



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



<http://www.centrometeo.com>

Rischio idrogeologico

# MAPPARE IL RISCHIO



Dr. Chiara Calligaris

A.A. 2020-2021

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



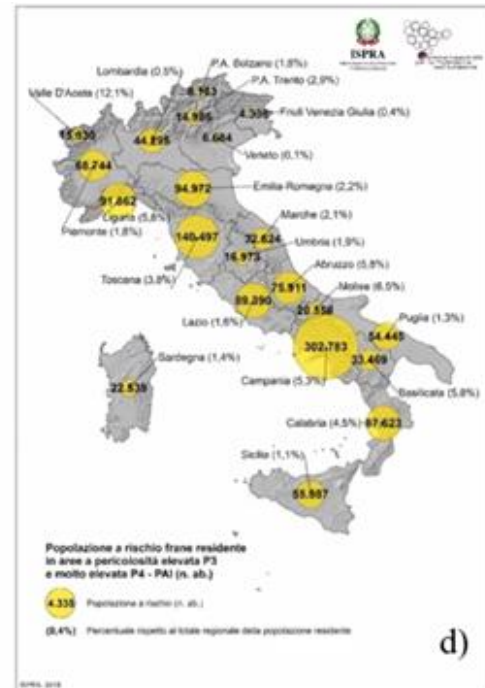
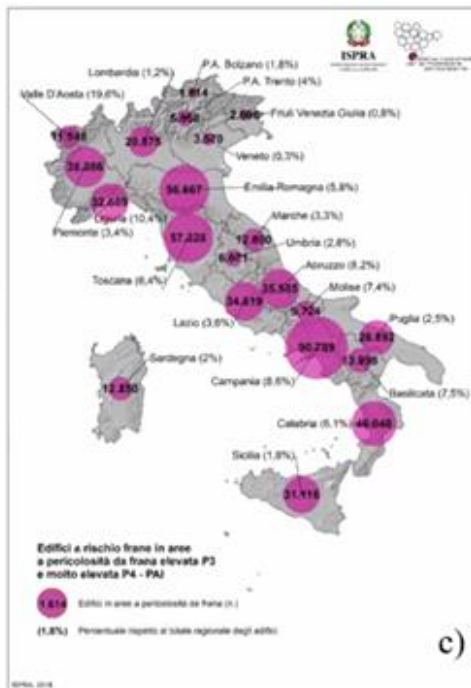
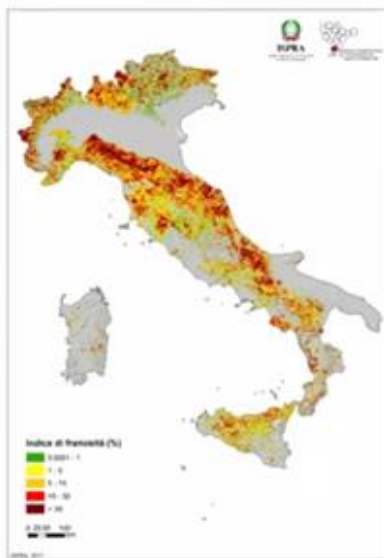
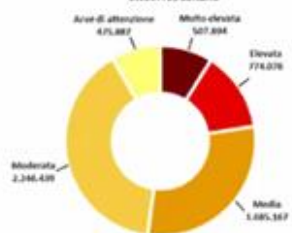
UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI DI TRIESTE

[www.aedilizia.com](http://www.aedilizia.com)



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.

Popolazione a rischio frane residente in aree a pericolosità PAI  
5.689.463 abitanti



- 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).



# CAUSE DELL'INSTABILITA'

SUSCETTIBILITA': è la probabilità che un determinato evento calamitoso, di una certa magnitudo, si verifichi in una determinata area.

PERICOLOSITA': è la probabilità che un evento franoso di date dimensioni, velocità e volume di massa spostata si verifichi in un determinato intervallo di tempo ed in una certa area del territorio.

Le cause che possono dare origine a fenomeni di instabilità possono essere suddivise in DUE grandi categorie:

## *Predisponenti*

Considerano tutti quei fenomeni ambientali che rendono un territorio propenso all'instabilità.

## *Scatenanti*

Agiscono su un pendio già indebolito e innescano il fenomeno (intense precipitazioni, attività sismica).

# 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*

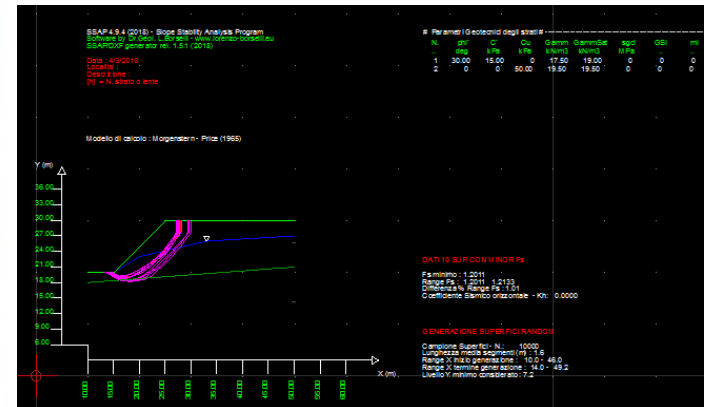
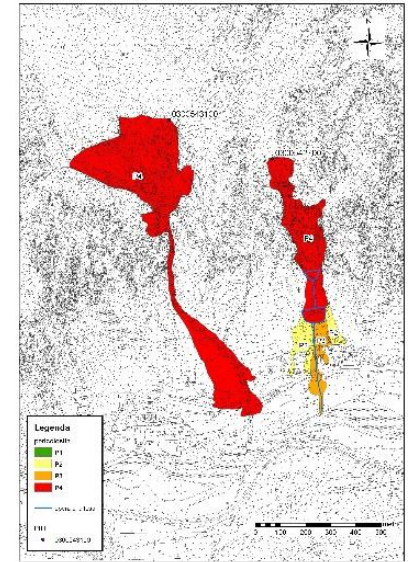
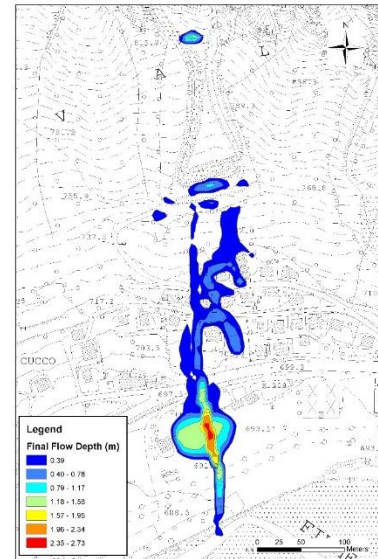
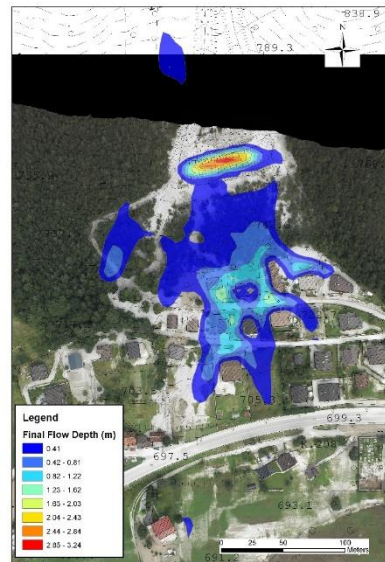
*MACHINE LEARNING*

# 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.*

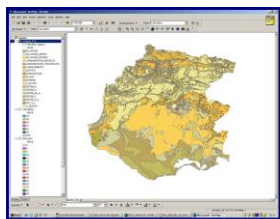
# APPROCCIO EURISTICO

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.

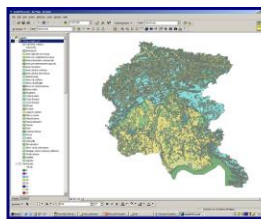
In the 1976, Neuland used more than 30 factors.

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.

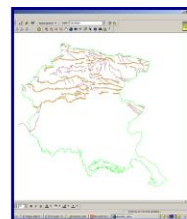
The considered parameters, chosen on the basis of both an accurate bibliographical study and the experience, are the following: surface geology, lithology, geomorphology (slope geometry, aspect), structure of the area, structure of the lithological units, erosive activity, sismicity, soil use, vegetation, anthropic settlements, rainfall.



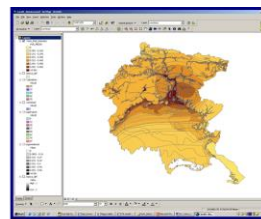
Lithological map



Land use map



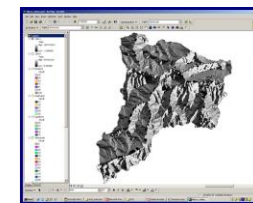
Lineament factors map



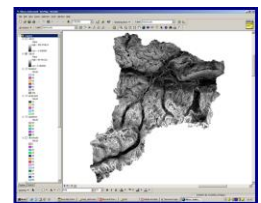
Sismicity map



Average rainfall map



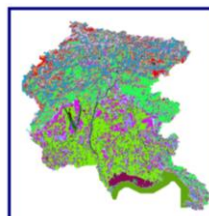
Aspect map



Slope map



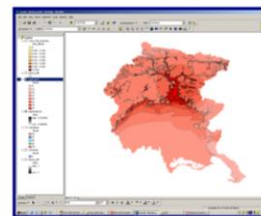
Lithological map



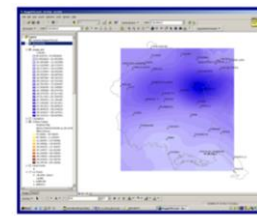
Land use map



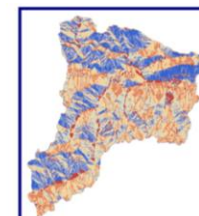
Lineament factors map



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) che 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.*

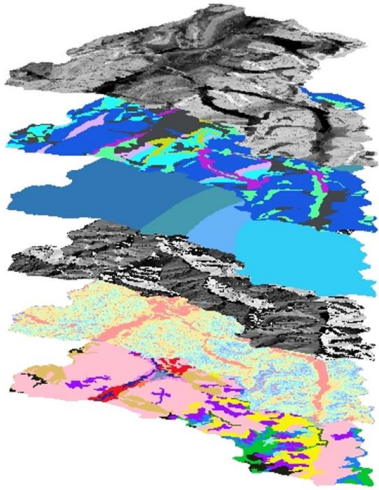
# APPROCCIO EURISTICO

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.*



Overlay tematico

# APPROCCIO EURISTICO

The considered parameters were arranged in hierarchical order of priorities in rows and columns to generate a pairwise 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.

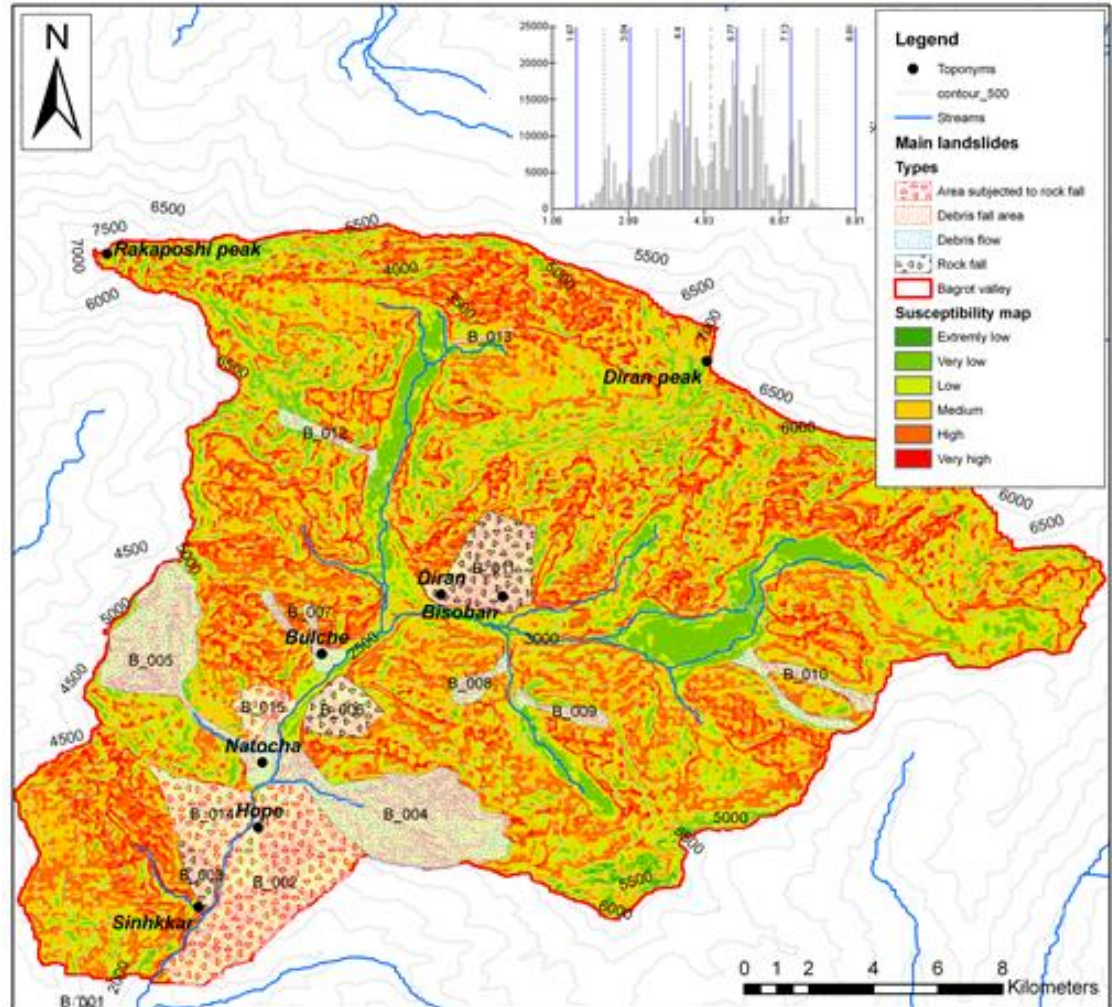
## EURISTICO

*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.*

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.

Classes	N. of cells	%	Susceptibility description
1	647	0.13	Extremely low susceptible
2	46760	9.71	Very low susceptible
3	107003	22.22	Low susceptible
4	160054	33.25	Medium susceptible
5	133666	27.76	High susceptible
6	33246	6.91	Very high susceptible

# APPROCCIO EURISTICO





## 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](https://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>Karlsruhe 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



# STATISTISCO

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

FREQUENCY RATIO

WEIGHTS OF EVIDENCE

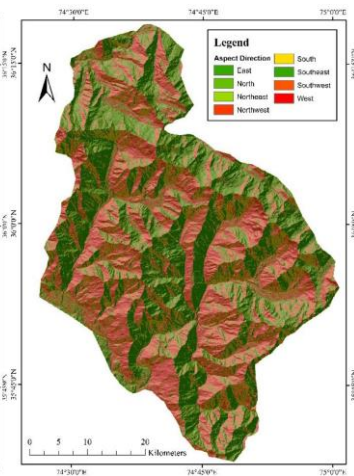
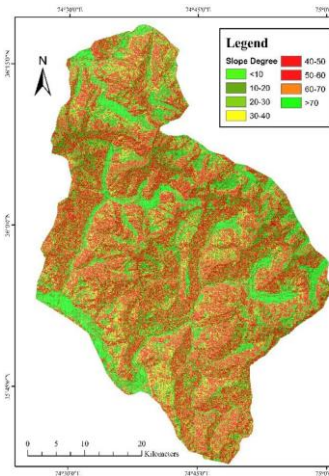
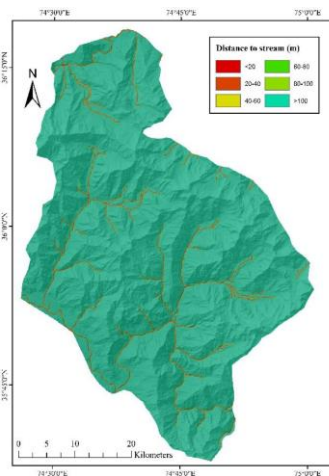
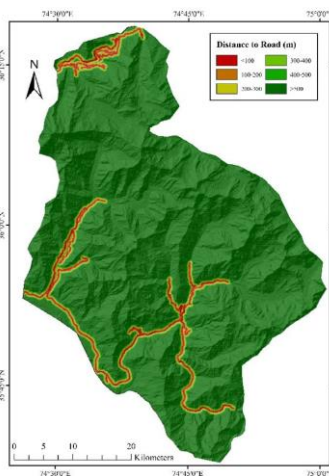
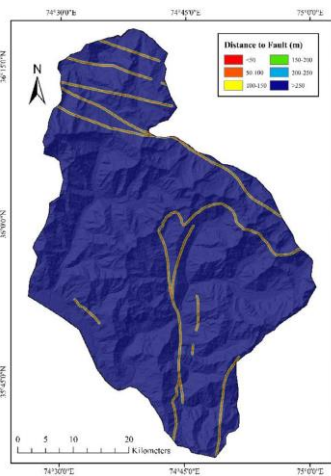
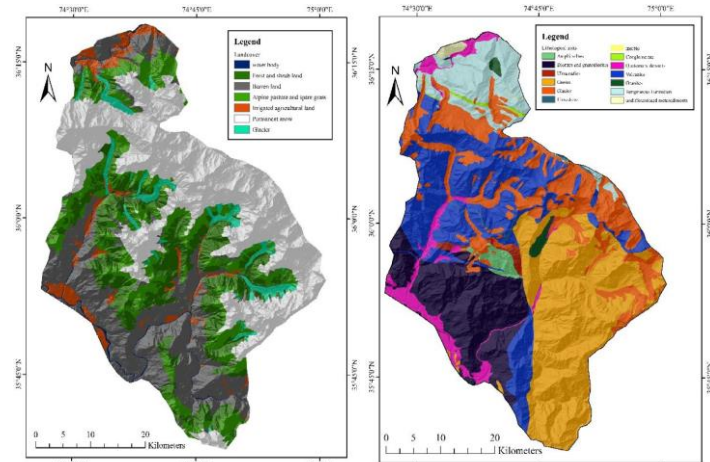
REGRESSIONE LOGISTICA

MACHINE LEARNING

# APPROCCIO 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	158986	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	316528	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
Forest and shrub land		452462	16.23	21973	15.36	0.95
Barren Land		656714	23.56	96406	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

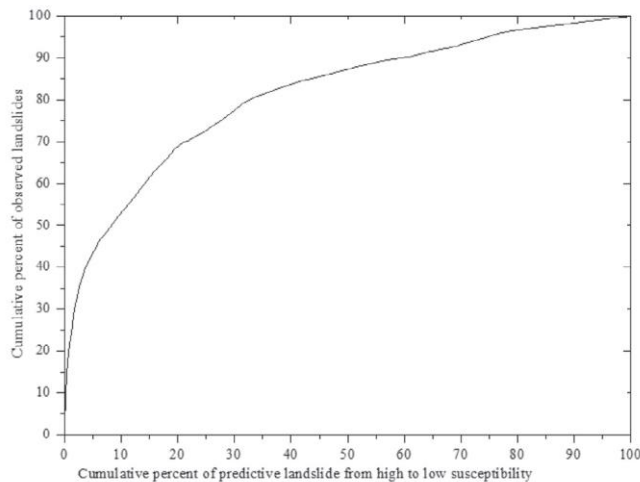
*Mediante opportuni algoritmi  
si determina la combinazione  
che in passato hanno  
condotto all'innescò di frane.*

FREQUENCY RATIO

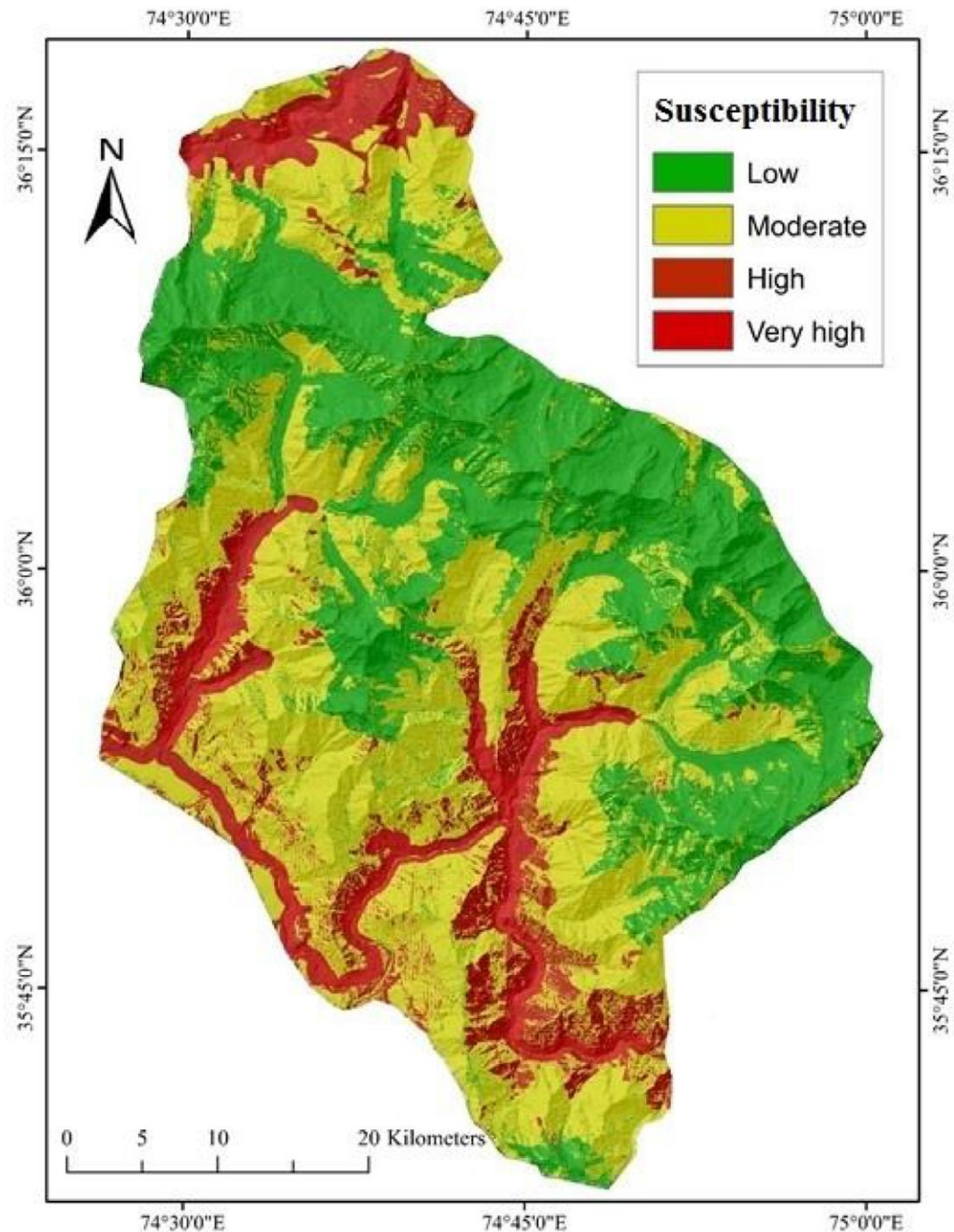
*WEIGHTS OF EVIDENCE*

*REGRESSIONE LOGISTICA*

*MACHINE LEARNING*



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



## 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

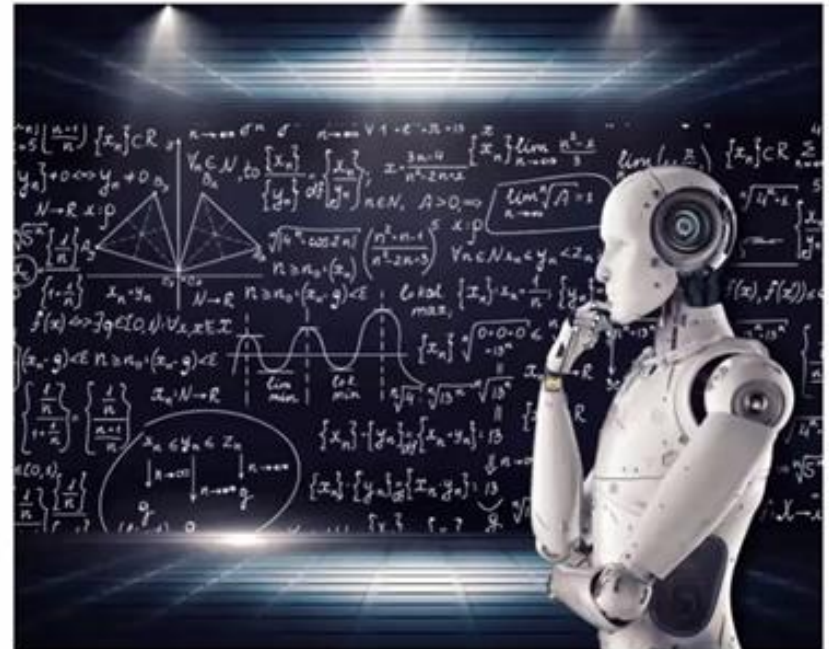
## MACHINE LEARNING



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

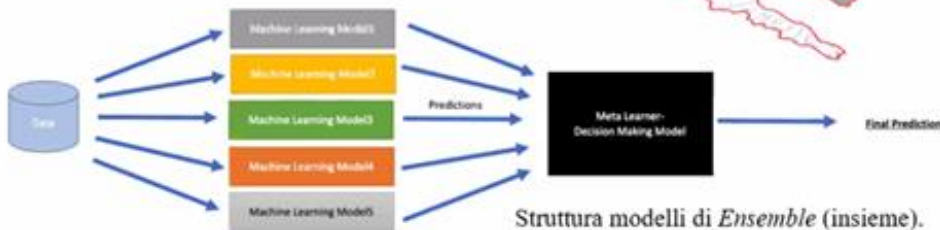
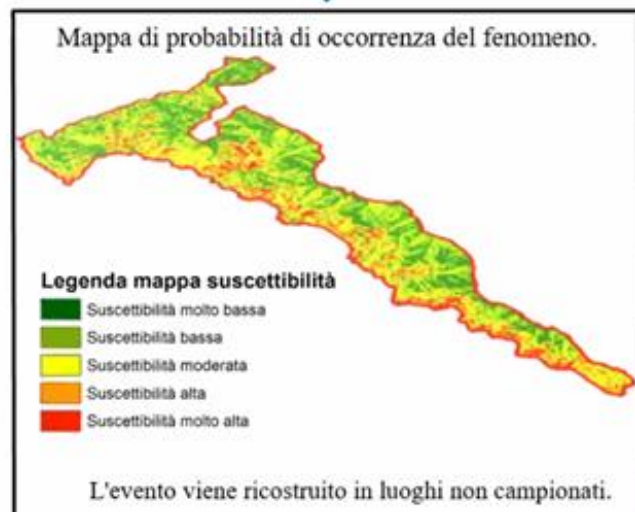
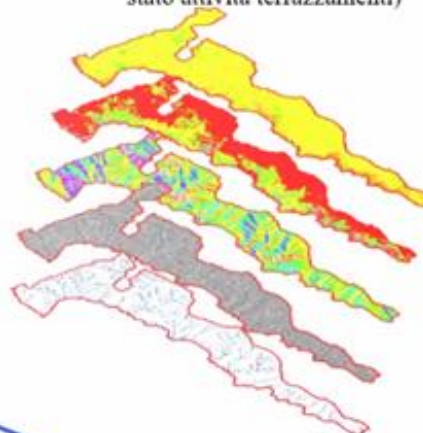
Di Napoli, M., Carotenuto, F., Cevasco, A., Confuorto, P., Di Martire, D., Firpo, M., ... & Calcaterra, D. (2020). Machine learning ensemble modelling as a tool to improve landslide susceptibility mapping reliability. *Landslides*, 17(8), 1897-1914.

## MODELLI DISTRIBUZIONE SPAZIALE

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

$X$  = Variabili indipendenti o variabili predisponenti (pendenza, esposizione, densità di drenaggi, 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.