



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

FLORE

Repository istituzionale dell'Università degli Studi di Firenze

Stima dei danni economici indotti dai cambiamenti climatici sul settore zootecnico e agricolo toscano: previsioni per il periodo 2007-

Questa è la Versione finale referata (Post print/Accepted manuscript) della seguente pubblicazione:

Original Citation:

Stima dei danni economici indotti dai cambiamenti climatici sul settore zootecnico e agricolo toscano: previsioni per il periodo 2007-2099 / I. Bernetti; C. Ciampi; S. Sacchelli; C. Fagarazzi. - In: AESTIMUM. - ISSN 1592-6117. - STAMPA. - 54:(2009), pp. 23-50. [10.13128/Aestimum-3275]

Availability:

This version is available at: 2158/610531 since:

Published version:

DOI: 10.13128/Aestimum-3275

Terms of use:

Open Access

La pubblicazione è resa disponibile sotto le norme e i termini della licenza di deposito, secondo quanto stabilito dalla Policy per l'accesso aperto dell'Università degli Studi di Firenze (<https://www.sba.unifi.it/upload/policy-oa-2016-1.pdf>)

Publisher copyright claim:

(Article begins on next page)

Iacopo Bernetti*
Christian Ciampi*
Claudio Fagarazzi**
Sandro Sacchelli*

Stima dei danni economici indotti dai cambiamenti climatici sul settore zootecnico e agricolo toscano: previsioni per il periodo 2007-2099¹

*Dipartimento di Economia Agraria e delle Risorse Territoriali, Università degli Studi di Firenze

E-mail: iacopo.bernetti@unifi.it

E-mail: christian.ciampi@unifi.it

E-mail: sandro.sacchelli@unifi.it

**Dipartimento di Urbanistica e Pianificazione Territoriale, Università degli Studi di Firenze

E-mail: claudio.fagarazzi@unifi.it

Parole chiave: *teoria Dempster-Shafer, cambiamento climatico, danno economico, analisi spaziale, GIS*

The climate change verified at global and local scale involves several environmental and socio-economic impacts. Thus, the definition of techniques able to quantify economic damage results to be very important in order to apply proper form of management of vulnerable systems. Following the Intergovernmental Panel on Climate Change, risk has been defined as a function of hazard and vulnerability/resilience lines of evidence. Dempster-Shafer theory of evidence and fuzzy measures were applied to develop a framework for the assessment of economic damage. The results of the hazard and vulnerability assessment were used to develop an economic framework based on spatial analysis procedure applied to raster maps. Assessment method has been implemented with the maps, in order to quantify in monetary terms the costs to be supported. The framework was then tested on Tuscany agricultural sector.

1. Introduzione

In letteratura sono stati proposti molti approcci metodologici per l'identificazione e la valutazione dei danni economici derivanti dal cambiamento climatico (p.e. Ford & Smit, 2004), allo scopo di sviluppare strategie e politiche di adattamento e mitigazione. In questo caso, seguendo l'impostazione proposta dal libro bianco della Commissione Europea "*L'adattamento ai cambiamenti climatici: verso un quadro d'azione europeo*", il rischio di danni da cambiamenti climatici è stato considerato come conseguenza dell'azione di due fattori: la vulnerabilità del sistema in esame e la sua resilienza. Per *vulnerabilità* (IPCC, 2007) s'intende il grado di suscettibilità di un sistema agli effetti negativi dei cambiamenti climatici e la sua incapacità a farvi fronte; sono inclusi la variabilità del clima e gli eventi meteorologici estremi. La vulnerabilità dipende dalla natura, dall'entità e dalla velocità dei cambiamenti climatici e delle variazioni cui è esposto un determinato sistema, dalla sua sensibilità e dalla sua capacità di adattamento. Al contrario, per *resilienza* (IPCC, 2007) s'intende la capacità dello stesso sistema di assorbire le perturbazioni mantenendo la stessa struttura e le stesse modalità di funzionamento di base.

¹ Il contributo dei singoli autori può essere così individuato: Iacopo Bernetti organizzazione del lavoro e redazione del par. 3.1.; Claudio Fagarazzi Capp. 4, 5 e 6; Sandro Sacchelli Capp. 1, 2 e 3 escluso 3.1.; Christian Ciampi elaborazioni e rappresentazioni cartografiche.

Vulnerabilità e resilienza dei sistemi agricoli antropizzati dipendono, in sintesi, da due ordini di fattori: le caratteristiche ambientali, definite da variabili ecologiche, morfologiche e geologiche e dalla possibilità del sistema socioeconomico locale di intervenire attivamente e autonomamente per mitigare con politiche proattive il danno. Entrambe queste due categorie di variabili agiscono a livello strettamente locale e debbono quindi essere stimate e georeferenziate per poter definire politiche di intervento efficaci. Nel presente lavoro è stato quindi adottato un approccio strettamente geografico basato su un sistema informativo ambientale e socioeconomico per i settori della zootecnia, dell'olivicoltura, della viticoltura e delle coltivazioni annuali.

2. Il concetto di danno economico adottato

Obiettivo dello studio, è quello di verificare, dal punto di vista economico, quali sono gli effetti indotti, dai mutamenti climatici, sul settore agricolo e zootecnico. Sulla base della letteratura internazionale (Ackerman & Stanton, 2006) è possibile classificare gli impatti sul sistema economico, conseguenti ai cambiamenti climatici, come segue:

- Danni economici a settori specifici:
 - Agricoltura;
 - Selvicoltura;
 - Pesca e acquacoltura;
 - Turismo;
- Danni al sistema economico generale:
 - Danni materiali e umani da eventi calamitosi;
 - Spese difensive;
- Danni ambientali:
 - Estinzione di specie;
 - Perdita ecosistemi;
- Impatti sugli equilibri geopolitici:
 - Movimenti migratori;
 - Tensioni e conflitti internazionali.

A livello metodologico le diverse tipologie di danno possono essere stimate attraverso metodi di valutazione che si rifanno ad approcci estimativi molto diversificati, come illustrato in figura 1. Il caso più semplice è quello dei danni di mercato dovuti a cambiamenti nell'andamento stagionale, mentre la situazione più complessa è quella degli impatti macroeconomici derivanti da eventi catastrofici su scala internazionale (Downing & Watkiss, 2003). In relazione agli obbiettivi dello studio, il metodo di valutazione è stato diretto alla stima del danno economico e patrimoniale derivante dalla perdita di produzione agricola conseguente ai cambiamenti nella media dei parametri climatici. I risultati ottenuti possono però essere una base di partenza per stimare anche i danni economici su beni non di mercato (le cosiddette funzioni sociali dell'ambiente agroforestale).

Figura 1. Metodi di stima degli impatti e difficoltà di calcolo.

	<i>Tipo di impatto</i> →	Danni a beni di mercato	Beni economici non di mercato	Impatti macroeconomici
<i>Previsioni</i> ↓	<i>Esempi</i> → ↓	<i>Perdita produzioni agricole</i>	<i>Estinzione specie ed ecosistemi</i>	<i>Migrazioni conflitti</i>
Andamento medio	Crescita media temperature Cambiamento climatico	Stime più facili	Difficoltà intermedia	Difficoltà intermedia
Eventi climatici estremi	<i>Precipitazioni eccezionali</i> <i>Ondate calore</i>	Stime più facili	Difficoltà intermedia	Stima molto difficile
Eventi catastrofici globali	<i>Fusione calotte polari</i> <i>Desertificazione</i> <i>Crescita livello mare</i>	Stima molto difficile	Stima molto difficile	Stima molto difficile

3. Aspetti metodologici

La valutazione dei danni da cambiamento climatico è evidentemente caratterizzata da una forte incertezza per:

- la difficile definizione degli effetti futuri sia in termini quantitativi sia nella loro distribuzione spaziale;
- il diverso grado di significatività dei diversi fattori ambientali e socioeconomici che concorrono a definire i fenomeni di vulnerabilità e di resilienza;
- le sinergie esistenti fra le due dimensioni di vulnerabilità e resilienza adottate.

Nell'ultimo trentennio sono state sviluppate numerose metodologie per la trattazione di dati intrinsecamente caratterizzati da imprecisione ed incertezza, metodi che sono stati validamente applicati anche alla valutazione degli effetti e degli impatti dei cambiamenti climatici (Ki Min, 2007; Wuben & Caselton, 1997). Sulla base della letteratura esistente, l'incertezza derivante dalla definizione degli effetti quantitativi dei singoli fattori (punto a) è stata affrontata con tecniche di logica sfocata mentre la valutazione del peso dei singoli fattori e delle sinergie fra vulnerabilità e resilienza (punti b e c) è stata valutata tramite la cosiddetta teoria di Dempster-Shafer (Shafer, 1976). Scopo della valutazione è stato quello di ottenere indici quanto più possibile affidabili (sempre nell'incertezza connessa alla tipologia di valutazione) ai quali applicare procedimenti di valutazione del danno propri dell'estimo rurale e forestale.

3.1. Le metodologie impiegate

3.1.1. La concezione della plausibilità della teoria dell'evidenza di Dempster-Shafer

La teoria dell'evidenza di Dempster-Shafer (DS) ha come obiettivo esplicito il superamento dei limiti della concezione bayesiana tramite il concetto di inferenza plausibile (Shafer, 1976). Essa vanta un ampio spettro di applicazioni pratiche nei domini più diversi per la trattazione del ragionamento sotto condizioni di incertezza. La concezione bayesiana rappresenta il punto di partenza della trattazione della nozione di plausibilità della teoria DS: con essa condivide infatti l'idea che il ragionamento plausibile sia una forma di ragionamento incerto in quanto condotto a partire da fonti che forniscono informazioni dotate di attendibilità, ma non di certezza. In particolare essa "include la teoria bayesiana come un caso speciale e quindi conserva almeno alcune delle attrattive di quella teoria" (Shafer, 1976). Al contrario delle probabilità bayesiane la teoria DS non richiede un'informazione completa nello spazio degli eventi; essa ammette dunque la possibilità di fare ricorso a due distinti valori per esprimere sia la credenza in una certa proposizione sia la credenza nella sua negazione.

Di seguito si riassumeranno sinteticamente gli aspetti fondamentali di tale teoria rimandando ai testi citati per approfondimenti. Il concetto alla base della teoria DS è il cosiddetto universo del discorso o costituito sia dalle singole ipotesi A_1, A_2, A_3, \dots , sia dalla loro combinazione $[A_1, A_2], [A_1, A_3], [A_2, A_3], [A_1, A_2, A_3], \dots$. Le ipotesi "non-singolari" rappresentano l'incertezza dovuta alla mancanza o incompletezza di informazione ed in questo senso la teoria DS differisce dall'approccio bayesiano in cui le ipotesi sono mutuamente esclusive. Nell'applicazione della metodologia al problema della valutazione di impatto sul cambiamento climatico sono considerate due ipotesi: A_1 = vulnerabilità della localizzazione geografica e A_2 = resilienza della localizzazione. L'ipotesi non singolare $[A_1, A_2]$ rappresenta perciò l'ipotesi di localizzazioni allo stesso tempo vulnerabili e resilienti. La valutazione delle ipotesi si basa su tre concetti chiave: assegnazione di probabilità di base (BPA, Basic Probability Assignment), credenza (Belief) e plausibilità (Plausibility).

L'assegnazione di probabilità di base (BPA) $m(A_1), m(A_2), m(A_1, A_2), \dots$ rappresenta il contributo che un certo fattore da a supporto di una determinata ipotesi e può derivare da dati empirici, da dati soggettivi o da una combinazione fra dati empirici e soggettivi. Il concetto di probabilità di base differisce dal concetto di probabilità bayesiana in quanto per due ipotesi A_1 e A_2 nella teoria DS $m(A_1) + m(A_2) + m(A_1, A_2) = 1$ e quindi $m(A_1) + m(A_2) < 1$ mentre in Bayes $m(A_1) + m(A_2) = 1$; il residuo $m(A_1, A_2)$ rappresenta il contributo all'incertezza.

Il valore di credenza $bel(A)$ rappresenta il contributo totale di tutti gli elementi A_i a supporto dell'ipotesi A ,

$$bel(A) = \sum m(A_i) \quad (1)$$

In contrasto con il valore di credenza, il valore di plausibilità rappresenta quanto si dovrebbe credere nella proposizione A se tutti i fatti non conosciuti allo

stato attuale sostenessero A. Essa è dunque un valore probabilistico limite: esprime il valore probabilistico massimo che si può allocare verso una proposizione A: in particolare “misura la massa totale di credenza che può essere mossa verso A” (Dezert, 2002).

La metodologia di calcolo è quindi,

$$pl(A) = 1 - bel(not(A)) \quad (2)$$

È evidente quindi che il valore di plausibilità è più “permissivo” e quindi,

$$bel(A) \leq pl(A) \quad (3)$$

La teoria DS propone anche una metodologia per l’aggregazione di due o più fonti di informazione (dette linee di evidenza) a sostegno di una ipotesi A_i . Applicando il concetto al problema in esame le linee di evidenza rappresentano i fattori a_1 e a_2 che possono contribuire alla resilienza o alla vulnerabilità di una determinata localizzazione geografica. Il metodo adottato, la cosiddetta regola della somma ortogonale, fornisce la massa di probabilità totale m derivante dalle masse di probabilità dei singoli fattori:

$$m(A_i) = m(a_1) \quad m(a_2) = \frac{\sum_{a_1 \cap a_2 = A} m(a_1)m(a_2)}{\sum_{a_1 \cap a_2 = \emptyset} m(a_1)m(a_2)} \quad (4)$$

3.1.2. Le valutazioni sfocate

La stima della massa di probabilità $m(a_i)$ può essere effettuata o tramite misure di probabilità o tramite misure fuzzy. L’approccio impiegato nel presente lavoro, più flessibile e largamente applicabile (Bentabet et al. 2000), si basa sulla combinazione di funzioni di appartenenza sfocate per la valutazione degli effetti delle variabili ambientali e socioeconomiche sulle ipotesi di resilienza e vulnerabilità per i diversi settori indagati e quantificatori linguistici sfocati per poter impiegare nel modello valutazioni date da esperti in termini verbali:

$$\begin{aligned} u_{2007} &= a_{2007} \\ u_{2036} &= u_{2007} \cdot (1 - \text{vulnerabilità}_{2036}) = a_{2036} \\ u_{2067} &= u_{2007} \cdot (1 - \text{vulnerabilità}_{2067}) = a_{2067} \\ u_{2099} &= u_{2007} \cdot (1 - \text{vulnerabilità}_{2099}) = a_{2099} \end{aligned} \quad (5)$$

con $\mu_{linguistic}(a_i)$ valutazione tramite quantificatore linguistico sfocato della credenza dell’effetto della variabile a_i e $\mu_{ai}(x_{ai})$ valutazione tramite funzione di appartenenza della credenza dell’effetto della variabile ambientale a_i sulla localizzazione x .

3.2 I modelli di valutazione del rischio

I modelli di valutazione del rischio e della resistenza elaborati per i settori zootecnico ed agrario, hanno previsto la definizione dei livelli di vulnerabilità, resilienza ed incertezza per ogni comparto produttivo, secondo la metodologia Dempster-Shafer precedentemente descritta.

In base al tipo di variabili di input utilizzate la costruzione dei modelli per i diversi settori analizzati è stata effettuata tramite procedure di analisi spaziale su SIT raster a livello di singolo pixel con risoluzione 75m x 75m per il settore delle coltivazioni legnose ed erbacee. Per il settore zootecnico invece, non essendo gli allevamenti georeferenziabili con analogo dettaglio territoriale, è stato utilizzato un approccio vettoriale, con il comune come unità minima di definizione.

Per ogni comparto le variabili considerate maggiormente influenti sul grado di vulnerabilità sono quelle collegate alla possibilità di variazioni climatiche; per questo motivo il calcolo del danno economico è riferito a tre scenari futuri determinati rispetto ai valori attuali di velocità del vento, precipitazioni, temperature, ecc.² proiettati agli anni 2036, 2067 e 2099, secondo lo scenario A2 del modello di circolazione atmosferica Hadley Centre Met Office Climate Modelling 3- Hadcm3 (IPCC, 2000), applicato dal Dipartimento di Scienze Agronomiche e Gestione del Territorio di Firenze, sull'intero territorio toscano (AA.VV, 2009).

Le diverse tipologie di variabili inserite nei modelli di valutazione, possono essere ricondotte sia a parametri di natura qualitativa che quantitativa; per permettere un'aggregazione tra le stesse ed una comparazione in termini numerici è stato quindi necessario procedere attraverso una fase di normalizzazione delle stesse, ovvero una riclassificazione nell'intervallo da 0 a 1, utilizzando la tecnica della logica sfocata. Secondo questa procedura, ciascuna variabile che partecipa alla composizione di un'ipotesi (nel nostro caso la linea di evidenza), è rappresentata attraverso una mappa di valori continui compresi tra 0 e 1 (rispettivamente minima e massima probabilità che il fattore contribuisca all'evento).

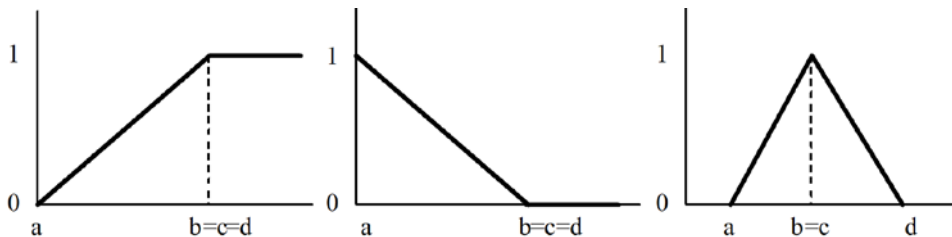
Le funzioni *fuzzy* più utilizzate per la normalizzazione sono quelle lineari, classificabili in crescenti, decrescenti o simmetriche (Fig. 2).

L'identificazione dei parametri che hanno portato allo sviluppo delle suddette funzioni deriva da dati bibliografici, da indicazioni fornite dagli operatori del settore produttivo di riferimento e da valutazioni empiriche.

Strettamente correlati alle funzioni di logica fuzzy sono gli operatori linguistici sfocati (Chen & Hwang, 1992). Questi rappresentano una metodologia che permette di arrivare ad una quantificazione numerica di giudizi qualitativi forniti da esperti del settore per particolari processi decisionali, tramite una valutazione effettuata su specifiche forme funzionali in genere triangolari e trapezoidali. In definitiva con un operatore linguistico sfocato possiamo trasformare delle valutazioni verbali (es. alta

²I dati climatici attuali derivano dai rilievi effettuati nelle 130 stazioni di monitoraggio dell'ARSIA (Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l'Innovazione del Settore Agricolo-forestale), distribuite in maniera omogenea sull'intero territorio esaminato.

Figura 2. Funzioni lineari di fuzzy logic (da sinistra a destra: crescente, decrescente, simmetrica). I valori a, b, c, d sono definiti punti di controllo o control points).



influenza di una variabile sulla linea di evidenza “rischio”) in valutazioni numeriche, mantenendo il grado di incertezza intrinseco alla stima dell’esperto.

La fase propedeutica all’aggregazione Dempster-Shafer è stata quella relativa alla realizzazione delle mappe di Basic Probability Assignment (BPA), ottenute dal prodotto di ciascuna mappa sfocata con il rispettivo grado di credenza. Quest’ultimo deriva dalla quantificazione numerica attribuita a ciascuna variabile tramite un valutatore linguistico sfocato a cinque valori, secondo la scala 4 di Chen e Hwang rielaborata (valori linguistici: basso, medio-basso, medio, medio-alto, alto) (Chen & Hwang, 1992).

3.2.1. Valutazione del rischio per il settore zootecnico

Relativamente al comparto produttivo zootecnico, l’analisi si è incentrata sulla valutazione dei possibili danni monetari derivanti dai cambiamenti climatici, per quanto riguarda la produzione di latte in allevamenti di bovini.

Le indicazioni fornite dal Dipartimento di Scienze Zootecniche dell’Università di Firenze hanno permesso di definire dei valori soglia di temperatura (termotolleranza) oltre i quali le produttività delle vacche da latte e la qualità del loro prodotto possono subire delle perdite.

Le evidenze che rientrano nella valutazione della resilienza sono state correlate, da un lato, con il livello di differenziazione interna all’azienda zootecnica (presenza di superfici a prati e pascoli che garantiscono un allevamento all’aperto e non necessariamente una stabulazione fissa), e dall’altro lato, alla vitalità imprenditoriale, ovvero, l’età dell’imprenditore, il titolo di studio, l’uso di consulenti, ecc.; l’aumento di temperatura e il livello di specializzazione nel settore (orientamento tecnico economico-OTE e presenza di produzioni di qualità), sono invece fattori riconducibili alla vulnerabilità ai cambiamenti climatici. In quest’ultimo caso infatti un’alta specializzazione delle aziende nel comparto zootecnico, può essere ricollegata ad un più alto rischio per le stesse nel caso di perturbazioni esterne che possano comprometterne la funzionalità, a causa di una scarsa flessibilità gestionale od all’impossibilità di sostituire produzioni di qualità in archi temporali ristretti.

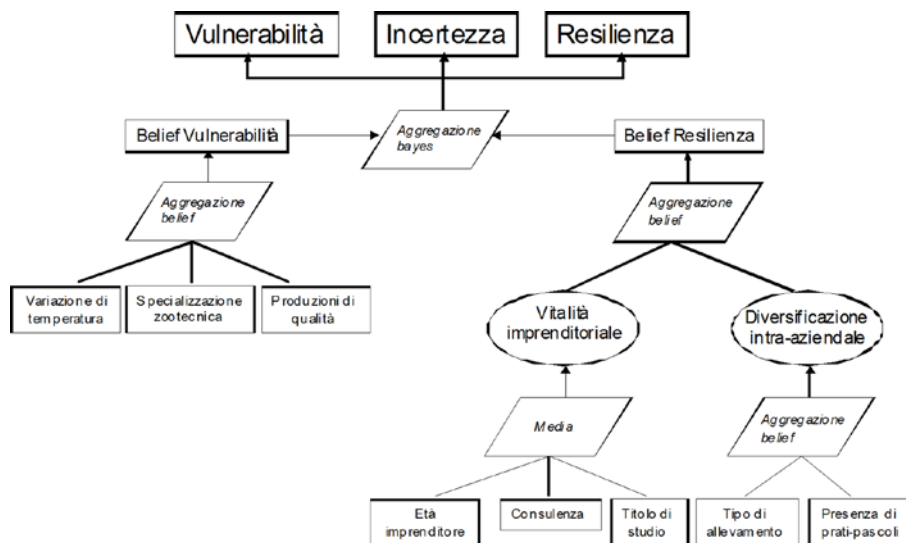
Nel dettaglio le evidenze (riportate in Tab. 1) sono state aggregate come da Fig. 3.

Tabella 1. Evidenze per il settore zootecnico.

Linea di evidenza	Evidenza	Descrizione	Fonte dati	Elaborazione
Resilienza	Tipologia di allevamento	Definisce il numero di capi bovini in aziende con prati e pascoli permanenti rispetto al totale dei capi a livello comunale.	- V° Censimento Agricoltura ISTAT (2000)	Capi bovini in aziende con prati e pascoli permanenti / capi bovini totali
	Superficie a prati e pascoli permanenti	È identificabile come un indice di resistenza "ambientale", che aumenta all'aumentare degli ettari a prati e pascoli permanenti: in questo caso si creano infatti, maggiori possibilità di variabilità intra-aziendale nel caso di allevamento all'aperto.	- V° Censimento Agricoltura ISTAT (2000)	Superfici a prati e pascoli permanenti / SAU totale
	Vitalità imprenditoriale	La capacità di adattamento e innovazione di un'azienda è legata alle capacità imprenditoriali. A tal riguardo le variabili considerate per l'analisi sono: - Età dell'imprenditore - Titolo di studio - Consulenza.	- V° Censimento Agricoltura ISTAT (2000)	n° di aziende con titolari azienda giovani (<41 anni) rispetto al totale delle aziende; n° di aziende con titolari azienda diplomati o laureati rispetto al totale delle aziende; n° di aziende con titolari azienda che hanno accesso all'informazione (corsi di formazione, assistenza tecnica, assistenza gestionale) rispetto al totale delle aziende

Linea di evidenza	Evidenza	Descrizione	Fonte dati	Elaborazione
Vulnerabilità	Aumento di temperatura	Considera il numero di stagioni in cui la temperatura media raggiunge o supera i valori soglia di 12,5°C, 21,5°C, 26,5°C e 30°C.	- Carta regionale della temperatura media stagionale attuale e proiettata al 2036, 2067 e 2099 con modello Hadcm3	1) Definizione della temperatura media stagionale attuale e di quella relativa agli scenari futuri. 2) Operazioni di <i>cross-tabulation</i> tra la classificazione attuale e quelle future con successivo procedura di <i>reclass</i> per la determinazione del grado di rischio connesso al superamento delle soglie di temperatura critica.
	Presenza di produzioni di qualità	In considerazione del fatto che le aree in cui sono presenti allevamenti di qualità sono più vulnerabili rispetto ad altre (visto che non posso cambiare la specie di bovini senza influire sul prodotto finale), questo indicatore è utilizzato per definire il numero di aziende che effettuano allevamenti di qualità rispetto al totale delle aziende a livello comunale.	- V° Censimento Agricoltura ISTAT (2000)	N° di aziende con produzioni di qualità / n° di aziende totali
	Specializzazione territoriale nella zootecnia	Definisce il numero di aziende ad orientamento tecnico economico (OTE) zootecnico rispetto al totale delle aziende comunali.	- V° Censimento Agricoltura ISTAT (2000)	N° di aziende ad OTE zootecnico / n° aziende totali

Figura 3. Schematizzazione relativa alla definizione delle linee di evidenza per il settore zootecnico.

Tabella 2. Esempificazione delle funzioni di *fuzzy logic* per le evidenze relative al settore zootecnico.

Evidenza	Dati di ingresso	Funzione di normalizzazione	Control points			
			a	b	c	d
Tipologia di allevamento	% di capi in aziende con prati e pascoli permanenti rispetto al totale delle dei capi a livello comunale	Lineare crescente	0		100	
Superficie a prati e pascoli permanenti	% di superficie a prati e pascoli permanenti rispetto al totale della SAU comunale	Lineare crescente	0		50	
Vitalità imprenditoriale	% di aziende con attività imprenditoriali dinamiche (imprenditori giovani, imprenditori con titolo di studio, presenza di consulenze aziendali) rispetto al totale delle aziende comunali	Lineare crescente	10		40	
Aumento di temperatura	Rischio legato al n° di stagioni in cui la temperatura media supera i valori soglia di termo-tolleranza dei capi bovini	Lineare crescente	0		1,5	
Presenza di produzioni di qualità	% di aziende con produzioni di qualità rispetto al totale delle aziende comunali	Lineare crescente	0		10	
Specializzazione territoriale nella zootecnia	% di aziende ad OTE zootecnico rispetto al totale delle aziende comunali	Lineare crescente	0		2	

La metodologia di normalizzazione delle evidenze è riportata in Tab. 2.

Una volta quantificate le variabili ambientali in termini numerici grazie alle operazioni di logica fuzzy, è stato possibile valutare la massa di probabilità $m(ai, x)$ (cfr formula 2), tramite il calcolo del grado di credenza dell'effetto delle stesse variabili ambientali ai sulla relativa linea di evidenza. Il grado di credenza è stato definito per mezzo di valutazioni linguistiche sfocate fornite da esperti del settore zootecnico per ogni variabile decisionale. In altri termini le espressioni verbali dei decisori hanno esplicitato l'importanza relativa di ogni fattore rispetto alla valutazione dei singoli gradi di vulnerabilità e resilienza del settore zootecnico. Le valutazioni linguistiche basate su una scala a cinque valori sono riportate di seguito:

- tipologia di allevamento: medio-alto;
- superficie a prati e pascoli permanenti: basso;
- vitalità imprenditoriale: medio-basso;
- aumento di temperatura: alto;
- produzioni di qualità: basso;
- specializzazione territoriale nella zootecnia: basso.

Dal prodotto tra la valutazione della credenza dell'effetto della variabile ai e la valutazione tramite funzione di appartenenza dell'effetto della variabile ambientale stessa sulla localizzazione x , è stato infine possibile derivare la massa di probabilità di ogni singolo criterio, utile all'aggregazione belief secondo la metodologia DS descritta al paragrafo 3.1.

3.2.2. *La valutazione del rischio per le coltivazioni erbacee ed arboree*

L'analisi sviluppata per il settore agricolo, con le specifiche valutazioni del danno economico determinato sulle coltivazioni di vite, olivo e grano, si differenzia leggermente rispetto alle elaborazioni relative al comparto zootecnico. In questo caso, la disponibilità di dati relativi alla variazione di produttività delle colture in funzione delle alterazioni climatiche, non ha reso necessaria l'elaborazione della mappa della vulnerabilità. La variazione dei redditi futuri, infatti, è stata direttamente calcolata sulla base del cambiamento di produttività annua stimato dal Dipartimento di Scienze Agronomiche e Gestione del Territorio Agro-forestale di Firenze sulla base di modelli che considerano i dati climatici, le caratteristiche morfologiche del territorio e la fenologia delle specie (AA.VV, 2009). La quantificazione del danno economico agrario è stata pertanto sviluppata in base alla procedura descritta nel paragrafo 4.2.

La necessità di uniformare i dati per i due settori produttivi esaminati (zootecnico ed agrario) ha portato alla realizzazione di una carta della resistenza a livello comunale, per le colture a vite, olivo e grano. La modalità di elaborazione si basa anche in questo caso sull'applicazione della teoria Dempster-Shafer; la differenza sostanziale con la carta di resilienza definita per il comparto zootecnico, è da ricondurre al fatto che questa rappresenta il grado di credenza e non la resilienza

espressa in termini possibilistici. Ciò è dovuto all'assenza di una mappa della vulnerabilità per il settore agrario e pertanto all'impossibilità di realizzare un'aggregazione bayesiana tra le due linee di evidenza.

Le evidenze utilizzate per la definizione del grado di resilienza di ciascuna coltura sono state ricondotte da un lato alla vitalità imprenditoriale (come nel caso del settore zootecnico) e dall'altro alla specializzazione a livello comunale nella coltivazione della specie esaminata. Un elevato livello di specializzazione è infatti da intendersi, in questo caso, come sinonimo di flessibilità aziendale e capacità di reazione ad alterazioni ambientali e climatiche nello specifico.

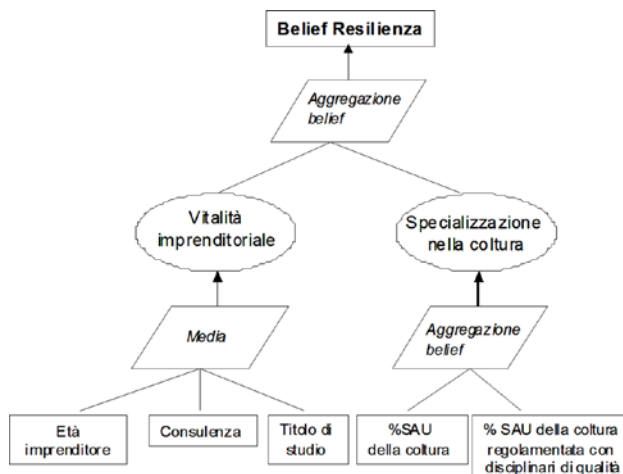
Le variabili utilizzate per l'elaborazione (riportate in Tab. 3) sono state aggregate secondo il modello illustrato in Fig. 4.

Ciascuna variabile è stata poi normalizzata secondo le funzioni illustrate in Tab. 4.

Relativamente al comparto agricolo, le valutazioni linguistiche sfocate degli esperti del settore (decisori) hanno portato alla definizione dei seguenti gradi di credenza:

Tabella 3. Evidenze per il settore agrario.

Evidenza	Dati di ingresso	Funzione di normalizzazione	Control points			
			a	b	c	d
Superficie coltivata → FRUMENTO	% di SAU a seminativi rispetto alla SAU comunale	Lineare crescente	0		100	
Superficie coltivata → VITE	% di SAU a vite rispetto alla SAU comunale	Lineare crescente	5		40	
Superficie coltivata → OLIVO	% di SAU a olivo rispetto alla SAU comunale	Lineare crescente	10		40	
Superficie con disciplinari di qualità → SEMINATIVI	% di SAU con disciplinare di qualità per i seminativi rispetto al totale di SAU a seminativi comunale	Lineare crescente	5		30	
Superficie con disciplinari di qualità → COLTURE LEGNOSE	% di SAU con disciplinare per le colture legnose di qualità rispetto al totale di SAU a colture legnose comunale	Lineare crescente	10		50	
Vitalità imprenditoriale	% di aziende con attività imprenditoriali dinamiche (imprenditori giovani, imprenditori con titolo di studio, presenza di consulenze aziendali) rispetto al totale delle aziende comunali	Lineare crescente	10		40	

Figura 4. Schematizzazione relativa alla definizione della linea di evidenza *resilienza* per il settore agricolo.Tabella 4. Esempificazione delle funzioni di *fuzzy logic* per le evidenze relative al settore agrario.

Evidenza	Dati di ingresso	Funzione di normalizzazione	Control points			
			a	b	c	d
Superficie coltivata → FRUMENTO	% di SAU a seminativi rispetto alla SAU comunale	Lineare crescente	0		100	
Superficie coltivata → VITE	% di SAU a vite rispetto alla SAU comunale	Lineare crescente	5		40	
Superficie coltivata → OLIVO	% di SAU a olivo rispetto alla SAU comunale	Lineare crescente	10		40	
Superficie con disciplinari di qualità → SEMINATIVI	% di SAU con disciplinare di qualità per i seminativi rispetto al totale di SAU a seminativi comunale	Lineare crescente	5		30	
Superficie con disciplinari di qualità → COLTURE LEGNOSE	% di SAU con disciplinare per le colture legnose di qualità rispetto al totale di SAU a colture legnose comunale	Lineare crescente	10		50	
Vitalità imprenditoriale	% di aziende con attività imprenditoriali dinamiche (imprenditori giovani, imprenditori con titolo di studio, presenza di consulenze aziendali) rispetto al totale delle aziende comunali	Lineare crescente	10		40	

- superficie coltivata: medio-basso;
- superficie con disciplinari di qualità: medio;
- vitalità imprenditoriale: medio-alto.

Ricordiamo come in questo caso, le variabili socio-economiche ed ambientali si riferiscono esclusivamente alla linea di evidenza della resilienza.

4. Stima del danno economico

Il danno economico per gli scenari futuri, è stato calcolato in funzione degli utili netti annui attuali e dei redditi lordi del processo produttivo aziendale, derivanti da ciascun settore produttivo, opportunamente pesati in base al grado di vulnerabilità, e valutati per ciascuna unità territoriale considerata (pixel o comune).

4.1 Settore zootecnico

Una volta applicata la metodologia Dempster-Shafer per determinare i livelli di vulnerabilità e resilienza del comparto zootecnico, si è proceduto alla quantificazione del danno economico conseguente a variazioni climatiche. In questo caso il danno economico al settore zootecnico regionale, è da intendersi come mancati redditi dovuti a variazioni della produttività pro-capite dei bovini da latte.

Per procedere alla stima del danno economico, è stato innanzitutto quantificato il numero totale di bovini presenti a livello comunale attraverso l'esame dei dati del V° Censimento dell'Agricoltura (ISTAT, 2000). L'esame dei dati censuari, non ha però permesso la definizione della tipologia produttiva (da latte, da carne ecc.); per cui, per stimare il numero di vacche da latte presente in ogni comune, sono state considerate le percentuali distributive riportate dall'IRPET (IRPET, Regione Toscana, ARSIA, 2008).

Sulla base delle statistiche regionali toscane, relative al periodo 1996-2000 (fonte: ius.regione.toscana.it/cif/pubblica/rca001304/indic1304.htm), sono state definite sia la produttività media annua di latte per capo, sia le spese medie annue necessarie per il mantenimento di un bovino da latte. Il ricavo annuo è stato quindi calcolato come prodotto tra la produttività annua dei singoli capi (quintali di latte/anno) ed il prezzo medio del latte (€/quintale) (AA.VV, 2008). L'utile annuo per capo di bestiame adulto è stato quindi calcolato come differenza tra i ricavi ottenuti e le spese di mantenimento dello stesso. Ovviamente, dal prodotto tra l'utile annuo per vacca da latte adulta ed il numero di vacche da latte presenti a livello comunale, è stato ottenuto l'utile aggregato per comune relativo all'anno 2007³.

³ L'anno di riferimento è stato convenzionalmente fissato al 2007, in quanto i dati climatici di partenza, utilizzati poi per la stima degli scenari futuri, facevano riferimento a tale anno.

L'ultima fase ha riguardato la definizione del danno economico totale per il settore zootecnico, aggregato a scala regionale. In questo caso, nel calcolo del danno non sono stati considerati i costi di mitigazione del rischio (es. creazioni di condizionamento nelle stalle, ecc.), in considerazione dell'ampia variabilità di interventi potenzialmente realizzabili e della difficoltà nel ricondurre gli effetti diretti degli stessi ad una diminuzione di vulnerabilità. In base a queste considerazioni il danno totale è stato quindi calcolato considerando i valori di utile come una serie di una annualità posticipate limitate. In particolare, il calcolo degli utili annui per gli scenari futuri, si è basato sulla correlazione di quello attuale (riferito al 2007) con i livelli di vulnerabilità al 2036, 2067 e 2099. Per ciascuna delle tre proiezioni ipotizzate, l'utile è stato quindi definito in funzione del complemento della vulnerabilità, secondo l'equazione 6.

$$\begin{aligned}
 VA_{2007-2099} &= \sum_{i=1}^{29} a_{2007}^* + \frac{a_{2007}^* - a_{2036}^*}{29} \cdot i \cdot q^{-i} \cdot q^{-1} + \\
 &\sum_{i=1}^{31} a_{2036}^* + \frac{a_{2036}^* - a_{2067}^*}{31} \cdot i \cdot q^{-i} \cdot q^{-29} + \\
 &\sum_{i=1}^{32} a_{2067}^* + \frac{a_{2067}^* - a_{2099}^*}{32} \cdot i \cdot q^{-i} \cdot q^{-60}
 \end{aligned} \tag{6}$$

È stato poi stimato il Valore Attuale, come accumulazione iniziale delle annualità medie di ogni periodo di riferimento (2007-2036, 2036-2067, 2067-2099). La somma dei Valori Attuali dei tre periodi di riferimento ($VA_{2007-2099}$), rappresenta i ricavi del settore zootecnico toscano (attualizzato al 2007) al netto delle riduzioni di reddito dovute alle variazioni climatiche (equazione 7).

$$DP = VA_{2007-2099}^* - VA_{2007-2099} = a_{2007}^* \cdot \frac{q^{2099-2007} - 1}{rq^{2099-2007}} - VA_{2007-2099} \tag{7}$$

Il danno economico zootecnico totale (o danno patrimoniale – DP) deriverà, in definitiva, dalla differenza tra il Valore Attuale ($VA_{2007-2099}^*$) della serie di annualità (a_{2007}^*) che si verificherebbero nel periodo 2007-2099 senza alterazione della produzione, ed il Valore Attuale ($VA_{2007-2099}$) della serie di annualità (a_{2007}) che si verificheranno nel periodo 2007-2099 con le alterazioni della produzione.

$$RL = PV - CV \tag{8}$$

4.2 *Coltivazioni erbacee ed arboree*

Per stimare i danni economici, sul settore delle produzioni vegetali⁴, originati dalle modificazioni climatiche, è stato fatto riferimento al Reddito Lordo del Processo Produttivo Aziendale. La scelta di utilizzare tale parametro è legata a due fattori: il primo, connesso al fatto che il Dipartimento di Scienze Agronomiche e Gestione del Territorio di Firenze – DISAT era stato in grado di definire modelli spaziali capaci di stimare, per gli scenari futuri (2036, 2067 e 2099), le variazioni delle rese produttive (q.li/ha) relative alle colture a frumento, vite e olivo, per cui risultava facilmente calcolabile la variazione di produzione lorda vendibile; il secondo, connesso al fatto che il Reddito Lordo del Processo Produttivo Aziendale rappresenta un parametro utilizzato anche nelle statistiche sulle strutture delle aziende agricole, condotte a livello europeo da Eurostat e a livello italiano da ISTAT, e quindi in grado di fornire risultati comparabili con altre fonti statistiche⁵.

Per procedere alla stima del danno è stato quindi necessario calcolare i redditi lordi generati dai processi produttivi delle colture a vite, olivo e cereali nel 2007, i relativi costi di produzione al 2007, e verificare le modificazioni indotte, su redditi e costi, dalle variazioni di resa, stimate dal DISAT, per gli scenari futuri.

Il reddito lordo del processo produttivo aziendale è stato quindi calcolato come differenza tra il valore monetario della produzione lorda dell'attività stessa e alcuni costi specifici, rappresentati nel nostro caso dai c.d. costi variabili (equazione 9).

$$RL = PV - CV \quad (9)$$

dove:

RL = reddito lordo

PV = produzione vendibile

CV = costi variabili

La produzione lorda, a sua volta, è stata calcolata come prodotto tra la resa (produzione fisica unitaria – q.li/ha) ed il valore unitario della produzione lorda totale (€/q.le), ovvero, il valore del prodotto principale e/o di quello trasformato, dei sottoprodotti e delle integrazioni comunitarie.

Nel caso specifico infatti, la produzione lorda comprende anche l'importo di tutti i contributi comunitari di cui ha beneficiato l'azienda, per la coltura in oggetto. Questo sia in riferimento ai regolamenti che disciplinano le OCM (Organizzazione Comune di Mercato) di settore che a quanto previsto dal Reg. CEE 2078/92

⁴ Limitatamente alle produzioni di frumento, vino e olio.

⁵ In realtà sia Eurostat che l'ISTAT fanno riferimento al concetto di Reddito Lordo Standard, ovvero, un parametro utilizzato per determinare la dimensione economica delle aziende agricole, espressa in termini di Unità di Dimensione Europea (UDE). I RLS sono riferiti ad un periodo temporale di tre anni e vengono calcolati su base regionale sulla base dei dati empirici rilevati direttamente presso le aziende.

per l'agricoltura a ridotto impatto ambientale e dalla misura agroambientale del Piano di Sviluppo Rurale della Regione Toscana.

Alla produzione lorda, calcolata come sopra specificato, sono stati detratti i costi variabili (equazione 8), ovvero i costi connessi a interessi sul capitale di anticipazione, alla remunerazione dei lavoratori avventizi e alle spese per l'acquisto di fattori a logorio totale (che esauriscono cioè il loro effetto nel corso dell'annata agraria), che nel caso delle produzioni vegetali, sono rappresentate da:

- sementi e materiale di moltiplicazione (acquistati o prodotti in azienda);
- concimi comprati;
- prodotti di protezione delle colture (fitofarmaci);
- spese varie specifiche, comprendenti:
 - il costo dell'acqua per l'irrigazione;
 - le spese di riscaldamento;
 - le spese di essiccazione;
 - le spese di commercializzazione (ad esempio cernita, pulitura, imballaggio, ecc.) e di trasformazione;
 - le spese di assicurazione;
 - gli altri costi specifici.

Il calcolo del Reddito Lordo del Processo Produttivo Aziendale ha dovuto tener conto dei diversi contesti produttivi e delle diverse qualità dei prodotti realizzabili in Toscana. Non è infatti ipotizzabile attribuire un unico prezzo di mercato al prodotto vino toscano, in quanto esso ha una elevata eterogeneità qualitativa legata al contesto in cui viene prodotto, al vitigno utilizzato, alle tecniche agronomiche e di trasformazione. Parimenti, non è ipotizzabile considerare gli stessi costi produttivi per vini come il Brunello di Montalcino o il vino da tavola, che subiscono trattamenti e affinamenti estremamente diversificati, quali l'invecchiamento in botti, l'affinamento in bottiglia, ecc.

Per tale ragione, per giungere ad una stima rappresentativa dei parametri (prezzo e costi variabili unitari) è stato quindi fatto riferimento all'archivio informatico dei redditi delle aziende agrarie toscane realizzato da ARSIA, nell'ambito della collana "Informazioni Statistiche" curata dal Settore Statistica della Regione Toscana.

Esso è costituito da dati rilevati nelle aziende agricole toscane appartenenti alla Rete d'informazione contabile agraria (RICA), gestita congiuntamente dalla Regione Toscana, dall'ARSIA e dall'INEA grazie ad uno specifico protocollo d'intesa in attuazione di Regolamenti comunitari e disposizioni nazionali. Le rilevazioni, fanno riferimento ad un campione costante di 6.644 aziende rilevate nel periodo 1998-2006 per azienda-processo-tecnica, da cui è stato ricavato un database con costi e redditi delle colture agricole toscane per il periodo 1998-2006.

L'archivio raccoglie i dati relativi a 55 processi produttivi diversificati in relazione alla provincia, al comune, alla zona altimetrica (pianura, collina e montagna), alla tecnica di coltivazione (convenzionale, integrata e biologica), ecc.

Nel caso specifico, i dati utilizzati sono stati quelli relativi al solo anno 2006, ovvero quello più prossimo all'anno di riferimento del nostro studio (2007).

Sulla base dell'archivio "costi e redditi delle colture agricole toscane per il periodo 1998-2006" sono stati quindi individuati i seguenti parametri:

- Valore unitario della produzione lorda totale (€/q.le): rappresenta la sommatoria dei valori del prodotto principale e/o di quello trasformato, dei sottoprodotti e delle integrazioni comunitarie, divisi per la resa standard ad ettaro (q.li/ha) di ogni specifico contesto territoriale;
- Costi variabili unitari (€/q.le): rappresentano la sommatoria di tutti gli oneri sostenuti per i mezzi tecnici a logorio totale (che esauriscono cioè il loro effetto nel corso dell'annata agraria) e per l'impiego di manodopera avventizia, divisi per la resa standard ad ettaro (q.li/ha) di ogni specifico contesto territoriale.

Tali parametri sono stati individuati per le seguenti colture:

- Frumento;
- Oliveto;
- Vigneto per la produzione di vino area Chianti Classico;
- Vigneto per la produzione di vino area Chianti;
- Vigneto per la produzione di vino area Montalcino;
- Vigneto per la produzione di vino da tavola;
- Vigneto per la produzione di altri DOC e DOCG.

Essendo l'archivio dei costi e dei redditi delle colture agricole toscane differenziato in relazione al contesto territoriale (provincia, comune ed area altimetrica) è stato possibile differenziare i costi delle colture cerealicole e dell'olivo, in relazione a 30 zone omogenee, ovvero, le aree di pianura, collina e montagna delle 10 province toscane (Fig. 5).

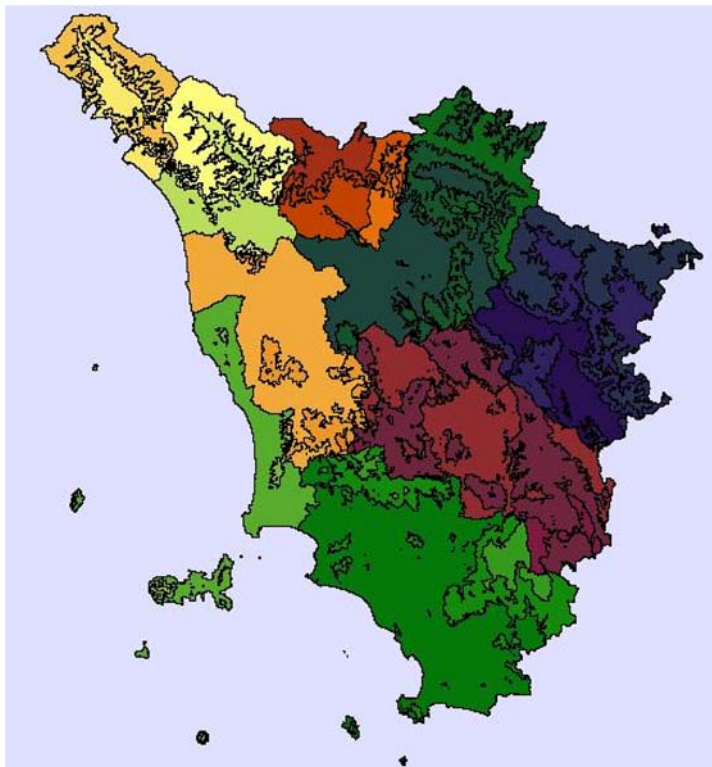
Tale suddivisione è stata poi ulteriormente affinata nel caso della coltura a vite, considerando, oltre le 30 aree suddette, anche le aree di pertinenza delle diverse denominazione di origine (Chianti Classico, Brunello, ecc.).

Poiché la presenza di una DOC in una determinata area, non esclude necessariamente la presenza delle altre denominazione di origine⁶, è stato quindi considerato anche il contributo percentuale che ciascuna tipologia produttiva ha nei vari comuni. Per fare questo, si è proceduto ad una analisi dei dati censuari relativi al V° Censimento dell'agricoltura del 2000. Il Censimento classifica infatti le superfici viticole delle singole aziende secondo le seguenti tipologie:

- Vite totale a DOC;
- Vite totale a DOCG;
- Vigneti normali;
- Uva da tavola.

⁶ Per cui, all'interno dello stesso comune trovo ad esempio, la produzione di Chianti Classico, vino da tavola e altri DOC o DOCG.

Figura 5. Aree agricole omogenee considerate per frumento e olivo.



Con tale ripartizione percentuale, esaminata per singolo comune, è stato possibile individuare i contributi percentuali delle diverse tipologie di prodotto vitivinicolo. L'archivio è stato infine, ulteriormente implementato con la rilevazione diretta di alcune DOC e DOCG di alta gamma come il Brunello di Montalcino ed il Chianti Classico.

Prima di procedere al calcolo dei redditi lordi dei processi produttivi aziendali, è stato necessario identificare le aree in produzione per le tre colture esaminate. Per questo è stato fatto riferimento alle cartografie di uso del suolo relative al Corine Land Cover (CLC) di IV livello del 2000.

Le superfici classificate dal Corine Land Cover sono state attribuite alle diverse tipologie culturali, secondo lo schema rappresentato in Tab. 5:

È evidente che, nel caso del frumento, sia plausibile una sovrastima degli effetti specificatamente legati a tale coltura, poiché è stato ipotizzato che tutti i terreni classificati come seminativi vengano coltivati a frumento. Per contro, possiamo però affermare che è comunque una stima del danno procurabile alla totalità delle colture erbacee della Toscana. Nel caso invece delle colture arboree agrarie, si tratta di una sottostima delle superfici potenzialmente coinvolte nel processo di cambiamento climatico che si verificherà a livello regionale. In questo caso infatti, non

Tabella 5. Attribuzione tipologie colturali.

Classe di uso del suolo Corine Land Cover	Classe di uso del suolo per lo studio
2.1.1. Seminativi in aree non irrigue	Superfici a frumento
2.1.2. Seminativi in aree irrigue	
2.2.3. Oliveti	Superfici ad oliveto
2.2.1. Vigneti	Superfici a vigneto

è stato possibile considerare le superfici a vigneto e oliveto che sul CLC risultano incluse in classi di uso del suolo eterogenee; è questo il caso delle “zone agricole eterogenee” con colture temporanee associate a colture permanenti, dei “sistemi colturali e particellari complessi” e delle “aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti”.

L’ultima fase ha riguardato la definizione del danno economico totale per il settore produzioni vegetali, aggregato a scala regionale. Anche in questo caso, così come avvenuto per il settore zootecnico, il calcolo del danno non ha preso in considerazione la valutazione dei costi di mitigazione del rischio (es. sistemi di irrigazione a goccia, ecc.). In base a queste considerazioni il danno totale è stato calcolato con lo stesso procedimento del comparto zootecnico, espresso dall’equazione 8. Così come per il settore zootecnico, i valori del reddito lordo del processo produttivo aziendale rappresentano un valore annuo e andranno pertanto trattati come annualità posticipate limitate.

5. Risultati

5.1 Settore zootecnico

L’aggregazione delle linee di evidenza ha permesso di quantificare con dettaglio comunale, il grado di vulnerabilità, resilienza ed incertezza del settore zootecnico per gli scenari relativi agli anni 2036, 2067 e 2099. I risultati sono illustrati nelle Figg. 6, 7 e 8.

L’analisi dei risultati relativi alla vulnerabilità e resilienza, sottolinea che i parametri che condizionano maggiormente gli impatti sul settore zootecnico conseguenti a eventi climatici, sono riconducibili alla presenza di prati e pascoli permanenti, che possono incrementare la differenziazione intra-aziendale e quindi il grado di resistenza, ed al grado di specializzazione produttiva dell’azienda, che diminuisce il livello di flessibilità gestionale nel caso di cambiamenti ambientali.

Le variazioni dei parametri climatici che si verificano nel periodo 2036-2067, pur rappresentando i fattori che influenzano maggiormente il livello di rischio, non determinano valori di vulnerabilità particolarmente alti; l’incremento di temperatura che si manifesta nel terzo scenario (dal 2068 al 2099), fa invece aumentare il grado di vulnerabilità regionale in maniera considerevole.

Figura 6. Vulnerabilità, resilienza ed incertezza per il settore zootecnico al 2036.

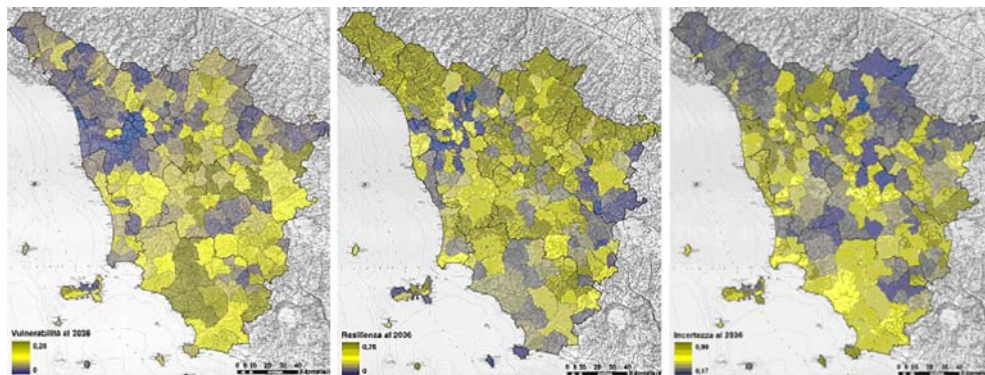


Figura 7. Vulnerabilità, resilienza ed incertezza per il settore zootecnico al 2067.

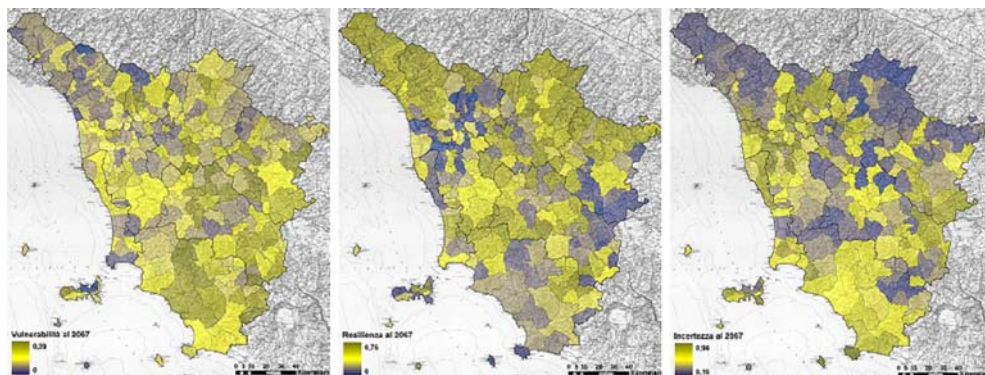
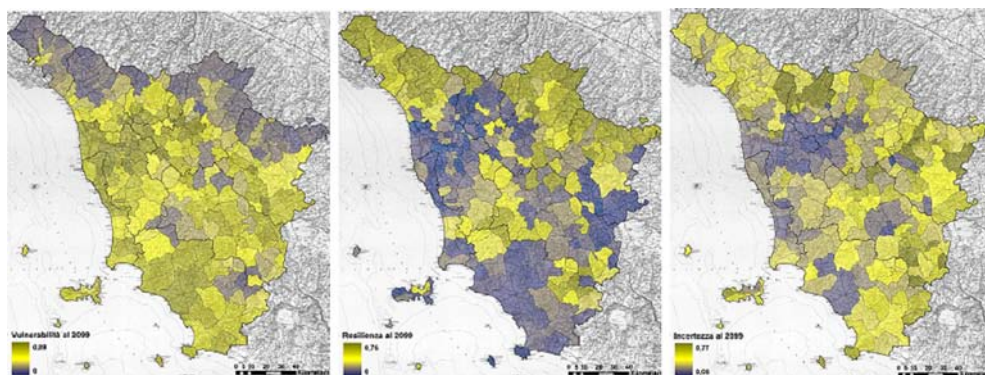
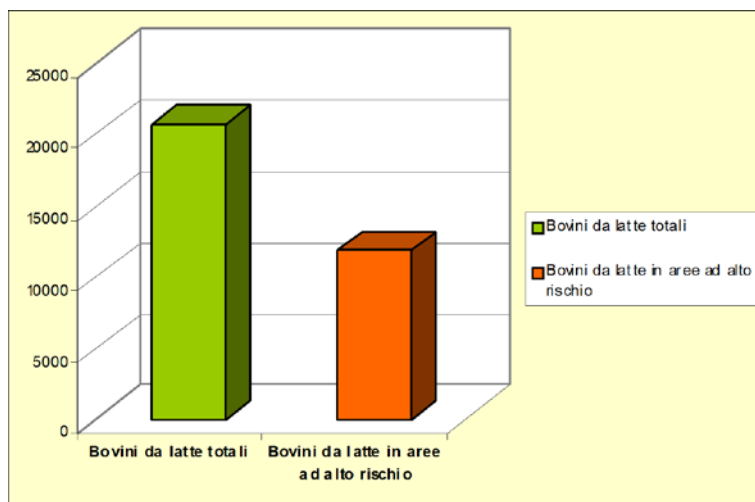


Figura 8. Vulnerabilità, resilienza ed incertezza per il settore zootecnico al 2099.



Il numero di bovini da latte presenti nei comuni ad alta vulnerabilità⁷, al 2099, è rappresentato in Fig. 9.

Figura 9. Confronto tra il totale dei bovini da latte attuali e quelli potenzialmente ricadenti in comuni ad alta vulnerabilità al 2099.



Dall'esame della figura 9 è possibile constatare che il numero di capi da latte che possono ricadere in aree con elevate problematiche legate alle variazioni climatiche, corrisponda al 57% del totale. Il corrispondente danno economico che si verificherà, nel periodo 2007-2099, per effetto della riduzione di produzione di latte bovino, è stimabile in 20.082.474 € (Fig. 10).

5.2 Coltivazioni erbacee ed arboree

L'analisi dei risultati relativi al livello di credenza per la resilienza aggregata a livello comunale, evidenzia, per il frumento, che i parametri maggiormente influenti sono rappresentati dal rapporto tra superficie della coltura e la SAU comunale e dalla vitalità imprenditoriale. Nel caso delle colture arboree agrarie, vite e olivo, assume invece particolare rilevanza la presenza di superfici con disciplinare di qualità. Se osserviamo la distribuzione territoriale dei risultati relativi all'aggregazione Dempster-Shafer (per la linea di evidenza connessa alla resilienza del settore agrario) vediamo che essa si differenzia in relazione alla tipologia culturale (Fig. 11).

Il reddito lordo dei processi produttivi aziendali, esaminato nella sua distribuzione territoriale, è illustrato in Fig. 12. La stima del danno patrimoniale che si veri-

⁷ In questo caso sono definiti ad alta vulnerabilità i comuni che presentano un livello di rischio superiore a 0,5.

Figura 10. Danno economico totale per il settore zootecnico.

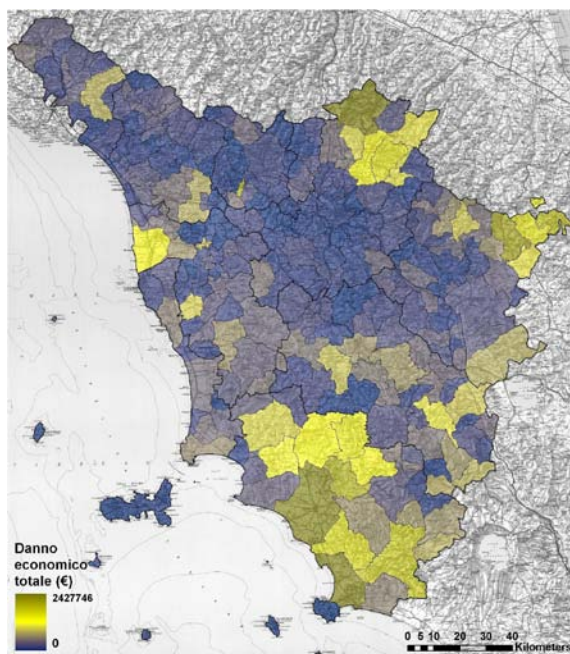
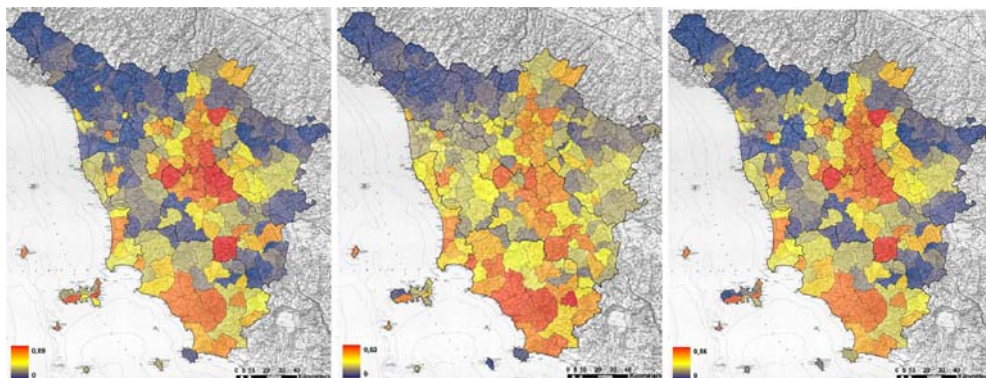


Figura 11. Livello di credenza per la resilienza del settore agrario. Da sinistra a destra: seminativi, vite e olivo.



ficherà nel periodo 2007-2009 sulle colture a frumento, vite e olivo (Tab. 6), evidenzia che l'effetto maggiore è soprattutto legato al settore vitivinicolo ed alle produzioni di qualità. In questo caso, infatti, i danni maggiori si hanno nell'area del Chianti Classico, dove è possibile stimare un danno di circa 220 milioni di euro, cui seguono le superfici vitivinicole con altri DOC e DOCG, con circa 122 milioni di euro, e l'area di Montalcino con oltre 107 milioni di euro. Il settore vitivinicolo, nel suo complesso,

subirà nel periodo 2007-2099, danni patrimoniali per oltre 490 milioni di euro (Tab. 6). A questi danni si aggiungeranno quelli sul settore cerealicolo e oleario, con rispettivamente quasi 59 milioni di euro e oltre 300 milioni di euro (Tab. 7).

Il danno complessivo al settore ammonterà ad oltre 853 milioni di euro (Tab. 7).

Tabella 6. Danni patrimoniali sulle colture vitivinicole conseguenti ai cambiamenti climatici

	Periodo e scenario	Tipologia colturale				Totale vino
		Vino area Chianti Classico	Vino area Montalcino	Vino di altri DOC e DOCG	Vino da tavola	
Danno patrimoniale € (valori attualizzati al 2007)	Periodo 2007-2036	-74,426,567	-39,095,193	-45,661,853	-15,696,571	-174,880,185
	Periodo 2036-2067	-91,050,984	-43,425,246	-48,827,483	-16,628,311	-199,932,025
	Periodo 2067-2099	-54,352,163	-24,893,790	-27,687,537	-9,783,912	-116,717,402
	Danno totale €	-219,829,714	-107,414,230	-122,176,874	-42,108,794	-491,529,612
Superfici con riduzione di reddito (ha)	Scenario 2036	6,256	1,056	14,082	21,510	
	Scenario 2067	6,256	1,056	14,340	21,047	
	Scenario 2099	6,256	1,056	15,010	21,809	
Superfici con incremento di reddito (ha)	Scenario 2036	0	0	1,962	1,481	
	Scenario 2067	0	0	1,704	1,943	
	Scenario 2099	0	0	1,034	1,181	

Tabella 7. Danni patrimoniali sulle colture a frumento, vite e olivo conseguenti ai cambiamenti climatici

	Periodo e scenario	Tipologia colturale			Totale
		frumento	olivo	Totale vino	
Danno patrimoniale € (valori attualizzati al 2007)	Periodo 2007-2036	-14,822,088	-123,853,796	-174,880,185	-313,556,069
	Periodo 2036-2067	-21,360,689	-94,824,537	-199,932,025	-316,117,251
	Periodo 2067-2099	-22,699,020	-84,109,307	-116,717,402	-223,525,729
	Danno totale €	-58,881,797	-302,787,640	-491,529,612	-853,199,049
Superfici con riduzione di reddito (ha)	Scenario 2036	339,524	165		
	Scenario 2067	345,939	2,106		
	Scenario 2099	438,335	0		
Superfici con incremento di reddito (ha)	Scenario 2036	98,904	165		
	Scenario 2067	92,479	2,106		
	Scenario 2099	82	0		

Figura 12. Reddito lordo dei processi produttivi aziendali relativi al 2007 (€/pixel).

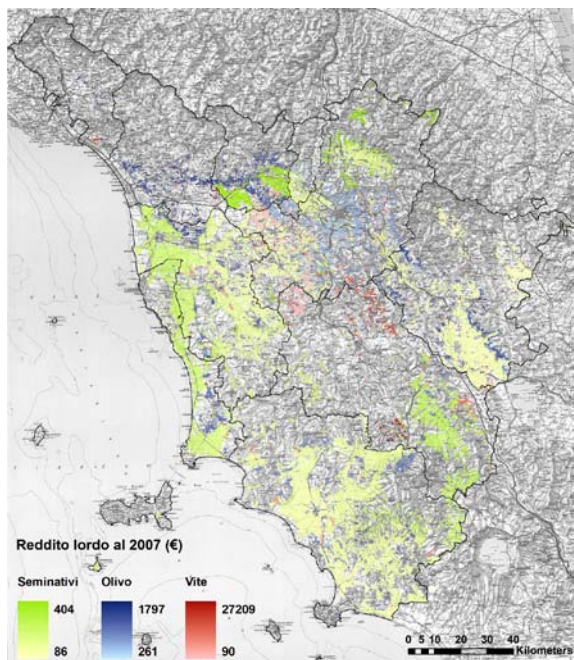
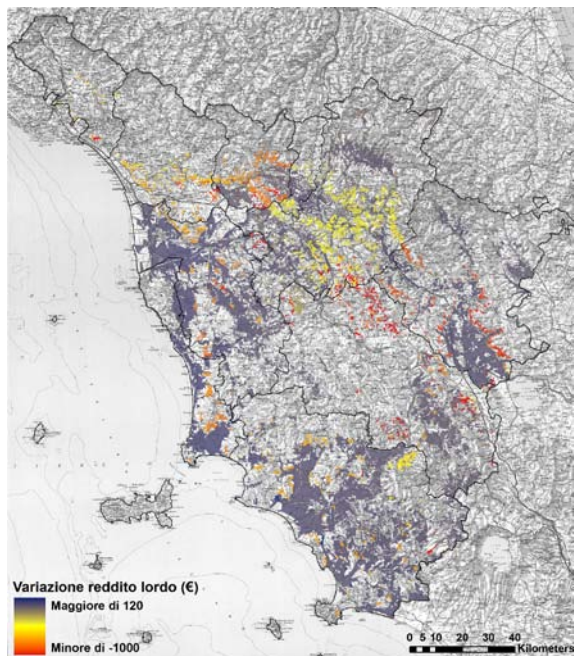


Figura 13. Variazione del Reddito lordo del processo produttivo aziendale nel periodo 2007-2009 (€/pixel).



La riduzione dei redditi lordi, relativa ai diversi contesti territoriali, è illustrata in Fig. 13.

Se esaminiamo le superfici che, per effetto delle modificazioni climatiche subiranno alterazioni dei redditi lordi (Tabb. 6 e 7), osserviamo che inizialmente, su alcuni contesti specifici, si possono verificare incrementi della redditività, conseguenti ad un incremento della resa; ma tale fenomeno, nel lungo periodo, tenderà ad annullarsi.

6. Conclusioni

Il presente studio, ha trattato il problema della quantificazione dei danni economici nel settore agricolo per effetto delle modificazioni climatiche. Gli scenari futuri, identificati con il supporto di modelli di circolazione atmosferica (AA.VV., 2009), hanno infatti evidenziato alterazioni significative per il contesto regionale toscano. La stima dei possibili effetti economici rilevanti, sviluppata con il presente studio, permetterà quindi l'identificazione di possibili azioni di mitigazione da attuare nel medio periodo (scelta di specie termoresistenti, introduzione di sistemi di condizionamento, ecc.). In particolare, sarà possibile valutare azioni di mitigazione per il comparto zootecnico e per le coltivazioni olivicole, vitivinicole e cerealicole della Toscana, grazie alla quantificazione dei relativi danni patrimoniali ed alla individuazione della loro distribuzione territoriale.

I risultati ottenuti dall'applicazione hanno dimostrato che l'approccio congiunto della logica sfocata, per la valutazione dell'incertezza derivante dalla definizione degli effetti quantitativi dei singoli fattori, unitamente all'approccio teorico di Dempster-Shafer, per la valutazione del peso dei singoli fattori e delle relative sinergie, è stato in grado di valorizzare le informazioni disponibili, derivate anche da fonti non omogenee e qualitativamente diverse, conservando il margine di incertezza insito nella loro origine. Inoltre, la metodologia proposta consente di ottenere più livelli di informazione: il rischio di danno, suddiviso nei parametri di vulnerabilità e di resilienza di ciascun sistema, ed il danno economico a livello di produzione, di reddito e di valor capitale.

L'impiego di metodologie basate sull'analisi spaziale georeferenziata, infine, ha permesso la localizzazione delle aree più vulnerabili o più resilienti e l'individuazione delle superfici a maggior rischio.

Per contro è stato possibile riscontrare i seguenti punti di debolezza, ovvero: una generale sottostima del reale danno, soprattutto per le produzioni a basso reddito. Il metodo valuta infatti solo il danno economico, benché il modello di Dempster-Shafer possa essere applicato anche per la valutazione monetaria dei danni sociali ed ambientali. A ciò si aggiunge una staticità della valutazione, poiché non è stata considerata la possibilità di modifica, anche con espansione, dell'areale di determinate colture, soprattutto legnose agrarie come l'olivo. L'introduzione di una valutazione dinamica, comporterebbe infatti l'individuazione di nuovi equilibri di mercato fra offerta (aumentata) e domanda, in un quadro qualitativo complesso da determinare in un orizzonte temporale così lungo.

In conclusione, il dettaglio informativo ottenuto sembra sufficiente per poter impostare politiche efficienti di monitoraggio e di interventi di mitigazione del danno economico da cambiamento climatico. Saranno però necessari ulteriori sviluppi teorici e metodologici della ricerca nelle seguenti direzioni: da un lato, lo sviluppo di valutazioni monetarie dei danni sociali e ambientali, ampliando tali aspetti valutativi anche per il settore forestale; e dall'altro lato, implementando anche una valutazione dell'impatto ambientale e sociale in termini non economici per le diverse funzioni del sistema agroforestale, ovvero, per il paesaggio, per il mosaico ecologico, l'occupazione, ecc.

Bibliografia

- AA.VV., (2008). Dimensione Agricoltura, periodico della Confederazione Italiana Agricoltori, Anno XVIII n. 7/8 Luglio-Agosto 2008. <http://agriturismodifrontiera.eu/dimensioneagricoltura/luglio-agosto-2008>
- AA.VV., (2009). Manuale descrittivo progetto "Cambiamenti cLimatici e impatto sul sistema AgRI-colo-forestale toscanO" – CLARINO, ARSIA, Regione Toscana.
- Ackerman, F., Stanton, E., (2006). Impacts of Europe's changing climate: An indicator-based assessment. EEA Report No 2/2004; Climate Change – the Costs of Inaction.
- Bentabet, L., Zhu, Y.M., Kaftdandjian, V., Babot, D., Massand Rombaut, D.M., (2000). Use of fuzzy clustering for determining functions in Dempster-Shafer theory. Signal Processing Proceedings, WCCCsICSP 2000.
- Bernetti, I., Romano, S., (2007). Economia delle risorse forestali. Liguori editore, Napoli.
- Blennow, K., Sallnäs, O., (2005). Decision support for active risk management in sustainable forestry. *Journal of Sustainable Forestry* 21 (2-3), pp. 199-210.
- Borchers, J.G., (2005). Accepting uncertainty, assessing risk: decision quality in managing wildfire, forest resource values, and new technology. *Forestry Ecology and Management* 211, pp. 26-46.
- Bracker, H., (1996). Utilisation de la theorie de Dempster-Shafer pour la classification d'images satellitaires: l'aide de donnees multi-sources et multi-temporelles. Rennes I., p. 178.
- Brooks, N., Adger, W.N., Kelly, P.M., (2005). The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. *Global Environment Change* 15, pp. 151-163.
- Chen Shu-Jen, Hwang Chin-Lai, (1992). Fuzzy multiple attribute decision making. Springer Verlag.
- Ching-Hsue Cheng, (1999). A simple fuzzy group decision making method. *Fuzzy Systems Conference Proceedings, FUZZ-IEEE, Volume 2*, pp. 910-915.
- Dessai, S., Hulme, M., (2003). Does climate policy need probabilities? Tyndall Centre Working paper 34.
- Dezert, J., 2002. Foundations for a new theory of plausible and paradoxical reasoning. *Information and Security* 9, pp. 90-95.
- Downing, T., Watkiss, P., (2003). Overview: The Marginal Social Cost of Carbon in Policy Making: Applications, Uncertainty, and a Possible Risk Based Approach. DEFRA International Seminar on the Social Costs of Carbon.
- Ford, J.D., Smit, B., (2004). A framework for assessing the vulnerability of communities in the Canadian Arctic to risks associated with climate change. *Arctic* 57 (4), pp. 389-400.
- H'egar-Masclé, S., Richard, D., Ottlè, C., (2003). Multi-scale data fusion using Dempster-Shafer evidence theory. *Integrated Computer-Aided Engineering* 10, pp. 9-22.
- Hall, F., Fu, G., Lawry, J., (2007). Imprecise probabilities of climate change: aggregation of fuzzy scenarios. *Climatic Change* 81, pp. 265-281.

- Hollenstein, K., (2001). Risk analysis as a tool for policy evaluation: a multi-level comparison example. *Risk Analysis in Forest Management*, Kluwer Academic Press, The Netherlands, pp. 75-112.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, (1998). *The Regional Impacts of Climate Change: An Assessment of Vulnerability*. Cambridge University Press, New York.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, (2000). *Special Report on Emissions Scenarios*. Cambridge University Press, New York, p. 599.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, (2007). *Climate Change 2007*. Cambridge University Press, New York.
- IRPET, Regione Toscana, (2008). 10° rapporto Economia e politiche rurali in Toscana. Supplemento di Agrisole.
- ISTAT, 2000. V° Censimento dell'Agricoltura. Disponibile su: www.istat.it
- Ki Min, S., Simonis, D., Hense, A., (2007). Probabilistic climate change predictions applying Bayesian model averaging. *Phil. Trans. R. Soc. A* (2007) 365, pp. 2103-2116.
- Lee, T., Richards, J.A., Swain, P.H., (1987). Probabilistic and Evidential Approaches for Multisource data Analysis. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Volume 25, pp. 283-293.
- Lou, W.B., Caselton, W., (1997). Using Dempster-Shafer theory to represent climate change uncertainties. *Journal of Environmental Management* 49, pp. 73-93.
- Luers, A.L., (2005). The surface of vulnerability: an analytical framework for examining environmental change. *Global Environmental Change* 15, pp. 214-223.
- O'Laughlin, J., (2005). Conceptual model for comparative ecological risk assessment of wildfire effects on fish, with and without hazardous fuel treatment. *Forest Ecology and Management* 211, pp. 59-72.
- Ohlson, D.W., McKinnon, G.A., Hirsch, K.G., (2005). A structured decision-making approach to climate change adaptation in the forest sector. *Forestry Chronicle* 81 (1), pp. 97-103.
- Shafer, G., (1976). *A mathematical theory of evidence*. Princeton University, Princeton.
- Turner, B.L., Kasperson, R.E., Matson, P.A., McCarthy, J.J., Corell, R.W., Christensen, L., Eckley, N., Kasperson, J.X., Luers, A., Martello, M.L., Polsky, C., Pulsipher, A., Schiller, A., (2003). A framework for vulnerability analysis in sustainable science. *Proceedings of National Academic Sciences* 100 (14), pp. 8074-8079.
- Verikas, A., Malmqvist, K., Bacauskiene, M., (2000). Combining Neural Networks, Fuzzy Sets, and Evidence Theory Based Approaches for Analysing Colour Images. *Proceedings of the IEEE-INNS-ENNS International Joint Conference on Neural Network*.
- von Gadow, K., (2001). *Risk Analysis in Forest Management*. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.
- Weiss, G., (2001). Administrating risk: a social science perspective on natural hazard prevention based on an Austrian case study. *Risk Analysis in Forest Management*, Kluwer Academic Press, The Netherlands, pp. 171-200.
- Wuben, B.L., Caselton, B., (1997). Using Dempster-Shafer Theory to Represent Climate Change Uncertainties *Journal of Environmental Management* 49, pp. 73-93
- Zadeh, L.A., Fuzzy Sets, (1987). In: Yager R. R., Ovchinnikov, S., Tong, R.M., Nguyen, H.T. (eds) *Fuzzy Sets and Applications: Selected Papers by L. A. Zadeh*. New York, John Wiley and Sons, pp. 29-44.

Siti internet consultati:

www.arsia.toscana.it

<http://agriturismodifrontiera.eu/dimensioneagricoltura/luglio-agosto-2008>

www.eea.europa.eu

<http://ius.regione.toscana.it>