

Saggi

Università degli Studi di Udine

FORUM

a cura di Pierluigi Bonfanti

Friuli 1976-1996  
Contributi sul modello  
di ricostruzione

Elisabetta PECCOL, Salvatore AMADUZZI e Sylvain JEZEQUEL

**Telerilevamento e GIS per la gestione del territorio:  
un esempio di applicazione nelle aree del Friuli-Venezia Giulia  
colpite dal sisma del 1976**

**1. I dati sulla copertura del suolo e la gestione del territorio**

I dati sulla copertura del suolo sono essenziali in una vasta gamma di applicazioni nell'ambito della pianificazione del territorio e della gestione delle risorse ambientali [1]. Se utilizzati in combinazione con altre informazioni di tipo pedologico, geologico, climatico hanno un ruolo fondamentale in applicazioni come la prevenzione di calamità naturali, la protezione delle coste, la salvaguardia delle risorse idriche superficiali e sotterranee, la protezione degli ecosistemi e della biodiversità, e gli studi di tipo urbanistico.

Le analisi sulla copertura del suolo hanno lo scopo di indagare sugli effetti che specifici fattori di cambiamento hanno sul territorio e di fornire una base informativa con la quale poter formulare giudizi su opzioni di sviluppo e uso delle risorse.

Calamità naturali quali eruzioni vulcaniche, inondazioni, terremoti sono all'origine di rapide e profonde modificazioni nella realtà fisica ed economica di un territorio. I dati sulla copertura del suolo contribuiscono ad interpretare tali modificazioni e svolgono inoltre un ruolo chiave nelle politiche di prevenzione dei rischi derivanti da catastrofi naturali. Smottamenti, frane, inondazioni, fenomeni di erosione e di desertificazione derivano spesso da errate politiche di utilizzazione delle risorse frutto spesso dalla mancanza di dati e conoscenze sulle conseguenze che determinate scelte comportano.

La conferenza delle Nazioni Unite di Rio del 1992 sull'ambiente e lo sviluppo ha ribadito l'importanza dell'integrazione e razionalizzazione di obiettivi ambientali e socioeconomici ai fini di uno sviluppo sostenibile; uno sviluppo che miri alla salvaguardia della qualità dell'ambiente e della vita umana e al contemporaneo raggiungimento del benessere sociale ed economico. Tra i fattori ritenuti basilari per uno sviluppo sostenibile sono considerati l'incremento nell'attenzione e sforzo per la prevenzione dei rischi derivanti da calamità naturali (incendi, terremoti,

inondazioni, etc.) e l'ampliamento della base informativa su cui fondare le decisioni per l'uso delle risorse ambientali e la successiva valutazione delle relative conseguenze.

Nonostante quanto fin qui emerso, risulta che l'informazione sulla copertura del suolo disponibile a livello internazionale, nazionale o regionale è spesso difficile da ottenere, frammentata ed eterogenea, se non alle volte inesistente.

La raccolta di dati sulla copertura del suolo richiede la definizione di classi ben definite. A tale scopo viene considerato un sistema a più livelli per permettere la scelta dell'uno o dell'altro livello in funzione del dettaglio richiesto. Ad esempio il progetto CORINE della Comunità Europea, che ha previsto la realizzazione con il telerilevamento di una carta della copertura del suolo a scala 1:100.000 per tutti i paesi della Comunità, prevede tre livelli di cui i primi due vengono riportati in tabella 1.

Tabella 1 - Esempio di nomenclatura della copertura del suolo: primi due livelli del progetto CORINE (fonte EC 1993)

Livello 1	Livello 2
1 Urbanizzato	1.1 Residenziale
	1.2 Industriale, commerciale, infrastrutture di servizio
	1.3 Miniere, discariche e aree in via di costruzione
	1.4 Aree verdi non agricole
2 Aree agricole	2.1 Arativo
	2.2 Colture permanenti
	2.3 Pascoli
	2.4 Aree agricole eterogenee
3 Foreste e vegetazione semi-naturale	3.1 Foreste
	3.2 Cespugliato e/o associazioni erbacee
	3.3 Spazi aperti con poca o senza vegetazione
4 Zone umide	4.1 Interne
	4.2 Costiere
5 Acque	5.1 Interne
	5.2 Costiere

Per loro natura le variabili territoriali mutano nel tempo con una risposta dipendente dal tipo di variabile e dall'intensità delle forze che determinano il cambiamento. Il periodo in cui tali forze agiscono può va-

riare da alcune ore, come nel caso di calamità naturali (terremoti, inondazioni, eventi franosi), o alle centinaia di anni (fenomeni di desertificazione ed erosione). Il monitoraggio dei cambiamenti nella copertura del suolo, se effettuato ai fini della gestione delle risorse e pianificazione, richiede una frequenza ottimale di rilevamento annuale, per scendere ad un minimo quinquennale [2]. Nel caso di eventi eccezionali come terremoti, inondazioni, incendi, che sono all'origine di cambiamenti in rapida successione, la frequenza dei rilevamenti può variare da un minimo di due - anteriore e posteriore all'evento - a un monitoraggio continuo comprendente più rilevamenti giornalieri.

Le carte tematiche della copertura del suolo, se disponibili, vengono solitamente aggiornate ogni 10 o 15 anni e quindi con una frequenza non sufficiente per fornire dati statistici attendibili. Nasce quindi l'esigenza di disporre di dati accurati, aggiornati, disponibili in tempi relativamente brevi e per vaste aree, a scala diversa in funzione del tipo di applicazione, andando da scale più grandi con maggior dettaglio, per applicazioni a livello locale (>1:10.000), verso scale più piccole per applicazioni a livello regionale o nazionale (1:100.000 - 1:250.000). La necessità di confrontare dati nel tempo solleva il problema della standardizzazione nelle metodologie di raccolta. Le fonti di dati convenzionali quali rilievi in campo, o mappe tematiche e topografiche su supporto cartaceo spesso si rivelano inadeguate a tale fine [8]. La produzione di dati sulla copertura del suolo per vaste aree e la necessità di un loro aggiornamento periodico è inoltre spesso condizionata da limitazioni di risorse finanziarie e di tempo.

La prevenzione dei rischi e l'analisi degli effetti causati da calamità naturali richiede l'utilizzo di modelli di simulazione che si basano sull'elaborazione dei dati della copertura del suolo in combinazione con altre variabili territoriali (es. dati sui suoli, geologici, climatici, etc.) che sono caratterizzate da una distribuzione nello spazio e che necessitano di essere rappresentate nell'ambito di un sistema di coordinate. È sentita quindi l'esigenza di disporre di strumenti con notevoli capacità di calcolo, in grado di gestire dati geografici, di poterli richiamare in modo rapido e flessibile e di documentare i risultati in un formato comprensibile anche a personale non specializzato in questo settore.

Il telerilevamento ed i sistemi informativi geografici, meglio noti con l'acronimo anglosassone di Geographical Information Systems (GIS) hanno dimostrato di costituire un valido supporto rispettivamente nelle fasi di raccolta e successiva analisi dei dati territoriali.

## 2. Il telerilevamento per l'analisi della copertura del suolo

Il telerilevamento raggruppa un insieme di tecniche che permettono di acquisire informazioni a distanza misurando l'energia elettromagnetica emessa o riflessa dagli oggetti al suolo. La risposta spettrale di un oggetto è infatti legata alle sue caratteristiche intrinseche quali composizione, contenuto d'acqua, rugosità della superficie.

Tra le tecniche di telerilevamento esistenti, la fotografia aerea e i dati da satellite hanno dimostrato finora di essere le più adatte per derivare dati di copertura del suolo. L'uso del telerilevamento si è diffuso rapidamente nel mondo nell'ambito di istituti di ricerca ed enti governativi grazie anche ai numerosi vantaggi che questo offre. Tra questi si possono elencare la possibilità di osservare un'area nel suo insieme, il monitoraggio dei cambiamenti del territorio nel breve e lungo periodo, costi relativamente bassi per vaste aree, dati in formato digitale nel caso dei satelliti e la possibilità di ottenere informazioni sull'altezza e sulla temperatura degli oggetti al suolo.

Fin dagli anni '80 il telerilevamento da satellite si è dimostrato una fonte attendibile di informazioni per il monitoraggio delle risorse terrestri e da allora è stato usato a livello operativo. I satelliti riprendono la terra ad altezze molto superiori a quelle degli aerei e per questo con una sola immagine coprono superfici corrispondenti a centinaia di fotografie aeree. Satelliti delle serie Landsat o SPOT sono stati progettati specificamente per il monitoraggio delle risorse terrestri e sono tra quelli che hanno contribuito maggiormente alla raccolta di dati sulla copertura del suolo [7].

L'energia trasmessa e riflessa dagli oggetti al suolo viene registrata dai sensori del satellite ed inviata a terra a stazioni riceventi che hanno lo scopo di registrare ed effettuare una prima elaborazione dei dati. La risposta degli oggetti viene memorizzata per porzioni discrete della superficie terrestre (*pixel*) che hanno dimensione variabile in funzione del tipo di sensore e della sua risoluzione spaziale. La scala ottenibile è strettamente legata alla risoluzione spaziale del sensore che è data dal massimo livello di dettaglio ottenibile per distinguere gli oggetti al suolo. La radiazione riflessa dalla superficie del *pixel* in diverse zone dello spettro elettromagnetico (bande) viene registrata in modo che ad ogni *pixel* viene associato un numero corrispondente al valore dell'intensità della radiazione in quella banda.

La risoluzione delle fotografie aeree è molto superiore, essendo tra i 50 cm e i 2 m al suolo in funzione della scala delle foto e del tipo di pellicola utilizzata.

Per studi di copertura del suolo a grande scala (1:10.000 - 1:2.000) la fotografia aerea costituisce quindi ancora l'unica soluzione se confrontata con i dati da satellite. È necessario tuttavia considerare anche le limitazioni che l'utilizzazione della fotografia aerea comporta tra cui la limitata disponibilità di rilievi per vaste aree con conseguenti limitazioni nelle analisi dei cambiamenti. Altre volte vengono effettuati voli senza ripetizioni su una zona oppure si verificano coperture frammentarie con conseguenti problemi di uniformità nell'informazione. Inoltre le piccole fotografie consentono di analizzare la risposta degli oggetti in un numero minore di bande dello spettro elettromagnetico rispetto ai satelliti, con una conseguente minore capacità di indagare sulle caratteristiche spettrali delle diverse coperture del suolo.

L'analisi dei dati da satellite e l'estrazione delle informazioni (es. misure qualitative e quantitative per le diverse classi di copertura del suolo) si basa sull'uso di calcolatori in grado di gestire ed elaborare ingenti moli di informazione. Le elaborazioni di immagini richiedono l'uso di software appositamente sviluppato e, preferibilmente, dati ausiliari sulla morfologia del terreno o sui suoli per migliorare la qualità delle elaborazioni e della classificazione. La tendenza recente è orientata verso l'uso di sistemi integrati di elaborazione di immagini e GIS.

### 3. I sistemi informativi territoriali

I Sistemi Informativi Territoriali (SIT) o Geographical Information Systems (GIS) sono tecnologie informatiche in grado di acquisire, memorizzare, gestire, analizzare e visualizzare dati geografici e alfanumerici [3]. Attualmente sono tra i sistemi più utilizzati per lo studio dei fenomeni territoriali per la loro capacità di elaborare insieme dati cartografici e alfanumerici.

All'origine del crescente impatto dei GIS [5] ci sono la riduzione dei costi dell'hardware e del software, un aumento della disponibilità di dati in formato digitale ed una standardizzazione del formato degli stessi che ne facilitano la gestione ed il collegamento con archivi esistenti.

I GIS hanno caratteristiche diverse in funzione del campo di applicazione e delle piattaforme hardware per cui sono stati sviluppati, ma presentano in comune le seguenti componenti [4]:

- modulo di input, per l'inserimento nel sistema dei dati cartografici ed alfanumerici tramite i più comuni dispositivi presenti sul mercato (avvolgitori digitalizzatore, scanner, mouse, tastiera);

- modulo per la gestione del Data Base (DB), per la memorizzazione ed elaborazione di grosse moli di dati in maniera rapida ed efficiente;
- modulo di analisi, per l'elaborazione e l'interpretazione delle informazioni del DB e dei dati cartografici;
- modulo di visualizzazione, per la rappresentazione con carte tematiche, grafici e tabulati di dati geografici e dei risultati delle elaborazioni statistiche;
- modulo di output, per stampare mappe e tabulati su file o periferiche (stampante, plotter).

Le più comuni tipologie di dati utilizzate nei GIS sono la cartografia tematica e topografica, dati telerilevati (foto aeree, immagini da satellite, GPS) e dati statistici (censimenti, informazioni statistiche).

I dati cartografici vengono archiviati utilizzando due formati principali: formato vettoriale e formato raster. Nel primo le entità geografiche vengono rappresentate come un insieme di punti, linee e poligoni. Questi sono così raggruppabili in classi di oggetti ed associabili ad informazioni alfanumeriche. Nel formato raster gli stessi elementi vengono discretizzati in un insieme di celle (*pixel*). Il maggior vantaggio della struttura dati raster in analisi territoriali risiede nella compatibilità con dati provenienti dal telerilevamento avendo questi ultimi lo stesso formato. Nelle applicazioni di carattere socioeconomico viene preferita la cartografia vettoriale per la minore occupazione di memoria, la semplicità di trattamento e la facilità con la quale può essere collegata la base dati.

La grande quantità di informazioni archiviata nei DB cartografici dei GIS e le funzioni di cui sono dotati rendono possibile un'ampia gamma di analisi ed elaborazioni tra cui alcune tra le principali sono il calcolo di distanze tra punti, l'ottimizzazione dei percorsi, l'effettuazione di operazioni matematiche (somma, sottrazione, etc.) o statistiche (media, varianza, etc.) sulle variabili territoriali, il calcolo di aree e perimetri, la creazione di superfici continue da dati discontinui come ad esempio per la creazione di carte della pendenza o esposizione a partire dalle curve di livello.

La flessibilità nella rappresentazione dei risultati è uno dei benefici derivanti dall'uso dei GIS, che permettono di creare mappe, grafici, tavole, rendendo la scelta di colori e modalità di presentazione (scala, legenda, orientamento, simboli) fatta interattivamente dall'operatore. La possibilità di disporre di mappe digitali consente inoltre, rispetto al passato, l'immediato aggiornamento e la stampa di nuove mappe in maniera semplice e flessibile.

#### 4. Analisi dei cambiamenti della copertura del suolo nelle aree colpite dal sisma del 1976

Il terremoto del 1976 e i successivi interventi per la ricostruzione sono stati all'origine di cambiamenti nella localizzazione e tipo di copertura del suolo nell'area colpita dal sisma. In questo contesto si riporta l'esperienza, ancora in corso, di un'applicazione di telerilevamento e GIS all'analisi del cambiamento della copertura del suolo nelle aree colpite dal sisma. L'analisi della copertura del suolo è stata ritenuta prioritaria in quanto espressione delle forze antropiche e naturali che hanno agito in tale area, per la mancanza di dati al riguardo e perché considerata un utile supporto all'applicazione di politiche ambientali e di utilizzazione del territorio nella zona.

L'area interessata, con estensione di 125 km<sup>2</sup> attorno all'epicentro, comprende in parte o completamente il territorio dei comuni di Gemona, Venzone, Bordano, Cavazzo Carnico, Trasaghis, Osoppo, Buia, Montebelluna, Tarcento, Magnano in Riviera, Forgaria del Friuli e Buia. La scelta dell'area è stata motivata dalla presenza di dinamiche nella copertura del suolo, qui più evidenti che in altre zone, derivanti da fattori di cambiamento quali la ricostruzione, la costruzione dell'asse autostradale Udine-Tarvisio e lo sviluppo di insediamenti commerciali e industriali lungo l'asse statale Pontebhana. La zona è anche rappresentativa delle condizioni fisiche e geografiche della fascia pedemontana e dell'alta pianura friulana caratterizzata com'è da una varietà di paesaggio che comprende pianura, collina e montagna.

Il confronto della copertura del suolo nel 1977 e nel 1995 ha previsto l'utilizzazione di un GIS raster (IDRISI<sup>1</sup>) per il trattamento delle immagini e l'elaborazione dei dati da satellite e un GIS vettoriale (MAPINFO<sup>2</sup>) per la gestione della cartografia numerica regionale a scala 1:25.000. I dati storici della copertura del suolo sono stati derivati da fotografie aeree in bianco/nero a scala media 1:22.000 del luglio 1977, mentre una scena da satellite Landsat TM è servita per ricavare gli stessi dati aggiornati al luglio 1995. L'integrazione di documenti diversi come fotografie aeree e immagini da satellite si rivela necessaria in analisi che coprono un arco temporale che si estende a periodi antecedenti agli anni '80 per i quali so-

<sup>1</sup> Software GIS raster sviluppato dalla Clark University.

<sup>2</sup> È un programma molto diffuso, orientato alla preparazione di mappe a partire da dati cartografici e alfanumerici archiviati rispettivamente in formato vettoriale e in data base interno.

no disponibili solo dati da satellite con risoluzione adatta per analisi a piccola scala.

Il satellite Landsat sorvola il territorio friulano ogni 16 giorni e conseguentemente tale è la frequenza temporale delle riprese. In realtà le immagini utili sono molte meno, considerato che le riprese fatte con copertura nuvolosa sono inutilizzabili per applicazioni di tipo territoriale. La scelta delle immagini e delle date di ripresa deve quindi tenere in considerazione questo fattore e l'esigenza di disporre di riprese effettuate nel periodo estivo che permettano di analizzare, oltre all'urbanizzato, anche le colture agrarie e la vegetazione. La scena del satellite Landsat TM, che copre l'intero territorio regionale, comprende 7 immagini rappresentanti rispettivamente la riposta della superficie terrestre nelle 7 bande di rilevamento del satellite. Considerata la notevole occupazione di memoria dell'intera scena (273 MB) è stato necessario ritagliare la parte corrispondente alla zona interessata.

La scelta della scala e del numero delle classi di copertura del suolo, derivate dall'adattamento della classificazione del progetto CORINE alla realtà territoriale locale, è stata influenzata dalla risoluzione spaziale conseguibile con i documenti di lavoro a disposizione. L'immagine Landsat TM è stata l'elemento vincolante rispetto alle fotografie aeree, poiché, avendo un pixel di  $30\text{m} \times 30\text{m}$  permette di ottenere scale tra 1:120.000 e 1:55.000 [8].

La cartografia numerica regionale (figura 1) è stata utile per fornire informazioni utili durante la fotointerpretazione, per ricavare le coordinate dei punti per il raddrizzamento geometrico delle immagini e quale supporto per il controllo dell'accuratezza del raddrizzamento e della mosaicatura delle foto.

Le immagini (fotografie e satellite) hanno richiesto una serie di operazioni al calcolatore allo scopo di correggere e migliorare la leggibilità dei dati. Le fotografie aeree sono state digitalizzate tramite scanner. La scelta della risoluzione è il risultato del compromesso tra la necessità di mantenere una buona qualità dell'immagine, crescente con alte risoluzioni, e l'esigenza di contenere l'elevata occupazione di memoria associata all'uso di queste ultime.

Il raddrizzamento delle immagini ha incluso, in una prima fase, la correzione delle deformazioni di tipo geometrico che vengono introdotte dall'asse non perfettamente verticale del sistema di ripresa e, successivamente, la proiezione delle immagini secondo un determinato reticolo di riferimento cartografico. A tal fine sono stati scelti punti ben riconoscibili sulle fotografie e con coordinate note derivate dalla cartografia numerica. Il numero dei punti e la precisione con cui vengono lette le coordi-



Figura 1 - Esempio di cartografia numerica regionale per la zona di Gemona.

nate influiscono sull'accuratezza del raddrizzamento. Le fotografie aeree sono state mosaiccate per creare un documento di lavoro unico. La scelta delle foto, dei tagli e delle sovrapposizioni è molto importante per l'esito finale dell'immagine poiché i bordi sono spesso meno leggibili rispetto alla parte centrale delle foto. La sovrapposizione a video della cartografia vettoriale è servita per controllare l'accuratezza del raddrizzamento e della mosaicatura (figura 2).

Ulteriori elaborazioni hanno lo scopo di migliorare la qualità visiva delle immagini e di accentuare la distinguibilità delle caratteristiche studiate ai fini di una loro interpretazione. Tra queste si ricordano alcune, applicate ai dati da satellite quali il miglioramento del contrasto, l'uso di filtri e di algoritmi matematici sui valori radiometrici dei *pixels*, la creazione di immagini in falso colore. Queste ultime derivano dalla combinazione di tre bande spettrali e assegnazione ad ognuna di un colore con lo scopo di evidenziare particolari dell'immagine difficilmente visibili utilizzando singole bande separatamente. Le composizioni più adatte per analisi di copertura del suolo si sono dimostrate quelle delle bande Landsat TM3 TM5 TM4 e Landsat TM2 TM3 TM4. La banda TM2 misura l'energia riflessa dalla superficie terrestre nella porzione dello spettro elettromagnetico del verde, la TM3 del rosso, la TM4 dell'infrarosso vicino e la TM5 dell'infrarosso medio. Le bande nel rosso e nell'infrarosso costituiscono la base per studiare la vegetazione essendo la risposta di quest'ultima prevalentemente concentrata in queste zone dello spettro. In figura 3 viene illustrato un esempio di rappresentazione in falso colore da un'immagine Landsat del luglio 1995 dell'alta pianura friulana, derivante dalla combinazione delle bande TM3 (rosso) nel colore blu, TM5 (infrarosso medio) nel verde e TM4 (infrarosso vicino) nel rosso. I colori nell'immagine dipendono dalla risposta degli oggetti nelle tre bande selezionate: le aree urbane, industriali e la viabilità appaiono in blu, la vegetazione in rosso, i corsi d'acqua in nero, i prati in verde chiaro, le rocce affioranti in azzurro.

L'estrazione dei contenuti informativi delle immagini è avvenuta, per i dati storici, con fotointerpretazione a video delle fotografie aeree e, per i dati da satellite, con un'operazione di classificazione assistita al calcolatore.

La fotointerpretazione è consistita nel delineare sull'immagine i contorni delle zone aventi copertura del suolo omogenea e nell'identificare tali aree utilizzando informazioni supplementari derivanti da conoscenza diretta dell'area, da rilievi in campo, da altre fotografie aeree e dalla cartà numerica. Per estrapolazione sono state classificate le altre parti dell'immagine aventi simili caratteristiche.



Figura 2 - Un primo controllo visivo sull'accuratezza del raddrizzamento e della mosaicatura può essere effettuato sovrapponendo la cartografia numerica al mosaico dell'intera zona.

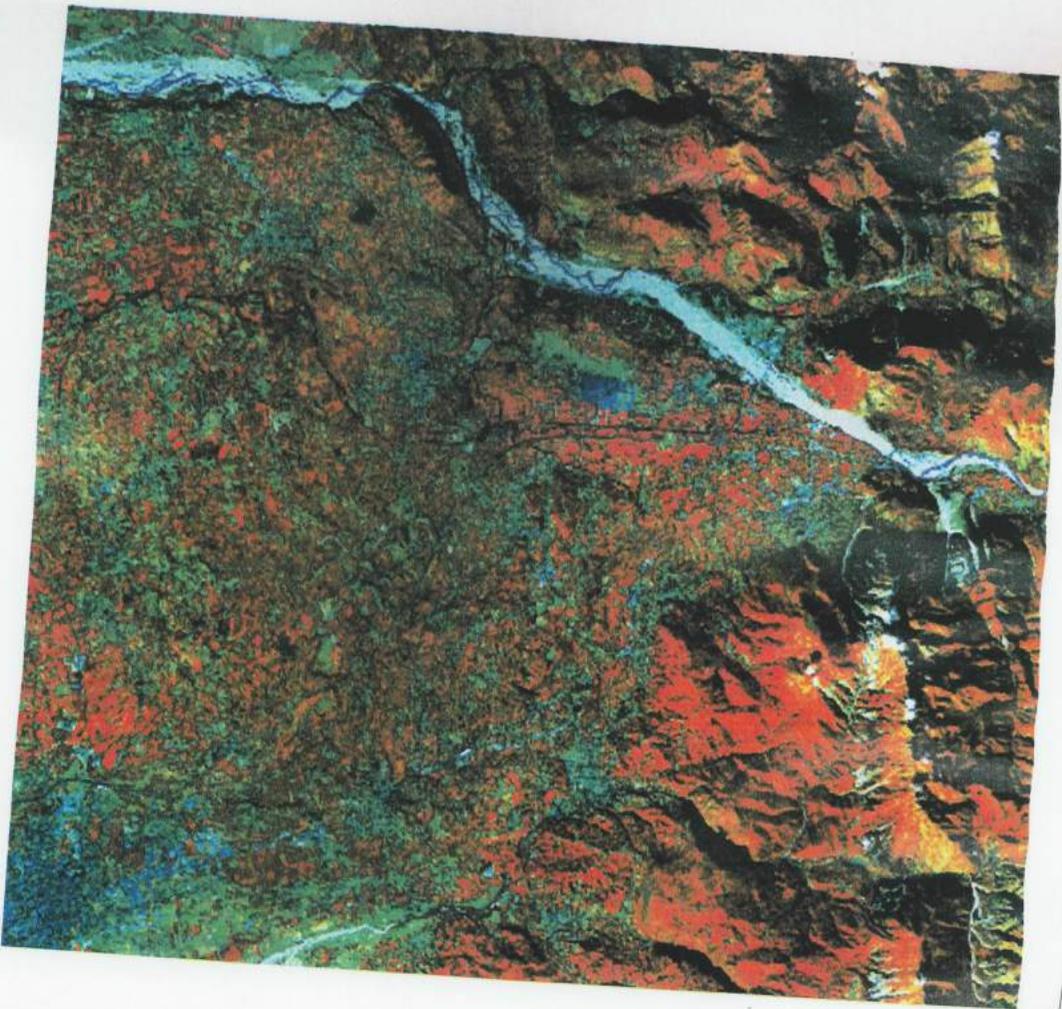


Figura 3 - Rappresentazione in falso colore da immagine Landsat del luglio 1995 dell'alta pianura friulana.

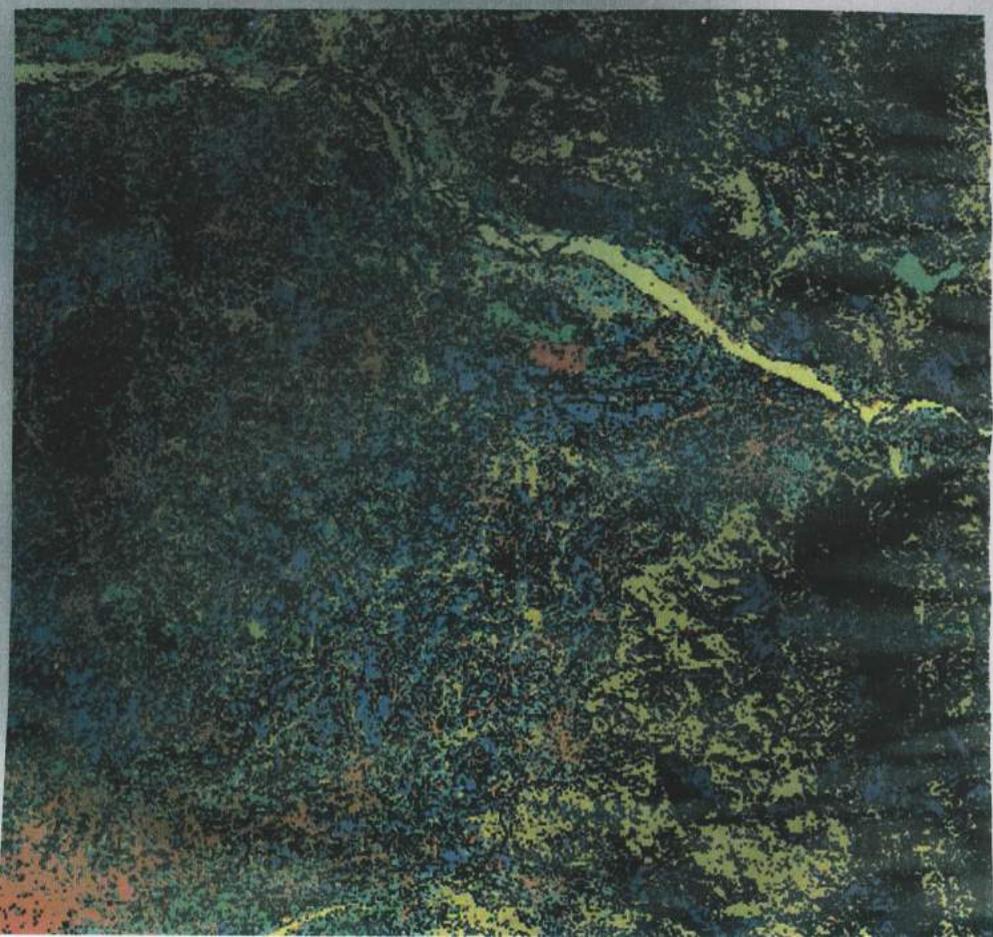


Figura 4 - Carta della copertura del suolo per il 1995 ottenuta con classificazione *supervised*

Per l'interpretazione dell'immagine del satellite Landsat sono state utilizzate le procedure della classificazione *supervised* (figura 4).

Questa prevede la presenza di un operatore che "supervisiona" il processo di suddivisione dei *pixels* in categorie, specificando al calcolatore descrittori numerici corrispondenti alle varie categorie di copertura del suolo presenti nella scena. Per derivare i descrittori numerici vengono utilizzate aree campione rappresentative con copertura del suolo nota (*training sites* in figura 5) che servono per compilare una chiave di interpretazione che descrive la risposta (*firma spettrale*) delle classi prescelte nelle diverse bande spettrali. Per distinguere le classi vengono utilizzate più bande, poiché alcuni tipi di copertura hanno risposta simile all'interno della stessa banda che quindi non risulterebbe sufficiente per separarle.

Le aree devono essere selezionate in maniera da evitare *pixels* situati a cavallo tra zone con coperture del suolo diverse. La risposta di ogni *pixel* dell'immagine viene successivamente confrontata con ogni categoria della chiave di interpretazione ed assegnato alla categoria con risposta spettrale più simile.

Notevoli problemi di interpretazione si sono riscontrati nelle aree di montagna per la presenza di zone d'ombra che influenzano la risposta spettrale della copertura del suolo così oscurata. Sempre in zone di montagna l'immagine è soggetta a maggiori distorsioni a causa della morfologia del territorio e l'uso di un modello digitale del terreno avrebbe permesso di ottenere un raddrizzamento geometrico più accurato.

L'uso dei GIS ha consentito di effettuare alcune analisi preliminari tra cui il calcolo in automatico delle superfici delle diverse coperture del suolo. Nella figura 6 è rappresentata la copertura del suolo del 1977 con superficie assoluta e relativa (%) di ogni classe.

Dall'incrocio delle carte di due epoche diverse è possibile ricavare dati sui cambiamenti della copertura del suolo e sulle dinamiche tra le classi. Tali dati possono essere rappresentati graficamente in una carta di sintesi che illustra soltanto le aree soggette a cambiamento. Le dinamiche di copertura del suolo forniscono dati sulla quantità e sulla localizzazione delle superfici che una classe può aver guadagnato o perso nei confronti di altre classi. Per esempio, è possibile capire se l'aumento dell'urbanizzato è avvenuto a spese di terreno agricolo, foresta o altro ed in quali aree geografiche.

I GIS permettono di creare *buffer*, ovvero zone di larghezza predeterminata intorno ad oggetti selezionati quali punti, linee o aree. Questa funzione è stata sfruttata per analizzare l'effetto indotto dalla viabilità sullo sviluppo dell'urbanizzato all'interno di un *buffer* di 500m intorno alle principali vie di comunicazione. La carta illustrata in figura 7 è il risulta-

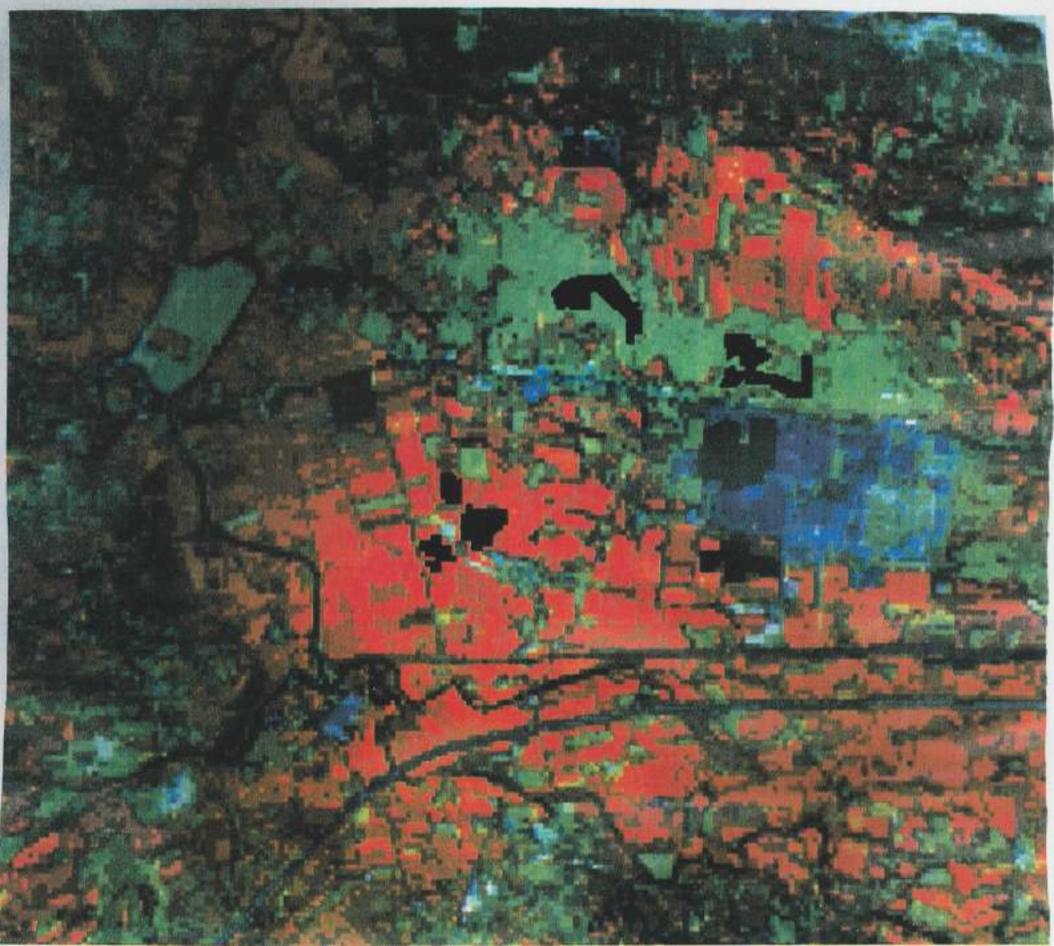


Figura 5 - In colore nero sono evidenziati i *training sites* per alcune aree campione nella zona di Osoppo.

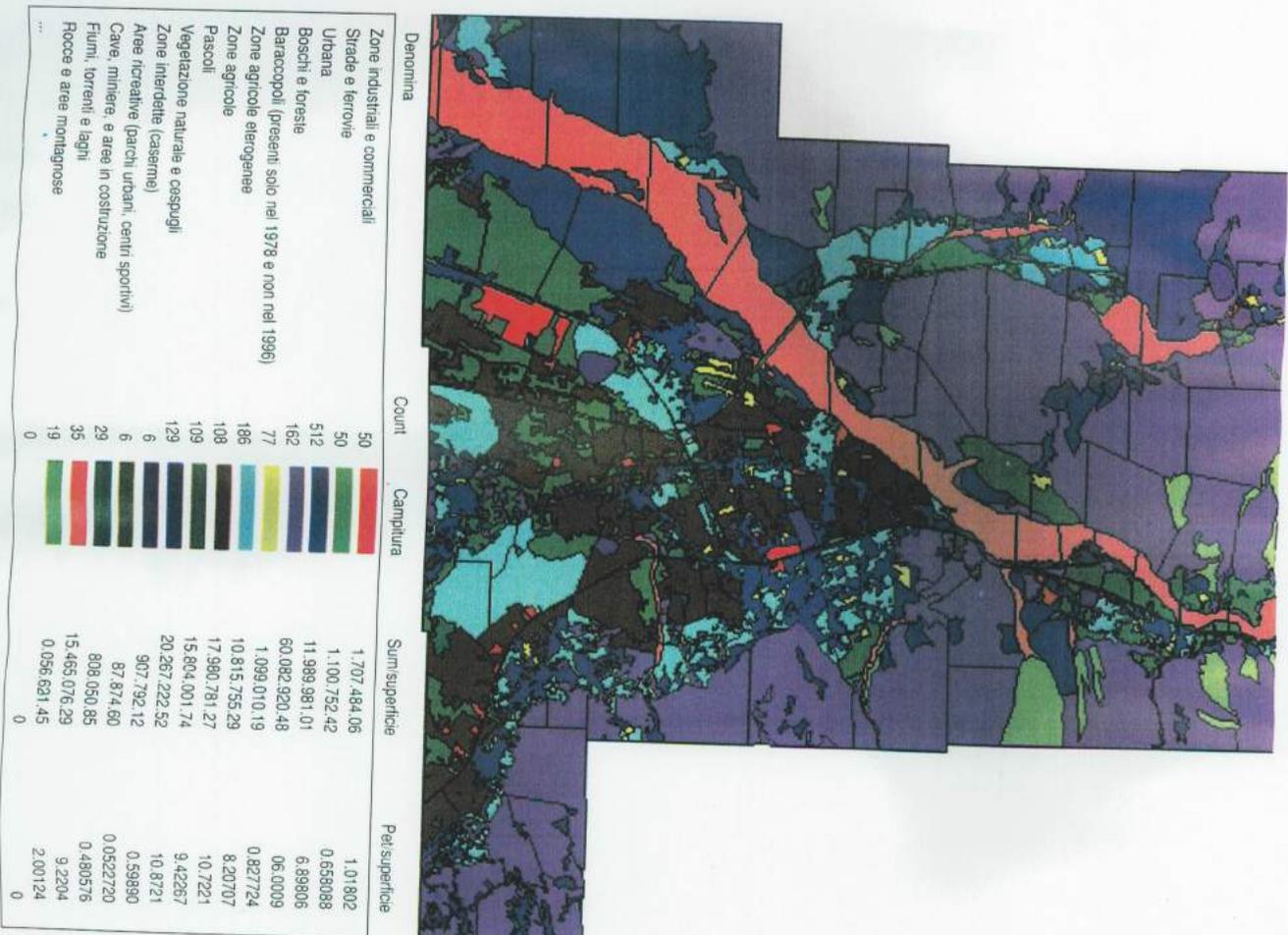


Figura 6 - La carta della copertura del suolo del 1977.

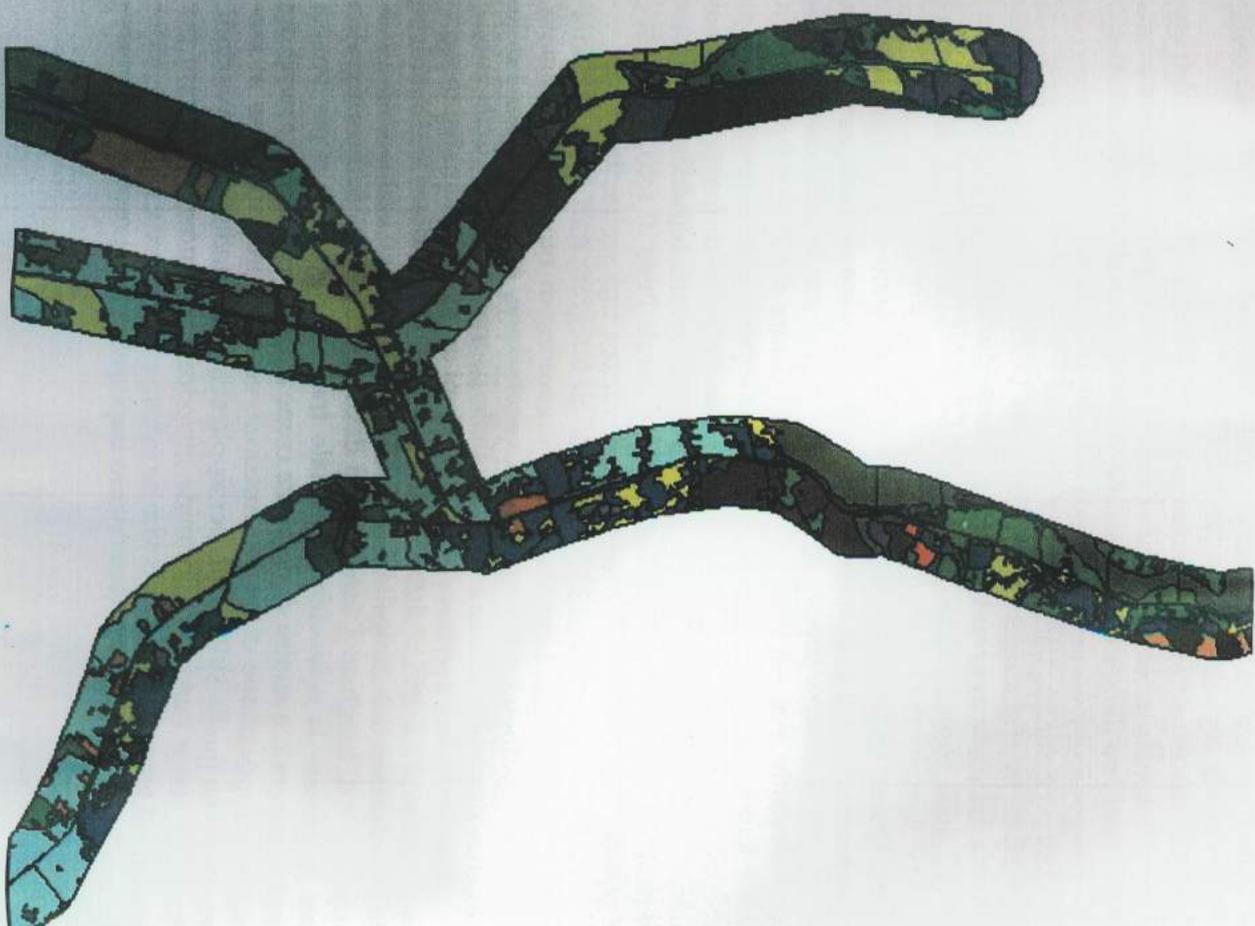


Figura 7 - Buffer di 500 metri intorno alla viabilità principale della zona.

to della intersezione della viabilità della carta numerica regionale con i *buffer* e con la copertura del suolo del 1977.

*Buffer* circolari con diverso raggio, se applicati nell'epicentro del terremoto consentono di analizzare l'influenza che questo evento ha avuto sulla copertura del suolo in funzione della distanza dal centro del sisma. Nonostante il lavoro sia ancora in corso si possono trarre alcune conclusioni preliminari. L'uso dei dati Landsat TM nella zona pedemontana è possibile in applicazioni a piccola scala (> 1:100.000) con classi di copertura del suolo aggregate a livello intermedio (corrispondente ad un livello 2 della nomenclatura del progetto CORINE) poiché la copertura del suolo è frammentata e gli appezzamenti hanno dimensioni mediamente basse. Questi fattori sono all'origine dell'alto numero di *pixel* misti, ovvero superfici con risposta spettrale non chiara a causa della presenza al loro interno di diverse coperture del suolo. In aree con le caratteristiche appena descritte, per applicazioni a scala superiore al 1:50.000 i dati da satelliti forniscono solo un contributo parziale per la creazione di carte della copertura del suolo e richiedono un uso intensivo di fonti di informazione complementari quali rilievi a terra, cartografia tematica, fotografie aeree o enti locali. Per rilevamenti a scala locale l'uso di fotografie aeree a grande scala e di rilievi a terra rimane ancora una scelta obbligata.

L'utilizzazione dei GIS ha permesso di integrare dati grafici ed alfanumerici in un data base aperto all'immissione di nuove informazioni, quali dati geologici, idrologici, della vegetazione, etc. in funzione delle esigenze di pianificazione e gestione delle risorse territoriali della zona.

Si sono inoltre applicate alcune funzioni dei GIS per l'analisi integrata di uno o più livelli di dati cartografici al fine di studiare le dinamiche della copertura del suolo della zona. Tali analisi hanno incluso misure di superfici e di lunghezze, intersezioni di diversi livelli di dati cartografici per analizzare la coincidenza spaziale tra entità grafiche o per analisi multitemporali, e analisi di distanza come nel caso dell'applicazione dei *buffer*. L'applicazione di queste funzioni, ed altre non utilizzate al momento come quelle sviluppate per applicazioni di modelli e simulazioni, dimostra come l'uso dei GIS abbia introdotto un nuovo approccio per analisi sul territorio, in particolare se estese a vaste aree e di lungo periodo, analisi che in passato risultavano impossibili con i mezzi convenzionali.

## Bibliografia

- [1] BIRD, C.A. (1991), «The Role of GIS in Rural Land Use Monitoring - Current UK Issues». In: *Proceedings of the 2nd European Conference on GIS*, Brussels, 121-127.
- [2] BRANDT J., FREDERIKSEN P., HASS M., LARSEN D. (1993), *Satellite remote sensing. A new data source in land management*. EUR 15333 EN, Institute for remote Sensing Applications, Ispra.
- [3] BURROUGH, P.A. (1986), *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*, Clarendon Press, Oxford.
- [4] CHESNAIS Michel (1995), *S.I.G. Gérer l'information géographique*. Paradigme, Caen.
- [5] DEPARTMENT OF ENVIRONMENT (DoE) (1987), *Handling Geographic Information: Report to the Secretary of State for the Environment of the Committee of Enquiry chaired by Lord Chorley into the Handling of Geographic Information*, HMSO, London.
- [6] EUROPEAN COMMISSION (1993), *CORINE land cover. Technical guide*. OOPC, Luxembourg.
- [7] LILLESAND, T.M., e KIEFER, R.W. (1994), *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley & Sons, Toronto.
- [8] MOFFATT, I. (1990), «The Potentialities and Problems Associated with Applying Information Technology to Environmental Management». In: *Journal of Environmental Management*, 30, 209-220.