



Pericolosità e rischio delle infrastrutture stradali. Applicazione nella Provincia di Matera

Dr. Ing. Roberta Pellicani



FRANE - STRADE

- > Incolumità degli utenti
 - per impatto diretto (crolli)
 - per impatto sui cumuli di frana
- > Interruzione del traffico
- > Interventi di ripristino della viabilità
- > Interventi di sistemazione delle scarpate

Fattori di complessità:

- ▶ Livello di dettaglio dell'analisi
- ▶ Scala di rappresentazione
- ▶ Disponibilità dei dati di input
- ▶ Qualità dei dati (> affidabilità risultati)
- ▶ Densità dei dati (distribuzione spaziale)
- ▶ Scelta del metodo di analisi
- ▶ Scelta dell'unità di mappatura
- ▶ Procedura di validazione dei risultati

Stima dei fattori di rischio

Pericolosità (*hazard*) e Vulnerabilità:

- Prob. temporale del meccanismo d'innescio
- Intensità del fenomeno
- Processo di propagazione
- Mobilità dei veicoli
- Volume di traffico
- Tipologia del tratto stradale a rischio
- Tipo di veicolo e numero di occupanti

Principali sistemi qualitativi di valutazione del rischio di crollo/frana sulle strade

Metodo	Paese di origine (Stato)	Applicazione**	Rischio ^{a,b}
HRHS*	USA (OR)	R	$\Sigma f_h + f_d + \Sigma f_c$
SSRS*	USA (VA)	R	$\Sigma f_h + f_d + \Sigma f_c$
RHRS*	USA (OR)	R	$\Sigma f_h + f_d + \Sigma f_c$
RHRON	Canada	R	$(\Sigma f_m + \Sigma f_h + \Sigma f_d + \Sigma f_c)/4$
NPCSS	Cina	R/S/E	$\Sigma f_h \times \Sigma f_c$
USMS*	USA (WA)	R/S/E	$f_{(m+d)} + \Sigma f_c$
USRS*	USA (OR)	R/S	$(f_{(m+h)} + \Sigma f_c) \times f_r \times f_{hw}$
TRHS*	USA (TN)	R	$\Sigma f_h + f_d + \Sigma f_c$
HiSIMS*	USA (TN)	R/S	$f_d + \Sigma f_c$
MORFH-RS	USA (MO)	R	$[\Sigma f_h + (f_d + \Sigma f_c)]/2$
mRHS*	Italia	R	$f_m + \Sigma f_h + f_d + \Sigma f_c$
RHCMS*	USA (MT)	R	$\Sigma f_h + f_d + \Sigma f_c$
RCSA	Spagna	R	$\Sigma f_h \times (\Sigma f_c + f_{hw})$
RHRM*	USA (OH)	R	$f_m + \Sigma f_h + f_d + \Sigma f_c$
LHRS*	USA (OH)	R/S	Σf_c
RSRP*	USA (NY)	R	$(\Sigma f_h) \times f_d \times f_c$
UDOT-RHRS*	USA (UT)	R	$(\Sigma f_h) \times f_d \times f_c$
CRHS*	USA (CO)	R	$f_m + \Sigma f_h + f_d + \Sigma f_c$

Pantelidis, 2011

(*) Utilizza un sistema di punteggio esponenziale in base 3 (es.: 3, 9, 27, 81 o 1, 3, 9, 27, 81).

(**) R: scarpate in roccia; S: scarpate in terreno; E: rilevati.

(a) f_h , f_d , f_c , f_m , f_r e f_{hw} fattori correlati alla pericolosità (h), all'efficacia del vallo paramassi (d), alle conseguenze di una possibile rottura della scarpata (c), alla magnitudo dell'evento (m), ai costi di ripristino (r) ed alla classe di appartenenza della strada (hw).

(b) I simboli al pedice (es.: $m+h$) indicano che due categorie sono combinate in un unico fattore.

Rischio da crollo



PROBABILITÀ ANNUA DI MORTE DEGLI OCCUPANTI I VEICOLI IMPATTATI:

(Corominas et al. 2005; Pantelidis 2011;
Ferlisi et al. 2012; Mignelli et al. 2012; Stock
et al. 2012; Budetta et al. 2016).

- probabilità di occorrenza di un crollo di data magnitudo (< relazione intensità-frequenza crolli e frequenza eventi innescanti)
- probabilità (spazio-temporale) che un masso colpisca il veicolo in moto (< processo di propagazione e mobilità elementi a rischio)
- Vulnerabilità (< intensità crollo e caratteristiche dell'elemento a rischio)

Frane in roccia (crolli)

Dimensione ridotta
Elevata intensità
↑
Elevata velocità
Elevate potenzialità di impatto e
danno sugli elementi a rischio
mobili (veicoli)

Frane in terra (scivolamenti, colate)

Maggiore diffusione sul territorio
Intensità variabile
↑
Dimensioni del fenomeno
Tipologia di movimento
Maggiore impatto sugli elementi a
rischio fissi (strade)

1° caso di studio

Valutazione e mappatura del rischio da frana in corrispondenza della rete stradale della Provincia di Matera

Piccola scala



Australian
Geomechanics
Society

«PRACTICE NOTE GUIDELINES FOR
LANDSLIDE RISK MANAGEMENT 2007»

APPROCCIO MATRICIALE

Matrice CONSEQUENZE-PERICOLOSITA'

QUALITATIVE RISK ANALYSIS MATRIX – LEVEL OF RISK TO PROPERTY

LIKELIHOOD		CONSEQUENCES TO PROPERTY (With Indicative Approximate Cost of Damage)				
	Indicative Value of Approximate Annual Probability	1: CATASTROPHIC 200%	2: MAJOR 60%	3: MEDIUM 20%	4: MINOR 5%	5: INSIGNIFICANT 0.5%
A - ALMOST CERTAIN	10^1	VH	VH	VH	H	M or L (5)
B - LIKELY	10^2	VH	VH	H	M	L
C - POSSIBLE	10^3	VH	H	M	M	VL
D - UNLIKELY	10^4	H	M	L	L	VL
E - RARE	10^5	M	L	L	VL	VL
F - BARELY CREDIBLE	10^6	L	VL	VL	VL	VL

Notes: (5) For Cell A5, may be subdivided such that a consequence of less than 0.1% is Low Risk.
(6) When considering a risk assessment it must be clearly stated whether it is for existing conditions or with risk control measures which may not be implemented at the current time.

RISK LEVEL IMPLICATIONS

Risk Level		Example Implications (7)
VH	VERY HIGH RISK	Unacceptable without treatment. Extensive detailed investigation and research, planning and implementation of treatment options essential to reduce risk to Low; may be too expensive and not practical. Work likely to cost more than value of the property.
H	HIGH RISK	Unacceptable without treatment. Detailed investigation, planning and implementation of treatment options required to reduce risk to Low. Work would cost a substantial sum in relation to the value of the property.
M	MODERATE RISK	May be tolerated in certain circumstances (subject to regulator's approval) but requires investigation, planning and implementation of treatment options to reduce the risk to Low. Treatment options to reduce to Low risk should be implemented as soon as practicable.
L	LOW RISK	Usually acceptable to regulators. Where treatment has been required to reduce the risk to this level, ongoing maintenance is required.
VL	VERY LOW RISK	Acceptable. Manage by normal slope maintenance procedures.

Pellicani R., Argentiero I., Spilotro G. (2017) GIS-based predictive models for regional-scale landslide susceptibility assessment and risk mapping along road corridors. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 1-22. DOI: 10.1080/19475705.2017.1292411.

2° caso di studio

Valutazione e mappatura della pericolosità da crollo lungo la strada costiera SS18 nei pressi di Maratea

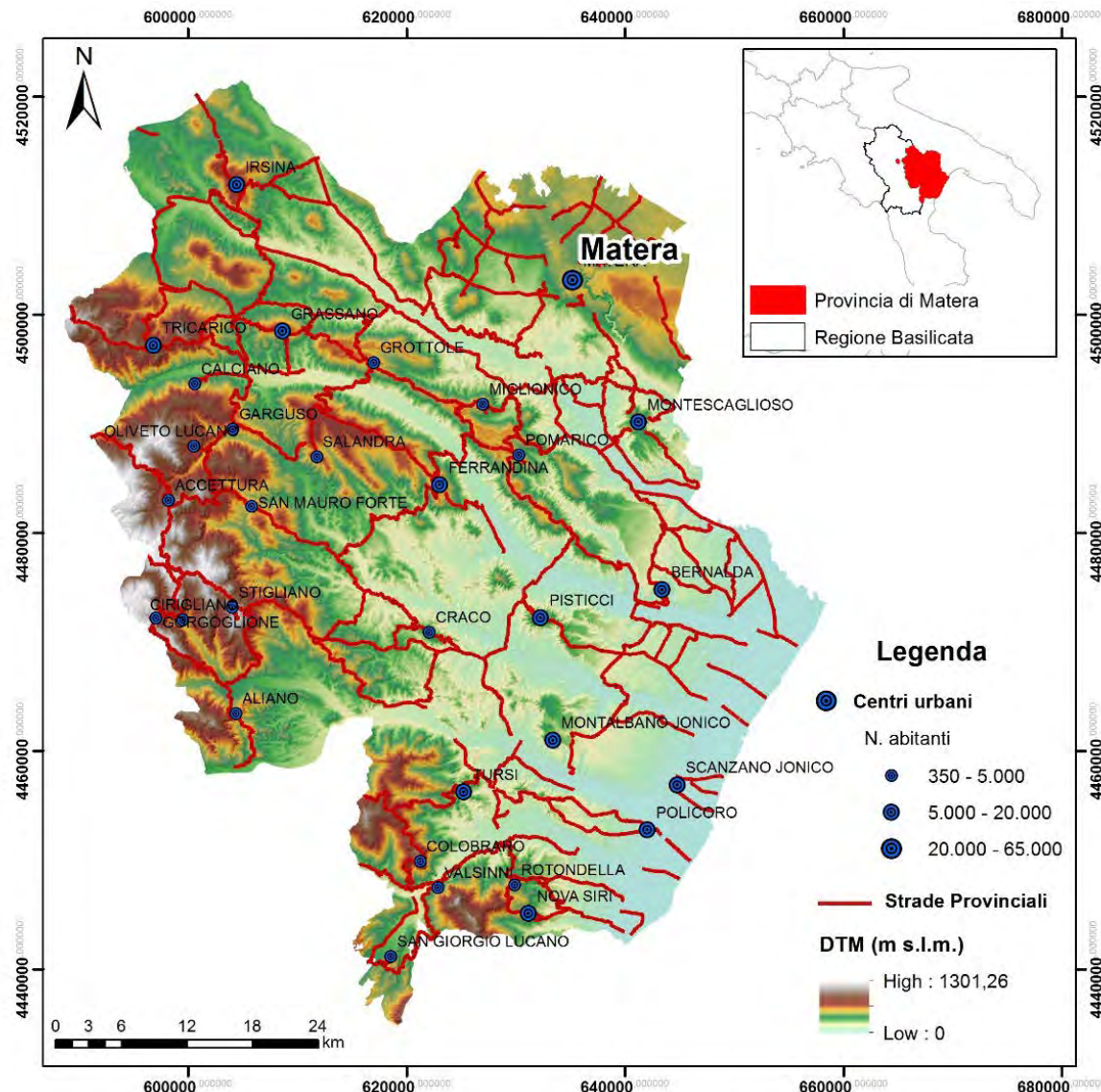
Media scala

APPROCCIO EURISTICO

MODELLAZIONE DELLE TRAIETTORIE DI CROLLO

Pellicani R., Spilotro G., Van Westen C.J. (2016) Rockfall trajectory modeling combined with heuristic analysis for assessing the rockfall hazard along the Maratea SS18 coastal road (Basilicata, Southern Italy). *Landslides*, 13 (5): 985-1003. DOI 10.1007/s10346-015-0665-3.

Valutazione e mappatura del rischio da frana lungo la rete stradale della Provincia di Matera



❖ La rete stradale provinciale connette 31 comuni della provincia di Matera

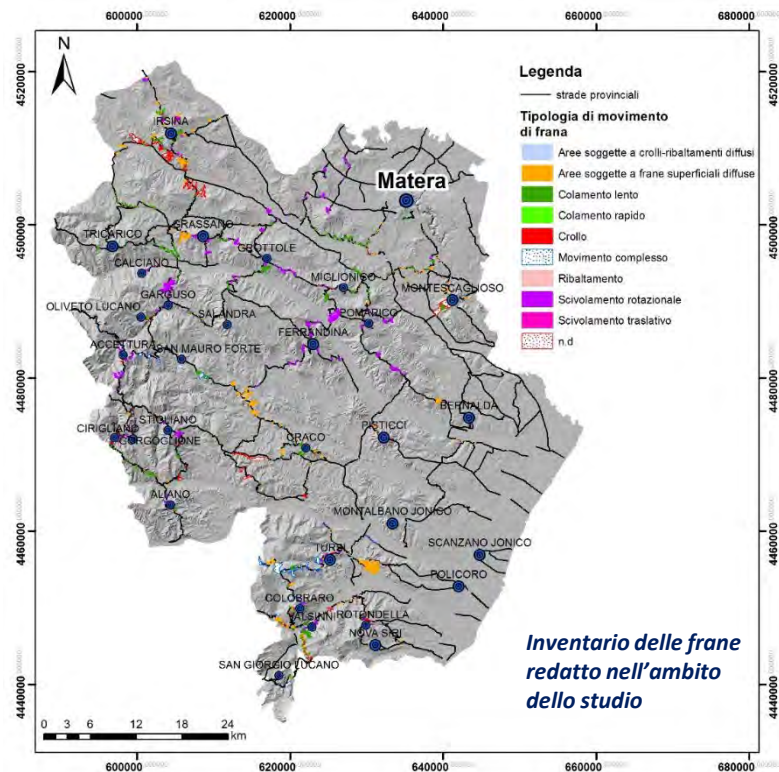
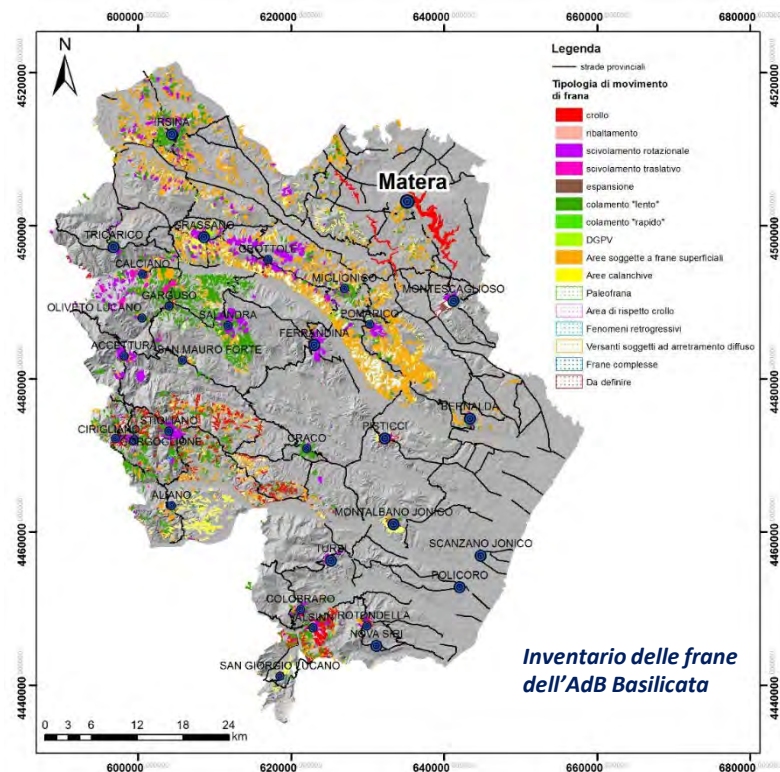
❖ L'importanza strategica di queste strade risiede nella loro unicità nel connettere ciascun centro abitato al contesto socio-economico

❖ Continuamente esposte a fenomeni di instabilità da frana

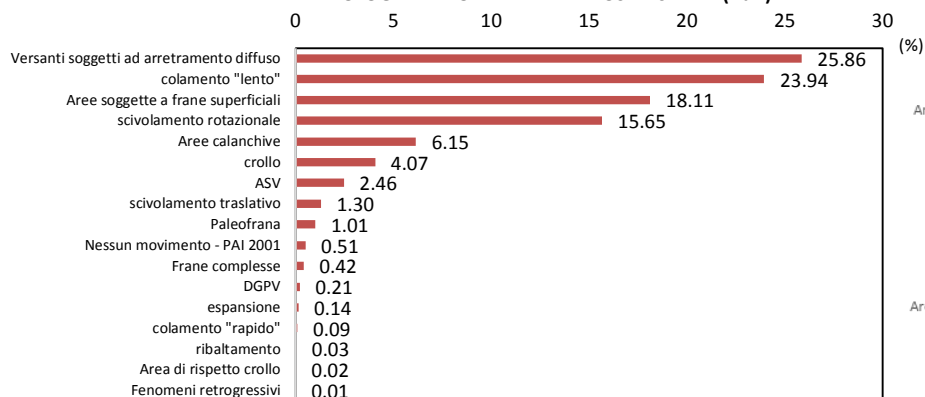
❖ Circa il 44% (584 km) è stato interessato da danni per frana e da interventi di ripristino

Valutazione e mappatura del rischio da frana lungo la rete stradale della Provincia di Matera

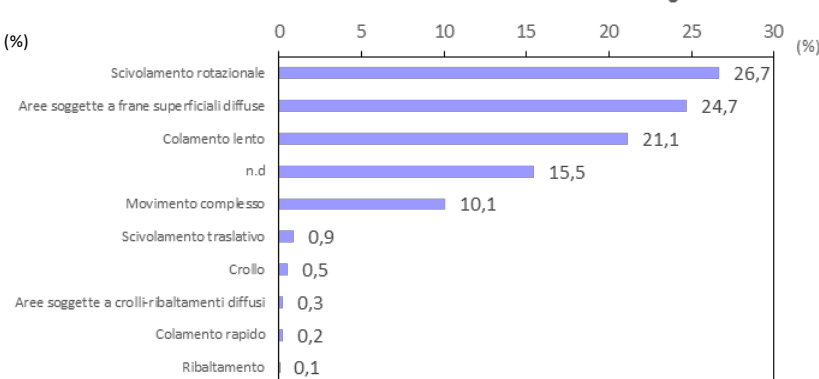
Analisi e rilievo dei fenomeni franosi



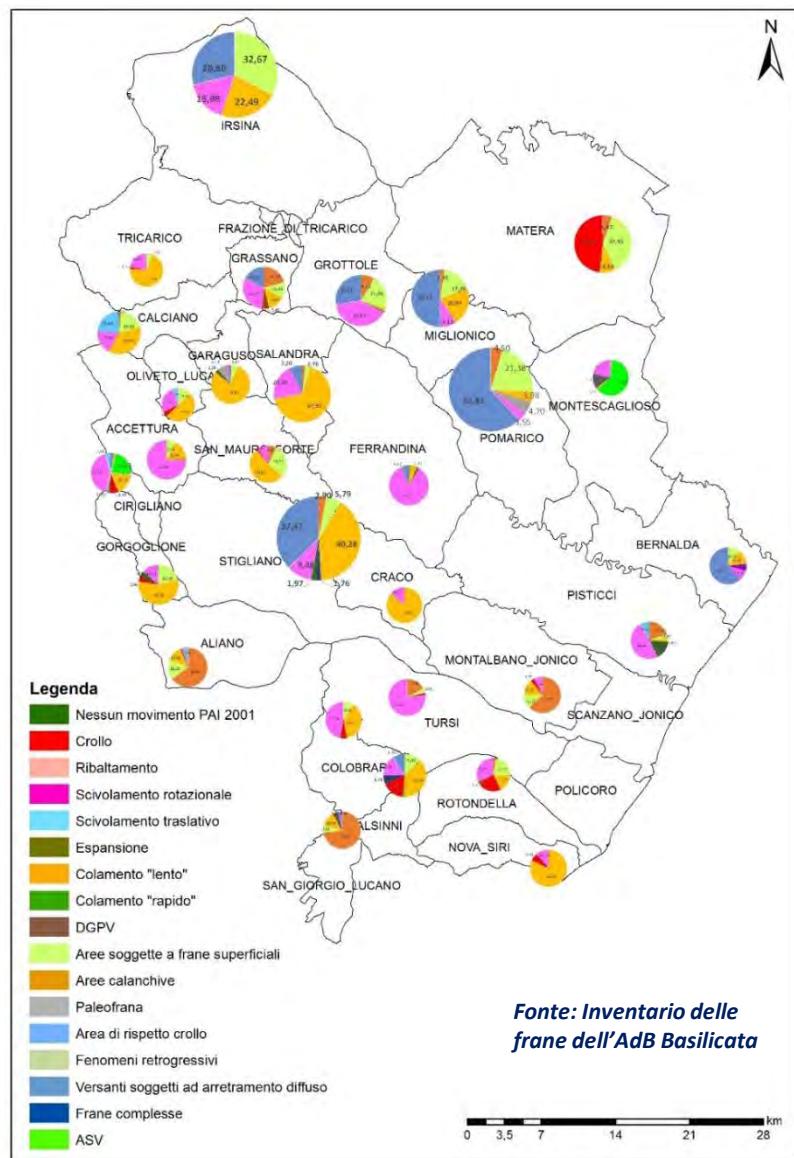
TIPOLOGIE DI MOVIMENTI FRANOSI Prov. MT (ADB)



TIPOLOGIE DI MOVIMENTI FRANOSI rilevati lungo la rete stradale



Analisi e rilievo dei fenomeni franosi



COMUNE	Area frane (km ²)	A_f/A_{tot} (%)	Area Comune (Km ²)	A_f/A_{comune} (%)
POMARICO	51,98	17,81	128,41	40,48
IRSINA	42,29	14,49	261,02	16,20
STIGLIANO	28,91	9,91	209,22	13,82
GROTTOLE	22,93	7,86	116,06	19,76
MIGLIONICO	20,23	6,93	88,02	22,99
MATERA	19,43	6,66	387,92	5,01
SALANDRA	19,27	6,60	76,75	25,11
CALCIANO	13,66	4,68	49,22	27,76
GRASSANO	11,14	3,82	41,28	27,00
VALSINNI	10,37	3,55	31,91	32,51
ALIANO	9,74	3,34	97,50	10,00
GORGOGNONE	5,95	2,04	34,58	17,21
GARAGUSO	5,63	1,93	38,29	14,71
ACCETTURA	4,17	1,43	89,60	4,66
MONTESCAGLIOSO	3,03	1,04	174,09	1,74
CIRIGLIANO	2,77	0,95	14,79	18,76
TRICARICO	2,75	0,94	162,11	1,70
FERRANDINA	2,50	0,86	216,07	1,16
CRACO	2,40	0,82	76,29	3,14
COLOBRARO	2,18	0,75	65,98	3,31
MONTALBANO JONICO	1,76	0,60	134,70	1,31
PISTICCI	1,49	0,51	231,17	0,64
BERNALDA	1,34	0,46	125,24	1,07
SAN GIORGIO LUCANO	1,26	0,43	38,90	3,24
ROTONDELLA	1,17	0,40	76,11	1,54
SAN MAURO FORTE	1,17	0,40	86,24	1,35
OLIVETO LUCANO	1,09	0,38	30,88	3,55
TURSI	0,89	0,30	158,41	0,56
NOVA SIRI	0,33	0,11	52,09	0,63
POLICORO	0	0	67,61	0
SCANZANO JONICO	0	0	71,20	0
TOTALE	291,86		3446,14	

Valutazione e mappatura del rischio da frana lungo la rete stradale della Provincia di Matera

A = litologie della piattaforma carbonatica direttamente affioranti o con coperture calcarenitiche.

B = sequenze litologiche del riempimento della fossa bradanica:

B1 = argille subappennine ricoperte da sabbie (variamente cementate) e conglomerati, in assetto tabulare;

B2 = sequenza argille+sabbie in assetto inclinato;

B3 = argille subappennine direttamente esposte.

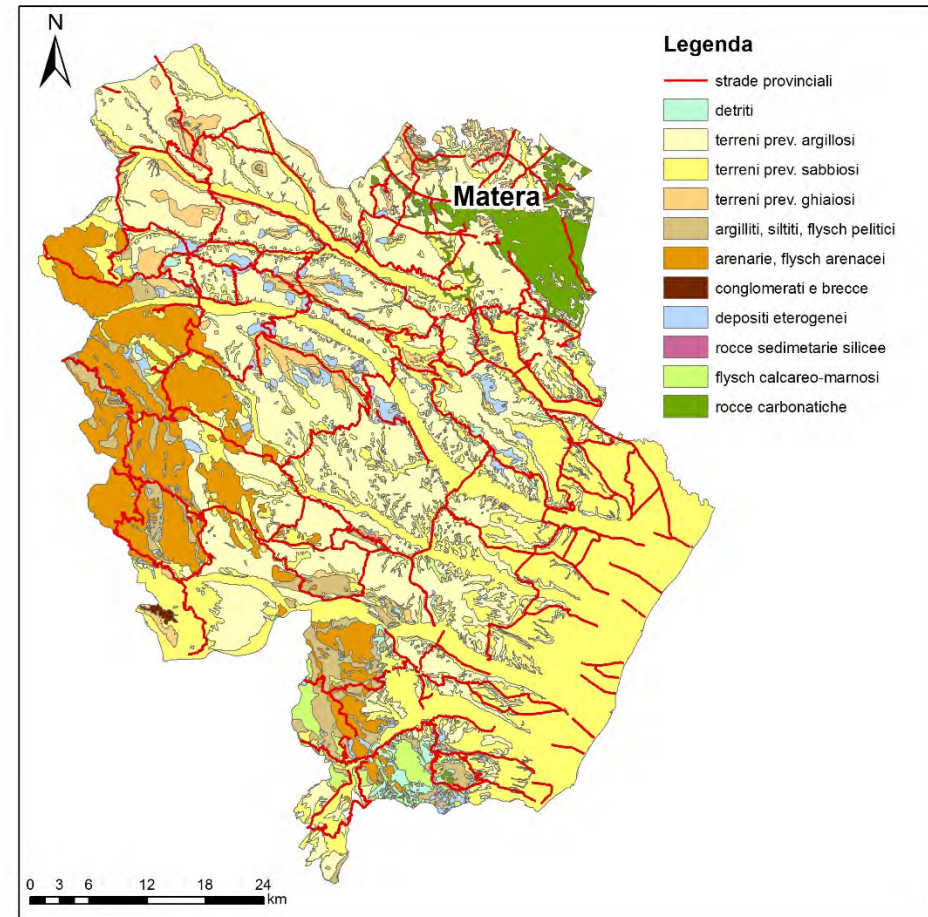
C = Flysch e Argille Varicolori:

C1 = componente argillosa

C2 = componente lapidea

D = sabbie e conglomerati

E = accumuli detritici, riporti, ecc.



Valutazione e mappatura del rischio da frana lungo la rete stradale della Provincia di Matera

❖ Tipologie di frana:

Elevata intensità e bassa frequenza

- Scivolamenti roto-traslativi
- Movimenti complessi
- Colate lente



Valutazione e mappatura del rischio da frana lungo la rete stradale della Provincia di Matera

❖ Tipologie di frana:

Bassa intensità e elevata frequenza

- Frane superficiali
- Colate rapide

Particolarmente pericolose per le strade:

- Ampiamente distribuite lungo le infrastrutture stradali
- Innesco connesso all'occorrenza di eventi meteorici



Valutazione e mappatura della suscettibilità da frana primariamente dei versanti afferenti alla rete stradale

Suscettibilità: funzione polinomiale di X_n fattori predisponenti l'instabilità suddivisi in classi associate a punteggi e pesati

MODELLO EURISTICO-
STATISTICO BIVARIATO

$$S = aX_1 + bX_2 + cX_3 + \dots + nX_n$$

$$a, b, c, \dots, n = \ln \frac{\overline{D}_{\text{classe}}}{D_A}$$

Pesi

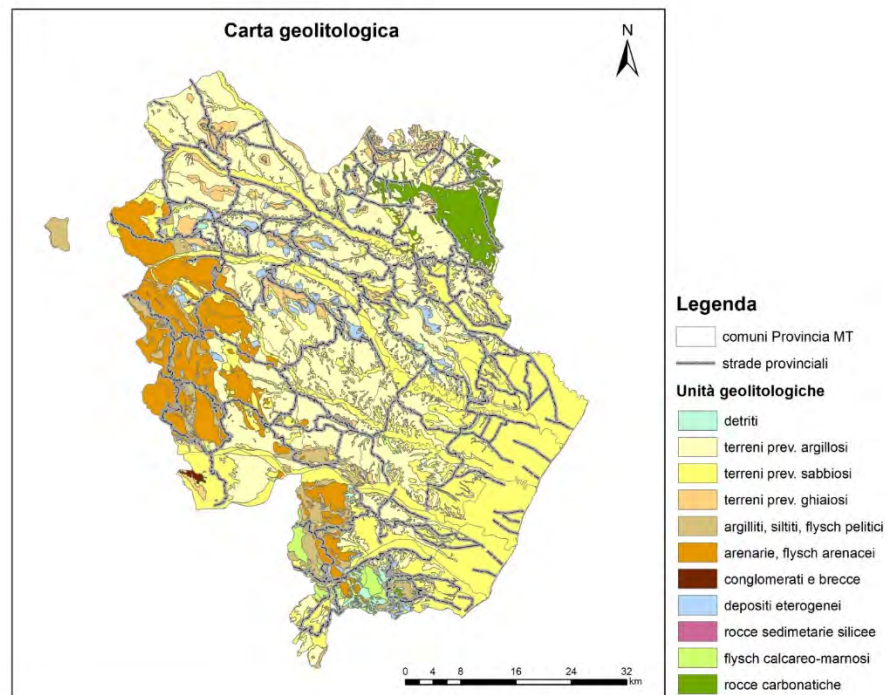
D_A = densità areale, definita come la percentuale di territorio interessata da frane

D_{classe} = densità di frana per classe, definita come la percentuale di area in frana ricadente in ogni classe di ciascun tematismo, pesata in funzione delle classi

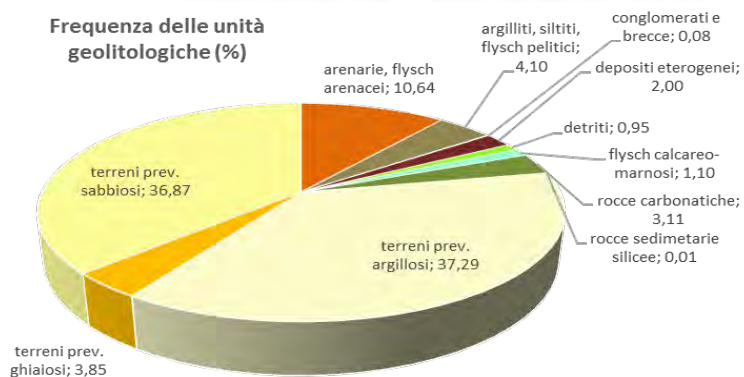
$$\overline{D}_{\text{classe}} = \frac{\sum_{i=1}^3 D_i s_i}{n_{\text{classe}}}$$

Elaborazioni dei piani tematici riguardanti i principali fattori di instabilità

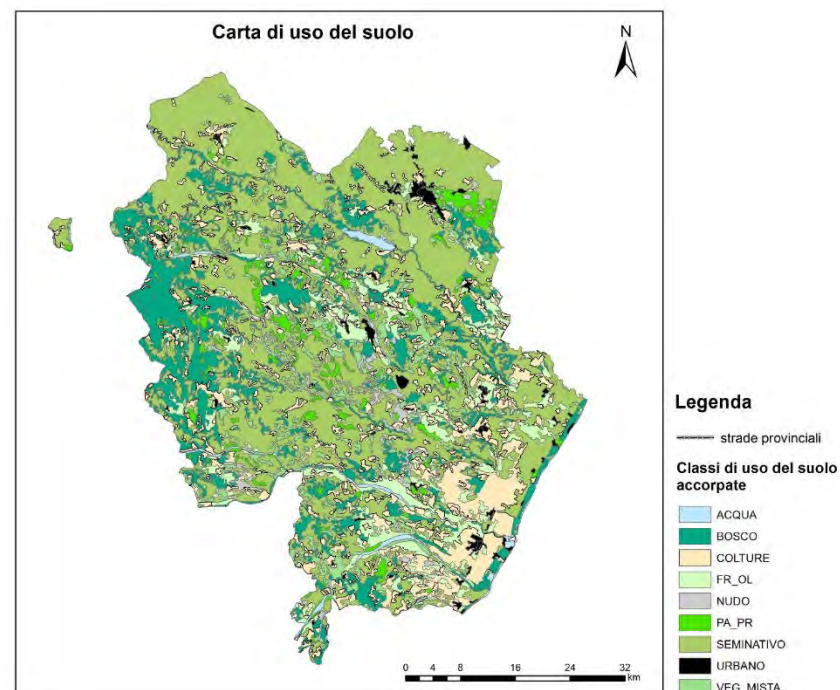
LITOLOGIA



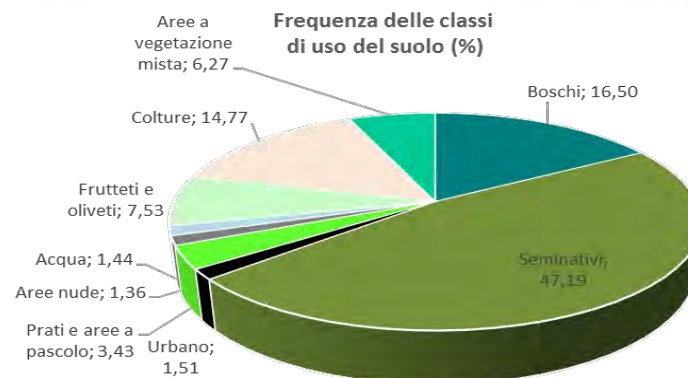
Frequenza delle unità geolitologiche (%)



USO DEL SUOLO



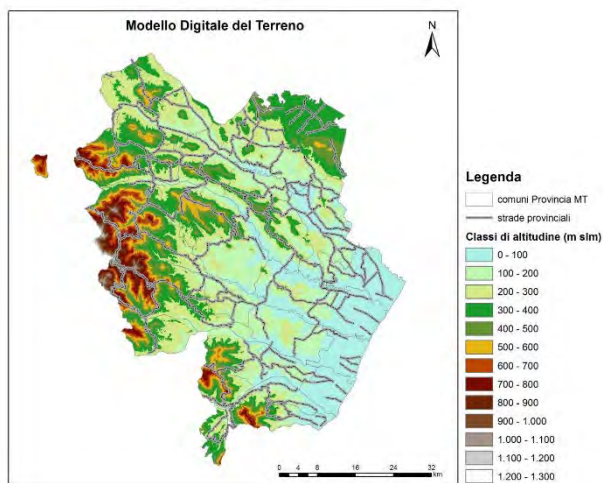
Frequenza delle classi di uso del suolo (%)



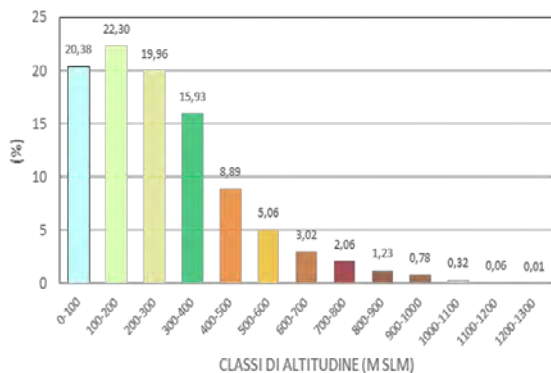
Elaborazioni dei piani tematici riguardanti i principali fattori di instabilità

Fattori morfometrici

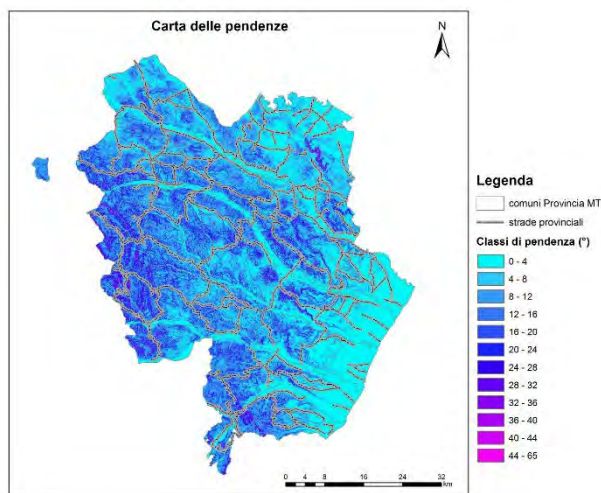
ELEVAZIONE



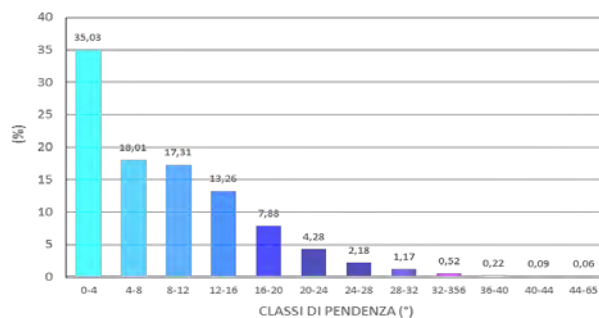
Distribuzione di frequenza delle classi di altitudine



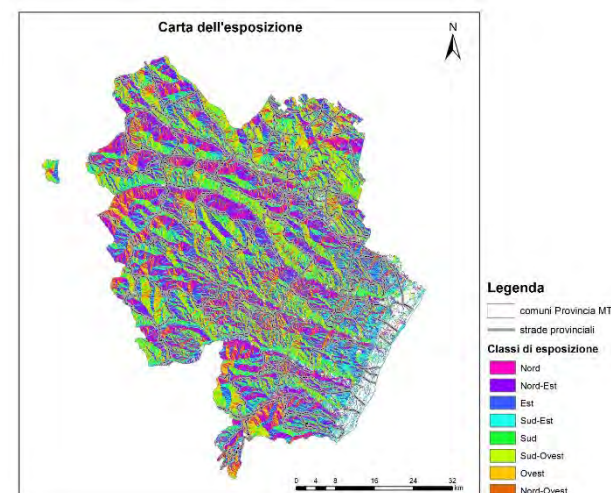
PENDENZA



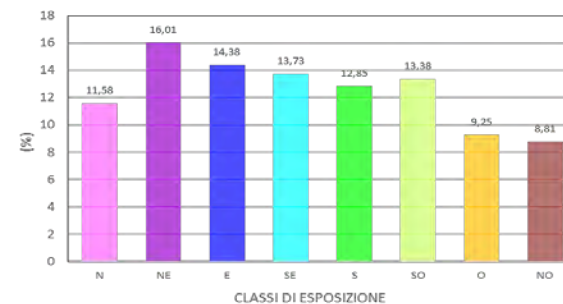
Distribuzione di frequenza delle classi di pendenza



ESPOSIZIONE



Distribuzione di frequenza delle classi di esposizione

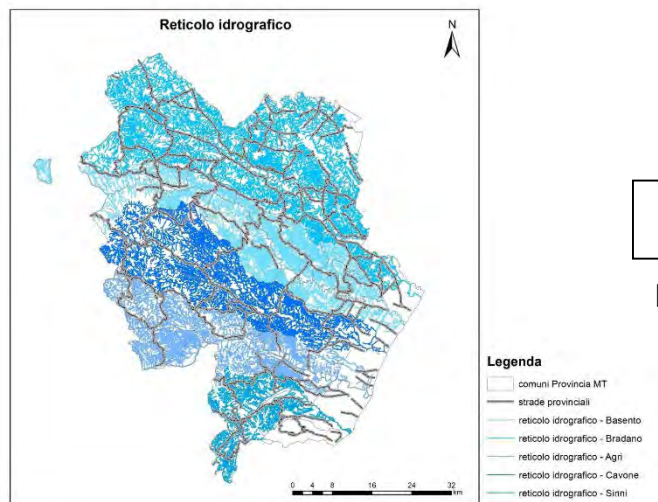
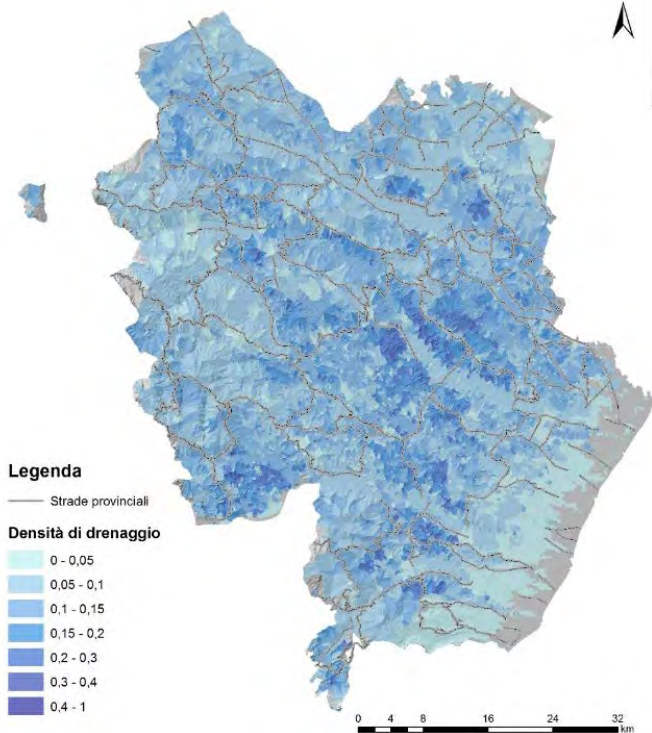


Elaborazioni dei piani tematici riguardanti i principali fattori di instabilità

Fattori idrologici

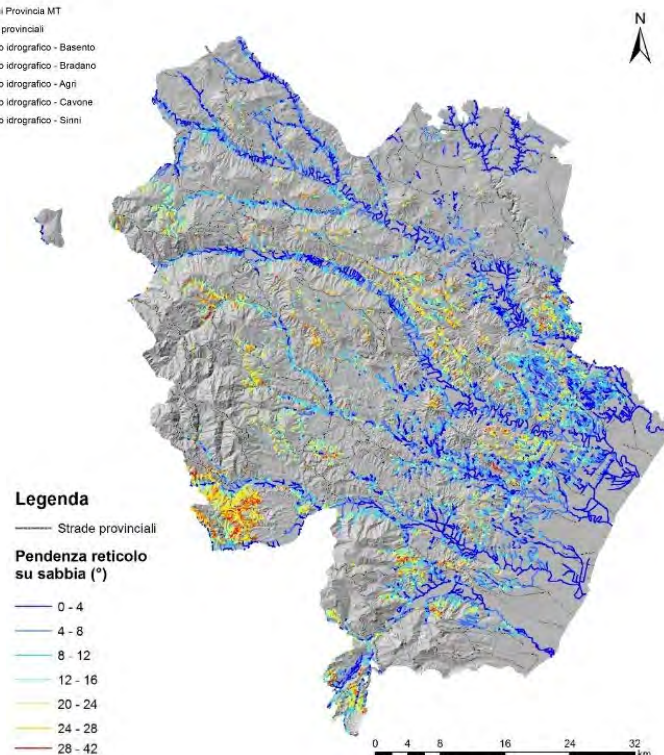
DENSITA' DI DRENAGGIO

Rapporto tra la lunghezza del reticolo e la superficie del bacino



ERODIBILITA' POTENZIALE

Pendenza delle porzioni di reticolo idrografico su terreni sabbiosi

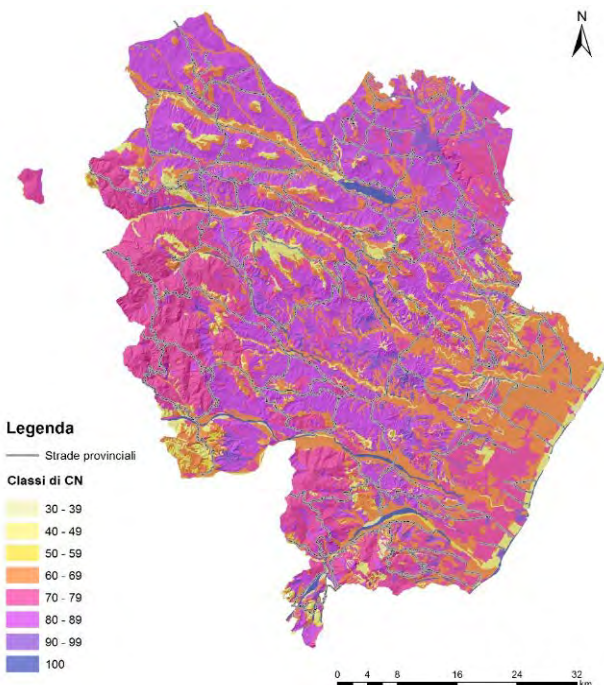


Elaborazioni dei piani tematici riguardanti i principali fattori di instabilità

Fattori idrologici

CURVE NUMBER

Parametro empirico per la determinazione del deflusso diretto a partire da un evento di pioggia, in funzione della capacità idrica massima del suolo o grado di saturazione. Indicativo dell'attitudine propria e specifica del bacino a produrre deflusso.



La predisposizione dei suoli a contribuire alla formazione del deflusso dipende essenzialmente da tre fattori:

- caratteri di permeabilità dei terreni superficiali e del substrato immediatamente sottostante;
- copertura vegetale e uso del suolo;
- stato di imbibizione del terreno al momento dell'evento meteorico considerato

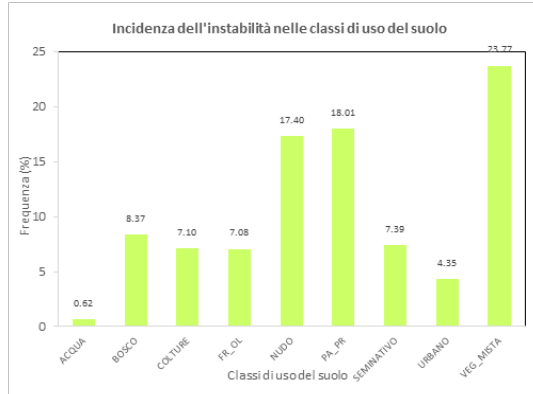
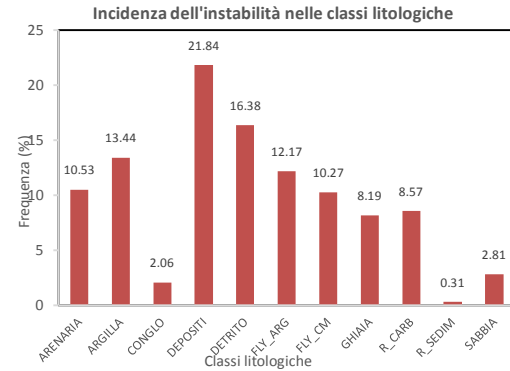
Tipo idrologico di suolo (S.C.S./C.N.)	Descrizione
A	Molto permeabile, elevata infiltrazione, scarsa potenzialità di deflusso. Per suoli sabbiosi, con scarso limo, e ghiaiosi.
B	Poco permeabile, infiltrazione moderata, moderata potenzialità di deflusso. Per suoli con tessitura da moderatamente fine a moderatamente grossolana, quali limi sabbiosi.
C	Quasi impermeabile, infiltrazione lenta, potenzialità di deflusso moderatamente alta. Per suoli con tessitura fine.
D	Impermeabile, infiltrazione molto lenta, potenzialità di deflusso alta. Per argille plastiche e compatte.

Unità geolitologiche	Categorie idrologiche di suolo
Terreni prevalentemente argillosi	D
Terreni prevalentemente sabbiosi	A
Arenarie, Flysch arenacei	C
Argilliti, siltiti, Flysch pelitici	C
Terreni prevalentemente ghiaiosi	A
Rocce carbonatiche	C
Depositi eterogenei	B
Flysch calcareo-marnosi	C
Detriti	A
Conglomerati e breccie	A
Rocce sedimentarie silicee	C

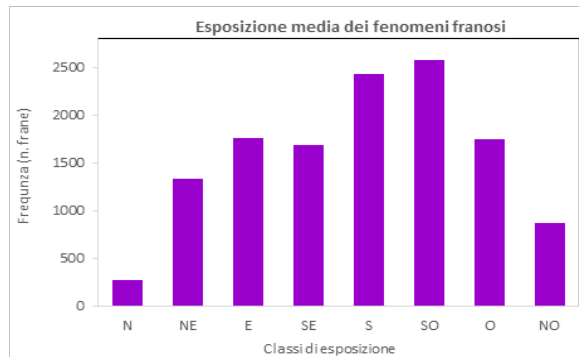
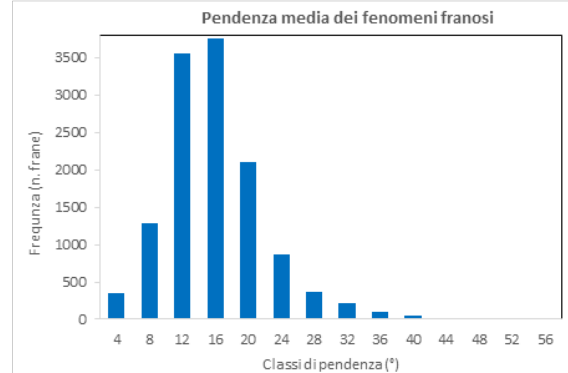
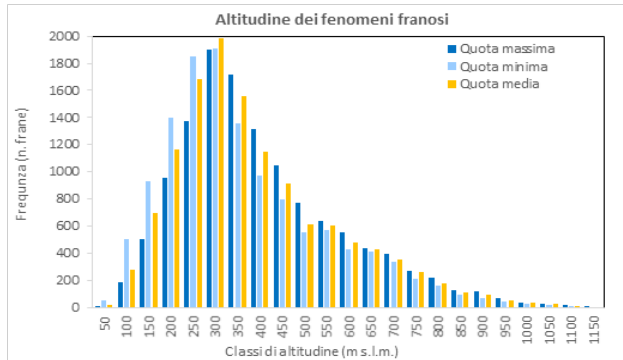
Classi di uso del suolo	Categorie idrologiche di suolo			
	A	B	C	D
BOSCO	45	66	77	83
SEMINATIVO	62	71	78	81
URBANO_D	77	85	90	92
URBANO_C	98	98	98	98
PA_PR	30	58	71	78
NUDO	68	79	86	91
ACQUA	100	100	100	100
UMIDO	90	90	90	90
FR_OL	62	71	78	81
COLTURE	62	71	78	81
COLT_COMPL	72	81	88	91
VEG_MISTA	58	67	80	83

Valutazione e mappatura del rischio da frana lungo la rete stradale della Provincia di Matera

Valutazione e mappatura della suscettibilità da frana primariamente dei versanti afferenti alla rete stradale



Determinazione dei punteggi
associati alle classi



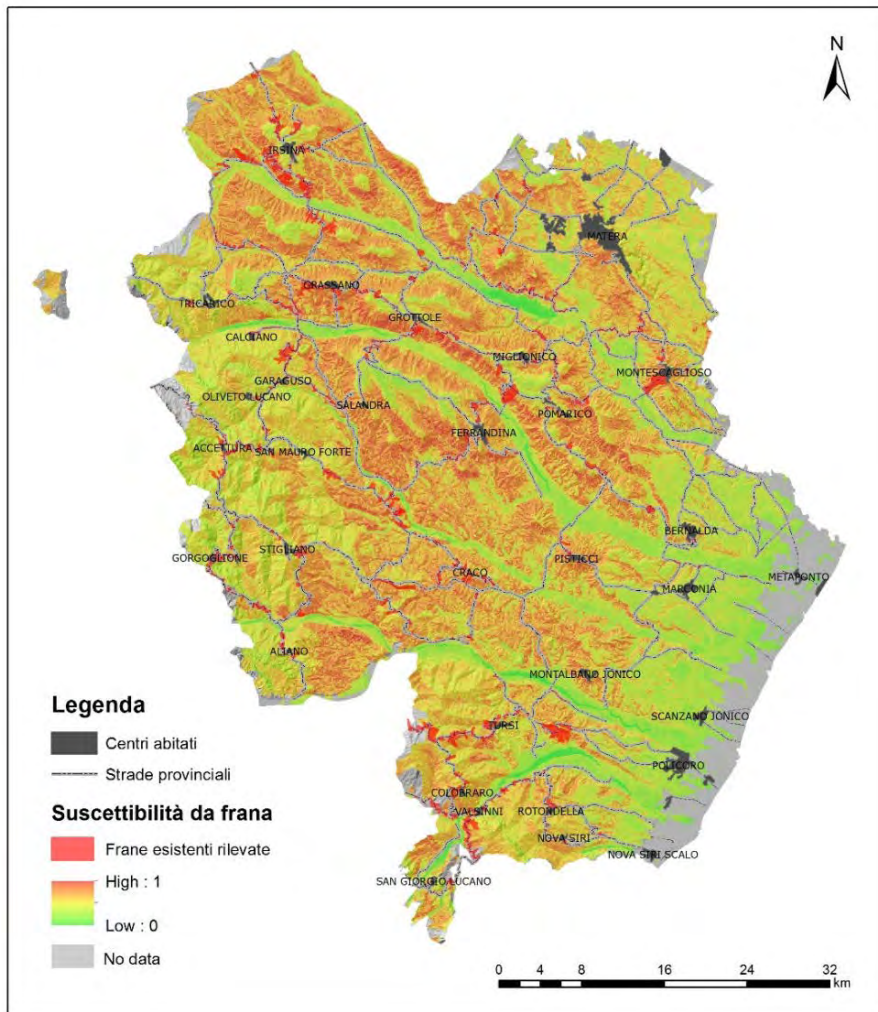
Rapporto percentuale tra l'area
instabile di ciascuna classe e l'area
totale della classe - rappresentativa
della propensione della classe a
generare instabilità

classi	punteggi	classi	punteggi
Litologia		Erodibilità Potenziale	
ARGILLA	0,9	0 - 4°	0,2
SABBIA	0,3	4° - 8°	0,5
ARENARIA	0,25	8° - 12°	0,8
FLY_ARG	0,5	12° - 16°	0,9
GHIAIA	0,2	16° - 20°	0,7
R_CARB	0,2	20° - 24°	0,6
DEPOSITO	0,7	24° - 28°	0,4
FLY_CM	0,4	28° - 46°	0,3
DETRITO	0,6	Altitudine	
CONGLO	0,1	0 - 50	0
R_SEDIM	0,1	50 - 100	0,2
Uso del suolo		100 - 200	0,3
BOSCO	0,35	200 - 250	0,8
SEMINATIVO	0,4	250 - 300	1
URBANO	0,1	300 - 350	0,7
PA_PR	0,8	350 - 400	0,6
NUDO	0,7	400 - 500	0,5
ACQUA	0	500 - 600	0,4
FR_OL	0,3	600 - 700	0,3
COLTIVE	0,5	700 - 800	0,2
VEG_MISTA	0,9	800 - 1300	0,1
Densità di drenaggio		Pendenza	
0 - 0,05	0	0 - 4°	0,2
0,05 - 0,1	0,2	4° - 8°	0,5
0,1 - 0,15	0,5	8° - 12°	0,8
0,15 - 0,2	0,7	12° - 16°	1
0,2 - 0,3	0,9	16° - 20°	0,7
0,3 - 0,4	1	20° - 24°	0,4
0,4 - 1	0,8	24° - 28°	0,3
CN		28° - 40°	0,2
100	0	40° - 66°	0,1
90-99	0,7	Esposizione	
80-89	0,8	N	0,2
70-79	0,7	NE	0,4
60-69	0,6	E	0,5
50-59	0,5	SE	0,5
40-49	0,4	S	0,8
30-39	0,3	SO	0,9
NO	0,3	O	0,5
		NO	0,3

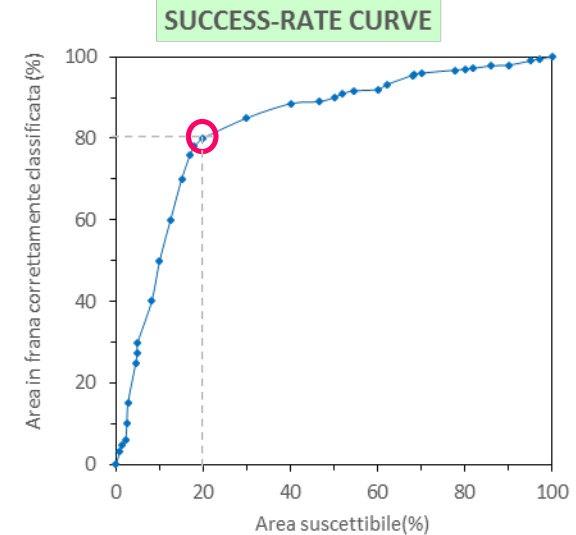
Valutazione e mappatura del rischio da frana lungo la rete stradale della Provincia di Matera

Valutazione e mappatura della suscettibilità da frana primariamente dei versanti afferenti alla rete stradale

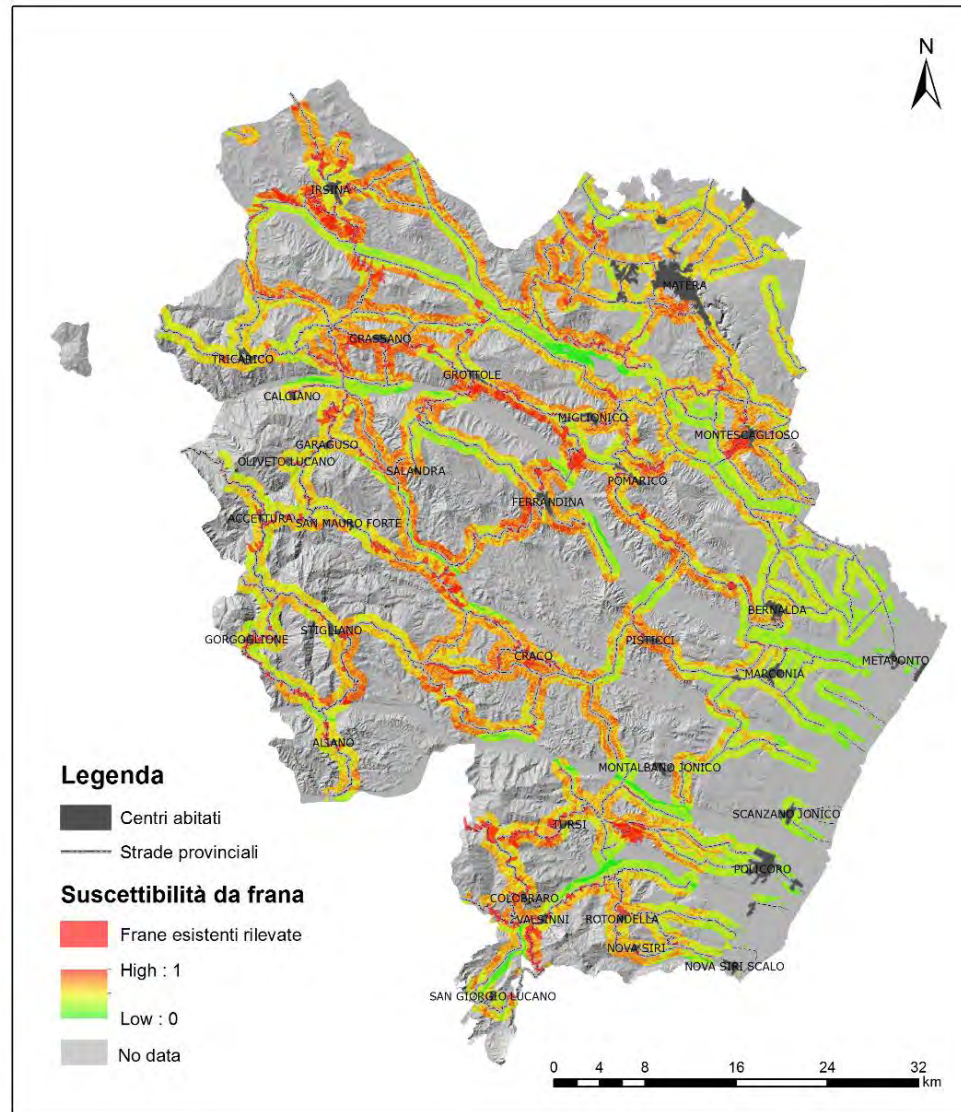
$$S = 0,55L + 0,35US + 0,13DD + 0,70CN + 0,45EP + 0,23A + 0,67P + 0,5E$$



Mapa di suscettibilità da frana e validazione

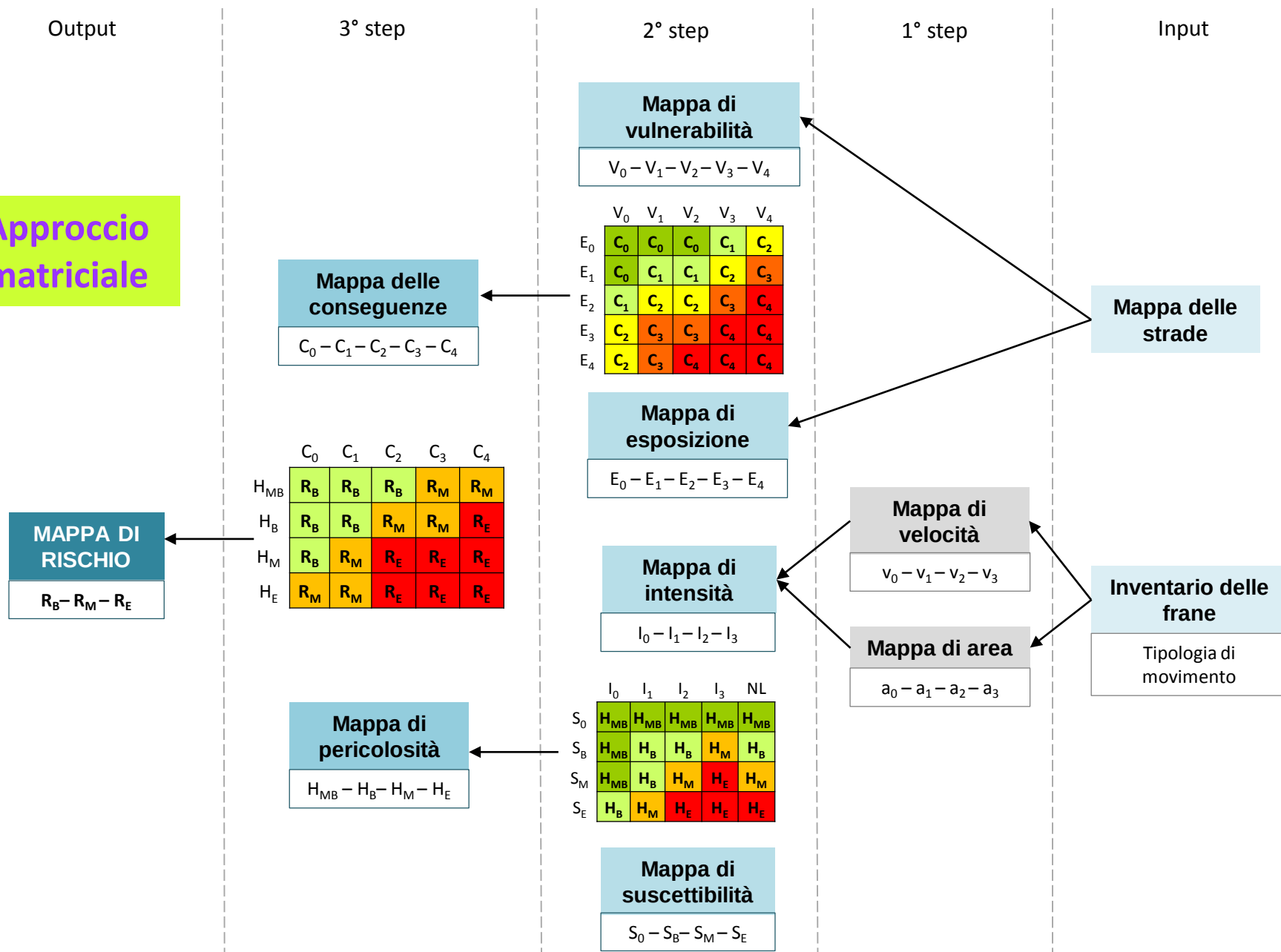


Valutazione e mappatura della suscettibilità da frana primariamente dei versanti afferenti alla rete stradale



Valutazione e mappatura del rischio da frana lungo la rete stradale della Provincia di Matera

**Approccio
matriciale**



PERICOLOSITA' (Hazard)

$$H = H (S, I)$$

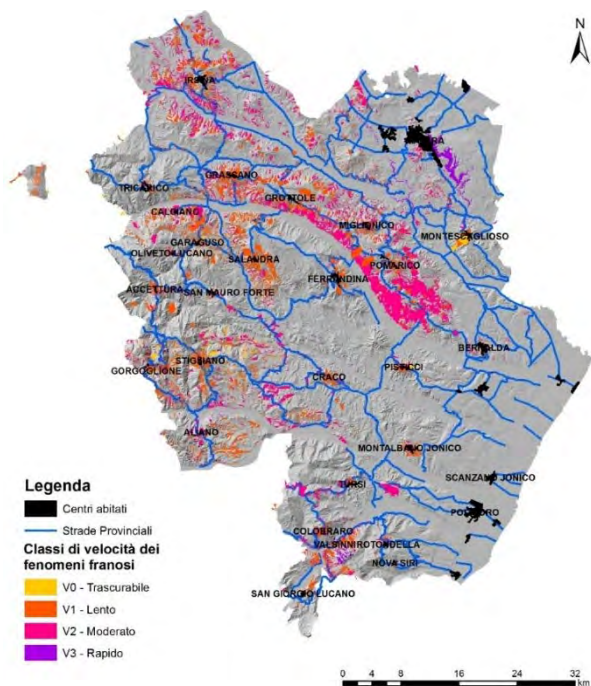
- o La pericolosità è funzione della suscettibilità e dell'intensità dei fenomeni franosi.
- o La determinazione della pericolosità da frana necessita di un'analisi spaziale e temporale dei fenomeni d'instabilità.
- o Il tempo di ritorno è funzione dell'intensità del fenomeno franoso e quindi della tipologia di meccanismo.
- o L'intensità, a parità di tipologia di movimento franoso, varia in funzione dell'estensione areale del fenomeno e della relativa velocità.

Valutazione e mappatura del rischio da frana lungo la rete stradale della Provincia di Matera

1° step

1. Valutazione velocità fenomeni franosi

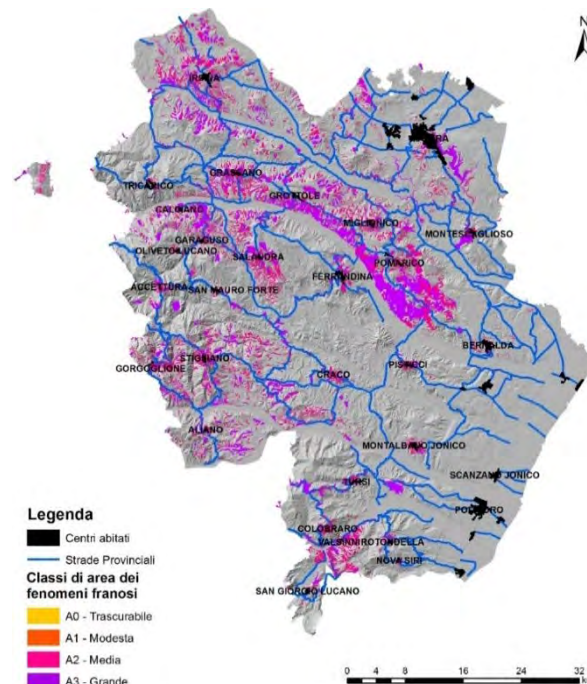
Associazione di classi di velocità alle tipologie di movimento



Tipologia di movimento	Classi	Descrizione	Valori di riferimento
Aree soggette a verifica (ASV) Aree calanchive	V ₀	TRASCURABILE	-
Colamento lento Scivolamento rotazionale Espansione Fenomeni retrogressivi DGPV	V ₁	LENTO	$< 10^{-6}$ m/s
Movimento complesso Scivolamento traslativo Aree soggette a frane superficiali diffuse o ad arretramento diffuso	V ₂	MODERATO	$10^{-6} - 10^{-4}$ m/s
Crollo Ribaltamento Aree soggette a crolli/ribaltamenti diffusi Colamento rapido	V ₃	RAPIDO	$> 10^{-4}$ m/s

2. Analisi estensione areale fenomeni franosi

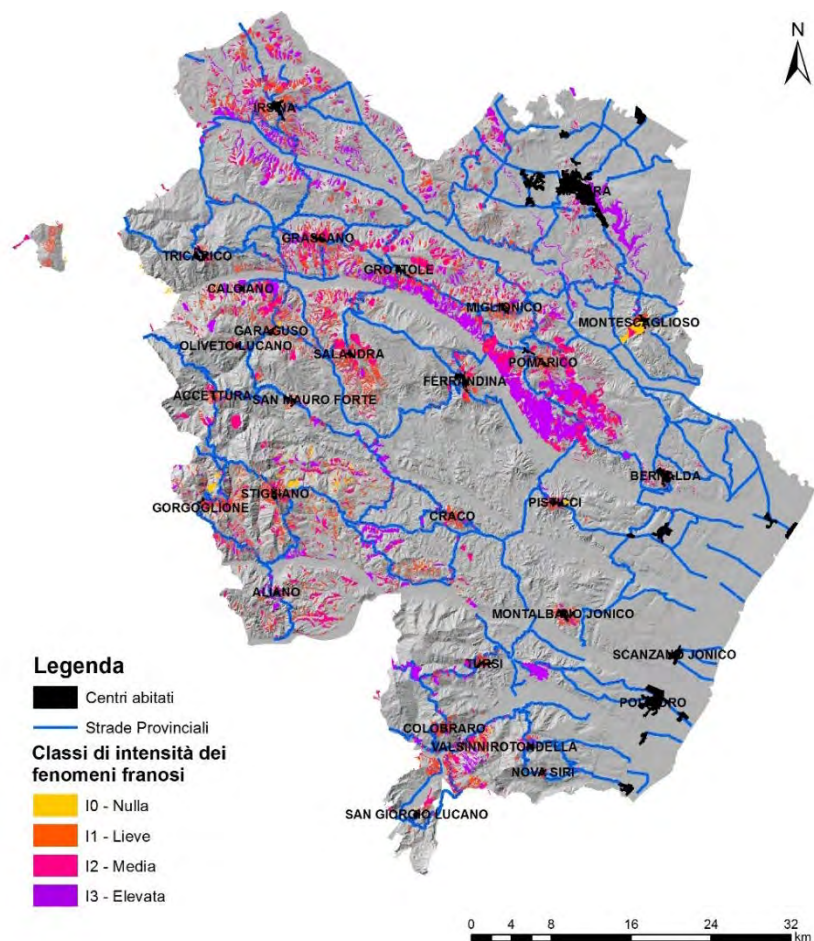
Valutazione dell'estensione areale di ciascun fenomeno franoso e suddivisione degli stessi in quattro classi.



Classe di area	Descrizione	Valori di riferimento
a ₀	TRASCURABILE	$< 10^2$ m ²
a ₁	MODESTA	$10^2 - 10^3$ m ²
a ₂	MEDIA	$10^3 - 10^5$ m ²
a ₃	GRANDE	$> 10^5$ m ²

Valutazione e mappatura del rischio da frana lungo la rete stradale della Provincia di Matera

2° step



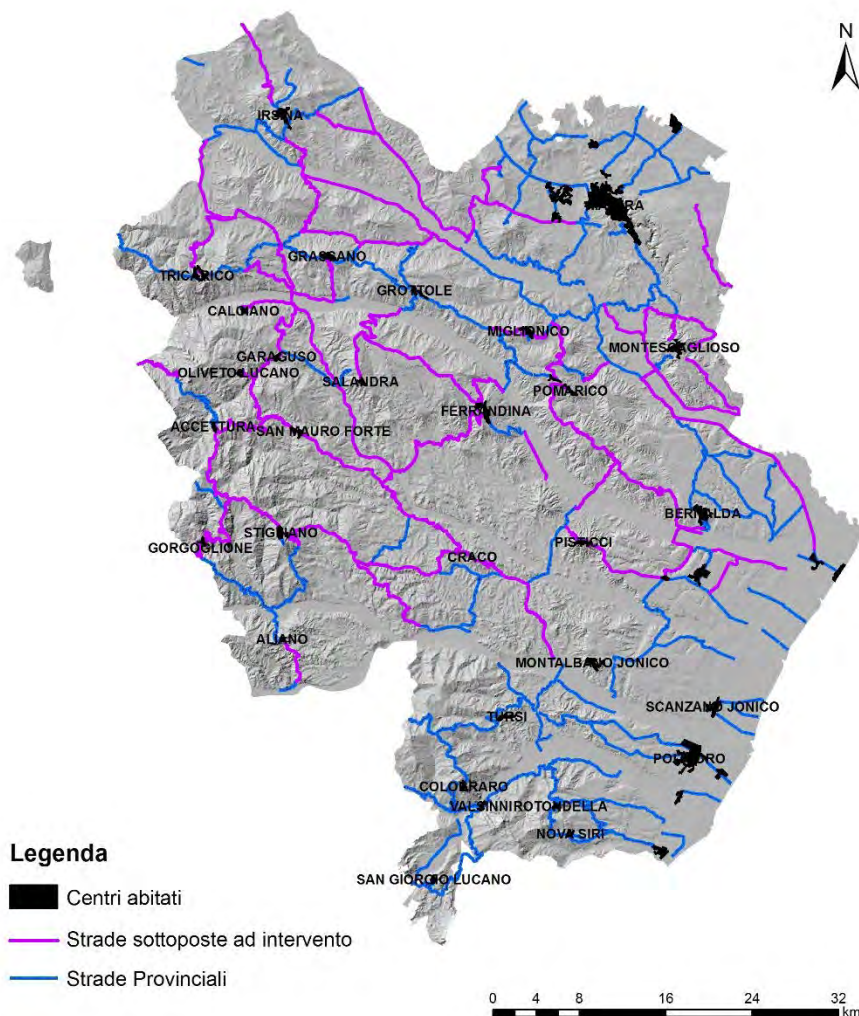
MAPPA DI INTENSITA' dei fenomeni franosi determinata mediante la combinazione delle classi di velocità e di area

Classe	Intensità
I ₀	Nulla
I ₁	Lieve
I ₂	Media
I ₃	Elevata

		VELOCITA'					
		Classe	V ₀	V ₁	V ₂	V ₃	
		Valori di riferimento	-	< 10 ⁻⁶ m/s	10 ⁻⁶ - 10 ⁻⁴ m/s	> 10 ⁻⁴ m/s	
		Descrizione	TRASCURABILE	LENTO	MODERATO	RAPIDO	
AREA	Classe	Valori di riferimento	Descrizione	I ₀	I ₀	I ₀	I ₀
	a ₀	< 10 ² m ²	TRASCURABILE	I ₀	I ₁	I ₂	I ₃
	a ₁	10 ² - 10 ³ m ²	MODESTA	I ₀	I ₁	I ₂	I ₃
	a ₂	10 ³ - 10 ⁵ m ²	MEDIA	I ₀	I ₁	I ₂	I ₃
AREA	a ₃	> 10 ⁵ m ²	GRANDE	I ₀	I ₂	I ₃	I ₃

Valutazione e mappatura del rischio da frana lungo la rete stradale della Provincia di Matera

2° step



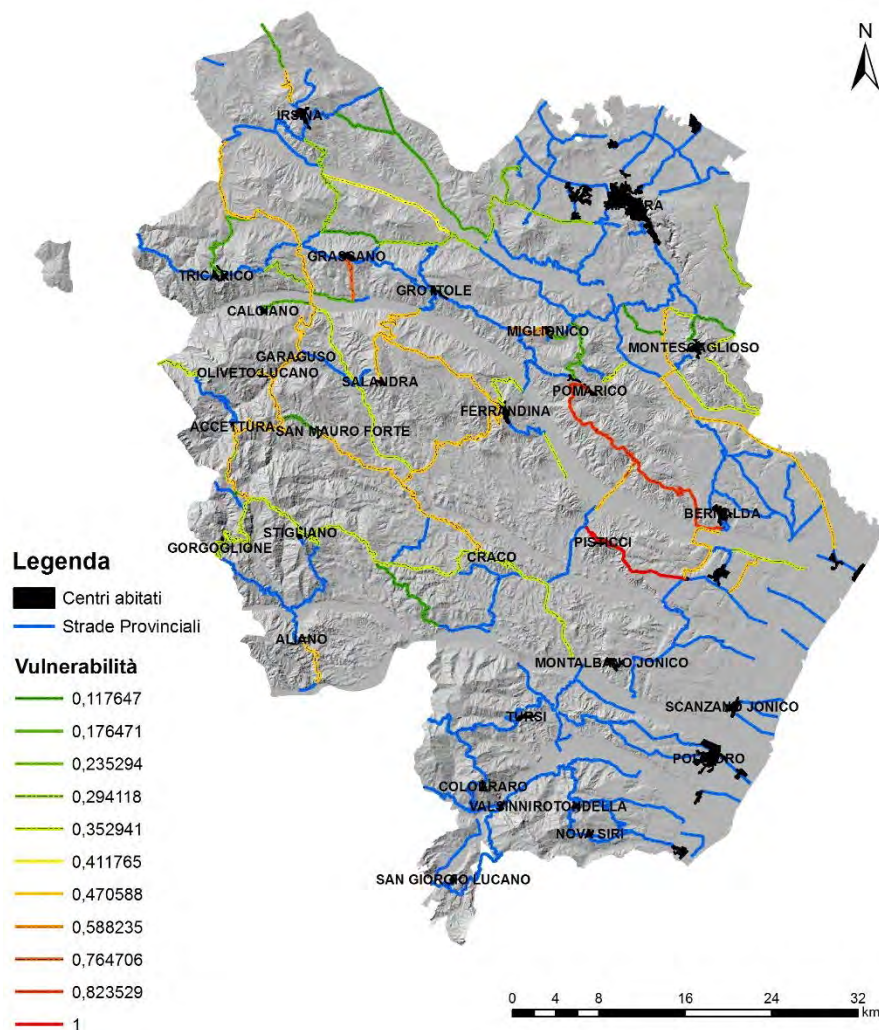
Tratti di strade provinciali interessati da interventi di ripristino

Strada Provinciale	Lunghezza (km)
CAVONICA	19,6
S.P. 154 IV° TRONCO	10,0
S.P. 209 IV° TRONCO	9,2
S.P. 209 IV° TRONCO-BIS	5,9
S.P. 209 V° TRONCO	5,1
S.P. 211 I° TRONCO	9,4
S.P. 211 I° TRONCO	0,9
S.P. 211 II° TRONCO	29,6
S.P. ALIANO-ALIANELLO	5,6
S.P. CALCIANO SCALO OMONIMO - SCALO GRASSANO	5,4
S.P. CENTRI RURALI DI PICCIANO	5,7
S.P. CRACO-S.MAURO FORTE I° TR.	14,1
S.P. CRACO-S.MAURO FORTE II° TR.	10,2
S.P. DALLA S.S.7 A GINOSA	9,4
S.P. DESTRA FIUME BASENTO	7,2
S.P. EX S.S. 103 VAL D'AGRI	70,1
S.P. EX S.S. 175 VALLE DEL BRADANO	32,8
S.P. EX S.S. 277 DI CALLE	64,6
S.P. EX S.S. 7 APPIA	4,5
S.P. EX S.S.7-MIGLIONICO VECCHIA	2,2
S.P. FERRANDINA - SCALO OMONIMO	8,0
S.P. FERRANDINA-SALANDRA	13,7
S.P. FERRANDINA-STIGLIANO	21,0
S.P. FONDOVALLE BASENTELLO	18,3
S.P. FONDOVALLE BRADANO I° TR.	13,6
S.P. FONDOVALLE TORRENTE BILIOSO	6,5
S.P. FORESTE DI TRICARICO	6,9
S.P. GALLIPOLI-PONTE BALZANO	7,2
S.P. GIARDINI DI GRASSANO	4,2
S.P. INCORONATA	4,8
S.P. MATERA-GRASSANO	26,2
S.P. MESSAPICA	3,1
S.P. MESSAPICA-BIS	4,7
S.P. MESSAPICA-S.S. 175	5,5
S.P. MOLINO DI GRASSANO	5,5
S.P. MONTESCAGLIOSO SCALO OMONIMO	3,4
S.P. MONTESCAGLIOSO-GINOSA	3,8
S.P. MONTESCAGLIOSO-METAPONTO	7,9
S.P. OLIVETO LUCANO	2,7
S.P. POMARICO-PIANI BRADANO-METAPONTO	4,1
S.P. POMARICO-PISTICCI SCALO	7,0
S.P. POZZITELLO-PISTICCI-SAN BASILIO	14,5
S.P. ROSSI-ALTARELLO-BOSCO DI MONTEPIANO	0,6
S.P. SALANDRA-GROTTOLE	16,0
S.P. SAN MAURO F.-BIVIO S.S. 277	5,2
S.P. SCALO DI MONTALBANO J. ALLA S.S.103	11,9
S.P. SCALO IRSINA-FONTANA VETERE	4,7
S.P. SINISTRA FIUME BRADANO	9,6
S.P. TRICARICO-BOCCANERA	11,2
S.P. VAL BASENTO	4,9
S.P. VAL FOSSO ACQUA DI LUPO-BASENTELLO	6,2
Totale complessivo	584,3

Individuazione di criticità pregresse indicative di un danno prodotto dalle frane alla rete stradale

Valutazione e mappatura del rischio da frana lungo la rete stradale della Provincia di Matera

2° step



Tipologie di interventi e relativo punteggio

Tipologia	Classi di vulnerabilità
Interventi di tipo strutturale per la stabilizzazione delle scarpate (gabbionate, muri di sostegno, terre armate, paratie)	1
Interventi di regimazione delle acque (drenaggi laterali e trasversali alla sede stradale)	0,75
Interventi di ripristino (ripristino manufatti di protezione scarpate, ripristino tratti di opere idrauliche e funzionalità cunette, ripristino piano viabile deformato, ricarica con misto stabilizzato e/o asfalto, ripristino disgaggio scarpate)	0,5
Interventi di pulizia (spurgo tombini ostruiti, smelmamenti, rimozione materiale scosceso)	0,25
Nessun intervento	0

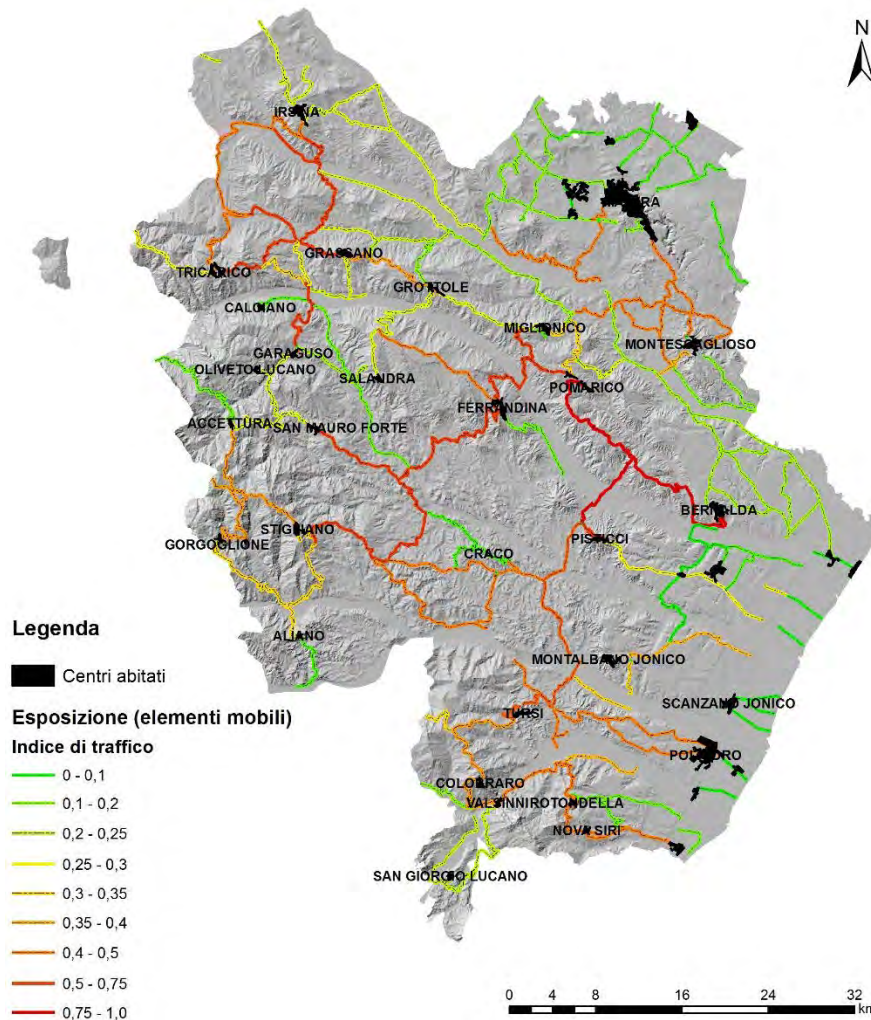
La vulnerabilità della strada è stata ottenuta normalizzando la sommatoria dei valori dei punteggi associati a ciascuna tipologia di intervento laddove presente più di una.

MAPPA DI VULNERABILITA' determinata in funzione dell'entità e tipologia di intervento di sistemazione

2° step

MAPPA DI ESPOSIZIONE

Esposizione della strada è stata valutata in termini di quantità di traffico veicolare lungo le strade provinciali, calcolato in funzione della popolazione presente nei centri abitati collegati da ciascun tratto di strada.



Classificazione delle strade:

- ☐ 1° ordine: collegamento diretto tra due centri
- ☐ 2° ordine: collegamento tra due strade di 1° ordine
- ☐ 3° ordine: collegamento tra due strade di 2° ordine

Stima qualitativa del volume di traffico:

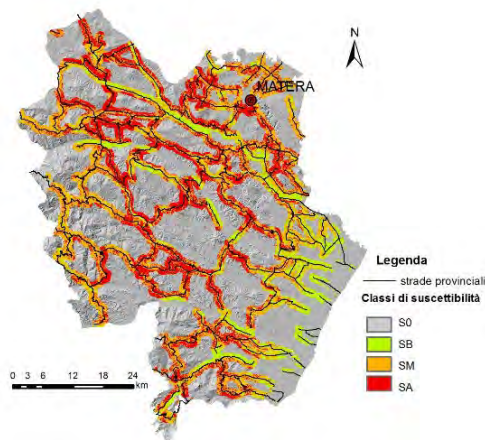
- ☐ 1° ordine: media aritmetica della popolazione dei centri interconnessi
- ☐ 2° ordine: media dei valori di traffico delle strade di 1° ordine connesse
- ☐ 3° ordine: media dei valori di traffico delle strade di 2° ordine connesse

Valutazione e mappatura del rischio da frana lungo la rete stradale della Provincia di Matera

3° step

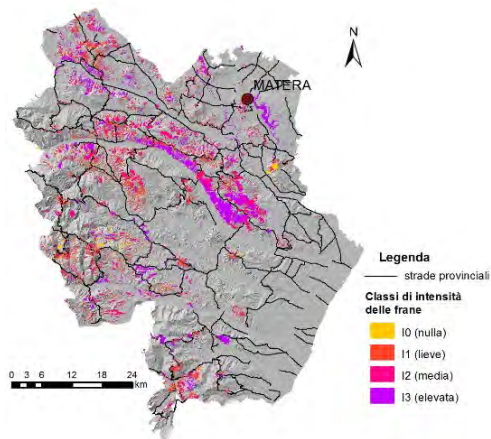
Mappa di suscettibilità

$S_0 - S_B - S_M - S_E$



Mappa di intensità

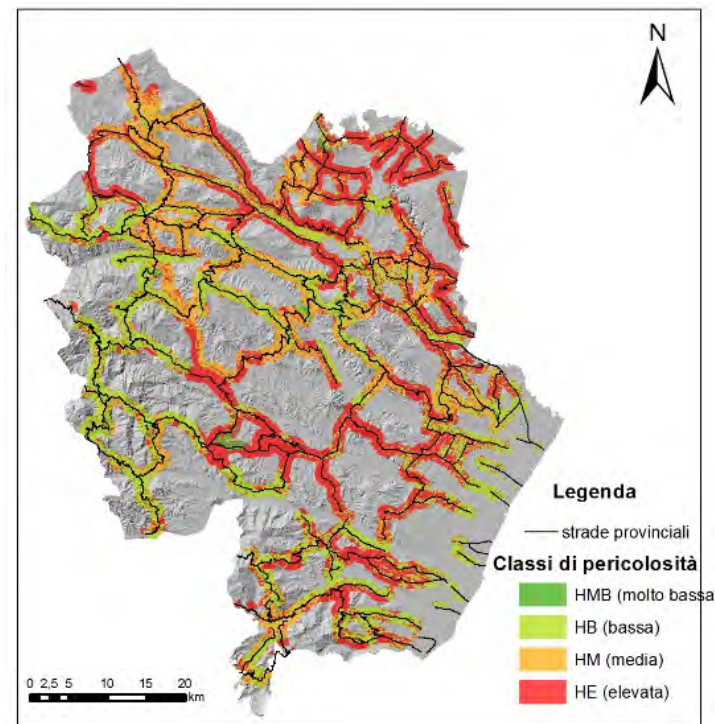
$I_0 - I_1 - I_2 - I_3$



	I_0	I_1	I_2	I_3	NF
S_0	H _{MB}	H _{MB}	H _{MB}	H _{MB}	H _{MB}
S_B	H _{MB}	H _B	H _B	H _M	H _B
S_M	H _{MB}	H _B	H _M	H _E	H _M
S_E	H _B	H _M	H _E	H _E	H _E

Mappa di pericolosità

$H_{MB} - H_B - H_M - H_E$

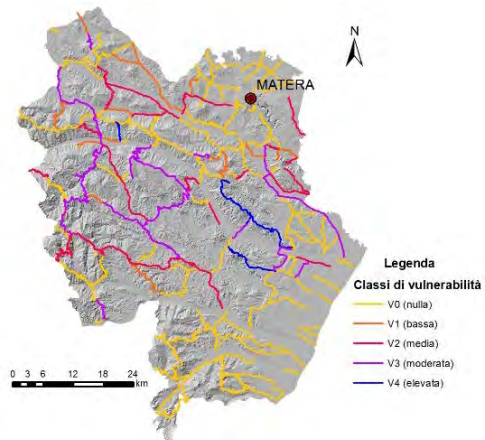


Valutazione e mappatura del rischio da frana lungo la rete stradale della Provincia di Matera

3° step

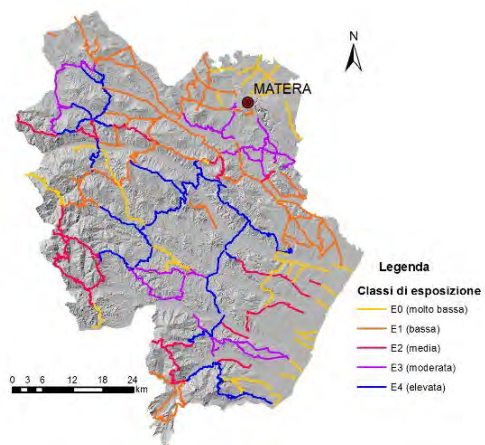
Mapa di vulnerabilità

$V_0 - V_1 - V_2 - V_3 - V_4$



Mapa di esposizione

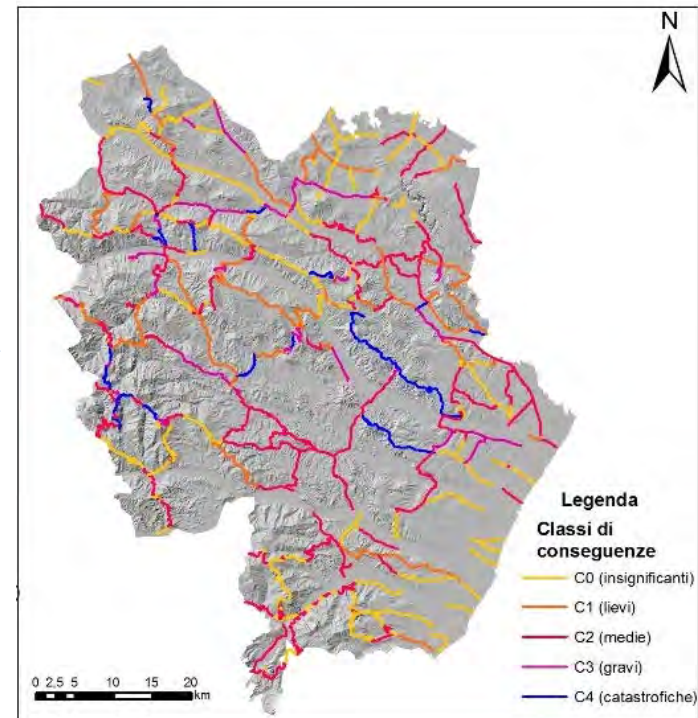
$E_0 - E_1 - E_2 - E_3 - E_4$



	V ₀	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄
E ₀	C ₀	C ₀	C ₀	C ₁	C ₂
E ₁	C ₀	C ₁	C ₁	C ₂	C ₃
E ₂	C ₁	C ₂	C ₂	C ₃	C ₄
E ₃	C ₂	C ₃	C ₃	C ₄	C ₄
E ₄	C ₂	C ₃	C ₄	C ₄	C ₄

Mapa delle conseguenze

$C_0 - C_1 - C_2 - C_3 - C_4$

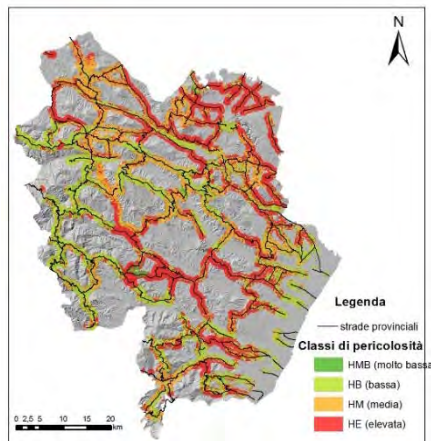


Valutazione e mappatura del rischio da frana lungo la rete stradale della Provincia di Matera

Output

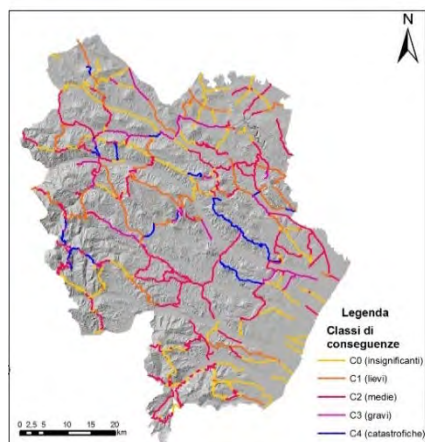
Mappa di pericolosità

$H_{MB} - H_B - H_M - H_E$



Mappa delle conseguenze

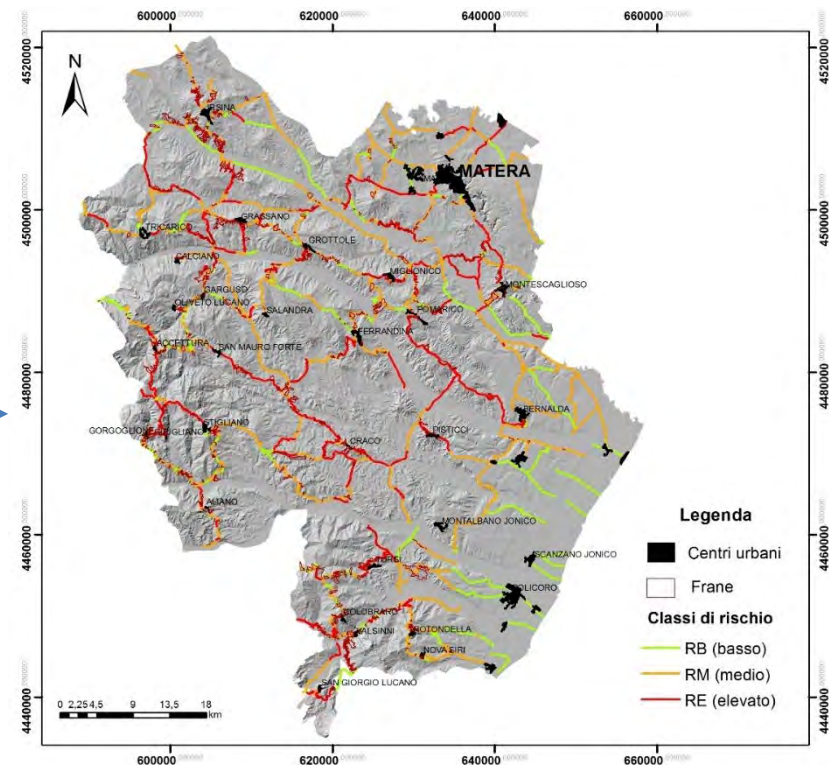
$C_0 - C_1 - C_2 - C_3 - C_4$



	C_0	C_1	C_2	C_3	C_4
H_{MB}	R_B	R_B	R_B	R_M	R_M
H_B	R_B	R_B	R_M	R_M	R_E
H_M	R_B	R_M	R_E	R_E	R_E
H_E	R_M	R_M	R_E	R_E	R_E

MAPPA DI RISCHIO

$R_B - R_M - R_E$

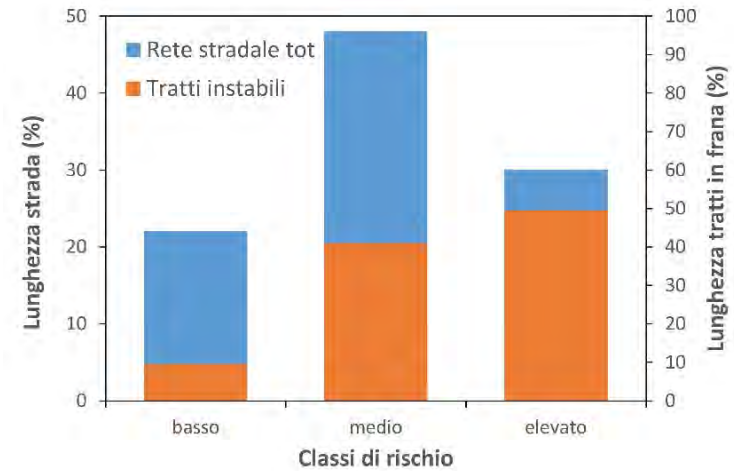
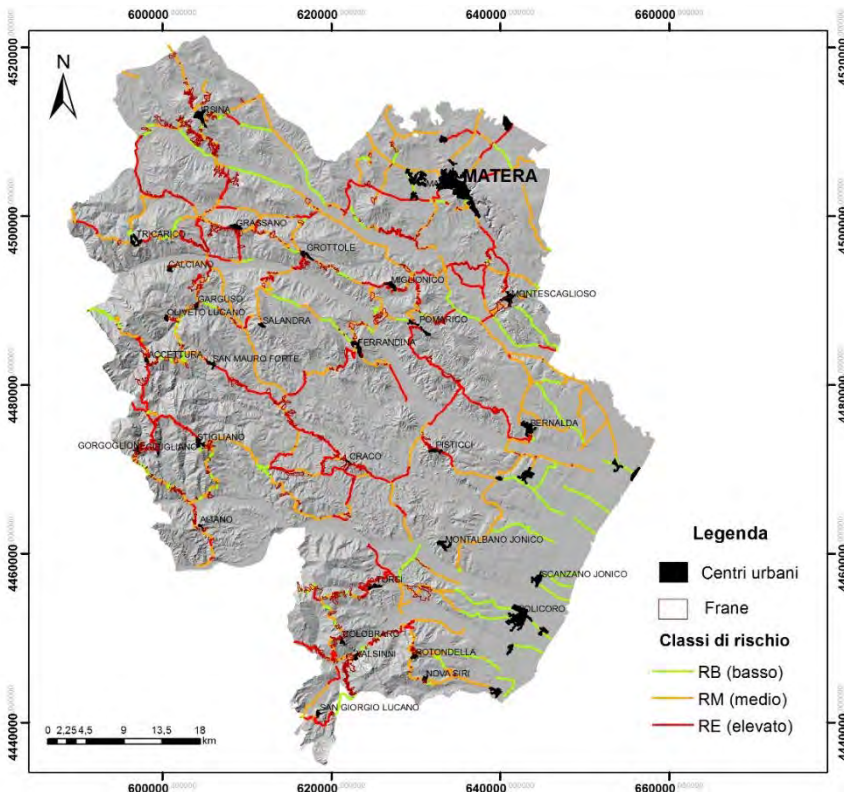


Valutazione e mappatura del rischio da frana lungo la rete stradale della Provincia di Matera

Output

MAPPA DI RISCHIO DELLA RETE STRADALE

- 22% (290 km) tratti stradali ad alto rischio da frana
- 48% (642 km) tratti stradali a medio rischio da frana
- 30% (392 km) tratti stradali a basso rischio da frana



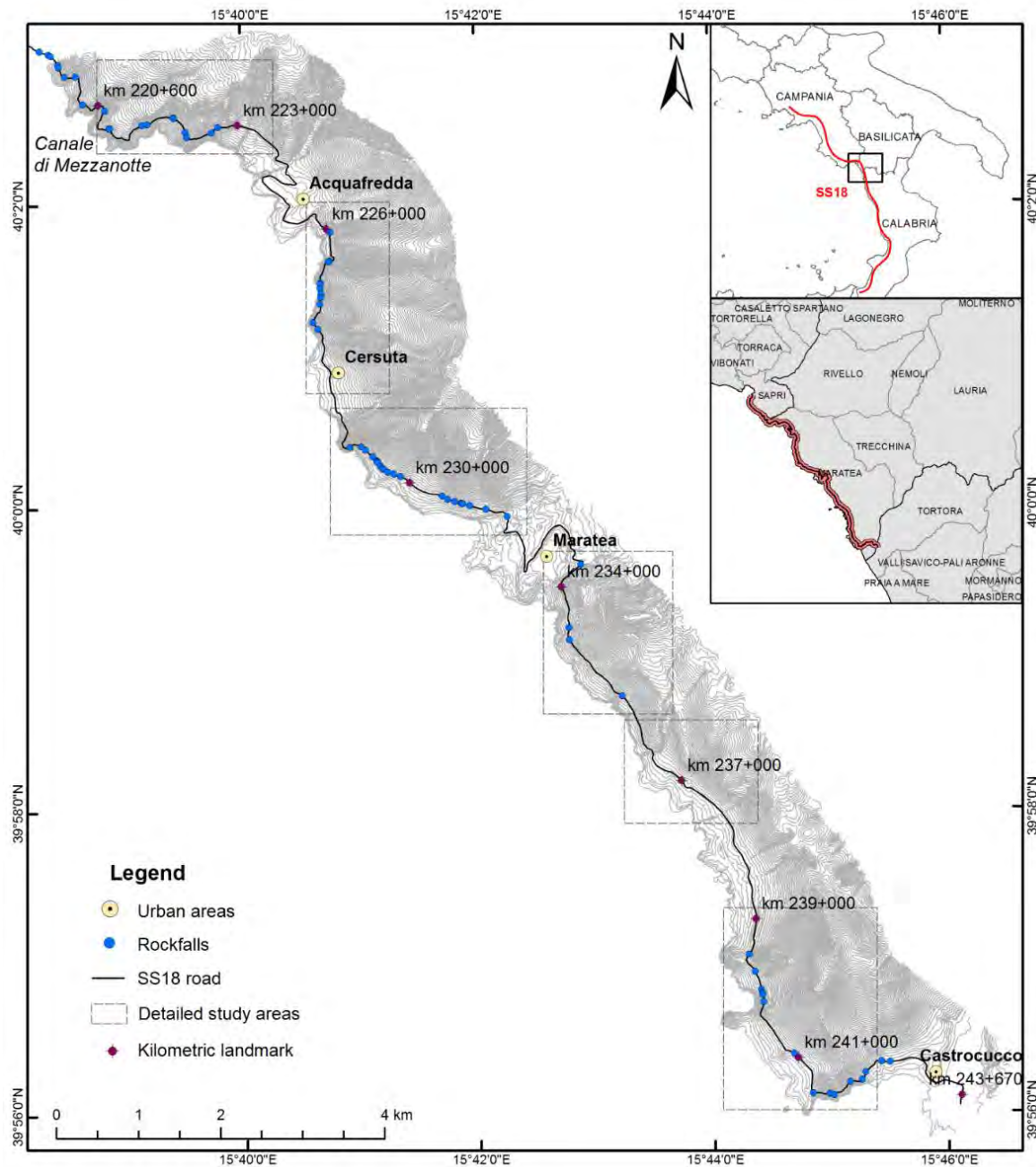
Confrontando mappa di rischio e inventario delle frane rilevate lungo le strade:

- 10% (136 km) di strade sono interessate da fenomeni di instabilità.
 - 49.5% di frane interessano tratti classificati ad alto rischio.
 - 41% di frane interessano tratti classificati a medio rischio.
 - 9.5% di frane interessano tratti classificati a basso rischio.

Considerazioni conclusive

- La maggior parte dei fenomeni di instabilità (circa il 91%) interessano porzioni di strada classificate a medio e alto rischio.
- E' possibile ricorrere, per analisi di rischio a scala regionale, a procedure semplificate di tipo qualitativo, basate su pochi dati di input, facilmente reperibili e gestibili, ed affidabili in relazione alla scala dell'analisi.
- Sebbene la metodologia proposta per la stima del rischio non consideri la probabilità temporale di occorrenza e di propagazione dei fenomeni franosi, ha permesso di classificare la rete stradale in livelli di rischio e, conseguentemente, di identificare le priorità per indagini in sito e per appropriate interventi di mitigazione.

Valutazione e mappatura della pericolosità da crollo lungo un tratto della strada costiera SS18



SS18 "Tirrena Inferiore"
da 220+600 km a 243+670 km



Procedura di valutazione della pericolosità da crollo

- (i) Caratterizzazione geomeccanica e cinematica dell'ammasso roccioso costituente i versanti.
- (ii) Individuazione e mappatura delle zone di potenziale instabilità, mediante modello euristico, Slope Mass Rating (SMR) di Romana (1985) >> aree di potenziale distacco dei blocchi.
- (iii) Simulazione delle traiettorie di caduta dei blocchi mediante modello numerico 3D (ROTOMAP) >> valutazione della probabilità di impatto dei blocchi sulla strada.
- (iv) Determinazione e mappatura di un indice di pericolosità:

$$Hr = L * Tr + Cr$$

L: caratteristiche litologiche delle unità affioranti,

Tr: compatibilità cinematica definite attraverso la simulazione delle traiettorie

Cr: occorrenza di eventi di crollo pregressi

- Modellazione 3D traiettorie >> verificare efficacia e appropriatezza delle misure di difesa esistenti
- Risultati validati con eventi di crollo post 2004

Valutazione e mappatura della pericolosità da crollo lungo un tratto della strada costiera SS18

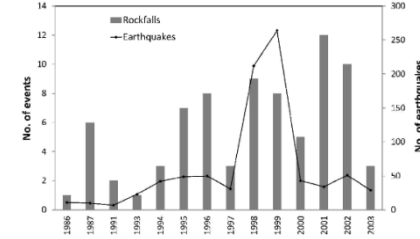
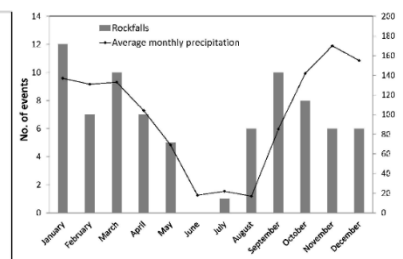
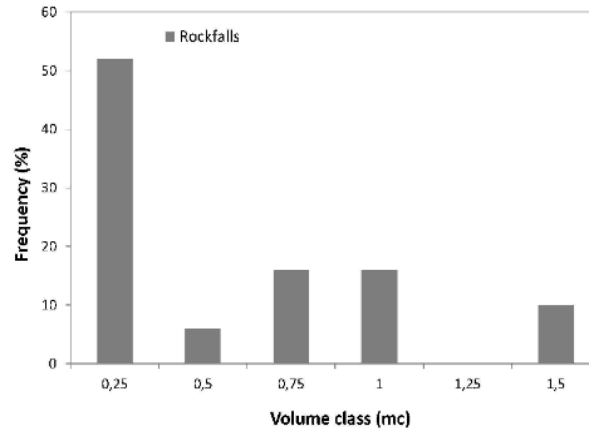
Caratterizzazione geomeccanica e cinematica dei versanti

Database dei crolli

Tot 78 eventi (1986-2003):

> 70 su strada

> 8 intercettati da barriere



Rilievo delle discontinuità
(150 fronti e 29 verticali: 6 aree di studio)

Test di Markland

Calcarei dell'Unità Alburno-Cervati
(S1, S2, S3 and S4)

Classificazione di Bieniawski

Parameters	S1-S4		S5		S6	
	Value	Index	Value	Index	Value	Index
Compressive strength of rock material	80 MPa	7	80 MPa	7	81 MPa	7
RQD	82 %	17	73 %	13	86 %	17
Spacing of joints	260.1 mm	10	175.8 mm	8	310 mm	10
Conditions of joints:	>2 m 1-5 mm Slightly rough Hard filling >5 mm Moderately weathered		>2 m 1-5 mm Slightly rough Hard filling >5 mm Moderately weathered		>2 m >5 mm Slightly rough Hard filling >5 mm Slightly weathered	
Persistence						
Aperture						
Roughness						
Filling						
Weathering conditions						
Hydraulic conditions	Completely dry	15	Completely dry	15	Completely dry	15
RMR	62		56		63	

PROPRIETA' MECCANICHE DELL'AMMASSO ROCCIOSO

Qualità dell'ammasso: **DISCRETA**

Coesione: **1.5 - 2.0 Kg/cm³**

Angolo di attrito: **35° - 40°**

Dolomie dell'Unità di Mt. Bulgheria-Verbicaro
(S5 and S6)

SMR di Romana

Modello euristico >> aree del versante potenzialmente instabili

$$SMR = RMR_{1989} + (F_1 \times F_2 \times F_3) + F_4$$

RMR₁₉₈₉: Rock Mass Rating di Bieniawski (1989).

F₁: parallelismo tra l'immersione dei giunti (α_j) e del versante (α_s).

F₂: angolo di inclinazione dei giunti nel caso di rottura planare (β_j) o della linea di intersezione tra due discontinuità nel caso di rottura a cuneo (β_i).

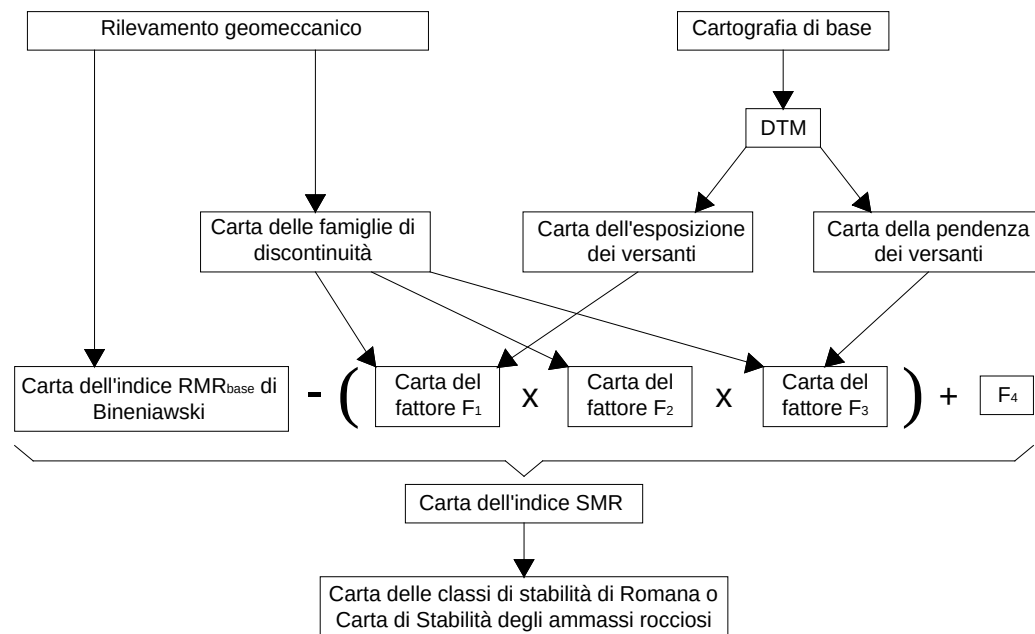
F₃: relazione tra inclinazione dei giunti e la pendenza del versante.

F₄ è relative al metodo di scavo; per versanti naturali F₄=15.

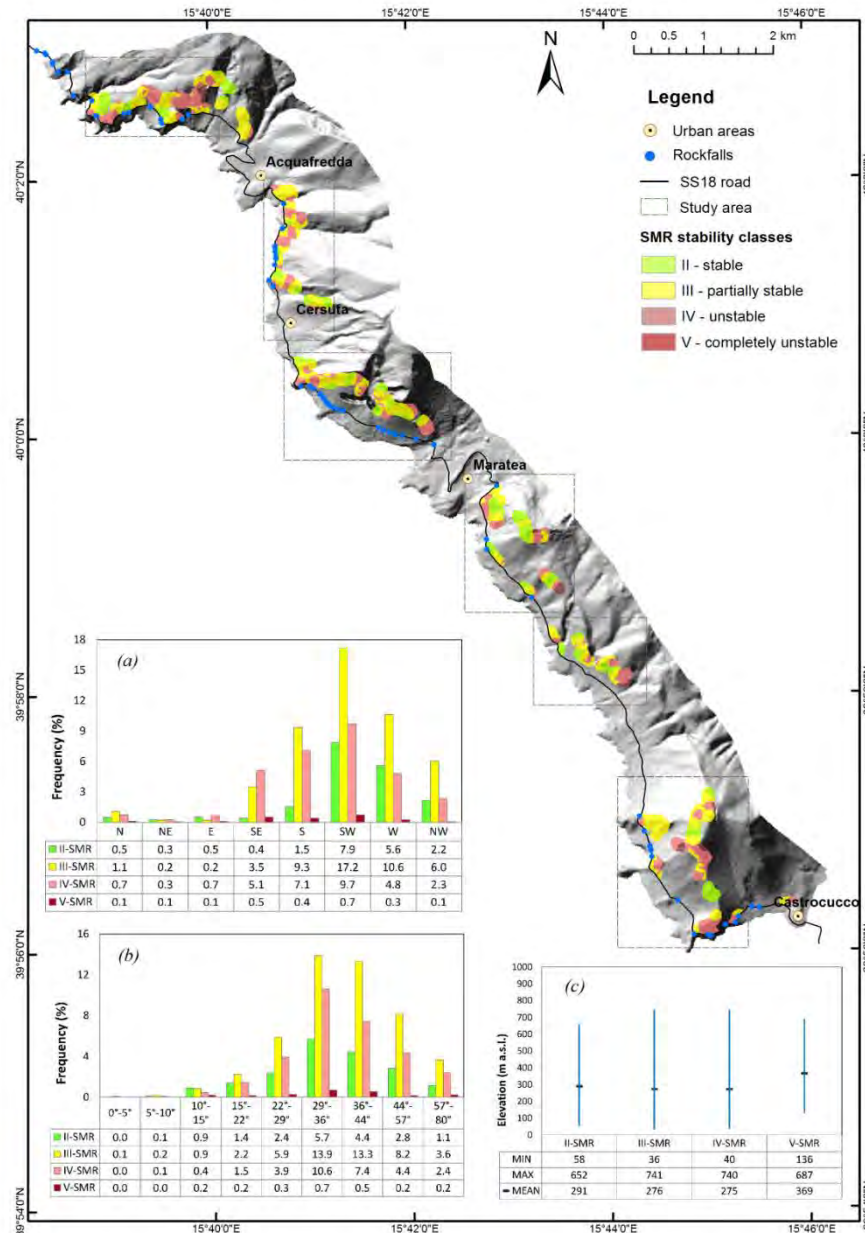
CLASSE	V	IV	III	II	I
SMR	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
Descrizione	Molto scadente	Scadente	Mediocre	Buona	Ottima
Stabilità	Molto instabile	Instabile	Parzialmente stabile	Stabile	Del tutto stabile
Rotture	Grandi rotture planari e scorrimenti rotazionali	Planari lungo molti giunti e/o grandi cunei	Planari lungo alcuni giunti e/o molti cunei	Alcune rotture di blocchi isolati	Nessuna
Interventi	Rimodellazione	Interventi estensivi e pervasivi	Sistematici	Occasionali	Nessuno

Mappatura delle aree potenzialmente instabili

- Produzione di DTM 1x1m
- Elaborazione di mappa delle pendenze ed esposizione dei versanti
- Elaborazione di mappe tematiche relative all'indice RMR_{1989} , all'orientazione delle discontinuità, quindi, ai fattori di correzione F_1 , F_2 , F_3 , mediante l'utilizzo di funzioni di overlay tra le mappe di orientazione delle discontinuità e pendenza ed esposizione
- Generazione della mappa dell'indice SMR



Mappatura delle aree potenzialmente instabili



Classe I: non presente
 Classe II: 19%
 Classe III: 48%
 Classe IV: 31%
 Classe V: 2%

Simulazione delle traiettorie di caduta

ROTOMAP (Geo&Soft International), modello numerico 3D

Approccio “lumped mass” – massa adimensionale – centro di massa

Dati di input:

- ☐ Modello digitale del terreno (DTM)
- ☐ Aree di distacco dei blocchi (pixel)
- ☐ Numero di punti iniziali, numero di blocchi lanciati da ogni pixel, numero di traiettorie computeate in ogni pixel
- ☐ Velocità iniziale, minima e massima, del massa (m/s)
- ☐ Numero di direzioni iniziali e deviazione angolare massima (°)
- ☐ Parametri cinematici: angolo limite di volo, di urto e di rimbalzo
- ☐ Parametri geomeccanici di rotolamento: fattore di restituzione di energia normale k_n e tangenziale k_t e il coefficiente di attrito di rotoscivolamento μ .

Unità litologiche	k_n	k_t	μ
Calcere	0.53	0.95	0.40
Detrito sciolto	0.32	0.82	0.65
Breccia cementata	0.35	0.85	0.40
Deposito colluviale	0.30	0.80	0.70
Conglomerato calcareo	0.45	0.90	0.45
Calcarenite-calilutite	0.53	0.95	0.40
Marne	0.40	0.80	0.45
Dolomia	0.53	0.95	0.40

Simulazione delle traiettorie di caduta

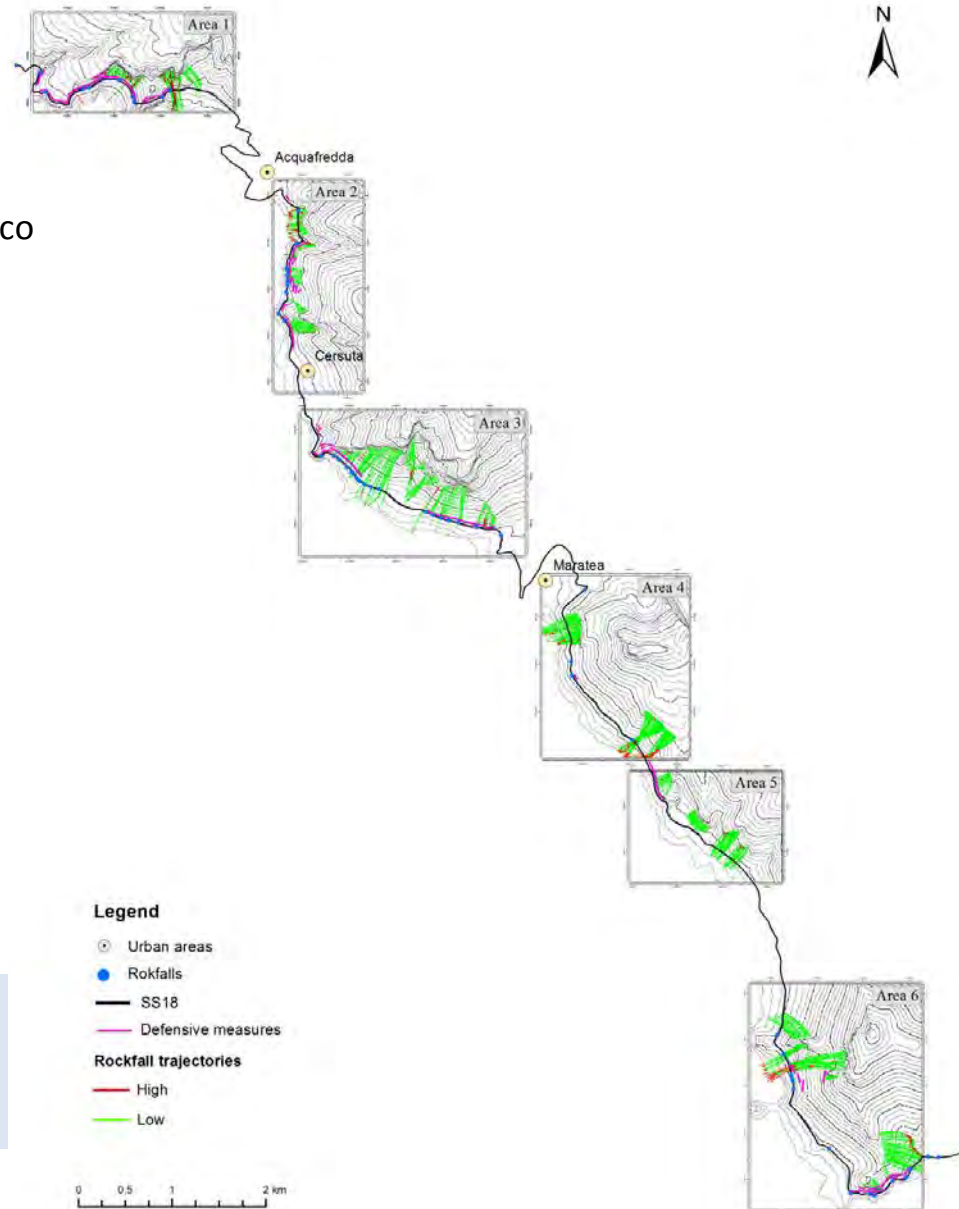
9 combinazioni di volume e velocità iniziale dei blocchi

Risultati espressi in termini di numero di volte in cui il blocco raggiunge la strada

	V_{block} [m ³]	v_{start}	v_{start}	v_{start}
		5 m/s	10 m/s	20 m/s
Area 1	0.5	5	3	7
	1	8	6	18
	10	58	78	89
Area 2	0.5	2	4	6
	1	4	7	11
	10	32	50	68
Area 3	0.5	0	0	2
	1	6	8	14
	10	42	46	50
Area 5	0.5	0	0	0
	1	0	0	1
	10	8	9	12
Area 6	0.5	13	14	14
	1	39	41	45
	10	50	55	69

Tratti stradali classificati in funzione della probabilità di impatto dei blocchi:

- Alta se più di 50 blocchi raggiungono la strada (rosso)
- Bassa se meno di 50 blocchi raggiungono la strada (verde)



Stima e mappatura della pericolosità

$$H_r = L * T_r + C_r$$

Indice di pericolosità

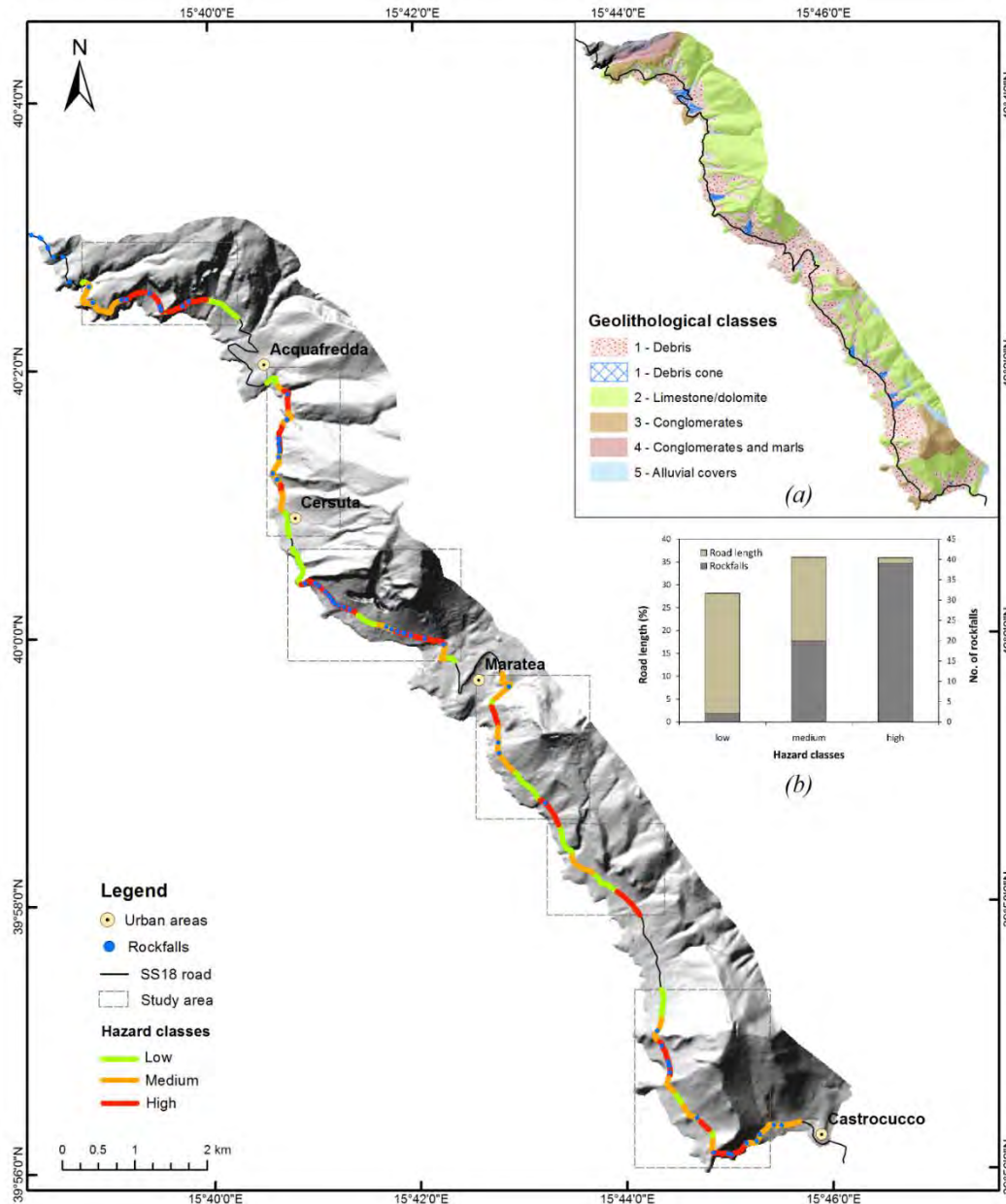
Punteggi assegnati ad ogni classe dei tre fattori di pericolosità

Fattore di pericolosità	Classe	Punteggio	Descrizione
Litologia (L)	1	1	Debris cone, fan, detrital deposits
	2	0.8	Limestones, brecciated limestones, dolomites
	3	0.6	Conglomerates
	4	0.4	Conglomerates with marls and argillites
	5	0	Alluvial covers
Traiettorie (T _{rf})	1	1	Blocks reach the road with high probability (N _{block} >50)
	2	0.5	Blocks reach the road with low probability (N _{block} <50)
	3	0	Blocks do not reach the road
Crolli pregressi (C _{rf})	1	0	The road stretch is not affected by past rockfalls
	2	1	The road stretch is affected by past rockfalls

Classi di pericolosità assegnate ad ogni combinazione di: litologia (L), traiettorie di caduta (Trf) e crolli pregressi (Crf)

Hazard factors			Hazard values	Hazard classes	Hazard factors			Hazard values	Hazard classes
L	T _{rf}	C _{rf}			L	T _{rf}	C _{rf}		
1	1	1	2	High	1	1	0	1	Medium
0.8	1	1	1.8	High	0.8	1	0	0.8	Medium
0.6	1	1	1.6	High	0.6	1	0	0.6	Medium
0.4	1	1	1.4	High	0.4	1	0	0.4	Low
0	1	1	1	Medium	0	1	0	0	Low
1	0.5	1	1.5	High	1	0.5	0	0.5	Medium
0.8	0.5	1	1.4	High	0.8	0.5	0	0.4	Low
0.6	0.5	1	1.3	High	0.6	0.5	0	0.3	Low
0.4	0.5	1	1.2	Medium	0.4	0.5	0	0.2	Low
0	0.5	1	1	Medium	0	0.5	0	0	Low
1	0	1	1	Medium	1	0	0	0	Low
0.8	0	1	1	Medium	0.8	0	0	0	Low
0.6	0	1	1	Medium	0.6	0	0	0	Low
0.4	0	1	1	Medium	0.4	0	0	0	Low
0	0	1	1	Medium	0	0	0	0	Low

Stima e mappatura della pericolosità



- 28% (4.9 km) tratti a bassa pericolosità
- 36 % (6.2 km) tratti a media ed elevata pericolosità

Confronto mappa di pericolosità e distribuzione di eventi di crollo pregressi:

- 63.9 % di crolli ricadono in tratti ad elevata pericolosità
- 32.8 % di crolli ricadono in tratti a media pericolosità
- 3.3 % di crolli ricadono in tratti a bassa pericolosità

Valutazione e mappatura della pericolosità da crollo lungo un tratto della strada costiera SS18

Validazione temporale dei risultati

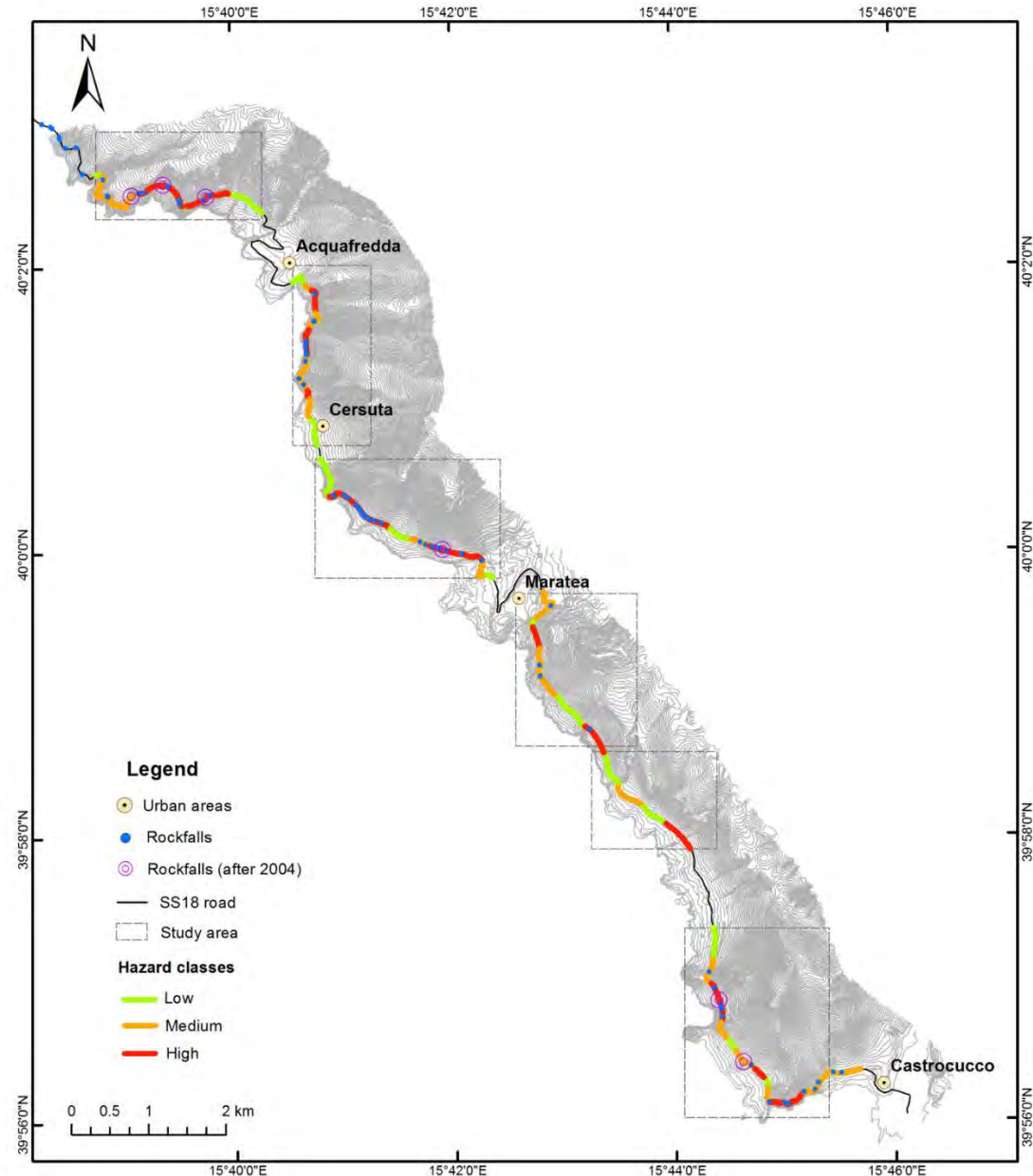
Ubicazione di eventi post 2004 (6 eventi registrati dalla Protezione Civile dal 2004 al 2014)



Ricadono in aree a media (n.2) ed alta (n.4) pericolosità



Buone performance in termini previsionali del modello



- ▶ I modelli previsionali della pericolosità e del rischio da frana presentano una serie di criticità e limiti, che non dipendono necessariamente dal tipo di metodologia utilizzata.

I fattori di criticità sono connessi a:

- scala di analisi;

- qualità e quantità dei dati di input disponibili.

Riferimenti bibliografici

- AGS (2007) Practice note guidelines for landslide risk management 2007. Extract from Australian Geomechanics Journal and News of the Australian Geomechanics Society, vol. 42 No 1: 63 - 114
- Pantelidis L (2011) A critical review of highway slope instability risk assessment systems. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 70: 395 – 400
- Pellicani R, Frattini P, Spilotro G (2014) Landslide susceptibility assessment in Apulian Southern Apennine: heuristic vs. statistical methods. Environmental Earth Sciences, 72 (4): 1097-1108. DOI: 10.1007/s12665-013-3026-3
- Pellicani R., Spilotro G., Van Westen C.J. (2016) Rockfall trajectory modeling combined with heuristic analysis for assessing the rockfall hazard along the Maratea SS18 coastal road (Basilicata, Southern Italy). Landslides, 13 (5): 985-1003. DOI 10.1007/s10346-015-0665-3.
- Pellicani R., Argentiero I., Spilotro G. (2017) GIS-based predictive models for regional-scale landslide susceptibility assessment and risk mapping along road corridors. Geomatics, Natural Hazards and Risk, 1-22. DOI: 10.1080/19475705.2017.1292411.
- Romana M (1985) New adjustment rating for application of Bieniawski classification to slopes. Int. Symp. Role of Rock Mechanics. Zacatecas. pp 49-53

e-mail: roberta.pellicani@unibas.it



Grazie per l'attenzione