In: «Atti 5° Congresso SISEF: Foreste e Società - Cambiamenti, Conflitti, Sinergie» (a cura di: E. Lingua, R. Marzano, G. Minotta, R. Motta, A. Nosenzo, G. Bovio). Forest@, 3 (3): 376-379.
- MARICCHIOLO C., SAMBUCINI V., PUGLIESE A., BLASI C., MARCHETTI M., CHIRICI G., CORONA P., 2004 – *La realizzazione in Italia del progetto europeo I&CLC2000: metodologie operative e risultati*. Atti della 8ª Conferenza Nazionale ASITA, Roma, 14-17 dicembre 2004, p. CXIII-CXXVIII.
- MASELLI F., BARBATI A., CHIESI M., CHIRICI G., CORONA P., 2006 – *Use of remotely sensed and ancillary data for estimating forest gross primary productivity in Italy*. Remote Sensing of Environment, 100: 563-575.
- MCGARIGAL K., MARKS B., 1995 – *FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure*. General Technical Report PNW-GTR-351. Portland, OR: US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Station.
- NUNES DE LIMA M.V., 2005 – *IMAGE 2000 and CLC2000. Products and Methods*. JRC-IES, European Communities, Italy.
- REGIONE TOSCANA - GIUNTA REGIONALE, 1993 – *Boschi e macchie di Toscana. L'inventario forestale*. Regione Toscana, Dipartimento dello Sviluppo Economico, Firenze.
- REGIONE TOSCANA - GIUNTA REGIONALE, 1998 – *Boschi e macchie di Toscana. La vegetazione forestale*. Regione Toscana, Dipartimento dello Sviluppo Economico, Firenze.
- ZANOLI R., GAMBELLI D., 1998 – *L'uso della fuzzy pattern recognition nell'analisi territoriale*. Genio Rurale, 2: 21-29.
- ZADEH L.A., 1965. *Fuzzy sets*. Information and Control, 8: 338-353.