

Sistemi informativi geografici e pianificazione delle attività estrattive

Alberto Pistocchi
DICMA, Università di Bologna
Accettato per la pubblicazione in Quarry & Construction

Introduzione

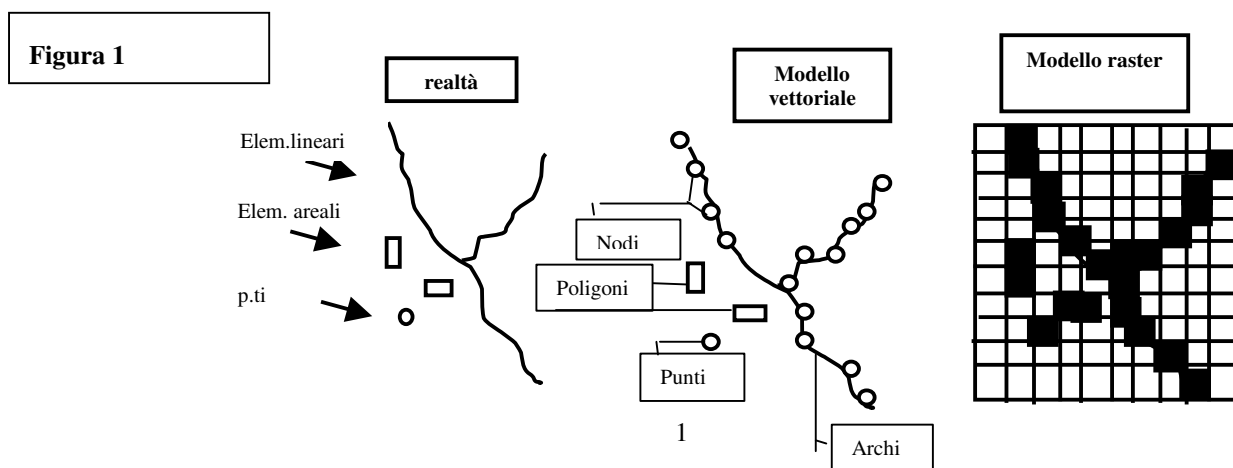
I sistemi informativi geografici (GIS) sono packages di calcolo che consentono di creare mappe, associarvi banche dati, effettuare analisi dei dati e produrre nuove mappe come risultato di 'map calculations'. Esiste una vasta letteratura su questo tipo di software, e ad essa si rimanda il lettore per ogni tipo di approfondimento. In questa sede, ci si limiterà invece a descrivere gli aspetti essenziali della tecnologia, e ad illustrare a grandi linee le applicazioni che da essa sono rese possibili nell'ambito della pianificazione e progettazione delle attività estrattive.

Concetti sui formati dell'informazione geografica

Le attività dell'ingegneria per l'ambiente e il territorio, e in particolare le attività estrattive, sono caratterizzate dalla necessità di fornire una rappresentazione della realtà, che generalmente presuppone la raccolta e l'organizzazione di dati di vario genere. Si richiameranno dunque nel seguito le principali definizioni sui formati in cui i dati sono normalmente presentati. Ad una realtà complessa, con forme molto irregolari e con notevole incertezza circa i dati topografici, si può fare fronte con rappresentazioni di tipo vettoriale o di tipo raster.

Come noto, dati vettoriali sono quelli relativi alla geometria del territorio quando questa è rappresentata con un insieme di punti (x,y,z) nello spazio. Un dato vettoriale molto comune è un insieme di curve isoipse. Generalmente, quando si rappresenta una grandezza quantitativa o qualitativa distribuita nello spazio, indicando ad esempio i soli confini fra zone a diverso valore, si rende necessaria una rappresentazione vettoriale dei dati.

Dati di tipo raster sono quelli che derivano dalla rappresentazione della realtà sotto forma di una griglia di celle, ad ognuna delle quali viene dato un attributo specifico. Le celle che non hanno attributi sono celle indefinite, ma ugualmente presenti. Nel caso di caratteristiche del territorio piuttosto complesse e di limitate estensioni, la rappresentazione vettoriale è più *memory intensive* rispetto al corrispondente modello raster. Nel caso in cui, invece, le dimensioni del territorio rappresentato sono notevoli e le caratteristiche degli oggetti semplici, il modello raster è meno maneggevole del corrispondente vettoriale.



Nel caso dei dati vettoriali, la memoria richiesta è proporzionale al numero dei nodi e dipende dalla complessità dei legami fra essi; i calcoli sono generalmente più complessi; in compenso si ha una maggiore precisione nella descrizione delle forme, dei contorni e dei confini. I dati raster richiedono memoria in proporzione all'estensione dell'area descritta e alla dimensione del *pixel* (cioè dell'unità elementare di cui è composto il disegno). Questo tipo di rappresentazione facilita i calcoli con le mappe, ma costringe ad una definizione geometrica peggiore.

Infine, l'informazione sulla forma, la dimensione e la posizione degli oggetti si presenta quasi sempre associata ad attributi, valori numerici o qualitativi di alcune proprietà degli oggetti medesimi. Questo tipo di informazione è contenuto di solito in tabelle, organizzate secondo architetture note come *databases relazionali* (anche se di recente altri tipi di databases sono stati implementati in vari *packages*). Un aspetto saliente della struttura dei databases relazionali è la possibilità di effettuare *joins*, ovvero collegamenti fra differenti tabelle connesse fra loro da colonne-chiave, come illustrato nella figura seguente. In tale modo si ottiene una organizzazione del database efficiente da punto di vista della memoria, e si possono associare liberamente ad una proprietà tutte le altre che si rendano necessarie.

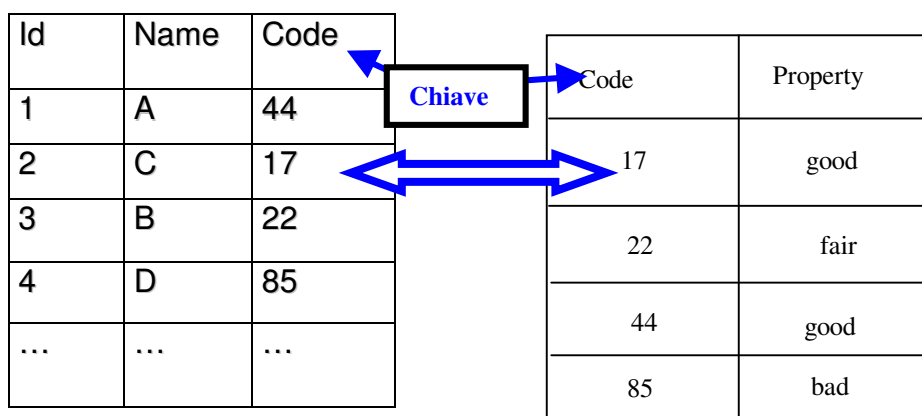


Figura 2

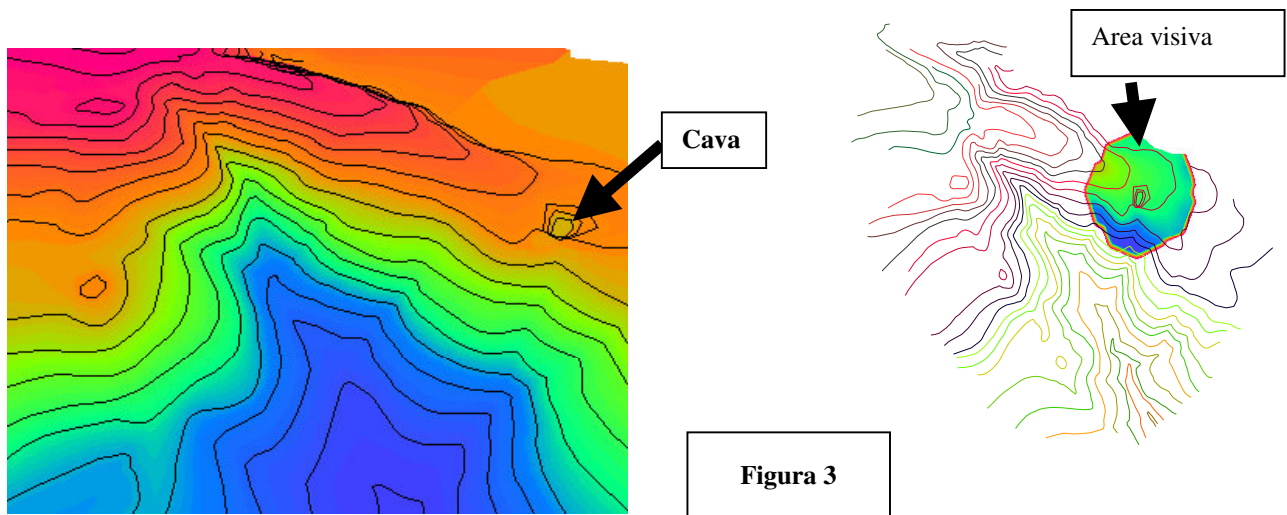
I GIS coniugano la capacità di gestire sistemi complessi di dati, propria dei DBMS – database management systems, e.g. Microsoft Access- con quella di visualizzare rappresentazioni dello spazio, propria dei sistemi CAD – computer aided design, e.g. AutoCAD. A queste funzioni i GIS associano, come propria caratteristica distintiva, la capacità di effettuare analisi e calcoli sui dati introdotti, e fornire così strumenti di supporto alle decisioni nel campo della pianificazione e gestione del territorio. Per questo aspetto, i GIS costituiscono l'ambiente operativo ideale per l'implementazione di modelli matematici a parametri distribuiti, come ad es. i modelli idrologici o geotecnici. Si può così concepire un GIS come un potente strumento di analisi e di modellazione dei fenomeni del territorio, che risulta di supporto indispensabile ogni qual volta sia necessario prendere decisioni non banali sull'allocazione di risorse limitate come le georisorse.

Operazioni di analisi tipiche dei GIS

Si può qui proporre la seguente classificazione delle operazioni costituenti la struttura tipica delle analisi *GIS-based*:

1. Operazioni su singole mappe:

- 'map calculations', ovvero calcolo nello spazio di funzioni di parametri distribuiti (ad es.: calcolo del volume di materiale estraibile con uno scavo)
- neighbourhood analysis (operazioni che riguardano proprietà di contiguità fra elementi di una mappa; es. calcolo del percorso di minimo costo o minimo tempo di percorrenza, calcolo della mappa di direzione di massima pendenza a partire da una mappa delle quote topografiche)
- filtraggio (operazioni che sostituiscono al valore di un attributo una sua modificazione secondo regole prestabilite; es. image enhancement, creazione di shaded relief maps)
- calcoli iterativi (es. calcolo dell' area di influenza visiva di un fronte di cava)
- calcolo di derivate di un campo continuo (es. superficie topografica=> pendenze, forme del pendio)



2. Operazioni su più mappe:

- map overlaying (ad es. calcolo di indici tecnici come il DRASTIC (vulnerabilità delle acque sotterranee) o gli indici geomeccanici: Q di Barton, RMR...)
- integration modelling (mappatura del rischio o della predisposizione del territorio rispetto ad un certo evento, utilizzando informazioni di diversi tipi; ad es., zonazione del potenziale interesse per attività estrattive)
- analisi statistiche multivariate su grandezze regionalizzate
- valutazioni di impatto ambientale mediante le tecniche di analisi multicriterio e i modelli di simulazione degli effetti di una attività sui vari comparti ambientali.

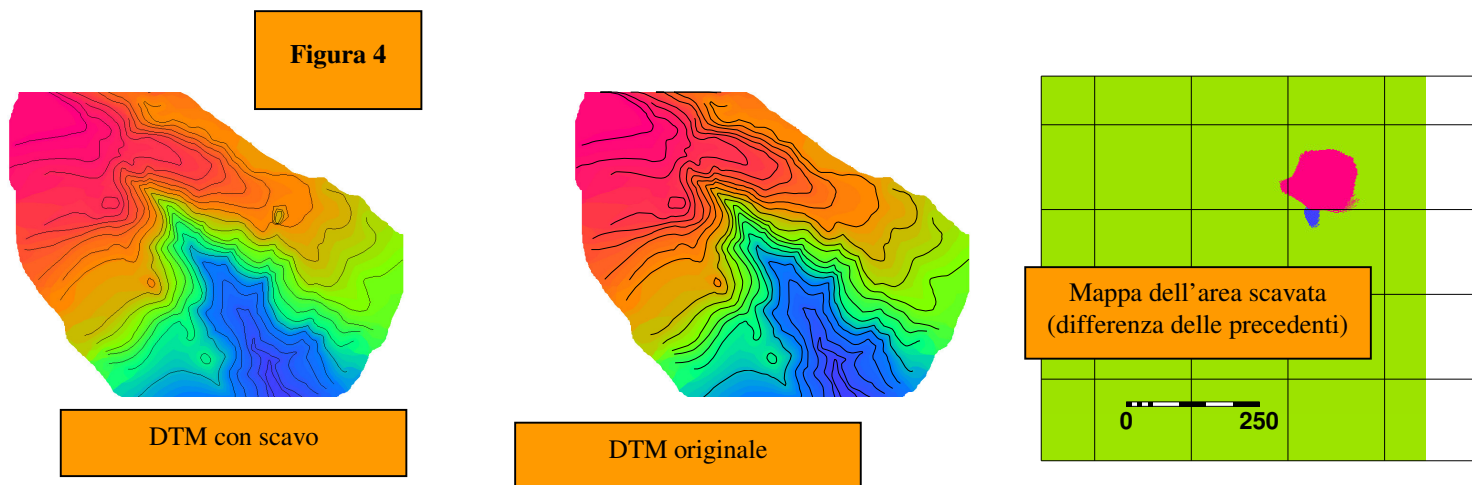
Come si può intuire, l'utilizzo dei sistemi informativi geografici consente di trattare in modo relativamente semplice un insieme molto ampio di problemi, fra cui moltissimi sono quelli che normalmente si pongono nella pianificazione e progettazione delle attività estrattive.

Un tipo particolare di mappa: il modello digitale del terreno

Un DTM (digital terrain model) o DEM (digital elevation model) e' una mappa numerica della superficie topografica. Puo' essere in forma vettoriale (es. TINs, Contour lines...). Piu' spesso, però, e' in forma raster (griglia di celle con associato un valore di quota topografica). I DTM hanno diverse applicazioni nel campo della pianificazione territoriale e della modellazione dei fenomeni fisici.

Una applicazione tipica e' nel calcolo di pendenze, convessita' e concavita' del pendio ecc. (questi dati servono per applicazioni geologiche, come il calcolo di fattori di sicurezza per i pendii indefiniti; per applicazioni idrologiche, come la determinazione delle linee di deflusso e la valutazione delle portate di piena; per applicazioni di gestione del territorio, come la valutazione del *viewshed* o area di influenza visuale di un oggetto).

Un'altra applicazione tipica e' nel calcolo di volumi a seguito di scavi (cave o sbancamenti per opere civili), come illustrato nella figura seguente.



Un impiego dei DTM puo' essere individuato nel calcolo delle aree sommerse per esondazione, noto che sia il volume di acqua che sormonta gli argini di un corso d'acqua. Applicazione simile è quella del calcolo del volume di un invaso nota l'altezza della diga di ritenuta. I DTM trovano inoltre impiego in ogni applicazione che riguardi la dispersione di inquinanti sulla superficie terrestre o in atmosfera, qualora l'influenza del terreno sia notevole. Un DTM puo' essere generato con diversi metodi:

- point interpolation (deterministica o geostatistica): si interpolano dati di elevazione noti in punti discreti del territorio
- contour interpolation: si conoscono le curve di livello (per esempio da una mappa cartacea digitalizzata) e si effettua una interpolazione (generalmente lineare) in ogni punto fra due curve di livello

- acquisizione di dati continui da remote sensing: si tratta di tecnologie recentemente sviluppate, che si appoggiano ai dispositivi GPS e ad appositi sensori che captano segnali riflessi dalla superficie terrestre. Anche se al momento si tratta di metodi costosi, è presumibile che in un futuro prossimo la maggior parte dei dati geografici venga acquisita e gestita direttamente con essi.

Così come la superficie terrestre, con le tecniche di creazione e gestione dei DTM possono essere modellate tutte le altre superfici continue, come ad esempio:

- strati geologici
- tavola d'acqua
- andamento di dati continui nello spazio (grandezze idrologiche, geochimiche, econometriche...)
- livelli di rumore
- concentrazione di polveri in atmosfera
- segnali geofisici

Alcuni packages commerciali

Si riportano nel seguito alcuni esempi di GIS commerciali fra i più diffusi al momento.

- AutoCAD: e' un sistema CAD, ma esistono diversi applicativi GIS ad esso associati (es. AutoCAD Map)
- Arc/INFO: e' ritenuto lo standard del momento, ed è certamente uno dei GIS più complessi e potenti
- ArcView: e' una versione semplificata di Arc/INFO, e rappresenta il software tipico per le PP.AA. Ha limitate funzioni di modellazione, ma ottime potenzialità di gestione e visualizzazione dei dati; inoltre è dotato di notevole flessibilità, garantita dalla disponibilità di un linguaggio di programmazione ad oggetti *built in*, che permette una vera e propria creazione di modelli matematici associati al GIS.
- GRASS: e' un GIS *freeshare* prodotto dall'USDA, solo per UNIX (esistono versioni commerciali anche per PC). Ha notevoli potenzialità di analisi, specie relative ai DTM, grazie alla presenza di funzioni native di analisi (derivate, laplaciani...)
- IDRISI: e' molto diffuso per la sua semplicità, e ha buone funzionalità raster, mentre e' più limitato per i dati vettoriali
- ILWIS: e' un software basato raster, ma con buone funzioni di gestione dei dati vettoriali; dalle molte potenzialità di analisi, e' più limitato per la visualizzazione e la gestione di grandi basi di dati.

Concetti fondamentali della modellistica basata sui GIS

I GIS, rispetto ai modelli matematici a parametri spazialmente distribuiti di comune utilizzo, consentono una descrizione dei fenomeni fisici caratterizzata dalle seguenti peculiarità:

- semplicità della struttura matematica
- utilizzo di equazioni risolte in forma chiusa, e non con tecniche numeriche iterative
- descrizione di fenomeni quasi-statici, o di dinamiche molto aggregate nel tempo (ad es. su base annuale, mensile...) e con scarsa possibilità di seguire evoluzioni temporali in continuo
- ampio ricorso a modelli empirici e metodi statistici, e segnatamente geostatistici

Il modello basato sui GIS è un modello *data driven*, che capitalizza sulla capacità dei sistemi di gestire una descrizione dettagliata del territorio, che teoricamente consente di evitare l'uso di parametri da tarare. In questo si differenzia dai modelli dinamici tradizionali, *knowledge driven*, che utilizzano una descrizione dei fenomeni molto formale e complessa, e di contro parametri esprimenti in forma semplificata grandezze fisiche.

I modelli dinamici tradizionali a parametri distribuiti richiedono una taratura complessa, e un certo sforzo di collegamento fra il nocciolo di calcolo, l'unità di gestione dei dati e l'unità di elaborazione cartografica dei risultati.

Si può in generale riconoscere una tendenza della modellistica tradizionale ad integrarsi con sistemi cartografici sofisticati, ma al momento pare opportuno sottolineare come l'uso dei modelli dinamici sia da preferire in sede di analisi ingegneristica di dettaglio, mentre per la definizione di scenari generali per la pianificazione sia preferibile ricorrere a modelli *GIS-based*, molto più rapidi da mettere a punto e di immediata fruizione circa i risultati grazie alla rappresentazione cartografica.

Tipici esempi di modelli basati GIS vengono dall'idrologia, dove ormai molto ampia è la letteratura a proposito di simulazioni di portate a partire dalle piogge, e di produzione di erosione e inquinamento di origine diffusa, effettuate con tecnologie di questo tipo. Anche in campo geologico è oggi diffuso l'uso di GIS per la previsione, ad esempio, delle zone ad elevato rischio geoambientale, come frane, sismi ecc.

I GIS, infine, forniscono l'ambiente ideale per un sistema di supporto alle decisioni sul territorio. Questo si può schematizzare come un insieme di:

- carte tematiche esprimenti lo stato dell'ambiente e del territorio sotto vari profili (processi fisici, chimici, biologici, economici...)
- criteri e vincoli forniti a priori in relazione alle specificità della decisione da assumere
- criteri di pesatura delle varie carte tematiche, per identificare le situazioni favorevoli o rischiose, a seconda del tipo di problema che si pone.

Il risultato di un processo di supporto alle decisioni è una mappa che indica le zone del territorio più favorevoli ad un certo esito, o più rischiose sotto un determinato profilo.

Un esempio tipico di questa applicazione è la valutazione di impatto ambientale di una cava.

Per procedere ad una valutazione GIS-based, si costruiranno:

- una mappa delle vibrazioni indotte dalle operazioni di scavo (questa può essere ottenuta mediante l'uso di semplici relazioni teoriche od empiriche che descrivono la propagazione delle vibrazioni nel mezzo roccioso e in atmosfera, considerando tutti i fattori di assorbimento)
- una mappa del livello di rumore prodotto dalle attività di scavo (anche in questo caso sono disponibili in letteratura numerose relazioni empiriche o teoriche previsionali)
- una mappa dell'impatto visivo del fronte di scavo (ovvero una mappa dei punti da cui lo scavo è visibile): per ottenerla, sono stati messi a punto numerosi algoritmi che utilizzano le potenzialità dei GIS
- una mappa delle alterazioni indotte sull'ecologia del paesaggio
- una mappa del disturbo indotto sulla viabilità locale
- una mappa della concentrazione di polveri in atmosfera (stimata ad esempio con un *modello box*)

A queste mappe possono essere aggiunte tutte le altre che la specificità locale possa richiedere o suggerire.

Valutata l'entità dei fenomeni indotti dalla cava sul territorio, si potrà procedere alla valutazione degli impatti di ciascuno di essi, introducendo criteri e vincoli opportuni. Per

esempio, si potrà decidere che un certo livello di rumore è il massimo ammissibile, e che occorre ritenere soggetti ad impatto tutti gli insediamenti antropici che siano esposti a valori maggiori. Allo stesso modo si potranno creare le mappe degli impatti relativi a tutti gli altri fenomeni.

Infine, per ottenere l'impatto complessivo, si potranno normalizzare tutti i valori di impatto settoriali ottenuti precedentemente, e si potrà procedere ad una somma pesata degli stessi per ottenere un valore complessivo dell'impatto. La pesatura può avvenire con uno dei metodi oggi largamente documentati dell'analisi multicriterio. Per esempio, uno tra i più diffusi è quello dell'Analytical Hierarchy Process di T.Saaty (1980).

Alternativi sono ad esempio i metodi basati sulla fuzzy logic, sul teorema di Bayes e altre *Favourability Functions* (Chung e Fabbri, 1993).

La figura seguente riassume lo schema di lavoro per la valutazione GIS-based dell'impatto ambientale di una cava.

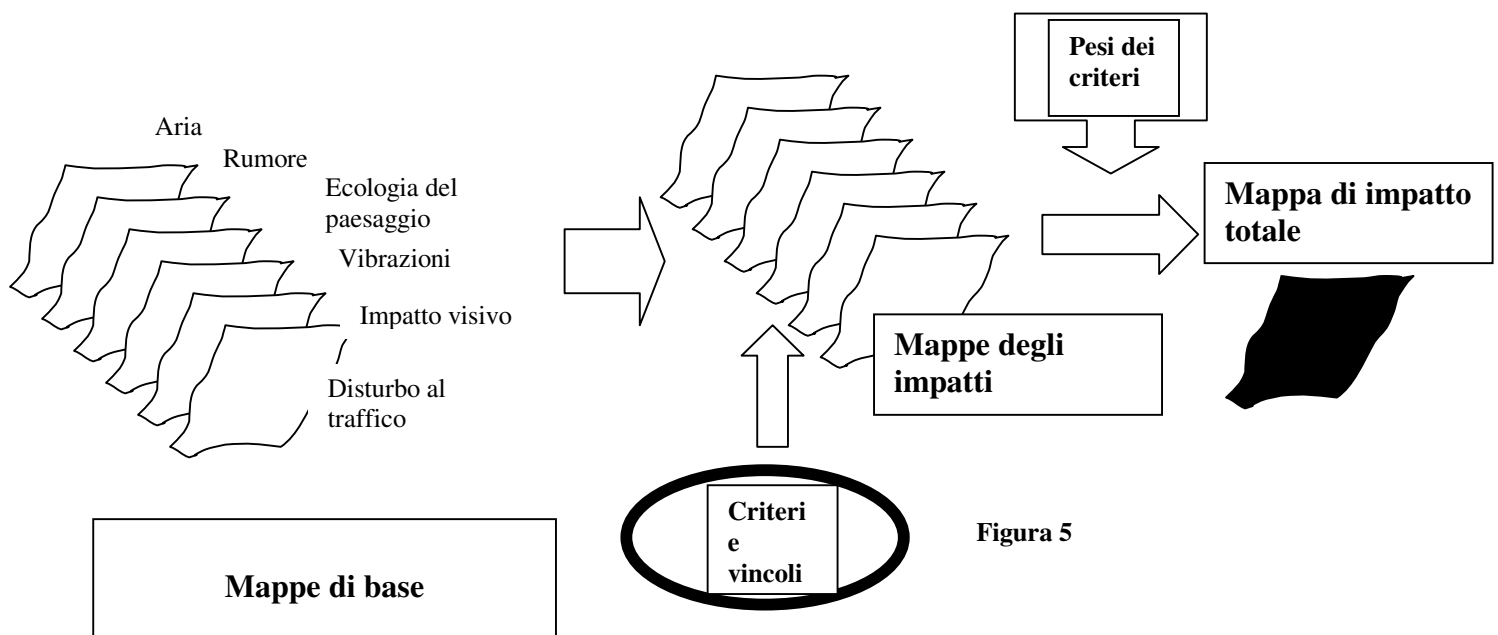


Figura 5

Bibliografia essenziale

Bonham Carter, G., GIS for Geoscientists. Modelling with GIS. Pergamon Press, N.Y., 1994.

Burrough, P.A., McDonnell,R.A., Principles of Geographic Information Systems, Oxford Univ.Press, 1998

Chung, C., Fabbri,A.G., The representation of Geoscience Information for data integration, Nonrenewable resources, Oxford University Press, 1993

Goodchild, M.F. (cur.), The NCGIA core curriculum in GIScience, University of S.ta Barbara, California, 1998

Maidment, D.R., Ye, R. A map based model of surface and subsurface flow, University of Austin, Texas, 1996

Saaty, T., The Analytical Hierarchy Process, Illinois University Press, Urbana, 1980