

# Parole chiave (per intenderci.....)

## Pericolosità da frana:

UNESCO (1984): probabilità di occorrenza di un fenomeno potenzialmente pericoloso **in un determinato intervallo di tempo e in una certa area.**

La definizione di pericolosità include il concetto di spazialità e temporalità del fenomeno naturale e marginalmente il concetto di intensità o magnitudo cioè la dimensione ed il potere distruttivo del fenomeno.

Altri autori hanno definito la pericolosità come probabilità che un fenomeno di una certa magnitudo si verifichi in un dato periodo ed in una data area.

## Suscettibilità da frana:

la probabilità che si verifichi una frana di tipo e magnitudine assegnate in una data area

## Statistica multivariata:

tecnica di analisi statistica in grado di definire le relazioni funzionali tra un fenomeno complesso (frana) ed un certo numero di fattori condizionanti

Per una determinata unità territoriale, la suscettibilità da frana è definibile come la propensione a generare dissesti di versante.

La valutazione della suscettibilità da frana viene in genere affrontata seguendo uno schema concettuale articolato in tre fasi:

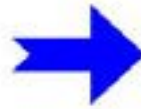
realizzazione di una carta inventario delle frane (di solito *multi-temporale*) sulla regione in studio o in un sottoinsieme di essa (area di prova);

identificazione e mappatura dei fattori predisponenti, cioè ritenuti correlati (direttamente o indirettamente) con il tipo di frana di interesse;

applicazione di metodi di stima del contributo di ciascun fattore all'attivazione del tipo di instabilità di versante investigato e classificazione della regione in classi di suscettibilità.

Nel corso degli anni sono stati sviluppati vari metodi per per la valutazione della suscettibilità da frana basati su diversi tipi di approccio, tra le procedure più note si ricordano:

## **Inventari fenomeni franosi**



Riportano informazioni sulla tipologia, attività, materiale coinvolto, entità del dissesto, affidabilità del dato ecc..fornendo direttamente una previsione spaziale e tipologica di fenomeni franosi



Isoplete (curve ad egual % di aree in frana)





## **Analisi statistica**



Valutazione della suscettibilità realizzata sulla base di UTO (divisione del territorio in unità aventi omogeneità dei fattori che controllano i fenomeni franosi (geologia, uso suolo, pendenza ecc..))



## **Metodi deterministici**



Calcolo del fattore di sicurezza ( $F$ ) dei pendii mediante l'analisi di stabilità all'equilibrio limite



## **Metodi euristici**



Valutazione della suscettibilità da frana mediante la sovrapposizione di carte tematiche, scegliendo i fattori significativi di innesco.

Le **acquisizioni dei dati di base**, si realizzano comunemente attraverso:

- ▶ la raccolta di dati pre-esistenti,
- ▶ analisi foto interpretative,
- ▶ rilievi di campagna,
- ▶ tecniche di telerilevamento.

- **litologia**
- **profondità del bedrock**
- suoli (classific., spessore, granulom., permeabilità, ecc.)
- uso del suolo e copert. veg.
- **quota**
- **pendenza**
- **esposizione**
- **curvatura del versante**
- **lunghezza del versante**

- **indice topografico di umidità**
- **distanza da fiumi**
- **densità di drenaggio**
- **distanza da cresta**
- **distanza da strade**
- **densità di strade**
- **distanza da faglie**
- **densità di faglie**
- .....

Come accennato, esistono diversi metodi per ordinare e pesare i parametri di instabilità e assegnare diversi livelli di suscettibilità.

*metodi qualitativi (euristici)*, basati sul giudizio «esperto» della persona che conduce la valutazione.

*metodi fisicamente basati (deterministici)*, prevedono la caratterizzazione dei parametri fisici e meccanici che consentono di applicare modelli di stabilità di tipo geotecnico.

*metodi statistici (probabilistici)*, sono metodi che ricorrono a relazioni funzionali tra le variabili in gioco. Questi metodi sono basati su procedimenti di natura prevalentemente statistico probabilistica.



Allorquando si analizzino fenomeni complessi (p.e. frane la cui attivazione sia influenzata da più fattori predisponenti) l'approccio analitico di tipo statistico è opportuno che faccia uso dei **metodi della statistica multivariata**.

Tra questi metodi ha trovato una sempre più di frequente applicazione la

**Regressione Logistica (RL)**



- ▶ **Artificial neural networks (ANNs)** – a data mining method designed to simulate the behavior of human brain. ANNs can analyse continuous, binary, and categorical data to map landslide risk.
- ▶ **Fuzzy logic approach** – again a data mining method in which distributed objects on a map are treated as elements of a set. It is based on the fuzzy set theory, commonly adopted to handle complex problems such as those related to non-discrete natural processes. Contrarily to the classical set theory, in which the objects belonging (not belonging) to a set are characterized by the value 1 (0), in fuzzy set theory the degree of membership is expressed by means of a continuous variable (ranging between 0 and 1). It is worth to note that such variable expresses a sort of order, based on the admitted possibility, and not probability.
- ▶ **Multiple regression analysis** – (others than Logistic Regression).
- ▶ **Among the most recent:** *i) neuro-fuzzy; ii) support vector machine (SVM); iii) spatial decision support system (SDSS); iv) decision tree methods; v) evidential belief function (EBF); vi) spatial multi-criteria evaluation (SMCE); vii) index of entropy.*

**RL** : *regressione multipla, atta a stimare la probabilità di esistenza di un fenomeno (variabile dipendente binaria) sulla base di fattori territoriali (variabili indipendenti) ritenuti predisponenti.*

La relazione funzionale della RL è espressa da:

$$P(y) = \frac{1}{1+e^{-y}}, \quad \text{con } y = a_0 + a_1x_1 + \dots + a_nx_n,$$

*$e = 2,718 = \text{numero di Nepero}$*

dove:  $y$  è la variabile dipendente (0 = assenza, 1 = presenza della frana);  $x_1, \dots, x_n$  sono i fattori predisponenti (variabili indipendenti);  $a_0$  è l'intercetta; infine,  $a_1, \dots, a_n$  sono i coefficienti di regressione parziale, cioè una sorta di pesi dei fattori.

$a_0$  e i pesi  $a_1, \dots, a_n$  sono calcolati con un algoritmo di interpolazione applicato alla popolazione campionaria (training set) in cui ai valori delle variabili indipendenti sono associati, in ciascuna unità territoriale (cella del grid), i valori osservati della variabile dipendente (0 oppure 1).

**Software statistici:** Modulo di ArcInfo – SPSS – R – Systat – Xlstat

In letteratura sono state proposte molte applicazioni della RL, finalizzate alla valutazione della suscettibilità da frana in svariati contesti geo-ambientali.

Viene di seguito esposta una procedura, sviluppata in ambiente GIS su grid di celle, e testata in precedenti studi (*Greco, 2004; Greco et al., 2006, 2007; Sorriso-Valvo et al., 2009; Iovine et al., 2011*), che si articola in quattro fasi:

- 1) indicizzazione delle variabili
- 2) campionamento
- 3) calcolo dei coefficienti di regressione
- 4) applicazione



## Indicizzazione delle variabili

La variabile dipendente viene trasformata secondo il modello logit che prevede per essa due possibili valori: il valore 1 per le celle in frana, ed il valore 0 per quelle stabili.

Per quanto riguarda le variabili indipendenti, esistono due approcci:

- creazione di layers con valori binari (*dummy variables*) per tutte le categorie o classi di ogni variabile indipendente (una variabile con dieci categorie o classi genera altrettante variabili binarie);
- riclassificazione basata sulla distribuzione (nota) dei fenomeni franosi in aree campione (*ranked variables*). Per la precisione, l'indicizzazione delle variabili indipendenti avviene assegnando, alle diverse classi di ciascuna variabile, il valore della franosità relativa osservata all'interno delle zone campione.

Per esempio:

Variabile indipendente «litologia»

Classe 1 = rocce metamorfiche → #n frane km<sup>-2</sup>

Classe 2 = rocce sedimentarie → #n frane relative



# Campionamento

Consiste nella produzione del training set da utilizzare per calcolare i coefficienti di regressione.

Può essere effettuato secondo differenti modalità:

- ▶ Intera popolazione (area di studio) **esempio: Calabria**
- ▶ **Campione estratto da aree in cui è nota la distribuzione delle frane;**
- ▶ **Campione estratto da transetti;** **esempio Catena Costiera**
- ▶ Campione con rapporto uguale di celle stabili e in frana ( $\#0/\#1 = 1$ );
- ▶ Campione con rapporto diverso di celle stabili e in frana ( $\#0/\#1 \neq 1$ );
- ▶ **Campione estratto dalla creazione di buffer intorno alle frane;**  
**esempio Costa Viola**

La popolazione estratta costituisce, nel database-GIS, un set di dati in cui ciascuna cella è un record ordinato contenente: un identificativo della cella, le coordinate spaziali, il valore della variabile dipendente (0 o 1) ed i valori delle variabili indipendenti.

ID	X	Y	DIP VAR	IND VAR1	IND VAR2	.....	IND VAR n
1	2618485,252	4324180,674	0	12	7	.....	15
2	2618496,234	4324187,154	1	21	3	.....	13
-	-	-	-	-	-	.....	-
n	2618375,864	4324179,312	1	8	5	.....	9

## Calcolo dei coefficienti di regressione

Un algoritmo d'interpolazione, che adotta il metodo della massima verosimiglianza ed opera secondo la logica della *back-propagation*, calibra iterativamente i valori dei coefficiente di regressione delle variabili indipendenti.

Le iterazioni terminano quando l'intercetta  $a_0$  ed i pesi  $a_1$ , ...,  $a_n$  ottimizzano la regressione, minimizzando i quadrati degli scarti tra i valori teorici e quelli osservati nel training set.

Come prima stima della bontà della regressione, la procedura restituisce, oltre a coefficienti di regressione e intercetta, anche il RMSE (Root Mean Square Error) e il  $\chi^2$ .



**Applicazione:** In questa ultima fase, la relazione funzionale della Regressione Logistica viene applicata all'intera area di studio. La funzione stimatrice fornisce in ogni cella il valore della probabilità

$$P(y) = \frac{1}{1+e^{-y}}$$

che siano presenti frane (variabile dipendente =1 ).

L'*output* della regressione è una mappa di probabilità  $P(y)$ , che può essere ridisegnata in termini di classi di suscettibilità con metodi di **data clustering** (miglior raggruppamento di valori nel numero di classi desiderato). Ciò viene fatto minimizzando la deviazione dalla media all'interno della classe e massimizzandola fra le diverse classi (**Jenks natural breaks** classification method). Un altro metodo (semplice, ma non rigoroso) adotta una classificazione per intervalli di probabilità:

Molto bassa (o Nulla)	$P < 5\%$
Bassa	$5\% \leq P < 25\%$
Media	$25\% \leq P < 50\%$
Alta	$50\% \leq P < 75\%$
Molto alta	$75\% \leq P < 100\%$



La verifica dei risultati della RL può essere effettuata attraverso la *Receiver Operating Characteristics Analysis* (ROC), che consiste nel disegnare su un piano cartesiano i valori di **Sensitività** rispetto a quelli di **1-Specificità**

$$\text{Sensitività} = \frac{V_p}{V_p + F_n}$$

$V_p = T_p$  unità territoriali *Vere positive* = correttamente stimate instabili

$V_p + \text{False negative } (F_n)$  = unità territoriali stimate instabili

$$\triangleright 1 - \text{Specificità} = 1 - \frac{V_n}{V_n + F_p}$$

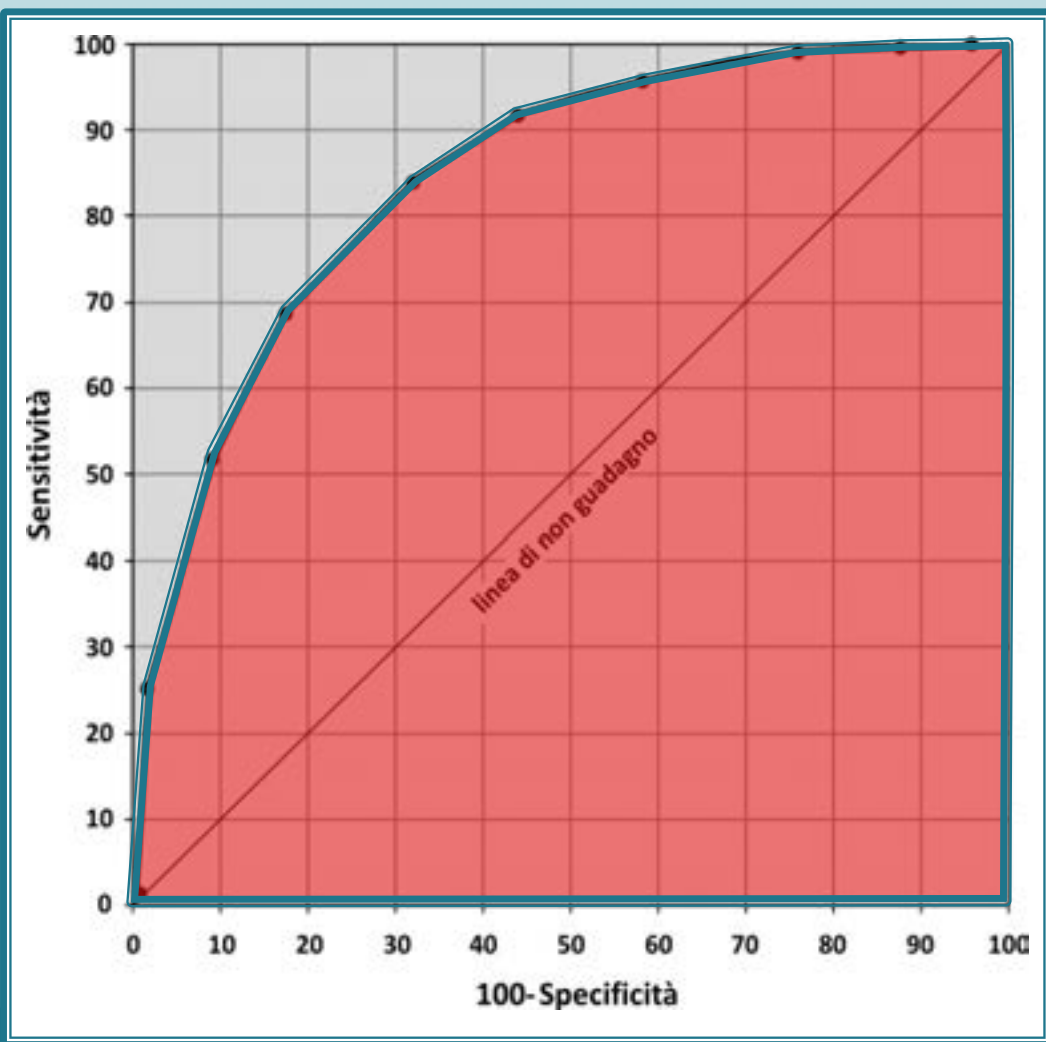
$V_n$  = unità territoriali correttamente stimate stabili [*Vere negative*]

$V_n + \text{False positive } (F_p)$  = unità territoriali stimate stabili



# Curva ROC

(valori percentuali)



Una semplice misura della bontà del modello è l'*Area Under Curve* (AUC);

La linea di non guadagno rappresenta le prestazioni di un modello che fornisce risultati del tutto casuali (AUC=0.5).

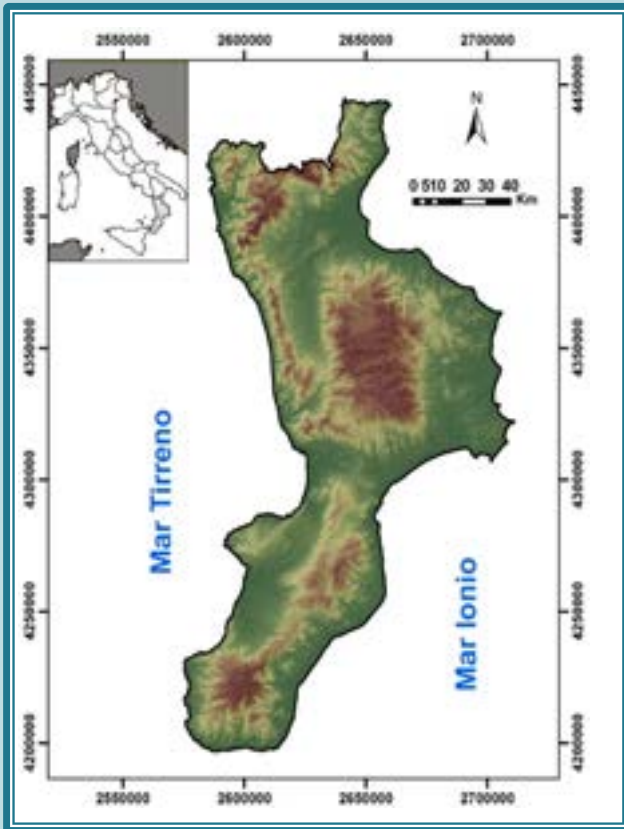
I risultati prodotti dal modello sono tanto più soddisfacenti quanto più si posizionano in alto (AUC prossimo a 1) rispetto alla linea di non guadagno.



# Casi di studio

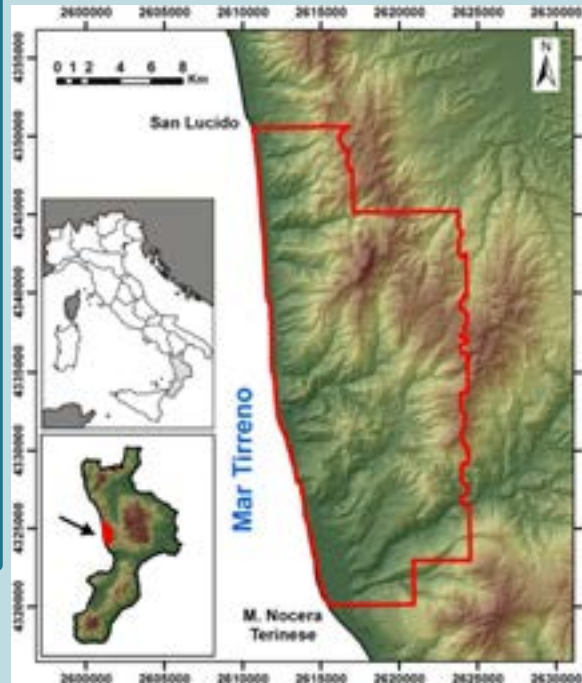
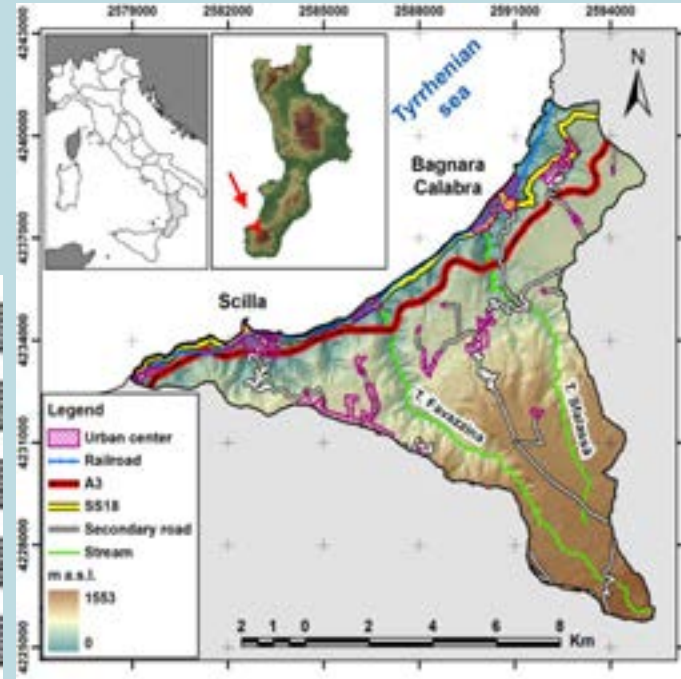
## REGIONE CALABRIA

15.076 km<sup>2</sup>



## COSTA VIOLA

82.2 km<sup>2</sup>



## CATENA COSTIERA

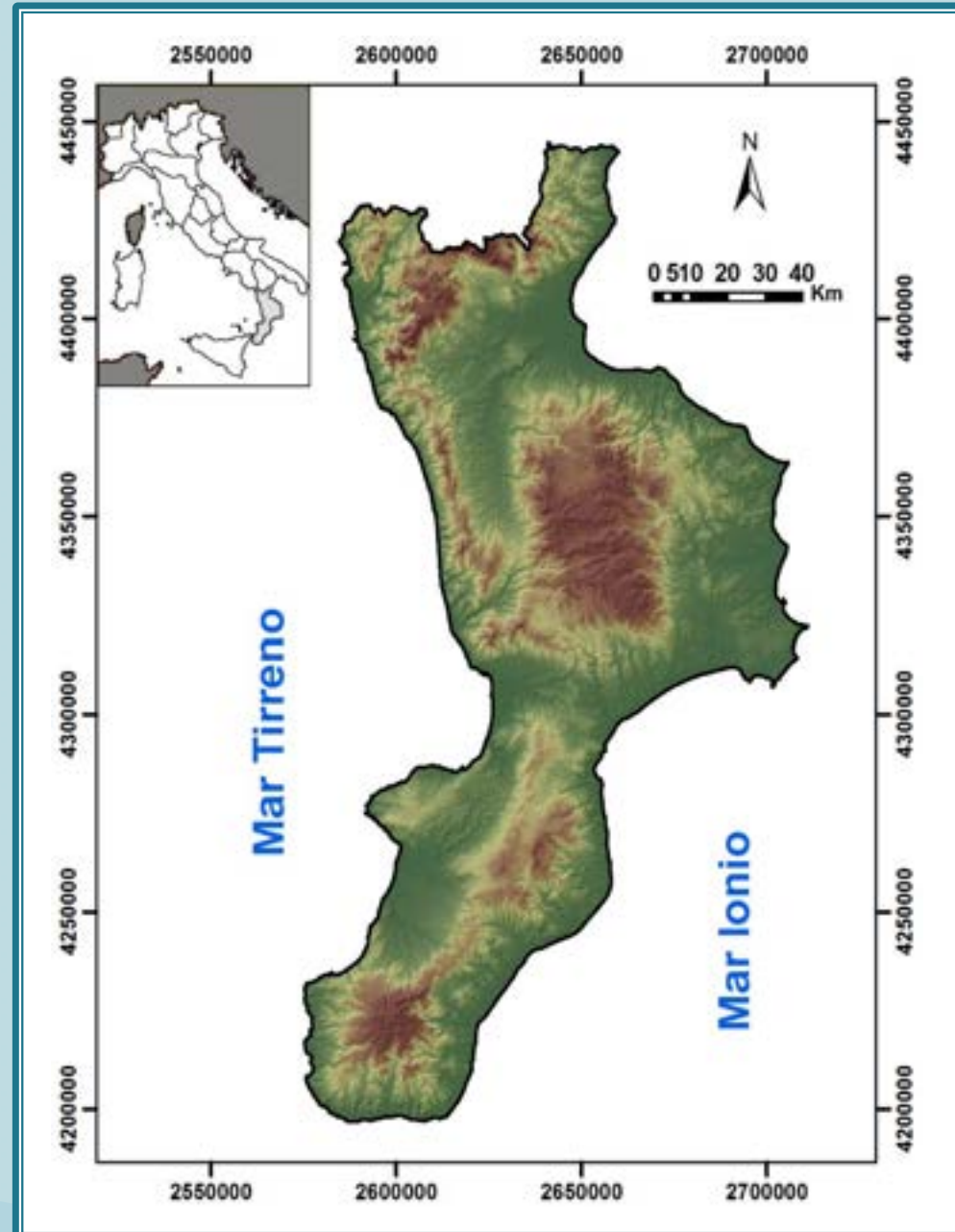
306 km<sup>2</sup>



# Regione Calabria

Area di studio di 15.076 km<sup>2</sup>.

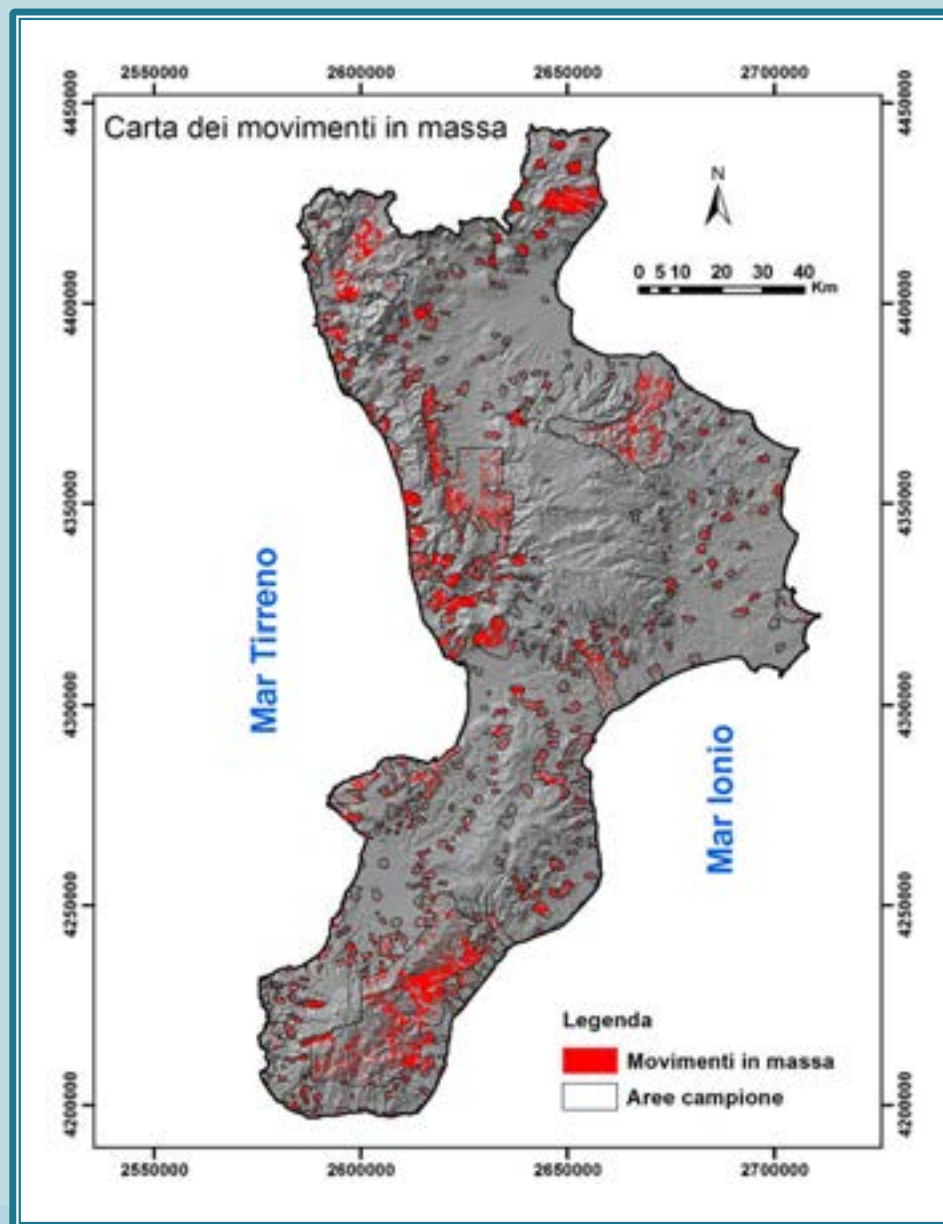
*Studio inedito*  
*Roberto Greco, Marino Sorriso-Valvo,*  
*Oreste G. Terranova (2010)*



# MAPPA DEI FENOMENI DI MOVIMENTO IN MASSA

mappe preesistenti (PAI, IRPI) – fotointerpretazione – rilievi sul terreno

TIPOLOGIA	N.	S. kmq	%
Crollo	329	4,6	0,5
Colata rapida	2672	22,2	2,3
Colamento	561	30,2	3,2
DGPV	158	87,8	9,2
Complessa	494	143,8	15,1
Scorrimento	5612	214,8	22,5
Zona franosa	3359	450,4	47,2
tot	14185	953,8	100,0

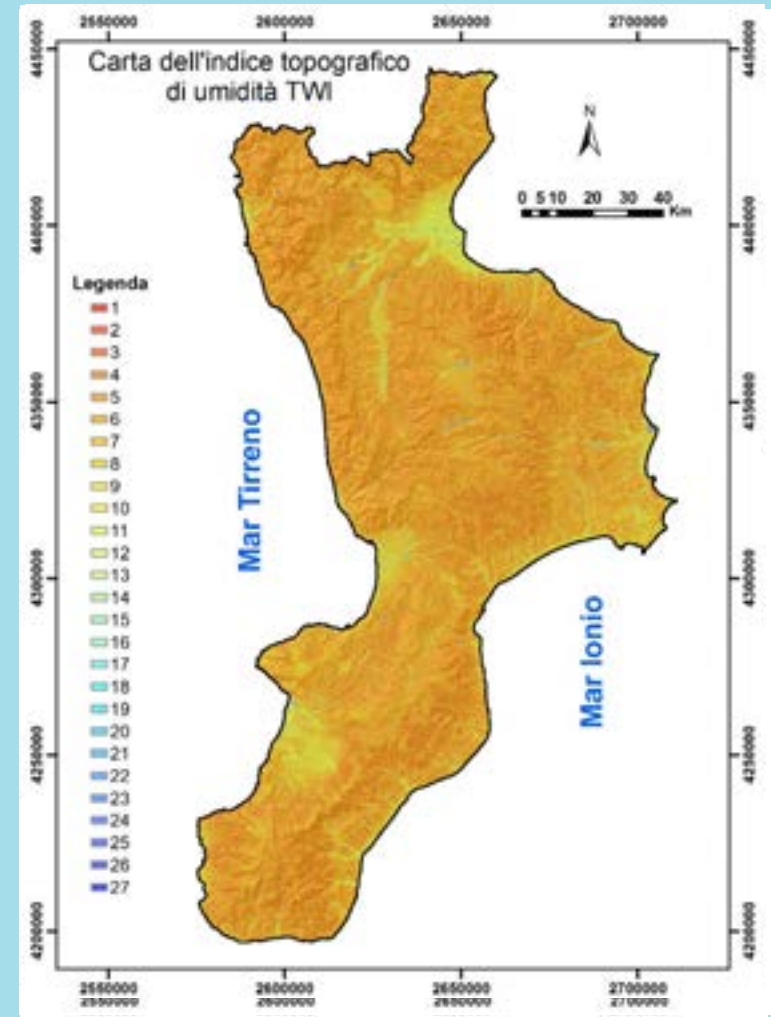


# VARIABILI TERRITORIALI INDIPENDENTI

da fotointerpretazione – rilievi – dati preesistenti – processing del DEM

LE VARIABILI UTILIZZATE SONO 11:

- 1) LITOLOGIA (da CasMez)
- 2) USO DEL SUOLO (Corine Land Cover)
- 3) UNITA' PEDOLOGICHE (ARSSA)
- 4) QUOTA (DEM)
- 5) PENDENZA (DEM)
- 6) ESPOSIZIONE (DEM)
- 7) CURVATURA PERPENDICOLARE (DEM)
- 8) CURVATURA PARALLELA (DEM)
- 9) INDICE TOPOGRAFICO DI UMIDITA'  
(DEM)



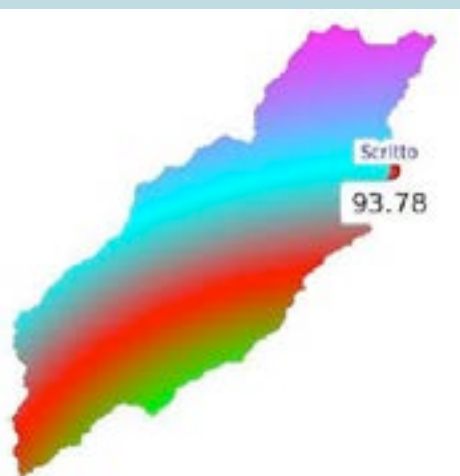
L'aggressività climatica è un aspetto estremamente rilevante nella valutazione della suscettibilità da frana di un territorio.

Con lo scopo di individuare un indice di aggressività climatica di facile applicabilità, adatto alla realtà del territorio nazionale e valido anche per altre tipologie di dissesto considerate dal progetto (erosione idrica, piene da deflusso istantaneo) è stato scelto l'indice di Fournier modificato da Arnoldus (1977)

È risultato infatti che  $F_{FAO}$  è molto ben correlato con altre variabili climatiche associabili all'insorgenza e/o riattivazione di dissesti idrogeologici ed è pertanto in grado di fornire una valutazione sintetica della probabilità di occorrenza di eventi pluviometrici intensi. Scrinzi *et alii*, 2006.

Dai dati pluviometrici si è calcolato l'indice di Fourier modificato da Arnoldus(1977), indicato come  $F_{FAO}$ , che rappresenta un indice di aggressività climatica, e ricavabile dalla relazione:

$$F_{FAO} = \left( \sum_{j=1}^{12} p_i^2 \right) / P$$



Scrizi et alii 2006  
669 stazioni italiane

Classe	Descrizione
alta	$F_{FAO} > 150$
media	$100 < F_{FAO} < 150$
bassa	$F_{FAO} < 100$

La scelta della soglia di 100 mm, al di sotto del quale l'aggressività climatica è da considerare modesta, è confortata dagli studi di Rice ed al. (1982). Essi hanno elaborato un indice di gravità delle precipitazioni (S) nei confronti dei fenomeni franosi superficiali di tipo "debris slide/avalanche" che presenta la forma:

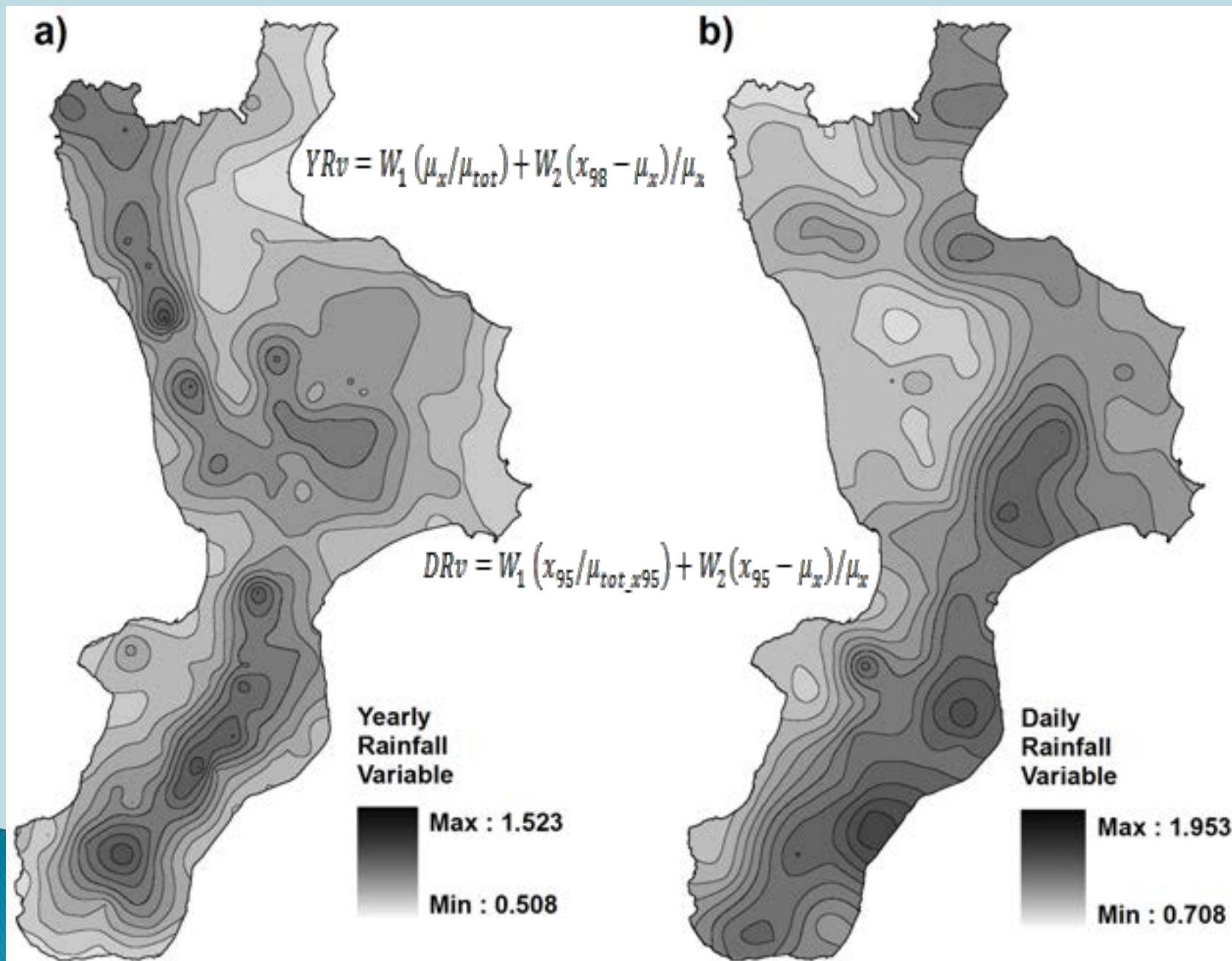
$$S = \log_{10} \left( 0,081 \cdot A_{ff}^{0,93} \cdot D^{-0,57} \right)$$

Aff è l'afflusso in millimetri e D la durata in ore dell'evento.



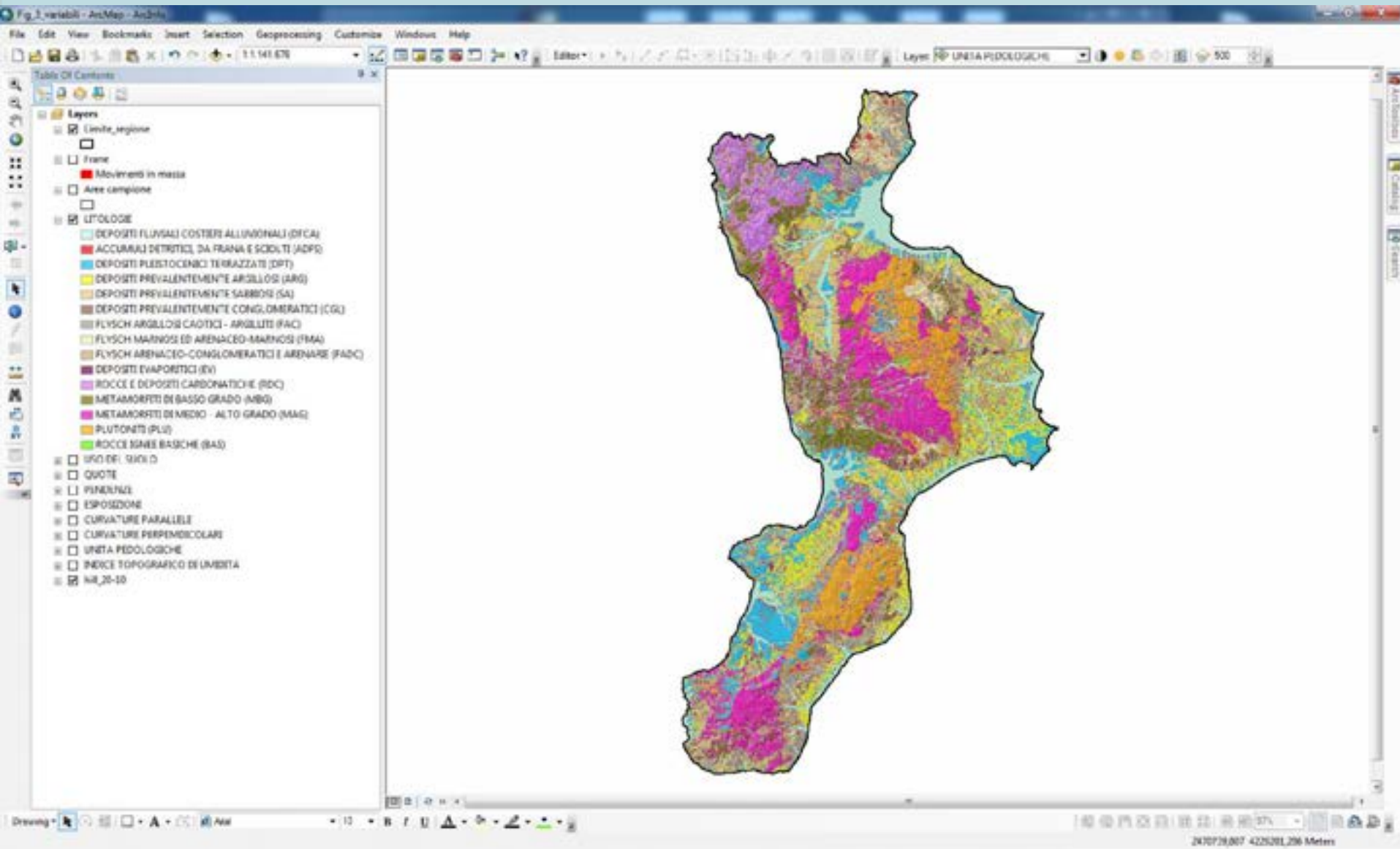
# 10) INDICE DI ANOMALIA DELLE PIOGGE ANNUALI

# 11) INDICE DI ANOMALIA DEI MASSIMI ANNUALI DELLE PIOGGE GIORNALIERE



# DATABASE GIS

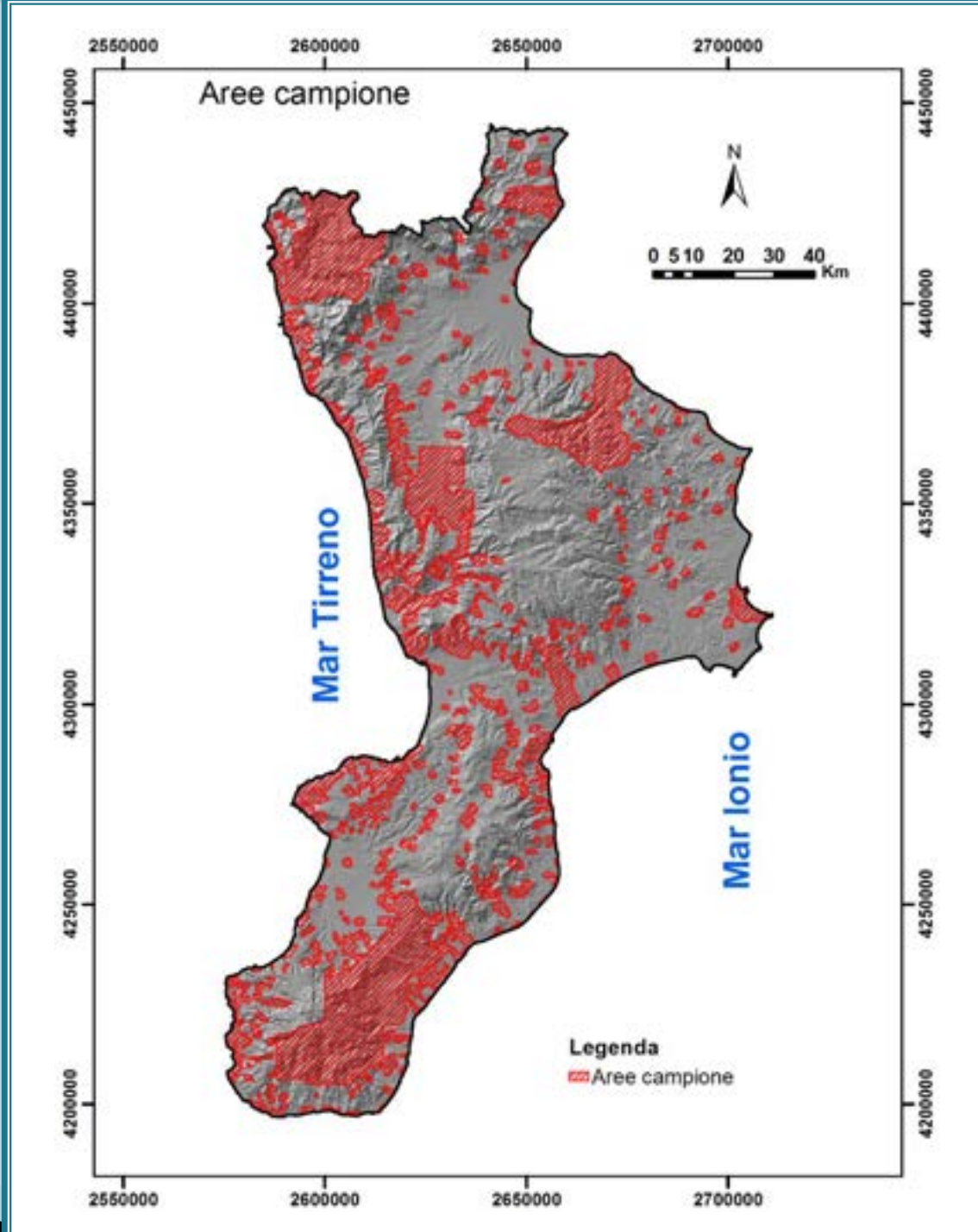
BASATO SU CELLA QUADRATA DI 40m



## CAMPIONAMENTO

Costituito dalle aree con fenomeni franosi rilevati

Le frane occupano un'area di 3.924 km<sup>2</sup>, pari al 26% del territorio regionale



## CALCOLO DEI COEFFICIENTI DI REGRESSIONE

Variabili	Raggruppate	Crollo	Scorrimento	Colamento	Complessa	DGPV	Colata rapida	Zona franosa
Litologia	0.034	0.031	0.031	0.031	<u>0.034</u>	0.031	0.026	0.032
Uso del suolo	0.028	0.029	0.038	0.035	0.028	0.038	0.047	0.021
Unità pedologica	0.028	0.027	0.031	0.023	0.027	0.039	0.016	0.021
Quota	0.034	–	0.012	0.013	0.033	0.036	0.042	0.017
Pendenza	<u>0.043</u>	<u>0.042</u>	<u>0.046</u>	0.019	0.016	0.031	<u>0.056</u>	–
Esposizione	0.011	–	0.024	<u>0.051</u>	0.017	<u>0.046</u>	0.035	0.010
Curvatura Perp.	0.031	–	0.026	0.020	0.021	0.043	0.033	–
Curvatura Parall.	0.032	0.036	0.031	0.029	0.024	–	0.018	<u>0.034</u>
Indice Topografico								
Umidità	–0.005	0.008	0.043	0.034	0.031	–	0.031	0.025
RMSE	0.383	0.439	0.460	0.457	0.461	0.465	0.440	0.465
Chi-Square	357,482	1,938	84,925	11,262	50,969	32,063	9,004	161,364

$$P(y) = \frac{1}{1+e^{-y}}$$

con

$$y = a_0 + a_1x_1 + \dots + a_nx_n$$

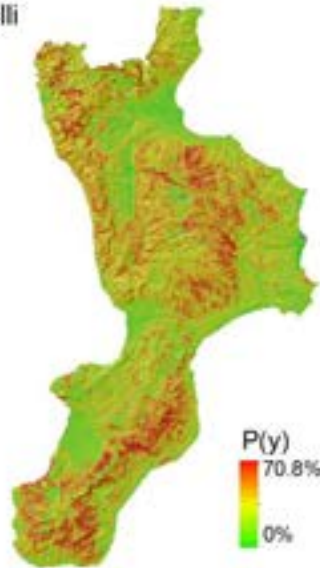


# Mappe di Suscettibilità

Indifferenziate



Crolli



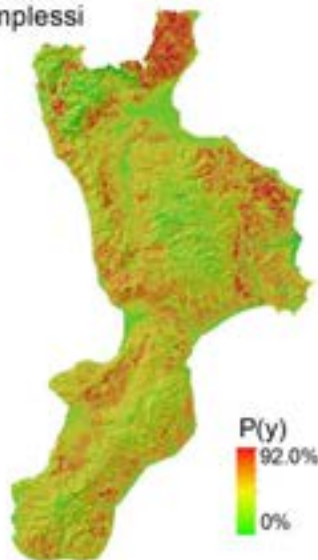
Scorrimenti



Colamenti



Complessi



DGPV



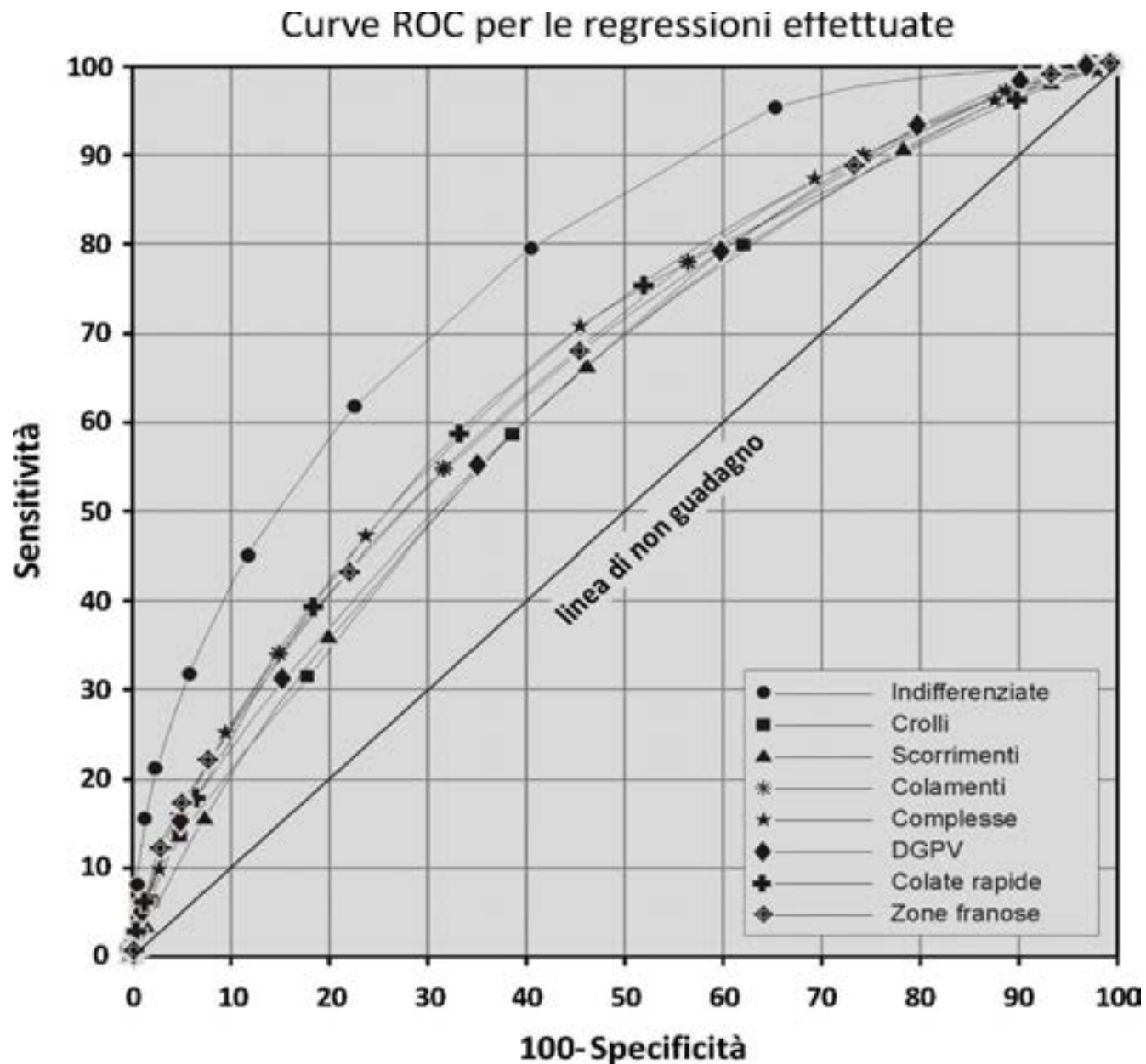
Colate rapide



Zone franose



# Validazione

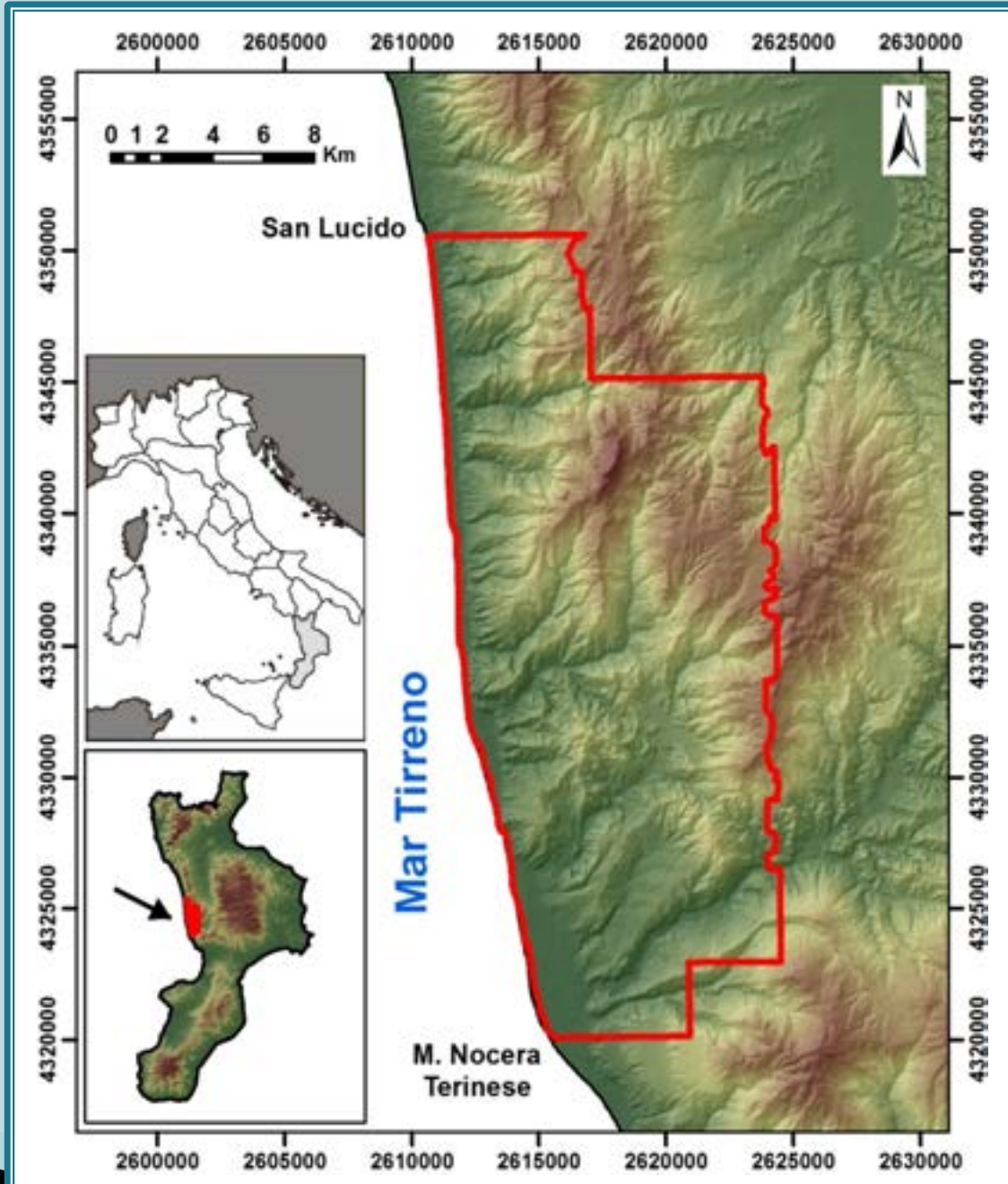


# Catena Costiera

Area di studio di 306 km<sup>2</sup>,  
comprendente la porzione  
meridionale della Catena  
Costiera.

*Roberto Greco, Marino Sorriso-Valvo,  
Giulio Iovine – CNR-IRPI – U.O.S. of  
Cosenza 2010*

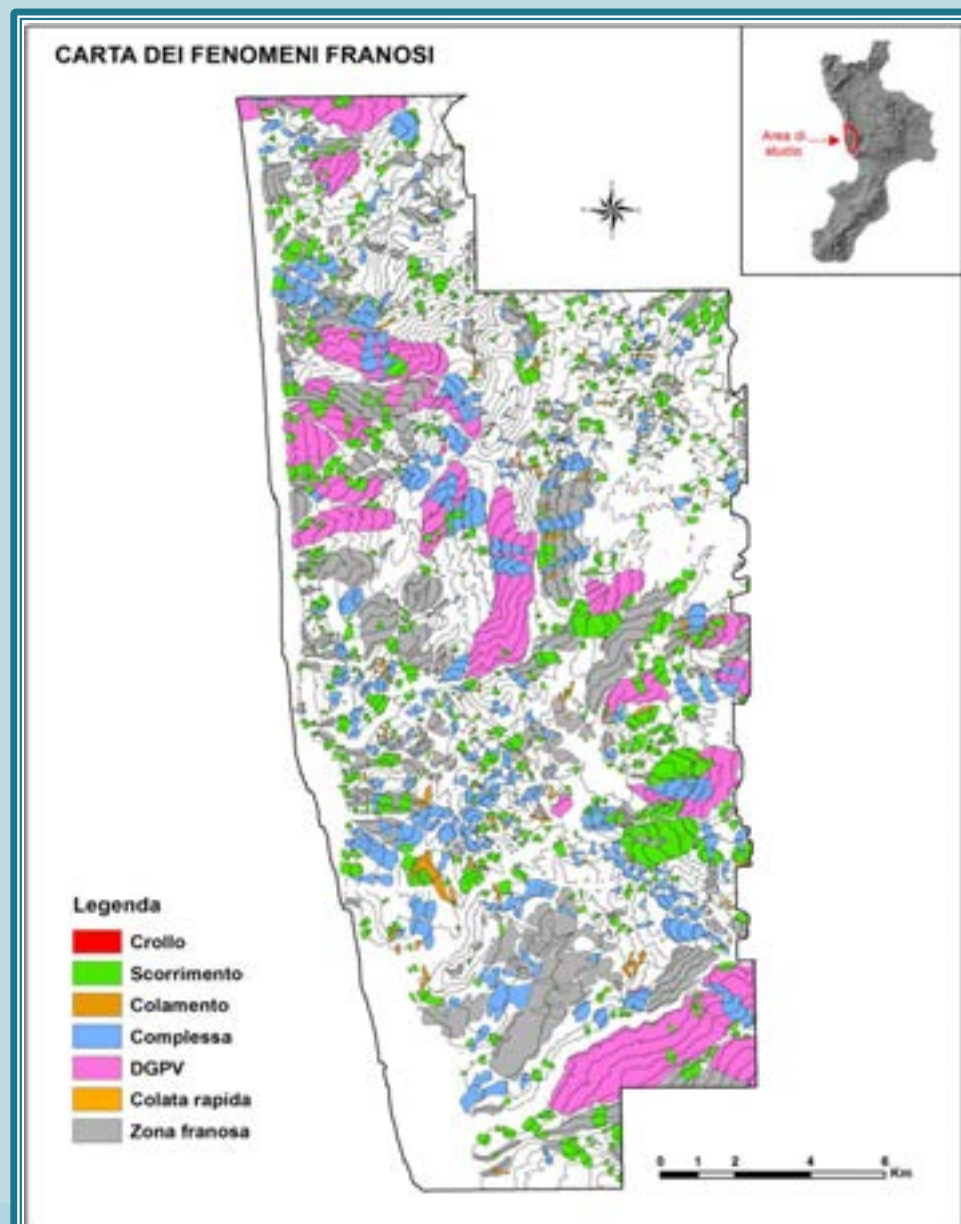
*Studio sviluppato nell'ambito dei  
POR Calabria 2000-2006, Lotto 1  
«Sviluppo e applicazione di metodi  
per la valutazione della pericolosità  
dei fenomeni di dissesto dei  
versanti»*



# Cartografazione dei fenomeni di movimento in massa

(fotointerpretazione – rilievi sul terreno)

TIPOLOGIA	N.	S. kmq	%
Crollo	41	0,126	0,10
Colata rapida	270	0,432	0,33
Colamento	213	2,25	1,70
Scorrimento	1358	27,90	21,06
Complessa	952	28,31	21,36
DGPV	135	33,23	25,08
Zona franosa	1407	40,25	30,38
tot	4376	132,49	100,00



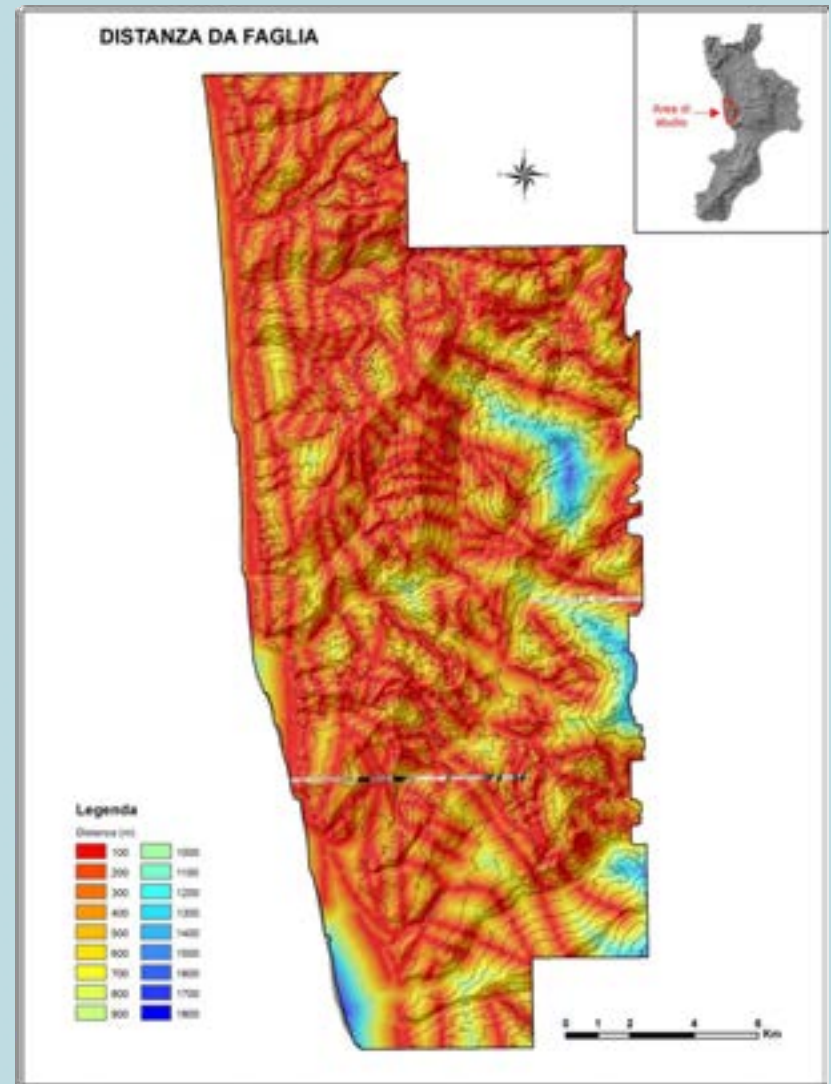
## VARIABILI TERRITORIALI INDIPENDENTI

da fotointerpretazione – rilievi – dati preesistenti – processing del DEM

LE VARIABILI UTILIZZATE SONO 9:

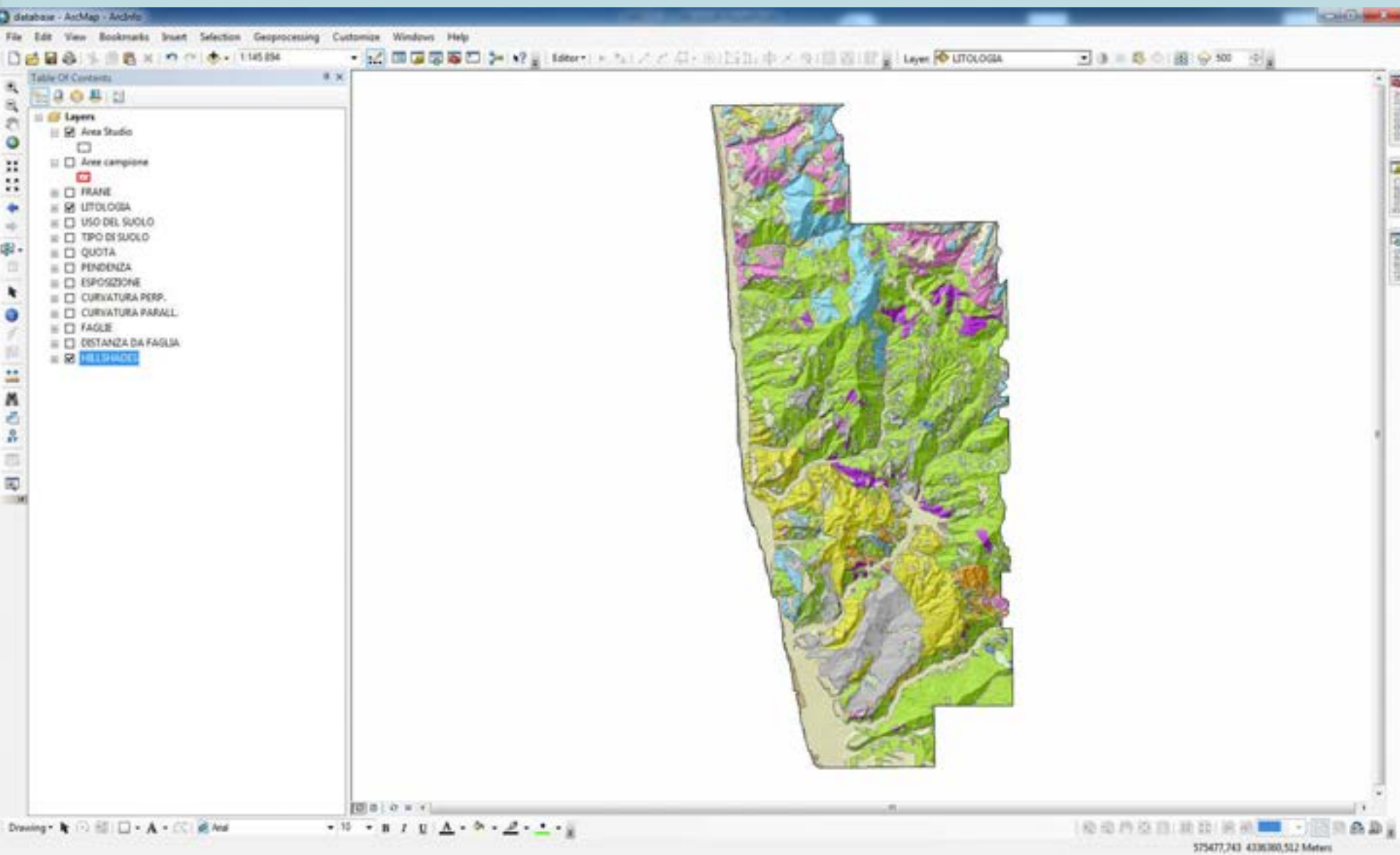
- 1) LITOLOGIA (da CasMez)
- 2) USO DEL SUOLO (Fotoint.)
- 3) UNITA' MORFOLOGICHE (ARSSA)
- 4) QUOTA (DEM)
- 5) PENDENZA (DEM)
- 6) ESPOSIZIONE (DEM)
- 7) CURVATURA PERPENDICOLARE (DEM)
- 8) CURVATURA PARALLELA (DEM)

**9) DISTANZA DA FAGLIA (Fotoint.)**



# DATABASE GIS

BASATO SU CELLA QUADRATA DI 20m

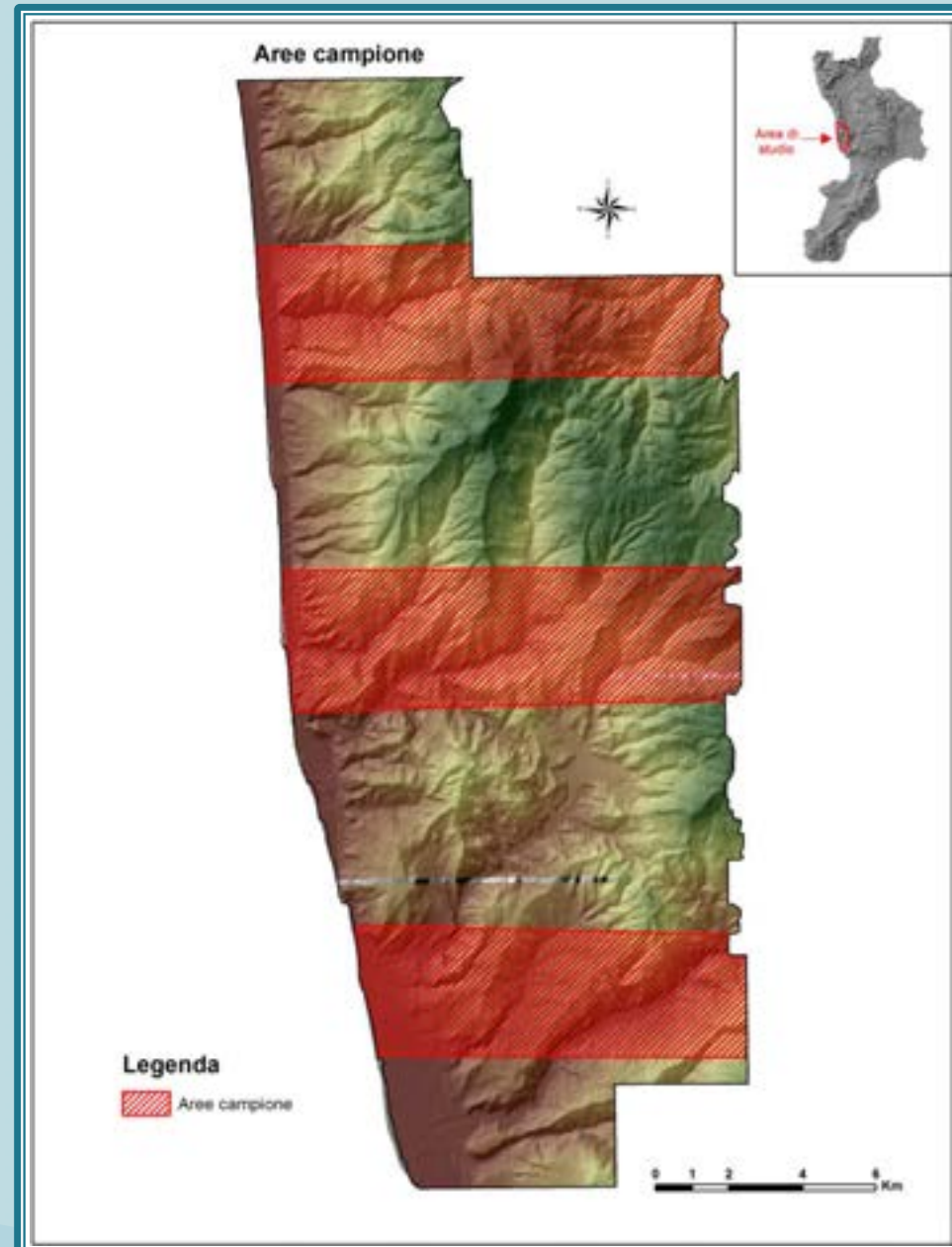


# CAMPIONAMENTO

I transetti occupano una superficie di 122 km<sup>2</sup> pari a circa il 39% dell'area di studio.

Per ciascuna tipologia di fenomeno considerato è stato generato un *training set*.

(7 tipologie + fenomeni raggruppati)



## CALCOLO DEI COEFFICIENTI DI REGRESSIONE

Variabili	Raggruppate	Crollo	Scorrimento	Colamento	Complessa	DGPV	Colata rapida	Zona franosa
Litologia	0,027	-0,030	0,031	0,037	0,036	0,020	0,050	0,028
Uso del suolo	0,019	0,050	<u>0,033</u>	0,026	0,033	0,029	<u>0,057</u>	0,016
Unità morfologica	0,026	0,010	0,026	0,008	0,028	<u>0,036</u>	-0,001	0,024
Quota	0,022	0,034	0,022	0,020	0,036	0,020	0,045	0,018
Pendenza	0,021	<u>0,056</u>	0,032	0,006	0,027	0,017	0,046	0,033
Esposizione	0,016	0,046	0,019	0,035	0,025	0,034	0,038	<u>0,038</u>
Curvatura Perp.	<u>0,039</u>	-0,002	0,030	<u>0,047</u>	0,032	-0,007	0,045	0,006
Curvatura Parall.	0,017	0,021	-0,010	-0,003	0,003	-0,005	0,025	0,006
Distanza da faglia	0,020	-0,014	-	0,037	<u>0,049</u>	0,034	-	0,027
RMSE	0,455	0,436	0,462	0,448	0,463	0,449	0,451	0,466
Chi-Square	484201	3148	695590	54561	668653	648239	11372	903397

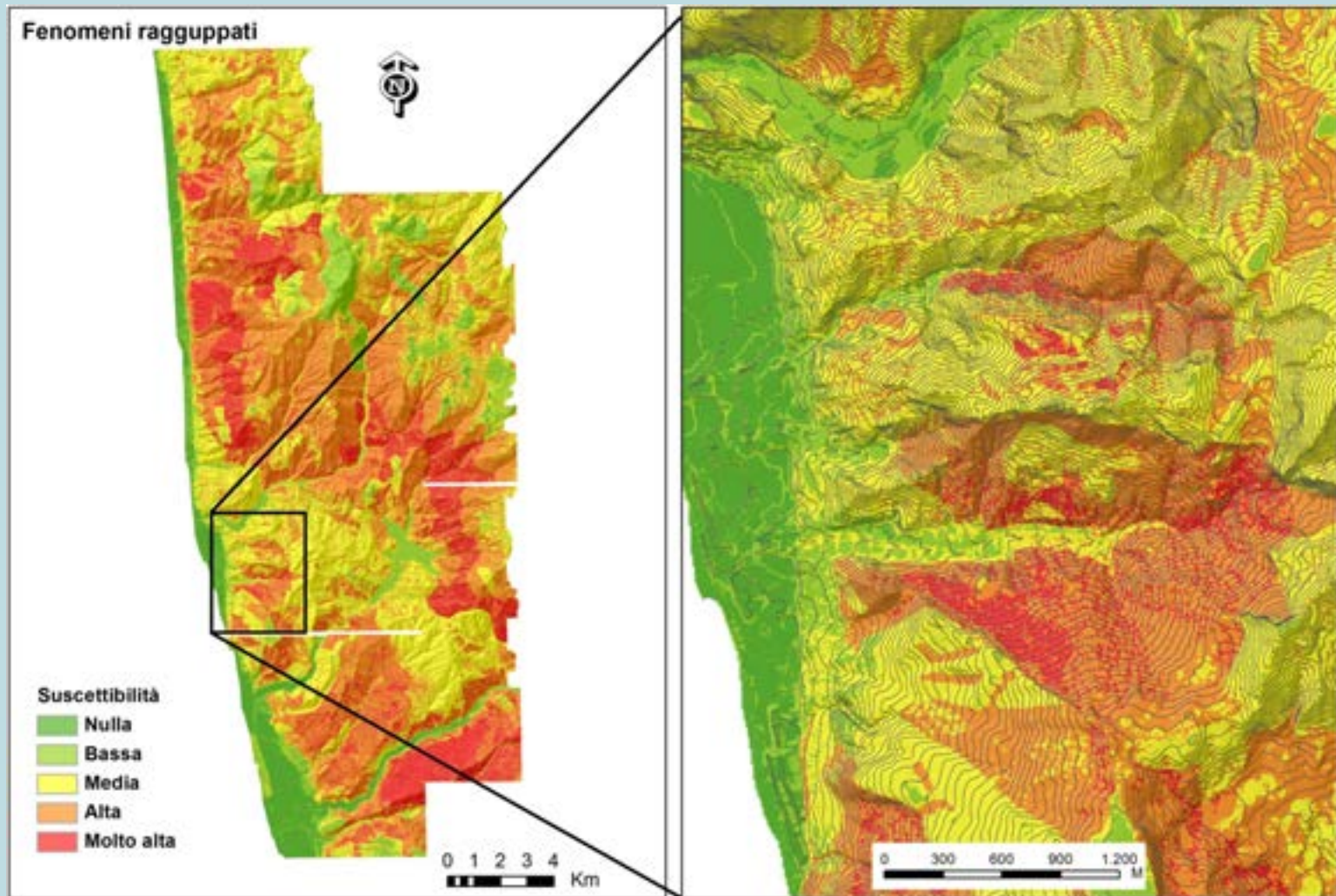
$$P(y) = \frac{1}{1+e^{-y}}$$

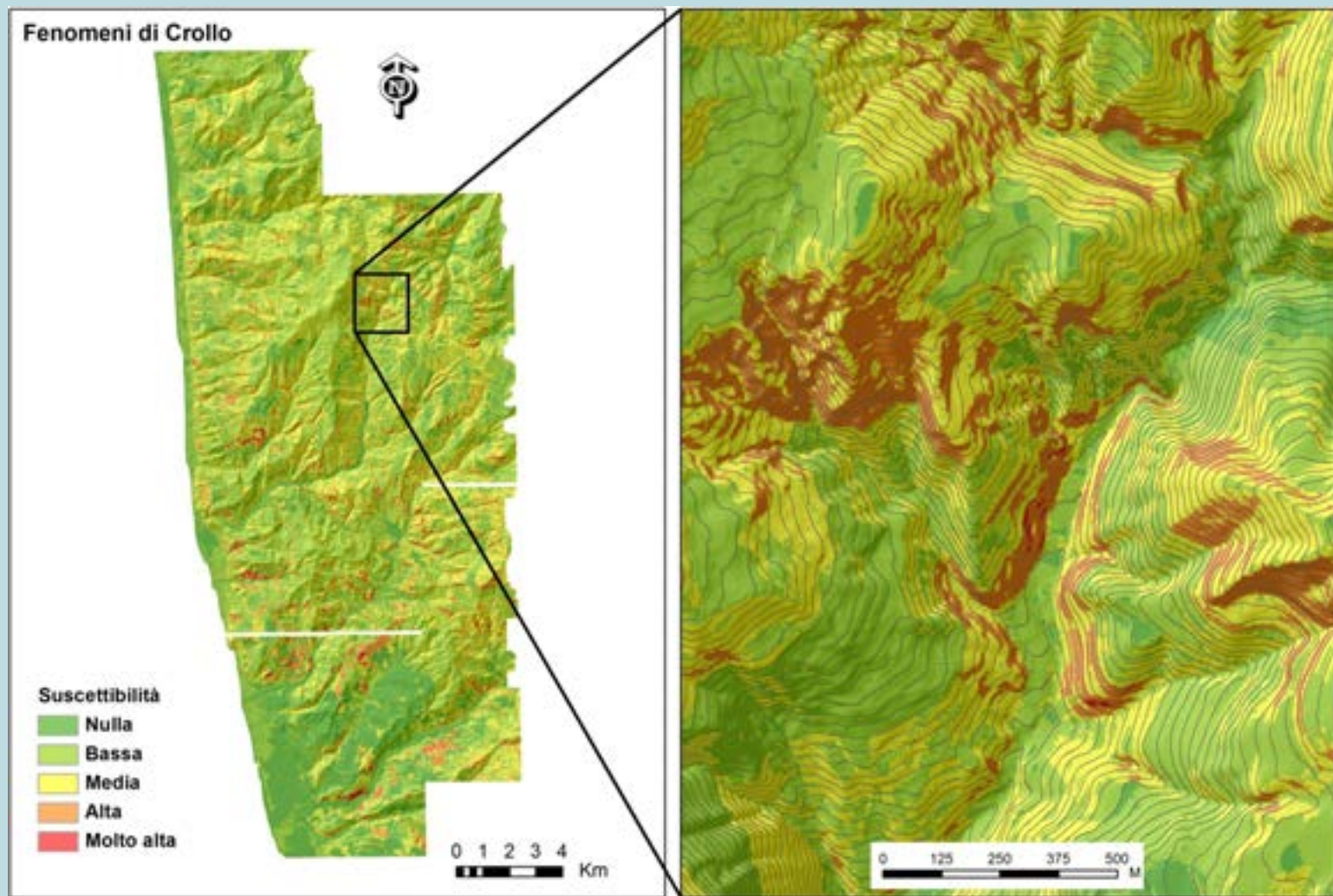
con

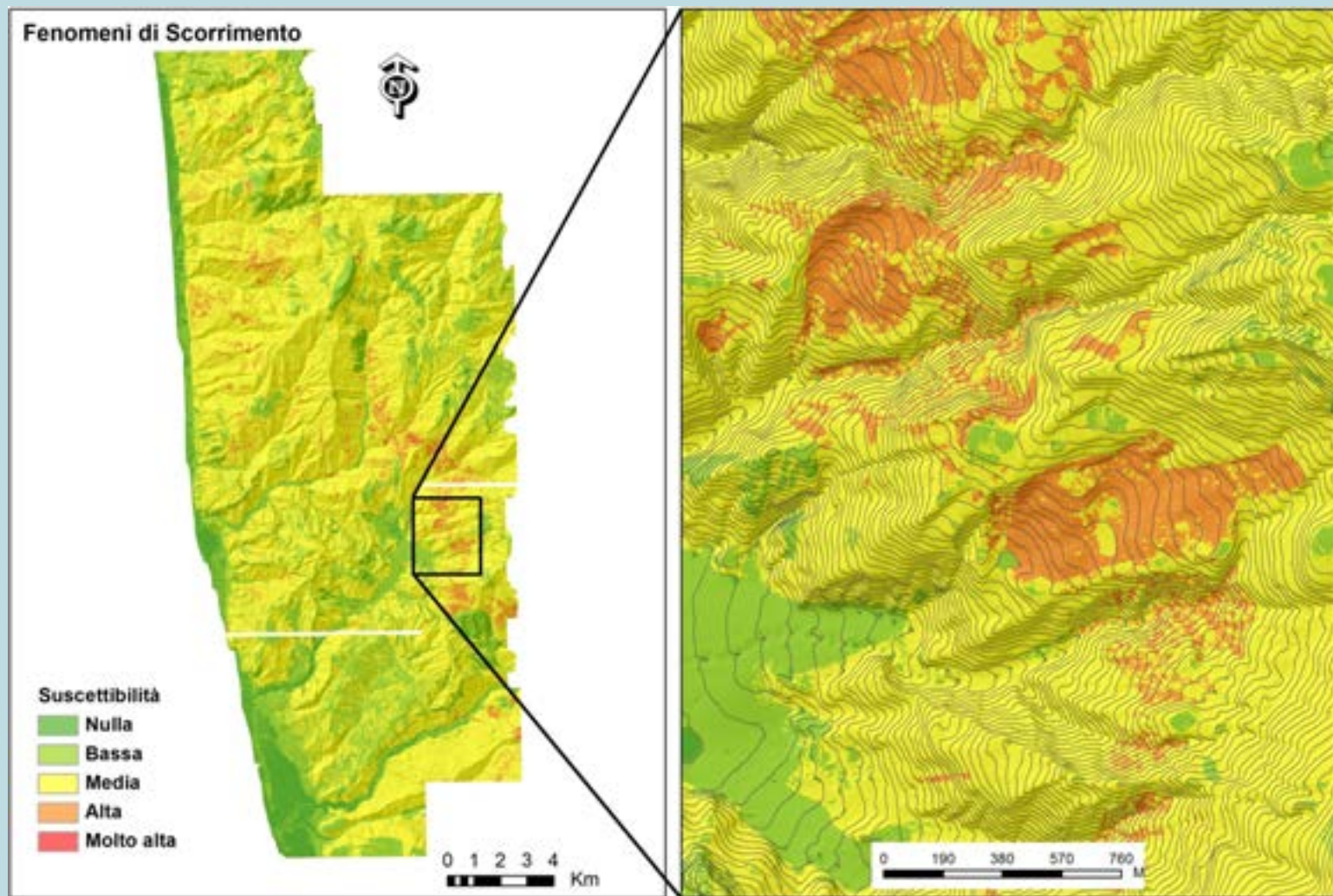
$$y = a_0 + a_1x_1 + \dots + a_nx_n$$

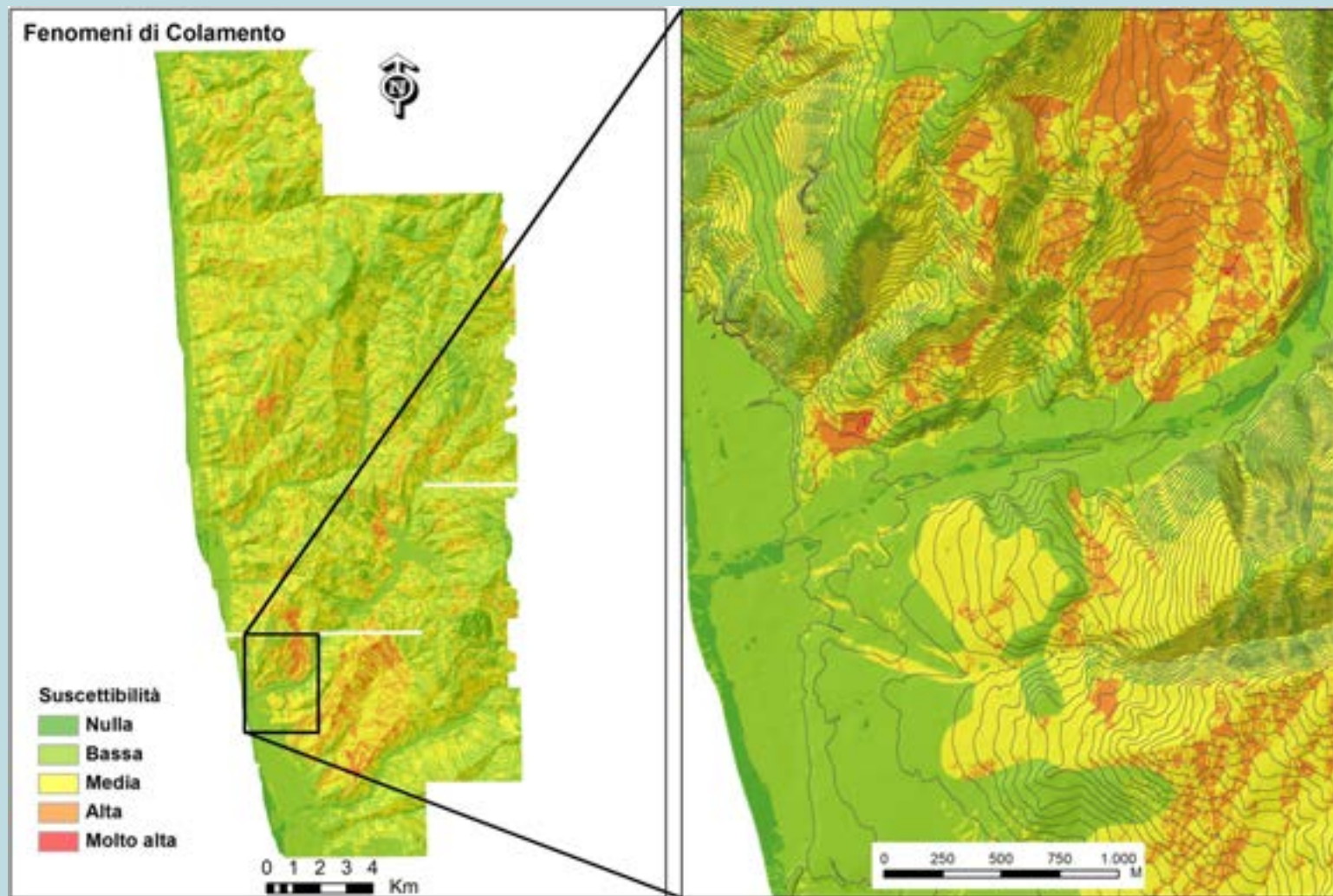


# Mappe di Suscettibilità









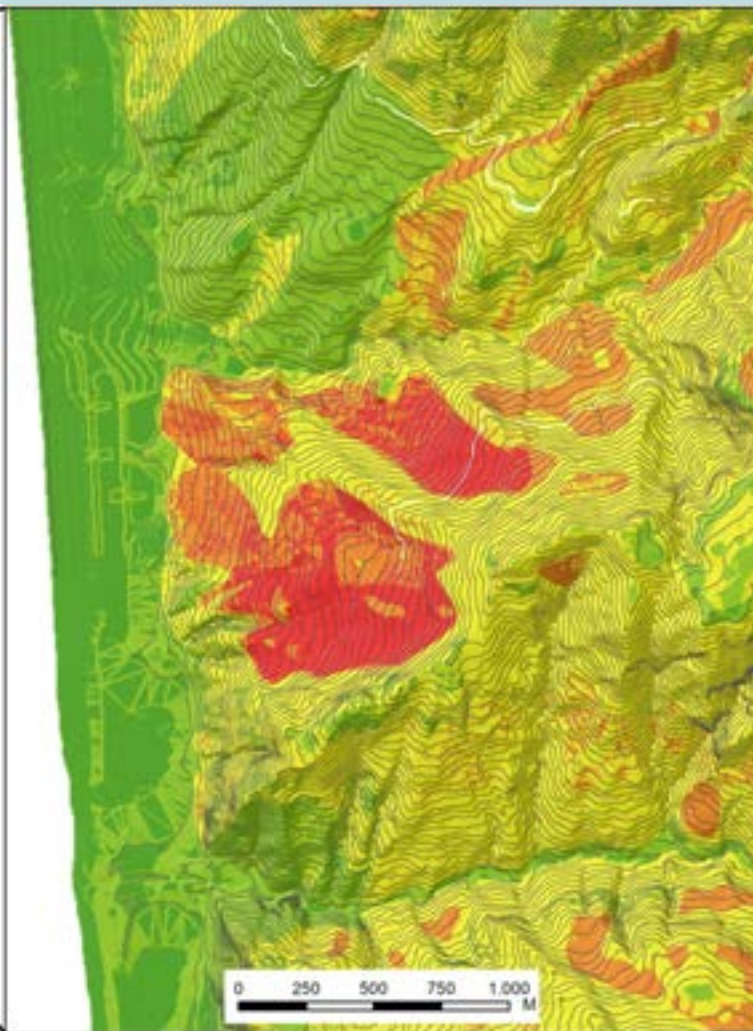
## Fenomeni di tipo Complesso



### Suscettibilità

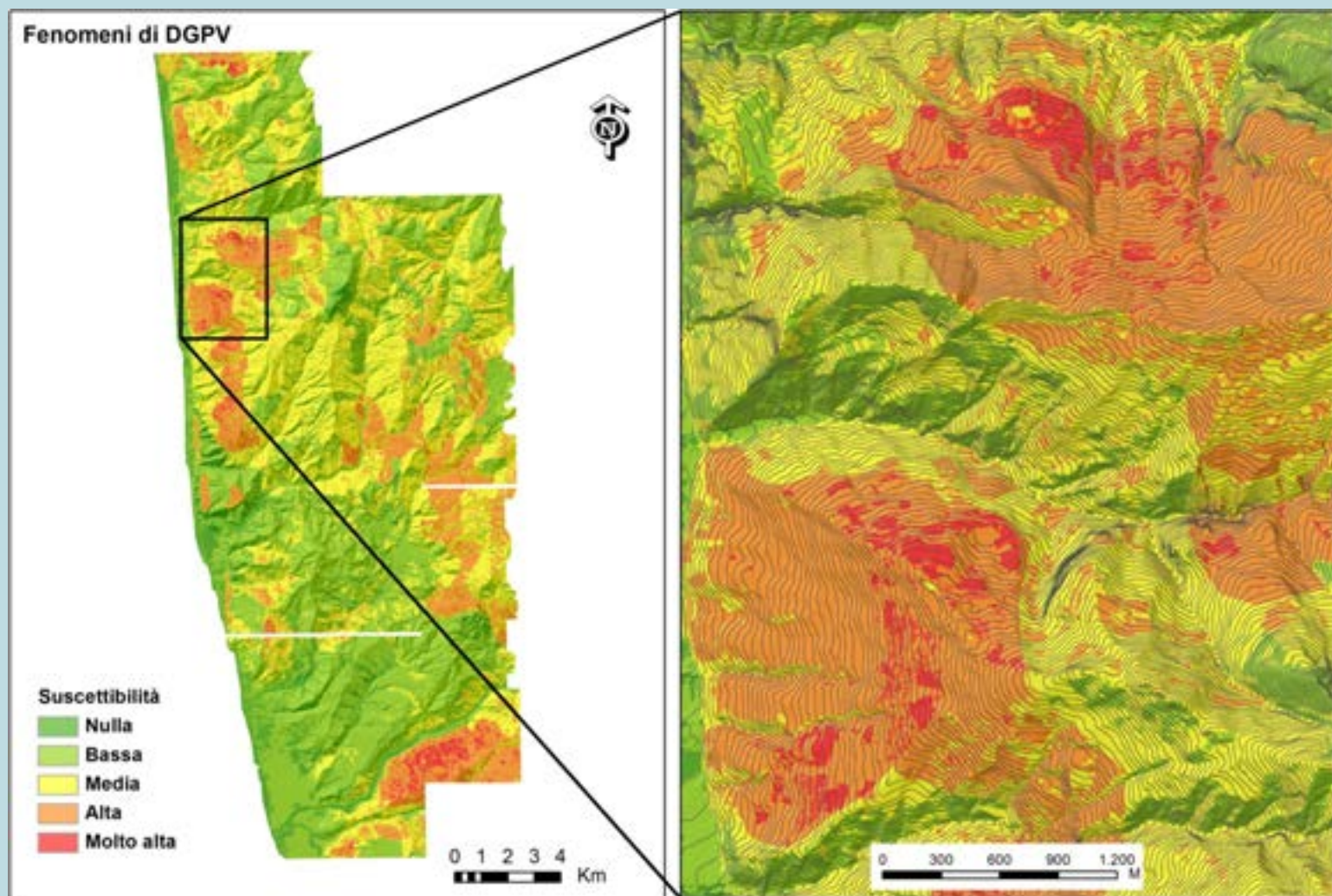
- Nulla
- Bassa
- Media
- Alta
- Molto alta

0 1 2 3 4  
Km

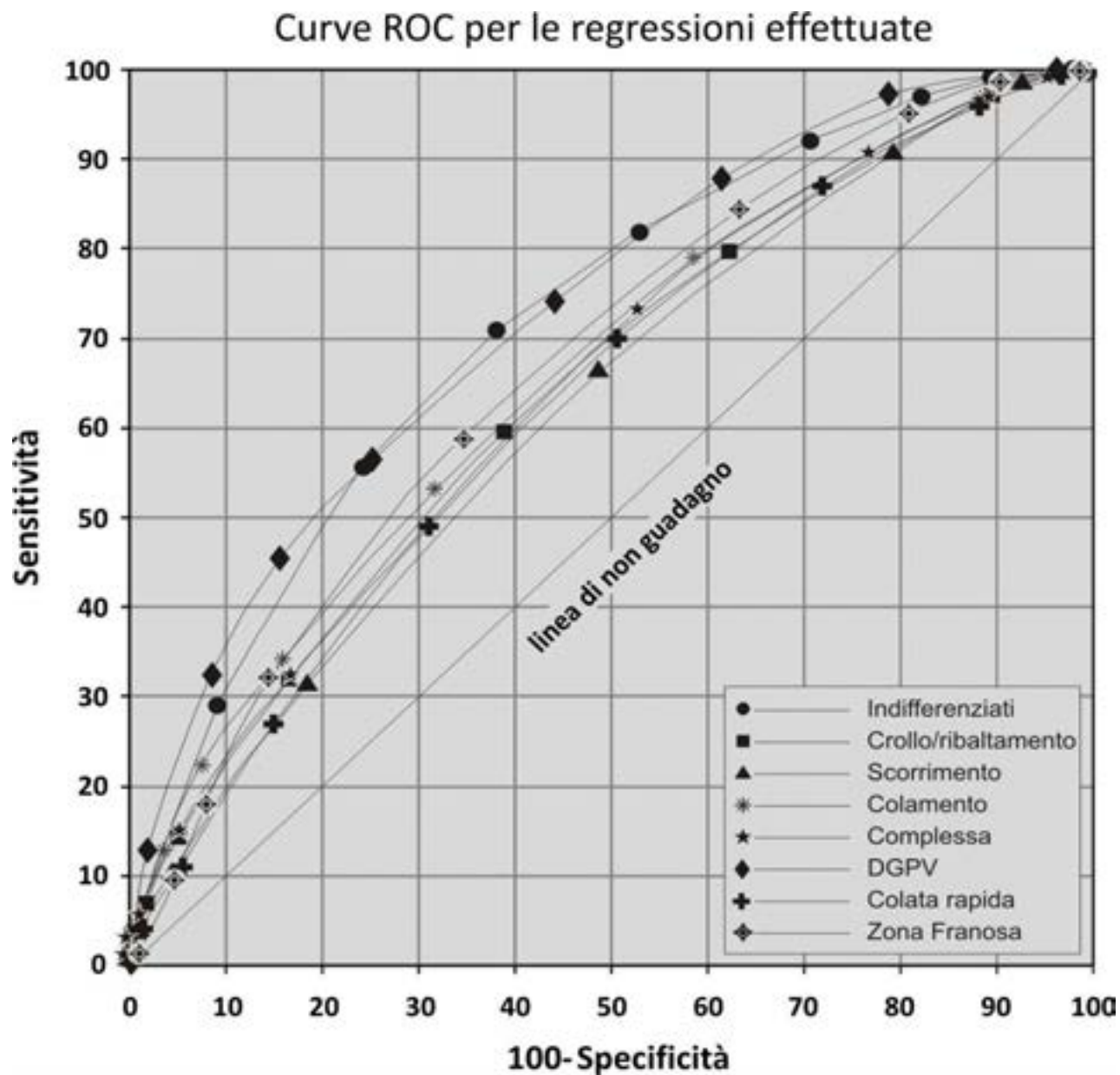


0 250 500 750 1,000  
M



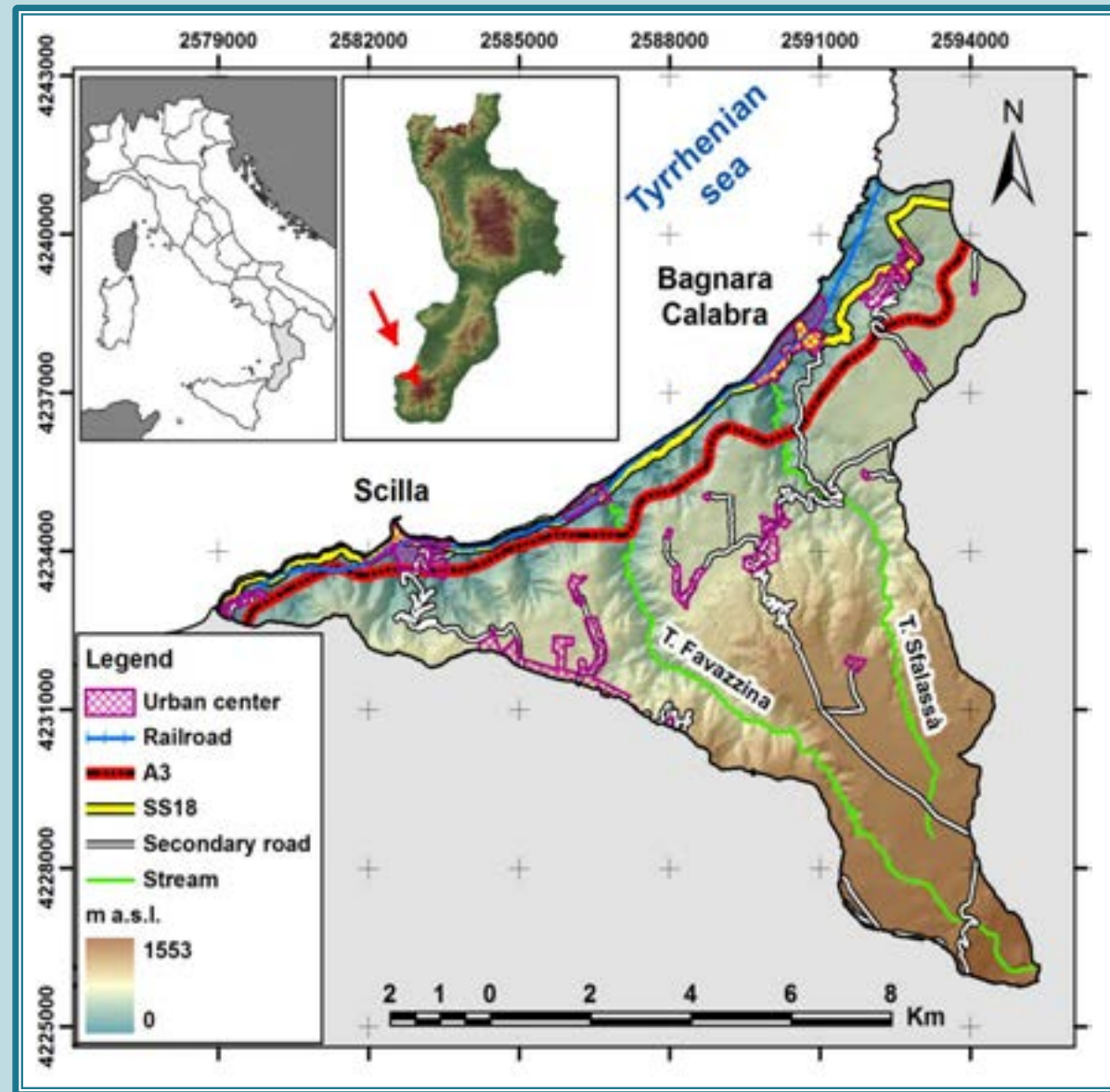


# Validazione



# Costa Viola

Area di studio di 82.2 km<sup>2</sup>, localizzata nel tratto di costa compreso tra Bagnara Calabra e Scilla, comprendente i bacini dei torrenti Favazzina e Sfalassà.



Giulio G.R. Iovine<sup>(1)</sup>, Roberto Greco<sup>(1)</sup>, Stefano L. Gariano<sup>(1)</sup>, Pasquale Iaquina<sup>(1)</sup>, A. D. Pellegrino<sup>(2)</sup>, Oreste G. Terranova<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> CNR-IRPI – U.O.S. of Cosenza, Calabria

Studio presentato al 2<sup>nd</sup> World Landslide Forum,  
3–7 Ottobre 2011, Roma



Fenomeno di scorrimento-colata di terra e detrito del 12 Maggio 2001, verificatosi nel Vallone Favagrega.

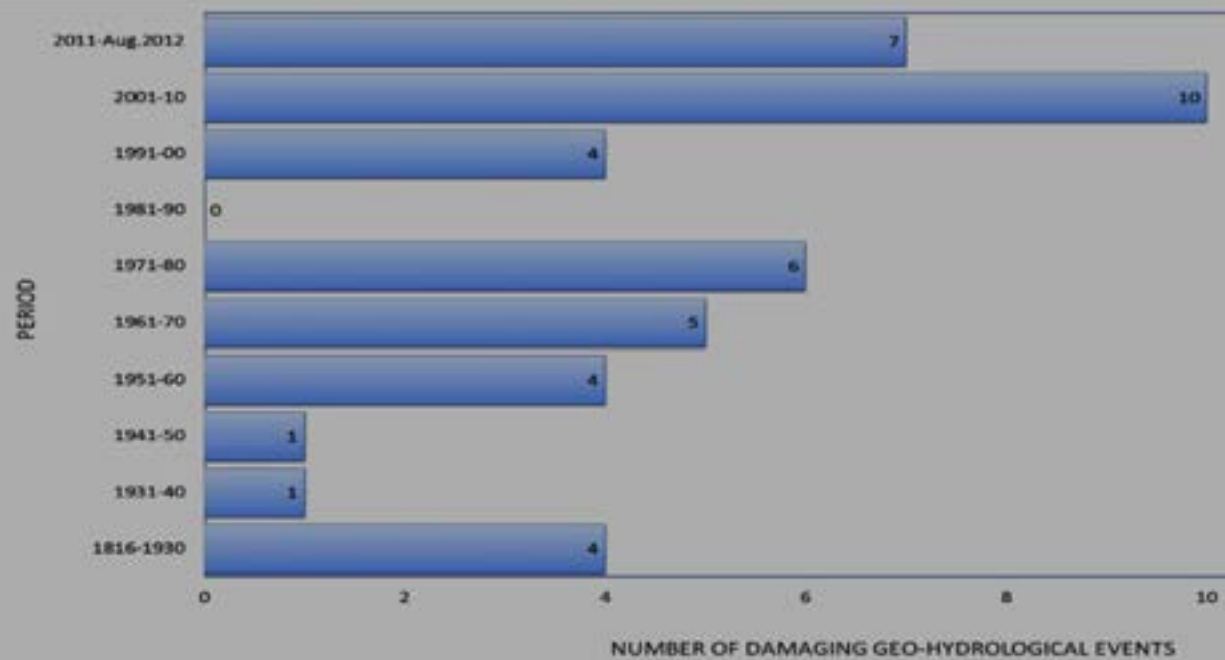
Fenomeno franoso di scorrimento-colata di terra e detrito del 31 Marzo 2005, verificatosi presso Favazzina.



Parte bassa e terminale del fenomeno franoso, che ha coinvolto la SS18 tra Scilla e Bagnara, la ferrovia e l'abitato di Favazzina.

Foto: Archivio ABR e Bonavina et al., 2005.





# MAPPATURA DEI FENOMENI TIPO SCORRIMENTO-COLATA

(training set: foto aeree '54-'55; validation set: foto aeree del '90-'91)

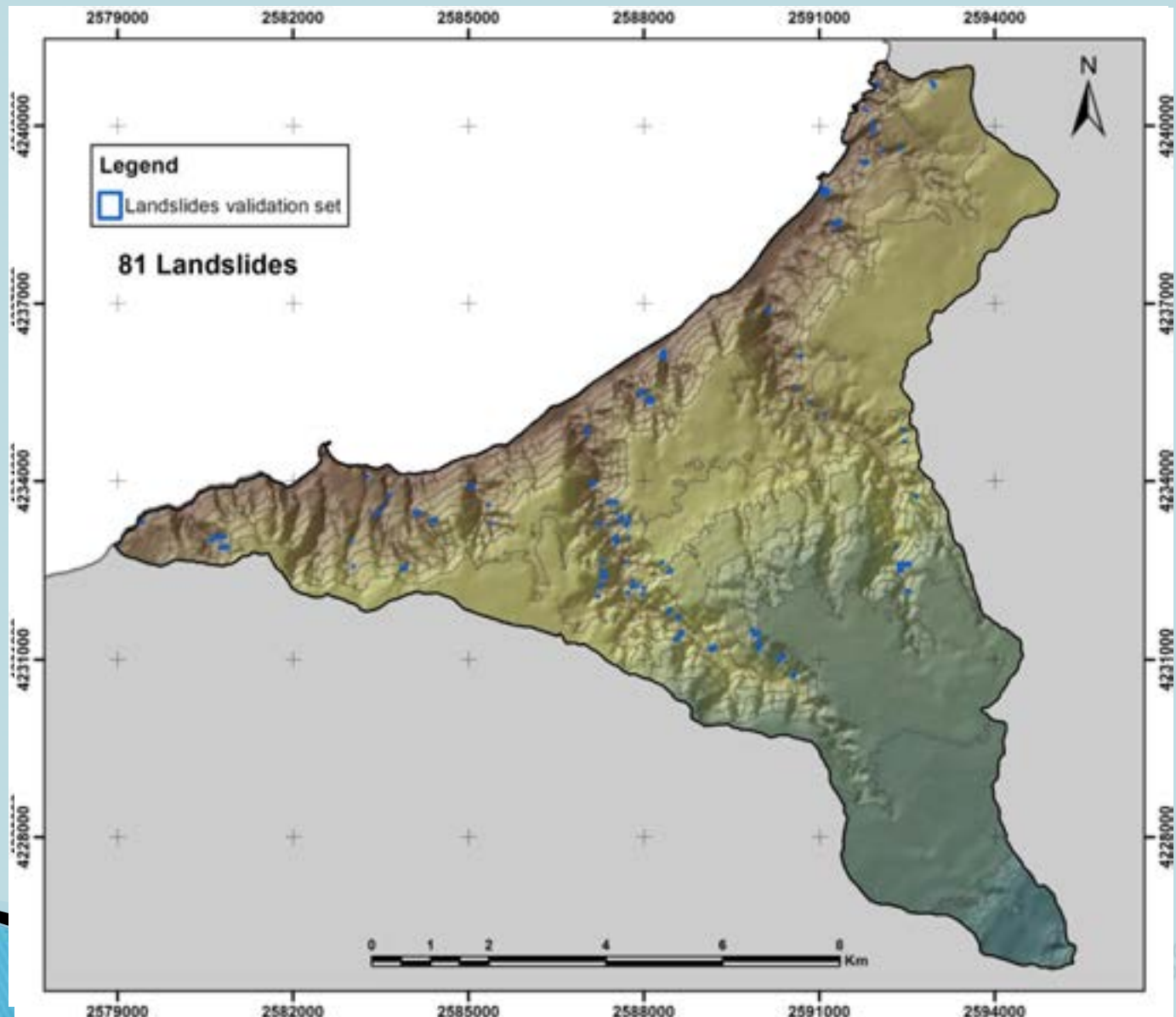


Table 2. Frequency of categories or classes of territorial factors in the study area.

Factor	Category/Class	(%)	Factor	Category/Class	(%)
Lithological Unit	GCD	39.80	Aspect	Flat	2.55
	SA	17.28		North	42.62
	CON	0.23		East	12.26
	IR	6.02		South	7.50
	MR	36.67		West	35.07
Land Use	UR	3.55	Across-slope curvature	Concave	46.68
	CA	33.29		Plane	11.73
	FP	0.38		Convex	41.59
	OG	0.78	Down-slope curvature	Concave	35.00
	DG	1.70		Plane	26.68
	SVA	0.48		Convex	38.32
	TWS	2.83	Topogr. Wetness Index	≤ 3	64.03
	HM	13.87		]3 – 6]	27.46
	FOR	43.11		]6 – 9]	6.61
Soil sand percentage	≤ 55	27.13		> 9	1.90
	]55 – 65]	60.52	Distance to road (m)	≤ 200	62.34
	]65 – 75]	2.00		]200 – 400]	24.09
	> 75	10.34		> 400	13.58
Elevation (m)	≤ 200	11.10	Distance to fault (m)	≤ 300	49.29
	200 – 400]	12.42		]300 – 600]	25.04
	]400 – 600]	30.20		> 600	25.67
	]600 – 800]	14.96	DR	≤ 1.0	19.00
	]800 – 1000]	8.56		]1.0 – 1.1]	38.84
	]1000 – 1200]	19.93		]1.1 – 1.2]	21.48
	]1200 – 1400]	2.54		]1.2 – 1.3]	13.61
	> 1400	0.29		> 1.3	7.07
Slope angle (°)	≤ 10	44.04			
	]10 – 20]	15.28			
	]20 – 30]	15.30			
	]30 – 40]	17.96			
	]40 – 50]	6.83			
	> 50	0.59			

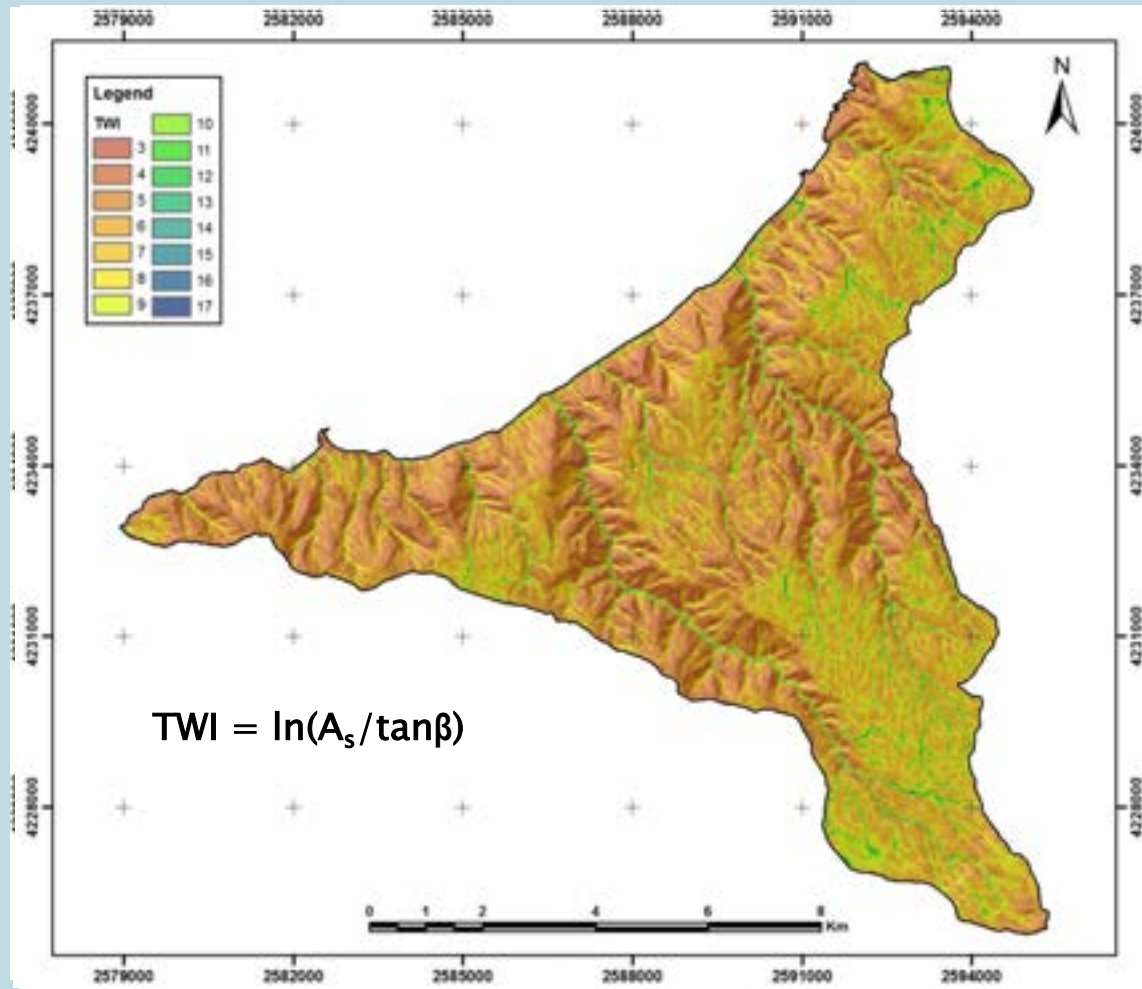
Lithological Unit: GCD = gravel, *colluvium* and debris; SA = sand; CON = conglomerate; IR = acid intrusive rock; MR = middle-high grade metamorphic rock. Land Use: UR = discontinuous urban fabric; CA = cultivation area; FP = fruit trees and berries plantations; OG = olive grove; DG = discontinuous grassland; SVA = sparsely vegetated area; TWS = transitional woodland-shrub; HM = high *macchia*; FOR = forest; DR = index of daily rainfall (cf. text for further details).

## Dettaglio di alcune VARIABILI TERRITORIALI INDIPENDENTI

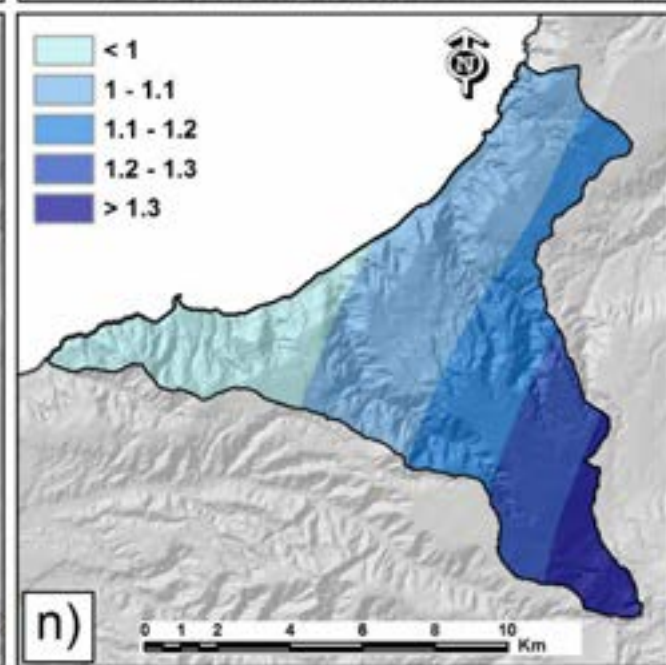
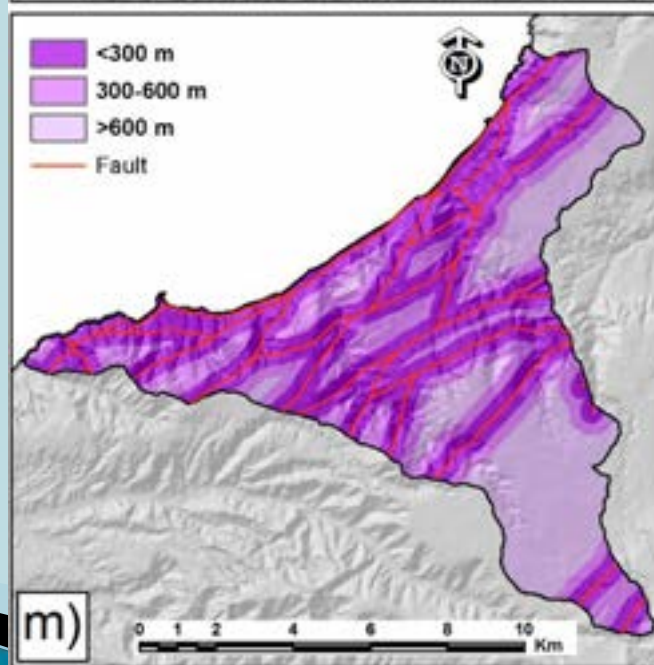
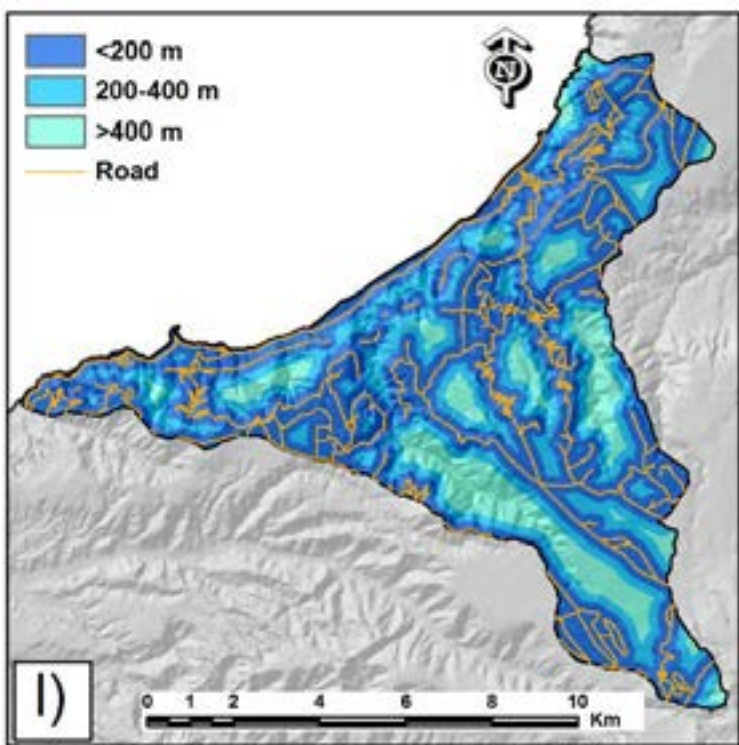
da fotointerpretazione – rilievi – dati preesistenti – processing del DEM

LE VARIABILI UTILIZZATE SONO 12:

- 1) LITOLOGIA (da CasMez)
- 2) USO DEL SUOLO (Corine Land Cover)
- 3) TIPO DI SUOLO (ARSSA)
- 4) QUOTA (DEM)
- 5) PENDENZA (DEM)
- 6) ESPOSIZIONE (DEM)
- 7) CURVATURA PERPENDICOLARE (DEM)
- 8) CURVATURA PARALLELA (DEM)
- 9) INDICE TOPOGRAFICO DI UMIDITA'  
(DEM)
- 10) DISTANZA DALLE STRADE
- 11) DISTANZA DALLE FAGLIE
- 12) INDICE DI ANOMALIA DELLE PIOGGE

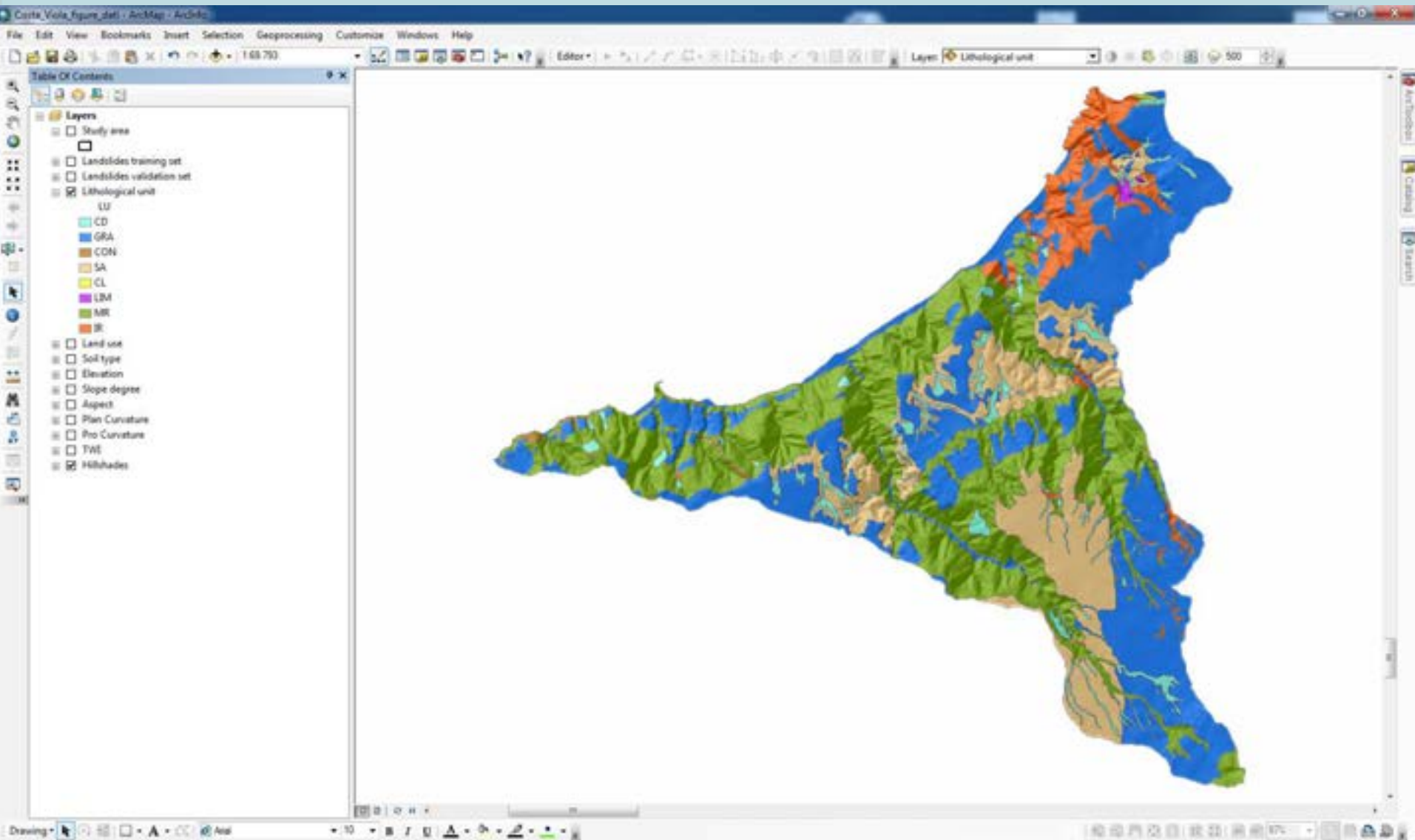


$$DR = W_1 \frac{x_{95}}{\mu_{all\_x95}} + W_2 \frac{x_{95} - \mu_x}{\mu_x}$$



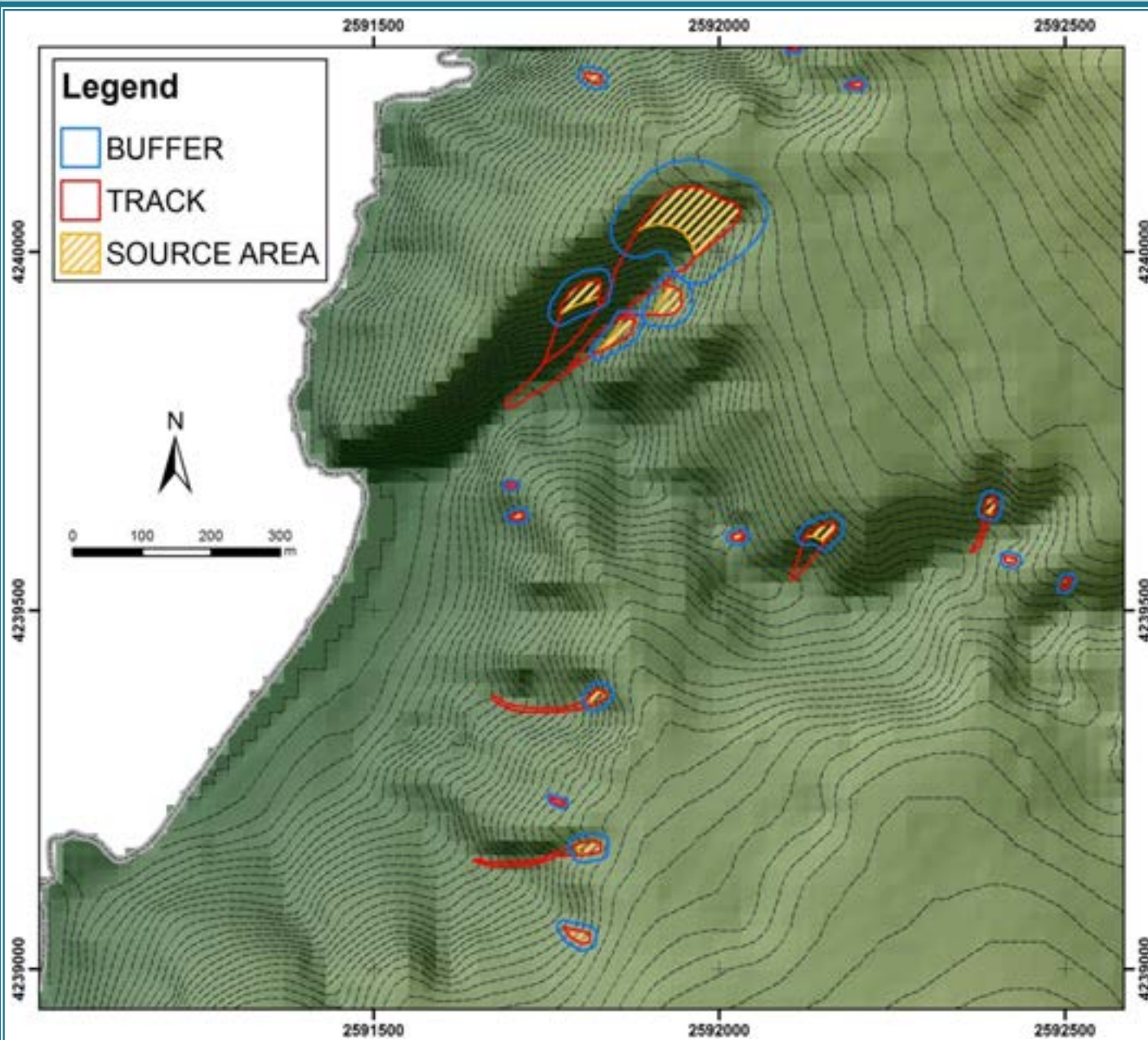
# DATABASE GIS

## BASATO SU CELLA QUADRATA DI 20m

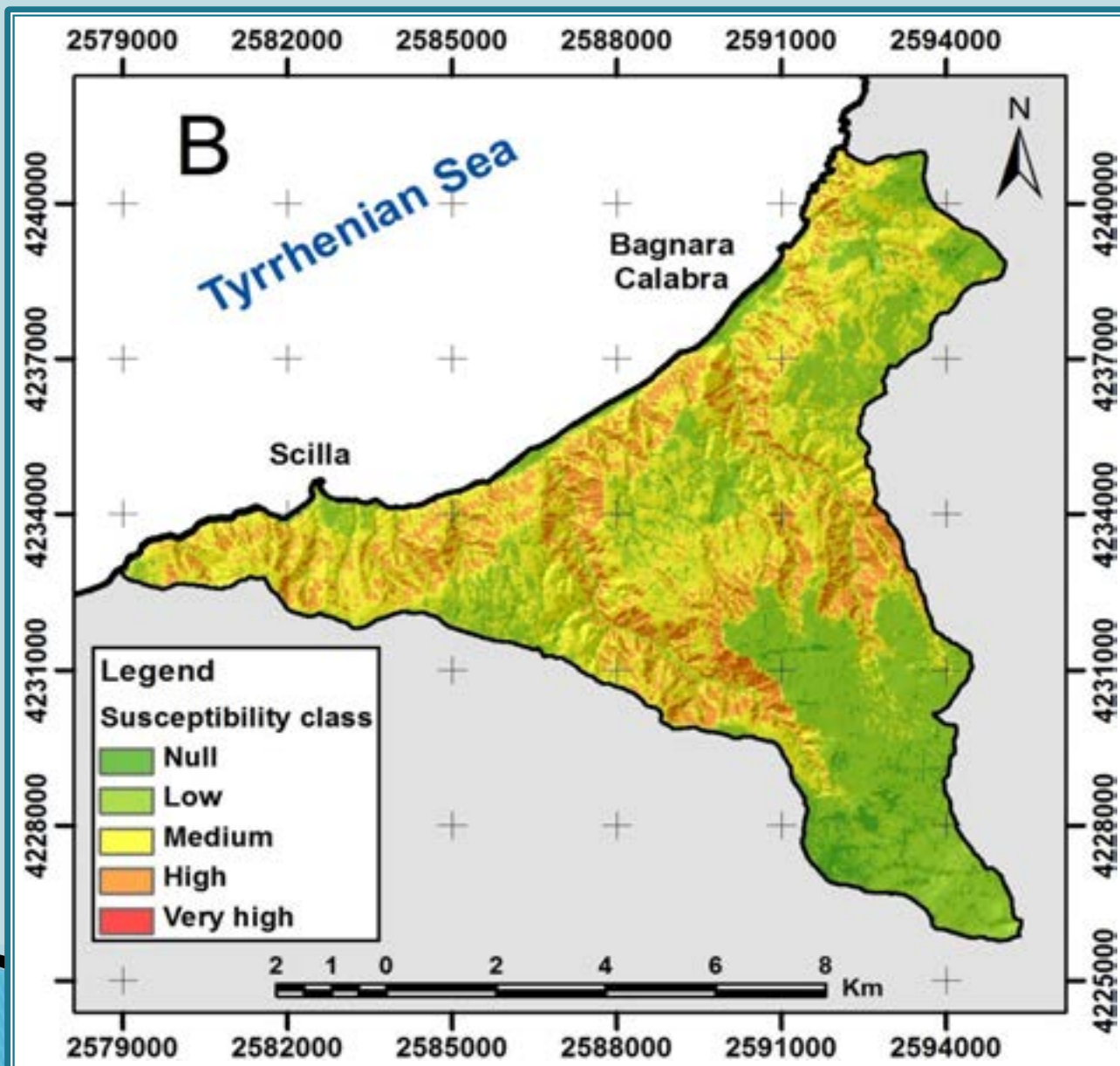


## CAMPIONAMENTO

Buffer intorno alle  
aree sorgente



# Suscettibilità



$$P(y) = \frac{1}{1+e^{-y}} \quad \text{con} \quad y = a_0 + a_1x_1 + \dots + a_nx_n$$

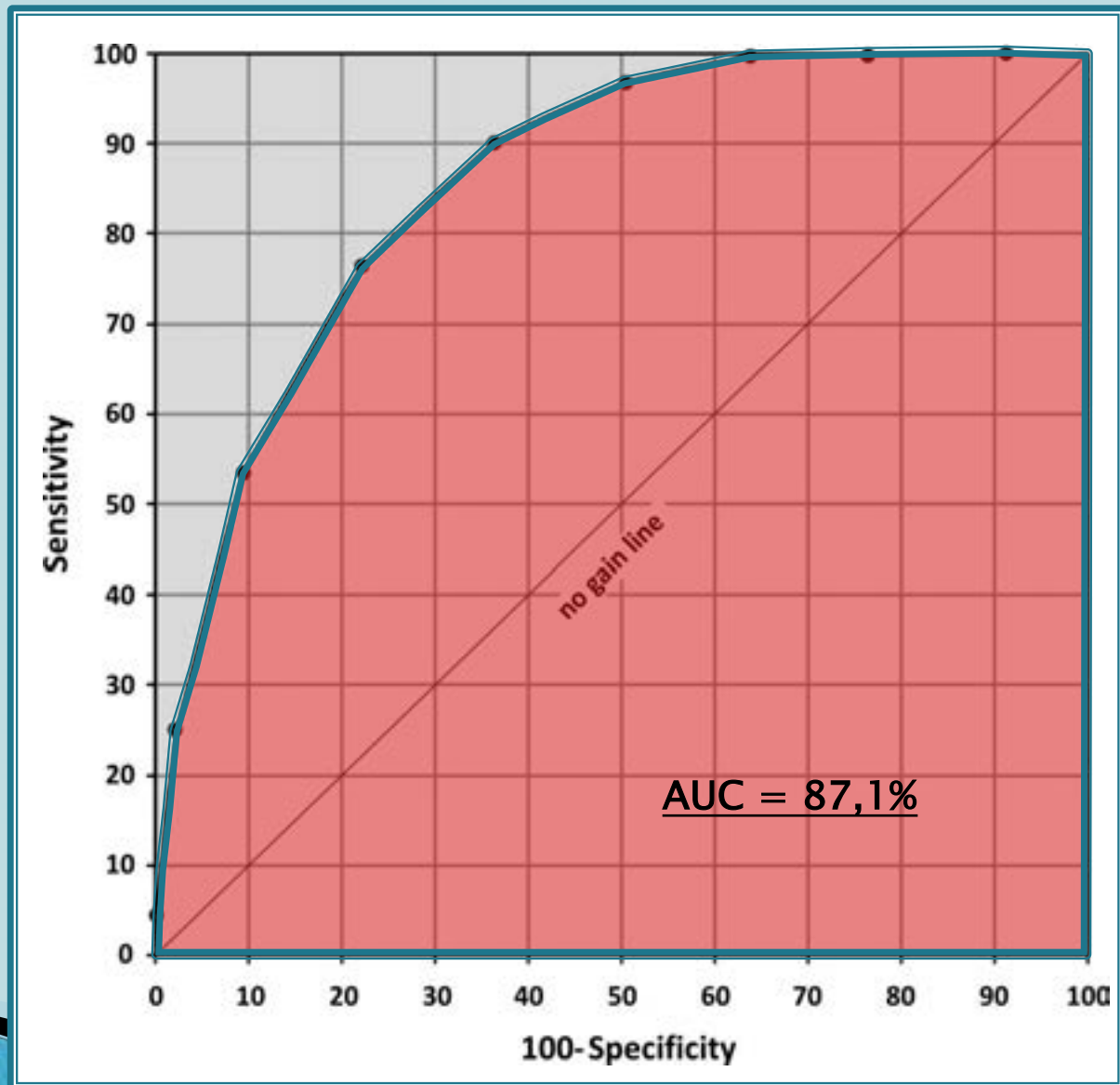
Table 3. Obtained intercepts, regression weights, RMSE and Chi-square values, maximum probabilities and areas under ROC curve. In bold, the maximum values; in italic grey, the minimum values (absolute values). For explanation of symbols, see text. LR0 refers to the regression experiment performed by considering the whole set of 12 variables. LR1 to LR12 refer to the results obtained by excluding one variable at once.

Variable	LR0	LR1	LR2	LR3	LR4	LR5	LR6	LR7	LR8	LR9	LR10	LR11	LR12
<i>intercept</i>	-8.818	-9.018	-8.964	-9.937	-10.124	-8.959	-8.520	-7.982	-7.685	-7.474	-8.542	-8.045	-9.287
LU	0.036	-	0.036	0.025	0.046	0.050	0.038	0.037	0.033	0.034	0.035	0.035	0.038
LUS	0.035	0.036	-	0.029	0.038	0.033	0.040	0.036	0.035	0.035	0.036	0.035	0.034
SSP	<b>-0.050</b>	<i>0.005</i>	-0.024	-	<b>-0.056</b>	<b>-0.066</b>	<b>-0.064</b>	<b>-0.052</b>	<b>-0.052</b>	<b>-0.048</b>	<b>-0.048</b>	<b>-0.051</b>	<b>-0.053</b>
ELEV	0.025	0.033	0.026	0.026	-	0.031	0.025	0.025	0.025	0.024	0.025	0.026	0.023
SLO	0.033	0.038	0.032	0.034	0.036	-	0.032	0.032	0.034	0.034	0.033	0.033	0.032
ASP	0.032	0.036	0.038	0.037	0.031	0.029	-	0.032	0.034	0.044	0.033	0.033	0.030
ACUR	0.025	0.031	0.026	0.027	0.027	0.022	0.025	-	0.041	0.020	0.024	0.025	0.025
DCUR	0.041	0.040	0.041	0.042	0.042	0.044	0.042	0.044	-	0.039	0.041	0.041	0.042
TWI	0.047	<b>0.045</b>	<b>0.047</b>	<b>0.047</b>	0.047	0.052	0.055	0.046	0.043	-	<b>0.048</b>	0.048	0.048
RDIST	<i>0.013</i>	0.010	0.015	<i>0.010</i>	<i>0.016</i>	<i>0.015</i>	0.017	<i>0.011</i>	<i>0.015</i>	<i>0.016</i>	-	<i>0.013</i>	<i>0.013</i>
FDIST	0.019	0.015	0.014	0.023	0.032	0.039	0.024	0.019	0.021	0.024	0.020	-	0.024
DR	-0.016	-0.040	<i>-0.006</i>	-0.023	0.023	-0.002	<i>-0.001</i>	-0.015	-0.022	-0.021	<i>-0.016</i>	-0.019	-
Max P(y) (%)	81.1	65.6	67.1	<i>63.0</i>	84.9	<b>88.6</b>	87.8	81.3	80.3	79.2	80.0	82.5	83.2
RMSE	<i>0.372</i>	0.396	0.392	0.412	0.424	<b>0.435</b>	0.417	0.376	0.428	0.394	0.374	0.398	0.389
CHI <sup>2</sup>	537.7	421.5	407.7	384.1	325.1	<i>287.8</i>	358.5	<b>575.3</b>	315.6	423.1	536.0	429.2	487.2
A <sub>roc</sub> (%)	86.5	85.9	86.0	85.5	84.5	<i>83.7</i>	85.0	<b>87.1</b>	84.1	85.9	86.5	85.9	86.1

Table 4. Obtained intercepts, regression weights, RMSE and Chi-square values, maximum probabilities and areas under ROC curve. In bold, the maximum values; in italic grey, the minimum values (absolute values). For explanation of symbols, see text. LR7-1 to LR7-11 refer to the results obtained by excluding one variable at once, starting from the LR7 set.

Variable	LR7-1	LR7-2	LR7-3	LR7-4	LR7-5	LR7-6	LR7-7	LR7-8	LR7-9	LR7-10	LR7-11
<i>intercept</i>	-7.967	-8.086	-9.092	-9.232	-8.212	-7.700	-6.127	-6.827	-7.754	-7.207	-8.449
LU	-	0.038	0.026	0.048	0.051	0.039	0.035	0.035	0.037	0.037	0.039
LUS	0.036	-	0.029	0.038	0.034	0.040	0.036	0.035	0.036	0.035	0.035
SSP	<i>0.006</i>	-0.026	-	<b>-0.059</b>	<b>-0.068</b>	<b>-0.065</b>	<b>-0.055</b>	<b>-0.050</b>	<b>-0.050</b>	<b>-0.053</b>	<b>-0.055</b>
ELEV	0.033	0.027	0.026	-	0.031	0.025	0.026	0.025	0.026	0.026	0.023
SLO	0.038	0.032	0.034	0.036	-	0.031	0.034	0.034	0.032	0.033	0.032
ASP	0.035	0.037	0.037	0.031	0.028	-	0.033	0.043	0.033	0.033	0.030
DCUR	<b>0.043</b>	0.044	<b>0.045</b>	0.045	0.046	0.044	-	0.042	0.044	0.044	0.044
TWI	<b>0.043</b>	<b>0.046</b>	<b>0.045</b>	0.045	0.050	0.054	0.040	-	0.046	0.046	0.046
RDIST	0.008	0.014	<i>0.008</i>	<i>0.015</i>	0.014	0.016	<i>0.013</i>	<i>0.014</i>	-	<i>0.012</i>	<i>0.011</i>
FDIST	0.015	0.014	0.023	0.032	0.039	0.024	0.022	0.024	0.020	-	0.025
DR	-0.042	<i>-0.006</i>	-0.023	0.023	<i>-0.002</i>	<i>-0.001</i>	-0.023	-0.020	<i>-0.015</i>	-0.019	-
Max P(y) (%)	62.1	68.3	<i>60.2</i>	85.0	<b>88.2</b>	87.8	80.7	79.9	81.1	82.9	82.9
RMSE	0.461	0.434	0.429	0.474	<b>0.492</b>	0.465	0.473	0.454	0.430	0.435	<i>0.426</i>
CHI <sup>2</sup>	251.5	287.9	295.4	238.7	<i>219.6</i>	244.6	227.4	256.2	285.7	278.2	<b>326.2</b>
A <sub>roc</sub> (%)	83.2	83.7	83.8	82.3	<i>80.1</i>	82.8	81.9	83.3	83.8	83.7	<b>84.3</b>

# Validazione



# Conclusioni

## Criticità della RL:

- ▶ ridondanza generata da training set troppo corposi;
- ▶ alta influenza della qualità e del dettaglio dei dati di input;

## Vantaggi della RL:

- ▶ le variabili indipendenti possono essere sia categoriche sia parametriche;
- ▶ le variabili indipendenti non devono necessariamente essere distribuite secondo la legge Normale del caso;
- ▶ è sufficiente disporre della distribuzione delle frane sul 30–40% dell'area in esame per generare il training set;
- ▶ la capacità predittiva è abbastanza buona, con percentuali di unità correttamente stimate anche superiori all'80%;
- ▶ può essere calibrata in funzione del tipo di fenomeno considerato.

