

Attività estrattive e modellazione numerica

Sabrina Casucci (*), Mauro Proverbio (**), Marco Carozza (**),
Maira Tartari (**), Riccardo Sandrone (***)

(*) Studio GEAsit, C.so Cobianchi 70, 28921 Verbania (VB), 0323516690, s.casucci@geasitstudio.it

(**) Provincia del Verbano Cusio Ossola, Settore Ambiente Georisorse, Via dell'Industria 25, 28924 Verbania (VB),
03234950302, settimo@provincia.verbania.it

(***) Politecnico di Torino, Dipartimento di Ingegneria del Territorio, dell'Ambiente e delle Geotecnologie,
C.so Duca degli Abruzzi 24, Torino (TO), 0115647646, riccardo.sandrone@polito.it

Abstract

Nell'ambito della redazione del Piano delle Attività Estrattive Provinciale (PAEP), la Provincia del Verbano Cusio Ossola (V.C.O.) ha messo a punto uno strumento di lavoro speditivo, in ambiente Esri Arcgis 9.2, da utilizzarsi nelle valutazioni preliminari della progettazione/pianificazione dell'attività estrattiva.

In particolare, è stato predisposto un modello morfometrico sperimentale per la stima degli spessori delle coperture quaternarie e, contestualmente, è stato implementato un modello multiparametrico (Class Spatial Analyst - Teng et al, 2004, 2005) per la stima degli spessori dei suoli.

Abstract

In the plan of Provincial Quarrying Activities (PAEP), the Province of Verbano Cusio Ossola (V.C.O.) has developed a working tool, using GIS technologies (Esri Arcgis 9.2), for preliminary evaluations of the planning/programming's quarrying activities.

In particular, has been developed an experimental morphometric model for the estimation of the thickness of the Quaternary cover, and parallel, has been implemented a multi-parameter model (Class Spatial Analyst - Teng et al, 2004, 2005) for the estimation of the soil's thickness.

Introduzione

Tra i fattori che occorre valutare preliminarmente all'apertura o ampliamento di un sito di coltivazione, si annoverano: il contesto geologico, geomeccanico e strutturale locale, la potenza e le condizioni di stabilità residue delle coperture quaternarie e/o dei suoli che ricoprono il potenziale giacimento, la richiesta di mercato dell'unità merceologica di prevista estrazione, la logistica del sito di coltivazione oltre a vari aspetti di ordine ambientale s.s. (visibilità, rumore, polveri, ...).

In riferimento ai fattori sopra elencati, nel territorio del V.C.O. il quadro delle conoscenze sul Quaternario (tipologia, stato di attività, spessore, caratteristiche meccaniche) risulta inadeguato, non soltanto per l'assenza di studi organici sull'intera area, ma anche per la carenza di specifici studi puntuali.

In considerazione delle caratteristiche geologico-geomorfologiche del V.C.O., per i tecnici del settore estrattivo il dato sulle coperture quaternarie risulta invece di estrema importanza per poter effettuare nelle fasi propedeutiche (fasi di *screening*) alla progettazione di una cava valutazioni relative a:

- condizioni di stabilità residue delle coperture quaternarie lasciate in posto e di conseguenza l'entità e la tipologia delle opere di sostegno/consolidamento eventualmente necessarie;
- redditività del giacimento.

L'Amministrazione Provinciale, attraverso il PAEP, ha pertanto inteso predisporre in via sperimentale, una base dati omogenea a scala vasta degli spessori delle coperture quaternarie e dei suoli e della relativa distribuzione spaziale.

UN METODO SPERIMENTALE IN AMBIENTE GIS PER LA STIMA DELLE COPERTURE QUATERNARIE DI VERSANTE E DEI SUOLI

Coperture quaternarie

Fase concettuale

Il modello è stato sviluppato, sulla base di considerazioni geomorfologiche e morfometriche, a partire dal concetto generale che lo spessore di un deposito sciolto in un dato punto deriva dalla differenza tra la quota della superficie topografica e la quota della proiezione verticale dello stesso punto in profondità, in corrispondenza del tetto del substrato roccioso.

Fase conoscitiva preliminare

In prima analisi è stato ricostruito l'andamento 3D della superficie topografica (modello digitale del terreno - DEM) sulla base degli elementi topografici (curve di livello, punti quotati, corsi d'acqua) della Carta Tecnica Regionale numerica della Regione Piemonte a scala 1:10.000 (dimensione delle celle 10 *10 metri).

Successivamente è stata effettuata un'accurata ricerca dei dati esistenti di superficie e sottosuolo, la quale ha consentito di individuare per il territorio del V.C.O., le seguenti tipologie di coperture quaternarie e la relativa distribuzione areale (scala 1:10.000/1:25.000):

- Ec → Copertura eluvio-colluviale
- Gl → Deposito glaciale eterogeneo
- Cf → Corpo di frana da movimento gravitativo antico o recente
- Fd → Falda e cono di detrito
- Dc → Deposito alluvionale di conoide di deiezione
- Df → Deposito alluvionale di fondovalle principale
- Gt → Deposito di origine torrentizia e gravitativa lungo le aste tributarie.

Nel modello sperimentale elaborato per il PAEP non sono state implementate le coperture relative ai dissesti gravitativi in quanto non compatibili con la pianificazione delle attività estrattive dal punto di vista delle condizioni di stabilità locale e normativo (Delibera n. 10/2002 del Comitato Istituzionale dell'Autorità di bacino del F. Po); allo stesso modo, non sono stati implementati i depositi alluvionali in quanto nel territorio del VCO le attività di coltivazione sono tutte impostate su versante.

Fase di modellazione ed elaborazione

Terminata la fase conoscitiva, si è proceduto ad individuare l'andamento del contatto tra la copertura quaternaria e il substrato roccioso.

Il primo passo della modellazione è stato quello di assumere che:

- per ogni porzione di territorio interessata dalla presenza di materiale sciolto (superficie poligono di copertura), la superficie di contatto con il sottostante substrato roccioso fosse assimilabile a una superficie ideale di geometria sub-planare (Triangular Irregular Network – TIN);
- l'andamento della superficie di contatto (TIN) potesse essere costruita sulla base del dislivello delle quote dei punti perimetrali di ciascun poligono di copertura

Sono stati quindi implementati *datasets* di correzione dell'andamento della predetta superficie di contatto in corrispondenza delle depressioni topografiche, delle aree sub-pianeggianti e delle porzioni di territorio per le quali erano disponibili dati di sottosuolo.

Dataset di correzione delle depressioni topografiche

E' stata effettuata un'analisi idrologica specifica al fine di minimizzare l'errore introdotto nel modello morfometrico dalla presenza di concavità nella topografia (*stream lines*); in queste zone il

modello, così come descritto, avrebbe restituito una superficie di contatto tra la copertura quaternaria e il substrato roccioso attestata ad una quota superiore rispetto alla quota della superficie topografica.

Dataset di correzione delle aree sub-pianeggianti

E' stata effettuata un'analisi delle forme di versante (*landforms*) attraverso l'utilizzo della *Landform Toolbox* per ARCGIS messa a punto da John Lowry della Utah State University (2007) (Figura 1). In particolare, determinando per ogni cella del DEM il valore dell'acclività e dell'indice TRMI - *Topographic Relative Moisture Index* o indice di umidità del terreno (Manis et al., 2001, Parker, 1982, Haplin, 1999), è stato possibile perimetrare le aree a differente morfologia: aree pianeggianti, piedi di pendii, pendii a differente acclività ed esposizione.

L'analisi effettuata ha quindi permesso di individuare quelle aree che ancora introducevano un errore nel modello, ovvero le aree relativamente più pianeggianti in prossimità di contropendenze o rotture del pendio.

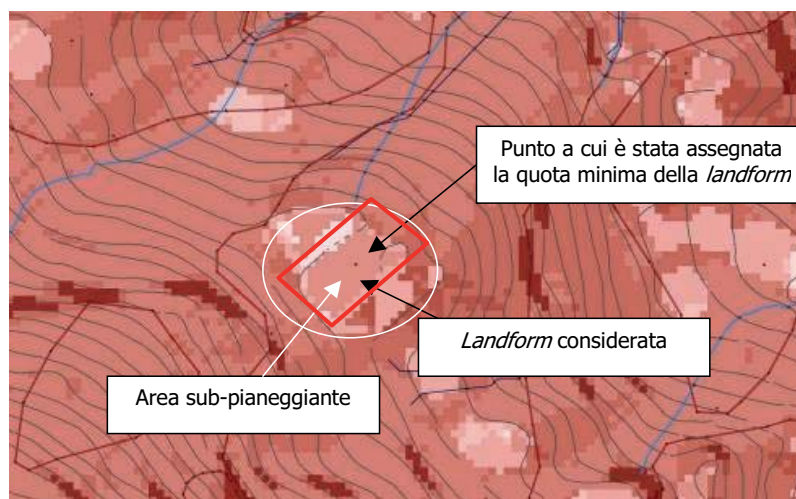


Figura 1 – Esempio di utilizzo delle *landforms*.

Dataset di correzione per i dati di sottosuolo

Il modello è stato ulteriormente affinato attraverso un *dataset* puntuale contenente la localizzazione dei pozzi e dei sondaggi geognostici presenti sul territorio del V.C.O. e la quota del contatto tra la copertura quaternaria e il substrato roccioso.

In sintesi, per ciascun poligono di copertura quaternaria identificato nel territorio del V.C.O., l'andamento in profondità del TIN è stato definito interpolando:

- i punti quotati di *output* dell'analisi idrologica
- i punti quotati di *output* dell'analisi morfologica
- i dati di sottosuolo.

Per ciascun poligono è stata quindi ricavata la distribuzione spaziale dello spessore minimo: trattandosi di valori di tipo continuo, la suddivisione in classi è da ritenersi del tutto arbitraria (Tabella 2).

CLASSI	DESCRIZIONE	% AREA FALDE DETRITO	% AREA ELUVIO – COLLUVIO	% AREA DEPOSITI GLACIALI	% AREA DEPOSITI TORRENTIZI
1	Aree non stimate dal modello	25,26%	9,15%	9,67%	12,22%
2	Spessore minimo (inferiore a 1 m)	55,81%	70,35%	62,51%	82,95%
3	Spessore compreso tra 1 e 5 m	11,60%	14,06%	15,01%	4,09%
4	Spessore compreso tra 5 e 10 m	3,81%	4,69%	6,31%	0,53%
5	Spessore compreso tra 10 e 15 m	1,60%	1,22%	3,05%	0,12%
6	Spessore compreso tra 15 e 20 m	0,79%	0,51%	1,56%	0,09%
7	Spessore compreso tra 20 e 25 m	0,44%	0,02%	0,85%	
8	Spessore compreso tra 25 e 30 m	0,24%		0,44%	
9	Spessore compreso tra 30 e 35 m	0,14%		0,27%	
10	Spessore compreso tra 35 e 40 m	0,10%		0,16%	
11	Spessore compreso tra 40 e 45 m	0,07%		0,09%	
12	Spessore compreso tra 45 e 50 m	0,14%		0,09%	

Tabella 2 - Suddivisione in classi degli spessori minimi restituiti dal modello e percentuale di area ricadente in una determinata classe di spessore minimo per ciascuna copertura quaternaria considerata.

L'analisi statistica dei risultati ottenuti ha consentito di derivare:

- l'andamento della distribuzione delle aree per le diverse classi di spessori risulta simile per tutti i tipi di coperture considerate dal modello. Le uniche anomalie consistenti sono rappresentate dalla classe Gt (Depositi di origine torrentizia e gravitativa lungo le aste tributarie); ciò è attribuibile alla minore quantità di poligoni presenti per questa copertura rispetto alle altre;
- il maggior grado di incertezza del modello è stato riscontrato per i depositi di versante e ciò può essere imputato sia all'affidabilità del modello digitale del terreno (DEM) sia all'effettiva variabilità legata alla natura deposizionale di queste coperture;
- i depositi eluvio-colluviali, probabilmente a causa della loro natura deposizionale, risultano quelli che lasciano meno incertezze al modello (rimangono non interpretate il 9,15% delle aree).

Suoli

Fase concettuale

Lo spessore dei suoli è stato ricavato implementando un modello messo a punto da un gruppo di lavoro australiano (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation - CSIRO) che si occupa di problematiche legate al suolo e all'idrologia (Murphy, B., et al 2003); in particolare il modello è stato reso in forma numerica mediante uno strumento GIS, elaborato dal CSIRO stesso: Class Spatial Analyst (Teng et al, 2004, 2005).

Fase conoscitiva preliminare

Ai fini dell'implementazione del modello, è stato ricostruito l'andamento 3D della superficie topografica analogamente a quanto fatto per le elaborazioni delle coperture quaternarie, nonché è stata acquisita, e successivamente vettorializzata, la carta dei suoli della Regione Piemonte (scala 1:250.000).

Fase di modellazione ed elaborazione

Il modello ha consentito di individuare, a partire dal DEM, i sottobacini idrografici (*watershed delineation*) del territorio di analisi (modellazione idrologico-morfologica). Per ogni bacino sono stati calcolati i seguenti indici morfometrici:

- il *Topographic Wetness Index* - TWI ai fini dell'individuazione dei settori interessati da processi geomorfologici di tipo deposizionale o di trasporto (Figura 3);
- l'indice MRVBF - *Multi Resolution Valley Bottom Flatness* (Gallant, Bowling, 2003), per l'individuazione delle aree di fondovalle.

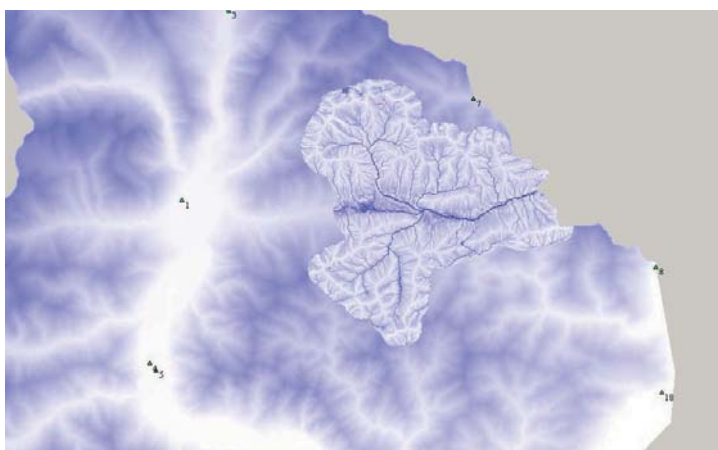


Figura 3 - Indice TWI ricavato per un sottobacino. I toni di colore più scuro indicano porzioni di territorio interessate prevalentemente da processi di tipo deposizionale mentre i toni di colore più chiaro indicano porzioni di territorio interessate prevalentemente da processi di tipo erosivo.

Determinati gli indici TWI e MRVBI, l'applicazione della funzione pesata empirica nel seguito riportata (Murphy et al, 2005) ha consentito di ricavare la stima dello spessore del suolo per ogni cella di analisi (dimensione delle celle = 10*10 metri):

$$D_{soil} = TWI_{weight} d_{TWI} + (1 - TWI_{weight}) d_{MRVBI} \quad [1]$$

$$TWI_{weight} = \frac{1}{1 + \left(\frac{MrVBF}{MrVBF_c} \right)^3} \quad [2]$$

$$d_{TWI} = d_5 + \left(\frac{TWI - TWI_0}{TWI_1 - TWI_0} \right) (d_{50} - d_5) \quad [3]$$

$$d_{MRVBF} = \begin{cases} 5.5 - 0.93 * MrVBF + \exp\left(\frac{MrVBF}{1.82}\right) & \text{when } MrVBF < 7 \\ 46 & \text{when } MrVBF \geq 7 \end{cases} \quad [4]$$

dove d_{50} e d_5 corrispondono al 5° e 50° percentile dello spessore del suolo e TWI_1 e TWI_0 corrispondono ai valori del *Wetness Index* a d_{50} e d_5 .

Lo spessore del suolo è stato determinato sul 100% del territorio provinciale interessato dalla presenza di substrato roccioso affiorante e/o dalla presenza delle coperture quaternarie.

Validazione

La validazione ad oggi è stata effettuata confrontando i risultati del modello con gli esiti di indagini indirette effettuate sul territorio provinciale a supporto della progettazione di siti estrattivi e di impianti idroelettrici; il confronto ha evidenziato un *range* di errore di stima degli spessori minimi variabile dal 10% al 20%.

Sviluppi futuri

L'Ente potrà mettere a disposizione i modelli ai tecnici del comparto estrattivo locale affinché i risultati ottenuti a scala provinciale possano essere continuamente affinati e dettagliati con informazioni locali. Tale attività consentirà di creare una base dati comune, univoca e sempre aggiornata sulla tipologia e sulla potenza delle coperture quaternarie e dei suoli; la condivisione potrà avvenire attraverso servizi *webgis* appositamente dedicati.

Conclusioni

La Provincia del V.C.O., grazie ad un'attività di modellazione numerica in ambiente GIS, basata su analisi geomorfologiche e morfometriche, ha messo a punto uno strumento di lavoro speditivo da utilizzarsi nelle valutazioni preliminari della progettazione/pianificazione dell'attività estrattiva ai fini della determinazione degli spessori minimi delle coperture quaternarie e dei suoli. Il valore dello sforzo compiuto dall'Ente emerge chiaramente considerando che:

- i risultati ottenuti sarebbero stati altrimenti ricavabili solo da indagini geotecniche dirette o indirette del sottosuolo eseguite a scala vasta e pertanto con oneri economici ragguardevoli;
- le elaborazioni hanno richiesto un tempo di processamento relativamente breve se relazionato all'estensione territoriale dell'area di analisi.

Bibliografia

- Gallant J.C., Dowling T.I. (2003), *A multi-resolution index of valley bottom flatness for mapping depositional areas*, Water Resources Research, 39, No. 12, 1347, doi 10.1029/2002WR001426.
- Haplin P. N. (1999), *GIS analysis for conservation site design: a short-course developed for The Nature Conservancy*, Nicholas School of the Environment-Landscape Ecology Lab, Duke University, City of Durham, NC, USA.
- Manis G., Lowry J., Ramsey R.D., (2001), *Preclassification: an Ecologically Predictive Landform Model*, Gap Analysis Program Bulletin No. 10.
- Murphy B., Vaze J., Teng J., Tuteja N.K., Gallant J., Summerell G., Young J., Wild J., (2005), *Modelling landscapes using terrain analysis to delineate landforms and predict soil depths – examples from catchments in NSW*, MODSIM 2005, Melbourne, Australia.
- Parker A.J. (1982), *The topographic relative moisture index: an approach to soil-moisture assessment in mountain terrain*, Physical Geography 3, pp.160-168.
- Teng J., Vaze J., Tuteja N.K. et al., (2004), *Class Spatial Analyst 2.0.1*.
- Teng J., Vaze J., Tuteja N.K., Gallant J. (2005), *CLASS Spatial Analyst: A GIS Based Tool for Distributed Hydrological Modelling*, MODSIM 2005, Melbourne, Australia.