

UNIVERSITÀ DI PADOVA



FACOLTÀ DI SCIENZE MATEMATICHE, FISICHE e
NATURALI

Corso di laurea in Scienze Geologiche

TESI DI LAUREA TRIENNALE in GEOLOGIA

VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI FRANA
NELL'AREA DEL PARCO DEI COLLI EUGANEI
UTILIZZANDO BASI DI DATI DISPONIBILI NELLA
RETE

Relatore: Dr. MARIO FLORIS

A handwritten signature in black ink that reads 'Mario Floris'.

Correlatore: Dr. Geol. MICHELE ROCCA

Laureando: FEDERICO SICHER

ANNO ACCADEMICO 2009/2010

Sommario

1	Introduzione	5
2	Caratteri geologici e morfologici dell'area di studio	6
2.1	Genesi.....	6
2.2	Geologia.....	7
2.3	Morfologia.....	8
3	Valutazione della Pericolosità Spaziale di Frana	9
3.1	Metodo di calcolo.....	9
3.2	Strati informativi.....	10
3.3	Calcolo dell'indice di franosità relativa (Ifrel).....	13
3.3.1	Calcolo dell'indice di franosità relativo alla pendenza.....	13
3.3.2	Calcolo dell'indice di franosità relativo all'esposizione.....	14
3.3.3	Calcolo dell'indice di franosità relativo alla curvatura.....	15
3.3.4	Discussione dei risultati.....	16
3.4	Pericolosità spaziale.....	16
4	Stato di attività dei fenomeni franosi	17
4.1	Tempo di ritorno e pericolosità sulla base dei dati dell'archivio IFFI.....	17
4.2	Analisi dei tempi di ritorno.....	18
5	Conclusioni	20
6	Bibliografia	21

1 Introduzione

Il principale obiettivo di questo lavoro è quello di testare l'efficacia delle basi di dati disponibili sul web per la valutazione della pericolosità di frana nell'area del Parco Regionale dei Colli Euganei (Fig. 1), al fine ultimo di censire, cartografare e classificare i movimenti franosi, e di produrre una Carta di Pericolosità di Frana.

Negli ultimi 10 anni, grazie all'elevato incremento di strumenti per la gestione, la condivisione e la comunicazione di informazioni territoriali sul web (WEBGIS), sono stati realizzati numerosi sistemi informativi territoriali da parte di enti locali (comuni e province), regionali e nazionali (ISPRA, Ministero dell'Ambiente). Le banche dati disponibili on line raccolgono informazioni geografiche e alfanumeriche utili per studi sui fenomeni franosi. Gli esempi di utilizzo dell'archivio IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia) per una valutazione della pericolosità di frana a scala regionale si estendono all'intero territorio italiano (APAT, 2007).

In questo lavoro di tesi sono state consultate due banche dati: il Portale Cartografico della Regione Veneto (Regione Veneto, <http://www.regione.veneto.it>), per l'accesso alla cartografia numerica alla scala 1:5000; l'archivio IFFI (<http://www.sinanet.apat.it/>), per le informazioni relative ai fenomeni franosi.

I dati acquisiti sono stati poi rielaborati mediante appositi software e GIS (Geographic Information Systems) dove il calcolo della pericolosità è stato effettuato attraverso una semplice analisi statistica bivariata (Lee & Min, 2001; Lee & Pradhan, 2007) delle relazioni tra le frane, suddivise per tipologia, e i fattori ricavabili dal modello di elevazione del terreno (pendenza, esposizione, curvatura).



Figura 1.1. Ubicazione dell'area in studio.

2 Caratteri geologici e morfologici dell'area di studio

2.1 Genesi

Il gruppo collinare emerge nettamente dalla pianura quaternaria circostante articolandosi in numerosi rilievi di origine vulcanica e di modesta elevazione. L'origine dei Colli Euganei è da ricondursi all'attività vulcanica nel Veneto nel corso dell'Eocene e dell'Oligocene. In questi stessi periodi tutto il Veneto è interessato da attività vulcanica caratterizzata dalla produzione di magmi basaltici come avviene anche nei Monti Berici e nei Lessini. Il vulcanesimo euganeo comincia durante l'Eocene superiore, e l'attività prosegue fino all'Oligocene inferiore. In questo caso l'attività dei Colli Euganei e dei Monti Berici, separati dalla linea della riviera Berica, assume caratteri petrografici e vulcanologici estremamente diversi; nei primi infatti oltre alla presenza di corpi basaltici si trovano corpi subvulcanici di varia composizione come trachiti, rioliti e latiti. La genesi dei Colli Euganei è riconducibile allo sviluppo di due diversi cicli vulcanici, ognuno dei quali caratterizzato da età e prodotti magmatici diversi. Il primo ciclo è datato Eocene superiore; è stato caratterizzato sia da eruzioni esplosive di grandi quantità di prodotti piroclastici basaltici, sia da emissioni effusive di lave basaltiche fluide, in ambiente sottomarino. Dopo un periodo di quiete, l'attività vulcanica è ripresa nell'Oligocene inferiore. La composizione magmatica si presenta molto varia, dai termini più ricchi in silice, le rioliti alcaline, alle trachiti alcaline, fino ai termini con più bassi tenori in silice, come le latiti e infine i basalti. Quella dei Colli Euganei è l'unica area del Veneto nella quale siano state prodotte durante il Terziario lave di composizione diversa da quella basaltica (DE VECCHI et al., 1974; 1976a).

L'alta viscosità delle trachiti e soprattutto delle rioliti ebbe come conseguenza la formazione di corpi eruttivi di tipo vario, e comunque diversi dalle comuni colate delle lave basiche. In questo modo venne data origine a duomi di lava compatta, che presentava una notevole tendenza a ristagnare presso la zona di emissione. In questa area era inoltre tipica la tendenza a formare intumescenze magmatiche sotto le rocce sedimentarie, che venivano inarcate a volta e talora lacerate, o, ancora, venne data origine a filoni eruttivi di forma varia, ma in generalmente di forma allungata.

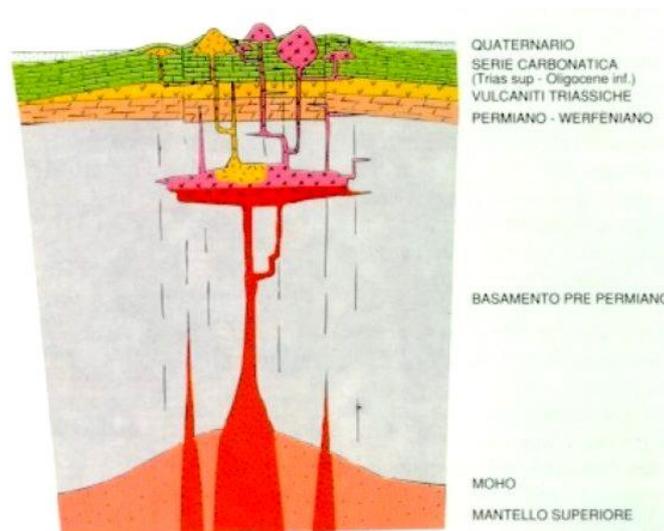


Figura 2.1. Genesi dei Colli Euganei.

Dal punto di vista geologico - strutturale, l'assetto dei Colli Euganei è semplificabile in un'ampia piega anticlinale con asse Nord Est - Sud Ovest. Tale piega è dovuta al rigonfiamento legato alla venuta in superficie di magmi derivanti dalla fusione parziale del mantello superiore, in un contesto di tettonica distensiva a blocchi. All'interno del complesso le dislocazioni per frattura sono predominanti rispetto a quelle per piegamento, rivelando un comportamento predominante per tutta l'area dei Colli Euganei di tipo fragile.

2.2 Geologia

I Colli Euganei sono costituiti fondamentalmente da due tipologie geologiche fondamentali: le rocce di origine sedimentaria e quelle di origine vulcanica o subvulcanica.

Per quanto riguarda le sedimentarie, la serie delle formazioni affioranti comprende rocce che vanno dal Giurassico superiore (Rosso Ammonitico), all'Oligocene inferiore (Marne euganee). Di seguito si riporta una descrizione delle quattro formazioni sedimentarie affioranti nell'area in esame.

ROSSO AMMONITICO - E' costituito da calcari compatti grigio-azzurri nella parte più bassa visibile, mentre in quella superiore presenta aspetto nodulare e colorazione rossastra. Si tratta di un calcare di deposizione pelagica molto ricco di resti di ammoniti; talora contiene letti di selce rossa e grigia.

BIANCONE - Calcarea bianca compatta, a grana fine e frattura concoide, con lenti di selce per lo più nera. E' stratificato con regolarità, più fittamente nella parte superiore, dove sono presenti intercalazioni argillose grigiocure. Si è depositato in condizioni di mare aperto e relativamente profondo, ed è ricco di microfossili. La potenza complessiva della formazione si aggira attorno ai 200 metri.

SCAGLIA ROSSA - Si tratta di calcari selciferi a grana fine, più o meno marnosi, regolarmente stratificati nella parte inferiore e media, e fittamente stratificati in quella superiore, tanto da assumere un aspetto fogliettato. Il colore, a causa della presenza di ossidi di ferro, è prevalentemente rossiccio, ma localmente può assumere tinte biancastre in seguito a decolorazione.

MARNE EUGANEE - Dalla Scaglia rossa si passa gradualmente alle Marne euganee, formazione calcarea - argillosa poco compatta e fittamente stratificata fino a fogliettata, di colore variabile dall'azzurro e giallastro al grigio chiaro. I fossili presenti sono soprattutto foraminiferi, nella parte superiore sono frequenti intercalazioni di calcari a nummuliti rimaneggiati (PICCOLI et al., 1981). La potenza per questa formazione mediamente si aggira attorno ai 40 metri.

Per quanto riguarda i litotipi vulcanici, possiamo dire che i più rappresentativi ed importanti sono in definitiva quattro: le lave riolitiche e trachitiche, nettamente più diffuse, e le lave latitiche e basaltiche. E' da sottolineare che dal punto di vista petrografico è presente una varietà continua di termini di transizione. In alcune aree è significativa la presenza di vulcanoclastiti basaltiche. Vi sono poi rocce, la cui estensione è in genere trascurabile, che sono manifestazione delle attività secondarie legate al vulcanesimo, come le breccie di riempimento dei condotti d'esplosione o le rocce calcaree metamorfosate per contatto. Si riporta di seguito una descrizione dei principali litotipi di origine vulcanica.

LAVE TRACHITICHE - Rocce effusive sature alcaline di colore grigio, ma che se alterate assumono colorazioni giallognole. Hanno struttura porfirica con fenocristalli chiari di feldspato e scuri di mica. La massa di fondo è microcristallina. Sono costituite essenzialmente da ortoclasio, plagioclasio e biotite, e subordinatamente da pirosseni e anfiboli alcalini (DE VECCHI et al., 1974).

LAVE RIOLITICHE - Assieme alle trachiti, sono le rocce vulcaniche più diffuse nei Colli Euganei. Sono rocce effusive acide di colore chiaro, a volte quasi bianco. Possiedono grana fine e struttura porfirica, con fenocristalli di quarzo e feldspato e massa di fondo microcristallina. Sono costituite da quarzo, sanidino, plagioclasio, biotite (DE VECCHI et al., op. cit.).

LAVE LATITICHE - Rocce effusive sature grigio-scure a struttura porfirica, ricche di piccoli fenocristalli di pirosseno, di anfibolo e di plagioclasio. Meno diffuse delle precedenti, e spesso presenti sotto forma di piccoli Filoni.

LAVE BASALTICHE - Rocce effusive basiche di colore scuro. Sono a grana fine con massa di fondo da microcristallina a criptocristallina, con fenocristalli di plagioclasio e pirosseno, componenti essenziali della roccia.

VULCANOCLASTITI BASALTICHE - Sono costituite da una breccia ad elementi basaltici a spigoli vivi di dimensioni comprese tra i 3 e i 10 cm. La matrice è costituita da elementi di minori dimensioni. La roccia è formata da tufi basaltici e ialoclastiti, espressioni dell'attività esplosiva durante il primo ciclo eruttivo eocenico (tufi) e della frantumazione degli strati vetrosi dei pillows basaltici in conseguenza del brusco raffreddamento della lava in ambiente subacqueo (ialoclastiti).

2.3 Morfologia

E' ben nota la dipendenza della forma del rilievo dai processi geodinamici endogeni ed esogeni. I Colli Euganei sono emblematici dell'interazione tra le forze interne del sistema Terra (forze tettoniche, sismiche, vulcanesimo) e le forze che agiscono sulla sua superficie. Si può affermare che le forze del primo tipo siano state la componente costruttiva degli Euganei, mentre quelle del secondo tipo (di natura fisica, chimica, biologica e tecnologica) sono state, e continuano ad essere, la componente di disfacimento. Questo senza dimenticare che alla fase di erosione e di trasporto segue sempre una fase deposizionale. Ciò avviene comunque nell'ambito di una economia energetica globale per cui è favorito il passaggio da configurazioni a maggior energia a configurazioni a minore energia.

Quale ulteriore agente esogeno, va aggiunto a questo quadro ambientale, l'azione dell'uomo. Infatti pur avendo agito per un tempo assai limitato alla scala dei tempi geologici, la sua opera ha inciso in modo notevole sulla morfologia dei Colli Euganei. Basti ricordare le conseguenze della diffusa attività estrattiva e la modificazione del deflusso naturale delle acque con la costruzione di manufatti di vario genere, contribuendo ulteriormente al processo di degrado ambientale

Dal punto di vista morfologico per tutto il corpo collinare possono essere individuati tre diversi stili principali (PICCOLI, et al., 1981).

- I. Area di pianura. Tipica della fascia altimetrica meno elevata (0-70 m.s.l.m.) ed è caratterizzato da pendenze modeste (0° - 5°). Questo corrisponde all'ubicazione delle litologie calcaree e delle coltri colluviali.
- II. Area pedecollinare. Tipica delle zone caratterizzate dalla fascia altimetrica media (70-250 m.s.l.m.), e principalmente costituito da accumuli detritici e presenta una acclività intermedia (5° - 20°) tra il primo ed il terzo stile morfologico.
- III. Area collinare. È peculiare della fascia altimetrica più elevata (250-600 m.s.l.m) dove più frequentemente si trovano le rocce di origine vulcanica. Normalmente in quest'ultima fascia si riscontrano le zone a maggiore acclività (20° - 60°).

La suddivisione in tre fasce altimetriche separate è possibile per due motivi fondamentali: da un lato, la genesi dei corpi eruttivi, che si sono intrusi nelle formazioni sedimentarie dapprima sollevandole e poi fratturandole per poter emergere; dall'altro, la notevole differenza delle caratteristiche fisico-meccaniche tra le rocce sedimentarie, più deformabili e tenere, e quelle magmatiche, rigide e resistenti, che comporta un'azione fortemente selettiva dei fattori esogeni erosivi.

3 Valutazione della Pericolosità Spaziale di Frana

3.1 Metodo di calcolo

La propensione al franamento di un versante non esprime la probabilità di occorrenza dei fenomeni franosi in termini assoluti o in termini temporali, ma solamente l'attitudine di quel versante ad ospitare il fenomeno frana. La stima di tale propensione può essere condotta in molteplici modi; quelli più comunemente impiegati si possono raggruppare nelle seguenti categorie (Canuti & Casagli, 1996; Chung & Fabbri, 2003):

- Valutazione empirica: in cui viene effettuata una zonazione del territorio in base alla valutazione soggettiva della suscettibilità all'instabilità dei versanti sulla base delle informazioni raccolte con l'inventario delle frane e con la lettura e interpretazione della relativa carta inventario dei fenomeni franosi;
- Indicizzazione degli effetti: in cui l'analisi della distribuzione dei fenomeni franosi presenti e passati viene utilizzata come base per la predisposizione a fenomeni futuri, mediante la definizione di percentuali areali in frana per singoli tematismi (ad esempio la pendenza);
- Indicizzazione delle cause: si basa sull'assegnazione di pesi a diverse classi di fattori della franosità e sulla loro combinazione;
- Analisi statistica: in cui l'integrazione dei fattori della franosità avviene mediante analisi multivariate;
- Analisi morfometrica: in cui il confronto fra l'altezza e la pendenza di pendii stabili e di pendii interessati da fenomeni franosi permette di ottenere l'indicizzazione delle suscettibilità;
- Analisi deterministica: mediante la quale la potenzialità al franamento è espressa dal fattore di sicurezza, ricavato con metodi di analisi di stabilità all'equilibrio limite.

- **Analisi probabilistica (o di affidabilità):** mediante la quale l'incertezza nella determinazione di alcuni parametri necessari alle analisi di stabilità è ovviata considerando variabili stocastiche in modo da ottenere distribuzioni di probabilità del fattore sicurezza.
- **Analisi cinematica:** nel caso di ammassi rocciosi, in cui le frane sono influenzate essenzialmente dall'assetto delle discontinuità, la distribuzione delle orientazioni di queste ultime può essere analizzata in base ai requisiti cinematici richiesti per l'innescò del movimento.

Tutte queste tecniche possono essere usate indifferentemente in un progetto GIS; la scelta di un metodo o dell'altro è condizionata unicamente dal tipo di dato necessario allo sviluppo del calcolo. Il GIS (acronimo di Geographic Information Systems e traducibile in Sistema Informativo Geografico o Territoriale), è un sistema per la gestione, l'analisi e la visualizzazione di informazioni con contenuto geografico/spaziale. L'informazione geografica è gestita tramite insiemi di dati (dataset geografici) che costituiscono modelli di fenomeni geografici, cioè riferibili al territorio, utilizzando strutture di dati semplici e generiche.

Nel presente lavoro è stato usato il metodo dell'indicizzazione degli effetti dove il calcolo della pericolosità è stato effettuato attraverso una semplice analisi statistica bivariata (Lee & Min, 2001; Lee & Pradhan, 2007) delle relazioni tra le frane, suddivise per tipologia, e i fattori ricavabili dal modello di elevazione del terreno (pendenza, esposizione, curvatura). Il risultato ultimo è quello di produrre un indice di franosità (Ifrel), che esprime il rapporto spaziale fra posizione di occorrenza (avvenimento, accadimento) della frana per ogni classe di strato informativo (layer). La zonazione della suscettibilità ai fenomeni franosi viene pertanto ricavata anziché da una interpretazione soggettiva della carta inventario dei movimenti franosi, dall'applicazione di un metodo di calcolo.

3.2 Strati informativi

L'utilizzo dell'indice di franosità prevede l'impiego di un certo numero di Strati Informativi (layers). Una prima fase progettuale dello studio è finalizzata alla scelta dei layers, che come requisito essenziale devono essere a copertura totale dell'area; dati discontinui comprometterebbero, infatti, il risultato dell'analisi portando ad una sovrastima o sottostima del problema, producendo, ad ogni modo, un risultato sbagliato. Il primo passo è stato quello di produrre, integrare e organizzare gli strati informativi necessari per il calcolo di Ifrel. In questo studio sono state utilizzate le informazioni ricavate da: Carta delle pendenze, Carta dell'esposizione, Carta della curvatura, in combinazione con la Carta inventario delle aree in frana. Infatti sono stati ritenuti basilari gli SI pendenza (decisamente incisiva se si studiano fenomeni "gravitativi"), esposizione, curvatura (concavità o convessità del terreno possono essere buoni indicatori delle condizioni di stabilità). Oltre ad essi si è ritenuto opportuno introdurre un'altro SI: aree in frana (in base al principio che la maggior parte dei fenomeni gravitativi si presentano come riattivazioni di precedenti frane) .

Per il calcolo dell'indice relativo Ifrel è stato necessario lavorare con il formato raster, quindi una volta ottenuti i layer in formato vettoriale si è proceduto alla conversione. Ciò che viene fatto è discretizzare la superficie presa in considerazione in unità denominate celle (o pixel) le cui dimensioni vengono stabilite dall'operatore. Ai fini del presente lavoro la superficie è stata discretizzata considerando come unità fondamentale una cella quadrata di passo 5 m x 5 m a cui viene attribuito un valore che rappresenta la classe di appartenenza. Si hanno quindi, per ogni

strato informativo, un insieme di pixel che creano una maglia; ogni pixel avrà, indipendentemente dai pixel limitrofi, un proprio valore autonomo, ad esempio, di pendenza (nel layer pendenza), di esposizione (nel layer esposizione), di pericolosità (nella Carta di Pericolosità), etc.

In questo lavoro di tesi però non sono state utilizzate le informazioni ricavate dalla Carta litologica dell'area in studio, in quanto non disponibile in formato vettoriale nella rete, che certamente contribuirebbe ad una migliore valutazione dei fattori che condizionano la franosità. Infatti il layer litologia influisce in maniera preponderante sulla predisposizione al dissesto nell'area di studio (in un'analisi del dissesto non si può prescindere dal conoscere il comportamento meccanico dei litotipi affioranti). Nel caso dei Colli Euganei, ad esempio, esistono buone cartografie litologiche (Dal Pra et al., 1995) non disponibili però in formato vettoriale.

LAYER PENDENZA

La Carta delle pendenze è un tematismo che discretizza il territorio in funzione delle pendenze esistenti nell'area. La pendenza nel progetto GIS è stata calcolata in gradi. Per prima cosa, dalla cartografia numerica alla scala 1:5000 scaricabile dal Portale Cartografico della Regione Veneto (Regione Veneto, <http://www.regione.veneto.it>), sono state estratte le informazioni contenenti i dati relativi ai punti quotati e alle linee di quota, le isoipse. Ogni punto ha la sua coordinata spaziale rappresentata da una terna di numeri: X, Y, Z, rispettivamente la latitudine, la longitudine e la quota. Le coordinate usate calcolate sul sistema di riferimento Monte_Mario_Italy_1. La lista delle coordinate dei punti e quindi la lista dei punti stessi, rappresenta di fatto una modellazione numerica della superficie. Successivamente è stato ricavato il TIN (Triangular Model Network) dell'area, ovvero una struttura dati vettoriale costituita da superfici triangolari, che vanno a costituire un modello tridimensionale della superficie. Un vantaggio rilevante del metodo della triangolazione consiste nella capacità di riprodurre con accuratezza la distribuzione spaziale dei dati: nelle zone in cui i punti sono molto fitti, il metodo della triangolazione genera triangoli di piccole dimensioni che dettagliano le irregolarità della superficie, mentre, dove i punti sono più radi, i triangoli sono più ampi e la superficie risultante è più regolare.

Sfruttando l'algoritmo di calcolo di modellazione del terreno presente nel programma utilizzato e usando come base di calcolo il TIN precedentemente ricavato, attraverso l'interpolazione è stata ottenuta una griglia di passo di 5 m x 5 m che approssima, con una attendibile precisione per gli scopi del lavoro, la Carta delle pendenze. Il layer così ottenuto è stato riclassificato in base al numero di classi che rappresentano le classi di pendenza (Tab. 3.1).

LAYER ESPOSIZIONE

Utilizzando come base di calcolo il TIN precedentemente ricavato, è stata ricavata la carta relativa all'esposizione dei versanti. Attraverso l'interpolazione è stata ottenuta una griglia di passo 5 m x 5 m e ad ogni cella è stato automaticamente attribuito un colore rappresentativo della classe di esposizione di appartenenza. Anche in questo caso è stato necessario procedere ad una riclassificazione per meglio adattare la Carta dell'esposizione ai fini del lavoro. Le classi di esposizione sono quindi state suddivise in 8 classi così come mostrato nella Tab. 3.1.

LAYER CURVATURA

La Carta della curvatura è composta da una griglia di celle, ad ogni cella (di area 25 m²) viene attribuito un valore positivo, negativo o nullo a seconda del fatto che crei, in rapporto con le celle adiacenti, una superficie convessa, concava o piana. La carta ottenuta sempre a partire dal

TIN è stata poi riclassificata così come mostrato nella Tab. 3.1. Naturalmente a seconda che ci si sposti verso i valori più estremi, sia in positivo che in negativo, aumenta la curvatura e quindi si accentua rispettivamente la convessità o concavità della superficie.

Pendenza			Esposizione			Curvatura		
Valore riclass.	N. Celle (5x5m)	Classi	Valore riclass.	N. Celle (5x5m)	Classi	Valore riclass.	N. Celle (5x5m)	Classi
1	1141979	0°-10°	1	197837	Flat	1	106617	29.25
2	1660610	10°-20°	2	514020	N	2	735078	-3.25 -1
3	974944	20°-30°	3	430323	NE	3	2852353	-1 1
4	439293	30°-40°	4	510341	E	4	503606	1 2.25
5	131880	40°-50°	5	579034	SE	5	180180	2.25 23.75
6	50763	50°-60°	6	562026	S			
			7	527510	SW			
			8	550550	W			
			9	527828	NW			

Tabella 3.1. Riclassificazione dei dati derivati dal modello di elevazione del terreno.

LAYER FRANE

Per il formato vettoriale delle aree in frana si è utilizzato il database cartografico presente nell'archivio IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia) che contiene le geometrie delle frane informatizzate su più livelli informativi. Per ogni frana è presente un codice alfanumerico (ID-FRANA) che consente un'univoca identificazione del fenomeno. Inoltre sono tematizzate per tipologia di movimento (fig. 3.1).

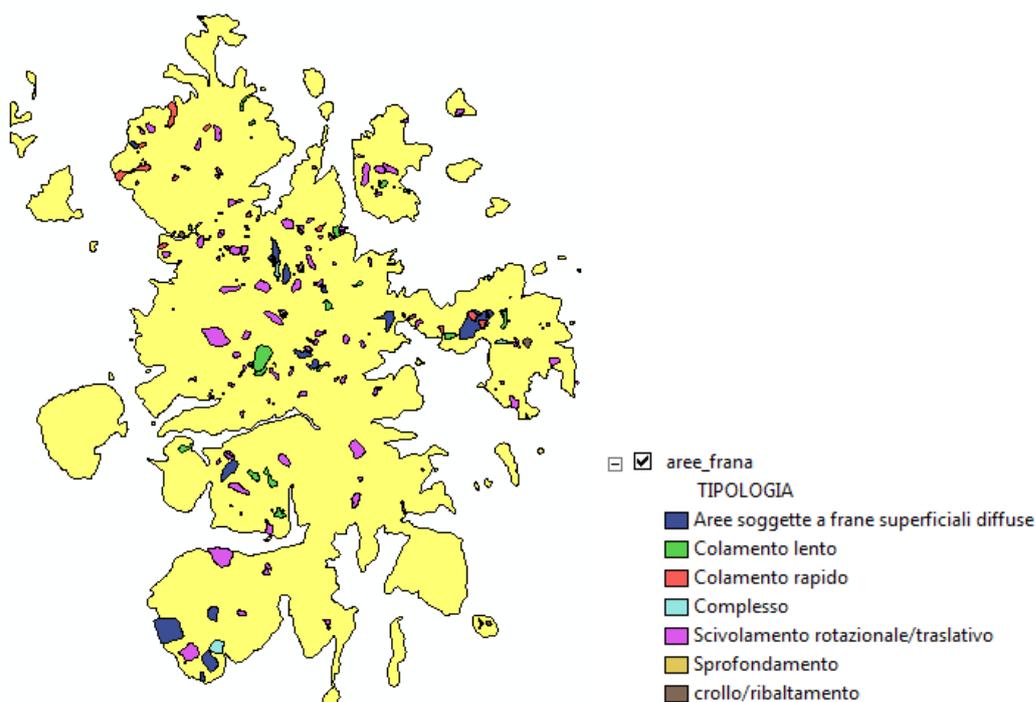


Figura 3.1. Layer "aree in frana" in formato vettoriale dell'area di studio.

3.3 Calcolo dell'indice di franosità relativa (Ifrel)

Una volta elaborati gli strati informativi, tramite l'indice relativo Ifrel è stata valutata la correlazione tra la distribuzione delle frane e ciascuno strato informativo. Tale correlazione è espressa dal valore di Ifrel calcolato dalla semplice relazione: $IFrel_i = Afi/Ai$, dove Afi è l'area in frana in una data classe del layer considerato e Ai è l'area totale della classe. Questa percentuale rappresenta il peso (o grado di influenza) di ciascuna classe sulla franosità.

Per ogni layer è stata effettuata la stessa procedura di calcolo, mettendo a confronto i raster delle aree per ogni tipologia di frana e i raster dei diversi layer. Al fine di valutare la tipologia e la frequenza dei fenomeni franosi maggiormente rappresentativi di una certa classe, il confronto è stato condotto considerando le aree in frana differenziate per tipologia di movimento primario. Sono state così distinte 2 classi:

- I. scivolamenti rotazionale/traslativi (68% del totale);
- II. frane superficiali (frane superficiali diffuse, colamenti rapidi e colamenti lenti) (27% del totale).

Analizzando i dati ottenuti è stato possibile mettere in luce quale classe all'interno di un certo strato informativo sia maggiormente predisposta allo sviluppo di movimenti franosi e quali caratteristiche siano necessarie, ma non sufficienti, affinché sussista un determinato tipo di movimento. Nelle pagine successive vengono riportati i calcoli dell'Ifrel effettuati su ogni layer; le aree su cui vengono effettuati i calcoli sono espresse in "count", che rappresenta il numero di celle (5x 5 m) a cui è associata la stessa informazione.

3.3.1 Calcolo dell'indice di franosità relativo alla pendenza

Il 26% dell'area è occupato dalla classe di pendenza 0°-10°, segue la classe 10-20° con una superficie di circa il 38% del totale e la classe 20°-30° con circa il 22% (Tab. 3.2 e 3.3).

Nel caso degli Scivolamenti rotazionale/traslativi, il 49% delle aree in frana è concentrato nella classe 10-20°, il 23% circa nella classe 0°-10° e circa il 19% nella classe 20°-30°. Considerando gli indici di franosità relativa i valori massimi si hanno per la **classe 10-20°** con **Ifrel = 4%**, seguono le **classi 0°-10° e 20°-30°** con **Ifrel = 2%**.

Nel caso delle frane superficiali, il 43% delle aree in frana è concentrato nella classe 0-20°, il 42% circa nella classe 10°-20° e circa il 10% nella classe 20°-30°. Considerando gli indici di franosità relativa i valori massimi si hanno per la **classe 0-10°** con **ifrel = 4%**, segue la **classe 10°-20°** con **Ifrel = 3%**.

Tabella 3.2. Calcolo IFrel della pendenza per i scivolamenti.

Value	FROM_	TO	Area totale (Count 5x5 cell)	Area in frana (Count 5x5 cell)	ifrel	ifrel (%)
1	0	10	1141979	27832	0.02	2%
2	10	20	1660610	60268	0.04	4%
3	20	30	974944	24086	0.02	2%
4	30	40	439293	8924	0.02	2%
5	40	50	131880	2000	0.02	2%
6	>50		50763	488	0.01	1%
		Tot	4399469	123598	0.13	

Tabella 3.3. Calcolo IFrel della pendenza per le frane superficiali.

Value	FROM_	TO	Area totale (Count 5x5 cell)	Area in frana (Count 5x5 cell)	ifrel	ifrel (%)
1	0	10	1141979	45890	0.04	4%
2	10	20	1660610	44868	0.03	3%
3	20	30	974944	10579	0.01	1%
4	30	40	439293	4662	0.01	1%
5	40	50	131880	1440	0.01	1%
6	>50		50763	520	0.01	1%
		Tot	4399469	107959	0.11	

3.3.2 Calcolo dell'indice di franosità relativo all'esposizione

Dai calcoli effettuati risulta che il 4% dell'area di studio è piatta mentre il 12% è esposta a N, il 10% a NE, il 12% a E, il 13% a SE, il 13% a S, il 12% a SW, il 12% ad W ed infine il 12% a NW (Tab. 3.4 e 3.5).

Il maggior numero di fenomeni di scivolamenti sono concentrati in corrispondenza di versanti esposti verso N-NW. Più precisamente si può notare che il 15% delle aree in frana ricade nella classe di esposizione NW e il 15% nella classe N. Infatti, andando a considerare gli Indici di franosità relativa, si nota come i valori più alti si abbiano per le classi di esposizione N e NW (Ifrel = 4%).

I versanti esposti a S-SE-SW mostrano una netta predisposizione a fenomeni più superficiali con una percentuale di area in frana rispettivamente di 16%, 15% e 15%. Considerando gli indici di franosità relativa i valori massimi si hanno per la classe S, SW,SE ed E con Ifrel =3%.

Tabella 3.4. Calcolo IFrel dell'esposizione per i scivolamenti.

Value	FROM_	TO	Label	Area totale (Count 5x5 cell)	Area in frana (Count 5x5 cell)	ifrel	ifrel (%)
1	-1	0	Flat	197837	3577	0.02	2%
2	337.5	22.5	N	514020	19092	0.04	4%
3	22.5	67.5	NE	430323	8281	0.02	2%
4	67.5	112.5	E	510341	10798	0.02	2%
5	112.5	157.5	SE	579034	14797	0.03	3%
6	157.5	202.5	S	562026	16964	0.03	3%
7	202.5	247.5	SW	527510	14786	0.03	3%
8	247.5	292.5	W	550550	16409	0.03	3%
9	292.5	337.5	NW	527828	18894	0.04	4%
			Tot	4399469	123598	0.24	

Tabella 3.5. Calcolo IFrel dell'esposizione per le frane superficiali.

Value	FROM_	TO	Label	Area totale (Count 5x5 cell)	Area in frana (Count 5x5 cell)	ifrel	ifrel (%)
1	-1	0	Flat	197837	4499	0.02	2%
2	337.5	22.5	N	514020	7590	0.01	1%
3	22.5	67.5	NE	430323	9295	0.02	2%
4	67.5	112.5	E	510341	14639	0.03	3%
5	112.5	157.5	SE	579034	16254	0.03	3%
6	157.5	202.5	S	562026	17705	0.03	3%
7	202.5	247.5	SW	527510	16638	0.03	3%
8	247.5	292.5	W	550550	14828	0.03	3%
9	292.5	337.5	NW	527828	6511	0.01	1%
			Tot	4399469	107959	0.22	

3.3.3 Calcolo dell'indice di franosità relativo alla curvatura

Il 65% dell'area rientra all'interno delle classi di curvatura tra -1 e 1 (Tab. 3.6 e 3.7).

Gli scivolamenti rotazionale/traslativi risultano distribuiti principalmente all'interno della classe di curvatura 3 (-1;1). Il 70% ricadono nella classe 3 ed il 20% nella classe 2(-3.25;-1). I valori dell' Ifrel risultano maggiori quindi per la classe di curvatura (-3.25;-1) e per la classe (-1;1) con un indice di franosità relativo pari al 3%.

Il 78% delle frane superficiali appartengono alla classe (-1;1) avente Ifrel= 3%, segue la classe (-3.25;-1) con il 15%.

Tabella 3.6. Calcolo IFrel della curvatura per i scivolamenti.

Value	FROM_	TO	Area totale (Count 5x5 cell)	Area in frana (Count 5x5 cell)	ifrel	ifrel (%)
1	-29.25	-3.25	106617	2156	0.02	2%
2	-3.25	-1.00	735078	25110	0.03	3%
3	-1.00	1.00	2852353	86129	0.03	3%
4	1.00	2.25	503606	8316	0.02	2%
5	2.25	23.75	180180	1784	0.01	1%
		Tot	4377834	123495	0.11	

Tabella 3.7. Calcolo IFrel della curvatura per le frane superficiali.

Value	FROM_	TO	Area totale (Count 5x5 cell)	Area in frana (Count 5x5 cell)	ifrel	ifrel (%)
1	-29.25	-3.25	106617	1455	0.01	1%
2	-3.25	-1.00	735078	16202	0.02	2%
3	-1.00	1.00	2852353	83786	0.03	3%
4	1.00	2.25	503606	5240	0.01	1%
5	2.25	23.75	180180	1059	0.01	1%
		Tot	4377834	107742	0.08	

3.3.4 Discussione dei risultati

I dati ottenuti mediante il calcolo dell'indice di franosità mostrano le correlazioni tra le classi dei layer e le tipologie di frana considerate più rappresentative nell'area: scivolamenti rotazionali/traslativi e movimenti superficiali.

Il calcolo dell'Ifrel ha messo in evidenza che per le classi di pendenza si deduce che la maggior propensione al dissesto si ha per pendenze relativamente basse, comprese tra 0° e 20°. In particolar modo i scivolamenti rotazionali/traslativi mostrano una tendenza all'instabilità per pendenze comprese tra i 10° e i 20°, leggermente superiori rispetto ai fenomeni superficiali.

I valori di Ifrel relativi all'esposizione ha messo in evidenza una netta distinzione fra i versanti esposti verso N-NNW interessati da fenomeni di scivolamento prevalente; mentre i versanti esposti a S-SE, invece, mostrano una netta predisposizione a fenomeni più superficiali. I primi infatti sono caratterizzati da pendenze leggermente più elevate rispetto a quelli esposti a S-SE.

Dall'analisi dell'Ifrel corrispondente al layer curvatura è risultato che la classe di curvatura (-1;1) è particolarmente incline alla predisposizione al dissesto; questo rispecchia appunto la predisposizione dei fenomeni per bassi valori di pendenza. al contrario le classi di curvatura che si discostano da tale valore risultano poco favorevoli all'innesco dei fenomeni gravitativi.

3.4 Pericolosità spaziale

La determinazione della propensione al franamento di un versante non esprime la probabilità di occorrenza dei fenomeni franosi in termini assoluti o in termini temporali, ma solamente l'attitudine di quel versante ad ospitare il fenomeno frana (pericolosità spaziale). La stima di tale propensione è stata condotta mediante l'indice di franosità spaziale (IF_spaziale). Il calcolo di tale indice è determinato dalla somma degli indici di franosità relativa: $IF_{spaziale} = \sum Ifri$. *Ifri* rappresenta gli indici relativi riclassificati dei 3 layer , pendenza, esposizione, curvatura in rapporto con le aree in frana della carta inventario di frana (fig. 3.1). La riclassificazione degli indici di franosità relativa è stata fatta attribuendo ai valori dei GRID di ogni singolo layer i valori relativi all'Ifrel.

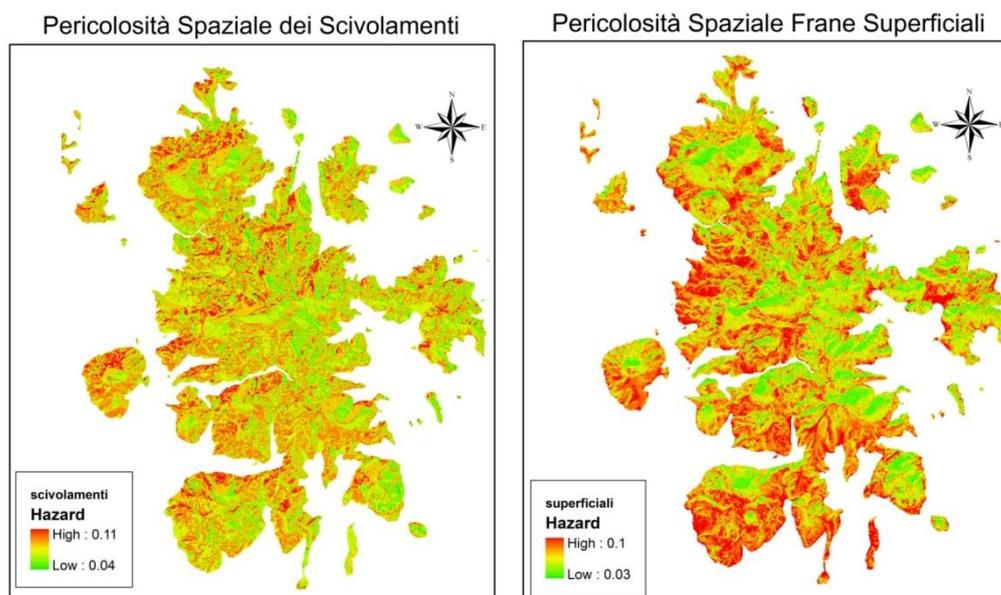


Figura 3.2. Carte della probabilità di occorrenza spaziale di scivolamenti e frane superficiali.

4 Stato di attività dei fenomeni franosi

Per “stato di attività” si indica una distribuzione temporale dell’attività franosa, in altri termini si indica la frequenza di attivazione/riattivazione dei fenomeni franosi. Il dettaglio impiegato nella descrizione dell’attività dei fenomeni è particolarmente importante quando si vogliono impiegare le informazioni tratte da un censimento delle frane per la valutazione delle tendenze evolutive dei fenomeni.

L’archivio IFFI (<http://www.sinanet.apat.it/>) ha ricavato la data di attivazione dei fenomeni franosi da differenti fonti di informazione come archivi di enti di ricerca e territoriali, giornali, pubblicazioni, testimonianze orali, audiovisivi, documenti e cartografia storica, foto aeree, immagini telerilevate o mediante metodologie di datazione. La data di attivazione è un parametro molto importante per molteplici aspetti quali le soglie d’innescio pluviometriche e il tempo di ricorrenza. Purtroppo le informazioni contenute nell’archivio riguardano solo 66 delle 368 frane censite. È da notare che il maggior numero di attivazioni è censito a partire dagli anni ’50. Questo è da porre in relazione con l’incremento demografico e la conseguente antropizzazione del territorio, con l’aumento delle conoscenze in campo geologico e con l’incremento delle fonti di informazione.

4.1 Tempo di ritorno e pericolosità sulla base dei dati dell’archivio IFFI

Per valutare il tempo di ricorrenza del fenomeno è fondamentale disporre delle informazioni sulle date di attivazione e riattivazione di ciascun fenomeno franoso. Il tempo di ricorrenza risulta indispensabile per l’applicazione dei principali metodi di valutazione della pericolosità da frana che può essere determinata, in funzione della tipologia di movimento, come combinazione del tempo di ritorno e dell’intensità del fenomeno. Il Progetto IFFI prevede l’impiego del metodo BUWAL (1998) che utilizza una matrice codificata in cui sono previste quattro classi di tempi di ritorno a cui riferire i fenomeni franosi (fig. 4.1). Tale metodologia, definibile come “della frequenza probabile” permette una valutazione speditiva della pericolosità suddivisa in quattro livelli crescenti (da P1 - moderata a P4 - molto elevata), è generalmente una valutazione ragionata del periodo di ricorrenza del fenomeno senza un vero e proprio valore statistico, nella metodologia utilizzata sono definite quattro distinte classi di “frequenza probabile”.

Matrice della frequenza probabile		
Frequenza probabile	1 – 30 anni	frana attiva, frane quiescenti – episodiche ad alta frequenza
	30 – 100 anni	frane quiescenti, frana episodica a media frequenza
	100 – 300 anni	frane quiescenti, frana episodica a bassa frequenza
	> 300 anni	frane antiche e paleofrane

Figura 4.1. Matrice della frequenza probabile. (APAT; Rapporto sulle frane in Italia, Il progetto IFFI)

La determinazione della pericolosità, intesa come probabilità che un evento franoso di una data intensità si verifichi entro un determinato intervallo di tempo, passa, in aggiunta alla stima della “frequenza probabile”, attraverso la definizione delle caratteristiche salienti del movimento franoso (quali tipologia, velocità, volumi e/o spessori del materiale coinvolto). La combinazione

tra queste caratteristiche, intesa come prodotto tra i rispettivi pesi attribuiti, è la “magnitudo” del fenomeno ovvero un indice dell’energia dell’evento.

La pericolosità viene calcolata combinando in una apposita matrice la magnitudo e la frequenza probabile ottenendo quattro livelli di pericolosità: moderata (P1), media (P2), elevata (P3) e molto elevata (P4). Per i fenomeni per i quali è stimato un periodo di ricorrenza superiore a 300 anni il metodo non prevede l’attribuzione di uno dei suddetti livelli di pericolosità.

Matrice della pericolosità				
Intervalli di magnitudo ↓	Pericolosità connessa alla magnitudo dei fenomeni franosi P4, P3, P2, P1, non definita			
6 - 9	P4	P4	P3	n.d.
3 - 4	P3	P3	P2	
1 - 2	P2	P1	P1	
Frequenza probabile →	alta Fp = 1 - 30	media Fp = 30 - 100	bassa Fp = > 100 - 300	Frane antiche (> 300 anni)

Figura 4.2. Matrice della pericolosità. (APAT; Rapporto sulle frane in Italia, Il progetto IFFI)

4.2 Analisi dei tempi di ritorno

Il progetto IFFI prevede l’attribuzione di una specifica classe di tempo di ritorno attraverso criteri qualitativi (fig. 4.3), infatti è generalmente una valutazione ragionata del periodo di ricorrenza del fenomeno attraverso le varie segnalazioni o consultazione di archivi storici senza un vero e proprio valore statistico. Inoltre solo il 25% circa dei fenomeni franosi contiene informazioni sulle riattivazioni e per di più solo quelle a partire dagli anni '50 possono essere ritenute affidabili, mentre per il restante 75% circa non si ha alcuna informazione in riguardo.

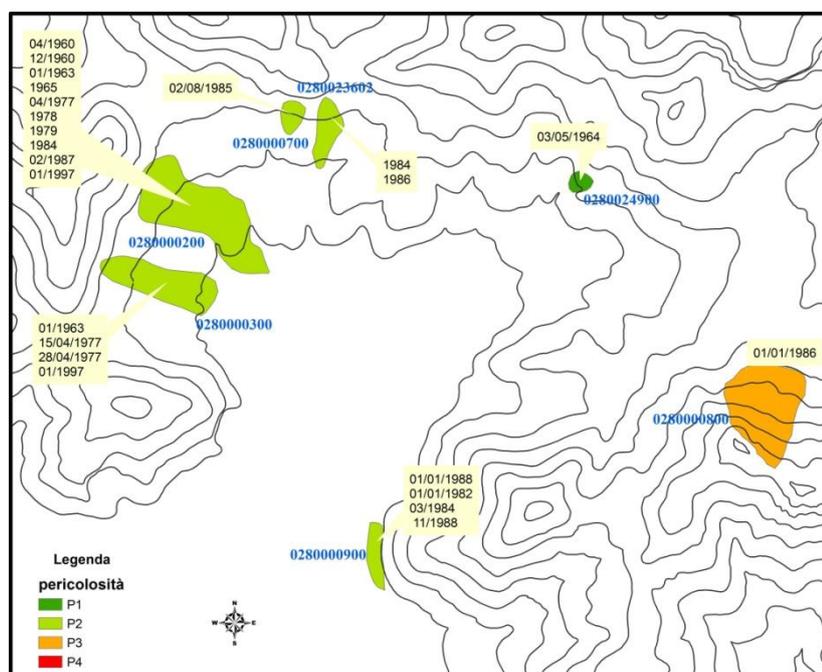


Figura 4.3. Classificazione della pericolosità in base al criterio IFFI. Per ciascuna frana dell’esempio sono riportate le date di attivazione.

Al fine di confrontare lo stato di attività di ciascun movimento franoso con la frequenza probabile attribuita dal Progetto IFFI, è stata fatta una media dei tempi di occorrenza di ogni singolo fenomeno (mediante i dati di riattivazioni disponibili), ottenendo un tempo medio di ricorrenza (**T**). Il parametro T è stato ottenuto dividendo l'intervallo di tempo compreso fra il 1950 e il 2001 (circa 50 anni) dal numero di riattivazioni del fenomeno.

Nelle tabelle 4.1 e 4.2 sono mostrati due esempi di frane classificate dal progetto IFFI con una Frequenza Probabile compresa tra 1-30 anni, affinché si riesca a comprendere meglio il tipo di confronto che si vuole fare. Le frane che si vogliono descrivere sono identificate rispettivamente da ID frana 0280000200 e 0280000300, situate in località Galzignano terme.

La frana 0280000200 ha avuto nel corso della sua evoluzione 10 riattivazioni. Pur non essendo possibile valutare lo stato di attività con una cadenza costante, si osserva come il fenomeno franoso abbia una ricorrenza media di circa 5 anni. Invece la frana 0280000300 ha avuto nel corso della sua evoluzione 4 riattivazioni ottenendo così un tempo medio di ricorrenza di circa 13 anni.

L'esempio evidenzia come frane con tempi di ricorrenza diversi fra loro vengano trattate allo stesso modo perché viene utilizzato un ampio intervallo di tempo (1-30 anni).

Tabella 4.1.

ID frana	Date di riattivazione										Tempo medio di ricorrenza (anni)
0280000200	04/1960	12/1960	1963	1965	1977	1978	1979	1984	1987	1997	5

Tabella 4.2

ID frana	Date di riattivazione				Tempo medio di ricorrenza (anni)
0280000300	1963	15/04/1977	28/04/1977	1997	13

In tabella 4.3 si riporta l'esempio della frana identificata con ID frana 0280001000, situata in località Monselice. In questo caso la frana è classificata con una Frequenza Probabile compresa tra 30-100 anni ma dai calcoli effettuati mediante i dati di riattivazioni disponibili si ottiene un tempo di ricorrenza medio di circa 17 anni.

Tabella 4.3

ID frana	Date di riattivazione			Tempo medio di ricorrenza (anni)
0280001000	1988	03/2001	04/2001	17

Quindi si può desumere come i dati riportati dal progetto IFFI, oltre ad essere relativi solo a piccole percentuali dei fenomeni censiti, sono inadeguati per una valutazione temporale della pericolosità.

5 Conclusioni

In questo lavoro di tesi si è cercato di valutare la pericolosità di frana del Parco dei Colli Euganei utilizzando esclusivamente banche dati on-line in modo da testare l'efficacia di queste informazioni territoriali sul web per un eventuale utilizzo pratico di queste fonti.

Il Portale Cartografico della Regione Veneto (Regione Veneto, <http://www.regione.veneto.it>) ha permesso l'accesso alla cartografia numerica alla scala 1:5000; da questa si sono estratte le informazioni riguardanti l'elevazione (isoipse e punti quotati) per ottenere un modello di elevazione digitale del terreno (DEM) da cui ricavare i fattori morfometrici (pendenza, esposizione e curvatura). Nonostante la facile reperibilità della cartografia si sono riscontrati degli errori sulle informazioni riguardanti l'elevazione. In particolar modo alcune informazioni sulla quota delle isoipse erano assenti o imprecise ed hanno richiesto una correzione.

L'archivio IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia) (<http://www.sinanet.apat.it/>) ha permesso di ottenere le informazioni relative ai fenomeni franosi in formato vettoriale; tale formato, oltre a contenere dati di tipo geometrico, associa per ogni fenomeno una tabella di attributi da cui ricavare le informazioni come ID-Frana (codice alfanumerico che consente un'univoca identificazione del fenomeno), tipologia di movimento, date di attivazione, pericolosità, etc. Tra i tipi di movimento previsti dal progetto IFFI, gli scivolamenti rotazionali e traslativi (che rappresentano ben il 68% delle aree in frana nel Parco dei Colli Euganei), vengono trattati come un unico fenomeno anche se si tratta di due meccanismi differenti, infatti, mentre i primi avvengono lungo superfici di rottura curve e concave verso l'alto, negli scivolamenti traslazionali la massa destabilizzata si sposta su di una superficie più o meno piana o leggermente ondulata senza apprezzabili movimenti rotazionali.

Il calcolo della pericolosità è stato effettuato attraverso una semplice analisi statistica bivariata (Lee & Min, 2001; Lee & Pradhan, 2007) delle relazioni tra le frane, suddivise per tipologia, e i fattori ricavabili dal modello di elevazione del terreno (pendenza, esposizione, curvatura). I risultati ottenuti hanno evidenziato il diverso peso dei fattori morfometrici sulle diverse tipologie franose. Tali risultati possono essere considerati soddisfacenti in cartografie della pericolosità spaziale a scala media e regionale (1:25.000 – 1:50.000).

Per una migliore valutazione della pericolosità, a scale maggiori e con informazioni quantitative sullo stato di attività dei fenomeni franosi, si rendono necessari ulteriori dati ancora non inclusi nelle banche date on line. Nel caso dei Colli Euganei, ad esempio, esistono buone cartografie litologiche (Dal Pra et al., 1995) non disponibili in formato vettoriale, che certamente contribuirebbero ad una migliore valutazione dei fattori che condizionano la franosità. Inoltre, come spesso accade, mancano elementi per una valutazione temporale della pericolosità; nonostante le schede del progetto IFFI abbiano introdotto un campo relativo alle date di attivazione dei fenomeni, elemento utile per una valutazione quantitativa dell'evoluzione temporale, i dati riportati sono scarsi e relativi solo a piccole percentuali dei fenomeni censiti: nel caso dei Colli Euganei meno del 20% delle frane catalogate contengono informazioni di attivazione/riattivazione.

6 Bibliografia

- APAT, 2007. *Rapporto sulle frane in Italia. Il progetto IFFI – Metodologia, risultati e rapporti regionali*. APAT, Rapporti 78/2007
(http://www.apat.gov.it/site/it/IT/Rubriche/Eventi/2007/Novembre/Rapporto_frane.html).
- Astolfi G., Colombara F.** (1990) - *La Geologia dei Colli Euganei*. Mem. Ist. Geol. Miner. Univ. Padova.
- Canuti P. & Casagli N.** (1996) - *Considerazioni sulla valutazione del rischio di frana*. CNR-GNDCI, pubb. n. 846. Estratto da "Fenomeni Franosi e Centri Abitati", Atti del Convegno di Bologna del 27 Maggio 1994.
- Chacón J., Irigaray C., Fernández T. & El Hamdouni R.** (2006) - *Engineering geology maps: landslides and geographical information systems*. Bull. Eng. Geol. Environ., **65**, 341–411.
- Chung C.F. & Fabbri A.** (2003) - *Validation of spatial prediction model for landslide hazard mapping*. Natural Hazard, 30, 451-472.
- Cruden D. M. & Varnes D. J.** (1996) – *Landslide Type and processes, in: Landslides investigation and mitigation*. (Ed. A.K. Turner, L.R. Schuster). Transp. Res. Board, Spec. Rep. 247, pp 36-75.
- Dal Piaz G.** (1935) - *La Costituzione geologica dei Colli Euganei*. Atti e Mem. Acc. Sc. Lett. Arti Padova, v.51, 10-20 pp., Padova.
- Dal Pra A., Dilallo E., Pasuto A., Sedea R. & Silvano S.** (1995) - *Carta della franosità dei Colli Euganei*. - Dip. Geologia, Paleontologia e Geofisica, Ist. Ric. per la protezione geologica, Padova.
- Lee S. & Pradhan B.** (2007) - *Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequency ratio and logistic regression models*. Landslide, 4: 33-41.
- Lee S., Min K.** (2001) - *Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea*. Environmental Geology, 40: 1095-1113.
- Piccoli G., Ballati R., Binotti C., Di Lallo E., Sedea R., Dal Prà A., Cataldi R., Gatto G.O., Ghezzi G., Marchetti M., Bulgarelli G., Schiesaro G., Panichi C., Tongiorgi E., Baldi P., Ferrara G.C., Massari F., Medizza F., Iliceto V., De Vecchi Gp., Gregnanin A., Piccirillo E.M., Sbettega G.** (1976) - *Il sistema idrotermale euganeo-berico e la geologia dei Colli Euganei*. Mem. Ist. Geol. Miner. Univ. Padova, v. 30, 266 pp., 97 ff, Padova
- Piccoli G., Sedea R., Bellati R., Di Lallo E., Medizza F., Girardi A., De Pieri R., De Vecchi Gp., Gregnanin A., Piccirillo E.M., Norinelli A., Dal Prà A.** (1981) – *Note illustrative della carta geologica dei Colli Euganei alla scala 1:25000*, II Ed. Mem. Ist. Geol. Miner. Univ. Padova, v. 34, 520-570 pp., carta della franosità dei Colli Euganei. 1:25000, Padova.
- Progetto IFFI** (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia) ISPRA. Dipartimento Difesa del Suolo-Servizio Geologico d'Italia .Regione Veneto(2006) (<http://www.sinanet.apat.it/progettoiffi.it>)
- Portale Cartografico della Regione Veneto** (Regione Veneto, <http://www.regione.veneto.it>)
- Varnes D.J. & IAEG Commission on Landslides** (1984) - *Landslide Hazard Zonation - a review of principles and practice*. UNESCO Paris, 63pp.