

UNITÀ TERRITORIALI PER L'ANALISI E LA ZONAZIONE DELLA FRANOSITÀ A PICCOLA E MEDIA SCALA

Michele Calvello, Leonardo Cascini, Sabrina Mastroianni
Dipartimento di Ingegneria Civile, Università di Salerno
mcalvello@unisa.it; l.cascini@unisa.it; smastroianni@unisa.it

Sommario

La nota propone una procedura finalizzata alla realizzazione di mappe di zonazione della densità di frana su aree estese di territorio, a piccola e media scala, con l'ausilio di analisi statistiche multivariate. Queste ultime sono basate sull'utilizzo di variabili indipendenti e non correlate derivate da cartografia tematica significativa per i fenomeni franosi oggetto di studio. Nella procedura, che si articola in tre fasi (calibrazione, validazione e esportazione), le unità territoriali di mappa sono distinte in unità territoriali di calcolo, TCU, ed unità territoriali di zonazione, TZU, a seconda che si riferiscano all'analisi o alla zonazione del territorio. Per queste ultime, è proposto un criterio per la scelta delle dimensioni minima e massima in relazione alla scala, e conseguentemente alle finalità dell'analisi. La procedura è stata applicata, a scala 1:25.000 e relativamente a fenomeni a cinematica lenta, al bacino del torrente Reinello in provincia di Benevento, dell'estensione di 70km² circa.

Metodologia proposta

Unità territoriali

La zonazione si basa sulla discretizzazione di un territorio in unità di mappa. Diversi metodi sono stati proposti in letteratura per l'identificazione e la classificazione di domini territoriali omogenei distinti definiti unità territoriali di mappa, TMU (e.g., Guzzetti 2005). Per le analisi di franosità, uno degli aspetti più importanti per la loro corretta definizione è rappresentato dalla scelta di TMU aventi dimensioni adeguate alla scala della analisi e, conseguentemente, per le finalità della zonazione. In questo lavoro, viene proposta la distinzione delle unità territoriali di mappa in 2 classi: le unità di calcolo (TCU) da utilizzare come domini territoriali omogenei durante la definizione, la calibrazione e/o la validazione di un modello di analisi; e le unità di zonazione (TZU) da utilizzare, nella fase successiva all'analisi, per la produzione di mappe con finalità di zonazione. In un'analisi di franosità, le due unità non devono necessariamente essere diverse ma, ad una data scala, le TZU devono essere sempre di dimensione uguale o maggiore delle corrispondenti TCU. Alcuni autori, quando il territorio si discretizza in una griglia regolare, propongono l'utilizzo di celle quadrate, i.e. pixel elementari, il cui lato è pari a 1/1000 della scala di riferimento (e.g., Iwahashi et al. 2001). Utilizzando questo criterio, la dimensione della cella sulla carta è sempre 1 x 1mm mentre l'area di ogni pixel elementare aumenta al diminuire della scala portando implicitamente in conto la precisione dell'informazione in funzione della scala di analisi. Questo criterio, sicuramente adeguato per la definizione delle TCU, se utilizzato per le TZU conduce, quasi sempre, ad una mappa di zonazione estremamente "frastagliata" e quindi poco utilizzabile per finalità di zonazione. In merito alle dimensioni più appropriate per le TZU alle diverse scale di riferimento viene proposto, in questo lavoro, un criterio che suggerisce: una dimensione minima di area della TZU corrispondente a 16 pixel elementari ed una dimensione massima di due ordini di grandezza maggiore (Figura 1a). I valori proposti sono coerenti con i criteri di

rappresentazione delle frane definiti sia nell'Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia, IFFI (APAT 2007), sia nelle Linee Guida internazionali per la zonazione di suscettibilità, pericolosità e rischio da frana con finalità di pianificazione (Fell et al. 2008). Le Figure 1b e 1c mostrano due esempi di zonazione del territorio che si riferiscono, rispettivamente, alla provincia di Benevento (circa 2.000 km²) ed al bacino idrografico della Tammarecchia, BN (circa 120 km²), utilizzando TZU le cui dimensioni sono adeguate, secondo i criteri definiti in precedenza, alla scala di zonazione. Nel primo caso la mappa di zonazione è in scala 1:250.000 ed impiega TZU ottenute utilizzando i confini amministrativi dei comuni; nel secondo caso la zonazione è in scala 1:25.000, ed impiega TZU ottenute utilizzando unità geo-idrologiche.

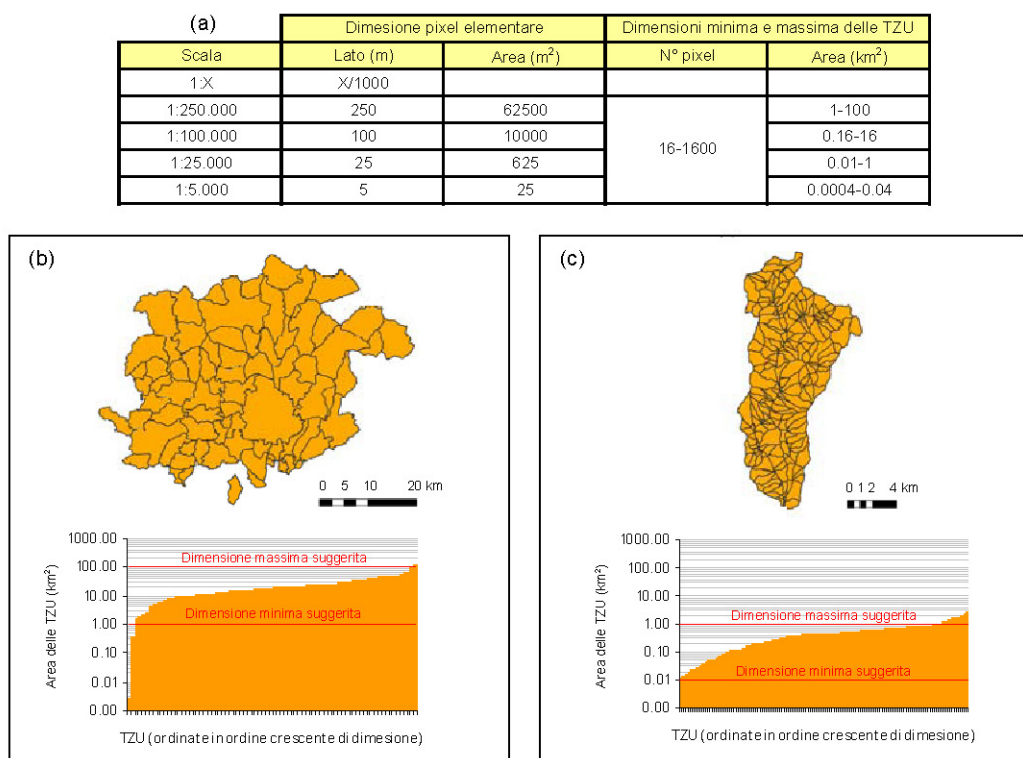


Figura 1. Criterio proposto per la dimensione minima e massima delle unità territoriali di zonazione, TZU, in funzione della scala di riferimento

Procedura per l'analisi e la zonazione della franosità

La procedura proposta per analisi di franosità finalizzate alla zonazione, a piccola e media scala, della densità di frana, da considerarsi propedeutiche alla zonazione della suscettibilità su area vasta, è stata suddivisa in tre fasi: calibrazione, validazione, esportazione (Figura 2). La fase di calibrazione, che inizia con la scelta di tipologia e dimensioni delle unità territoriali di calcolo (TCU) prevede l'applicazione di un modello statistico basato su tematismi territoriali significativi e su una carta degli eventi (i.e. inventario dei fenomeni franosi). Risultato dell'analisi sono indici e pesi delle variabili di input calibrati per N.2 mappe di franosità del territorio, rispettivamente di calcolo e di zonazione. Questa fase consente, inoltre, di valutare l'affidabilità dei dati utilizzati e di verificare la corretta applicazione del modello. La fase di validazione consiste nell'applicazione del modello calibrato ad un territorio omogeneo, per caratteristiche fisiche e geologiche, rispetto a quello analizzato nella fase precedente e per il quale sono disponibili informazioni su distribuzione e

tipologia dei fenomeni franosi. Infine, nella fase di esportazione, il modello calibrato e validato viene applicato ad un territorio, anch'esso omogeneo rispetto a quelli precedentemente considerati, per il quale non si dispone di informazioni sulla distribuzione delle frane, ovvero in aree per le quali le informazioni fornite dalla carta inventario dei fenomeni franosi sono poco affidabili o eterogenee.

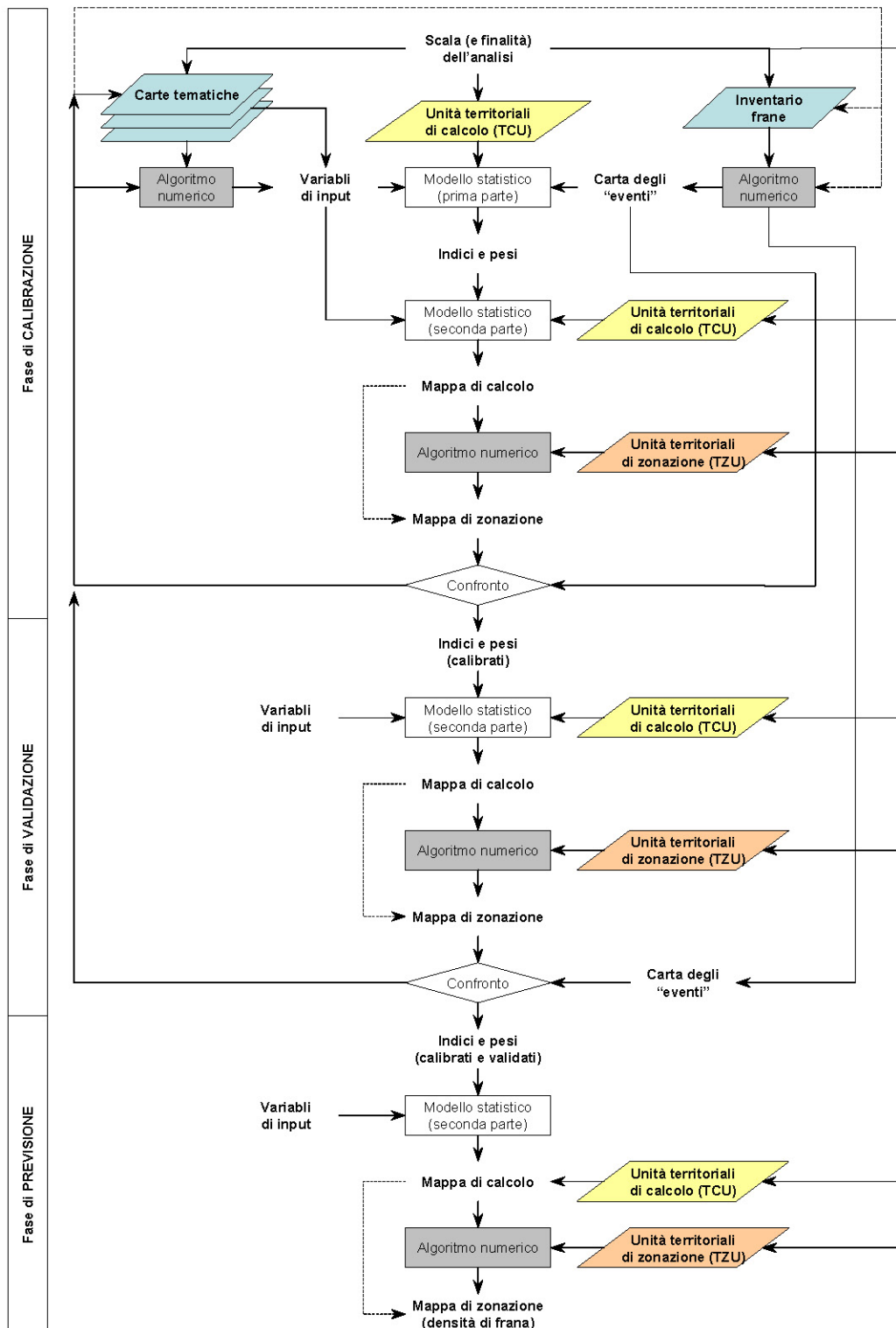


Figura 2. Diagramma di flusso per l'analisi e la zonazione della franosità a piccola e media scala

Il caso di studio: il bacino del torrente Reinello (provincia di Benevento)

L'area di studio, il bacino del torrente Reinello, ha una estensione di circa 60 km² (Figura 3a). La carta degli eventi, ricavata dall'inventario IFFI (APAT 2007), riporta un elevato numero di frane classificabili come fenomeni a cinematica lenta (e.g., colate e scorrimenti in terra) che interessano oltre il 20% del territorio. L'analisi della franosità è effettuata a scala 1:25.000 con la procedura proposta in Figura 2 con riferimento alla sola fase di calibrazione. Le TCU utilizzate sono celle quadrate 25x25m derivate da una carta topografica con isoipse a 25m. Le TZU sono unità geo-idrologiche (Figura 3c) ottenute come intersezione tra i versanti e le litologie principali (algoritmo di Figura 3b). Le dimensioni delle TZU sono congruenti con il criterio proposto nel paragrafo precedente (Figura 3d).

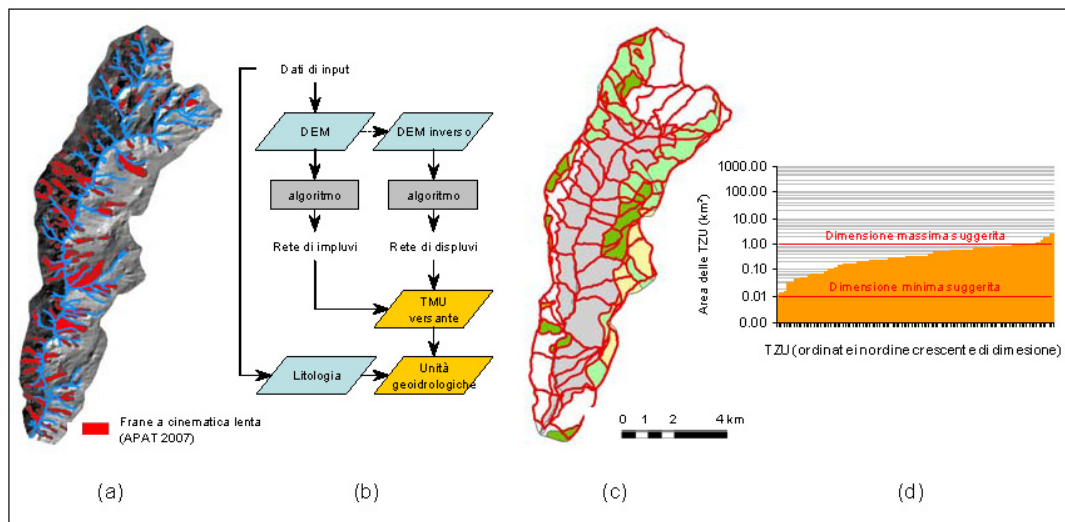


Figura 3. Area di studio con indicazione delle frane a cinematica lenta (fonte: APAT 2007) e suddivisione in TZU

Il metodo statistico utilizzato è l'analisi discriminante (e.g., Carrara 1983), che si basa sulla ricerca della combinazione lineare delle variabili di input (i.e. tematismi territoriali) che meglio consente di discriminare 2 insiemi di TCU, rispettivamente rappresentativi delle "aree in frana" e delle aree "non in frana" nella carta degli eventi. A tal fine, il metodo prevede il calcolo, per ogni TCU, del seguente Discriminant Score, DS:

$$DS = A_1 X_1 + A_2 X_2 + A_3 X_3 + \dots + A_n X_n \dots \dots \dots (Eq.1)$$

dove: n = numero di variabili territoriali considerate nell'analisi, Xi = valore assunto dalla variabile i-esima, Ai = peso attribuito alla variabile i-esima.

Nell'analisi sono state considerate 8 variabili territoriali: litologia (GEO), pendenza (PEND), distanza dal reticolo idrografico (DIST), curvatura nel piano orizzontale (PLAN), curvatura globale (CURV), curvatura lungo il profilo (PROFILE), area del bacino di alimentazione (F_Acc), lunghezza del bacino di alimentazione (F_Len). Preliminarmente all'applicazione del metodo statistico, è stata utilizzata una procedura in 5 passi per definire i valori delle variabili di input, indipendenti e non-correlate, da utilizzare per il calcolo di DS. I primi due passi riguardano la trasformazione, rispettivamente delle variabili qualitative (e.g. GEO) e delle variabili che non mostrano un trend monotono rispetto alla densità di frana (e.g. PEND), in variabili numeriche (xi) correlabili linearmente alla franosità (Eq. 2). Nel terzo passo, tutte le variabili sono normalizzate (Xi) in modo tale che assumano valori compresi tra 0 e 1, al fine di consentire un diretto confronto dei loro rispettivi pesi all'interno del DS (Eq. 3). Infine, nel quarto e quinto passo della procedura vengono applicati opportuni test statistici per eliminare

dall'analisi le variabili poco significative (attraverso l'utilizzo di T-test e One-way test) e/o correlate tra di loro (valutazione della matrice di correlazione, analisi delle componenti principali). I risultati di questa analisi preliminare indicano che tutte le variabili sono statisticamente significative, ma con un'alta correlazione tra le tre variabili di curvatura (PLAN, CURV, PROFILE) e tra le due variabili idrologiche (F_Acc, F_Len).

$$x_i = \left(\frac{Area_i(L)}{Area_i} \right) / \left(\frac{Area_tot(L)}{Area_tot} \right) \dots \dots \dots \text{(Eq. 2)}$$

$$X_i = \frac{(x_i - x_{iMIN})}{(x_{iMAX} - x_{iMIN})} \dots \dots \dots \text{(Eq. 3)}$$

dove: x_i = valore numerico delle variabili qualitative e delle variabili che non mostrano un trend monotono rispetto alla densità di frana, X_i = variabile i-esima normalizzata, $Area_i(L)$ = area in frana all'interno della classe i-esima, $Area_i$ = area della classe i-esima, $Area_tot(L)$ = area totale in frana, $Area_tot$ = area totale, x_{iMIN} = minimo valore assunto da x_i nell'area di studio, x_{iMAX} = massimo valore assunto da x_i nell'area di studio.

Sulla base di questi risultati, l'analisi discriminante è stata eseguita considerando tutte le possibili combinazioni delle seguenti 5 variabili: X(GEO), X(PEND), X(DIST), X(PLAN), X(F_Acc). Con questo approccio è possibile valutare, oltre ai pesi da attribuire ad ogni variabile, anche la combinazione più efficace da considerare, trascurando le variabili che solo marginalmente contribuiscono al successo dell'analisi. La funzione discriminante più efficace per la individuazione delle aree suscettibili per il territorio in esame è la seguente:

$$DS = -2.045 + 1.879GEO + 1.774PEND - 2.599DIST \dots \dots \dots \text{(Eq. 4)}$$

In definitiva, le variabili escluse dall'analisi sono: CURV, PLAN, PROFILE, F_Acc e F_Len. Per quanto riguarda l'esclusione delle variabili che descrivono la curvatura, tale circostanza è da metter in relazione con il fatto che le curvature sono calcolate, per ogni TCU, nell'intorno delle celle 25x25m (sulla base delle 8 celle adiacenti) e, quindi, non si tratta di variabili in grado di descrivere il risultato morfometrico di un processo geomorfologico del versante potenzialmente correlabile con fenomeni franosi a cinematica lenta. Anche l'esclusione delle variabili idrologiche è attribuibile alle proprietà dei fenomeni oggetto di studio, la cui attività è legata al regime idrico sotterraneo più che alle caratteristiche dell'idrologia superficiale. I valori dei pesi delle variabili significative per l'analisi (PEND, GEO, DIST) sono congruenti con le caratteristiche dei fenomeni franosi a cinematica lenta, che si verificano prevalentemente su versanti con pendenze non elevate, in terreni strutturalmente complessi o argille sovraconsolidate e sono spesso innescati da fenomeni di erosione al piede legati alla presenza di corsi d'acqua.

I risultati dell'analisi del discriminante sono stati utilizzati per produrre una carta di zonazione della franosità (Figura 4a) nella quale ogni TZU è classificato sulla base delle seguenti 4 classi di densità di frana: (i) non franoso, se l'area potenzialmente in frana individuata dal modello all'interno di ciascuna TZU è inferiore al 10%, (ii) franosità bassa, se l'area individuata dal modello è compresa tra il 10% e il 40%, (iii) franosità media se l'area individuata dal modello è compresa 40% e 70% e (iiii) franosità alta per valori dell'area individuata dal modello superiori al 70% dell'area di ciascuna unità geo-idrologica. Il successo delle analisi può essere quantificato attraverso tabelle di contingenza, i cui termini sono calcolati come rapporti normalizzati (i.e. valori compresi tra 0 e 1) tra i risultati del modello statistico e la distribuzione delle frane riportata nell'inventario utilizzato come carta

degli eventi. In particolare, il modello è tanto migliore quanto più vicini all'unità sono i valori di "sensitività", rapporto tra TZU interessate da frane secondo il modello e TZU interessate da frane secondo l'inventario, e "specificità", rapporto tra TZU non interessate da frane secondo il modello e TZU non interessate da frane secondo l'inventario. In questo caso, i risultati dell'analisi sono estremamente soddisfacenti essendo i valori di sensitività e specificità uguali, rispettivamente, a 88.2% e 60.1%. Al fine di consentire un confronto tra la carta della zonazione e quella di calcolo, in Figura 4b i risultati sono riportati facendo riferimento alle TCU utilizzate nell'analisi. Risulta evidente che la mappa di zonazione, oltre ad essere più appropriata per le finalità dell'analisi, conduce anche a risultati statisticamente più validi.

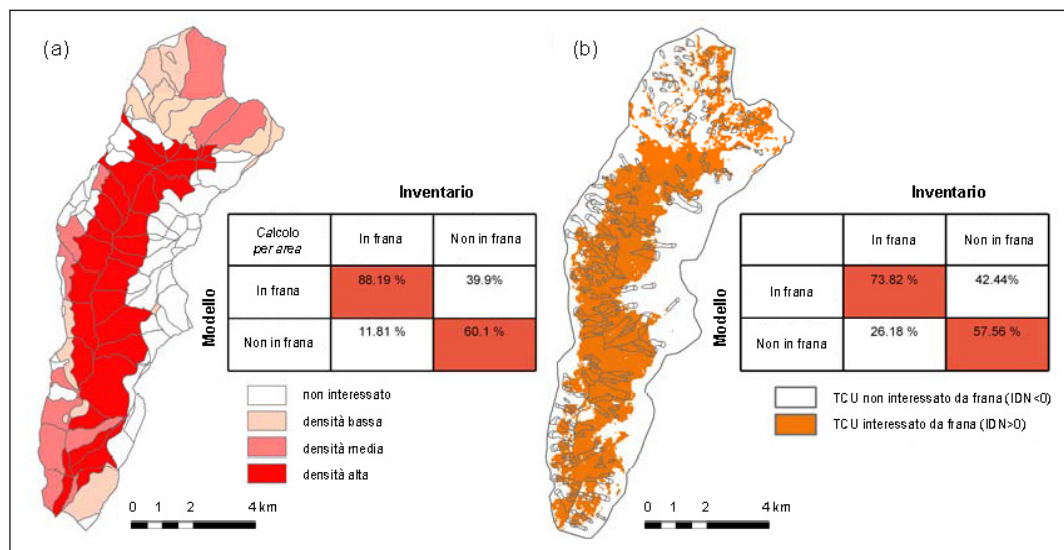


Figura 4. Risultati dell'analisi discriminante: (a) mappa di zonazione della densità di frana e relativa tabella di contingenza; (b) mappa di calcolo e relativa tabella di contingenza

Considerazioni conclusive

È stata presentata una procedura per la produzione di carte di zonazione della franosità, da considerarsi propedeutiche alla zonazione della suscettibilità a piccola e media scala, sulla base dei risultati di analisi statistiche multivariate e dell'utilizzo di appropriate unità territoriali di calcolo (TCU) e di zonazione (TZU). La procedura è stata applicata nella fase di calibrazione a scala 1:25.000 al territorio del bacino del torrente Reinello (BN) relativamente a fenomeni a cinematica lenta. A tal fine, le unità territoriali di calcolo e di zonazione utilizzate nell'analisi sono, rispettivamente, celle quadrate 25x25m (TCU) e unità geoidrologiche ottenute come intersezione tra i versanti e le litologie principali (TZU).

Bibliografia

- APAT (2007). Rapporto sulle frane in Italia, il progetto IFFI - metodologia risultati e rapporti regionali. *Report 78/2007*. ISBN 978-88-448-0310-0.
- Carrara, A. (1983). A multivariate model for landslide hazard evaluation. *Math. Geol.* 15: 403-426.
- 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. *Eng. Geology* 102, 85-98.
- Guzzetti, F. (2005). Landslide hazard and risk assessment. *PhD Thesis*, Universtität Bonn.
- Iwahashi, J., Watanabe, S., Furuya, T. (2001). Landform analysis of slope movements using DEM in Higashikubiki area Japan. *Computers and Geosciences* 27: 851-865.