



**dicar**  
Politecnico di Bari



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

**DIDA**  
DIPARTIMENTO DI  
ARCHITETTURA

# MICHe

Mitigating the Impacts of natural hazards on Cultural Heritage sites, structures and artefacts

*ANALISI MULTI-RISCHIO DELLA TORRE NORMANNA DI  
CRACO:*  
**RISCHIO SISMICO – RISCHIO FRANA**

Responsabile scientifico: **Dora FOTI**

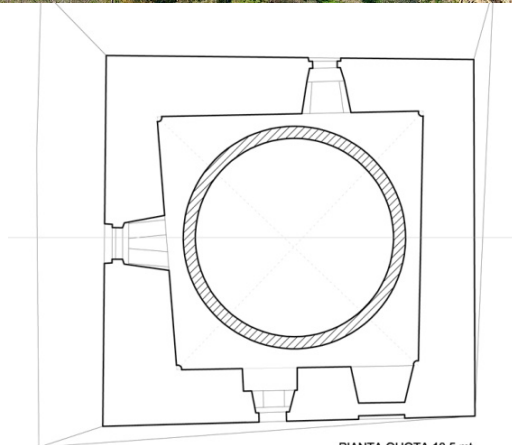


*Caso studio*  
**La Torre  
Normanna**

**Località:** Italia\_Basilicata\_Craco (MT)

**Periodo di realizzazione:** VIII – X secolo a.C.

**Quota s.l.m.:** 390 m circa



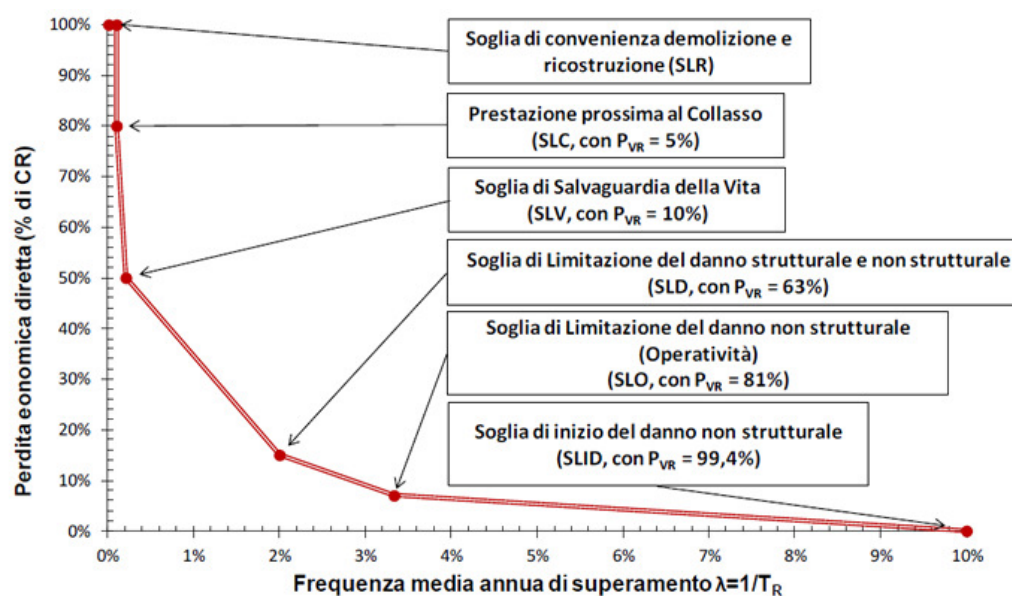
PIANTA QUOTA 10,5 mt



# METODO CONVENZIONALE

Linee Guida per la Classificazione del Rischio Sismico delle Costruzioni

**Perdita Annua Media attesa (PAM):** perdite economiche dovute ai possibili danni degli elementi strutturali e non strutturali in termini di percentuale del **Costo di Ricostruzione CR**



Perdita Media Annua attesa (PAM)	Classe PAM
$PAM \leq 0,50\%$	$A_{PAM}^+$
$0,50\% < PAM \leq 1,0\%$	$A_{PAM}$
$1,0\% < PAM \leq 1,5\%$	$B_{PAM}$
$1,5\% < PAM \leq 2,5\%$	$C_{PAM}$
$2,5\% < PAM \leq 3,5\%$	$D_{PAM}$
$3,5\% < PAM \leq 4,5\%$	$E_{PAM}$
$4,5\% < PAM \leq 7,5\%$	$F_{PAM}$
$7,5\% \leq PAM$	$G_{PAM}$

$$T_{rC} = T_{rD} (PGA_C / PGA_D)^\eta$$

$$\eta = 1/0,43 \text{ per } 0,25g \geq a_g \geq 0,15g$$

Per ciascun tempo di ritorno ( $T_{rC}$ ) è possibile definire la **frequenza media annua di superamento ( $\lambda$ )**

$$PAM = \sum_{i=2}^5 (\lambda_{SLi-1} - \lambda_{SLi}) \cdot (CR_{SLi} + CR_{SLi-1}) / 2 + \lambda_{SLC} \cdot CR_{SLR}$$

## METODO CONVENZIONALE

Linee Guida per la Classificazione del Rischio Sismico delle Costruzioni

### Definizione del «nuovo» *Costo di Ricostruzione CR\**

- *I parametro\_* Costo di ricostruzione della torre **CR**



- *Il parametro\_* Valore storico-artistico: perdita di fruibilità **PF**

**Perdita economica mensile\*\*  
dovuta alla non fruizione del bene**

(\*\*Tempo di “ripristino” della struttura)

$$CR^* = CR + PF$$

## Analisi del Costo di Ricostruzione CR\*

Costo di ricostruzione Prezziario regionale 2018 - Regione Basilicata									
	spess	h/larg.	lung	n	tot	U.M.	Prezzo unitario	Prezzo parziale	
	2,15	13,61	8,46	2,00	495,10	mc	€ 178,37	€88.311,80	
	2,15	13,61	8,76	2,00	512,66	mc	€ 178,37	€91.443,43	
	1,70	7,56	8,46	2,00	217,46	mc	€ 178,37	€38.787,60	
	1,70	7,56	8,76	2,00	225,17	mc	€ 178,37	€40.163,04	
	0,85	0,76	9,20	2,00	11,89	mc	€ 178,37	€2.120,18	
Murat	0,85	0,76	9,50	2,00	12,27	mc	€ 178,37	€2.189,31	
ura								€263.015,37	
Solaio	0,25	4,16	4,46		18,55	mq	€ 54,64	€1.013,77	
ClS	0,25	4,90	5,20		25,48	mq	€ 54,64	€1.392,23	
Rck30								€2.406,00	
Cistern	0,35	r=3,20	area base cisterna		32,15	mq	€ 134,40	€4.320,96	
a Cls	0,35	17,30	area laterale cisterna		347,66	mq	€ 134,40	€46.725,50	
Rck25								€51.046,46	
<b>TOT</b>								<b>€316.467,83</b>	

Tempo di ripristino (mesi)	t	12
Numero mensile di biglietti	n	1.416
Costo biglietto	c <sub>b</sub>	€ 10,00

$$PF = n * c_b * t$$

Costo di ricostruzione	<b>CR</b>	<b>€ 316.468,00</b>
Perdita di fruibilità	<b>PF</b>	<b>€ 170.000,00</b>
Costo di ricostruzione*	<b>CR*</b>	<b>€ 486.468,00</b>

## METODO CONVENZIONALE

Linee Guida per la Classificazione del Rischio Sismico delle Costruzioni

### *Perdita Annuale Media attesa (PAM)*

Indicazioni fornite dalle **Linee Guida per la Classificazione del Rischio Sismico delle Costruzioni**

Stato Limite	CR(%)
SLR	100%
SLC	80%
SLV	50%
SLD	15%
SLO	7%
SLID	0%

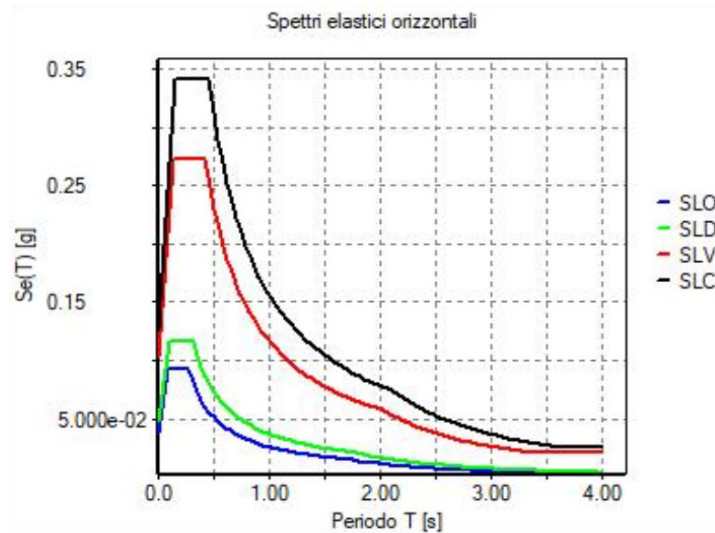


CASO STUDIO	
Costo SLR	€ 486.468,00
Costo SLC	€ 389.174,00
Costo SLV	€ 194.587,00
Costo SLD	€ 72.232,00
Costo SLO	€ 34.053,00
Costo SLID	€ 0,00

## METODO CONVENZIONALE

Linee Guida per la Classificazione del Rischio Sismico delle Costruzioni

Spettro di Risposta (CRACO)



PGA Domanda

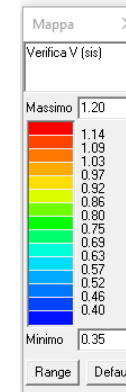
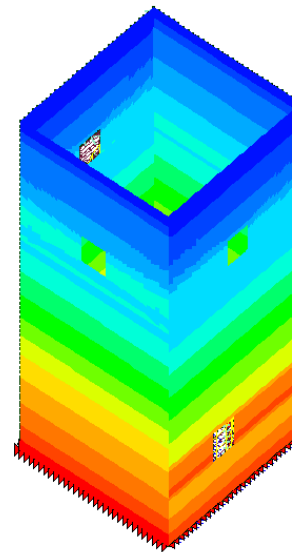
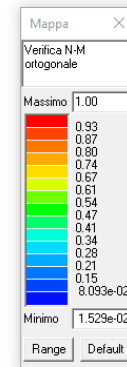
$$PGA_{SLV} = 0.103g$$

$$PGA_{SLD} = 0.048g$$

Verifiche Dinamiche:

Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV)

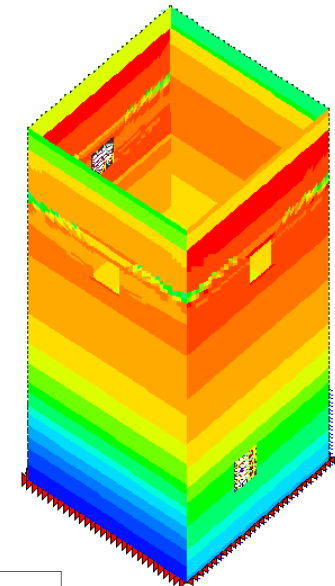
Stato Limite di Danno (SLD)



PGA Capacità

$$PGA_{SLV} = 0.083g$$

$$PGA_{SLD} = 0.0336g$$

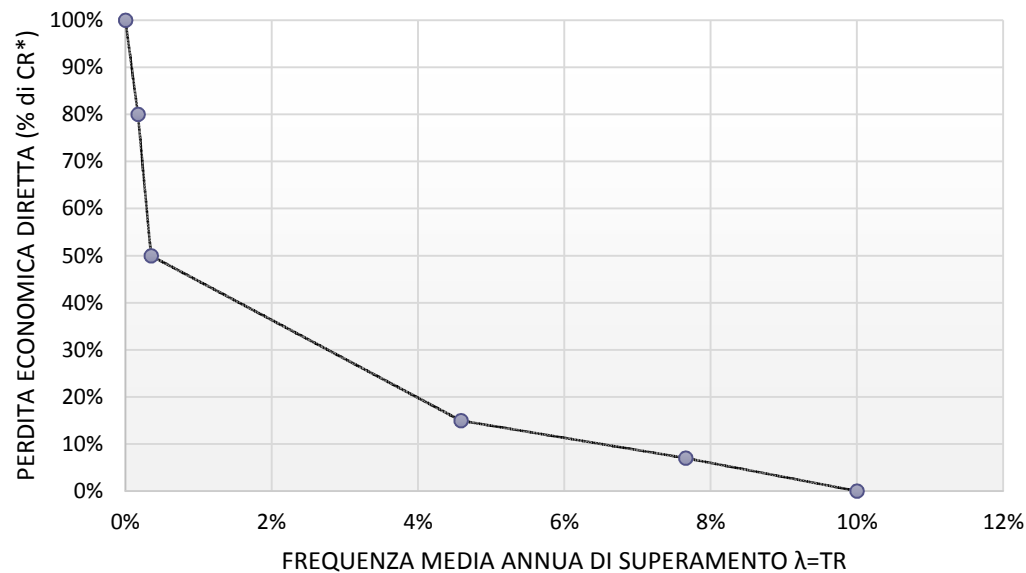


## METODO CONVENZIONALE

Linee Guida per la Classificazione del Rischio Sismico delle Costruzioni

**Perdita Annuale Media attesa (PAM):** perdite economiche dovute ai possibili danni degli elementi strutturali e non strutturali in termini di percentuale del **Costo di Ricostruzione CR**

Curva valutazione PAM



FREQUENZA MEDIA ANNUA DI SUPERAMENTO $\lambda=1/T_R$			
SLR	100%	$\lambda_{SLR}$	0
SLC	80%	$\lambda_{SLC}$	0.002
SLV	50%	$\lambda_{SLV}$	0.003
SLD	15%	$\lambda_{SLD}$	0.046
SLO	7%	$\lambda_{SLO}$	0.077
SLID	0%	$\lambda_{SLID}$	0.100



## METODO CONVENZIONALE

Linee Guida per la Classificazione del Rischio Sismico delle Costruzioni

**Perdita Annuale Media attesa (PAM):** perdite economiche dovute ai possibili danni degli elementi strutturali e non strutturali in termini di percentuale del **Costo di Ricostruzione CR**

$$PAM = \sum_{i=2}^5 ( \lambda_{SLi-1} - \lambda_{SLi} ) \cdot (CR_{SLi} + CR_{SLi-1})/2 + \lambda_{SLC} \cdot CR_{SLR}$$

**PAM=2.07%**

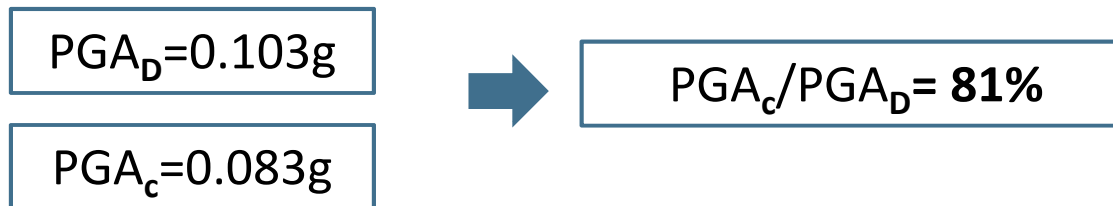
Perdita Media Annuale attesa (PAM)	Classe PAM
PAM ≤ 0,50%	A <sup>+</sup> <sub>PAM</sub>
0,50% < PAM ≤ 1,0%	A <sub>PAM</sub>
1,0% < PAM ≤ 1,5%	B <sub>PAM</sub>
1,5% < PAM ≤ 2,5%	C <sub>PAM</sub>
2,5% < PAM ≤ 3,5%	D <sub>PAM</sub>
3,5% < PAM ≤ 4,5%	E <sub>PAM</sub>
4,5% < PAM ≤ 7,5%	F <sub>PAM</sub>
7,5% ≤ PAM	G <sub>PAM</sub>

**Classe PAM= C**

## METODO CONVENZIONALE

Linee Guida per la Classificazione del Rischio Sismico delle Costruzioni

**Indice di sicurezza (IS-V) o Indice di Rischio** della struttura: rapporto tra capacità e domanda della costruzione in termini di accelerazione di picco al suolo **PGA** per lo Stato Limite di Salvaguardia delle Vita (SLV)



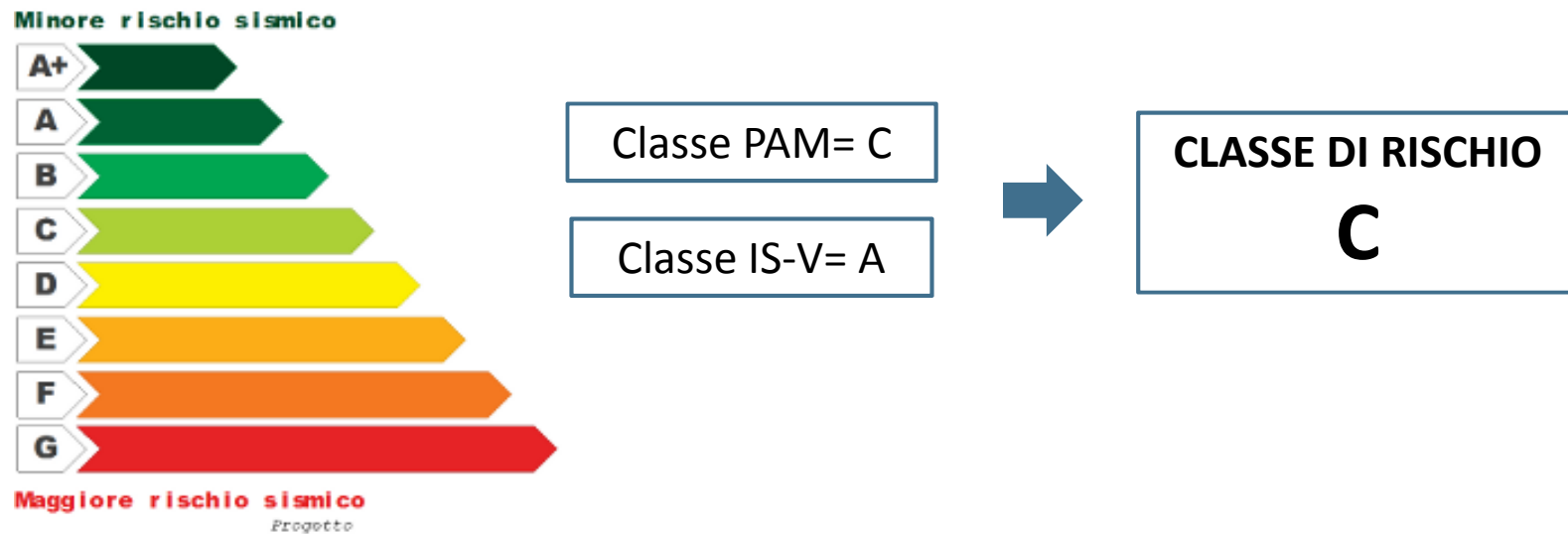
Indice di Sicurezza	Classe IS-V
$100\% < IS-V$	$A^+_{IS-V}$
$80\% \leq IS-V < 100\%$	$A_{IS-V}$
$60\% \leq IS-V < 80\%$	$B_{IS-V}$
$45\% \leq IS-V < 60\%$	$C_{IS-V}$
$30\% \leq IS-V < 45\%$	$D_{IS-V}$
$15\% \leq IS-V < 30\%$	$E_{IS-V}$
$IS-V \leq 15\%$	$F_{IS-V}$



## METODO CONVENZIONALE

Linee Guida per la Classificazione del Rischio Sismico delle Costruzioni

La **Classe di Rischio** è definita come la peggiore tra la **Classe PAM** e la **Classe IS-V**, corrispondente quindi al rischio sismico maggiore.



**RISCHIO FRANA** = Combinazione di **Pericolosità**, **Esposizione** e **Vulnerabilità**.

**Pericolosità:** Stima quantitativa e/o qualitativa dei fenomeni franosi e della loro ricorrenza, in una determinata area, sulla base dei processi e delle forme che sono stati attivi in passato.

**Esposizione:** Individua elementi che possono essere negativamente affetti da un evento franoso, identificabili attraverso categorie omogenee quali: popolazione, edifici, infrastrutture (vie di comunicazione), attività economiche, beni culturali, ecc

**Vulnerabilità:** Intensità di un evento franoso .

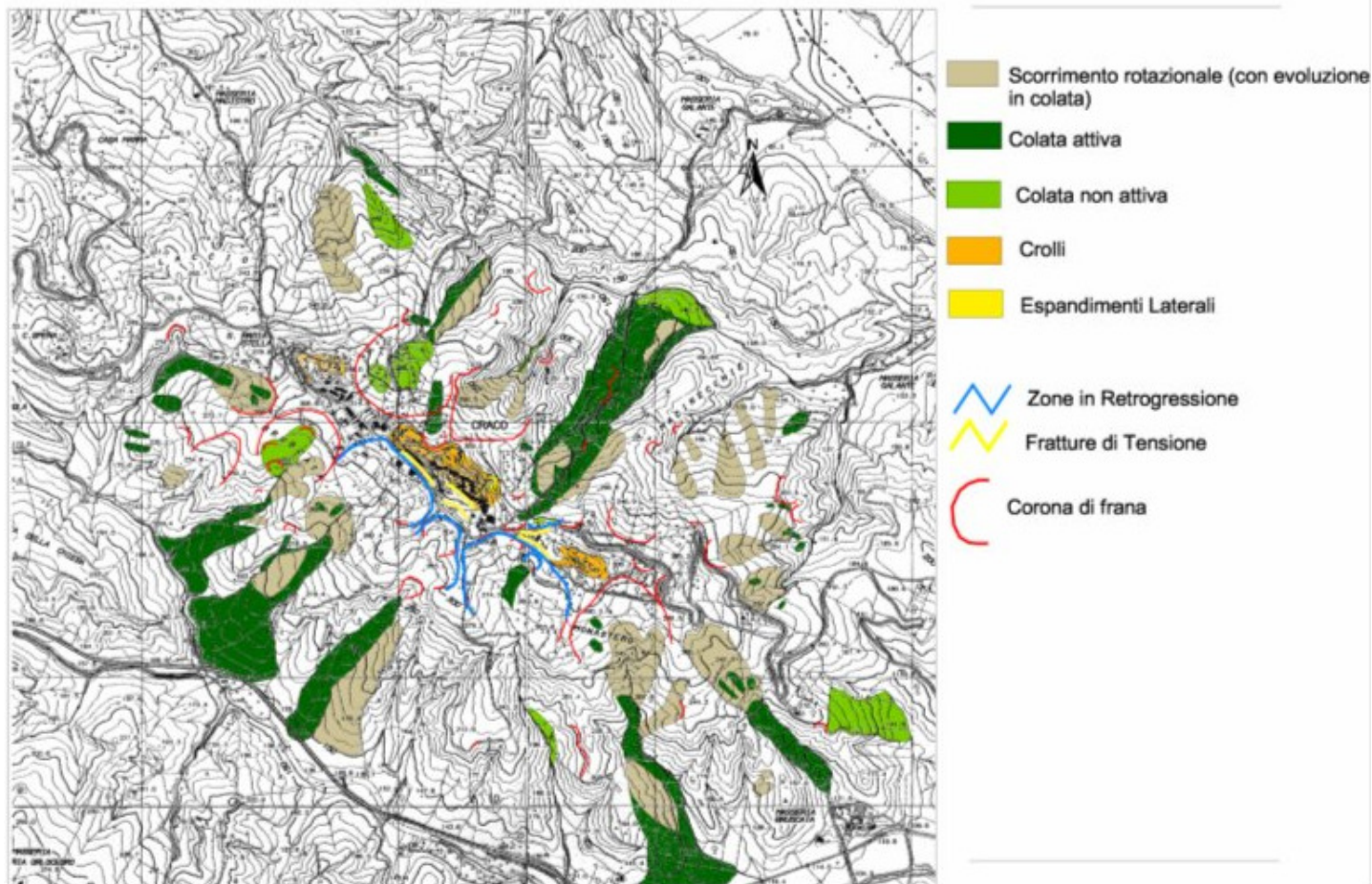
La combinazione dell'Esposizione (E) e della Vulnerabilità (V) fornisce il “**danno potenziale**” o grado di perdita degli elementi esposti.

Il **Rischio frana** esprime, quindi, il “**Danno atteso**” e dipende dal “danno potenziale” e dalla probabilità di occorrenza del fenomeno franoso. La valutazione del rischio si realizza attraverso l'incrocio fra la pericolosità e il “danno potenziale”.

Si fa riferimento al caso studio dell'ENEA, trovato in letteratura: **LINEE GUIDA PER LA SALVAGUARDIA DEI BENI CULTURALI DAI RISCHI NATURALI - Analisi per la valutazione del rischio da frana nell'area di Craco (Matera)**

**CARTA INVENTARIO - Tav. 1 -**

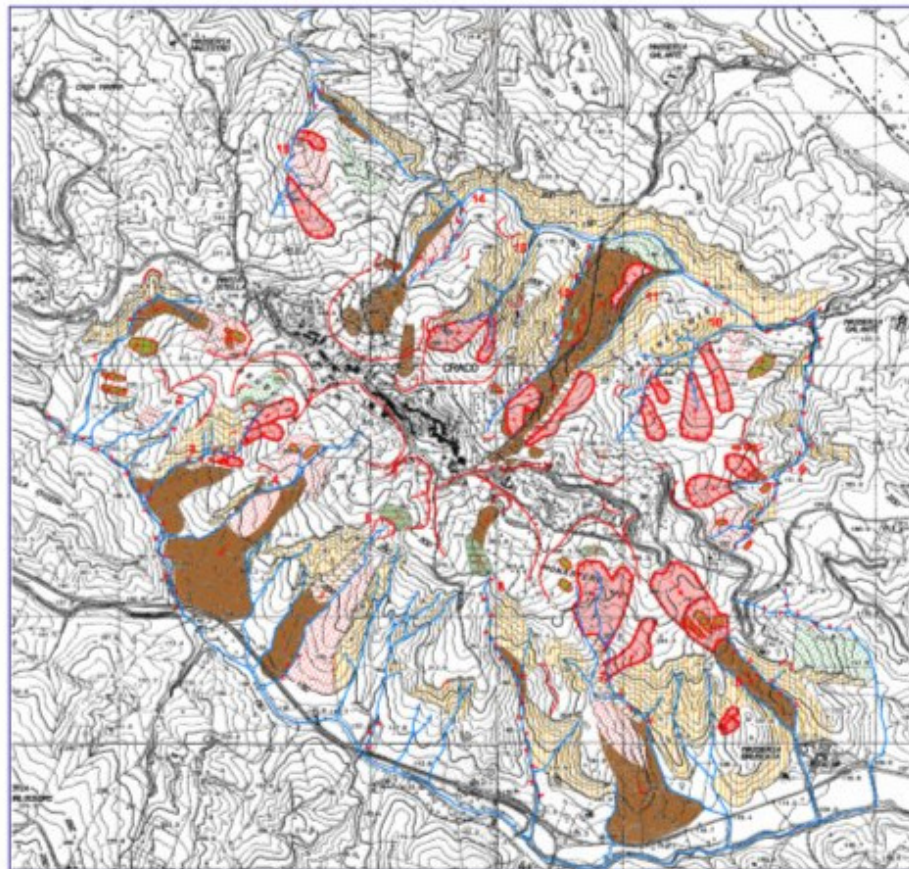
Scala 1:15 000



Si fa riferimento al caso studio dell'ENEA, trovato in letteratura: **LINEE GUIDA PER LA SALVAGUARDIA DEI BENI CULTURALI DAI RISCHI NATURALI - Analisi per la valutazione del rischio da frana nell'area di Craco (Matera)**

## ANALISI DELLA PERICOLOSITA'

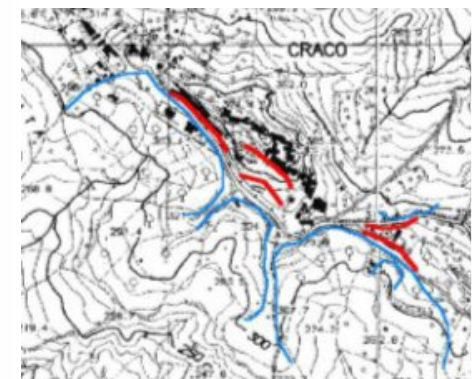
### CARTA GEOMORFOLOGICA ATTUALE - Tav. 4 - Scala 1:15 000



- Scorrimento rotazionale con evoluzione in colata (le frecce indicano la direzione del movimento).
- Colate quiescenti
- Colate attive
- Creep
- Colate non attive
- Terrazzo di frana.
- Aree con erosione superficiale, prevalentemente di tipo calanchivo.
- Corona di frana attiva.
- Corona di frana non attiva.
- Erosione lineare, fossi in approfondimento.

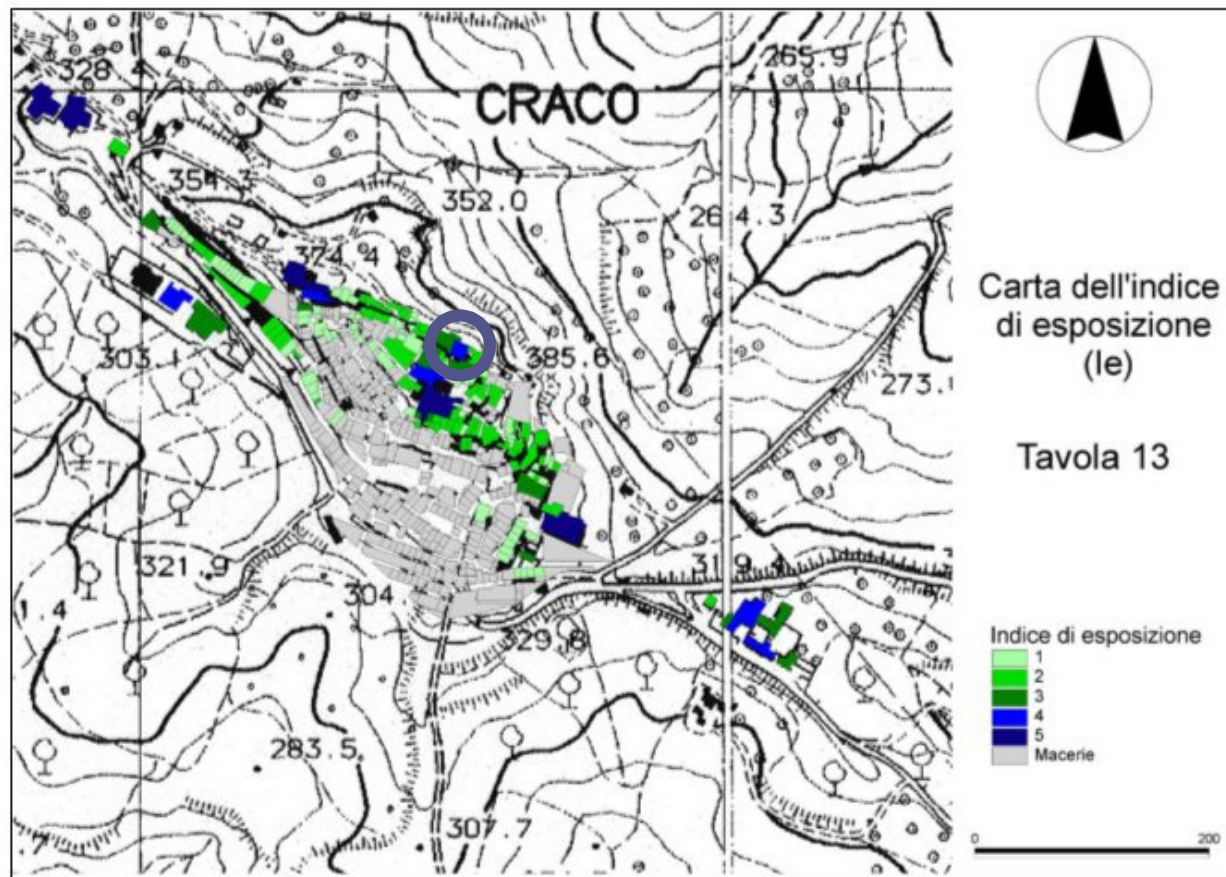
La **pericolosità** è in funzione dei **fattori di innesco e tempi di ritorno**, influenzati dagli **eventi piovosi estremi** subito precedenti alla frana.

Valutazione **qualitativa** dei fenomeni superficiali e profondi, che si basa sulla forma di **pericolosità spaziale**.



Si fa riferimento al caso studio dell'ENEA, trovato in letteratura: **LINEE GUIDA PER LA SALVAGUARDIA DEI BENI CULTURALI DAI RISCHI NATURALI - Analisi per la valutazione del rischio da frana nell'area di Craco (Matera)**

## ANALISI DELL'ESPOSIZIONE



L'indice di esposizione è stato analizzato attraverso la valutazione socio/economica delle conseguenze degli eventi franosi sulla "comunità" di Craco, ed in particolare, sugli edifici ormai abbandonati, ed è desunto dalla sovrapposizione di due indicatori:

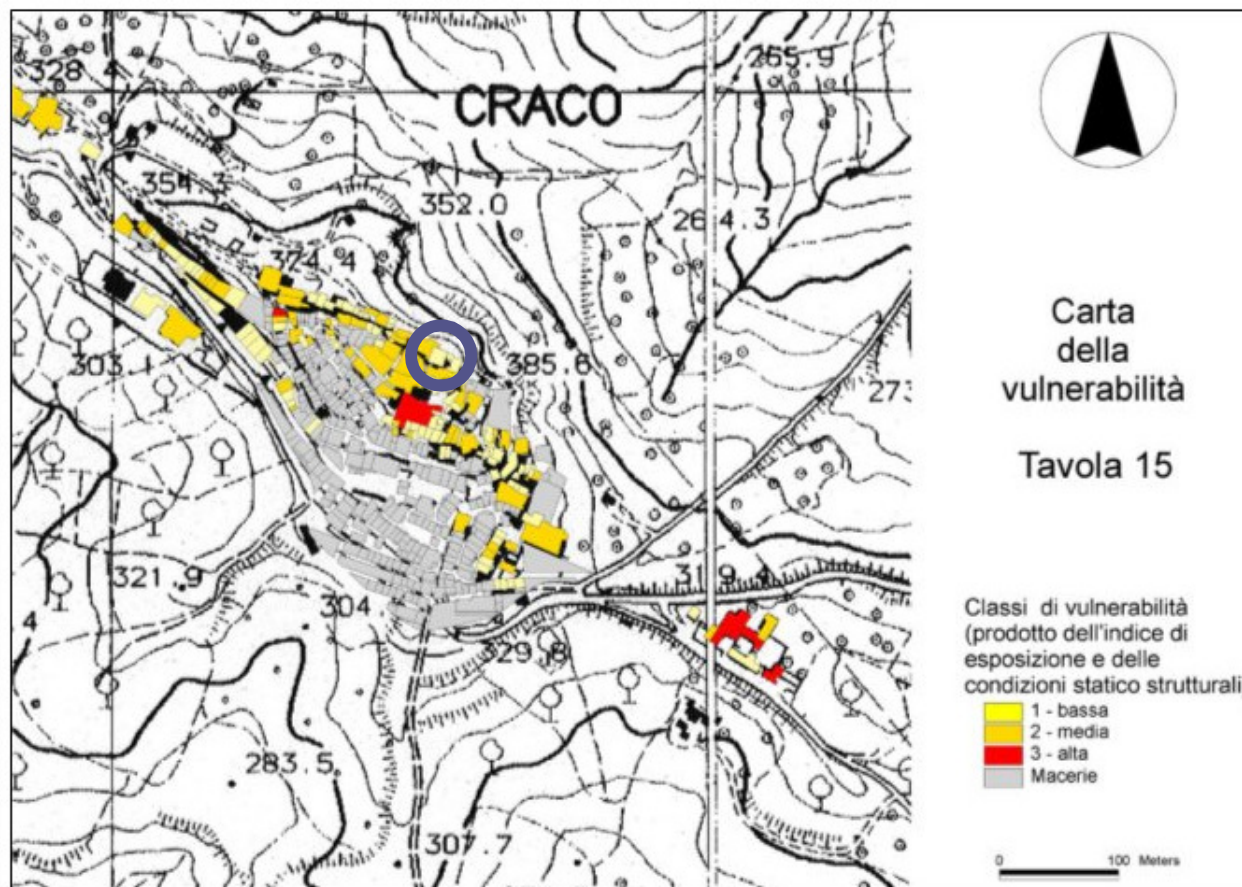
- Ind. **STORICO/CULTURALE**
- Ind. **COMPLESSITA' DI RESTAURO**

**TORRE:**

*Ind. Esposizione = 4*

Si fa riferimento al caso studio dell'ENEA, trovato in letteratura: **LINEE GUIDA PER LA SALVAGUARDIA DEI BENI CULTURALI DAI RISCHI NATURALI - Analisi per la valutazione del rischio da frana nell'area di Craco (Matera)**

## ANALISI DELLA VULNERABILITA'

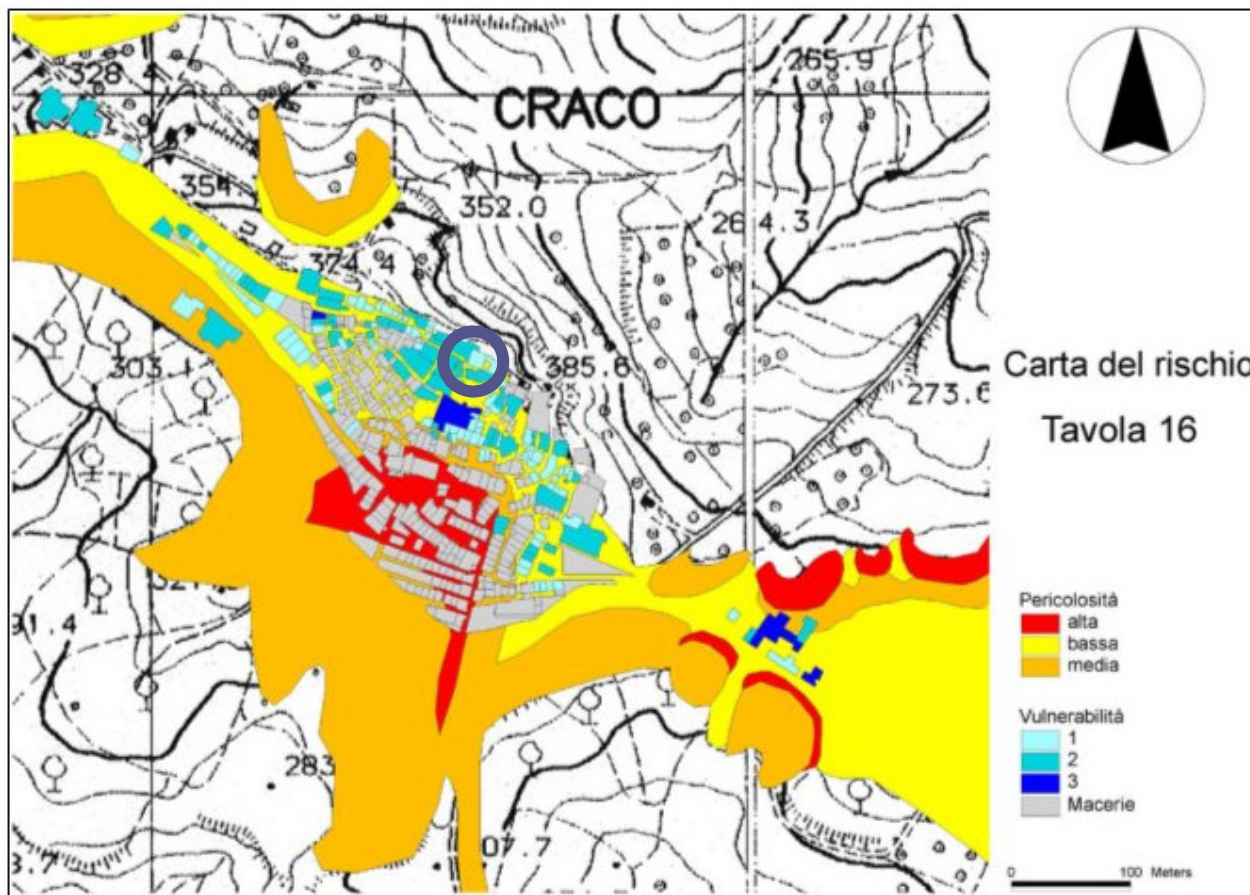


La classe di vulnerabilità è assimilabile al prodotto dell'indice di esposizione e delle condizioni statico-strutturali degli edifici (semplificazione Linee Guida). L'indice di vulnerabilità rappresenta la relazione tra la distribuzione delle condizioni statico-strutturali dei beni esposti e i parametri relativi la distanza degli stessi dall'area di corona della frana e rispetto l'evoluzione spaziale del fenomeno.



Si fa riferimento al caso studio dell'ENEA, trovato in letteratura: **LINEE GUIDA PER LA SALVAGUARDIA DEI BENI CULTURALI DAI RISCHI NATURALI - Analisi per la valutazione del rischio da frana nell'area di Craco (Matera)**

## ANALISI DEL RISCHIO



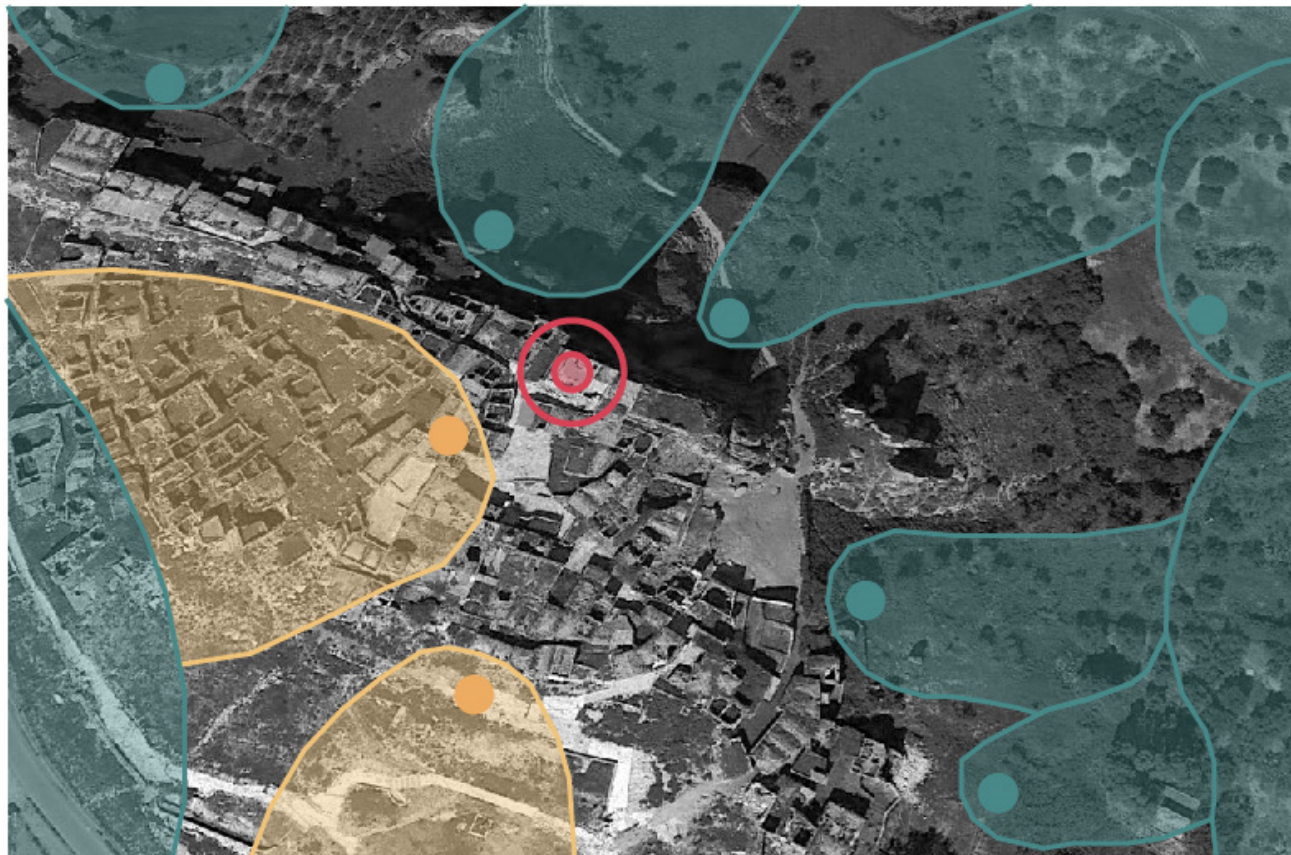
La valutazione del Rischio del Centro Storico è stata condotta attraverso l'analisi completa delle tre componenti :  
**pericolosità, vulnerabilità e indice di esposizione,** che sono state determinate secondo **scale qualitative.** Pertanto, in realtà, è più giusto definirla una **valutazione della propensione al danno.**

### LA TORRE:

- *Ind. Pericolosità* = **BASSA**
- *Ind. Vulnerabilità* = **1**

## Progetto Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia - IFFI

### ANALISI TIPOLOGIA ED EVOLUZIONE FRANA



Carta IFFI, che raccoglie e scheda a livello tipologico le frane.

Sul territorio del Comune di Craco sono individuate due tipologie di frana:

- Colamento Lento
- Scivolamento Rotazionale/Traslattivo

**TORRE = Nessun evento franoso attivo**

LEGENDA\_Carta IFFI-Frane:



COLAMENTO LENTO  
(attivo/riattivato/sospeso):  
Argilliti, Siltiti, Flysch pelitici



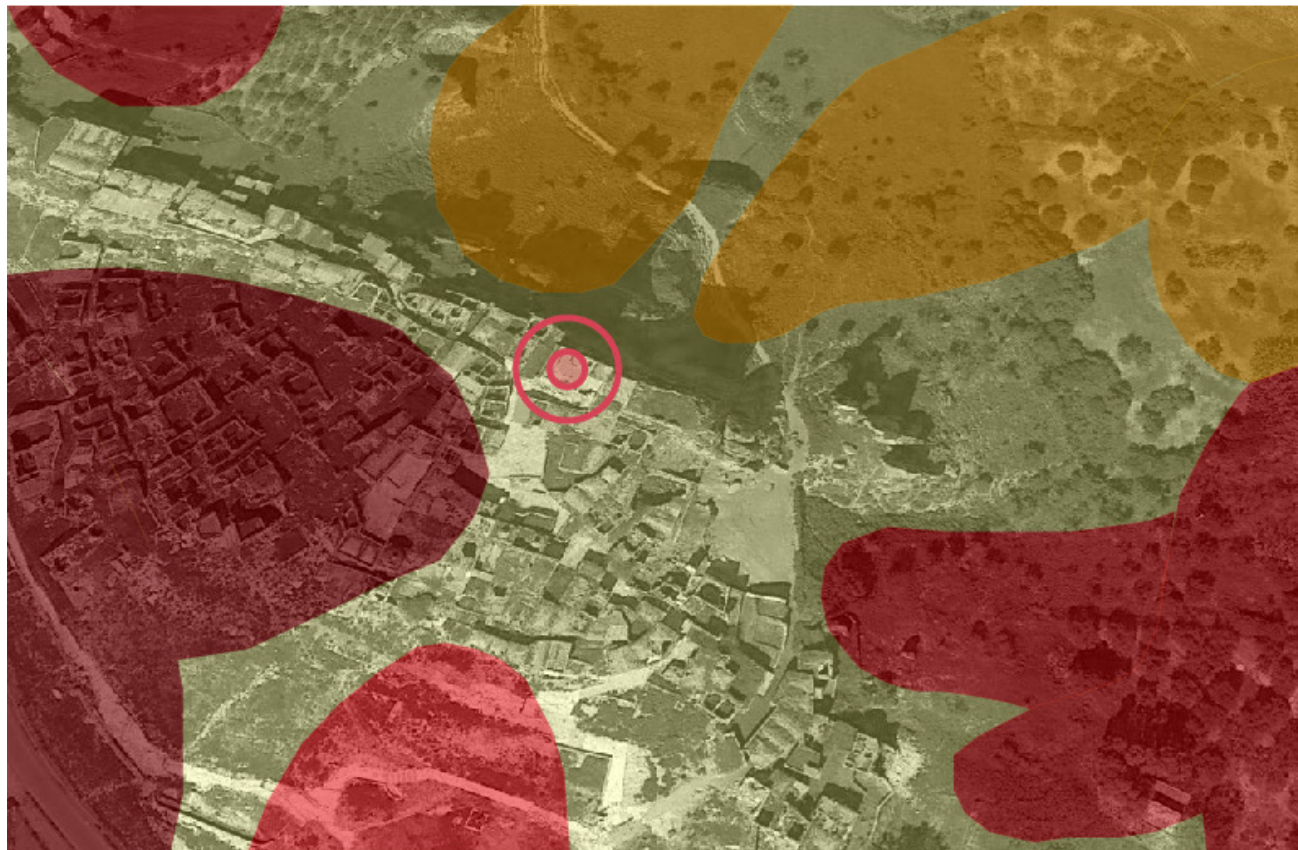
SCIVOLAMENTO ROTAZIONALE/TRASLATIVO  
(attivo/riattivato/sospeso):  
Conglomerati, Breccie



TORRE  
NORMANNA

## Piani di Assetto Idrogeologico - PAI

### VALUTAZIONI



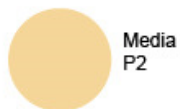
LEGENDA\_Pericolosità da Frana (PAI):



Molto elevata  
P4



Elevata  
P3



Media  
P2



Area di Attenzione  
AA



TORRE  
NORMANNA

ISPRA nel 2017 ha prodotto la “nuova” mappa della pericolosità da frana per il monitoraggio, controllo e verifica sull’attuazione e sulla coerenza con la pianificazione del rischio idrogeologico.

La mosaicatura è stata utilizzata per la produzione dei nuovi indicatori di rischio per frane:

- P4 molto elevata
- P3 elevata
- P2 media
- P1 moderata

•AA aree di attenzione

**TORRE =Area di Attenzione**

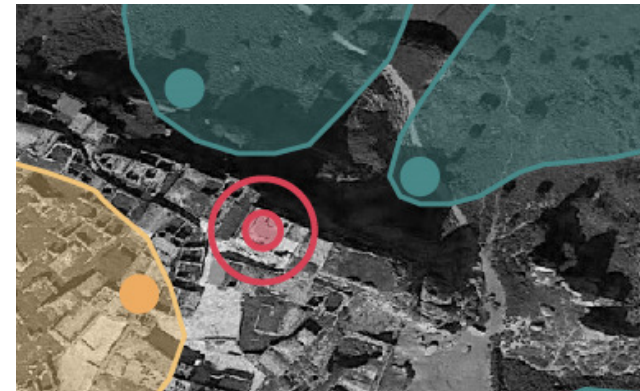
## ANALISI MULTIRISCHIO

### RISCHIO FRANA TORRE: Scenari

#### METODOLOGIA IPOTIZZATA prevede:

1. Individuare Tipologia Frana;
2. Individuare Pericolosità Frana;
3. Ipotizzare scenari che descrivano e valutino il Rischio connesso al tipo di evento considerato e che tengano in conto del fattore legato all'esposizione, attraverso la definizione di tre Gradi di danno.

1. **Tipologia di Frana** presa in considerazione:
  - *COLATA LENTA*
2. **Rischio/Pericolosità Frana Basso**, in quanto:
  - *CARTA PAI*: Area di Attenzione (AA)
  - *PROGETTO ENEA* : Basso



3. **Scenari** attraverso la definizione di tre gradi di danno:

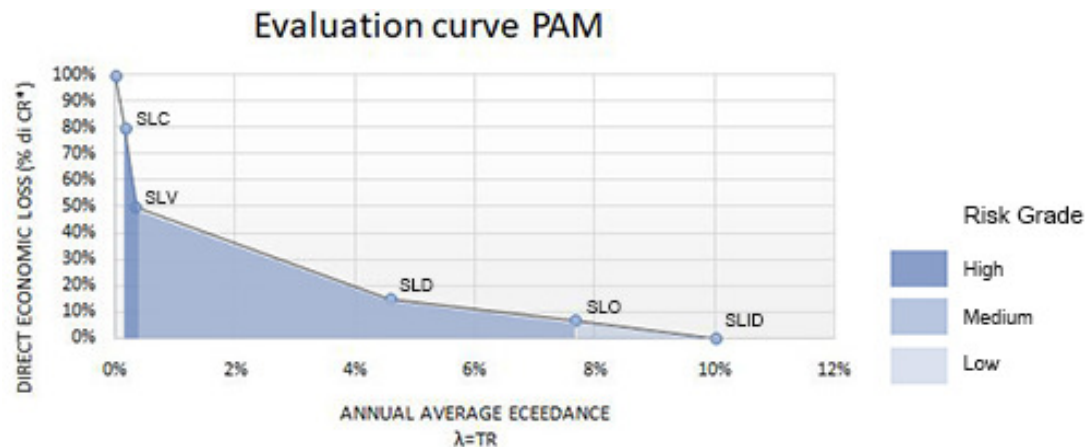
GRADO DI DANNO	BENI IMMOBILI	ATTIVITA'
Lieve	Danni estetici o funzionali	Attività socio-economiche non interrotte
Medio	Danni funzionali più gravi	Interruzione delle attività socio-economiche
Alto	Danni strutturali lievi e rilevanti, fino al completo collasso	Distruzione attività socio-economiche

## ANALISI MULTIRISCHIO

### RISCHIO SISMICO TORRE: Scenari

**METODOLOGIA IPOTIZZATA** prevede:

- Individuazione possibili **Scenari di danno**, rispetto il raggiungimento dei vari **Stati Limite**, in tre gradi di danno attraverso la **suddivisione dell'area sottesa della curva PAM**, quindi:



GRADO DI DANNO	STATI LIMITE	BENI IMMOBILI	ATTIVITA'
Lieve	SLID - SLO	No danni strutturali	Attività socio-economiche non interrotte
Medio	SLO-SLD-SLV	Danni non strutturali o strutturali lievi	Interruzione delle attività socio-economiche
Alto	SLV-SLC	Danni strutturali gravi che portano al collasso o alla possibile perdita di vite umane	Distruzione attività socio-economiche

## ANALISI MULTIRISCHIO

### “MATRICE MULTIRISCHIO”: Confronto valori

- La Torre Normanna subisce relativamente gli effetti del rischio Frana, quindi il Rischio Sismico per quanto non elevato risulta dominante.

GRADO DEL DANNO		RISCHIO FRANA (L)		
		Lieve (Low)	Medio (Medium)	Alto (High)
RISCHIO SISMICO (E)	Lieve (Low)	EI-LI	EI-Lm	EI-Lh
	Medio (Medium)	Em-LI	Em-Lm	Em-Lh
	Alto (High)	Eh-LI	Eh-Lm	Eh-Lh

#### DIVERSI SCENARI:

1. **EI-LI**: entrambi i Rischi causano livello di danno basso, per il quale non si prevedono quadri di danneggiamento strutturale rilevanti ed interruzioni di fruizione dell'attività;
2. **Em-LI**: il rischio sismico risulta dominante su quello da frana, con danni non strutturali o strutturali lievi e l'interruzione della fruizione;
3. **Eh-LI**: il rischio sismico risulta dominante su quello da frana, con danni strutturali rilevanti che potrebbero portare al crollo e interruzione immediata della fruizione;
4. **EI-Lm**: Rischio medio da frana predominante sul Rischio sismico basso, i danni sono solo non strutturali o funzionali per cui si ha solo perdita di fruibilità;
5. **Em-Lm**: La combinazione di entrambi i Rischi, sismico e da frana, ad un livello medio porta alla non fruizione della Torre e alla presenza di danni strutturali lievi e non strutturali;
6. **Eh-Lm**: il Rischio sismico alto combinato con un rischio frana medio causa la non fruizione della Torre e la presenza di danni strutturali rilevanti fino al possibile collasso parziale o totale della struttura;
7. **EI-Lh**: il Rischio da frana alto predominante sul Rischio sismico basso, per cui i danni riscontrabili sono strutturali lievi e portano alla non fruibilità della Torre;
8. **Em-Lh**: Rischio da frana alto e Rischio sismico medio, i danni riscontrabili sono strutturali rilevanti e portano alla non fruibilità della Torre;
9. **Eh-Lh**: Entrambi i Rischi alti, i danni riscontrabili sono strutturali rilevanti fino al possibile collasso parziale o totale della struttura e portano alla non fruibilità della Torre.



**GRAZIE PER  
L'ATTENZIONE**