



<http://www.protezionecivile.fvg.it>



<http://www.centrometeo.com>

Rischio idrogeologico

# MAPPARE IL RISCHIO

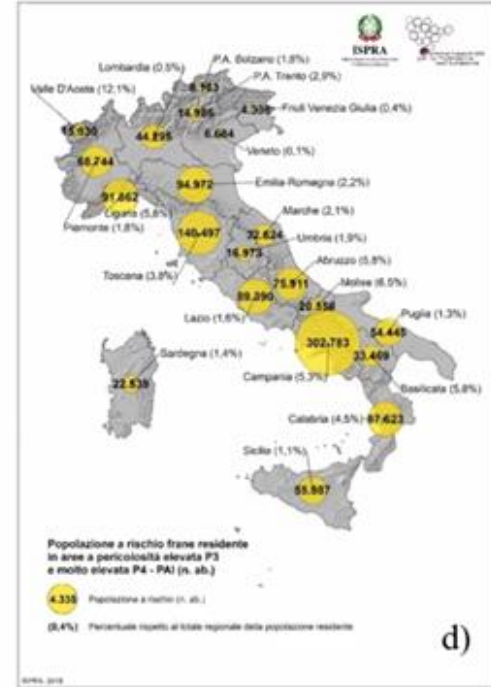
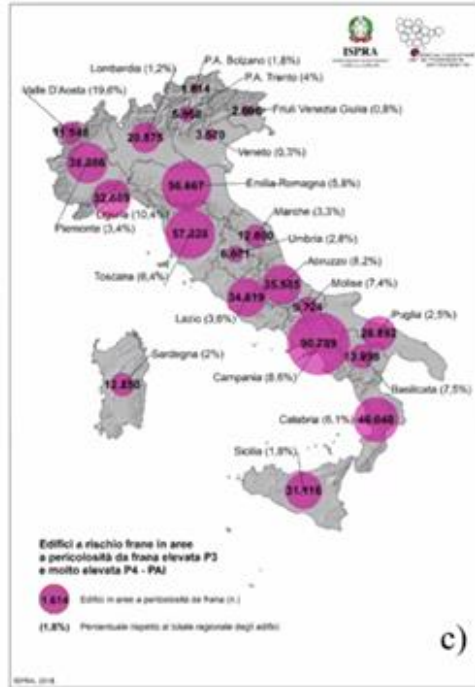
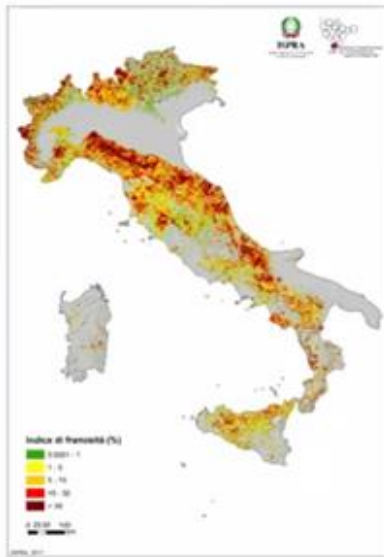
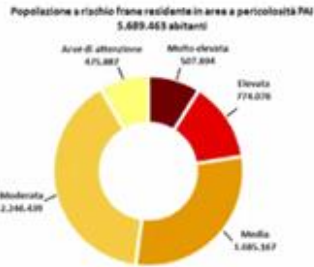


Dr. Chiara Calligaris

A.A. 2021-2022

[calligar@units.it](mailto:calligar@units.it)

Le frane, al pari delle inondazioni, sono tra i fenomeni naturali più calamitosi sul territorio, essendo ogni anno causa di danni a persone e beni.



- Mapa degli eventi di frana con vittime nel periodo 1964-2018 (IRPI, 2018);
- Densità di frane (area in frana/area cella) su maglia di lato 1 km (ISPRA, 287/2018);
- Edifici a rischio frane in aree a pericolosità da frane elevata P3 e molto elevata P4 - PAI (ISPRA, 287/2018);
- Popolazione a rischio frane residente in aree a pericolosità elevata P3 e molto elevata P4 (ISPRA, 287/2018).

E' PERTANTO IMPORTANTE  
REALIZZARE CARTE DI  
SUSCETTIBILITA', OVVERO DI  
PROPENSIONE AL DISSESTO  
GEOSTATICO

MA CON QUALE APPROCCIO???



# APPROCCI QUALITATIVI E QUANTITATIVI

Several approaches have been developed for landslide susceptibility mapping.

These approaches can be grouped into **QUALITATIVE** and **QUANTITATIVE** methods (Aleotti and Chowdhury 1999; Kanungo et al. 2009; Pardeshi et al. 2013).

**Qualitative methods** are based on expert opinions or entirely on the judgment of the person that conduct the landslide susceptibility or hazard assessment (Anbalagan 1992; Aleotti and Chowdhury 1999; Ayalew and Yamagishi 2005).

These method includes field geomorphological analysis and overlaying of index maps with or without a weighting approach (Leroi 1996).

# APPROCCI QUANTITATIVI: STATISTICI o DETERMINISTICI

**Quantitative methods** are data driven and based on numerical expressions between landslide controlling factors and landslide events.

**Quantitative methods can be either statistical or deterministic ones** (Aleotti and Chowdhury 1999).

Statistical approaches are based on numerical values driven from the relation between landslide distribution and landslide controlling factors (Guzzetti et al. 1999; Wubalem 2021).

# APPROCCIO QUANTITATIVO

Statistical approaches can be categorized into **bivariate and multivariate** (Carrara et al. 2003; Suzen and Doyuran 2004a; Yalcin 2008; Pardeshi et al. 2013).

**Bivariate statistical methods** correlate each data layer of the causative factors with existing landslide events and weighted values based on landslide density (Pardeshi et al. 2013).

Susceptibility maps are the result of all causative factors that may be assumed as the main limitation in bivariate statistical methods which calls for the application of multivariate statistical methods (Pardeshi et al. 2013).

In a **multivariate method**, all relevant factors are evaluated and the relative contribution of each factor is weighted (Kanungo et al. 2009).

# APPROCCIO QUANTITATIVO

**Deterministic method** is another numerical approach that can be applied in small to medium-sized areas. For this, detailed slope geometry, stratigraphy and geotechnical result are required (Janevski and Milanovski 2018).

# PRINCIPALI APPROCCI PER LA VALUTAZIONE DELLA SUSCETTIBILITA' DA FRANA

## DETERMINISTICO

*Prevede il calcolo di valori quantitativi della stabilità, espressi di solito in termini di fattori di sicurezza.*

*EQUILIBRIO LIMITE*

## EURISTICO

*L'esperienza del tecnico costituisce l'elemento fondamentale per la classificazione in termini di suscettibilità. La valutazione della suscettibilità da frana è condotta mediante la sovrapposizione di Carte tematiche, scegliendo i fattori significativi di innesco; pervenendo ad un elaborato di sintesi.*

## STATISTISCO

*Mediante opportuni algoritmi si determina la combinazione che in passato hanno condotto all'innesco di frane.*

*FREQUENCY RATIO*

*WEIGHTS OF EVIDENCE*

*REGRESSIONE LOGISTICA*

*MACHINE LEARNING*

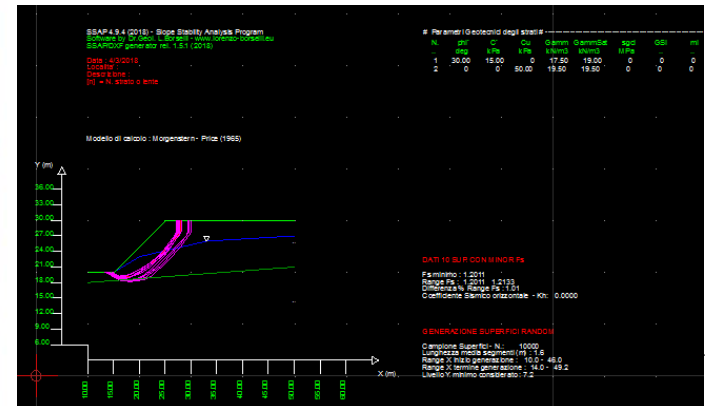
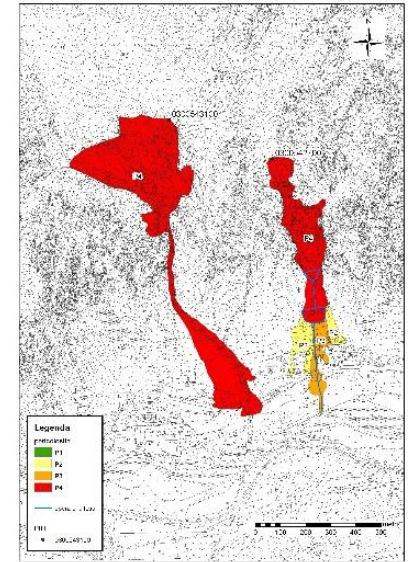
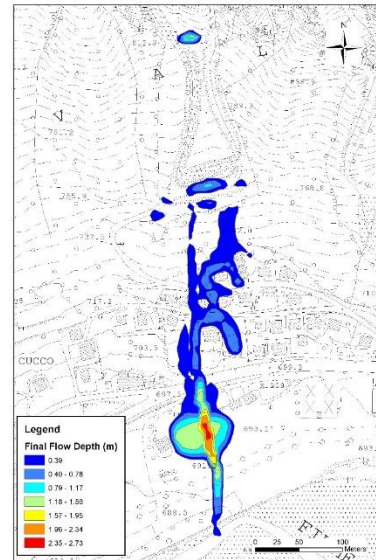
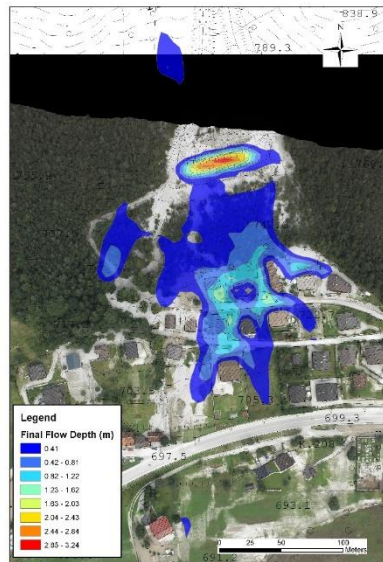


# APPROCCIO DETERMINISTICO

## DETERMINISTICO

*Prevede il calcolo di valori quantitativi della stabilità, espressi di solito in termini di fattori di sicurezza e di magnitudo.*

**EQUILIBRIO LIMITE**



## EURISTICO

*L'esperienza del tecnico costituisce l'elemento fondamentale per la classificazione in termini di suscettibilità. La valutazione della suscettibilità da frana è condotta mediante la sovrapposizione di Carte tematiche, scegliendo i fattori significativi di innesco; pervenendo ad un elaborato di sintesi.*

# APPROCCIO EURISTICO o qualitativo

The methodology considered by Hutchinson (2001) requires the preparation of factorial maps of the whole area regarding the main characteristics that are thought of influencing landslides.

**In the 1976, Neuland used more than 30 factors.**

**Siddle et al., (1991) take into account 16 factors;** 12 of them are subjected to the univariate analysis in order to determine the single degree of association (score) with the existing landslides. The higher values have been assigned to four factors: **angle of slope, type of surface deposit, thickness of surface deposit and potential water supply of the aquifer.**



Pergamon

*Computers & Geosciences* Vol. 24, No. 4, pp. 373-385, 1998  
© 1998 Elsevier Science Ltd. All rights reserved  
Printed in Great Britain  
0098-3004/98 \$19.00 + 0.00

PII: S0098-3004(97)00017-9



## GENERALISED LINEAR MODELLING OF SUSCEPTIBILITY TO LANDSLIDING IN THE CENTRAL APENNINES, ITALY

P. M. ATKINSON, and R. MASSARI

Department of Geography, University of Southampton, Highfield, Southampton, SO17 1BJ, UK  
(e-mail: pma@soton.ac.uk)

(Received 20 November 1996; revised 3 July 1997)



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TRIESTE

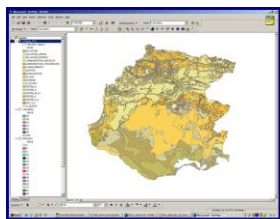


## EURISTICO

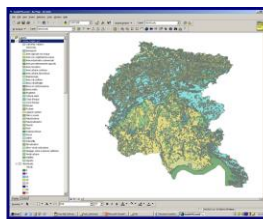
*L'esperienza del tecnico costituisce l'elemento fondamentale per la classificazione in termini di suscettibilità. La valutazione della suscettibilità da frana è condotta mediante la sovrapposizione di Carte tematiche, scegliendo i fattori significativi di innesco; pervenendo ad un elaborato di sintesi.*

# APPROCCIO EURISTICO IN FVG SUL BACINO DELLO SLIZZA (2005)

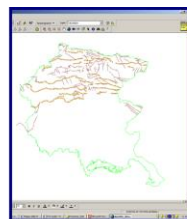
The considered parameters, chosen on the basis of both an accurate bibliographical study and the experience, have been the following: **lithology, geomorphology (slope geometry, aspect), structure of the area, sismicity, land use, infrastructures, rainfall.**



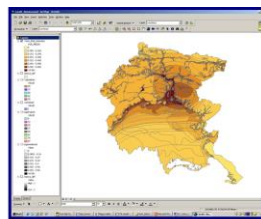
Lithological map



Land use map



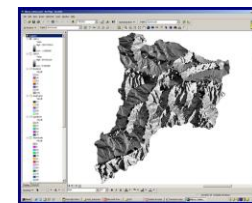
Lineament factors map



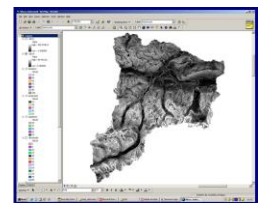
Sismicity map



Average rainfall map



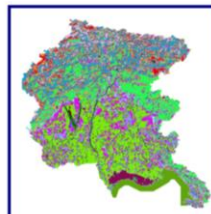
Aspect map



Slope map



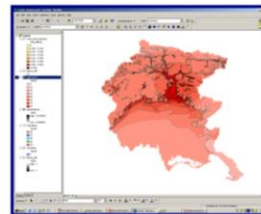
Lithological map  
DITRIESTE



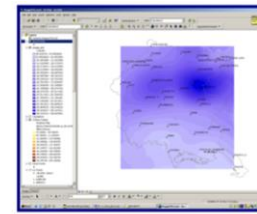
Land use map



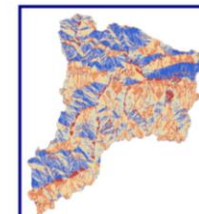
Lineament factors map



Sismicity map



Average rainfall map



Aspect map



Slope map

## EURISTICO

*L'esperienza del tecnico costituisce l'elemento fondamentale per la classificazione in termini di suscettibilità. La valutazione della suscettibilità da frana è condotta mediante la sovrapposizione di Carte tematiche, scegliendo i fattori significativi di innesco; pervenendo ad un elaborato di sintesi.*

# APPROCCIO EURISTICO

Assegnare un punteggio ad ogni singola unità geolitologia è stato il problema sperimentalmente più oneroso. A tale scopo, è stato necessario ricorrere all'ausilio della carta dei fenomeni franosi precedentemente censiti. Utilizzando la percentuale di territorio in dissesto ricadente all'interno di ogni singola unità geolitologica, è stato possibile attribuire punteggi diversi alle 18 litologie considerate. La classe litologica in cui ricade il maggior numero di fenomeni è stata presa come riferimento massimo e proporzionalmente è stato assegnato un valore via via decrescente alle altre classi. **I valori di riferimento sono compresi tra 100 (max) e 0 (min).** A queste **18 tipologie litologiche**, valutando le caratteristiche geotecniche e tessiturali, nonché quindi la percentuale di fenomeni franosi ricadenti all'interno di ogni singola unità geolitologia, sono stati attribuiti valori alti a litologie che si ritiene siano predisponenti al verificarsi di fenomeni geostatici, mentre valori bassi a quelle litologie che favoriscono la stabilità.

Esempio di assegnazione del punteggio per quanto concerne la litologia.

Valore di merito	Valore normalizzato	Descrizione
6	6	MORENA
7	0	CONGLOMERATI
5	10	FLYSCH
3	49	ALLUVIONI RECENTI
2	95	DETRITO
1	100	CARBONATICHE MASSICCE
4	20	CARBONATICHE STRATIFICATE

## EURISTICO

*L'esperienza del tecnico costituisce l'elemento fondamentale per la classificazione in termini di suscettibilità. La valutazione della suscettibilità da frana è condotta mediante la sovrapposizione di Carte tematiche, scegliendo i fattori significativi di innesco; pervenendo ad un elaborato di sintesi.*

# APPROCCIO EURISTICO

## AHP METHOD

Stabiliti i valori di merito dei vari parametri all'interno di ogni singola tematica, assegnato loro un punteggio in funzione della percentuale di fenomeni franosi verificatisi in quella determinata area, normalizzati, è stato necessario definire un ulteriore ordine di merito anche tra le diverse tematiche considerate. L'utilizzo della metodologia AHP (Analytic Hierarchy Process) permette di assegnare un peso/punteggio non solo ai parametri ma anche alle classi in cui ciascun parametro è suddiviso (Saaty, 2000).

Intensity of importance for each considered parameter	Importance definition	Explanatory notes
1	Equal importance	Both parameters contribute equally to the objective
3	Moderate importance	One parameter is considered, based on experience, slightly favoured over another
5	Essential or strong importance	One parameter is strongly favoured over the other
7	Very strong or demonstrated importance	A parameter is very strongly favoured over another
9	Extreme importance	The evidence is favouring a parameter over another
2,4,6,8	Intermediate values between the categories	If and when is needed a compromise

## EURISTICO

*L'esperienza del tecnico costituisce l'elemento fondamentale per la classificazione in termini di suscettibilità. La valutazione della suscettibilità da frana è condotta mediante la sovrapposizione di Carte tematiche, scegliendo i fattori significativi di innesco; pervenendo ad un elaborato di sintesi.*

# APPROCCIO EURISTICO

Al fine di assegnare un valore quantitativo ad ogni singola tematica, è stato necessario tradurre la preferenza di un fattore rispetto ad un altro utilizzando una matrice.

	Litologia	Acclività	Uso del suolo	Assetto strutturale	Precipitazioni	Esposizione	Caratterizzazione sismica
Litologia	1	3	5	5	7	8	9
Acclività	1/3	1	3	3	4	5	6
Uso del suolo	1/5	1/3	1	1	3	4	5
Assetto strutturale	1/5	1/3	1	1	3	4	5
Precipitazioni	1/7	1/4	1/3	1/3	1	2	3
Esposizione	1/8	1/5	1/4	1/4	1/2	1	2
Caratterizzazione sismica	1/9	1/6	1/5	1/5	1/3	1/2	1
Totale	2.112	5.283	10.783	10.783	18.883	24.5	31

## EURISTICO

*L'esperienza del tecnico costituisce l'elemento fondamentale per la classificazione in termini di suscettibilità. La valutazione della suscettibilità da frana è condotta mediante la sovrapposizione di Carte tematiche, scegliendo i fattori significativi di innesco; pervenendo ad un elaborato di sintesi.*

# APPROCCIO EURISTICO

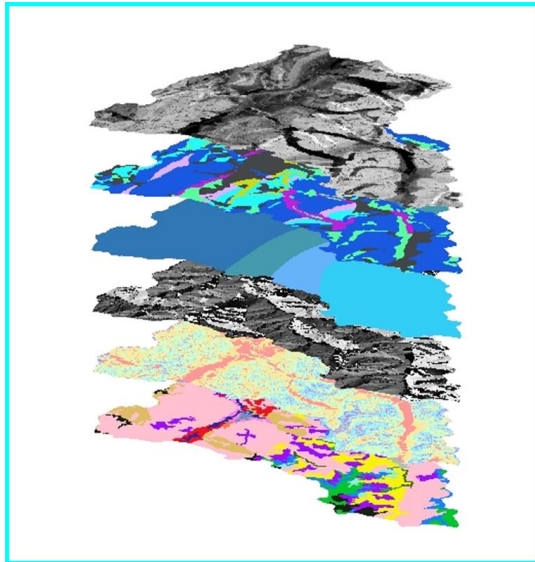
Per il calcolo dei rispettivi pesi è stato necessario ricorrere ad una semplice media aritmetica. L'utilizzo di questa metodica prevede innanzitutto il calcolo della somma dei singoli valori di ogni colonna separatamente. In un secondo tempo, ogni elemento della matrice, viene diviso per il valore della somma relativa alla colonna stessa (pertanto alla medesima tematica).

	Litologia	Acclività	Uso del suolo	Assetto strutturale	Precipitazioni	Esposizione	Caratterizzazione sismica	Valore medio
Litologia	0.4735	0.5679	0.4637	0.4637	0.3717	0.3265	0.2903	0.423
Acclività	0.1578	0.1893	0.2782	0.2782	0.2124	0.2041	0.1935	0.216
Uso del suolo	0.0947	0.0631	0.0927	0.0927	0.1593	0.1633	0.1613	0.118
Assetto strutturale	0.0947	0.0631	0.0927	0.0927	0.1593	0.1633	0.1613	0.118
Precipitazioni	0.0676	0.0473	0.0309	0.0309	0.0531	0.0816	0.0968	0.058
Esposizione	0.0592	0.0379	0.0232	0.0232	0.0265	0.0408	0.0645	0.039
Caratterizzazione sismica	0.0526	0.0315	0.0185	0.0185	0.0177	0.0204	0.0323	0.028

Pesi relativi attribuiti alle diverse tematiche

## EURISTICO

*L'esperienza del tecnico costituisce l'elemento fondamentale per la classificazione in termini di suscettibilità. La valutazione della suscettibilità da frana è condotta mediante la sovrapposizione di Carte tematiche, scegliendo i fattori significativi di innesco; pervenendo ad un elaborato di sintesi.*



Overlay tematico

# APPROCCIO EURISTICO

The considered parameters were arranged in hierarchical order of priorities in rows and columns to generate a pair-wise comparison matrix. At the same time, also the classes in which each parameter has been subdivided were arranged with the same technique. This method may be defined a **Weighted Linear Combination (WLC)** where secondary – level weights are opinion-based scores [Ayalew et al., 2004].

**The weights of each parameter were calculated dividing the geometric mean of each row of the matrix by the total of geometric mean in a column of a matrix. The weights were later normalized.**

Afterwards ranks and rates were linearly combined (WLC) obtaining the **Landslide Potential Index (LPI)** according to the formula:

$$LPI = \sum (R_i \times W_{ij}) \quad [1]$$

where  $i = 1 - 9$ ,  $R_i$  is the rank for parameter  $i$  and  $W_{ij}$  is the weight for class  $j$  of  $i$  factor.



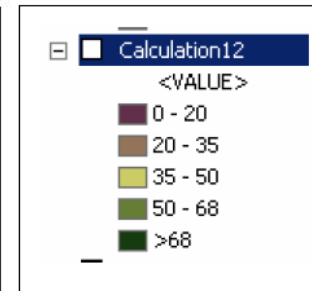
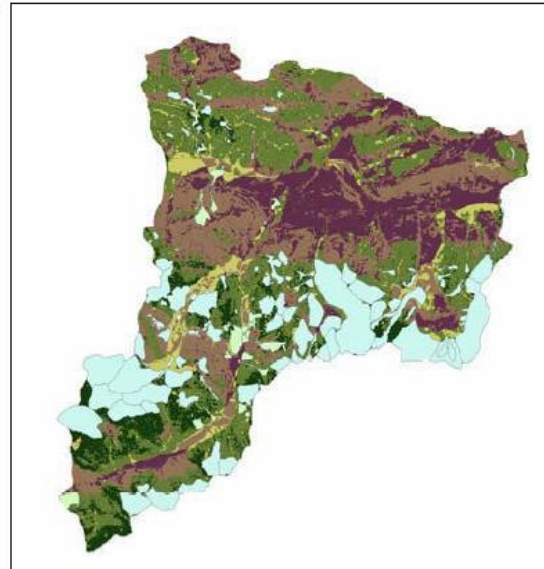
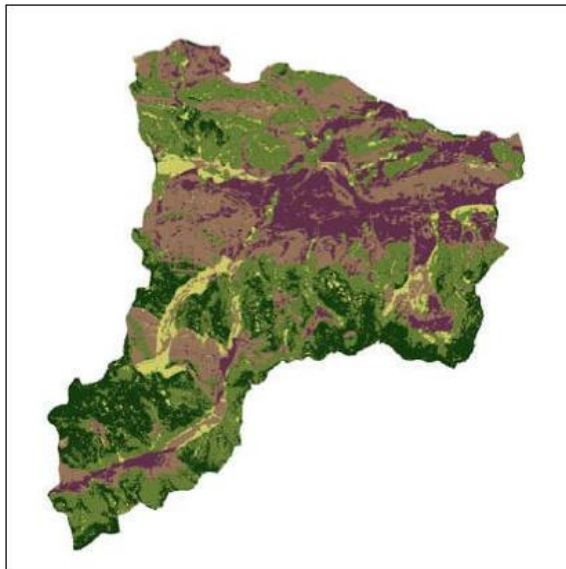
## EURISTICO

*L'esperienza del tecnico costituisce l'elemento fondamentale per la classificazione in termini di suscettibilità. La valutazione della suscettibilità da frana è condotta mediante la sovrapposizione di Carte tematiche, scegliendo i fattori significativi di innesco; pervenendo ad un elaborato di sintesi.*

# APPROCCIO EURISTICO

The map obtained as a result of the overlapping weighted raster datasets, represents the distribution of the LPI index values that were later classified into 6 potential landslide susceptibility classes obtaining a landslide susceptibility map.

Considerando che il 18,16% del territorio del bacino dello Slizza è in frana secondo il progetto IFFI, e che alla classe 5 di propensione al dissesto corrisponde il 20,05% del territorio, la differenza è pari a 1,89%. Tale valore può essere considerato accettabile in rapporto al grado di precisione che ha caratterizzato la realizzazione del modello di propensione al dissesto.



Classe di propensione al dissesto	Area (pixel)	Percentuale di territorio per ogni classe di propensione al dissesto
1	66033	21.69%
2	67217	22.08%
3	17877	5.87%
4	90545	29.75%
5	61061	20.05%

## STATISTISCO

*Mediante opportuni algoritmi  
si determina la combinazione  
che in passato hanno  
condotto all'inesco di frane.*

**FREQUENCY RATIO**

WEIGHTS OF EVIDENCE

REGRESSIONE LOGISTICA

MACHINE LEARNING

# APPROCCIO STATISTICO

HOSTED BY



ELSEVIER

Contents lists available at [ScienceDirect](http://www.sciencedirect.com)

The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences

journal homepage: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)



Research Paper

Landslide susceptibility assessment using Frequency Ratio, a case study  
of northern Pakistan



Hawas Khan <sup>a</sup>, Muhammad Shafique <sup>b,\*</sup>, Muhammad A. Khan <sup>a</sup>, Mian A. Bacha <sup>b</sup>, Safer U. Shah <sup>b</sup>,  
Chiara Calligaris <sup>c</sup>

<sup>a</sup>Kararorum International University, Gilgit, Pakistan

<sup>b</sup>National Centre of Excellence in Geology, University of Peshawar, Peshawar, Pakistan

<sup>c</sup>University of Trieste, Department of Mathematics and Geosciences, Via Weiss 2, Trieste 34128, Italy

Mediante opportuni algoritmi si determina la combinazione che in passato hanno condotto all'insacco di frane.

**FREQUENCY RATIO**

WEIGHTS OF EVIDENCE

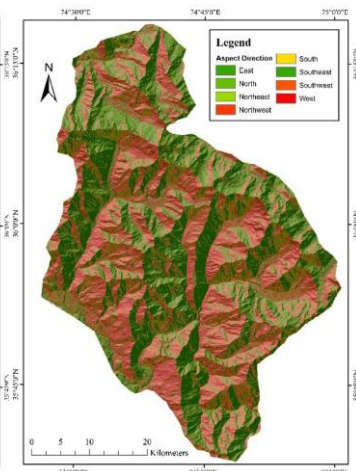
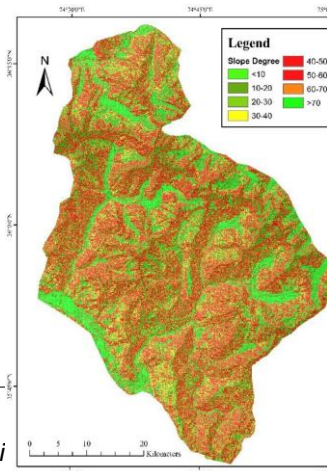
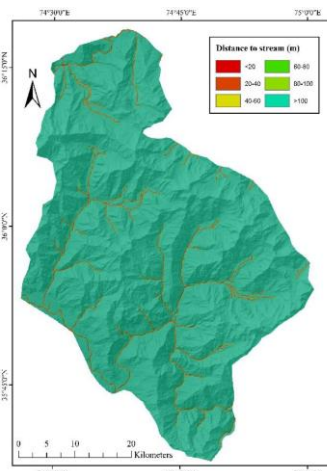
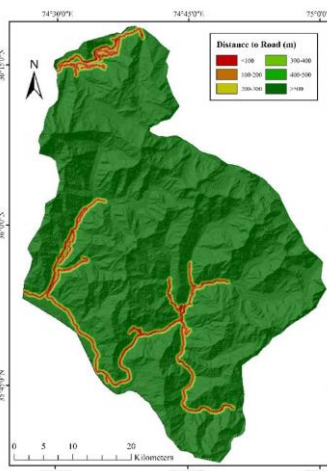
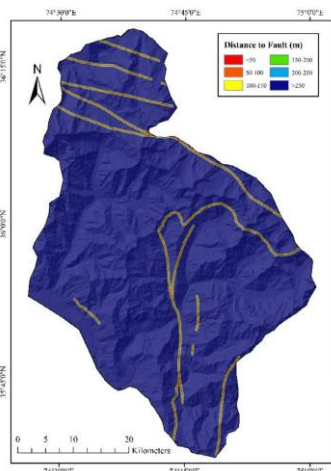
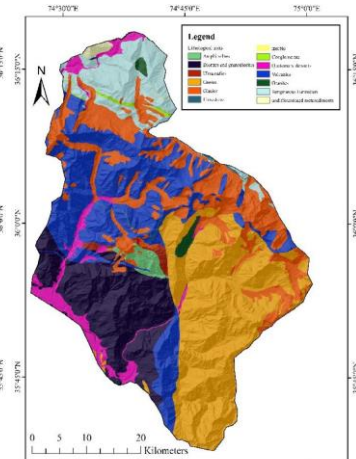
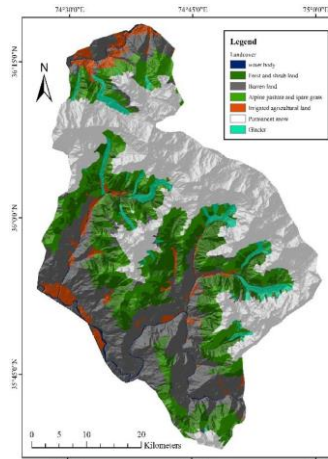
REGRESSIONE LOGISTICA

MACHINE LEARNING

# APPROCCIO STATISTICO

## USED PARAMETERS

Distance to faults, to roads, to streams, slope degree, lithological units, land cover, aspect



Mediante opportuni algoritmi  
si determina la combinazione  
che in passato hanno  
condotto all'innescio di frane.

**FREQUENCY RATIO**

WEIGHTS OF EVIDENCE

REGRESSIONE LOGISTICA

MACHINE LEARNING

Table 1  
Landslide inducing factors, classes, weights in the study area

Factor	Classes (degree)	Number of Pixel in Class	Number of Pixel in Class % (a)	Number of Landslide Pixel in Class	Number of Landslide Pixel in Class % (b)	Frequency Ratio (FR) (b/a)	
Slope	<10	234808	8.42	4467	3.08	0.37	
	10 20	298919	10.73	10874	7.16	0.67	
	20 30	383525	13.75	18153	12.52	0.91	
	30 40	461885	16.55	26160	18.05	1.09	
	40 50	483810	17.34	30756	21.22	1.22	
	50 60	441623	15.83	28252	19.49	1.23	
	60 70	328489	11.77	19147	13.21	1.12	
	>70	156996	5.61	7640	5.27	0.94	
Aspect	North	355314	12.73	11139	7.68	0.60	
	Northeast	298312	10.73	8407	5.80	0.54	
	East	316525	11.34	22457	15.49	1.37	
	Southeast	317763	11.39	22761	15.70	1.38	
	South	335087	12.01	17171	11.85	0.99	
	Southwest	368225	13.20	17518	12.09	0.92	
	West	414883	14.86	26221	18.09	1.22	
	Northwest	383346	13.74	19273	13.30	0.96	
Geology	Amphibolites	561	0.02	23	0.02	0.79	
	Diorites and granodiorites	7957	0.28	350	0.24	0.88	
	Ultramafics	337	0.01	47	0.03	2.67	
	Gneiss	13337	0.48	799	0.55	1.15	
	Limestone	141	0.01	7	0.01	0.96	
	Marble	10	0.00	0	0.00	0	
	Conglomerate	178	0.01	7	0.01	0.76	
	Quaternary deposits	2278	0.08	206	0.14	1.73	
	Volcanics	10829	0.39	576	0.40	1.01	
	Tertiary formation	3887	0.14	391	0.27	1.89	
	Undifferentiated metasediments	204	0.01	0	0.00	0	
Distance to stream	<20	23029	0.83	1075	0.74	0.90	
	20 40	22742	0.82	1164	0.80	0.99	
	40 60	22386	0.80	1317	0.91	1.13	
	60 80	22232	0.80	1571	1.08	1.36	
	80 100	21874	0.78	1794	1.24	1.58	
	>100	267861	95.98	138028	95.23	0.99	
	Distance to fault	<50	30222	1.08	2058	1.42	1.31
51 100		30085	1.08	2083	1.44	1.33	
100 150		30043	1.08	2078	1.43	1.33	
150 200		30021	1.08	2117	1.46	1.36	
200 250		29990	1.07	2134	1.47	1.37	
>250		263696	94.61	134479	92.78	0.98	
Distance to road		<100	55738	2.00	11171	7.71	3.85
	100 200	50990	1.815	9870	6.81	3.75	
	200 300	46508	1.669	9129	6.30	3.77	
	300 400	42149	1.512	8218	5.67	3.75	
	400 500	39722	1.425	7284	5.08	3.53	
	>500	2552280	91.579	99277	68.49	0.75	
	Landcover	Water Body	21407	0.77	542	0.37	0.49
		Forest and shrub land	452462	16.23	21973	15.16	0.93
Barren Land		656714	23.56	96405	66.51	2.82	
Alpine pasture and sparse grass		434876	15.60	17820	12.29	0.79	
Irrigated agricultural land		116871	4.19	7416	5.12	1.22	
Permanent snow		102486	35.96	219	0.15	0.00	
Glacier		102823	3.69	574	0.40	0.11	

## STATISTISCO

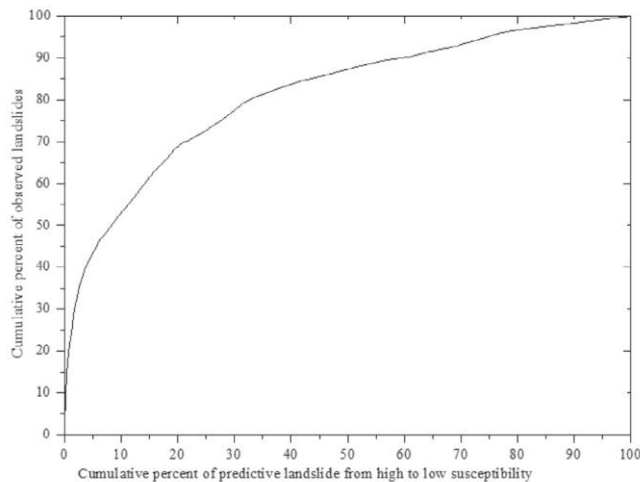
*Mediante opportuni algoritmi  
si determina la combinazione  
che in passato hanno  
condotto all'innescio di frane.*

**FREQUENCY RATIO**

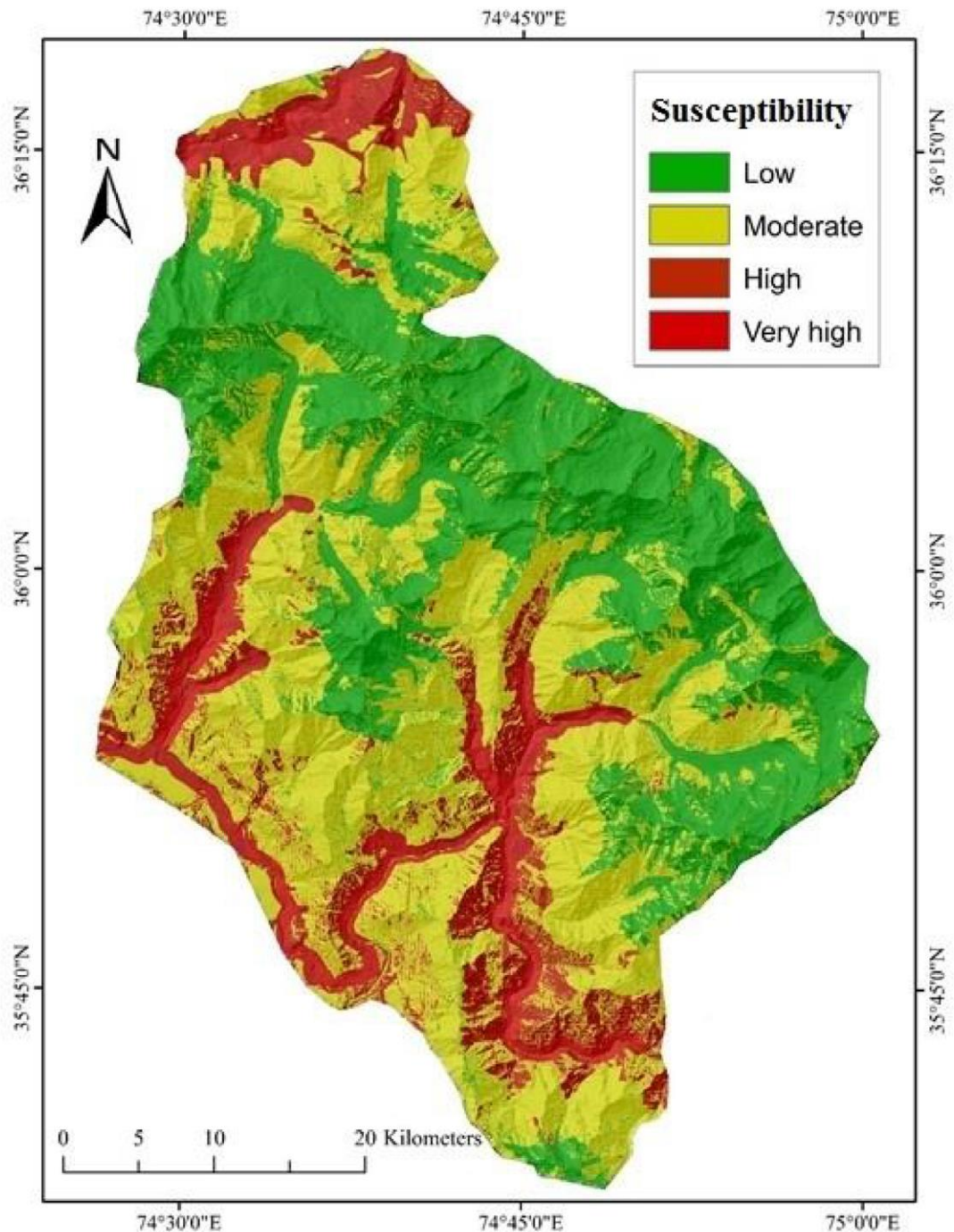
WEIGHTS OF EVIDENCE

REGRESSIONE LOGISTICA

MACHINE LEARNING



Cumulative percentage of study area classified as susceptible (x-axis) incumulative percent of landslide occurrence (y-axis).



*Mediante opportuni algoritmi  
si determina la combinazione  
che in passato hanno  
condotto all'inesco di frane.*

FREQUENCY RATIO

**WEIGHTS OF EVIDENCE**

REGRESSIONE LOGISTICA

MACHINE LEARNING

**RESEARCH**

**Open Access**



# Weights of evidence modeling for landslide susceptibility mapping of Kabi-Gebro locality, Gundomeskel area, Central Ethiopia

Nega Getachew<sup>1,2</sup> and Matebie Meten<sup>1,3\*</sup>

**Kabi-Gebro locality of Gundomeskel area is located within the Abay Basin at Dera District of North Shewa Zone in the Central highland of Ethiopia** and it is about 320Km from Addis Ababa. This is characterized by undulating topography, intense rainfall, active erosion and highly cultivated area. Geologically, it comprises weathered sedimentary and volcanic rocks. Active landslides damaged the gravel road, houses and agricultural land. The main objective of this research is to prepare the landslide susceptibility map using **GIS-based Weights of Evidence model**.

Based on detailed field assessment and Google Earth image interpretation, 514 landslides were identified and classified randomly into training landslides (80%) and validation landslides (20%)

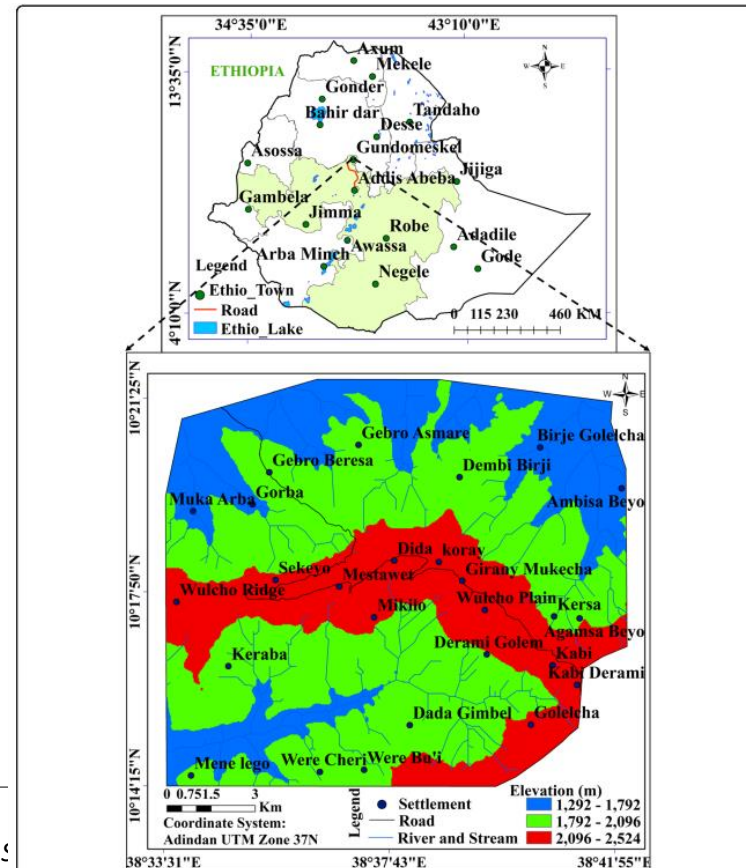


Fig. 1 Location Map of the study area

*Mediante opportuni algoritmi  
si determina la combinazione  
che in passato hanno  
condotto all'insacco di frane.*

FREQUENCY RATIO

**WEIGHTS OF EVIDENCE**

REGRESSIONE LOGISTICA

MACHINE LEARNING

RESEARCH

Open Access

# Weights of evidence modeling for landslide susceptibility mapping of Kabi-Gebro locality, Gundomeskel area, Central Ethiopia

Nega Getachew<sup>1,2</sup> and Matebie Meten<sup>1,3\*</sup> 



The most common types of landslides in the study area include earth slide (rotational and translational slide), debris slide, debris flow, rock fall, topple, rock slide, creep and complex. **Nine landslide causative factors such as lithology, slope, aspect, curvature, land use/land cover, distance to stream, distance to lineament, distance to spring and rainfall** were used to prepare a landslide susceptibility map of the study area by adding the weights of contrast values of these causative factors using a raster calculator of the spatial analyst tool in ArcGIS. The final landslide susceptibility map was reclassified as very low, low, moderate, high and very high susceptibility classes.

In this study, a bivariate statistical model known as weights of evidence model was used to prepare the landslide susceptibility map of the area.

*Mediante opportuni algoritmi  
si determina la combinazione  
che in passato hanno  
condotto all'insacco di frane.*

*FREQUENCY RATIO*

***WEIGHTS OF EVIDENCE***

*REGRESSIONE LOGISTICA*

***MACHINE LEARNING***

**RESEARCH**

**Open Access**

# Weights of evidence modeling for landslide susceptibility mapping of Kabi-Gebro locality, Gundomeskel area, Central Ethiopia

Nega Getachew<sup>1,2</sup> and Matebie Meten<sup>1,3\*</sup> 



A landslide susceptibility map can be prepared through four main steps:

- (1) the landslide inventory map will be prepared;
- (2) landslide controlling factor maps will be prepared;
- (3) the most appropriate method will be applied to evaluate the weights of each factor;
- (4) The landslide susceptibility map will be prepared using a GIS procedure (van Westen et al. 1997).



*Mediante opportuni algoritmi  
si determina la combinazione  
che in passato hanno  
condotto all'innescio di frane.*

FREQUENCY RATIO

**WEIGHTS OF EVIDENCE**

REGRESSIONE LOGISTICA

MACHINE LEARNING

**RESEARCH**

**Open Access**

# Weights of evidence modeling for landslide susceptibility mapping of Kabi-Gebro locality, Gundomeskel area, Central Ethiopia



Nega Getachew<sup>1,2</sup> and Matebie Meten<sup>1,3\*</sup>

**WoE model is a data driven model which is based on Bayesian method and uses prior and conditional probability.**

Initially it was developed for mineral potential evaluation (Bonham-Carter et al. 1988, 1989; Agterberg et al. 1993) and later used for landslide susceptibility assessment (Van Westen et al. 2003, Lee et al. 2004; Lee and Talib 2005).

In this method, the prior probability is determined based on the past landslide without additional information. The prior probability was calculated as number of pixels with landslides is divided by total number of pixels in the map (Bonham-Carter 1994).

$$P_{\text{prior}} = \frac{\text{Area}(\text{slide})}{\text{Area}(\text{total})} \quad (1)$$

*Mediante opportuni algoritmi  
si determina la combinazione  
che in passato hanno  
condotto all'inesco di frane.*

FREQUENCY RATIO

**WEIGHTS OF EVIDENCE**

REGRESSIONE LOGISTICA

MACHINE LEARNING

**RESEARCH**

**Open Access**

# Weights of evidence modeling for landslide susceptibility mapping of Kabi-Gebro locality, Gundomeskel area, Central Ethiopia



Nega Getachew<sup>1,2</sup> and Matebie Meten<sup>1,3\*</sup>

As additional information about each causative factor is found, **the prior probability will be modified to a conditional probability**. According to Bonham-Carter (1994), all factors should be conditionally independent and the conditional probability can be expressed as follows:

$$P\{S|B\} = \frac{N_{\text{pix}} \{S \cap B\}}{N_{\text{pix}}\{B\}} \quad (2)$$

Where,  $N_{\text{pix}}$  is number of pixel, S and B represent landslide and the factor respectively. By integrating landslides with landslide causative factors, the statistical association between classes of a factor map and landslides will be determined (Neuhäuser et al. 2012). The weight values can be calculated based on the contribution of causative factors to landslide occurrence.

The positive and negative weights ( $W_i+$  and  $W_i-$ ) are calculated to know the spatial correlation in the presence or absence of the factor using the formula described by Bonham-Carter (1994) and Bonham-Carter et al. (1989):

$$W_+ = \ln \left( \frac{\frac{N_{pix1}}{N_{pix1} + N_{pix2}}}{\frac{N_{pix3}}{N_{pix3} + N_{pix4}}} \right) \quad (3)$$

$$W_- = \ln \left( \frac{\frac{N_{pix2}}{N_{pix1} + N_{pix2}}}{\frac{N_{pix4}}{N_{pix3} + N_{pix4}}} \right) \quad (4)$$

**A positive weight ( $W_i+$ )** shows that the causative factor is present at the landslide locations and the magnitude of this weight is an indication of the positive correlation between them.

**A negative weight ( $W_i-$ )** shows the absence of the causative factor and the magnitude of this weight is an indication of the level of negative correlation.

The number of pixels in each class can be calculated as follows:

1  $N_{pix1} = N_{slclass}$

2  $N_{pix2} = N_{slide} - N_{slclass}$

3  $N_{pix3} = N_{class} - N_{slclass}$

4  $N_{pix4} = N_{map} - N_{slide} - N_{class} + n_{slclass}$

The above variables represent  $N_{slide}$  = Number of pixels with landslides in the map,  $N_{class}$  = Number of pixels in the class,  $N_{slclass}$  = Number of pixels with landslides in the class and  $N_{map}$  = Total number of pixels in the map.

A weight of contrast is the difference between positive and negative weights. The magnitude of these contrast values reflects the overall spatial association between each causative factor class and the landslides. **The positive contrast value indicates positive spatial associations while the negative ones for a negative spatial association.**

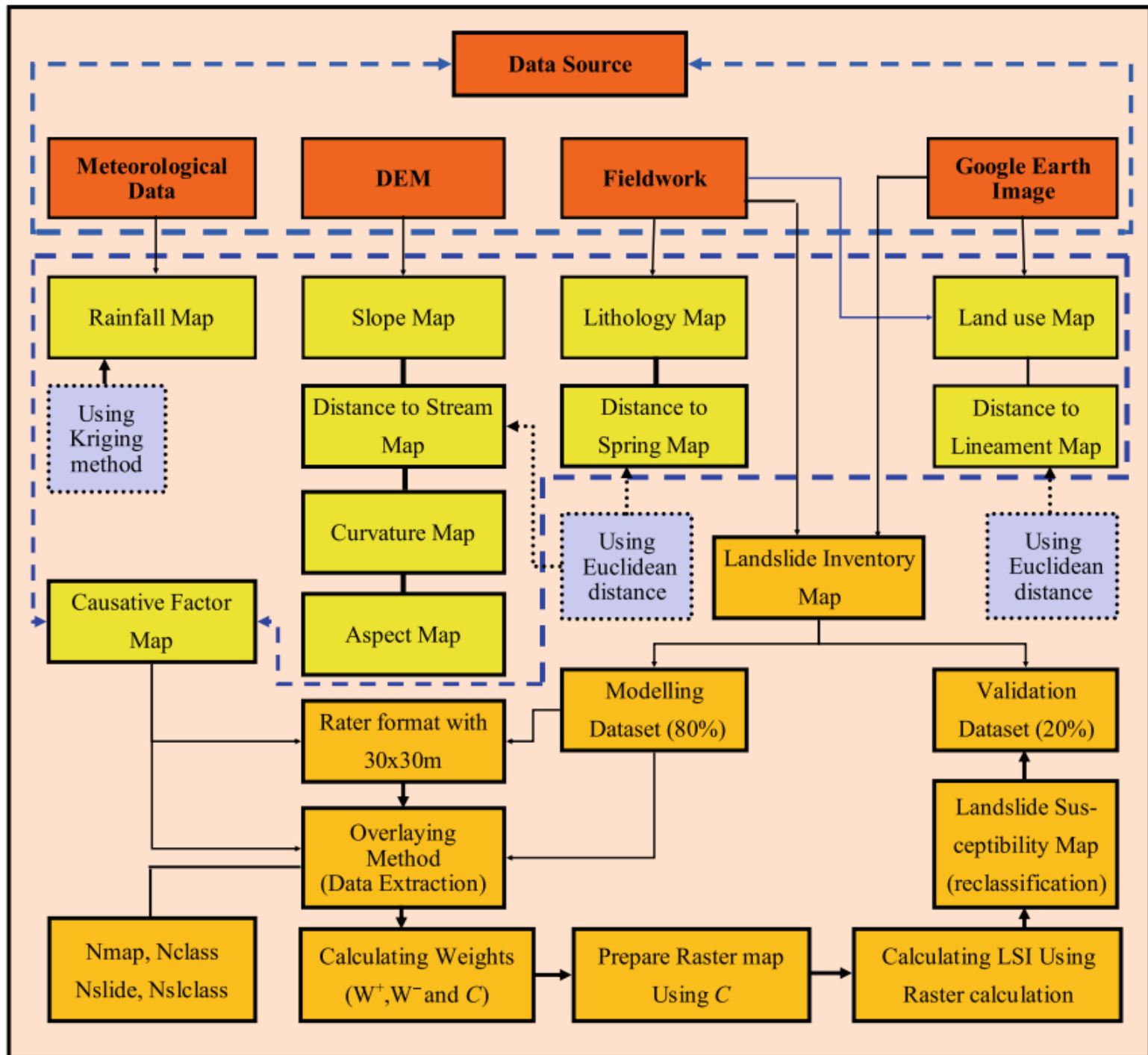
$$C = W^+ - W^- \quad (5)$$

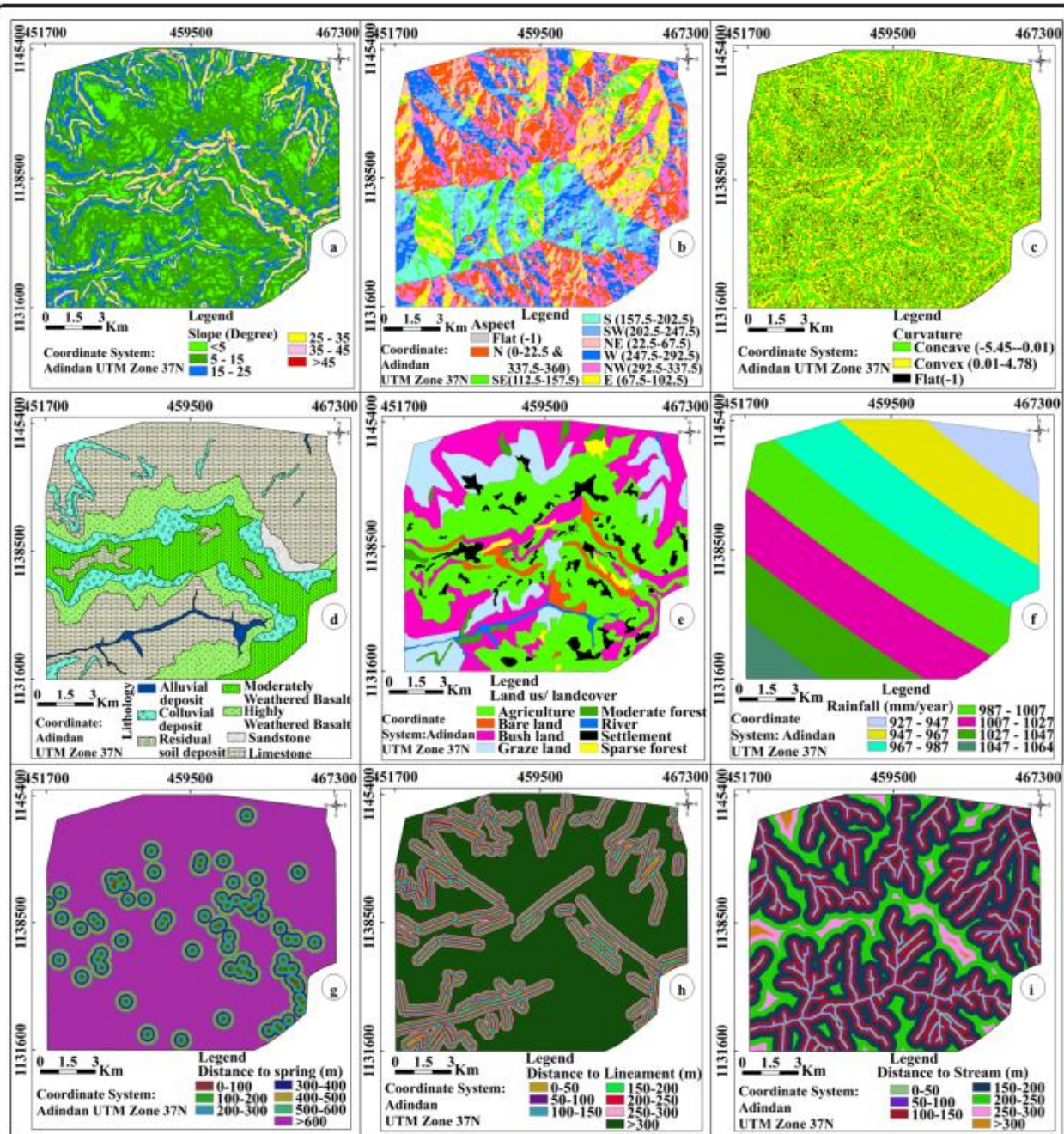
$$W_{\text{map}} = \sum C \quad (6)$$

Finally, the **landslide susceptibility index (LSI)** is produced by combining the weighted map (**Wmap**) of each factor through summation process using Eq. 7 below.

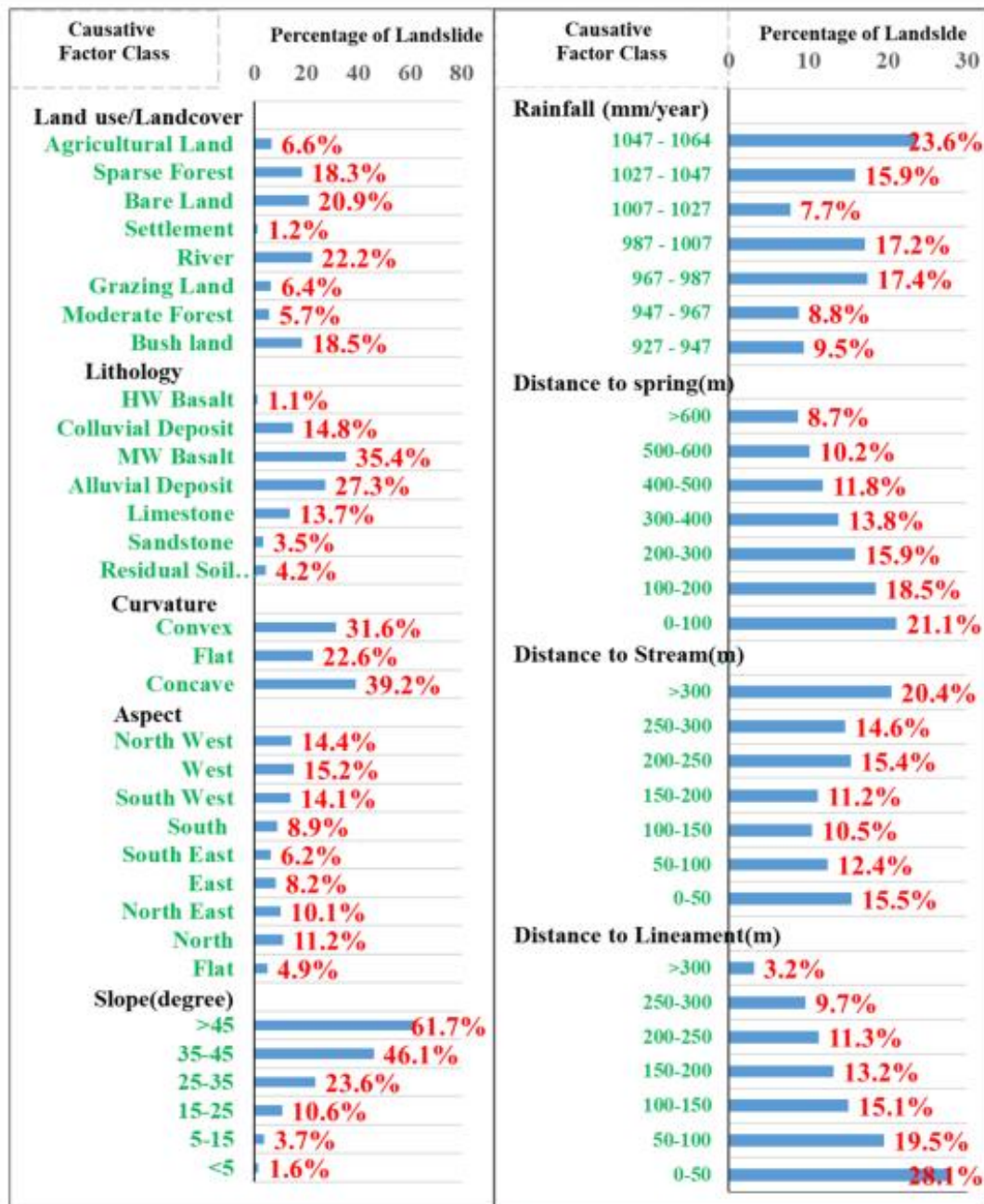
The final landslide susceptibility map was verified based on landslide validation.

$$LSI = \sum W_{\text{map}} \quad (7)$$





**Fig. 6** Landslide causative factor maps: **a** Slope **(b)** Aspect **(c)** Curvature **(d)** Lithology **(e)** Land use/Land cover **(f)** Rainfall **(g)** Distance to spring **(h)** Distance to lineament **(i)** Distance to stream



**Fig. 7** Percentage of landslide occurrence in each factor class of the landslide causative factors. Note: HW Basalt = Highly Weathered Basalt and MW Basalt = Moderately Weathered Basalt

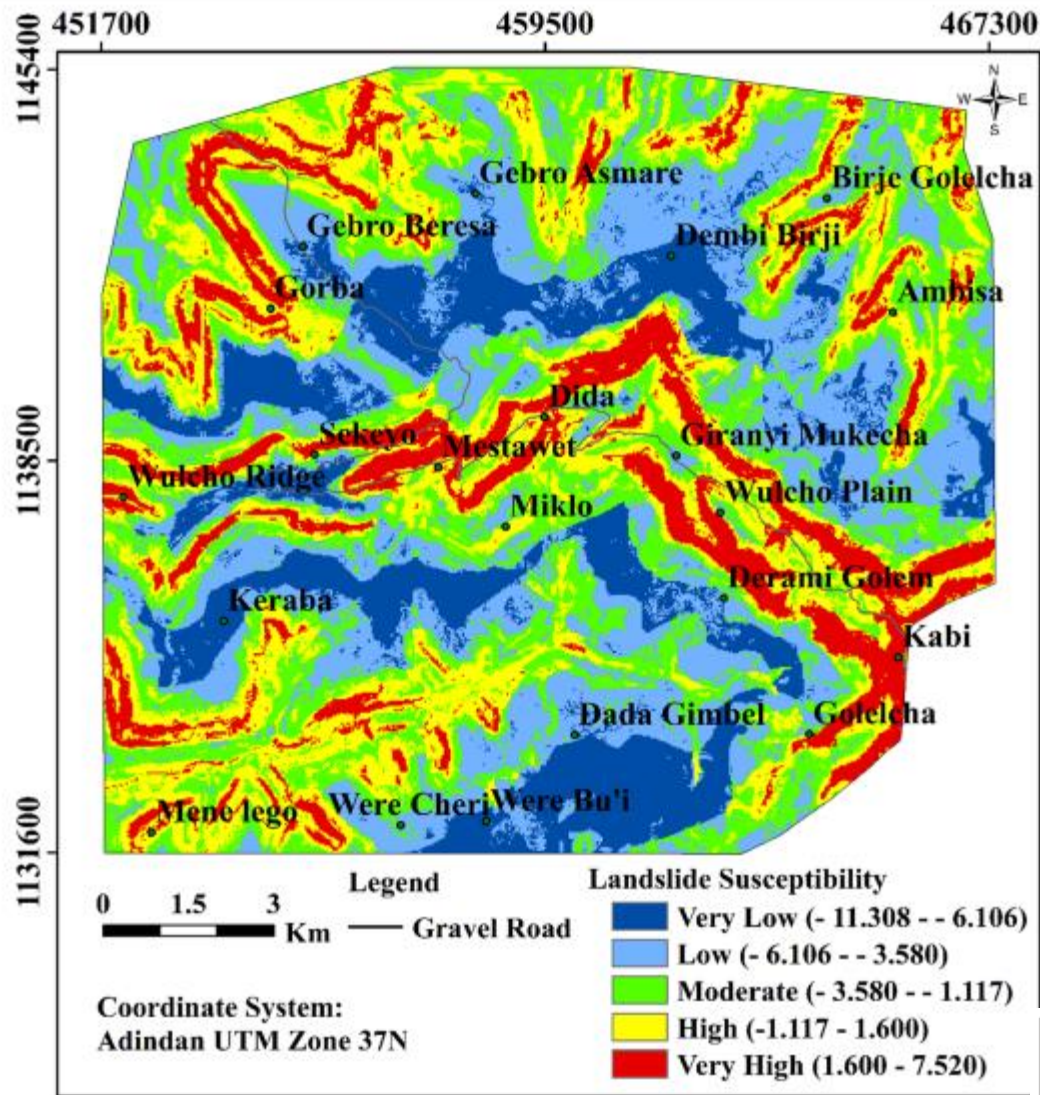
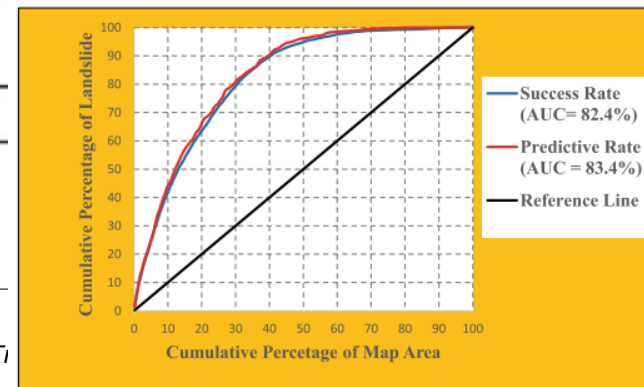


Fig. 8 Landslide susceptibility map of the study area

Success rate and predictive rate curves for weights of evidence model.





## STATISTISCO

Mediante opportuni algoritmi si determina la combinazione che in passato hanno condotto all'innescò di frane.

FREQUENCY RATIO

WEIGHTS OF EVIDENCE

REGRESSIONE LOGISTICA

MACHINE LEARNING

# APPROCCIO STATISTICO

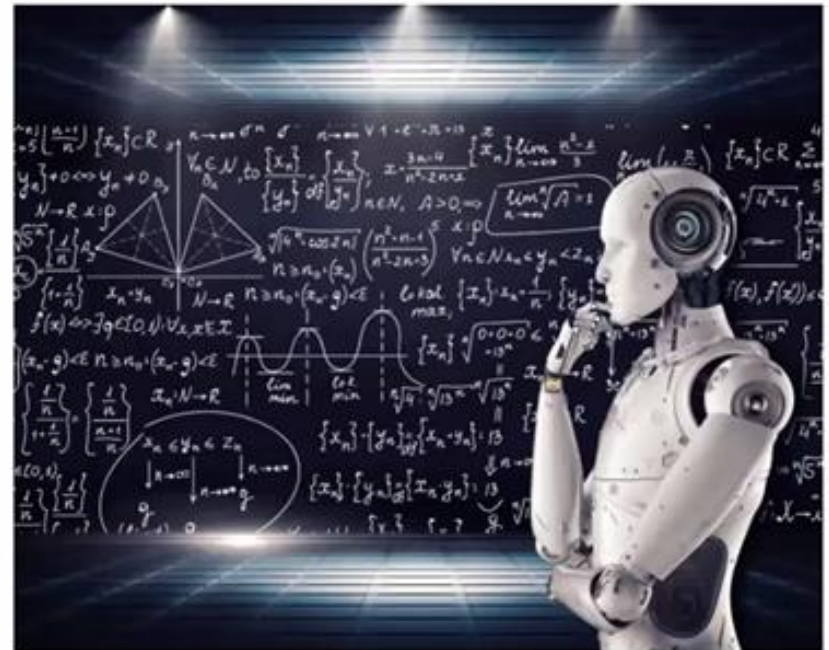
## MACHINE LEARNING



L'*apprendimento automatico* (noto in letteratura come *Machine Learning*) è, di per sè, un campo multidisciplinare ed è una metodologia usata per costruire *modelli previsionali* estraendo modelli da grandi insiemi di dati.



Rappresenta una delle aree fondamentali dell'intelligenza artificiale, il cui obiettivo principale è quello di imparare a riconoscere automaticamente modelli complessi e prendere decisioni intelligenti basati su dati.



## STATISTISCO

Mediante opportuni algoritmi si determina la combinazione che in passato hanno condotto all'insacco di frane.

FREQUENCY RATIO

WEIGHTS OF EVIDENCE

REGRESSIONE LOGISTICA

**MACHINE LEARNING**

# APPROCCIO STATISTICO

Di Napoli, M., Carotenuto, F., Cevasco, A., Confuorto, P., Di Martire, D., Firpo, M., ... & Calcaterra, D. (2020). Machine learning ensemble modelling as a tool to improve landslide susceptibility mapping reliability. *Landslides*, 17(8), 1897-1914.

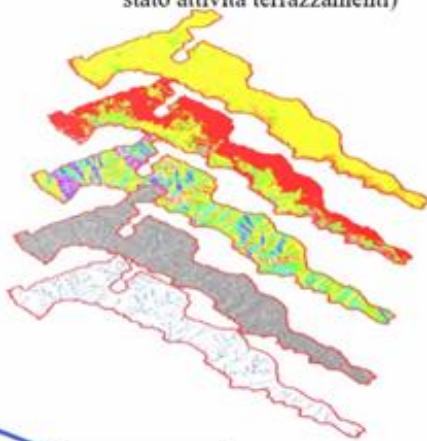
## MODELLI DISTRIBUZIONE SPAZIALE

Y = Variabile dipendente o di risposta (punti di occorrenza del fenomeno)

X = Variabili indipendenti o variabili predisponenti (pendenza, esposizione, densità di drenaggio, indice di umidità del suolo, stato attività terrazzamenti)

Modelli Machine Learning:

Random Forest  
Artificial Neural Network  
Maximum Entropy (MaxEnt)



L'evento viene ricostruito in luoghi non campionati.