

# Modello logico e realizzazione di un Sistema Informativo Territoriale per la gestione selvicolturale

di Federico Foria

**Creare strumenti informativi finalizzati ad una gestione selvicolturale volta ad incrementare le funzioni protettive delle foreste e dei boschi e la conservazione dei suoli tramite software GIS. Il Sistema Informativo Territoriale avrà lo scopo di contenere le cartografie che costituiscono la base per i servizi di monitoraggio, di analisi e di supporto ad ogni forma di intervento.**

Oggi giorno sempre più aziende e liberi professionisti nel campo dei Sistemi Informativi Geografici (GIS) attingono il proprio lavoro da bandi di concorso pubblici per la produzione di cartografia e servizi.

Il software GIS, infatti, ci permette di generare, gestire e analizzare dati spaziali o georiferiti (ovvero con un preciso sistema di riferimento) associando loro dati alfanumerici che a loro volta possono essere modificati, richiamati, calcolati e collegati. I dati, inoltre, possono essere predisposti in singoli file o, come nel caso che si andrà ad analizzare, in database relazionali che permettono una perfetta organizzazione e strutturazione dei file. Anche solo leggendo il concetto si intuiscono le potenzialità del mezzo in esame, che giustificano un'appetibilità, sempre maggiore, nei confronti di questa tecnologia (soprattutto da parte degli enti pubblici).

Ci si propone, nel seguito, di analizzare un tipico SIT contenente la mappatura finalizzata alla gestione selvicolturale volta ad incrementare le funzioni protettive delle foreste e dei boschi e la conservazione dei suoli (es. Comunità Montana, Ente Parco, etc.). Il SIT consente l'organizzazione dei dati geografici che risultano di rapida consultazione grazie al software GIS, fondamentale, quindi, nella fase di supporto alle attività di monitoraggio, di analisi e di supporto agli interventi in caso di eventi calamitosi. Il sistema sarà costituito da una banca dati geografica in formato digitale con mappe tematiche, statistiche e specialistiche.

La selezione proposta delle cartografie è il frutto dell'analisi di capitolati tecnici mentre gli algoritmi di produzione sono il risultato dello studio e dell'esperienza lavorativa.

## Il SIT e il Geodatabase

Nel corso dell'articolo si farà continuamente riferimento a terminologie e algoritmi presi "in prestito" principalmente dal software ArcGIS, per il motivo legato alla sua grande diffusione in ambito tecnico e didattico. Questo non deve costituire un limite per il lettore, basti pensare che quando si parla di Geodatabase (ESRI), allo stesso modo si potrebbe di PostGIS (estensione spaziale per il database PostgreSQL con licenza libera) o quando si menzionano i tool di ArcToolbox si possono usare al pari quelli dell'estensione SEXTANTE, supportata dai principali software GIS open source.

Innanzitutto per Sistema Informativo Territoriale si intende l'insieme dei dati geografici organizzato per un certo territorio, nel quale il GIS rappresenta lo strumento con cui visualiz-

zare, analizzare e modificare i dati. Il database geografico o geodatabase è l'archivio dei dati territoriali e delle loro relazioni, strutturato in classi di elementi che ne garantiscono un accesso efficace ed efficiente.

Anche se non vi si farà mai riferimento nel corso dell'articolo, costituiscono un elemento imprescindibile del SIT e punto di partenza per ogni dato del geodatabase, il dominio spaziale (porzione geografica a cui facciamo riferimento) e il sistema di riferimento, rispetto al quale tutti i dati dovranno avere uniformità.

Seguendo il nostro iter, l'archivio e la sua strutturazione sono il primo passo e vengono definiti nel modello concettuale e successivamente realizzati in un modello fisico. Per fare ciò bisogna avere un quadro del tipo di dati che si andranno ad immagazzinare nel geodatabase, nel caso specifico si useranno sia *raster* che vettoriali.

Il *raster* è un formato GRID in cui il *pixel* è l'unità di minima informazione. La cella contiene un valore che, oltre alla posizione geometrica, può indicarne un carattere grafico (colore) o una grandezza continua (quota, temperatura, indice di pericolosità, etc.). Il *raster*, con la sua struttura matriciale, si adatta bene a contenere molti tipi di informazioni; operativamente viene impiegato per immagini (cartografia, foto aeree, immagini multispettrali), DEM (Modello Digitale di Elevazione), classificazioni (pericolosità, vulnerabilità) e distribuzioni di grandezze. Nel caso in esame si prevede nel geodatabase cartografia di base in forma di scenari *raster* (CTR, coperture ortofotogrammetriche) e mappe specialistiche in layer singoli (DEM, acclività, pericolosità). La caratteristica discriminante nei confronti del *raster* è la risoluzione. Questo significa che il file presenta una visualizzazione pulita ad una determinata scala, ma se ad esempio si procede con uno *zoom in* la rappresentazione del dato tenderà a sgranare. Per il motivo sopra descritto, per la rappresentazione di altre categorie di dati è preferibile la tipologia vettoriale.

I dati vettoriali sono costituiti da primitive geometriche quali punti, linee o poligoni (*shape file*), collocati nello spazio attraverso coppie di coordinate e ai quali è possibile associare una tabella alfanumerica (dbf) contenenti le informazioni circa l'oggetto che si rappresenta (es. per un file di tipo linea di una strada, il dato alfanumerico associato potrà essere composta da vari campi, quali il nome della strada, la lunghezza, etc.). Nel caso in esame si prevede nel geodatabase cartografia di base in forma di *feature dataset*, che è un contenitore

per più layer vettoriali (es. il dataset della Carta Tecnica Regionale contiene il layer di tipo poligono per i fabbricati e i terreni e quello di tipo linea per le strade e le curve di livello), e mappe specialistiche in layer singoli (vegetazione, uso suolo). Questa organizzazione dei file in classi, sia *raster* che vettoriali, è permessa dal solo formato *geodatabase* che si presenta come contenitore globale e ordinato (vedi figura 1). Inoltre al suo interno è possibile disporre anche file CAD, TIN (rappresentazione in continuo 3D di tipo vettoriale), di topologia e *metadata*.

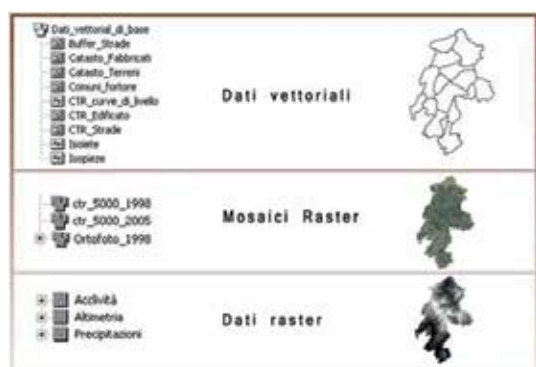


Fig. 1 - Esempio di banca dati e organizzazione dei file all'interno del geodatabase.

## La Cartografia del SIT

Nel *geodatabase* del SIT per la gestione selvicolturale occorrono: Carte Tematiche di Base, Carte Statistiche e Carte Specialistiche. Nel seguito non si farà riferimento ai processi per la generazione dei dati di base che, di solito, vengono acquistati da terzi o, ove possibile, vengono elaborati *ex novo* o a partire da materiale open source, congruente con il grado di dettaglio del lavoro da svolgere. Si procederà, quindi, all'analisi e alla produzione delle carte che sono a cura dell'operatore GIS. Gli esempi riportati nelle immagini sono stati realizzati al solo scopo dimostrativo usando dati open source e servizi di consultazione (es. Ministero dell'Ambiente) integrati nel software GIS.

### Carte Tematiche di Base

Di seguito vengono descritti sinteticamente le procedure di realizzazione:

- ▶ **Carta Altimetrica:** per la definizione della carta altimetrica si utilizzano dati *raster* o TIN, in particolare un layer vettoriale di tipo linea con curve di livello aventi equidistanza di 5 metri. Le isoipse vengono corredate di quote altimetriche per ogni loro nodo.  
Per la realizzazione si può usare il *Create TIN from Feature* di *ArcGIS 3D Analyst*, che permette la generazione di un formato vettoriale ad elementi finiti: il TIN (*Triangulated Irregular Network*). Da questo formato è possibile anche definire una matrice *raster* che descrive il parametro quota del terreno (DTM).
- ▶ **Carta delle Acclività:** per generare una carta delle acclività si utilizza la funzione *TIN Slope* di *ArcGIS 3D Analyst*. Il parametro pendenza si può esprimere sia in gradi che in percentuale. La Pendenza in gradi è data dal calcolo dell'arcotangente del rapporto tra la variazione in altezza ( $\Delta z$ ) e la variazione di distanza orizzontale ( $\Delta s$ ). La pendenza percentuale, invece, è uguale alla variazione di altezza, diviso il cambiamento della distanza orizzontale, moltiplicata per 100.

Per generare il layer si può usare in alternativa l'algoritmo *Slope* contenuto sempre all'interno del toolkit di *3D Analyst*. Lo *Slope* genera una matrice *raster* che contiene i valori delle pendenze a partire da una che contiene i valori di quota. L'algoritmo calcola la massima variazione del valore della quota della cella con i suoi vicini più prossimi, nello specifico quella che c'è tra la cella e gli otto *pixel* ad essa adiacenti (descrivendo una matrice 3x3 intorno a quello centrale) identificando, così, la discesa più ripida dalla cella di riferimento. Il valore risultante corrisponderà ad un andamento piatto del terreno per valori bassi di *Slope* e ad un aumento di ripidità proporzionalmente all'aumento del valore di *Slope*. L'algoritmo raggruppa i risultati in classi che in seguito possono essere modificate e tematizzate secondo le necessità (vedi figura 2).

- ▶ **Carta della Esposizione dei Versanti:** per generare una carta dell'esposizione dei versanti si usa l'algoritmo *Aspect* contenuto all'interno del toolkit di *3D Analyst*. L'*Aspect* identifica la direzione discendente con il tasso massimo di variazione del valore di quota, tra la cella e i suoi corrispondenti vicini (descrivendo una matrice 3x3 intorno al *pixel* centrale). Questa funzione può essere pensata come la direzione della pendenza, infatti i valori in uscita vengono tematizzati con una circonferenza che va da 0° a 360°. Alle aree pianeggianti di input, la cui pendenza è zero, viene assegnato un valore pari a -1 (vedi figura 2).

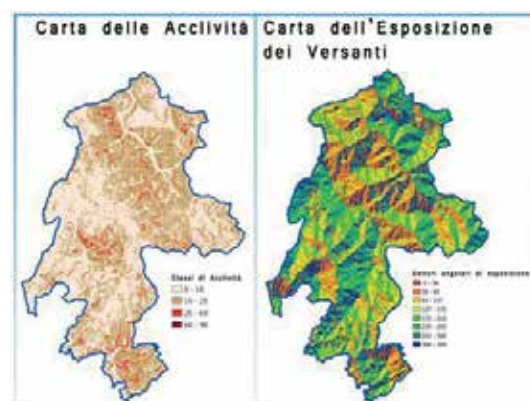


Fig. 2 - Esempio di Carta delle Acclività e di Carta dell'Esposizione dei Versanti.

- ▶ **Carta Pluviometrica:** una parte dello studio di carattere climatico è dedicato alla interpretazione delle caratteristiche del regime delle precipitazioni meteoriche per l'intera area di studio.  
I dati di riferimento possono essere reperiti dagli Annali Idrografici di Stato scegliendo un intervallo temporale di osservazioni delle stazioni pluviometriche interne e limitrofe al territorio di studio.  
Si definisce dapprima una matrice *raster* generata dall'utilizzo di un algoritmo di interpolazione presente nel toolkit *3D Analyst* di *ArcGIS* e, in seguito, a partire dai dati delle stazioni disponibili, si generano le isoiete con equidistanza pari a 10 mm (vedi figura 3).
- ▶ **Carta Termometrica:** così come per i dati pluviometrici anche la carta termometrica è redatta a partire dall'utilizzo degli Annali Idrografici. Il procedimento, analogo al precedente, sfrutta le potenzialità del toolkit *3D Analyst* con cui vengono generate le curve isothermometriche e la matrice *raster* relativa al parametro temperatura (vedi figura 3).

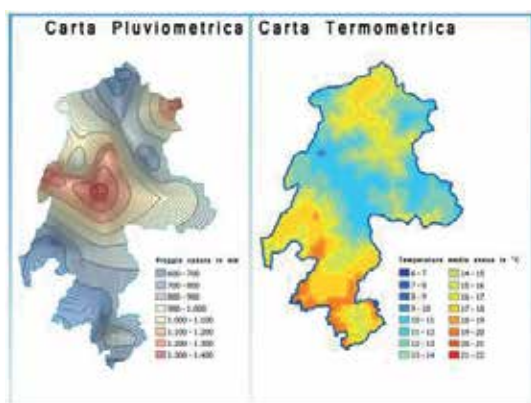


Fig. 3 - Esempio di Carta Pluviometrica e di Carta Termometrica.

- **Carta dei Reticoli Stradali e dei Nuclei Urbani:** per generare una carta dei reticolati stradali e dei nuclei urbani può essere effettuato un aggiornamento delle banche dati geografiche esistenti. Oltre al dato di partenza, allo scopo del SIT, bisogna reperire la viabilità di accesso alle aree boschive e alle piste forestali, di specifico interesse per il sistema di antincendio boschivo. Le informazioni associate alla viabilità contengono l'indicazione della percorribilità in riferimento sia alle operazioni di lotta attiva sia alle operazioni di evacuazione. Le informazioni sulla viabilità forestale, i relativi tracciati e la loro percorribilità, possono essere acquisiti presso gli uffici del CFS (Corpo Forestale dello Stato) e presso gli uffici tecnici dei Comuni. I tracciati della viabilità forestale e delle zone contermini devono essere poi messi in relazione con la rete della viabilità ordinaria (vedi figura 4).
- **Carta dei Buffer:** viene definita per permettere l'utilizzo di fasce di rispetto in fase di analisi del rischio di incendio, inoltre, applicato sulla rete stradale, restituisce una rappresentazione ancora più rigorosa della rete viaria. Per generare una carta dei buffer si usa l'algoritmo *Buffer* contenuto all'interno del toolkit *Analysys* (vedi figura 4).

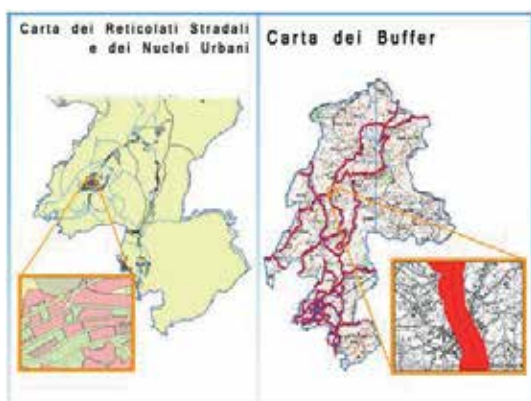


Fig. 4 - Esempio di Carta dei Reticoli Stradali e dei Nuclei Urbani e di Carta dei Buffer.

#### Carte Tematiche Statistiche

Le carte tematiche statistiche, per il SIT a gestione selvicolturale, si producono sulla base della spazializzazione degli eventi incendiari e sull'analisi statistica che è eseguita su tutti i dati disponibili. I dati statistici possono prendere in considerazione: la stagionalità degli eventi, la frequenza e la superficie incendiata. Queste carte vengono rappresentate solitamente come file vettoriali di tipo poligono in cui vengono individuate aree, ad esempio i comuni, con

le medesime caratteristiche in esame. Al dato spaziale, si aggiunge poi l'informazione alfanumerica di interesse. A livello operativo, quando si lavora con un grande numero di dati, l'operazione di aggiornamento della tabella associata al file vettoriale avviene usando una operazione di *Join* (relazione 1:1), dove si usa come campo chiave per generare la relazione un codice, ad esempio quello amministrativo comunale.

Si riveleranno utili per le derivazione delle mappe specialistiche: carta della densità media degli incendi, carta del numero di incendi, carta della superficie boscata percorsa e della superficie non boscata percorsa da incendi e la carta della frequenza degli incendi.

#### Carte Tematiche Specialistiche

Le Carte Tematiche Specialistiche sono così denominate perché richiedono per la realizzazione l'affiancamento di altre figure professionali o di competenze tecniche molto elevate, come l'analisi multivariata con cui si realizzerà uno dei prodotti più importanti del SIT: la Carta di Rischio Incendi. Per la natura così complessa di queste carte si propone, di seguito, una loro analisi speditiva in macro categorie, ma avendo cura di fornire tutti gli *incipit* necessari alla loro comprensione e realizzazione:

- **Uso Suolo:** per generare una carta di uso del suolo (vedi figura 5) si unisce una fase di fotointerpretazione e rilievi di campo a cui segue la digitalizzazione delle aree di interesse. Nella fase di fotointerpretazione è possibile ricorrere a: rilievi, CTR aerofotogrammetrica, coperture satellitari, eventuali cartografie specialistiche già disponibili per singoli siti e carta della copertura del suolo (*Sistema Corine Land Cover*) con focus sull'aree protette e sui siti *Natura 2000*.  
Le aree, una volta identificate e definite geometricamente, si digitalizzano in forma di layer di tipo poligono, avendo cura di assegnare ad ognuno di essi la categoria, il codice e i valori di area e perimetro. Nel SIT per la gestione selvicolturale assume particolare rilevanza il grado di dettaglio nella rappresentazione di: vegetazione forestale, coperture arboree e tessuto urbano (fondamentale nella determinazione della vulnerabilità). Inoltre è sempre consigliabile, nel corso di lavori di una certa caratura, effettuare test di qualità della classificazione basato su confronto tramite rilievi *in situ* e controllo dati basato su criteri statistici.
- **Vegetazione:** la carta della vegetazione si desume a partire da un approfondimento delle classi di uso suolo.

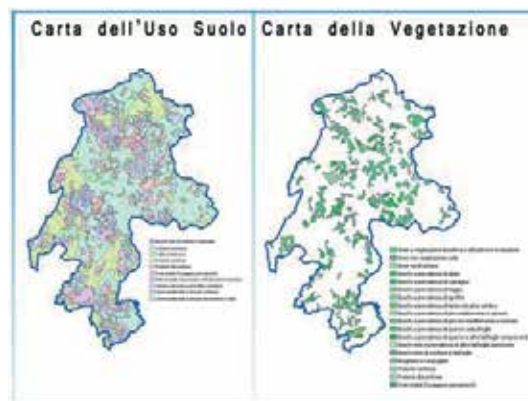


Fig. 5 - Esempio di Carta di Uso del Suolo e di Carta della Vegetazione.

Questo è possibile grazie ad una fase preliminare di osservazione e rilievi diretti che possono poi essere interpretati con procedura di poligonazione delle ortofoto. L'output è un layer di tipo poligono in cui bisogna prestare attenzione al dato alfanumerico, determinando il sistema di nomenclatura da applicare alla classificazione delle specie e alle loro peculiarità.

Tramite opportuno tematismo delle capacità di resilienza e resistenza di questo layer si può desumere la carta della propensione della vegetazione agli incendi, invece per la carta della vulnerabilità della vegetazione bisogna tenere in conto del valore comunitario della specie che andrà incrociato con la carta della propensione agli incendi. Questo processo è possibile convertendo i due layer da vettoriali a *raster* e operando con il *Map Algebra* contenuto nel *toolbox* di *ArcGIS* (vedi figura 5).

- **Rischio Incendi:** la carta del rischio di incendi si desume dall'incrocio con le carte della vulnerabilità, pericolosità e esposizione.

Ad ogni tipologia di fenomeno rischioso è associata una pericolosità che rappresenta la probabilità che un evento di una certa intensità si verifichi in una data area e in un dato periodo di tempo. Per individuare la distribuzione di probabilità è necessario determinare: la probabilità e le cause di innesco degli eventi, in termini di localizzazione puntuale e/o areale, e la probabilità media dell'occorrenza degli eventi attraverso un'analisi storica dettagliata. Nel caso in esame la pericolosità è desunta dalla frequenza degli incendi, dalla propensione della vegetazione al fuoco e dall'andamento delle pendenze del territorio in questione, assegnando dei valori (pesi) diversi a seconda dell'incidenza che ognuno di questi hanno sulla dinamica dell'incendio. L'analisi viene effettuata attraverso operazioni di *Map Algebra* tra matrici *raster* in cui ognuna delle carte sopra citate esprime il peso di una variabile e contribuisce al calcolo.

La vulnerabilità fornisce una misura della propensione di ciascun elemento a rischio a subire danni in occasione del manifestarsi di un evento di una certa intensità. La vulnerabilità fornisce, pertanto, l'entità dei danni potenziali sul sistema territoriale. L'esposizione, invece, è una misura dell'importanza dell'elemento esposto al rischio in relazione alle principali caratteristiche del territorio in esame. Di norma vengono considerati la popolazione, le proprietà, i monumenti, le reti infrastrutturali e le attività economiche che, di fatto, vengono rappresentate dal tessuto urbano, a cui viene associato un peso significativo. La vulnerabilità, invece, è espressa dalla carta della vulnerabilità della vegetazione desunta precedentemente.

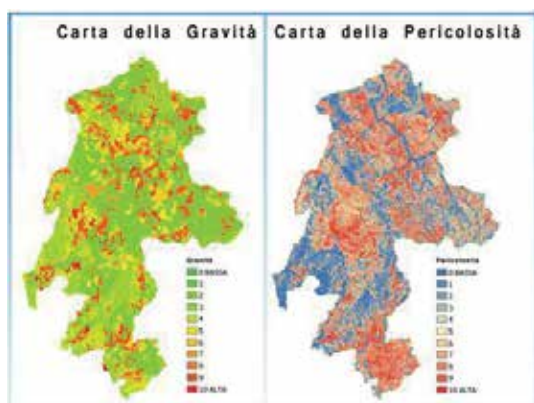


Fig. 6 - Esempio di Carta della Gravità (prodotto di Vulnerabilità e Esposizione) e di Carta della Pericolosità.

Pericolosità, vulnerabilità ed esposizione determinano il rischio inteso come, una volta verificatosi l'evento calamitoso, il valore assoluto delle perdite in termine, sia di vite umane, sia di danni ai beni, alle attività e all'ambiente. L'equazione del rischio è:

$$\text{Rischio} = \text{Pericolosità} \times \text{Vulnerabilità} \times \text{Esposizione}$$

La mappa del rischio è il risultato di questa equazione, risolta attraverso *Map Algebra*, prendendo in considerazione le tre variabili sotto forma di matrici numeriche (*raster*). Il risultato è una zonazione del territorio in esame in cui ad ogni *pixel* è associato un determinato valore di rischio (vedi figura 7).

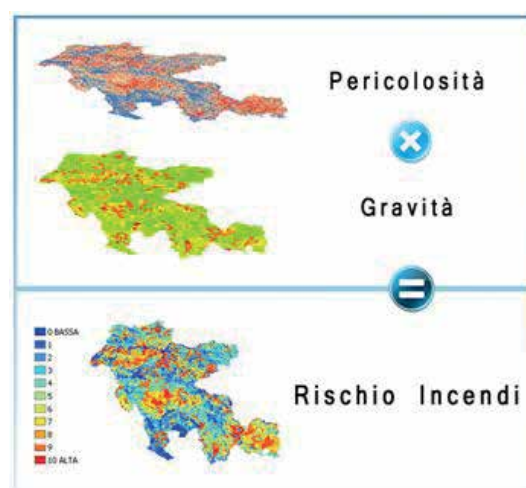


Fig. 7 - Esempio del processo per la realizzazione della Carta del Rischio Incendi.

### Parole chiave

SIT; GIS; CARTOGRAFIA; ARCGIS; RISCHIO INCENDI; GEODATABASE

### Abstract

LOGICAL MODEL AND IMPLEMENTATION OF A GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM FOR FOREST MANAGEMENT.

IN THIS PAPER WE PRESENT THE REALIZATION OF INFORMATION TOOLS AIMED AT A FOREST MANAGEMENT TO INCREASE THE PROTECTIVE FUNCTIONS OF FORESTS AND SOIL CONSERVATION THROUGH GIS SOFTWARE. THE GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM WILL AIM TO CONTAIN THE MAPS AS BASIS FOR THE SERVICES OF MONITORING, ANALYSIS AND SUPPORT TO ANY FORM OF INTERVENTION. THE ARTICLE WILL REFER TO ARCGIS NOMENCLATURE FOR HIS TECHNICAL AND DIDACTICS IMPORTANCE BUT THE SAME COULD BE DONE WITH ANY OTHER OPEN SOURCE SOFTWARE.

### Autore

FEDERICO FORIA  
FORIA.FEDERICO@GMAIL.COM  
DOTTORE IN INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO