



AgEcon SEARCH
RESEARCH IN AGRICULTURAL & APPLIED ECONOMICS

The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library

This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.

Help ensure our sustainability.

Give to AgEcon Search

AgEcon Search
<http://ageconsearch.umn.edu>
aesearch@umn.edu

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*



Politiche agricole europee post 2013: modelli predittivi dei cambiamenti di uso del suolo

Romano S.¹, Cozzi M.¹, Giglio P.¹ and Catullo G.¹

¹ Dipartimento Tecnico Economico per la gestione del Territorio Agricolo-forestale, Università degli Studi della Basilicata

mario.cozzi@unibas.it

Paper prepared for presentation at the 1st AIEAA Conference
'Towards a Sustainable Bio-economy: Economic Issues and Policy Challenges'

4-5 June, 2012
Trento, Italy

Summary

Il settore primario svolge un ruolo fondamentale per il mantenimento dell'equilibrio climatico ambientale e la sua funzione di produzione di beni di pubblica utilità trova oggi notevole riconoscimento all'interno dei programmi di politica agricola comunitaria. Programmi che, a seguito dei cambiamenti climatici e del mutamento delle condizioni del mercato, sono sensibilmente mutati. Ciò ha avuto delle notevoli influenze sul settore agricolo, ed in particolare ha condizionato le scelte colturali degli agricoltori e, di conseguenza, la destinazione d'uso dei suoli agricoli.

Le variabili coinvolte in questo processo sono molteplici: morfologiche, climatiche, economiche e sociali, ecc.; da ciò comprendere le dinamiche che guidano il cambiamento e prevedere la sua direzione comporta di certo un valore aggiunto per i decisori.

Nel caso in esame è stato utilizzato un particolare modello di ANN basato sull'utilizzo del *Multi-Layer Perceptron* (MLP). Questo modello, a partire dalle transizioni già avvenute in passato, consente di realizzare delle mappe di idoneità al cambiamento futuro.

Partendo dalle mappe di idoneità al cambiamento, secondo il principio delle catene di Markov, sono stati realizzati due scenari di possibile cambiamento di destinazione d'uso dei suoli, proiettati nel 2050, al fine di amplificare gli effetti delle *driving forces* agenti sul territorio.

Il primo, lo scenario "A", è stato realizzato seguendo gli attuali indirizzi politico-economici, senza l'ipotesi di interventi comunitari differenti da quelli attualmente in vigore. Il secondo, lo scenario "B", è stato realizzato partendo dall'ipotesi di intervento di alcune significative misure comunitarie post 2013, relative sia al nuovo sistema di pagamenti diretti sia alle nuove priorità di sviluppo rurale.

Il confronto tra i due scenari ha messo in luce come politiche di settore mirate ed incisive, possano concretamente influenzare il mosaico territoriale, quindi il paesaggio e di conseguenza le condizioni climatico-ambientali.

Keywords: reti neurali, multi-layer perceptron (MLP), politica agricola comunitaria, sviluppo rurale.

JEL Classification codes: (C45)

Politiche agricole europee post 2013: modelli predittivi dei cambiamenti di uso del suolo

Romano S.¹, Cozzi M.¹, Giglio P.¹ and Catullo G.¹

¹ Dipartimento Tecnico Economico per la gestione del Territorio Agricolo-forestale, Università degli Studi della Basilicata

1 INTRODUZIONE

L'agricoltura e la silvicoltura svolgono un ruolo cruciale nella produzione di beni di pubblica utilità, segnatamente a valenza ambientale, come i paesaggi, la biodiversità dei terreni agricoli, la stabilità del clima e una maggiore resilienza a disastri naturali quali inondazioni, siccità e incendi. Nel contempo, molte pratiche agricole possono esercitare una pressione sull'ambiente e provocare degrado dei terreni, inquinamento delle acque e perdita di habitat naturali e di biodiversità. Questo è quanto viene riportato nel 2010 dalla comunicazione della Commissione Europea: La PAC verso il 2020. Dalle dichiarazioni della Commissione Europea si evince che il ruolo del settore agricolo-forestale è fondamentale per il mantenimento dell'equilibrio climatico ambientale sia a scala locale che globale.

Sempre all'interno della stessa comunicazione si pone in evidenza come l'agricoltura possa svolgere un ruolo fondamentale in termini di mitigazione e adattamento climatico, attraverso le riduzioni di emissione gas serra ed il sequestro di carbonio nel suolo e nella vegetazione. Dalla comunicazione traspare inoltre l'intenzione della commissione di intensificare gli sforzi legislativi affinché il ruolo positivo del settore primario, in termini di mitigazione climatica e tutela delle risorse naturali, possa accrescersi nel tempo.

I cambiamenti climatici registrati nell'ultimo secolo hanno quindi fatto maturare nei decisori politici una maggiore consapevolezza del problema e da qui la ricerca di possibili forme di mitigazione, tra le quali il settore agricolo sembra rivestire un ruolo fondamentale.

L'IPCC attribuisce le dinamiche del clima osservate negli ultimi decenni prevalentemente agli effetti delle attività umane. L'incremento della concentrazione dei gas serra, infatti, è il risultato dello sbilanciamento complessivo tra le emissioni globali e gli assorbimenti naturali da parte del suolo, degli oceani e degli ecosistemi terrestri e marini in generale. Nell'ultimo secolo l'uso di combustibili fossili (Marland et al., 2006, Prentice et al., 2001, Keeling et al., 1995), la deforestazione ed il ritmo di trasformazione della superficie terrestre (Brovking et al., 2004, Matthew et al., 2004) sono stati tali da modificare sia la capacità di assorbimento e riflessione della radiazione, sia la capacità di emissione termica del suolo e di irraggiamento terrestre verso lo spazio (Forster et al., 2007, Denman et al., 2007).

La consapevolezza del riscaldamento globale ha indotto sempre di più gli scienziati a studiare il modo in cui i diversi sistemi naturali e antropici possono reagire al cambiamento del clima. Numerosi sono gli studi che hanno adottato modelli per valutare l'effetto dei cambiamenti climatici su diversi settori quali l'agricoltura (Downing et al., 2000), le risorse idriche (Arnell, 2003; Graham et al., 2007), le foreste (Kellomaki e Leinonen, 2005) o gli ecosistemi (Olesen et al., 2007; Schroter et al., 2005). Ulteriori esempi sono riportati nei rapporti di valutazione dell'Unione Europea (EEA, 2008) o dell'IPCC (Alcamo et al., 2007; Kundzewicz et al., 2001).

Il settore primario gioca un ruolo importante nelle sfide poste dal cambiamento climatico. Esso è al tempo stesso parte del problema e parte della soluzione. Il settore agricolo e l'attività di deforestazione sono

tra le principali fonti di emissioni di gas serra e primi nei paesi in via di sviluppo (Smith et al., 2008). Al tempo stesso, il settore primario dispone di un alto potenziale tecnico nel ridurre tali emissioni e nel sequestro del carbonio (FAO, 2009).

In Italia le emissioni totali annue di gas serra, espresse in Gg (Gigagrammi) di CO₂ equivalente, si sono ridotte da 519.157 del 1990 a 491.120 del 2009 (ISPRA, 2011). Le emissioni in agricoltura sono passate, nello stesso arco temporale, da 40.623 a 34.481 (ISPRA, 2011). Dai dati riportati dall'ISPRA è possibile osservare come nel periodo di riferimento le emissioni totali si siano ridotte del 5,4%, e quelle in agricoltura del 14,23%; ma osservando i dati relativi alle emissioni di gas serra derivanti da LULUCF (Land Use, Land-Use Change and Forestry), si nota un incremento del 53,2% (da 61.795 Gg a 94.671 Gg).

Le ragioni della contrazione delle emissioni di gas serra sono da individuarsi nella sfavorevole congiuntura economica recessiva degli ultimi anni, ma anche nelle sempre più concrete politiche ambientali globali e, a livello europeo, negli indirizzi della Politica Agricola Comunitaria (PAC). In particolare gli interventi di politica agricola hanno indotto cambiamenti nel settore agricolo e in particolare nell'uso del suolo e nelle strutture aziendali, migliorando l'efficienza economica e intensificazione produttiva negli ambiti maggiormente idonei, determinando al contempo un conseguente abbandono delle aree meno produttive e meno competitive (Bernetti et al., 2010). I cambiamenti nell'uso del suolo sono il risultato di complesse interazioni tra diversi fattori, non solo di tipo fisico, ma anche socioeconomico ed ambientale (Versterby and Heimlich, 10091; Dale et al., 1993; Houghton, 1994; Pijanowski et al., 2002; Erfu D., 2005)

La possibilità di poter disporre di elementi di comprensione in merito alle dinamiche territoriali aiuta a prevedere le future direttrici del cambiamento e per fare ciò risulta necessario avvalersi di un metodo d'indagine capace di considerare numerose variabili e di calibrarle nel tempo al fine di delineare degli scenari di cambiamento attendibili (Chen et al., 2010). Un approccio tipico per la modellizzazione dei cambiamenti di uso del suolo si basa sulla comprensione di come alcune variabili sono relazionate ai cambiamenti già avvenuti, al fine di costruire delle relazioni funzionali alla costruzione di un modello analitico capace di effettuare delle proiezioni future di transizione/cambiamento dell'uso del suolo.

A tale fine può risultare di grande utilità l'impiego delle reti neurali (ANN, *Artificial Neural Network*) e di analisi multivariate per la valutazione delle probabili transizioni future di uso del suolo. Esse, attraverso la simulazione di un percorso logico deduttivo, rappresentano degli eccellenti modelli di simulazione spazio temporale. Una delle classi più importanti di ANN unidirezionali feedforward con allenamento supervisionato è il perceptrone multi-strato (MLP *Multi-layer Perceptron*, Werbos, 1974), in quanto capace di determinare quale variabile è ritenuta importante dalla rete e quale invece può essere ritenuta ininfluenza. I risultati ottenuti sono un sicuro supporto conoscitivo e risultano di grande aiuto ai fini decisionali, per rispondere con azioni mirate alle nuove sfide economiche del futuro ed alle nuove esigenze ambientali.

2 MATERIALI E METODI

Una rete neurale artificiale (ANN, *Artificial Neural Network*) può essere definita come un modello matematico/informatico di calcolo che trova fondamento sulle reti neurali biologiche. Sono presenti nel modello numerose interconnessioni di informazioni, costituite dai neuroni artificiali opportunamente collegati da connessioni¹. I neuroni ricevono in ingresso degli stimoli, che in forma matematica sono rappresentati da pesi, e li elaborano. Il risultato di tali elaborazioni è chiamato valore di attivazione e, se il risultato raggiunge una certa soglia, il neurone si attiva. I neuroni del primo stadio vengono collegati ai neuroni dello stadio successivo, in modo da formare una rete di neuroni. Normalmente una rete è formata da

¹ Le connessioni determinano il flusso di informazioni tra i nodi. Esse possono essere unidirezionali, quando l'informazione è trasmessa in un solo senso, bidirezionali, quando l'informazione è trasmessa in entrambe i sensi.

tre strati. Nel primo abbiamo gli ingressi (I), questo strato ha la funzione di trattare gli ingressi in modo da adeguarli alle richieste dei neuroni. Il secondo strato è quello nascosto (H, *hidden*), si preoccupa dell'elaborazione vera e propria e può essere composto anche da più livelli di neuroni. Il terzo strato è quello di uscita (O) e si preoccupa di raccogliere i risultati ed adattarli alle richieste del blocco successivo della rete neurale. Rispetto ad altre tecniche predittive, le ANNs hanno il vantaggio di descrivere le relazioni intercorrenti tra le variabili in ingresso e in uscita, senza una conoscenza a priori dei legami tra le variabili stesse. Sono inoltre capaci di individuare le interazioni e le risposte non lineari esistenti tra le variabili considerate (Batchelor et al., 1997).

L'impiego delle ANNs si estende a numerose discipline, tra cui i fenomeni fisici, l'informatica, la biochimica, la matematica, la sociologia, l'economia e la pianificazione, ecc. Esempi applicativi sono stati condotti per quantificare cambi di uso del suolo (Nemmour et al., 2006), per l'analisi del rischio (Kanungo et al., 2006), per la previsione delle dinamiche ambientali (Villa et al., 2007; Follador, 2008).

Le tipologie di ANNs sono numerose. Le principali differenze tra le diverse tipologie risiedono nella funzione impiegata, nei valori accettati e nell'algoritmo di apprendimento. Il modello prescelto di ANN sarà con apprendimento basato su un algoritmo di backpropagation (Rumelhart and McClelland, 1986)

Nel caso in esame è stato utilizzato un particolare modello di ANN basato sull'utilizzo del *Multi-Layer Perceptron* (MLP). La MLP (cfr. figura 2) è una rete neurale multilivello ricorrente con configurazione *feedback*. Questa struttura neurale consiste di tre strati (*layer*): uno di input (strato di entrata e che nel nostro caso è rappresentato dalle variabili implicate nei cambiamenti d'uso del suolo), uno o più strati nascosti (*hidden/s*) e uno di output (strato d'uscita e rappresentato dai cambiamenti d'uso del suolo).

Il primo strato, ovvero quello di input è rappresentato da neuroni *i*-esimi dove, a ciascuno di essi, è associata una variabile *x* implicata nei cambiamenti d'uso del suolo. A sua volta, a ciascuna variabile viene associato un peso *w*, generando il segnale che verrà inviato al neurone dello strato successivo:

$$net_j = \sum_i x_i \cdot w_{i,j} \quad (1)$$

dove

net_j è il segnale inviato dal *i*-esimo neurone dello strato di input al *j*-esimo neurone dello strato nascosto;

x_i è la variabile implicata nel cambiamento d'uso del suolo del *i*-esimo neurone dello strato di input;

$w_{i,j}$ è il peso relativo allo strato di input ed allo strato nascosto.

Successivamente, il segnale net_j viene inviato al *j*-esimo neurone appartenente allo strato nascosto. Tale strato viene attivato solamente se si raggiunge un determinato valore soglia predeterminato (*j*). La funzione di attivazione usata è di tipo sigmoideale:

$$\varphi_j = \frac{1}{1+e^{-net_j}} \quad (2)$$

Dallo strato nascosto, se attivato, il segnale verrà trasferito allo strato successivo rappresentato dall'output formato da *l*-esimo neurone i cui valori rappresentano la probabilità di conversione da un dato uso del suolo in un altro:

$$p_l = \sum_j w_{j,l} \varphi_j \quad (3)$$

dove

p_l è la probabilità di conversione del *l*-esimo neurone dello strato di output;

$w_{j,l}$ è il peso relativo allo strato nascosto ed allo strato di output;

φ_j è la funzione di attivazione del *j*-esimo neurone dello strato nascosto.

L'algoritmo usato per la generazione degli output è il back-propagation, ovvero un apprendimento supervisionato attraverso il quale l'output stimato dalla rete viene confrontato con un output desiderato o conosciuto (ovvero gli effettivi cambiamenti di uso del suolo avvenuti nel periodo esaminato). Lo scopo di tale confronto è ottenere un output stimato il più possibile simile all'output desiderato. La differenza fra i due output produce un errore utilizzato per correggere i pesi. Nel caso in esame, l'errore è quantificato attraverso lo scarto quadratico medio; questa fase di addestramento (*training set*) viene ripetuta finché l'errore risulta inferiore ad una soglia prestabilita:

$$e_l = \sqrt{\sum_1 (out_l - p_l)^2} \quad (4)$$

dove

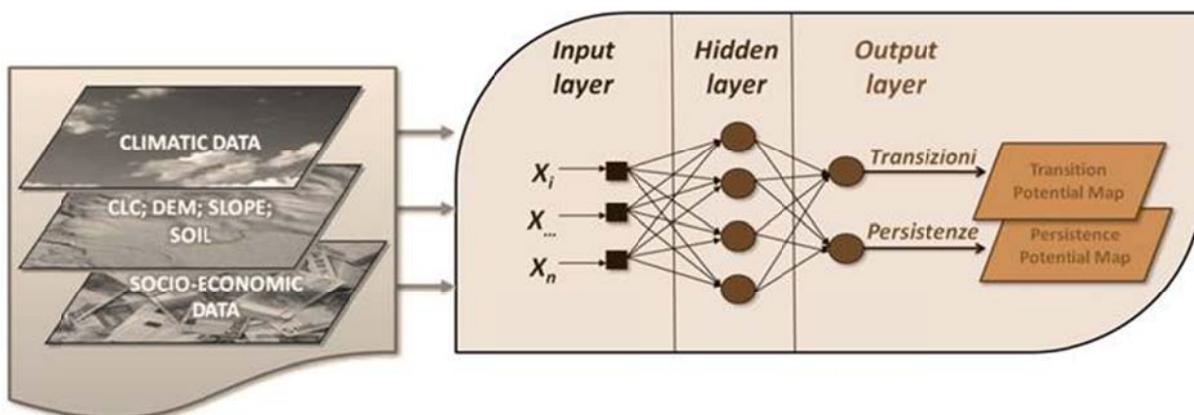
e_l rappresenta l'errore relativo al l -esimo neurone dello strato di output;

out_l rappresenta l'output conosciuto del l -esimo neurone dello strato di output;

p_l è l'output stimato del l -esimo neurone dello strato di output.

Il layer di output presenta due possibili stadi: 1 = transizione; 2=permanenza.

Figura 1. Schema del modello Multi Layer Perceptron utilizzato.



Il risultato della transizione è rappresentato da una mappa caratterizzata da una serie di valori che vanno da 0 a 1 in cui 0 indica rischio nullo di cambiamento ed 1 indica il massimo rischio di cambiamento.

Ottenute le mappe di rischio, sono stati costruiti alcuni possibili scenari futuri di cambiamento di uso del suolo utilizzando il metodo delle catene di Markov. Una catena di Markov è un processo dinamico che consiste di un numero finito di stadi e di alcune probabilità note (Logofet and Lesnaya, 2000). Gli stati finiti vengono misurati in intervalli discreti e gli stati discreti massimi non cambiano nel tempo (Yemshanov and Perera, 2002). Un esistente stato discreto u_t può essere utilizzato per prevedere un esistente stato discreto u_{t+1} moltiplicando per una matrice di probabilità di transizione (P_t) corrispondente all'intervallo di tempo corrente t :

$$u_{t+1} = u_t * P_t \quad (5)$$

Quindi la probabilità di transizione P_{ij} (ovvero dallo stato i allo stato j) deriva in genere da un campione di transizione che si verifica in un intervallo di tempo. La stima di massima verosimiglianza della probabilità di transizione (Anderson and Goodman, 1957) è data:

$$P_{i,j,t} = n_{ij} / \sum_{j=1}^n n_{ij} \quad (6)$$

Dove n_{ij} è il numero di transizioni dallo stato i allo stato j .

Ottenute le transizioni potenziali ad un dato istante temporale, è necessario localizzarle nello spazio. Uno dei metodi più utilizzati e più collaudati è l'analisi multiobiettivo, che ha come funzione principale la determinazione dell'insieme di soluzioni efficienti consentendo di allocare la risorsa suolo tra le diverse classi di uso.

Osservando il pixel i -esimo che transita dall'uso del suolo u' a u ($x_{iu} \rightarrow u'$), ed il potenziale di transizione del pixel i -esimo $p_i^{u \rightarrow u'}$ e considerando la domanda di superficie per l'uso del suolo u (S_u), l'allocatione dei cambiamenti viene calcolata secondo il principio della massimizzazione della funzione, utilizzando numeri interi, secondo la seguente equazione:

$$\text{MAX} \sum_{K,U} x^{U' \rightarrow U} \cdot P_i^{U' \rightarrow U} \quad (7)$$

Si utilizza il principio della massimizzazione della funzione in quanto in questa fase conclusiva dell'analisi è necessario collocare il pixel i -esimo che transita dall'uso u' a u , lì dove si ha la massima probabilità che ciò avvenga. Non applicando tale principio le transizioni potenziali fino ad ora calcolate, non troverebbero la giusta collocazione spaziale, ma risulterebbero distribuite in maniera casuale sul territorio oggetto di studio.

Le variabili considerate possono essere espresse in termini di presenza/assenza oppure attraverso un gradiente che misura la variazione lungo intervalli ben definiti, come i dati topografici, quali le pendenze e le esposizioni, e i dati climatici, quali precipitazioni e temperature.

La significatività ed il grado di correlazione delle variabili può essere valutato attraverso operazioni statistiche di regressione e/o test specifici. Tale procedimento risulta essere di grande utilità, evidenziando il grado di relazione tra la variabile-stato e le variabili-causa; esse infatti possono essere correlate in maniera crescente o decrescente. Talvolta è possibile che non vi sia una relazione lineare tra le due tipologie di variabili ma, piuttosto delle relazioni matematiche di tipo non lineare, per cui, risulta necessario operare valutazioni statistiche di regressione. Pertanto, per validare ciascuna variabile-causa è stata valutata la significatività statistica rispetto alla variabile-stato.

Nel caso di studio, condotto all'interno della regione Basilicata, è stato utilizzato un particolare simulatore, il Land Change Modeller, risultato idoneo anche dall'analisi effettuata da Bibby e Sheperd sui più importanti modelli di previsione di cambiamento di uso del suolo (Bibby and Sheperd, 2000). Questo simulatore, che opera in ambiente GIS, permette di tener conto di eventuali vincoli (presenza di aree protette, vincoli ope-legis, ecc.) ed incentivi/disincentivi (parametri ambientali, socio-economici, ecc), presenti e futuri, attraverso la realizzazione di opportune mappe, le quali concorrono fortemente nella possibilità di transizione e di cambiamento dell'uso del suolo. Le transizioni più rilevanti emergono comparando e sovrapponendo in momenti differenti del tempo due mappe d'uso del suolo riferite allo stesso territorio. Lo schema generale di una matrice di transizione è riportata da Pontius (2004) (cfr tabella 1). La matrice S_{ij} indica la porzione di suolo che ha cambiato destinazione passando quindi dalla categoria i alla categoria j ; i valori che si leggono in diagonale indicano invece le persistenze, ovvero le porzioni di suolo che non hanno cambiato la destinazione d'uso; la riga del totale S_{i+} indica la porzione totale di suolo appartenente alla categoria i all'istante t_1 , invece la colonna S_{+i} indica la porzione di suolo appartenente alla categoria i all'istante t_2 . Le perdite lorde di superficie per ogni categoria sono riportate nell'ultima colonna a destra e si ottengono come differenza tra la porzione di suolo appartenente alla categoria i all'istante t_1 ed il valore della persistenza della medesima categoria, mentre gli utili lordi di superficie per ogni categoria, si ottengono come differenza tra i valori totali all'istante t_2 ed i valori di persistenza. Nelle ultime righe sono invece riportate i cambiamenti netti e totali.

Tabella 1. Schema delle matrici di transizione.

	Time 2					Total time 1	Losses
	Land use 1	Land use 2	Land use n		
Time 1							
Land use 1	$S_{1,1}$	$S_{1,2}$			$S_{1,n}$	S_{1+}	$L_1=S_{1+}-S_{1,1}$
Land use 2	$S_{2,1}$	$S_{2,2}$			$S_{2,n}$	S_{2+}	$L_2=S_{2+}-S_{2,2}$
.....							
Land use n	$S_{n,1}$	$S_{n,2}$			$S_{n,n}$		$L_n=S_{n+}-S_{n,n}$
Total time 2	S_{+1}	S_{+2}			S_{+n}		
Gain	$G_1=S_{+1}-S_{1,1}$	$G_2=S_{+2}-S_{2,2}$	$G_3=S_{n+}-S_{n,n}$		
Net change Gain-Losses	G_1-L_1	G_2-L_2			G_3-L_3		
Total change Gain+Losses	$ G_1 + L_1 $	$ G_2 + L_2 $	$ G_3 + L_3 $		

Fonte: Pontius et al. 2004, modificato.

3 L'ANALISI CONDOTTA

Individuati i cambiamenti più significativi, si procede con l'analisi multivariata delle possibili transizioni future, prendendo in esame un set di possibili cause del cambiamento ed eseguendo su ognuna di esse il test di Cramer's V^2 ; tale metodologia rappresenta un indice simmetrico di associazione che assume valori compresi tra 0 e 1, estremi inclusi. Vale 0 se e solo se vi è indipendenza tra i caratteri, vale 1 se e solo se vi è perfetta connessione, ovvero almeno uno dei due caratteri dipende perfettamente dall'altro. Il V di Cramer fornisce informazioni non significative se riferito a caratteri continui; il suo obiettivo è quello di fornire indicazioni sul livello di associazione non strutturata tra caratteri, particolarmente qualitativi nominali.

Nel presente lavoro sono state ritenute idonee le variabili con coefficiente V compreso tra 0,1 e 0,15 ed inoltre esse sono state valutate sulla base della loro relazione con le singole transizioni. Di seguito si riportano nella tabella 2 le variabili considerate per la costruzione dei due scenari. Lo scenario "A" prevede un'evoluzione secondo le attuali tendenze socio-politiche, e lo scenario "B" che ipotizza l'intervento di nuove misure comunitarie post 2013.

Tabella 2. Variabili considerate.

TIPOLOGIA	VARIABILE
Accessibilità ai territori	<ul style="list-style-type: none"> • Distanza dalle strade; • Distanza dalle zone urbane • Distanza dalle attuali coperture dei suoli
Dati geomorfologici	<ul style="list-style-type: none"> • Digital Elevation Model * • Pendenze * • Capacità depurativa dei suoli *

² Il test serve per valutare il grado di correlazione tra le variabili considerate. V è calcolato a partire dallo scarto quadratico medio, secondo la seguente funzione:

$$V = \sqrt{\chi^2 / (n(K - 1))}$$

dove χ^2 è lo scarto quadratico medio e K è il numero più basso tra righe e colonne nella mappa raster.

Dati climatologici	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Precipitazione totale *</i> • <i>Temperatura media *</i>
Dati socio-economici	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Valore aggiunto agricolo</i> • <i>Percentuale occupati in agricoltura</i> • <i>Variazione percentuale bovini allevati</i> • <i>Variazione percentuale ovicaprini allevati</i>

* Variabile impiegata nella realizzazione delle mappe di idoneità al cambiamento dello scenario “B”

Il primo gruppo di variabili comprende informazioni relative all’accessibilità, definita come il grado di facilità nel raggiungere un determinato punto interno all’area di analisi. Inoltre tra le variabili viene considerata la distanza dalle attuali coperture dei suoli, partendo dal presupposto che le zone di confine tra due coperture differenti, possano avere maggiore probabilità di andare in contro a cambiamento a favore dell’una o dell’altra copertura.

Il secondo gruppo di variabili fa riferimento alla morfologia, dove gli strati informativi associati determinano un diverso grado di influenza nei riguardi della destinazione d’uso dei suoli.

Il terzo gruppo riporta i dati climatici riferiti al periodo oggetto di studio, mentre nel quarto gruppo sono considerate una serie di variabili socio-economiche riguardanti il settore produttivo primario.

In tabella 3 vengono quindi riportate le transizioni potenziali future, le variabili che ne hanno consentito il calcolo ed il relativo grado di accuratezza.

Tabella 3. Matrice delle transizioni potenziali future.

TRANSIZIONI	VARIABILI	Testing and training set (numero di pixel)	Accuratezza
A. Da Colture Temporanee associate a colture permanenti a Seminativi	<ol style="list-style-type: none"> 1) Dem 2) Slope 3) Temperatura media 4) Precipitazioni totali 5) Distanza dai seminativi 6) Valore aggiunto agricoltura 7) Percentuale occupati agricoltura 	169	79,84%
B. Da Colture Agrarie con spazi naturali a Seminativi	<ol style="list-style-type: none"> 1) Dem 2) Slope 3) Temperatura media 4) Precipitazioni totali 5) Distanza seminativi 6) Valore aggiunto agricoltura 7) Variazione percentuale bovini allevati 8) Variazione percentuale ovicaprini allevati 	354	79,55%
C. Da Colture Temporanee associate a colture permanenti a Frutteti	<ol style="list-style-type: none"> 1) Dem 2) Slope 3) Temperatura media 4) Precipitazioni totali 5) Distanza dai frutteti 6) Valore aggiunto agricoltura 7) Percentuale occupati agricoltura 	287	95,47%
D. Da Colture Agrarie con spazi naturali a Colture Temporanee associate a Colture Permanenti	<ol style="list-style-type: none"> 1) Dem 2) Slope 3) Temperatura media 4) Precipitazioni totali 	307	89,77%

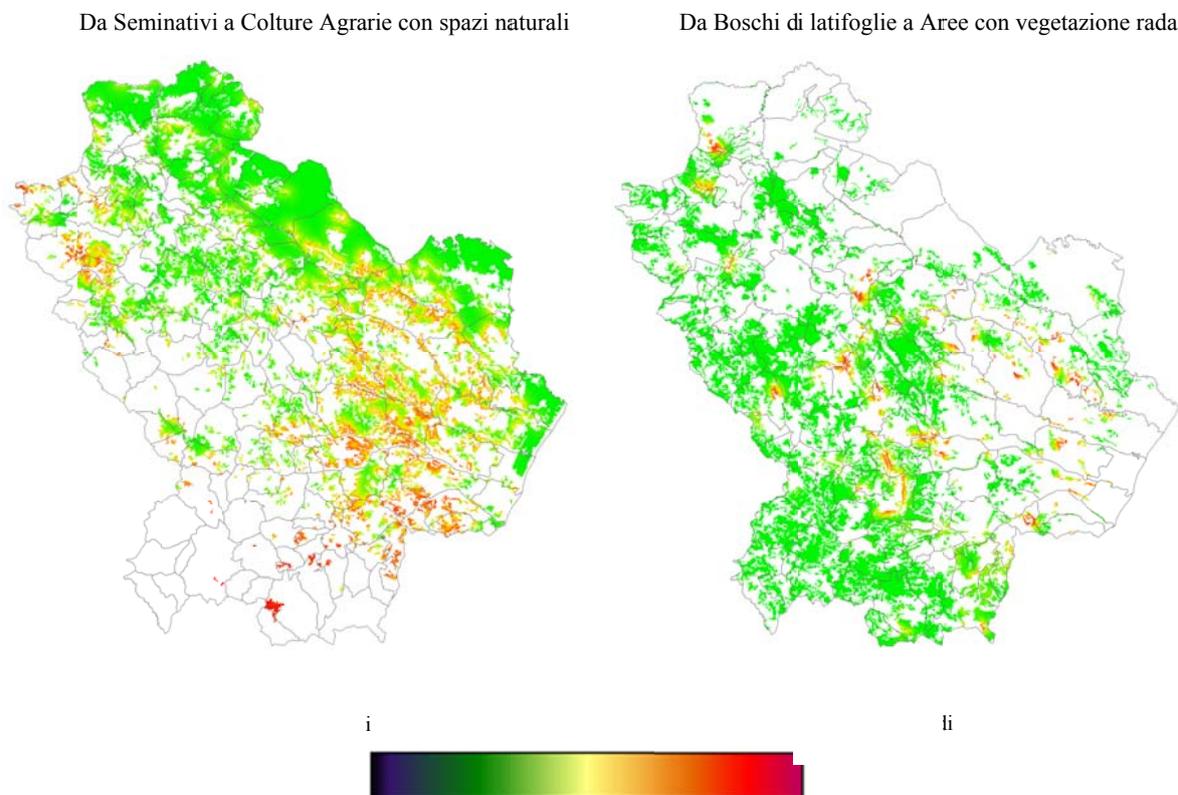
	<ul style="list-style-type: none"> 5) Distanza Colture Temporanee associate a Colture Permanenti 6) Valore aggiunto agricoltura 7) Percentuale occupati agricoltura 8) Variazione percentuale ovicaprini allevati 		
E. Da Seminativi a Colture Agrarie con spazi naturali	<ul style="list-style-type: none"> 1) Dem 2) Slope 3) Temperatura media 4) Precipitazioni totali 5) Capacità depurativa del suolo 6) Valore aggiunto agricoltura 7) Percentuale occupati agricoltura 	327	87,18%
F. Da Colture Agrarie con spazi naturali a Boschi di latifoglie	<ul style="list-style-type: none"> 1) Dem 2) Slope 3) Temperatura media 4) Precipitazioni totali 5) Distanza dai Boschi di latifoglie 6) Variazione percentuale bovini allevati 7) Variazione percentuale ovicaprini allevati 	154	79,74
G. Da Arbusti e boschi in evoluzione a Boschi di latifoglie	<ul style="list-style-type: none"> 1) Dem 2) Slope 3) Temperatura media 4) Precipitazioni totali 5) Distanza boschi latifoglie 	695	97,84%
H. Da Colture Agrarie con spazi naturali a Arbusti e boschi in evoluzione	<ul style="list-style-type: none"> 1) Dem 2) Slope 3) Temperatura media 4) Precipitazioni totali 5) Distanza da Arbusti e boschi in evoluzione 6) Variazione percentuale bovini allevati 7) Variazione percentuale ovicaprini allevati 	280	87,59%
I. Da Pascolo a Arbusti e boschi in evoluzione	<ul style="list-style-type: none"> 1) Dem 2) Slope 3) Temperatura media 4) Precipitazioni totali 5) Distanza da Arbusti e boschi in evoluzione 6) Variazione percentuale bovini allevati 7) Variazione percentuale ovicaprini allevati 	263	83,08%
J. Da Boschi di latifoglie ad Aree con vegetazione rada	<ul style="list-style-type: none"> 1) Dem 2) Slope 3) Temperatura media 4) Precipitazioni totali 5) Distanza da Aree con vegetazione rada 6) Distanza dalle aree percorse da incendi 	187	89,57

Di ognuna delle transizioni considerate è stata realizzata una mappa di idoneità al cambiamento, riportando in figura 2 le più significative. Le mappe indicano la propensione dei territori a mutare la propria destinazione d'uso. All'aumentare dell'intensità di colore, ovvero passando dal verde al giallo fino ad arrivare al rosso, aumenta la probabilità di cambiamento.

Sono state riportate solo due mappe di potenzialità al cambiamento in quanto esse sono le più significative dal punto di vista del cambiamento della destinazione d'uso. La prima rappresenta il potenziale

abbandono di superfici seminative scarsamente produttive, la seconda invece prefigura il potenziale degrado dei boschi soprattutto nelle aree difficilmente accessibili.

Figura 2. Esempi di mappe di idoneità al cambiamento



3.1 Costruzione degli scenari

L'analisi degli scenari fornisce un metodo di pianificazione strategica finalizzata ad aiutare i *decision-makers* nel rendere flessibili piani di lungo periodo. Esso consiste nello sviluppo e nella valutazione di una serie futura di scenari strutturalmente diversi ma plausibili che include le principali incertezze del contesto (Wack, 1985). Gli scenari non rappresentano la realtà futura ma sono solamente un mezzo per migliorare la comprensione sulle possibili conseguenze a lungo termine delle attuali e future tendenze politiche in materia di incentivazioni/disincentivazioni nei confronti del settore agroambientale.

La metodologia trae le sue origini in campo militare nel 1950 (Kahn and Mann, 1957) e successivamente è stata applicata in numerosi contesti; dal 1990, l'IPCC ha fatto grande uso di questi scenari per identificare strategie di adattamento ai cambiamenti climatici (Moss et al., 2010).

Alcuni importanti autori (Schwartz 1991, Roxburgh 2009), suggeriscono la costruzione di pochi scenari, in genere da due a quattro, e molto diversi tra di loro, al fine di evidenziare con maggiore chiarezza le differenze esistenti, evitando in tal modo fenomeni di sovrapposizione delle *driving force*, ovvero delle variabili che li hanno generati. Pertanto nel presente lavoro sono stati realizzati solo due scenari: Scenario A e Scenario B, entrambi proiettati nel 2050, al fine di amplificare gli effetti delle *driving force*.

Lo scenario A è stato realizzato a partire dalle mappe di idoneità al cambiamento riportate in figura 2, pertanto si tratta di uno scenario "base", costruito unicamente sulla base delle attuali tendenze socio-economiche, senza alcun tipo di ipotesi di intervento futuro, quali forme di incentivazione, politiche fiscali, ecc..

Lo scenario B valuta la nuova programmazione agricola comunitaria 2014-2020. Pertanto sono state utilizzate mappe di idoneità al cambiamento determinate solo da variabili geo-morfologiche e climatiche, (cfr. tabella 2) e non di tipo socio-economico, come nel caso dello scenario A, in quanto queste ultime sarebbero state eccessivamente influenti e quindi forvianti per la costruzione di uno scenario futuro costruito con la logica di mettere in evidenza i possibili effetti delle misure della futura PAC.

Nell'ambito delle politiche agricole ci possono essere molte *driving force* che possono risultare significative in una proiezione futura, non risulta però efficiente cercare di sviluppare scenari relativi a tutte le componenti, in quanto ciò renderebbe troppo confusa ed incerta la fase di analisi e valutazione. Pertanto si è optato per la scelta di alcuni indirizzi programmatici specifici, afferenti sia al nuovo regime dei pagamenti diretti, che alle nuove priorità dello sviluppo rurale.

Lo scenario è stato realizzato mediante l'adozione di mappe *raster* di vincoli/incentivi, dove i valori di 0 vengono trattati come vincoli assoluti, mentre i valori di 1 indicano zone libere di evolversi senza né vincoli né incentivi, e di conseguenza i valori di 1 non hanno alcun impatto. Valori inferiori a 1, (es. 0,9) agiscono come disincentivi, mentre valori superiori a 1 (es. 1,1) fungono da incentivi (The Land Change Modeler for Ecological Sustainability; Clark University 2007).

Seguendo tale logica solo tre misure comunitarie sono state "tradotte" in mappe *raster*, differenziate sulla base del diverso effetto che queste ultime avrebbero sul territorio a seconda della diversa destinazione d'uso del suolo.

La prima mappa è stata realizzata prendendo in considerazione una significativa innovazione nel regime dei pagamenti diretti, vale a dire l'assegnazione dei titoli di pagamento anche alle colture ortofrutticole ed ai vigneti, cosa che in passato non era consentita, eccetto che per il pomodoro, per gli agrumeti e per la frutta trasformata. Partendo da queste considerazioni è stato realizzato uno strato informativo di incentivo per quei territori irrigui che potenzialmente potrebbero ospitare colture ortofrutticole; territori attualmente destinati in larga parte a colture di tipo cerealicolo estensivo, in quanto non sussiste alcuna forma di incentivo verso la conversione ad ordinamenti produttivi più complessi.

Il secondo strato informativo rappresenta invece un vincolo anziché un incentivo, in quanto esso è stato prodotto a partire dalle nuove indicazioni in merito alla differenziazione colturale, indicazioni che di fatto impediscono la trasformazione delle superfici a prato e pascolo permanente in superfici di tipo seminativo.

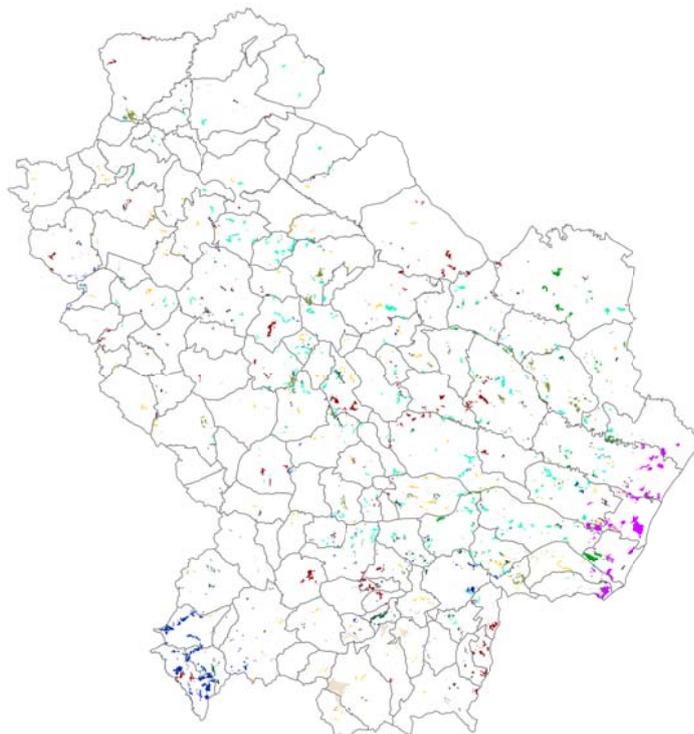
Infine la terza variabile futura introdotta è ancora una volta un incentivo spazialmente differenziato sulla base della destinazione di uso del suolo. Questo strato informativo è stato realizzato sulla base delle nuove priorità della politica di sviluppo rurale, prendendo in particolare considerazione i contenuti delle priorità 4 e 5 della nuova politica di sviluppo rurale, che sono rispettivamente "*Preservare e migliorare ecosistemi dipendenti dall'agricoltura*" e "*Transizione verso una low carbon economy*", priorità che al loro interno contengono un gran numero di misure, che vanno dalla sostenibilità ambientale alla forestazione.

Queste misure sono state quindi tradotte in uno strato informativo a differente grado di incentivazione. In particolare con questo layer vengono incentivate le superfici boscate stabili, boschi misti e di latifoglie, le superfici attualmente occupate da arbusteti e boschi in evoluzione affinché possano evolversi in boschi stabili. In misura minore vengono incentivate le superfici a prato e pascolo permanente, in quanto già incentivate nello strato informativo precedente, mentre le altre destinazioni di uso del suolo vengono lasciate libere di evolversi, senza particolari costrizioni, né incentivi.

4 RISULTATI

In figura 3 e figura 4 vengono riportate le mappe di cambiamento che rappresentano le porzioni di suolo che potenzialmente hanno maggiore propensione a transitare da una destinazione d'uso ad un'altra. Attraverso l'analisi di queste mappe è possibile risalire all'esatta collocazione spaziale dei suoli che sono andati incontro al cambiamento.

Figura 3. Mappa di cambiamento di uso del suolo: Scenario "A"

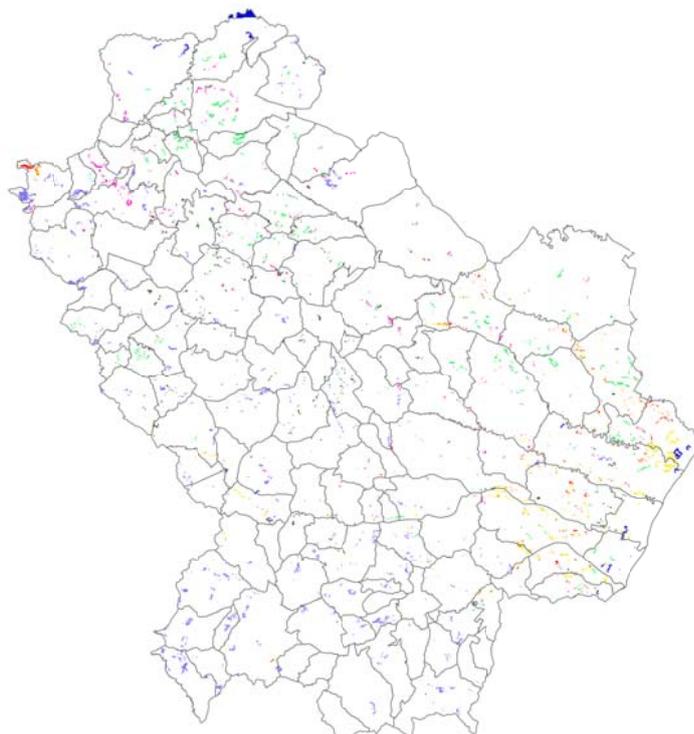


Scala 1:1.000.000

Legenda

	Aree di persistenza
	Da Colture temporanee associate a colture permanenti a Seminativi
	Da Colture agrarie con spazi naturali a Seminativi
	Da Colture temporanee associate a colture permanenti a Frutteti
	Da colture agrarie con spazi naturali a Colture temporanee associate a colture permanenti
	Da Seminativi a Colture agrarie con spazi naturali
	Da Colture agrarie con spazi naturali a Boschi di latifoglie
	Da Arbusti e boschi in evoluzione a Boschi di latifoglie
	Da Colture agrarie con spazi naturali ad Arbusti e boschi in evoluzione
	Da Pascoli ad Arbusti e boschi in evoluzione
	Da Boschi di latifoglie ad Aree con vegetazione rada

Osservando la mappa dello scenario base "A" riportata figura 3, scenario che non prevede né vincoli né incentivi, si evidenzia un cospicuo aumento delle superfici frutticole (29.04%), a scapito delle aree agricole scarsamente coltivate con ampi spazi naturali (-7.66%). Inoltre in linea con quanto già evidenziato nel paragrafo precedente, prosegue anche nel futuro una riduzione delle superfici destinate al pascolo (-16.50%), presumibile conseguenza di una progressiva riduzione del numero di animali allevati. Per le restanti aree non si denotano particolari cambiamenti rispetto all'attualità, salvo un lieve aumento delle superfici boscate.

Figura 4. Mappa di cambiamento di uso del suolo: Scenario “B”

Scala 1:1.000.000

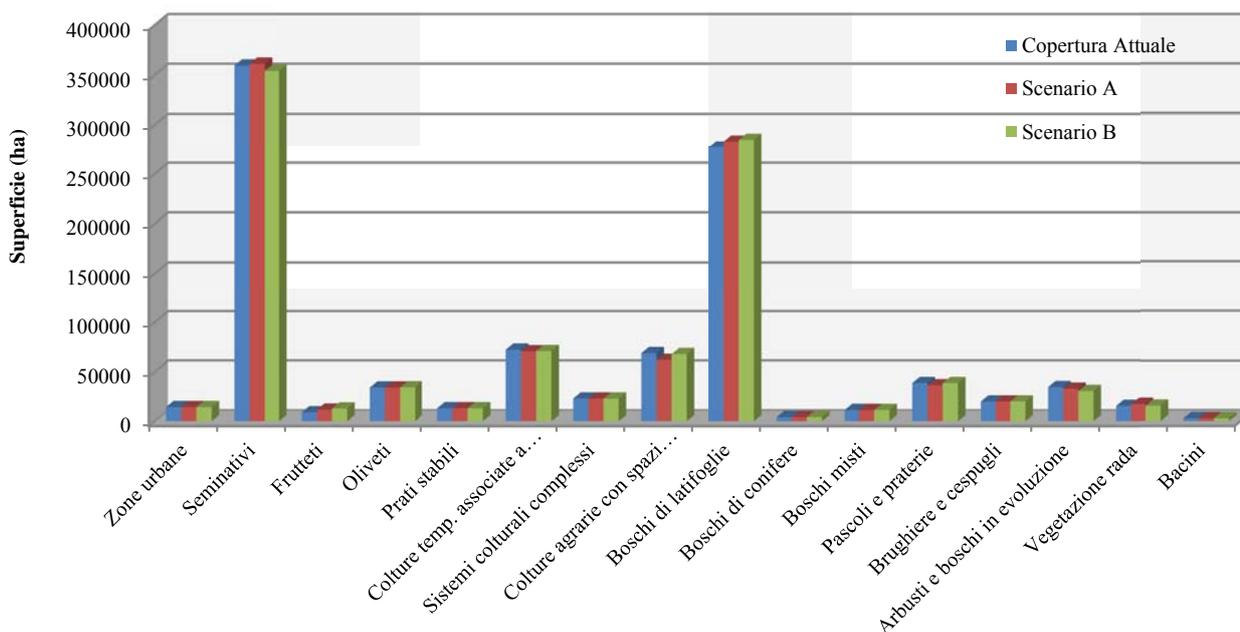
Legenda

	Aree di persistenza
	Da Seminativi a Frutteti
	Da Colture temporanee associate a colture permanenti a Frutteti
	Da Seminativi a Colture temporanee associate a colture permanenti
	Da Seminativi a Colture agrarie con spazi naturali
	Da colture agrarie con spazi naturali a Boschi di latifoglie
	Da Arbusti e boschi in evoluzione a Boschi di latifoglie
	Da Colture agrarie con spazi naturali ad Arbusti e boschi in evoluzione

In questo scenario si assiste ad un numero inferiore di transizioni rispetto al precedente scenario di base “A”. In particolar modo non si verificano nuove conversioni di suolo verso colture di tipo seminativo e si evita la perdita di superficie boscata che nello scenario “A” evolverebbe verso aree a vegetazione rada. Al contempo si assiste inoltre ad un incremento di colture specializzate negli areali che presentano condizioni geomorfologiche e climatiche atte ad ospitarle, nonché una migliore dotazione infrastrutturale.

La comparazione delle due mappe di cambiamento (cfr grafico 1) evidenzia come l’adozione di misure di Politica Agricola Comunitaria mirate ed incisive possa avere notevoli influenze sull’evoluzione dell’uso del suolo, in particolare sulla conservazione di alcuni ambienti naturali che in assenza di misure adeguate, finalizzate alla remunerazione della loro funzione protettiva, andrebbero in contro a degrado ed abbandono.

A conferma di ciò è possibile notare come la superficie ricoperta da vegetazione rada, in aumento secondo lo scenario base, diminuirebbe attraverso l’adozione delle misure previste nello scenario B, in particolare a seguito dell’applicazione delle priorità 4 e 5 della politica di sviluppo rurale.

Grafico 1. Comparazione degli scenari con l'attuale copertura del suolo

Osservando in dettaglio il grafico 1 è possibile notare come passando dallo scenario “A” allo scenario “B”, si osserva una riduzione delle superfici destinate a seminativi ed un aumento delle superfici boscate, nonché dei pascoli e praterie. Queste differenze evolutive derivano dall’applicazione delle linee guida della nuova politica agricola comunitaria, tradotte in stati informativi di vincolo o di incentivo/disincentivo, a seconda della loro natura e della probabile impatto su ben determinate tipologie di uso del suolo.

5 CONCLUSIONI

L’analisi dei risultati conferma che l’approccio impiegato rappresenta un valido strumento per lo studio della previsione dei futuri scenari di cambiamento e per comprendere gli impatti delle attuali strategie politiche che comportano azioni a valere sull’uso del suolo in generale e sulle pratiche agronomiche in particolare. La sua caratteristica principale risiede nella possibilità di far convergere all’interno del modello un gran numero di variabili, che in misura diversa incidono nell’evoluzione dei cambiamenti. Nel presente lavoro sono state impiegate variabili relative all’accessibilità ai territori, geomorfologiche, climatiche e socio-economiche, al fine di delineare con la maggiore accuratezza possibile le potenzialità future di transizione dei territori analizzati e costruire, a partire proprio da esse, uno scenario futuro dell’uso del suolo.

Questo tipo di approccio fortemente “deterministico” è stato impiegato per la costruzione dello scenario di base “A”, in quanto frutto delle attuali tendenze socioeconomiche, nel quale non sono stati previsti interventi comunitari ex novo post 2013.

Per la realizzazione dello scenario “B” invece si è optato per un approccio meno “deterministico”, in cui le transizioni potenziali sono state realizzate solo sulla base di variabili geomorfologiche e climatiche. Questo tipo di approccio ha quindi permesso che le variabili post 2013 agissero su una situazione oggettivamente presente, e non su un contesto fortemente influenzato da eventi socioeconomici passati.

Sono stati pertanto predisposti tre macro interventi post 2013, relativi sia al nuovo sistema di aiuti diretti, che alle nuove priorità di sviluppo rurale. In particolare sono state previste misure di incentivo per il settore ortofrutticolo, misure di limitazione all’aumento delle colture annuali (seminativi) e misure di incentivo per il mantenimento delle superfici boscate ed interventi di forestazione.

L'impiego di questi modelli nel contesto regionale ha messo in luce la diversa reattività del territorio lucano alle *driving force* generatrici di cambiamento.

In particolare dalle analisi condotte è emerso che alcune aree sono particolarmente resilienti agli interventi esterni. Si tratta soprattutto di superfici seminative, che si collocano in un sistema geomorfologico che ne limita fortemente la propensione al cambiamento anche a seguito di interventi mirati.

Al contempo è emersa però una particolare propensione al cambiamento verso colture frutticole specializzate nelle aree dove sussistono le condizioni geomorfologiche e climatiche per il cambiamento ed in particolare dove vi è la possibilità di accesso alla risorsa idrica. In queste aree è stato possibile apprezzare come, a seguito di misure specifiche per il settore, vi sia la concreta possibilità di convertire colture di tipo estensivo verso colture ortofrutticole specializzate ed a più alto reddito per unità di superficie.

Inoltre il modello ha anche evidenziato come una politica di salvaguardia e tutela per il settore forestale possa prevenire fenomeni di depauperamento delle risorse ambientali proprio in quelle aree lì dove la presenza di vegetazione risulta essere particolarmente importante per prevenire fenomeni erosivi.

Il punto di forza di questo approccio sta nella possibilità di poter formulare, sulla base dei risultati emersi, modelli di valutazione ex-ante delle politiche di sviluppo locale. Essendo l'attendibilità del modello strettamente connessa alla disponibilità di dati spaziali coinvolti in maniera significativa nei processi di cambiamento, è necessario poter disporre di un'ampia base di variabili georeferenziate per migliorare il grado di attendibilità degli scenari futuri, al fine di poter enfatizzare gli effetti positivi di alcune politiche, e mitigare le eventuali conseguenze non desiderate.

Sviluppi futuri del modello prevedono l'adozione di variabili climatiche dinamiche, al fine di poter valutare con maggiore contezza gli effetti del cambiamento ed individuare in maniera concreta i punti di forza ed i punti di debolezza di un settore, quello agricolo-forestale, sempre più protagonista nelle dinamiche di cambiamento climatico-ambientale.

REFERENCES

- Alcamo J., Floerke M. and Maerker M. (2007). Future long-term changes in global water resources driven by socio-economic and climatic changes. *Hydrological Sciences Journal* 52: 247-275.
- Anderson T. W. and Goodman L. A. (1957). Statistical inference about Markov chains. *Annals of Mathematical Statistics* 28: 89-110.
- Arnell N. W. (2003). Effects of IPCC SRES emissions scenarios on river runoff: a global perspective. *Hydrology and Earth System Sciences* 7: 619-641.
- Batchelor W. D., Yang X. B. and Tschanz A. T. (1997). Development of a neural network for soybean rust epidemics. *Transaction of ASAE* 40: 247-252.
- Bernetti I. and Marinelli N. (2010). Evaluation of Landscape Impacts and Land Use Change: a Tuscan Case Study for CAP Reform Scenarios. *Aestimium* 56: 1-29.
- Bibby P. and Sheperd J. (2000). GIS, land use, and representation. *Environment and planning B: planning and design* 27: 583-598.
- Brovkin V., Sitch S., von Bloh W., Claussen M., Bauer E. and Cramer W. (2004). Role of land cover changes for atmospheric CO₂ increase and climate change during the last 150 years. *Global Change Biology* 10: 1253-1266.
- Chen H. and Pontius R. G. Jr (2010). Diagnostic tools to evaluate a spatial land change projection along a gradient of an explanatory variable. *Landscape Ecology* 25: 1319-1331, DOI: 10.1007/s10980-010-9519-5.

- Commissione Europea (2010). La PAC verso il 2020: rispondere alle future sfide dell'alimentazione, delle risorse naturali e del territorio. *Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni* COM(2010) 672/5.
- Cramér, H. (1999). *Mathematical Methods of Statistics*. Princeton University Press.
- Dale V., R. ONell, M. Pedlowski, F. Southworth. (1993). Causes and effects of land use change in Central Rondonia, Brazil. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 59: 997–1005.
- Denman, K.L., Brasseur G., Chidthaisong A., Ciais P., Cox P. M., Dickinson R. E., Hauglustaine D., Heinze C., Holland E., Jacob D., Lohmann U., Ramachandran S., da Silva Dias P. L., Wofsy S. C. and Zhang X. (2007). Couplings Between Changes in the Climate System and Biogeochemistry. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K. B., Tignor M. and Miller H. L. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Downing T. E., Harrison P. A., Butterfield R. E. And Lonsdale K. J. (2000). *Climate change, climatic variability and agriculture in Europe: an integrated assessment*. Research report no. 21, Environmental Change Institute, University of Oxford, Oxford, 445 pp.
- Erfu D., Shaohong W., Wenzhong S., Chui-kwan C., Ahmed S. (2005). Modeling Change-Pattern-Value Dynamics on Land Use: An Integrated GIS and Artificial Neural Networks Approach. *Environmental Management* Volume 36, Number 4 (2005), 576-591, DOI: 10.1007/s00267-004-0165-z
- FAO (2009). *Food Security and Agricultural Mitigation in Developing Countries: Options for Capturing Synergies*. Rome, FAO.
- Follador M. (2008). *Modellizzazione spazio-temporale delle dinamiche di uso del suolo ed analisi comparata di differenti approcci predittivi*. Università degli Studi di Bologna. Tesi PHD.
- Forster P., Ramaswamy V., Artaxo P., Berntsen T., Betts R., Fahey D. V., Haywood J., Lean J., Lowe D.C., Myhre G., Nganga J., Prinn R., Raga G., Schulz M. and Van Dorland R. (2007). Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K. B., Tignor M. and Miller H. L. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Graham L., Hagemann S., Jaun S. and Beniston M., 2007. On interpreting hydrological change from regional climate models. *Climatic Change* 81(Supplement 1):97–122.
- Houghton, R. A. (1994). The world-wide extent of land-use change. *Bioscience* 44: 305–313.
- ISPRA (2011). *Emissioni nazionali in atmosfera dal 1990 al 2009*. Rapporti 140/2011.
- Kahn H. and Mann I. (1957). *War gaming*. RAND Corporation, Rep. P. 1167.
- Kanungo D.P., Arora M. K., Sarkar S. and Gupta R. P. (2006). A comparative study of conventional, ANN black box, fuzzy and combined neural and fuzzy weighting procedures for landslide susceptibility zonation in Darjeeling Himalayas. *Engineering Geology* vol.85, Pag. 347-366.
- Keeling C. D., Whorf T. P., Wahlen M. and van der Plicht J. (1995). Interannual extremes in the rate of rise of atmospheric carbon dioxide since 1980. *Nature* 375: 666–670.
- Kellomäki S. and Leinonen S. (2005). *Management of European forests under changing climatic conditions*. Final report of the project — silvicultural response strategies to climatic change in managed European forests funded by the European Union under the contract EVK2-2000-00723 (SilviStrat). University of Joensuu, Faculty of Forestry. Research Notes 163, Joensuu, Finland.

- Kundzewicz Z. W., Parry M. L., Cramer W., Holten J., Kaczmarek Z., Martens P., Nicholls R. J., Öquist M., Rounsevell M. D. A. and Szolgyai J. (2001). In: *Climate change 2001: impacts, adaptation, and vulnerability* (ed. McCarthy J. J., Canziani O. F., Leary N. A., Dokken D.J., White K. S.), Contribution of working group II to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge, pp 641–692.
- Joergensen S. E. and Bendricchio G. (2001). *Fundamentals of Ecological Modelling*. Third ed. Elsevier, Oxford, UK, p. 530.
- Joshi C., De Leeuw J., Skidmore A. K., van Duren I. C. and van Oosten H. (2006). Remotely sensed estimation of forest canopy density: a comparison of the performance of four methods. *International journal of applied earth observation and geoinformation* vol.8, Pag. 84-95.
- Logofet D. O. and Lesnaya E. V. (2000). The mathematics of Markov models: what Markov chains can really predict in forest successions. *Ecological Modelling* 126: 285–298.
- Marland G., Boden T. A. and Andres R. J. (2006). Global, regional and national CO₂ emissions. In: *Trends: A Compendium of Data on Global Change*. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, TN, USA.
- Matthews H. D., Weaver A. J., Meissner K. J., Gillet N. P. and Eby M. (2004). Natural and anthropogenic climate change: Incorporating historical land cover change, vegetation dynamics and the global carbon cycle. *Climate Dynamics* 22: 461–479.
- Moss R. H., Edmonds J. A., Hibbard K. A., Manning M. R., Rose S. K., Van Vuuren D. P., Carter T. R., Emori S., Kainuma M., Kram T., Meehl G. A., Mitchell J. F., Nakicenovic N., Riahi K., Smith S. J., Stouffer R. J., Thomson A. M., Weyant J. P. and Wilbanks T. J. (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* 463: 747-56. doi:10.1038/nature08823.
- Nemmour H. and Chibani Y. (2006). Multiple support vector machines for land cover change detection: an application for mapping urban extension. *ISPRS journal of photogrammetry & remote sensing*, vol.61, Pag. 125-133.
- Olesen J., Carter T., Díaz-Ambrona C., Fronzek S., Heidmann T., Hickler T., Holt T., Minguéz M., Morales P., Palutikof J., Quemada M., Ruiz-Ramos M., Rubæk G., Sau F., Smith B. and Sykes M. (2007). Uncertainties in projected impacts of climate change on European agriculture and terrestrial ecosystems based on scenarios from regional climate models. *Climate Change* 81(Supplement 1): 123–143.
- Pijanowski B. C., D. G. Brown, B. A. Shellito, and G. A. Manik. (2002). Using neural networks and GIS to forecast land use changes: A Land Transformation Model. *Computers, Environment and Urban Systems* 26: 553–575.
- Prentice I. C., Farquhar G. D., Fasham M. J. R., Goulden M. L., Heimann M., Jaramillo V. j., Kheshgi H. S., Le Querè C., Scholes R. J. and Wallace D. W. R. (2001). The carbon cycle and atmospheric carbon dioxide. In: *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 184–238.
- Pontius Jr. R.G., Shusas E. and McEachern M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 101: 251-268.
- Romano S., Cozzi M., Giglio P., Catullo G., 2012. Dinamiche e cambiamenti climatici: modelli predittivi dei cambiamenti di uso del suolo. *Paysage/Topscape*, Overview n. 9. ISSN 2279-7610
- Rumelhart, D. and J. McClelland (1986). *Parallel Distributed Processing*. MIT Press, Cambridge, Mass.
- Schröter D., Cramer W., Leemans R., Prentice I. C., Araujo M. B., Arnell N. W., Bondeau A., Bugmann H., Carter T. R., Gracia C. A., de la Vega-Leinert A. C., Erhard M., Ewert F., Glendining M., House J. I.,

- Kankaanpaa S., Klein R. J. T., Lavorel S., Lindner M., Metzger M. J., Meyer J., Mitchell T. D., Reginster I., Rounsevell M., Sabate S., Sitch S., Smith B., Smith J., Smith P., Sykes M. T., Thonicke K., Thuiller W., Tuck G., Zaehle S. and Zierl B. (2005). Ecosystem service supply and vulnerability to global change in Europe. *Science* 310: 1333–1337.
- Smith P., Martino D., Cai Z., Gwary D., Janzen H. H., Kumar P., McCarl B., Ogle S., O'Mara F., Rice C., Scholes R. J., Sirotenko O., Howden M., McAl-lister T., Pan G., Romanenkov V., Schneider U., Towprayoon S., Wattenbach M. and Smith J. U. (2008). Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 363(1492): 789-813.
- Vesterby, M., and R. Heimlich. (1991). Land use and demographic change: results from fast-growing countries. *Land Economics* 67: 279–291.
- Villa N., Paegelow M., Camacho O. M. T., Cornez L., Ferraty F., Ferré L. and Sarda P. (2007). Various approaches for predicting land cover in mountain areas. *Communication in Statistics-simulation and computation* vol. 36, Pag. 73-86.
- Werbos, P. J. (1974). *Beyond Regression: New Tools for Prediction and Analysis in the Behavioral Sciences*. PhD thesis, Harvard University, Cambridge, Mass.
- Wack P. (1985). Scenarios: shooting the rapids. *Harvard Business Review* 63: 139–150.
- Yemshanov D. and Perera A. H. (2002). A spatially explicit stochastic model to simulate boreal forest cover transitions: general structure and properties. *Ecological Modelling* 150: 189–209.