

BDC

Università degli Studi di Napoli Federico II

14

numero 2 anno 2014



BDC

Università degli Studi di Napoli Federico II

14

numero 2 anno 2014

**Towards an Inclusive,
Safe, Resilient and
Sustainable City:
Approaches
and Tools**



BDC

Università degli Studi di Napoli Federico II

Via Toledo, 402
80134 Napoli
tel. + 39 081 2538659
fax + 39 081 2538649
e-mail info.bdc@unina.it
www.bdc.unina.it

Direttore responsabile: Luigi Fusco Girard
BDC - Bollettino del Centro Calza Bini - Università degli Studi di Napoli Federico II
Registrazione: Cancelleria del Tribunale di Napoli, n. 5144, 06.09.2000
BDC è pubblicato da FedOAPress (Federico II Open Access Press) e realizzato con Open Journal System

Print ISSN 1121-2918, electronic ISSN 2284-4732

Editor in chief

Luigi Fusco Girard, Department of Architecture,
University of Naples Federico II, Naples, Italy

Co-editors in chief

Maria Cerreta, Department of Architecture,
University of Naples Federico II, Naples, Italy
Pasquale De Toro, Department of Architecture,
University of Naples Federico II, Naples, Italy

Associate editor

Francesca Ferretti, Department of Architecture,
University of Naples Federico II, Naples, Italy

Editorial board

Antonio Acierno, Department of Architecture,
University of Naples Federico II, Naples, Italy
Luigi Biggiero, Department of Civil, Architectural
and Environmental Engineering, University of Naples
Federico II, Naples, Italy
Francesco Bruno, Department of Architecture,
University of Naples Federico II, Naples, Italy
Vito Cappiello, Department of Architecture,
University of Naples Federico II, Naples, Italy
Mario Coletta, Department of Architecture,
University of Naples Federico II, Naples, Italy
Teresa Colletta, Department of Architecture,
University of Naples Federico II, Naples, Italy
Ileana Corbi, Department of Structures for Engineering
and Architecture, University of Naples Federico II,
Naples, Italy
Livia D'Apuzzo, Department of Architecture,
University of Naples Federico II, Naples, Italy
Gianluigi de Martino, Department of Architecture,
University of Naples Federico II, Naples, Italy
Francesco Forte, Department of Architecture,
University of Naples Federico II, Naples, Italy
Rosa Anna Genovese, Department of Architecture,
University of Naples Federico II, Naples, Italy
Fabrizio Mangoni di Santo Stefano,
Department of Architecture, University of Naples
Federico II, Naples, Italy
Luca Pagano, Department of Civil, Architectural
and Environmental Engineering, University of Naples
Federico II, Naples, Italy
Stefania Palmentieri, Department of Political Sciences,
University of Naples Federico II, Naples, Italy
Luigi Picone, Department of Architecture, University
of Naples Federico II, Naples, Italy
Michelangelo Russo, Department of Architecture,
University of Naples Federico II, Naples, Italy
Salvatore Sessa, Department of Architecture,
University of Naples Federico II, Naples, Italy

Editorial staff

Alfredo Franciosa, Department of Architecture,
University of Naples Federico II, Naples, Italy
Francesca Nocca, Department of Architecture,
University of Naples Federico II, Naples, Italy

Scientific committee

Roberto Banchini, Ministry of Cultural Heritage
and Activities (MiBACT), Rome, Italy
Alfonso Barbarisi, School of Medicine, Second
University of Naples (SUN), Naples, Italy
Eugenie L. Birch, School of Design, University
of Pennsylvania, Philadelphia, United States of America
Roberto Camagni, Department of Building
Environment Science and Technology (BEST),
Polytechnic of Milan, Milan, Italy
Leonardo Casini, Research Centre for Appraisal
and Land Economics (Ce.S.E.T.), Florence, Italy
Rocco Curto, Department of Architecture and Design,
Polytechnic of Turin, Turin, Italy
Sasa Dobricic, University of Nova Gorica,
Nova Gorica, Slovenia
Maja Fredotovic, Faculty of Economics,
University of Split, Split, Croatia
Adriano Giannola, Department of Economics,
Management and Institutions, University of Naples
Federico II, Naples, Italy
Christer Gustafsson, Department of Art History,
Conservation, Uppsala University, Visby, Sweden
Emiko Kakiuchi, National Graduate Institute
for Policy Studies, Tokyo, Japan
Karima Kourtit, Department of Spatial Economics,
Free University, Amsterdam, The Netherlands
Mario Losasso, Department of Architecture,
University of Naples Federico II, Naples, Italy
Jean-Louis Luxen, Catholic University of Louvain,
Belgium
Andrea Masullo, Greenaccord Onlus, Rome, Italy
Alfonso Morvillo, Institute for Service Industry
Research (IRAT) - National Research Council of Italy
(CNR), Naples, Italy
Giuseppe Munda, Department of Economics and
Economic History, Universitat Autònoma de Barcelona,
Barcelona, Spain
Peter Nijkamp, Department of Spatial Economics,
Free University, Amsterdam, The Netherlands
Christian Ost, ICHEC Brussels Management School,
Ecaussinnes, Belgium
Donovan Rypkema, Heritage Strategies International,
Washington D.C., United States of America
Ana Pereira Roders, Department of the Built
Environment, Eindhoven University of Technology,
Eindhoven, The Netherlands
Joe Ravetz, School of Environment, Education
and Development, University of Manchester,
Manchester, United Kingdom
Paolo Stampacchia, Department of Economics,
Management, Institutions, University of Naples
Federico II, Naples, Italy
David Throsby, Department of Economics, Macquarie
University, Sydney, Australia



Indice/Index

- 243 Editorial
Luigi Fusco Girard
- 251 Valuation and evaluation in complex real systems: a synergistic mapping and policy template
Joe Ravetz
- 267 “Economic democracy”, political democracy and evaluation frameworks
Giuseppe Munda
- 285 Using linguistic descriptions with multi-criteria decision aid approaches in urban energy systems
Arayeh Afsordegan, Mónica Sánchez, Núria Agell, Gonzalo Gamboa, Lázaro V. Cremades
- 301 Technological solutions aiming at recovering metro braking energy: a multi-criteria analysis case study
Annalia Bernardini, Ricardo Barrero, Cathy Macharis, Joeri Van Mierlo
- 327 Dissesto superficiale e gestione agricola del suolo: un’applicazione dei *rough sets* basati sulla dominanza
Lucia Rocchi, Gianluca Massei, Luisa Paolotti, Antonio Boggia
- 343 La valutazione per la valorizzazione del Paesaggio Storico Urbano: una proposta per il sito UNESCO della “Costa d’Amalfi”
Marianna D’Angiolo, Pasquale De Toro

- 367 Una proposta metodologica per la valutazione dei *landscape services* nel paesaggio culturale terrazzato
Antonia Gravagnuolo
- 387 Investigating conditions ensuring reliability of the priority vectors
Bice Cavallo, Livia D'Apuzzo, Luciano Basile
- 397 I porti di Tangeri: potenzialità per uno sviluppo sostenibile
Paola Carone
- 415 Students' perceptions of innovation in sustainable development technologies and their role to optimise higher education's quality
Hella Ben Brahim Neji, Adel Besrouer
- 423 The use of 3D visualisation for urban development, regeneration and smart city demonstration projects: Bath, Buckinghamshire, and Milton Keynes
Stewart Bailey, Advait Deshpande, Alby Miller

**DISSESTO SUPERFICIALE E GESTIONE AGRICOLA DEL SUOLO:
UN'APPLICAZIONE DEI *ROUGH SETS* BASATI SULLA DOMINANZA**

Lucia Rocchi, Gianluca Massei, Luisa Paolotti, Antonio Boggia

Sommario

La difesa del territorio dai fenomeni di dissesto idrogeologico è un tema molto sentito e attuale sia a livello nazionale che internazionale. Ogni anno tali fenomeni provocano a livello mondiale enormi danni non solo ambientali ma anche sociali ed economici. L'attività antropica, soprattutto in relazione alla modifica dell'uso del suolo e all'intensificazione dell'agricoltura, è fra i principali fattori che incidono sulla stabilità dei suoli. Per una gestione adeguata del territorio in termini di prevenzione e controllo del dissesto idrogeologico, è fondamentale l'uso di strumenti in grado di conciliare il supporto al decisore pubblico con l'analisi territoriale. Lo scopo del presente lavoro è quello di illustrare l'utilizzo dell'integrazione tra Geographic Information Systems (GIS) e analisi multicriteri (MCDA) per un caso di dissesto superficiale relativo al bacino del Menotre in Umbria, proponendo in particolare il Dominance based Rough Set Approach, sviluppato in GRASS GIS 6.

Parole chiave: dissesto idrogeologico, DRSA, integrazione MCDA-GIS

**SOIL INSTABILITY AND AGRICULTURAL MANAGEMENT:
AN APPLICATION USING THE DOMINANCE-BASED ROUGH SET
APPROACH (DRSA)****Abstract**

Land defense from hydrogeological instability is a very important topic, at both national and international level. Every year these phenomena cause huge environmental, social and economic damages. Human activities, especially in relation to land-use change and intensification of agriculture, represent one of the main factors affecting the stability of the soil. For a proper management of territory in terms of prevention and control of hydrogeological instability, to use tools that combine support to public decision-makers with spatial analysis is essential. The purpose of this paper is to illustrate the utility of integrating Geographic Information Systems (GIS) with multicriteria analysis (MCDA) in relation to a case study of the basin Menotre, in Umbria; in particular we propose the use of the Dominance-based Rough Set Approach, developed in GRASS GIS 6.

Keywords: hydrological instability, DRSA, MCDA-GIS integration

1. Introduzione

La difesa del territorio dai fenomeni di dissesto idrogeologico, ovvero «quei processi che vanno dalle erosioni contenute e lente alle forme più consistenti della degradazione superficiale e sottosuperficiale dei versanti, fino alle forme imponenti e gravi di frana» (Commissione De Marchi, 1970, p. 40), è un tema molto sentito e attuale sia a livello nazionale che internazionale. Ogni anno tali fenomeni provocano a livello mondiale enormi danni non solo ambientali ma anche sociali ed economici, sia di tipo diretto che indiretto (Dai *et al.*, 2002). Le perdite economiche e sociali dovute ai fenomeni di dissesto possono essere ridotte solo attraverso la realizzazione di piani di gestione opportunamente realizzati, che cerchino di includere sia azioni preventive che di correzione ed emergenza (Dai *et al.*, 2002). Vista la prospettiva di un aumento di questi fenomeni a causa del perdurare dei fattori esterni di pressione antropica e dell'incremento dei fenomeni estremi, diventa fondamentale per il decisore pubblico agire in modo razionale attraverso una corretta allocazione delle risorse finanziarie e una gestione del possibile rischio (Dai *et al.*, 2002).

In Europa, l'Italia è tra i paesi maggiormente interessati da una varietà di processi naturali di tipo idrogeologico, che hanno generato nel tempo costi elevati sia in termini sociali che economici (Luino, 2005). L'ultimo rapporto del consiglio nazionale dei geologi (2010) mette chiaramente in luce come tali fenomeni in Italia siano diventati un'emergenza (Ciani *et al.* 2013; Mazzette, 2011). Tra le varie regioni italiane, le più colpite sono quelle del centro-nord. L'Umbria è una delle più interessate, essendo la quinta in Italia per densità dei fenomeni franosi (ISPRA, 2011).

Sebbene esistano delle cause naturali legate alla presenza di tali fenomeni, la pressione antropica, soprattutto in termini di modifica delle coperture e dell'uso del suolo, è da considerarsi almeno la principale concausa, con conseguenze spesso rilevanti sulla stabilità dei suoli (Chen *et al.*, 2001; Dai *et al.*, 2002; Fu *et al.*, 2000). Tali cambiamenti sono molto spesso legati ai mutamenti dell'agricoltura e alla sua intensificazione, così come all'aumento della popolazione e alla conseguente urbanizzazione (Chen *et al.*, 2001).

Appropriate pratiche agricole possono, pertanto, essere particolarmente utili per il contrasto del dissesto idrogeologico, soprattutto per quanto riguarda i fenomeni superficiali. Per poter fare ciò, però, è necessario avere una conoscenza approfondita delle realtà e dei territori, al fine di ottimizzare l'intervento. A tale scopo diventa fondamentale l'uso di strumenti in grado di conciliare il supporto al decisore pubblico con l'analisi territoriale. L'integrazione tra i *Geographic Information Systems* (GIS) e la *Multi-Criteria Decision Analysis* (MCDA) trova in tali ambiti un'applicazione naturale (Massei *et al.*, 2014).

Lo scopo del presente lavoro è quello di illustrare l'utilizzo dell'integrazione MCDA-GIS per un caso di dissesto superficiale relativo al bacino del Menotre, in Umbria. In modo particolare si proporrà l'applicazione del *Dominance-based Rough Set Approach* (DRSA) (Greco *et al.*, 2001), utilizzando specifici moduli sviluppati in GRASS GIS 6.4 (Massei *et al.*, 2014). Il contributo è organizzato come segue: dopo una rapida introduzione allo strumento operativo ed al metodo da esso applicato, si passerà ad illustrare il caso studio, per poi terminare con la discussione e le conclusioni.

2. L'integrazione MCDA-GIS

Affrontare problemi decisionali di tipo spaziale implica il dover unire l'approccio MCDA con quello territoriale, solitamente tramite GIS (Malczewski, 2006). Il vantaggio reciproco che i due approcci possono avere è enorme, tanto da essere un *hot topic* della ricerca degli

ultimi vent'anni, soprattutto per quanto riguarda una loro vera e funzionale integrazione (Chakhar e Martel, 2003; Densham, 1991; Jankowski, 1995; Laaribi *et al.*, 1996; Laskar, 2003; Malczewski, 1999, 2006; Massei *et al.*, 2012, 2014; Rahman *et al.*, 2012; Riccioli, 2009). Per poter avere una reale integrazione MCDA-GIS è necessario che, oltre a combinare giudizi di valore con dati geografici, si proceda alla trasformazione ed elaborazione dei dati (Malczewski, 2006).

Secondo alcuni autori (Chakhar e Martel, 2003; Laskar, 2003), l'integrazione MCDA-GIS può essere classificata secondo un sistema di tre livelli. Il primo livello di integrazione è quello dell'integrazione indiretta, in cui i due strumenti non condividono né lo stesso database né l'interfaccia. Per essere connessi, pertanto, è necessario che i due sistemi utilizzino un qualche strumento intermedio. Il secondo livello consiste nei cosiddetti *Built-in* MCDA-GIS: i modelli multicriteriali sono inseriti come componenti integrate nel sistema geografico, pur rimanendo indipendenti sia dal punto di vista logico che funzionale. Questo significa che l'interfaccia è la stessa (quella del software geografico) ma la parte multicriteriale utilizza un proprio database. L'ultimo livello prende il nome di integrazione completa e prevede l'uso di una sola interfaccia ed un unico database. Il contributo maggiore è dato in questo caso dalla possibilità di avere una grande efficienza applicativa, in quanto il modello o i modelli MCDA sono attivati all'interno del software GIS come fossero una delle sue tante funzioni e, pertanto, gli stessi risultati possono essere a loro volta oggetto di ulteriori elaborazioni geografiche. Per poter essere veramente flessibili e complete, inoltre, tali forme di integrazione necessitano anche della possibilità di inserire più strumenti di analisi multicriteriali, così da non limitare la loro capacità applicativa. La presenza di più metodologie permette di scegliere la più pertinente alla questione di ricerca (Massei *et al.*, 2012; 2014).

Nel presente lavoro è stata utilizzata una *suite* denominata *r.mcda* (Massei *et al.*, 2012, 2014) sviluppata dallo stesso gruppo di ricerca precedentemente in GRASS GIS 6.4 (Grass Development team, 2012a, 2012b). GRASS GIS è un avanzato software geografico open source, rilasciato sotto licenza GNU, tra i più utilizzati e diffusi per il data management, l'analisi e l'immagine processing, la produzione di mappe, la visualizzazione e la creazione di modelli spaziali. GRASS GIS supporta sia dati *raster* che *vector*, in due e tre dimensioni (Neteler e Mitasova, 2008). Grazie al linguaggio in cui è programmato e alla sua licenza *open*, valida anche per le sue librerie, è possibile sviluppare nuovi moduli o migliorare gli esistenti (Neteler e Mitasova, 2008; Frigeri *et al.*, 2011). Questo ha assicurato al programma, già dal suo primo rilascio, un utilizzo crescente sia in ambito accademico che professionale (Frigeri *et al.*, 2011). Nella *suite* sono presenti al momento cinque moduli diversi, ognuno dei quali integra un modello di analisi multicriteriale. I cinque metodi implementati nel sistema geografico sono: il metodo Regime (Hinloopen *et al.*, 1983; Nijkamp e Hinloopen, 1990), l'approccio Fuzzy (Yager, 1977, 1988, 1993), il metodo Electre (Roy, 1991; Vincke, 1992), l'*Analytical Hierarchical Process* (AHP) (Saaty, 1977, 1992) e il *Dominance-based Rough Set Approach* (DRSA) (Greco *et al.*, 2001). La sintassi di ogni modulo segue quella tipica di GRASS GIS ed è la seguente:

r.mcda.[algorithm].

Il prefisso "r" significa che il tipo di dati elaborati sono *raster*, mentre "mcda" è il nome dato al pacchetto; "[algorithm]" deve essere sostituito con il nome del metodo utilizzato. Nel presente lavoro è stato applicato il modulo dedicato ai *rough sets*, con approccio della

dominanza. Per questo, di seguito, viene illustrato tale metodo, tra i più innovativi in ambito multicriteriale.

Prima di descriverlo brevemente, in quanto già ampiamente presentato in letteratura, si vuole riportare la definizione data da Bernard Roy (1996) di analisi multicriteri: «un aiuto nelle decisioni e uno strumento matematico che permette la comparazione di differenti alternative o scenari rispetto a numerosi criteri, spesso contraddittori, in modo da poter guidare il decisore (i decisori) verso scelte giudiziose» (p. 10).

Un tipico problema multicriteriale si compone, perciò, di un *set* di m alternative $\{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ che viene valutato attraverso un vettore di n criteri, spesso in conflitto tra loro. Il Decisore (*Decision Maker-DM*) esprime delle preferenze che vengono rappresentate da un vettore di pesi non negativi $w=[w_1, w_2, \dots, w_n]$, definiti in modo che la somma sia normalizzata a 1. La risoluzione del problema comporta l'attuazione di una scelta, una classificazione o un ranking delle alternative. Le modalità con cui viene fatto ciò dipendono dal metodo applicato. Quando si parla di multicriteri, infatti, ci si riferisce ad una famiglia di metodi con caratteristiche computazionali, però, molto varie (Figueira *et al.*, 2005) che si concretizzano poi in modalità di aggregazione differenti (Chakhar e Martel, 2003).

Rispetto agli altri metodi MCDA, il DRSA non presenta la necessità di esplicitare le preferenze del DM tramite pesi, elemento che è considerato il principale punto debole delle metodologie multicriteri. Nel DRSA si prevede che degli esperti valutino situazioni reali (o simulate se non possibile altrimenti) e che ogni criterio considerato sia semplicemente classificato come costo o beneficio, rispetto al problema oggetto di analisi (Greco *et al.*, 2001). Rispetto all'approccio originale dei *rough sets*, che non considera proprietà ordinali dell'insieme dei valori assunti dagli attributi, il DRSA per prendere in considerazione le preferenze del decisore, utilizza relazioni di dominanza invece che di indiscernibilità (Greco *et al.*, 2001). Il DRSA permette di identificare delle "regole", a partire da un caso esemplare, nella forma di frasi del tipo "se..., allora..." (Greco *et al.*, 2001), il che lo rende molto semplice ed intuitivo per il DM, nonostante sia basato su teorie matematiche molto complesse. Tre sono le tipologie di regole producibili dal DRSA: certe, possibili ed ambigue. Ogni regola decisionale deve essere essenziale, cioè non contenere elementi di ridondanza (Greco *et al.*, 2001).

L'applicazione della teoria dei *rough set* basata sulla dominanza al processo decisionale è basata su due fasi fondamentali:

1. fase di estrazione delle regole decisionali da un contesto noto;
2. fase di applicazione delle stesse regole ad un contesto non noto.

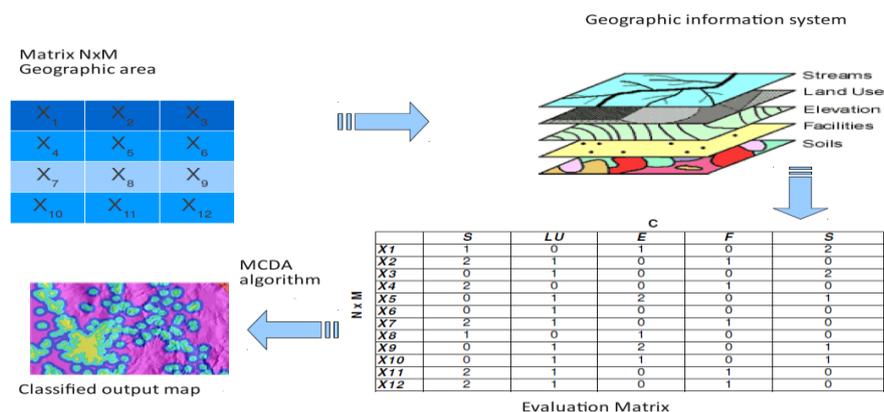
La fase di estrazione delle regole non presuppone necessariamente che tutti i criteri scelti vadano effettivamente a comporre delle regole. Questo perché può esserci l'evenienza di un criterio che il decisore ipotizza possa avere un qualche ruolo nella definizione di un fenomeno ma che poi, in realtà, non contribuisce alla formazione di alcuna regola. Questo si lega all'inquadramento originario dei *rough set* classici nell'ambito della *knowledge discovery*. La loro variante basata sul principio della dominanza, in sostituzione di quello della indiscernibilità, non muta questa loro originaria caratteristica. In concreto, è possibile che per studiare un fenomeno e per estrarne le regole si utilizzino criteri in apparente sovrabbondanza. Se così fosse, la conseguenza sarà che tali criteri non compariranno nelle regole decisionali e, quindi, non verranno utilizzati nella fase di classificazione. Si preferisce dunque non ridurre i criteri in partenza, per non ridurre le informazioni trattate dall'algoritmo. Se queste non hanno un ruolo nel processo decisionale, allora non

compariranno nelle relative regole decisionali con un livello adeguato di significatività oppure verranno “coperte” da regole più generali che emergeranno per il principio della “minimalità”, che è una proprietà posseduta dall’algoritmo dei DRSA denominato DOMLEM (Greco *et al.*, 2000) applicato in questo lavoro, e che tra i tanti possibili è il più utilizzato ed applicato, nonché il migliore nel caso di grandi database, come quelli geografici. La proprietà della “minimalità” assicura, appunto, l’assenza di ridondanza nelle regole.

Il modulo *r.mcda.roughset* implementa per la prima volta il *Dominance-based Rough Set Approach* (DRSA) (Greco *et al.*, 2001; Mac Parthlain e Shen, 2010) in ambito geografico. Tutti i software finora sviluppati ai fini applicativi dall’Università di Poznan (si veda <https://idss.cs.put.poznan.pl/site/software.html>), infatti, non permettono la gestione dei dati geografici. L’implementazione del DRSA è possibile con diversi algoritmi, ma al momento il più usato e conosciuto è il DOMLEM (Greco *et al.*, 2000) e, pertanto, esso è stato utilizzato anche nel modulo *r.mcda.roughset*. Tale algoritmo garantisce una maggiore accuratezza rispetto ad altri sviluppati di recente, soprattutto nel caso di grandi database, il che lo fa sembrare particolarmente adatto alle applicazioni in ambito geografico (Massei *et al.*, 2014; Zurawski, 2001).

Nel modulo le regole decisionali vengono derivate dalla mappa *raster* che include la chiave tematica essenziale per le analisi, denominata *decision map*. La *decision map* è la mappa che rende possibile la fase di estrazione delle regole in un contesto noto. Anche i criteri sono rappresentati da mappe *raster*. In Grass Gis la regione di indagine, nel caso di mappe *raster*, è costituita da singole celle. Le alternative sono rappresentate proprio dalle singole celle che costituiscono la regione indagata in Grass GIS, e vengono descritte dai valori delle mappe (criteri). Per ogni cella, quindi, saranno presenti una serie di valori, ognuno descrittore del criterio *n* per l’alternativa *m*. La combinazione dei criteri dipende dal metodo, e quindi dall’algoritmo implementato, ma a livello generale vale quanto riportato dalla Fig. 1, che mostra il processo di integrazione perfetta tra la fase geografica e quella multicriteriale in un’analisi MCDA spaziale.

Fig. 1 – Il processo di integrazione MCDA- GIS

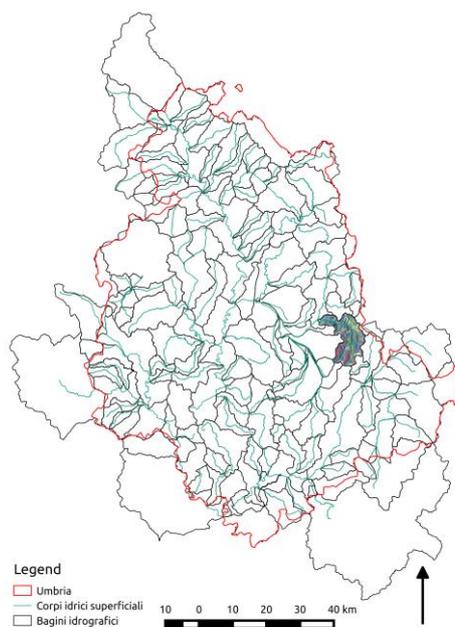


A partire dagli *input* il modulo *r.mcda.roughset* produce due tipologie di *output*. La prima tipologia consiste nelle mappe *raster*, che possono essere una per ogni classe identificata, oppure un'unica di sintesi. Accanto all'*output* grafico ne viene prodotto uno testuale, che permette un'analisi più approfondita, riportante le regole che sono state generate, nonché l'interconnessione con i software non geografici che applicano il DRSA, così da poter avere ulteriori elaborazioni basate, ad esempio, su algoritmi non implementati dal modulo geografico.

3. Il caso studio

Il caso studio analizzato nel presente lavoro riguarda l'area del bacino imbrifero del Menotre (Umbria) (Fig. 2). Il Menotre è un fiume di alta collina, che scorre nel territorio del comprensorio montano del folignate. La sorgente è posta a circa 800 metri sul livello del mare (m slm), nei pressi della frazione del comune di Sellano denominata Orsano e del monte Mareggia.

Fig. 2 – Inquadramento dell'area di studio



Il fiume sfocia nel Topino, a sua volta affluente di seconda del Tevere, nei pressi di Scanzano. Il tratto superiore del fiume, compreso tra i Molini e Leggiana, è un Sito di Interesse Comunitario (SIC IT5210041). In questo tratto del fiume è presente una fitta e rigogliosa vegetazione idrolitica sommersa che ricopre il letto fluviale quasi del tutto. Sulle sponde, molto strette, sono presenti numerose specie ripariali igrofile a tratti, in prevalenza salici (*Salix spp.*) e il Pioppo cipressino (*Populus nigra var. italica*).

Il bacino fluviale si estende per una superficie di circa 113 Km. L'altitudine varia tra 257 e 1419 m slm, per un'altezza media di circa 862 m slm. Anche per la presenza del SIC, la zona di monte del bacino si caratterizza per avere una destinazione dell'uso del suolo per lo più naturale o agricola, mentre la zona centrale, di valle, è quasi completamente urbanizzata. Il bacino è ampiamente interessato da instabilità di vario tipo, non uniformi all'interno del bacino stesso a causa delle diverse caratteristiche geologiche del terreno, e da una varietà di usi, e conseguentemente di coperture del suolo, nonché di diversi tipi di attività agricole (Fig. 3). Tra i fenomeni più presenti nell'area vi sono quelli di dissesto superficiale. Tale tipologia di fenomeno ha la caratteristica di essere la più facilmente controllabile e circoscrivibile attraverso interventi mirati di tipo agricolo-coltivazionale. Pertanto, l'obiettivo del lavoro è quello di identificare le aree con maggiore probabilità di accadimento di fenomeni di dissesto superficiale, in cui andare ad incentivare buone pratiche agronomiche, idonee al contenimento del fenomeno. Il concetto utilizzato in questo studio è pertanto quella della "pericolosità ambientale" che, come da indicazione ISPRA (2011), include anche le interazioni tra fattori antropici e naturali, essendo il confine tra i due non distinguibile in molte situazioni. Per effettuare l'analisi sono stati utilizzati i seguenti criteri:

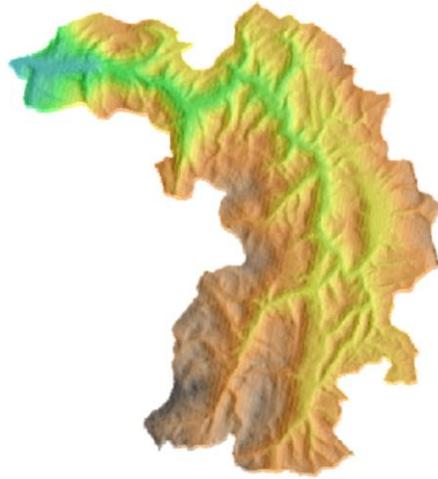
- la propensione al dissesto: misura la tendenza all'instabilità; è stata considerata un "guadagno", nel senso che maggiore è la propensione, più alto sarà il livello di pericolosità ambientale (Tyoda, 2013);
- il *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI): misura la produttività della vegetazione ed è un costo, perché maggiore è la vegetazione minore è la pericolosità ambientale in termini di dissesto (ISPRA, 2013; Karaburun, 2010, van der Knijff *et al.*, 1999);
- la pendenza (van der Knijff *et al.*, 1999), anche in questo caso è un guadagno;
- il fattore LS, fa riferimento all'equazione universale dell'erosione del suolo. In particolare rappresenta il prodotto di due fattori, la lunghezza e la pendenza, entrambi adimensionali (Tyoda, 2013);
- l'uso del suolo, classificato secondo il *Corinne Land Cover* 2006. Ad ogni classe di uso di suolo è stato attribuito un valore decrescente di naturalità e, quindi, crescente in termini di azione di modifica del territorio da parte dell'uomo (Minciardi e Gargini, 2003). Anche in questo caso il criterio assume un valore di guadagno (Fig. 4).

Entrando di più nel merito dei criteri scelti, è utile soffermarsi in particolare su alcuni aspetti. Ad una prima lettura potrebbe apparire esista un *double counting* tra NDVI e uso del suolo. Tuttavia si è deciso ugualmente di inserirli entrambi per due motivi. Il primo è che l'approccio consentito dai DRSA nell'estrazione delle regole non è assolutamente di tipo deterministico: è il modello a selezionare i criteri tra quelli utilizzati nell'analisi, scegliendo quelli che meglio descrivono il fenomeno osservato nella realtà.

Una volta estratte le regole, è la fase di classificazione/ordinamento ad essere fortemente deterministica. Il secondo è legato al tipo di descrizione dato dai due indici. L'indice NDVI è stato scelto perché è correlato al vigore della vegetazione, tanto da essere spesso detto anche indice di produttività vegetazionale. È, quindi, correlato alla funzione, ancorché controversa, che la vegetazione svolge nei fenomeni di dissesto superficiale e nell'azione di preservazione del suolo dall'erosione superficiale (Ispra, 2013; Tyoda, 2013; van der Knijff *et al.*, 1999). Sull'effetto della vegetazione sui fenomeni di dissesto, si trovano varie analisi che ne dimostrano l'efficacia, quali quelle riportate in ISPRA (2013), che dedica un'intera

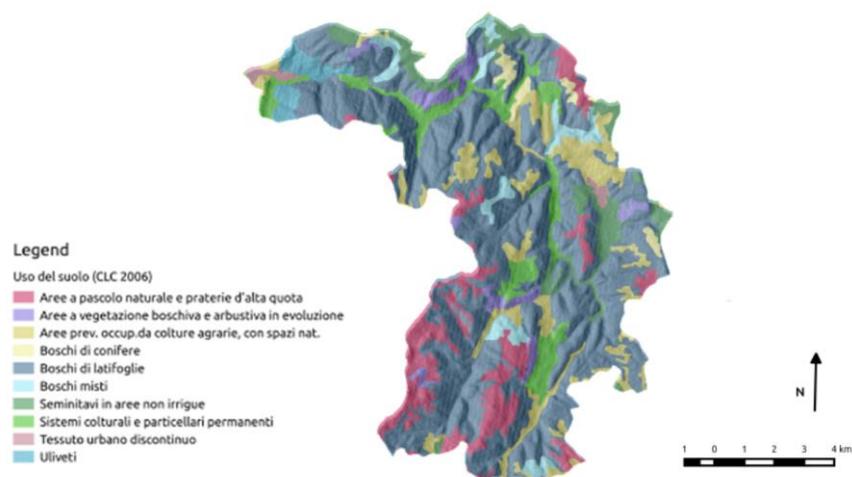
scheda di approfondimento alla tematica (pag. 79), o quelle riportate ampiamente da Tyoda (2013) che riporta una breve analisi delle valutazioni e della letteratura relativamente al ruolo della vegetazione e, successivamente, all'importanza dell'NDVI nel controllo dei fenomeni di dissesto.

Fig. 3 – Modello digitale del terreno del bacino idrografico



Fonte: www.sinanet.isprambiente.it

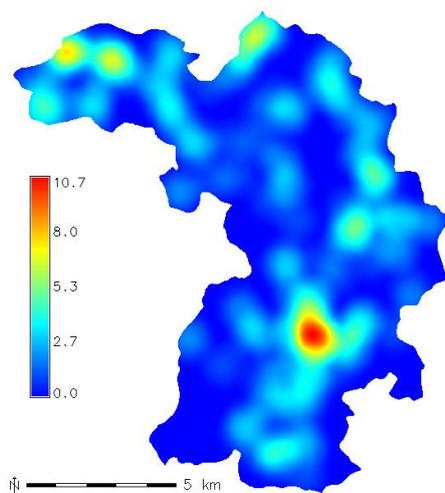
Fig. 4 – Uso del suolo (nostra elaborazione)



Per quanto riguarda la naturalità, si potrebbe osservare che poteva essere sostituita dall'uso del suolo riportato dal *Corine Land Cover* tal quale. Si è preferito però introdurre l'uso del suolo secondo la metodologia riportata da Minciardi e Gargini (2003) per indagare la funzione svolta nei fenomeni di dissesto superficiale secondo un "assioma" per il quale un'area non disturbata da interventi dell'uomo è di norma meno suscettibile ad eventi di dissesto. Da notare che, di nuovo, qualora tale ipotesi non fosse verificata dall'elaborazione con il modello dei DRSA si avrebbe, ancora una volta, l'assenza di regole decisionali contenenti come criterio il livello di naturalità connesso all'uso del suolo CLC. Vista la dimensione del bacino, i parametri climatici sono stati assunti come costanti e, quindi, influenti ai fini dell'analisi multicriteri.

Dal momento che il concetto di pericolosità ha anche una dimensione temporale (ISPRA, 2011), come mappa delle decisioni, su cui poi costruire le regole, è stata utilizzata la mappa riportante i fenomeni di dissesto superficiale derivata dalla distribuzione spaziale delle aree inserite nel catalogo delle frane, disponibile come servizio WFS nel Portale Cartografico Nazionale del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. Utilizzando tale database geografico, è stato possibile costruire una mappa *raster* in grado di rappresentare il numero di dissesti superficiali nell'area di studio (Fig. 5).

Fig. 5 – Distribuzione spaziale dei movimenti franosi superficiali (nostra elaborazione)



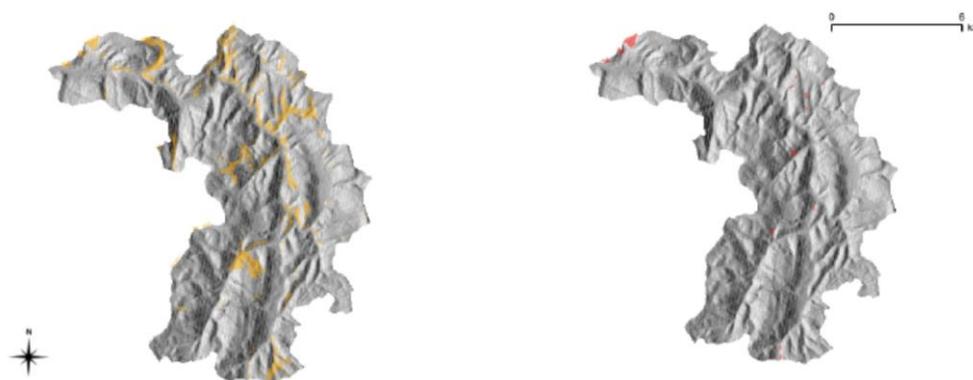
Fonte: Portale Cartografico Nazionale, servizio WFS

4. Risultati e discussione

L'applicazione del modulo *r.mcda.roughset* ha prodotto due tipologie di output: la mappa della pericolosità, e la lista di tutte le regole certe su cui essa è stata creata. In questo caso specifico sono state prodotte le mappe relative alle aree classificate "almeno" in una certa classe, e quelle classificate "al massimo" in una determinata classe. Va ricordato che la

parte superiore e centrale del bacino è un SIC/ZSC e, pertanto, soggetto a norme di conservazione che disciplinano i possibili interventi, tra cui quelli agricoli (Fig. 6). In generale, il territorio analizzato presenta una certa diversità in termini di pericolosità. In modo particolare una discreta parte dell'area è nelle prime classi di pericolosità, mentre nessuna parte di essa è nella classe zero, cioè nessun livello di pericolosità. Le aree classificate come più soggette, invece, sono piuttosto concentrate e non molto estese.

Fig. 6 – Confronto tra le classi di pericolosità “Almeno 2” (sinistra) e “Almeno 7” (destra)



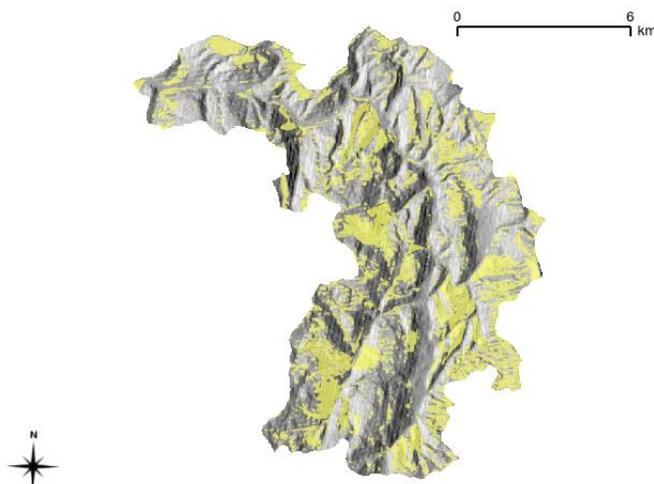
La significatività delle regole non è uniforme per tutte le classi. Ad esempio, le aree appartenenti a classi di pericolosità elevata ma qualificate come “al massimo”, hanno una estensione areale molto alta che le rendono difficilmente utilizzabili in ambito decisionale (Fig. 7). Le aree classificate come “almeno”, invece, danno indicazioni più importanti ed estremamente puntuali per orientare le scelte del decisore proprio nelle aree di rischio più alto. Infatti, identificare in un territorio le aree che sono “almeno” in una classe di pericolosità elevata (ad esempio, classe 7) consente di orientare in modo efficace gli interventi pubblici di tipo puntuale. Classi di pericolosità più basse, invece, danno indicazioni areali meno puntuali e più estese, ma proprio per questo si prestano ad essere utilizzate per indicazioni gestionali di portata più vasta, proprie degli interventi richiesti alle imprese agricole, a tutela del territorio dalle stesse occupato e utilizzato.

In altri termini, la mappa relativa ad esempio alla classe di pericolosità “almeno in classe 2” non identifica aree puntuali su cui è necessario intervenire con opere ingegneristiche, ma delimita superfici estese dove gli agricoltori dovranno adottare particolari misure di gestione territoriale per evitare un'evoluzione negativa del contesto ambientale dal punto di vista geomorfologico. Il decisore pubblico potrà così modulare le scelte e le risorse in funzione della classe decisionale derivante dall'applicazione del modello geografico oggetto di studio.

Non è stata prodotta la mappa unica del territorio, quella contenente tutte le classi, così come derivanti dall'*overlay* delle diverse classificazioni “almeno” e “al massimo”.

La scelta è stata legata alla maggiore chiarezza di analisi data dalle singole classi separate, che permettono un dettaglio decisamente maggiore rispetto all'uso di una classe unica, che tende a coprire parte dei risultati.

Fig. 7 – Mappa relativa al la classe “Al massimo 2”



Nella Fig. 8 sono, invece, riportate alcune delle regole minime prodotte dall'algorithm. Per ognuna di esse è stato riportato il supporto, cioè il numero di esempi coperti dalla singola regola e la *Relative Strength*, cioè quanto è forte e stabile la regola.

Fig. 8 – Alcune regole prodotte dall'algorithm

ID	Condizione	Condizione	Condizione	Condizione	Classe	Supporto	Relative strength
1	NDVI>=0.536500				at most 0	2	33.33%
2	NDVI>=0.484800	LS<=104.768578	prop_dissesto<=1.000000		at most 0	2	33.33%
3	(slope_class@menotrec<=1.000000)	NDVI>=0.444000			at most 0	2	33.33%
5	NDVI>=0.444000	Pendenza<=1.000000			at most 1	5	19.23%
6	NDVI>=0.436900	LS<=26.192144			at most 1	10	38.46%
22	CLC<=3112.000000	LS<=111.123863	NDVI>=0.180100		at most 3	56	52.83%
23	LS<=152.659012	NDVI>=0.370900	LS<=78.576431	prop_dissesto<=1.000000	at most 4	55	42.31%
24	CLC<=3112.000000	NDVI>=0.180100	LS<=678.36220	prop_dissesto<=4.000000	at most 4	110	84.62%

Come si può notare, le regole hanno una grande variabilità tra loro, sia in termini di criteri usati che di numero di condizioni riportate. La lettura delle regole si svolge come di seguito spiegato. Ad esempio, la regola n. 5 ci dice che se l'indicatore NDVI è superiore o uguale a 0.444000 e, contemporaneamente, la pendenza è inferiore alla classe 1, allora quella alternativa è classificabile al massimo in classe 1. La regola è supportata da solo 5 esempi ed ha una forza del 19.23%. A prescindere dalle ultime due indicazioni, più utili forse ad un analista che ad un DM, le altre sono da esso immediatamente comprensibili. Non solo: è

possibile intervenire, se lo si ritiene opportuno, al vaglio delle regole da parte di panel di esperti per valutarne effettivamente la significatività.

Le regole estratte danno indicazioni importanti per la definizione delle strategie. Strategie che saranno per tanto basate su una classificazione di pericolosità e che potranno essere realizzate in zone piuttosto limitate, oppure in aree più estese, a seconda del reale uso del suolo e della proprietà dei terreni.

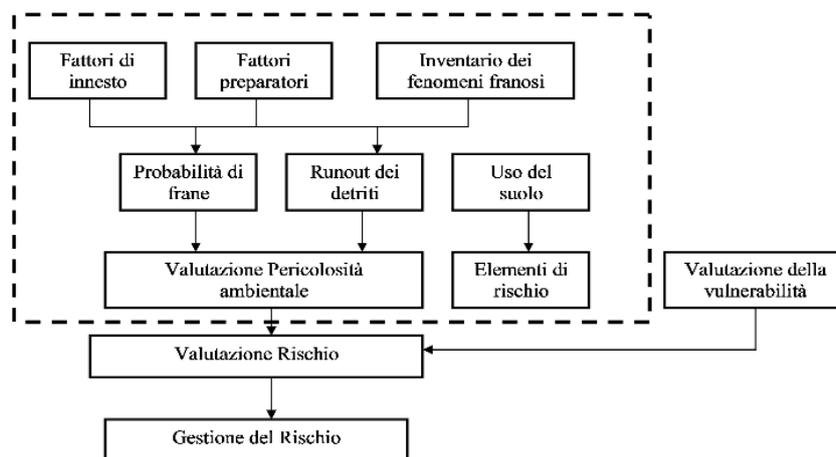
Vista la finalità della presente analisi, volta a studiare la pericolosità rispetto al dissesto superficiale, quello più facilmente controllabile con interventi di tipo agricolo e spesso meno studiato perché meno grave di quello profondo, un primo prodotto concreto potrebbero essere piani di tipo gestionale o piani in cui stabilire colture e interventi prioritari da realizzare in quelle aree specifiche, magari programmando anche un supporto per la loro realizzazione nell'ambito degli strumenti del nuovo periodo di programmazione comunitaria 2014-2020. Purtroppo, il *greening* propone interventi veramente minimi rispetto alle possibilità e agli orizzonti ipotizzati inizialmente ma, allo stesso tempo, attraverso un'identificazione intelligente delle aree di interesse ecologico oppure la definizioni di pratiche equivalenti nei Programmi di Sviluppo Rurale efficaci in tale direzione, è possibile creare le condizioni opportune per una vera azione di controllo.

5. Conclusioni

L'utilizzo dei metodi multicriteriali è di grande supporto nell'ambito delle decisioni pubbliche. L'integrazione con i software geografici potenzia e amplifica la loro utilità.

Il lavoro presentato permette di valutare l'utilità e le potenzialità del DRSA nell'ambito della valutazione della pericolosità ambientale rispetto al dissesto superficiale. Tale metodologia MCDA in ambito geografico permette di avere una conoscenza approfondita del territorio, così da avere una classificazione spinta dello stesso.

Fig. 9 – Quadro per la valutazione del rischio l'area tratteggiata indica i confini della ricerca



Fonte: elaborazione dello schema di Dai et al. (2002)

Il doppio uso delle classi “almeno” e “al massimo” consente di avere a disposizione due approcci diversi. Uno più puntuale e uno più esteso, entrambi molto utili per determinare le aree in cui andare ad intervenire dal punto di vista delle politiche gestionali, tramite la definizione di zone prioritarie per interventi specifici in campo agricolo.

Il modulo utilizzato consente di ottenere una classificazione in base alle sole regole certe, che permette una buona affidabilità dei dati e della classificazione ottenuta. In ambito geografico la presenza di regole certe è più affidabile e preferibile, per evitare di avere un eccesso di informazioni che, invece di essere parlanti, diventerebbero di difficile interpretazione.

Il presente lavoro, come già inquadrato inizialmente, si ferma alla stima della pericolosità. La definizione della vulnerabilità e del rischio sono futuri *step* della ricerca. Benché questa prima fase possa già essere utilizzata per valutare, ad esempio, in quale aree concentrare alcuni incentivi e misure dei nuovi Programmi di Sviluppo Rurale al fine di migliorare la gestione superficiale del terreno, è solo con il completamento del quadro di analisi (Fig. 9) che si potrà arrivare a delle misure per una gestione completa e globale dell'area di studio.

Riferimenti bibliografici

- Chakhar S., Martel J.M. (2003), “Enhancing Geographical Information Systems capabilities with multi-criteria evaluation functions”. *Journal of Geographic Information and Decision Analysis*, vol. 7, n. 2, pp. 47-71.
- Chen L., Wang J., Fu B., Qiu Y. (2001), “Land- use change in a small catchment of northern Loess Plateau, China”. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, n. 86, pp. 163-172.
- Ciani A., Boggia A., Paolotti L., Rocchi L. (2012), “The territorial management contracts (TMC): a practical tool to reduce the risk in land resources management and to improve the multifunctionality of agriculture”, Proceedings of 126th EAAE Seminar, *New challenges for EU agricultural sector and rural areas. Which role for public policy?*. Capri, Italy, June 27-29, 2012.
- Commissione De Marchi (1970), *Relazione conclusiva, volume I*. Ministero dei Lavori Pubblici, Roma.
- Dai F.C., Lee C.F., Ngai Y.Y. (2002), “Landslide risk assessment and management: an overview”. *Engineering Geology*, n. 64, pp. 65-87.
- Figueira J., Greco S., Ehrigott M. (2005), *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the art surveys*. Springer's International Series, New York, NW.
- Frigeri A., Hare T., Neteler M., Coradini A., Federico C., Orosei R. (2011), “A working environment for digital planetary data processing and mapping using ISIS and GRASS GIS”. *Planet Space Science*, n. 59, pp. 1265-1272.
- Fu B., Chen L., Ma K., Zhou H., Wang J. (2000), “The relationships between land use and soil conditions in the hilly area of the loess plateau in northern Shaanxi, China”. *Catena*, n. 39, n. 1, pp. 69-78.
- Grass Development Team (2012a), *Geographic Resources Analysis Support System (GRASS) Software, Version 6.4.2*. Open Source Geospatial Foundation, www.grass.osgeo.org.
- Grass Development Team (2012b), *GRASS Programmer's Manual*, www.grass.osgeo.org.
- Greco S., Matarazzo B., Slowinski S., Stefanowski J. (2000), “An algorithm for induction of decision rules consistent with the dominance principle”. *Lecture Notes in Computer*

- Science-Springer*, n. 2005, pp. 304-313.
- Greco S., Matarazzo B., Slowinski R. (2001), "Rough sets theory for multi-criteria decision analysis". *European Journal of Operational Research*, n. 129, pp. 1-47.
- Hinloopen E., Nijkamp P., Rietveld P. (1986), "Qualitative discrete multiple criteria choice models in regional planning". *Regional Science of Urban Economics*, n.13, pp. 77-102.
- ISPRA (2013), *Linee guida per la valutazione del dissesto idrogeologico e la sua mitigazione attraverso misure e interventi in campo agricolo e forestale*. ISPRA, Roma.
- ISPRA (2011), *Annuario dei dati ambientali*. ISPRA, Roma.
- Jankowski P. (1995), "Integrating geographical information systems and multiple criteria decision-making methods". *International Journal of Geographic Information Systems*, n. 9, pp. 251-273.
- Karaburun A. (2010) "Estimation of C for soil erosion modeling using NDVI in Buyukcekmece watershed". *Ozean Journal of Applied Science*, vol. 3, n. 1, pp. 77-85.
- Laaribi A., Chevallier J.J., Martel J.M. (1996), "A spatial decision aid: a multi-criteria evaluation approach". *Computers, Environment and Urban System*, n. 20, pp. 351-366.
- Laskar A. (2003), *Integrating GIS and Multi Criteria Decision Making Techniques for Land Resource Planning*. International Institute for Aerospace survey and Earth Sciences, Enschede, NL.
- Li X., Di L., HanW., Zhao P., Dadi U. (2010), "Sharing geoscience algorithms in a Web service-oriented environment (GRASS GIS example)". *Computers & Geosciences*, n. 36, pp. 1060-1068.
- Luino F. (2005), "Sequence of instability processes triggered by heavy rainfall in the northern Italy". *Geomorphology*, n. 66, pp. 13-39.
- Mac Parthlain N., Shen Q. (2010), "On rough sets, their recent extensions and applications". *The knowledge engineering review*, n. 25, pp. 365-395.
- Malczewski J. (1999), *Gis and Multicriteria Decision Analysis*. Wiley, New York, NW.
- Malczewski J. (2006), "Gis-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature". *International Journal of Geographic Information Science*, n. 20, pp. 703-726.
- Massei G., Rocchi L., Paolotti L., Boggia A. (2013), "Sviluppo di moduli multicriteri per la valutazione ambientale in GRASS GIS", *Aestimum*, n. 1, pp. 129-143.
- Massei G., Rocchi L., Paolotti L., Greco S., Boggia A. (2014), "Decision Support Systems for environmental management: A case study on wastewater from agriculture". *Journal of Environmental Management*, n. 146, pp. 491-504.
- Mazzette A. (2011), *Esperienze di governo del territorio*. Laterza, Roma.
- Micciardi M.R., Gargini V. (2003), "La valutazione della naturalità e della vulnerabilità di un territorio", in Casagrandi R., Melià P. (eds), *Ecologia Quantitativa: metodi sperimentali, modelli teorici, applicazioni*. Aracne, Roma, pp. 130-136.
- Neteler M., Mitasova H. (2008), *Open Source GIS-a GRASS GIS Approach*. Springer, New York, NW.
- Nijkamp P., Hinloopen E. (1990), "Qualitative multiple criteria choice analysis, the dominant regime method". *Qualitative Quantitative*, n. 24, pp. 37-56.
- Rahman M.A., Rusterberg B., Gocu R.C., Lobo Ferreira J.P., Sauter M. (2012), "A new spatial multi-criteria decision support tool for site selection for implementation of managed aquifer recharge". *Journal of Environmental Management*, n. 99, pp. 61-75.
- Roy B. (1991), "The outranking approach and foundations of ELECTRE methods". *Theory and Decision*, n. 31, pp. 54-73.

- Roy B. (1997), *Multi-Criteria Methodology for Decision Aiding*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, NL.
- Saaty T.L. (1977), "A scaling method for priorities in hierarchical structures". *Journal of Mathematical Psychology*, n. 15, pp. 234-281.
- Saaty T.L. (1992), *Multi-Criteria Decision Making e the Analytic Hierarchy*. RWS Publications, Pittsburgh, UK.
- Tyoda Z. (2003), *Landslide susceptibility mapping: remote sensing and GIS approach*, www.scholar.sun.ac.za.
- van der Knijff J.M., Jones R.J.A., Montanarella L. (1999), *Soil Erosion Risk assessment in Italy*, www.eusoils.jrc.ec.europa.eu.
- Vincke P. (1992), *Multi-Criteria decision-aid*. John Wiley & Sons, New York, NW.
- Yager R.R. (1977), "Multiple objective decision-making using fuzzy sets". *International Journal of Man-Machine Studies*, n. 9, pp. 375-382.
- Yager R.R. (1988), "On ordered weighted averaging aggregation operators in multi-criteria decision making". *IEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, n.18, pp. 183-190.
- Yager R.R. (1993), "Families of OWA operators". *Fuzzy Set System*, n. 59, pp. 125-148.
- Zurawski M. (2001), *Algorithms of Induction of Decision Rules for Multi-Criteria and Multi-Attribute Decision Problems*. Poznan University of Technology-Institute of Computer Science, PL.

Lucia Rocchi

Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Ambientali;
Unità Operativa Economia applicata
Borgo XX Giugno – I-06034 Perugia (Italy)
Tel.: +39-075-585-7140; fax: +39-075-585-7143; email: lucia.rocchi@unipg.it

Gianluca Massei

Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Ambientali,
Unità Operativa Economia applicata
Borgo XX Giugno – I-06034 Perugia (Italy)
Email: lucia.rocchi@unipg.it

Luisa Paolotti

Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Ambientali,
Unità Operativa Economia applicata
Borgo XX Giugno – I-06034 Perugia (Italy)
Tel.: +39-075-585-6294; fax: +39-075-585-7143; email: luisa.paolotti@gmail.com

Antonio Boggia

Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Ambientali,
Unità Operativa Economia applicata
Borgo XX Giugno – I-06034 Perugia (Italy)
Tel.: +39-075-585-7134; fax: +39-075-585-7143; email: antonio.boggia@unipg.it

