

Iacopo Bernetti
Claudio Fagarazzi

Dipartimento di Economia Agraria
e delle Risorse Territoriali
e-mail: ibernetti@unifi.it
cfagarazzi@unifi.it

L'impiego dei modelli multicriteriali geografici nella pianificazione territoriale *

The present paper describes a basic analytic methodology able to evaluate the territorial development potentials and to solve contingent conflicts originated by alternative uses of resources.

The study analyses first of all the theoretical bases linked to territorial planning, secondly it thoroughly develops a methodological approach based on the principles of *ecological economics*. The approach that best integrates with the basic principles of such subject is the geographic multicriterial analysis. In particular, the application of a multicriterial analysis, based on the Ordered Weighted Average (OWA) aggregation operator, has introduced a technique of constant control of the *trade-off* present among the involved variables.

In relation to the specific territorial characteristics we evaluated four potential guiding lines of development linked to the following sectors: agricultural, industrial-trade, touristic and residential, that we confronted with two evaluations related to sensitive environmental components: the ecological-naturalistic value and the water regulation.

Parole chiave: *Pianificazione
territoriale, valutazione
multicriteriale geografica, ecological
economics*

1. Introduzione

Le esigenze di una nuova pianificazione territoriale, integrata e basata sullo sviluppo locale sostenibile, impongono una stretta relazione fra assetto territoriale e processi produttivi. Infatti, secondo i recenti indirizzi teorici gli obiettivi della pianificazione territoriale possono essere così sintetizzati (Conti 1996, Oneto 1997, Bernetti et al. 2002).

- Valorizzare il potenziale endogeno territoriale (produttivo, naturale e culturale) per la attivazione dello sviluppo locale.
- Elevare la qualità della vita degli abitanti, garantendo ovunque sul territorio opportunità di promozione economica e sociale nel rispetto delle tradizioni culturali.
- Identificare e risolvere i conflitti fra attività produttive e salvaguardia dell'ambiente naturale e dei caratteri storici e culturali della popolazione locale.

* Nonostante il lavoro debba considerarsi frutto della collaborazione dei due autori, è possibile riconoscere il contributo del prof. Bernetti nella impostazione generale del lavoro e nella stesura dei capp. 1, 2.2, 2.3, 3.1, 3.4, e 5; mentre è possibile indicare il contributo del dott. Fagarazzi nella stesura dei capp. 2.1, 3.2, 3.3 e 4. Si ringrazia il laboratorio del Corso di Laurea in Urbanistica e Pianificazione Territoriale e Ambientale dell'Università degli Studi di Firenze (sede decentrata di Empoli) per i database forniti agli autori.

- A livello normativo, la legge 149/1990 ha demandato alle regioni, attraverso il Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale ed i Programmi pluriennali generali e settoriali le competenze di carattere maggiormente operativo in termini di pianificazione del territorio. Infatti il piano provinciale si configurava come il luogo di possibile ricomposizione, in un approccio olistico, delle pianificazioni settoriali, soprattutto per quei settori (sviluppo agricolo, salvaguardia dell'ambiente, dissesto idrogeologico) che mal si prestavano ad una analisi su scala regionale o comunale. A 12 anni dalla promulgazione della legge, si può affermare che gli enti provinciali non sono riusciti ad attuare una ricomposizione veramente integrata delle pianificazioni settoriali all'interno dei PTCP (Avarello 2001). Gli stessi Sistemi Informativi Territoriali, che costituiscono quasi sempre il maggior vanto dei piani provinciali, sono (nel migliore dei casi) ricchi di dati descrittivi sui diversi settori, ma mancano di un qualsiasi modello interpretativo di sintesi. Ciò può essere imputato alla mancanza di un approccio che valuti, con dettaglio territoriale geografico, la potenzialità del territorio per uno sviluppo integrato, considerando, valutando e prevenendo i possibili conflitti con la conservazione delle risorse naturali e culturali.

Ciò premesso, obbiettivo del lavoro è lo studio di una metodologia di base per l'analisi delle potenzialità in termini di sviluppo locale del territorio e la risoluzione dei conflitti che possono derivare dall'uso delle risorse naturali in esso contenute. Per raggiungere tale obbiettivo il lavoro si è sviluppato attraverso le seguenti fasi. Innanzitutto si sono analizzate le basi teoriche della pianificazione territoriale, con particolare riguardo alle recenti proposte della *ecological economics*, delle teorie regionali dello sviluppo e della *landscape ecology*. L'approccio che meglio si adattava alla integrazione dei principi di queste discipline è risultata l'analisi multicriteriale geografica. Il lavoro si è quindi sviluppato attraverso l'applicazione ad una specifica realtà territoriale sovracomunale di una metodologia di valutazione multicriteriale geografica finalizzata all'analisi ed alla gestione delle problematiche di sviluppo integrato dal basso sostenibile con la conservazione dell'ambiente e delle caratteristiche culturali e a paesaggistiche del territorio. Allo scopo si è cercato di individuare una realtà territoriale, quella del circondario Empolese-Valdelsa, sufficientemente ampia e rappresentativa di tutte le problematiche coinvolte.

2. Base teorica e metodologica

Aspetti teorici

Il concetto di territorio nella teoria economica comprende una pluralità di significati. Dal punto di vista dell'economia dell'ambiente e dell'economia ecologica il territorio è visto come *habitat* per le specie selvatiche, come collegamento fra i sistemi idrologici, climatici e biologici e come sede di importanti servizi sociali, come la ricreazione all'aperto. Dal punto di vista dell'economia agraria il territorio rappresenta la sede delle attività produttive primarie ed è così caratterizzato dai suoi parametri agronomici, climatici, di posizione rispetto al mercato, ma anche di

qualità, tipicità e di tradizione (Polidori e Romano 1997). Parimenti, in termini di economia industriale e di economia dello sviluppo, il territorio è il luogo in cui si collocano fisicamente le imprese ed è studiato in termini di dotazione di infrastrutture, ma anche di specializzazione territoriale, attraverso i modelli di Sistema di Sviluppo e di Distretto Industriale (Conti 1996). Infine, secondo l'estimo urbano, il territorio influenza la distribuzione ed il valore degli immobili ad uso residenziale, commerciale e produttivo (Simonotti 1989).

Anche da questa breve disamina è facile rendersi conto come, proprio a causa della sua complessità e della sua omnicomprensività, il ruolo del territorio, la sua concettualizzazione e la ricerca di modelli interpretativi e normativi, sia considerevolmente cambiata nella teoria economica degli ultimi anni¹.

Il punto di svolta nella costruzione di una nuova concezione integrata dei problemi territoriali si è avuto con lo svilupparsi del concetto di *ecological economics* storicamente proposto da Costanza e Daily nell'ambito dell'*International Association of Ecological Economics*. Sinteticamente, i principi fondamentali che stanno alla base di questo nuovo approccio sono i seguenti. Innanzitutto viene riconosciuta la irriducibilità dell'ecologia e dell'economia; come scrive Conti: «Non si tratta dunque di integrare un sapere a un altro o di prefigurare la comparsa di una "nuova" disciplina, ma di proporre una linea di pensiero alternativa, che superi le divisioni fra saperi disciplinari» (Conti 1996, p. 495). Da ciò deriva una visione di co-evoluzione fra il sistema ambientale e quello socioeconomico, in cui i due soggetti si modificano reciprocamente co-evolvendo (o de-evolvendo) verso nuove forme e nuovi equilibri (o disequilibri) in modo interdipendente.

Dal punto di vista operativo, le due discipline che hanno maggiormente cercato di recepire i principi della *ecological economics* sono i cosiddetti approcci regionali allo sviluppo (dal lato dell'economia) e la *landscape ecology* (dal lato dell'ecologia).

La riflessione su possibili concezioni alternative di sviluppo iniziò a diffondersi agli inizi degli anni '70 con l'analisi di nuovi concetti quali l'ecosviluppo e l'influenza delle componenti ambientali sulla crescita economica (Meadows 1972). Friedman e Weaver hanno poi così sintetizzato tali riflessioni nel concetto di *sviluppo regionale territoriale*, nel quale si privilegiano strategie basate sull'attivazione dei cosiddetti fattori di sviluppo endogeni, puntando così a valorizzare il patrimonio ambientale, sociale e culturale come fonte di competitività e quindi di crescita economica (Friedman e Weaver 1979, Friedman 1992). Il concetto di sviluppo regionale in termini territoriali diviene quindi espressione di processi di sviluppo "autocentranti" e "dal basso" i quali si basano appunto sulla valorizzazione delle risorse regionali naturali e sociali.

La *landscape ecology* originatasi dalla interazione fra ecologia, geografia e pianificazione del territorio ha dato origine ad un approccio metodologico finalizzato ad integrare su base territoriale concetti tipici sia dell'ecologia che delle scienze

¹ Per una analisi approfondita del ruolo del territorio nella teoria economica si veda Hubacek e van den Bergh (2002).

sociali (Turner 1998). Secondo la *landscape ecology* su un ecosistema territoriale agiscono due ordini principali di meccanismi:

- cause naturali, quali le successioni ecologiche, i fenomeni naturali di lungo termine di (p.e. sedimentazione ed erosione) ed i fenomeni naturali di breve termine (incendi naturali, uragani, attacchi parassitari, ecc.);
- l'attività umana che tende a modificare il paesaggio e l'uso del suolo attraverso le attività agricole, produttive e insediative.

La *landscape ecology* consente quindi di integrare problematiche sociali ed economiche all'interno di modelli di evoluzione territoriale e può quindi essere di grande utilità pratica per la pianificazione dell'uso del suolo, della conservazione della biodiversità o per la gestione dei rischi ambientali (van den Bergh et al. 2001).

In conclusione, sia le teorie regionali dello sviluppo che la *landscape ecology* si caratterizzano per un approccio tipicamente territoriale e locale. I recenti sviluppi operativi che si sono avuti in questi settori consentono inoltre di applicare in modo congiunto questi due campi realizzando così i principi di base della *ecological economics*. Infatti negli ultimi anni si è assistito sia ad un incremento esponenziale delle informazioni disponibili all'interno dei Sistemi Informativi Territoriali e delle tecnologie di rilevamento sia allo sviluppo di nuove metodologie finalizzate all'applicazione operativa dei principi teorici illustrati.

Come evidenziato dalla letteratura (Funtowicz e Ravetz 1990, Colby 1991), la visione co-evolutiva proposta dalla *ecological economics* richiede l'inclusione di tutti i gruppi sociali localmente interessati nella definizione delle politiche di gestione ambientale e di sviluppo socio-economico. Data la complessità dei problemi coinvolti, questo implica generalmente la necessità di definire strategie di intervento all'interno di un quadro informativo complesso ed incerto. Per questi motivi l'*ecological economics* tende ad abbandonare le tradizionali ipotesi di massimizzazione e di ottimizzazione proprie della economia ambientale e dell'economia delle risorse, favorendo strategie di negoziazione e di costruzione del consenso perseguite principalmente attraverso il miglioramento del quadro informativo (Funtowicz e Ravetz 1990, 1991; Ozhanyak et al. 2002). L'approccio più promettente per affrontare tali problematiche sembra essere quello di definire dei *sets* di indicatori specifici per ogni problema all'interno dei principi precedentemente illustrati. La necessità di trattare *sets* complessi di indici multidimensionali nonché l'esigenza di adottare un approccio pluralistico e "partecipativo" sono le due principali ragioni che hanno portato l'*ecological economics* ad adottare prevalentemente modelli di analisi decisionale dei problemi ambientali basati su tecniche multicriteriali. L'analisi multicriteriale infatti rappresenta la famiglia di metodologie più appropriata per affrontare le problematiche relative ai potenziali conflitti fra sviluppo autocentrato delle attività produttive, e salvaguardia dell'ambiente naturale e dei caratteri storici e culturali della popolazione locale. Più in particolare, come puntualizza Martinez-Allier et al. (1998 p. 281) l'analisi multicriteriale più che risolvere tutti i possibili conflitti consente una indagine approfondita relativamente alla natura del contrasto, migliorando il quadro informativo e favorendo così una negoziazione politica trasparente. Il principale vantaggio dei metodi multicriteriali risiede infatti nel poter considerare simultaneamente una grande quantità di informazioni

e modelli provenienti da differenti discipline (Bernetti 1993) fornendo un supporto in problemi decisionali non completamente strutturati (Munda 1995, 1997).

Una proposta metodologica

Applicare l'analisi multicriteriale ai problemi di pianificazione territoriali nell'ambito teorico della *ecological economics* significa essenzialmente affrontare le problematiche relative alla valutazione delle potenzialità delle risorse territoriali relativamente ai possibili indirizzi di sviluppo endogeno nel rispetto dei vincoli di sostenibilità ambientale, sociale e culturale.

Per raggiungere tale obiettivo è possibile scomporre il problema nelle seguenti fasi.

- Individuazione dei criteri del processo di pianificazione in termini di valutazione delle potenzialità di sviluppo endogeno ed autocentrato, applicando i principi delle teorie regionali e di analisi della sostenibilità ambientale dei processi di sviluppo, tramite i modelli della *landscape ecology*.
- Analisi, con sufficiente dettaglio territoriale (georeferenziazione), delle potenzialità del territorio relativamente a tali criteri, tramite un appropriato set di indicatori da aggregare con tecniche di valutazione multicriteriale (*Multiple Criteria Evaluation*).
- Identificazione e quantificazione dei conflitti.

In tale processo risulta cruciale la disponibilità di dati territoriali georeferenziati di natura economica ambientale e sociale con sufficiente grado di dettaglio. Per tale motivo i modelli di valutazione multicriteriale e di analisi dei conflitti andranno implementati all'interno di un Sistema Informativo Territoriale².

Le due modalità di rappresentazione digitale delle caratteristiche territoriali impiegate nei Sistemi Informativi Territoriali sono le griglie (*raster*) ed i vettori (*vector*). Benché entrambe le rappresentazioni, griglia o vettoriale, possano essere impiegate, nella maggior parte dei casi le applicazioni di analisi multicriteriale all'interno di Sistemi Informativi Territoriali si basano su rappresentazioni a griglia.

Sebbene le tecniche in esame siano ormai diffuse e consolidate nei principi di base, esiste ancora una certa divergenza nell'uso della terminologia; basandoci su quanto riportato dai principali autori nel settore della analisi multicriteriale applicata ai Sistemi Informativi Territoriali (Eastman 1993) possiamo dare le seguenti definizioni.

Decisioni: rappresentano una scelta fra alternative. Nel caso, per esempio di una zonizzazione finalizzata alla valutazione di destinazione di uso delle risorse,

² La necessità di considerare simultaneamente una pluralità di obiettivi georeferenziati nei processi di pianificazione territoriale deriva anche da altri approcci disciplinari e teorico-metodologici che stanno convergendo su le stesse problematiche. A tal proposito è possibile citare la "pianificazione ecologica" (McHarg, 1969, Oneto 1997) e la *Land Evaluation – Land use planning* (FAO 1976, 1993; Rossiter 1994).

le alternative sono le diverse zone in cui risulterà suddiviso il territorio [commerciale; residenziale; urbano; agricolo; naturale].

Criteri: sono fattori che incrementano o decrementano la potenzialità di un territorio per una data destinazione d'uso o il suo valore complessivo per un dato aspetto (ambientale, culturale, sociale, ecc.).

Vincoli: sono fattori che deve essere assolutamente rispettati e che limitano (in senso territoriale) le alternative in considerazione.

Nella formalizzazione dei modelli di analisi multicriteriale geografici è innanzitutto necessario specificare che ciascun criterio decisionale è rappresentato tramite una specifica mappa tematica detta *layer* o "strato cartografico". Variabili decisionali del modello sono perciò (in un SIT raster) i diversi *pixels*, che esprimono la potenzialità del territorio verso una data alternativa di destinazione di uso del suolo.

Formalmente definito O_j il pixel j -esimo in una rappresentazione raster di un dato territorio e $x_{i,j}$ il valore assunto dal pixel per il criterio i , l'insieme dei criteri decisionali del problema può essere definito come:

$$\mathbf{OX} = \left\{ x_{i,j} \mid x_{i,j} \in [0,1], i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \right\} \quad (1)$$

Dal momento che i *layers* tematici che rappresentano i criteri sono generalmente espressi con differenti unità di misura, è necessaria una loro normalizzazione nell'intervallo $[0,1]$ per poter essere considerati in un processo di analisi multicriteriale. Il metodo più semplice per effettuare tale normalizzazione è quello della distanza dal punto ideale:

$$x_{i,j} = \frac{R_{i,j} - R_i^{\min}}{R_i^{\max} - R_i^{\min}} \quad (2)$$

con $R_{i,j}$ valore non normalizzato ed $R_i^{\min}$ e $R_i^{\max}$ valore minimo e massimo per il criterio i .

Una procedura più articolata di normalizzazione è quella che si basa sulla teoria degli insiemi sfocati (Bernetti 1993, 1996). Rimandando alla letteratura specializzata per maggiori approfondimenti, (Zimmernann 1987, Cox 1993), nella standardizzazione tramite i principi della logica sfocata si adottano specifiche "funzioni di appartenenza" definite nell'intervallo $[0,1]$. Per la loro semplicità interpretativa le funzioni più adottate sono quelle lineari, riportate nella fig. 1. Nelle funzioni riportate, dette "funzioni di appartenenza", i punti di controllo a , e d rappresentano la assoluta condizione di insoddisfazione del valore R relativamente al criterio in esame; parimenti i punti b e c rappresentano il limite di assoluta idoneità del valore R .

I vincoli rappresentano invece un caso particolare di criterio, tale che per il pixel O_j un generico vincolo v_k è definito nell'intervallo booleano $\{0,1\}$, dove 0 rappresenta le porzioni del territorio escluse dalla valutazione. L'insieme dei vincoli potrà quindi essere formalizzato come:

$$\mathbf{OV} = \left\{ v_{k,j} \mid v_{k,j} \in \{0,1\}, k = 1, 2, \dots, q; j = 1, 2, \dots, n \right\} \quad (3)$$

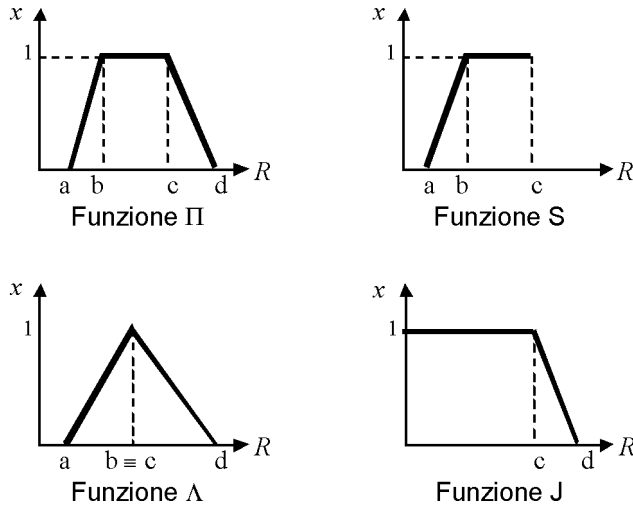


Figura 1. Funzioni sfocate di normalizzazione.

Come indicato precedentemente, lo scopo principale della valutazione multicriteriale consiste nell'aggregare in un indice complessivo i diversi criteri decisionali ed i diversi vincoli. In generale, dato un set di pesi w_i in funzione dell'importanza data dal decisore al criterio i -esimo, tale che $\sum_i w_i = 1$, la regola decisionale di aggregazione $agg(.)$ può essere rappresentata come:

$$S = agg\left\{w_i x_{i,j}\right\} * \prod_k v_{k,j} \quad (4)$$

con S (*suitability*) potenzialità del territorio per una data destinazione d'uso.

Attualmente, nel campo della valutazione multicriteriale geografica, l'operatore di aggregazione più potente per la flessibilità di impiego e per la generalità delle situazioni decisionali considerabili è il c.d. *Ordered Weighted Average* (OWA)³. La OWA è definita come una funzione ϕ associata ad un vettore di fattori v_i tale che $v_i \in [0,1]$ e $i = 1, 2, \dots, m$ e $\sum v_i = 1$. La regola di aggregazione della OWA, traslasciando per semplicità i vincoli booleani ed i pesi w_i , è la seguente:

$$agg\left\{\cdot\right\} = \phi(x_{i,j}) = \sum_i v_i z_{i,j} \quad (5)$$

dove $z_{j,1} \geq z_{j,2} \geq \dots \geq z_{j,m}$ è la sequenza ottenuta riordinando le $x_{j,1}, x_{j,2}, \dots, x_{j,m}$ in ordine ascendente (Yager 1988, 1993). Il processo di riordinamento dei criteri è la

³ Per una analisi approfondita delle caratteristiche matematiche e decisionali dell'operatore OWA vedi Yager 1988 e 1993, Eastman 1997, Malczewsky et al. 2002.

caratteristica distintiva della OWA: infatti ciò implica l'associazione di un particolare fattore v_m al criterio maggiormente limitante per una dato pixel da classificare, il valore v_{m-1} al secondo criterio maggiormente limitante e così via. È facile verificare la seguente importante proprietà:

$$\max_i \{x_{i,j}\} \leq \phi(\cdot) \leq \min_i \{x_{i,j}\} \quad (6)$$

In particolare, per $v = [0, 0, \dots, 1]$ otteniamo che $\phi(\cdot) = \min\{x_{i,j}\}$, che corrisponde ad una situazione decisionale caratterizzata dalla massima compensatorietà fra i criteri della valutazione multicriteriale⁴; per $v = [1, 1, \dots, 1]$, $\phi(\cdot) = \sum x_{i,j}$, cioè totale compensatorietà; infine per $v = [1, 0, \dots, 0]$ otteniamo che $\phi(\cdot) = \max\{x_{i,j}\}$, che corrisponde ad una situazione che seleziona in base al criterio maggiormente rappresentativo⁵. Da quanto finora esposto risulta evidente come la scelta del vettore v sia fondamentale per definire le caratteristiche decisionali del problema in esame e quindi una corretta valutazione delle potenzialità di sviluppo e dei valori ambientali a livello territoriale. La definizione del vettore v dipende da due misure di significato complementare: la dispersione e l'*ORness*, definite come segue:

$$ORness \alpha = (m-1)^{-1} \sum_i (m-i)v_i \quad (7)$$

$$Dispersione \omega = -\sum_i v_i \ln v_i \quad (8)$$

Per valori della *ORness* prossimi a zero, la OWA tende verso l'operatore MIN, per valori che tendono a 1 si hanno regole di aggregazione prossime all'operatore MAX, infine per $\alpha = 0,5$ si ha l'operatore sommatoria. La dispersione invece consente di avere una indicazione sulla quantità di informazioni che vengono utilizzate nella valutazione. Valori minimi di informazione si hanno per gli operatori MIN e MAX, che usano un solo criterio, mentre valori massimi si hanno per l'operatore somma, che impiega nel processo decisionale tutti i criteri disponibili. La letteratura specializzata (O'Hagan 1990 e Yager 1993) ha proposto di impiegare entrambe le misure per individuare il set di fattori v in relazione alle caratteristiche del processo decisionale. Considerando che è sempre opportuno valorizzare in pieno le informazioni disponibili⁶, il metodo proposto consiste nella massimizzazione del fattore di dispersione per un valore di α dato. Il set di fattori v può essere così individuato risolvendo il seguente problema di programmazione non-lineare:

⁴ Per una analisi approfondita del significato decisionale degli operatori compensatori e non compensatori vedi Krawiec et al. 1992, Bernetti e Casini 1994.

⁵ Tale situazione è rara nel contesto di decisioni di allocazione delle risorse e può essere interpretata nel senso di una massimizzazione della distanza dal punto anti ideale (Krawiec et al. 1992).

⁶ Tale principio è proposto anche da Zeleny 1982, tramite il concetto di entropia della valutazione.

$$\begin{aligned}
 \max \omega &= -\sum_i v_i \ln v_i \\
 \text{s.a.} & \\
 \sum_i ((m-i)/(m-1))v_i &= \alpha \\
 \sum_i v_i &= 1
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

L'analisi dei conflitti

Le tecniche di valutazione multicriteriale hanno lo scopo di individuare la potenzialità del territorio relativamente a diverse direttrici di sviluppo (agricolo, residenziale, produttivo, turistico ecc.) ed il suo valore ambientale relativamente a diverse componenti (biodiversità, dissesto idrogeologico, valore paesaggistico, culturale, ecc.). Le stesse risorse territoriali però possono competere sia per diverse direttrici di sviluppo sia nelle opzioni fra sviluppo e conservazione. Per questo motivo la fase finale del processo di pianificazione consiste nella analisi dei conflitti sviluppo-sviluppo o sviluppo-sostenibilità, al fine di fornire informazioni utili alla loro risoluzione negoziata fra le parti interessate. Al fine di valorizzare nella maniera più efficace possibile le informazioni disponibili dalla fase di valutazione multicriteriale geografica, il metodo che appare più appropriato è quello della sovrapposizione cartografica (*map overlay*) guidata tramite un appropriato set di regole logiche in grado di definire il rischio di conflitto fra i diversi obbiettivi di sviluppo e fra gli obbiettivi di sviluppo e la sostenibilità ambientale. La struttura di tali regole, basata sul classico *modus ponens*, è tipicamente del tipo IF ... THEN (SE ... ALLORA), come negli esempi seguenti:

- (A) IF in una data localizzazione territoriale (pixel)
la potenzialità di sviluppo per il turismo è ALTA
AND
la potenzialità di sviluppo per le attività industriali è ALTA
THEN
il rischio di conflitto fra obbiettivi di sviluppo è ALTO.
- (B) IF in una data localizzazione territoriale (pixel)
la potenzialità di sviluppo per le attività industriali è ALTA
AND
il valore ambientale per la biodiversità è ALTO
THEN
il rischio di conflitto fra sviluppo e conservazione ambientale è ALTO.

Il metodo più efficiente di quantificare tali regole, espresse in termini linguistici è ancora una volta basato sull'impiego degli insiemi sfocati. Infatti, tramite specifiche funzioni, dette quantificatori linguistici, definite nell'intervallo [0,1], è possibile convertire termini linguistici come "alto", "medio", "abbastanza alto" ecc. in un valore che esprime il grado di appartenenza dell'oggetto all'insieme descritto dal termine linguistico. In fig. 2 sono riportati alcuni esempi di quantificatori linguistici.

Una volta convertite le mappe sfocate nei relativi quantificatori linguistici è possibile, tramite operazioni di *map overlay* evidenziare le zone in cui maggiore è

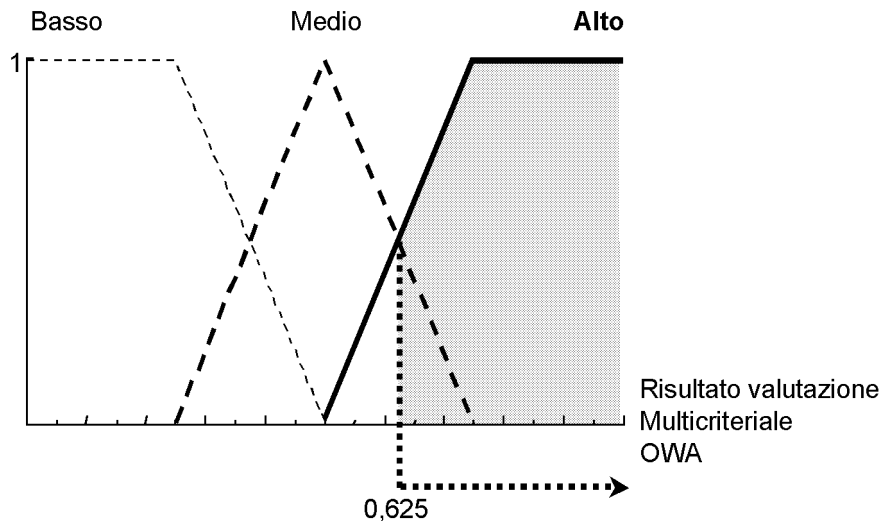


Figura 2. Quantificatore linguistico.

la possibilità di avere conflitti ambientali. Formalmente, essendo ancora una volta O_j il *pixel* j -esimo in una rappresentazione raster di un dato territorio e s_l la potenzialità (*suitability*) del pixel per una data direttrice di sviluppo $l = 1, 2, \dots, q$ (o per un determinato fattore di sostenibilità ambientale), il valore del quantificatore $a_{j,l}$ che esprime una la potenzialità del *pixel* j -esimo per la direttrice di sviluppo l sarà:

$$a_{j,l} = \mu_{\text{alto}}(s_{j,l}) \quad (10)$$

con $\mu_{\text{alto}}(\cdot)$ funzione che esprime il quantificatore linguistico. La valutazione del rischio di conflitto r , per un'altra direttrice di sviluppo $r \neq l$ secondo una regola IF ... AND ... THEN sarà:

$$r_j^{r,l} = \min\{a_{j,l}, a_{j,r}\} \quad (11)$$

3. L'applicazione ad un caso reale

Il territorio

Le metodologie precedentemente descritte sono state applicate all'analisi delle potenzialità di sviluppo economico sostenibile del territorio del circondario Empolese Valdelsa. Il territorio considerato è costituito da undici comuni compresi fra le pianure fluviali del Valdarno e della Valdelsa e i rilievi collinari del Montalbano e di Motespertoli⁷, per una superficie di circa 670 chilometri quadrati ed una popolazione di 131.557 residenti (Istat 1991).

La prima fase della applicazione della metodologia precedentemente illustrata è consistita nella identificazione delle potenzialità di sviluppo endogeno ed auto-centrato. Sulla base delle caratteristiche del territorio in esame sono state considerate le seguenti direttrici.

Sviluppo delle attività produttive. Il circondario Empolese Val d'Elsa si configura come uno dei poli principali della provincia di Firenze, soprattutto per la struttura produttiva che lo configura come distretto industriale. Sono infatti presenti le caratteristiche tipiche del distretto marshalliano: bassa concentrazione della produzione, prevalenza della piccola e media impresa, esistenza di una rete di relazioni tale da instaurare economie di scala esterne. La prevedibile espansione di tale settore (Provincia di Firenze 1995) comporterà un aumento della domanda di spazi sia per le nuove attività produttive, sia per lo sviluppo di risorse comuni al distretto, quali centri di servizio, incubatori di impresa, strutture di commercializzazione, esposizione, ecc..

Sviluppo delle attività agricole. Il paesaggio agrario che caratterizza il territorio può essere suddiviso in tre fasce altimetriche. Nelle pianure alluvionali al di sotto dei 100 metri prevalgono i seminativi, in prevalenza asciutti ed arborati. Nella fascia compresa fra i 100 ed i 400 metri le colture prevalenti sono vite ed olivo, di nuovo impianto alle quote inferiori, mentre, salendo di altitudine, soprattutto nel Montalbano è facile incontrare oliveti monumentali su terrazzi con muretti a secco. Progressivamente, dai 200 metri fino alle massime altitudini (circa 600 metri) aumentano i boschi e le aree naturali o seminaturali, anche da ricolonizzazione. Dal punto di vista delle opportunità di sviluppo, le produzioni caratterizzate da buoni livelli di qualità, differenziazione e tipicità sono il vino e l'olio, anche per la loro integrazione con le caratteristiche storiche, paesaggistiche e culturali del territorio.

Sviluppo residenziale. L'area in esame rappresenta una alternativa, dal punto di vista residenziale, al capoluogo provinciale, in relazione al progressivo processo di deurbanizzazione in atto nella regione Toscana. Il fenomeno è favorito dalla notevole vicinanza dell'area fiorentina, con cui risulta ben collegato da infrastrutture stradali e ferroviarie. La conseguente pressione residenziale, oltre a rappresentare una opportunità di sviluppo territoriale in conseguenza dei consumi dei nuovi residenti, può però comportare rischi di perdita di quei caratteri di identità territoriale tipici dell'area.

Sviluppo delle attività turistiche e agrituristiche. Soprattutto le aree collinari e montane si presentano ricche di emergenze paesaggistiche, storiche ed architettoniche significative. Ciò rappresenta una risorsa preziosa per un turismo di qualità, basato su specifici percorsi storici, enogastronomici e naturalistici e su forme di ospitalità che valorizzano l'edificato esistente (aziende agricole, nuclei sparsi e centri minori).

⁷ In realtà il territorio del Circondario Empolese Valdelsa dovrebbe comprendere 12 comuni. Nell'analisi non è stato però inserito il territorio di Fucecchio in quanto la Cartografia Tecnica Regionale – base dati principale del lavoro – non era ancora ufficialmente disponibile.

La fase successiva dell'analisi è consistita nell'individuazione delle componenti ambientali più sensibili per gli aspetti di sostenibilità dello sviluppo locale. Date le caratteristiche del territorio, sono stati considerati il valore naturalistico e di biodiversità ecologica e paesaggistica e l'effetto di regimazione dei deflussi idrici a protezione degli eventi alluvionali.

Il Sistema Informativo Territoriale

Il Sistema Informativo Territoriale ha rappresentato l'elemento cardine per l'applicazione dei modelli multicriteriali geografici nel circondario Empolese Valdelsa.

L'archivio cartografico del SIT è stato realizzato in formato raster con griglia quadrata di 50 metri di lato (dettaglio più che sufficiente rispetto alle esigenze di pianificazione su area vasta) poiché questo tipo configurazione consente l'impiego dei modelli di analisi multicriteriale geografica più evoluti e potenti.

Le basi dati inserite all'interno del Sistema Informativo Territoriale sono state le seguenti.

Carta dell'uso del suolo Corine Land Cover da cui sono state derivate le carte delle aree residenziali, delle aree produttive e delle tipologie culturali.

Cartografia tecnica regionale in scala 1:10.000 da cui sono state derivate le carte dei tralicci, dei centri di interesse storico-architettonico, della viabilità principale, dei corsi d'acqua, dei servizi scolastici, ospedalieri e sportivi.

Modello Digitale del Terreno (DTM) da cui sono state derivate le carte della intervisibilità del territorio e delle pendenze.

Altre basi dati rilevate direttamente: mappa delle aziende agrituristiche censite dalla Regione Toscana e carta dei sentieri.

Le direttrici di sviluppo

La valutazione delle potenzialità di sviluppo endogeno del territorio in esame è stata eseguita attraverso una serie di analisi multicriteriali basate sull'impiego di operatori di aggregazione di tipo *Ordered Weighted Average* (OWA). In particolare, l'esigenza di sviluppare un processo decisionale nel quale alcune delle funzioni obiettivo presentavano un certo grado di *trade-off* (es. sviluppo di aree urbane e di aree produttive) ha portato ad utilizzare un valore dell'Orness (α) pari a 0,4⁸. In tal modo è stato possibile simulare un decisore con un livello di avversità al rischio intermedio in una situazione caratterizzata da un elevato livello di *trade-off* fra le alternative (Yager 1988, Eastman and Jiang 1996). L'ottica adottata risulta

⁸ L'indicatore di ORness, assume quindi in questo contesto la funzione di un indicatore di rischio. Quanto più elevato è il valore dell'ORness, quanto maggiore è il rischio assunto dal decisore.

quindi leggermente più cautelativa rispetto alla tradizionale somma pesata (corrispondente ad un *Orness* di 0,5).

Per valutare i pesi w_i da applicare ai criteri esaminati in ciascuna analisi multicriterio, è stato fatto riferimento alla tecnica della valutazione analitica delle gerarchie (*Analytic Hierachy Process*, AHP) sviluppata da Saaty (1980). In particolare, l'AHP ha permesso di risolvere il problema del ranking dei criteri, ossia il loro ordinamento, in ordine di importanza, o preferenza, sulla base di valutazioni quantitative⁹.

Nelle tabelle da 1 a 6 sono riportati i parametri impiegati per la definizione funzioni sfocate relative a ciascun criterio decisionale (rispettivamente potenzialità di sviluppo e valori ambientali) impiegato nelle diverse valutazioni multicriteriali ed i relativi pesi w_i .

Lo sviluppo agronomico

Per quanto concerne la valutazione della potenzialità di sviluppo delle attività agricole, il modello di valutazione multicriteriale ha preso in considerazione un set di quattro criteri decisionali: la pendenza del terreno, la specializzazione delle colture, l'esposizione dei versanti e la tipologia colturale. Tali criteri sono stati valutati nell'analisi multicriteriale attraverso un set di pesi definiti attraverso una Analisi delle Gerarchie (AHP). I risultati dell'analisi gerarchica e le funzioni sfocate applicate per la definizione dei criteri decisionali sono illustrate in tabella 1.

Lo sviluppo delle attività produttive

La valutazione delle opportunità di sviluppo delle attività produttive si è basata su quattro criteri decisionali: la pendenza, la distanza dalle autostrade e dalle strade rotabili, la prossimità ad altre zone produttive. Le funzioni di valutazione ed i pesi adottati sono riportati in tabella 2.

Lo sviluppo delle attività turistiche

La valutazione delle aree a potenziale sviluppo turistico ha preso in considerazione sette criteri decisionali: distanza da aree produttive, potenziale turistico uso del suolo, vicinanza delle aziende agrituristiche, intervisibilità del territorio rispetto ai sentieri, distanza dai luoghi di interesse storico-architettonico, distanza dalla viabilità principale e presenza di elementi di disturbo. La definizione dei criteri della valutazione multicriteriale ed i pesi adottati sono riportati in tabella 3.

Lo sviluppo residenziale

L'ultima direttrice di sviluppo presa in considerazione dal presente studio è quella legata allo sviluppo residenziale. Il set di variabili decisionali è costituito, in questo caso, da sette criteri quali: la disponibilità di scuole, ospedali e complessi sportivi e ricreativi, la distanza dalla viabilità, la pendenza del terreno e la quota. Nella definizione dei pesi è stata attribuita maggiore importanza alle infrastruttu-

⁹ Per maggiori dettagli relativamente all'impiego dell'AHP nelle valutazioni multicriteriali si rimanda a Bernetti (1996).

Tabella 1
Sviluppo delle attività agricole: parametri della valutazione OWA.

Funzione	Pesi	Tipo di funzione sfocata	Punti di controllo				α	
			a	b	c	d		
Pendenza (%)	0,1175	J	—	—	5	10	0,4	
Specializzazione (ettari di colture accorpate)	0,0553	S	0	100	—	—		
Esposizione (gradi Nord)	0,2622	II	45	90	270	315		
Redditività coltura (Redditi Lordi Standard normalizzati)	0,565	Vigneti						1,00
		Frutteti						0,75
		Oliveti						0,42
		Particellari complessi						0,25
		Seminativi irrigui					0,18	
		Seminativi, risaie e colture annuali					0,12	
		Prati stabili e spazi naturali					0,06	
Vincolo	Sviluppo solo zone rurali							

Tabella 2
Sviluppo delle attività produttive: parametri della valutazione OWA.

Funzione	Pesi	Tipo di funzione sfocata	Punti di controllo				α
			a	b	c	d	
Pendenza (%)	0,899	J	-	-	5	15	0,4
Prossimità a autostrade (metri)	0,5983	J	-	-	10.000	20.000	
Prossimità a viabilità (metri)	0,1439	J	-	-	50	500	
Prossimità altre zone industriali (metri)	0,1679	J	-	-	250	1.000	
Vincoli	Esclusione zone residenziali, esclusione zone prossime ai corsi d'acqua (100 metri)						

re utilizzate quotidianamente da una larga fascia della popolazione (scuole, centri commerciali) rispetto ai servizi impiegati per motivi eccezionali (ospedali) o non essenziali (complessi sportivi).

L'indice con il quale è stata formalizzata la consistenza dei servizi sociali e sanitari è stato calcolato attraverso una analisi di prossimità che ha permesso di de-

Tabella 3
Sviluppo delle attività turistiche: parametri della valutazione OWA.

Funzione	Pesi	Tipo di funzione sfocata	Punti di controllo				α
			a	b	c	d	
Distanza da aree produttive (metri)	0,2841	S	500	2.500	-	-	0,4
Prossimità aziende agrituristiche (metri)	0,16	J	—	—	1.500	3.000	
Intervisibilità del territorio rispetto ai sentieri (metri)	0,0988	J	—	—	100	1.000	
Prossimità a luoghi di interesse storico e architettonico (metri)	0,0707	J	—	—	250	5.000	
Distanza dalla viabilità principale (metri)	0,2841	S	1.000	5.000	—	—	
Distanza da tralicci alta tensione (metri)	0,0512	S	250	1.000	—	—	
Potenziale turistico uso del suolo (Valutazione in base alla letteratura*)	0,512	Seminativi 0,25 Frutteti, prati, pascoli, sistemi particellari agricole con spazi naturali, agroforestali, cespuglieti e altre aree naturali non forestali 0,33 Corsi d'acqua e bacini 0,52 Boschi, vigneti e oliveti 1					

* Hampshire County Council 1968; West Midlands Regional Study 1968; Iaurif 1978; Usdi 1980a, 1980b; Bernetti et al. 2001.

finire la disponibilità di servizi compresi entro un dato bacino di fruibilità¹⁰. I modelli impiegati per l'analisi della quota, della pendenza e della distanza dalla viabilità sono riportati in tabella 4.

¹⁰ I parametri impiegati in queste valutazioni derivano dallo studio di Casini (2000), al quale si rimanda per maggiori approfondimenti.

Tabella 4
Sviluppo residenziale: parametri della valutazione OWA.

Funzione	Pesi	Tipo di funzione sfocata	Punti di controllo				α
			a	b	c	d	
Disponibilità di scuole (numero di complessi entro 15' di auto)	0,2943	S	3	30	—	—	0,4
Disponibilità di ospedali (numero di complessi entro 15' di auto)	0,1017	S	3	9	—	—	
Disponibilità di complessi sportivi e ricreativi (numero di complessi entro 15' di auto)	0,032	S	12	38	—	—	
Prossimità alla viabilità (m)	0,1122	J	-	-	50	500	
Pendenza (%)	0,0534	J	-	-	5	15	
Distanza da centri abitati (m)	0,2943	Π	0	2.000	10.000	15.000	
Vincoli	Esclusione zone residenziali, esclusione zone prossime ai corsi d’acqua (100 metri)						

Le componenti ambientali

Le valutazioni multicriteriali finalizzate a verificare la sostenibilità dello sviluppo locale hanno riguardato il valore naturalistico e l'effetto di regimazione dei deflussi idrici. In entrambi è stato adottato un fattore alpha pari a 0,8. Ciò ha portato ad una valutazione prossima a all'impiego di un operatore di tipo OR. Tale scelta scaturisce dalla considerazione che una analisi delle componenti ambientali sensibili deve porsi in un'ottica prudentiale, per cui è sufficiente che un solo criterio abbia valore elevato per condizionare la valutazione del pixel in esame.

Valore naturalistico

L'analisi multicriteriale, diretta a stimare il "valore naturalistico" del territorio è stata eseguita sulla base dei principi della *landscape ecology*. Rinunciando in partenza, a tentare di dare una definizione omnicomprensiva di valore ambientale, la *landscape ecology* privilegia un approccio funzionale al supporto alle decisioni di pianificazione territoriale. In base a tale principio nel presente lavoro sono state

prese in considerazione tre funzioni: la presenza di zone sensibili, definite sulla base dell'uso del suolo; le caratteristiche del mosaico territoriale e la diversità ambientale.

Le aree sensibili sono definite come zone che dovrebbero essere oggetto di specifici strumenti di tutela nel processo di pianificazione. Sono esempi di aree sensibili i biotopi, le aree di alimentazione per la fauna, le aree di rifugio, le aree importanti per lo spostamento sia della macrofauna che della microfauna¹¹ (Malcevski 1991). Nel contesto territoriale empoiese sono state quindi definite come aree sensibili le seguenti tipologie d'uso del suolo: zone boscate, zone caratterizzate da vegetazione arbustiva o erbacea ed arbustiva, rocce nude, falesie e affioramenti. La valutazione del valore della "sensibilità ambientale" è stata effettuata attraverso l'attribuzione di un sistema di punteggi stimato sulla base della letteratura esistente (Malcevski 1991, Farina 2000) riportato in tabella 5.

L'importanza delle caratteristiche ambientali del mosaico territoriale, deriva dalla considerazione che in un ambito territoriale esistono delle specifiche interazioni ecologiche fra le diverse tipologie di uso del suolo. Per quanto riguarda la forma, di particolare importanza sono i cosiddetti "corridoi ecologici" che connet-

Tabella 5
Valore naturalistico.

Funzione	Pesi	Tipo di funzione sfocata	Punti di controllo		α
			a	b	
Presenza di corridoi ecologici (Indice frattale)	0,33	S	0	1,4	0,8
Diversità ambientale (indice Shannon)	0,33	S	0	1,59	
Zone sensibili (valutazione discreta in base alla letteratura esistente*)	0,34	Aree urbanizzate	0		
		Colture agrarie	0,25		
		Particellari complessi	0,33		
		Aree boscate e spazi naturali	0,50		
		Corsi d'acqua e aree riparie	1		

Farina 2000, Malcevski 1996.

¹¹ Una volta individuate le aree sensibili è possibile predisporre strumenti di pianificazione in grado di gestire i problemi di qualità ambientale, in relazione all'oggetto della pianificazione stessa. Le aree sensibili potranno perciò, per esempio, divenire zone soggette a particolari vincoli d'uso del suolo in strumenti di piano basati sulla zonizzazione oppure zone privilegiate per l'erogazione di incentivi di miglioramento della qualità ambientale in strumenti di piano basati sull'erogazione di aiuti all'agricoltura.

tono le diverse zone di rifugio di un territorio. La valutazione dei “corridoi ecologici” è stata effettuata tramite il cosiddetto indice frattale D (Farina 2000):

$$D = 2 \cdot \frac{\log(perimetro)}{\log(area)} \quad (12)$$

Passando al criterio “diversità ambientale”, possiamo evidenziare che si tratta di una funzione che prende in considerazione l’eterogeneità degli ecosistemi presenti in un determinato contesto territoriale. La valutazione della diversità ambientale (eterogeneità del territorio) è stata effettuata attraverso un indice di diversità paesaggistica ed ecosistemica. L’indice è calcolato secondo la seguente funzione (Turner 1989):

$$H = - \sum_{i=1}^n [p_i \cdot \ln(p_i)] \quad (13)$$

dove p rappresenta la percentuale della i -esima classe colturale all’interno di una data finestra mobile. Anche in questo caso i risultati sono stati normalizzati attraverso l’impiego di una specifica funzione sfocata (tabella 5).

Regimazione dei deflussi

L’altra componente ambientale presa in esame nel presente studio è costituita dalla funzione di regimazione delle acque. In questo caso i pesi attribuiti ai tre criteri valutati con l’analisi multicriteriale geografica, sono riportati in tabella 6. Nello specifico, sono stati presi in considerazione tre criteri: la stima della capacità di ritenuta idrica locale, rappresentata dal singolo pixel, il contributo del singolo pixel alla capacità di ritenuta idrica totale del bacino e la pendenza.

Per stimare la capacità di ritenuta idrica locale è stato fatto riferimento al metodo adottata dal Soil Conservation Service degli USA. La funzione di “impermeabilizzazione del pixel” deriva dalla normalizzazione attraverso una funzione discreta degli indici di CN relativi ai diversi tipi di copertura del suolo (Borselli

Tabella 6
Regimazione dei deflussi.

Funzione	Pesi	Tipo di funzione sfocata	Punti di controllo		α
			a	b	
Pendenza (%)	0,4286	S	0	Massima pendenza del bacino	0,8
Regimazione del bacino (CN)	0,1429	Valori assegnati inbase al parametro CN normalizzato in un intervallo [0,1] vedi Borselli, 1989			
Regimazione (CN)	0,4286				

1989). L'importanza del contributo del singolo pixel al potere regimante complessivo del bacino idrografico è stato considerato in modo proporzionale al diminuire delle capacità medie di regimazione dell'intero bacino. Per tale motivo è stata individuata una funzione sfocata decrescente al crescere del valore medio di CN.

4. L'analisi dei conflitti

L'applicazione dell'analisi dei conflitti al territorio dell'Empolese Valdelsa ha riguardato due ambiti complementari. Innanzitutto si sono individuate le zone in cui si avevano contemporaneamente elevate potenzialità di sviluppo economico e criticità ambientale. Oltre a queste, sono state identificate anche le localizzazioni in cui le caratteristiche territoriali potevano dar luogo a più direttrici di sviluppo.

Le finalità di tale valutazione sono:

- verificare l'efficienza della zonizzazione effettuata tramite la fase di valutazione multicriteriale con metodologia OWA geografica;
- identificare le zone di potenziale conflitto da sottoporre a specifici strumenti di tutela e regolamentazione nelle diverse applicazioni settoriali della pianificazione territoriale.

Come illustrato nella parte metodologica, la prima fase della analisi è consistita nell'individuazione, tramite l'adozione di specifici quantificatori linguistici sfocati, delle localizzazioni che presentavano potenzialità di sviluppo e valori ambientali "alti". Per tale valutazione è stata usata la funzione riportata in figura 2, dalla quale è possibile rilevare come per valori della valutazione multicriteriale con tecnica OWA superiori a 0,625 i pixel appartengano all'insieme sfocato "alta potenzialità/valore". Formalmente, ciascun pixel j -esimo per ciascuna direttrice di sviluppo/valore ambientale l è stato classificato come valore "alto" (1) o "non-alto" (0) sulla base della seguente funzione:

$$a_{j,l} = \begin{cases} 1 & \text{se } s_{j,l} \geq 0,625 \\ 0 & \text{se } s_{j,l} < 0,625 \end{cases} \quad (14)$$

Le mappe delle zone ad elevata potenzialità/valore sono riportate in figura 3.

I risultati emersi dall'applicazioni delle valutazioni multicriteriali geografiche al contesto di studio, evidenziano una elevata presenza di superfici potenzialmente adatte all'espansione delle attività produttive con 8.695 ettari e residenziale, 5.801 ettari, tabella 7). Tali superfici si collocano soprattutto nella parte centro-settentrionali dell'area oggetto di studio, in prossimità dei maggiori centri residenziali ed industriali (figura 3).

Le aree con alta potenzialità di sviluppo agricolo e turistico, estese rispettivamente su 5.054 ettari e su 3.157 ettari, presentano una distribuzione più frammentata e diffusa sul territorio, con le prime che si collocano soprattutto nella pianura a Nord del fiume Arno e lungo il corso del fiume Elsa, mentre le seconde sono puntualmente distribuite in prossimità di strutture ricettive situate lungo le pendici del monte Albano e nell'area collinare del Chianti Valdelsa (figura 3). Le di-

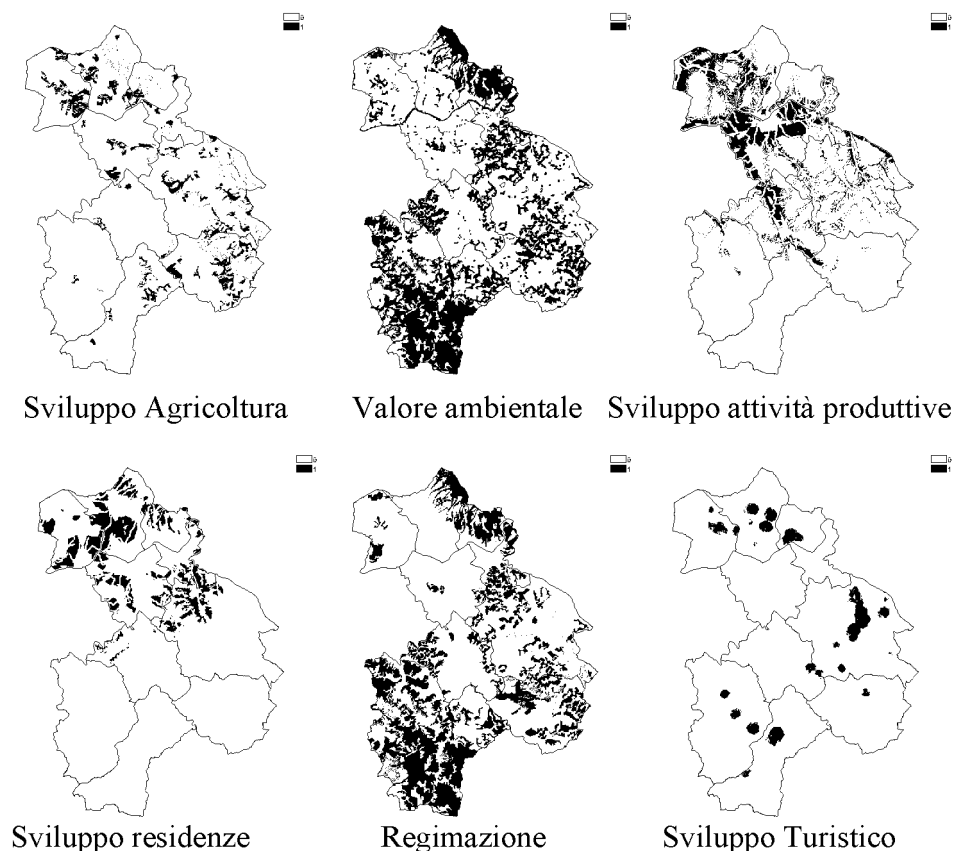


Figura 3. Risultati della valutazione multicriteriale: valori classificati come elevati.

stribuzioni delle superfici evidenziano una netta prevalenza di aree con vocazione “medio-bassa” sia per lo sviluppo turistico-naturalistico, sia per quello agronomico. Questo risultato, rispetto alla valutazione turistica, è da mettere in relazione alla presenza di colture agrarie con elevata attività antropica, al limitato numero di strutture ricettive, ed alla presenza di elementi di disturbo legati all’ambiente urbano ed industriale.

Relativamente al valore naturalistico, emerge soprattutto la grossa diffusione di aree con “alta sensibilità” ambientale e di dissesto idrogeologico (tabella 7 e figura 3). La loro distribuzione è strettamente correlata alla morfologia del territorio, poiché si individua una corrispondenza diretta fra “aree altamente sensibili” e presenza di rilievi montuosi e collinari. Tali superfici si distribuiscono infatti soprattutto in corrispondenza dei rilievi del monte Albano (parte Nord) e delle aree collinari del Chianti (parte centro-meridionale) (figura 3). Ciò è da mettere in relazione sia alla maggiore acclività del territorio, con conseguente maggiore sensibili-

Tabella 7
Matrice dei conflitti.

	Sviluppo agricolo	Sviluppo attività produttive	Sviluppo residenze	Sviluppo Turistico
	Potenzialità alta totale ettari: 5.054	Potenzialità alta totale ettari: 8.695	Potenzialità alta totale ettari: 5.801	Potenzialità alta totale ettari: 3.157
	Conflitto	Conflitto	Conflitto	Conflitto
Valore ambientale Valore alto ettari: 22.790	676	941	576	873
Valore per la regimazione dei deflussi Valore alto ettari: 18.962	0	316	93	621
Sviluppo agricolo	—	1.041	810	267
Sviluppo industriale	—	—	2.310	797
Sviluppo residenze	—	—	—	235
Sviluppo turistico	—	—	—	—

tà rispetto al dissesto idrogeologico, sia alla maggiore eterogeneità ambientale e diffusione di formazioni naturali che costituiscono mosaici territoriali ecologicamente più validi.

La fase successiva della valutazione è consistita nella sovrapposizione a coppie delle mappe calcolate tramite la (4) al fine di evidenziare le zone di potenziale conflitto. I risultati della analisi sono riportati in tabella 7.

Dall'analisi dei risultati è possibile innanzitutto notare come i potenziali conflitti fra sviluppo e sostenibilità ambientale riguardino estensioni relativamente limitate. In generale, nel territorio in esame i contrasti più elevati si hanno fra le varie direttrici di sviluppo ed il valore ambientale, mentre più limitati sono i potenziali conflitti con la regimazione dei deflussi. In termini assoluti, la maggiore sovrapposizione si ha fra zone ad elevata potenzialità per sviluppo delle attività produttive e luoghi a valore ambientale alto, con 941 ettari. In percentuale, a fronte di 3.157 ettari di territorio ad elevato valore per lo sviluppo delle attività turistiche, 873 ettari (27%) hanno anche elevato valore ambientale e 621 (19,6%) presentano una rilevante importanza per la regimazione dei deflussi.

È da rilevare comunque come non tutti i contrasti evidenziati abbiano lo stesso livello di criticità. Infatti appare relativamente agevole immaginare norme per la tutela naturalistica ed idrogeologica per quanto riguarda le azioni di sviluppo nei territori ad elevato valore turistico. Maggiormente critica risulta essere invece l'espansione delle attività produttive in zone ad elevata sensibilità ambientale.

Per quanto riguarda invece la competizione per l'uso del suolo fra le diverse direttrici di sviluppo, dall'analisi della tabella 7 si rileva come la situazione più critica si abbia nel caso dello sviluppo rurale. Infatti le aree ad elevato valore per le colture agrarie competono per 1.041 ettari (25% del totale) con l'espansione delle attività produttive e per 810 ettari (16%) con lo sviluppo residenziale. È evidente come, data la tipicità delle produzioni realizzate, nonché la debolezza del comparto, tale conflitto sia da trattare con molta attenzione negli interventi di programmazione del territorio.

Un potenziale conflitto si ha anche nel caso delle attività produttive nei confronti dell'espansione residenziale, che competono nell'uso del territorio per 2.310 ettari. Anche in queste zone saranno da porre in essere adeguate regoalmentazioni nell'ambito degli strumenti di programmazione urbanistica.

Il vantaggio di condurre una analisi delle potenzialità e dei conflitti tramite un SIT consiste nella possibilità di ottenere informazioni e cartografie dettagliate delle zone maggiormente critiche. A titolo di esempio, nel caso del conflitto fra potenzialità di sviluppo delle attività produttive e valore naturalistico, dalla analisi della figura 4 è possibile riscontrare come le tipologie di uso del suolo maggiormente interessate siano rappresentate dai sistemi particellari complessi, seguite dai seminativi e dai boschi misti. In figura 5, inoltre, è riportato un esempio di mappa delle zone critiche. Tali informazioni sono evidentemente di grande utilità nelle fasi di negoziazione degli strumenti di gestione del territorio (piani struttu-

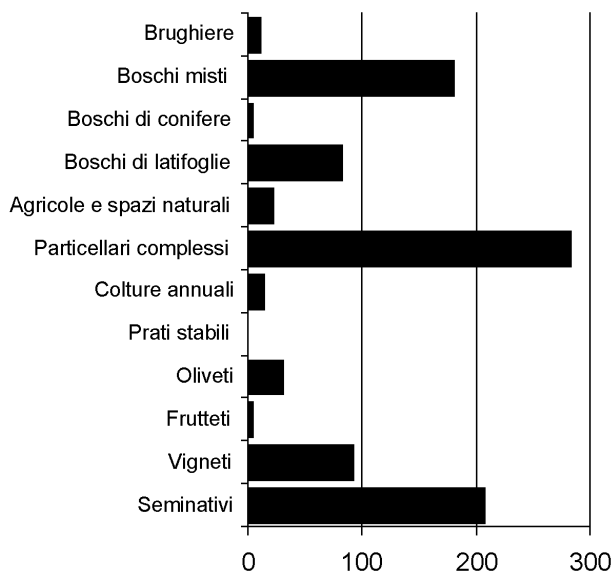


Figura 4. Uso del suolo nelle zone a potenziale conflitto fra valore ambientale ed espansione industriale.

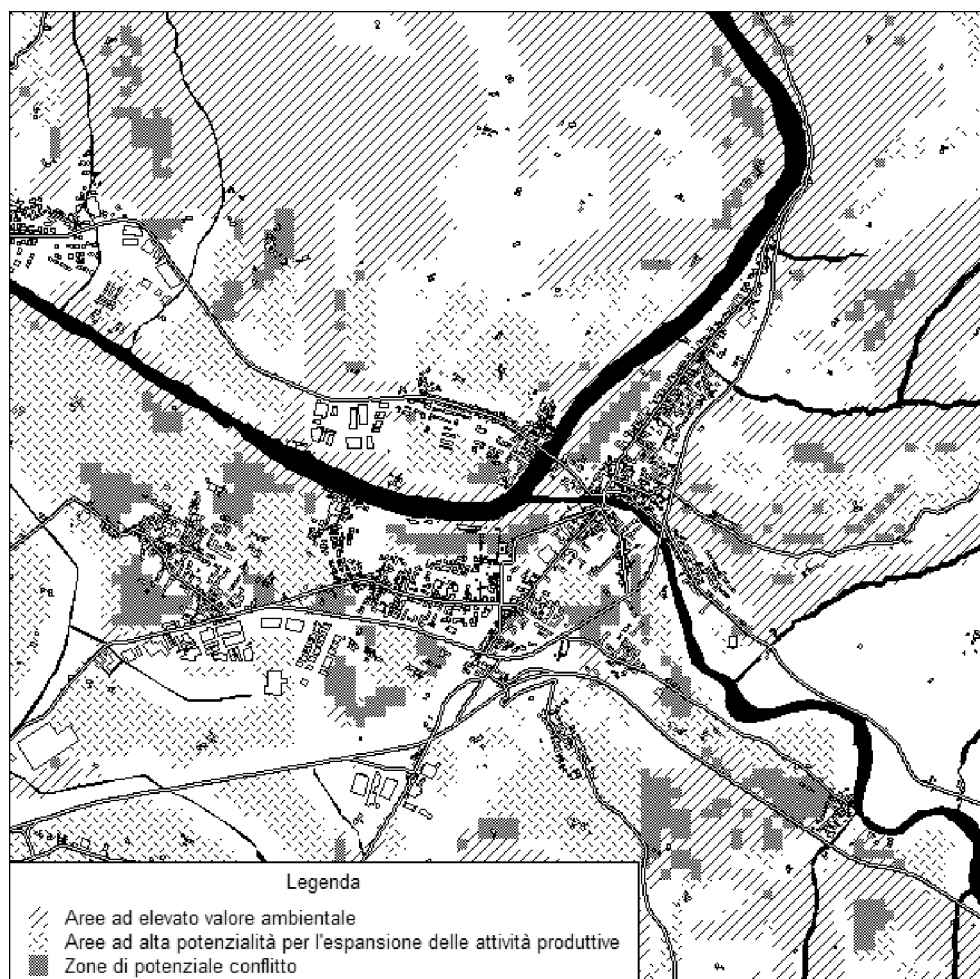


Figura 5. Esempio di mappa delle aree di potenziale conflitto.

rali, piani di sviluppo settoriale, ecc.) con l'obiettivo di ottenere uno sviluppo territoriale sostenibile con la conservazione ambientale.

5. Conclusioni

Il presente studio ha proposto l'impiego di una metodologia analitica di base in grado di valutare le potenzialità di sviluppo locale di un territorio e di risolverne gli eventuali conflitti originati dagli usi alternativi a cui possono essere destinate le risorse.

Il lavoro si è articolato attraverso una prima analisi delle basi teoriche legate alla pianificazione territoriale, per poi sviluppare in modo ampio e approfondito un approccio metodologico fondato sui principi della *ecological economics*. L'approccio che meglio si integra rispetto ai principi base di tale disciplina è stato individuato nell'analisi multicriteriale geografica. Considerato che l'efficienza delle analisi con cui vengono valutati i fenomeni e le risorse territoriali costituisce il punto cruciale di tutte le procedure di risoluzione dei conflitti ambientali, la scelta di utilizzare una metodologia multicriteriale è apparsa quanto mai adeguata rispetto agli obiettivi perseguiti. In particolare, l'applicazione di un'analisi multicriteriale, fondata sull'operatore di aggregazione *Ordered Weighted Average* (OWA), ha introdotto una tecnica di controllo continuo del *trade-off* esistente fra le variabili coinvolte.

L'applicazione nel contesto territoriale Empolese Valdelsa, rappresentativo di una realtà estremamente fervida dal punto di vista produttivo, ma allo stesso tempo estremamente delicata dal punto di vista ambientale (per la presenza di aree di rilevante valore paesaggistico-ambientale come appunto le colline del Chianti), ha permesso di valutare in modo esteso le potenzialità offerte da questo strumento nel campo della gestione e pianificazione territoriale.

In relazione alle caratteristiche del territorio sono state infatti valutate quattro potenziali direttrici di sviluppo legate ai settori: agrario, industriale-commerciale, turistico e residenziale; a cui sono state contrapposte due valutazioni legate alle componenti ambientali sensibili, ossia: il valore ecologico-naturalistico e la regolazione idrica. L'individuazione delle aree che presentano alta potenzialità di sviluppo insieme a elevato valore ambientale oppure la contemporanea presenza di due direttrici con potenzialità di sviluppo elevata, è servita per identificare le aree con conflitti rilevanti.

I risultati, oltre a costituire un valido supporto nei processi decisionali pubblici locali, hanno evidenziato i vantaggi derivati dall'applicazione di un modello di analisi multicriteriale fondato sull'operatore OWA e sull'analisi dei conflitti attraverso un Sistema Informativo Territoriale. L'operatore OWA ha infatti consentito la definizione di un ampio range di regole decisionali, che potevano variare dall'operatore AND all'operatore OR, in ragione della propensione al rischio più appropriata per il contesto decisionale. A ciò si aggiunge il vantaggio, derivato dalla analisi dei conflitti tramite l'impiego di un sistema informativo territoriale, di poter ottenere informazioni dettagliate delle aree maggiormente critiche. Si tratta infatti di informazioni estremamente utili nelle fasi di negoziazione dei piani strutturali e di sviluppo settoriale.

Bibliografia

Avarello, P., (2001). "La pianificazione di area vasta nelle innovazioni del PTCP e delle nuove leggi urbanistiche". In: *Atti dell'undicesimo seminario IAED Ambiente e sviluppo sostenibile nei piani territoriali di coordinamento di nuova generazione*. Edizioni Papageno. Roma.

- Bernetti, I., (1993). L'impiego dell'analisi multicriteriale nella gestione delle risorse forestali. *Rivista di economia agraria*. XLVIII(3).
- Bernetti, I., (1996). "L'impiego dei Modelli di Analisi Multicriteriale nella Pianificazione Forestale". In: Bianchi (a cura di), *Il bosco e i suoi valori*. Comunicazioni di Ricerca dell'Istituto Sperimentale per l'Assestamento Forestale e l'Alpicoltura. 94/3 ISAF, Trento.
- Bernetti, I., e Casini, L., (1994). "Un'analisi critica delle tecniche di pianificazione delle risorse pubbliche". In: *Atti del XXX Convegno SIDEA*, Quaderni della rivista di economia agraria. Il Mulino. Bologna.
- Bernetti, I., Casini, L., e Meneghini, S., (2002). *L'agricoltura e lo sviluppo rurale nei nuovi strumenti per il governo del territorio*. Franco Angeli. Milano.
- Bernetti, I., Fagarazzi, C., Franciosi, C., (2001). Le potenzialità del turismo naturalistico nelle regioni dell'Italia meridionale. *Italia Forestale e Montana*. anno LVI. 5. pp. 377-399.
- Borselli, L., (1989). "Previsione dei deflussi superficiali su versante: il metodo SCS curve number e la sua applicabilità nell'ambito collinare italiano". *Quaderni di scienza del suolo*. (2). pp. 145-160.
- Casini, L., (a cura di) (2000). *Nuove proposte per uno sviluppo sostenibile del territorio*. Studio Editoriale Fiorentino. Firenze.
- Colby, M.E., (1991). Environmental management in development. The evolution of paradigms. *Ecological Economics*. 3. p. 204.
- Conti, S., (1996). *Geografia economica*. Utet. Milano.
- Costanza, R., (a cura di) (1991). *Ecological economics: the science and management of sustainability*. Columbia University Press. New York.
- Cox, E., (1993). *The fuzzy system handbook*. Academic Press, Londra.
- Eastman, J.R., (1993). "Decision theory and GIS". *Proceedings Africa GIS '93*. UNITAR. Ginevra.
- Eastman, J.R., (1997). *IDRISI for Windows: Tutorial Exercises*. School of Geography – Clark University.
- Eastman, J.R., e Jiang, H., (1996). "Fuzzy measures in Multi-criteria Evaluation". *Proceeding Second International Symposium on Spatial accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Studies*. May 21-23. Fort Collins Colorado, pp. 527-534.
- FAO, (1976). *A framework for Land Evaluation Soils*. Bulletin 32, Roma.
- FAO, (1993). *Guidelines for land-use planning*. FAO development series 1. Roma.
- Farina, A., (2000). *Landscape ecology in action*. Kluwer Academic Publisher. Boston.
- Friedman, J., (1992). *Empowerment. The politics of alternative development*. Basil Blackwell. Cambridge Mass. USA.
- Friedman, J., e Weaver, C., (1979). *Territory and functions. The evolution of regional planning*. E. Arnold. Londra.
- Funtowicz, S.O., e Ravetz, J.R., (1990). *Uncertainty and quality in science for policy*. Kluwer. Dordrecht.
- Funtowicz, S.O., e Ravetz, J.R., (1991). "A new scientific methodology for global environmental issues". In: Costanza R. (a cura di), *Ecological economics the science and management of sustainability*. Columbia University Press. New York.
- Hampshire County Council, East Ampshire Anob, (1968). *A study in countryside conservation*. Winchester.
- Hubacek, K., e van den Bergh, J.C.J.M., (2002). "The role of land in economic theory". In: *Interim report IR-02-037*, IAASA. Laxenburg, Austria.
- IAURIE, (1978) *Methodes d'évaluation des caracteres physiques et himaines du paysage et test d'aplication de la methode CSW (Coventry-Solihull-Warwickshire) ameliorée a l'aide du SDAU del la Val d'Oise*. Parigi.
- Istat, (1991). *Censimento della popolazione*. Roma.
- Krawiec, B., Bernetti, I., Casini, L., e Romano, D., (1992). "Application of MCDM Techniques to Forestry Management". *Proceedings of the 24th EAAE Seminar The Environment and the Management of Agricultural Resources*. Roma.

- Malcevski, S., (1991). *Qualità ed impatto ambientale*. Etaslibri. Milano.
- Malczewsky, J., Aspila, C., Chapman, T., Flegel, C., Walters, D., e Shrubsole, D., (2002). *GIS-based multiple criteria evaluation using the ordered weight averaging (OWA) operators: a pilot project for watershed management*. Mimeo.
- Martinez-Alier, J., Munda, G., e O'Neill, J., (1998). Weak comparability of values as a foundation for ecological economics. *Ecological Economics*. 26. pp. 277-286.
- McHarg, I.L., (1969). *Design with nature*. The Falcon Press. Philadelphia.
- Meadows, D.H., (1972). *I limiti dello sviluppo*. Mondadori. Milano.
- Munda, G., (1995). *Multicriteria evaluation in a fuzzy environment. Theory and application in ecological economics*. Springer-Verlag. Heidelberg.
- Munda, G., (1997). Environmental economics and the concept of sustainable development. *Environmental values*. 6. pp. 213-233.
- O'Hagan, M., (1990). "A fuzzy neuron based maximum entropy-ordered weighting averaging". In: Bouchon-Meunier B., Yager R.R., e Zadeh L.A. (a cura di) *Uncertainty in knowledge bases*. Springer-Verlag. Berlino.
- Oneto, G., (1997). *Manuale di pianificazione del paesaggio*. Il Sole 24 Ore. Pirola. Milano.
- Ozhaynak, B., Devine, P., e Rigby, D., (2002). "Whither Ecological Economics?". Paper presented at *European Society for Ecological Economics Conference Frontiers*. Cambridge.
- Provincia di Firenze. (1995). *Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale*. Provincia di Firenze. Firenze.
- Polidori, R., e Romano, D., (1997). Dinamica economica strutturale e sviluppo rurale endogeno: il caso del Chianti Classico. *Rivista di Economia Agraria*. LII(4).
- Rossiter, D.G., (1994). *Land Evaluation*. Cornell University.
- Saaty, T.L., (1980). *A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures*.
- Simonotti, M., (1989). *Fondamenti di metodologia estimativa*. Liguori editore. Napoli.
- Turner, M.G., (1998). "Landscape ecology". In: Dodson, S.I., (a cura di) *Ecology*. Oxford University Press. Oxford.
- Turner, M.G., (1989). Landscape Ecology: The Effect of Pattern on Process. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 20. pp. 171-197.
- USDI Bureau of Land Management, (1980a). *Visual resource management program*. BLM division of Recreation and cultural resource, Washington.
- USDI Bureau of Land Management, (1980b). *Visual simulation techniques*. BLM division of Recreation and cultural resource, Washington.
- Van den Bergh, J.C.J.M., Barendregt, A., Gilbert, A., van Herwinen, M., van Horssen, P., Kalendaars, P., e Lorentz, C., (2001). Spatial Economic-Hydroecological modelling and evaluation of land use impacts in the Vecht Wetlands area. *Ecological Modelling and Assessment*. 6(2). pp. 87-100.
- Yager, R.R., (1988). "On ordered weight averaging aggregation operators in multicriteria decision making". In: *IEEE Transaction on System, man and cybernetics*. 18(1). pp. 183-190.
- Yager, R.R., (1993). Families of OWA operators. *Fuzzy sets and systems*. 55. pp. 255-271.
- Zeleny, M., (1982). *Multiple Criteria Decision Making*. McGraw-Hill. New York.
- Zimmermann, H.J., (1987). *Fuzzy sets, decision making and expert systems*. Kluwer A.P. Boston.
- West Midlands regional study, (1968). *A strategy for the West Midlands*. Birmingham.