

Sistemi GIS: metodologie e casi applicativi

Introduzione

L'utilizzo e la lettura dei risultati di un sistema informativo territoriale necessitano dell'adozione di opportuno modo di pensare, che sfruttino l'approccio quantitativo ai problemi territoriali che questi strumenti rendono possibile. Per introdurre il lettore al modo di ragionamento utilizzato dai GIS sono presentati alcuni esempi di applicazione enfatizzando la scelta degli algoritmi ed i singoli passaggi della loro applicazione. Ogni esempio è basato su una applicazione reale di cui sono forniti gli esiti ed una discussione critica dei risultati.

Realizzazione di una carta del rischio da valanghe

Lo scopo di questa applicazione è la creazione di una mappa del rischio da valanghe incrociando dati morfologici del terreno con dati di copertura vegetale, integrando quindi elementi eterogenei significativi per il pericolo da valanghe.

I fattori di rischio considerati dal punto di vista morfologico sono: pendenza, variazione della pendenza, esposizione ed esistenza di una area minima uniforme. La pendenza e l'esposizione del terreno può essere ricavata a partire dalla conoscenza delle quote di punti. I valori delle quote di

punti sono normalmente disponibili su una griglia regolare sotto forma di modelli digitali delle altezze (spesso indicati come DEM, *digital elevation models*). La pendenza può essere ricavata applicando il metodo delle differenze finite, dividendo cioè la differenza di quota per il passo della griglia dei punti. La variazione di pendenza si ricava semplicemente applicando lo stesso procedimento non più alle quote ma ai valori di pendenza. L'esposizione si ricava calcolando la direzione normale alla superficie e determinando l'angolo che la sua proiezione sul piano tangente (orizzontale) forma con la direzione nord. Il riconoscimento di aree con pendenza omogenea si realizza estraendo dalla mappa raster della pendenza le celle attorno alle quali si ha un numero congruo (che da la superficie richiesta) di celle con uguale pendenza.

La capacità di protezione della vegetazione viene resa assegnando a ciascuna tipologia di copertura forestale una classe di rischio, realizzando quindi una mappa della capacità di difesa da parte della vegetazione.

Il rischio morfologico e quello vegetazionale sono poi integrati utilizzando l'algebra delle mappe per combinare, per ogni cella della mappa raster, gli indici di rischio mediante una somma pesata.

Questo approccio ha permesso di rilevare l'alta capacità di protezione da valanghe anche per bosco rado o caducifoglie.

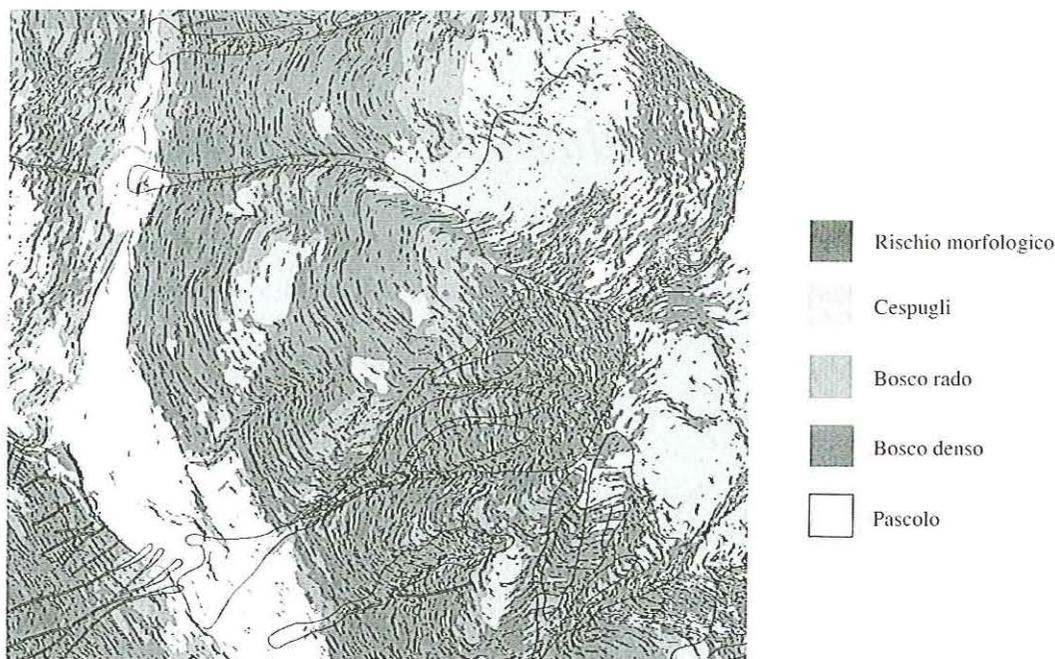


Fig. 1 - Carta del rischio di valanghe con sovrapposizione della Carta di Localizzazione Probabile delle Valanghe (Provincia Autonoma di Trento, Servizio Prevenzione calamità pubbliche), che riporta anche i confini delle valanghe effettivamente verificatesi.

Tab. 1 - Rapporto tra superficie potenzialmente a rischio e superficie realmente interessata da valanghe per classe di vegetazione.

	Bosco fitto di sempreverde	Bosco rado o di caducifoglie	Pascolo o arbusti
$S_{\text{valanghe}} / S_{\text{potenziale}}$	0.096	0.148	0.453

Realizzazione di ortofoto

L'utilizzo di immagini in un GIS richiede spesso la loro trasformazione da proiezione centrale, proiezione in cui le immagini sono riprese, a proiezione ortogonale, rendendo ad esempio le immagini sovrapponibili alla cartografia e dando la possibilità di misurare oggetti direttamente sulle foto. Le immagini trasformate in questo modo vengono indicate con il nome di ortofoto. La trasformazione deforma l'immagine digitale pixel per pixel in base alla quota che gli corrisponde. È necessario innanzi tutto orientare l'immagine nello spa-

zio, riconoscendo sul fotogramma punti di coordinate note, e avere la possibilità di conoscere le quote del terreno nella zona ripresa, attraverso un modello digitale delle quote.

Le ortofoto realizzate possono essere utilizzate per integrare la cartografia o per produrre in modo veloce cartografia: tale tecnica è spesso utilizzata in caso di calamità naturali per disporre di cartografia aggiornata in tempi brevi.

È possibile automatizzare in un GIS l'analisi di ortofoto ed ottenere risultati quantitativamente corretti grazie alla loro trasformazione in proiezioni centrali.

Analisi automatica di immagini pancromatiche

L'analisi automatica di immagini pancromatiche con GIS permette la classificazione dei pixel in categorie significative per l'utente. La tecnica si basa sull'analisi dei toni di grigio dei pixel dell'immagine, assegnando un pixel ad ogni classe a seconda del valore (tono) del pixel stesso.

Volendo discriminare tra due categorie di copertura, ad esempio forestale e non, si individua un valore di soglia: ogni pixel viene assegnato ad una delle due categorie in base al proprio valore.

Per selezionare il valore di soglia si scelgono sull'immagine due aree test, una rappresentativa per le aree coperte a foresta ed

una per le aree con altro tipo di copertura, e si analizzano gli istogrammi di frequenza dei toni di grigio. Il valore di soglia viene scelto in modo da minimizzare gli errori di attribuzione di un pixel alla classe errata.

Utilizzando questa tecnica nascono due problemi: la presenza di rumore nelle aree di foresta dà luogo ad una configurazione a macchie di leopardo, mentre le aree con ombre sono classificate come foresta indipendentemente dalla loro reale copertura. Per risolvere questi problemi è stata applicata una maschera di 5x5 pixels attribuendo alla classe foresta tutti i pixel contenuti se la percentuale di pixel classificati come foresta è superiore o uguale alla percentuale individuata nell'area di controllo.

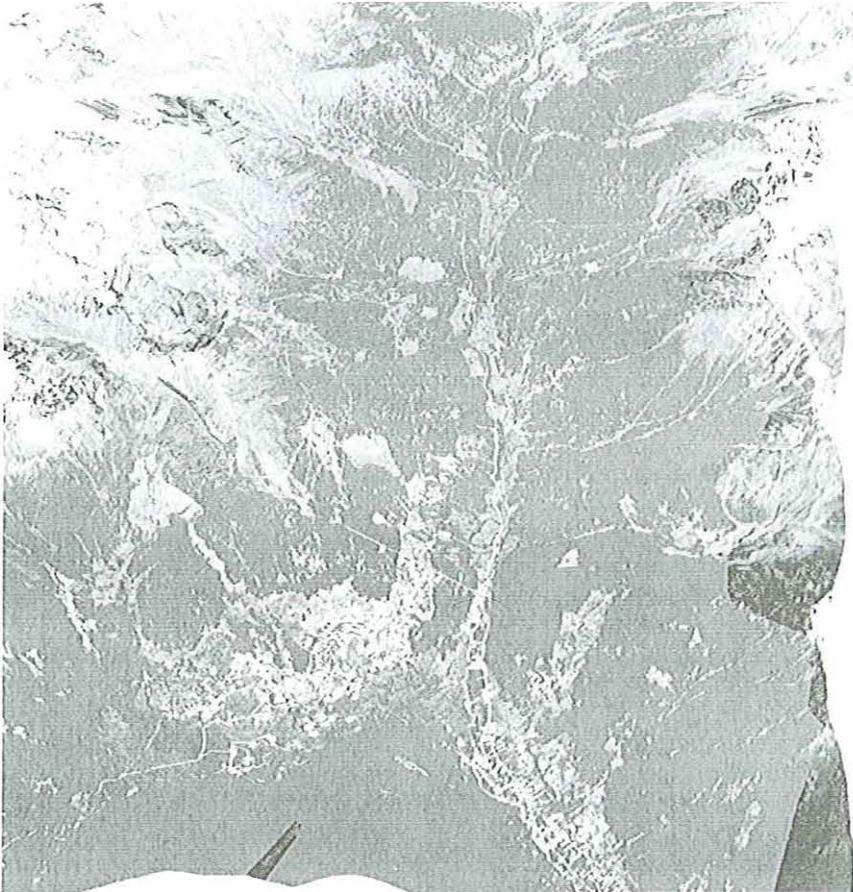


Fig. 2 - Distribuzione delle aree boschive per il 1954 (in tono di grigio uniforme).

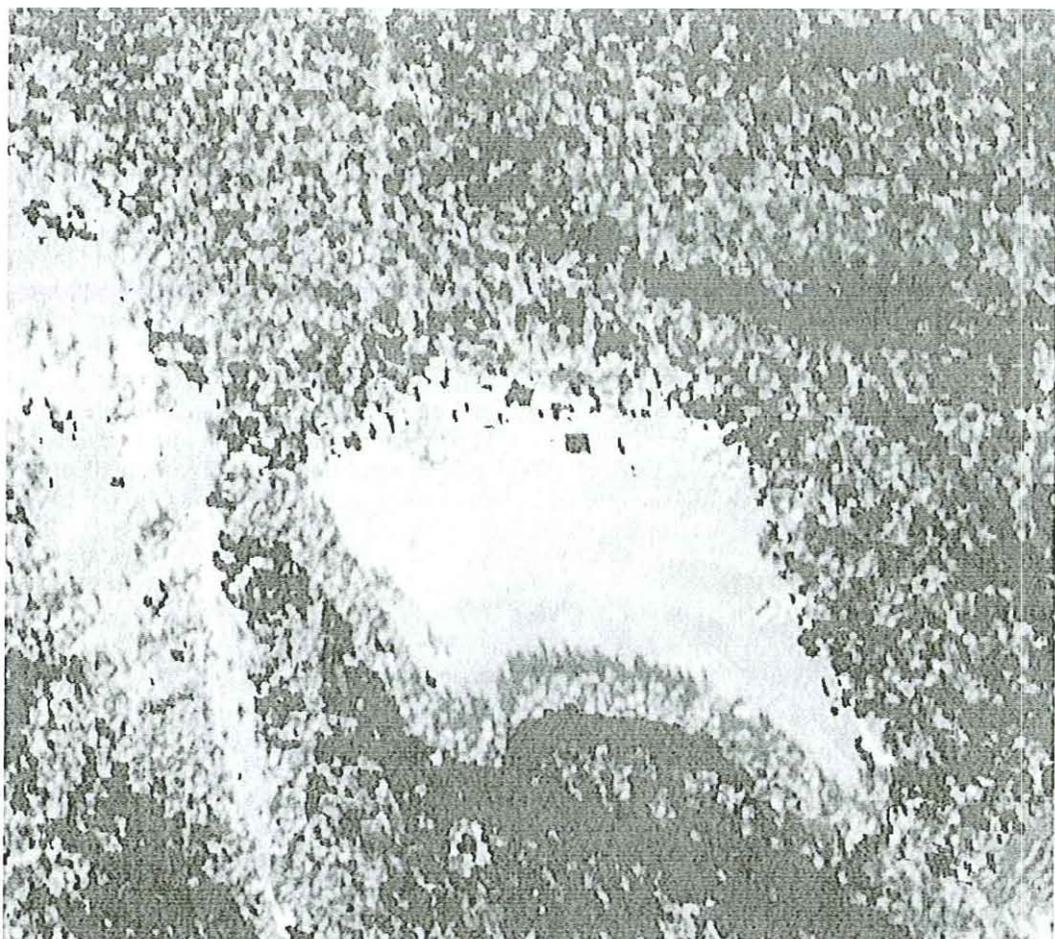


Fig. 3 - Distribuzione delle aree boschive per il 1954 (in tono di grigio uniforme), particolare.

Realizzazione di carte di rischio di incendio e modelli di spreading

Per la compilazione di carte di rischio di incendio basate su modelli deterministici è necessario descrivere spazialmente l'andamento di ciascuna variabile significativa per il pericolo e quantificare per ciascuna di esse il grado di rischio.

Si assegna perciò ad ogni cella della mappa raster un valore in funzione del rischio determinato dal fattore in esame. Se il grado di rischio è reso in modo omogeneo per i diversi fattori è possibile ricavare direttamente la carta del rischio globale sovrapponendo le carte relative ai singoli fat-

tori e sommando i valori cella per cella. Se gli indici di rischio dei singoli fattori sono resi in modo omogeneo è possibile sommare direttamente le diverse mappe, altrimenti è necessario pesare in modo diverso i contributi di ogni variabile.

La verifica della validità del modello viene effettuata sovrapponendo alla mappa del rischio la carta degli incendi realmente avvenuti e studiando la distribuzione degli incendi nelle diverse classi di rischio: il modello migliore è quello per cui il maggiore numero di eventi ricade nelle classi di maggiore rischio, mentre sono assenti, o comunque in numero non significativo, gli eventi nelle classi a basso rischio.

L'applicazione di modelli di questo tipo alla Valle di Ledro, una delle zone del Trentino più colpita dal fenomeno degli incendi boschivi e coperta da differenti tipologie boschive, ha dimostrato la possibilità di una buona previsione degli incendi, a patto che il modello utilizzato sia tarato per la zona in esame. In figura 4 è mostrata una delle carte di rischio realizzate con il proce-

dimento sopra descritto, mentre in tabella 2 sono confrontati diversi modelli, indicati con il nome dell'istituto di ricerca che li ha sviluppati, applicati alla stessa zona per quanto riguarda la loro capacità di prevedere gli incendi realmente avvenuti.

Il modello 1 in tabella 2 risulta migliore, sia per la capacità di indicare come ad elevato rischio le zone in cui gli incendi si

Tab. 2 - Presenza (%) di punti di innesco di incendio in ciascuna categoria di rischio per i diversi modelli. I modelli da 1 a 4 differiscono per i pesi assegnati ai fattori predisponenti.

Rischio	Modello 1	Modello 2	Modello 3	Modello 4	Valladolid	Purdue	Almeyda	CNIG
Nulla	4.74	7.71	10.26	27.27	34.58	30.27	13.24	6.45
Medio-Basso	41.14	64.69	67.88	6.54	32.25	38.58	29.68	36.34
Medio	48.82	25.60	19.91	35.60	28.78	31.15	40.70	50.67
Medio-Alto	5.30	1.99	1.94	30.09	4.39	0.00	16.26	6.54
Alto	0.00	0.00	0.00	0.49	0.00	0.00	0.12	0.00

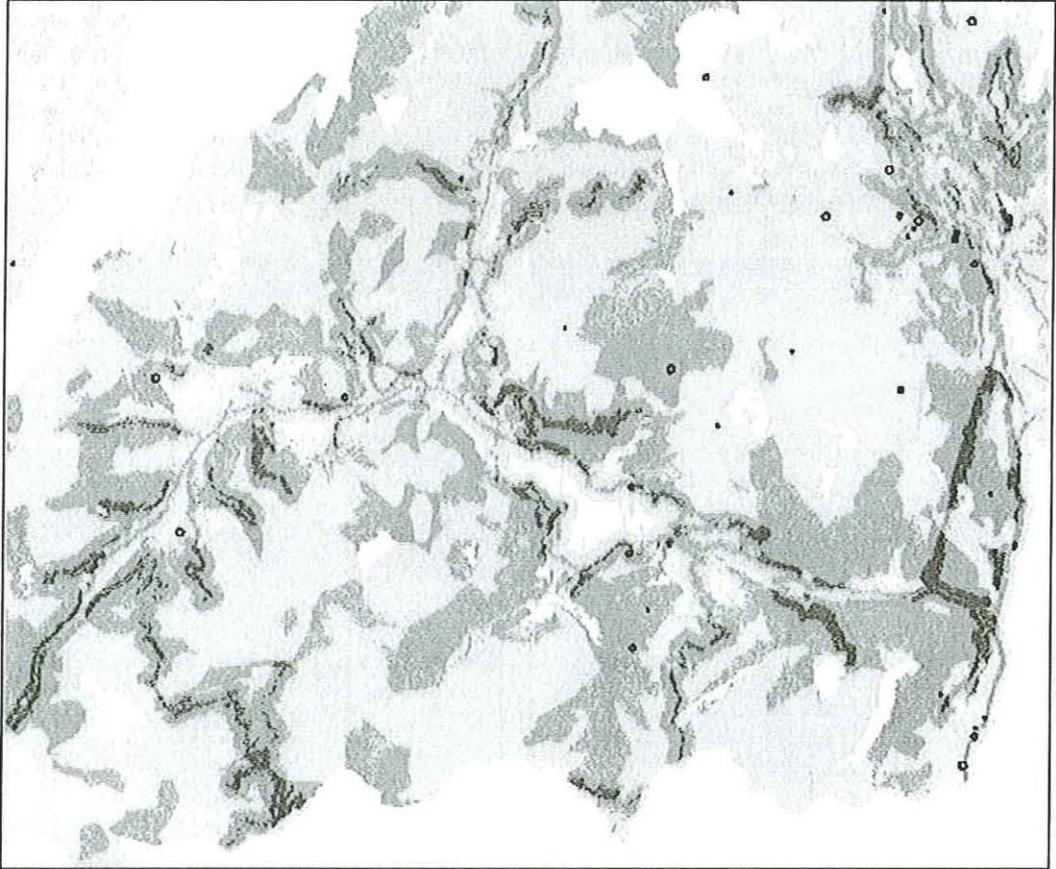


Fig. 4 - Carta del rischio ottenuta con il modello originale (modello 1 in tab. 2). In nero gli incendi rilevati.

sono realmente verificati, sia per la rappresentazione omogenea delle aree a rischio. In questa carta meno del 5% delle aree interessate da incendi è classificato a rischio nullo. Altri modelli danno in apparenza risultati migliori sovrastimando il rischio: gli incendi verificatisi realmente ricadono in zone ritenute a rischio perché la maggior parte del territorio è indicato come tale.

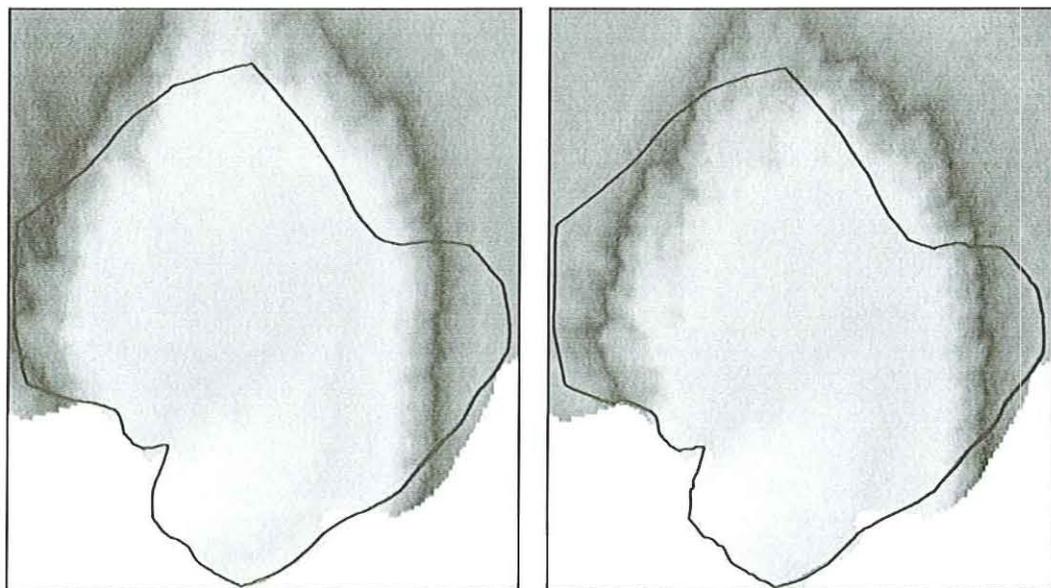
Con l'ausilio di un GIS è possibile implementare modelli di diffusione (*spreading*) di incendio che determinano le direzioni e la velocità di espansione del fuoco e la distanza di ricaduta delle faville. Tali modelli si basano sulla conoscenza delle caratteristiche delle formazioni vegetali interessate dall'incendio (modello di combustibile, condizioni di umidità e stato vegetativo), sulle caratteristiche morfologiche del terreno e sulle condizioni di vento. L'utilizzo di un GIS permette l'integrazione di queste informazioni consentendo di tenere conto della interazione di queste concause nella diffusione dell'incendio.

L'applicazione di un modello di *spreading* ad un incendio avvenuto in prossimità di Mezzolago (TN) ha messo in luce la buona capacità del modello di prevedere le direzioni

di espansione, mentre i tempi di diffusione sono sovrastimati. La stima della velocità di espansione potrebbe essere migliorata tarando localmente in modo più fine il modello.

Pianificazione realistica di rilievi GPS

Un fattore determinante per la riuscita di un rilievo satellitare GPS è la visibilità di un numero sufficiente di satelliti. Il numero di satelliti visibili da un punto della superficie terrestre ad un tempo dato è determinato dalla configurazione della costellazione satellitare e dagli ostacoli che limitano la visibilità del cielo. La posizione dei satelliti viene inviata (nella sua forma predetta) ai ricevitori dai satelliti stessi mentre gli ostacoli alla visibilità del cielo sono tradizionalmente valutati mediante un diagramma polare delle ostruzioni, compilato manualmente per ogni punto di interesse. È possibile però tenere conto degli ostacoli in modo realistico ed automatico utilizzando un modello digitale delle altezze che descrive il terreno.



La procedura per la creazione delle mappe di visibilità dei satelliti prevede tre passi logici: la determinazione della posizione relativa satellite - ricevitore, la determinazione della visibilità di ogni satellite ed infine la creazione di una mappa raster indicante il numero di satelliti visibili per ogni cella.

La posizione dei satelliti viene determinata ricavando i valori dei parametri kepleriani delle loro orbite da un file di almanacco, scaricabile ad esempio da un ricevitore che sia stato acceso per almeno 15'. Fissato il tempo per cui si vuole pianificare il rilievo si riducono i parametri kepleriani e si determinano quindi le coordinate dei satelliti al tempo dato.

La determinazione della posizione reciproca fra punti a terra e satelliti è effettuata con riferimento al baricentro dell'area in esame per tutte le celle della mappa: tale approssimazione risulta comunque accettabile per le precisioni richieste dalla proce-

dura di *planning*. Sono calcolati quindi azimut ed elevazione di ogni satellite rispetto al baricentro dell'area ad un tempo prefissato. La conoscenza della morfologia della zona e quindi degli ostacoli alla visibilità dei satelliti si ottiene a partire da un modello digitale delle altezze (DEM). Utilizzando un algoritmo messo a punto per il calcolo delle ombre del sole si realizza una mappa raster binaria di visibilità per ogni satellite. La mappa che fornisce il numero di satelliti visibili per ogni cella si ricava con l'algebra delle mappe attraverso la somma diretta delle mappe relative ai singoli satelliti. La procedura è verificata tramite il confronto con la situazione di visibilità (puntuale) dei satelliti determinata con un software commerciale in cui le ostruzioni sono fornite in forma di diagramma polare e migliora in modo significativo l'attendibilità e la risoluzione della procedura di *planning*.

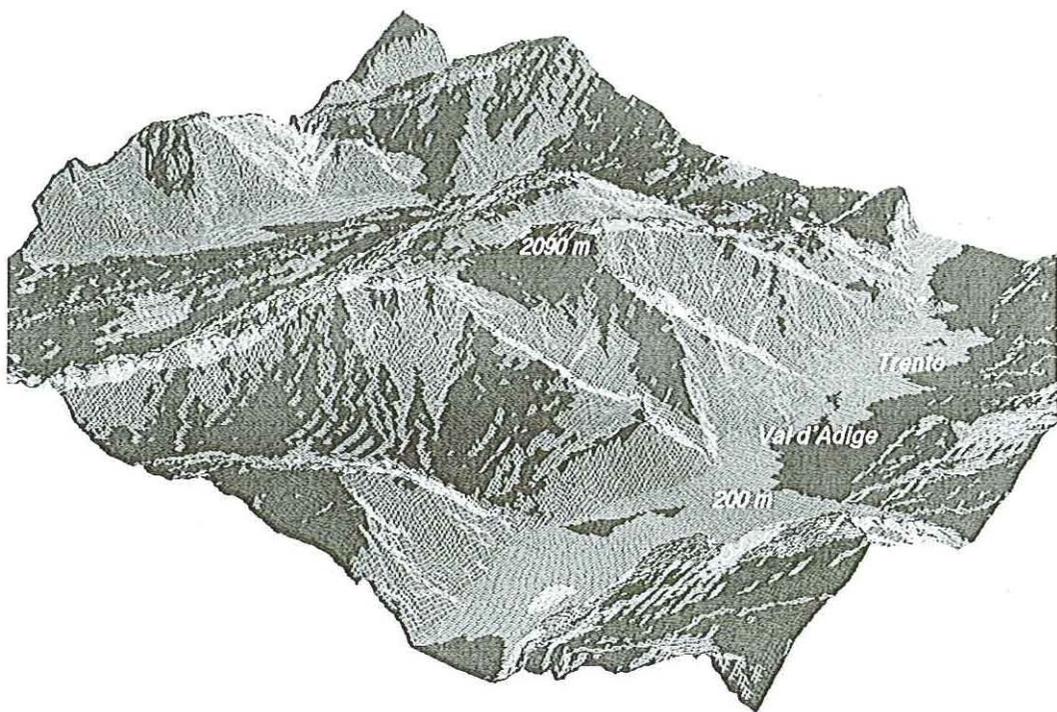


Fig. 6 - Mappa di visibilità dei satelliti GPS in Val d'Adige presso Trento il 21 Luglio 1999 alle ore 12 (tempo GPS). Per la visualizzazione in toni di grigio la visibilità è stata suddivisa in 3 categorie: bianco < 4 satelliti, grigio 4-6 satelliti e nero 7-9 satelliti.

Conclusioni

L'impiego di sistemi informativi territoriali permette l'integrazione e la coregistrazione di dati eterogenei per il loro utilizzo nella creazione di modelli descrittivi e decisionali complessi del territorio. Tali modelli portano ad una descrizione quantitativa del territorio e delle variabili ad esso riferibili, ma è necessaria la conoscenza dello strumento GIS non solo per elaborare i dati ma anche per sapere quali elaborazioni è possibile ottenere e quali dati di partenza sono necessari.

È quindi auspicabile la diffusione di una "cultura" dei GIS non solo fra gli operatori del settore ma anche fra gli utenti, reali o potenziali, permettendo il pieno sfrutta-

mento di questo strumento.

Le esperienze presentate in questo articolo introducono il lettore a primi esempi di applicazione di un sistema informativo territoriale enfatizzando non tanto l'aspetto strumentale quanto il legame fra problema, strumento e dati disponibili. Si è cercato in questo modo di mettere in luce le potenzialità dei GIS e le linee guida di ragionamento che nell'ambito di un sistema informativo territoriale portano alla soluzione di problemi applicativi.

dott. Paolo Zatelli

Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale
Università degli Studi di Trento
via Mesiano 77, 38100 Trento
e-mail Paolo.Zatelli@ing.unimn.it

BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

Sono riportati in bibliografia i riferimenti per approfondire la descrizione e le applicazioni delle tecniche presentate.

CIOLLI M., TABARELLI S., ZATELLI P., 1997 - *La valutazione delle aree forestali potenzialmente soggette a fenomeni valanghivi tramite un SIT*. Atti della Prima conferenza nazionale delle associazioni scientifiche per le informazioni territoriali e ambientali, Parma 30 settembre-3 ottobre 1997, 284-288.

CIOLLI M., TABARELLI S., ZATELLI P., 1998 - *3D spatial data integration for avalanche risk management*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, XXXII, 4, Stoccarda, 121-127.

BESANA A., ZATELLI P., ZENDRI C. 1998 - *Analisi spaziale e strumenti GIS: una verifica dell'autocorrelazione spaziale*. In: *Atti della 2a Conferenza Nazionale Asita*, Bolzano 24-27 novembre 1998, 1, 309-314.

CIOLLI M., ZATELLI P. 1999 - *Automatic forest area recognition using GIS image analysis capability*. In corso di stampa sugli atti del convegno "Mariano Cuniatti memorial meeting", Parma, 16-19 febbraio 1999.

CIOLLI M., SBOARINA C., ZATELLI P. 1999 - *Valutazione del rischio da incendio utilizzando le capacità di analisi dei GIS*. Accettato per la 3a Conferenza nazionale delle Associazioni Scientifiche per le Informazioni Territoriali ed Ambientali, Napoli 9 novembre, 1999.

CIOLLI M., MASCARELL PAVIA B., SGUERSON D., ZATELLI P. 1999 - *Valutazione per via fotogrammetrica della copertura forestale*. Accettato per la 3a Conferenza nazionale delle Associazioni Scientifiche per le Informazioni Territoriali ed Ambientali, Napoli 9 novembre, 1999.

SGUERSON D., ZATELLI P. 1999 - *Planning GPS automatico con ostruzioni realistiche*. Accettato per la 3a Conferenza nazionale delle Associazioni Scientifiche per le Informazioni Territoriali ed Ambientali, Napoli 9 novembre, 1999.

Riassunto

Lo scopo del lavoro è introdurre il lettore al modo di ragionare utilizzato nell'ambito dei Sistemi Informativi Territoriali. Sono introdotti il calcolo di caratteristiche (pendenza, esposizione, ecc.) del terreno a partire da modelli digitali del terreno, la creazione di ortofoto, l'utilizzo dell'algebra delle mappe, la classificazione di immagini, la creazione di mappe tematiche ed il loro confronto diacronico. È illustrato l'utilizzo di alcuni modelli integrati in un GIS per la valutazione deterministica del rischio di incendio e dello *spreading* di incendio. È presentato l'uso di un modello per uno scopo diverso da quello per cui è stato realizzato: un modello per il calcolo di ombre è utilizzato per la costruzione di mappe di visibilità di satelliti GPS.

Summary

The aim of this work is to introduce the reader to the thinking models proper of the Geographical Information Systems. Several techniques are presented such as terrain description (slope, aspect, etc.) from digital terrain models, orthophoto creation, the use of maps algebra, image classification, thematic map creation and their diachronic comparison. The applications of some built-in models in a GIS are introduced for the creation of fire risk maps and for fire spreading simulation. The re-use of a model for a different propose is presented: a model originally intended for the determination of shadows of the sun on the ground is used to create a map of GPS satellites' visibility.