

Analisi di suscettibilità da frane superficiali a supporto della gestione del rischio per infrastrutture stradali di Comuni medio-piccoli in Italia e in Francia

A. Giacobbe, R. Berardi, R. Bovolenta
Università degli Studi di Genova, Italia

S. Bernardie, N. Marcot, Y. Thiery
BRGM (Servizio Geologico Nazionale), Francia

SOMMARIO: In uno scenario caratterizzato dalla crescente frequenza di eventi franosi, le amministrazioni medio-piccole italiane e francesi hanno bisogno di strumenti di supporto migliori per garantire la sicurezza e la funzionalità delle infrastrutture superficiali. Attualmente, gli sforzi economici sono rivolti alla gestione delle emergenze, coinvolgendo anche la rete stradale secondaria, piuttosto che investimenti in azioni di prevenzione e monitoraggio delle frane. Il seguente studio, come progetto di collaborazione tra i territori dell'Appennino Ligure italiano e delle Alpi Marittime francesi, riguarda l'analisi di suscettibilità da frane superficiali a scala medio - vasta tramite il metodo Weights of Evidence (WOE) applicato in ambiente GIS, esaminando la zona Alpina delle Alpi Marittime francesi e il bacino idrografico del fiume Entella, situato nell'area del Levante ligure. Nella memoria si illustrano le analisi svolte, con un'attenzione particolare alla scelta dell'area di calibrazione, all'identificazione degli eventi di frana e dei fattori predisponenti al dissesto. Si tratta di una zonazione della suscettibilità con l'utilizzo dell'analisi statistica per l'identificazione delle potenziali criticità in prossimità delle strade comunali, come supporto alle pubbliche amministrazioni nella successiva valutazione del rischio frana.

1 INTRODUZIONE

Nel 2019, piogge intense hanno colpito alcune aree del Levante Ligure. La frazione di Caruggio di Vignale (nel comune ligure di San Colombano Certenoli, situato sopra la città di Chiavari), è stata interessata da un movimento franoso che ha coinvolto la sede stradale, unica via d'accesso per gli abitanti. Analogamente nell'ottobre 2020, la tempesta Alex si è abbattuta nel Nord delle Alpi Marittime francesi e ha severamente danneggiato l'infrastruttura superficiale che collega la comunità di Saint -Martin -Vésubie con le aree circostanti. Le frane, definite come movimento di un ammasso di roccia, detriti o terra lungo un pendio (*Cruden, 1991*), sono uno dei principali pericoli naturali e producono ogni anno ingenti danni materiali. Negli ultimi decenni sono stati sviluppati diversi approcci per eseguire analisi di suscettibilità da frana a diverse scale (*Fell et al. 2008*). Le mappe di suscettibilità da frana possono essere ottenute con: (i) approcci diretti basati sulla conoscenza esperta dell'area e (ii) approcci indiretti basati su algoritmi statistici (*Thiery et al. 2007*). Se i metodi euristici sono basati sull'esperienza le cui conoscenze sono riferite agli indicatori geomorfologici diretti, i metodi statistici correlano informazioni che appartengono a frane accadute in passato con una serie di fattori ritenuti responsabili dell'insorgenza di movimenti franosi. I metodi statistici sono più adatti per applicazioni su grandi aree e in genere, si avvalgono di un ambiente GIS. Uno di questi è il modello statistico bivariato Weights Of Evidence (WOE), utilizzabile per una zonazione della suscettibilità a scala media (da 1: 50.000 a 1: 25.000), che identifica l'influenza di ciascuna variabile predittiva sull'occorrenza di un movimento franoso. La realizzazione di nuove mappe di suscettibilità da frana superficiale, tramite l'analisi statistica,

può delinarsi come strumento operativo utilizzabile da ingegneri geotecnici e geologi delle amministrazioni pubbliche per l'identificazione delle aree suscettibili ai dissesti, coinvolgenti infrastrutture lineari, sia principali, sia secondarie.

2 LE AREE DI STUDIO

2.1 *Le Alpi Marittime Francesi*

Il dipartimento delle Alpi Marittime si trova nella regione Provenza-Alpi-Costa Azzurra, nel sud-est della Francia, al confine con l'Italia a est. Il territorio è caratterizzato da una zona alpina a Nord e dalla costa marittima a Sud con più di 60 km di litorale. Le aree di questo territorio dove sono stati registrati molti eventi franosi, sono:

- ✓ le valli della Tinée, della Roya e della Vésubie, pesantemente colpite dalla tempesta Alex (2 ottobre 2020), con la comparsa di numerosi dissesti franosi;
- ✓ la zona vicino al Var, a nord di Nizza, la cui altimetria aumenta rapidamente verso la terraferma, formando ripidi pendii;
- ✓ Il comune di Mentone, con una forte urbanizzazione lungo i pendii.

In Figura 1, di seguito è riportata una rappresentazione del dipartimento con evidenziati i limiti Nord (blu) e Sud (rosso).

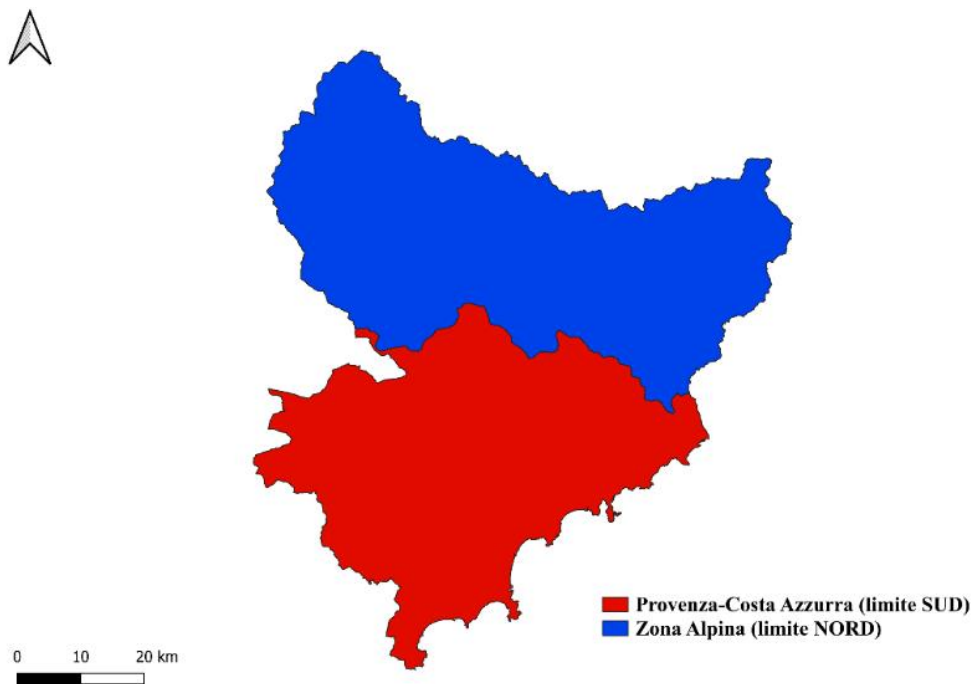


Figura 1. Dipartimento delle Alpi Marittime francesi.

In particolare, nella zona Alpina delle Alpi Marittime, nell'Ottobre del 2020, una frana superficiale innescatasi durante la tempesta Alex ha isolato la popolazione del Comune di Saint -Martin -Vésubie, coinvolgendo e dislocando l'intera sede stradale di collegamento.

2.2 *Il bacino dell'Entella*

Il bacino idrografico del Fiume Entella e del Torrente Sturla è ubicato sul versante tirrenico dell'Appennino Ligure. L'area del bacino di studio, pari a circa 370 km², ricade interamente in Provincia di Genova, coinvolgendo il Comune di San Colombano Certenoli, i cui contorni amministrativi sono rappresentati in giallo, e altre amministrazioni dell'area (Fig. 2):

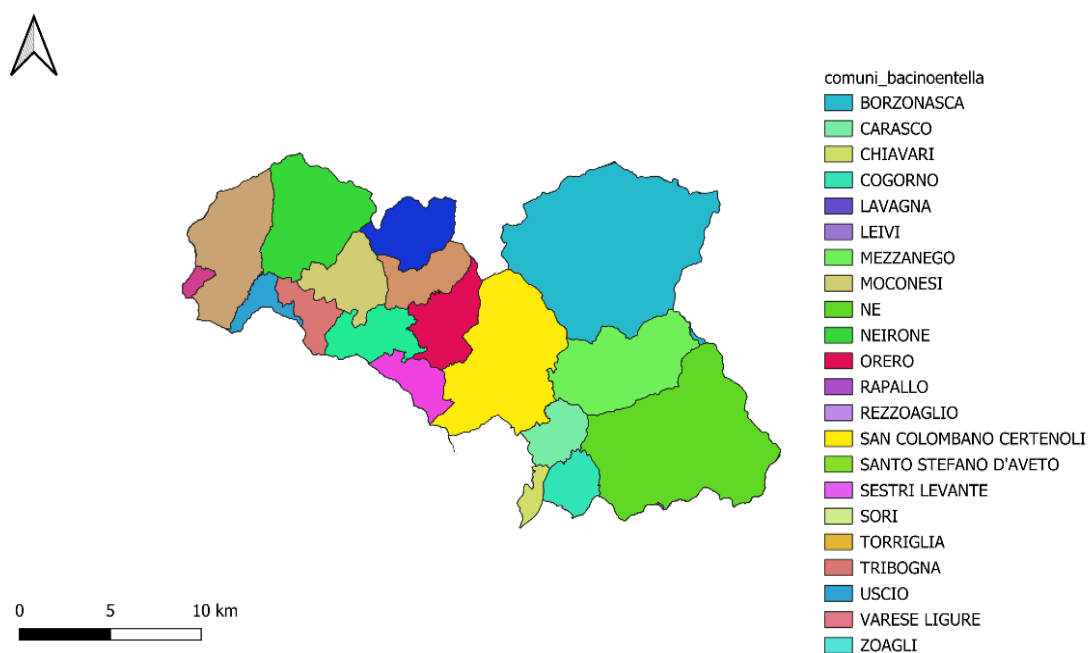


Figura 2. Comuni interni al Bacino dell'Entella.

Tra ottobre 2019 e febbraio 2020, fenomeni di piogge intense (particolarmente critiche nel mese di novembre 2019), hanno interessato il Comune. Nella frazione Caruggio di Vignale, il movimento ha riguardato la strada carrabile che collega la strada comunale principale con le frazioni limitrofe, unica via d'accesso per gli abitanti del luogo. Le cattive condizioni meteorologiche hanno portato al cedimento della strada, con il successivo deterioramento della carreggiata, l'interruzione della rete fognaria e la notevole instabilità della scarpata a monte della viabilità. Si tratta di un corpo unico e consistente di frane antiche e relitte legate anche all'azione di erosione arginale da parte del Rio Vignale, un corso d'acqua che passa sotto la strada carrabile. I movimenti di interesse sono:

- ✓ una frana attiva complessa nel tratto di strada comunale coinvolgente il Rio Vignale;
- ✓ una frana per scivolamento nella porzione di versante a monte di Caruggio di Vignale.

3 LE ZONE DI CALIBRAZIONE

3.1 La scelta dei movimenti franosi nella zona alpina francese

Lo studio prevede un'analisi di suscettibilità da frane superficiali a scala di dipartimento, focalizzando l'attenzione sulla zona Alpina delle Alpi Marittime francesi, all'interno della quale, le valli della Vesubiè, Tineè e Roya, sono state colpite violentemente dalla tempesta Alex. Esaminando l'inventario dei fenomeni franosi realizzato subito dopo l'intensa perturbazione, come prodotto di uno studio coinvolgente il BRGM (Servizio Geologico Nazionale), il BDMvT (Database of Land Movements) e il Cerema (Centre for Studies on Risks, the Environment, Mobility and Urban Planning), sono state prese in considerazione le frane superficiali, in particolare i movimenti di versante e le colate, escludendo le erosioni e i crolli di roccia. L'area di calibrazione è illustrata in Figura 3:

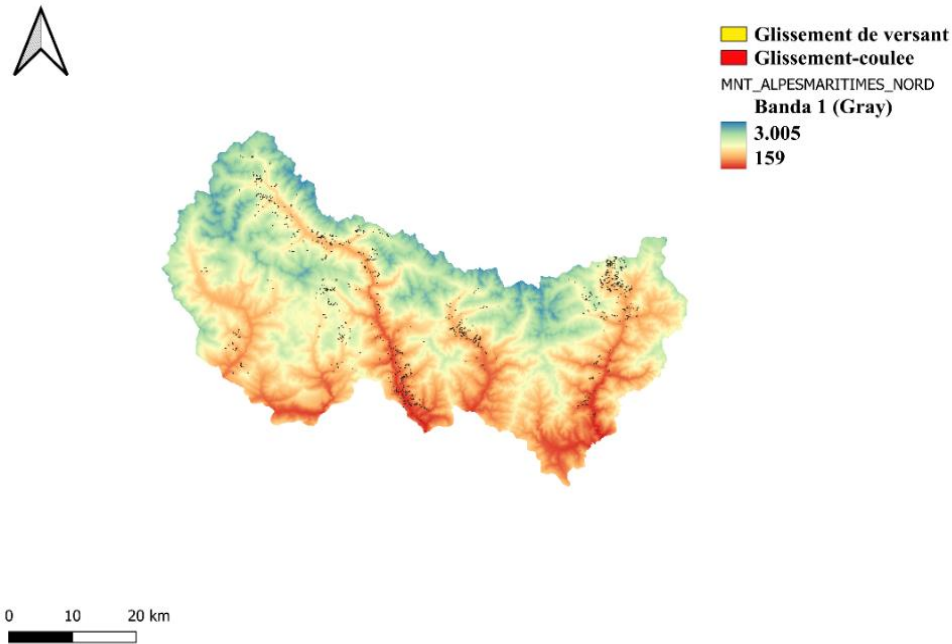


Figura 3. Movimenti di versante (glissement de versant) e colate (glissement- coulee) nel dipartimento Nord delle Alpi Marittime.

La zona Alpina conta rispettivamente 752 movimenti di versante e 1110 frane di colata le cui superfici sono state suddivise in quattro layer poligonali nel modo seguente:

- aree con movimenti di versante $> 400 \text{ m}^2$;
- aree con movimenti di versante $< 400 \text{ m}^2$;
- aree con colate $> 400 \text{ m}^2$;
- aree con colate $< 400 \text{ m}^2$.

Con riferimento ai gruppi di frana di grandi dimensioni (superficie superiore a 400 m^2), è stata calcolata l'area di innesco o zona di ablazione, ovvero l'area di distacco di porzioni di terreno in seguito all'intervento di agenti esterni. Per i gruppi di frane di piccole dimensioni, si è deciso invece di calcolare i centroidi di ogni singolo poligono, con una valutazione svolta su superfici di frana molto piccole. I quattro gruppi di poligoni di frana sono stati poi trasformati in layer di punti, da cui sono stati estratti, per finalità statistiche, l'80% delle frane distribuite sul territorio, come variabili di calibrazione (denominato training set), e il restante 20%, come variabili di validazione del modello WOE (denominato validation set).

3.2 La scelta dei movimenti franosi nel bacino dell'Entella

Per quanto concerne lo studio riferito all'analisi della suscettibilità da frane superficiali in territorio italiano, è stata scelta come area di calibrazione, il bacino dell'Entella che presenta movimenti di versante, simili a quelli esaminati nel dipartimento francese. Esaminando l'inventario IFFI (Inventario Fenomeni Franosi in Italia) si è riscontrato che il territorio del Comune di San Colombano Certenoli è costituito per il 52% da scivolamenti rotazionali/traslativi, per il 34% da frane complesse, per il 5% da aree con frane superficiali e per il restante 9% da colamenti rapidi. Sono stati quindi identificati due gruppi di frane: un insieme formato da colamenti rapidi e lenti, scivolamenti rotazionali/traslativi e aree con frane superficiali con un totale di 432 poligoni (set 1), e il secondo gruppo caratterizzato solo da frane complesse, rispettivamente 434 poligoni (set 2), come evidenziato in Figura 4.

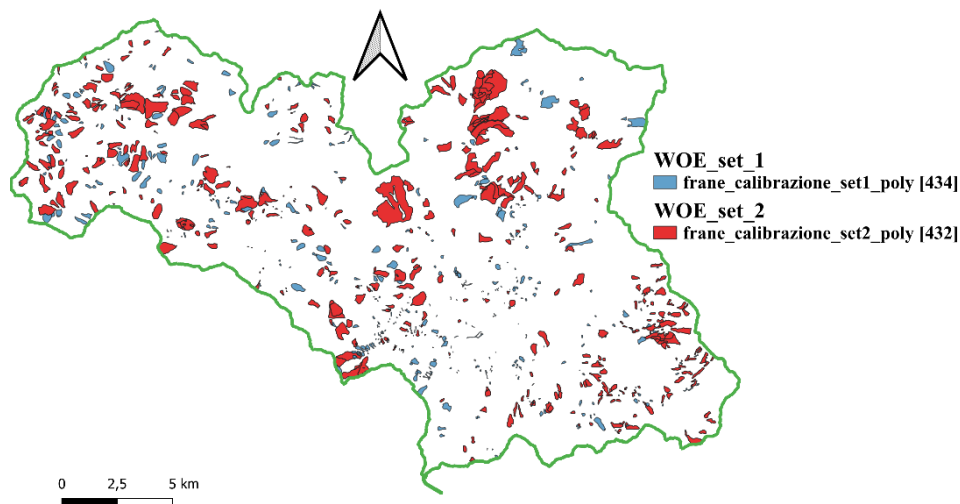


Figura 4. I due gruppi di frane identificati nell'area di calibrazione, set 1 (blu) e set 2 (rosso).

4 I FATTORI PREDISPONENTI

4.1 I fattori predisponenti utilizzati nell'analisi di suscettibilità in Francia

I metodi statistici di solito correlano un inventario delle frane passate con i fattori che si suppone siano responsabili della potenziale occorrenza delle frane (Cascini, 2008). I fattori predisponenti al dissesto sono gli elementi che inducono un potenziale movimento franoso. Nel caso di studio sono state estrapolate sei mappe raster con risoluzione in metri (25x25), qui riassunte:

- la litologia, classificata in 25 classi, raggruppando elementi con caratteristiche litologiche simili, indipendentemente dal periodo di formazione delle rocce;
- la pendenza, identificando 10 classi per ogni 5° di inclinazione del pendio;
- l'esposizione dei versanti, divisa in 3 classi: Nord-Est, Sud-Est & Sud-Ovest, Ovest & Nord-Ovest;
- la curvatura generale, suddivisa in pendii concavi, rettilinei e convessi corrispondenti a 3 diverse classi;
- l'uso del suolo, considerando il livello 2 della classificazione Corine Land Cover – CLC (10 classi), distinguendo in particolare le aree urbanizzate, le zone vegetative e gli insediamenti agricoli;
- la mappa della morfologia del terreno secondo la classificazione di 8 categorie introdotta da Iwahashi e Pike (Iwahashi et al. 2007).

4.2 I fattori predisponenti utilizzati nell'analisi di suscettibilità in Italia

Per quanto concerne lo studio sul bacino dell'Entella, sono state realizzate otto diverse mappe raster con risoluzione a scala di bacino (5x5), elencate in questa sezione:

- ✓ la carta della pendenza, estratta dal Geoportale della Regione Liguria e classificata in 9 categorie, valutando l'inclinazione del pendio ogni 5°;
- ✓ la mappa del modello digitale del terreno (DTM) a cui è stato assegnato un valore numerico ogni 250 metri di altitudine raggiunti, per un totale di 7 classi;
- ✓ l'esposizione dei versanti, la cui mappa è stata suddivisa in 4 classi seguendo i punti cardinali;
- ✓ l'uso del suolo categorizzato in 10 classi analizzando il livello 2 della classificazione CLC, con particolare attenzione agli aspetti antropici, alla presenza di vegetazione e agli elementi idrografici;

- ✓ la carta litologica, suddivisa in 14 classi, secondo l'ultima classificazione univoca della geomorfologia elaborata dal CNR (Consiglio Nazionale Ricerche) sull'intero suolo italiano;
- ✓ la distanza dalle strade, tale per cui è stata identificata una zona buffer di raggio 50 metri per mantenere le stesse geometrie degli elementi viari a uguale distanza (6 classi);
- ✓ l'accumulazione, indicante l'accumulo del flusso d'acqua superficiale nel bacino di interesse, suddivisa in 6 classi in base al numero di celle drenate;
- ✓ la mappa geomorfica, come prodotto del software GRASS GIS, suddivisa in 10 classi che tiene conto dei geomorfi con cui si identificano le differenti angolazioni e forme dei pendii.

5 IL METODO STATISTICO

5.1 Il modello Weights Of Evidence

Il modello Weights Of Evidence (WOE) è un metodo quantitativo, utilizzato per combinare set di dati seguendo un approccio statistico bivariato. Il metodo, applicato per la prima volta in medicina e geologia (Bonham-Carter, 1994), utilizza la forma log-lineare del modello di probabilità bayesiano per stimare l'importanza relativa dell'evidenza con mezzi statistici. Questo metodo è stato applicato per l'identificazione del potenziale minerale (Bonham-Carter et al. 1990) e poi per la mappatura della suscettibilità da frana (Van Western et al. 2003). Il modello valuta la correlazione tra i fattori predisponenti e l'occorrenza spaziale di frane (Malet et al. 2006), tramite il calcolo dei pesi, che segue rispettivamente le Eq. (1) e (2) (Abella-Castellanos, 2008):

$$W_i^+ = \log_e \frac{P(B_i|S)}{P(B_i|\bar{S})} \quad (1)$$

$$W_i^- = \log_e \frac{P(\bar{B}_i|S)}{P(\bar{B}_i|\bar{S})} \quad (2)$$

dove B_i = presenza di un potenziale fattore predisponente al dissesto; \bar{B}_i = assenza di un potenziale fattore predisponente al dissesto; S = presenza di dissesto franoso; \bar{S} = assenza di dissesto franoso.

Più il peso positivo (W^+) associato a una classe è alto, maggiore sarà l'influenza di una singola classe sull'occorrenza delle frane. Allo stesso tempo, il peso negativo (W^-) evidenzia la poca influenza dell'agente esterno sull'insorgenza di frane.

5.1.1 La validazione delle mappe di suscettibilità

Il package *valwoe*, utilizzato per l'analisi del territorio della Nuova Caledonia 13 francese (Pre-mallion, 2023), è uno strumento di validazione statistica delle mappe di suscettibilità ottenute dal modello WOE implementato in ambiente GIS, fornendo una classificazione quantitativa secondo le soglie JTC-1 (Join Technical Committee 1). Queste soglie sono state concepite per la necessità di quantificare la suscettibilità, confrontando la probabilità di morte delle persone (per tutte le cause) con la probabilità di morte a causa di frane (Fell et al. 2008). Il metodo *valwoe* permette di conoscere il valore di ciascun peso associato al fattore predisponente riclassificato e fornisce come risultato determinante, la curva di riconoscimento, con cui si valuta la percentuale cumulata di frane riconosciute, partendo da una classificazione della probabilità spaziale di dissesto franoso rappresentata dalla nomenclatura JTC-1.

6 RISULTATI

Per brevità, vengono riportati i risultati più importanti relativi alla zona Alpina francese, con particolare attenzione alle colate di grandi dimensioni che rappresentano la percentuale più alta di frane potenzialmente occorrenti nell'area in esame. Lo studio del territorio italiano è tuttora in corso, con l'applicazione del modello WOE sul bacino dell'Entella.

6.1 La mappa di suscettibilità da colate di grandi dimensioni nella zona Alpina francese

Combinando i suddetti fattori predisponenti, valvoe fornisce la curva di riconoscimento delle colate di grandi dimensioni (Fig. 5), da cui si desume una probabilità di accadimento del 79% circa, con riferimento alle classi di suscettibilità medio-alta. Nella Figura 6 è illustrata infine la mappa raster di suscettibilità da grandi colate (con risoluzione 25x25 m) validata.

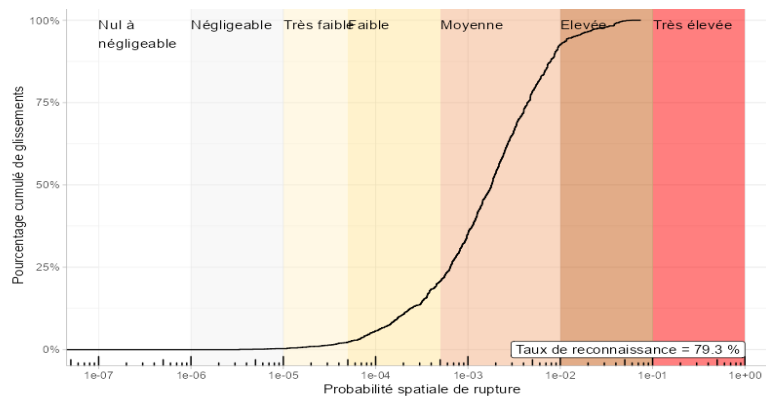


Figura 5. Curva di riconoscimento per le colate di grandi dimensioni nella zona Alpina francese.

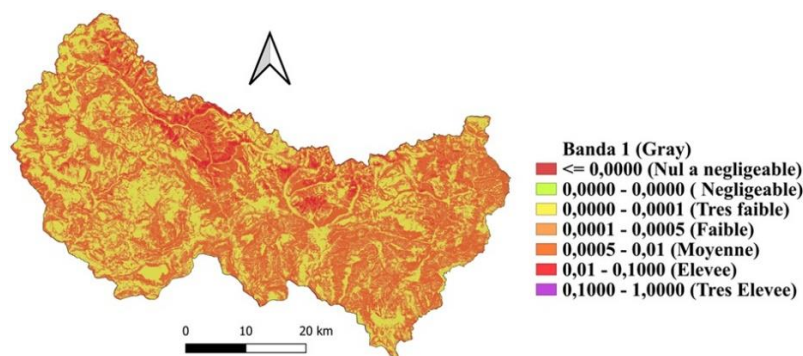


Figura 6. Mappa di suscettibilità per colate di grandi dimensioni, validata sulla zona Alpina francese (7 classi).

7 CONCLUSIONI

Il corrente studio ha proposto una procedura per la mappatura della suscettibilità al dissesto da frane superficiali come strumento di supporto ai Comuni medio-piccoli italiani e francesi nella gestione del rischio frana. Si è riscontrato che il metodo statistico bivariato WOE dipende dall'area di calibrazione del modello, dalla collocazione delle frane all'interno del territorio e dalla classificazione dei fattori predisponenti al dissesto. Nella zona alpina francese, è emerso che le potenziali grandi colate ricadono per il 60% in zone a suscettibilità media e per il 20% in aree classificate ad alta suscettibilità, mentre il 50% delle colate potenziali di piccole dimensioni ricade in zone a bassa suscettibilità. Per quanto concerne il caso italiano, è stata illustrata la fase di scelta degli insiemi di frane e dei fattori predisponenti. Attualmente è in corso l'applicazione del metodo WOE all'area dell'Entella al fine di ottenere una mappatura a scala di bacino. In uno scenario caratterizzato dalla crescente frequenza di eventi franosi, che possono risultare pericolosi per le strutture viarie, le amministrazioni medio-piccole italiane e francesi hanno bisogno di nuovi strumenti di supporto per la salvaguardia delle sedi stradali. A tale scopo, la realizzazione di mappe raster di suscettibilità da frana superficiale, con risoluzione pari a 5 m, si configura come strumento operativo aperto e utile per la gestione del rischio frana e la messa in sicurezza delle infrastrutture superficiali.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia il Comune di San Colombano Certenoli (GE) per la preziosa collaborazione.

BIBLIOGRAFIA

- Abella-Castellanos, A. E. 2008. Multi-scale landslide risk assessment in Cuba. *International Institute for Geo-information Science and Earth Observation*: 115 -116. Enschede.
- bonham-Carter, G.F. 1994. *Geographic Information System for Geoscientists: Modelling with GIS*, Pergamon Press, 398, Oxford.
- Bonham-Carter, G.F. & Agterberg, F.P. & Wright, D.F. 1990. Statistical pattern integration for mineral exploration. In: Gaal, G., Merriam, D.F. (Eds.), *Computer Applications in Resource Estimation: Prediction and Assessment for Metals and Petroleum*. Pergamon Press: 1-21. Oxford.
- Cascini L. 2008. Applicability of landslide susceptibility and hazard zoning at different scales. *Engineering Geology*, 102: 164 - 177.
- Cruden, D.M., 1991. A simple definition of a landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 43: 27-29.
- Fell, R. & Corominas, 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*, 102: 85 - 98.
- Iwahashi, J., & Pike, R. J. 2007. Automated classifications of topography from DEMs by an unsupervised nested-means algorithm and a three-part geometric signature. *Geomorphology*, 86 (34): 409 - 440.
- Malet J. P. & Thiery, Y. & Maquaire, O. & Puissant, A. 2006. Analyse spatiale, évaluation et cartographie du risque glissement de terrain. *Revue Internationale de Géomatique*, 16: 499 - 525.
- Premaillon, M. 2023. Tutoriel version 3: Calculer des cartes de susceptibilité avec le poids des évidences (WoE) Sur QGIS: 1- 20. France.
- Thiery, Y. 2007. Susceptibilité du bassin de Barcelonnette (Alpes du Sud, France) aux 'mouvements de versant': cartographie morphodynamique, analyse spatiale et modélisation probabiliste. *Géomorphologie*, Université de Caen, France.
- Van Westen, C.J. & Rengers, N. & Soeters, R. 2003. Use of geomorphological information in indirect landslide susceptibility assessment. *Natural Hazards*, 30: 399 - 419. RACT

ABSTRACT

SUSCEPTIBILITY ANALYSIS FROM SHALLOW LANDSLIDES TO SUPPORT RISK MANAGEMENT FOR ROAD INFRASTRUCTURES OF MEDIUM-SMALL MUNICIPALITIES IN ITALY AND FRANCE

Keywords: susceptibility, landslides, surface infrastructures, risk management, weights of evidence

Italian and French medium-small municipalities need improved support tools to ensure the safety and functionality of infrastructures in case of landslides. The study examines the territories of the Ligurian Apennines in Italy and the Maritime Alps in France and concerns on the susceptibility zoning of shallow landslides at medium-large scale through the WOE statistical method in a GIS environment. The Alpine zone in the department of Maritime Alps in France and the Entella basin in Italy are examined. The paper illustrates the analyses carried out, focusing on the choice of the calibration area, the identification of landslide events and the factors predisposing to instability.