



GIS, dati telerilevati e sistemi di supporto alla decisione applicati alla valutazione di impatto ambientale

Riassunto

La valutazione di impatto ambientale ha lo scopo di facilitare il processo decisionale relativo alla realizzazione di opere con un significativo impatto sull'ambiente. Tipicamente tale procedura coinvolge la valutazione di alternative progettuali e, successivamente, la scelta di quella ritenuta più idonea. In questo articolo viene discusso, ed esemplificato tramite un'applicazione, il contributo a studi di impatto ambientale derivante dall'uso di sistemi informativi geografici, immagini telerilevate e sistemi di supporto alla decisione. Il caso di studio è rappresentato dalla realizzazione di un collegamento stradale in un'area a traffico intenso all'interno della Provincia Autonoma di Trento. Sei alternative di tracciato sono state valutate e confrontate, stimando il loro impatto sulla base di selezionati criteri ambientali e socio-economici.

La Valutazione di Impatto Ambientale

La Valutazione di Impatto Ambientale (VIA) è una procedura che ha lo scopo di assistere il processo decisionale relativo alla realizzazione di opere per le quali si prevede un impatto significativo sull'ambiente. In sede comunitaria, la VIA è stata introdotta dalla Direttiva 377/1985 e ad essa viene tutt'ora attribuito un ruolo chiave nell'ambito dei programmi finalizzati allo sviluppo sostenibile (Commission of the European Community, 1992). La procedura di VIA prevede la redazione di uno studio di impatto ambientale relativo all'opera in progetto, sulla base del quale l'Autorità competente è chiamata ad esprimersi rilasciando l'autorizzazione o meno, oppure vincolandola a modifiche progettuali od accorgimenti specifici (sia di tipo mitigativo che compensativo). Sempre più frequentemente, anche in virtù della recente Direttiva comunitaria 11/1997, la procedura coinvolge la valutazione di una serie di alternative progettuali (inclusa l'alternativa 'zero', o di non-progetto) e la conseguente scelta di quella ritenuta più idonea, sulla base di opportuni criteri ambientali, ma anche socio-economici. La criticità dell'intera procedura risiede, da un lato, nel riuscire a predire e quantificare in modo attendi-

bile gli impatti sulle diverse componenti ambientali o socio-economiche e, dall'altro, nel saper integrare le voluminose e complesse valutazioni in giudizi sintetici, che possano effettivamente guidare il decisore nella sua scelta. Un contributo ad entrambi gli aspetti e, conseguentemente, all'efficacia dell'intera procedura di VIA, deriva dall'uso integrato di GIS e sistemi di supporto alla decisione (DSS, secondo l'acronimo inglese), come illustrato nei paragrafi seguenti.

Il contributo di GIS, DSS e dati telerilevati

L'utilizzo di GIS nell'ambito di studi di impatto ambientale è una pratica sempre più comune (Beinat *et al.* 1999, Haklay e Feitelson 1998, Patrono 1998), dettata dalle seguenti considerazioni:

- lo studio, essendo esteso a diverse componenti ambientali, comporta la raccolta e la gestione di una considerevole mole di dati;
- gli impatti generalmente includono una componente spaziale (ad es., dispersione di inquinanti nell'aria o nel sottosuolo) e pertanto necessitano di analisi e modelli basati su geodati;
- lo studio comincia solitamente con l'analisi della cartografia dell'area interessata dall'opera (carte di uso del suolo, della vegetazione, geologiche, etc.) che spesso è disponibile in formato digitale;
- l'analisi può guadagnare in efficacia se accompagnata da procedure di visualizzazione e di simulazione degli impatti, quali quelle implementabili in sistemi di tipo GIS;

- un GIS rende possibile l'integrazione e il confronto dei dati raccolti con immagini telerilevate.

I dati telerilevati, infatti, trovano applicazione in studi di impatto ambientale in quanto, oltre a contribuire alla realizzazione o aggiornamento della cartografia tematica, risultano utili in fase di monitoraggio degli impatti, tramite le tecniche di *change-detection* (Lunetta e Elvidge 1999, Prasad Bhandari 1998). Il monitoraggio degli impatti effettivi, una volta che l'opera è stata realizzata, è infatti parte integrante, anche se spesso trascurata, della procedura di VIA.

Come precedentemente illustrato, scopo primario della VIA è quello di guidare e rendere il più possibile basato su riscontri oggettivi il processo decisionale inerente l'approvazione dell'opera in esame e la scelta dell'alternativa progettuale più idonea. Per evitare che questo obiettivo passi in secondo piano e che lo studio di impatto ambientale si trasformi in una mera compilazione di dati relativi allo stato dell'ambiente, è necessario strutturare l'intera procedura di valutazione, fornendo chiavi per l'interpretazione dei singoli impatti e la loro integrazione in punteggi sintetici che possano servire da riferimen-

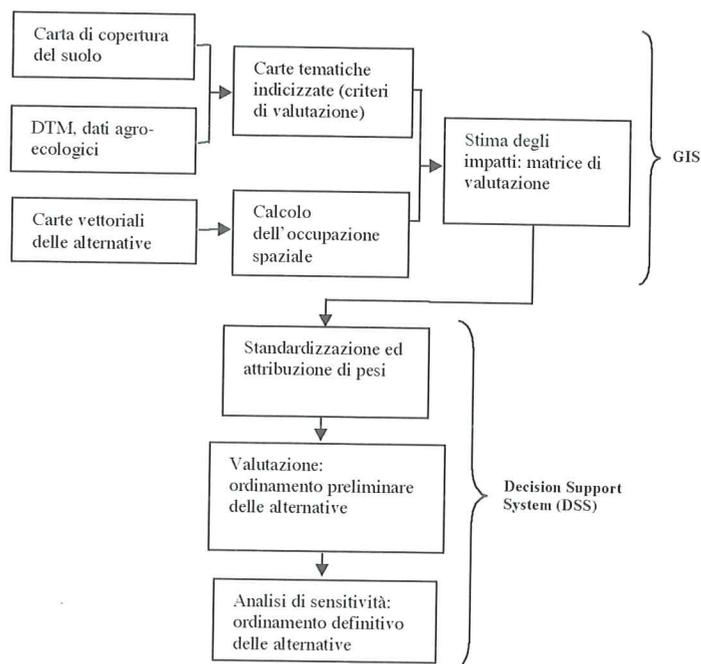


Figura 1 - Approccio metodologico seguito per la valutazione delle alternative.

to durante la fase decisionale. Questo compito può essere efficacemente svolto dall'analisi multicriteriale, ossia da quell'insieme di procedure che facilitano la strutturazione del problema decisionale, la valutazione delle alternative in esame sotto punti di vista molteplici e la verifica della robustezza del risultato ottenuto. L'analisi multicriteriale, infatti, propone tecniche per la risoluzione di problemi decisionali complessi, in cui sia necessario valutare soluzioni alternative, sulla base di criteri non direttamente confrontabili tra loro (Malczewsky 1999, Beinat and Nijkamp 1998). Questa situazione tipicamente si verifica nell'ambito di studi di VIA, e di gestione ambientale in genere, in cui parametri economici, sociali e ambientali devono venire integrati nel medesimo contesto decisionale. La popolarità di procedure basate sull'analisi multicriteriale è aumentata parallelamente alla consapevolezza che l'adozione di modelli di tipo monetario per valutare gli effetti di un progetto sull'ambiente è resa difficile, se non impossibile, dalla presenza di esternalità, ossia di quegli effetti (quali il consumo di suolo o la scomparsa di una specie) che esulano da una valutazione di mercato. Le tecniche di analisi multicriteriale vengono tipicamente implementate nei cosiddetti sistemi di supporto alla decisione (DSS), ossia in software interattivi capaci di assistere l'utente nell'organizzazione dei dati disponibili ai fini della strutturazione del processo decisionale e del raggiungimento di una soluzione.

Nel paragrafo seguente viene esemplificata l'applicazione alla valutazione di impatto ambientale di un approccio basato sull'uso integrato di GIS e DSS.

Un caso di studio: valutazione dell'impatto di tracciati stradali alternativi

Introduzione e metodologia

In questo caso di studio viene presentato un metodo per la valutazione dell'impatto ambientale di tracciati stradali alternativi e la conseguente scelta del tracciato più idoneo. Un sistema informativo geografico è stato impiegato per stimare, in modo quantitativo, gli impatti causati dalle diverse alternative, sulla base di parametri sia ambientali che socio-economici. Successivamente, un'analisi di tipo multicriteriale, condotta all'interno di un DSS, ha permesso di integrare i valori di impatto in punteggi sin-

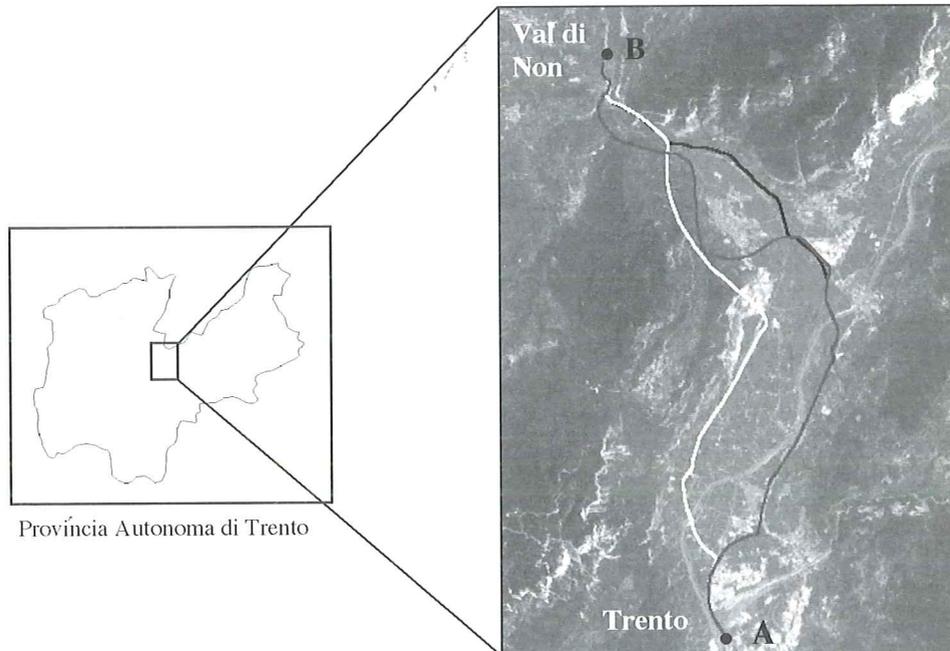


Figura 2 - Inquadramento geografico dell'area di studio e tracciato di tre delle sei alternative stradali analizzate.

tetici di *performance*, raggiungendo un ordinamento delle alternative. L'intera procedura è schematizzata in Figura 1 e discussa nei paragrafi seguenti.

L'area di studio e il progetto in esame

L'area di studio, come mostrato in Figura 2, è situata all'interno della Provincia Autonoma di Trento ed include parte della Val d'Adige e dei rilievi circostanti. L'area si estende dalla periferia settentrionale della città di Trento alla bassa Val di Non, per una copertura complessiva pari a circa 300 km². Il territorio è caratterizzato da una geomorfologia di tipo alpino e l'altitudine varia tra i circa 200 m dei fondovalle ai più di 2000 metri del Monte Paganella. La copertura vegetale nelle aree montuose è rappresentata principalmente da boschi di faggio, querce e conifere, nonché da mughete ed arbusteti nelle zone più elevate. I fondovalle e i rilievi collinari più soleggiati, al contrario, sono per lo più adibiti a vigna e a frutteto. Queste coltivazioni sono caratterizzate da una notevole valenza economica, in virtù di prodotti rinomati quali le mele della Val di Non e i vini D.O.C. della Val d'Adige.

La Val d'Adige lamenta problemi di traffico, in particolare in corrispondenza dell'area di Trento Nord e delle comunità di Lavis, San Michele e Mezzolombardo. Altro nodo critico è rappresentato dalla

connessione tra la Val d'Adige e la Val di Non, dove le vie stradali attuali sono strette e poco adatte ad un traffico intenso. Per ovviare a queste problematiche è allo studio la realizzazione di un collegamento stradale tra la periferia settentrionale della città di Trento e la bassa Val di Non (località indicate, rispettivamente, con 'A' e 'B' in Figura 2). In questo contributo vengono analizzate sei fra le numerose alternative di tracciato proposte (Figura 2), con l'obiettivo di stimare il loro impatto ambientale e favorire il processo decisionale da parte dell'autorità competente.

Analisi GIS

In primo luogo, un'immagine Landsat TM è stata classificata in modo supervisionato, generando una carta di copertura del suolo (Geneletti, in stampa). Tale prodotto, integrato con dati aggiuntivi quali DTM, banche dati forestali, informazioni relative alla distribuzione di specie animali e alla produttività dei terreni agricoli, ha permesso di derivare quattro carte tematiche indicizzate, sia di carattere ambientale che socio-economico, ritenute significative per la caratterizzazione dell'area in esame: la carta della naturalità della vegetazione, del valore estetico-percettivo degli elementi del paesaggio (valutandone la visibilità tramite *viewshed analysis*), della produttività agricola e dell'idoneità come habitat per specie

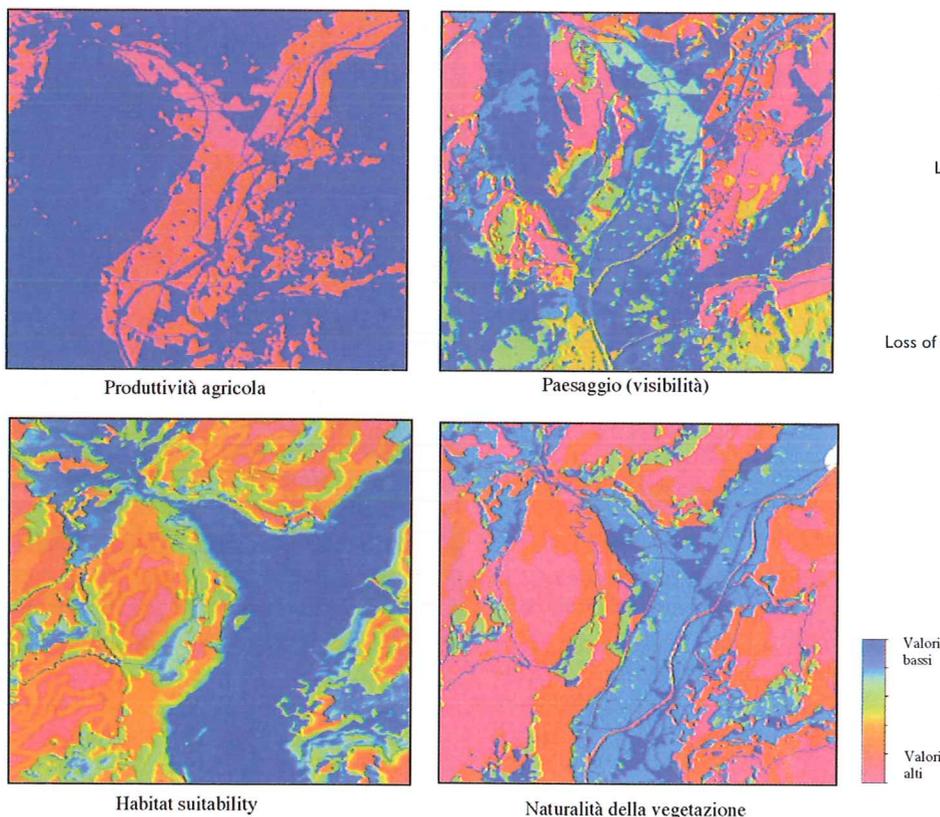


Figura 3 – Carte tematiche indicizzate (con legenda semplificata) usate per stimare gli impatti delle sei alternative.

animali significative (Figura 3; Geneletti, 2000 a e b). Queste carte sono state successivamente impiegate come criteri per valutare e confrontare gli impatti, in termini di occupazione territoriale, delle sei alternative stradali. In particolare, l'impatto di ogni alternativa, relativamente ad ognuno dei criteri considerati (quindi, ad esempio, la perdita di vegetazione naturale o di produzione agricola), è stato quantificato ed aggregato in un valore numeri-

co, tramite operazioni spaziali (*buffering, overlaying, etc.*) condotte in un GIS raster (ILWIS 2.2). Gli impatti dei sei tracciati stradali sulle componenti considerate, insieme alla lunghezza dei settori previsti in galleria per ciascuno di essi, sono stati, infine, utilizzati come criteri per generare la matrice di valutazione (Figura 4), che rappresenta l'input per l'analisi multicriteriale. La lunghezza dei tratti in galleria è stata introdotta fra i criteri decisionali in

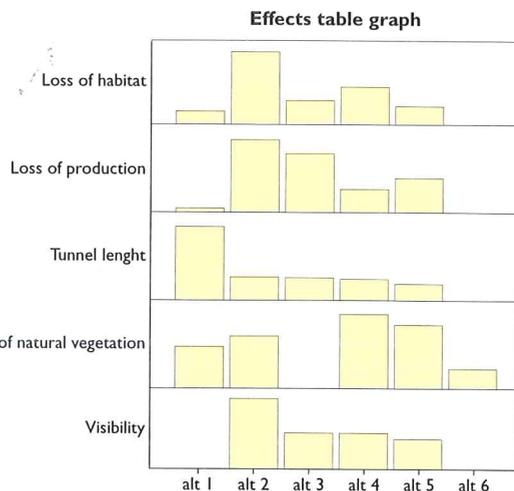


Figura 4 – La matrice di valutazione

virtù del fatto che la realizzazione di gallerie, pur non impattando la superficie, causa effetti ambientali e socio-economici non trascurabili (incremento dei tempi e costi di realizzazione dell'opera, necessità di trasportare e smaltire il materiale estratto, rumore ed emissioni associate all'attività di cantiere, etc.).

Analisi multicriteriale

La matrice di valutazione è stata inserita nel sistema di supporto alla decisione DEFINITE (Janssen e Herwijnen, 1994) dove, tramite le tecniche tipiche dell'analisi multicriteriale, è stato possibile:

- standardizzare i valori degli impatti relativi ai diversi criteri valutativi, così da renderli tra loro confrontabili. La standardizzazione è resa necessaria dal fatto che gli impatti si riferiscono a criteri diversi (ad es., perdita di vegetazione naturale, perdita di produzione agricola, etc.), e sono, pertanto, caratterizzati da unità di misura differenti;
- attribuire un'importanza relativa (peso) a ciascuno dei criteri di valutazione, dato che essi non necessariamente rivestono la stessa importanza ai fini del processo decisionale. Nonostante sia resa più agevole dalle tecniche disponibili (confronto a coppie, metodo del valore atteso, etc.), l'attribuzione dei pesi rappresenta un passaggio delicato, in cui gli esperti devono saper tradurre opinioni spesso qualitative e soggettive in valori numerici;
- aggregare i punteggi dei vari criteri in un punteggio unico, rappresentante la performance complessiva di ciascuna alternativa. Questo crea un ordina-

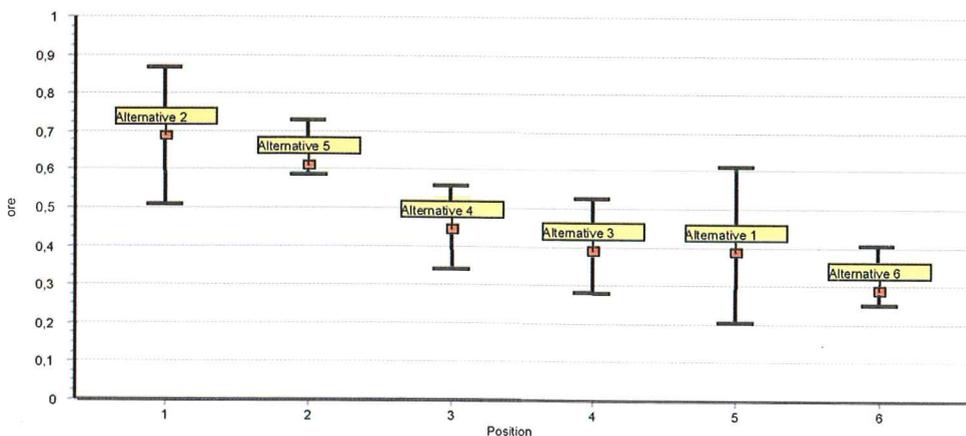


Figura 5 - L'ordinamento delle alternative con i relativi margini di incertezza



mento (non sempre completo) delle alternative, suggerendo quella (o quelle) da preferire. La tecnica di aggregazione più comune è la somma pesata. Altre tecniche prevedono il confronto a coppie tra le alternative o la costruzione di cosiddetti 'indici di comportamento' (metodo ELECTRE, metodo di Regime, etc.);

- verificare la robustezza dell'ordinamento tramite analisi di sensitività, consistenti nell'introduzione di fattori di incertezza relativamente ai parametri utilizzati durante la valutazione (quali, ad esempio, i pesi o i punteggi stessi di impatto). Questo permette di ottenere un ordinamento finale, completo di margini di incertezza (Figura 5).

Conclusioni

I problemi decisionali inerenti la VIA e, più in generale, la gestione dell'ambiente e delle risorse naturali, sono tipicamente caratterizzati dal coinvolgere una componente spaziale (individuazione di aree idonee ad ospitare discariche, valutazione ambientale strategica di piani regolatori, etc.), dal richiedere più di un criterio di valutazione e dal perseguire più di un obiettivo (protezione dell'ambiente, ma anche sviluppo economico, nel caso generale). Questo ha stimolato, in fase operativa, da un lato, l'utilizzo dei sistemi informativi territoriali e, dall'altro, il ricorso all'analisi multicriteriale. Il caso di studio presentato in questo articolo, pur nei limiti impliciti nel ridotto numero di criteri utilizzati, ha mostrato come un uso combinato di GIS e DSS possa contribuire a rendere più strutturata, oggettiva e quantitativa la valutazione di soluzioni progettuali alternative. Una conferma di ciò si trova nel crescente interesse mostrato dalla ricerca scientifica nei confronti dei cosiddetti sistemi spaziali di supporto alla decisione (SDSS, *Spatial Decision Support Systems*), sia dal punto di vista dell'approccio teorico (Herwijnen 1999, Jankowski 1995), che dell'applicazione software (IDRISI for Windows, GeoChoicePerspectives™). Tale linea di ricerca si propone di integrare in un unico procedimento metodologico le funzioni di analisi spaziale tipiche dei GIS con quelle di analisi multicriteriale tipiche dei DSS, sviluppando una piattaforma ideale per l'analisi, la strutturazione e la risoluzione di problemi inerenti la gestione dell'ambiente e del territorio.

DAVIDE GENELETTI

International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC)

PO Box 6 7500 AA Enschede, Paesi Bassi
TEL. +31-53-4874444, FAX +31-53-4874336

E-MAIL: GENELETTI@ITC.NL

Ringraziamenti

LA PRESENTE RICERCA È FINANZIATA DAL PROGRAMMA TMR DELL'UNIONE EUROPEA (PROGETTO GETS, CONTRATTO NO. ERBFMRXCT970162).

Bibliografia

Beinat, E., Bressan, M., Jones, M., Fabbri, K. (1999) *Geographical Information Systems and Environmental Impact Assessment*, UNIGIS Site, Faculty of Economics, Vrije Universiteit Amsterdam.

Beinat, E. e Nijkamp, P. Eds (1998) *Multicriteria Analysis for Land-Use Management*, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht.

Commission of the European Community (1992) *Towards sustainability: a European Community Programme of policy and action in relation to the environment and sustainable development*, Vol. II., Commission of the European Community, Brussels.

Geneletti, D. (2000 a) "Using classification and spatial index techniques on remotely sensed data for environmental impact assessment", *Proceedings of the 28th International Symposium on Remote Sensing of the Environment*, 27-31 March 2000, Cape Town.

Geneletti (2000 b) *A case study in Environmental Impact Assessment using GIS and DSS*, Lecture notes unpublished, ITC, Enschede.

Geneletti, D. (in stampa) "Using satellite imagery and ancillary data for land cover mapping in the central part of the Autonomous Province of Trento, Italy". In: *Geomorphology and Environmental Impact Assessment of Transportation Systems*, European Commission Publications.

Haklay, M. e Feitelson, E. (1998) "The potential of a GIS-based scoping system: an Israeli proposal and case study", *Environmental Impact Assessment Review*, 18, 439-459.

Herwijnen van, M. (1999) *Spatial Decision Support for Environmental Management*, PhD Thesis, Vrije Universiteit Amsterdam.

Jankowski, P. (1995) "Integrating geographical information systems and multiple criteria decision-making methods", *International Journal of Geographical Information Systems*, vol.9, no.3, 251-273.

Janssen, R., Herwijnen van, M. (1994) *DEFINITE: Decisions on a FINITE set of alternatives*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Lunetta, R.S. e Elvidge, C.D. Eds (1999) *Remote Sensing Change Detection*, Taylor and Francis, London.

Malczewski, J. (1999) *GIS and Multicriteria Decision Analysis*, Wiley, New York.

Patrono, A. (1998) "Multi-criteria analysis and GIS: analysis of natural areas and ecological distributions". In: *Multicriteria analysis for land-use management*, Beinat and Nijkamp eds., Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Prasad Bhandari, M. (1998) *Assessing the impact of off road driving on the Masai Mara natural reserve and adjoining areas, Kenya*, MSc Thesis unpublished, ITC, Enschede.

BIOGRAFIA DELL'AUTORE

Davide Geneletti si è laureato in Scienze Ambientali nel 1997 presso l'Università degli Studi di Milano, lavora attualmente ad un progetto di ricerca promosso dall'Unione Europea presso l'Internatio-



nal Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC), nei Paesi Bassi. La sua attività comprende lo sviluppo e l'applicazione di metodologie per la pianificazione territoriale sostenibile e la valutazione di impatto ambientale, basate sui principi dell'ecologia del paesaggio e sull'utilizzo di dati telerilevati e sistemi spaziali di supporto alla decisione.