

La pianificazione multifunzionale delle foreste: l'applicazione di un modello integrato MCDM-GIS¹

Francesco Carbone*

Riassunto

Il contributo presenta un modello integrato tra GIS (*Geographic Information System*) e MCDM (*Multiple Criteria Decision Making*) per eseguire una pianificazione multifunzionale di un bosco ceduo dell'Italia Centrale.

Mediante il GIS l'area di studio è stata suddivisa in *pixels* per procedere successivamente, attraverso la programmazione multiobiettivo, all'identificazione del loro migliore uso, giungendo così ad una pianificazione finale Pareto-efficiente.

Nella prima parte del lavoro, l'autore descrive il modello utilizzato per integrare le due tecnologie, evidenziando soprattutto la metodologia adottata affinché le informazioni territoriali divengano *input* del problema multicriteriale. Successivamente egli procede ad una approfondita analisi del caso in studio ed alla discussione dei risultati conseguiti. In particolare si sottolinea come in situazioni in cui vi è variabilità nella distribuzione territoriale delle tipologie e livelli d'uso dell'area, l'impiego di modelli integrati (GIS-MCDM) è da preferire ai tradizionali approcci matematici di pianificazione.

Introduzione

La visione dell'ambiente come insieme di tutte le risorse naturali disponibili ed al contempo ambito dove si praticano le attività umane, richiede una conoscenza del territorio sempre più dettagliata. Questo

1) Studio sviluppato presso il *Department of Agriculture*, della *University of Reading* (Gran Bretagna) nell'ambito del programma dell'Unione Europea *Human Capital and Mobility*, progetto *The economics of marginal and Mountainous Areas and Forest Timber Environment Systems*, coordinato dal Prof. Venzi dell'Università degli Studi della Tuscia di Viterbo.

*)Docente a Contratto di Istituzioni di Economia, Politica e Statistica Forestale al D.U. di Tecniche Forestali e Tecnologia del Legno Università degli Studi della Tuscia di Viterbo.

obiettivo è un pre-requisito fondamentale per lo sviluppo di qualsiasi processo decisionale a carattere pianificatorio.

Il Decisore Pubblico, nell'esercizio della propria attività, può contare sul supporto di numerose tecnologie tra le quali divengono sempre più rilevanti quelle basate su tecnologie informatiche. Grazie alla loro evoluzione, oggi è possibile sia gestire ed utilizzare banche dati di notevoli dimensioni, sia elaborare modelli matematici capaci di identificare relazioni e trend esistenti al loro interno² (Cassettari, 1993).

Ciò ha consentito alle tecnologie GIS (*Geographic Information Systems*)³ di divenire in pochi anni leader dei Sistemi di Supporto alle Decisioni Territoriali (SDSS, *Spatial Decision Support Systems*) (Batty, *et al.*, 1996; Gunston, 1993) fornendo una preziosa assistenza al Decisore Pubblico in materia di gestione del territorio. Si consideri il loro crescente uso in ambito urbano⁴ (Ciancarella *et al.*, 1993) e di recente anche in quello forestale (Dalmaso *et al.*, 1996; MiPA, 1998), oppure al loro impiego per la creazione di database ambientali di interesse internazionale per previsioni, simulazioni, pianificazioni, ecc., con evidenti benefici per tutta la collettività⁵ (Martin, 1996).

Il ruolo di Sistemi di Supporto alle Decisioni Territoriali non è esclusivo del GIS, ma comprende tutti quegli strumenti che possono assolvere la funzione di supporto alle decisioni, in particolare quelli a carattere informatico (Silver, 1991) come la programmazione multicriteriale (MCDM, *Multiple Criteria Decision Method*) (Caver, 1991).

L'integrazione tra le tecnologie richiama quelli che sono gli obiettivi della ricerca multidisciplinare, dove insieme al vantaggio di analisi e di risultati che investono diversi aspetti del medesimo problema, si ha una maggiore probabilità che l'output conseguito abbia una notevole rilevanza operativa (Janssen *et al.*, 1996).

GIS e MCDM possono essere, dunque, strumenti molto efficaci all'interno del processo decisionale, coniugando la gestione di notevoli masse dati, tipica della prima tecnologia, con l'analisi e l'ordinamento di diverse alternative progettuali, caratteristica dei modelli multicriteriali (Casini, 1996; Scarelli *et al.* 1995).

2) Si veda ad esempio Franco (1996) e Castagnoli (1997).

3) In Italia essi sono noti come Sistemi Informativi Territoriali (SIT).

4) Si visiti il sito web://digimap.ed.ac.uk/

5) Si visiti il sito web://pooh.esrin.esa.it/8888/ew/ e si consideri il contributo del progetto CORINE (COordinated INformation on European Environment).

A tutt'oggi questi strumenti, pur trattando informazioni provenienti dalla stessa base dati (mondo reale), acquisiti con metodologie tra loro profondamente distinte, forniscono *output* diversi, e talvolta anche contraddittori. I modelli multicriteriali forniscono, prevalentemente, informazioni su *cosa, come e quando* sviluppare un determinato progetto, mentre sono pressoché assenti le informazioni su *dove* eseguirlo; viceversa, il GIS fornisce soprattutto informazioni su *dove* un progetto deve essere sviluppato, mentre è carente sugli altri aspetti della pianificazione. In generale emerge una scarsa connessione tra le due tecnologie che si evidenzia soprattutto in termini di insufficiente utilizzo dei dati territoriali per la pianificazione basata su algoritmi di programmazione matematica.

Studi inerenti l'applicazione di modelli integrati GIS-MCDM sono da poco presenti in letteratura⁶. In essi la soluzione del problema multicriteriale è stata ottenuta ricorrendo alla programmazione multiattributo (MADM), mentre non sono stati individuati lavori in cui si ricorre all'applicazione della programmazione multiobiettivo (MODM).

Anche se in letteratura è indicato che MADM ed MODM sono l'uno un caso particolare dell'altro (Nijkamp, 1989), appare di notevole importanza, teorica ed operativa, mantenere tale distinzione (Rehman, Romero, 1993). La programmazione multiattributo esegue una selezione tra un numero discreto di alternative sulla base dei pesi associati ad ognuno di essi (Yoon e Hwang, 1995). La soluzione così ottenuta è la preferibile tra quelle che compongono il set delle alternative analizzate e può essere considerata una soluzione sub-Pareto ottimale o di *second-best*, cioè Pareto-ottimale per l'insieme delle sole alternative considerate. Essa può coincidere, o meno, con la soluzione Pareto-efficiente in assoluto, o può esserle molto vicina (Eastman *et al.*, 1995), tuttavia non si hanno indicazioni circa l'entità della differenza esistente. La programmazione multiobiettivo, invece, esegue una scelta tra l'insieme infinito di alternative raggiungibili sulla base dei vincoli del modello (Colson *et al.*, 1989) e porta pertanto ad una soluzione Pareto-efficiente (Romero *et al.*, 1987) o di *first-best*.

Per poter applicare la programmazione multiobiettivo, tuttavia, occorre costruire un modello in cui ogni entità territoriale componen-

6) Si ricordano Malczewski, 1997; Malczewski, 1996; Eastman, 1995; Heywood, 1995; Jankowski, 1995; Giaoutzi, Nijkamp, 1993; Pereira, 1993; Caver, 1991.

te l'area di studio possa assumere tutte le alternative ipotizzate. In questo contesto si ritiene che l'approccio utilizzato da Mallawaarachchi *et al.* (1996), nonostante sia stato sviluppato con riferimento ad un problema di programmazione lineare, possa essere di notevole interesse metodologico per l'integrazione GIS-MCDM.

Nel presente contributo si desiderano sottolineare, soprattutto, le conseguenze operative del modello di pianificazione elaborato. Inizialmente viene presentata l'area di studio e gli obiettivi pianificatori perseguiti. Di seguito viene descritta la struttura del modello integrato (GIS-MCDM) e dei risultati ottenuti, riproducendo tutte le fasi tramite cui si è giunti alla pianificazione finale dell'area. Nell'ultima parte vengono evidenziati gli aspetti salienti che caratterizzano l'approccio proposto, sottolineando limiti e potenzialità emerse dallo studio.

Il caso di studio

L'area di studio fa parte del patrimonio forestale della regione Lazio. Si tratta di un ceduo coetaneo matricinato di castagno della superficie di 551 ha, localizzato nell'area dei Colli Albani, circa 25 Km a sud di Roma nella fascia compresa tra i 400 ed i 931 m s.l.m.

Dal punto di vista ambientale l'area è di notevole pregio paesistico, ed è parzialmente incluso nel relativo Parco Regionale⁷.

Dal punto di vista strettamente economico, essa fa parte di uno dei più importanti bacini laziali di produzione di legname di castagno. Ha una superficie territoriale complessiva investita a ceduo di castagno di circa 10.000 ha ed una produzione media stimata in 90.000 – 100.000 m³/anno. In questa zona hanno sede 47 ditte di utilizzazione forestale per il 50% a carattere individuale ed il 23% come s.r.l., che insieme alle imprese di prima trasformazione, danno complessivamente occupazione a circa 400 unità (Ribauda, 1997a).

Al momento non si hanno indicazioni specifiche relative ai trend che in prospettiva si ritiene animeranno l'area dal punto di vista ambientale ed economico, tuttavia con riferimento al contesto nazionale, sono evidenti i trend crescenti che caratterizzano la domanda dei beni e servizi forestali.

7) La nuova proposta di ripermetrazione prevede l'inclusione globale dell'area.

A tal riguardo l'uso ricreativo di queste aree è in espansione grazie alle politiche di valorizzazione del territorio indirizzate soprattutto agli abitanti della vicina capitale.

Per ciò che concerne gli aspetti economici tradizionali, la domanda delle produzioni legnose di castagno, limitatamente al legname da opera, si prevede essere in crescita nel medio periodo (Ribaudò 1997b). Significativa è la situazione dell'offerta dei prodotti legnosi di castagno, i cui dati statistici evidenziano l'insufficiente livello della produzione nazionale a cui si fa fronte con ampie importazioni di tronchi e squadrati che, limitatamente al biennio 96/97, ammontano rispettivamente a 77.000 m³ ed 86.000 m³ (Federlegno-Arredo, annate varie).

Nonostante siano evidenti le aspettative ambientali, sociali ed economiche attese dall'area, l'assenza di pianificazione moderna, che includa i cambiamenti amministrativi, fondiari⁸, sociali ed economici verificatisi successivamente, ne attenua la loro entità ed integrazione.

Sulla base del quadro sopra esposto, le molteplici, e per alcuni aspetti contrastanti, attese esistenti, in particolari quelle di natura socioeconomica ed ambientale, rendono necessaria la ricerca di una pianificazione multifunzionale in relazione alla situazione vigente (Giordano, 1990; Repetto e Gilles, 1988; MAF, 1986).

Sono stati, dunque, individuati quattro obiettivi in base ai quali procedere alla pianificazione multifunzionale del bosco, quali:

- massimizzazione della produzione legnosa;
- massimizzazione dell'occupazione nei lavori forestali;
- massimizzazione dell'incremento del valore di habitat per la fauna,
- massimizzazione dell'incremento del valore ricreativo dell'area.

Nell'insieme gli obiettivi pianificatori proposti coprono, in forma diretta o integrata, le molteplici aspettative esistenti per questo tipo di ecosistemi (Venzi, 1999; Venzi, Coletti, 1999). I primi due obiettivi proposti fanno riferimento alla valenza socioeconomica del bosco da cui si origina una prosperosa filiera foresta-legno-arredo. L'obiettivo del miglioramento della funzione di habitat del bosco è, invece, una delle richieste più ricorrenti da parte della collettività quale finalità prioritaria nella gestione di questi ecosistemi. Questo obiettivo, combinandosi in particolare con l'alternativa a fustaia, favorisce nel complesso la funzione di conservazione della biodiversità

8) A seguito della costituzione di un nuovo comune, parte dell'area forestale è divenuta di sua proprietà sottraendola alla pianificazione esistente.

in termini faunistici e floristici. In ultimo, l'obiettivo ricreativo sottolinea quello che è uno dei valori d'uso principali dell'ecosistema boscato conseguente all'elevata domanda di tale tipologia di servizi che caratterizza l'area.

Il primo obiettivo di pianificazione, la massimizzazione della produzione legnosa, si basa sullo schema riportato in tab. 1. In esso si prevede l'applicazione di un modulo colturale articolato su quattro interventi, lo sfollo a 6 anni, 1° e 2° dirado rispettivamente a 12 e 18 anni ed il taglio finale a 24 anni. Annualmente quattro sezioni sono interessate da interventi selvicolturali e la somma della loro superficie costituisce l'unità di gestione del bosco. Con cadenza 6-ennale ogni unità di gestione è sottoposta ad interventi selvicolturali, mentre sulla medesima sezione si procede all'applicazione dello stesso intervento ogni 24 anni, pari al numero degli anni del turno del ceduo⁹.

Gestione separata spetta alla fustaia, per la quale si prevede che ogni 6 anni vengano eseguiti interventi volti a favorire la formazione del nuovo soprassuolo.

Tab. 1 - Schema di gestione del ceduo matricinato

Anno successivo all'avvio della pianificazione	Sfollo	I Dirado	II Dirado	Taglio finale	Unità territoriali di gestione (sezioni)
1	PF6	PF12	PF18	PF24	F
2	PE5	PE11	PE17	PE23	E
3	PD4	PD10	PD16	PD22	D
4	PC3	PC9	PC15	PC21	C
5	PA2	PB8	PB14	PB20	B
6	PA1	PA7	PA13	PA19	A
7	PF24	PF6	PF12	PF18	
...					
12	PA19	PA1	PA7	PA13	
13	PF18	PF24	PF6	PF12	
...					
18	PA13	PA19	PA1	PA7	
19	PF12	PF18	PF24	PF6	
...					
24	PA7	PA13	PA19	PA1	

9) Rispetto alla proposta riportata in letteratura di adottare per l'area un turno di 25 anni (Carbone e Ribaudò, 1995), nel presente lavoro esso è stato assunto di 24 anni in quanto maggiormente gestibile in termini di regolarità degli interventi, senza peraltro alterare significativamente le conclusioni riportate nello studio citato.

Malgrado tutta l'area sia ascrivibile alla 1° classe di fertilità, in accordo con le tre classi di pendenza individuate, sono state riconosciute altrettanti classi produttive e di intensità di gestione. In particolare considerando la diversa funzione idrogeologica e paesaggistica che assolve ciascuna classe di pendenza, sono stati previsti un eguale numero di livelli di massa legnosa estratta/rilasciata per singolo intervento e per forma di governo, come riportato in tab. 2. La capacità produttiva del ceduo è stata desunta da precedenti studi condotti in materia (Carbone e Ribaud, 1995, Molè 1988). Per la fustaia, invece, non si hanno dati specifici relativi all'area in studio; sono stati, pertanto, individuati tre diversi livelli produttivi sulla base delle indicazioni presenti in letteratura (Bernetti, 1994) che sono stati assunti a titolo orientativo. I valori riportati nelle due ultime colonne della tab. 2 sono i coefficienti della funzione obiettivo relativa alla massa legnosa prodotta durante una rotazione completa. Per la produzione attesa durante questo periodo, è stato imposto il vincolo di minimo pari a 250.000 m³, circa il 75% della capacità dell'area assestata interamente a ceduo con turno di 24 anni.

Per ciò che attiene il livello di occupazione dei lavori forestali nel ceduo, si è attinto a specifiche informazioni (Baldini, 1998), mentre per la fustaia si è fatto riferimento a quelle riportate in letteratura (Bernetti, 1994). Anche in questo caso si è proceduto all'individuazione di livelli occupazionali pari al numero delle classi di pendenza ed i cui coefficienti della specifica funzione obiettivo sono riportati nelle due ultime colonne della tab. 3. Nel modello è stato imposto il vincolo che nell'arco di una rotazione l'occupazione non deve essere inferiore a 25.000 giornate per turno, avendo assunto che annualmente vengono eseguiti degli interventi che coinvolgono almeno 5 operai per 210 giornate lavorative.

Il valore dell'habitat del bosco è stato determinato applicando il Metodo di Valutazione dell'habitat (MVH) già noto in letteratura (Sani, 1997). Sulla base della distanza dalle sorgenti ed alla classe di pendenza sono stati riconosciuti 6 diversi classi dell'indice MVH, che assumono valori diversi a seconda della struttura forestale presente nell'area (tab. 4), minore per il ceduo, maggiore per la fustaia. Essendo l'obiettivo la massimizzare dell'incremento del valore dell'habitat, nel modello è stata introdotta una funzione obiettivo lineare, di tipo dinamico, evidenziando così la crescita del suo valore conseguente alla creazione di aree con soprassuolo a fustaia (Bernetti, 1994). Anche

Tab. 2 – Produzione legnosa delle alternative di pianificazione

	Ceduo matricinato										Fustaia
	Interventi selvicolturali										
	Stollo	I Dirado	II Dirado	Taglio finale				V. totale	Produzione legnosa in un turno	Produzione legnosa ogni 6 anni	
Ceduo				Polloni		Tagliati					
				n/ha	m ² /ha		m ² /ha	m ² /ha	m ² /ha	m ² /ha	m ² /ha
<i>Età (anni)</i>	6	12	18	24							
Classe di pendenza	m ² /ha	m ² /ha	m ² /ha	m ² /ha	n/ha	m ² /ha	m ² /ha	m ² /ha	m ² /ha	m ² /ha	m ² /ha
Bassa	26,32	52,63	118,36	314,35	80	36,86	129,58	443,93	641,24	200	
Media	23,68	47,37	106,52	278,07	92	35,88	134,12	412,19	589,76	180	
Alta	21,05	42,11	94,68	242,87	104	31,89	134,76	377,63	535,47	160	

Fonte: ns. elaborazioni su dati Carbone et al. (1995)

Tab. 3 – Livelli occupazionali previsti per le alternative di pianificazione

Clas. di pendenza	Ceduo matricinato(*)						Fustaia(**)
	Interventi selvicolturali						
	Stollo gg/ha	I Dirado gg/ha	II Dirado gg/ha	Taglio finale gg/ha	Totale gg/ha	Totale gg/ha	
Bassa	6	9	10	25	50	24	
Media	6,5	10	12,5	27	56	36	
Alta	7	11	14	30	62	48	

Fonte: (*) Baldini, 1998 - (**) Bernetti, 1994

in questo caso, tuttavia, è stato previsto un vincolo di minimo imponendo che l'incremento dell'indice non possa essere inferiore al valore di 3, circa 1/3 del suo valore potenziale massimo.

Tab. 4 - Valori assoluti e coefficienti relativi al valore di Habitat del bosco

P	Classi di valore dell'Habitat					
	N	R	Q	S	T	
	Valori assoluti					
Ceduo	42	43	47	40	39	44
Fustaia	45	48	50	42	40	47
	Coefficienti della funzione obiettivo					
Fustaia	0,13	0,13	0,13	0,08	0,04	0,13

La funzione ricreativa dell'area è stata formulata sulla base al numero delle presenze medie annue in analoghi soprassuoli di castagno (Bernetti, 1994), tuttavia, sono stati riconosciuti tre diversi livelli di fruibilità del bosco in relazione alla distanza dalla strada, dalle sorgenti e alle classi di pendenza dell'area. Essendo stata espressa anche in questo caso l'intenzione di procedere alla massimizzazione dell'incremento delle potenzialità ricreative, l'obiettivo è stato strutturato in forma dinamica, considerando pertanto solamente il contributo ricreativo della fustaia (tab. 5). Il vincolo di minimo che accompagna la funzione, impone che la nuova pianificazione consenta un aumento di almeno 4 presenze/anno, circa 1/4 del suo valore potenziale massimo.

Gli obiettivi di pianificazione considerati assicurano, anzitutto come singoli e successivamente nel loro complesso, la conservazione, tutela e sviluppo delle funzioni ecologiche, economiche, sociali

Tab. 5 - Valori assoluti e coefficienti relativi alla capacità ricreativa dell'area

	Classi ricreative		
	x	y	z
	Valori assoluti		
Ceduo	3	2	1
Fustaia	7,5	5	2,5
	Coefficienti della funzione obiettivo		
Fustaia	0,19	0,13	0,06

dell'ecosistema forestale in armonia con i principi della gestione sostenibile delle risorse naturali (Gluck, 1994).

Al fianco degli obiettivi di pianificazione, sopra esposti, sono stati inclusi due obiettivi di gestione, quali:

- minimizzazione della distanza cumulata tra l'imposto e le unità territoriali a ceduo;
- minimizzazione della distanza cumulata tra la sorgente e le unità territoriali a fustaia.

Attraverso questi obiettivi si è voluto considerare, sia pure indirettamente, taluni aspetti di natura tecnica e colturale connessi all'organizzazione territoriale della gestione forestale dell'area¹⁰.

Per la determinazione delle distanze è stato fatto ricorso al Teorema di Pitagora¹¹, assumendo il valore ottenuto quale proxy della distanza effettiva, ben sapendo che nella realtà vi sono numerose variabili che lo influenzano (es. orografia, distribuzione delle strade e piste forestali, organizzazione del cantiere, ecc.).

Il primo obiettivo di gestione è stato elaborato per favorire la distribuzione di ogni unità gestionale attorno al proprio imposto¹². Così facendo si riduce al minimo il trasporto della massa legnosa all'interno dell'area forestale l'area oggetto di controllo e sorveglianza da parte dell'autorità, con benefici riflessi sotto l'aspetto economico derivanti dal contenimento dei costi, favorendo altresì la promozione

10) L'assenza di un vincolo di contiguità al fine di formare aree a gestione omogenea, potrebbe condurre ad una elevata frammentazione ed alternanza, in spazi ridotti, delle forme di governo previste. Si creerebbe così una struttura estremamente diversificata e complessa che, pur essendo benvenuta dal punto di vista ecosistemico, sul piano manageriale richiederebbe una perizia ed una sensibilità gestionale che al momento non appare un patrimonio culturale diffuso e di comune applicazione.

11) Infatti, essendo note le coordinate assolute in x ed y delle singole unità territoriali e dei centri di gestione, siano essi imposti o sorgenti, il parametro di interesse è stato determinato dall'applicazione della seguente relazione:

$$\delta, \text{ oppure } \gamma = \left[(x_{p,i} - x_{cg,j})^2 + (y_{p,i} - y_{s,j})^2 \right]^{1/2}$$

dove

δ distanza tra unità territoriali a ceduo ed imposto;

γ distanza tra unità territoriali a fustaie e le sorgenti;

$x_{p,i}$ $y_{p,i}$ coordinate assolute delle unità territoriali, con $i = \{1, \dots, 551\}$;

$x_{cg,j}$ $y_{cg,j}$ coordinate assolute dei centri gestione con $j = \{1, \dots, 9\}$, di cui 3 sono le sorgenti e 6 gli imposti individuati.

12) Area in cui viene raccolto il legname ottenuto dagli interventi di utilizzazione forestale.

di una gestione più efficace ed efficiente dell'area poiché l'intervento è eseguito con modalità di uniformi ed in una zona ben circoscritta. In questo caso l'obiettivo è accompagnato dal vincolo che la distanza cumulata per ogni unità di gestione non deve eccedere i 35.000 m.

Stesso approccio è stato utilizzato per il secondo obiettivo, anche se in questo caso si persegue l'obiettivo di raccogliere, attorno alle sorgenti, le aree a maggior uso ricreativo dove concentrare gli eventuali servizi di supporto all'attività. Il vincolo di massimo che accompagna questo obiettivo è 25.000 m.

Formulazione e risoluzione del modello

La costruzione del modello integrato si articola su una serie di fasi (fig. 1) di cui le più salienti sono: a) formazione delle immagini raster dell'area, b) formulazione del modello multicriteriale, c) soluzione e rappresentazione grafica dell'*output*, d) validazione dei risultati ed eventuale ricalibrazione del modello e nuova risoluzione.

Nella prima fase si è proceduto alla digitalizzazione dell'area mediante software TOSCA. Nello specifico sono state introdotte le carte tematiche dell'area relative alla pendenza, al valore dell'*habitat* ed a quello ricreativo, distinguendo per ognuna di esse differenti classi di valore. Successivamente, ciascuna carta tematica, (*layer*), è stata importata nel software IDRISI che ha proceduto alla trasformazione in immagine raster¹³ dell'area, cioè nella scomposizione dell'area in celle (*pixels*), oppure celle, ognuna di ha 1. Ogni cella è contraddistinta da una coppia di coordinate (x,y) che indicano la sua localizzazione nella matrice del *layer* e rappresenta l'unità elementare di pianificazione.

Nella seconda fase, le unità di pianificazione sono divenute la base per la formulazione del modello multicriteriale. Articolandosi in sei sezioni (fig. 2), nella I ad ogni unità territoriale sono state contrap-

13) La preferenza accordata al sistema raster anziché vettoriale deriva, dall'obiettivo metodologico di dare una maggiore flessibilità alla pianificazione in corso di elaborazione. Il vettore, infatti, non consentendo usi misti deve destinarsi interamente ad un uso rispetto ad un altro ed è incluso all'interno dei modelli matematici decisionali attraverso variabili binarie (1,0) (O'Hara et al., 1989; Covington et al., 1988); con l'approccio raster, invece, l'area viene suddivisa in celle, ognuna delle quali può avere destinazione diversa da quelle adiacenti.

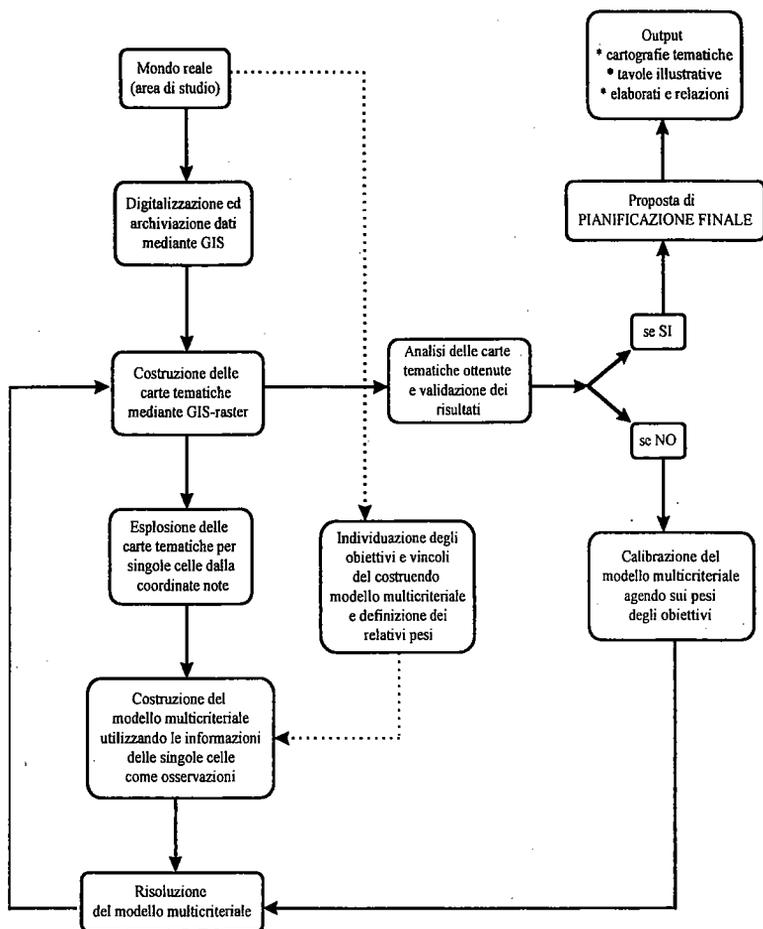


Fig. 1 - Struttura del modello integrato MCDM-GIS

poste le due alternative di pianificazione previste, quali il ceduo "c" e la fustaia "f" in una logica di programmazione binaria, imponendo il vincolo che tutta l'area sia interessata dalla pianificazione.

Nelle successive tre sezioni (II^a, III^a, IV^a) il modello ha uno sviluppo in parallelo tra le due alternative e per ogni unità di pianificazione verrà attivata ora l'una, oppure l'altra, a seconda della opzione preferita precedentemente. Più in dettaglio, la II^a sezione riguarda gli obiettivi della produzione ed occupazione, la III^a il valore dell'habitat e la IV^a quello ricreativo.

Fig. 2 - Struttura matematica del modello integrato MCDM-GIS

$$\begin{aligned}
 c_i - f_i &\leq 1 \\
 \sum_{i=1}^{551} c_i - \sum_{i=1}^{551} f_i &= 551 \\
 \sum_{i=1}^{551} c_i - CT &= 0 \\
 \sum_{i=1}^{551} f_i - FT &= 0
 \end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned}
 \sum_{l=1}^{551} \Pi_l - \Pi L &= 0 \\
 \sum_{m=1}^{551} \Pi_m - \Pi M &= 0 \\
 \sum_{h=1}^{551} \Pi_h - \Pi H &= 0
 \end{aligned} \right\} \forall \begin{cases} \Pi = c, f \\ l, m, h = i \\ l, m, h = 1, \dots, 551 \\ l = m = h \end{cases} \quad II$$

$Max\ 641,24cL + 589,76cM + 535,47cH + 200fL + 180fM + 160fH (\geq 250.000)$
 $Max\ 50cL + 56cM + 62cH + 24fL + 36fM + 48fH (\geq 25.000)$

$$\left. \begin{aligned}
 \sum_{p=1}^{551} \Pi_p - \Pi P &= 0 \\
 \sum_{n=1}^{551} \Pi_n - \Pi N &= 0 \\
 \sum_{r=1}^{551} \Pi_r - \Pi R &= 0 \\
 \sum_{q=1}^{551} \Pi_q - \Pi Q &= 0 \\
 \sum_{s=1}^{551} \Pi_s - \Pi S &= 0 \\
 \sum_{t=1}^{551} \Pi_t - \Pi T &= 0
 \end{aligned} \right\} \forall \begin{cases} \Pi = c, f \\ p, n, r, q, s, t = i \\ p, n, r, q, t, s = 1, \dots, 551 \\ p = n = r = q = s = t \end{cases} \quad III$$

$Max\ 0,13fP + 0,13fN + 0,13fR + 0,08fQ + 0,04fS + 0,13fT (\geq 3)$

$$\left. \begin{aligned}
 \sum_{x=1}^{551} \Pi_x - \Pi X &= 0 \\
 \sum_{y=1}^{551} \Pi_y - \Pi Y &= 0 \\
 \sum_{w=1}^{551} \Pi_w - \Pi W &= 0
 \end{aligned} \right\} \forall \begin{cases} \Pi = c, f \\ x, y, w = i \\ x, y, w = 1, \dots, 551 \\ x = y = w \end{cases} \quad IV$$

$Max\ 0,19fX + 0,13fY + 0,06fW (\geq 4)$

$$\left. \begin{aligned}
 \sum_{\rho=1}^{551} \delta_{i,\rho} - D_\rho &= 0 \\
 D_\rho &\leq 35.000 \\
 Min \sum_{\rho=1}^6 D_\rho
 \end{aligned} \right\} \forall \begin{cases} \rho = 1, \dots, 6 \\ \delta_{i,\rho} \leq 1.500 \end{cases} \quad V$$

$$\left. \begin{aligned}
 \sum_{\eta=1}^{551} \gamma_{i,\eta} - P_\eta &= 0 \\
 P_\eta &\leq 25.000 \\
 Min \sum_{\eta=1}^3 P_\eta
 \end{aligned} \right\} \forall \begin{cases} \eta = 1, \dots, 3 \\ \gamma_{i,\eta} \leq 1.500 \end{cases} \quad VI$$

Legenda:

- c, f alternative di pianificazione, rispettivamente ceduo e fustaia
- L, M, H classi di pendenza, rispettivamente bassa, media, alta
- P, N, R, Q, S, T classi del valore di habitat
- X, Y, W classi ricreative rispettivamente bassa, media, alta
- δ distanza della unità di pianificazione a ceduo i all'imposto ρ
- γ distanza della unità di pianificazione a fustaia i alla sorgente η .

In base alle carte tematiche ottenute con l'applicazione del software IDRISI, ciascuna cella ha una propria classe di appartenenza che esprime l'intensità del fenomeno sulla sua superficie. Per ogni classe è stata quindi proposta una funzione di identità in cui alla componente espressa come sommatoria di singole celle è stata contrapposta una variabile cumulativa. L'insieme di queste ultime è divenuto l'argomento delle formulazioni relative ai rispettivi vincoli e funzioni obiettivo.

Le ultime due sezioni del modello multicriteriale, V^a e VI^a, sono state dedicate alla definizione delle unità di gestione per l'esercizio dell'attività selvicolturale. Avendo proceduto alla determinazione della distanza planimetrica tra celle ed i centri delle unità di gestione (imposti e sorgenti), si assume che le unità di pianificazione possano legarsi ai centri suddetti solamente se aventi una distanza inferiore a 1.500 m. La minimizzazione della distanza cumulata tra le celle e gli imposti è l'obiettivo della V sezione, mentre quella con le sorgenti è affrontata nella VI.

Ritornando nuovamente alla struttura del modello integrato, nella terza fase, si procede alla risoluzione del problema multicriteriale, operando l'ottimizzazione dei singoli problemi monocriteriali. Si ottiene così il set efficiente delle soluzioni (Rae, 1994) che costituiscono la matrice dei *pay-off* dove sono riportati i valori *ideali* ed *anti-ideali* di ogni singolo obiettivo. Le coordinate dei valori ideali individuano il corrispondente punto ideale, o soluzione ideale, del problema che, data la conflittualità degli obiettivi, risulta essere di impossibile raggiungimento (Bernetti *et al.*, 1992). Per eseguire la scelta della soluzione capace di conciliare i diversi obiettivi del problema esistono diversi approcci (Bazzani, 1995). Nello studio in questione è stata applicata la *Compromise Programming* (Yu, 1973; Zeleny, 1973 e 1982), che deriva la soluzione dalla minimizzazione della distanza dal punto ideale degli obiettivi in base ad una metrica prescelta, compresa tra 1 ed infinito.

Sulla base dei risultati ottenuti dal modello multicriteriale si è proceduto alla costruzione delle carte tematiche relative alle pianificazioni conseguite. Tali carte sono state oggetto di ulteriore approfondimento prima di giungere alla loro validazione. Soffermando l'attenzione sulla pianificazione ideale conseguita, che costituisce la rappresentazione territoriale della soluzione ideale numerica, la proposta è stata ritenuta rischiosa per una gestione stabile e duratura del bosco,

pertanto si è dovuto procedere ad un ulteriore calibrazione del modello intervenendo sui pesi degli obiettivi di gestione. Soltanto alla conclusione di questo ulteriore affinamento si è giunti alla proposta finale.

Nel loro insieme queste ultime fasi descrivono un processo circolare ed iterativo che si conclude nel momento in cui si perviene ad una pianificazione soddisfacente sotto tutti i punti di vista (fig. 1).

I risultati

Dall'ottimizzazione dei singoli problemi monocriteriali si evince come la pianificazione multifunzionale dell'area sia un obiettivo raggiungibile (tab. 6). La matrice dei *pay-off* evidenzia, inoltre, che tutte le pianificazioni ottenute sono tra loro differenti, poiché non si hanno duplicazioni nei valori degli obiettivi, anche se si possono individuare comportamenti analoghi per coppie di obiettivi.

I primi due obiettivi, produzione legnosa ed occupazione, promuovono la presenza del ceduo per 504 ha (tab. 7), limitato nella sua

Tab. 6 - Matrice dei *pay-off*

Obiettivo ottimizzato	Dir.	Obiettivi					
		Produzione legnosa <i>m</i> ²	Occupazione <i>gg/turno</i>	Inc. del valore dell'habitat <i>indice</i>	Inc. del valore ricreativo <i>presenze</i>	Distanza imposti <i>m</i>	Distanza sorgenti <i>m</i>
Produzione legnosa	Max	307.850	29.840	3,55	6,17	210.000	45.301
Occupazione	Max	307.813	29.841	3,61	6,31	210.000	49.216
Inc valore dell'habitat	Max	250.000	26.394	21,90	23,87	204.153	75.000
Inc. valore ricreativo	Max	257.757	26.937	18,69	26,70	204.884	75.000
Dist. cum. dagli imposti	Min	257.490	26.881	18,49	21,24	147.059	75.000
Dist. cum. dalle sorgenti	Min	305.264	29.422	5,00	6,99	210.000	9.912

Tab. 7 - Ripartizione territoriale dell'area prevista per i risultati riportati nella matrice dei *pay-off* (dati in ettari)

	Obiettivo ottimizzato					
	Produzione legnosa <i>Max</i>	Occupazione <i>Max</i>	Inc. del valore dell'habitat <i>Max</i>	Inc. del valore ricreativo <i>Max</i>	Distanza imposti <i>Min</i>	Distanza Sorgenti <i>Min</i>
Ceduo	504	504	374	390	390	503
Fustaiat	47	47	177	161	161	48

ulteriore estensione dal relativo vincolo di gestione. La seconda coppia, invece, habitat e ricreazione, aumentano la presenza della fustaia nell'area fino al punto in cui il vincolo di massimo della distanza tra unità di pianificazione e sorgenti, viene eguagliato. La superficie trasformata a fustaia, in questo caso, ammonterebbe ad 177 ha ed 161 ha rispettivamente per l'habitat e per la ricreazione. Inoltre solamente nel caso dell'habitat, viene eguagliato il vincolo di minima produzione legnosa pari ad 250.000 m³.

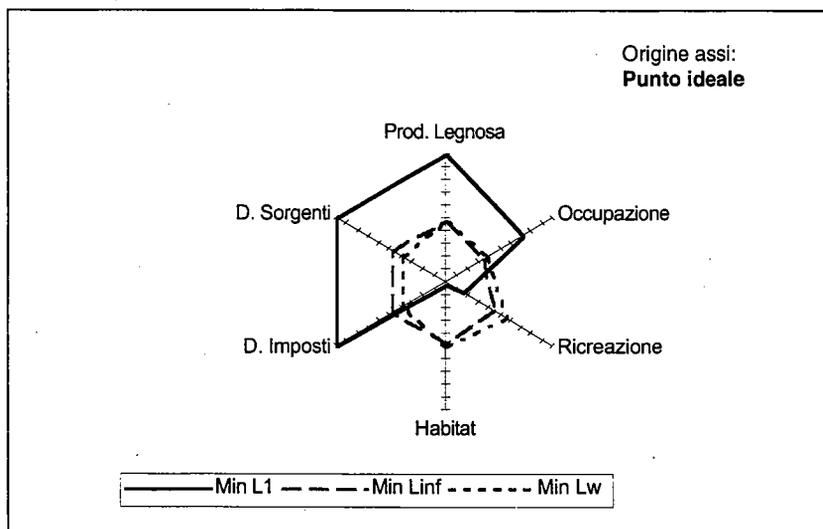
Gli obiettivi di gestione, invece, si muovono ciascuno autonomamente. Quello relativo alla minimizzazione della distanza tra celle ed imposti prevede la trasformazione di 161 ha di ceduo in fustaia, limitata nel proprio espandersi dal vincolo di massimo della distanza cumulata con le sorgenti. Situazione diametralmente opposta caratterizza il secondo obiettivo gestionale, dove si favorisce la permanenza a ceduo per 503 ha.

Dai risultati finora esposti occorre evidenziare il caso della massimizzazione degli obiettivi relativi all'incremento del valore ricreativo ed alla minimizzazione della distanza dagli imposti. Ragguardevole è la differenza nei valori dei due obiettivi, quello ricreativo passa da 26,70 a 21,24 con una perdita in termini di incremento delle presenze del 20% tra il primo ed il secondo caso considerato, mentre nella distanza cumulata con gli imposti la variazione in termini assoluti è molto maggiore passando da 204.884 m nell'obiettivo pianificatorio, a 147.059 m in quello gestionale, con un risparmio in termini di distanza del 40% circa nel secondo caso. Tutti gli altri obiettivi presentano valori dello stesso ordine di grandezza, compresa la ripartizione dell'area tra le due alternative. Tutto ciò induce a ritenere che tra i due obiettivi, malgrado l'equivalenza in termini di superficie, deve esistere una diversità nella distribuzione planimetrica delle alternative.

Dall'analisi delle soluzioni fornite dalla *Compromise Programming* (tab. 8) emerge per la metrica L_1 (fig. 3) una pianificazione che esalta le potenzialità di habitat dell'area. Questo obiettivo è appena dell'1% inferiore rispetto suo valore ideale (cfr. tabb. 8 e 6). Differenze maggiori si hanno, invece, per gli altri obiettivi. Ricreazione ed occupazione sono, rispettivamente, il 15% ed il 70% inferiori dei loro valori ideali, mentre la produzione legnosa e gli obiettivi gestionali coincidono con i rispettivi valori anti-ideali.

Maggiore equilibrio si ha con la metrica L_w , essendo tutti gli obiettivi considerati compresi tra il 50% e 60% dai loro valori ideali (fig. 3). La superficie coperta a ceduo ammonta ad 443 ha mentre quella a fustaia 108 ha, distribuzione che si discosta notevolmente da tutte le pianificazioni monocriteriali. La produzione legnosa ammonta a 280.476 m³/turno, mentre l'occupazione è di 28.169 giornate/turno. L'incremento del valore dell'habitat del bosco è di 16,74, mentre per la capacità ricreativa è previsto un aumento di 13 presenze/anno. La distanza cumulata tra le unità territoriali di produzione e gli imposti è di 177.586 m, mentre quella delle unità a fustaia e le sorgenti ammonta ad 41.480 m.

Fig. 3 - Distanza dal punto ideale delle soluzioni pianificatorie analizzate



La rappresentazione grafica dei risultati fornisce delle indicazioni estremamente interessanti. La prima mappa (fig. 4) riporta la pianificazione prevista per raggiungere la massimizzazione della produzione legnosa. L'area è ripartita tra le sei unità di gestione ed ognuna di esse si sviluppa piuttosto regolarmente attorno al proprio imposto. La fustaia, invece, si presenta frammentata e localizzata lontano dai punti a maggior valore ricreativo ad eccezione di quella posta nella zona a nord.

Diversa è la pianificazione relativa alla massimizzazione dell'occupazione (fig. 5). In questo caso l'ottimizzazione dell'obiettivo non

Legenda delle figg. da 4 a 13

Infrastrutture

- * Imposti
- + Sorgenti

Tipologie forestali

- Fustaia
- Ceduo, sez. 1
- Ceduo, sez. 2
- Ceduo, sez. 3
- Ceduo, sez. 4
- Ceduo, sez. 5
- Ceduo, sez. 6

Segni particolari

- Area dove vi è conflitto di destinazione d'uso
- Area destinata a ceduo per cui non vi è uniformità di vedute circa la sezione

Scala

■ 1 ha

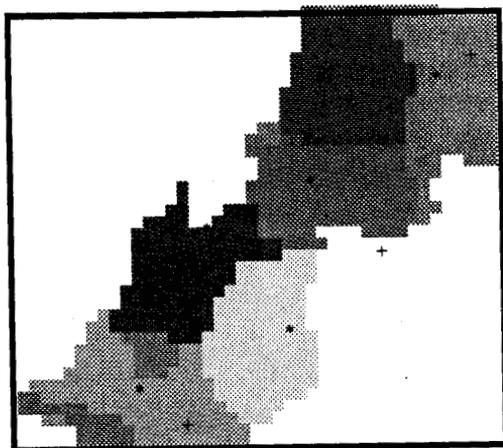


Fig. 4 - Pianificazione forestale prevista per la massimizzazione della produzione legnosa

prevede isole di gestione, allontana ulteriormente la fustaia dalle sorgenti, e infine, propone lievi variazioni nello sviluppo territoriale delle unità di gestione.

La successiva mappa (fig. 6) riporta la pianificazione prevista per conseguire la massimizzazione dell'incremento del valore di habitat nell'ecosistema. L'area a fustaia è distribuita ordinatamente intorno alle sorgenti, mentre il ceduo ha una distribuzione caotica ed irrazionale, introducendo isole gestionali di ha 1 cadauno in mezzo alla fustaia. Analoga situazione si riscontra per la mappa relativa alla massimizzazione dell'incremento della capacità ricreativa dell'area

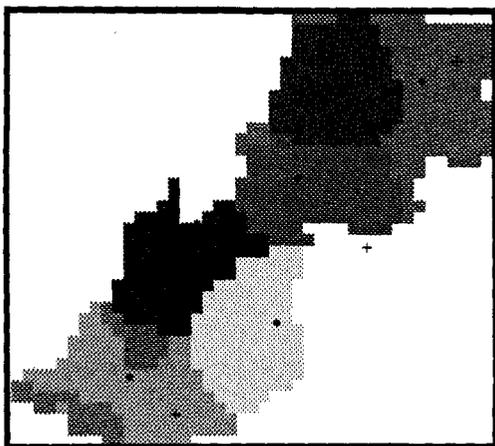


Fig. 5 - Pianificazione forestale prevista per la massimizzazione dell'occupazione forestale

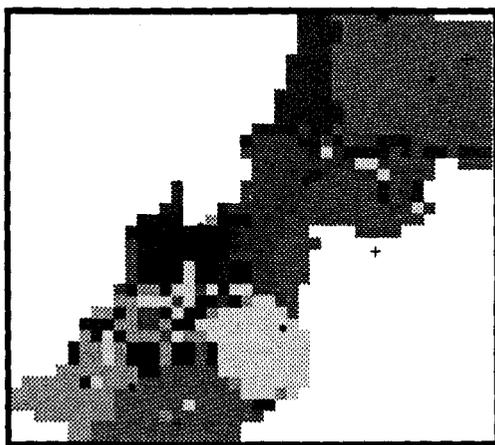


Fig. 6 - Pianificazione forestale prevista per la massimizzazione dell'incremento del valore di habitat

(fig. 7). In entrambi i casi l'implementazione della pianificazione proposta, che potrebbe apparire anche interessante sotto l'aspetto della diversificazione biologica del bosco, richiederebbe un notevole dispendio di energie e di risorse per l'organizzazione della gestione e dei cantieri forestali, con un'elevata probabilità di vedere, nel volgere di alcuni anni, il trasferimento di alcune aree ad unità gestionali diverse.

Le pianificazioni relative agli obiettivi gestionali sono notevolmente migliori come organizzazione territoriale (fig. 8 e 9). In entrambi i casi si evidenzia, infatti, una distribuzione ordinata attorno agli impianti ed alle sorgenti, rispettivamente, del ceduo e della fustaia.

Dalla sovrapposizione delle diverse pianificazioni monocriteriali si ottiene una zonizzazione dell'area di studio in tre classi¹⁴ (fig. 10). Quella avente maggiore estensione riguarda l'insieme dei *pixels* in cui vi è conflitto nella destinazione d'uso (ceduo o fustaia), mentre per una superficie minore vi è accordo nella destinazione a ceduo dell'area e, con riferimento a quest'ultima, limitatamente ad una frazione piuttosto contenuta di bosco, vi è unanimità nella distribuzione delle unità di gestione.

Le successive mappe riportano le pianificazioni proposte in base alle soluzioni della *Compromise Programming*. La metrica L_1 fornisce una pianificazione caotica (fig. 11) specie in termini di distribuzione delle unità di gestione, mentre è priva di inclusi di fustaia nelle aree a

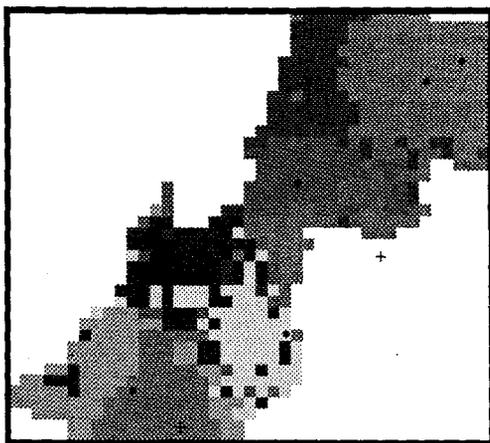


Fig. 7 - Pianificazione forestale prevista per la massimizzazione dell'incremento del valore ricreativo

14) Questa carta non ha una corrispondente versione a carattere numerico.

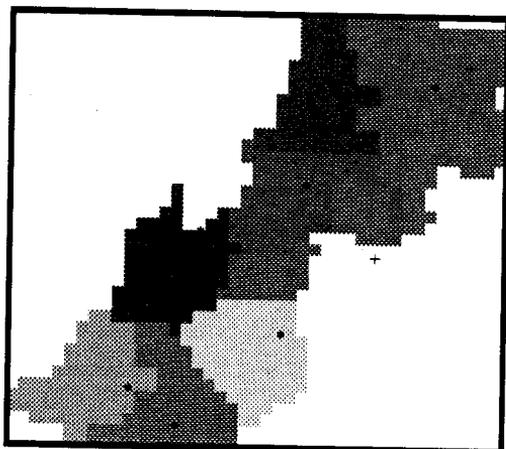


Fig. 8 - Massimizzazione forestale prevista per la minimizzazione della distanza cumulata tra unità territoriali di produzione legnosa e imposti

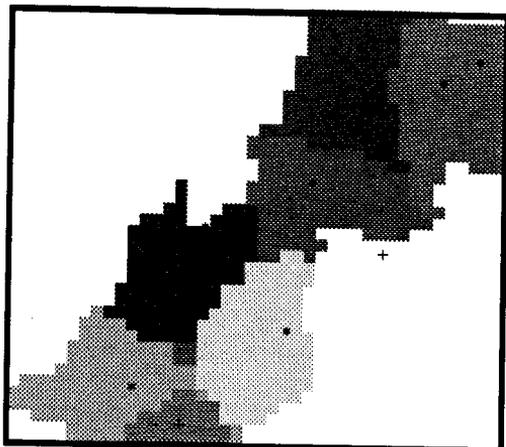


Fig. 9 - Pianificazione forestale prevista per la minimizzazione della distanza cumulata tra le unità territoriali a fustaia e le sorgenti

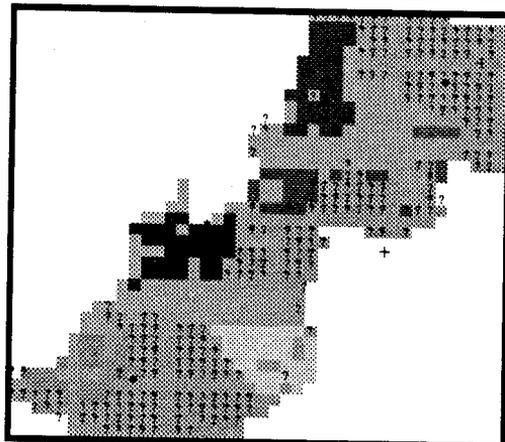


Fig. 10 - Ripartizione del bosco tra la sezione per cui l'alternativa di pianificazione è stata già individuata all'unanimità dai diversi approcci monocriteriali e quella per cui l'identificazione deve avvenire mediante l'applicazione della Compromise Programming.

ceduo. Sicuramente migliore è la pianificazione proposta in base alla metrica L_1 (fig. 12) che costituisce la pianificazione ideale, corrispondente alla soluzione ideale del problema multicriteriale. In questo caso le unità di gestione del ceduo si sviluppano tutto intorno agli imposti, mentre le fustaie pur concentrandosi in prossimità delle sorgenti, presentano delle isole gestionali all'interno delle aree a ceduo.

La pianificazione così ottenuta, scaturisce dalla perfetta equivalenza degli obiettivi considerati. Tuttavia, pur garantendo le migliori performance dei medesimi, da un punto di vista pianificatorio appare instabile e rischiosa data la presenza di piccole isole in aree a diversa forma di governo con altissime probabilità di variazione nella loro forma di gestione e conseguente variazione dell'assetto del bosco,

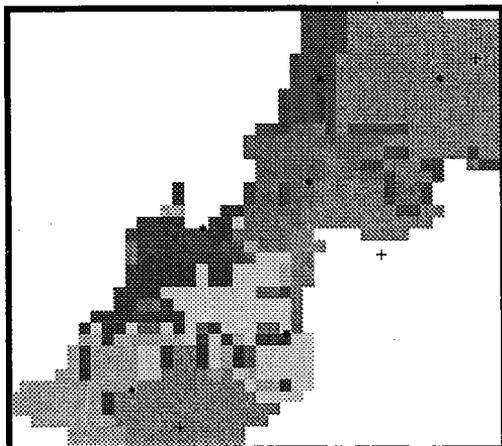


Fig. 11 - Pianificazione forestale prevista dalla Compromise Programming nella metrica L_1

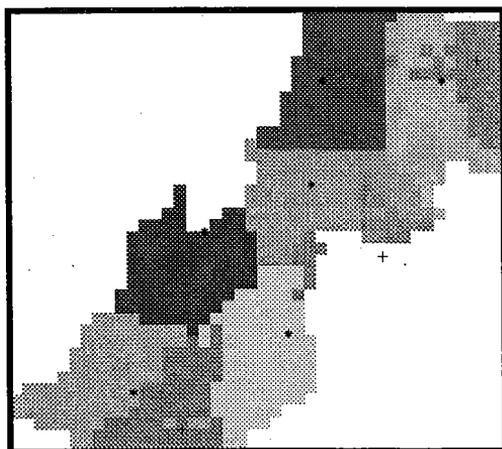


Fig. 12 - Pianificazione forestale prevista dalla Compromise Programming nella metrica L_1 : la pianificazione ideale

mentre per l'aspetto manageriale essa richiederebbe un controllo puntuale esterno a quello della restante unità di appartenenza con aggravio dei costi.

Per poter superare questi aspetti è stata proposta una nuova pianificazione in cui il peso degli obiettivi gestionali è stato accresciuto del 50% rispetto a quelli pianificatori sulla scorta di valutazioni operative finalizzate ad ottenere aree omogenee per forma di governo come attese dall'ente gestore¹⁵. E' stata così ottenuta una nuova pianificazione forestale, L_w , (fig. 13) più ordinata e facilmente gestibile per l'Amministrazione.

La ripartizione della superficie forestale tra le due alternative è cambiata rispetto alla pianificazione ideale di 1 ha a favore del ceduo (tab. 8). Tutti gli obiettivi pianificatori considerati, sia pure in misura diversa, hanno subito delle riduzioni rispetto ai livelli registrati nella pianificazione ideale (fig. 3). La produzione legnosa e l'occupazione subiscono una lieve contrazione, rispettivamente dello 0,2% e 0,5%. L'incremento del valore ricreativo ha subito una riduzione del 3%, assicurando comunque un potenziale di 1.005 presenze/anno in bosco, mentre il valore dell'habitat ha fatto registrare una contrazione del 15%. Gli obiettivi gestionali, infine, hanno migliorato i rispettivi valori. La distanza delle unità di produzione di legname agli imposti

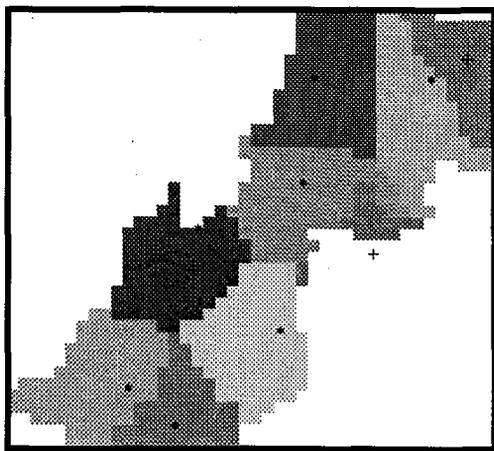


Fig. 13 - Pianificazione forestale prevista dalla Compromise Programming nella metrica L_w , in cui è stato accresciuto il peso degli obiettivi di gestione

15) Il peso adottato per questi obiettivi non è detto che sia l'unico che raggiunge lo scopo prefissosi. Esso è stato suggerito sulla base di valutazioni empiriche che appaiono essere orientati soprattutto ad escludere drasticamente l'eventualità che si riproponga un risultato analogo di frammentazione delle classi di gestione.

si è ridotta di circa il 3%, passando a 172.597 m, mentre più sensibile è il calo di oltre il 12% della distanza cumulata con le sorgenti.

Tab. 8 - Soluzione della *Compromise Programming*

Metrica	Obiettivo ottimizzato						Ripartizione del bosco	
	Produzione legnosa	Occupazione	Inc. del valore dell'habitat	Inc. del valore ricreativo	Distanza Imposti	Distanza Sorgenti	Ceduo	Fustaia
	m ²	gg/turmo	indice	presenze	m	m	ha	ha
L ₁	250.000	26.333	23,15	21,66	210.000	75.000	375	176
L _w	280.476	28.169	16,74	13,00	177.586	41.480	443	107
<i>Pesi</i>					+50%	+50%		
L _w	279.978	28.021	12,57	14,21	172.597	36.321	444	106

Nel passaggio dalla pianificazione ideale, L, a quella più attenta agli aspetti gestionali, L_w, a fronte di un aumento della superficie a ceduo di 1 ha si ha un nuovo assetto del bosco. Vengono eliminate le isole gestionali con conseguente maggiore stabilità della gestione dell'ecosistema senza alterare significativamente i risultati conseguibili e rimanendo, altresì, in una logica di efficienza Paretiana.

A conclusione dell'analisi tecnico-ambientale per le diverse pianificazioni scaturite dal modello integrato GIS-MCDM, si ritiene necessario dare delle indicazioni su alcuni aspetti economici precedentemente richiamati. In particolare si sofferma l'attenzione sui costi di controllo e collaudo del taglio ed il costo di esbosco del legname. I primi, pur essendo a carico dello Stato, danno una chiara indicazione degli oneri aggiuntivi cui si va incontro conseguentemente all'ampliamento del cantiere forestale in aree non direttamente interessate dagli interventi. I secondi, invece, incidono sul valore di macchiatico del legname e, a parità di condizioni, sono in funzione dalla distanza dall'imposto.

Come è stato chiaramente evidenziato, l'assetto del bosco per i diversi obiettivi differisce sia per la variazione della dimensione delle sezioni, sia per l'estensione del cantiere forestale legato alla distribuzione territoriale della sezione. Con riferimento a quest'ultimo aspetto è estremamente significativo l'indice di accorpamento¹⁶. Allorché vi è perfetta sovrapposizione tra cantiere forestale ed area di interven-

16) Esso è ottenuto come rapporto tra la superficie territoriale effettivamente coinvolta, cioè l'estensione del cantiere forestale, con quella della sezione su cui si dovrà intervenire.

to esso è pari ad 1, mentre negli altri casi è >1 . Come è possibile vedere già dalle cartografie, eccetto i casi relativi alla minimizzazione della distanza dalle sorgenti (fig. 9) e quella di minimizzazione della metrica L_w (fig. 13), quando le sezioni del ceduo sono accorpate, non lo sono quelle delle fustaie e viceversa, pertanto l'indice di accorpamento assume valori variabili.

Considerato che la problematica economica è sostanzialmente analoga per tutte le sezioni della medesima pianificazione, di seguito l'attenzione si concentrerà solamente su due di esse, una per il ceduo (sez. 1) ed una per la fustaia (sez. 7)¹⁷. I rispettivi indici di accorpamento sono riportati in tab. 9.

Tav. 9 - Indici di accorpamento delle sezioni a ceduo A ed a fustaia G

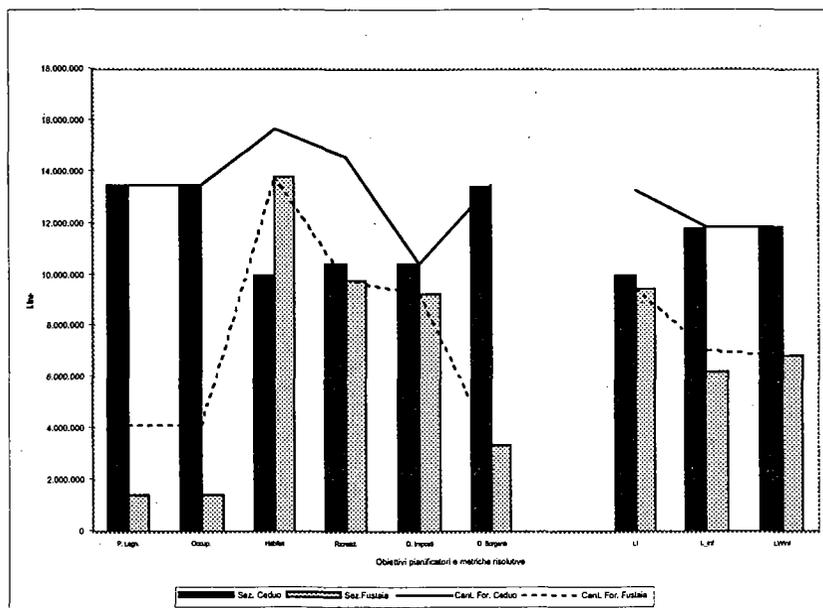
Obiettivi	Dimensione sezione (ha)		Distribuzione territoriale (ha)		Indice di accorpamento	
	Ceduo	Fustaia	Ceduo	Fustaia	Ceduo	Fustaia
	Sez. 1	Sez. 7	Sez. 1	Sez. 7	Sez. 1	Sez. 7
Prod. Legnosa	84	9	84	26	1	2,89
Occupazione	84	9	84	26	1	2,89
Habitat	62	86	98	86	1,57	1
Ricreazione	65	61	91	61	1,40	1
Dist. Imposti	65	58	65	58	1	1
Dist. Sorgenti	84	21	84	21	1	1
Metrica						
L_1	62	59	83	59	1,33	1
L_2	74	39	74	44	1	1,13
L_w	74	43	74	43	1	1

Nei casi in cui questo indice è pari all'unità, i costi di controllo e collaudo non subiscono alcuna variazione (fig. 14). Negli altri casi, invece, essi subiscono un notevole incremento in quanto le aree di connessione, non soggette al taglio, devono comunque essere oggetto di sopralluogo. L'incremento massimo è stato calcolato all'incirca del 190% per le sezioni a fustaia nelle pianificazioni relative agli obiettivi di massima produzione legnosa e occupazione. Infatti, rispetto a circa 1.500.000 £ dovuti per l'area effettiva di intervento, la frammentazione del soprassuolo impone una spesa di circa 4.200.000 £. Per il ceduo, invece, nell'obiettivo di massimizzazione dell'habitat, su una spesa dovuta di circa 10.000.000 £ si hanno dei costi aggiuntivi di 5.700.000 £, pari ad un incremento del 55% circa. Nella pianificazione finale, L_w ,

17) Essa definisce la sezione a fustaia relativa alla sorgente posta nord-est dell'area.

infine, non si hanno costi aggiuntivi poiché vi è perfetta sovrapposizione tra area di intervento e cantiere forestale (fig. 13).

Fig. 14 - Costi di controllo e collaudo tra quelli dell'area effettivamente al taglio (Sez.) e quelli del cantiere forestale (Cant. For.) per i diversi obiettivi di pianificazione e metriche risolutive



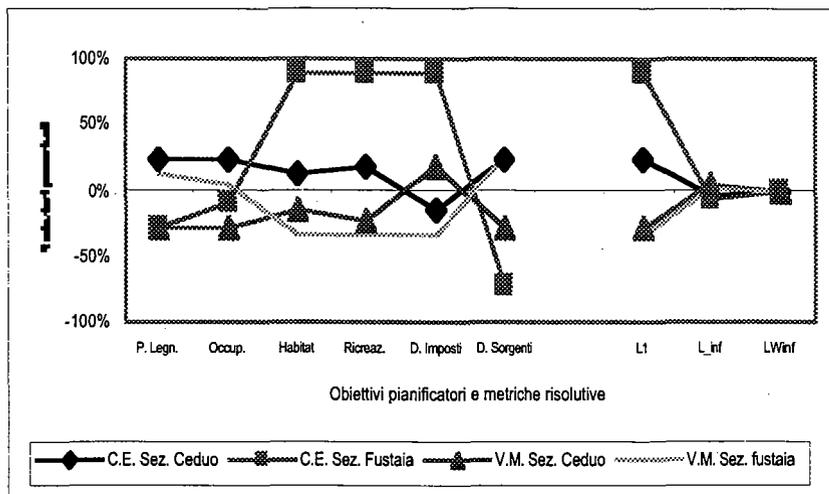
Per ciò che attiene i costi di esbosco per unità di volume prodotto¹⁸, l'analisi è stata condotta prendendo a riferimento quelli della pianificazione L_w . Nel caso del ceduo le variazioni percentuali delle altre pianificazioni sono comprese tra +24% e -15%, mentre per le fustaie il range è notevolmente più ampio essendo definito tra i valori estremi di +90% e -72% (fig. 15). Considerando brevemente l'impatto di questi costi sul prezzo di macchiatico lordo¹⁹, le variazioni percentuali generate oscillano tra -29% e +17%, ed -34% e +27%, rispettivamente per ceduo e fustaia. La presenza di valori di segno opposto deriva da quelle pianificazioni in cui in il soprassuolo è concentrato

18) Nostre elaborazioni su dati Sperandio *et al.*, 1996.

19) Esso è ottenuto come differenza del prezzo mercantile indicato dall'ISTAT con i costi di esbosco, al lordo di tutti gli altri oneri relativi alle operazioni di utilizzazione legnosa.

nelle aree a maggiore fertilità in prossimità dell'imposto e/o delle sorgenti a seconda della forma di governo, abbattendo così i costi di esbosco per unità di volume.

Fig. 15 - Variazioni percentuali dei costi di esbosco (C.E.) e prezzi di macchiatico lordi (P.M.) per i diversi obiettivi pianificatori e metriche di soluzione



Considerazioni conclusive

Il supporto ai sistemi decisionali è un settore in cui numerose tecnologie e discipline possono dare il loro contributo grazie soprattutto alla diffusione e sviluppo di nuovi sistemi operativi e programmi informatici. Tra le tecnologie che stanno acquisendo sempre maggiore rilevanza nel settore della pianificazione e programmazione del territorio sono i GIS e gli approcci MCDM.

Finora queste due tecnologie sono state impiegate in modo indipendente. La prima si è occupata soprattutto della zonizzazione del territorio mediante la sovrapposizione delle carte tematiche ed il ricorso anche a specifiche metodologie di analisi (*cluster analysis*), enfatizzando tuttavia la componente territoriale del problema. La seconda, invece, si interessa soprattutto del problema della combinazione ed uso delle risorse fornendo articolati output numerici aggre-

gati per ciascuna delle variabili considerate. Al decisore viene, infine, demandato il compito di eseguire la allocazione nell'area in studio delle variabili territoriali in base alla propria sensibilità e conoscenza del territorio.

Il loro uso integrato, invece, colma gli svantaggi di una tecnologia con il contributo dell'altra ed insieme conseguono un risultato estremamente interessante ed efficace, la cui incisività sul piano operativo si accresce notevolmente muovendosi in un contesto multidisciplinare.

L'output finale conseguito fornisce in modo chiaro e facilmente leggibile le risposte a quei quesiti elementari di *cosa, quando, come e dove* che spingono generalmente i decisori a ricorrere a questo tipo di tecnologie e discipline.

L'approccio sviluppato consente, inoltre, di includere in modo più articolato ed esaustivo la componente territoriale all'interno del problema multicriteriale. Si ritiene che una particolare preferenza debba essere accordata alla metodologia allorché ricorrono le condizioni per la pianificazione mediante aree omogenee (Bagnaresi, 1997), la cui differenziazione tra i livelli d'uso è sicuramente maggiore rispetto a quella rilevata nel presente studio. In questi contesti, infatti, sarebbe opportuno sviluppare una programmazione più attenta alla distribuzione spaziale dei fenomeni considerati poiché la sola soluzione numerica dei modelli matematici di programmazione, riportata spesso come valori cumulati, non fornisce univoche informazioni sulla allocazione delle variabili territoriali nell'area come invece avviene nel modello integrato.

L'assenza di una precisa indicazione al riguardo può indurre il decisore a disegnare sul territorio una pianificazione conforme a quanto a quanto ottenuto dal modello multicriteriale in termini cumulati, ma diversa da quella ipotizzata dal modello per raggiungere i risultati indicati²⁰.

Dal punto di vista metodologico è indubbia la notevole flessibilità che caratterizza l'integrazione GIS-MCDM attraverso l'approccio raster piuttosto che quello vettoriale. Osservando le diverse sezioni delineate nelle cartografie proposte, si rileva una forte duttilità delle sezioni in conseguenza del fatto che la destinazione d'uso della cella

20) Si soffermi l'attenzione sulla pianificazione ideale ottenuta nello studio: quale decisore avrebbe incluso le isole gestionali previste nel modello nell'assetto del bosco?

può mutare liberamente, in virtù del loro contributo agli obiettivi considerati e senza vincoli connessi alla destinazione d'uso di quelle adiacenti.

Nel caso studiato la multifunzionalità del bosco è stata conseguita grazie alla combinazione degli obiettivi di pianificazione e gestione. I primi hanno favorito l'affermazione nell'area delle molteplici funzioni del bosco quali produzione, ricreazione, conservazione del germoplasma animale e vegetale, mentre i secondi hanno garantito la loro distribuzione territoriale ottimale per una gestione efficiente dell'ecosistema.

Le diverse pianificazioni monocriteriali indicano un forte conflitto circa la migliore destinazione d'uso (ceduo, fustaia) per gran parte dell'area (fig. 10). Mentre il ceduo valorizza la funzione socioeconomica connessa alla produzione ed utilizzazione della massa legnosa, la fustaia promuove quella ambientale sia come habitat per gli animali che per le attività ricreative.

Le lievi differenze numeriche rilevabili tra taluni obiettivi non riescono a dare una efficace testimonianza delle diversità di pianificazione che sottendono. Nel caso poi delle due metriche risolutive prescelte, al fianco della sensibile diversità numerica vi è ancora più profonda differenza nella struttura pianificatoria del bosco, sia per allocazione delle alternative che delle unità di gestione.

Le conseguenze economiche associate alle diverse pianificazioni sono piuttosto evidenti. Per ciò che attiene i costi di controllo e collaudo delle tagliate, la frammentazione delle sezioni ne accresce notevolmente il loro importo, giungendo fino ad un incremento massimo del 190% per le fustaie. Questo dato ha una significatività non solo per le utilizzazioni forestali, ma anche per le attività ricreative, con particolare riferimento ai costi annui di vigilanza e manutenzione delle aree. Circa i costi di esbosco per unità di volume, invece, il loro incremento associato alle diverse distribuzioni territoriali delle sezioni sono in parte compensati dalla distribuzione delle unità produttive nelle aree più fertili, come è evidente nel caso della pianificazione relativa alla metrica L.

Gli studi finora sviluppati, in materia di modelli integrati, hanno sempre fatto riferimento all'approccio multiattributo il quale fornisce una soluzione a carattere sub-Pareto ottimale o di *second-best*. Il modello proposto, invece, consente di raggiungere un risultato di *first-best*, cioè di efficienza paretiana.

Il risultato a cui si giunge, tuttavia, non deve essere accettato in modo acritico, bensì va sottoposto ad un processo di validazione, mediante costruzione ed analisi della cartografia finale. Malgrado esso sia Pareto efficiente, si hanno delle perplessità sulla capacità di gestire un siffatto complesso ecosistema forestale in modo duraturo. Nel caso considerato, infatti, l'equidistribuzione dei pesi conduce ad una pianificazione con la presenza di piccole isole gestionali in aree a prevalente diversa gestione. Nel lungo periodo, quasi sicuramente, esse sono destinate ad essere inglobate nella struttura dominante dell'area, poiché dal punto di vista tecnico richiedono una sensibilità gestionale di dominio non comune. Inoltre un siffatto assetto del bosco accresce i costi finanziari ed economici per l'esercizio e controllo della gestione²¹. Ecco dunque la necessità di ricalibrare il modello aumentando, nel caso specifico, il peso degli obiettivi relativi alla gestione, pervenendo ad una pianificazione dell'area più razionale e sostenibile nel lungo periodo, sempre a carattere Pareto efficiente²².

Nell'approccio integrato il contributo di entrambe le tecnologie è di tipo attivo, di rilevante importanza e di supporto reciproco. Mediante la tecnologia GIS l'area di studio viene analizzata, memorizzata e rappresentata in unità di territoriali di pianificazione, basilari per la successiva programmazione matematica. L'*output* di quest'ultimo può essere visualizzato mediante la tecnologia GIS e quindi essere oggetto di ulteriore studio e riflessione prima di giungere alla pianificazione finale dell'area.

Occorre, infine, sottolineare due particolari limiti che caratterizzano l'approccio proposto. Anzitutto la difficoltà a studiare grandi aree, dato che le osservazioni e le variabili che devono essere utilizzate per la costruzione del modello non debbono eccedere in numero delle variabili complessivamente gestibili dal programma utilizzato per la soluzione del problema multicriteriale. In secondo luogo, la rappresentazione grafica dei risultati di fatto non può essere sviluppata con il software del GIS, nel caso considerato IDRISI, poiché non si

21) Si ricorda che tale aspetto è stato considerato nel modello, sia pure in modo indiretto, mediante la funzione obiettivo di tipo gestionale (minimizzazione delle distanze dall'imposto).

22) Si desidera ribadire che la pianificazione ideale ottenuta, L^* , è oggetto di ulteriore perfezionamento non in conseguenza della sua inadeguatezza tecnica, bensì dalla consapevolezza che essa richiederebbe un impiego di risorse umane, materiali e professionali ad un livello molto più elevato di quello comunemente ricorrente in zona.

ha l'opportunità di operare direttamente sulla matrice dei *layer*. Occorre dunque simulare l'approccio del GIS *raster*, anche semplicemente ricorrendo all'uso di un foglio elettronico.

Complessivamente, tuttavia, si ritiene che nonostante i limiti di cui sopra, lo studio dei modelli integrati GIS-MCDM costituisce una tappa molto interessante nell'evoluzione degli strumenti per la pianificazione territoriale.

Ringraziamenti

L'autore desidera ringraziare il Prof. *Venzi*, il Prof. *Ribaud* ed il Prof. *Baldini* dell'Università degli Studi della Tuscia per la collaborazione fornita. Un sentito ringraziamento va ancora al Dr *Rehman* del *Department of Agriculture* per l'attività di coordinamento della ricerca ed al Dr. *Griffiths* del *Department of Geography* per l'assistenza nell'uso dei software TOSCA ed IDRISI, entrambi della *University of Reading* (Gran Bretagna). Infine un ringraziamento va al Prof. *Romano* e al Dr. *Franco* per i preziosi consigli forniti alla stesura del testo.

L'autore ringrazia altresì gli anonimi referee per le loro puntuali e circostanziate osservazioni. La responsabilità di quanto contenuto nell'articolo rimane esclusivamente dell'autore.

Bibliografia

- Baganaresi U. (1997) - Pianificazione e gestione ecologica del territorio agro-forestale. *Genio Rurale*, n. 9, pp. 40-44.
- Batty M., Densham P.J. (1996) - *Decision Support, GIS, and Urban Planning* - Centre for Advanced Spatial Analysis, University College London.
- Bazzani G.M. (1995) - La teoria della decisione multicriteriale: un'introduzione. *Rivista di Economia Agraria*, n. 1, pp. 123-48.
- Bernetti I., Casini L., Krawiec B., Romano D. (1992) - Tecniche multiobiettivo per la pianificazione dell'azienda forestale. In: Casini L. (edr) *Tecniche avanzate di gestione delle risorse forestali e ambientali*. pp.135-98.
- Bernetti J. (1994) - L'impiego dei modelli multicriteriali nella pianificazione forestale - In 'Il bosco ed i suoi valori. *Studi interdisciplinari in pianificazione forestale multifunzionale*' Bianchi M. (edr), Comunicazioni di Ricerca dell'Istituto Sperimentale per l'Assestamento Forestale e per l'Alpicoltura, Villazzano di Trento, pp. 63-112.
- Carbone F. (1992) - Gli effetti della gestione sulla struttura di un bosco ceduo - *Linea Ecologica*, n° 5, Settembre-Ottobre, pp. 5 - 10.
- Carbone F., Ribaud F. (1995) - Allungamento del turno dei cedui castanili - *Linea Ecologica*, n. 5, pp. 47-52.
- Casini L. (1996) - Pianificazione territoriale ed ambiente - *Agribusiness Management & Ambiente*, n° 2, pp.77-88.
- Cassettari S. (1993) - *Introduction to integrated Geo-Information Management*. Chapman and Hall.
- Caver J. (1991) - Integrating multicriteria evaluation with geographical information systems - *International Journal Geographical Information Systems*, vol. 5, n. 3, pp. 321-39.
- Ciancarella L., Craglia M., Ravaglia E., Secondini P., Valpreda E. (1993) - Italy: GIS and administrative decentralization. In Masser I., Campbell H., Craglia M. (edrs) GIS diffusion. Series GISDATA 3; pp. 87-109.
- Colson G., De Bruyn C. (1989) - Models and methods in multiple objective decision making - *Mathematical and Computer Modelling*, n. 12, pp. 1201-11.
- Covington W.W., Wood D.B., Young D.L., Dykstra D.P., Garrett L.D. (1988) - TEAMS: a decision support system for multiresource management - *Journal of Forestry*, vol 86(8): 25-33.
- Dalmasso G., del Negro L., Gribaudo L. (1996) - Pianificazione e gestione forestale nella regione Piemonte - *Documenti del territorio*, n. 32, pp. 2-13.

- Eastman R.J. (1997) – *Idrisi for Windows – User's guide* – Clark Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis, Clark University Worcester, MA, USA.
- Eastman R.J., Weigen J., Kyem P.A.K., Toledano J. (1995) – Raster procedures for Multi-Criteria/Multi-Objective Decision – *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 61, n. 5, pp. 539-47.
- Federlegno-Arredo (annate varie) - *Consuntivo economico..*
- Franco S. (1996) - *Applicazione di un sistema informativo geografico per lo studio dell'influenza delle variabili territoriali sull'uso del suolo nell'area dei Monti Cimini* - Università degli Studi della Tuscia, Collana DEAR, pp. 35.
- Giaoutzi M., Nijkamp P. (1993) - *Decision Support Model for Regional Sustainable Development* - Avebury Athenaeum Press LTD, Newcastle upon Tyne.
- Giordano E. (1990) - *Attuali tendenze della selvicoltura europea* - Genio Rurale, n. 3, pp. 71-76.
- Gluck P. (1994) - Criteria of sustainable forest development - *European Forest Institute*, n°1.
- Gunston M. (1993) - *Geographic Information Systems: a buyer's guide* - CCTA Library
- Heywood I., Oliver J., Tomlison S. (1995) – Building an exploratory multi-criteria modeling environment for spatial decision support – In *Innovation in GIS 2*, (edr) Fisher P., Taylor & Francis, pp. 127-36.
- Jankowski P. (1995) – Integrating geographical information systems and multiple criteria Decision-Making – *International Journal of Geographic Information System*, May-June, 9,3, 251-73.
- Janssen W., Goldsworthy P. (1996) - Multidisciplinary Research for Natural Resource Management: Conceptual and Pratical Implication - *Agricultural Systems*, Vol. 51, pp. 259-279.
- MiPA (1998) - *SIM, Sistema Informativo della Montagna* - Direzione Generale delle Risorse Forestali, Montane e Idriche. In corso di sviluppo.
- MAF (1988) - *Piano Forestale Nazionale* - Gazzetta Ufficiale , serie generae, n. 55, del 7/3/88.
- Malczewski J (1996) – A GIS-based approach to multiple criteria group decision making – *International Journal Geographical Information Systems*, vol. 10, n. 8, pp. 955-71.
- Malczewskij., Pazner M., Malgorzata Z. (1997) - Visualization of Multicriteria Location Analysis Using Raster GIS: A Case Study - *Cartography and Geographic Information Systems*, vol. 24, n. 2, pp. 80-90.
- Mallawaarachchi T., Walker P.A., Young M.D., Smyth R.E., Lynch H.S., Dungeon G. (1996) - GIS-based Integrated Modelling Systems for Natural Resource Management - *Agricultural Systems*, Vol. 50, pp. 169-189.

- Marangon L. (1994) - Nuovi metodi nell'analisi di gestione dell'impresa agraria. Tendenze emergenti nel panorama italiano. In atti SIDEA: L'impresa agraria: attuali problemi di organizzazione e di gestione - *Quaderni della Rivista di Economia Agraria*, n° 19, pp. 63-147.
- Martin D. (1996) - *Geographic Information Systems - Socioeconomic application* - Routledge, London and New York, pp. 33.
- Merlo M. (1991) - *Elementi di Economia ed Estimo Forestale-Ambientale* - Patron Editore.
- Mole' V. (1988) - *Indagine alsometrica dei cedui di castagno del comune di Rocca di Papa, Roma* - Tesi di Laurea, Università degli Studi di Firenze.
- Nijkamp P. (1989) - Multicriteria Analysis: a Decision Support System for Sustainable Environment Management. In: Archibugi F., Nijkamp P. (eds) *Economy and Ecology: towards sustainable development*. Kluwer Academic Publishers. 348 pp.
- O'Hara A.J., Faaland B.H., Bare B.B. (1989) - Spatially constrained timber harvest scheduling - *Canadian Journal Forest Research*, vol. 19(6): 715-724.
- Pereira J.M.C., Duckstein L. (1993) - A multiple criteria decision-making approach to GIS-based land suitability evaluation - *International Journal Geographical Information Systems*, n. 7, pp. 407-24.
- Rae A.N. (1994) - *Agricultural Management Economics. Activity Analysis and Decision Making* - CAB International, pp. 159-63.
- Rehman T., Romero C. (1993) - The Application of the MCDM Paradigm to the Management of Agricultural Systems: Some Basic Considerations - *Agricultural Systems*, vol. 41, pp. 239-255.
- Repetto R., Gilles M. (1988) - *Public policies and the misuse of forest resources* - Cambridge University Press, Cambridge.
- Ribaud F. (1997) - *La localizzazione delle segherie: un caso di studio* - Consiglio Nazionale delle Ricerche.
- Romero C., Amador F., Barco A. (1987) - Multiple objective in agricultural planning: a compromise programming approach. *American Journal Agricultural Economics*, Vol. 69, pp. 78-86.
- Romero C., Rehman T. (1989) - *Multiple Criteria Analysis for Agricultural Decision* - Elsevier.
- Sani L. (1997) - La valutazione della 'potenzialità faunistica'. Analisi metodologica e proposte applicative per la pianificazione forestale multiobiettivo - *Genio Rurale*, n. 9, pp 45-53.
- Scarelli A., Venzi L. (1995) - Decision Making Theory and forestry policy - 14th European Conference on Operational Research, Gerusalemme, 3-5 Giugno.

Silver M.S. (1991) – *System that support Decision Makers. Description and Analysis* – Wiley, New York.

Sperandio G., Verani S. (1996) - Produttività di lavoro e costi di utilizzazione dei boschi cedui: risultati di un quindicennio di esperienze - *Monti e Boschi*, n° 4, pp. 41-47.

Venzi L. (1999) - Aspetti e problematiche socio-economiche del sistema forestale laziale - *Linea Ecologica*, n° 3.

Venzi L., Colletti L. (1999) - The italian national programs to ensure sustainable forest management - Contribution presented to the EFI Conference , Joensuu, Finland.

Yoon K.P., Hwang C.L. (1995) - *Multiple attribute decision-making: an introduction* - Sage University Paper series on Quantitative Application in the Social Sciences, n. 104. pp. 73.

Yu P.L. (1973) – A class of solution for group decision problem – *Management Science*, v. 19, pp.936-46.

Zeleny M. (1973) – Compromise Programming – In *Multiple Criteria Decision Making*, (eds) Cochrane J.L., Zeleny M., University of South Carolina Press, Columbia.

Zeleny M. (1982) – *Multiple Criteria Decision Making* – McGraw-Hill, New York.