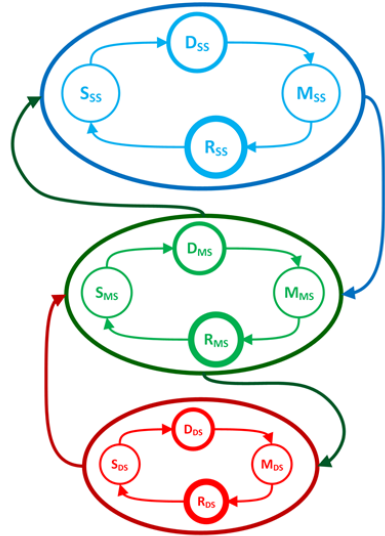


# IL CASO DI STUDIO DI SERRA DI BUDA

Giovanni Gullà - Luigi Aceto - Luigi Borrelli  
CNR-IRPI

# APPROCCIO CIRCOLARE, INTERDISCIPLINARE E MULTISCALARE

Cerchiamo il **DNA della FRANE** (tipizzazione) per conoscerle e progettare-realizzare interventi sostenibili di mitigazione del rischio



SS = Small Scale  
 MS = Medium Scale  
 DS = Detail Scale

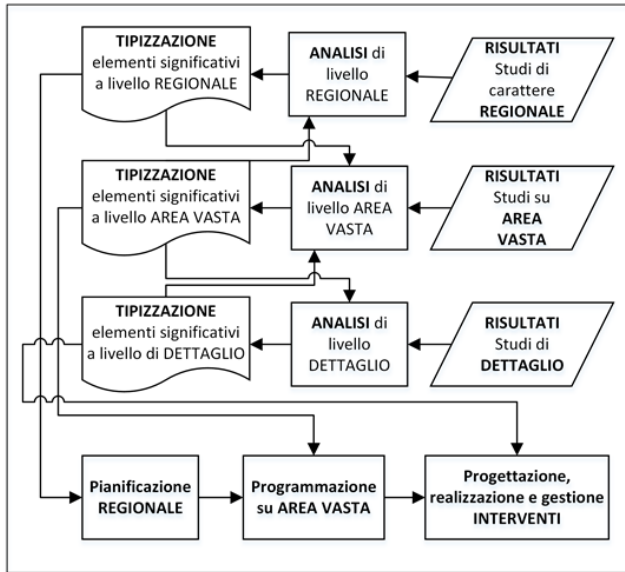
D = Data  
 M = Methods  
 R = Results  
 S = Solutions



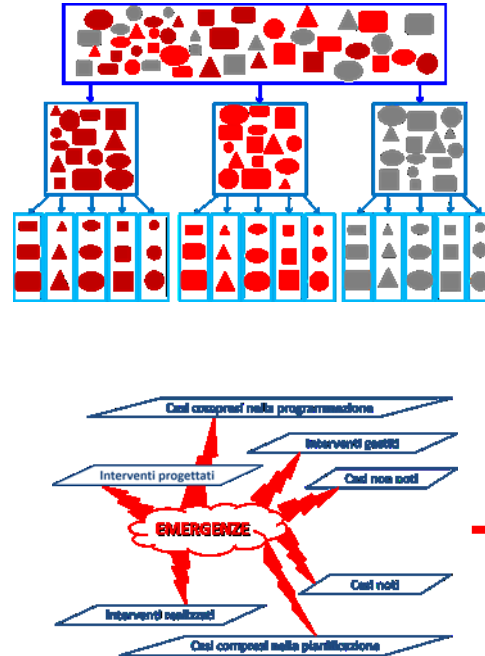
...per conseguire questi (...e altri) obiettivi è necessario disporre di **Reti Integrate di Monitoraggio (RIM)**

# ...come scegliere le frane dove realizzare RIM

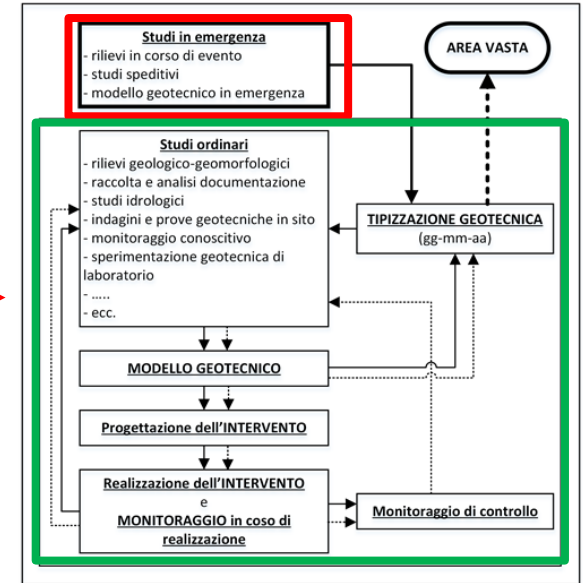
## Come si dovrebbe procedere



## Tipizzazione

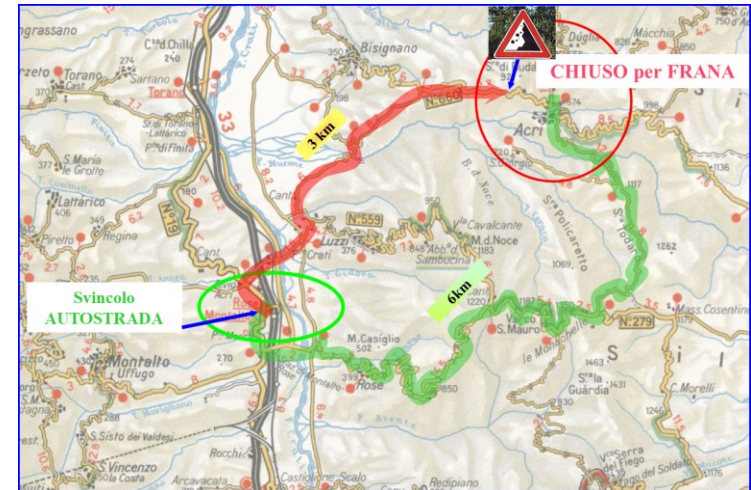
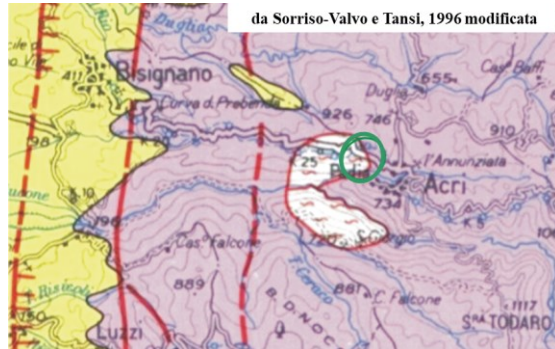


## Come, generalmente, si procede



# L'EMERGENZA LUNGO LA SS660...

Nell'inverno 1998-1999 (**dicembre 1998**) si manifestano lungo un tratto della **SS660**, nei pressi dell'**abitato di Acri** (CS), spostamenti significativi che inducono l'Ente gestore (ANAS) a **chiudere al traffico l'arteria stradale**.  
Si determina una condizione di **grave disagio per gli abitanti** dell'importante centro abitato ed è necessario un **supporto tecnico-scientifico** per supportare la **gestione dell'emergenza** conseguente.  
L'area interessata dai movimenti ricade nel perimetro di una **DGPV**.





# MONITORAGGIO PER GESTIONE EMERGENZA...

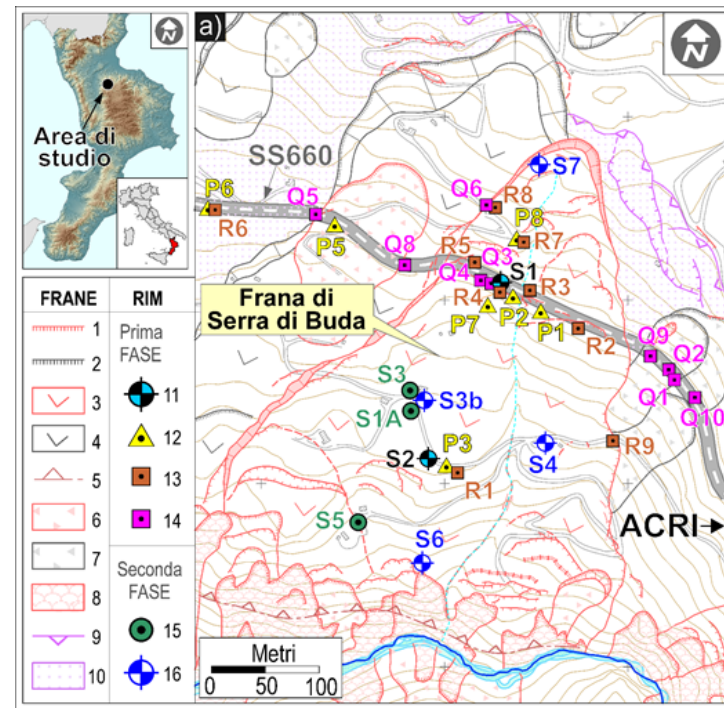
Le conoscenze generali disponibili fanno ritenere che si è in presenza di una frana complessa e, pur dovendo finalizzare principalmente le attività di **monitoraggio alla gestione dell'emergenza**, si decide di sviluppare la progettazione-realizzazione della rete integrata di monitoraggio assumendo come riferimento un **approccio circolare**.

②)



- Scarpata: **1)** attiva e **2)** quiescente;
- Scorrimento di roccia **3)** attivo e **4)** quiescente;
- **5)** Piede superficie di rottura;
- Scorrimento di detrito: **6)** attivo, **7)** quiescente e **8)** superficiale attivo;
- **9)** Scarpata di Sackung;
- **10)** Sackung;
- **11)** e **16)** piezometri;
- **12)** GPS;
- **13)** prismi;
- **14)** quadrilateri;
- **15)** inclinometri.

## Consistenza finale della RIM



# PRIMA FASE: accertare possibile riapertura SS660

- **Dicembre 1998:** Rilievi geologico-geomorfologici, raccolti ed esaminati dati conoscitivi (pioggia dal 1922, nella stazione di Acri).
- **Aprile 1999:** 7 capisaldi GPS misurati manualmente (novembre 1999-giugno 2002 il punto P1 è stato misurato con modalità automatica)
- **Maggio 1999:** 2 sondaggi geotecnici (S1-S2) strumentati con piezometri misurati manualmente.
- **Giugno 1999:** 7 quadrilateri misurati lungo le fratture che identificano corona e fianchi della frana.
- **Ottobre 1999:** 9 prismi misurati giornalmente con una stazione totale servoassistita.



MISURA	SEZIONE	INSTALLAZIONI	IDENTIFICAZIONE	PERIODI DI MISURA	NOTE	FASE
Spostamenti superficiali	GPS	7 capisaldi	P1-P2-P3 <sup>(a)</sup> -P5 <sup>(b)</sup> -P6-P7 <sup>(c)</sup> -P8	2/4/99-8/7/02+17/6/03-30/4/19+(a)-27/6/13+(b)-7/4/05+(c)-6/4/11	Basette	Prima
	Quadrilateri	11	Q1--Q5-Q9-Q7 <sup>(d)</sup> +Q8-Q13-Q14 <sup>(e)</sup>	(d)1/6/99-1/2/01+(e)28/9/04-7/3/05	Picchetti	Prima
	Stazione totale	9	R1- R2-...- R9	27/10/99-8/7/02	Prismi	Prima
Livelli piezometrici	Piezometri	2 verticali (4 piezometri)	S1	25/5/99-19/3/12	15.6-27.9 m p.c.	Prima
			S2	27/5/99-23/5/11	18.0-29.7 m p.c.	Prima



# SECONDA FASE: riapertura in sicurezza della SS660

L'analisi dei dati di monitoraggio acquisiti sulla RIM realizzata nella **PRIMA FASE** ha consentito la **riapertura in sicurezza della SS 660** ed ha guidato nella **SECONDA FASE (...)** la **progettazione-realizzazione**, nel 2000, del potenziamento della RIM (6 sondaggi geotecnici (profondità da 30 a 101 m), strumentati con piezometri (tubi aperti e celle Casagrande) e tubi inclinometrici, nonché di stendimenti caratterizzati con sismica a rifrazione (800 m), ulteriore sondaggio (profondità di 150 m) per precisare il profilo di alterazione e le posizioni delle superfici di scorrimento.



MISURA	SEZIONE	INSTALLAZIONI	IDENTIFICAZIONE	PERIODI DI MISURA	NOTE	FASE
Spostamenti profondi	Inclinometri	3	S3	26/5/00-29/1/01	98 m p.c.	Seconda
			S5	1/6/00-29/1/01	62 m p.c.	Seconda
			S1A	15/1/02-4/6/03	152 m p.c.	Seconda
Livelli piezometrici	Piezometri	4 verticali (9 piezometri)	S3b	30/5/00-27/6/13	17.0-45.0-58.8 m. p.c.	Seconda
			S4	30/5/00-31/1/08	8.1-29.2-38.4 m p.c.	Seconda
			S6	30/5/00-12/11/10	6.5-33.6 m p.c.	Seconda
			S7	30/5/00-17/10/08	16.2-33.3 m p.c.	Seconda

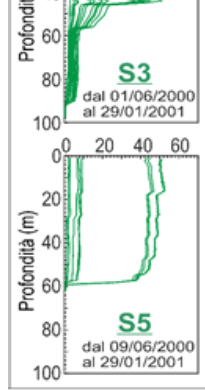
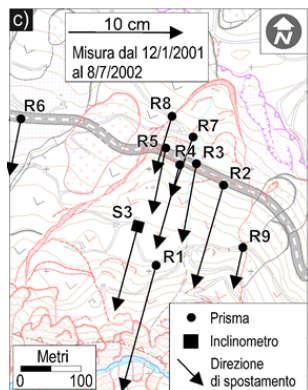
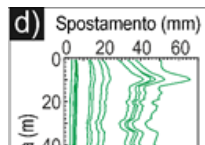
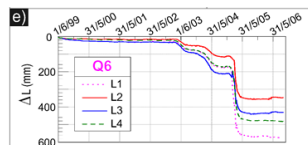


**RIM al 2002: 6 verticali strumentate con 13 piezometri (3 celle Casagrande e 10 piezometri a Tubo Aperto); 3 verticali inclinometriche**, profondità 99 m (S3), 63 m (S5) e 150 m (S1A).

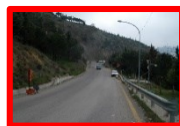
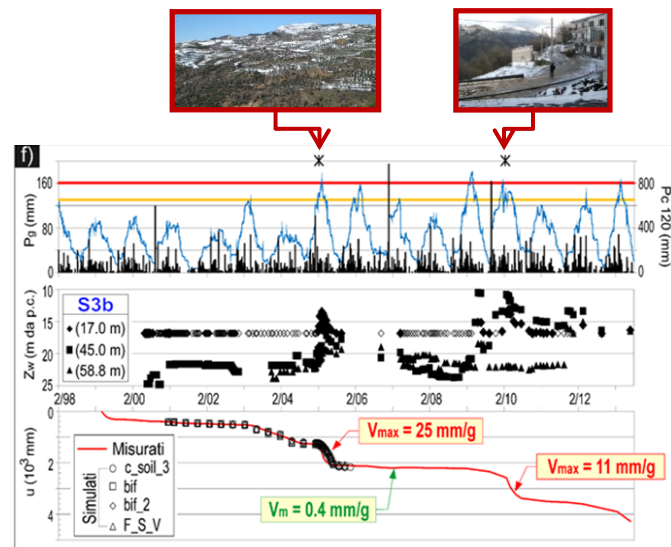
Frequenza di misura modulata sulla base delle condizioni di movimento man mano registrate.

# CAPITALIZZAZIONE DEI RISULTATI...dopo SECONDA FASE

- Precisazione della delimitazione della frana
- Profondità e forma delle superfici di scorrimento
- Tipo di movimento (scorrimento traslazionale riconducibile ad una modellazione piana)
- Identificazione delle fasi cinematiche (utile per: supporto alla gestione delle emergenze, definizione di valori tipizzati delle velocità e delle condizioni di stabilità)



Solo il **monitoraggio di lungo periodo** ha consentito di registrare la **riattivazione** della frana di Serra di Buda e l'individuazione di chiare **relazioni** tra aumento della **velocità di spostamento**-livelli **piezometrici-precipitazioni** (neve-pioggia o solo pioggia).  
Aumento della velocità fino a 25 mm/g con piogge cumulate su 120 giorni che si attestano o superano 800 mm (con precipitazione nevosa).

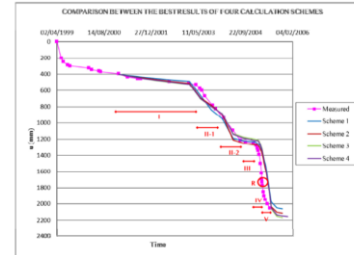
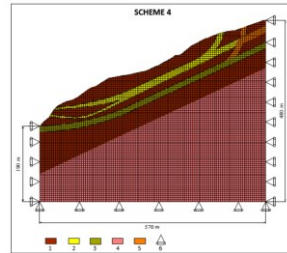
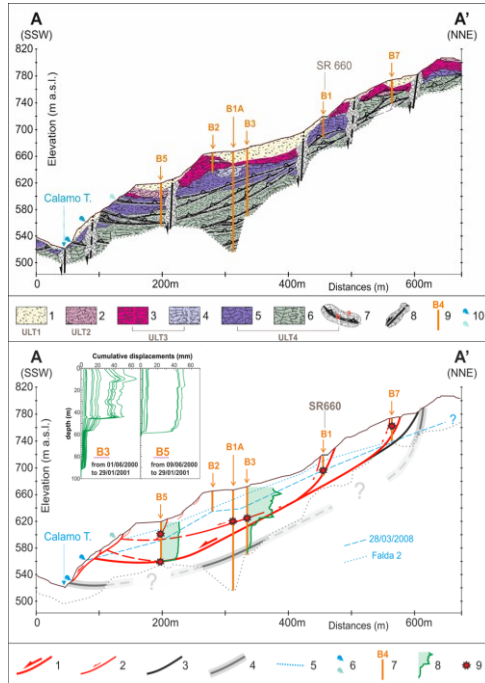




# ASPETTI CONOSCITIVI da risultati della SECONDA FASE

- **Modello geologico** e di evoluzione della frana
- **Modello geotecnico** della stessa frana per simulare il comportamento tensio-deformativo del versante

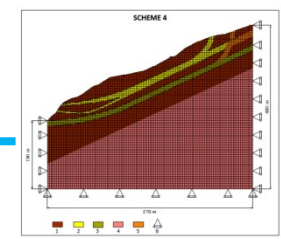
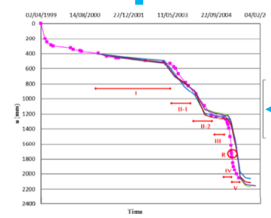
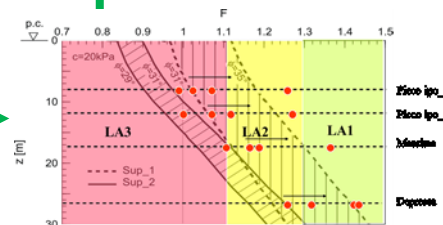
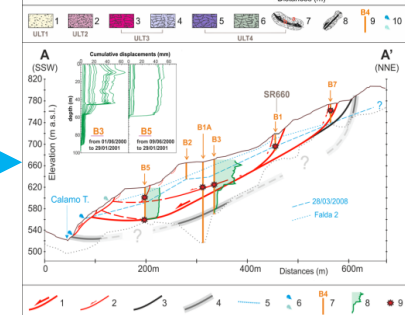
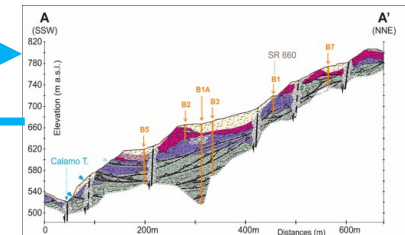
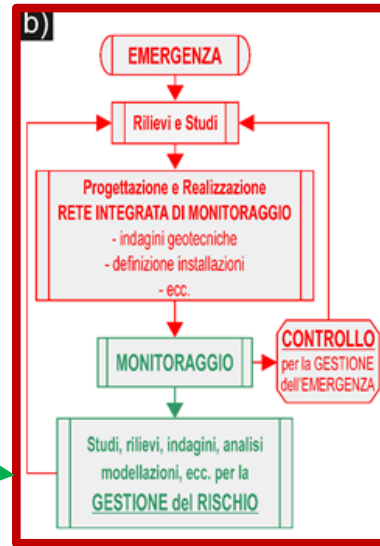
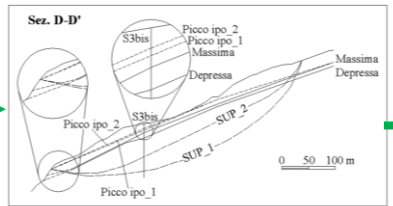
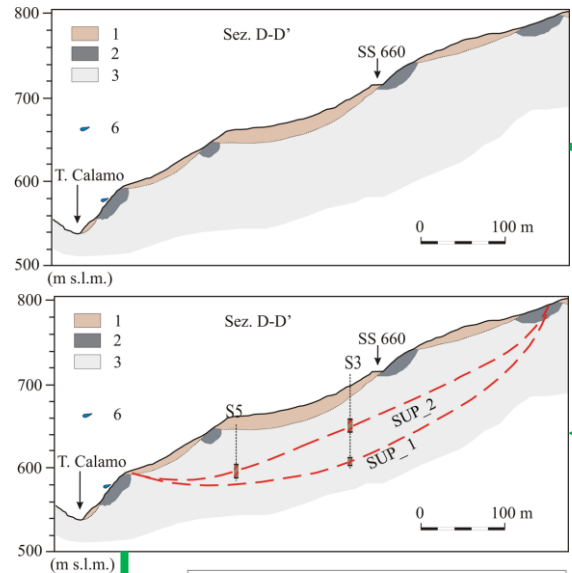
Le **conoscenze espresse nel modello geologico**...hanno fornito efficaci riferimenti agli studi geotecnici (sperimentazione di laboratorio e prove in sito, monitoraggio di lungo periodo, modellazioni delle condizioni di stabilità, ecc.) consentendo una **più efficace definizione del modello geotecnico della frana** (geometria del pendio, superfici di scorrimento, pressioni interstiziali connesse a variazioni significative delle condizioni di stabilità, valori di riferimento dei parametri geotecnici dei geomateriali interessati, ecc.) idoneo a simulare il **comportamento tensio-deformativo** del versante.



Parameters	C <sub>rock</sub>	C <sub>soil_1</sub>	C <sub>soil_2</sub>	Bedrock
Behaviour Model	Mohr-Coulomb	CVISC	Mohr-Coulomb	Elastic
d (kg/m <sup>3</sup> )	2300	2300	2300	2300
c (kPa)	200	100	100	-
φ (°)	60	31	35	-
ψ (°)	0	0	0	-
K (x10 <sup>3</sup> kPa)	500	125	375	1670
G <sup>s</sup> (x10 <sup>3</sup> kPa)	-	6	-	-
α <sup>s</sup> (x10 <sup>-3</sup> kPa <sup>-1</sup> )	-	3	-	-
G <sup>M</sup> (x10 <sup>3</sup> kPa)	230	57.5	172.5	990
η <sup>s</sup> (x10 <sup>-3</sup> kPa <sup>-1</sup> s)	-	5	-	-


Conoscenza degli **spostamenti per un periodo significativo essenziale** per la **calibrazione dei parametri geotecnici** utili alla modellazione visco-elasto-plastica della frana in presenza di condizioni pluviometriche critiche per la stabilità del pendio.

# ...PROGRESSIONE CIRCOLARE DELLA CONOSCENZA



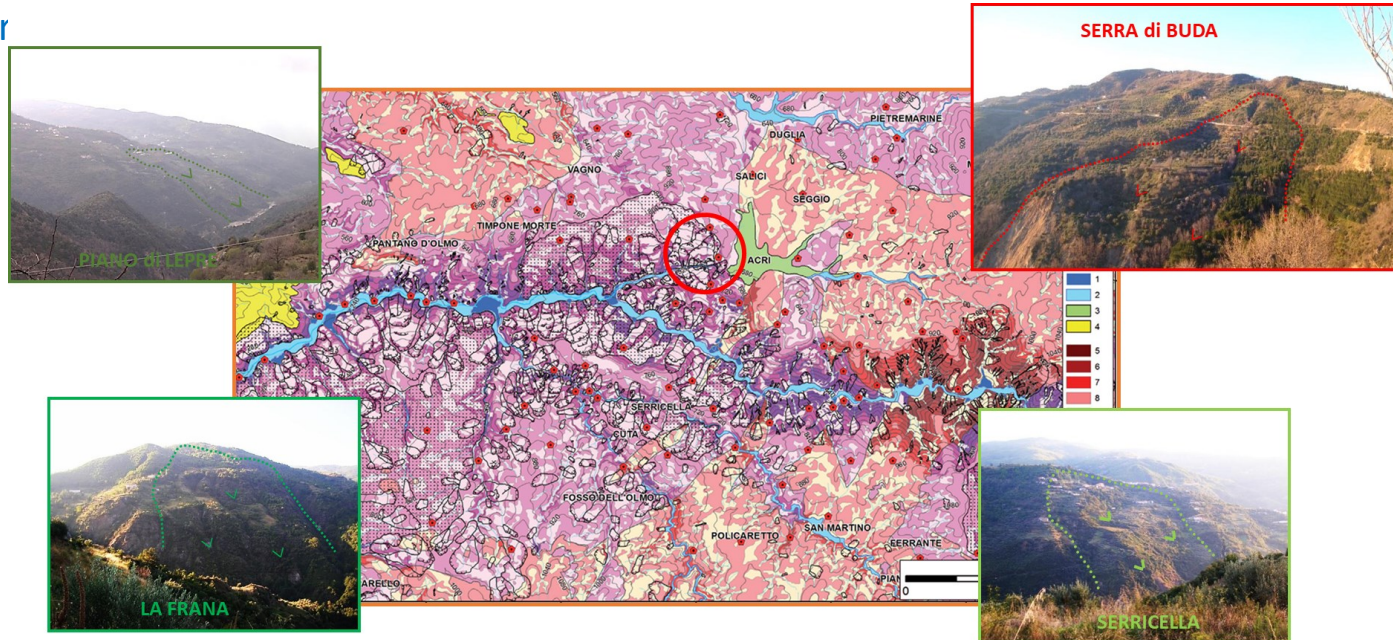
# INTEGRAZIONE DEI DATI DI MONITORAGGIO

Il percorso utilizzato per la progettazione e realizzazione della **RIM** nel caso di studio di **Serra di Buda**, da intendersi come una declinazione di quanto contenuto nella LLGG, mostra che i **risultati conseguiti** per una frana profonda in rocce gneissiche (...con profilo di alterazione/degradazione complesso, la cui evoluzione cinematica può portare al collasso del volume in frana, con importanti conseguenze per la SS 660 e non solo...) **sono interessanti**.

L'**integrazione**  dei dati di monitoraggio e dei risultati delle indagini, delle prove geotecniche in sito e di laboratorio, unitamente a quelli ottenuti dalle modellazioni, consente di **precisare progressivamente il meccanismo di frana**, quindi, di **migliorare le capacità di previsione del modello geotecnico e rendere sostenibile in termini sociali ed economici la gestione del rischio nel medio-lungo termine**.

# LA FRANA DI SERRA DI BUDA E' UNICA?

Si..., ma **altre frane**, nell'area di studio di Acri (es. **Serricella**, **La Frana**, **Piano di Lepre**, ...) ed in altri contesti geologici che presentano **caratteristiche (tipiche) simili**, possono essere **più efficacemente comprese e risolte** assumendo come riferimenti ...metodologici e ...quantitativi quanto accertato per la frana di Ser





# FINE...presentazione



GRAZIE x l'attenzione ;)