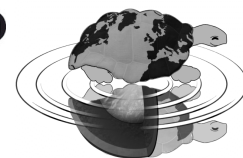




UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO
SCUOLA DI DOTTORATO
TERRA, AMBIENTE E BIODIVERSITÀ



Dottorato di Ricerca in Scienze della Terra
Ciclo XXIV

**Scenari di rischio e sistemi di supporto alle
decisioni per la gestione delle emergenze
idrogeologiche**

Ph.D. Thesis

Ivan Frigerio
Matricola R08056

Tutore
Prof. Marco Masetti
Co-tutor
Dott. Simone Sterlacchini

Anno Accademico
2010-2011

Coordinatore
Prof. Elisabetta Erba

INDICE

1. <u>INTRODUZIONE</u>	1
1.1 Premessa	1
1.2 Struttura della tesi	3
2. <u>IL DISSESTO IDROGEOLOGICO</u>	8
2.1 Introduzione	8
2.2 Il dissesto idrogeologico in Lombardia	11
3. <u>AREA DI STUDIO</u>	13
3.1 Inquadramento generale	13
3.2 Geomorfologia	13
3.3 Geologia	15
3.4 Caratteristiche idrometeorologiche	17
3.5 Inquadramento socio-economico	19
4. <u>SYSTEM REQUIREMENTS</u>	20

PARTE PRIMA

VALUTAZIONE DEL RISCHIO SU BASE ISTITUZIONALE

<i>Premessa</i>	25
5. <u>VALUTAZIONE DEL RISCHIO SU BASE ISTITUZIONALE</u>	26
5.1 Introduzione	26
5.2 Raccolta ed elaborazione dati	27
5.3 Carta di pericolosità	30
5.4 Carta di vulnerabilità	36
5.5 Carta di rischio	40
5.6 Scenari di rischio	42
5.7 Considerazioni	47

PARTE SECONDA**ANALISI DI SUSCETTIBILITÀ, PERICOLOSITÀ E RISCHIO**

<i>Premessa</i>	49
6. <u>DEBRIS FLOW</u>	50
7. <u>MATERIALI E METODI</u>	55
7.1 Introduzione	55
7.2 Raccolta dati	55
7.3 Modelli utilizzati	57
7.3.1 <i>Weights of Evidence (WofE)</i>	57
7.3.2 <i>Flow-R</i>	57
7.4 Tools utilizzati	58
7.4.1 <i>Applicativo GIS e DSS</i>	58
8. <u>ANALISI DI SUSCETTIBILITÀ</u>	59
8.1 Introduzione	59
8.2 Predisposizione del database	59
8.3 Analisi dei fattori predisponenti (predittori)	62
8.4 Modello Weights of Evidence (WofE)	65
8.4.1 Capacità di descrizione del modello	70
8.4.2 Validazione del modello	72
8.4.3 Mappa finale di suscettibilità	73
8.5 Considerazioni	76
9. <u>ANALISI DI PERICOLOSITÀ</u>	77
9.1 Introduzione	77
9.2 Dati utilizzati	78
9.3 Flow-R	80
9.4 Identificazione delle aree sorgenti	80
9.5 Modellazione del runout	83
9.5.1 <i>Stima della probabile direzione di flusso</i>	83
9.5.2 <i>Calcolo della massima distanza di arresto (runout)</i>	84
9.6 Calibrazione del modello	85
9.7 Risultati	88
9.8 Considerazioni	90

10. <u>ANALISI DI RISCHIO</u>	92
10.1 Introduzione	92
10.2 Dati utilizzati	93
10.3 Carta di rischio	94
10.4 Confronto tra le carte di rischio	96
10.5 Stima del danno	99
10.6 Considerazioni	108

PARTE TERZA

MODELLO DI INTERVENTO E GESTIONE DELLE EMERGENZE

<i>Premessa</i>	111
-----------------	-----

11. <u>GESTIONE DELLE EMERGENZE</u>	112
11.1 Introduzione	112
11.2 Pianificazione dell'emergenza	113
<i>11.2.1 Creazione di una banca dati di supporto alla gestione dell'emergenza</i>	113
<i>11.2.2 Definizione del modello di intervento</i>	120
11.3 Procedure di intervento	126
<i>11.3.1 Procedura rischio idrogeologico MODERATA CRITICITÀ (codice 2)</i>	128
<i>11.3.2 Procedura rischio idrogeologico ELEVATA CRITICITÀ (codice 3)</i>	130
<i>11.3.3 Procedura rischio idrogeologico EMERGENZA (codice 4)</i>	132
11.4 Considerazioni	134

12. <u>CONCLUSIONI</u>	135
------------------------	-----

13. <u>BIBLIOGRAFIA</u>	139
-------------------------	-----

1

INTRODUZIONE

1.1 Premessa

Negli ultimi decenni le continue problematiche connesse ai rischi naturali, in particolare quelle relative alle catastrofi idrogeologiche, sono state oggetto di crescente interesse da parte non solo della comunità scientifica, ma anche delle pubbliche amministrazioni competenti a causa dei danni ambientali indotti, nonché delle gravi perdite sia economiche che umane.

Dall'inizio del XXI secolo (2000-2008) i fenomeni franosi hanno interessato a livello mondiale circa 1,5 milioni di persone e sono costate più di 875 milioni di dollari (EM-DAT 2009), dato in costante crescita a causa dell'aumento globale della popolazione e della conseguente espansione urbanistica (NRC 2004). I costi socioeconomici diretti e indiretti, relazionati all'impatto delle frane, interessano non solo la popolazione, ma anche le relative proprietà pubbliche e private: industrie, strutture, infrastrutture, linee di comunicazione, ecc. Tra i disastri naturali, le frane sono annoverate al settimo posto, in termini di perdite umane (800-1000 vittime in media all'anno), dopo fenomeni atmosferici, alluvioni, terremoti, vulcani e temperature estreme. Una media di 940 persone, di cui la maggior parte asiatici, sono state uccise dalle frane nella decade compresa tra il 1993 e il 2002 (EM-DAT 2009). Bisogna precisare che, in molti casi, nei database che riportano statistiche sulle catastrofi naturali, le conseguenze delle frane sono spesso sottostimate. Questo è dovuto al fatto che la perdita di vite umane e i danni derivanti sono attribuiti principalmente ai fattori innescanti le frane, come uragani e terremoti, e non direttamente alle frane stesse (Nadim *et al.* 2006).

In ambienti montani, come quello Alpino, gli eventi idrogeologici sono particolarmente frequenti, causando perdita di vite umane e considerevoli danni economici, sociali e ambientali. In Italia si stima che il danno economico attribuito alle sole frane si aggiri attorno a 1-2 miliardi di dollari (UNU 2006). Tale stima è paragonabile a quella riscontrata in paesi come gli Stati Uniti d'America o l'India, con l'unica differenza che questi paesi sono molto più vasti e più popolati rispetto all'Italia. Inoltre, in zone montuose come le

Alpi, la concentrazione di eventi franosi è molto più alta che in altre regioni del Paese (Reichenbach *et al.* 1998). In Italia, durante il periodo tra il 1861 e 2004, le frane hanno raggiunto il secondo tasso più alto (0,09) di mortalità dopo i terremoti (Fig. 1.1).

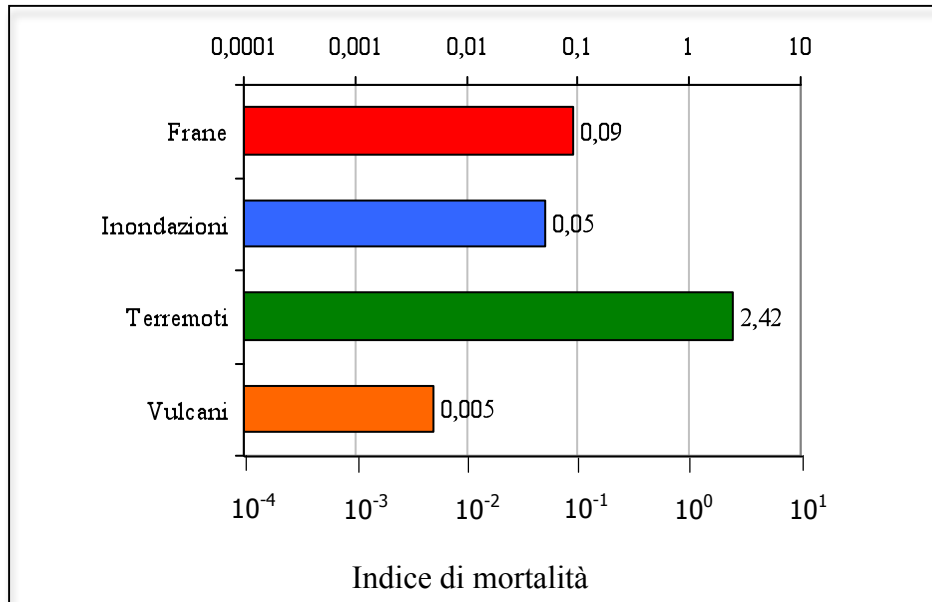


Fig. 1.1 – Indici di mortalità da eventi naturali (frane, inondazioni, terremoti, eruzioni vulcaniche) in Italia nel periodo compreso tra il 1861 ed il 2004 (Guzzetti *et al.* 2005, modificato).

In conseguenza dell'alto impatto di tali fenomeni, si è dato avvio non solo ad un'analisi conoscitiva di rischio su tutto il territorio nazionale, ma anche ad un programma mirato di gestione delle emergenze, finalizzato ad una mitigazione dei rischi attraverso l'istituzione di programmi di previsione e prevenzione (ISPRA, 2003). I concetti di previsione e di prevenzione dai rischi naturali costituiscono, nelle attività di gestione delle catastrofi, la fase più importante e delicata, poiché richiedono un'adeguata conoscenza delle condizioni del territorio.

Negli ultimi anni, le attività di prevenzione e di pianificazione hanno ricevuto un grosso aiuto da sistemi informatici in grado di raccogliere, immagazzinare, gestire ed analizzare dati; in particolare, l'esperienza raggiunta nell'utilizzo dei *Geographical Information Systems* (GIS) ha evidenziato le grandi potenzialità di tali sistemi per l'analisi dei rischi, per il controllo del territorio e per la gestione delle emergenze. Un sistema GIS, attraverso la gestione spaziale dei dati, consente infatti un facile accesso alle informazioni relative al territorio di analisi, permette di associare differenti tipologie di dati tramite sovrapposizioni, rende possibile analizzare la distribuzione spaziale degli oggetti e dei fenomeni e rappresentarne le interazioni spaziali. La possibilità di archiviare le

informazioni territoriali associate alla posizione geografica è una caratteristica fondamentale anche per l'evoluzione dell'analisi spaziale attraverso modelli (fisici, matematici, statistici, ecc.) ulteriore strumento di studio nel processo di valutazione del rischio.

Tuttavia, in un contesto di gestione delle emergenze, i sistemi informativi geografici risultano essere uno strumento statico, soprattutto durante la gestione in tempo reale di un evento calamitoso. In una fase delicata come questa, infatti, è molto importante associare al dato geografico informazioni essenziali come flussi di azioni, soggetti coinvolti, materiali e mezzi effettivamente disponibili sul territorio per fronteggiare l'emergenza.

La risposta a questo problema è stato un ulteriore importante utilizzo congiunto dei GIS, il quale ha portato allo sviluppo di sistemi informativi territoriali in grado di gestire in modo integrato i dati spaziali derivati dall'analisi territoriale con i sistemi di supporto alle decisioni (DSS) (Densham and Goodchild, 1989 and Crossland *et al.*, 1995). Si mette quindi a disposizione del decisore uno strumento attraverso il quale gestire le procedure associate ad ogni entità trattata dal sistema (sia esso un evento, una risorsa o una persona), progettandole in fase di pianificazione e attivandone l'esecuzione in fase di emergenza. Il risultato è la combinazione di un GIS tradizionale con uno strumento di *workflow management* in grado di gestire i processi organizzativi e decisionali, consentendo ai soggetti che devono gestire il sistema di descrivere formalmente le procedure di intervento e di gestione di un'emergenza.

E' in tale contesto che si inserisce il lavoro di ricerca sviluppato in questo progetto di dottorato. La metodologia proposta, finalizzata all'individuazione preliminare di scenari di rischio per la preparazione e la gestione delle emergenze idrogeologiche, prevede l'utilizzo sia di sistemi informativi territoriali e di modelli statistico probabilistici per analisi di dati territoriali (predisposizione al dissesto, "pericolosità", impatti, "rischio" e scenari di "rischio"), sia di strumenti DSS per la gestione dei modelli di intervento della Protezione Civile.

1.2 Struttura della tesi

Il lavoro svolto durante i tre anni di dottorato ha avuto come obiettivo principale quello di definire ed applicare un flusso di lavoro finalizzato alla definizione di scenari di "rischio" connessi a fenomeni franosi, sui quali predisporre un modello di intervento per la

gestione delle emergenze idrogeologiche. La struttura della tesi è articolata in una parte iniziale comune, in cui viene introdotto il tema del dissesto idrogeologico e viene descritta l'area di studio, in tre parti principali, in cui vengono affrontati gli argomenti cardine della metodologia utilizzata e infine una conclusione (Fig. 1.2).

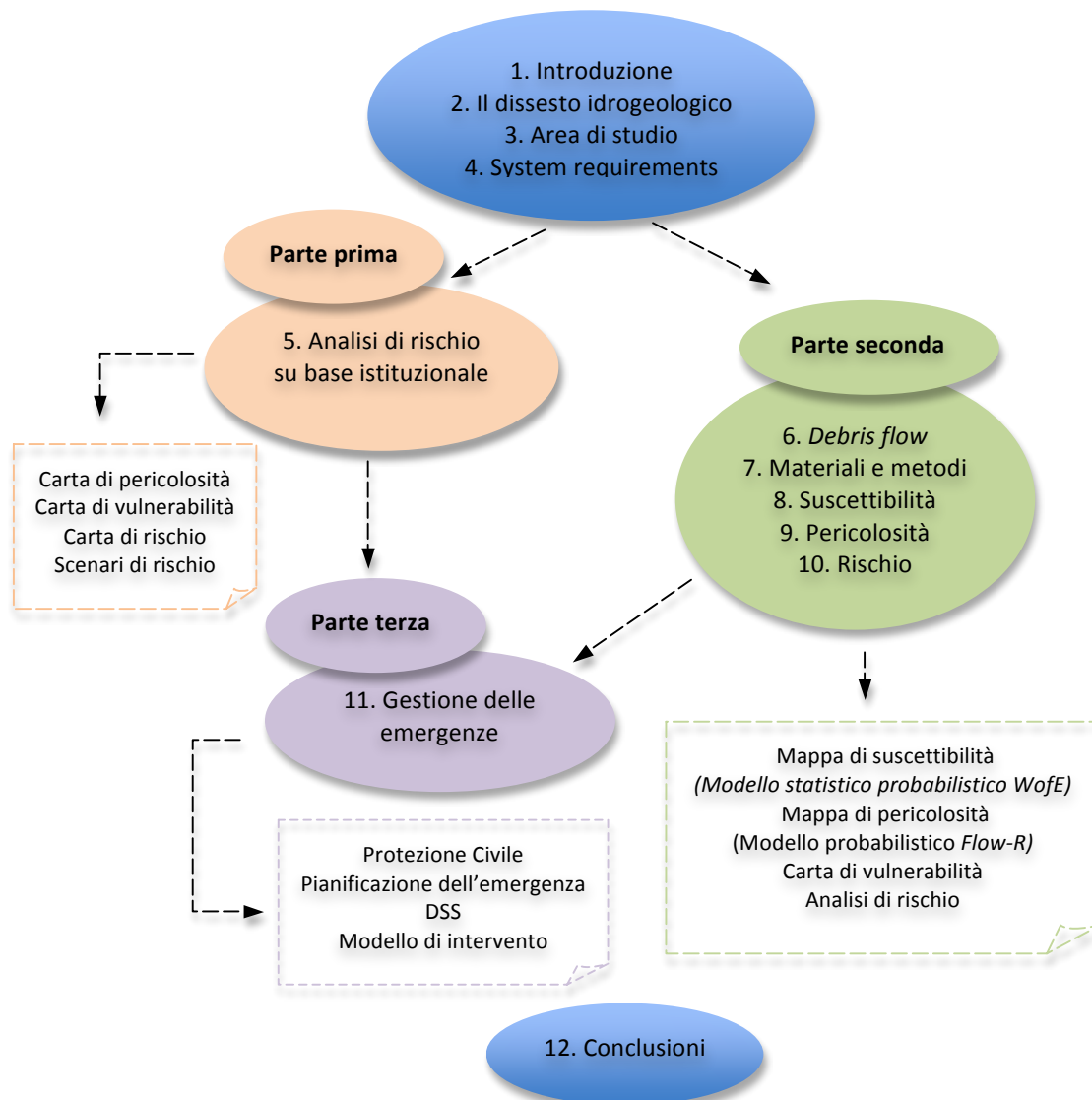


Fig. 1.2 – Struttura della tesi.

Le sezioni sopra citate sono state poi ulteriormente ripartite in 12 capitoli (Fig. 1.2).

L'introduzione è strutturata in quattro capitoli, considerando anche il presente. Nel capitolo 2 viene proposta un'introduzione generale che descrive il dissesto idrogeologico in Italia, facendo riferimento ad eventi calamitosi pregressi, e una breve descrizione della situazione franosa della Regione Lombardia (in cui si colloca l'area di studio).

Introdotta quindi l'argomento di studio, nel terzo capitolo viene presentata l'area sulla quale si è concentrato il lavoro di ricerca, la Comunità Montana Valtellina di Tirano in

provincia di Sondrio. Dopo un inquadramento generale, l'area di studio viene descritta da un punto di vista geologico, geomorfologico, idrometeorologico e socioeconomico.

L'argomento affrontato nel capitolo 4, "System requirement", analizza le richieste da parte delle istituzioni in merito alla metodologia per la valutazione dei rischi naturali ed antropici e alla gestione delle relative emergenze. In particolare, si evidenzia come le richieste cambino in funzione della scala di indagine, e quindi del dettaglio che si vuole raggiungere da una particolare analisi: dall'identificazione sul territorio delle sole aree a rischio idrogeologico a media e grande scala (1:25.000 – 1:50.000), fino alla raccolta dettagliata (1:2.000) di dati georeferenziati per la pianificazione e gestione delle emergenze a livello comunale.

Nella prima parte, costituita solamente dal capitolo 5, è proposta una metodologia (Fig. 1.3) per la valutazione del rischio conforme al quadro normativo vigente in Regione Lombardia (analisi di rischio su base istituzionale, Fig. 1.2).

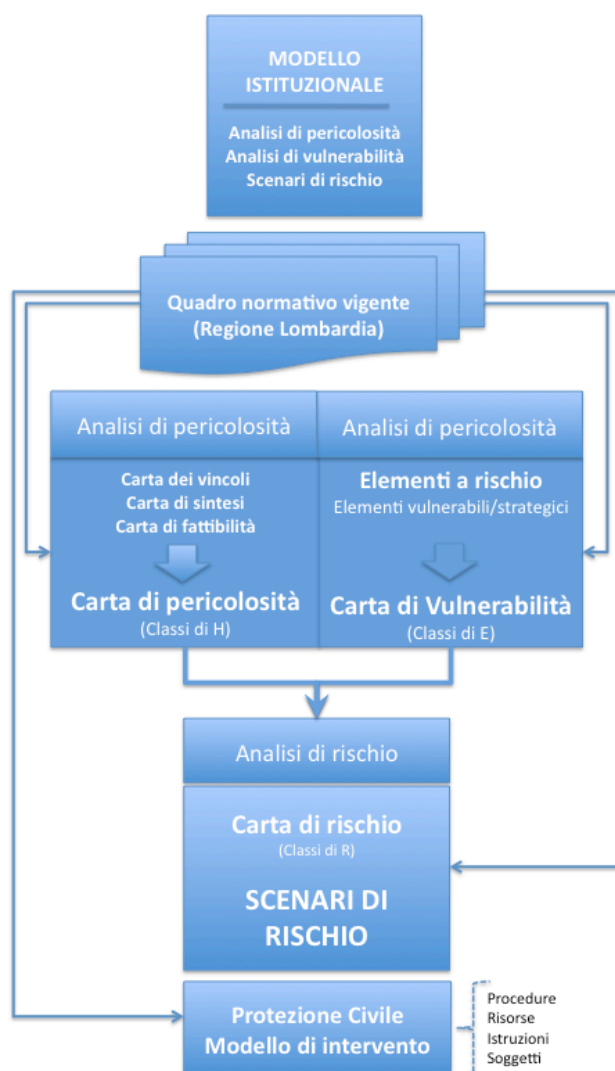


Fig. 1.3 – Workflow relativo alla metodologia istituzionale.

Attraverso il recepimento delle linee guida in merito alla gestione del rischio idrogeologico, viene prodotta innanzitutto una carta di pericolosità classificata in cinque classi (da H1 a H5), derivata dall'analisi e riclassificazione delle carte di sintesi e di fattibilità comunali (componente fisiologico dei PGT). Questa tiene conto delle diverse tipologie di fenomeni idrogeologici ed idraulici che insistono sul territorio. Successivamente è stata elaborata una carta di vulnerabilità, attraverso la raccolta e l'analisi di un database dettagliato sugli elementi a rischio allocati sul territorio e classificati in base alle categorie di uso del suolo (da E1 a E4). Infine, le due carte sono state incrociate spazialmente per ottenere, attraverso l'utilizzo di un'apposita matrice, una cartografia di rischio (classificata anch'essa con valori crescenti da R1 a R4) sulla quale sono identificati diversi scenari di rischio potenziali. Questi ultimi saranno successivamente messi in relazione con il modello di intervento della Protezione Civile descritto nel capitolo 11.

Nella seconda parte dell'elaborato (capitoli 6-10) è riportato un differente approccio metodologico, utilizzato anch'esso per la valutazione del rischio idrogeologico alla scala dell'intera Comunità Montana. Il capitolo 6 illustra il fenomeno franoso indagato (*debris flow*), descrivendone i fattori di innesco, la propagazione e la deposizione del materiale. Il settimo capitolo descrive i materiali e metodi utilizzati. Il capitolo 8 è incentrato sul metodo utilizzato per derivare la mappa di suscettibilità da frana. Il primo passo è stato quello di allestire un database relativo alle nicchie di distacco dei *debris flow*. In seguito, sono stati analizzati e preparati i dati contenenti le variabili connesse all'innesco di *debris flows*. Queste sono relative alle caratteristiche morfometriche del territorio (altitudine, pendenza, esposizione, curvatura dei versanti, rilievo interno ecc.), all'uso del suolo e alla geologia, fattore imprescindibile per l'analisi di fenomeni di colata detritica. L'analisi successiva ha visto l'applicazione di una tecnica statistica bivariata, *Weights of Evidence* (Bonham-Carter *et al.* 1988; Agterberg *et al.* 1989), al fine di valutare (in termini di "peso") l'associazione spaziale tra le variabili considerate e le nicchie di distacco dei *debris flows* inventariati, e ottenere quindi le possibili aree di innesco del fenomeno in termini di probabilità condizionale per l'intera area della Comunità Montana Valtellina di Tirano. Il metodo applicato si basa sul principio dell'attualismo, quindi sull'assunzione che i fenomeni potenzialmente pericolosi accadranno in futuro con maggior probabilità in condizioni geologiche, geomorfologiche, tettoniche, idrogeologiche simili a quelle che hanno già indotto fenomeni pericolosi nel passato nelle stesse aree o in aree con caratteristiche simili. I risultati ottenuti dall'analisi sulla suscettibilità sono stati

successivamente utilizzati come dati di input in una seconda analisi, descritta nel capitolo 9, finalizzata ad ottenere una mappa di “pericolosità” che descrive la distribuzione spaziale degli eventi considerati. Questo è reso possibile grazie all’utilizzo di un modello probabilistico, Flow-R (Horton *et al.* 2008), attraverso cui sono state definite le traiettorie di flusso e le relative probabilità di passaggio e deposizione del materiale mobilizzato a seguito di possibili eventi di *debris flow*. La mappa così ottenuta è stata poi classificata in 5 classi di pericolosità crescente (da H1 a H5) e messa in relazione (capitolo 10) alla carta di distribuzione degli elementi vulnerabili elaborata nel capitolo 5, con la finalità di ottenere una carta di “rischio” specifica per i *debris flow*. Quest’ultima è stata quindi confrontata con quella ottenuta dalla metodologia istituzionale (capitolo 5), al fine di evidenziare i vantaggi e gli svantaggi delle diverse metodologie utilizzate. In ultimo, grazie alla disponibilità di un database topografico in scala 1:2.000 delle strutture allocate sul territorio e sulla base dell’assunzione che le probabilità di flusso, calcolate con Flow-R, siano uguali alle probabilità di impatto sugli elementi vulnerabili, viene proposta un’analisi volta a stimare il danno atteso. L’analisi economica è stata eseguita solamente sugli edifici e scegliendo un comune campione eterogeneo per ciò che concerne la pericolosità e con una buona disponibilità di dati relativi al valore di mercato degli immobili presenti.

L’analisi presentata nella terza ed ultima parte di questo elaborato di tesi (capitolo 11) ha come obiettivo quello di sviluppare un sistema integrato di gestione delle emergenze da proporre al servizio comunale di Protezione Civile di ognuno dei dodici comuni della Comunità Montana Valtellina di Tirano. Attraverso l’utilizzo di un software GIS con un sistema di supporto alle decisioni integrato (DSS), è stata elaborata una banca dati di supporto alla pianificazione e gestione delle emergenze. Il database realizzato, contenente informazioni quali soggetti, strutture strategiche, materiali e mezzi, è stato messo in relazione a specifiche procedure di intervento, elaborate attraverso l’utilizzo di uno strumento di *workflow management* e realizzate con lo scopo di fornire un reale supporto alle persone coinvolte nella gestione delle emergenze. Le procedure di intervento sono state realizzate sulla base delle specifiche contenute nella “Direttiva Regionale per la Pianificazione di Emergenza degli Enti Locali” (L.R. 16/2004) e nella direttiva di allertamento “Determinazione in merito alla gestione organizzativa e funzionale del sistema di allerta per i rischi naturali ai fini di Protezione Civile” (D.G.R. 22 dicembre 2008 n. 8/8753). Per ultimo, è stato dedicato un capitolo alle conclusioni (capitolo 12), in cui sono riportate le considerazioni finali relative alle metodologie di analisi utilizzate nel lavoro di tesi, nonché possibili sviluppi futuri.

2

IL DISSESTO IDROGEOLOGICO

2.1 Introduzione

L'Italia è un paese dove l'esposizione al rischio di catastrofi idrogeologiche è particolarmente elevata. Le frane, estremamente diffuse sul territorio nazionale, sono le calamità naturali che si ripetono con maggiore frequenza e, dopo i terremoti, causano il maggior numero di vittime e di danni a centri abitati, infrastrutture, beni ambientali, storici e culturali. Dal dopoguerra ad oggi si è poi assistito ad un aumento del rischio da frana a causa della crescente antropizzazione del territorio, con un'espansione del tessuto urbano spesso in aree instabili. Solo in questi ultimi venti anni si sono verificati eventi geologico-idraulici catastrofici in Val Pola (1987), in Piemonte (1994), in Versilia (1996), a Sarno e Quindici (1998), nell'Italia nord-occidentale (2000) e nella Val Canale - Friuli Venezia Giulia (2003), Giampileri (Messina, 2009), Cinqueterre (Liguria, 2011).

Negli ultimi anni la ricerca sulle frane ha compiuto importanti passi in avanti sia in ambito internazionale che nazionale. L'Assemblea Generale delle Nazioni Unite, con la dichiarazione del "Decennio Internazionale per la Riduzione dei Disastri Naturali" (1990-2000), ha promosso la costituzione nell'ambito dell'UNESCO di una Commissione delle Società Geotecniche Internazionali per il censimento mondiale dei fenomeni franosi (International Geotechnical Societies' UNESCO Working Party on World Landslide Inventory - WP/WLI) che ha predisposto linee guida per uniformare i criteri di descrizione e classificazione delle frane.

Dopo l'evento catastrofico di Sarno si è rafforzata l'esigenza di avere un quadro completo ed omogeneo sulla distribuzione delle frane sul territorio nazionale, sia per quanto riguarda l'archiviazione delle informazioni, che per la rappresentazione cartografica dei fenomeni. E' a tale esigenza che risponde l'Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (Progetto IFFI). Il progetto ha come obiettivo l'identificazione e la mappatura dei movimenti franosi secondo modalità standardizzate e condivise. Ad oggi il Progetto IFFI ha censito quasi 470.000 frane che interessano un'area di circa 20.000 km², pari al 6,6%

del territorio nazionale e ha portato all'individuazione e perimetrazione, attraverso una metodologia qualitativa, dei comuni suddivisi per le varie regioni con diverso "livello di attenzione per il rischio idrogeologico" (Fig. 2.1) (molto elevato, elevato, medio, basso, non classificabile).

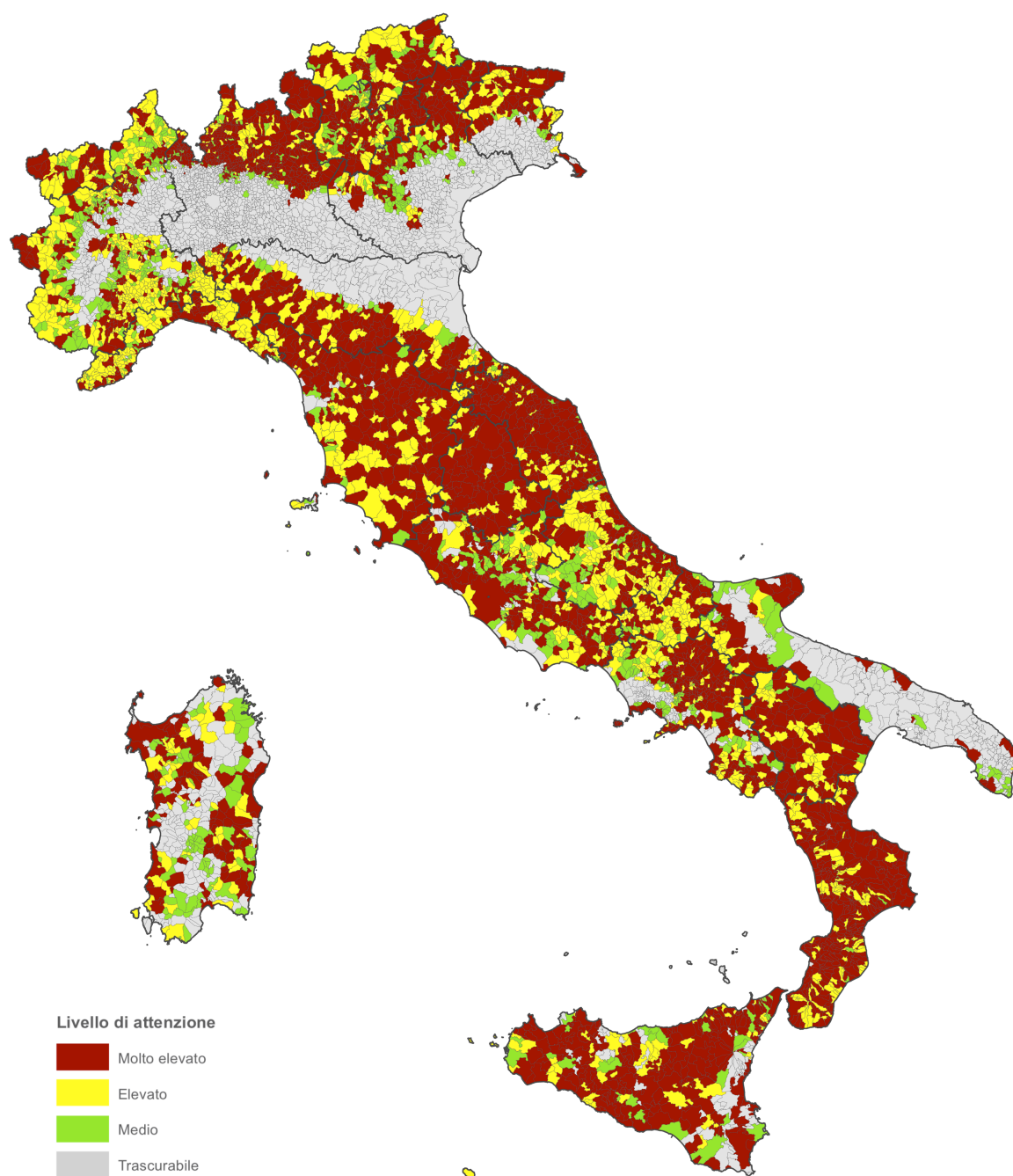


Fig. 2.1 – Livelli di attenzione, relativamente al rischio da frana, su base comunale

Tra tutte le regioni in cui sono stati rilevati fenomeni di dissesto il Piemonte presenta il maggior numero di comuni interessati (1046), mentre la Sardegna è la regione con il minor numero (42). Le regioni caratterizzate dalla percentuale più alta (100%), relativa al numero totale dei comuni interessati da aree a rischio potenziale più alto, sono la Calabria, l'Umbria e la Valle d'Aosta, mentre la Sardegna è quella con la percentuale minore (11,2%) (dati forniti dal Ministero dell'Ambiente e Tutela del Territorio).

Preso atto dell'alto livello di rischio che caratterizza gran parte del territorio italiano, si è provveduto ad un aggiornamento della normativa vigente in materia di difesa del suolo, accompagnato da un nuovo impulso della ricerca scientifica nei confronti di tali problematiche. Lo studio di queste ultime, oltre ad avere un indubbio interesse scientifico, riveste particolare importanza poiché costituisce un indispensabile supporto alle Amministrazioni competenti nella definizione delle metodologie di studio del rischio geologico-idraulico, nell'individuazione e perimetrazione delle aree a rischio, nella sperimentazione di nuovi sistemi di controllo e di intervento per la salvaguardia dei soggetti a rischio (popolazione, centri abitati, infrastrutture). Le ricerche svolte fino a oggi hanno messo in luce la complessità, nel nostro paese, dell'analisi del rischio geologico-idraulico, diretta conseguenza dell'estrema eterogeneità degli assetti geologico-strutturali, idrogeologici e geologico-tecnici e di un'ampia gamma di condizioni microclimatiche differenti anche in aree limitrofe o apparentemente simili. A tutto questo si somma il fatto che la penisola italiana, essendo geologicamente "giovane", è ancora soggetta a intensi processi morfogenetici che ne modellano in modo sostanziale il paesaggio, si comprende come i fenomeni di dissesto legati al rischio geologico-idraulico possano manifestarsi, in relazione alle molteplici combinazioni di tutte le variabili in gioco, secondo diverse modalità. Inoltre occorre tenere conto dei cambiamenti climatici in atto, che concorrono a determinare cambiamenti talora radicali degli equilibri idrogeologici dei bacini idrici (significative modificazioni nell'umidità del suolo, nello scorrimento superficiale dell'acqua, nella portata dei fiumi e dei laghi) e la mancanza d'interventi di manutenzione da parte dell'uomo, soprattutto nelle aree montane in abbandono, aree in cui tendenzialmente non si esercitano più le tradizionali attività agricole e forestali. Se ad un diverso regime delle precipitazioni (in parte meno estese ma più concentrate temporalmente che nel passato) associamo una forte densità di popolazione e di attività economiche, ne consegue un incremento del grado di rischio idrogeologico verso valori ben al di sopra di qualsiasi soglia di accettabilità.

Sono riscontrabili evidenti diversità dei fenomeni idrogeologici, soprattutto legate alle differenti entità dei volumi coinvolti, alla velocità del movimento, ai numerosi contesti territoriali in cui si possono verificare (area di fondovalle, pedemontana o di versante) e alle numerose tipologie (ad esempio crolli, scivolamenti, colate, *debris flow*). Per un'efficace valutazione del rischio associato a un determinato evento atteso per una certa porzione di territorio diventa allora indispensabile la conoscenza di tutti i fattori sopra indicati e, quindi, un approfondito studio dello stesso e dei fenomeni naturali che lo caratterizzano.

2.2 Il dissesto idrogeologico in Lombardia

In Lombardia le aree vulnerabili non sono circoscrivibili in territori limitati, ma si può affermare che quasi tutte le aree alpine e prealpine e dell'Oltrepò Pavese hanno subito in passato gli effetti degli eventi franosi. In particolare si sono mostrati molto vulnerabili i territori del bacino dell'Adda (Valtellina e Val Chiavenna), i bacini di Serio e Brembo (Val Seriana e Val Brembana), il bacino dell'Oglio (Valcamonica) ed ampie porzioni dell'Oltrepò Pavese e dell'Alto Lario Occidentale.

Criticità relative al dissesto idrogeologico si riscontrano nelle aree collinari e montane. Esse sono relative a grandi frane alpine ed appenniniche nonché ai fenomeni sui conoidi ed a crolli su abitati e viabilità. Ad esempio, in Valmalenco (torrente Mallero) le frane di Spriana, immediatamente a monte di Sondrio, del Curlo, di Sasso del Cane, di Campo Francina, della Val Torreggio (affluente di destra del Mallero) determinano elevate condizioni di rischio anche per l'innescò di consistenti fenomeni di trasporto solido che possono determinare condizioni di pericolo per la città di Sondrio. In Val Masino le locali condizioni geomorfologiche e strutturali sono causa di grandi frane, principalmente di crollo (Sasso Bisolo, Valbiore, Val Materlo, Val di Mello) con riattivazioni anche recenti e danni su abitati e viabilità. Nel bacino del Frodolfo si ubica una tra le maggiori frane attive delle Alpi lombarde nota come Ruinon (zona del Monte Confinale) che coinvolge volumi dell'ordine dei milioni di metri cubi che possono andare ad interessare l'asta fluviale, la strada statale e alcuni abitati, con ripercussioni anche su Bormio.

Secondo i dati censiti per il progetto IFFI, la provincia della Lombardia con il maggior numero di frane è Sondrio (41.666) e la tipologia di frana più frequente (41% circa) è il

colamento rapido o *debris flow* (Fig.2.2). Si tratta di fenomeni ampiamente diffusi nelle Alpi e nelle Prealpi sia sui versanti che lungo le aste torrentizie e che coinvolgono i depositi superficiali. Questo tipo di fenomeno si innesca solitamente in seguito a precipitazioni intense.

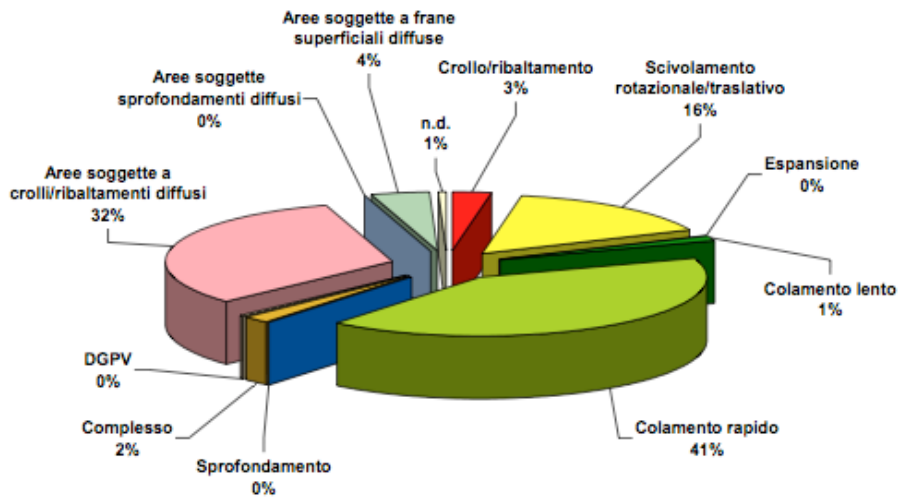


Fig. 2.2 – Percentuale delle frane in Lombardia per tipologia di movimento.

Tenendo presente il quadro del dissesto generale che caratterizza la regione Lombardia, si è cercato di delineare la predisposizione di un'area dove i fenomeni di instabilità sono particolarmente diffusi e strettamente incidenti sulle attività antropiche: l'area di competenza della *Comunità Montana Valtellina di Tirano*.

3

AREA DI STUDIO

3.1 Inquadramento generale

L'area di studio sulla quale si è focalizzata la ricerca è rappresentata dalla Comunità Montana Valtellina di Tirano in Regione Lombardia (Fig. 3.1). Costituita nel 1971 con lo

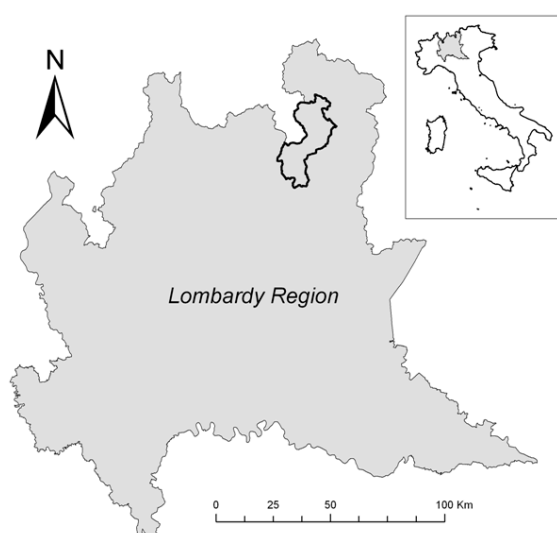


Fig. 3.1 – Area di studio:
Comunità Montana Valtellina di Tirano.

scopo di salvaguardare le zone montane, occupa una superficie di 453,49 K² che corrisponde a circa il 14 % dell'intera superficie territoriale della Provincia di Sondrio. Delle cinque Comunità Montane della Provincia di Sondrio, quella di Tirano è composta da dodici comuni: Aprica, Bianzone, Grosio, Grosotto, Lovero, Mazzo di Valtellina, Sernio, Teglio, Tirano, Tovo di Sant'Agata, Vervio e Villa di Tirano. Il territorio coincide quasi con quello dell'antico Terziere superiore della Valtellina, che ebbe in Tirano, ancor oggi

centro fra i maggiori della Provincia, il suo indiscusso capoluogo, testimoniato dal più vasto centro storico della Media Valtellina. L'area confina con la Svizzera, la Provincia di Brescia e le Comunità Montane di Bormio e Sondrio, correndo da nord a sud tra la catena delle Alpi Retiche e quella delle Prealpi Orobie.

3.2 Geomorfologia

Il territorio tipicamente alpino della provincia di Sondrio, presenta una morfologia giovanile, legata essenzialmente all'azione morfogenetica delle acque e dei ghiacciai, che

hanno agito con tempi e modalità diverse. Durante le glaciazioni oloceniche la regione alpina fu ricoperta da una spessa coltre di ghiacci e ampie lingue glaciali hanno modellato i versanti delle valli; il ghiacciaio dell'Adda è ridisceso più volte fino alla pianura (in Brianza), erodendo e levigando le valli e trascinando con sé una gran quantità di detriti. Inoltre la decompressione sviluppatasi sui versanti in seguito al ritiro dei ghiacci dell'ultima glaciazione (quella wurmiana), ha provocato fenomeni di rilascio nei pendii, con franamenti e formazione di deformazioni gravitative profonde, evidenziate da contropendenze e trincee. L'escavazione fluviale delle valli principali ha seguito in parte lineamenti strutturali ben precisi; da Tirano all'alto Lario, la Valtellina segue, nella sua porzione inferiore, l'importante lineamento insubrico, orientato est-ovest. Le valli laterali, tra cui si segnalano la Val Masino, la Valmalenco e la Val Grosina, e l'alta Valtellina, in cui l'attività dei ghiacciai quaternari ha avuto maggior intensità, hanno una morfologia maggiormente complessa, non più guidata, se non marginalmente, dalle strutture del substrato, ma fortemente condizionata dall'erosione glaciale e in seguito fluviale. Più lineare è la situazione del versante orobico, in cui le valli e quindi l'idrografia, presentano generalmente una orientazione perpendicolare rispetto al fondovalle valtellino.



Fig. 3.2 – Modello digitale del terreno (DEM) ombreggiato che evidenzia il tratto di fondovalle dove scorre il fiume Adda e la disposizione delle principali valli laterali.

Il modellamento glaciale è ben evidente in tutto il territorio provinciale. I resti del passaggio dei ghiacciai durante le loro fasi di espansione ed il loro ultimo progressivo ritiro, sono riconoscibili nei depositi e nei cordoni morenici, nei terrazzi di erosione glaciale e nei massi erratici, talora giganteschi, che compaiono in numerose zone. Estesi sono anche i depositi fluvio-glaciali, generati dal trascinarsi da parte delle acque delle grandi quantità di detrito generate dall'azione glaciale. Attualmente l'erosione torrentizia è preponderante in quasi tutta la provincia; essa ha interessato e spesso re-inciso le precedenti morfostrutture glaciali. Nelle soglie glaciali i torrenti si sono aperti la strada incidendo spesso profonde forre, non di rado guidate dai sistemi di frattura del substrato roccioso. Nelle parti basse delle valli invece la distribuzione dei corsi d'acqua è per lo più legata alla struttura tettonica del substrato; in alcuni casi si notano brusche deviazioni dell'asta torrentizia e si notano anche paleoalvei oramai inutilizzati dalle acque. Questi fenomeni sono legati all'attività tettonica recente (movimenti neotettonici) e, talora allo sviluppo di grandi frane. L'azione delle acque, localmente piuttosto intensa, provoca erosioni sia di sponda che di fondo, che possono intaccare in misura considerevole i versanti, innescando franamenti o mobilizzazioni di zone interessate da deformazioni gravitative profonde o di paleofrane. Per molte valli minori, che scendono fino alla quota del fondovalle, la morfologia è quindi oramai mutata da una forma a U, tipica dell'erosione glaciale, ad un profilo a V, dovuto all'incisione dei torrenti; al loro sbocco sul fondovalle si sono formati ampi conoidi alluvionali. Il fondovalle è spesso occupato da imponenti quantità di materiale alluvionale, con ampi terrazzi e piane alluvionali ben sviluppate. Lo sfruttamento delle acque per la produzione di energia elettrica, con la costruzione di numerosi bacini artificiali, ha spesso causato importanti variazioni nella portata di numerosi torrenti e fiumi. Assieme alla regimazione dei fiumi, gli interventi dell'uomo sulle acque hanno portato talora a brusche variazioni degli acquiferi e a problemi di stabilità dei terreni sovrastanti.

3.3 Geologia

La struttura geologica della Valtellina è strettamente legata agli eventi che hanno portato alla formazione della catena alpina. Nel territorio della provincia di Sondrio sono rappresentati tre domini alpini; le falde Pennidiche, che rappresentano la porzione più deformata della catena eo-alpina, occupano la porzione più occidentale (dalla Valmalenco alla Valchiavenna), mentre quelle Austroalpine, che costituiscono la parte più superficiale

(meno tettonizzata) ricoprono l'intera Valtellina, a nord della Linea Periadriatica che attraversa la bassa valle da Nuova Olonio a Stazzona; il versante orobico fa invece parte del Sudalpino. L'impilamento di queste falde, che ha dato l'avvio al processo di formazione della catena alpina nell'Era Cenozoica (Eocene, tra 57 e 35 milioni di anni fa), ha causato un ispessimento della crosta continentale e provocato nelle rocce, sottoposte a forti carichi litostatici, profonde trasformazioni metamorfiche. Dopo il metamorfismo, avvenuto tra 45 e 30 milioni di anni fa, e l'intrusione di masse granitoidi (30-35 milioni di anni), la parte assiale della catena ha subito un rapido sollevamento (valutato a 10-20 km) ed è retroscorsa sulle unità presenti più a sud (dominio Sudalpino) lungo la Linea Periadriatica. Le falde Pennidiche affiorano estesamente in Valchiavenna e mostrano una strutturazione piuttosto complessa in quanto rappresentano le unità geologiche che nel corso dell'orogenesi alpina hanno subito le maggiori sollecitazioni. In questa zona le litologie principali sono costituite da rocce metamorfiche come gli gneiss e micascisti, ma avvicinandosi alla Val Bregaglia, si assiste ad un sempre maggiore affioramento di serpentinite, anch'essa metamorfica. Nella bassa Val Codera e sulle creste che cingono la Valle dei Ratti affiorano le rocce magmatiche del massiccio Masino-Bregaglia (graniti e dioriti).

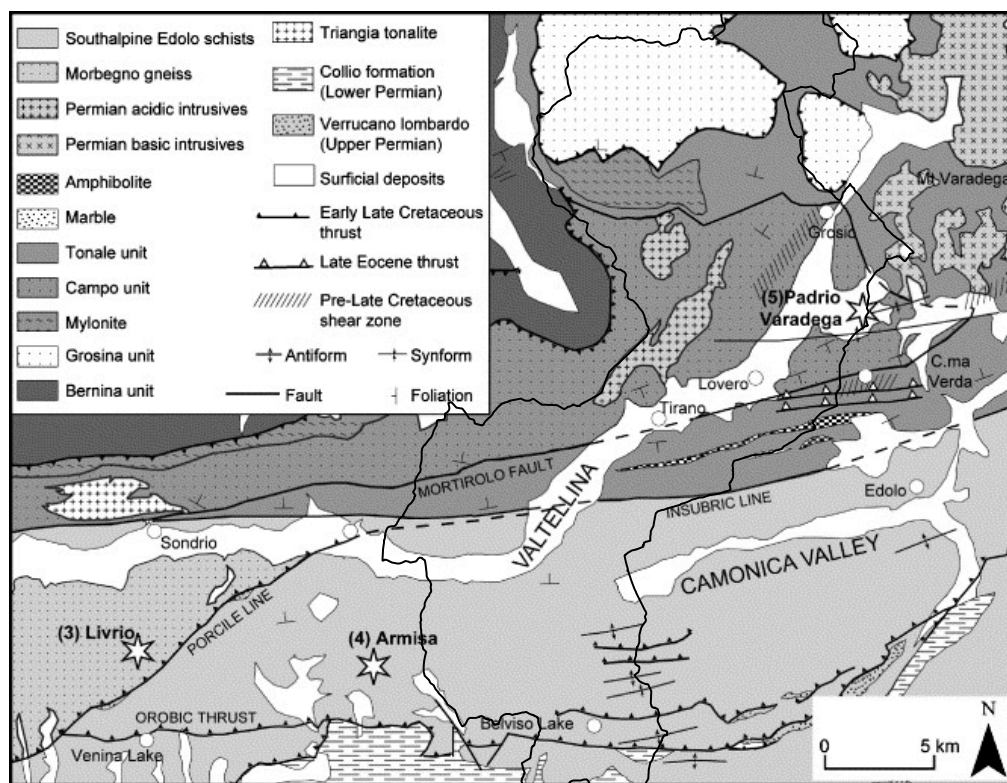


Fig. 3.3 – Mappa che identifica le principali unità geologiche dell'area di studio. Da Ambrosi e Crosta 2006 e successivamente modificata.

La Valtellina è percorsa da struttura tettonica importante, la Linea Periadriatica (anche nota come Linea Insubrica) che separa le Alpi Meridionali (orobiche) da quelle settentrionali (retiche). Questa linea, che rappresenta la superficie di sovrascorrimento delle unità Pennidiche ed Austroalpine sul dominio Sudalpino, è marcata da livelli di miloniti orientate est-ovest, che interessano tutte le rocce affioranti presso tale linea per oltre un chilometro in ampiezza. Inoltre la Linea Periadriatica non è costituita da un'unica superficie di movimento, bensì da un denso fascio di piani di movimento subparalleli che delimitano un'ampia zona (almeno qualche centinaia di metri) in cui le rocce hanno subito una frantumazione ed una deformazione molto spinta. Nella regione orobica affiora il basamento cristallino del dominio Sudalpino, composto da gneiss e micascisti a metamorfismo prealpino (probabilmente varisico). Il basamento sudalpino è interessato da una serie di linee tettoniche, trasversali rispetto al Lineamento Periadriatico, tra cui la più importante è senz'altro quella del Porcile che si sviluppa da Sazzo fino all'alta Val Tarlano. Questo lineamento consente l'affioramento ad oriente di frammenti di basamento di grado metamorfico più elevato.

Sul versante retico si entra nel dominio delle falde alpine con, ancora una volta, le rocce magmatiche del massiccio Masino-Bregaglia nella bassa e media Valtellina. Le rocce di questo massiccio si sono formate per solidificazione dei magmi entro la crosta terrestre, cosa che ha permesso loro di acquisire un particolare habitus: sono queste le granodioriti (note come "ghiardone della Val Masino"). Tra la Val Masino e la Val Malenco riaffiorano le rocce metamorfiche delle falde alpine, come le serpentiniti del Monte Disgrazia e infine il gruppo del Bernina è costituito da rocce magmatiche che però sono molto più antiche di quelle del massiccio Masino-Bregaglia. L'alta Valtellina è costituita da rocce che hanno subito nel corso dell'orogenesi alpina un metamorfismo molto leggero: sono queste le rocce del dominio detto Austroalpino. Nel gruppo Ortles-Cevedale domina la dolomia principale (roccia di origine sedimentaria) sotto la quale è presente però il basamento cristallino originario formato prevalentemente da filladi quarzifere. Queste filladi emergono in superficie originando cime come il Cevedale e il San Matteo.

3.4 Caratteristiche idrometeorologiche

Buona parte della Valtellina mostra un clima di tipo continentale, con piovosità media nella parte alta della valle, che diviene man mano più accentuata scendendo nella bassa

valle, verso il Lario. Le zone di maggior precipitazione (valori medi compresi tra 1300 e 1900 mm/anno) si concentrano a ridosso dello spartiacque fra la Val Brembana e la Valtellina, mentre le zone di minor precipitazione (valori medi compresi tra 700 e 900 mm/anno) corrispondono all'Alta Valtellina ed all'area di Livigno; il fondovalle della Valtellina, compresa l'area di Livigno, coincide con zone di minimo relativo, passando dai 600-700 mm/anno dell'area di Bormio-Livigno, ai 700 di Tirano, ai 1000 di Sondrio fino ai 1300 di Morbegno. Differenze climatiche si notano anche tra i vari versanti: ad esempio il versante retico è più mite e meno piovoso di quello orobico, che presenta anche una costante esposizione a nord.

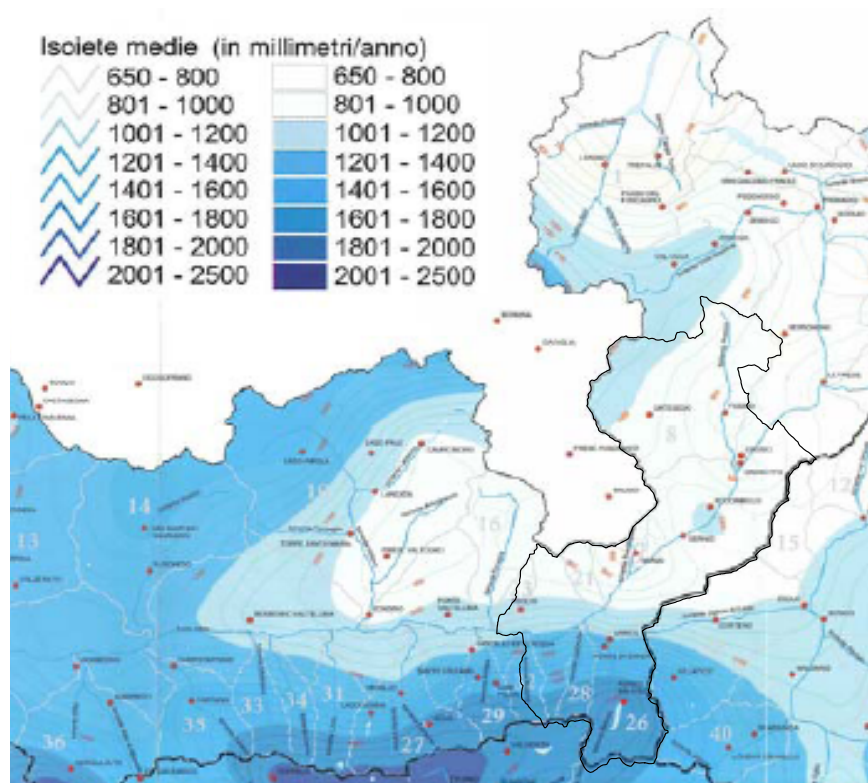


Fig. 3.4 - Carta delle precipitazioni medie annue (periodo 1891-1990) con la Valtellina e parte settentrionale della Valcamonica. La legenda fa riferimento alle classi di precipitazione (mm) individuate mediante metodo di *kriging* (Ceriani & Carelli 2000).

Analizzando anche la distribuzione mensile delle piogge si osserva che, mentre nel periodo autunno-inverno cade una quantità relativamente omogenea di pioggia su tutta la vallata, le differenze si manifestano soprattutto per le precipitazioni primaverili-estive. Ciò può essere collegato al fatto che le piogge autunno-inverno sono in prevalenza frontali, legate cioè a grossi sistemi perturbati, mentre quelle primaverili-estive sono di prevalente

origine temporalesca. Il regime delle precipitazioni si differenzia poi marcatamente rispetto a quello tipico delle stazioni della pianura Lombarda, in Valtellina abbiamo un solo massimo estivo-autunnale. Si può dire che la lunghezza e l'ampiezza del solco vallivo della Valtellina, il suo andamento longitudinale e la vicinanza della grossa massa idrica del lago di Como, costituiscano il primo fattore per l'esistenza di spiccate peculiarità climatiche del fondovalle e delle zone di contorno. Si tratta di un clima relativamente mite; con riferimento alle temperature medie, gennaio risulta essere il mese più freddo e luglio il mese più caldo. Le condizioni climatiche e le grandi differenze di quota tra fondovalle e cime più elevate, hanno chiaramente influito sullo sviluppo della vegetazione. Sulle zone di fondovalle e sui versanti meno acclivi, l'antropizzazione ha influito notevolmente sulla vegetazione, con ampi disboscamenti per ottenere prati e colture, nonché con terrazzamenti per la coltivazione della vite o di piante da frutta.

3.5 Inquadramento socio-economico

Gli abitanti residenti nei dodici comuni afferenti al mandamento sono circa 29.239 con una densità di popolazione sul territorio pari a 64,4 abitanti per chilometro quadrato. Il comune più densamente popolato è Tirano il quale annovera circa un terzo dell'intera popolazione della Comunità Montana Valtellina di Tirano. Dall'analisi del contesto sociale emerge che la popolazione presente sul territorio è sostanzialmente stabile ormai da anni per quanto attiene al dato complessivo, anche se i dati mostrano un continuo aumento della popolazione anziana. Questa situazione, visibile soprattutto nei centri minori (si parla in questo caso di abbandono di strutture abitative di montagna), è testimoniata anche dal fatto che la domanda di abitazioni negli ultimi anni è in una fase discendente, mentre quasi la metà delle abitazioni, pur essendo di proprietà, non è abitata. Questo perché molti proprietari vivono nelle città di pianura, dove svolgono la loro attività lavorativa e utilizzano queste abitazioni come seconda casa, prevalentemente durante il periodo estivo.

Riguardo al settore di attività, è l'industria, nei suoi vari comparti, ad assorbire la quota maggiore di lavoratori (circa l'84,55%), seguita dal terziario (14,55). La distribuzione interna per attività mette in evidenza, per l'industria, una rilevante concentrazione nell'edilizia (77,41%), per il terziario, una forte polarizzazione dell'occupazione nel ramo del commercio, dei pubblici esercizi e degli esercizi alberghieri (60% del settore).

4

SYSTEM REQUIREMENTS

Le richieste da parte degli enti istituzionali in merito alla valutazione dei rischi naturali e antropici e alla gestione delle emergenze ad essi connesse sono molteplici e molto diverse tra loro. La differenza principale risiede nella scala di analisi richiesta. A livello regionale o provinciale, poiché il territorio di competenza è molto vasto, è richiesta la sola suddivisione dell'area di interesse in funzione della tipologia dei rischi attesi. Ad esempio, come richiesto dai PTCP (Piani Territoriali di Coordinamento Provinciali), è sufficiente fornire un quadro conoscitivo del territorio provinciale, con particolare riferimento ai fenomeni di dissesto idrogeologico, nonché censire e cartografare le aree a diversa pericolosità e vulnerabilità. Nello specifico, prendendo in considerazione esclusivamente il rischio idrogeologico, in un ambito territoriale molto vasto come quello provinciale o regionale, è opportuno identificare quali siano le aree più propense al dissesto e la loro incidenza sull'assetto socio economico del territorio. In questo contesto, un'analisi di suscettibilità da frana a livello regionale e provinciale, può risultare un primo strumento utile agli *Stakeholders* che intendono pianificare le attività di previsione e prevenzione. Una carta di suscettibilità, infatti, è in grado di fornire informazioni utili sulla probabilità al dissesto, identificando quali siano le aree più suscettibili al verificarsi di un ipotetico evento calamitoso.

La conoscenza del territorio rappresenta quindi il requisito essenziale per i programmi di previsione e prevenzione in materia di Protezione Civile. La previsione consiste nelle attività volte allo studio e alla determinazione delle cause dei fenomeni calamitosi, all'identificazione dei rischi e all'individuazione delle zone del territorio soggette ai rischi attesi; la prevenzione è invece "costruita" sul concetto di riduzione del rischio. Questo approccio può essere considerato un nuovo orientamento culturale che si basa su una capillare e sistematica analisi delle situazioni a rischio, per la definizione di interventi sul territorio finalizzati a ridurre le conseguenze degli eventi sulla popolazione. Oggigiorno, la Protezione Civile focalizza infatti il suo lavoro sia sulla gestione delle emergenze, sia sulla

previsione e prevenzione dei rischi. Questo orientamento prevede un continuo scambio di dati e di informazioni con i normali processi di pianificazione territoriale. I documenti prodotti dalla pianificazione, a qualunque livello avvenga (comunale, provinciale e regionale), diventano lo strumento base su cui costruire un piano di Protezione Civile.

Quello che viene richiesto dagli enti locali è invece profondamente diverso, in quanto i dati che vengono gestiti dalle amministrazioni comunali sono a scala di maggior dettaglio. In questo caso non si tratta più di avere un quadro conoscitivo generale dei rischi che insistono sul territorio, ma si entra nel particolare, cartografando e caratterizzando in maniera dettagliata le diverse tipologie di eventi. E' nella redazione di un Piano di Protezione Civile Comunale che si comprende qual è il dettaglio richiesto dall'ente. Lo scopo dei piani di emergenza comunali è quello di definire gli scenari di rischio, ossia porzioni di territorio dove vi è sovrapposizione tra pericolosità ed elementi vulnerabili, all'interno dei quali identificare le strutture che potrebbero subire gli effetti negativi di un ipotetico evento e quantificare le conseguenze fisiche ed economiche. Gli scenari di rischio richiedono quindi una cartografia di dettaglio e gli eventi calamitosi devono essere descritti in modo particolareggiato.

La richiesta dei dati diventa quindi sempre più dettagliata quanto più si entra nel merito della gestione delle emergenze. E' a livello comunale che prendono il via i primi soccorsi verso la popolazione a seguito di un evento dannoso ed è proprio per questo che tutto deve essere monitorato e controllato nel modo più preciso possibile. Ad esempio, i comuni che presentano dei rischi all'interno del proprio territorio devono conoscere nel dettaglio quali sono le strutture strategiche che possono essere utilizzate per scopi di Protezione Civile. Secondo la Direttiva Regionale per la Pianificazione dell'Emergenza degli Enti Locali (L.R. 16/2004 art. 7 comma 11), approvata con D.G.R. n.VIII/4732 del 16 maggio 2007 da Regione Lombardia, il censimento delle infrastrutture presenti sul territorio è il primo passo indispensabile nella stesura del piano di emergenza; gli scenari di rischio e il modello di intervento sono infatti strettamente connessi alla presenza di edifici vulnerabili o strategici, infrastrutture, materiali e mezzi. Il piano di Protezione Civile comunale diventa così uno strumento preventivo in grado di incrementare la resilienza stessa del sistema comunale.

Le richieste da parte degli *Stakeholders* variano quindi in funzione dell'estensione territoriale che devono amministrare. Dalle regioni alle provincie fino ai comuni, il dettaglio delle informazioni essenziali per una corretta pianificazione dell'emergenza cresce sempre di più. Se in un'analisi di rischio idrogeologico a livello regionale o

provinciale è sufficiente suddividere il territorio in classi di suscettibilità, per avere un quadro generale su cui basare una corretta pianificazione territoriale, a scala comunale è fondamentale giungere ad un grado di dettaglio superiore, arrivando, anche a quantificare i parametri fisico-meccanici di un evento probabile nonché il suo tempo di ritorno. A tal proposito la richiesta di analisi può essere talmente dettagliata che vi è la necessità di modellare un particolare evento attraverso modelli numerici che operano a scala del singolo versante. Attraverso la quantificazione della magnitudo degli eventi è possibile arrivare anche a definire la perdita attesa a livello fisico e socioeconomico.

Al tempo stesso, a livello di piani di Protezione Civile, i dati che devono essere raccolti diventano anch'essi sempre più numerosi e dettagliati: da quelli estratti da database territoriali come strutture, infrastrutture, viabilità principale e secondaria, fino a quelli che devono essere inseriti nel modello di intervento a scala comunale come istruzioni, materiali, risorse e soggetti. Non basta quindi avere un quadro dettagliato degli scenari di rischio; a questi devono essere legate le procedure di intervento necessarie per il superamento dell'emergenza, che devono inevitabilmente tenere conto dei reali soggetti preposti a fronteggiare il verificarsi di un evento calamitoso.

In una realtà sovracomunale, il cui territorio comprende comuni afferenti ad una Comunità Montana, sarà quest'ultima a realizzare un servizio di Protezione Civile a supporto, soprattutto, dei comuni più piccoli, con poche risorse economiche e strutturali. La richiesta da parte della Comunità Montana sarà quindi quella di uniformare ed integrare i dati provenienti dai singoli comuni, soprattutto gli scenari di rischio relativi ai piani di emergenza comunali esistenti. Anche se l'estensione territoriale può risultare molto vasta, la gestione dei dati da parte di una Comunità Montana garantisce un duplice vantaggio: non solo è svincolata dai limiti amministrativi comunali, ma conserva anche il dettaglio tipico di una scala comunale. La scelta di impostare una pianificazione sovracomunale, tenendo conto della suddivisione territoriale propria delle Comunità Montane, nasce dall'esigenza di creare "unioni" di Comuni, soprattutto nelle realtà locali costituite da piccoli centri (D.L.vo 267/2000, art. 27, e D.L.vo 112/98, art. 108) che, in questo modo, possono affrontare le eventuali calamità con un'organizzazione unitaria per una razionalizzazione delle risorse e degli interventi. Inoltre, la Comunità Montana può fornire un supporto di uomini e tecnici già formati, esperti conoscitori del territorio stesso. Questo tipo di organizzazione consente, anche nel periodo ordinario, di supportare i Sindaci, quali Autorità di Protezione Civile (L. 225/92, art. 15), nella raccolta e nel controllo dei dati derivanti dal monitoraggio, nelle attività di previsione e prevenzione ed in quella ordinaria

di pianificazione dell'emergenza. Nell'elaborazione del piano di emergenza sovracomunale la Comunità Montana dovrà prevedere gli aspetti di dettaglio propri di un piano comunale, come ausilio necessario per i comuni più piccoli che dispongono di meno risorse.

In riferimento a quanto detto in precedenza, nella presente tesi di dottorato verranno presentati degli studi a diverse scale di analisi che hanno interessato differenti ambiti istituzionali. A livello sovracomunale, sull'intera area territoriale della Comunità Montana Valtellina di Tirano è stata condotta un'analisi di suscettibilità da frana e allestita una carta di rischio, ottenendo così degli scenari preventivi sui quali è stata proposta una pianificazione dell'emergenza. Questo lavoro inoltre costituisce l'ultimo passo di diversi programmi, incaricati dalla Comunità Europea e finalizzati alla gestione del rischio e delle emergenze, tra cui *“Mountain Risks: from prediction to management and governance”* in cui la Comunità Montana Valtellina di Tirano ha partecipato in qualità di *stakeholder*.

PARTE PRIMA

VALUTAZIONE DEL RISCHIO SU BASE ISTITUZIONALE

Premessa

In questa prima parte dell'elaborato di tesi verrà spiegata la metodologia utilizzata per condurre un'analisi di rischio idrogeologico conforme al quadro normativo vigente in Regione Lombardia. La procedura adottata, per la delimitazione delle aree a rischio relative al territorio della Comunità Montana Valtellina di Tirano, ha seguito le norme e gli indirizzi definiti nella D.G.R. 8/1566 del 22/12/2005 attraverso la quale è possibile derivare una cartografia del rischio incrociando due differenti documenti cartografici: una carta della pericolosità (classificata in cinque classi di pericolosità crescente da H1 a H5) ed una carta degli elementi vulnerabili e/o strategici allocati sul territorio (classificata in quattro classi, da E1 a E4 in funzione dell'incremento del livello di vulnerabilità/strategicità dell'elemento considerato). Dalla sovrapposizione delle due carte è possibile derivare, attraverso l'utilizzo di una matrice proposta all'interno della D.G.R. 8/1566 una carta del rischio, suddivisa anch'essa in quattro classi, da R1 a R4 in relazione all'incremento del livello di rischio presente nell'area di studio.

In questo elaborato la carta della pericolosità, ottenuta attraverso le linee guida recepite nella D.G.R. 8/1566, non risponde in senso stretto alla definizione classica della pericolosità, intesa come *“probabilità di accadimento di un determinato fenomeno, di una certa intensità, in un dato territorio e in un dato tempo”* ma, essendo derivata dalla componente geologica dei PGT (Piani di Governo del Territorio), manca sia dell'aspetto temporale che della magnitudo relativa ai fenomeni considerati.

Anche per l'elaborazione della carta di vulnerabilità si è scelto di utilizzare un metodo di tipo euristico poiché un approccio quantitativo presume la conoscenza della magnitudo dei fenomeni considerati.

La delimitazione di scenari di rischio, ossia aree caratterizzate da importanti livelli di pericolosità e contemporaneamente da elementi vulnerabili che possono subire gli effetti negativi di un ipotetico evento calamitoso, rappresenta il primo passo per impostare una corretta e funzionale pianificazione territoriale (a scala Regionale e/o Provinciale) e dell'emergenza a livello locale. Quest'ultima è basata su tre concetti fondamentali che sono anche attività del sistema di Protezione Civile Nazionale: previsione, prevenzione e gestione in tempo reale delle emergenze. E' in questo contesto di Protezione Civile che si inseriscono gli scenari di rischio idrogeologico la cui funzione verrà spiegata ampiamente nella terza parte dell'elaborato.

5

VALUTAZIONE DEL RISCHIO SU BASE ISTITUZIONALE

5.1 Introduzione

L'analisi di "rischio" proposta in questa prima parte dell'elaborato di tesi è finalizzata ad ottenere degli scenari di rischio, ossia aree caratterizzate da importanti livelli di pericolosità (legata ai fenomeni attesi) e, contestualmente, dalla presenza di elementi vulnerabili e/o strategici in un contesto di Protezione Civile. Come si evince da quanto detto in precedenza, un'analisi di rischio necessita sia la valutazione della vulnerabilità che della pericolosità.

Le recenti modifiche costituzionali (modifica del Titolo V), per quanto riguarda gli aspetti urbanistico - territoriali, sono state recepite a livello regionale dalla L. R. 11 marzo 2005 n. 12 denominata "*Legge per il governo del territorio*". L'entrata in vigore di tale normativa ha modificato profondamente l'approccio culturale alla materia urbanistica passando dal concetto di pianificazione a quello di "governo del territorio". Ciò esige che l'effettivo governo del territorio avvenga nell'integrazione armonica dei diversi livelli di pianificazione, anche mediante l'approfondimento specifico delle singole tematiche territoriali, in funzione della sostenibilità ambientale delle scelte da effettuare.

In base alle nuove disposizioni, lo strumento urbanistico a livello comunale diventa il Piano di Governo del Territorio (P.G.T.), la cui funzione è quella di definire l'assetto dell'intero territorio comunale. La conseguente variazione degli atti costituenti il P.G.T ha imposto perciò la ridefinizione dei criteri tecnici volti alla prevenzione dei rischi geologici, idrogeologici e sismici a scala comunale (resi validi con la D.G.R. 22 dicembre 2005, n. 8/1566), sull'indicazione dei quali è stata condotta la seguente analisi. Infine, gli scenari di rischio, come verrà ampiamente spiegato nella terza parte di questo progetto di dottorato, saranno utilizzati come base di partenza per una corretta pianificazione, nonché gestione in tempo reale, dell'emergenza a livello locale.

5.2 Raccolta ed elaborazione dati

In questa fase di lavoro sono stati raccolti ed archiviati tutti i dati necessari per costruire la carta di pericolosità e di vulnerabilità dell'area di studio. La maggior parte di essi sono stati forniti dalla Comunità Montana Valtellina di Tirano e consistono in tematismi, in formato *shapefile*, rappresentanti il database topografico in scala 1:2.000 (DB2000) disponibile per tutti i dodici comuni. La tabella degli attributi contenuta negli *shapefile* costituenti il database topografico, riporta per ogni record un codice alfanumerico non interpretabile, in quanto non specifica la tipologia dell'elemento grafico a cui è associato.

Per associare al dato cartografico la relativa descrizione degli elementi, è stata creata una tabella esterna contenente i codici alfanumerici con la rispettiva descrizione. La tabella è stata costruita seguendo il documento istituzionale “*Specifiche della Regione Lombardia 2006*” che fornisce le linee guida per la costruzione ed interpretazione dei database topografici (Tabella 5.1).

Originale	Cod_1	Tipo_1	Cod_2	Tipo_2	Cod_3	Tipo_3	Code	Tipo_4
B1111105	B1	Strade	B111	Area stradale	B11111	Tronco carreggiata	05	Pavimentato in galleria/sottopasso
B1111240	B1	Strade	B111	Area stradale	B11112	Area a traffico strutturato	40	Incrocio
B2114000	B2	Ferrovie	B211	Ferrovia	B21140	Altro	00	Non specificato
C1020104	C1	Edificato	C102	Edificio	C10201	Generica tipologia	04	Municipio
G1010101	G1	Aree agro-forestali	G101	Bosco	G10101	Latifoglie	01	Faggio

Tabella 5.1 – Esempio di tematismi con i codici associati alla descrizione degli elementi.

Gli *shapefile* sono stati importati in ArcGis 9.3© e attraverso la funzione di *Join* tra tabelle è stata incorporata la descrizione degli elementi grafici. Quest'operazione è stata condotta per tutti i tematismi, componenti il database topografico, e per tutti i comuni afferenti al mandamento. Al termine di questo lavoro è stato possibile identificare in modo chiaro ed univoco le informazioni contenute negli *shapefiles*. La maggior parte consiste in layers che descrivono la distribuzione spaziale degli elementi territoriali.

Per quanto riguarda invece la cartografia di base utile per l'analisi di pericolosità, sono state reperite, per tutti i comuni, sia la carta di sintesi che la carta di fattibilità, entrambe previste dalla D.G.R. n. 8/1566.

La **carta di sintesi** è redatta in scala 1:10.000 ed è costituita da una serie di poligoni che definiscono porzioni di territorio caratterizzate da pericolosità omogenea per la presenza di uno o più fenomeni di dissesto idrogeologico in atto o potenziale. La legge regionale prevede l'identificazione, sulla carta di sintesi, di differenti ambiti di pericolosità, tra cui: **(1)** Aree pericolose dal punto di vista dell'instabilità dei versanti; **(2)** Aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico; **(3)** Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico; **(4)** Aree che presentano scadenti caratteristiche geotecniche (Figura 5.1).

Aree pericolose dal punto di vista dell'instabilità dei versanti

Le seguenti voci comprendono sia aree interessate da fenomeni di instabilità dei versanti già avvenuti, delimitabili in base a evidenze di terreno e/o in base a dati storici, sia aree che potenzialmente potrebbero essere interessate dai fenomeni.

- Aree soggette a crolli di massi (distacco e accumulo). Da definire in base all'estensione della falda di detrito e alla distanza raggiunta dai massi secondo dati storici (vengono delimitate le effettive aree sorgenti e le aree di accumulo dei crolli);
- Aree interessate da distacco e rotolamento di blocchi provenienti da depositi superficiali (vengono delimitate le effettive aree sorgenti e le aree di accumulo dei crolli);
- Aree di frana attiva (scivolamenti, colate ed espansioni laterali);
- Aree di frana quiescente (scivolamenti, colate ed espansioni laterali);
- Aree a franosità superficiale attiva diffusa (scivolamenti, soliflusso);
- Aree a pericolosità potenziale per grandi frane complesse (comprenditive di aree di distacco e di accumulo);
- Aree in erosione accelerata (calanchi, ruscellamento in depositi superficiali o rocce deboli)
- Aree interessate da trasporto in massa e flussi di detrito su conoide;
- Aree a pericolosità potenziale per crolli a causa della presenza di pareti in roccia fratturata e stimata o calcolata area di influenza;
- Aree a pericolosità potenziale legata a orientazione sfavorevole della stratificazione in roccia debole e stimata o calcolata area di influenza;
- Aree a pericolosità potenziale legata a possibilità di innesco di colate in detrito e terreno valutate o calcolate in base alla pendenza e alle caratteristiche geotecniche dei terreni e relativo percorso;
- Aree a pericolosità potenziale legate alla presenza di terreni a granulometria fine (limi e argille) su pendii inclinati, comprenditive delle aree di possibile accumulo;
- Aree interessate da valanghe già avvenute;
- Aree a probabile localizzazione di valanghe potenziali;
- Aree estrattive attive o dismesse non ancora recuperate, comprendendo una fascia di rispetto da valutare in base alle condizioni di stabilità dell'area;
- Altre tipologie non classificabili nei punti precedenti.

Fig. 5.1 – Voci estratte dal documento “Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio”, in attuazione dell'art. 57 della L.R. 11 marzo 2005 n°12.

Alcune carte di sintesi, come quella relativa al comune di Grosotto, presentano delle legende non conformi alla proposta di classificazione presente nella normativa della Regione Lombardia. Questo problema di non uniformità del dato è dovuto al fatto che le carte sono state redatte da professionisti differenti e, quindi, legate ad una forte componente soggettiva. A tal fine, per superare questo problema, le carte sono state standardizzate utilizzando come base di riferimento la classificazione proposta dalla Regione Lombardia nel “*Bollettino Ufficiale, 3° supplemento straordinario, del 19 gennaio 2006*” (Figura 5.2).

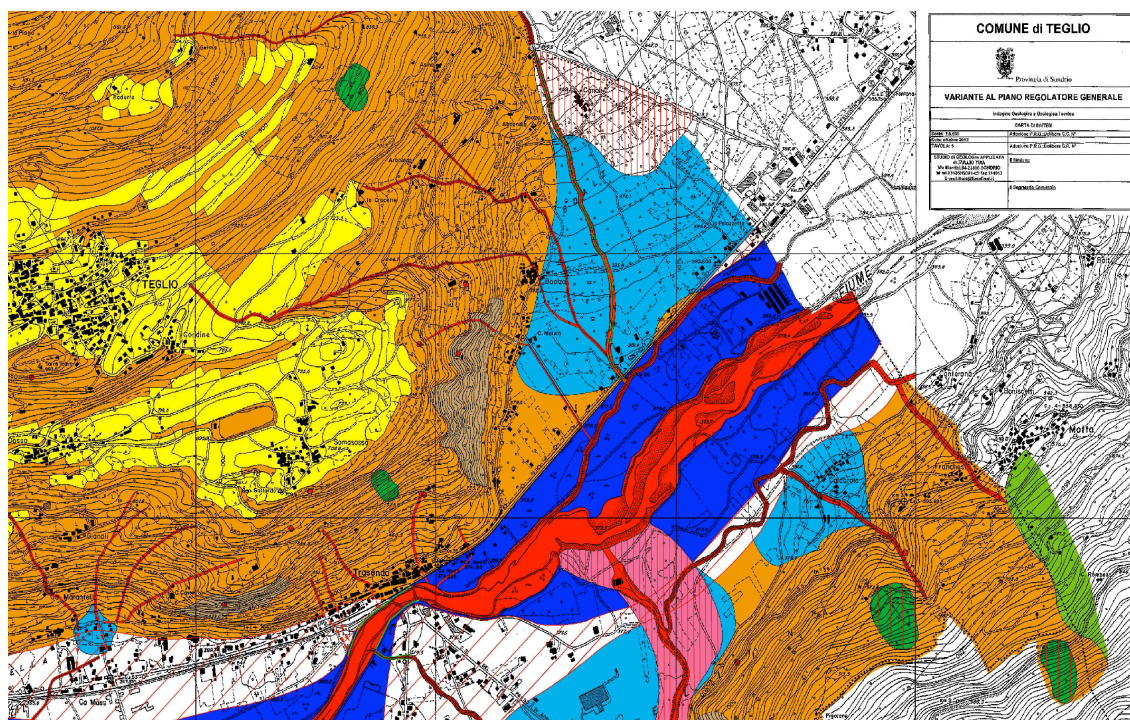


Fig. 5.2 – Esempio di carta di sintesi (comune di Teglio).

La **carta di fattibilità** è redatta in scala 1:2.000 e viene desunta dall’integrazione della carta di sintesi e della carta dei vincoli (redatta obbligatoriamente per gli ambiti ricadenti entro le fasce fluviali e le aree in dissesto PAI (Piano di stralcio per l’Assetto Idrogeologico), attribuendo un valore di classe di fattibilità a ciascun poligono. In sostanza, è una carta di “pericolosità” che fornisce le indicazioni in riferimento alle limitazioni e destinazioni d’uso del territorio. La fattibilità è suddivisa principalmente in 4 classi con limitazioni crescenti (dalla classe 1 senza particolari limitazioni alla 4 con gravi limitazioni) (Figura 5.3). La carta deve essere utilizzata congiuntamente alle “norme

geologiche di attuazione” (capitolo conclusivo della relazione descrittiva della componente geologica del Piano di Governo del Territorio) che ne riportano la relativa normativa d’uso (prescrizioni per gli interventi urbanistici, studi ed indagini da effettuare per gli approfondimenti richiesti, opere di mitigazione del rischio, necessità di controllo dei fenomeni in atto o potenziali, necessità di predisposizione di sistemi di monitoraggio e piani di Protezione Civile).

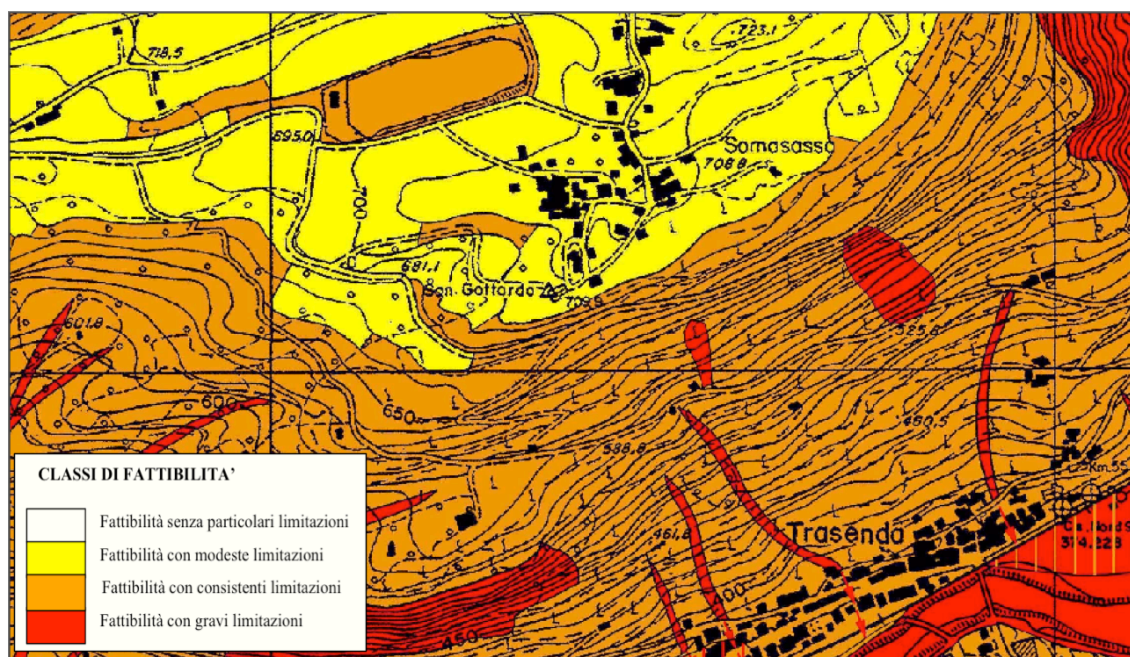


Fig. 5.3 – Esempio di carta di fattibilità (comune di Teglio).

5.3 Carta di pericolosità

L’analisi di pericolosità rappresenta il primo passo necessario per definire il rischio. In questo studio, la carta di pericolosità è stata costruita avvalendosi delle carte di sintesi comunali. La Delibera di Giunta Regionale 8/1566 del 22/12/05 detta i principi ed i criteri attraverso i quali definire la componente geologica, idrogeologica e sismica per la realizzazione dei Piani di Governo del Territorio (PGT - attuazione della Legge Regionale 12 del 11/03/2005). I documenti in essi contenuti (in particolare le Cartografie di Sintesi, della Fattibilità Geologica, dei Vincoli) sono risultati estremamente utili al fine di delineare il quadro relativo alla pericolosità idrogeologica del territorio della Comunità Montana Valtellina di Tirano. Nella D.G.R. sopracitata viene riportata una tabella che esprime la

correlazione tra le classi di pericolosità, di fattibilità geologica e le voci della legenda PAI (Tabella 5.2). Per quanto concerne il campo pericolosità/rischio, la tabella riporta delle informazioni sulla classificazione molto confusionarie in quanto assegna le classi di pericolosità solamente a eventi franosi che insistono sui conoidi, presupponendo l'assenza di nuclei abitati, mentre assegna le classi di rischio solamente a fenomeni di esondazione che incidono sul fondovalle.

PERICOLOSITA'/RISCHIO	CLASSI DI FATTIBILITA'	VOCI LEGENDA PAI
H1 su conoide	Classe 1/2 – senza o con modeste limitazioni	Cn – conoide protetta...
H2 su conoide	Classe 2/3 – modeste o consistenti limitazioni	Cn – conoide protetta ...
H3 su conoide	Classe 3 – consistenti limitazioni	Cp – conoide parz. protetta ¹ Cn – conoide protetta...
H4 – H5 su conoide	Classe 4 – gravi limitazioni	Ca – conoide attiva non protetta
H1 per crolli, crolli in massa e scivolamenti	Classe 2/3 – modeste o consistenti limitazioni	Fs – frana stabilizzata
H2 per crolli e crolli in massa H2-H3 per scivolamenti	Classe 4/3 – gravi o consistenti limitazioni	Fq – frana quiescente ²
H3-H5 per crolli e crolli in massa H4-H5 per scivolamenti	Classe 4 – gravi limitazioni	Fa – frana attiva
R1-R2 per esondazione	Classe 2/3 – modeste o consistenti limitazioni	Em – pericolosità media o moderata di esondazione
R3 per esondazione	Classe 3 – consistenti limitazioni (con norma più restrittiva art. 9 comma 6)	Eb – pericolosità elevata di esondazione
R4 per esondazione	Classe 4 – gravi limitazioni	Ee – pericolosità molto elevata
Zona rossa	Classe 4 – gravi limitazioni	Ve, Vm – pericolosità molto elevata o media per valanga
Zona blu	Classe 3 – consistenti limitazioni	Nessuna corrispondenza con legenda PAI ma norme di cui all'Allegato 3
Zona gialla, Zona bianca	Classe 2 – modeste limitazioni	Nessuna corrispondenza con legenda PAI ma norme di cui all'Allegato 3

Tab. 5.2 - Correlazione tra classi di Pericolosità, classi di Fattibilità geologica per le azioni di piano e voci della legenda PAI.

Sulla base della tabella, a ciascuna tipologia di ambito descritto nella carta di sintesi è stato assegnato un range di pericolosità (range PAI), espresso da indici che vanno da **H1** (bassa pericolosità) a **H5** (alta pericolosità) e infine si è attribuito un valore di H, in genere corrispondente al valore massimo.

Sigla	Descrizione sintesi	Range PAI	Pericolosità (H)
A01a	Aree soggette a crolli di massi (distacco e accumulo)	H3-H5	H5
A01b	Aree potenzialmente soggette a crolli di massi (distacco ed accumulo) attualmente inattive	H2	H2
A01c	Aree potenzialmente soggette a crolli di massi (distacco ed accumulo) attualmente colonizzate	H1	H1
A02	Aree interessate da distacco e rotolamento di blocchi provenienti da depositi superficiali	H3-H5	H5
A03	Aree di frana attiva (scivolamenti,colate ed espansioni laterali)	H5	H5
A04	Aree di frana quiescente (scivolamenti,colate ed espansioni laterali)	H2-H3	H3
A05a	Aree a franosità superficiale attiva diffusa (scivolamenti,soliflusso)	H4-H5	H5
A05b	Aree a franosità superficiale attiva diffusa (scivolamenti,soliflusso),quiescenti	H2-H3	H3
A06	Aree a pericolosità potenziale per grandi frane complesse (comprehensive di aree di distacco e di accumulo)	H2-H3	H3
A07	Aree in erosione accelerata (calanchi,ruscellamento in depositi superficiali o rocce deboli)	H5	H5
A08a	Aree interessate da trasporto in massa e flussi di detrito su conoide	H4-H5	H5
A08b	Aree potenzialmente interessate da trasporto in massa e flusso di detrito su conoide (inattivo)	H2-H3	H3
A08c	Aree interessate da potenziale trasporto in massa e flussi di detrito su conoide da debris flow quiescente	H2-H3	H2
A08d	Aree interessate da potenziale trasporto in massa e flussi di detrito su conoide da debris flow relitto	H1	H1
A08e	Aree interessate da potenziale trasporto in massa e flussi di detrito su conoide misto quiescente	H2-H3	H2
A09a	Aree a pericolosità potenziale per crolli a causa della presenza di pareti in roccia fratturata	H2	H2
A09b	Aree potenzialmente soggette a crolli di massi (distacco ed accumulo),rock avalanches	H2	H2
A10	Aree a pericolosità potenziale legata ad orientazione sfavorevole della stratificazione in roccia debole	H2	H2
A11	Aree a pericolosità potenziale legata a possibilità di innesco,di colate in detrito e terreno	H2	H2
A12a	Aree a pericolosità potenziale legate alla presenza di terreni a granulometria fine (limi e argille) su pendii inclinati	H3	H3
A12b	Aree di percorsi potenziali di colate in detrito e terreno	H3	H3
A13	Aree interessate da valanghe già avvenute	H4	H4
A14	Aree a probabile localizzazione di valanghe potenziali	H2	H2
A16	Altre tipologie non classificabili nei punti precedenti	-	-
A17	Aree interessate da erosione regressiva quiescente	H2	H2
A18	Fenomeni antropici	H2	H2
A19	Aree di frana relitta	H1	H1
A20	Aree di frana complessa relitta	H1	H1
A21	Accumulo di paleofrana	H1	H1
C01	Aree ripetutamente allagate in occasione di precedenti eventi alluvionali o frequentemente isondabili	R4	H5
C02a	Aree allagate in occasione di eventi meteorici eccezionali o allagabili con minore frequenza	R3	H4
C02b	Aree allagabili con frequenza minore	R2	H3
C02c	Aree allagabili raramente	R1	H2
C03	Aree potenzialmente inondabili individuate con criteri geomorfologici	R3	H4
C04	Aree soggette ad esondazioni lacuali	R4	H5
C05	Aree già allagate in occasione di precedenti eventi alluvionali	R4	H5
C06	Aree interessabili da fenomeni di erosione fluviale e non idoneamente protette da interventi di difesa	R3	H4
C07	Aree adiacenti ai corsi d'acqua da mantenere a disposizione	R1	H2
C08	Aree potenzialmente interessate da flussi di detrito in corrispondenza dei conoidi pedemontani	H2	H2

Tab. 5.3 – Relazione tra carta di sintesi, PAI e pericolosità relativa.

Per quanto riguarda le altre tipologie di pericolosità non specificate da questo schema (A16) e per le zone non definite da valori di sintesi, si è deciso di attribuire il valore di pericolosità valutando la classe di fattibilità di quella determinata area, mediante la carta di fattibilità geologica. La fattibilità non esprime il fenomeno geomorfologico presente in una zona ma bensì la pericolosità in relazione alle limitazioni e destinazioni di uso del territorio. La carta di fattibilità viene derivata dalla carta di sintesi e dalla carta dei vincoli

(per gli ambiti ricadenti entro le fasce fluviali e le aree in dissesto PAI) come indicato nella D.G.R. n. 8/1566. L'attribuzione della classe di fattibilità avviene attraverso due fasi: (1) nella prima fase, a ciascun poligono della carta di sintesi, in base al/i fattore/i di pericolosità presente/i viene attribuita una classe di fattibilità (valore di ingresso) seguendo le prescrizioni della Tabella 5.4 di cui si riporta un estratto per ciò che concerne le "Aree pericolose dal punto di vista dell'instabilità dei versanti";

Aree pericolose dal punto di vista dell'instabilità dei versanti	
Aree soggette a crolli di massi (distacco e accumulo). Da definire in base all'estensione della falda di detrito e alla distanza raggiunta dai massi secondo dati storici (vengono delimitate le effettive aree sorgenti e le aree di accumulo dei crolli)	4
Aree interessate da distacco e rotolamento di blocchi provenienti da depositi superficiali (vengono delimitate le effettive aree sorgenti e le aree di accumulo dei crolli)	4
Aree di frana attiva (scivolamenti; colate ed espansioni laterali)	4
Aree di frana quiescente (scivolamenti; colate ed espansioni laterali)	4
Aree a franosità superficiale attiva diffusa (scivolamenti, soliflusso)	4
Aree a pericolosità potenziale per grandi frane complesse (comprehensive di aree di distacco ed accumulo)	4
Aree in erosione accelerata (calanchi, ruscellamento in depositi superficiali o rocce deboli)	4
Aree interessate da trasporto in massa e flusso di detrito su conoide	4*
Aree a pericolosità potenziale per crolli a causa della presenza di pareti in roccia fratturata e stimata o calcolata area di influenza	4
Aree a pericolosità potenziale legata a orientazione sfavorevole della stratificazione in roccia debole e stimata o calcolata area di influenza	3
Aree a pericolosità potenziale legata a possibilità di innesco di colate in detrito e terreno valutate o calcolate in base alla pendenza e alle caratteristiche getecniche dei terreni	3
Aree di percorsi potenziali di colate in detrito e terreno	4*
Aree a pericolosità potenziale legate alla presenza di terreni a granulometria fine (limi e argille) su pendii inclinati, comprehensive delle aree di possibile accumulo (aree di influenza)	3
Aree interessate da valanghe già avvenute	4
Aree a probabile localizzazione di valanghe potenziali	4
Aree protette da interventi di difesa efficaci ed efficienti	3
Aree estrattive attive o dismesse non ancora recuperate, comprendendo una fascia di rispetto da valutare in base alle condizioni di stabilità dell'area	3

Tab. 5.4 – Classi di ingresso per la classificazione della fattibilità.

(2) nella seconda fase, il valore della classe di fattibilità può essere aumentato o diminuito in base a valutazioni di merito tecnico per lo specifico ambito. La diminuzione della classe di fattibilità, rispetto alla classe di ingresso, deve essere compiutamente documentata e motivata da ulteriori indagini sulla pericolosità del comparto.

La carta di fattibilità è stata utilizzata in quanto ritenuta utile sia per far fronte alla mancanza di alcuni dati (nello specifico mancanza della caratterizzazione dei poligoni della carta di sintesi determinando così l'impossibilità di attribuzione di un indice di pericolosità), sia perché, essendo eseguita solo per il territorio urbanizzato, la carta di

fattibilità fornisce informazioni più dettagliate dell'area. In questo modo si sono ottenuti valori di pericolosità anche per queste zone. La relazione utilizzata per convertire la fattibilità in pericolosità è mostrata nella tabella seguente (tabella 5.5):

FATTIBILITA'	PERICOLOSITA'
2a - 2c	H2
3a	H3
3b - 3c	H4
4a - 4b - 4c	H5
2a - 2c	H2

Tab. 5.5 - Relazione tra fattibilità e pericolosità.

Ad ogni poligono della carta di sintesi di ogni comune è stato attribuito un valore di pericolosità che va da **H2** (pericolosità bassa) ad **H5** (pericolosità alta). La carta di pericolosità finale per la Comunità Montana Valtellina di Tirano è mostrata in figura 5.5.

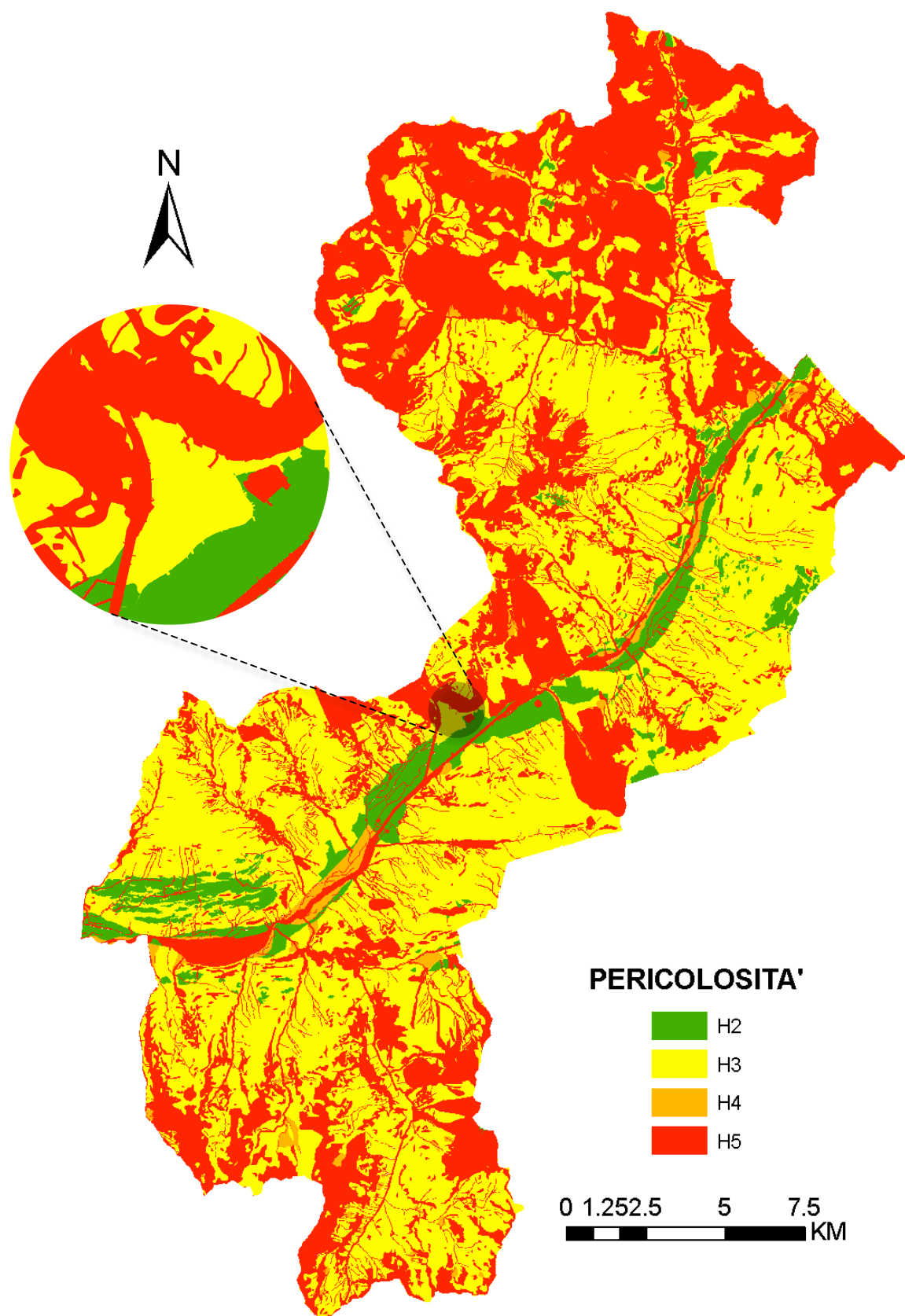


Fig. 5.5 – Carta di pericolosità.

5.4 Carta di Vulnerabilità

Il secondo passo per arrivare a definire il “rischio” è stato quello di allestire una carta di vulnerabilità che tenga conto di tutti gli elementi esposti ad eventi potenzialmente dannosi. Questi possono essere definiti come la popolazione, i beni, le attività economiche, i servizi pubblici ed i beni ambientali che sono presenti in una data area esposta ad un determinato pericolo. La vulnerabilità viene espressa come il grado di danno e/o di perdita di un elemento a rischio determinato dall'occorrenza di un fenomeno potenzialmente pericoloso di una data intensità.

Nella valutazione del rischio da frana, esistono due approcci per stimare la vulnerabilità territoriale: un approccio quantitativo ed uno euristico. L'approccio quantitativo è finalizzato al calcolo di un valore numerico compreso tra 0 e 1. Il calcolo è molto complesso a causa delle numerose variabili da considerare: intensità del fenomeno, aspetto costruttivo e strutturale dell'elemento, posizione dell'elemento rispetto al fenomeno, presenza di eventuali protezioni. L'approccio euristico è quello maggiormente considerato e porta ad una stima qualitativa o semi-quantitativa della vulnerabilità espressa in classi.

Per la finalità di questo studio e per la scala (media scala 1:50.000 – 1:25.000) con cui è stata condotta l'analisi, si è scelto di valutare la vulnerabilità utilizzando una metodologia di tipo euristica. La vulnerabilità verrà espressa in classi, attraverso l'utilizzo di una tabella che tende a mantenere una distinzione tra la vulnerabilità per la vita umana e quella per i beni economici.

La quasi totalità dei dati necessari al compimento di questa fase di studio sono stati estratti dal Database Topografico alla scala 1:2.000 fornito direttamente dalla Comunità Montana. L'elenco degli elementi potenzialmente vulnerabili/strategici risultano allocati essenzialmente nelle aree di fondovalle e nella porzione di versante immediatamente contigua. A completamento del database è stato pertanto eseguito un rilievo degli elementi mancanti attraverso la consultazione di ortofoto e di altri documenti disponibili (carte tecniche o carte catastali). Al termine di questa fase procedurale si è quindi giunti alla realizzazione di un database esaustivo, utilizzabile sia per costruire una carta di vulnerabilità che, come spiegato nella terza parte della tesi, per scopi di Protezione Civile e relativo alle seguenti strutture:

- Sedi istituzionali (Municipio, Prefettura, ecc.);

- Sedi delle strutture operative (Vigili del Fuoco, S.S.U.Em.-118, Croce Rossa, Forze dell'Ordine, Polizia Locale, Volontariato di Protezione Civile, Centri Polifunzionali di Emergenza, magazzini comunali);
- Sedi dei centri operativi (Centro Coordinamento Soccorsi, Centro Operativo Misto, Centro Operativo Comunale, Unità di Crisi Locale, Posto di Comando Avanzato);
- Aree di emergenza (aree di attesa, ricovero/accoglienza, ammassamento);
- Scuole, case di riposo, ospedali, palestre, campi sportivi, chiese, oratori, centri commerciali ed altri luoghi di possibile affollamento;
- Piazzole omologate e/o temporanee per il possibile atterraggio di elicotteri, vasche per l'approvvigionamento di acqua;
- Stazioni ferroviarie e degli autobus, aeroporti, porti;
- Life-lines ed impianti energetici (elettrorodotti, gasdotti, centrali elettriche, depositi e distributori di carburante);
- Reti tecnologiche principali (acquedotti e fognature);
- Viabilità principale (strade statali, strade provinciali, con relativi punti critici, come strettoie, gallerie, sottopassi, ecc.);
- Viabilità minore (collegamenti con gli ospedali e le principali infrastrutture di trasporto, collegamenti intercomunali principali, con relativi punti critici, come strettoie, gallerie, sottopassi, ponti a portata ridotta, ecc.).

Gli elementi vulnerabili/strategici archiviati, sulla base delle specifiche della normativa vigente (Delibera Regionale 8/1566 del 22/12/05), possono essere classificati da E1 a E4 (Tabella 5.2) esclusivamente in relazione alla loro importanza ed al livello strategico a loro riconosciuto.

Classi di elementi a rischio	CATEGORIE D'USO DEL SUOLO
E1	Zona boschiva Zona agricola non edificabile Demanio pubblico non edificato o edificabile
E2	Zona agricola generica (con possibilità di edificazione) Infrastrutture pubbliche (strade comunali o consortili non strategiche*) Zona di protezione ambientale, rispetto, verde privato Parchi, verde pubblico non edificato
E3	Infrastrutture pubbliche (strade statali, provinciali e comunali strategiche*, ferrovie; lifelines: oleodotti, elettrodotti, acquedotti) Zona per impianti tecnologici e discariche RSU o inerti; zona a cava
E4	Centri urbani Nuclei rurali minori di particolare pregio Zona di completamento Zona di espansione Zona artigianale, industriale, commerciale Servizi pubblici prevalentemente con fabbricati Infrastrutture pubbliche (infrastrutture viarie principali strategiche*) Zona discarica speciali o tossico nocivi Zona alberghiera Zona per campeggi e villaggi turistici

Tab. 5.2 - Metodo di classificazione degli elementi a rischio in base alle categorie di uso del suolo.

Al termine di questa fase di classificazione degli elementi vulnerabili, secondo la tabella riportata sopra, non si potrà giungere alla definizione di uno scenario di vulnerabilità in senso stretto (in termini di grado di perdita a livello di un elemento o di un gruppo di elementi vulnerabili a seguito dell'accadimento di un evento dannoso, Glade 2003). Tuttavia, a livello di questa fase di studio è sempre possibile integrare e migliorare la procedura sopra esposta con l'analisi di altri documenti (se disponibili) testimonianti il grado di perdita occorso nel passato a seguito dell'accadimento di particolari eventi dannosi (report, interviste, documenti storici, ecc.). La carta di vulnerabilità per il territorio della Comunità Montana Valtellina di Tirano è mostrata in figura 5.4. Dalla cartografia ottenuta si evince che le aree classificate come **E4** ricadono per la maggior parte lungo il fondovalle e lungo i conoidi alluvionali, dove sono insediati la maggior parte dei nuclei urbani. La quasi totalità del territorio invece, essendo ricoperta da boschi o da zone agricole non edificabili, è classificata come **E1** (vulnerabilità bassa).

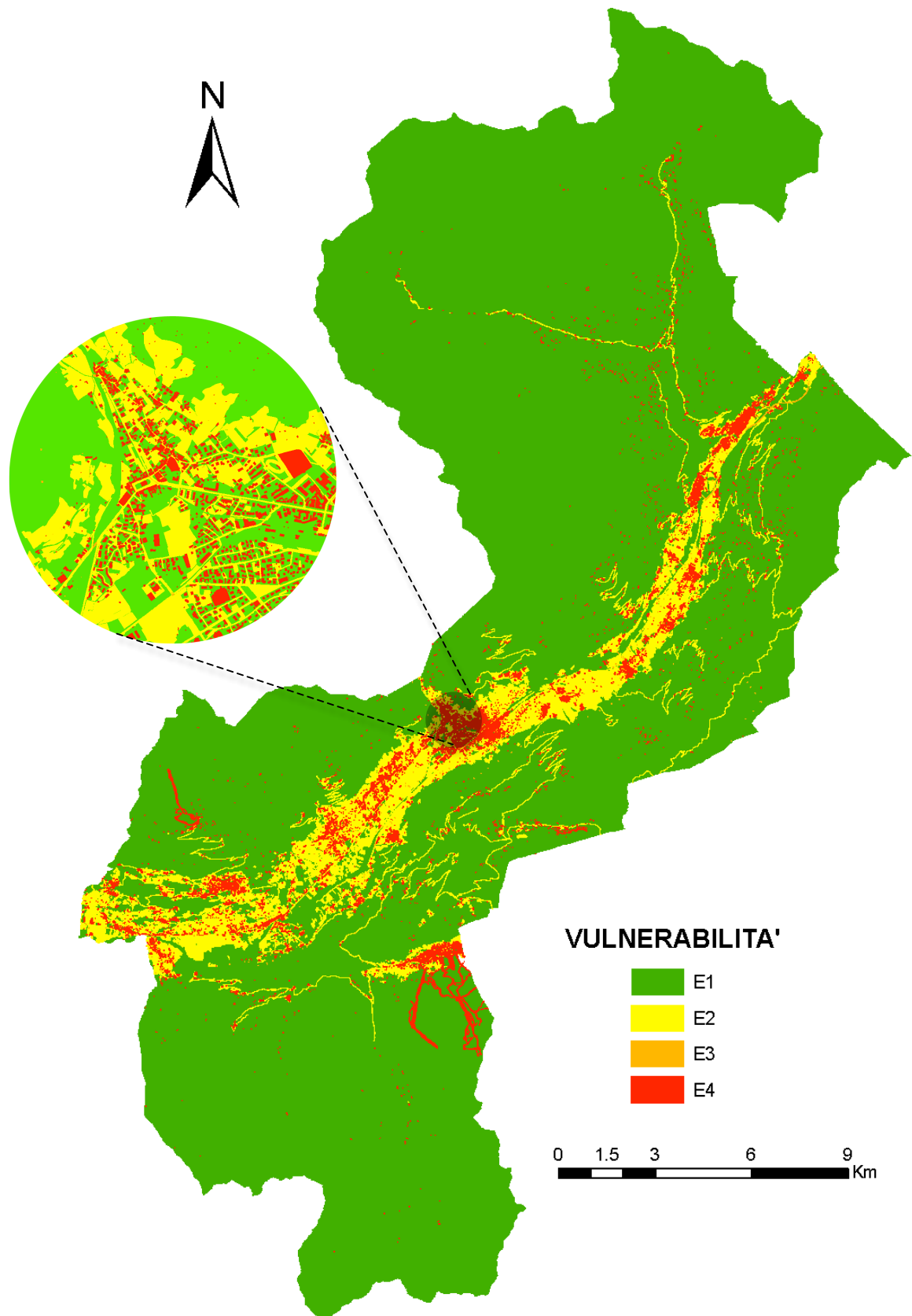


Fig. 5.4 – Carta di vulnerabilità.

5.5 Carta di Rischio

Dopo aver redatto le carte di pericolosità e vulnerabilità, il terzo ed ultimo passo è stato quello di elaborare la carta del rischio. Incrociando spazialmente le classi di pericolosità e di vulnerabilità calcolati in precedenza è possibile associare alle varie porzioni di territorio comunale, attraverso l'utilizzo della matrice di seguito riportata (Figura 5.6), valori di rischio (variabili da R1 a R4, in condizioni di rischio crescente). La delimitazione geografica delle aree caratterizzata da valori di rischio elevati (R3 ed R4) consente di ottenere degli scenari di rischio utilizzabili, in un contesto di Protezione Civile, sia in fase preventiva (esercitazioni, formazione del personale che gestirà la fase di emergenza, azioni finalizzate a rendere consapevole la popolazione del livello di rischio con cui quotidianamente convive, ecc.) sia in fase operativa (cioè di gestione vera e propria dell'emergenza, nel caso in cui lo scenario che viene a delinearsi presenti aspetti analoghi a quello prospettato). La carta di rischio finale è mostrata in figura 5.7.

	H1	H2	H3	H4	H5
E1	R1	R1	R1	R1	R2
E2	R1	R1	R2	R2	R3
E3	R1	R2	R2	R3	R4
E4	R1	R2	R3	R4	R4

Fig. 5.6 – Matrice per la valutazione del rischio (R) in base alle classi di pericolosità (H) e vulnerabilità (E). (Regione Lombardia).

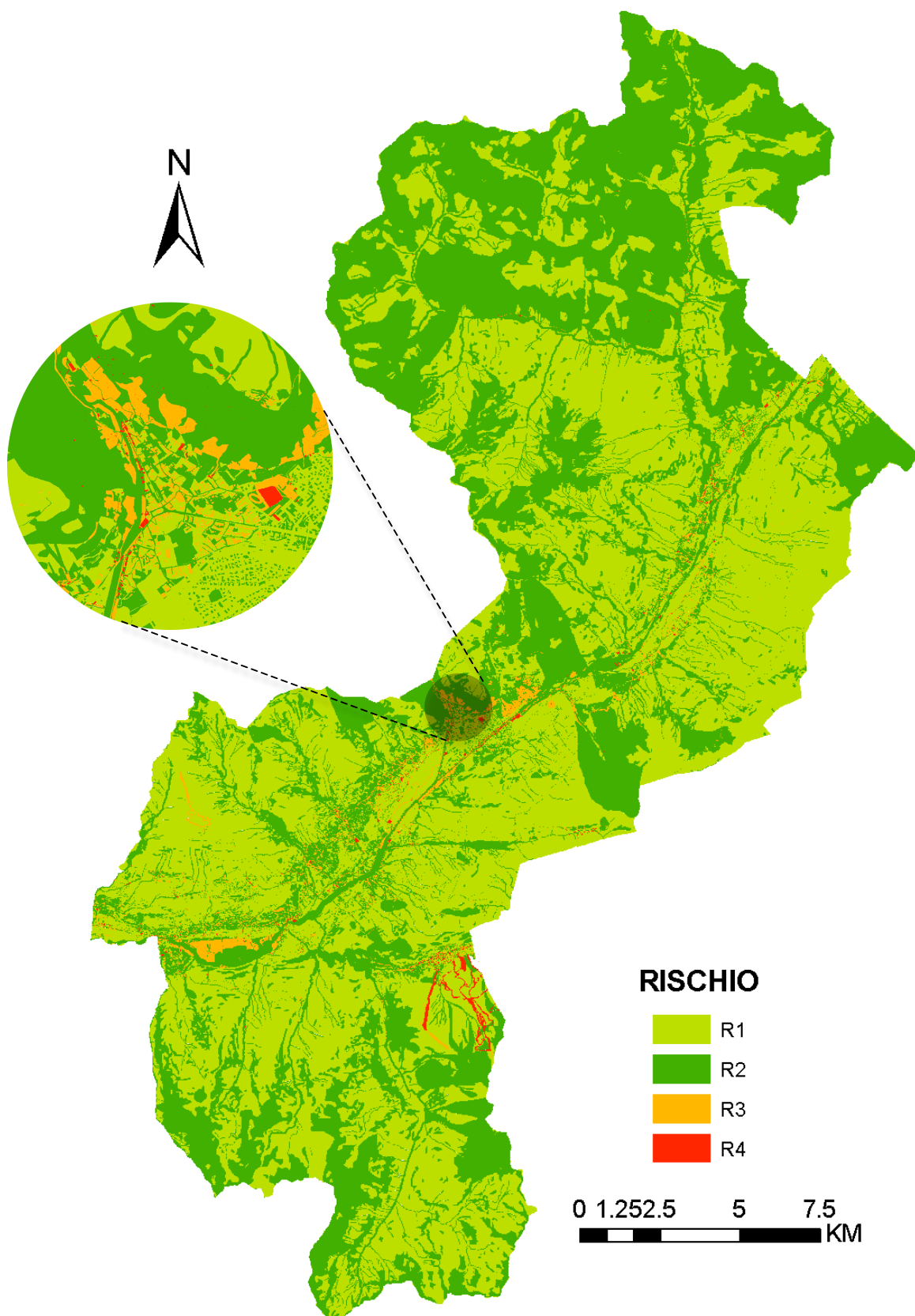


Fig. 5.7 – Carta di rischio.

5.6 Scenari di rischio

Ottenuta la carta di rischio, l'ultimo passo è stato quello di perimetrare, in accordo col personale della Comunità Montana Valtellina di Tirano, le zone ricadenti nelle classi **R3** e **R4** che corrispondono rispettivamente alle classi alta e molto alta. In questo modo sono stati mappati 29 scenari di rischio idrogeologico (Fig. 5.8; 5.9). Tra i comuni afferenti al mandamento, nel territorio di Villa di Tirano (Figure 5.10; 5.11) e Grosio sono stati individuati rispettivamente sei e cinque scenari di rischio, mentre per i comuni di Vervio e Sernio, non sono emerse criticità rilevanti (Fig. 5.7).

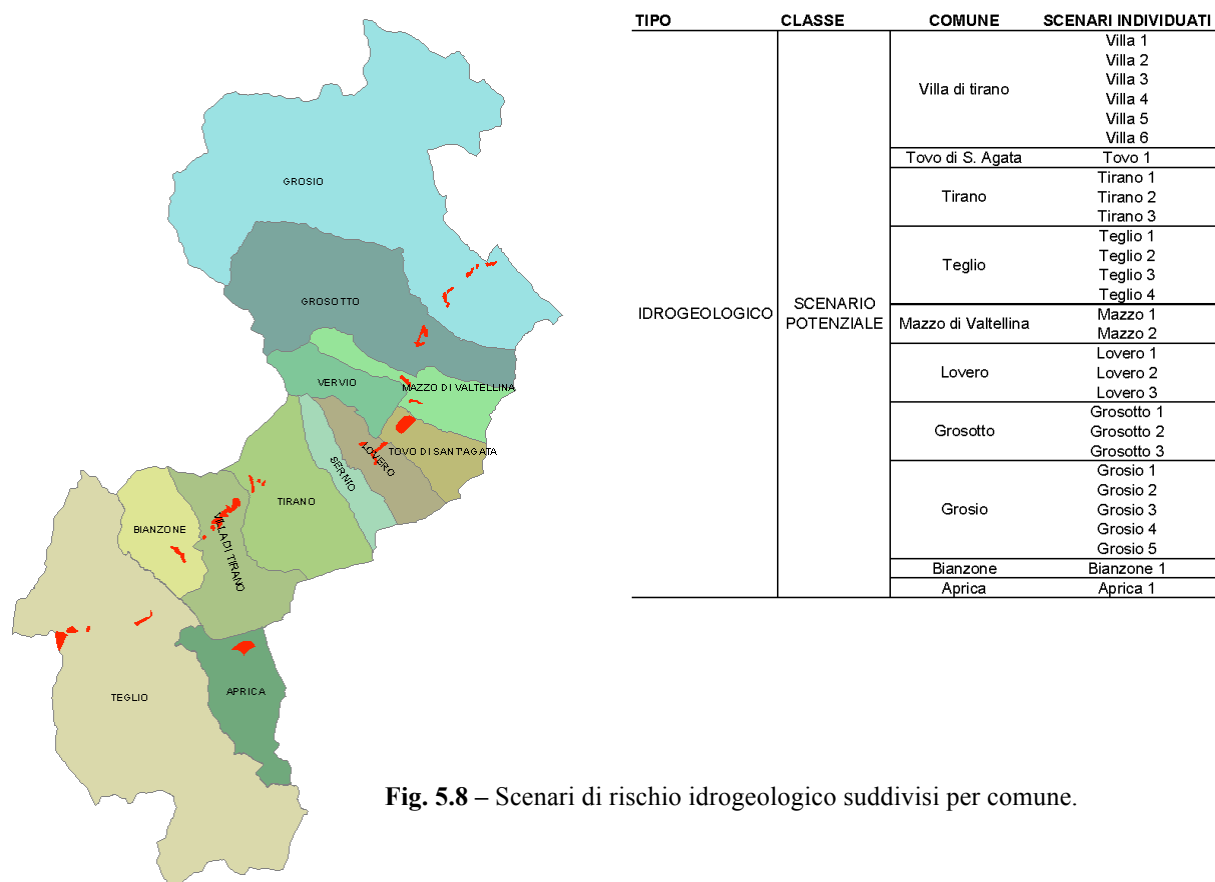


Fig. 5.8 – Scenari di rischio idrogeologico suddivisi per comune.

Gli scenari di rischio sono stati classificati come scenari potenziali in quanto è impossibile prevedere esattamente la distribuzione spaziale degli eventi calamitosi futuri. I risultati ottenuti in questa prima parte di analisi si inseriscono nel quadro normativo, proposto da Regione Lombardia, per la pianificazione dell'emergenza degli enti locali (L.R. 16/2004 art. 7 comma 11) che stabilisce le linee guida per la redazione dei piani di emergenza comunali, inserendo l'identificazione degli scenari di rischio come punto fondamentale per pianificare e gestire l'emergenza.

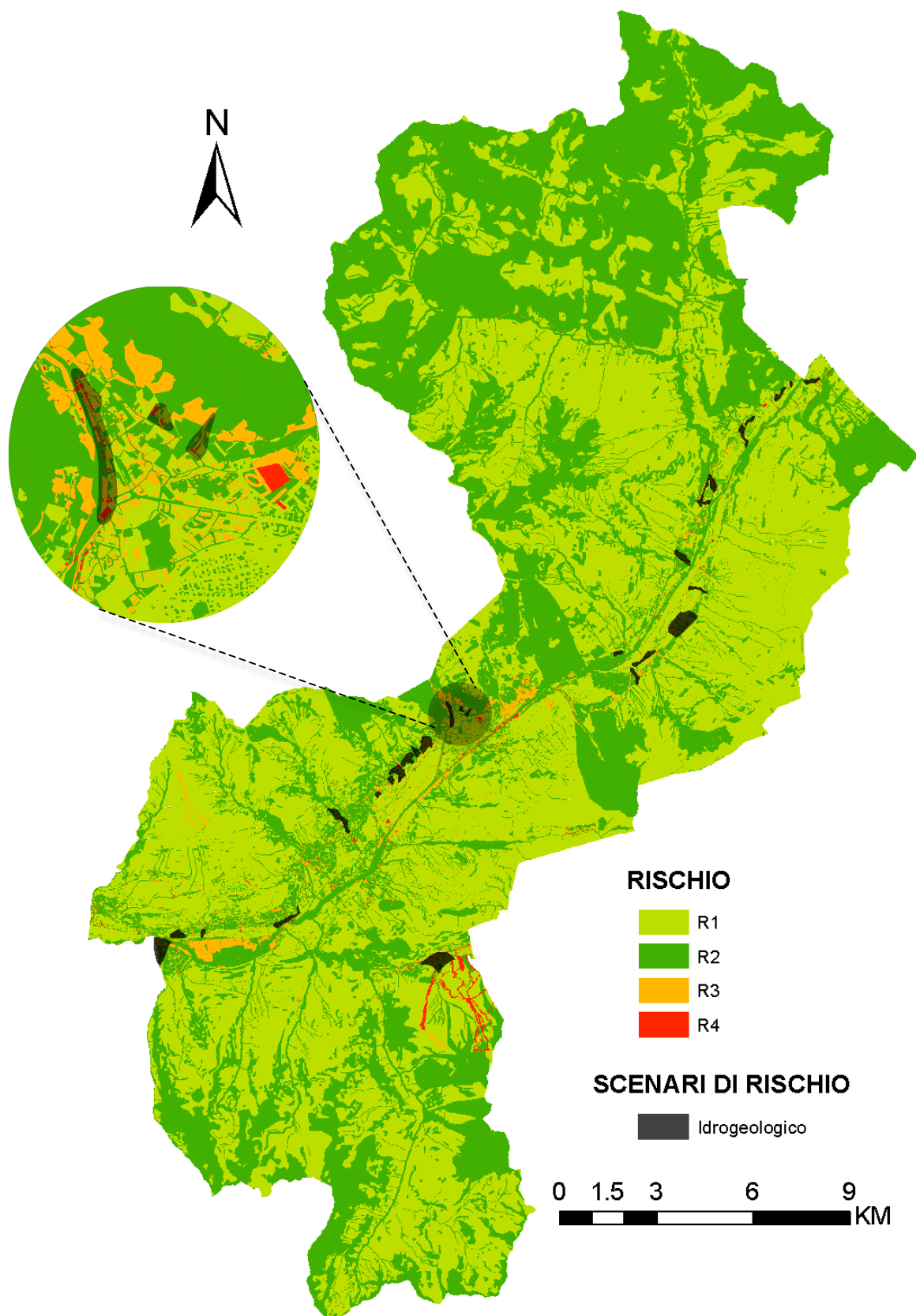


Fig. 5.9 – Carta di rischio con sovrapposizione (in nero) degli scenari di rischio idrogeologico individuati.

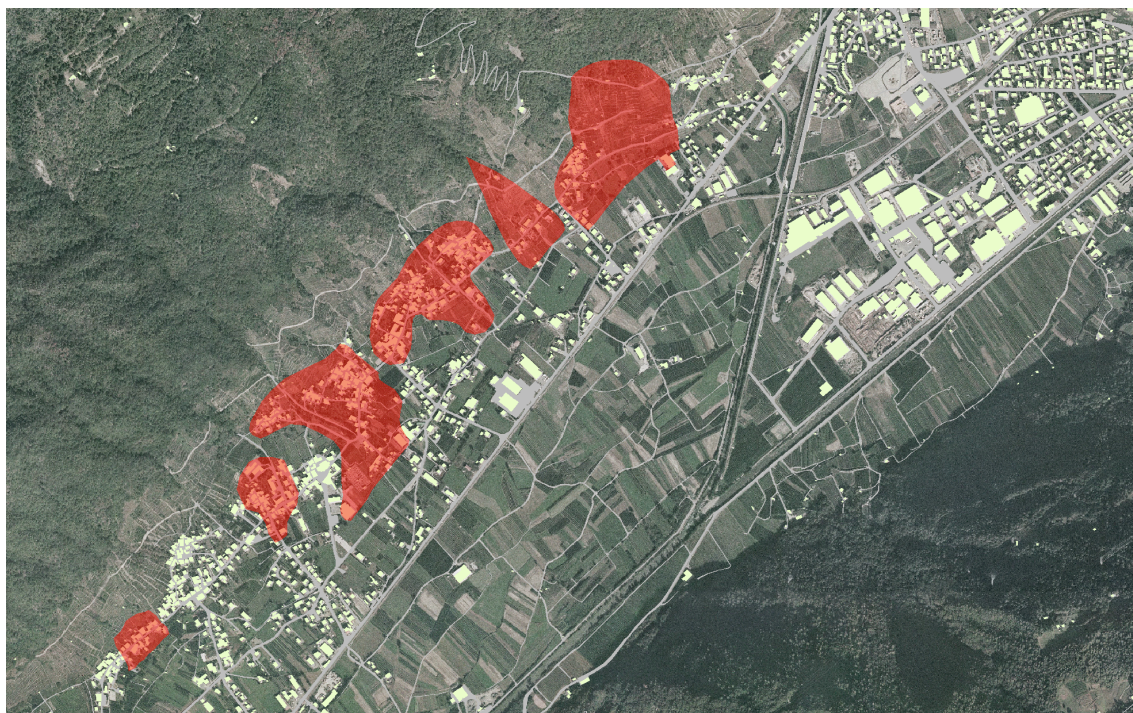


Fig. 5.10 – Comune di Villa di Tirano, scenari di rischio (rosso) su base ortofoto.

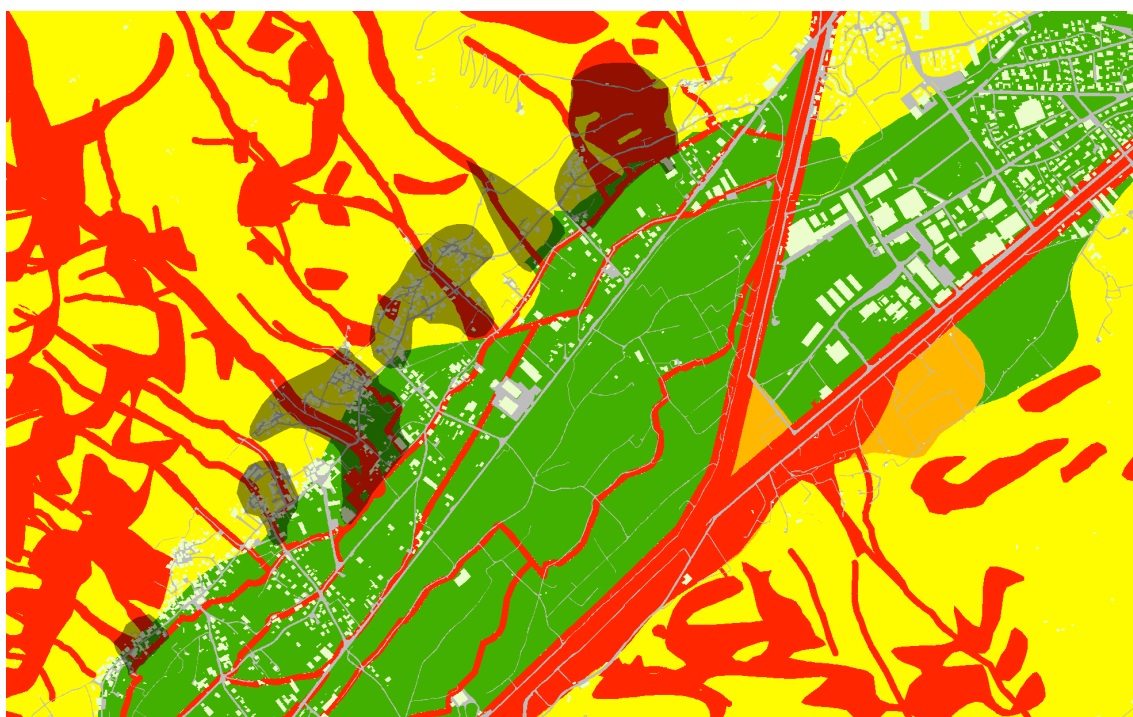


Fig. 5.11 – Comune di Villa di Tirano, scenari di rischio (nero trasparente) sovrapposti alla carta di pericolosità.



Fig. 5.12 – Comune di Tirano, scenari di rischio (rosso) su base ortofoto.

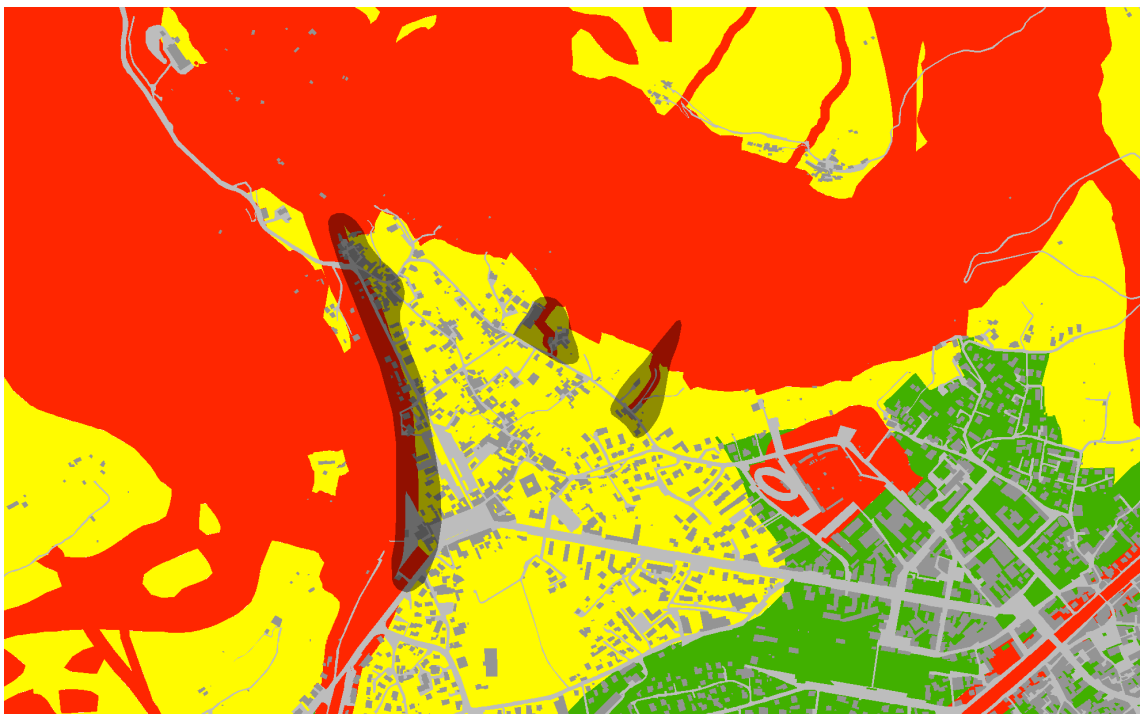


Fig. 5.13 – Comune di Tirano, scenari di rischio (nero trasparente) sovrapposti alla carta di pericolosità.

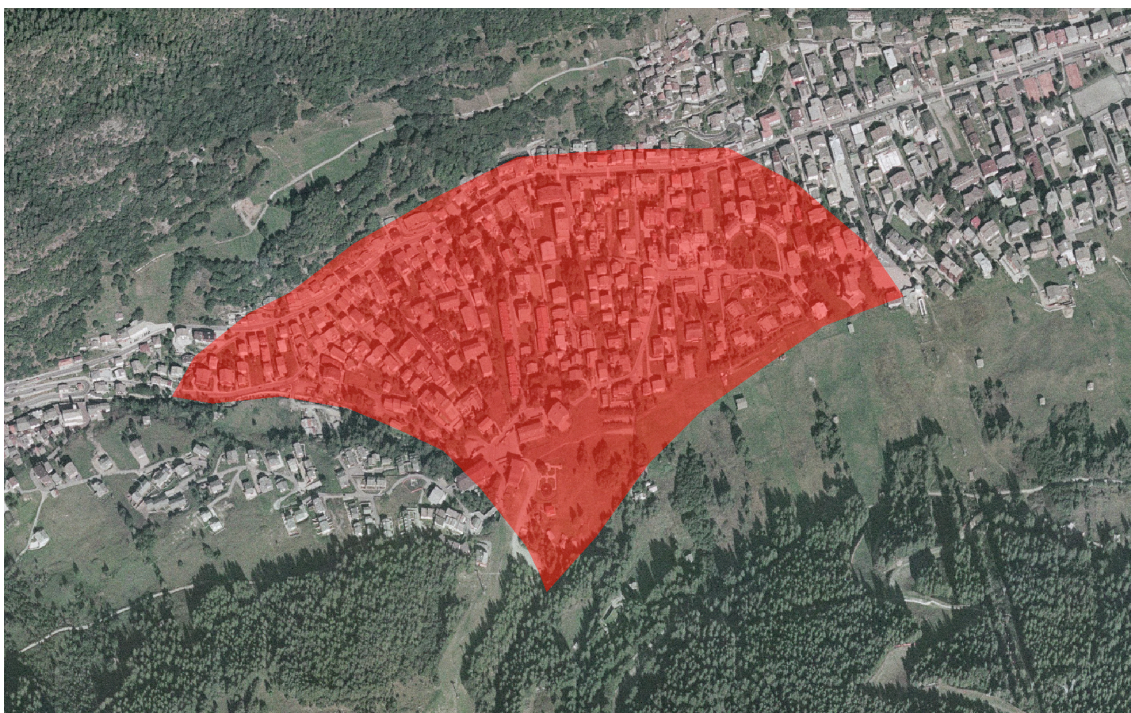


Fig. 5.14 – Comune di Aprica, scenario di rischio (rosso) su base ortofoto.

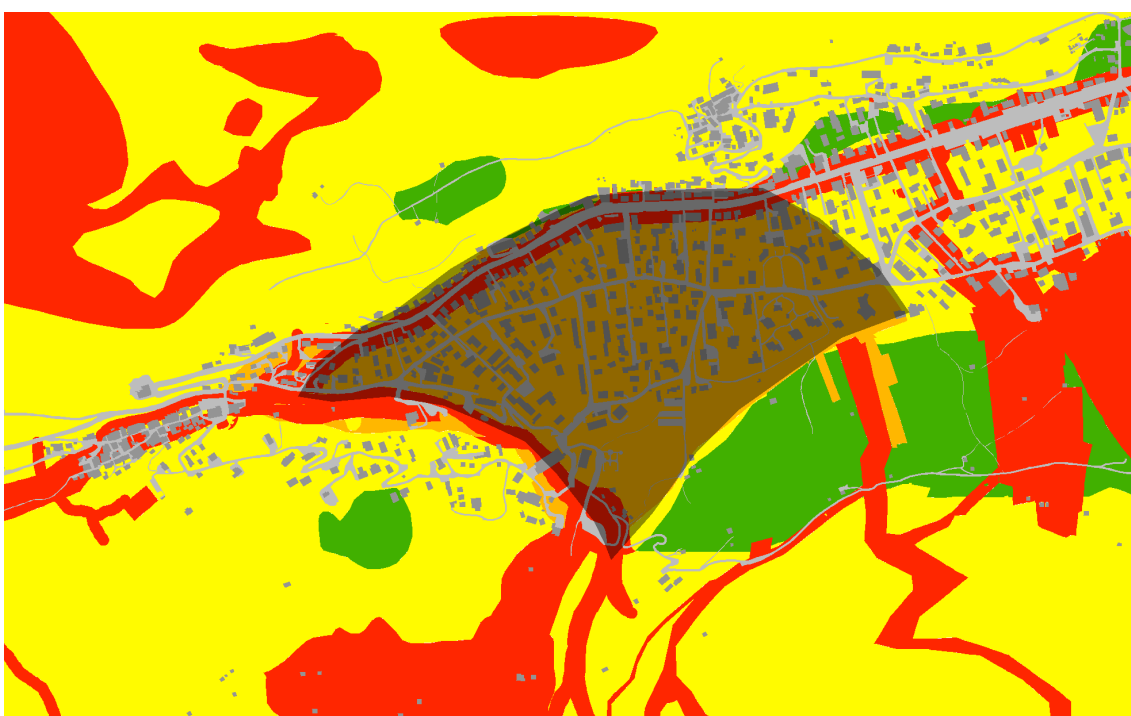


Fig. 5.15 – Comune di Aprica, scenari di rischio (nero trasparente) sovrapposti alla carta di pericolosità.

5.7 Considerazioni

L'analisi proposta, seguendo le direttive regionali presenti nella L. R. 11 marzo 2005 n. 12 denominata "*Legge per il governo del territorio*", ha portato ad una valutazione della pericolosità che tenesse conto delle molteplici tipologie di fenomeni calamitosi presenti sul territorio della Comunità Montana Valtellina di Tirano: dai fenomeni di instabilità dei versanti, come crolli in massa, frane quiescenti o di scivolamento, ai fenomeni alluvionali o di esondazione. La pericolosità è stata analizzata per tutti i dodici comuni afferenti al mandamento, considerando per ognuno di essi la carta di fattibilità e la carta di sintesi. Questo passo ha portato inevitabilmente ad una assegnazione finale delle classi di pericolosità affetta da una forte componente soggettiva, dovuta essenzialmente alla redazione delle carte di fattibilità e di sintesi per mano di diversi esperti.

Di contro, l'uso combinato delle informazioni contenute nelle due carte ha permesso di avere una maggiore comprensione del territorio in esame. La carta di fattibilità si è rivelata uno strumento di indubbia utilità, sia perché in alcune aree mancava completamente qualsiasi descrizione della carta di sintesi sia perché, essendo dettagliata sulla zona urbanizzata, forniva informazioni molto precise.

In ogni caso, l'utilizzo delle sole normative di riferimento si è rivelato non sufficiente ad una corretta valutazione del rischio. È stato infatti necessario l'intervento del personale della Comunità Montana Valtellina di Tirano che ha potuto integrare eventuali mancanze ed aggiungere osservazioni così da garantire l'esecuzione di una descrizione precisa delle diverse situazioni caratterizzanti i dodici comuni.

Infine l'individuazione degli scenari di rischio ha permesso, di definire piuttosto chiaramente le strutture e infrastrutture potenzialmente interessate da un ipotetico impatto.

Gli scenari di rischio ottenuti verranno prima confrontati con quelli ricavati utilizzando una diversa metodologia nella valutazione della pericolosità (capitolo 9), e successivamente utilizzati per associare i modelli di intervento per garantire una corretta gestione delle attività di soccorso in caso di emergenza (capitolo 11).

PARTE SECONDA

ANALISI DI SUSCETTIBILITÀ, PERICOLOSITÀ E RISCHIO

Premessa

In questa seconda parte dell'elaborato di tesi verrà spiegata la metodologia utilizzata per condurre un'analisi di "rischio" idrogeologico su area vasta considerando esclusivamente fenomeni franosi riconducibili a *debris flow* che ricadono nell'area oggetto di studio. La metodologia utilizzata per la valutazione della pericolosità è molto diversa da quella adottata nella prima parte dell'elaborato e prevede tre passi fondamentali:

(1) il primo passo è rappresentato dall'elaborazione di un database spaziale contenente le nicchie di distacco relative ai fenomeni franosi accaduti nel passato. (2) Il secondo passo dell'analisi consiste nell'utilizzare il database contenente i *debris flow* (mappati come punti) per calcolare, attraverso un modello statistico-probabilistico, la suscettibilità dell'area oggetto di studio, ovvero la predisposizione al dissesto del territorio della Comunità Montana Valtellina di Tirano. Si otterrà così una carta che mostra, in termini di probabilità spaziale relativa, le potenziali aree di innesco dei *debris flow*. (3) Il terzo e ultimo passo prevede di approfondire la componente spaziale della pericolosità. Attraverso un secondo modello probabilistico, infatti, verrà allestita una mappa che riporta le probabili direzioni di flusso che possibili eventi di *debris flow* possono assumere a seguito di una mobilitazione del materiale a partire dalle aree di innesco ricavate dall'analisi di suscettibilità.

La mappa di "pericolosità" verrà incrociata con la medesima carta di vulnerabilità presentata nella prima parte dell'elaborato di tesi, in modo da ottenere una carta di "rischio" specifica per i fenomeni franosi di *debris flow*. Le due carte di "rischio" verranno confrontate così da mostrare quali sono le differenze sostanziali e quali sono i vantaggi e gli svantaggi di una rispetto all'altra.

Infine, in quest'ultima parte di lavoro si propone una possibile analisi volta a stimare il danno atteso considerando le probabilità di flusso uguali alle probabilità di impatto sugli edifici. La valutazione economica è stata condotta solamente sul comune di Tirano e avvalendosi delle quote di mercato rilasciate dall'agenzia del territorio.

6

DEBRIS FLOW

I *debris flows* (Fig. 6.1) sono associati a processi di dinamica torrentizia che si contraddistinguono per meccanismi di erosione e di trasporto estremamente variabili dal punto di vista spaziale e temporale, particolarmente attivi durante eventi di piena anche di breve durata. Questi fenomeni si configurano come flussi di trasporto di materiale detritico e/o fangoso ad elevata concentrazione, materiale vegetale e acqua, caratterizzati da un contenuto solido rilevante che si muove come un fluido continuo soggetto alla forza di gravità (Takahashi 2007). Tali colate si innescano a partire da una zona di accumulo a monte e possono percorrere grandi distanze per il contributo dell' acqua che fluisce lungo i torrenti, per la presenza di irregolarità morfologiche, grazie alle caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali coinvolti o per lo sconfinamento laterale a cui sono sottoposti; tendono infatti a seguire le vie di drenaggio preesistenti con percorsi anche chilometrici e basse inclinazioni e talora possono saltare ostacoli preesistenti (argini, muri, etc.) in corrispondenza di curve più o meno pronunciate; tale carattere influenza chiaramente la pericolosità connessa a fenomeni di colamento detritico soprattutto nelle aree di conoide. Le superfici di scorrimento nella massa in movimento non sono generalmente visibili, oppure hanno breve durata e il limite tra la massa in movimento ed il materiale in posto può essere una superficie netta di movimento differenziale, oppure una zona di scorrimenti distribuiti.

La velocità di scorrimento dei *debris flow* varia in funzione delle caratteristiche del detrito (dimensione e tipologia di materiale) e della geometria del canale, considerando i relativi caratteri morfologici quali forma, pendenza, sinuosità e ampiezza. Le velocità osservate variano da 0.5 a circa 20 m/s (Costa 1984). Le misurazioni delle densità del materiale mobilitato hanno rilevato valori differenti che si aggirano intorno a 1.40 g/cm³ o meno per sedimenti molto fluidi, tipici dei fenomeni riscontrati in Giappone (Okuda *et al.* 1980) e Costa Rica (Waldron 1967), fino a densità di 2.53 g/cm³ per *debris flow* relativamente secchi studiati nel sud delle Montagne Rocciose (Curry 1966). Costa (1984)

classifica flussi di materiale con densità minori di 1.80 g/cm^3 come materiale detritico iperconcentrato.

Lo strato deposizionale dei *debris flow* si presenta non stratificato, blandamente selezionato, composto da elementi litologici la cui granulometria varia dall'argilla, ai ciottoli, fino a rocce del diametro di alcuni metri (Pierson 1980; Suwa and Okuda 1983; Costa 1984). L'eterogeneità rilevata nei depositi di *debris flow* è strettamente collegata alle dinamiche di flusso. I materiali sono infatti mantenuti in sospensione grazie alla velocità del flusso e agli urti reciproci delle particelle, per essere successivamente depositati in funzione della granulometria, solo qualora la pendenza decresca in maniera costante. Nella maggior parte dei casi, tuttavia, il gradiente di pendenza diminuisce bruscamente in corrispondenza dei conoidi alluvionali. Di conseguenza, il detrito (ancora eterogeneo) viene rilasciato in massa alla base del canale centrale (Takahashi 2007). E' questo processo la causa dei disastri legati ai debris flow. La geometria tipica di un deposito prodotto da un *debris flow* ha una forma lobata, con margini smussati modellatisi lungo il corso della colata (Johnson, 1970; Costa 1984; Hooke 1987; Whipple and Dunne 1992; DeGraff 1994).

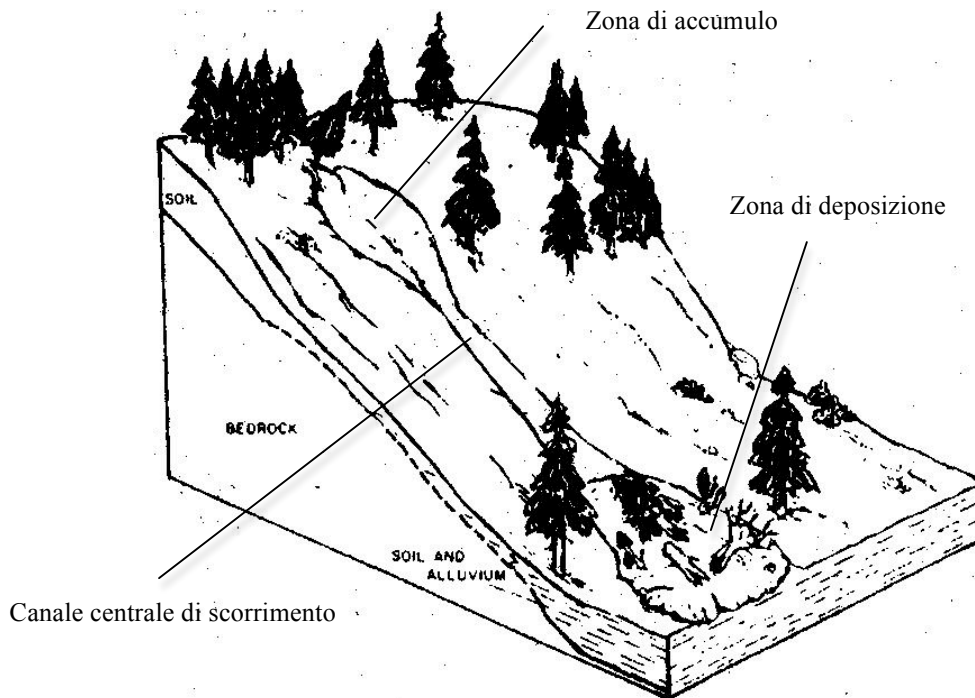


Fig. 6.1 – Principali proprietà morfologiche di un *debris flow* (Appleby and Kilbourne, 1978 *California Geological Survey*, modificato).

I *debris flow* sono fortemente influenzati dal regime idrotermico caratterizzante il contesto in cui si sviluppano. Prolungate ed intense precipitazioni meteoriche possono causare una saturazione dei depositi di copertura dei versanti, spesso costituiti da sottili coltri eluvio-colluviali, favorendo l'innescò di *debris flows* (Takahashi 2007), che risultano particolarmente pericolosi per l'imprevedibilità e la velocità di accadimento che li caratterizza. Questo particolare tipo di colamenti può essere descritto con maggiore precisione in funzione dei parametri geotecnici dei materiali coinvolti, della loro granulometria, delle caratteristiche morfologiche e morfometriche o della loro cinematica. Tra questi fenomeni rientrano anche le cosiddette lave torrentizie (*debris torrent*), che si sviluppano lungo le aste torrentizie dando luogo a fenomeni di trasporto in massa, che spesso determinano una riattivazione parziale o totale dei conoidi alluvionali di fondo valle. Questa determinata tipologia di colate può mobilitare enormi quantitativi di materiale e l'evoluzione del fenomeno, date anche le distanze percorse, può essere caratterizzata da una serie di impulsi successivi. Spesso l'innescò è favorito da colmi di piena anomali, che si determinano a seguito di sfondamenti di sbarramenti temporanei dell'alveo legati ad accumuli di materiale litoide e ligneo. Molti *debris flows* in condizioni naturali esibiscono un movimento a onde in sequenza (Davies 1986, 1988) e vari esperimenti condotti su larga scala hanno dimostrato che il processo deposizionale avviene più per accrescimento incrementale, causato dallo sviluppo di onde progressive, che per accumulo in massa del materiale mobilitato (Major 1997), sebbene tale genesi non venga registrata nella sedimentologia della zona di accumulo. Tale comportamento delle colate di detrito sarebbe quindi in contrasto con quei modelli che si propongono di produrre il comportamento cinematico e le proprietà fisiche di un *debris flow* a partire dalle caratteristiche della zona di accumulo del detrito e che partono dall'assunzione di una deposizione in massa del sedimento. In questa logica appare incoerente, ai fini della determinazione della pericolosità che insiste su di un'area, anche la valutazione dell'area coinvolta da una colata a partire da stime di resistenza e di viscosità del *debris flow* (O'Brien *et al.* 1993; Whipple 1994). Appaiono anche sospette le inferenze circa il comportamento idraulico e le proprietà reologiche di una colata a partire dalle proprietà della zona di accumulo: non risulta infatti compatibile con un processo di natura deposizionale la valutazione dell'intensità di una colata a partire dalla relazione tra la dimensione dei clasti e lo spessore dello strato.

Le tipologie di *debris flow* e le loro caratteristiche sono state considerate in diversi studi da molteplici autori (Takahashi 1981; Costa 1984; Davies 1986; Pierson 1986; van Steijn

1988; Corominas *et al.* 1996; Hungr *et al.* 2001; Jakob 2005), partendo da osservazioni su campo, caratteristiche del flusso, comportamento e composizione del materiale, ecc. Tuttavia in letteratura non è presente una classificazione condivisa tra i diversi autori. Coussot e Meunier (1996) presentano due tipologie principali di *debris flow* in funzione della granulometria (colate di fango e di detrito); nell'area di studio della Comunità Montana Valtellina di Tirano sono spesso presenti sia frane di fango che di detrito, come quella verificatasi a Selvetta nel luglio del 2008 (Fig. 6.2).



Fig. 6.2 – Frana di fango e detriti nella frazione di Selvetta a Colorina (SO). Foto di M. Ceriani (Protezione Civile Regione Lombardia).

Crosta *et al.* (1990) propongono una classificazione dei *debris flow* per l'area della Valtellina: (1) *debris flow* non canalizzati; (2) *debris flow* canalizzati; (3) valanghe di detrito; (4) torrenti di detrito.

I *debris flow* non canalizzati (1) sono generalmente legati a colamenti del suolo o a frane superficiali in colluvi colonizzati da specie erbacee. I fattori predisponenti del loro innesco sono collegati a condizioni litologiche e morfologiche dell'area. Le aree di accumulo sono piccole e limitate alla superficie.

I *debris flow* canalizzati (2) si innescano invece in corrispondenza di pendenze intermedie ($15^\circ - 40^\circ$) e prendono origine da scivolamenti rotazionali o traslazionali in depositi colluviali. Le condizioni idrogeologiche responsabili del loro innesco sono simili a quelle dei *debris flow* non canalizzati. Quelli canalizzati si differenziano da questi ultimi principalmente perché l'erosione e lo scorrimento non sono limitati all'area sorgente. I *debris flow* canalizzati hanno infatti sufficiente potere erosivo da rimuovere materiale lungo il tragitto, aumentando quindi il volume del detrito verso valle e generando aree di deposizione mediamente maggiori.

Le valanghe di detrito (3), fenomeni molto localizzati, si originano dalla sottile copertura di depositi colluviali presente su pendenze boschive ripide ($> 45^\circ$). Le aree di deposito sono generalmente limitate a qualche decina o centinaio di metri quadri.

I torrenti di detrito (4) si innescano in gole o strette valli, a causa del rilascio improvviso di materiale accumulato in seguito al cedimento di strutture di contenimento quali argini, dighe, sbarramenti detritici, ecc. La massa in movimento trasporta grandi volumi di materiali, sia organici che inorganici, anche di notevole dimensione (blocchi fino a tre metri di diametro) che si accumulano in conoidi alluvionali allo sbocco dei canali di drenaggio principali.

7

MATERIALI E METODI**7.1 Introduzione**

La raccolta dati è stata articolata in due fasi che hanno seguito la metodologia di analisi proposta in questa tesi. La prima è stata dedicata all'indagine bibliografica per saggiare quali fossero i tools, i modelli e i software più adatti, per l'analisi del rischio e la gestione delle emergenze idrogeologiche. Successivamente a questa scelta sono stati reperiti, in formato digitale, tutti quei dati cartografici utili allo scopo del lavoro. La maggior parte di questi sono stati forniti dalla Comunità Montana Valtellina di Tirano; altri sono stati reperiti attraverso il Geoportale della Regione Lombardia nonché da altre fonti quali università, centri di ricerca e amministrazioni pubbliche a tutti i livelli (comunale, provinciale e regionale).

La seconda fase di indagine, strettamente legata alla pianificazione dell'emergenza in merito alla definizione delle procedure di intervento per il rischio idrogeologico, ha riguardato l'aspetto legislativo, con la raccolta e l'archiviazione di tutti i documenti e gli atti normativi a livello nazionale, regionale e provinciale, di interesse per le problematiche trattate. I dati disponibili sono stati opportunamente archiviati e gestiti mediante DBMS (*DataBase Management Systems*) relazionali.

7.2 Raccolta dati

Per la metodologia di analisi proposta sono state attinte informazioni dai seguenti documenti:

- GeoIFFINet - Inventario delle frane e dei dissesti idrogeologici della Regione Lombardia (www.cartografia.regione.lombardia.it/geoiffi);

- Studio dei Centri Abitati Instabili della Provincia di Sondrio (SCAI), volume realizzato dalla Regione Lombardia in collaborazione con il Consiglio Nazionale delle Ricerche ed il Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (1997);
- Aree Vulnerate Italiane (AVI) (<http://sici.irpi.cnr.it>; <http://avi.gndci.cnr.it>);
- Piano dell'Assetto Idrogeologico (PAI) del bacino del Fiume Po, Autorità di Bacino del Fiume Po, 2001, www.adbpo.it;
- Piano Stralcio per le Aree a rischio idrogeologico molto elevato (PS 267), Autorità di Bacino del Fiume Po, 1999, www.adbpo.it;
- Inventario delle frane e dei dissesti idrogeologici della Regione Lombardia (Regione Lombardia, 2002, 2 CD);
- Carta della Predisposizione dei Versanti al Dissesto della Comunità Montana Valtellina di Tirano (1:25.000), realizzata nell'ambito della convenzione tra il Consiglio Nazionale delle Ricerche – Istituto per la Dinamica dei Processi Ambientali (sezione di Milano) e la Comunità Montana Valtellina di Tirano (2004);
- Documenti tecnici allegati alla pianificazione urbanistica comunale (carte di sintesi, dei vincoli e di fattibilità geologica ai sensi della L.R. 41/97 e della L.R. 12/2005 - D.G.R. 8/1566 del 22.12.2005; www.cartografia.regione.lombardia.it e www.pgt.regione.lombardia.it);
- Cartografia e basi informative Geoambientali (1:10.000).
 - Elaborati di base: carta litologica, geomorfologica, uso del suolo ad orientamento vegetazionale, idrologia con indicazioni inerenti la permeabilità.
 - Elaborati derivati: dissesto idrogeologico e pericolosità, capacità d'uso del suolo, attitudini all'uso produttivo del suolo, degrado ambientale, rilevanze naturalistiche e paesaggistiche <http://www.regione.lombardia.it/>;
- Database Topografico (DB2000) alla scala 1:2.000 per le aree di fondovalle; 1:10.000 per la restante parte del territorio comunale, disponibile a livello dell'intero territorio della Comunità Montana Valtellina di Tirano;
- Carta Tecnica della Regione Lombardia (1:10.000);
- Ortofoto (2000);
- Carte catastali;
- Normativa Nazionale e Regionale vigente.

7.3 Modelli utilizzati

7.3.1 *Weights of Evidence (WofE)*

Il *Weights of Evidence* è un modello statistico probabilistico basato sul teorema di *Bayes* in grado di analizzare separatamente il contributo di varie classi tematiche al manifestarsi di uno specifico evento. Originariamente il metodo è stato sviluppato per applicazioni non spaziali, in campo medico-diagnostico, per valutare quale fosse la malattia di un paziente. Per ogni sintomo riscontrato, veniva calcolata una coppia di pesi, uno per la presenza del sintomo e uno per l'assenza. L'entità dei pesi veniva in seguito utilizzata per stimare la probabilità che un nuovo paziente avesse la malattia *x* sulla base della presenza e assenza dei sintomi (Spiegelhalter 1986).

In seguito, intorno agli anni ottanta, il metodo è stato adattato in ambiente GIS dal Servizio Geologico Canadese per mappare e valutare le potenzialità minerarie di alcune aree dell'America settentrionale (Bonham-Carter 1988). Negli anni successivi è stato applicato anche in altri campi, tra cui quello idrogeologico per l'analisi del dissesto per frana (Van Westen 1993).

In questo progetto di ricerca il modello è stato applicato per valutare la propensione al dissesto del territorio della Comunità Montana Valtellina di Tirano. L'applicazione del metodo è stata effettuata implementando in ArcGis 9.3 © l'ultima release, rilasciata a giugno 2009, del tool Arc-SDM (*Spatial Data Modeller*) (Sawatzky *et al.* 2009). L'estensione è fruibile in modo completamente gratuito al seguente indirizzo: http://www.ige.unicamp.br/sdm/default_e.htm.

7.3.2 *Flow-R*

Flow-R è un modello sviluppato presso l'Università di Losanna (Horton *et al.* 2008). La funzione principale è quella di identificare le aree sorgenti e di restituire mappe raster che esprimono la probabile traiettoria lungo il pendio e la massima distanza di arresto (*run out*) del materiale mobilizzato in seguito ad un ipotetico evento di *debris flow*. Nel caso di studio proposto, *Flow-R* è stato utilizzato per identificare nel territorio dei comuni afferenti

alla Comunità Montana Valtellina di Tirano, ipotetici scenari di impatto (scenari di rischio) su nuclei abitati derivanti da eventi calamitosi legati a fenomeni di *debris flow*.

Si è scelto di utilizzare questo modello in quanto: i dati di output derivanti dall'analisi di suscettibilità (*Weights of Evidence*), possono essere inseriti come dati di input in *Flow-R* come aree sorgenti; è di semplice applicazione ed è possibile impiegarlo pur avendo a disposizione un set limitato di dati non necessariamente a carattere puramente geotecnico. L'identificazione delle aree di innesco e la stima del *run out* dei *debris flow* forniscono un'importante base per una valutazione preliminare della pericolosità connessa a movimenti rapidi di versante a media scala.

7.4 Tools utilizzati

7.4.1 Applicativo GIS e DSS

L'applicativo utilizzato è costituito da un Sistema Informativo Territoriale (GIS) con integrato un Sistema di Supporto alle Decisioni (DSS). E' concepito per la gestione di dati territoriali necessari sia per la pianificazione dell'emergenza a livello locale e sovracomunale sia per la gestione e il coordinamento delle azioni di intervento da intraprendere per il superamento dell'emergenza.

L'applicativo integra efficacemente dati di tipo cartografico con dati alfanumerici; questi ultimi sono a loro volta archiviati in una base dati di tipo relazionale, organizzato in schede specifiche secondo lo schema del Sistema Informatico Mercurio (schema tipo proposto dalla Direzione Generale della Protezione Civile, 1985).

L'applicativo è stato testato e utilizzato nell'ultima parte del progetto di dottorato simulando una gestione dell'emergenza a livello comunale e sovracomunale con la Comunità Montana Valtellina di Tirano nel ruolo di ente di raccordo e coordinamento tra i dodici comuni afferenti al mandamento. Il modulo GIS è stato utilizzato per la creazione di una banca dati territoriale di supporto agli interventi di Protezione Civile mentre il modulo DSS è stato utilizzato per elaborare, secondo la legislazione regionale vigente, una serie di procedure di intervento necessarie per fronteggiare una situazione di emergenza idrogeologica.

8

ANALISI DI SUSCETTIBILITÀ**8.1 Introduzione**

Nelle aree di studio interessate da eventi franosi pregressi, l'analisi di suscettibilità viene generalmente effettuata utilizzando tecniche statistiche che partono da dati di natura geologica e geomorfologica (Carrara *et al.* 1995).

Uno dei primi passi nella valutazione della pericolosità da frana è la valutazione della suscettibilità a media scala (1:25.000 – 1:50.000), assumendo che le condizioni che hanno causato l'insorgenza di eventi franosi in passato possano essere determinanti nell'accadimento di eventi futuri (Remondo *et al.* 2005; Fell *et al.* 2008). Per ottenere mappe di suscettibilità a media scala (1:25.000 – 1:50.000) attraverso questa tecnica, è necessario possedere come dati di input un database dettagliato delle frane (*training points*) e i fattori predisponenti (predittori) ritenuti rilevanti per l'analisi.

L'analisi proposta può essere suddivisa in quattro fasi principali: (1) predisposizione di un database relativo agli eventi di *debris flows* recentemente mappati (DF2001), (2) analisi e selezione di un'appropriata combinazione dei fattori predisponenti, (3) valutazione e validazione delle mappe di suscettibilità ottenute e (4) comparazione dei risultati e selezione della mappa finale.

8.2 Predisposizione del database

Sono attualmente disponibili tre database degli eventi franosi per l'area di studio:

1. il database AVI (Aree Vulnerate Italiane, Guzzetti *et al.* 1994) un archivio bibliografico delle frane ed esondazioni in Italia.
2. il database a scala 1:10.000 regionale delle frane mappato dalla Regione Lombardia nel 2002;

3. il database GeoIFFI per la Regione Lombardia (GeoIFFI 2006), parte del progetto nazionale GeoIFFI.

Purtroppo i tre database disponibili possiedono imprecisioni che comprometterebbero l'analisi di suscettibilità. Ad esempio il database AVI, nonostante venga aggiornato regolarmente, possiede informazioni limitate circa le aree sorgenti di *debris flows*: infatti sono inventariati solamente 80 eventi nell'area di studio, di cui 12 classificati come *debris flows*. Anche il database regionale evidenzia criticità simili: nell'area della Comunità Montana Valtellina di Tirano sono inventariati 501 eventi di cui solo 46 classificati come *debris flows*.

Inoltre, i dati utilizzabili per l'analisi di suscettibilità non sono sempre affidabili ai fini dello studio. Infatti, in entrambi i database i punti censiti si trovano principalmente nelle aree di trasporto e deposizione sul fondovalle e solamente in pochi casi sono localizzati in corrispondenza della nicchia di distacco.

Per quanto concerne il database GeoIFFI, nonostante sia molto ricco di dati (1478 *debris flows*) e sia mappato attraverso punti, linee e poligoni, risulta essere impreciso in quanto è stata riscontrata la presenza di alcuni errori nella collocazione spaziale dei punti.

Per i motivi sopracitati, dopo un'approfondita analisi dei database, si è deciso di creare un nuovo database (DF2001) basato sull'interpretazione di fotografie aeree scattate nel 2001. La maggior parte dei *debris flows* è infatti facilmente identificabile attraverso un'attenta foto interpretazione. Sono stati mappati 576 poligoni relativi alle nicchie di distacco di *debris flows*, per un'area totale di 4,4 Km². Ai fini dello studio, si è deciso di non includere nel database gli eventi di *debris flows* legati a cause antropiche (ad esempio terrazzamenti con muretti a secco poco stabili): in questo modo vengono considerati, anche ai fini statistici di correlazione dei punti in frana con i predittori, esclusivamente gli eventi attribuibili a cause naturali.

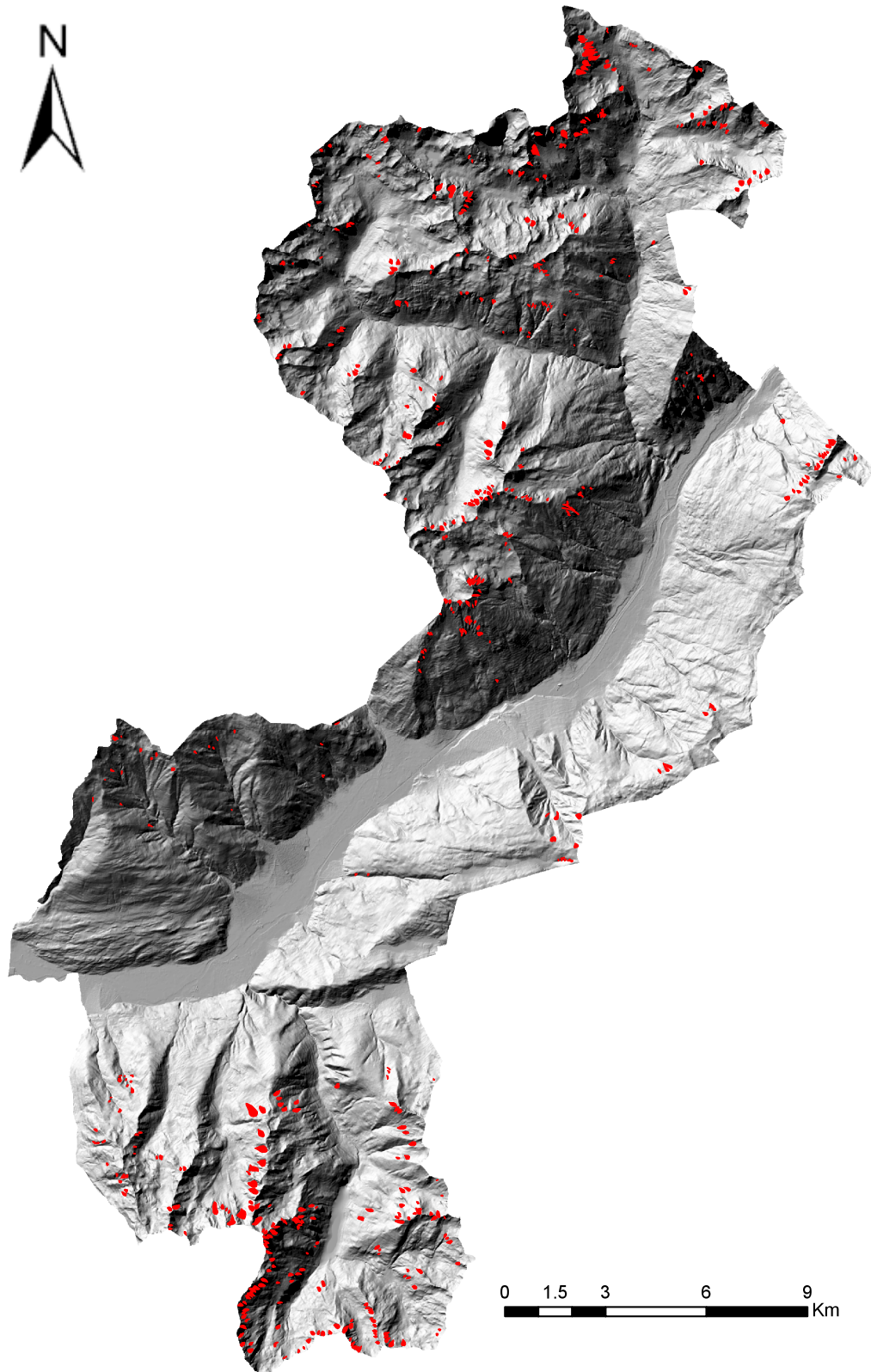


Fig. 8.1 - DF2001. In rosso sono evidenziati i 576 *Training points (Debris flows)* utilizzati nel modello statistico.

Poiché il territorio della Comunità Montana Valtellina di Tirano è variabile da un punto di vista geomorfologico, il database è stato suddiviso spazialmente in tre aree distinte: Nord, Centro e Sud. I *training points* ricadenti nelle tre aree sono stati ulteriormente suddivisi in modo casuale in due *subset* numericamente identici: in questo modo, il primo *subset* (**subset1**) è stato utilizzato per la costruzione del modello statistico *WofE*, il secondo *subset* (**subset2**) per la validazione del potere predittivo del modello stesso.

8.3 Analisi dei fattori predisponenti (predittori)

Dopo un'attenta analisi bibliografica (Carrara *et al.* 1991; Soeters and van Westen 1996; Guzzetti *et al.* 1999; Castellanos Abella 2008), sono stati presi in considerazione dieci fattori predisponenti (predittori) (Fig. 8.2 e fig. 8.3). La maggior parte di essi è di carattere morfometrico e deriva dal modello digitale del terreno (DEM). In particolare, partendo dal DEM fornito dalla Comunità Montana Valtellina di Tirano con risoluzione 10 metri, sono state derivate utilizzando la funzione *Spatial Analyst* di ArcGis 9.3® le seguenti mappe: **altitudine**, **rilievo interno**, **curvatura trasversale**, **curvatura longitudinale**, **pendenza**, **esposizione dei versanti** e **accumulo dei flussi**. Le mappe sono state successivamente classificate in dieci classi utilizzando i quantili, in modo da individuare classi con lo stesso numero di elementi; la mappa di esposizione è stata invece classificata in nove classi (otto per le diverse esposizioni e una per le aree pianeggianti).

Oltre ai fattori predisponenti sopracitati, sono state prese in considerazione altre tre mappe: **carta geologica**, **distanza dalle linee di faglia** e **uso del suolo**. La carta geologica è stata derivata dalla mappa in scala 1:10.000 della Regione Lombardia, redatta nell'ambito del progetto CARG (1992); la mappa contiene cinquantuno classi litologiche di cui le più frequenti sono depositi morenici e gneiss. Anche la mappa della distanza dalle linee di faglia è stata derivata dalla carta geologica CARG: utilizzando diversi buffer dalle linee tettoniche (25, 50, 100, 250 e 500 metri), è stata creata una mappa con sei classi, che tenga conto del possibile deterioramento delle caratteristiche fisico-meccaniche degli ammassi rocciosi lungo le linee tettoniche e, conseguentemente, la potenziale disponibilità di materiale mobilizzabile. Infine, la mappa di uso del suolo, in scala 1:10.000 e suddivisa in ventitre classi, è stata derivata dal progetto DUSAF (2003), condotto dalla Regione Lombardia.

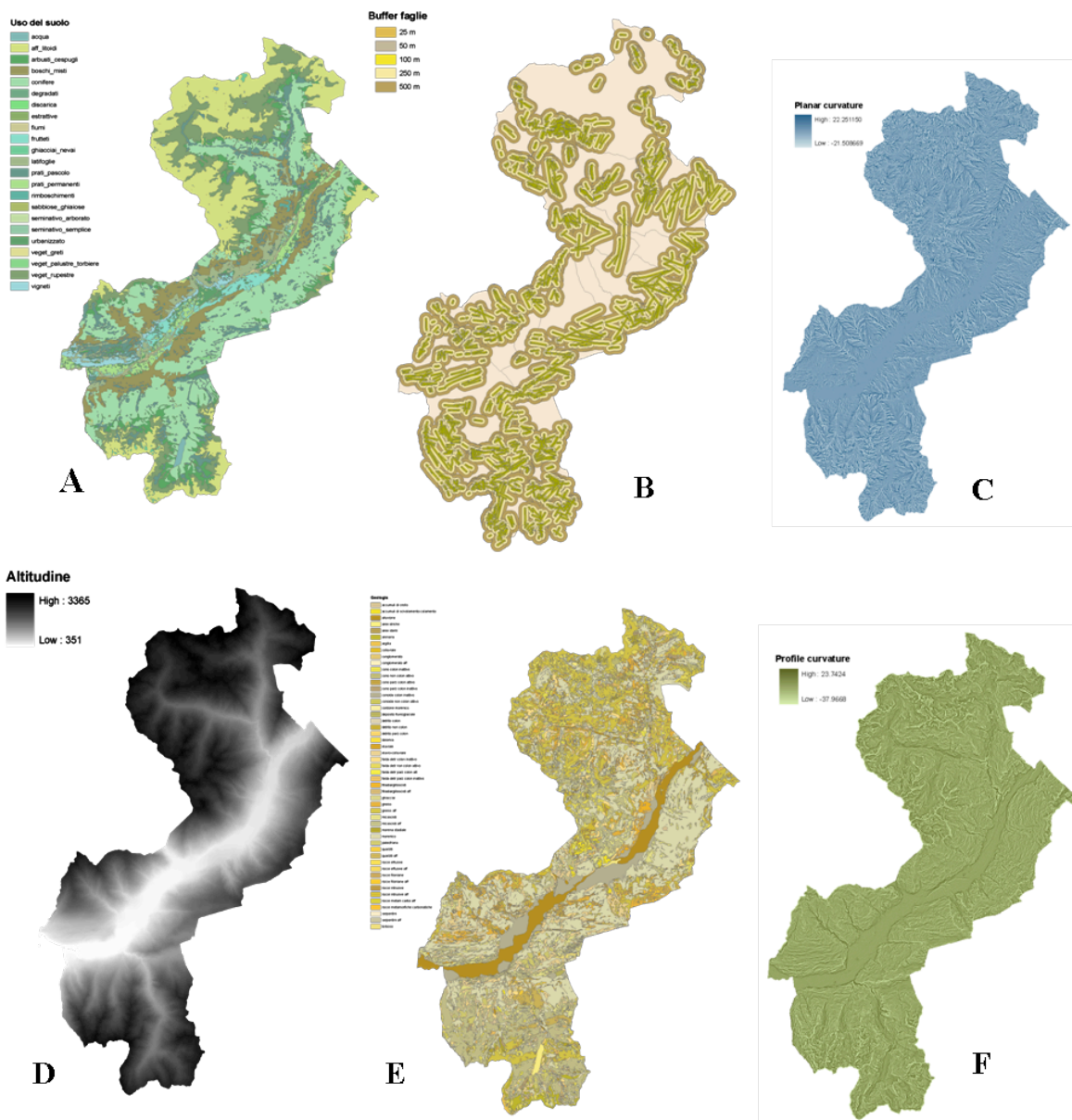


Fig. 8.2 – Fattori predisponenti. (A) **Carta di uso del suolo** (la carta è stata riclassificata in 8 classi: Terreno nudo, Vegetazione scarsa, Arbusti e Cespugli, Foresta, Prateria, Coltive, Tessuto urbano, Corsi d’acqua). (B) **Distanza dalle linee di faglia** (classificata in 6 classi utilizzando i seguenti buffers: 0-25m, 25-50m, 50-100m, 100-250m, 250-500m, >500m). (C) **Curvatura trasversale** (derivata dal DEM). (D) **Altitudine** (quote comprese tra 351m e 3366m). (E) **Carta geologica** (la carta è stata classificata in 8 classi: Sedimenti colluviali, Micascisti, Rocce intrusive, Rocce sedimentarie, Gneiss, Depositi morenici, Quarzite, Altro). (F) **Curvatura longitudinale** (derivata dal DEM).

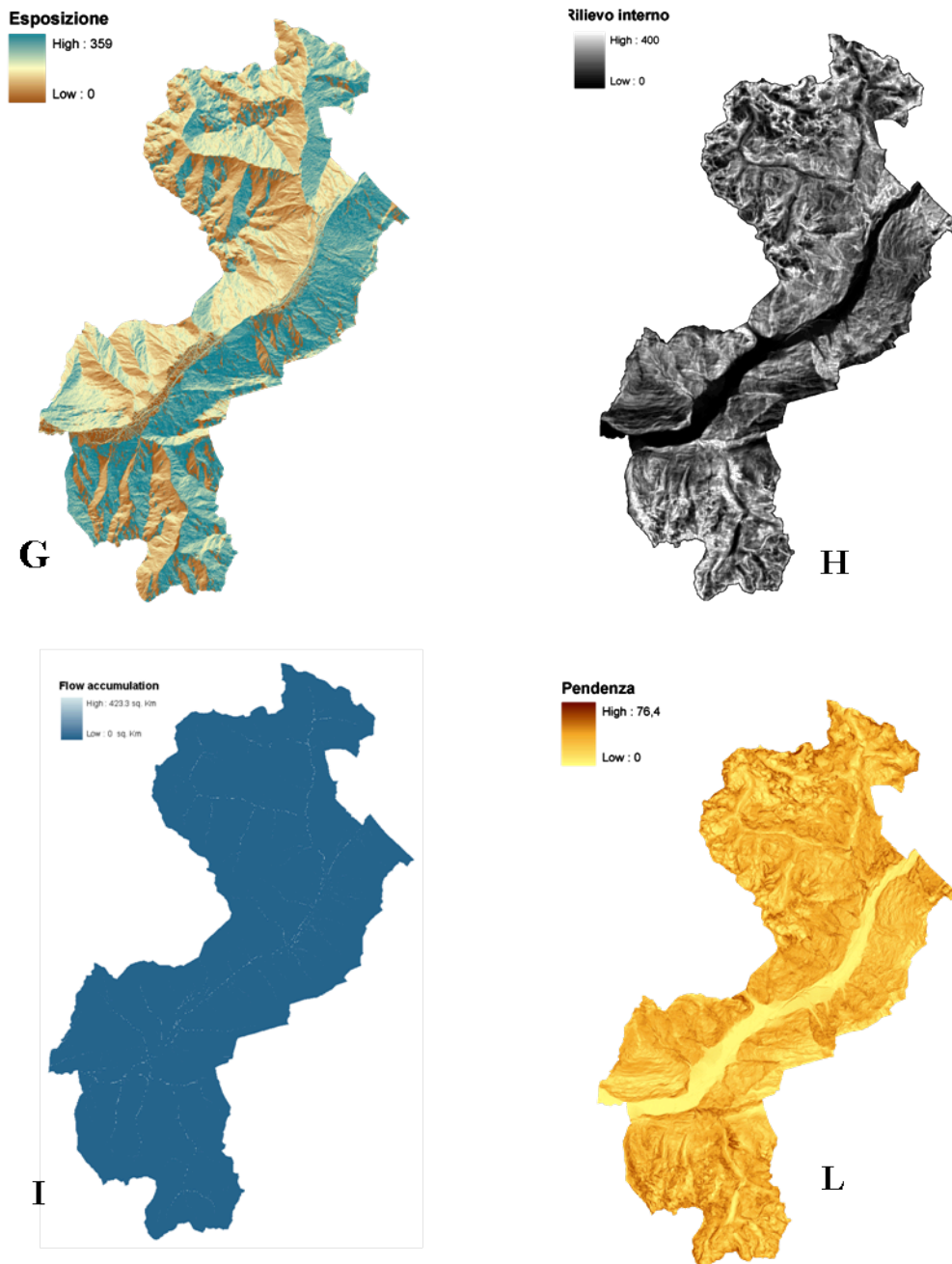


Fig. 8.3 – Fattori predisponenti: **(G) Esposizione dei versanti** (derivata dal DEM); **(H) Rilievo interno** (derivata dal DEM); **(I) Accumulo di flussi** (derivata dal DEM); **(L) Pendenza dei versanti** (derivata dal DEM).

8.4 Modello *Weights of Evidence* (*WofE*)

Il *Weights of Evidence* come accennato nel capitolo “materiali e metodi” è un modello statistico probabilistico in grado di mettere in relazione diversi dati spaziali, descrivere e analizzare le loro interazioni e generare modelli predittivi (Bonham-Carter 1994; Raines *et al.* 1999). In questa fase di progetto è stato utilizzato per generare una mappa di suscettibilità da frana per l’area della Comunità Montana Valtellina di Tirano.

Il modello necessita di un formato raster come dati di input. I *training points* contenuti nel database DF2001 rappresentano la variabile dipendente, ovvero i punti di innesco noti e sono utilizzati in un primo momento per calcolare la probabilità a priori, vale a dire la probabilità che un qualsiasi pixel dell’area di studio possa contenere una frana. Di conseguenza la probabilità a priori è calcolata come l’area totale dell’evento (numero totale dei pixel dei *training points*) diviso l’area di studio (numero di pixel totali dell’area di studio):

$$P_{\text{priori}} = N_{\text{pix}}(\text{evento}) / N_{\text{pix}}(\text{totali})$$

La probabilità a priori rappresenta quindi lo stato naturale del fenomeno franoso all’interno dell’area in esame e il suo valore è indipendente da qualsiasi variabile o fattore predisponente considerato. Per semplici ragioni matematiche, l’equazione precedente viene trasformata nel seguente *odds*:

$$O_{\text{priori}} = \frac{P_{\text{priori}}}{1 - P_{\text{priori}}} = \frac{N_{\text{pix}}(\text{evento})}{N_{\text{pix}}(\text{totali}) - N_{\text{pix}}(\text{evento})}$$

Utilizzando una formulazione in formato binario relativamente sia alle j classi componenti le variabili indipendenti analizzate (G_i) sia alla distribuzione spaziale dell’evento (F), si rendono possibili le seguenti combinazioni tra G_{ij} e F : $G_{ij} \cap F$; $G_{ij} \cap F^c$;

$G_{ij} \cap F^{\wedge}$; $G_{ij}^{\wedge} \cap F^{\wedge}$ (dove il simbolo “ \wedge ” indica l’assenza del tematismo considerato) che, espresse in termini di probabilità condizionale, diventano:

$$P \{F | G_{ij}\} = (G_{ij} \cap F) / G_{ij}$$

$$P \{F^{\wedge} | G_{ij}\} = (G_{ij} \cap F^{\wedge}) / G_{ij}$$

$$P \{F | G_{ij}^{\wedge}\} = (G_{ij}^{\wedge} \cap F) / G_{ij}^{\wedge}$$

$$P \{F^{\circ} | G_{ij}^{\wedge}\} = (G_{ij}^{\wedge} \cap F^{\wedge}) / G_{ij}^{\wedge}$$

che esprimono le probabilità che un pixel sia caratterizzato dall’evento (oppure no) data la presenza (l’assenza) di una j-esima classe di una i-esima variabile. In accordo col Teorema di Bayes o della probabilità delle cause, in base al quale la frequenza di una variabile può essere utilizzata per stimarne la probabilità, è possibile ottenere:

$$P \{F | G_{ij}\} = \frac{P \{F | G_{ij}\} P \{F\}}{P \{G_{ij}\}} ;$$

$$P \{F | G_{ij}^{\wedge}\} = \frac{P \{F | G_{ij}^{\wedge}\} P \{F\}}{P \{G_{ij}^{\wedge}\}}$$

In seguito, i *training points* vengono utilizzati per calcolare i pesi per ogni predittore; viene così stabilito il grado di associazione spaziale tra la variabile dipendente e i diversi predittori considerati. In accordo col teorema di Bayes, viene calcolata la probabilità condizionale di trovare un’area in frana, data una certa classe di una certa variabile dipendente. Bonham-Carter *et al.* (1989) hanno definito, relativamente a ciascuna classe componente le variabili considerate nell’analisi, valori ponderati positivi (W^+) e negativi (W^-), combinando le probabilità condizionali sopra definite:

$$W_{ij}^+ = \log_e \frac{P \{G_{ij} | F\}}{P \{G_{ij}^{\wedge} | F^{\wedge}\}} ;$$

$$W_{ij}^- = \log_e \frac{P \{G_{ij}^{\wedge} | F\}}{P \{G_{ij}^{\wedge} | F^{\wedge}\}}$$

I pesi vengono determinati avvalendosi del *tool* ArcSDM (*Arc Spatial Data Modeller*) implementato in ArcGis9.3® e sono calcolati basandosi sulla presenza o assenza dei *training points* per ciascuna classe di ogni variabile dipendente considerata. In questo caso sono stati calcolati per tutti i dieci fattori predisponenti menzionati precedentemente.

W^+ esprime la probabilità di trovare una determinata classe di una determinata variabile dipendente in frana e la probabilità di trovarla in un'area non in frana. Questo significa che un peso positivo è assegnato a quelle classi che contengono più *training points* di quelli attesi da una distribuzione casuale. Tanto maggiore sarà il suo valore, tanto maggiore sarà il valore ponderato della classe nel prevedere il pixel in frana.

Contrariamente, W^- esprime il rapporto di non trovare una determinata classe di una determinata variabile dipendente in frana e la probabilità di non trovarla in un'area non in frana. In questo modo il modello assegna un valore negativo alle classi che contengono meno *training points* di quanto atteso. Un valore calcolato pari a zero indica che non vi è associazione spaziale tra i *training points* e la classe variabile dipendente considerata. Utilizzando il Teorema di Bayes come sopra esposto si ottiene che:

$$W_{ij}^+ = \log_e \frac{G_{ij} \cap F / F}{G_{ij} \cap F^{\wedge}} ; \quad W_{ij}^- = \log_e \frac{G_{ij}^{\wedge} \cap F / F}{G_{ij}^{\wedge} \cap F^{\wedge}}$$

Considerando il semplice incrocio (*crossing*) di due tematismi, entrambi in formato binario, recanti la distribuzione spaziale rispettivamente delle aree in frana e di una singola classe della variabile indipendente in esame, sono possibili quattro combinazioni differenti:

EVENTO	CLASSE DELLA VARIABILE (in formato binario)	
	1 (Presente)	0 (Assente)
1 (Presente)	$N_{pix1} G_{ij} \cap F$	$N_{pix2} G_{ij}^{\wedge} \cap F$
0 (Assente)	$N_{pix3} G_{ij} \cap F^{\wedge}$	$N_{pix4} G_{ij}^{\wedge} \cap F^{\wedge}$

I valori ponderati potranno allora essere riscritti, in termini di numero di *pixels*, come segue:

$$W_{ij}^+ = \log_e \frac{\frac{N_{pix1}}{N_{pix1} + N_{pix2}}}{\frac{N_{pix3}}{N_{pix3} + N_{pix4}}} ; \quad W_{ij}^- = \log_e \frac{\frac{N_{pix2}}{N_{pix1} + N_{pix2}}}{\frac{N_{pix4}}{N_{pix3} + N_{pix4}}}$$

I vari livelli informativi, usati nell'analisi e riclassificati secondo i valori ponderati ottenuti per le diverse classi utilizzate, potranno alla fine essere sovrapposti (*overlay*) e sommati, al fine di ottenere un valore ponderato totale, purchè sia verificata la condizione che le classi tematiche impiegate per l'analisi siano condizionalmente indipendenti. Questa assunzione, fondamentale nell'applicazione del teorema bayesiano, si dimostra in natura poco realistica, dato che le variabili in esame risultano quasi sempre correlate tra loro secondo relazioni anche difficilmente quantificabili. Indi per cui, in questo progetto non è stata considerata l'indipendenza condizionale, e il risultato di tale applicazione risulta pertanto un indice relativo di suscettibilità e non un valore assoluto di probabilità di occorrenza di un determinato evento.

In prima analisi anche il contrasto $C = (W^+ - W^-)$ rappresenta una misura del grado di associazione spaziale tra ciascuna classe delle variabili predittive e la variabile dipendente. Il contrasto è quindi una misura della significatività di un tema (mappa del fattore predisponente) nella predizione della posizione dei training points e aiuta a determinare la soglia o le soglie che massimizzano l'associazione spaziale tra i temi e i training points (Bonham-Carter 1994). In quest'ottica, valori negativi di C richiamano classi tematiche la cui distribuzione spaziale risulta indipendente nei confronti degli eventi.

Il logaritmo dell'odds " a posteriori " può allora essere calcolato come segue:

$$\log_e O \{ F | G_{11}^k \cap G_{12}^k \cap G_{21}^k \dots G_{nm}^k \} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}^k + \log_e O_{priori} \{ F \}$$

e la probabilità " a posteriori " come :

$$P \{ F \} = \frac{O}{(1 + O)}$$

Tale valore di probabilità a posteriori, nel nostro caso, si tramuta in un indice relativo di predisposizione. Inoltre, non si può parlare di un vero e proprio valore di probabilità in quanto la componente temporale non viene presa in considerazione in una analisi di suscettibilità. Tenendo presente questa struttura matematica, nel presente lavoro si è utilizzato un metodo automatizzato per la definizione del grado di instabilità potenziale di un territorio, su base probabilistica, eseguendo un'analisi dei dati georeferenziati a disposizione. Il tutto è stato condotto ed eseguito sfruttando le potenzialità dei software GIS e delle loro estensioni.

Infine, i temi vengono generalizzati nel tentativo di stabilire quali classi di un tema condividono la più grande associazione con le posizioni dei *training points* (corrisponde ad una nuova classificazione sulla base di considerazioni statistiche e idrogeologiche).

Studentized T Value (confidence expressed as level of significance)	Test Value
99.5%	2.576
99%	2.326
97.5%	1.960
95%	1.645
90%	1.282
80%	0.842
75%	0.674
70%	0.542
60%	0.253

Fig 8.4 - Confidenza espressa come livello di significatività statistica.

La generalizzazione avviene osservando i valori di *Confidence* (Fig. 8.4), la quale rappresenta una misura della significatività statistica del contrasto, calcolata per ciascuna classe di ciascuna variabile, ed è uguale al contrasto diviso per la sua deviazione standard. La *Confidence* rappresenta un'utile misura della significatività del contrasto dovuta alle incertezze dei pesi e alla presenza di aree con possibile mancanza di dati (*missing data*) (Raines 1999).

8.5 Capacità di descrizione del modello

La capacità di descrizione del modello è affidata al calcolo della *Success rate curve* (SRC) (Chung and Fabbri 1999). Questa curva valuta la capacità del modello di descrivere la distribuzione (in termini di predisposizione al dissesto) del primo *subset* (utilizzato per la costruzione del modello). La curva è stata calcolata utilizzando i *training points* relativi al *subset1* per ogni sottoarea : Nord (126 punti), Centro: (62 punti) e Sud (99 punti). In un sistema di assi cartesiani viene plottato sull'asse delle ascisse l'area cumulata a partire dai valori più alti di suscettibilità fino a quelli più bassi, mentre sull'asse delle ordinate la corrispondente distribuzione cumulata dei *training points*. (Fig. 8.5) L'andamento della curva descrive la qualità del modello in termini descrittivi. Più la curva è pendente nel suo tratto iniziale più il modello è capace di descrivere la distribuzione delle frane. In una situazione in cui la curva ottenuta è molto vicina alla bisettrice la distribuzione dei valori di predisposizione è casuale.

Il modello è stato applicato diverse volte utilizzando differenti combinazioni dei predittori (variabili dipendenti) al fine di individuare quale fosse quella più significativa in grado di caratterizzare al meglio la suscettibilità dell'area.

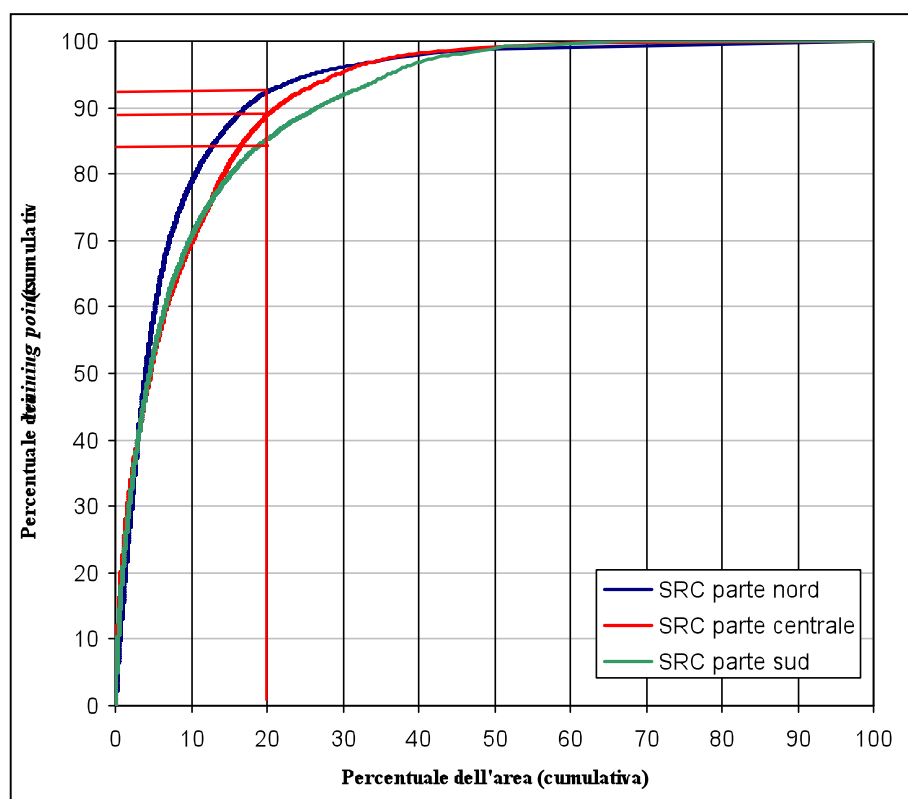


Fig. 8.5 – Success rate curve calcolata sul *subset 1* per la parte nord, centrale e sud.

I predittori che hanno dato i migliori risultati in termini di descrizione del modello utilizzando il *subset1* sono identici per la parte centrale e la parte sud e sono: **altitudine, esposizione dei versanti, distanza dalle linee di faglia, carta uso del suolo, mappa geologica, pendenza, rilievo interno e curvatura trasversale**; mentre per la parte nord è stata esclusa la distanza dalle linee di faglia. Come mostrato in figura 8.5, il modello è in grado di classificare, per tutti e tre i *subset1*, più dell' 80% delle aree sorgenti dei *debris flows* in meno del 20% dell'area con un successo migliore per la parte nord mostrando delle diverse condizioni ambientali per l'innescio dei *debris flows* (nel 20% dell'area sono presenti più del 90% dei *training points*). Il calcolo della **AUC** (*Area Under Curve*) mostra, infatti, una percentuale maggiore per la parte nord, 92.88% contro il 91.75% della parte centrale e il 90.96% della parte sud.

8.6 Validazione del modello

Per saggiare la capacità previsionale del modello viene costruita la *prediction rate curve (PRC)*. La curva di predizione (Fig. 8.6) è stata calcolata utilizzando il *subset2* per le tre partizioni dell'area Nord (126 punti), Centro (61 punti), Sud (99 punti) e viene generata esattamente come la SRC. In questa fase di analisi, poichè il modello non conosce la posizione spaziale dei *training points* appartenenti al *subset2*, la curva che viene originata ha una significatività maggiore rispetto alla SRC in termini previsionali. Anche in questo caso la valutazione della curva è stata fatta calcolando l'area sottesa dalla curva stessa.

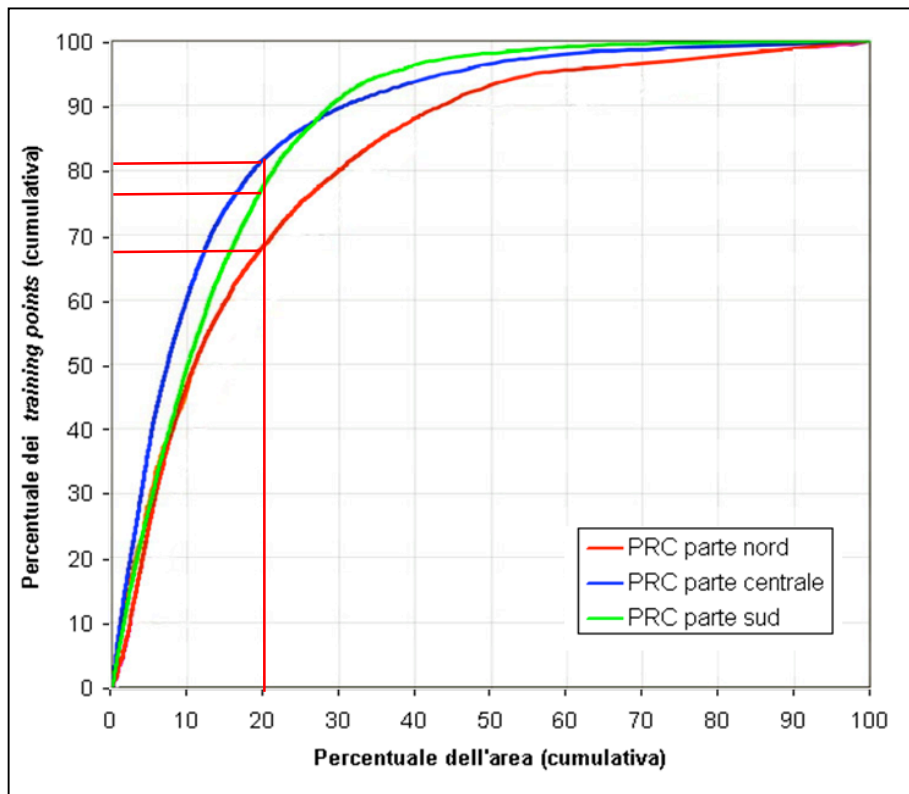


Fig. 8.6 – *Prediction rate curve* calcolata sul subset 2 per la parte nord, centrale e sud.

Le curve in figura 8.6 che mostrano la capacità previsionale del modello sono state costruite utilizzando il restante database rispetto alla suddivisione (*Subset 2*). Il valore più alto per quanto riguarda il calcolo dell'AUC è relativo alla parte sud 88.35% mentre il più basso è stato ottenuto per la parte nord, 82.33%; per quanto riguarda la parte centrale il valore è di 87.39%.

8.7 Mappa finale di suscettibilità

La mappa finale di suscettibilità che meglio esprime il potere predittivo di fenomeni associati a *debris flow* è stata ottenuta dalla combinazione delle tre mappe, ricavate dalla suddivisione spaziale dei *training points* in tre parti (Nord, Centro, Sud), che hanno ottenuto i valori più alti in termini di SRC (Fig. 8.5).

Per ridurre gli eventuali errori durante la fase di unione delle tre mappe ai bordi, è stata applicata in ArcGis 9.3© una funzione di *neighborhood* in grado di minimizzare le discrepanze, scegliendo il valore più rappresentativo, tra i valori dei pixel in sovrapposizione.

La mappa finale ottenuta (Fig. 8.8) è stata quindi utilizzata per calcolare la SRC totale utilizzando i *training points* delle tre sottoaree ed è stata suddivisa in cinque classi: **(1) Molto alta**, **(2) Alta**, **(3) Media**, **(4) Bassa**, **(5) Molto bassa**. Le soglie sono state applicate al 75%, 85%, 95% e 99% dei *training points* cumulati plottati nella SRC finale (Fig. 8.7). In questo modo è risultato che le due classi più alte di suscettibilità occupano il 21.15% dell'area totale, la classe media, il 16.20%, mentre più del 50% dell'area totale è classificata come poco suscettibile o non suscettibile.

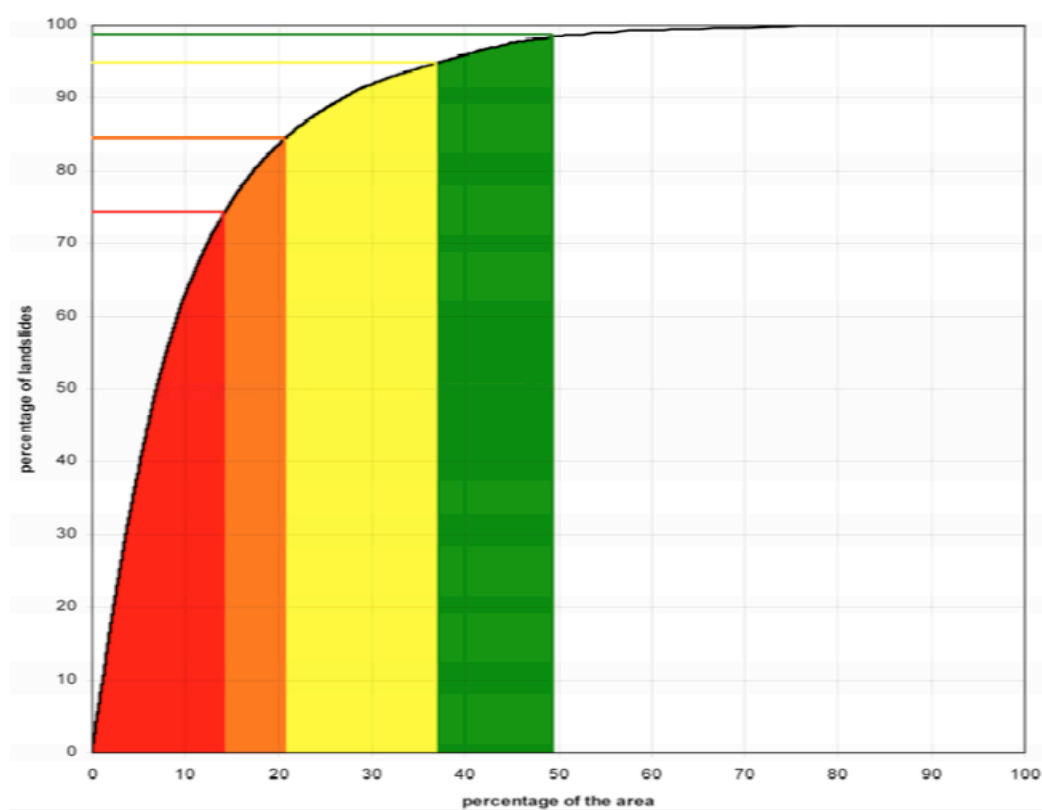


Fig. 8.7 - Curva di successo (SRC) per la mappa di suscettibilità finale. La mappa è stata classificata in 5 classi: MOLTO ALTA (rosso); ALTA (arancione); MEDIA (giallo); BASSA (verde); MOLTO BASSA (bianco).

I valori di suscettibilità ottenuti sono espressi attraverso una variabile continua; ciò significa che ad ogni pixel è associato un valore di suscettibilità. Poiché una mappa che esprime una probabilità al dissesto di un territorio può diventare uno strumento utile per tutti quei soggetti che si occupano di politiche legate alla pianificazione del territorio e alla redazione dei piani di emergenza, i valori continui di suscettibilità sono stati raggruppati in classi, ognuna delle quali esprime in modo più leggibile il valore di suscettibilità. Così facendo, si produce un documento che agli occhi degli utilizzatori finali risulta molto più pratico e facile da consultare.

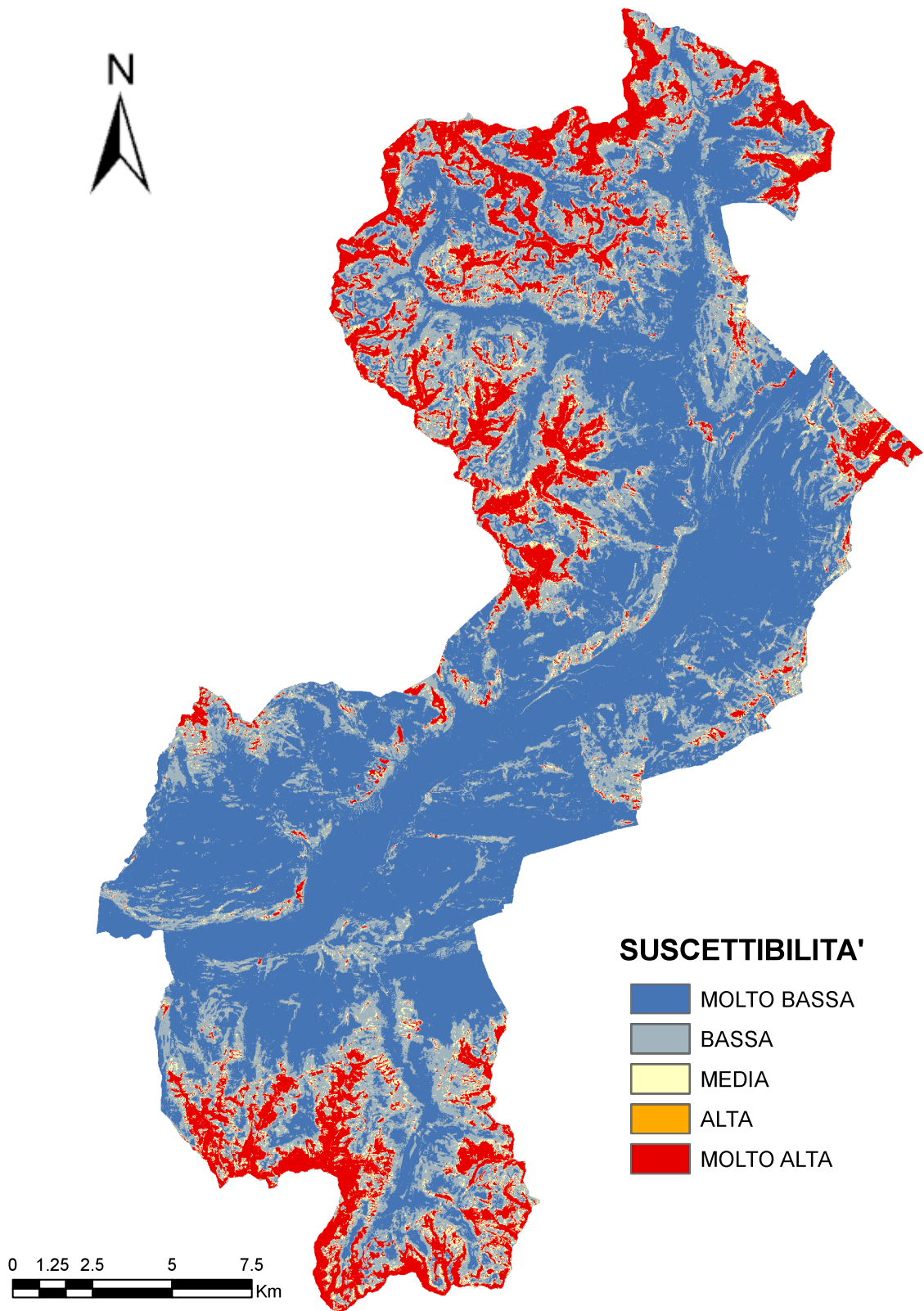


Fig. 8.8 – Mappa finale di suscettibilità.

8.8 Considerazioni

I fenomeni franosi possono essere annoverati tra gli eventi naturali più pericolosi in ambiente montano, costituendo una delle cause principali di perdite materiali e di vite umane. E' quindi necessario condurre analisi di suscettibilità e di pericolosità, con la finalità di prevedere al meglio l'accadimento di eventi franosi al fine di ottimizzare le misure di prevenzione e di mitigazione dei danni. La costruzione di una mappa di suscettibilità a media scala fornisce importanti informazioni per indirizzare al meglio le politiche di gestione del territorio nonché di pianificare, in un'ottica di Protezione Civile, le attività di previsione e prevenzione per la gestione delle emergenze idrogeologiche.

E' a livello regionale e provinciale che vengono indicate le linee guida per censire e cartografare le aree del territorio a diversa pericolosità e vulnerabilità geologica. In quest'ottica, un'analisi di suscettibilità rappresenta il primo passo per definire la pericolosità legata a fenomeni di dissesto idrogeologico. I risultati ottenuti dall'analisi mostrata in questo capitolo verranno utilizzati per valutare la pericolosità associata a fenomeni di *debris flow* per l'area della Comunità Montana Valtellina di Tirano. Le più alte classi di suscettibilità (molto alta e alta) verranno utilizzate come dati di input nel modello Flow-r per indicare le aree sorgenti, dalle quali modellare il possibile percorso del materiale mobilizzato in seguito all'innescio di un evento di *debris flow*.

9

ANALISI DI PERICOLOSITÀ

9.1 Introduzione

Un pericolo (*hazard*) naturale è stato definito dall'UNESCO (*United Nations Educational Organization*) come: *“la probabilità del manifestarsi, entro un certo periodo di tempo e in una determinata area, di un fenomeno potenzialmente dannoso (calamitoso)”*. Ogni pericolo implica potenzialmente anche un certo rischio per la vita umana, le proprietà, i beni economici e l'ambiente. La valutazione del rischio deve perciò passare attraverso l'analisi dei rapporti che intercorrono tra i diversi fattori di vulnerabilità e le differenti forme di pericolosità presenti in un certo territorio. Una prima valutazione quindi dovrà essere condotta mettendo a confronto popolazione e ciò che esiste per opera dell'uomo in un certo territorio con i vari eventi di pericolosità e con il loro grado di intensità e frequenza.

Per ciò che concerne la definizione della pericolosità, Canuti & Casagli (1996), partendo dalla terminologia riportata nel rapporto UNESCO di Varnes (1984), propongono la seguente definizione: *“probabilità che un fenomeno potenzialmente distruttivo di determinata intensità si verifichi in un dato periodo di tempo ed in una data area”*. Il periodo di tempo viene espresso in termini di probabilità annua o di tempo di ritorno. Per quanto riguarda invece l'intensità, questa viene intesa come la severità geometrica e meccanica del fenomeno potenzialmente distruttivo. Questa può essere espressa secondo una scala relativa oppure in termini di grandezze come velocità, volume o energia. Alcuni autori hanno fatto notare che una definizione di questo tipo può essere di difficile interpretazione per i non addetti ai lavori. I soggetti preposti alla valutazione della pianificazione territoriale, soprattutto a scala regionale, preferiscono avere, come strumento di supporto decisionale, delle carte in cui la pericolosità viene espressa come probabilità relativa suddivisa in classi.

Le definizioni riportate sottolineano tre concetti fondamentali per la comprensione e per la valutazione della pericolosità: il concetto di **componente spaziale**, cioè il "dove", il

concetto di **intensità** o **magnitudo**, cioè il "quanto grande" ed infine il concetto di **frequenza** o **ricorrenza**, cioè "quando" ovvero "quanto spesso" (Cardinali *et al.* 2002).

In questo studio è stato preso in considerazione solamente il concetto riguardante la componente spaziale del fenomeno, trascurando l'aspetto relativo alla frequenza per carenza di serie temporali storiche di eventi di *debris flow*. Per quanto riguarda invece il concetto legato alla magnitudo del fenomeno, essendo lo studio condotto a media scala (1:25.000 – 1.50.000), non è stato considerato nell'analisi poiché la variabilità spaziale dei fattori che contribuiscono al verificarsi di questi eventi è molto alta, variando addirittura all'interno dello stesso versante. La valutazione dell'intensità di questi fenomeni spesso necessita l'acquisizione di dati geotecnici/geomeccanici, da relazionare all'innescò dei *debris flow*, come tessitura, grado di fratturazione delle rocce, coesione, angolo di attrito, volume di materiale coinvolto, che sono molto costosi e a volte molto difficili da reperire (Carrara *et al.* 1994).

In questo progetto, l'analisi proposta per valutare la componente spaziale (*runout*) a media scala per fenomeni di *debris flow* si avvale dell'utilizzo di Flow-R, un modello sviluppato presso l'Università di Losanna, che simula le direzioni di flusso del materiale mobilizzato a seguito dell'innescò di un ipotetico evento.

Il modello permette una veloce scelta dei parametri di controllo degli algoritmi e un rapido calcolo dei risultati utilizzando un limitato set di dati di input. Il calcolo della massima distanza di arresto (*runout*) viene eseguito unicamente sfruttando il Modello Digitale del Terreno (DEM). Inoltre l'analisi può essere migliorata includendo ulteriori dati come la carta geologica, quella di uso del suolo e la mappa di suscettibilità che identifica le probabili zone di innescò. Il risultato ottenuto attraverso quest'analisi è una mappa di pericolosità relativa che esprime, attraverso cinque classi, la probabilità di distribuzione spaziale dei *debris flow*.

9.2 Dati utilizzati

I dati utilizzati nell'analisi di pericolosità per il territorio della Comunità Montana Valtellina di Tirano sono i seguenti: (1) un Modello Digitale del Terreno (DEM) con cella 10 metri; (2) la mappa di uso del suolo, in scala 1:10.000 e suddivisa in ventitre classi, derivata dal progetto DUSAF (2003), condotto dalla Regione Lombardia; (3) la carta geologica, derivata dalla mappa in scala 1:10.000 della Regione Lombardia, redatta

nell'ambito del progetto CARG (1992); (4) la mappa di suscettibilità ottenuta attraverso l'utilizzo del modello statistico probabilistico *Weights of Evidence* (capitolo 8); (5) la mappa di *plan curvature* (curvatura longitudinale), ottenuta dal DEM e (6) la mappa di *flow accumulation* (accumulo di flussi), anch'essa ottenuta da analisi sul DEM attraverso l'utilizzo di ArcGis 9.3©.

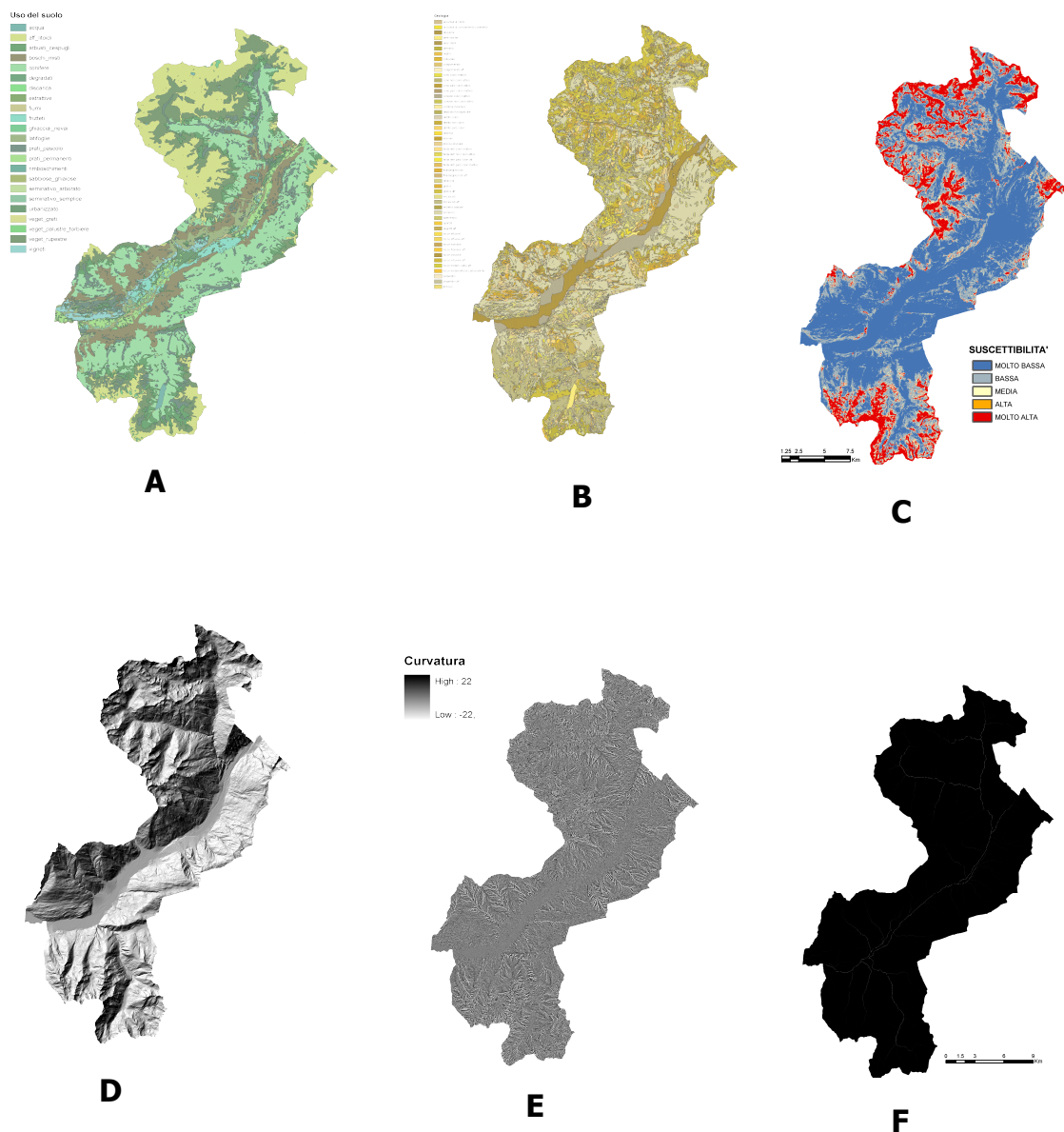


Fig. 9.1 – Dati di input utilizzati nel modello Flow-R per derivare la carta di pericolosità per l'area della Comunità Montana Valtellina di Tirano. (A) mappa di uso del suolo; (B) carta geologica; (C) mappa di suscettibilità; (D) Modello Digitale del Terreno; (E) curvatura longitudinale; (F) *flow accumulation*.

9.3 Flow-R

L'analisi di "pericolosità" è stata condotta utilizzando Flow-R, un modello di analisi spaziale le cui funzioni principali sono:

1. identificazione delle probabili aree sorgenti per fenomeni di *debris flow*;
2. modellazione del *runout* dei *debris flow* a partire dalle aree di innesco identificate.

Il modello funziona in ambiente Matlab® e attraverso un'interfaccia grafica molto semplice vengono caricati i dati di input in formato raster. Questo approccio risulta molto comune in modelli di questo tipo, mostrando tutta la sua efficacia nel momento in cui la risoluzione del Modello Digitale del Terreno (DEM) risulta elevata (Horton *et al.* 2008). Nel caso di studio di seguito proposto, la risoluzione del DEM utilizzato è pari a 10 metri sia per l'identificazione delle aree sorgenti sia per la valutazione del *runout* dei *debris flow*. La carta di uso del suolo e la mappa geologica sono state rasterizzate e riclassificate in modo da poter essere anch'esse inserite come dati di input. La scelta di una risoluzione di analisi pari a 10 metri è stata condotta considerando non solo l'accuratezza dei dati disponibili e il buon compromesso tra velocità di calcolo e precisione dei risultati, ma anche la scala di analisi e la finalità dello studio.

9.4 Identificazione delle aree sorgenti

Le aree sorgenti possono essere identificate in due differenti modi:

1. direttamente dal modello;
2. inserite come dato di input e quindi delimitate a priori da un altro modello.

L'identificazione delle aree sorgenti dei *debris flow* direttamente dal modello avviene sfruttando diversi criteri di tipo morfologico, idrologico e geologico. Secondo Rickenmann and Zimmermann (1993) e Takahashi (1981), l'innesco di *debris flow* è causato dalla combinazione di tre criteri: disponibilità di sedimento, pendenza e disponibilità di acqua.

E' anche possibile ridurre il campo di indagine sulle aree di innesco inserendo informazioni come l'uso del suolo e la geologia. Per entrambe le mappe, sono state utilizzate solamente le classi relazionate agli eventi di *debris flow* passati. Le carte sono state incrociate con i punti di innesco del database DF2001 e preparate per essere inserite nel modello. Le classi che mostrano una relazione con gli eventi passati sono mostrate in tabella 9.1:

Classi di uso del suolo	% di <i>debris flow</i> ossevati
Terreno nudo	65,5
Vegetazione su roccia	17,9
Arbusti e cespugli	8,5
Foresta	7,2
Pascolo	0,9

Tab. 9.1 – Classi di uso del suolo e percentuale di debris flow osservati.

Classi geologiche	% di <i>debris flow</i> ossevati
Gneiss	40,3
Micascisti	20,1
Sedimenti colluviali	17,9
Depositi morenici	8,0
Rocce sedimentarie	7,2
Rocce intrusive	3,6
Altre unità di roccia	2,8

Tab. 9.1 – Classi geologiche e percentuale di debris flow osservati.

Tra i fattori morfometrici innescanti i *debris flow*, la pendenza dei versanti risulta quello a maggior rilevanza (Takahashi 1981). Statisticamente è stato osservato che la maggior parte dei *debris flow* presentano inneschi in aree con pendenze superiori ai 15° (Rickenmann and Zimmermann 1993; Takahashi 1981).

Il modello permette di considerare anche un'area di accumulo a monte (*flow accumulation area*) che simula il possibile materiale mobilizzato a seguito di un evento. Nello studio proposto, è stata scelta un'area con estensione pari a 1 ettaro. Il livello soglia della pendenza per l'innesco del processo e l'area a monte vengono relazionate attraverso un'equazione empirica basata su una successione di osservazioni effettuate da Rickenmann

and Zimmermann (1993) e Heinimann (1998) (Fig. 9.2). Per questo studio è stata scelta la curva relativa ad eventi estremi (*extreme fitting*), come la più rappresentativa per l'innesco di debris flow.

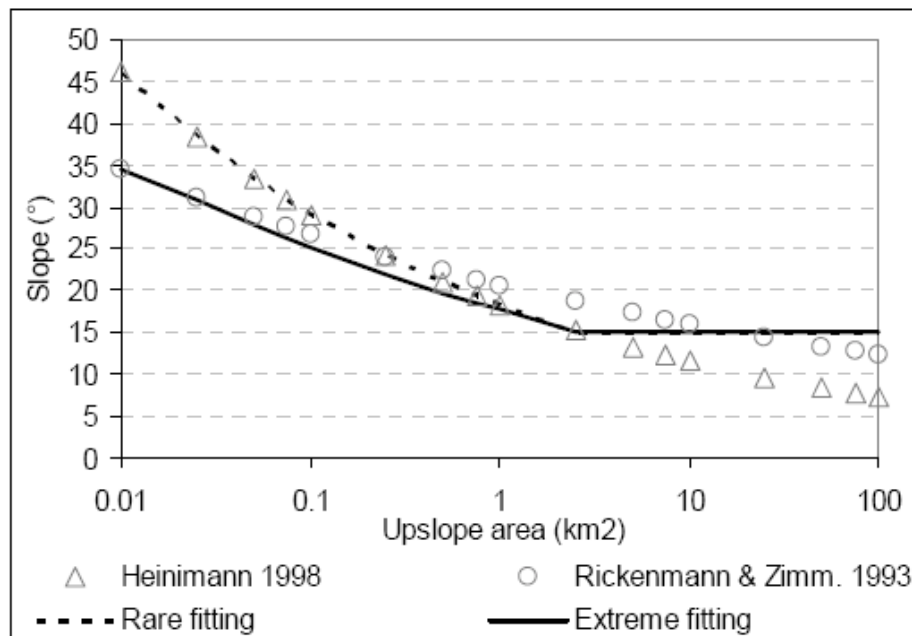


Fig. 9.2 - Area di accumulo a monte (*flow accumulation area*) in relazione alla pendenza dei versanti per eventi “rari” ed “estremi” (Rickenmann and Zimmermann, 1993 e Heinmann, 1998)

I primi test per l'identificazione delle aree sorgenti sono stati eseguiti inserendo nel modello la mappa della curvatura del terreno (calcolata perpendicolarmente alla direzione di massima pendenza del versante), la carta dell'uso del suolo, la carta geologica e utilizzando la relazione “*extreme fitting*” tra pendenza minima e aree contributive (Fig. 9.2) per definire la soglia di innesco. I risultati raggiunti attraverso questa prima analisi hanno mostrato una notevole sovrastima delle porzioni di territorio identificate come possibili aree sorgenti. La mappa ottenuta è stata quindi confrontata con quella realizzata attraverso il metodo statistico probabilistico *Weights of Evidence* e, al fine di restringere l'estensione spaziale delle aree sorgenti, considerando questo metodo di analisi statistico più rigoroso, si è deciso di utilizzare unicamente la mappa di suscettibilità estraendo e inserendo nel modello una mappa raster che contenesse solamente i pixel classificati come suscettibilità ALTA e MOLTO ALTA. In queste classi, come descritto nel capitolo precedente, rientrano l'85% delle aree di innesco dei *debris flow* realmente mappati all'interno dell'area di studio (Fig. 8.7, capitolo 8).

9.5 Modellazione del runout

La modellazione del *runout* avviene attraverso due differenti tipologie di algoritmi: il primo mira a definire la direzione di flusso e, quindi, la traiettoria che il flusso di materiale seguirà verso valle; il secondo definisce la massima distanza percorsa (Horton *et al.* 2008).

9.5.1 Stima della probabile direzione di flusso

L'algoritmo calcola la probabile direzione di flusso da una determinata cella ad una delle otto contigue. Il risultato della modellazione viene espresso attraverso valori probabilistici calcolati in funzione della pendenza, ponderando le direzioni in accordo alla precedente direzione, permettendo in questo modo un'integrazione del criterio di inerzia (Horton *et al.* 2008).

Per le finalità del presente studio è stato applicato un algoritmo a direzione di flusso multiplo, inizialmente introdotto da Quinn *et al.* (1991), in quanto ha permesso di ottenere la miglior corrispondenza possibile con le situazioni reali osservate nell'area di studio in fase di taratura del modello. Per il controllo dell'angolo di espansione del flusso (*spreading*), Holmgren (1994) ha introdotto un esponente all'interno dell'algoritmo il cui valore ottimale varia da 4 a 6 (equazione 1). Maggiore è l'esponente, maggiore è la convergenza del flusso. Per il calcolo dello *spreading* si è scelto di utilizzare l'esponente 5.

$$f_{si} = \frac{(\tan \beta_i)^x}{\sum_{j=1}^8 (\tan \beta_j)^x} \quad \text{for all } \tan \beta > 0 \quad [1]$$

dove i, j = direzione di flusso (1..8), f_{si} = proporzione del flusso (0..1) nella direzione i , $\tan \beta_i$ è uguale al gradiente di pendenza tra la cella centrale e quella in direzione i ; x = esponente variabile.

Le probabilità risultanti sono combinazioni dell'algoritmo a direzioni di flusso multiple (equazione 2):

$$f_i = \frac{f_{si} \cdot f_{pi}}{\sum_{j=1}^8 f_{sj} \cdot f_{pj}} \cdot f_0 \quad [2]$$

dove i, j = direzione di flusso (1..8), f_i = proporzione totale del flusso (0..1) nella direzione i , f_{si} = proporzione del flusso derivante dall'algoritmo relativo alla pendenza, f_{pi} = proporzione del flusso derivante dalla persistenza, f_0 = proporzione del flusso precedentemente determinata in corrispondenza della cella centrale.

Sui conoidi alluvionali e detritici, i *debris flow* tendono a cambiare facilmente direzione dopo aver lasciato il canale di erosione principale, il quale regola il flusso del materiale sulla parte più ripida del terreno. Su pendenze inferiori, il cambiamento della direzione di flusso è rappresentato dalla funzione di probabilità. Tuttavia la probabilità è da considerare come qualitativa in quanto non è una probabilità matematica in senso stretto (Huggel *et al.* 2003).

9.5.2 Calcolo della massima distanza di arresto (*runout*)

Gli algoritmi per il calcolo della distanza di *runout* procedono normalmente al calcolo dell'energia necessaria affinché il materiale possa potenzialmente passare da una cella a quella contigua. Nel modello, il volume del materiale mobilizzabile è sconosciuto. Per questo motivo, il calcolo della distanza di *runout* (massima distanza di arresto) è basato su un bilancio energetico unitario (equazione 3), una funzione di perdita costante di energia dovuta all'attrito ed una soglia massima di arresto. Questo approccio, pur non rappresentando esattamente il processo fisico, rimane comunque realistico.

$$E_{kin}^i = E_{kin}^{i-1} + \Delta E_{pot}^i - E_{loss}^i \quad [3]$$

dove i = passo temporale, E_{kin} = energia cinetica, ΔE_{pot} = variazione dell'energia potenziale e E_{loss} = perdita costante di energia dovuta all'attrito.

Il possibile *runout* massimo è quindi controllato da un valore angolare medio di pendenza (Huggel *et al.* 2002). La pendenza media corrisponde alla pendenza tra il punto iniziale e finale lungo la traiettoria seguita dal *debris flow*. E' stata inoltre considerata una perdita costante legata all'attrito, che corrisponde all'angolo che comporterebbe una distanza di *runout* uguale al valore massimo possibile di *runout*. La soglia massima mira a limitare l'energia di un *debris flow* a valori ragionevoli e corrisponde alle massime velocità dei *debris flow* osservate in corrispondenza dell'area di studio.

9.6 Calibrazione del modello

La calibrazione del modello è stata eseguita sovrapponendo la mappa di due eventi, uno accaduto il 26 novembre 2002 a Teglio (Fig. 9.4) e l'altro il 19 luglio 1987 a Tiolo (frazione del comune di Grosio), con i risultati ottenuti attraverso la modellazione in Flow-R. Questo confronto ha evidenziato la buona capacità predittiva del modello, essendo presente una chiara relazione spaziale tra il percorso ipotetico derivato attraverso la modellazione e quello realmente seguito dal *debris flow* (Fig. 9.5). Per quanto riguarda l'evento di Teglio, l'area di innesco risulta invece essere stata sottostimata dal modello. E' possibile spiegare questa discrepanza prendendo in considerazione l'uso del suolo in questa area, sottoposta a coltivazione della vite: l'innesco della colata di Teglio è stato infatti causato dalla rottura di muretti a secco costruiti nei versanti terrazzati. Come già descritto in precedenza, questo fattore antropico non è stato considerato nel modello previsionale, essendo stato escluso dall'analisi di suscettibilità. La discrepanza riscontrata è soprattutto imputabile alla scarsa risoluzione del DEM. Una cella a 10m non è in grado di cogliere a pieno la diversa morfologia dei terrazzi presenti sui versanti. Non essendoci nessun altro *debris flow* accuratamente mappato nell'area di studio, la validazione del modello è stata eseguita ricorrendo alle foto aeree del 2001. Attraverso foto interpretazione è stata valutata la bontà della predizione del modello, sia per il canale principale di propagazione del materiale che per le aree deposizionali. Per valutare la precisione del modello previsionale nel definire le aree di deposizione, i risultati della modellazione sono stati sovrapposti ai conoidi mappati nell'ambito del progetto GeoIFFI, evidenziando una buona corrispondenza tra il dato osservato e quello calcolato (Fig. 9.6).



Fig. 9.4 - Abitato di Tresenda (Teglio) – In azzurro è stato sovrapposto alle ortofoto il *debris flow* del 26 novembre 2002. In nero sono rappresentati gli elementi vulnerabili estratti dal DB2000.



Fig. 9.5 - Abitato di Tresenda (Teglio) – Sovrapposizione su ortofoto dei risultati ottenuti con i primi test di calibrazione applicando il modello Flow-R. In rosso è rappresentata la probabilità massima di passaggio del materiale; dal cono centrale la probabilità di passaggio diminuisce (giallo) fino ad esaurirsi. In nero sono rappresentati gli elementi vulnerabili estratti dal DB2000.

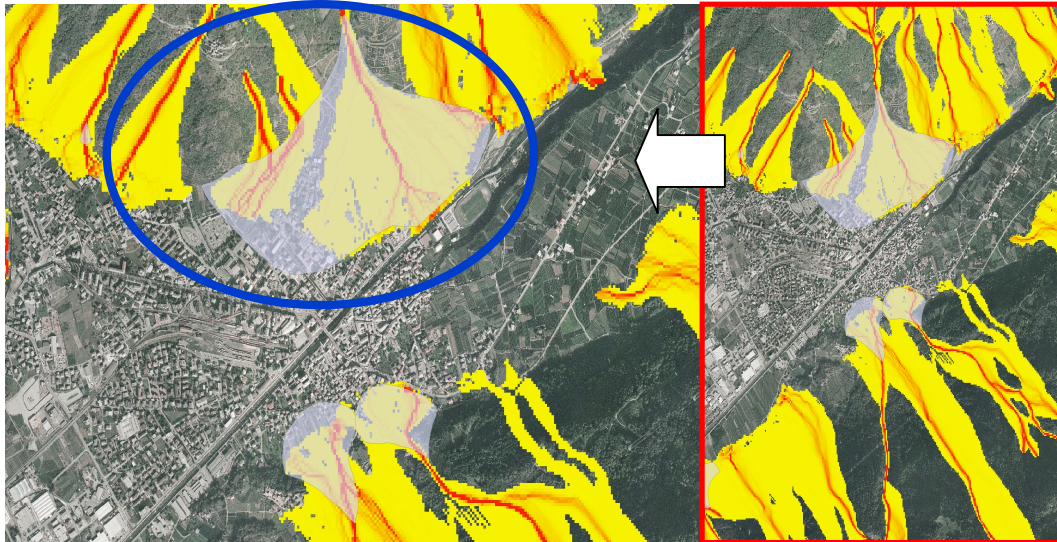


Fig. 9.6 - Test di validazione sull'abitato di Tirano. In trasparenza sono stati sovrapposti i conoidi mappati per il progetto GeoIFFI. L'esempio mostra l'efficacia del modello nel considerare anche un apporto laterale mobilizzato da un secondo evento. In rosso è rappresentata la probabilità massima di passaggio del materiale; dal cono centrale la probabilità di passaggio diminuisce (giallo) fino ad esaurirsi. In nero sono rappresentati gli elementi vulnerabili estratti dal DB2000.

9.7 Risultati

I risultati ottenuti della modellazione dei flussi dei *debris flow* a partire dalle aree sorgenti identificate direttamente dal modello e utilizzando esclusivamente i parametri morfometrici estratti dal DEM, l'uso del suolo e la geologia, mostrano una notevole sovrastima (Fig. 9.7 A). Per questo motivo, è stata preparata una seconda analisi inserendo come dato di input in Flow-R la carta di suscettibilità e modellando i flussi a partire dalle aree di innesco classificate come MOLTO ALTA e ALTA. I risultati ottenuti, oltre a mostrare una maggiore attendibilità, risultano anche più ricchi di informazioni, potendo mostrare le diverse probabilità spaziali di innesco del fenomeno (Fig. 9.7 A e B).

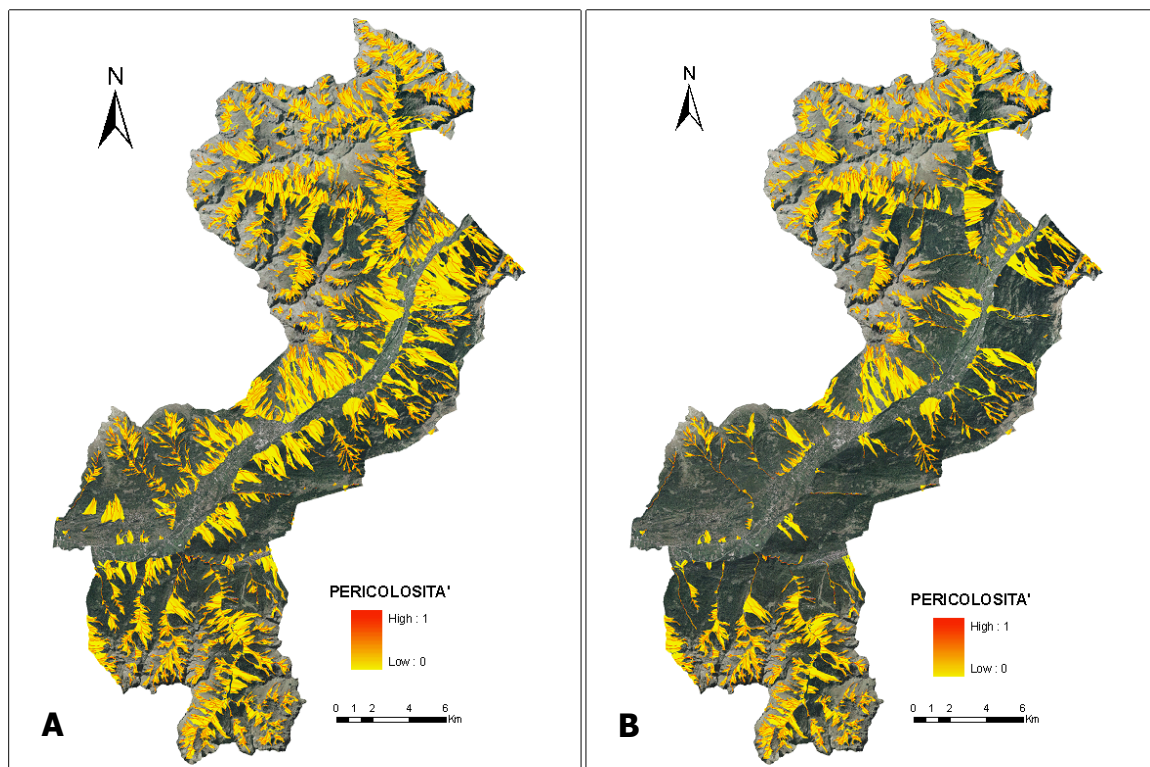


Fig. 9.7 - Risultati della modellazione di *debris flow* sull'area della Comunità Montana Valtellina di Tirano. Nell'immagine **A** sono riportati i risultati della modellazione a partire dalle aree di innesco identificate dal modello Flow-R; nell'immagine **B**, invece, sono riportati i risultati ottenuti dalla modellazione a partire dalle classi con i più alti valori di suscettibilità “molto alta” e “alta” derivate dall'applicazione del *WofE*.

La carta di pericolosità finale per il territorio della Comunità Montana Valtellina di Tirano è stata classificata in cinque classi utilizzando il criterio *geometric intervall*: (1) molto bassa; (2) bassa; (3) media; (4) alta; (5) molto alta (Fig. 9.8). Ogni classe esprime quindi una diversa probabilità di distribuzione spaziale dei *debris flow* (Fig. 9.8).

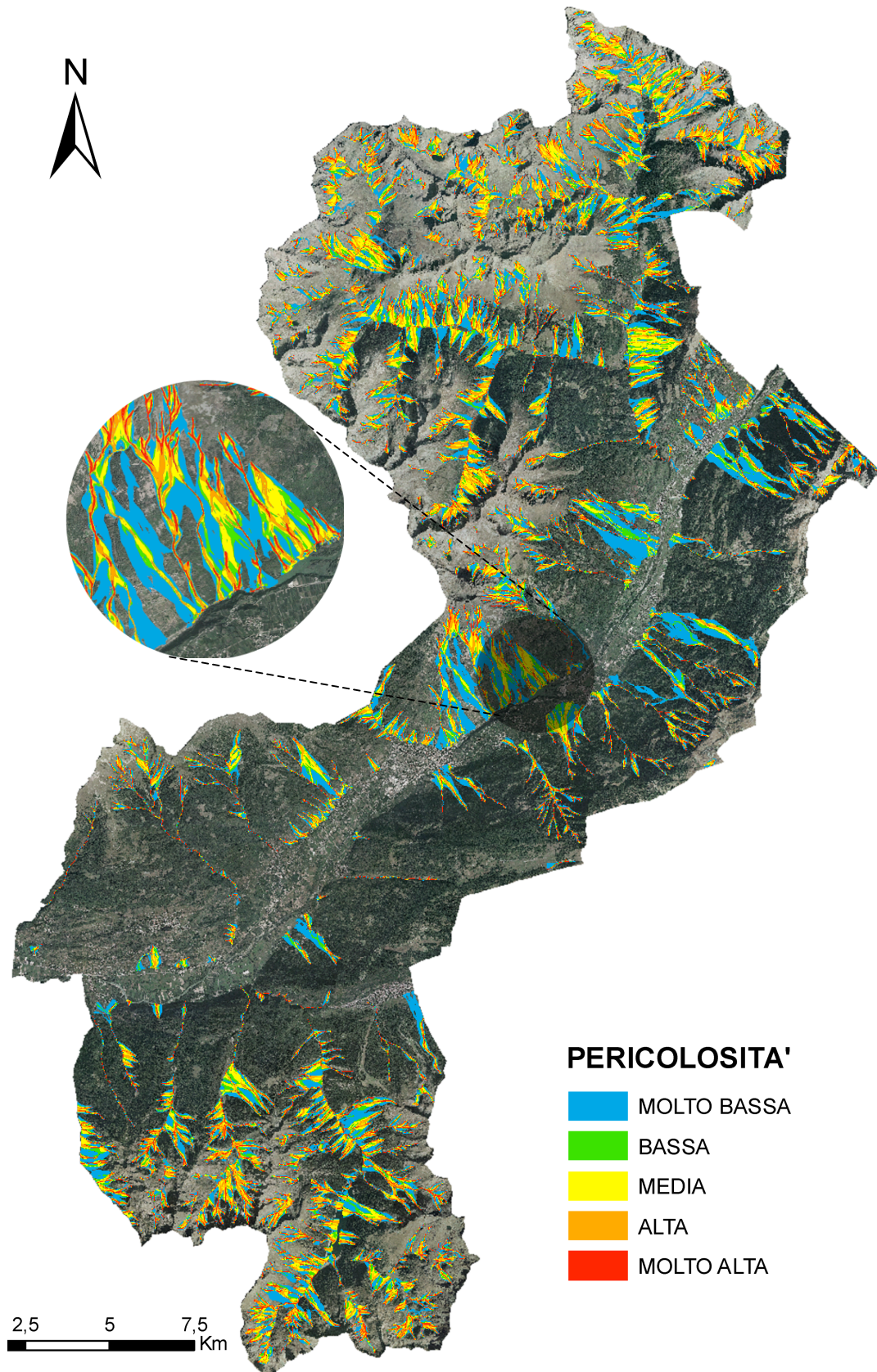


Fig. 9.8 – Mappa final di pericolosità.

9.8 Considerazioni

I risultati dello studio mostrano come il modello prescelto ed applicato in corrispondenza dell'area della Comunità Montana Valtellina di Tirano sia efficace e facilmente modificabile sulla base delle conoscenze pregresse portando, attraverso un'adeguata scelta dei parametri di input, ad una veloce produzione di mappe relative al runout dei debris flow. Di conseguenza, il modello permette una rapida identificazione delle potenziali aree di innesco ed una efficace valutazione delle aree interessate dal passaggio e dall'accumulo di materiale (pericolosità relativa).

La tipologia di algoritmo utilizzato assicura un fondamento fisico nonostante i pochi dati di input richiesti, dato che il DEM ed i principali parametri morfometrici da esso derivati, costituiscono la base di tutti i calcoli (per l'identificazione delle aree sorgenti e la valutazione delle aree di runout).

Una delle principali limitazioni insite nel modello è che esso non è in grado di considerare adeguatamente i fattori locali di controllo dell'innesco e che un DEM, caratterizzato da errori o da scarsa risoluzione, porterà a risultati scarsamente affidabili come ad esempio la sottostima delle aree di innesco su versanti terrazzati. Inoltre, la direzione di flusso multiplo non ha fondamento fisico e il modello non prende in considerazione il volume dei debris flow.

L'identificazione delle aree sorgenti dei debris flow su versanti naturali attraverso l'utilizzo esclusivamente del DEM (e delle relative mappe derivate) probabilmente sovrastima il loro numero totale; fortunatamente, però, è possibile migliorare i risultati utilizzando i contenuti di mappe della suscettibilità eventualmente disponibili. In seguito, terminata la fase di calibrazione, i parametri inseriti nel modello possono essere estrapolati per l'intera area di studio anche se rimane l'interessante possibilità (potendo disporre di eventi pregressi in numero sufficiente) di costruire e calibrare differenti modelli in differenti porzioni di area di studio. In tal caso, l'estrapolazione dei risultati avverrà su aree più ristrette e, per tal motivo, il grado di confidenza potrebbe essere maggiore. Nonostante tutto, comunque, la problematica relativa ai fattori di controllo agenti a scala locale permane. Per la validazione e la trasferibilità dei parametri e dei risultati ad altre aree di studio vengono sicuramente richiesti sia un maggior numero di test sia, soprattutto, un numero di eventi pregressi statisticamente significativo.

Data la scala regionale cui viene condotta l'analisi, gli altri due parametri che costituiscono la pericolosità, ovvero la temporalità del fenomeno (o tempo di ritorno) e la relativa magnitudo (legata al volume ed alla velocità), non sono stati considerati.

La metodologia proposta rappresenta una buona base per la valutazione della pericolosità a scala di bacino in quanto permette di identificare, in modo speditivo, quelle zone sul territorio che sono potenzialmente interessate da fenomeni di *debris flow*. La scelta di classificare la pericolosità in cinque classi rende la sua lettura e comprensione più facile ai non addetti ai lavori e a chi si occupa di pianificazione territoriale. Il passo successivo è quello di mettere in relazione la distribuzione spaziale della pericolosità con la carta relativa alla distribuzione degli elementi vulnerabili, al fine di ottenere una delimitazione di probabili scenari di rischio, le zone più critiche per la comunità residente, le strutture e infrastrutture dislocate sul territorio.

10

ANALISI DI RISCHIO

10.1 Introduzione

In un'analisi di rischio idrogeologico, la valutazione del rischio è il punto cruciale in quanto si sovrappongono le informazioni relative alla pericolosità di un determinato evento calamitoso con le informazioni degli elementi esposti all'evento. Il rischio viene definito come il danno atteso in unità di tempo, o più in generale come la probabilità delle conseguenze attese in seguito ad un particolare evento pericoloso (Crozier and Glade 2005). Solitamente, per lo studio del rischio da frana vengono utilizzati due approcci:

1. Valutazione quantitativa;
2. Valutazione qualitativa.

Nel primo caso vengono utilizzate le informazioni sulla probabilità di accadimento del fenomeno potenzialmente pericoloso, il valore degli elementi a rischio e la loro vulnerabilità. Diversamente, in un'analisi qualitativa del rischio sia la pericolosità che la vulnerabilità vengono espresse attraverso delle classi in modo da ottenere a sua volta, attraverso il loro incrocio, delle classi di rischio. Secondo Varnes (1984), la valutazione del rischio può essere espressa attraverso la seguente equazione:

$$\mathbf{RISCHIO = H * V * E}$$

dove:

H = PERICOLOSITÀ,

V = VULNERABILITÀ,

E = ELEMENTI A RISCHIO

La valutazione del rischio deve quindi determinare il grado atteso di perdita a seguito di un evento dannoso (specifico per la tipologia di rischio analizzata), il numero previsto di perdite di vite umane, danni alle proprietà allocate sul territorio e l'interruzione delle attività economiche (rischio totale). Come per l'analisi di "rischio" su base istituzionale

affrontata nel quarto capitolo, anche in questa seconda parte del progetto di tesi, il “rischi”o è stato stimato utilizzando il medesimo approccio qualitativo, incrociando le classi di pericolosità ottenute attraverso il modello Flow-R, con le classi di vulnerabilità ottenute attraverso una classificazione degli elementi a rischio esclusivamente in relazione alla loro importanza ed al livello strategico a loro riconosciuto. Le aree territoriali che ricadono nelle classi a rischio più alte saranno confrontate con quelle ottenute attraverso la metodologia istituzionale, in modo da evidenziarne possibili differenze. Infine, come ultima analisi, per il solo comune di Tirano, si propone una metodologia per la stima economica del danno atteso a seguito dell’impatto degli eventi di *debris flow* sugli edifici.

10.2 Dati utilizzati

I dati utilizzati per ottenere la carta di rischio sono i seguenti:

1. La **carta di vulnerabilità** territoriale, ottenuta attraverso una classificazione degli elementi a rischio in quattro classi (da E1 a E4) in base alle categorie di uso del suolo (capitolo 5, paragrafo 5.4);

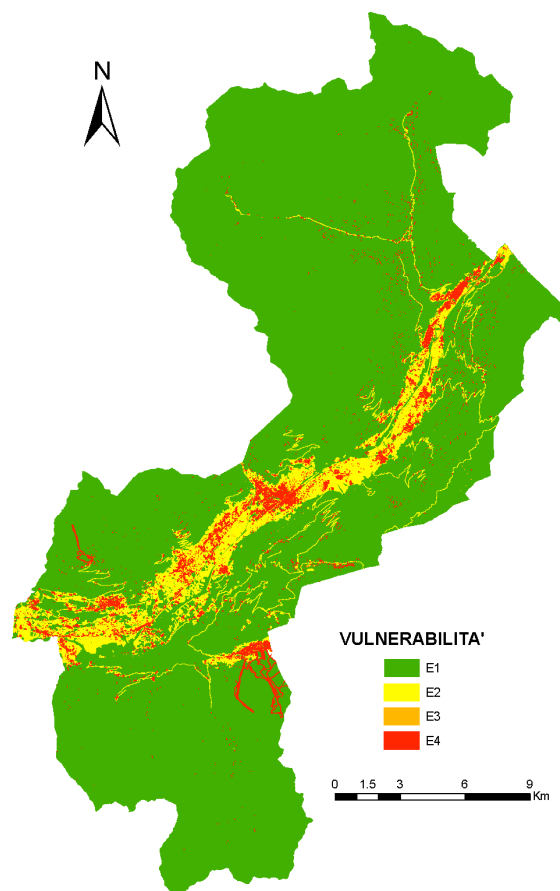


Fig. 10.1 – Carta di vulnerabilità.

2. La **carta di pericolosità**, ottenuta mediante una modellazione del *runout* di *debris flow* utilizzando il modello probabilistico Flow-R (capitolo 8). La carta è stata classificata in cinque classi utilizzando il criterio *geometric interval*: (1) molto bassa; (2) bassa; (3) media; (4) alta; (5) molto alta. Ogni classe esprime quindi una diversa probabilità di distribuzione spaziale dei *debris flow*.

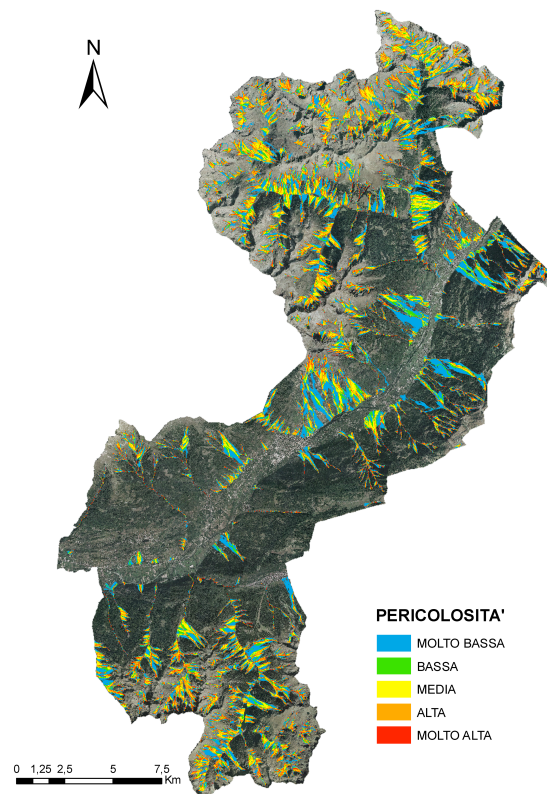


Fig. 10.2 – Carta di pericolosità.

10.3 Carta di rischio

La carta di “rischio” è stata ottenuta utilizzando la funzione di *geoprocessing union* in ArcGIS 9.3© in modo da sovrapporre spazialmente i poligoni della carta di vulnerabilità con quelli della carta di pericolosità. Infine, utilizzando la matrice per la valutazione del rischio (capitolo 5, paragrafo 5.5), le classi di vulnerabilità (E1, E2, E3, E4) sono state incrociate con le classi di pericolosità (H1, H2, H3, H4, H5) in modo da ottenere le classi di rischio. La carta di rischio finale è rappresentata in figura 10.3.

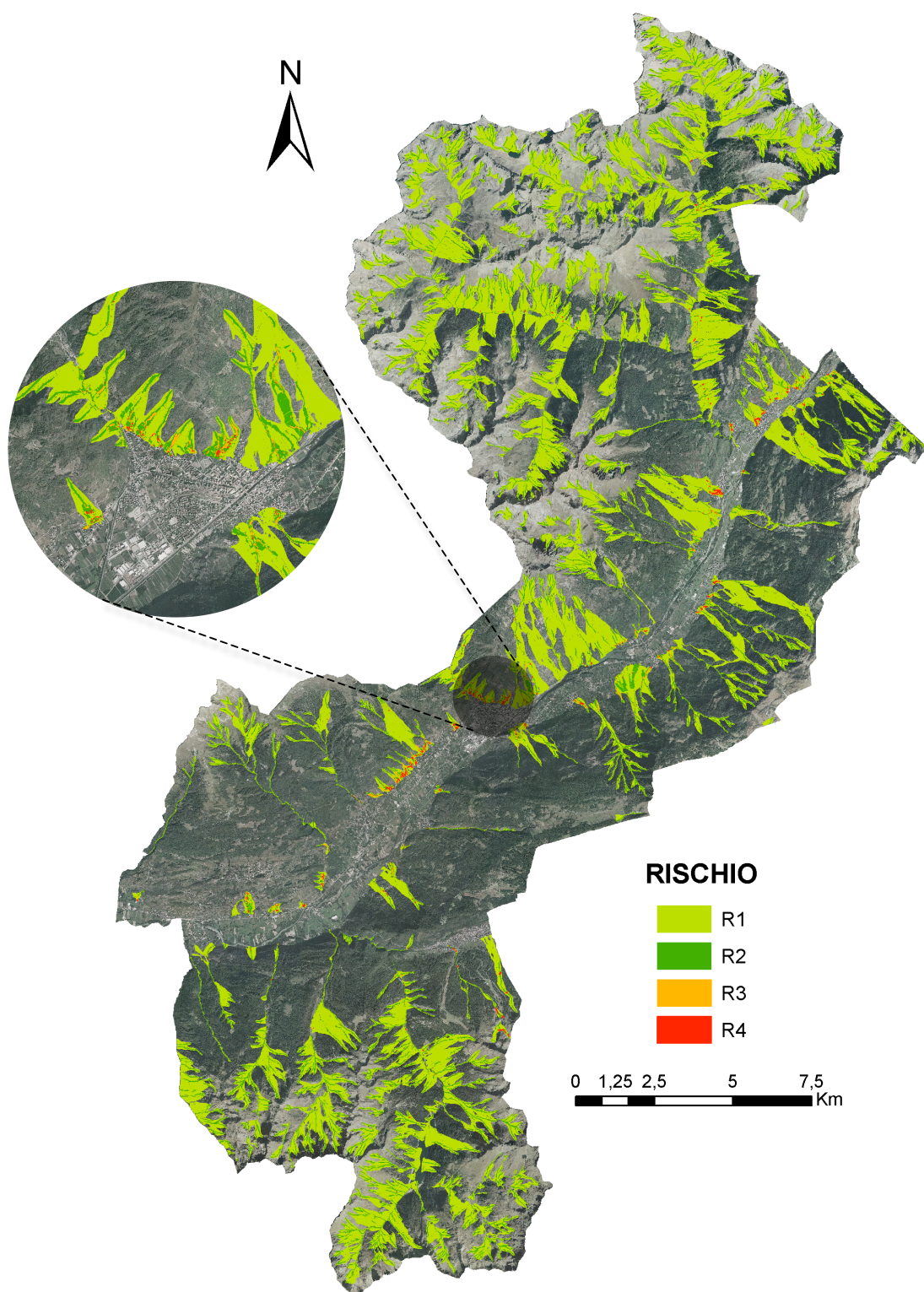


Fig. 10.3 – Carta di rischio.

10.4 Confronto tra le carte di rischio

Dal confronto delle due carte di rischio (Fig. 10.4) si possono trarre alcune considerazioni.

La metodologia istituzionale ha portato all'elaborazione di una carta di rischio in cui la pericolosità è stata valutata considerando eventi idrogeologici riconducibili a processi gravitativi di versante e ad eventi di piena di fondovalle. I fenomeni franosi che secondo la legge regionale 11 marzo 2005 n.12 devono essere presi in considerazione sono molteplici e di diversa tipologia: dalle DGPV alle aree soggette a crolli in massa, alle aree con presenza di frane quiescenti o soggette a franosità superficiale. In questo modo è stato possibile ottenere un quadro conoscitivo dell'assetto idrogeologico dell'intero territorio, completo ed eterogeneo. Inoltre, la scala di dettaglio (1:2.000) delle carte di fattibilità permette di considerare condizioni critiche locali, a livello comunale.

Per contro, la metodologia utilizzata per allestire la seconda carta di rischio è specifica per una sola tipologia di evento franoso (*debris flow*); di conseguenza, molte aree comunali soggette ad una diversa tipologia di eventi idrogeologici non presi in considerazione rimangono non classificate (Fig. 10.4).

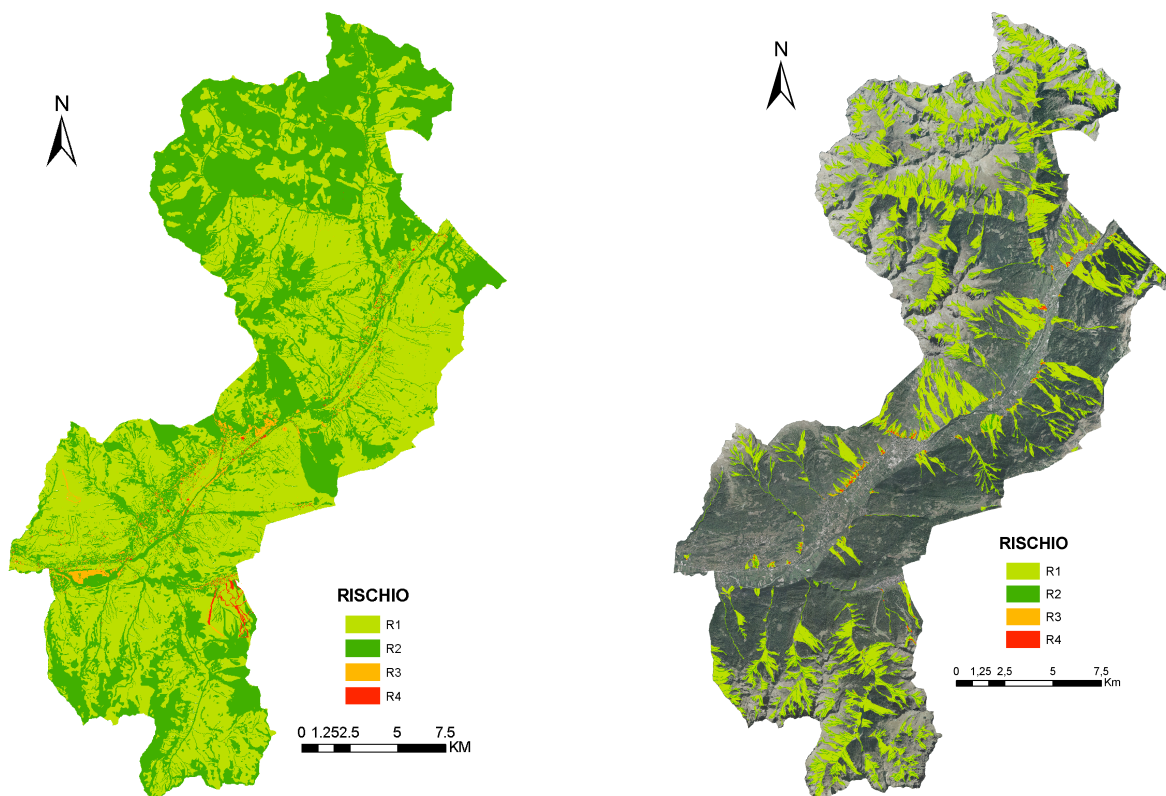


Fig. 10.4 – Confronto tra le due carte di rischio. Nell'immagine di sinistra è rappresentata la mappa di rischio ottenuta seguendo le linee guida regionali mentre nell'immagine di destra è rappresentata la mappa ottenuta utilizzando una metodologia statistico-probabilistica per la valutazione della pericolosità.

La carta di rischio istituzionale, pur considerando le diverse tipologie di eventi franosi che interessano il territorio oggetto dello studio, non prende in considerazione l'aspetto probabilistico nell'identificazione delle possibili aree sorgenti e delle conseguenti aree impattate da probabili eventi di *debris flow*. Il metodo statistico probabilistico *Weights of Evidence* permette invece di identificare nello specifico i fattori predisponenti per una determinata tipologia di evento franoso (nel presente studio, di *debris flow*). La carta di pericolosità derivante dall'integrazione della carta di suscettibilità con quella ricavata dal modello *Flow-R*, pur essendo evento-specifica, risulta essere quindi più rigorosa da un punto di vista previsionale. Confrontando le due carte di rischio, si può infatti notare che, zone classificate come R1-R2 nell'analisi istituzionale, possono invece essere impattate da eventi di *debris flow*, ben evidenziati dal modello statistico (Fig. 10.5 e Fig. 10.6).

È tuttavia necessario precisare che, per una valutazione di rischio più completa all'interno di un'area di studio, sarebbe necessario integrare tante carte di pericolosità quante sono le diverse tipologie di eventi franosi.

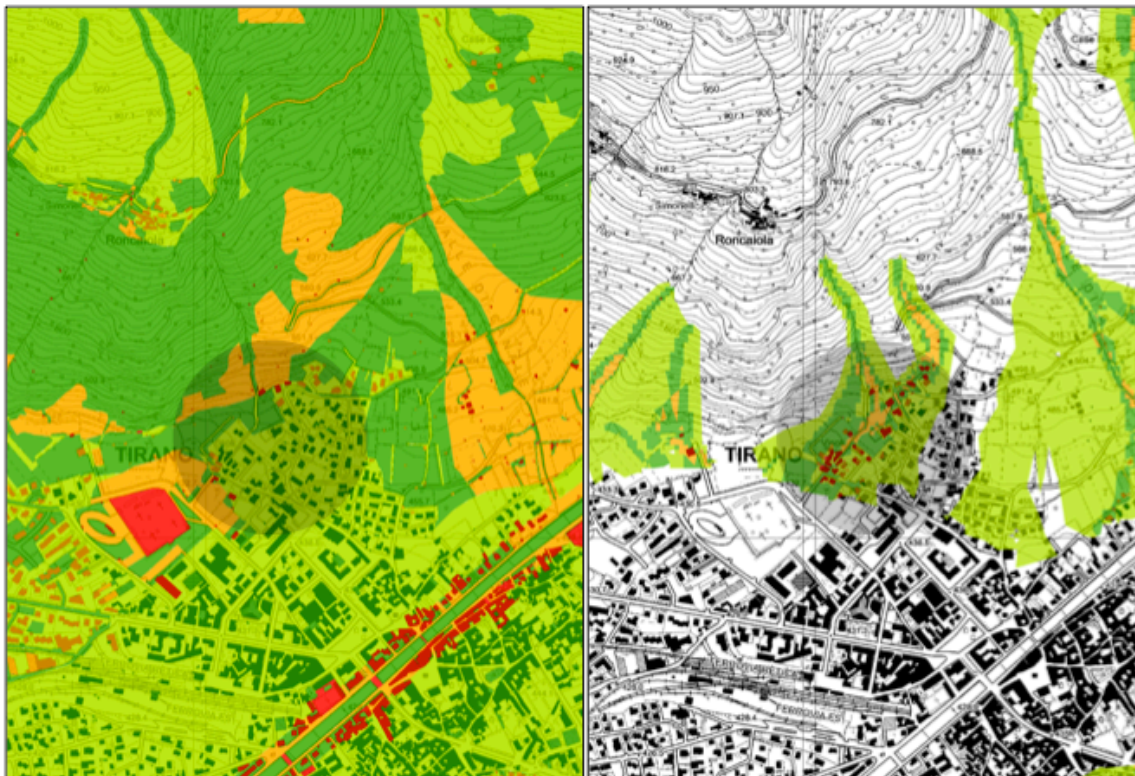


Fig. 10.5 – Ingrandimento della carta di rischio sull'abitato di Tirano. Differenza nella classificazione del rischio nella medesima porzione di territorio. Nell'immagine di sinistra la mappa di rischio istituzionale non considera un ipotetico evento di *debris flow*.

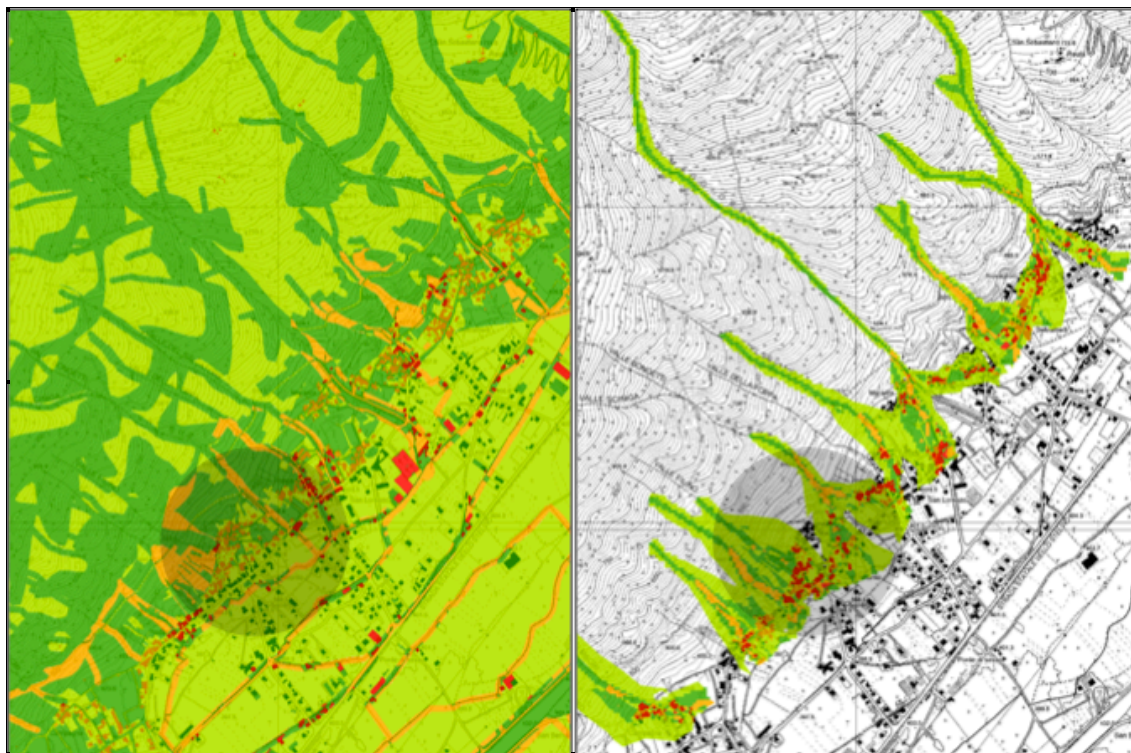


Fig. 10.6 – Ingrandimento della carta di rischio sull’abitato di Villa di Tirano. Differenza nella classificazione del rischio nella medesima porzione di territorio. Nell’immagine di sinistra la mappa di rischio istituzionale non considera un ipotetico evento di *debris flow*.

10.5 Stima del danno

In questa ultima fase di lavoro si propone una possibile metodologia di analisi volta alla stima del rischio totale. Il rischio può essere distinto in: rischio specifico (R_S) e rischio totale (R). Il primo può essere definito come “il grado di perdita attesa quale conseguenza di un particolare fenomeno naturale di una data intensità”, è espresso in termini di probabilità annua ed è funzione della pericolosità (H) e della vulnerabilità (V) $R_S=f(H;V)$. Il rischio totale, invece, è definito come “il valore atteso delle perdite umane, dei feriti, dei danni alle proprietà e delle interruzioni delle attività economiche dovuti ad un certo fenomeno naturale”, ed è espresso in termini di costo annuo o quantità di unità perse per anno $R=f(H;W)$.

La valutazione quantitativa del rischio può essere condotta tramite l'utilizzo di formule che tengano conto della pericolosità e delle conseguenze dell'evento sugli elementi vulnerabili dislocati sul territorio.:

$$R_S = H \times E_S \times V = P_I \times V \quad [1]$$

$$R = R_S \times W = P_I \times W_L \quad [2]$$

dove:

R = rischio totale

R_S = rischio specifico

H = pericolosità

E_S = esposizione al rischio degli elementi vulnerabili

V = vulnerabilità

P_I = probabilità di impatto = $H \times E_S$

W = valore degli elementi a rischio

W_L = danno potenziale

Nel caso in esame, la valutazione verrà eseguita solo a livello degli edifici distribuiti nell'ambito del territorio in corso di analisi. Considerando l'equazione [2], è stato assunto che la probabilità di impatto (P_I) di un evento calamitoso sugli elementi esposti al rischio sia identica alla probabilità di passaggio del materiale mobilizzato, a seguito dell'accadimento di un evento di *debris flow*.

Come spiegato nel capitolo 9, la pericolosità è stata valutata attraverso l'utilizzo combinato di modelli probabilistici (WofE e Flow-R) in grado di restituire le aree a più alta predisposizione all'innescò, la direzione di flusso (*spreading*) e la distanza di *runout*. I modelli restituiscono mappe raster in cui ad ogni pixel è associato un valore di probabilità relativa. La mappa di pericolosità finale esprime, quindi, una diversa probabilità di distribuzione spaziale dei *debris flow* nell'area di studio.

I valori di probabilità relativi alle aree di flusso e di deposizione sono stati classificati in cinque classi utilizzando il criterio *geometric intervall* (tabella 10.1).

CLASSE DI PERICOLOSITÀ	INTERVALLI DI PROBABILITÀ
MOLTO BASSA	0,000001 - 0,002415
BASSA	0,002415 - 0,012596
MEDIA	0,012596 - 0,055527
ALTA	0,055527 - 0,236566
MOLTO ALTA	0,236566 - 1

Tab. 10.1 – Classi di pericolosità e intervalli di probabilità.

In seguito, è stata calcolata la media per ogni intervallo di probabilità in modo da ottenere, per ogni classe di pericolosità, un unico valore che esprimesse la probabilità di passaggio e, quindi, di impatto sugli elementi vulnerabili (tabella 10.2).

CLASSE DI PERICOLOSITÀ	PROBABILITÀ DI IMPATTO
MOLTO BASSA	0,001208
BASSA	0,0075055
MEDIA	0,0340615
ALTA	0,1460465
MOLTO ALTA	0,618283

Tab. 10.2 – Classi di pericolosità e probabilità di impatto.

Si è successivamente deciso di testare la metodologia per stimare le eventuali conseguenze economiche a seguito di impatti causati da *debris flow*, scegliendo Tirano come “comune campione” (Fig. 10.7). Nel territorio della Comunità Montana, infatti Tirano risultava completo da un punto di vista della disponibilità di dati per quanto riguarda il valore degli immobili.

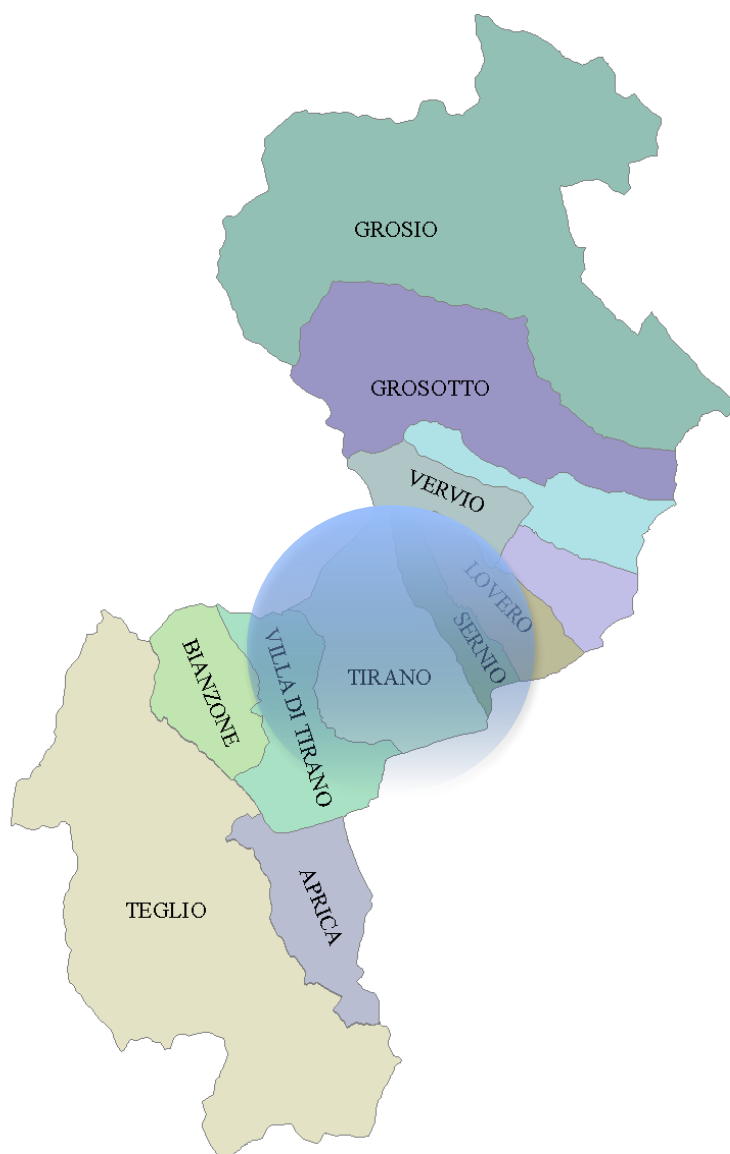


Fig. 10.7 – Comune di Tirano.

L’analisi proposta in questo studio prenderà in considerazione solamente le perdite dirette (tangibili), in quanto, essendo correlate ai danni fisici nei confronti dei beni materiali, sono quantificabili in termini monetari.

L'approccio più frequentemente adottato per ciò che concerne la fase economica di monetizzazione è il modello causa-effetto (Polelli 2000), in cui per causa si intende una situazione di pericolo, un fatto puramente fisico (come nel caso proposto un evento di *debris flow*), mentre per effetto si intendono le conseguenze che l'evento franoso considerato ha sugli elementi vulnerabili.

L'analisi di pericolosità è stata quindi messa in relazione agli elementi esposti al rischio, considerando per questi ultimi solamente gli edifici ricadenti nel comune di Tirano. In questo modo è stato possibile associare a ciascun edificio una probabilità di impatto in funzione della propria posizione spaziale rispetto alle classi di pericolosità. Dal database topografico sono stati estratti 875 edifici che incrociano le classi di pericolosità, di cui solamente 138 ricadono in quelle più alte (alta, H4 e molto alta, H5) (Fig. 10.8).

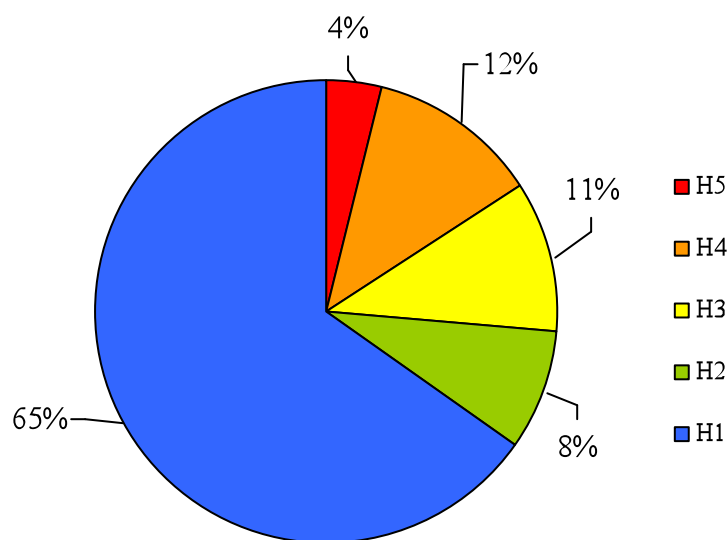


Fig. 10.8 – Percentuale di edifici in ciascuna classe di pericolosità.

È necessario precisare che le informazioni contenute nella tabella degli attributi non hanno permesso di distinguere gli edifici considerati secondo tipologia (abitazioni civili, abitazioni di tipo economico, autorimesse, ecc.). Questi sono stati pertanto classificati unicamente come abitazioni civili con destinazione d'uso esclusivamente residenziale.

La stima economica degli edifici è stata fatta avvalendosi delle quotazioni immobiliari elaborate dall'Agenzia del Territorio la quale, tra i suoi compiti istituzionali, ha anche quello di gestione dell'Osservatorio del Mercato Immobiliare (OMI).

L'ipotesi di base dell'OMI è che il fattore posizionale sia quello maggiormente esplicativo delle differenze di valore tra le varie unità immobiliari, in particolare di quelle a destinazione residenziale. Per questo motivo, ogni territorio comunale è stato frazionato in una o più zone omogenee OMI che riflettono, quindi, un comparto uniforme del mercato immobiliare locale, nel quale si registra una sostanziale uniformità di apprezzamento per condizioni economiche e socio-ambientali. I poligoni relativi alle zone omogenee per il comune di Tirano sono stati quindi esportati in formato KML e successivamente importati e rielaborati in ArcGIS® (Fig. 10.9).

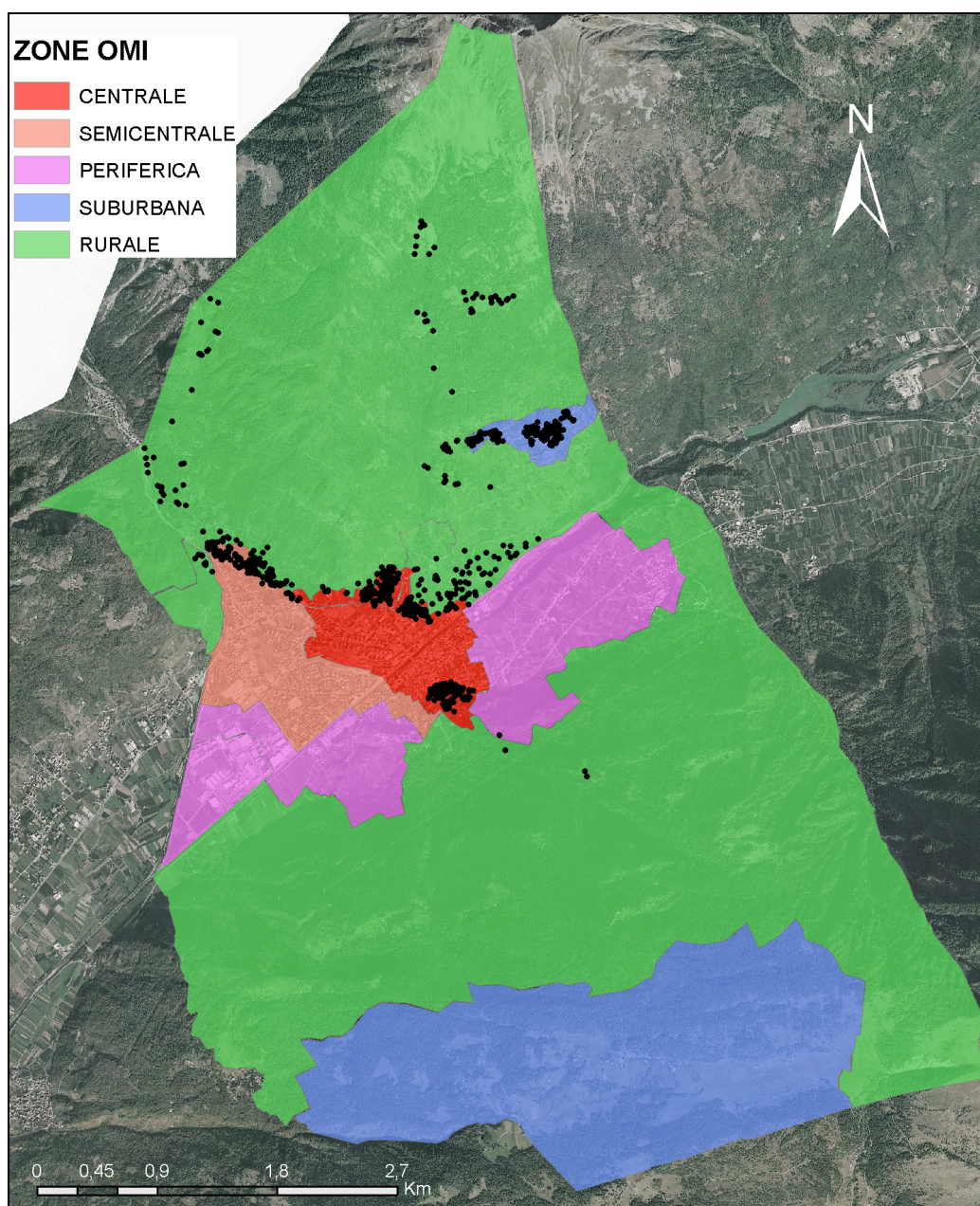


Fig. 10.9 – Zone OMI con sovrapposizione degli edifici (punti in nero) che incrociano il layer della pericolosità.

La maggior parte degli immobili ricade all'interno dell'area omogenea centrale mentre solamente uno in quella periferica (Fig. 10.10).

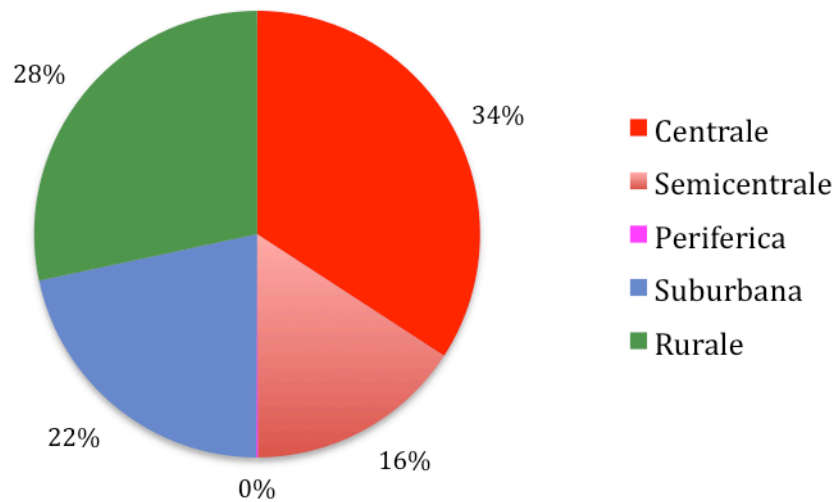


Fig. 10.10 – Percentuale di edifici in zone OMI.

Le quotazioni immobiliari individuano un intervallo di valori minimo e massimo con riferimento ad unità immobiliari ordinarie aventi una data destinazione d'uso (residenziale, ufficio, negozio, ecc), site in una data zona omogenea.

Per assegnare un valore economico agli edifici considerati, è stata utilizzata per tutti gli immobili la classificazione proposta dall'Agenzia del Territorio: tipologia di abitazioni civili riferita solamente a destinazione d'uso "Residenziale" con stato conservativo "Normale". Ad ogni zona omogenea OMI è stato infine assegnato un prezzo di mercato (€/m²) calcolato considerando la media tra il valore minimo e massimo proposto dall'Agenzia del Territorio. I valori calcolati per ogni zona sono riportati in tabella 11.3.

ZONA OMI	VALORE MERCATO (€/m ²)
CENTRALE	1500
SEMICENTRALE	1325
PERIFERICA	1125
SUBURBANA	900
RURALE	850

Tab. 10.3 – Valori di mercato per ogni zona omogenea OMI.

Il passo successivo è stato quello di misurare la superficie di ogni immobile in modo da moltiplicarlo per il valore di mercato e ottenere così il loro valore economico. Attraverso ArcGIS® è stata calcolata l'area per ogni edificio e il valore finale ottenuto è stato raddoppiato, poiché nel comune di Tirano la maggior parte degli immobili ha un secondo piano rialzato. Gli edifici, incrociati con la mappa di pericolosità, sono stati ripartiti nelle zone OMI (Fig. 10.11) e infine è stato calcolato il valore economico totale per ogni sottozona (Tabella 10.4)

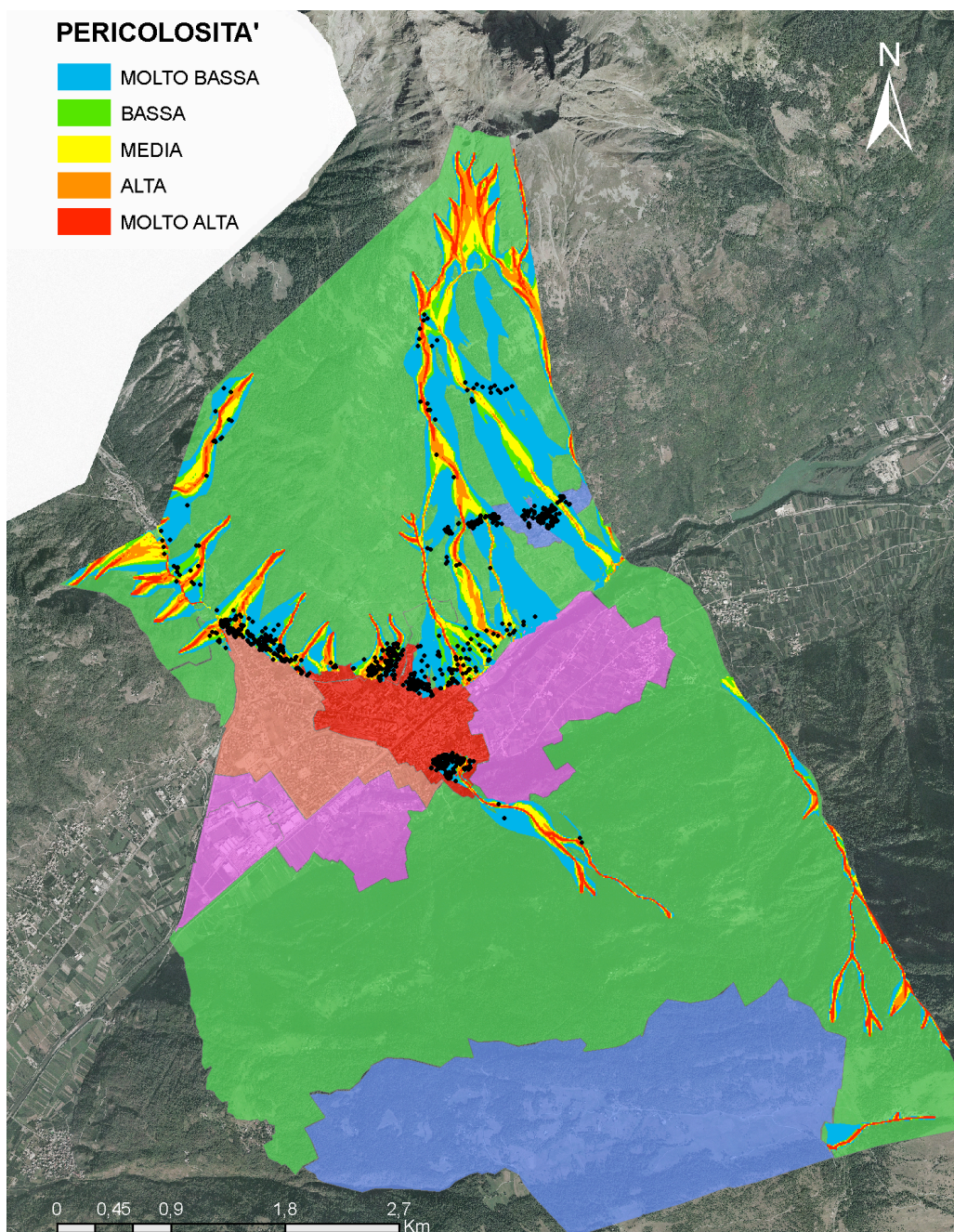


Fig. 10.11 – La mappa rappresenta l'incrocio tra pericolosità, edifici e zone OMI.

HAZARD	N° edifici	Zone OMI presenti	N° edifici per zona	Superficie tot. edifici/zona (m ²)	Valore di mercato per zona (€)
H5	33	Centrale	17	2.773,672	€ 4.160.508,00
		Semicentrale	6	902,462	€ 1.195.762,15
		Rurale	10	1.219,960	€ 1.036.966,00
H4	105	Centrale	46	5.964,932	€ 8.947.398,00
		Semicentrale	25	3.499,340	€ 4.636.625,50
		Suburbana	3	342,452	€ 308.206,80
		Rurale	31	2.539,998	€ 2.158.998,30
H3	93	Centrale	32	4.469,402	€ 6.704.103,00
		Semicentrale	22	2.960,418	€ 3.922.553,85
		Periferica	1	154,268	€ 173.551,50
		Suburbana	2	332,618	€ 299.356,20
		Rurale	36	5.167,142	€ 4.392.070,70
H2	73	Centrale	24	4.645,644	€ 6.968.466,00
		Semicentrale	17	2.091,514	€ 2.771.256,05
		Rurale	32	5.447,710	€ 4.630.553,50
H1	571	Centrale	180	35.517,912	€ 53.276.868,00
		Semicentrale	68	8.764,088	€ 11.612.416,60
		Suburbana	184	20.632,172	€ 18.568.954,80
		Rurale	139	15.635,974	€ 13.290.577,90

Tab. 10.4 – Valore economico totale riferito alla somma degli edifici per ogni sottozona OMI. La superficie per ogni immobile è stata raddoppiata considerando un secondo piano per ogni edificio.

L'analisi di pericolosità condotta a media scala ha considerato solamente la componente spaziale del fenomeno franoso. Non avendo a disposizione altri dati (come il volume del materiale coinvolto, la velocità e le conseguenti forze di impatto sugli edifici), non è stato possibile effettuare una quantificazione della magnitudo dei *debris flow* e, di conseguenza, neppure sugli effetti fisici che gli edifici possono subire a seguito dell'evento nello scenario ipotizzato.

Non potendo stabilire il grado di danno agli edifici, (estetico, funzionale o strutturale), è stato assunto che il danno atteso fosse correlato alla probabilità di impatto sugli edifici stessi. Secondo quanto detto in precedenza, per gli elementi vulnerabili ricadenti nella classe a più alta pericolosità (H5), rappresentata dal canale centrale di scorrimento dei *debris flow* e dalla loro area sorgente, ci si aspetta un danno maggiore in quanto maggiori sono le velocità di flusso, le quantità di materiale mobilizzato e la probabilità di impatto sugli edifici. Diversamente, per gli elementi vulnerabili che ricadono nella classe di pericolosità H1, rappresentata nella fattispecie dall'area marginale del conoide di deposizione, ci si aspetta un danno minore.

Per il tipo di analisi condotta, inoltre, sono stati esclusi i danni alle infrastrutture, i danni indiretti e i costi di ricostruzione o ripristino.

Per ogni zona OMI, ricadente nelle diverse classi di pericolosità, è stato calcolato il danno atteso, moltiplicando il valore di mercato totale per la probabilità di impatto dei *debris flow* sugli edifici (Tabella 10.5).

HAZARD	N° edifici	Zone OMI presenti	N° edifici per zona	Valore di mercato per zona (€)	Probabilità media relativa di impatto	Danno atteso
H5	33	Centrale	17	€ 4.160.508,00	0,618283	€ 2.572.371,37
		Semicentrale	6	€ 1.195.762,15		€ 739.319,41
		Rurale	10	€ 1.036.966,00		€ 641.138,45
H4	105	Centrale	46	€ 8.947.398,00	0,1460465	€ 1.306.736,16
		Semicentrale	25	€ 4.636.625,50		€ 677.162,93
		Suburbana	3	€ 308.206,80		€ 45.012,52
		Rurale	31	€ 2.158.998,30		€ 315.314,15
H3	93	Centrale	32	€ 6.704.103,00	0,0340615	€ 228.351,80
		Semicentrale	22	€ 3.922.553,85		€ 133.608,07
		Periferica	1	€ 173.551,50		€ 5.911,42
		Suburbana	2	€ 299.356,20		€ 10.196,52
		Rurale	36	€ 4.392.070,70		€ 149.600,52
H2	73	Centrale	24	€ 6.968.466,00	0,0075055	€ 52.301,82
		Semicentrale	17	€ 2.771.256,05		€ 20.799,66
		Rurale	32	€ 4.630.553,50		€ 34.754,62
H1	571	Centrale	180	€ 53.276.868,00	0,001208	€ 64.358,46
		Semicentrale	68	€ 11.612.416,60		€ 14.027,80
		Suburbana	184	€ 18.568.954,80		€ 22.431,30
		Rurale	139	€ 13.290.577,90		€ 16.055,02

Tab. 10.5 – Danno atteso per ogni zona OMI calcolato considerando le diverse probabilità di impatto ricavate dall'analisi di pericolosità e i valori di mercato relativi a ciascun edificio.

L'ammontare del danno atteso, in seguito al verificarsi di eventi di *debris flow*, per il comune di Tirano è quantificabile in € **7.049.452**.

In un'ottica di gestione del rischio, una zonazione dell'area interessata da eventi potenzialmente pericolosi, vale a dire la possibilità di assegnare a diverse zone un diverso valore di danneggiamento delle strutture, risulta di primaria importanza in quanto non si potrebbe ritenere uniforme il danno subito da edifici posti a notevole distanza rispetto alla zona di distacco (sorgente). Come si evince dal grafico riportato in figura 10.12, il contributo maggiore in termini di costo è riscontrabile nella zona OMI centrale, ricadente nella classe H5 di pericolosità.

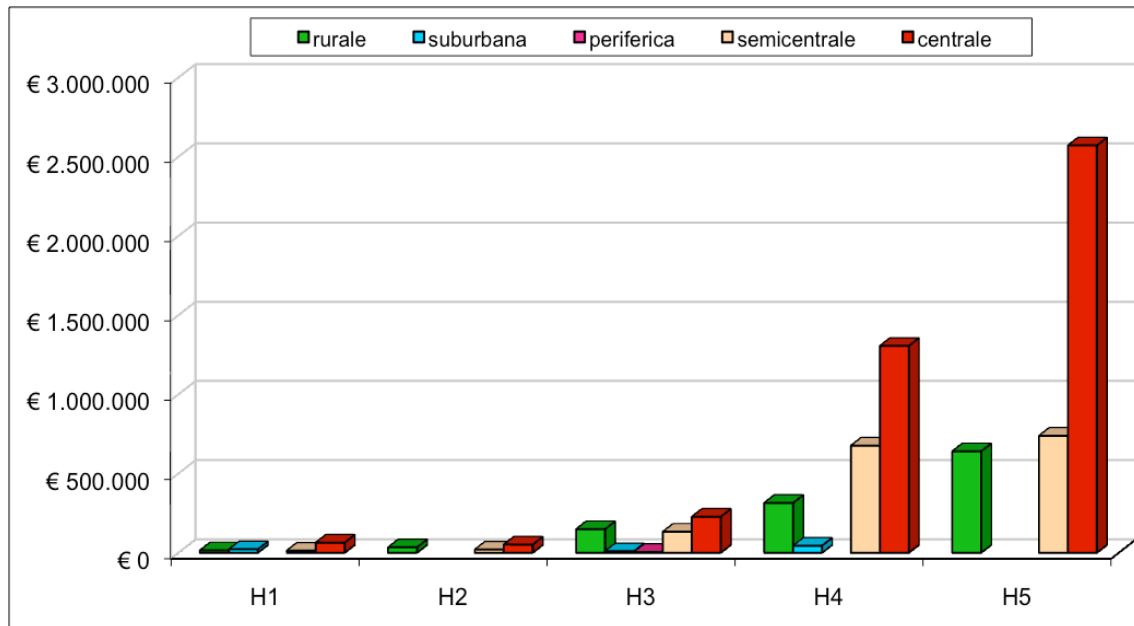


Fig. 10.12 – Contributo economico delle diverse zone OMI nella stima del danno atteso suddiviso per classi di pericolosità.

10.6 Considerazioni

Il confronto delle due carte ha evidenziato che quella istituzionale, pur considerando diverse tipologie di fenomeni franosi, manca totalmente di una componente previsionale, in quanto la pericolosità è riportata esclusivamente su eventi pregressi. Questo fattore viene invece valorizzato dalla metodologia utilizzata per allestire la seconda carta di rischio, che in aggiunta, risulta essere evento-specifica (*debris flow* nel presente studio). Se da una parte, un'analisi di questo tipo è più rigorosa perché tarata su una determinata tipologia di evento, dall'altra molte aree comunali soggette a diversi fenomeni idrogeologici non presi in considerazione rimangono non classificate. Sarebbe quindi auspicabile, al fine di elaborare una carta di "rischio" maggiormente dettagliata, effettuare studi analoghi per le diverse tipologie di eventi franosi insistenti sul territorio.

La metodologia utilizzata per la valutazione economica consente una buona stima di massima per una quantificazione del danno atteso. La possibilità di avere database più dettagliati per ciò che concerne le tipologie edilizie porterebbe ad avere una migliore discriminazione del valore immobiliare degli edifici che ricadono nelle diverse zone OMI e di conseguenza una valutazione economica più particolareggiata.

Non conoscendo il tipo di materiale con il quale sono stati costruiti gli edifici e la magnitudo del fenomeno franoso, è stato impossibile discriminare la tipologia di danni (estetico, funzionale e strutturale); tuttavia l'utilizzo delle probabilità relative di impatto sugli elementi vulnerabili si è dimostrato una buona alternativa nella stima del danno atteso, in quanto ha restituito uno scenario di vulnerabilità quanto meno realistico sfruttando la posizione spaziale degli edifici rispetto alle diverse zone di pericolosità. Si presuppone, infatti, che i danni maggiori agli edifici avvengono lungo i canali di scorrimento principali dei *debris flow* piuttosto che nelle porzioni laterali delle zone di deposizione del materiale.

L'analisi socio economica riveste una imprescindibile valenza per la determinazione del rischio dell'area, per la comprensione delle tipologie di danni originabili e per la loro quantificazione. Una valutazione di "rischio economico", a priori consente una migliore efficienza nella gestione, prevenzione e mitigazione sul territorio, garantendo una allocazione migliore delle risorse della società.

PARTE TERZA

MODELLO DI INTERVENTO E GESTIONE DELLE EMERGENZE

Premessa

Obiettivo di questa terza e ultima parte del progetto di tesi è stato quello di sviluppare un sistema integrato di gestione delle emergenze da affiancare al servizio comunale di Protezione Civile di ognuno dei dodici comuni della Comunità Montana Valtellina di Tirano. Ciò che viene proposto è quindi la gestione di una banca dati di supporto alle attività di Protezione Civile attraverso l'integrazione di un GIS tradizionale, in grado di gestire elementi territoriali e descrittivi, con la dinamicità di un sistema di supporto alle decisioni (*work flow*), che consente il monitoraggio in tempo reale di attività, procedure e flussi di informazione. Il risultato è sia un supporto alla pianificazione e alla progettazione territoriale sia un elenco di attività da eseguire in caso di emergenza (Alexander 2000).

Risorse, persone e attività programmate devono essere archiviate in modo logico e conforme alle necessità che sorgono durante un'emergenza (Foster 1980). Lo scopo è quindi quello di giungere, attraverso i flussi di informazioni e le sequenze di istruzioni implementate nel sistema integrato, a un prototipo di gestione *real time*, dove ogni attività di supporto alle emergenze (reperibilità del personale, definizione delle aree coinvolte, individuazione degli elementi vulnerabili, calcolo dei percorsi, sequenze di interventi) sia adeguatamente gestita e riferita nel territorio.

Questa fase di ricerca è coordinata con lo sviluppo, il test e l'applicazione di un software, GIS con integrato un sistema di supporto alle decisioni (*workflow management*) che integra efficacemente dati di tipo cartografico con dati alfanumerici. Questi ultimi sono a loro volta archiviati in una base dati di tipo relazionale, organizzata in schede specifiche secondo lo schema del Sistema Informatico Mercurio (schema tipo proposto dalla Direzione Generale della Protezione Civile, 1985).

11

GESTIONE DELLE EMERGENZE

11.1 Introduzione

La possibilità di fornire un supporto alla gestione delle emergenze è l'ultimo passo di una serie di *step* operativi (Kienholz 1994; FEMA 2001, Sterlacchini *et al.* 2007), parte dei quali sono stati considerati in questo elaborato di tesi:

- Identificazione degli eventi dannosi che potenzialmente possono interessare i centri abitati e la popolazione residente;
- Caratterizzazione dei potenziali eventi distruttivi;
- Inventario dei beni e delle risorse presenti nell'area;
- Stima degli effetti fisici dovuti all'impatto potenziale;
- Definizione indicativa degli scenari di rischio;
- Stima delle potenziali conseguenze socio-economiche;
- Preparazione di Piani di Gestione delle Emergenze (pianificazione e reale intervento).

Obiettivo di questa sequenza è quello di capire come una profonda conoscenza dei processi idrogeomorfologici caratterizzanti un'area possa influire sulla comprensione delle potenziali conseguenze degli stessi e come ciò possa contribuire alla preparazione di un piano di gestione delle emergenze (interventi *real-time* per la protezione delle persone e salvaguardia dell'ambiente). Gli scenari di rischio rappresentano il punto di raccordo tra un'analisi di rischio e la pianificazione dell'emergenza. Nella metodologia presentata, gli scenari individuati sono classificati come potenziali; ciò significa che possono essere modificati (in special modo in termini di estensione spaziale), in situazioni di emergenza. Tale requisito è uno dei principali fondamenti su cui si basa l'intera procedura di gestione delle emergenze proposta in questo studio. La struttura organizzativa, adottata per il processo decisionale in caso di emergenza è fondata su quattro livelli:

1. definizione della sequenza di azioni (*flow chart* procedurale - modello di intervento) che dovranno essere messe in pratica per la gestione ed il superamento dell'emergenza;

1. identificazione del personale responsabile di ogni procedura (figure e ruoli);
2. descrizione delle istruzioni che dovranno essere seguite in ogni fase dell'emergenza;
3. gestione delle risorse e strutture realmente disponibili a seconda della tipologia di emergenza.

In tal modo è possibile associare a ciascuno scenario di rischio idrogeologico, precedentemente individuato sul territorio, un modello di intervento incentrato su precise azioni, tarato sull'Unità di Crisi Locale (UCL) e sulle risorse effettivamente disponibili al fine di fronteggiare e superare la fase di emergenza. La principale peculiarità della metodologia proposta consiste nella possibilità di gestire le diverse fasi dell'emergenza attraverso una conoscenza aggiornata e quasi in tempo reale della situazione critica che si è venuta a delineare ed anche attraverso una conoscenza "pregressa" derivante dagli insegnamenti e dalle esperienze maturate durante eventi passati. Per questo motivo, la metodologia utilizzata può essere considerata un valido strumento a supporto delle decisioni e finalizzata a gestire in maniera efficiente la fase di crisi, a giungere nel minor tempo possibile al superamento dell'emergenza ed a "minimizzare", per quanto possibile, le conseguenze dell'evento.

11.2 Pianificazione dell'emergenza

11.2.1 Creazione di una banca dati di supporto alla gestione dell'emergenza

Secondo la Direttiva Regionale per la Pianificazione di Emergenza degli Enti Locali (L.R. 16/2004 – art. 4, comma 11; approvata con D.G.R. n. 8/4732 del 16 maggio 2007) il primo passo fondamentale per stesura del Piano di Emergenza è rappresentato dal censimento delle infrastrutture presenti sul territorio. A questo scopo, i dati utilizzati per costruire la carta di vulnerabilità territoriale (capitolo cinque paragrafo 5.3), sono stati analizzati in un contesto di Protezione Civile e messi in relazione agli scenari di rischio individuati. In questo modo è stato possibile indicare, all'interno del territorio di ogni singolo comune, le strutture che possono essere considerate strategiche, ossia utili per gestire una situazione di intervento a seguito di un evento calamitoso, e quelle invece ritenute vulnerabili ossia tutte quelle strutture che possono essere impattate da un

potenziale evento calamitoso emerso dallo studio di pericolosità. L'analisi ha portato alla costruzione di un database spaziale georeferenziato la cui funzione è quella di fornire, ai soggetti preposti alla gestione delle emergenze, un supporto nella ricerca di elementi sensibili sul territorio. La gestione dei dati avviene attraverso il modulo GIS e risulta estremamente vantaggiosa in quanto, attraverso semplici query spaziali, è possibile sapere esattamente quanti edifici o elementi infrastrutturali possono essere colpiti da un evento calamitoso (Fig. 11.1). Allo stesso modo è possibile conoscere dove sono ubicate le strutture di appoggio agli interventi di soccorso effettivamente disponibili sul territorio comunale.

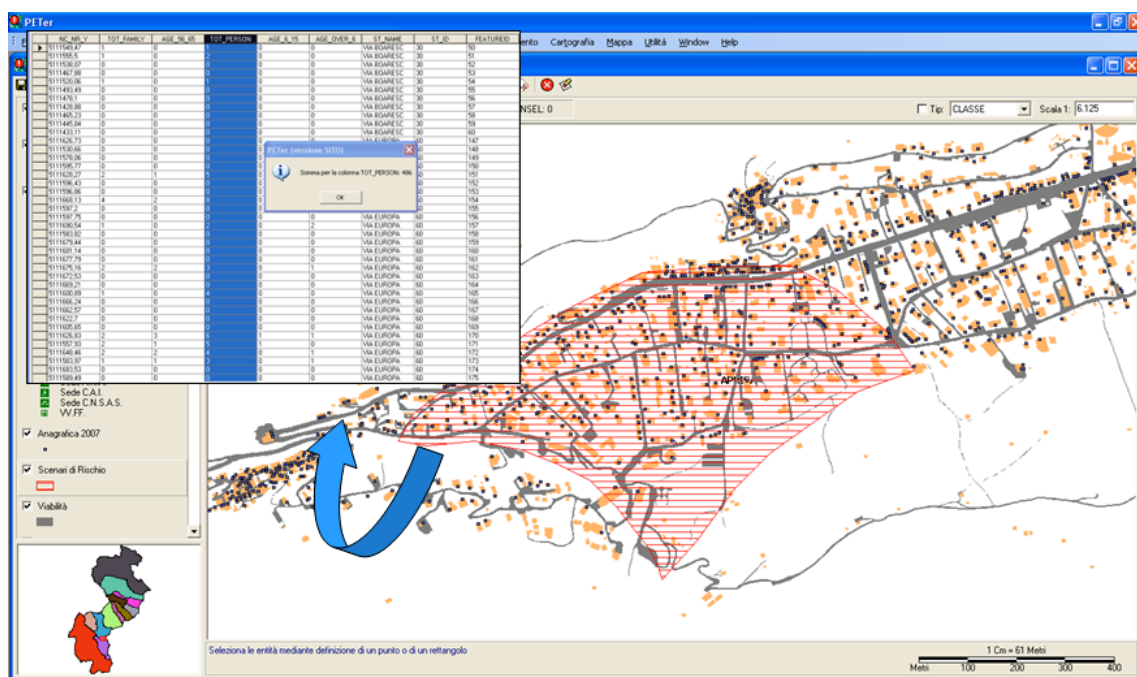


Fig. 11.1 – Identificazione del numero di edifici coinvolti nello scenario di rischio individuato. La tabella in alto a sinistra dell'immagine riporta il risultato di una query spaziale attraverso il modulo GIS.

In fase di pianificazione dunque, particolare importanza assume la posizione e la caratterizzazione delle strutture strategiche rispetto allo scenario di rischio considerato. Tra queste devono essere individuate le **aree di emergenza** ossia le aree destinate, in caso di emergenza, ad uso di Protezione Civile. In funzione della capacità ricettiva degli spazi disponibili individuati e del numero degli abitanti considerati potenzialmente a rischio, sono state individuate, in accordo con il personale della Comunità Montana Valtellina di Tirano, diverse **aree di attesa** ossia luoghi di primo ritrovo per la popolazione. Per legge si calcola una superficie minima di 1 m² a persona.

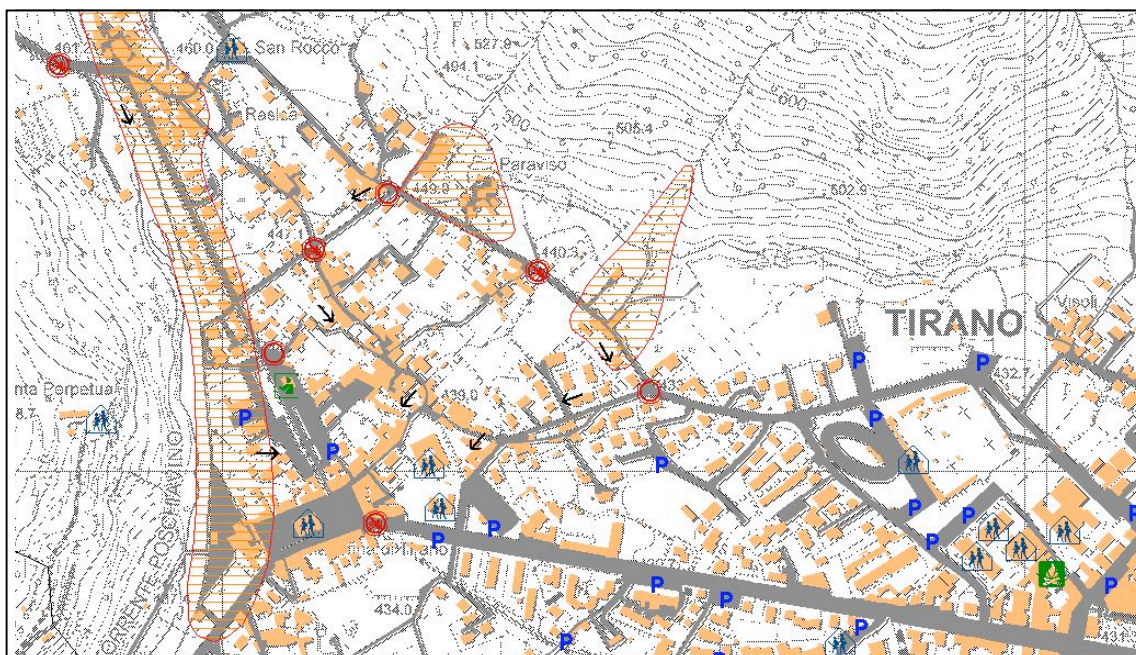


Fig. 11.2 – Database relativo alle strutture strategiche individuate presso l’abitato di Tirano. In colore blu, contrassegnate graficamente dalla lettera P sono indicate le aree di attesa idonee per gli scenari di rischio idrogeologico individuati (poligoni rossi retinati).

Se si prevede che la popolazione sia costretta ad abbandonare la propria casa per periodi prolungati, in funzione del tipo di emergenza (da pochi giorni a mesi), occorrerà attivare **strutture di accoglienza** (alberghi, residence, campeggi, palestre, scuole, oratori, capannoni, centri sportivi, ecc.) oppure prevedere l’allestimento in zone sicure di tendopoli e/o insediamenti abitativi di emergenza (container, moduli abitativi e casette prefabbricate) in osservanza delle regole emanate dal Dipartimento della Protezione Civile nel marzo 2005 (“Linee Guida per l’individuazione delle aree di ricovero per strutture prefabbricate di protezione civile” - Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri – G.U. n. 44 del 23 febbraio 2005) e successivamente, con Decreto del Capo del Dipartimento n. 1243 del 24 marzo 2005. Si stima che lo spazio medio per persona in un campo di accoglienza è di circa 45 m², comprensivi delle aree comuni. Tutte le informazioni sopra citate sono state mappate dettagliatamente e rese disponibili nell’ambito del database spaziale realizzato.

Sulla base dell’individuazione degli scenari di rischio e loro localizzazione, è possibile anche selezionare gli edifici più adatti in cui depositare le risorse necessarie, ma anche identificare l’edificio da adibire a sede per l’Unità di Crisi Locale da cui gestire l’emergenza e coordinare i soccorsi (nel caso in cui il Municipio sia situato all’interno di un’area a pericolosità elevata).

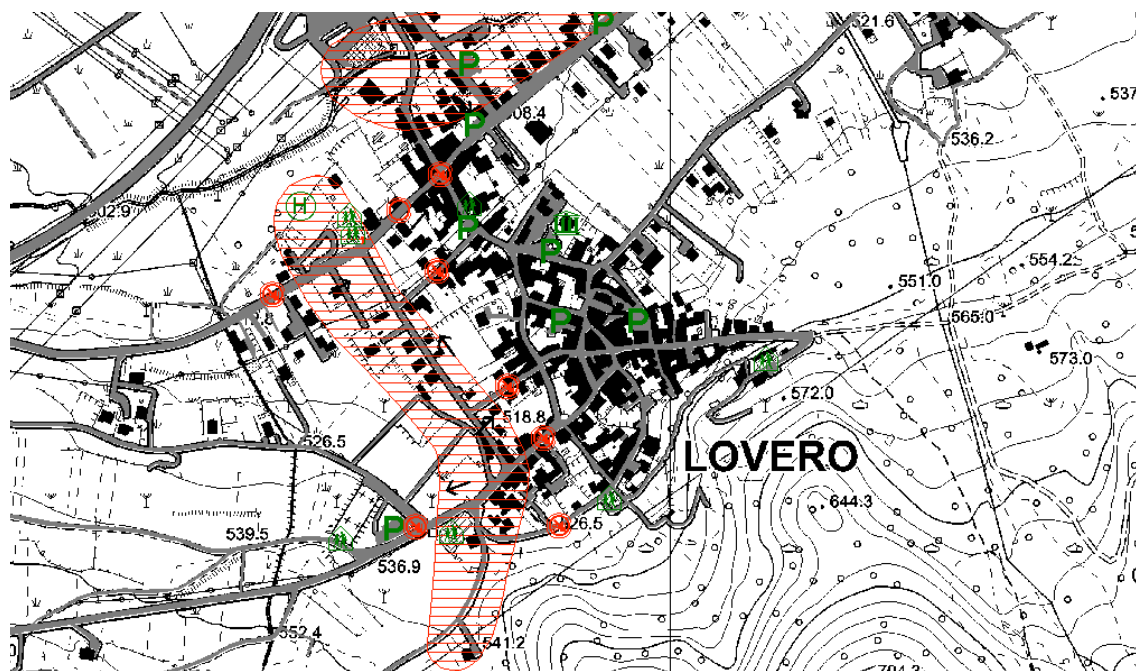


Fig. 11.3 – Comune di Lovere: identificazione dei posti di blocco (in rosso), vie di fuga e altre strutture strategiche relative allo scenario considerato.

L'esatta caratterizzazione degli edifici, anche mediante il rilevamento del numero di persone presenti in ogni casa e le informazioni relative alle condizioni fisiche dei residenti permette, nel caso di attivazione della fase di emergenza, di occuparsi in primo luogo delle persone con difficoltà di deambulazione e di individuare perciò le categorie più a rischio che richiedono un intervento immediato. Questo è reso possibile grazie a un collegamento esistente e continuamente aggiornato, tra la banca dati della Comunità Montana e il servizio anagrafe gestito centralmente per tutti i 12 comuni.

Molto spesso gli eventi calamitosi coinvolgono la rete viabilistica principale e locale, causando disagi alla popolazione e difficoltà nelle attività di soccorso. In fase di pianificazione deve essere effettuata, scenario per scenario, un'attenta analisi del reticolo stradale, individuandone i tratti a rischio e prevedendo l'ubicazione di **cancelli** e posti di blocco con un duplice scopo: regolare il traffico di afflusso/deflusso nelle aree colpite dagli eventi; consentire l'aggiramento del blocco. Si dovrà pertanto individuare la viabilità alternativa, evidenziando eventuali limitazioni al transito dovute a larghezze ed altezze massime di sedi stradali e gallerie, capacità portante di ponti, presenza di curve e tornanti che potrebbero ostacolare la circolazione di mezzi pesanti. Inoltre, sono state individuate le ditte e le imprese di somma urgenza che possono mettere a disposizione materiali e mezzi necessari al ripristino della zona colpita. Tutte queste informazioni sono state analizzate,

individuare per ogni comune e inserire in banca dati così che, all'occorrenza, potranno essere visualizzate e utilizzate al momento di gestione dell'emergenza (Fig. 11.3).

In fase di pianificazione è opportuno considerare, in ogni area, la presenza di risorse umane, materiali, mezzi, capacità operative e decisionali in grado di intervenire in tempi brevissimi in caso di calamità in modo da minimizzare i danni conseguenti al verificarsi di un evento. Una banca dati di supporto alla gestione delle emergenze deve quindi contenere necessariamente le risorse effettivamente disponibili sul territorio e i soggetti preposti alle operazioni di intervento (Fig. 11.5 e 11.6). Risorse, persone e attività programmate devono essere archiviate in modo logico e conforme alle necessità che sorgono durante un'emergenza (Foster 1980). La gestione del database di supporto è stata concepita in modo tale che sia possibile collegare tra loro gli elementi considerati utili nella gestione delle emergenze (scenari, soggetti, risorse e procedure operative) (Fig. 11.4). Per esempio, interrogando una struttura presente in un comune dove è accaduto un evento, è possibile risalire alle informazioni sul personale collegato, recapiti telefonici, legislazione o allegati da stampare, cartografie necessarie, risorse disponibili e cancelli preposti per quell'area.

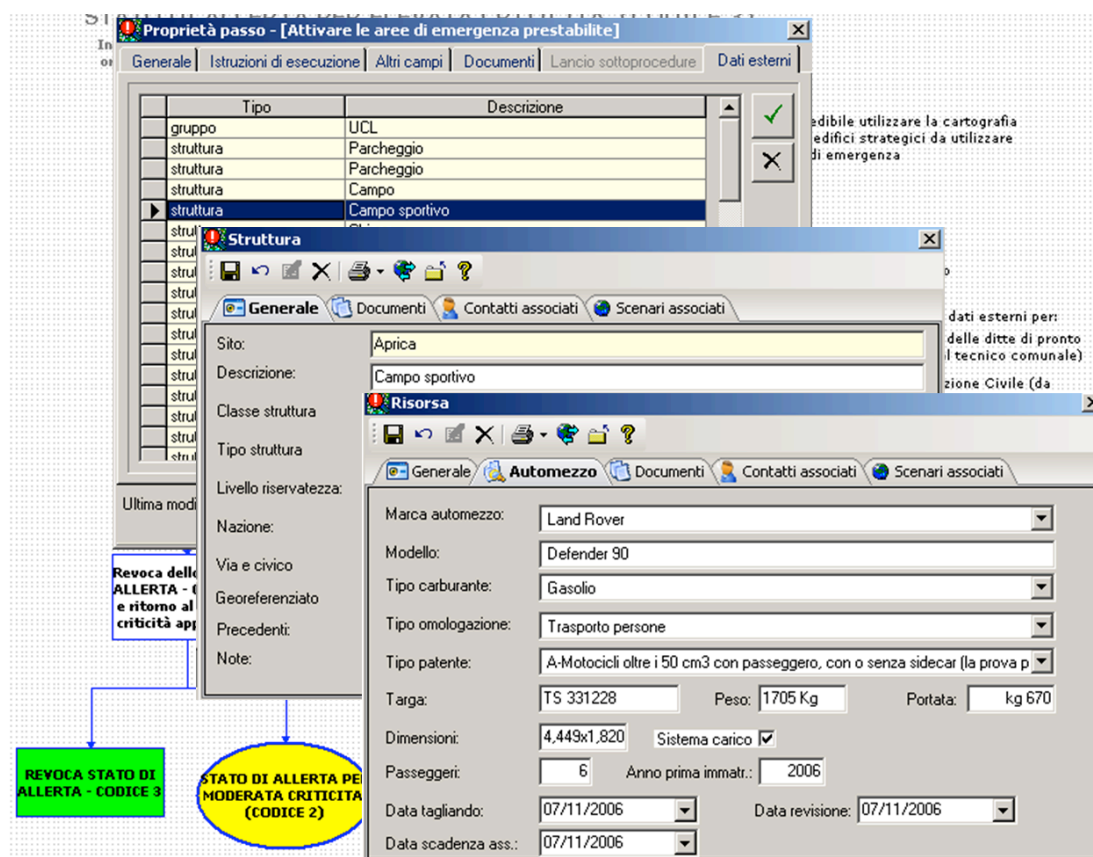


Fig. 11.4 – Collegamento tra procedura, struttura e risorsa.

Tra i soggetti considerati, si è scelto di inserire nella banca dati i membri dell'Unità di Crisi locale (UCL) di ogni comune: sindaco, tecnico comunale, comandante della polizia municipale, responsabile del gruppo comunale di Protezione Civile o di associazioni di Protezione Civile convenzionate e rappresentanti delle forze dell'ordine del luogo; nonché gli uomini dei gruppi di Protezione Civile comunali, i volontari di Protezione Civile e i responsabili di strutture sanitarie e dei vari distaccamenti delle forze dell'ordine e Vigili del Fuoco.

descrizione	sito	classerisorsa	tiporisorsa	annotazioni
TIR -autocarro	Tirano	Trasporto terrestre	Pickup	
TIR -fuoristrada	Tirano	Trasporto terrestre	Fuoristrada	
TIR -rimorchio	Tirano	Trasporto terrestre	Rimorchio	
TIR -rimorchio	Tirano	Trasporto terrestre	Rimorchio	
TIR -canotto	Tirano	n.d.	n.d.	Selva, miscela
TIR -vasca 6000lt	Tirano	n.d.	n.d.	
TIR -vasca 1800lt	Tirano	n.d.	n.d.	autoportante
TIR -modulo AIB	Tirano	n.d.	n.d.	elitrasportabile
TIR -tubo A.P. moduli	Tirano	n.d.	n.d.	
TIR -pompa riempimento vasca	Tirano	n.d.	n.d.	Honda. GX 120 4.0
TIR -pompa alta pressione	Tirano	n.d.	n.d.	WICK 375
TIR -Manichette	Tirano	Antincendio	Manichetta antincen	10 con diametro: Ø 25
TIR -Avvolgi manichette	Tirano	n.d.	n.d.	
TIR -gruppo elettrogeno 4,8Kw	Tirano	Illuminazione	Gruppo elettrogeno :	Honda, EV6MB, benzina
TIR -motosega	Tirano	Materiale tecnico	Motosega	1 modello: sthil029 miscela
TIR -motosega prolunga	Tirano	Materiale tecnico	Motosega	modello: sthil KM-100R - miscela
TIR -affilacatene	Tirano	n.d.	n.d.	PM 13150
TIR -soffiatore	Tirano	Materiale tecnico	Soffiatore	1 ECHO, PB-750 - miscela
TIR -compressore 50 lt	Tirano	Materiale tecnico	Compressore per rice	
TIR -decespugliatore	Tirano	n.d.	n.d.	sthil FR-450 - miscela
TIR -zaino medico	Tirano	Materiale tecnico di s	Vario	
TIR -demolitore	Tirano	Materiale tecnico	Demolitore ad aria cc	Hitachi DK 45
TIR -imbracatura	Tirano	n.d.	n.d.	
TIR -mola angolare	Tirano	n.d.	n.d.	
TIR -mola da banco	Tirano	n.d.	n.d.	
TIR -carriola	Tirano	Costruzione	Carriola	
TIR -badili	Tirano	Costruzioni	Pala	
TIR -rastrelli	Tirano	n.d.	n.d.	
TIR -falce-toni	Tirano	Varie	Falchetto	
TIR -forche	Tirano	n.d.	n.d.	
TIR -mazze	Tirano	n.d.	n.d.	
TIR -livera	Tirano	n.d.	n.d.	
TIR -scure	Tirano	Varie	Scure	
TIR -roncole	Tirano	n.d.	n.d.	
TIR -tavoli pieghevoli	Tirano	Varie	voli	
TIR -panche pieghevoli	Tirano	Varie	Panchine da campe	
TIR -ricetramittente fissa	Tirano	Telecomunicazioni	Ricetrasmittente fissa	Motorola
TIR -ricetramittente mobile	Tirano	n.d.	n.d.	Motorola
TIR -ricetrasmittente portatile	Tirano	Telecomunicazioni	Ricetrasmittente port	Motorola
TIR -Tenda Ministeriale	Tirano	Abitazioni di soccorso	Tende	CAPACITA'-RICETTIVA - 8 persone
TIR -tendone 9x6	Tirano	Abitazioni di soccorso	Tende	paagoda

Fig. 11.5 – Elenco delle risorse disponibili in dotazione al gruppo comunale di protezione civile di Tirano. In questa sezione (risorse), è possibile catalogare, attraverso delle schede anagrafiche, tutti i materiali e i mezzi disponibili sul territorio, con possibilità di identificarne detentore, proprietario o responsabile, e i mezzi di proprietà del Comune. Sono state create le schede anagrafiche di tutte le risorse forniteci dai comuni; principalmente mezzi meccanici e mezzi per il trasporto di persone. Ad ogni risorsa, quando possibile, è stato associato il soggetto gestore inserito in Rubrica in modo da poter essere all'occorrenza contattato.

Nome	Telefono (cell)	Telefono (uff)	Telefono (ab)	Indirizzo di posta elettronica
Andreola Luigi	+39 3394553132		+39 0342701298	
Battaglia Eugenio	+39 3687492567		+39 0342702430	
Battaglia Gianluigi		+39 708312		g.battaglia@comune.tirano.so.it
Beccaria Pietro				
Biscotti Antonio Carlo				
Bombardieri Giuseppe				
Bonitti Eugenio			+39 0342705096	
Carabinieri - Comando Stazione di Aprica		+39 0342748021		
Carabinieri - Comando Stazione di Grosotto		+39 0342887102		
Carabinieri - Comando Stazione di Teglio		+39 0342740240		
Carabinieri - Comando Stazione di Tirano		+39 0342709900		
Cioccarelli Graziella		+39 0342708305		g.cioccarelli@comune.tirano.so.
CIRESA SILVANO	347/8899374		0342/702874	
Clementi Paolo	+39 349192205	+39 0342708311		p.clementi@comune.tirano.so.it
Crapella Francesco				
Croce Rossa Italiana - Distaccamento di Aprica		+39 03422745375		
Croce Rossa Italiana - Distaccamento di Teglio		+39 0342843666		
Croce Rossa Italiana - Distaccamento di Tirano		+39 0342706370		
De Campo Marco Paolo	+39 337400593	+39 0342708353		ma.decampo@comune.tirano.so
DE MONTI RICCARDO	349/5549436		0342/702103	
De Toni Angela Olinda				
DEL DSSO VANARI SANDRO	389/0527093		0342/702132	
Del Dosso Vanari Sandro	+39 3890527093		+39 0342702132	
Del Simone Pietro Giovanni	+39 3474981110	+39 0342708307		sindaco@comune.tirano.so.it
Della Bona Fabio Giulio	+39 3409192207	+39 0342708313		f.dellabona@comune.tirano.so.it
DELLA FRANCA MARIO	338/4309171		0342/703325	
Della Vedova Igino				
Distaccamento di Edolo - Vigili del Fuoco		+39 0364271222		
Distaccamento di Tirano - Vigili del Fuoco		+39 (0342) 701222		
Foppoli Simone				
Forti Giulio				
Ghilotti Attilia				
Giordani Gianbattista				
Giudes Elena Luisa		+39 0342708310		e.giudes@comune.tirano.so.it
Giudice Paolo				
Lazzarini Rosaria		+39 0342708348		r.lazzarini@comune.tirano.so.it
MAGRO FERNANDO	360/242508		0342/719853	

Fig. 11.6 – Elenco dei soggetti. La Rubrica consente di gestire i dati relativi all’anagrafica (archiviando, eventualmente, anche le fotografie utili per la predisposizione di tesserini ad uso dei volontari), alle condizioni fisiche delle persone (segnalando eventuali disabilità), al gruppo sanguigno, ecc. Grazie ad alcune caratteristiche ed azioni specifiche, è possibile organizzare le informazioni sui contatti in modo estremamente efficace.

La DGR 8/4732 del 16 maggio 2007 della Regione Lombardia assegna un ruolo fondamentale al Sindaco come responsabile comunale di Protezione Civile e allo stesso tempo definisce ruoli, competenze e responsabilità in caso di emergenza. Una delle possibilità previste dal decreto è che il Comune assegni alla Comunità Montana il compito di predisporre, per ogni comune afferente al mandamento, il Piano di Protezione Civile Comunale in grado di gestire l’intera sequenza di azioni, organizzazioni, e integrazioni necessarie alla gestione dell’emergenza. Nell’area di studio, i dodici comuni hanno assegnato alla Comunità Montana tale compito; il risultato è dunque una gestione sovracomunale dell’organizzazione della Protezione Civile, dato dall’integrazione dei dati estratti dai singoli Comuni.

Tale situazione è molto diffusa in quelle Comunità Montane di alta montagna dove i comuni sono piccoli e con scarse risorse e strutture. Risulta molto conveniente a questo punto creare un consorzio con a capo la Comunità Montana e delegare alla stessa l’allestimento dei Piani di Protezione Civile Comunali e condividere tutte le risorse disponibili. Ciò è esattamente quello che è stato effettuato presso la Comunità Montana Valtellina di Tirano.

11.2.2 Definizione del modello di intervento

Un ruolo fondamentale nella pianificazione e gestione dell'emergenza è la capacità di definire una sequenza di azioni (*flowchart* procedurali) da mettere in pratica in caso di accadimento di un evento calamitoso. Per questo obiettivo è stato preparato un flusso di azioni (*Decision Support System*) attraverso l'utilizzo di una serie di *tools* che consentono la costruzione grafica di diagrammi di flusso (*flowchart*) (Fig. 11.7). Le entità geometriche che costituiscono il diagramma vengono definite "passi"; questi sono collegati tra loro mediante frecce indicanti la sequenza/flusso di attività richieste in una determinata istanza operativa. I passi sono interrogabili e al loro interno è possibile collegare sia i dati presenti nel database di supporto (soggetti, strutture, risorse, cancelli, ecc.) sia inserire istruzioni di esecuzione, allegati o leggi richiamate a diversi livelli.

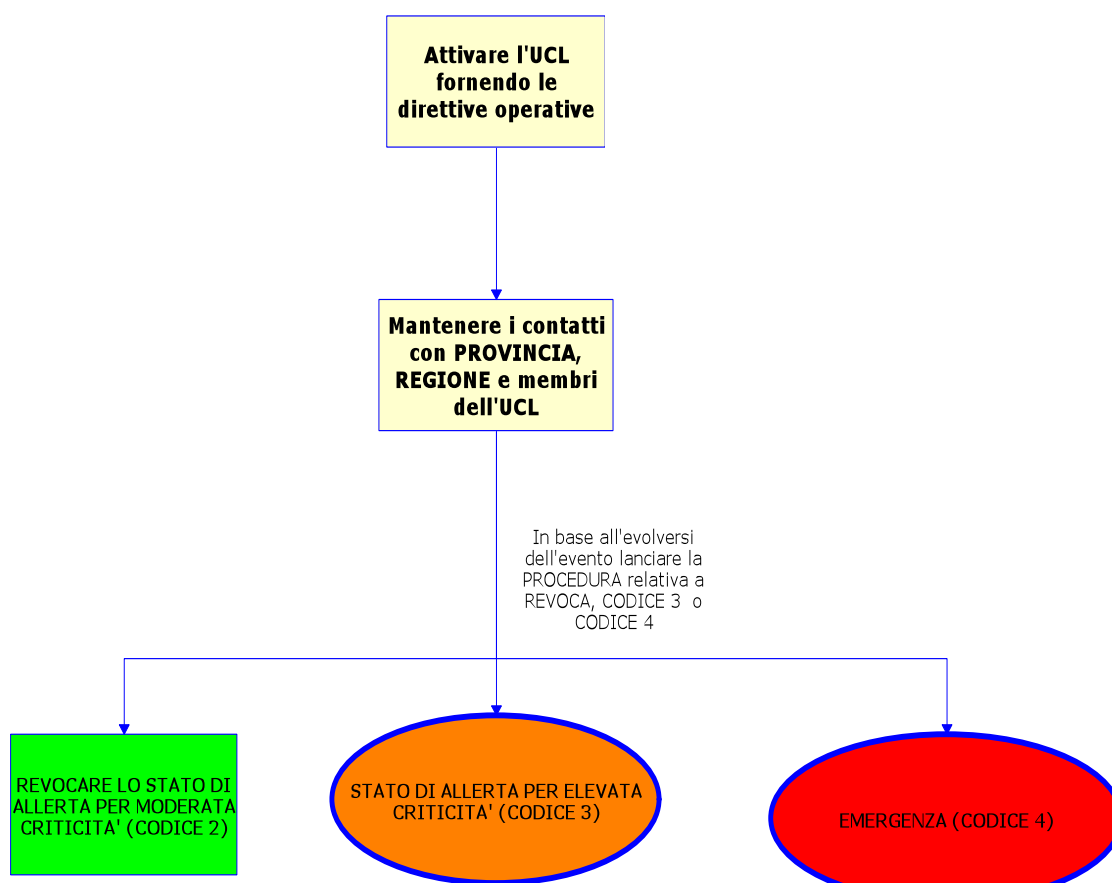


Fig. 11.7 – Esempio di *workflow* procedurale.

Ciò consente il monitoraggio in tempo reale di attività, procedure e flussi di informazioni, in modo da supportare con maggiore efficienza sia la pianificazione che la gestione in tempo reale dell'emergenza.

L'utilità di una sequenza di blocchi è quella di definire scelte organizzative, sequenze di comportamenti e azioni ed entità coinvolte in ciascuna fase. Per la costruzione di *flowchart* relativi alla gestione delle emergenze idrogeologiche sono stati analizzati i seguenti punti:

1. recepimento della normativa in materia di Protezione Civile e rischio idrogeologico: leggi Nazionali e Regionali. Per quanto riguarda la normativa nazionale sono state consultate diverse leggi tra cui: la legge n. 225 del 24 febbraio 1992, la legge n. 401 del 9 novembre 2001 e la legge n.152 del 26 luglio 2005. La metodologia proposta deve necessariamente essere trasferita a realtà locali; per l'applicabilità a scala di dettaglio (livello comunale o di Comunità Montana), sono state considerate quindi leggi specifiche e direttive regionali tecniche tra cui: la D.G.R. 8/1566 del 22 dicembre 2005, la D.G.R. 7/21205 del 24 marzo 2005, la D.G.R. 7/4732 del 16 maggio 2007 e la recente direttiva di allertamento "Determinazione in merito alla gestione organizzativa e funzionale del sistema di allerta per i rischi naturali ai fini di Protezione Civile" (D.G.R. 22 dicembre 2008 n. 8/8753). L'applicazione dell'intera metodologia su un altro caso regionale richiederà ovviamente uno studio dettagliato della normativa in vigore nella realtà territoriale in fase di studio. Per semplificare la consultazione in fase di analisi (Nazionale e Regionale) è stato creato un sito web per la consultazione immediata di ogni legge disponibile: http://geoserver.disat.unimib.it/Normativa_PC/;
2. costruzione dei blocchi sequenziali dei *flowchart* rispettando le leggi in vigore e organizzazione pratica dei dati disponibili come ad esempio i soggetti responsabili delle unità tecniche quali ROC (Referente Operativo Comunale) e COC (Centro Operativo Comunale), nome del personale comunale, materiali e mezzi in dotazione al comune o a enti di volontariato di Protezione Civile, strutture, ecc., che devono essere inseriti in tali blocchi.

Il *workflow* proposto è stato associato ad ogni scenario di rischio individuato sul territorio così da garantire alla struttura comunale di Protezione Civile, un modello di intervento, ossia una serie di passaggi operativi necessari alla gestione ed al successivo superamento delle fasi di emergenza, conseguenti all'accadimento di un evento calamitoso e tarati sull'Unità di Crisi Locale (UCL).

Nel lavoro eseguito sono state elaborate tre procedure di intervento realizzate in base al quadro normativo vigente, considerando le fasi di allertamento contenute nella D.G.R. 22 dicembre 2008 n. 8/8753 (paragrafo successivo). Le fasi di allertamento sono associate a diversi livelli di criticità che stabiliscono l'entità del fenomeno calamitoso. I livelli di criticità stabiliti secondo la normativa della Regione Lombardia sono i seguenti:

- **criticità ASSENTE:** non sono previsti fenomeni naturali (forzanti esterne) responsabili dell'attivazione del rischio considerato;
- **criticità ORDINARIA:** sono previsti fenomeni naturali, che si ritiene possano dare luogo a criticità, che si considerano comunemente ed usualmente accettabili dalla popolazione (livello di criticità riconducibile a eventi governabili dalle strutture locali competenti mediante l'adozione di misure previste nei piani di emergenza e il rinforzo dell'operatività con l'attivazione della pronta reperibilità);
- **criticità MODERATA:** sono previsti fenomeni naturali che non raggiungono valori estremi e che si ritiene possano dare luogo a danni ed a rischi moderati per la popolazione, tali da interessare complessivamente una importante porzione del territorio considerato;
- **criticità ELEVATA:** sono previsti fenomeni naturali suscettibili di raggiungere valori estremi e che si ritiene possano dare luogo a danni e rischi anche gravi per la popolazione, tali da interessare complessivamente una consistente quota del territorio considerato.

In tempo di pace (criticità assente) il comune predispone degli studi volti a individuare nuovi scenari di rischio o modificare (in termini spaziali e/o informativi) quelli esistenti. E' in questo momento che si svolge l'attività di pianificazione dell'emergenza, descrivendo i rischi presenti nel territorio, attività, risorse e strutture ad essi collegate.

La normativa sottolinea anche che, in condizioni di normalità, ossia quando non si verifica e non è previsto alcun evento di particolare rilevanza, possono verificarsi fenomeni che non sono prevedibili oppure fenomeni che possono dare luogo a danni localizzati e temporanei, ovvero a situazioni di disagio a scala locale, considerati normalmente tollerabili dalla popolazione. Il personale e i mezzi a disposizione del Comune possono gestire eventuali problematiche senza ricorrere ad interventi specialistici. In questa precisa fase devono essere svolte le seguenti azioni:

- individuazione dei membri dell'UCL (nominativi e recapiti)
- individuazione dei compiti dell'UCL (ruoli e responsabilità)

- individuazione del ROC (se necessario)

Diversamente, le condizioni di normalità vengono interrotte nel momento in cui si prevede l'accadimento di fenomeni naturali idrogeologici che possono causare danni sul territorio. In Regione Lombardia, l'attivazione dell'allerta regionale di protezione civile è impostata su diversi livelli di criticità, che assumono crescente priorità e importanza, in relazione al grado di coinvolgimento dei seguenti ambiti:

- ambiente;
- attività;
- insediamenti e beni mobili ed immobili;
- infrastrutture ed impianti per trasporti, i servizi pubblici e i servizi sanitari;
- salute e preservazione delle specie viventi in generale e degli esseri umani in particolare.

Il territorio regionale è suddiviso in zone omogenee di allerta, che sono ambiti territoriali sostanzialmente uniformi riguardo gli effetti al suolo, cioè i rischi, che si considerano. La distinzione in zone deriva dall'esigenza di attivare risposte omogenee e adeguate per fronteggiare i rischi per la popolazione, per il contesto sociale e per l'ambiente naturale. Per quanto riguarda il rischio idrogeologico, il principale fenomeno naturale responsabile dell'accadimento di un evento calamitoso sono le precipitazioni, che assieme ad altri fattori, quali la quota dello zero termico, la velocità del vento, ecc., possono incidere in modo importante sulla gravità del rischio che si genera. I criteri considerati per definire le aree omogenee sono di natura meteorologica, orografica, idrografica e amministrativa. Il criterio prioritario d'omogeneità è rappresentato dalla valutazione del regime delle precipitazioni sulle quali incide in modo rilevante l'orografia del territorio. I confini amministrativi permettono infine di rendere le fasi di allerta e di prima risposta all'insorgenza di rischi più semplici e veloci. Sulla base dei criteri sopra definiti, si sono identificate le zone omogenee. Per il rischio idrogeologico, la Comunità Montana Valtellina di Tirano ricade nelle Aree Omogenee **A** (Alta Valtellina) e **B** (Media-Bassa Valtellina) (Fig. 11.8).

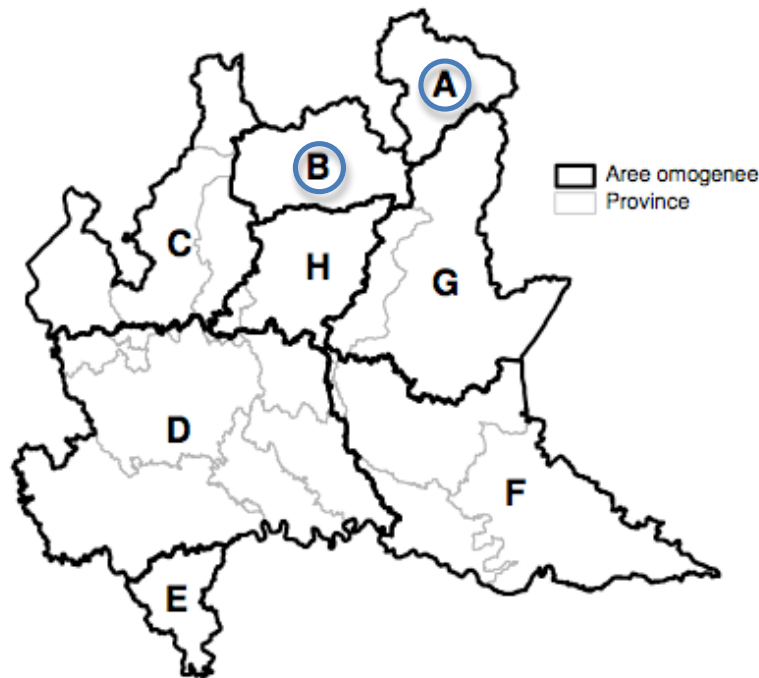


Fig. 11.8 – Aree omogenee per il rischio idrogeologico. La zona A comprende l’alta Valtellina a partire dal comune di Tirano verso monte mentre la zona B comprende la media – bassa Valtellina dal comune di Tirano fino al lago di Como.

La Direttiva Regionale per la Pianificazione di Emergenza degli Enti Locali distingue, in linea di massima, i fenomeni che possono generare emergenze in tre grandi famiglie: quelli noti e quantificabili, quelli non quantificabili o di rapido impatto, quelli non prevedibili o le emergenze generiche. Questa distinzione risulta di fondamentale importanza avendo ripercussioni a livello di definizione degli scenari di rischio e dei modelli di intervento ad essi associati. Infatti, per quanto riguarda il rischio idrogeologico, gli scenari di rischio dovranno prevedere una correlazione con i dati forniti in tempo reale dalle reti di monitoraggio idro-pluviometrico, al fine di associare ad ogni zona omogenea sopra definita delle soglie di allerta alle quali associare a loro volta dei codici di attivazione del modello d’intervento.

Le soglie di allerta sono dei valori da collegare ad alcuni parametri, che diano indicazioni sulla gravità del fenomeno che sta approssimandosi con un certo anticipo. Questo anticipo serve al sistema di Protezione Civile per adottare le idonee misure di prevenzione indicate nei piani di emergenza locali, qualora si renda necessario. I valori devono essere definiti con molta cautela perché devono tener conto, da un lato,

dell'incertezza dei dati di previsione che si stanno utilizzando, dall'altro, della confidenza della modellistica.

Diversi studi hanno analizzato la correlazione esistente fra precipitazioni ed innesco di dissesti di tipo superficiale, che comprendono *soil slip*, colate detritiche, colate fangose, *debris flow* e *debris torrent*. I risultati elaborati dal Servizio Geologico della Regione Lombardia, ed in particolare le equazioni sperimentali elaborate da Ceriani (M. Ceriani, 1991) per il territorio alpino e prealpino, consentono l'individuazione di soglie limite (Fig. 11.9), basate su intensità di precipitazione e durata della stessa, correlata alla pioggia media annua dell'area in esame, senza considerare i dati geotecnici dei materiali coinvolti. Per quanto riguarda l'area di studio, le soglie per il rischio idrogeologico idraulico sono le seguenti:

Aree			Area A	Aree			Area B
PMA	min	(mm)*	350	PMA	min	(mm)*	750
PMA	max	(mm)	1250	PMA	max	(mm)	1950
S0	min	(mm/12h)	30,0	S0	min	(mm/12h)	35,0
S0	min	(mm/24h)	40,0	S0	min	(mm/24h)	50,0
S1	min	(mm/12h)	35,0	S1	min	(mm/12h)	45,0
S1	min	(mm/24h)	50,0	S1	min	(mm/24h)	65,0
S1	min	(mm/48h)	65,0	S1	min	(mm/48h)	85,0
S2	min	(mm/12h)	60,0	S2	min	(mm/12h)	70,0
S2	min	(mm/24h)	80,0	S2	min	(mm/24h)	90,0
S2	min	(mm/48h)	130,0	S2	min	(mm/48h)	145,0

Fig. 11.9 – Soglie di allerta, estratte dalla D.G.R. 22 dicembre 2008 N. 8/8753, per le aree omogenee A e B. **S0** = soglia da normalità a criticità ordinaria; **S1** = soglia di innesco = 1° allerta, passaggio da criticità ordinaria a moderata; **S2** = soglia di innesco = 2° allerta, passaggio da criticità moderata a elevata.

Queste soglie sono pertanto utilizzate anche nel BOLLETTINO DI VIGILANZA e nell'AVVISO DI CRITICITÀ, per allertare il sistema regionale di Protezione Civile quando si deve affrontare un evento potenzialmente critico. Anche per le soglie di allerta si considerano tre livelli, analoghi ai livelli di criticità: ordinaria, moderata ed elevata. L'avviso di criticità, diramato ai sindaci dei comuni interessati, conterrà un codice di allerta al quale è associato un preciso livello di criticità (Tabella 10.1):

LIVELLO DI CRITICITÀ	CODICE DI ALLERTA
Assente	0
Ordinaria	1
Moderata	2
Elevata	3
Emergenza	4

Tab. 10.1 – Livelli di criticità e codici di allerta.

I Sindaci dei comuni, essendo primi responsabili della risposta comunale dell'emergenza, devono assicurare la ricezione e la lettura H24 dell'avviso di criticità. In funzione del codice comunicato, il Sindaco predispone le attività da svolgere: dal semplice controllo sul territorio per accertare il tipo di pericolo (codice 2, moderata criticità) fino ad attivare i soccorsi alla popolazione in caso di accadimento di un evento (codice 4, emergenza).

11.3 Procedure di intervento

Sulla base di quanto detto precedentemente sono state elaborate, attraverso il modulo DSS dell'applicativo utilizzato in questa fase di analisi, tre procedure di intervento relative al rischio idrogeologico e tarate sulla gravità del fenomeno che può colpire una determinata area:

1. Procedura rischio idrogeologico MODERATA CRITICITÀ (codice 2);
2. Procedura rischio idrogeologico ELEVATA CRITICITÀ (codice 3);
3. Procedura rischio idrogeologico EMERGENZA (codice 4).

Le procedure sono collegate agli scenari di rischio e alla banca dati di supporto; in questo modo è possibile accedere alle informazioni necessarie al superamento di ciascuno dei livelli di criticità. Gli schemi procedurali vengono gestiti in forma di diagrammi di flusso, nei quali ciascun blocco rappresenta un passo da eseguire: all'interno di ciascuno di essi vengono elencati in dettaglio le figure coinvolte, alle quali sono assegnati ruoli e

competenze ben precise, con l'obiettivo di evitare sovrapposizioni di azioni e ottimizzare l'utilizzo delle risorse umane e materiali disponibili.

Le procedure vengono attivate in seguito alla ricezione dell'avviso di criticità altrimenti attraverso la segnalazione da parte dei cittadini. Poiché gli eventi idrogeologici non necessariamente si sviluppano seguendo le fasi crescenti di criticità stabilite in funzione delle soglie pluviometriche, le procedure sono state pensate in modo tale da poter essere attivate saltando la sequenza stabilita; così facendo è possibile, ad esempio, passare dalla procedura richiesta per la fase di criticità (codice 2) all'attivazione immediata di quella calibrata per l'emergenza (codice 4).

Il sistema registra in un log file, la sequenza temporale della procedura attivata, scrivendo data, ora e nominativo della persona che ha lanciato l'avvio. In questo modo è possibile sapere chi ha utilizzato il sistema così da attribuire una responsabilità.

11.3.1 Procedura rischio idrogeologico MODERATA CRITICITÀ (codice 2)

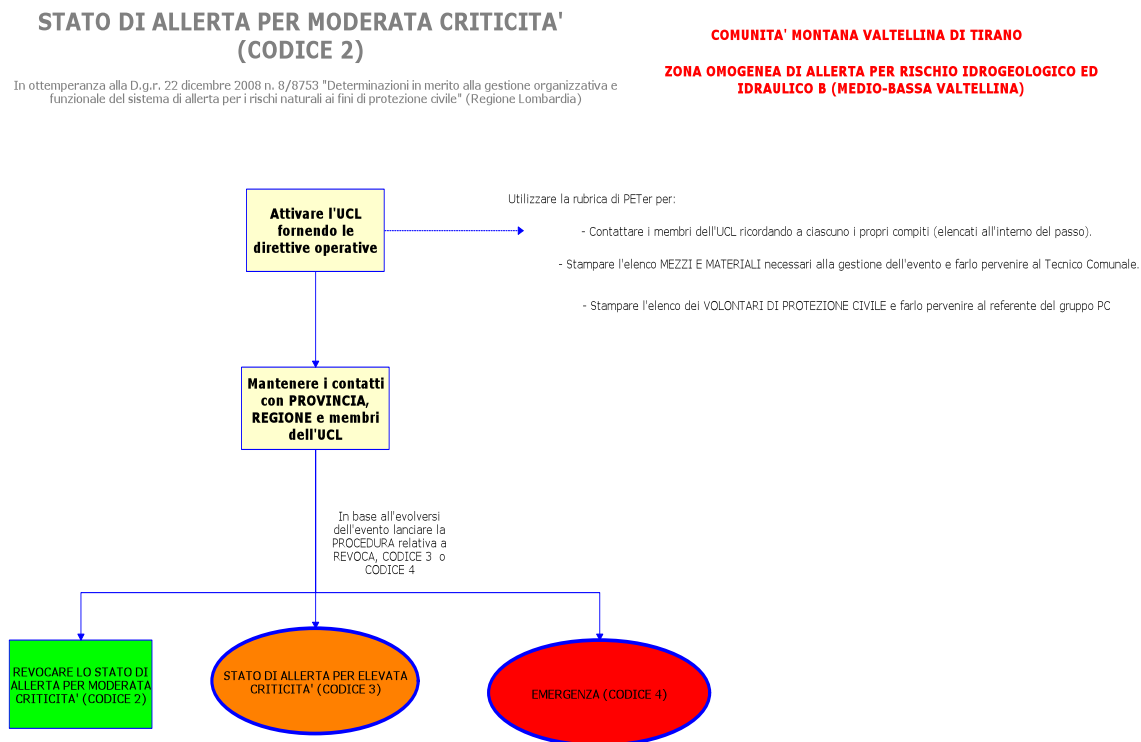


Fig. 11.10 – *Workflow* elaborato per la procedura di rischio idrogeologico moderata criticità (codice 2).

La procedura rischio idrogeologico MODERATA CRITICITÀ (codice 2) (Fig 11.10) è composta da 3 blocchi (passi procedurali) operativi e due blocchi utilizzati per passare alle altre procedure. I passi operativi sono:

1. Attivare l'UCL fornendo le direttive operative;
2. Mantenere i contatti con Provincia, Regione e membri dell'UCL;
3. Revocare lo stato di allerta per moderata criticità.

All'interno di questi vi sono i collegamenti con la banca dati. Ad esempio, attraverso il primo passo è possibile accedere all'elenco delle persone che costituiscono l'UCL e ai compiti che ogni membro deve eseguire in questa fase di criticità (Fig. 11.11 e 11.12). In funzione di come si evolve la situazione, la procedura permette sia di revocare lo stato di moderata criticità, se non si prevede il peggioramento della situazione più fenomeni naturali (forzanti esterne responsabili dell'attivazione del rischio considerato), sia di passare a uno stato a maggior livello di criticità, attivando la procedura del codice 3 o passando direttamente, se l'evento calamitoso si è manifestato, a quella di emergenza (codice 4).

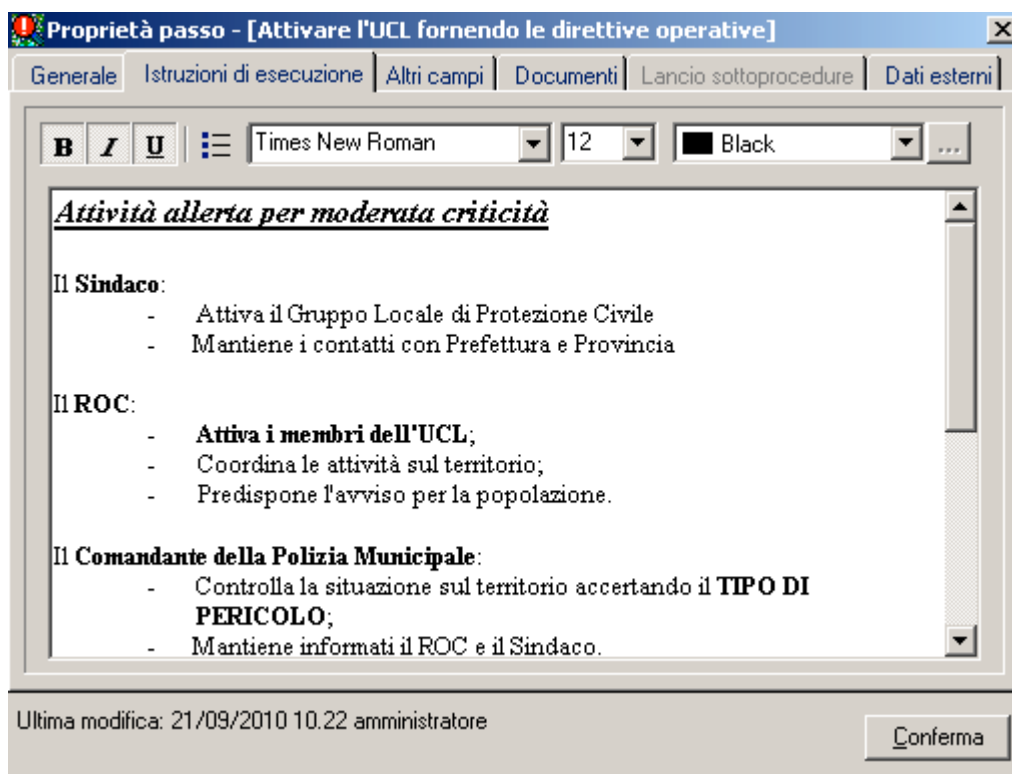


Fig. 11.11 – Compiti da eseguire contenuti nel primo passo della procedura.

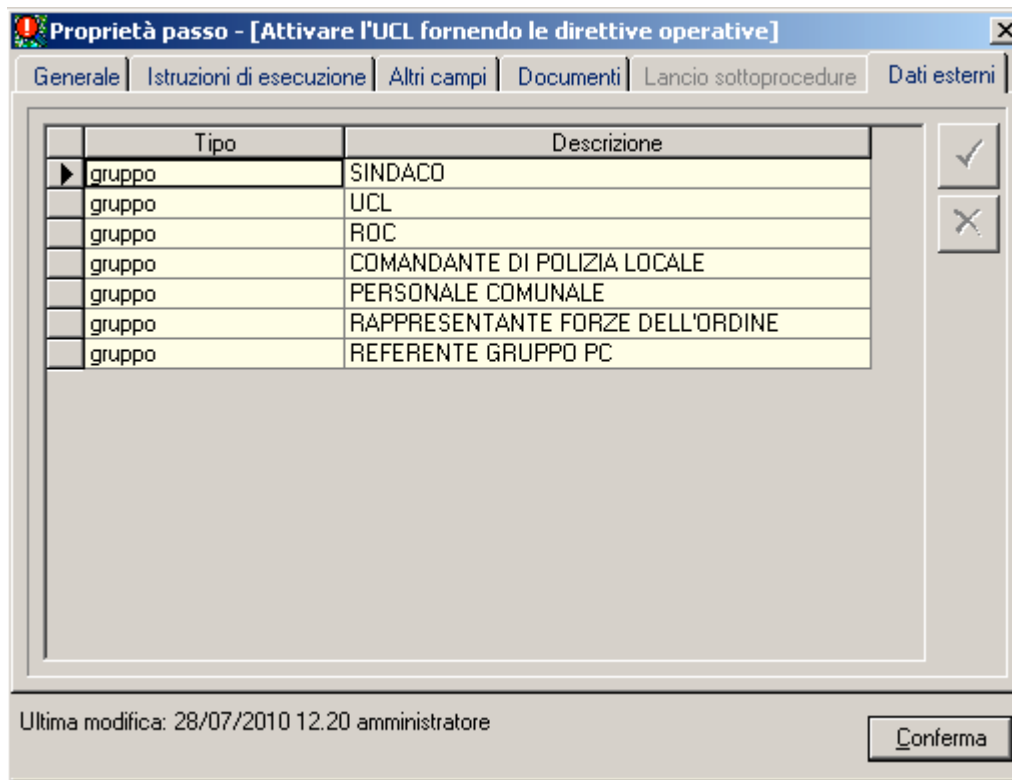


Fig. 11.12 – Accesso direttamente dalla procedura alle informazioni sui diversi gruppi presenti in rubrica.

11.3.2 Procedura rischio idrogeologico ELEVATA CRITICITÀ (codice 3)

STATO DI ALLERTA PER ELEVATA CRITICITA' (CODICE 3)

In ottemperanza alla D.g.r. 22 dicembre 2008 n. 8/8753 "Determinazioni in merito alla gestione organizzativa e funzionale del sistema di allerta per i rischi naturali ai fini di protezione civile" (Regione Lombardia)

COMUNITA' MONTANA VALTELLINA DI TIRANO

ZONA OMOGENEA DI ALLERTA PER RISCHIO IDROGEOLOGICO ED IDRAULICO B (MEDIO - BASSA VALTELLINA)

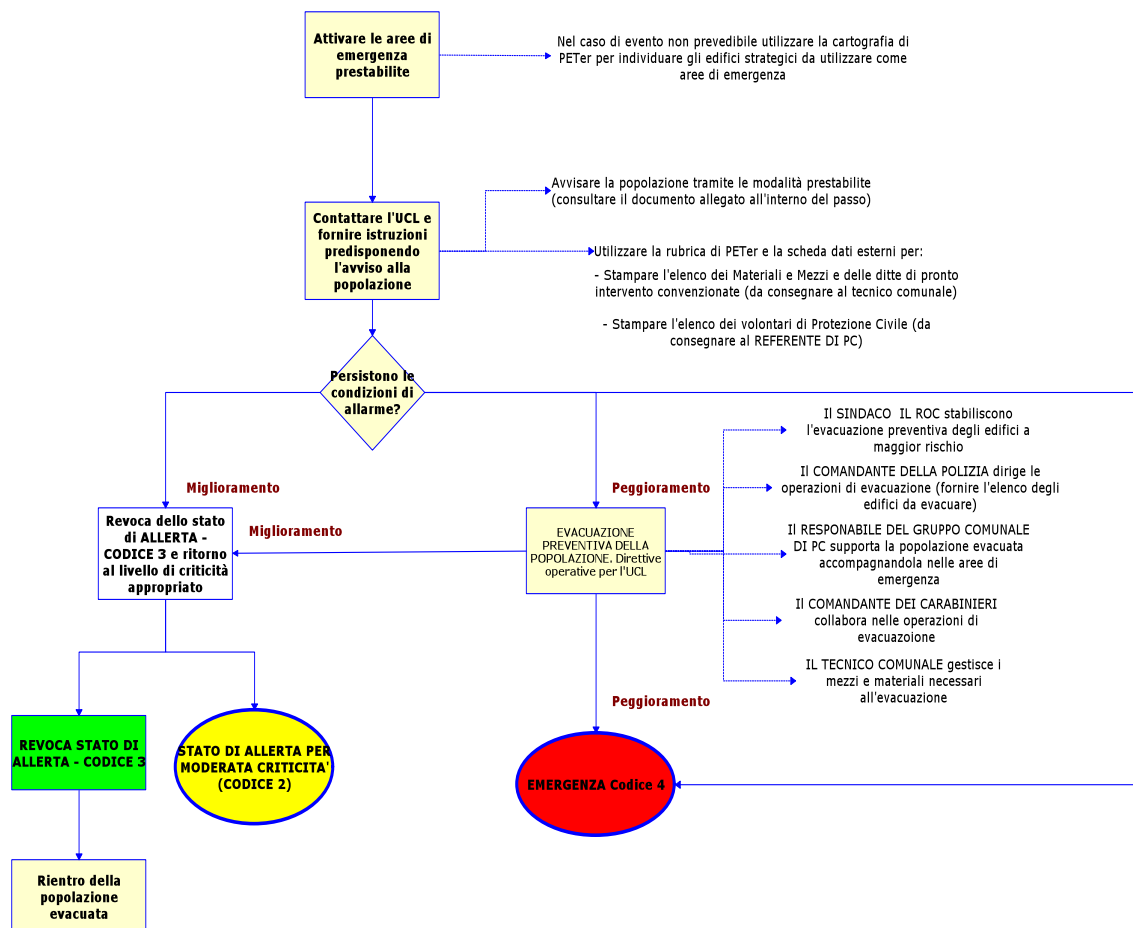


Fig. 11.13 – Workflow elaborato per la procedura di rischio idrogeologico elevata criticità (codice 2).

La procedura rischio idrogeologico ELEVATA CRITICITÀ (codice 3) (Fig. 11.13) rappresenta il modello d'intervento calibrato su un peggioramento evidente delle condizioni meteorologiche in cui ci si aspetta l'accadimento di un evento calamitoso. In questa fase critica la procedura è stata studiata per supportare le operazioni di uno degli aspetti più delicati della gestione dell'emergenza ossia l'eventualità di dover disporre dell'evacuazione preventiva della popolazione. All'interno dei passi operativi si troveranno i collegamenti con la banca dati georeferenziata per identificare, nel minor tempo possibile, le informazioni essenziali le aree da utilizzare, in particolare:

- il numero e la composizione della popolazione esposta al rischio (anziani, bambini, disabili);

- la presenza di edifici particolarmente sensibili quali ospedali, scuole, fabbriche, centri commerciali, ecc.;
- la disposizione sul territorio delle aree di attesa (piazze, slarghi della viabilità, parcheggi, cortili e spazi pubblici e privati, ecc.) in corrispondenza delle quali la popolazione potrà sostare in attesa di essere raccolta dai mezzi pubblici (generalmente si calcola una superficie minima di 1 m² a persona);
- la presenza di percorsi per raggiungere le aree di attesa o per allontanarsi autonomamente dall'area esposta al rischio;
- la disposizione sul territorio delle strutture di accoglienza da attivare (alberghi, residence, campeggi, palestre, scuole, oratori, capannoni, centri sportivi, ecc.), utilizzando anche il volontariato di Protezione Civile per l'attività di assistenza alla popolazione (generalmente si calcola una superficie minima di 5 m² a persona); e le aree di ammassamento.

Se la situazione migliora, è possibile revocare lo stato di elevata criticità e predisporre il rientro della popolazione evacuata altrimenti passare a quello di moderata criticità (Fig. 11.14). Se invece le condizioni di allarme persistono e l'evento calamitoso si verifica, è possibile, attraverso il passo dedicato, passare allo stato di emergenza (codice 4).

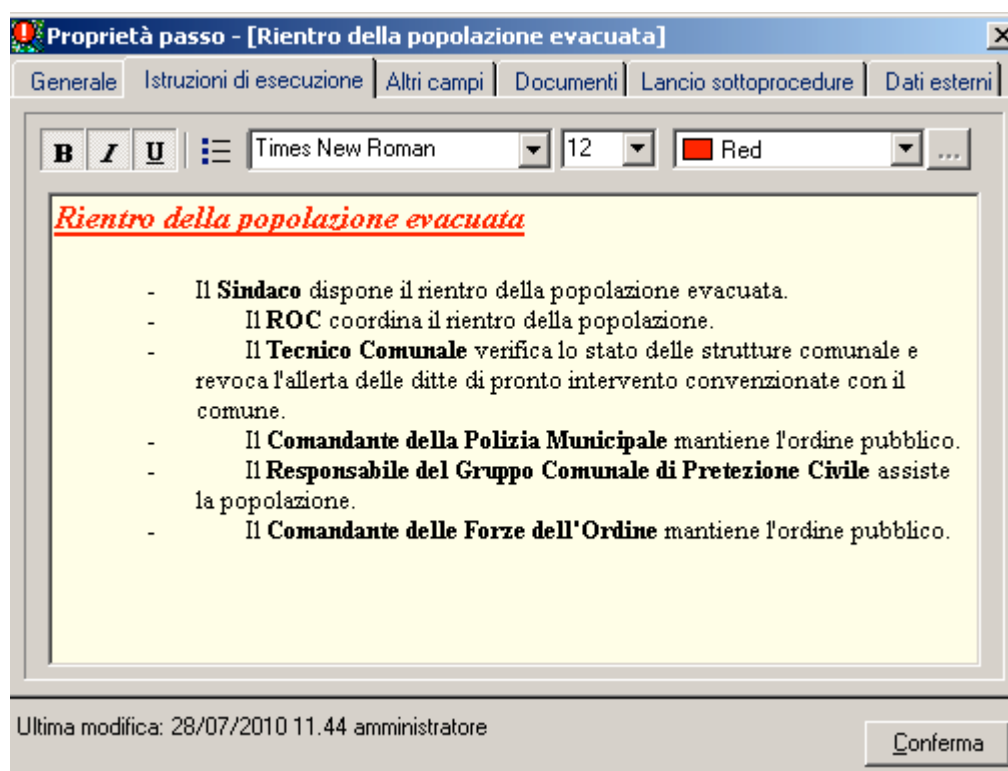


Fig. 11.14 – Istruzioni relative al passo: “rientro della popolazione evacuata”.

11.3.3 Procedura rischio idrogeologico EMERGENZA (codice 4)

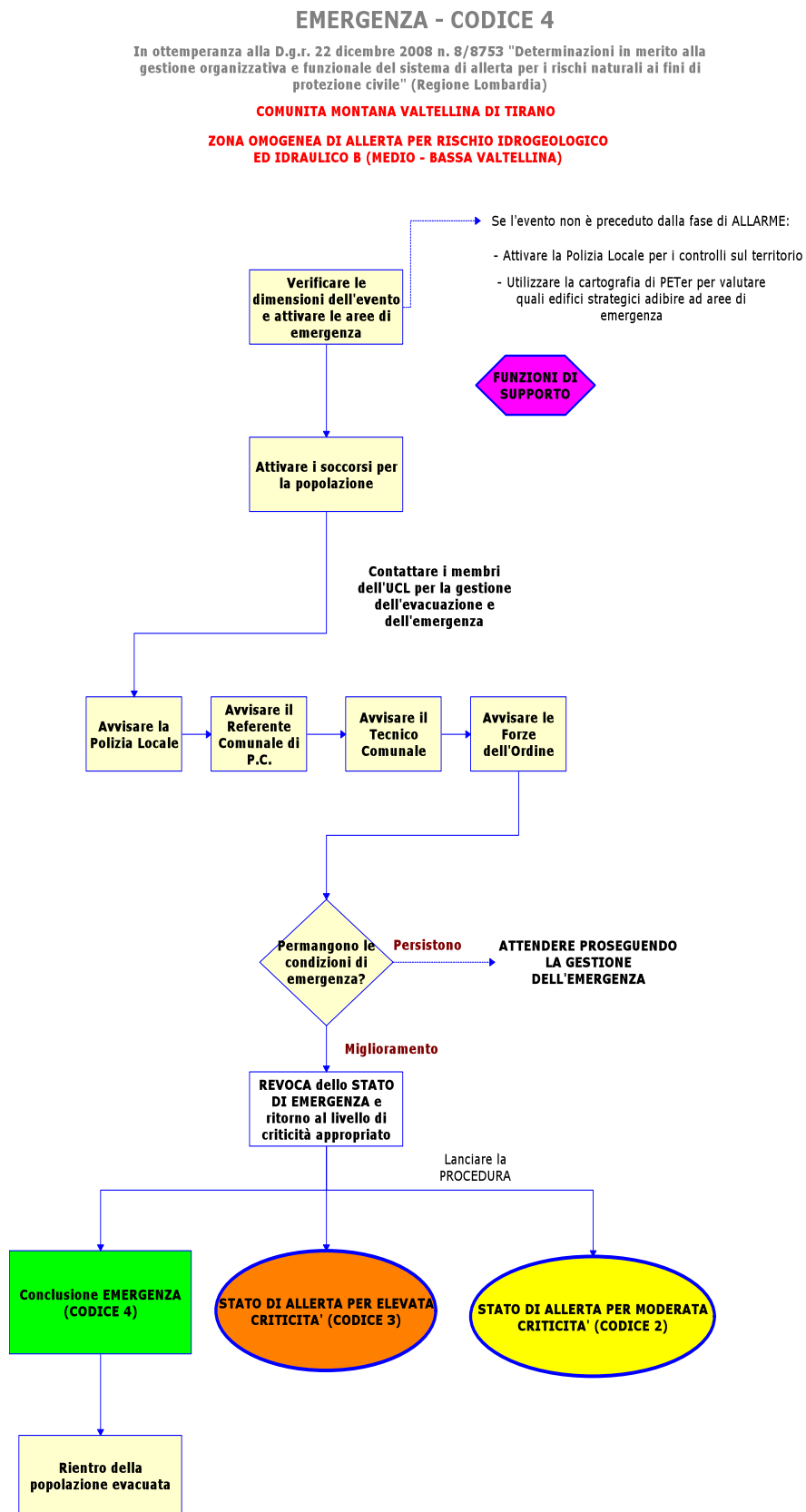


Fig. 11.15 – Workflow elaborato per la procedura di rischio idrogeologico emergenza (codice 4).

Quest'ultima procedura rappresenta il modello di intervento più delicato (Fig. 11.15). In questa fase di emergenza, in cui l'evento calamitoso si è manifestato, si attivano i soccorsi alla popolazione cercando di intervenire nel più breve tempo possibile per minimizzare i danni. Il primo passo prevede la verifica delle dimensioni dell'evento e l'attivazione delle aree di emergenza. Se l'evento si è verificato in uno degli scenari di rischio previsti ci si avvale della struttura di pianificazione elaborata in tempo di pace; diversamente, se l'evento si verifica in una zona non considerata dallo scenario di rischio, è possibile modificare la geometria dello scenario o inserire uno completamente nuovo. Una volta ridefinito spazialmente l'evento è possibile calibrare i soccorsi in funzione della zona impattata. La procedura prevede, inoltre, che in ogni comune, in caso di emergenza, sia costituito il Centro Operativo Comunale (COC), fondato su 9 funzioni di supporto (Metodo Augustus), che rappresentano le principali attività che il comune deve garantire alla cittadinanza, sia nella gestione della crisi, che per il superamento dell'emergenza:

1. Tecnici Scientifici - Pianificazione
2. Sanità, Assistenza Sociale
3. Volontariato
4. Materiali e mezzi
5. Servizi essenziali e attività scolastica
6. Censimento danni, persone e cose
7. Strutture operative locali
8. Telecomunicazioni
9. Assistenza alla popolazione.

Il presupposto su cui si fonda il COC è la possibilità di attivazione delle 9 funzioni in ogni momento (H24). L'esperienza derivante da emergenze, solitamente improvvise ed a rapida evoluzione, dimostra che, sempre più frequentemente, le strutture operative incaricate dei soccorsi (Vigili del Fuoco, S.S.U.Em.-118, Forze dell'Ordine, ARPA, ASL, Polizia Locale, Provincia, ecc.) operano secondo uno schema basato su un centro di comando in sito, non rappresentato da una struttura fissa, ma spesso identificato da un mezzo mobile, o da postazioni improvvisate. Il sito prescelto può variare a fronte dell'evoluzione dell'emergenza in atto e delle indicazioni provenienti dal monitoraggio ambientale. Questa struttura di gestione dell'emergenza viene comunemente denominata "Posto di Comando

Avanzato - PCA” o “Posto di Comando Mobile - PCM”. Le principali attività svolte dal P.C.A. consistono nel:

- verificare l’attivazione delle strutture di soccorso necessarie alla gestione dell’emergenza;
- individuare le migliori strategie di intervento per il superamento dell’emergenza;
- monitorare la situazione in atto ed ipotizzarne la possibile evoluzione;
- individuare le azioni da intraprendere per la salvaguardia della popolazione;
- proporre l’allertamento e l’eventuale evacuazione della popolazione a rischio;
- aggiornare costantemente le Autorità di protezione civile (Sindaco, Presidente della Provincia e Prefetto) direttamente o tramite le proprie sale operative.

La procedura deve inevitabilmente tener conto dell’esistenza del Posto di Comando Avanzato, prevedendone un collegamento con l’Unità di Crisi Locale, eventualmente attivata. La situazione ottimale potrebbe essere rappresentata dalla presenza sul luogo dell’incidente di un “ufficiale di collegamento” (solitamente un agente della Polizia Locale), che mantenga i contatti tra il PCA e l’UCL, che avrà come principale obiettivo la popolazione e il territorio non colpiti direttamente dagli eventi. Infine, la L. 225/1992 assegna al Sindaco il compito di assistere la popolazione colpita nel ritorno alla normalità, gestendo le attività di post-emergenza inerenti l’accertamento dei danni subiti a persone, beni immobili e beni mobili di proprietà privata o appartenenti ad attività produttive.

11.4 Considerazioni

L’applicazione di strumenti GIS integrati con un sistema di supporto alle decisioni è risultata estremamente valida nella gestione delle emergenze. La possibilità di interazione tra GIS e moduli per i processi decisionali permette una rapida consultazione della banca dati georeferenziata e contemporaneamente una visualizzazione dei soggetti e delle istruzioni di esecuzione da mettere in pratica in fase di emergenza e non solo.

Punto cruciale del modello di intervento proposto è il dettaglio attraverso il quale viene costruito il database di supporto. Tanto più si è particolareggiata la conoscenza di strutture, risorse, materiali, mezzi, soggetti impiegati e tutti gli attributi che li descrivono, tanto più si riducono i tempi di intervento dei soccorsi e tanto più si riducono le conseguenze sulla comunità.

12

CONCLUSIONI

Il presente lavoro di ricerca è consistito nell'applicazione e nel successivo confronto di due metodologie di analisi volte all'individuazione, per scopi di Protezione Civile, di scenari di "rischio" idrogeologico nel territorio di competenza della Comunità Montana Valtellina di Tirano. La metodologia istituzionale ha visto l'impiego del Piano di Governo del Territorio (P.G.T.) per l'identificazione di aree a rischio idrogeologico ed idraulico sull'area di studio. Il PGT è infatti riconosciuto, dalle leggi attualmente vigenti in Regione Lombardia, come lo strumento normativo principale utilizzato a livello comunale per l'identificazione di tali aree. Accanto a questa metodologia istituzionale, è stata qui proposta una metodologia alternativa, che fosse speditiva e allo stesso tempo efficace, al fine di individuare a media scala le aree a "rischio" idrogeologico, fattore imprescindibile per una corretta gestione delle emergenze. Questo è stato reso possibile dall'utilizzo di metodi statistico-probabilistici (*Weights of Evidence* e Flow-R).

La prima fase di studio ha riguardato l'elaborazione di una carta di "rischio" seguendo le linee guida istituzionali. La gestione e l'analisi di dati spaziali per mezzo di strumenti GIS hanno permesso di identificare le diverse tipologie di fenomeni franosi e alluvionali all'interno dell'area di studio, nonché gli elementi vulnerabili allocati sul territorio. L'analisi di "pericolosità", effettuata utilizzando le carte di fattibilità redatte in scala 1:2.000, ha consentito di ottenere un buon dettaglio per l'identificazione di fenomeni idrogeologici, soprattutto quelli che insistono sul fondovalle. Tuttavia, una criticità evidenziata in questo passaggio è relazionata alla forte componente soggettiva delle carte di fattibilità, elaborate da diversi esperti. Poiché l'analisi di "pericolosità" è stata svolta per ogni comune afferente al mandamento e seguendo le linee guida istituzionali, il risultato ottenuto dall'unione delle singole carte ha portato all'allestimento di una carta finale in cui, in alcune porzioni di territorio ai bordi dei limiti amministrativi, il dato ottenuto risultava poco omogeneo, passando bruscamente da una classe di bassa pericolosità ad una alta.

Per contro, l'analisi di suscettibilità a media scala attraverso l'impiego del modello statistico-probabilistico *Weights of Evidence*, è stata svolta utilizzando dati riferiti all'intera area di studio, quindi omogenei dal punto di vista dei contenuti poiché privi di confini

comunali. Il modello, utilizzato per identificare le possibili aree di innesco di *debris flow*, risulta essere più oggettivo da un punto di vista dei risultati ottenuti, in quanto la relazione tra la presenza e assenza dei *training points* e ogni classe di ciascuna variabile considerata favorevole all'innesco del fenomeno è stimata statisticamente. I valori evidenziati dalla curva di successo finale (SRC) mostrano come il modello sia in grado di classificare nel 21,15% dell'area totale, più dell'85% dei *debris flow*. Inoltre, poiché una mappa che esprima una probabilità al dissesto di un territorio può diventare uno strumento utile per tutti quei soggetti che si occupano di politiche legate alla pianificazione del territorio e alla redazione dei piani di emergenza, i valori continui di suscettibilità sono stati raggruppati in cinque classi (molto bassa, bassa, media, alta e molto alta), ognuna delle quali esprime in modo più chiaro e leggibile il valore di suscettibilità. In questo modo, è stato prodotto un documento che agli occhi degli utilizzatori finali risulta essere molto più pratico e facile da consultare.

Per quanto concerne l'analisi a media scala condotta con Flow-R, questa è risultata valida da un punto di vista di modellazione delle direzioni di flusso e di accumulo di materiale dei *debris flow*. Tuttavia, l'identificazione delle aree sorgenti attraverso questo modello si è rilevata poco efficace, poiché l'utilizzo del DEM con la carta geologica e di uso del suolo restituisce delle mappe raster che sovrastimano le aree di innesco. Per questo motivo, per ottenere risultati più significativi e realistici, si è deciso di abbinare i due modelli: le aree sorgenti vengono prima individuate col metodo *Weights of Evidence* e in seguito inserite come dati di input in *Flow-R*.

Successivamente, la componente spaziale della pericolosità di *debris flow* (direzione dei flussi e deposito) è stata messa in relazione con la carta di distribuzione degli elementi vulnerabili, al fine di stimare il danno potenziale sugli edifici impattati da tali fenomeni. In questo modo, grazie al DB2000, è stato possibile definire che il 16% degli edifici del comune di Tirano è interessato da probabilità di flusso alte e molto alte (classi di H). Non avendo a disposizione dati sulla magnitudo degli eventi modellati, l'assunzione che le probabilità relative dei flussi dei *debris flow* siano identiche alle probabilità relative di impatto sugli elementi vulnerabili si è dimostrata una buona alternativa nella stima economica di un possibile danno agli edifici. Il metodo proposto ha restituito uno scenario di vulnerabilità sostanzialmente realistico, sfruttando la posizione spaziale dei singoli edifici rispetto alle diverse classi di pericolosità (H). Infatti, moltiplicando il valore di mercato di ogni zona OMI per la probabilità di impatto dei *debris flow* sugli edifici, è stato possibile calcolare il danno atteso. Il metodo utilizzato, anche se non perfettamente

rappresentativo di una situazione reale, permette di ottenere stime veloci in aree vaste, presupponendo che i danni maggiori agli edifici si manifestino lungo i canali di scorrimento principali dei *debris flow* piuttosto che nelle porzioni marginali di deposizione del materiale.

La sovrapposizione della carta di “vulnerabilità” istituzionale con quelle di “pericolosità”, ottenute dall’applicazione delle due differenti metodologie, ha permesso di ottenere due diverse carte che esprimono la distribuzione spaziale del “rischio” sul territorio. Dal confronto delle due carte si evince che quella istituzionale, pur considerando diverse tipologie di eventi franosi, manca totalmente di una componente previsionale, in quanto la pericolosità è riportata esclusivamente su eventi pregressi. Questo fattore viene invece valorizzato dalla metodologia utilizzata per allestire la seconda carta di rischio, che in aggiunta, risulta essere evento-specifica (*debris flow* nel presente studio). Se da una parte, un’analisi di questo tipo è più rigorosa perché tarata su una determinata tipologia di evento, dall’altra molte aree comunali soggette a diversi fenomeni idrogeologici non presi in considerazione rimangono non classificate. Sarebbe quindi auspicabile, al fine di elaborare una carta di “rischio” maggiormente dettagliata, effettuare studi analoghi per le diverse tipologie di eventi franosi insistenti sul territorio.

L’identificazione di aree caratterizzate da importanti livelli di “pericolosità” e contemporaneamente da elementi vulnerabili, ha infine permesso di ottenere degli scenari di rischio potenziale. Questi rappresentano uno degli aspetti fondamentali nella gestione delle emergenze, poiché ad essi si legano i modelli di intervento di Protezione Civile.

Nonostante la valutazione della “pericolosità” sia stata eseguita a media scala, la disponibilità di un database topografico in scala 1:2.000 (DB2000) ha permesso di individuare nel dettaglio non solo gli elementi vulnerabili che ricadono all’interno degli scenari di rischio considerati, ma anche di predisporre una banca dati di supporto alla gestione delle emergenze. I modelli di intervento sviluppati, legati a precisi scenari di rischio, risultano comunque essere indipendenti dalla scala alla quale è stata condotta l’analisi di pericolosità. In quest’ottica, anche se gli scenari di rischio venissero modificati in termine di estensione spaziale in seguito a studi più dettagliati sulla pericolosità, il modello di intervento sviluppato in precedenza risulta essere invariato, dimostrandosi quindi uno strumento estremamente versatile. In base a quanto detto in precedenza, appare evidente che uno degli aspetti più importanti nella gestione di eventi calamitosi risiede nell’organizzazione di una banca dati di supporto alla gestione delle emergenze e nella definizione delle procedure di intervento da legare agli scenari di rischio potenziali. È

quindi importante cercare di organizzare sul territorio un sistema integrato efficace, comprendente uomini, mezzi e strutture che interagiscano e cooperino secondo regole ben precise, responsabilità predefinite e procedure comuni di intervento. Passaggio fondamentale è quindi quello di relazionare la banca dati di supporto con le operazioni da svolgere nelle diverse fasi di gestione di un'emergenza. L'utilizzo di un sistema di supporto alle decisioni (DSS) permette di automatizzare, e quindi di velocizzare, la risposta delle strutture coinvolte in una situazione di emergenza, conducendo a una sensibile riduzione dei tempi di intervento da parte delle strutture e dei soggetti che devono attivarsi in caso di necessità, così come ad un aumento nell'efficienza di risposta in termini qualitativi. L'integrazione, all'interno di un applicativo GIS, di uno strumento DSS per la gestione dei processi decisionali (in termini di flussi di azioni) è in grado di migliorare l'efficienza in termini di immediatezza delle decisioni e di corretta priorità delle azioni. Infatti, questo permette una rapida consultazione della banca dati di supporto georeferenziata e contemporaneamente una visualizzazione dei soggetti coinvolti e delle istruzioni di esecuzione da mettere in pratica. Punto cruciale del modello di intervento è il dettaglio attraverso il quale viene costruito il database di supporto. Tanto più si conoscono in modo particolareggiato strutture, risorse, materiali, mezzi, soggetti impiegati e tutti gli attributi che li descrivono, tanto più si riducono i tempi di intervento dei soccorsi. Queste valutazioni risultano conseguentemente imprescindibili per una corretta gestione del territorio da parte delle istituzioni competenti, in termini di pianificazione territoriale, di previsione e prevenzione, nonché ai fini di una rapida e ottimale gestione dell'emergenza, sia durante la fase di pianificazione che di intervento in tempo reale.

13

BIBLIOGRAFIA

Agenzia del Territorio, (2011): Quotazioni immobiliari: Osservatorio mercato immobiliare. (OMI).

Agterberg, F.P., Bonham-Carter, G.F., Wright, D.F., (1989): *Weights of Evidence modelling: a new approach to mapping mineral potential*. In: Agterberg, F.P., Bonham-Carter, G.F. (Eds.), *Statistical Applications in the Earth Sciences*. Geological Survey of Canada, Paper 89-9: 171-183.

Alexander D., (2000): *Confronting Catastrophe: New Perspectives on Natural Disasters*. Terra Publishing, Harpenden, England.

Bonham-Carter, G.F., Agterberg, F.P., Wright, D.F., (1988): *Integration of geological datasets for gold exploration in Nova Scotia*. *Photogrammetric Engineering* 54: 1585-1592.

Bonham-Carter, G.F., (1994): *Tools for map pairs*. In: Merriam, D.F. (Ed.): *Geographic Information Systems for Geoscientists*, Pergamon Press, Oxford, pp. 221-265.

Canuti P., Casagli N., (1996): *Considerazioni sulla valutazione del rischio di frana*. CNR-GNDCI e Regione Emilia Romagna, Pubbl. n. 846, Tip. Risma, Firenze, 57pp.

Cardinali M., Reichenbach P., Guzzetti F., Ardizzone F., Antonini G., Galli M., Cacciano M., Castellani M., Salvati P., (2002): “*Ageomorphological approach to the estimation of landslide hazards and risks in Umbria, Central Italy*”, *Nat. Haz. and Earth System Sciences*, 2, 57-72.

Carrara, A., Cardinali, M., Detti, R., Guzzetti, F., Pasqui, V., Reichenbach, P., (1991): *GIS Techniques and statistical models in evaluating landslide hazard*. Earth Surface Processes and Landforms, 16: 427-445.

Carrara, A., Cardinali, M., Guzzetti, F., Reichenbach, P., (1995): *GIS technology in mapping landslide hazard*. In: Carrara, A., Guzzetti, F. (Eds.): Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards,. 135-176.

Castellanos Abella, E.A., (2008): *Provincial landslide risk assessment*. In: Castellanos Abella, E.A.: Multi-scale landslide risk assessment in Cuba, Utrecht University, Utrecht, ITC Dissertation 154, 101–152.

Ceriani, M., Carelli, M., (1991): *Carta delle precipitazioni medie annue del territorio alpino lombardo (registrate nel periodo 1891-1990)*. Servizio Geologico – Ufficio Rischi Geologici, Regione Lombardia, Milano, Italy.

Chung, C.-J., Fabbri, A.G., (1999): *Probabilistic prediction models for landslide hazard mapping*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 65: 1389–1399.

Costa, J.E., (1984): *Physycal geomorphology of devris flow*. In Costa, J.E., and Fleisher, P. J., eds, “Developments and Applications of Geomorphology”, New York, Springer-Verlag, 269-317.

Corominas, J., Remondo, J., Farias, P., Estevao, M., Zézere, J., de Terán, J.D., Dikau, R., Schrott, L., Moya, J., Gonzáles, A., (1996): *Debris flow*. In: Dikau, R., Brundsen, D., Schrott, L., Ibsen, M.-L. (Eds.): *Landslide Recognition: Identification, Movement and Causes*. John Wiley & Sons, pp. 161-180.

Coussot, P., Meunier, M., (1996): *Recognition, classification and mechanical description of debris flows*. Earth-Science Reviews, 40: 209-227.

Crossland, M.D., Perkins, W.C., Wynne, B.E., (1995): *Spatial decision support systems: an overview of technology and a test efficiency*. Decision Support Systems, 14 (3), pp. 219-235.

Crosta, G., (1990): *A study of slope movements caused by heavy rainfall in Valtellina (Italy - July 1987)*. In: Cancelli, A. (Ed.): Proceedings of ALPS90, Alpine Landslide Practical Seminar – 6th ICFL International Conference and Field Workshop on Landslides, University of Milano, Milano, pp. 247–258.

Crozier, M.J., Glade, T., (2005): *Landslide Hazard and Risk: Issues, Concepts and Approach*. In: Glade, T., Anderson, M., Crozier, M.J. (Eds.) *Landslide Hazard and Risk*. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, pp. 1-40.

Daevies, T.R.H., (1986): *Large debris flow: a macroviscous phenomenon*. Acta mechanica, v. 63, pp. 161-178.

Daevies, T.R.H., (1988): *Debris flow surges- a laboratory investigation*, Mitt. No. 96 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie Glaziologie, ETH Zürich, Switzerland, pp. 122

DB2000, (2003): Database della Comunità Montana Valtellina di Tirano mappato in scala 1:2,000. CM Valtellina di Tirano. CD-ROM.

DeGraff, J.V., (1994): *The geomorphology of some debris flow in the southern Sierra Nevada, California*, Geomorphology, v. 10, pp. 231-252.

Densham, P.J., and Goodchild, F., (1989): *Spatial decision support systems: A research agenda*. Proceedings GIS/LIS'98, (Orlando, FL.), pp. 707–716.

EM-DAT, (2009): The OFDA/CRED International Disaster Database. Disponibile al seguente indirizzo web: <http://www.emdat.be>

Fell, R., Corminas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., Savage, W.Z., (2008.): *Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning*. Engineering Geology, pp. 102: 99-111.

FEMA, (Federal Emergency Management Agency), (2001). *Understanding your risks: Identifying Hazards and Estimating Losses. State and Local Mitigation Planning*. Washington D.C., pp. 166.

Foster H.D., (1980): *Disaster Planning: The Preservation of Life and Property*. Springer-Verlag, New York, pp.275.

GeoIFFI, (2006): *Inventario dei fenomeni franosi*, Regione Lombardia Disponibile al seguente indirizzo web: <http://www.cartografia.regione.lombardia.it/GeoIFFI>.

Glade, T. (2003): *Vulnerability assessment in landslide risk analysis*. Die Erde, pp.134: 123-146.

Guzzetti, F., Cardinali, M., Reichenbach, P., (1994): *The AVI Project: A bibliographical and archive inventory of landslides and floods in Italy*. Environmental Management, 18: pp. 623- 633.

Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., Reichenbach, P., (1999). *Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy*, Geomorphology, 31, pp. 181-216.

Guzzetti, F., Salvati, P., Stark, C.P., (2005): *Evaluation of risk to population posed by natural hazards in Italy*. In: Hungr, O., Fell, R., Couture, R., Eberhardt (Eds.): *Landslide Risk Management*. Taylor and Francis, London, pp. 381-389.

Heinimann, H.R., (1998): *Methoden zur Analyse und Bewertung von Naturgefahren*. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL).

Holmgren, P., (1994): *Multiple flow direction algorithms for runoff modelling in grid based elevation models: An empirical evaluation*. Hydrological Processes, 8: pp. 327-334.

Hooke, R.L. (1987): *Mass movement in semi-arid environments and the morphology of alluvial fans*, in Anderson, M. G., and Richards, K. S., eds, "Slope Stability", New York, Wiley, p. 505-529.

Horton, P., Jaboyedoff, M., Bardou E., (2008): *Debris flow susceptibility mapping at a regional scale*, Géorisques IV Geohazards: 4e Conférence canadienne sur les géorisques - 4th Canadian Conference on Geohazards, 20-24 may 2008 Québec, Canada, 20-24 May 2008.

Huggel, C., Kaab, A., Haeberli, W., Teyssere, P., Paul, F., (2002): *Remote sensing based assessment of hazards from glacier lake outbursts: a case study in the Swiss Alps*. Canadian Geotechnical Journal, 39: pp. 316-330.

Huggel, C., Käab, A., Haeberli, W., Krummenacher, B., (2003): *Regional-scale GIS-models for assessment of hazards from glacier lake outbursts: evaluation and application in the Swiss Alps*. Natural Hazards and Earth System Sciences, 3: pp. 647-662.

Hungr, O., Evans, S.G., Bovis, M., Hutchinson, J.N., (2001): *Review of the classification of landslides of the flow type*. Environmental and Engineering Geoscience, 7: pp. 221-238.

Jahns, R.H., (1949): *Desert floods*, Eng. Sci. Journal, v. 23, pp. 10-14.

Nadim, F., Kjekstad, O., Peduzzi, P., Herold, C., Jaedicke, C., (2006): *Global landslide and avalanche hotspots*. Landslides, 3: pp.159-173.

Jakob, M., (2005): *A size classification for debris flows*. Engineering Geology, 79: pp. 151-161.

Jibson, R.W., (1989): *Debris flows in southern Puerto Rico*. Geological Society of America Special Paper, 236: pp. 29-56.

Jahns, R.H., (1978): *Geophysical prediction. In landslide Analysis and Control, Transportation*. Research Board, Special Report 176. National Academy of Science, Washington, DC, 58-65.

Johnson, A.M., (1970): *Physical Process*, in Geology, San Francisco, Freeman, Cooper, and Co., pp. 577.

Kienholz, H., (1994): *Naturgefahren – Naturrisiken im Gebirge*, Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, pp. 145, 1-25.

NRC, (2004): *Partnerships for Reducing Landslide Risk: Assessment of the National Landslide Hazards Mitigation Strategy*. Committee on the Review of the National Landslide Hazards Mitigation Strategy, National Research Council, pp. 144.

Major, J.J., (1997): *Depositional Process in Large-Scale Debris-Flow Experiment*. The Journal of Geology, Volume 105.

O'Brien, J.S., Julien, P.Y., & Fullerton, W.T., (1993): *Two dimensional water flood and mudflow simulation*, Jour. Hyd. Eng., v. 119, pp. 244-261.

Okuda, S., Suwa, H., Okunishi, K. Yokoyama, K., Nakano, M., (1980): *Observation on the motion of a debris flow and its geomorphological effects*. Zeitschrift für Geomorphologie, Suppl., 35: pp. 142-163.

Pierson, T.C., (1980): *Erosion and deposition by debris flow at Mt Thomasn North Canterbury, New Zealand*, Earth Surf. Proc., v. 5, p. 227-247.

Pierson, T.C., (1986): *Flow behavior of channelized debris flows, Mount St. Helens, Washington*. In: Abrahams, A.D. (Ed.): *Hillslope Processes*. Allen and Unwin, Boston, pp. 269-296.

Polelli, M., (2000): *Trattato di Estimo*, Maggioli, Rimini.

Progetto AVI, (1989): *Aree Vulnerate Italiane: censimento delle aree italiane storicamente vulnerate da calamità geologiche ed idrauliche*.

Progetto CARG, (1992): *La nuova carta geologica italiana*. Servizio Nazionale Geologico, Roma, Italia.

Progetto DUSAF, (2003): *Destinazione d'Uso dei Suoli Agricoli e Forestali*. Regione Lombardia, Milano, Italia.

Progetto SCAI, (2000): Studio dei Centri Abitati Instabili della Provincia di Sondrio.

Quinn, P., Beven, K., Chevallier, P., Planchon, O., (1991): *The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modelling using digital terrain models*. Hydrological Processes, 5: pp. 59-79.

Raines, G., (1999.): *Evaluation of weights of evidence to predict epithermal-gold deposits in the great basin of western United States*. Natural Resources Research, 8: pp. 257-276.

Reichenbach, P., Guzzetti, F., Cardinali, M., (1998): *Carta delle aree colpite da movimenti franosi e da inondazioni – Progetto AVI, 2a edizione*. CNR-IRPI, Perugia.

Remondo, J., Bonachea, J., Cendrero, A., (2005.): *A statistical approach to landslide risk modelling at basin scale: from landslide susceptibility to quantitative risk assessment*. Landslides, 2: pp. 321-328.

Rickenmann, D., Zimmermann, M., (1993): *The 1987 debris flows in Switzerland: documentation and analysis*. Geomorphology, 8: pp. 175-189.

Sawatzky, D.L., Raines, G.L., Bonham-Carter, G.F., Looney, C.G., (2008): *Spatial Data Modeller (SDM): ArcMAP 9.2 geoprocessing tools for spatial data modelling using weights of evidence, logistic regression, fuzzy logic and neural networks*.

Sharpe C.F.S., (1938): *Landslides and Related Phenomena: A study of mass Movements of Soil and Rock*, Columbia Univ. Press, New York, pp. 137.

Soeters, R., van Westen, C.J., (1996): *Slope Instability. Recognition, analysis and zonation*. In: Turner, A.K., Schuster, R.L. (Eds.): *Landslides Investigation and Mitigation: Transportation Research Board, Specific Report, 247*, National Academy Press, Washington, pp. 129-177.

Spiegelhalter, D.J., (1986): *Uncertainty in expert systems, in artificial intelligence and statistics* (Gale, W.A., ed), Addison Wesley, Reading, Mass., pp. 17-55.

Sterlacchini S., Frigerio S., Canziani M., Poli S., De Amicis M., Sironi S., (2007): *Proposta Di Una Metodologia Per La Gestione Di Emergenze Idrogeologiche Nella Comunità Montana Valtellina Di Tirano*. Rend. Soc. Geol. It., 4, Nuova Serie, 105-110, 5

Sterlacchini S., Frigerio S., Giacomelli P., Brambilla M., (2007): *Landslide Risk Analysis: A Multi- Disciplinary Methodological Approach*, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 7, 1–19,.

Suwa, H. & Okuda, S., (1983): *Deposition of debris flow on a fan surface, Mt. Yakedake, Japan*, Zeits. Geomorphologie, Suppl. Band. 46, pp. 79-101.

Takahashi, T., (1981): *Estimation of potential debris flows and their hazardous zones: Soft countermeasures for a disaster*. Natural Disaster Science, 3: pp. 57-89.

Takahashi, T., (2007): *Debris flow – Mechanics, prediction and countermeasures*. Taylor and Francis Group, London, UK, pp. 465.

UNU, (2006): *Landslides*. News release, United Nations University, Tokio, Japan, 6 pp. Available at: <http://www.ehs.unu.edu/file.php?id=81>

Van Steijn, H., de Ruig, J., & Hoozemans, F., (1988): *Morphologic and mechanical aspects of debris flow in parts of the French Alps*, Zeits. Geomorphologie, v. 32, pp. 143-161.

Van Westen, C.J., (1993): *Application of Geographic Information Systems to landslide hazard zonation*. ITC publication, 15. International Institute for Aerospace and Earth Resources Survey (ITC), Enschede.

Varnes, D.J., (1984): *Landslide Hazard Zonation: a review of principles and practice*. UNESCO Press, Paris, 63.

Whipple, K. X., (1994): *Debris flow fans: Process and form*, Unpub. Ph.D. dissertation, University of Washington, Seattle.

Waldron, H.H., (1967): *Debris flow and erosion control problems caused by the ash eruptions of Irazu Volcano, Costa Rica*. U.S. Geological Survey Bulletin. 1241-I: 1–37.

Whipple, K.X. & Dunne, T., (1992): *The influence of debris flow rheology on fan morphology, Owens Valley, California*, Geol. Soc. America Bull., v.104, pp. 887-900.

Zimmerman, M.N., (2005): *Analysis and management of debris-flow risks at Sörenberg, Switzerland*. In: Jakob, M., Hungr, O. (Eds.): *Debris-Flow Hazards and Related Phenomena*, Praxis, Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 305–324.

Principali riferimenti normativi consultati

Nazionali

Circolare 12 Giugno 1996. *Pianificazione di emergenza – individuazione di aree per l'ammassamento di forze e di risorse in caso di emergenza*.

Comunicato della Presidenza del Consiglio dei Ministri 8 settembre 2003 (G.U. 22 settembre 2003 n. 220). *Indirizzi operativi per fronteggiare eventuali situazioni di emergenza connesse a fenomeni idrogeologici*.

Decreto Legge 12 Novembre 1982, n. 829 (G.U. 15.11.1982 n. 314). *Interventi urgenti in favore delle popolazioni colpite da calamità naturali o eventi eccezionali*.

Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri 27 febbraio 2004 (G.U. 11 marzo 2004-n. 59 del Suppl. Ordinario n.39). *Indirizzi operativi per la gestione organizzativa e funzionale del sistema di allertamento nazionale e regionale per il rischio idrogeologico ed idraulico ai fini di protezione civile*.

D.Lgs. 31 Marzo 1998 , n. 112 (G.U. 21 aprile 1998, n. 92, s.o.). *Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle regioni e agli enti locali, in attuazione del Capo I della Legge 15 marzo 1997, n. 59*

Legge 18 Maggio 1989, n. 183 (G.U. 25 Maggio 1989, n. 120). *Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo.*

Legge 24 Febbraio 1992, n. 225 (G.U. 17 Marzo 1992, n. 64, suppl. ord.). *Istituzione del servizio nazionale della protezione civile.*

Legge 11 Dicembre 2000, n. 365 (G.U. 11 dicembre 2000, n. 288). *Conversione in legge, con modificazioni, del decreto – legge 12 ottobre 2000, n. 279, recante “Interventi urgenti per le aree a rischio idrogeologico molto elevato e in materia di protezione civile, nonché a favore di zone colpite da calamità naturali”.*

Regione Lombardia

DGR 12 giugno 1998, n. 6/36805 (B.U. 18 settembre 1998, n. 37, 3° suppl. straord.). *Approvazione del 1° Programma regionale di Previsione e Prevenzione di protezione Civile redatto ai sensi dell’art.12, secondo comma della L. 24 febbraio 1994, n. 225.*

DGR 2 luglio 1999, n. 6/44003 (B.U. 9 agosto 1999, n. 32, serie ord. pg.1588). *Integrazione alla delibera n.6/25596 del 28/02/1997 “Istituzione elenco dei gruppi comunali e intercomunali di protezione civile”.*

DGR 22 dicembre 2005, n.8/1566. *Criteri per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio.*

DGR 16 maggio 2007, n.8/4732. *Direttiva Regionale per la pianificazione di emergenza degli enti locali.*

DGR 22 Dicembre 2008, n. 8/8753. *Determinazioni in merito alla gestione organizzativa e funzionale del sistema di allerta per i rischi naturali ai fini di protezione civile.*

L.R. 24 novembre 1997, n. 41 (B.U. 25 novembre 1997, n. 48, 1° suppl. ord.). *Prevenzione del rischio geologico, idrogeologico, mediante strumenti urbanistici generali e loro varianti.*

L.R. 22 maggio 2004, n. 16 (B.U. 24 maggio 2004, 1° s.o. al n. 22). *Testo unico delle disposizioni regionali in materia di protezione civile.*

Metodo Augustus” - Dipartimento della Protezione Civile, 1998.

PS267 - Piano Stralcio per le Aree a rischio idrogeologico molto elevato, Autorità di Bacino del Fiume Po, 1999. www.adbpo.it

PTCP – Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (Sondrio). Approvato con DCP n.4 del 25 gennaio 2010. Regione Lombardia.