

# **La dinamica del cambiamento nel Land Use – modello predittivo di supporto alle decisioni.**

di Giancarlo Carrai, Louisa Jansen, Massimiliano Petri.

*La strutturazione di un sistema informativo basato su una approfondita analisi del modello dati permette di intercettare cambiamenti ed evoluzioni dell'uso delle terre secondo una scala di variazioni proporzionale all'impatto sull'ambiente e sulle risorse. L'analisi del pattern delle istanze e degli eventi che hanno provocato il cambiamento permette di definire con un elevato livello di confidenza un modello predittivo di supporto alle decisioni.*

## **Introduzione**

Uno dei problemi emergenti nell'attuale periodo di transizione che interessa la quasi totalità dei paesi dell'Est europeo è il passaggio da una visione centralistica di gestione delle risorse ad uno sviluppo sostenibile che tenga conto dell'economia di mercato.

Unitamente ad un processo politico che richiede un notevole sforzo sia in ambito istituzionale, con la creazione di organismi preposti alla pianificazione, sia legale, con la necessità di nuove leggi che regolino l'utilizzo delle risorse ma anche che rafforzino i poteri degli organi preposti, la fase di transizione presenta due importanti aspetti che spesso s'intersecano tra loro.

E' necessario che innanzi tutto cresca la cultura di tutti gli attori nel concepire lo strumento pianificatorio non più come il mezzo per controllare dall'alto verso il basso le attività del singolo ma piuttosto come strumento per recepire le necessità di cambiamento che dal basso istanziano i livelli superiori, trovando un corretto equilibrio tra costi/benefici di un intervento in termini di impatto sull'ambiente e sulle risorse.

Di pari passo devono essere creati i presupposti tecnici e operativi affinché i dati vengano generati, strutturati e organizzati; a differenza di quanto può succedere nei paesi dove esiste già storicamente una cultura di pianificazione e dove gli interventi sono volti a modificare un impianto che spesso si tramanda da decenni, la problematica più pressante nei paesi emergenti è quella di costruire sistemi informativi che esaltino le capacità di elaborazione piuttosto che di visualizzazione di strati informativi.

Ad oggi, aumentando la quantità di dati e informazioni che sono a disposizione e gli strumenti che la tecnologia mette a disposizione per osservare i dati e trarne informazioni, la responsabilità del decisore è aumentata enormemente poiché deve necessariamente tenere conto degli impatti che una errata decisione può avere in un arco di tempo che spesso coinvolge generazioni future.

Occorre quindi che si disponga di strumenti di reale supporto alle decisioni; sarebbe auspicabile poter disporre di potenti modelli che simulino i vari scenari per poter valutare gli effetti, rischi e vantaggi di una scelta per poter definire meglio strumenti di pianificazione, di monitoraggio e correttivi preventivamente.

Il presente articolo vuole essere un contributo per illustrare i risultati del progetto finanziato dalla Comunità Europea in Albania che si proponeva di fornire uno strumento GIS-oriented per la pianificazione territoriale.

## **Scelta della LUT (Land Utilisation Type)**

Il progetto segue le indicazioni e gli standard prodotti dalla FAO avendo come obiettivo il trasferimento di una metodologia riconosciuta internazionalmente nella fase di formazione del personale Albanese a vari livelli; poiché uno degli interessi primari riguarda il settore agricolo, il progetto si è posto come priorità la definizione dei sistemi di produzione agricola, i parametri ambientali e agro-ecologici, i dati socio-economici e le caratteristiche fisico-chimiche dei suoli per delineare i LUT (Land Utilisation Type) ovvero le unità territoriali dove sussistono caratteristiche omogenee di utilizzo e quindi di potenzialità delle terre. Il contesto albanese, a seguito della

privatizzazione delle terre, è rappresentato da unità produttive molto frammentate, spesso coincidenti con le singole particelle catastali che hanno una estensione media inferiore ad 1 ettaro. Questo fatto ha imposto per esempio che in fase di modellazione concettuale dei dati sia stata istituita una classe LUT astratta mentre la sua implementazione fisica è rappresentata dalla particella catastale a cui sono poste in relazione tutte le informazioni attuali e storiche; questo ha inoltre reso necessario creare relazioni fisiche nella storicizzazione dei frazionamenti catastali (relazione particella padre-figlio) ma anche tra le particelle e le zone catastali che a loro volta sono poste in relazione con i principali livelli amministrativi come comune, distretto e provincia. Ovviamente poiché sia le zone catastali che i limiti amministrativi sono modificabili nel tempo (le prime più che i secondi) sono state predisposte relazioni fisiche che implementassero la storicizzazione degli eventi durante le fasi di generalizzazione dei dati alla variazione verticale tra i livelli o al cambiamento di scala.

### **LUISA (Land Use Information System Albania) e LUCA (Land Use Change Albania)**

Contrariante a quanto succede nel Land Cover dove Corine prima e LCCS poi si sono imposti come standard internazionale nella classificazione della copertura delle terre, i sistemi per classificare l'uso delle terre (ECE\_UN, 1989, UN 1989, CEC 1995, FAO 1998) sono molto eterogenei e spesso guidati da aspetti economici o legati alle attività che sull'unità si esercita. Il progetto ha inteso studiare e realizzare un sistema che contenesse una legenda strutturata in modo gerarchico che avesse la finalità di sostenere la pianificazione territoriale a vari livelli in funzione delle caratteristiche specifiche di ciascuna area di applicazione. Due requisiti erano comunque imposti al sistema; i) che la strutturazione in classi seguisse la legislazione vigente, e che ii) i precedenti sistemi di classificazione trovassero una corrispondenza nel nuovo sistema per poter operare con traduttori semantici nel recupero di dati storici.

Altri criteri utilizzati nella realizzazione di LUISA (Land Use Information System Albania) sono stati:

- eliminazione di qualsiasi caso di sovrapposizione tra la definizione di categorie poiché la sovrapposizione è incompatibile con la struttura gerarchica;
- descrizione e regole esplicative per la distinzione di categorie e classi per una corretta applicazione e interpretazione;
- indicizzazione delle categorie attraverso codici univoci;
- consistenza spazio-temporale; ciascuna categoria è applicabile allo stesso tempo su tutto il territorio Albanese;
- regole per includere nuove classi/categorie in previsione di una espansione ad altre zone.

Lo studio di un nuovo sistema di classificazione (fig. 1) è stato il frutto del lavoro interdisciplinare di vari esperti tenendo ben presente che il sistema doveva costituire il motore del GIS finalizzato alla pianificazione; per ciascuna classe o categoria è stato disaggregato ciascun elemento informativo di base demandando al modello dei dati ed al GIS la correlazione logico-spaziale.

Per esempio, nella maggior parte delle legende di uso del suolo si troverà la categoria delle "terre arabili irrigue" intendendo con ciò unire in un'unica definizione caratteristiche morfologico-chimico-fisiche della terra (*arabile*) con un attributo dovuto alla funzione di una infrastruttura (*irrigazione*) che migliora la produttività del terreno. In LUISA si troverà la categoria delle terre arabili come livello IV della classe terre agricole, mentre l'informazione relativa all'irrigazione è ricavabile dalla contemporanea relazione spaziale con il network dei canali d'irrigazione; ciascun arco di network ha tra gli attributi anche lo stato di manutenzione, conservazione e funzionalità del tratto in modo tale che solo nelle particelle adiacenti ai canali irrigui funzionanti varrà il valore aggiunto dovuto alla disponibilità di acqua – la variazione di stato del sistema d'irrigazione determina quindi la dinamicità dell'informazione ed è possibile "mappare" le terre arabili irrigue contestualmente allo stato reale delle infrastrutture (ciò vale anche per i trasporti).

Per ciascuna unità (particella) è stata quindi definita la classe e la categoria di appartenenza alla data del 2002-2003; con un processo a ritroso nel tempo sono state acquisite le relazioni di ciascuna particella fino a ripristinare la situazione alla data del 1991 (anno di inizio della fase di transizione e corrispondente all'inizio della distribuzione delle terre) con un'epoca intermedia al 1996 data in cui è iniziata la registrazione delle nuove proprietà. Le classi del Land Use al 1991 e 1996 sono state convertite in LUISA ed è stato studiato il sistema di analisi dei cambiamenti LUCA (Land Use Change Analysis) per le variazioni spaziali e tematiche delle singole particelle.

Viene definito “*conversione*” il cambiamento da una classe all'altra (da agricolo a pascolo, foresta o a non-agricolo) e “*modifica*” la variazione all'interno della stessa classe (per esempio da coltura permanente a temporanea); inoltre viene attribuito un valore in funzione del livello in cui avviene la modifica – la trasformazione di un terreno da *frutteto* a *terre arabili* è una *modifica* da una categoria di “coltivazione permanente” a “temporanea” che si trova al III livello gerarchico (fig. 2).

### **Il modello dati del geo-database**

Il geo-database è stato costruito utilizzando il CASE Visio e i diagrammi UML ArcInfo per organizzare le classi di *oggetti* e *features* del sistema informativo costituito da datasets (Fig. 3) strutturati secondo le indicazioni del progetto INSPIRE (Infrastructure for SPatial InfoRmation in Europe, [www.dublincore.org](http://www.dublincore.org)) ed è stato popolato per quanto possibile per le 3 aree pilota del progetto sulla base del modello concettuale illustrato in figura 4.

Non è obiettivo di questo articolo descrivere il GIS realizzato; basti aggiungere che sono state sviluppate interfacce per la consultazione, modifica ed elaborazione dei dati residenti sul server presso il Ministero dell'Agricoltura e Alimentazione (MoAF) e, compatibilmente con la diffusione e sviluppo di Internet, è già possibile attraverso l'applicazione IMS su web di operare da postazioni client decentralizzate sul territorio (gli uffici provinciali e comunali del Ministero).

Per quanto riguarda la problematica dell'analisi del cambiamento dell'uso del suolo è stato sviluppato un applicativo basato sul diagramma di figura 5; ciascuna particella attuale è posta in relazione con la particella padre alle date 1991 e 1996 di cui si conosce la categoria secondo LUISA utili per costruire gli elementi dimensioni, misure e tempo utilizzabili per esempio con i cubi di OLAP, che in virtù del fatto che contengono anche elementi spaziali possono essere definiti SOLAP (Laval University).

Il modello tiene conto anche del fatto che talvolta la particella cambia destinazione d'uso a seguito della costruzione di un edificio residenziale; ad esempio un terreno di tipo agricolo a frutteto può divenire un giardino asservito all'abitazione costruita – in tal caso per il contesto Albanese occorre mantenere le due informazioni poiché il giardino rappresenta comunque un tipo di agricoltura peri-urbana per il sostentamento della famiglia. Un'analisi potrebbe quindi riguardare la classe “agricoltura” in quanto tale per valutare quante particelle di frutteti sono scomparse e quanti campi a coltura ad ortaggi sono presenti (e di questi quanti sono in ambito urbano per gli aspetti legati all'impatto eco-ambientale che tali culture urbane implicano), mentre potrebbe essere necessario anche sapere come si è accresciuto l'ambito residenziale sia conoscendo la posizione/area della parte fabbricata sia la posizione/area della parte a coltura o a giardino annessa al fabbricato.

La possibilità di confrontare le varie informazioni disponibili nel geo-database permette di analizzare la distribuzione e l'entità delle trasformazioni ma anche di ipotizzare una sequenza logica di eventi che hanno determinato tale trasformazione: evidentemente se un terreno ha subito la conversione da agricolo nel 1991 a pascolo nel 1996 fino a terreno abbandonato nel 2003 e si trova lungo un pendio di collina, in zona soggetta ad erosione lontano da infrastrutture viarie e dall'area

urbanizzata si può ipotizzare che il terreno fosse coltivato con un sistema a terrazzamento frutto di manovalanza intensiva, che durante la privatizzazione è stato assegnato ad un proprietario che ha preferito utilizzarlo come pascolo e che a causa dell'abbandono delle colture e del corrispondente utilizzo a pascolo con animali che con il loro movimento hanno inciso i bordi dei terrazzamenti, hanno provocato un'incisione che con il tempo ha consentito fenomeni erosivi che ad oggi non consentono più il recupero ad uso agricolo delle terre.

## **Datamining e Knowledge Discovery in Databases (KDD)**

Il KDD è un processo iterativo di selezione, esplorazione e modellazione di grandi masse di dati, al fine di scoprire regolarità o relazioni non note a priori. All'interno di questo processo il Datamining è la fase d'interpretazione dei dati. Più precisamente le fasi del KDD sono:

- Data Consolidation: dal dato sorgente si passa al dato consolidato e pulito;
- Data Selection and Preprocessing: si effettuano una serie di operazioni sulle singole variabili (riduzione del range, conversione di tipo, ecc..) al fine di preparare il dato nel formato di input richiesto dall'algoritmo di Datamining;
- Datamining: con l'utilizzo di metodi "intelligenti" e di particolari algoritmi si estraggono dai dati modelli e patterns precedentemente sconosciuti;
- Interpretation and Evaluation: si utilizzano tecniche per eliminare i patterns ridondanti, oppure per misurare l'importanza di una certa regola;
- Use of discovered knowledge: è la fase finale d'applicazione all'intero dataset del modello ricavato, che porta alla creazione di nuova conoscenza.

Questi metodi, che integrano Statistica, Machine Learning e Database, sono stati finora utilizzati in campi disciplinari diversi da quello territoriale (marketing, finanza e altro), ma recentemente, sta crescendo il bisogno di estrarre conoscenza implicita anche da dati georiferiti grazie alla notevole quantità di dati spaziali resa disponibile da tecniche quali il Telerilevamento.

### **La metodologia applicata**

Nel caso in esame, l'obiettivo dell'analisi è l'identificazione di regole per la previsione del futuro uso del suolo a partire da un Geodatabase contenente informazioni sullo stesso uso del suolo ed anche su numerosi altri attributi, tutte relative alle tre date disponibili (1991, 1996, 2003).

Tra tutti i vari metodi forniti dal Datamining, la classificazione si rileva particolarmente adatta all'analisi di dati territoriali (S.Pecori, F.Bonchi, 2003, *Datamining ed estrazione della conoscenza da grandi database territoriali*), in quanto risulta una tecnica di facile interpretazione e che produce un modello predittivo abbastanza accurato.

Tra i vari metodi di classificazione, è stato scelto quello dell'induzione di Alberi di Decisione, in grado di fornire in output una struttura gerarchica ad albero altamente efficiente.

In tale albero (vedi figura 1) ogni nodo interno rappresenta un test su una singola variabile, ogni ramo un diverso risultato del test e ogni foglia una etichetta di classe della variabile target. Da tale struttura gerarchica si possono facilmente ricostruire delle regole del tipo IF/THEN nelle quali, dallo stato iniziale (IF), deriva lo stato della variabile target (nel nostro caso l'uso del suolo); per esempio una regola ottenuta dalla figura 1 è: IF (Outlook = Overcast) THEN (Play Tennis = Yes).

Il Sistema Informativo creato contiene già importanti operazioni di preprocessing dei dati, a partire dall'omogeneizzazione degli usi del suolo, alla creazione di una struttura gerarchica degli stessi, utile per un'analisi aggregata degli usi del suolo ("gerarchia di concetti").

Tuttavia, per costruire la tabella relazionale di input all'algoritmo sono indispensabili ulteriori operazioni sui dati effettuate internamente allo strumento GIS (S. Lombardo, S. Pecori, A. Santucci, 2003, *Applicazioni di metodi di Decision Tree Induction ad aree urbane*), quali raggruppamenti di

classi di uso del suolo, operazioni di Map Overlay, codifica degli attributi di ogni cella e del suo intorno (attributi relativi all'uso del suolo, alla presenza di infrastrutture viarie, di fiumi, di urbanizzato ed altro, relativamente al 1991 e al 1996).

Una volta ricavate le regole si effettua la calibrazione del classificatore attraverso l'applicazione delle regole ai dati del 1991, ricavando gli usi del suolo al 1996; questi ultimi vengono adesso confrontati con gli usi del suolo reali al 1996, fornendo una prima stima della precisione del modello.

Se tale analisi ha un buon esito, può tuttavia accadere che il modello si sia eccessivamente adattato ai dati di addestramento ("overfitting"). E' perciò necessario un'ulteriore verifica della capacità di generalizzazione del classificatore; questa verifica si effettua applicando le stesse regole al successivo passo temporale (1996-2003); in tal modo si utilizzano i dati del 1996 come input (IF) mentre si confrontano gli usi del suolo calcolati al 2003 (THEN) con i dati reali relativi al 2003 ed, in caso negativo, si possono effettuare correzioni e quindi riapplicare l'algoritmo di apprendimento. Una volta che la verifica mostra una bassa percentuale di errori di classificazione, il modello finale può essere definitivamente integrato in una struttura GIS cellulare prevedendo l'uso del suolo in date successive al 2003 (vedi figura 2).

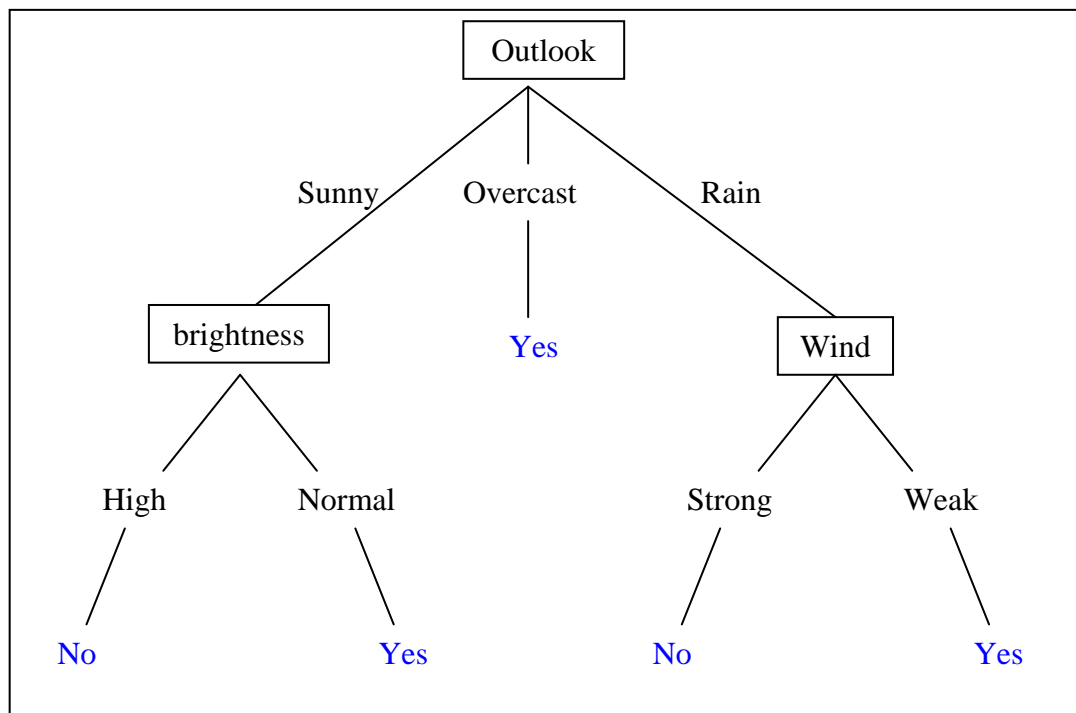


Figura 1 – Decision Tree relativo alla variabile Target “Play tennis”

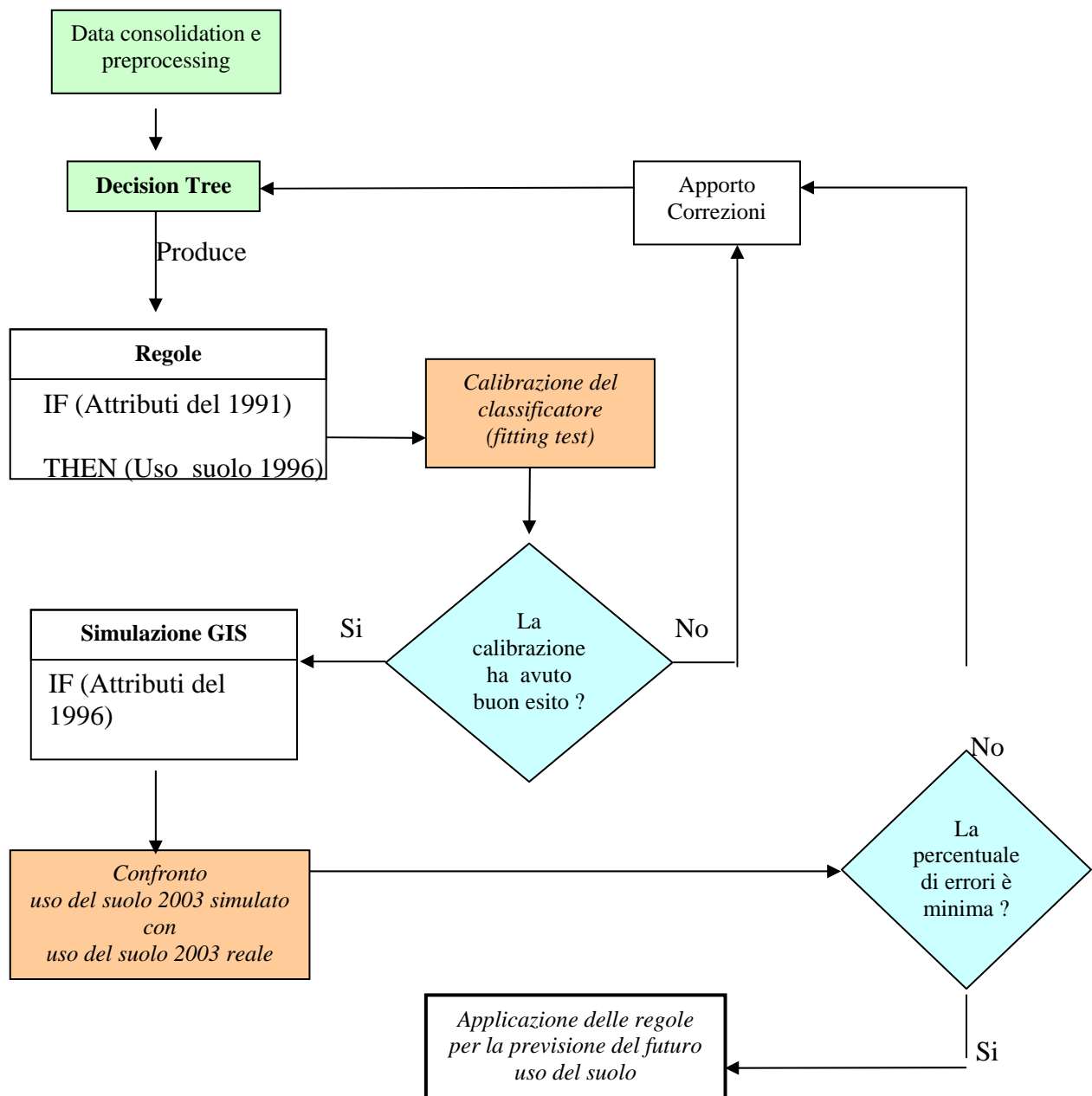


Figura 2 – Processo generale di calcolo del classificatore

## Conclusioni

I parametri utilizzati per una prima analisi sono stati:

**Soil Suitability:** esprime la potenzialità di produzione del suolo in funzione di un certo prodotto coltivabile. Nel progetto pilota, data anche il particolare governo agricolo delle terre volto alla sussistenza della famiglia piuttosto che ad uno sfruttamento per scopo commerciale, non si è ritenuto di esprimere la potenzialità per ogni specifica cultura ma piuttosto un valore applicabile alle colture tipiche in uso basandosi sui dati chimici, il drenaggio, la profondità del suolo.

**Pendenza:** attraverso il DTM sono state ricavate 4 classi di pendenza (<3%, tra 3% e 12%, tra 12% e 25% e >25%).

Altri fattori sicuramente necessari per un modello più attendibile sono sicuramente la rete delle infrastrutture (strade essenzialmente) e dell'irrigazione. Il primo elemento ha sicuramente un impatto nella distribuzione geografica delle aree di espansione urbana e industriale in particolare nelle zone pianeggianti mentre poco ha influenzato nell'accessibilità alle proprietà perché il parco veicoli è al momento costituito da veicoli per trasporto persone. L'irrigazione ha invece una notevole influenza se dovessero cambiare le colture e si passasse a coltivazione intensiva. In ogni caso il modello dati consente per il network stradale la segmentazione dinamica per lo stato di manutenzione del manto stradale mentre per i canali sono stati distinti subtype "drenaggio" e "irrigazione" e per ciascun arco sono definiti gli attributi relativi alla proprietà (privata, consortile o pubblica), allo stato di manutenzione, alla funzionalità, alla portata, etc.

L'analisi comparata dei dati ha permesso di confermare alcune ipotesi di lavoro emerse durante il progetto:

Periodo 1992-1996

Tratto "politico": periodo di passaggio tra la proprietà pubblica a quella privata tramite restituzione ai vecchi proprietari di parte delle vecchie proprietà o in altri casi dove nei comuni non era possibile trovare un accordo circa le precedenti situazione, distribuzione pro-capite di una parte uguale di terreno. In entrambi i casi sussisteva l'impedimento alla vendita delle proprietà per cui i dati riflettono l'adattamento dell'uso delle terre alle necessità dei proprietari.

Corrispondenza tra 1991 e 1996= 39%

Maggior cambiamento = livello medio di modifica nell'uso agricolo per 15% distribuito per un 29% in zone di pianura con terreni di migliore qualità, per un 34% in zone di collina con terreni non adatti all'agricoltura, per un 23% in zone di medio pendio con terreni non adatti, e per un 14% in zone di basso pendio e terreni scarsamente adatti all'agricoltura.

Il livello medio di modifica è rappresentato dal passaggio di colture permanenti (alberi da frutta, olivi, vitigni) a temporanee (tra cui sono compresi i terreni incolti "fallow"). Si potrebbe dire che terreni non adatti alle colture in zone di media o grande pendenza hanno portato al 57% di abbandono della coltivazione permanente a favore di terreni incolti.

Periodo 1996-2003

Tratto "politico": liberalizzazione del mercato delle terre, contemporanea urbanizzazione con flussi di lavoratori verso le grandi città o emigrazione verso altri paesi con cospicue rimesse alla famiglia di origine. Tendenza delle famiglie a mantenere la proprietà anche se non redditizia in virtù del fatto che le proprietà non sono tassate; frazionamento delle proprietà, nessuna forma di consorzialismo, costruzione di edifici spesso illegali e comunque senza un piano regolatore allo scopo di fornire un bene rifugio per le rimesse degli espatriati specie dopo il crack degli investimenti negli schemi piramidali e la conseguente guerra civile del 1996.

Una prima analisi dei dati ha fornito un pattern di riscontro ad una evidenza emersa durante le fasi di studio; la maggior parte delle terre che originariamente erano ad uso agricolo con colture permanenti (frutteti, vigneti, oliveti) sono dapprima passate ad una coltura temporanea se non addirittura a pascolo e poi successivamente abbandonate con una maggior frequenza in zone di elevato pendio e lontane da strade o infrastrutture; nelle stesse aree si sono manifestati fenomeni di erosione e depauperamento delle capacità produttive (Soil suitability S3 o N).

Questa valutazione oggettiva trova riscontro nell'evoluzione socio-economica dell'area campione.

Difatti nel periodo antecedente il 1991 tutte le terre in area collinare con una capacità produttiva ridotta (i vecchi sistemi di classificazione utilizzavano il criterio del “bonitet” russo per indicare la produzione piuttosto che la potenzialità) erano coltivate attraverso “terrazzamenti” a reggipoggio per migliorare la capacità irrigua con grande dispiego di manodopera. Successivamente al 1991 quando le terre sono state privatizzate, il costo di mantenimento delle zone terrazzate e più che altro la divisione delle proprietà in lotti equivalenti con confini che non tenevano conto della morfologia “naturale” dei terrazzi, ha fatto sì che le terre venissero adibite a colture stagionali e a pascoli. La demarcazione delle proprietà lungo linee perpendicolari al terrazzamento, la transumanza dei greggi ha portato ad una progressiva disgregazione del bordo esterno dei terrazzamenti favorendo la percolazione delle acque lungo la linea di massima pendenza riducendo quindi la capacità di ritenzione idrica della parte pianeggiante del terrazzamento. Ad una progressiva diminuzione della produzione agricola è aumentata l’uso per la pastorizia in tempi di maggiore difficoltà sociale; quando si è assistito all’abbandono delle attività agricole a favore della rapida urbanizzazione, le prime terre ad essere abbandonate sono state quindi le zone collinare improduttive che, con il tempo si sono andate degradando. Di converso, l’analisi ha permesso di valutare il positivo impatto della costruzione di strade e dell’urbanizzazione secondo un piano regolatore ancorché approssimativo, poiché nelle zone con una classe di potenzialità agricola elevata, ben servite da infrastrutture e prossime ai centri urbani, le terre hanno mantenuto nella totalità le proprie caratteristiche di aree produttive e anche nei casi di urbanizzazione sono stati mantenute aree verdi all’intorno dell’abitazione con attitudine e uso agricolo per la produzione di ortaggi e vegetali da consumo per il sostentamento della famiglia.

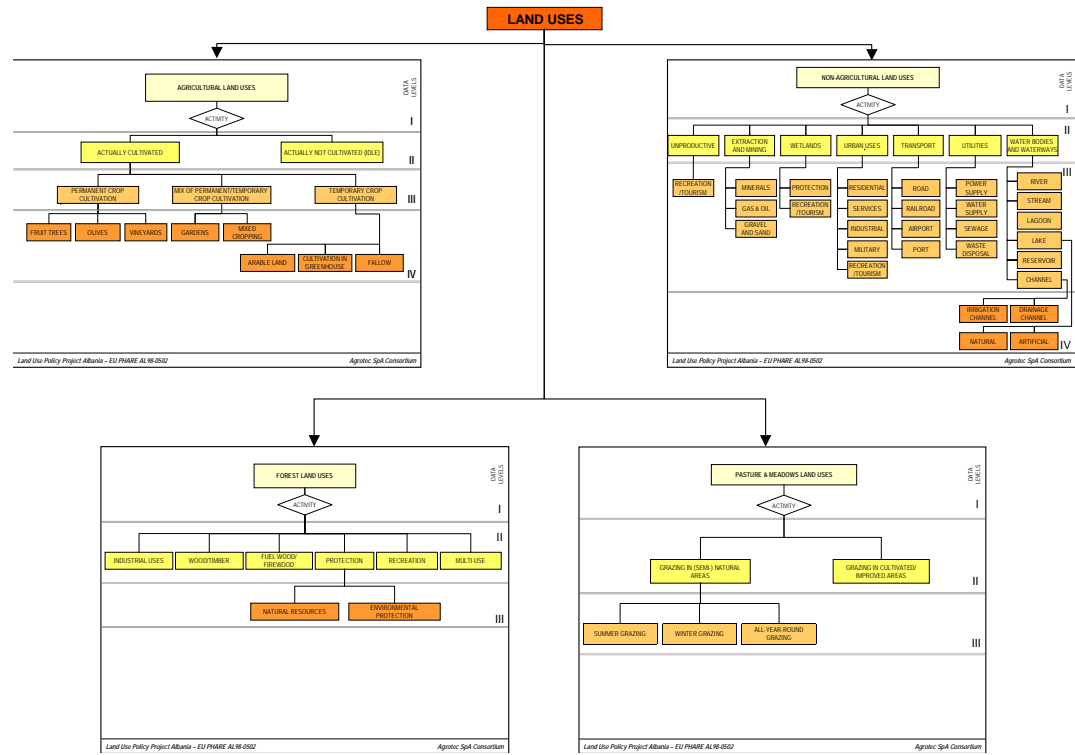


Fig. 1 il sistema LUISA (Land Use Information System Albania)

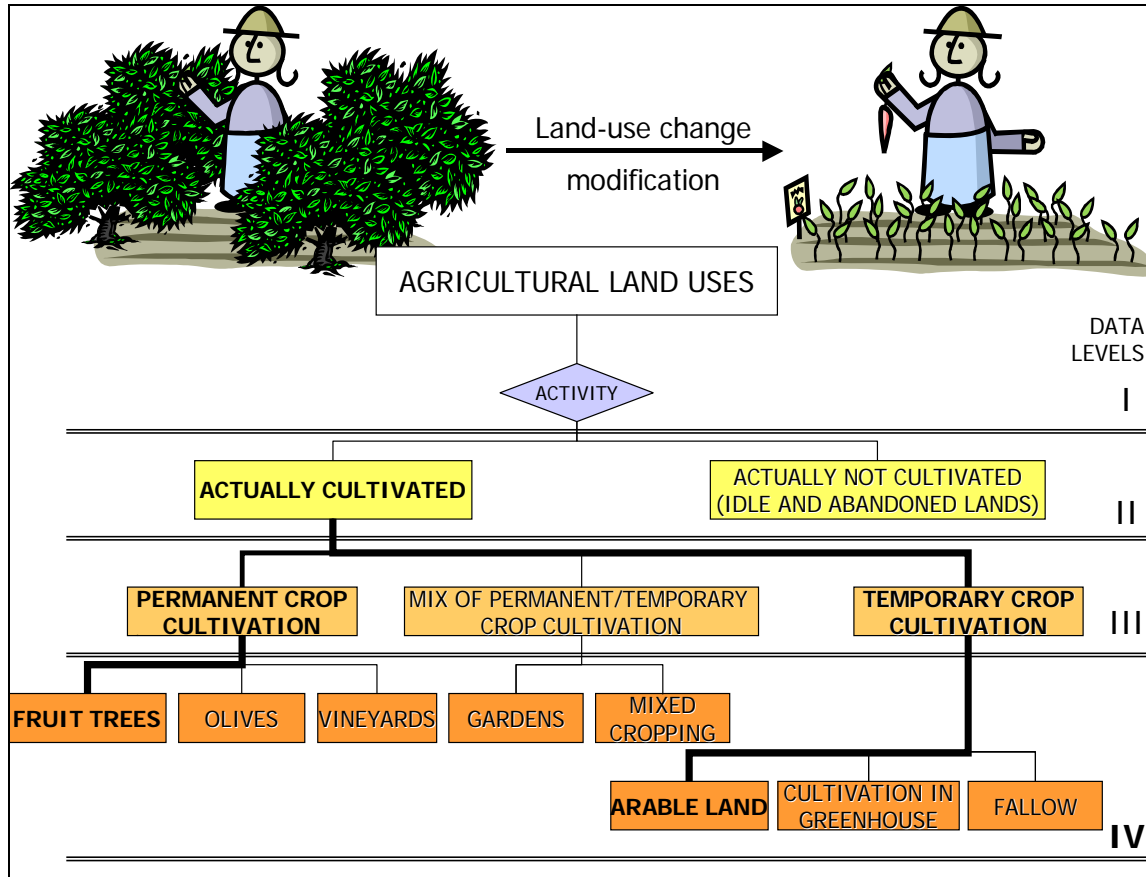


Fig. 2 Il sistema LUCA (Land Use Change Analysis)

LUP 2 - DATASET ORGANISATION

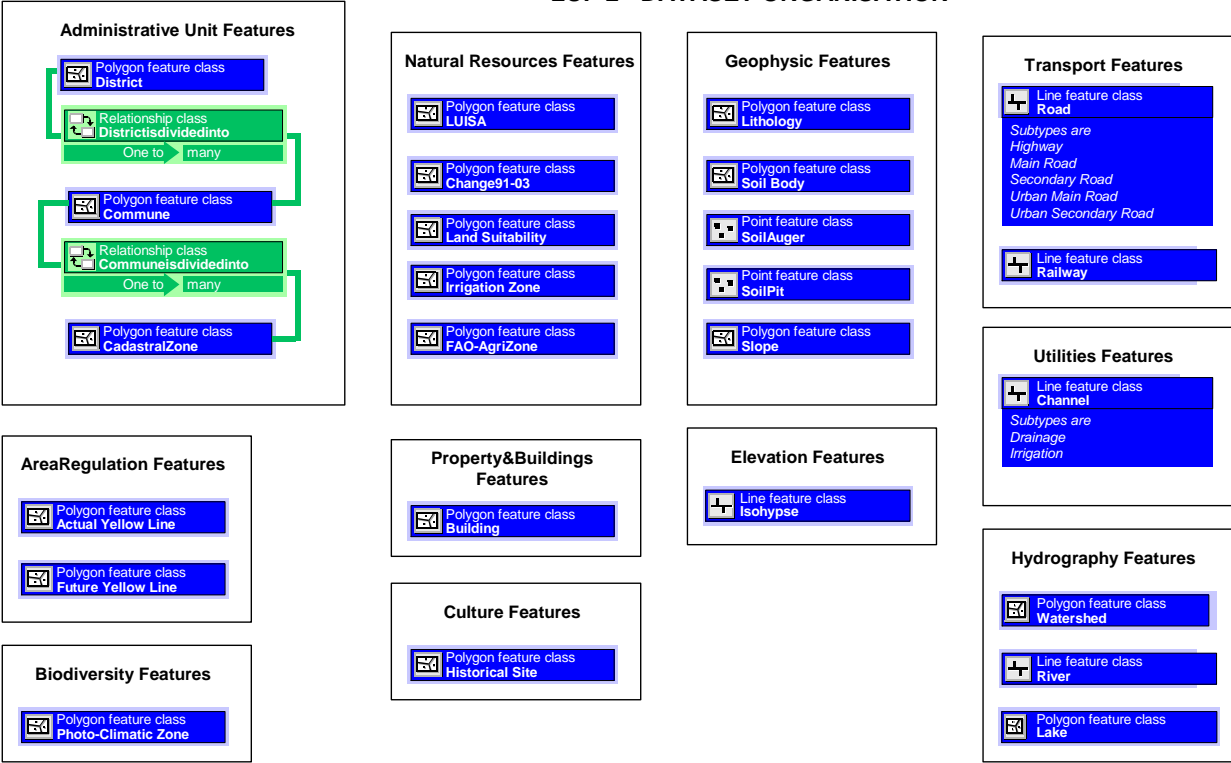


Fig. 3 L'organizzazione dei datasets nel Sistema Informativo

# Lup 2 Analysis

Tirana, December 2003

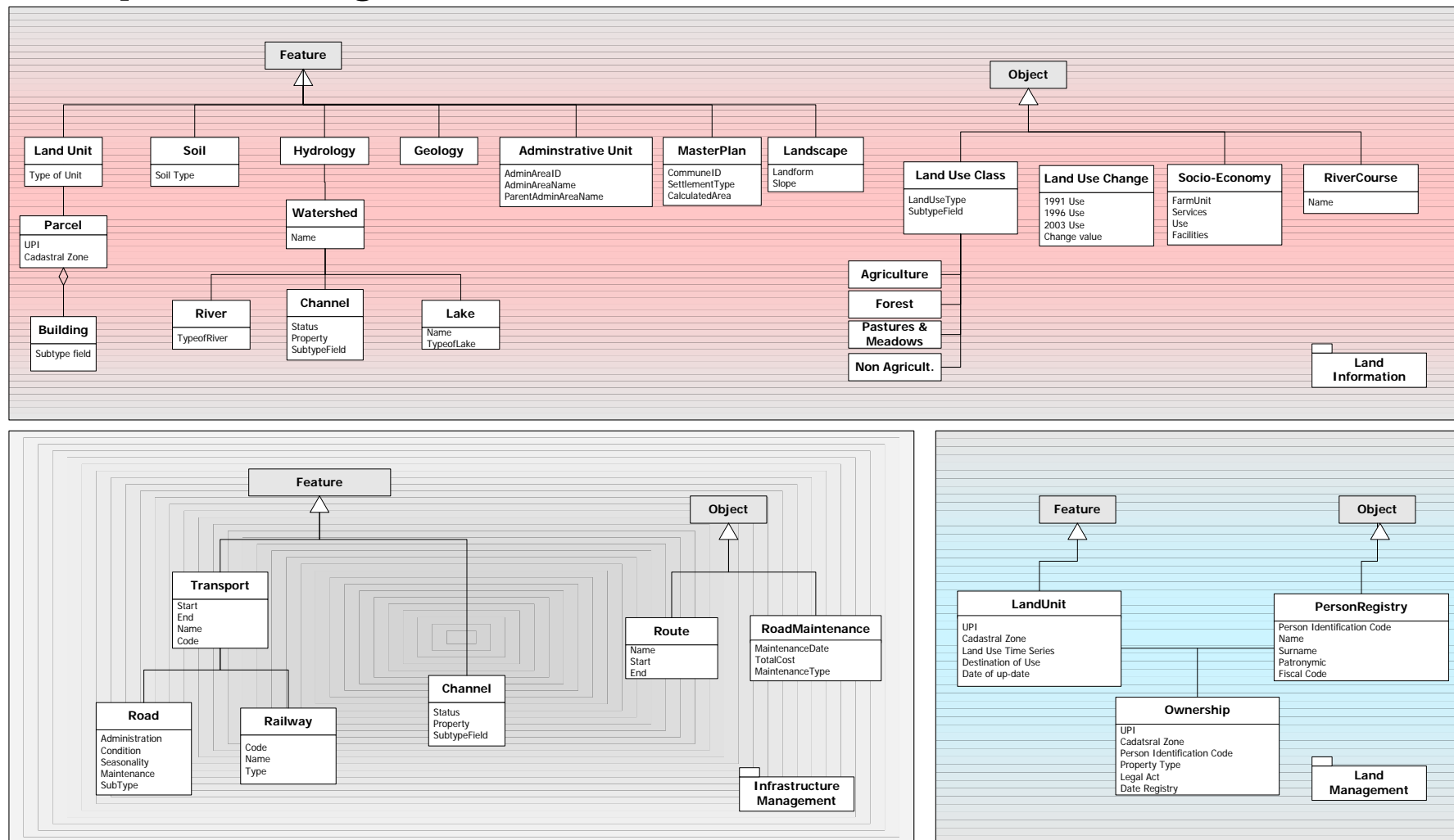


Fig. 4 Il modello concettuale del sistema LUP.

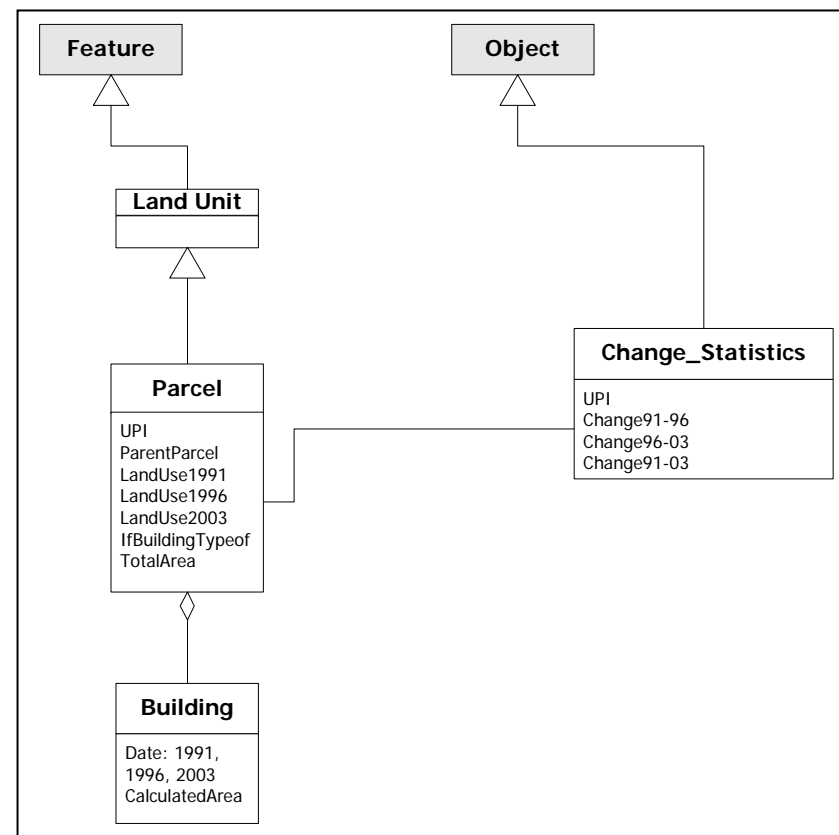
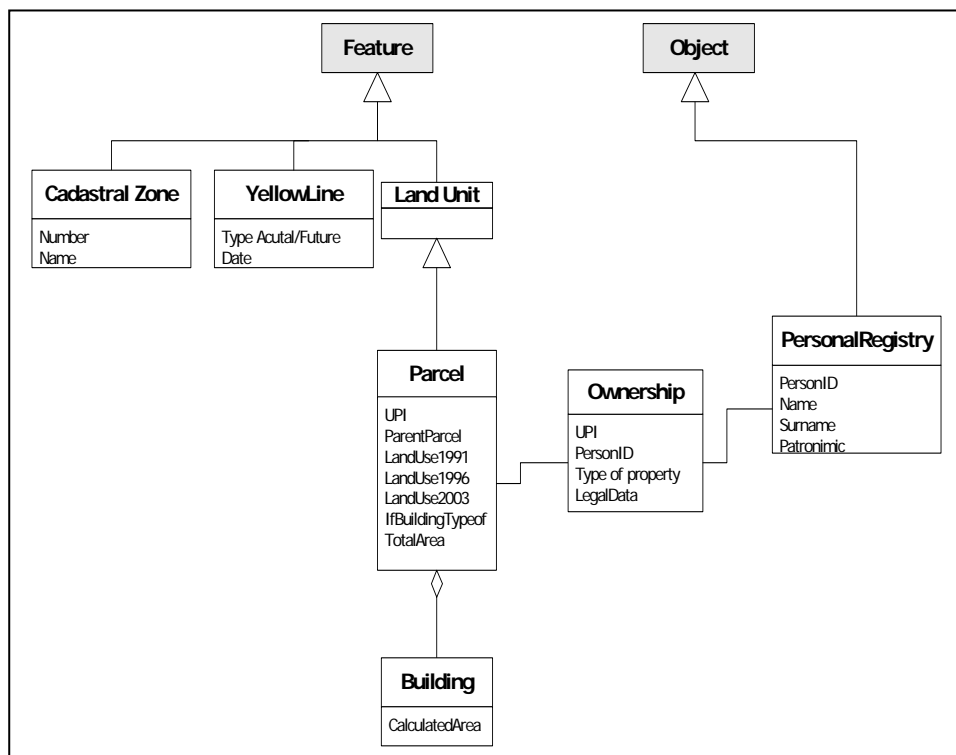


Fig. 5 Il modello logico del Land Unit.

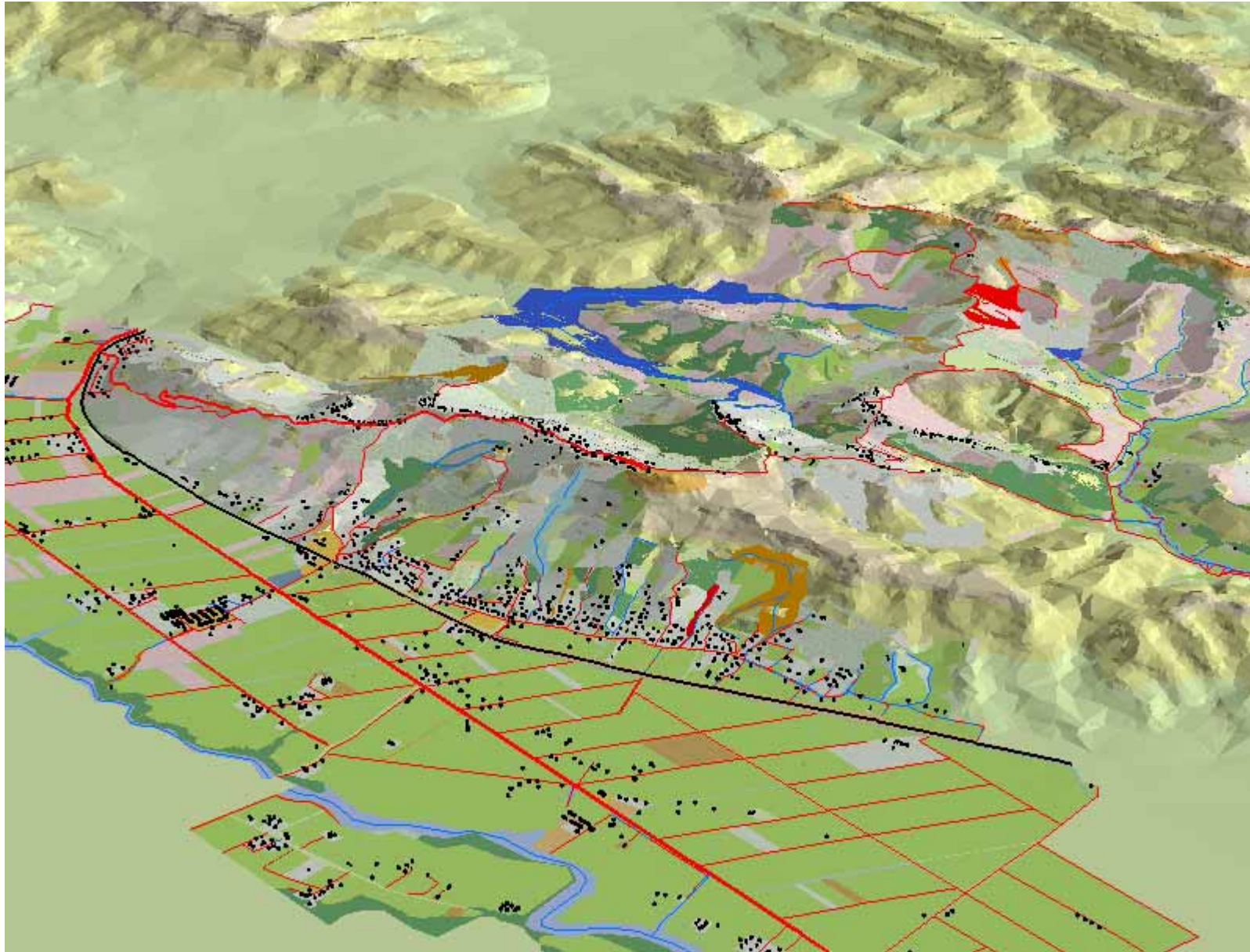


Fig. 6 Modifiche nell'uso del suolo sul modello 3D

