

Giornata di studi  
*Pericolosità di base, microzonazione sismica  
e risposta sismica locale*

Università di Brescia  
Brescia, 14 settembre 2022

# **Applicazione dei risultati della MS nella valutazione del rischio sismico di area vasta e nella pianificazione del sistema di emergenza**

Giuseppe Naso  
Dipartimento della Protezione Civile  
*giuseppe.naso@protezionecivile.it*

***Area vasta = Ambito Territoriale Ottimale (Contesto Territoriale)  
(sensu Codice di Protezione Civile - Decreto Legislativo n.1 del 2 gennaio 2018)***

**Analizzare la capacità di fronteggiare l'emergenza del Sistema di  
Emergenza del Contesto Territoriale  
e assicurare il soccorso**



Verificare l'esistenza e la consistenza delle:

- ❖ **componenti strutturali / fisiche**
  - Edifici strategici
  - Aree di emergenza
  - Infrastrutture di connessione e accessibilità
  
- ❖ **componenti non strutturali**
  - Modello organizzativo
  - Componenti funzionali e procedurali

# Le fasi della valutazione di operatività del Contesto Territoriale

FASE 1	FASE 2	FASE 3	FASE 4	FASE 5
Il portafoglio degli oggetti del sistema di emergenza del CT (Esposizione)	Pericolosità per il sistema (forzanti sismica, idro e vulcanica)	Percorsi ottimali del sistema di emergenza (con forzanti sismica, idro e vulcanica)	Valutazione probabilistica dell'operatività del sistema di emergenza	Programmazione interventi con analisi benefici/costi

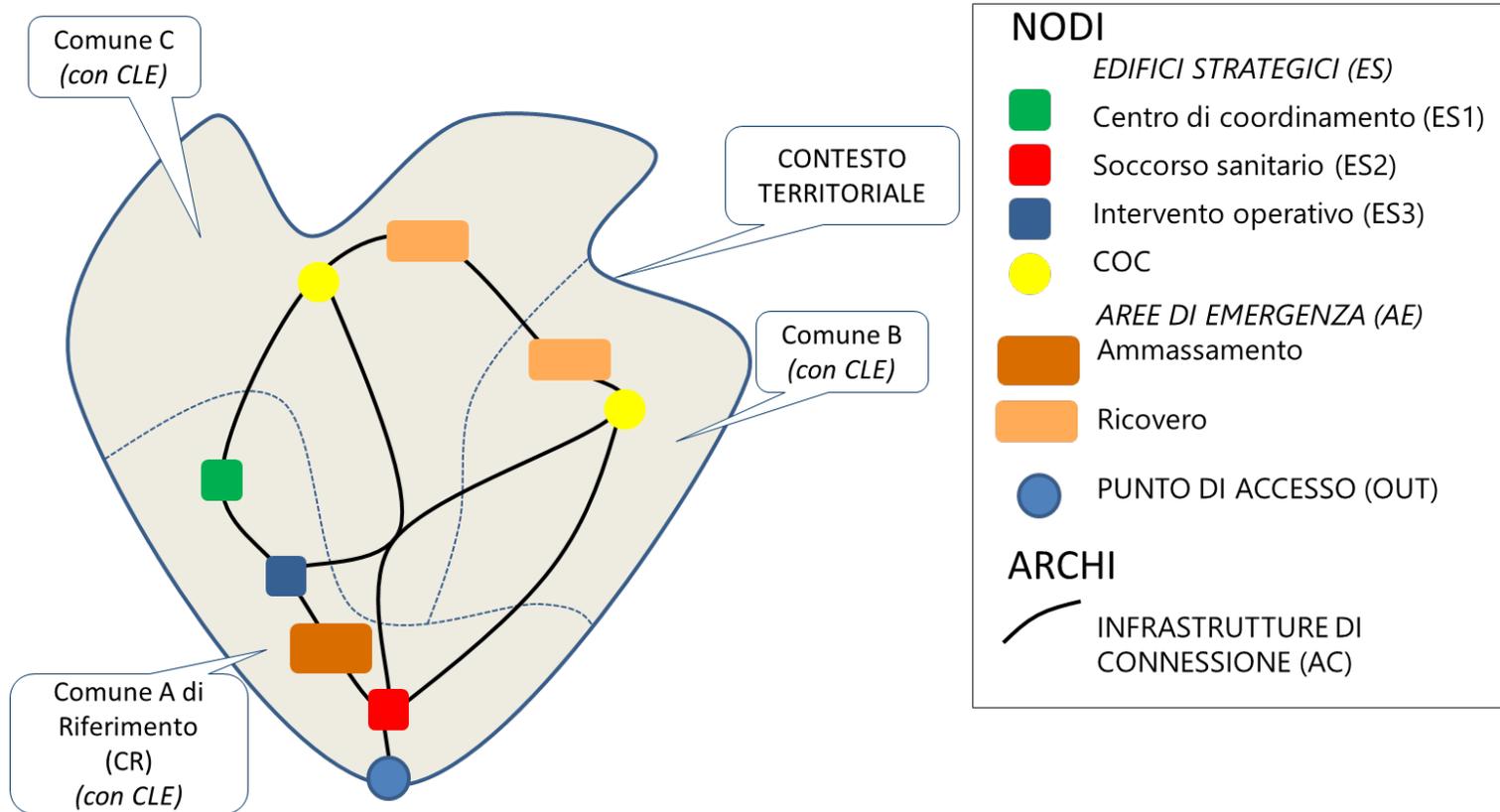
<http://governancerischio.protezionecivile.gov.it/web/guest/rischio-sismico/progetti-generalis>

*La presentazione riguarderà solo la valutazione della **forzante sismica** (non si tratteranno altre forzanti quali quella idro o vulcanica)*



# 1. Esposizione

## CONTESTO TERRITORIALE (ambito ottimale nel Codice di PC)



### LEGENDA PERCORSO:

#### 1. Esposizione

2. Pericolosità

3. Vulnerabilità

4. Operatività strutturale

5. Analisi benefici/costi miglioramento

Il modello di calcolo è un **sistema a rete (grafo)** costituito da:

- nodi (**edifici strategici, aree di emergenza, punti di accesso**)
- archi (**connessioni: percorsi che collegano i nodi del sistema**)

**-Edifici strategici:** danno strutturale

**-Aree, punti di accesso e connessioni:** interferenze dovute a frane, liquefazione, crolli di edifici residenziali interferenti

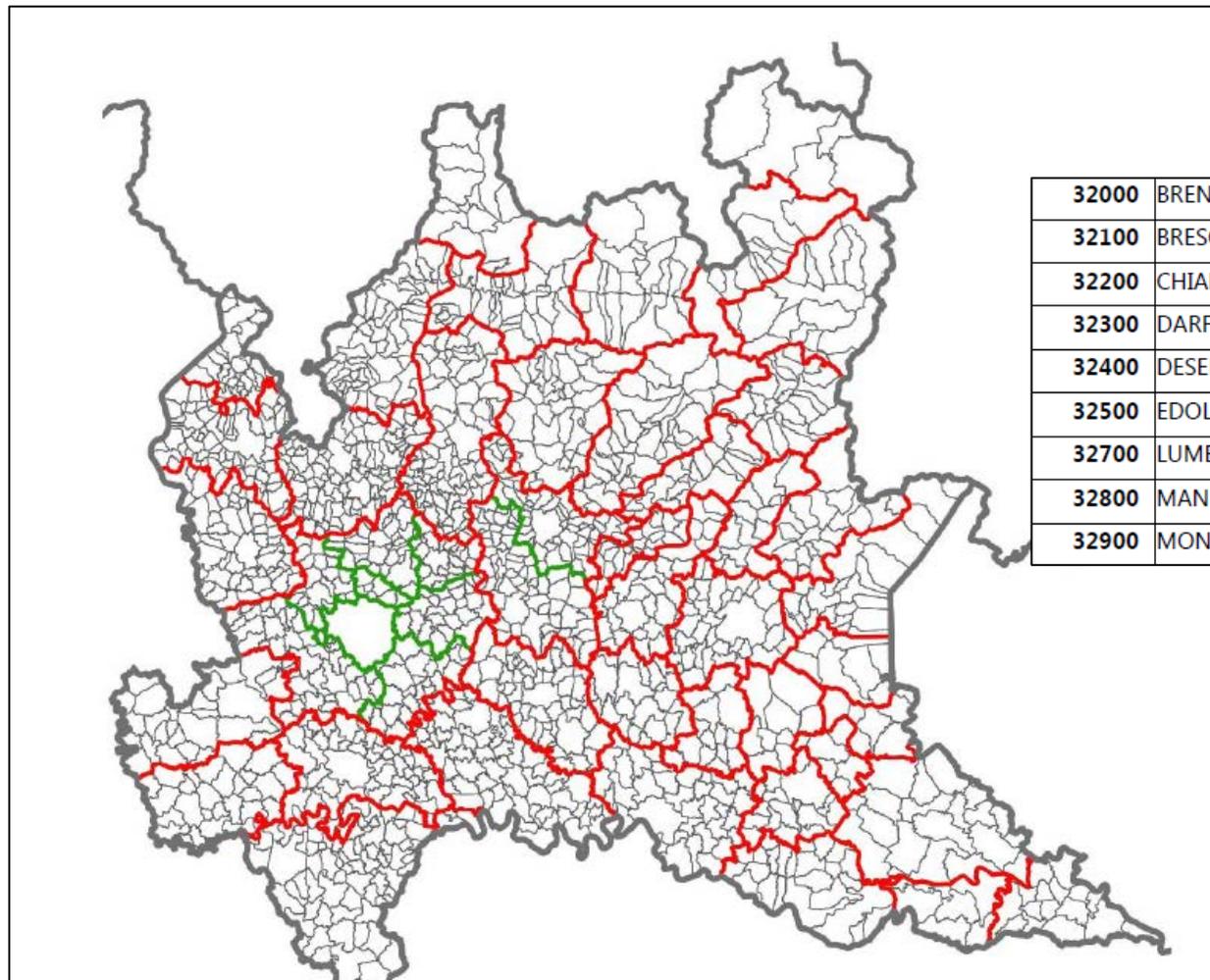
Sistema a rete per la gestione dell'emergenza

da: Mori F., Gena A., Mendicelli A., Naso G., Spina D. (2020). Seismic emergency system evaluation: The role of seismic hazard and local effects. *Engineering Geology*

# 1. Esposizione

Ipotesi di Contesi Territoriali per la Regione Lombardia costruiti secondo le linee guida del DPC.

*N.B. Non sono stati ancora discussi con la Regione Lombardia che potrà in assoluta autonomia valutare eventuali variazioni*

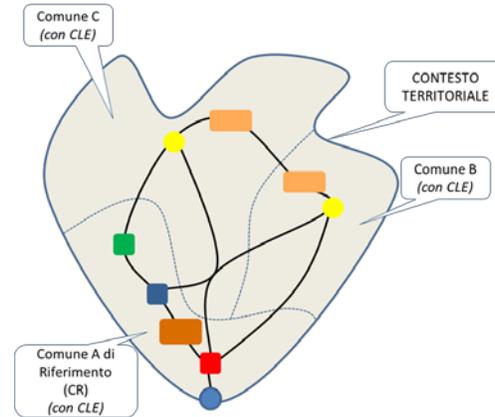


Ipotesi di CT per la Provincia di Brescia

32000	BRENO	Capoluogo SLL + Sede COM	42.532	431,69	21
32100	BRESCIA	Capoluogo SLL + Sede COM	458.933	537,82	37
32200	CHIARI	Capoluogo SLL	197.935	442,22	27
32300	DARFO BOARIO TERME	Capoluogo SLL + Sede COM	83.088	331,03	25
32400	DESENZANO DEL GARDA	Capoluogo SLL + Sede COM	89.164	274,05	8
32500	EDOLO	Capoluogo SLL + Sede COM	23.598	752,27	16
32700	LUMEZZANE	Capoluogo SLL	76.745	312,31	14
32800	MANERBIO	Capoluogo SLL + Sede COM	72.089	283,27	14
32900	MONTICHIARI	Capoluogo SLL + Sede COM	84.961	327,03	9

# 1. Esposizione

**Percorsi (connessioni) ottimali in termini di pericolosità**



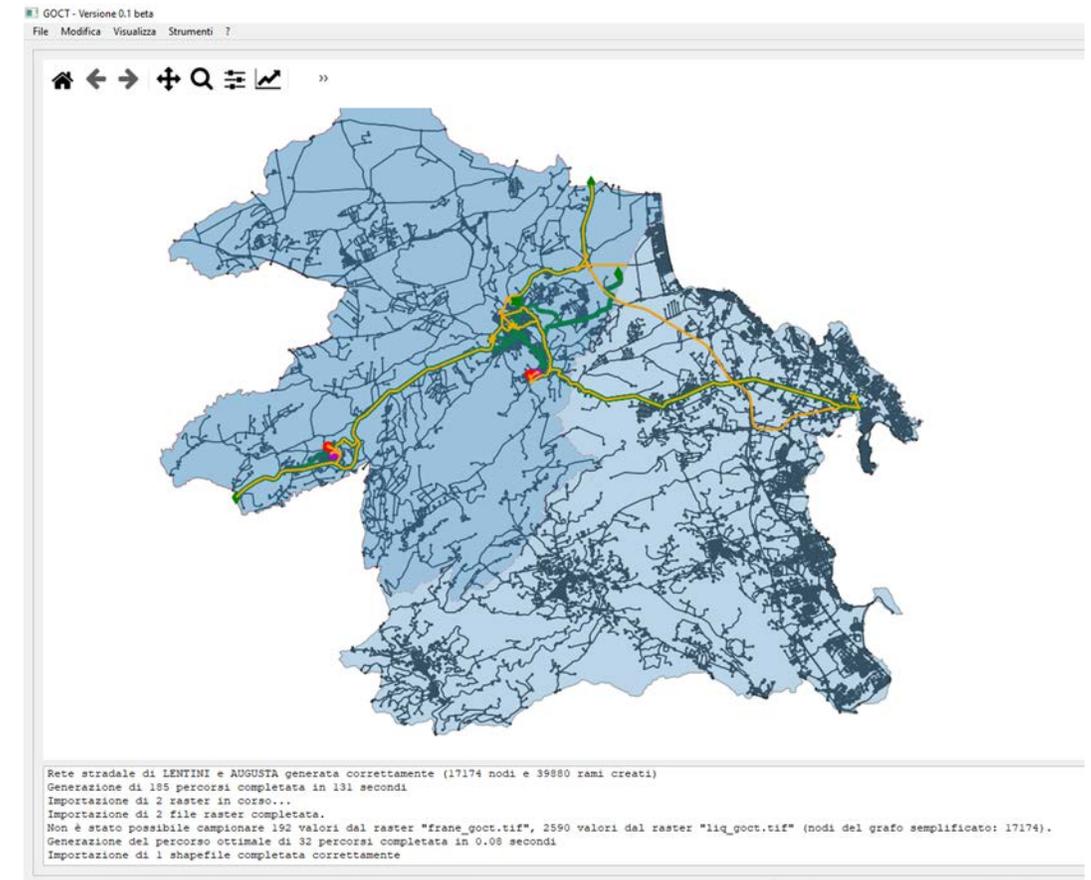
## LEGENDA PERCORSO:

1. Esposizione
2. Pericolosità
3. Vulnerabilità
4. Operatività strutturale
5. Analisi benefici/costi miglioramento

## Tool softGOCT

Un algoritmo **sperimentale** (tool *softGOCT*, messo a punto nell'ambito del progetto PON) è in grado di trovare i **percorsi ottimali** con un certo grado di **ridondanza** tra i nodi del sistema ed effettuare una selezione di percorsi in termini di **multi-hazard** (sismica, idro e vulcanica).

**Non c'è ancora nessuna analisi di rischio.**



# 1. Esposizione

## LEGENDA PERCORSO:

1. Esposizione

2. Pericolosità

3. Vulnerabilità

4. Operatività strutturale

5. Analisi benefici/costi miglioramento

## *Percorsi ottimali in termini di pericolosità*

I percorsi ottimali possono essere calcolati assumendo criteri differenti di «dialogo» con i grafi delle CLE comunali:

**Calcolo con priorità assoluta CLE**



Il tool calcola i percorsi cercando dove possibile di utilizzare i soli rami della CLE

**Calcolo con priorità parziale CLE**



Il tool calcola i percorsi prediligendo quelli con il massimo numero di rami appartenenti alla CLE

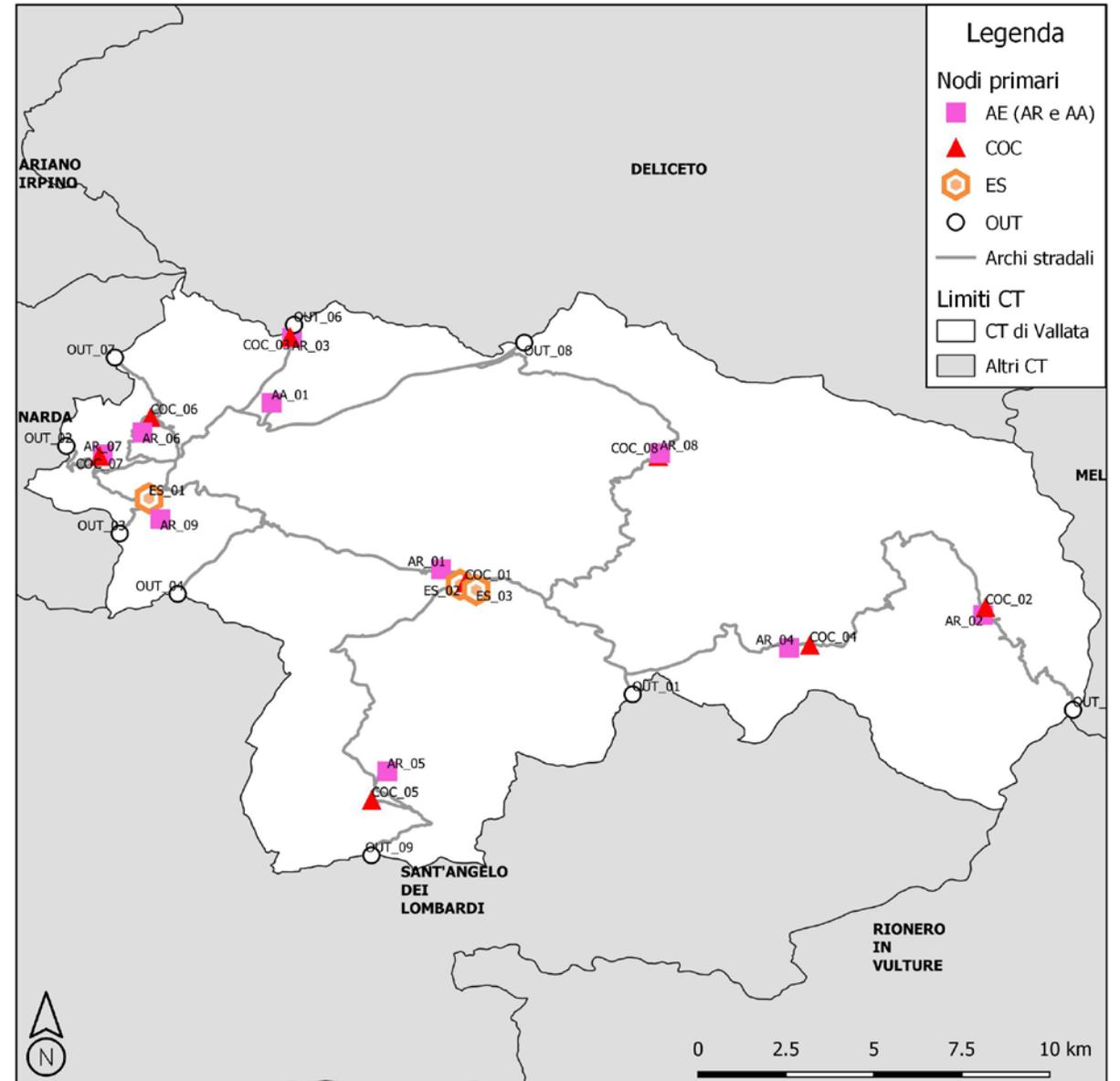
**Calcolo con priorità nulla CLE**



Il tool calcola i percorsi in maniera indipendente dai rami appartenenti alla CLE

# 1. Esposizione

*Percorsi ottimali in termini di pericolosità per un Contesto appenninico*



## 2. Pericolosità sismica

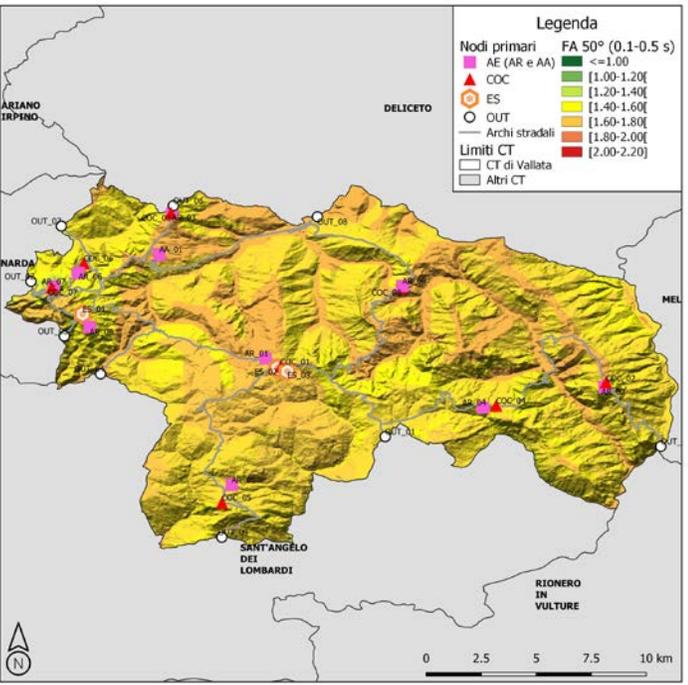
- **Pericolosità di base specifica** per sistemi a rete con scenari stocastici spazialmente correlati (software «*Openquake*», <https://www.globalquakemodel.org/openquake>)
- **Scuotimento in superficie agli oggetti del sistema** utilizzando i fattori di amplificazione calcolati negli studi di microzonazione sismica di livello 2/3 e metodi semplificati
- **Effetti cosismici** (frane, liquefazione) con modelli utilizzati dall'USGS:
  - I. Modello di Nowicki et al. (2018) per le frane
  - II. Modello Zhu et al. (2017) per la liquefazione

### LEGENDA PERCORSO:

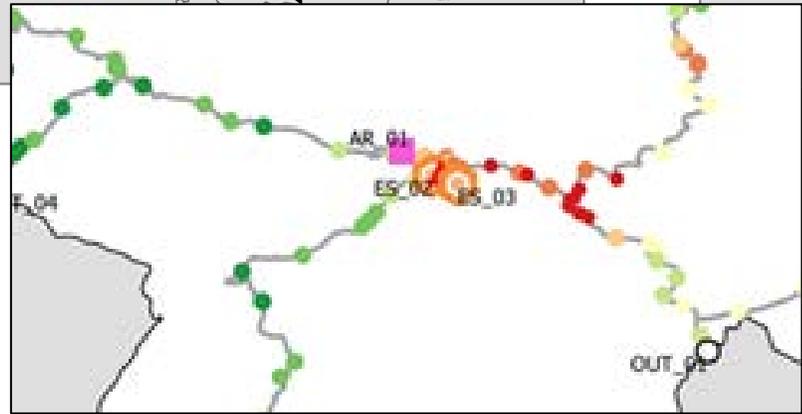
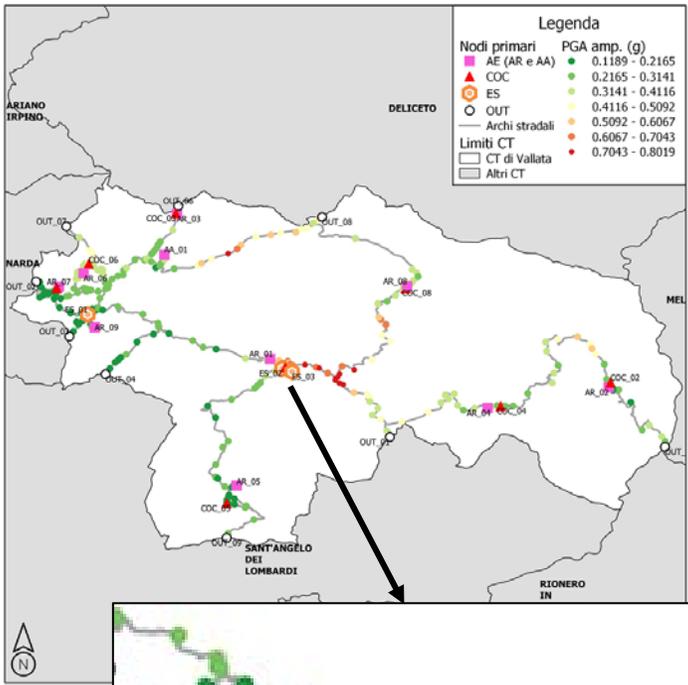
1. Esposizione
- 2. Pericolosità**
3. Vulnerabilità
4. Valutazione dell'operatività strutturale
5. Analisi benefici/costi miglioramento

# 2. Pericolosità sismica

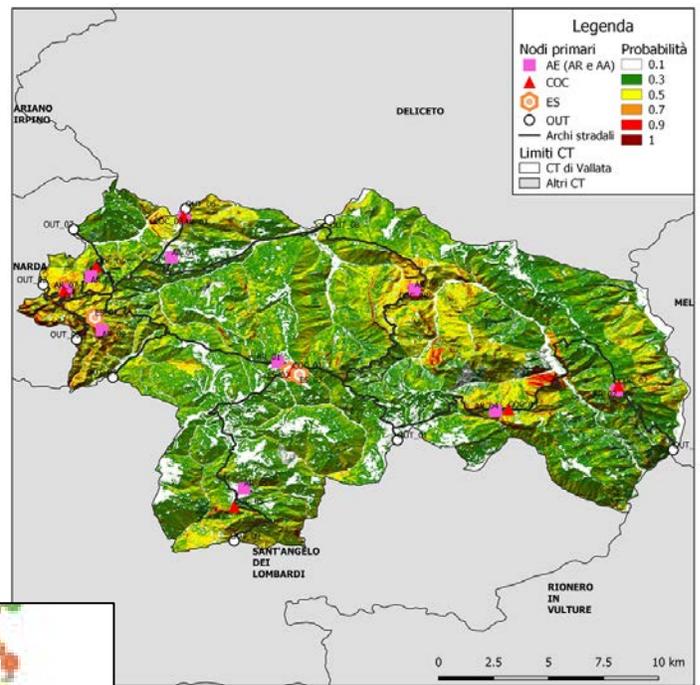
FA da MS nei centri urbani e da metodi semplificati lungo le connessioni lungo le connessioni



Scuotimento in superficie (PGA) del sistema di emergenza



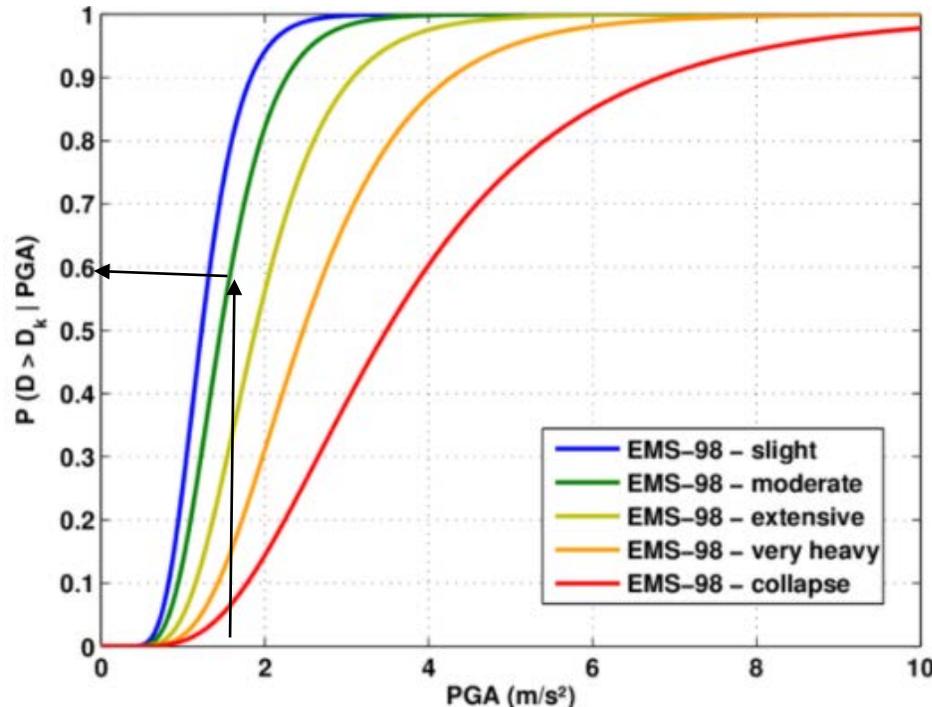
Probabilità da frana (calcolata con PGV da studi di MS)



### 3. Vulnerabilità

#### LEGENDA PERCORSO:

- 1. Esposizione
- 2. Pericolosità
- 3. Vulnerabilità**
- 4. Valutazione dell'operatività strutturale
- 5. Analisi benefici/costi miglioramento



*Esempio di curva di fragilità (gradi di danno scala EMS98)*

Per gli edifici, la curva di fragilità permette di calcolare la **probabilità di superare un certo grado di danno D** (in ordinata) in funzione della misura di **Intensità di Misura IM** (in ascissa).

La misura di probabilità varia tra 0 e 1.

Per gli **edifici residenziali** utilizziamo come IM la **PGA**

Per gli **edifici strategici** utilizziamo **ASI** nell'intervallo di vibrazione 0,1-0,5s / 0,4-0,8s / 0,7-1,1s

## 3. Vulnerabilità

### LEGENDA PERCORSO:

1. Esposizione

2. Pericolosità

**3. Vulnerabilità**

4. Valutazione dell'operatività strutturale

5. Analisi benefici/costi miglioramento

Nell'ambito del progetto sono stati sviluppati modelli (curve di fragilità) semplificati e avanzati:

- **Modelli avanzati per gli Edifici strategici fondamentali:** probabilità di superamento dell'operatività strutturale con curve di fragilità ricavate da misure ambientali e modello matematico SMAV (Spina et al., 2019 - Spina et al., 2021)
- **Modelli semplificati per gli Edifici residenziali:** probabilità di crollo con curve di fragilità ricavate con approccio tecnico normativo (Sismabonus in Anelli et al., 2021)

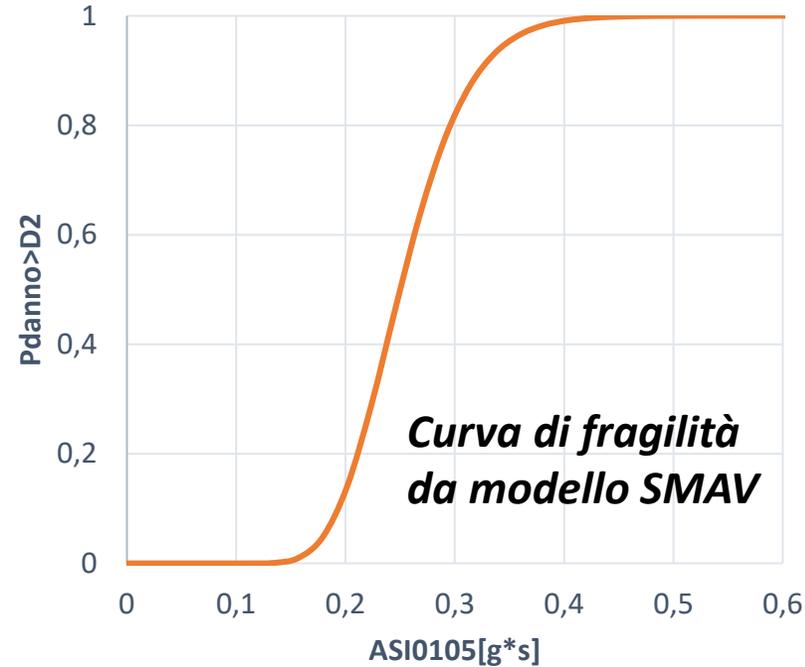
### 3. Vulnerabilità

**LEGENDA PERCORSO:**

- 1. Esposizione
- 2. Pericolosità
- 3. Vulnerabilità**
- 4. Operatività strutturale
- 5. Analisi benefici/costi miglioramento

### Misure di vibrazione, modello SMAV e curva di fragilità da modello SMAV

Applicazione su ES1: Municipio



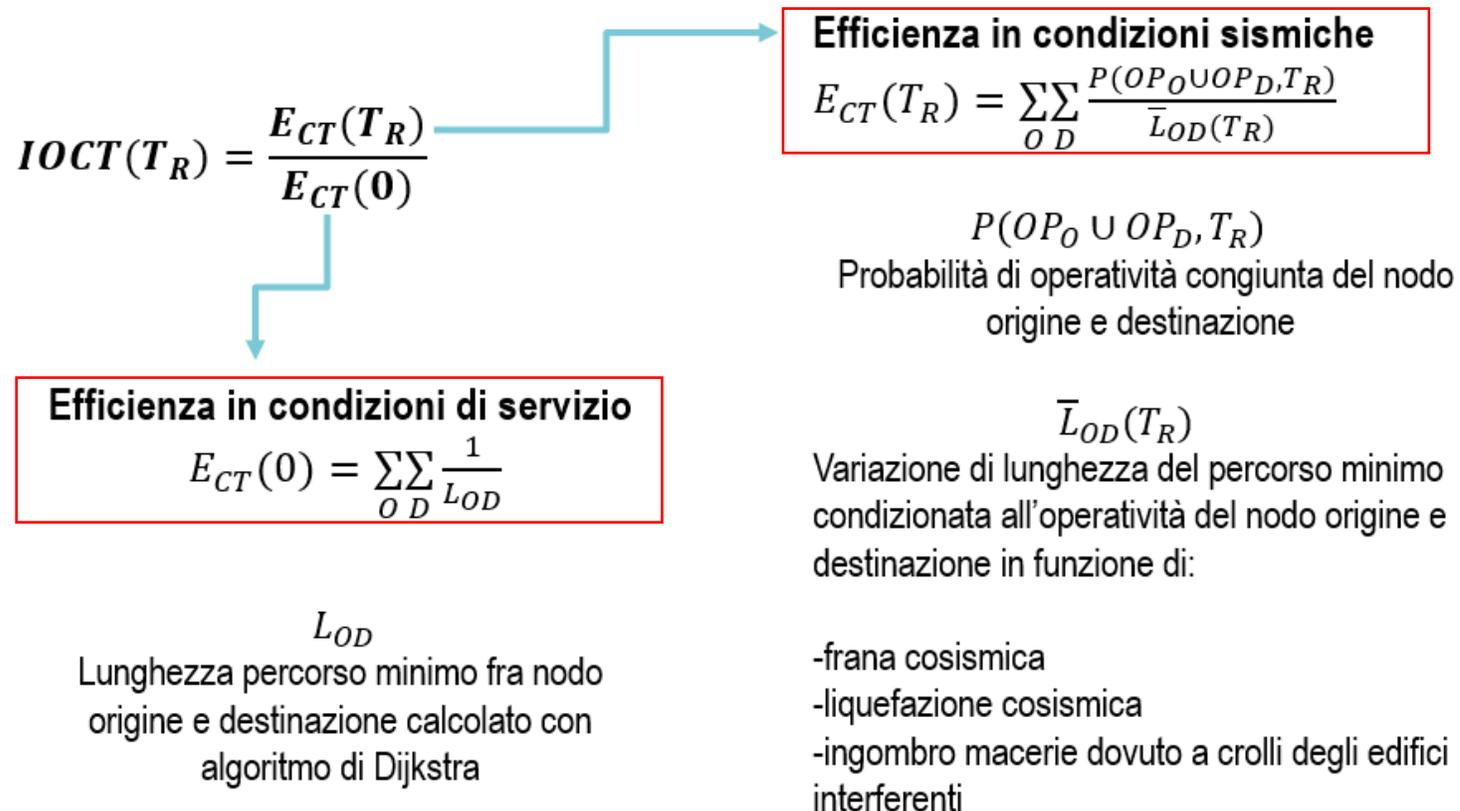
Probabilità di eccedere il danno associato alla perdita dell'operatività strutturale

## 4. Valutazione dell'operatività strutturale

### LEGENDA PERCORSO:

1. Esposizione
2. Pericolosità
3. Vulnerabilità
- 4. Valutazione dell'operatività strutturale**
5. Analisi benefici/costi miglioramento

L'Indice di Operatività del Contesto Territoriale (IOCT) viene calcolato per **100** e **475** anni di periodo di ritorno con una procedura di tipo probabilistico confrontando l'efficienza in condizioni sismiche con l'efficienza in condizioni di servizio



## 4. Valutazione dell'operatività strutturale

### LEGENDA PERCORSO:

1. Esposizione
2. Pericolosità
3. Vulnerabilità
- 4. Valutazione dell'operatività strutturale**
5. Analisi benefici/costi miglioramento

### I modelli utilizzati per la valutazione dell'operatività

Operatività <u>connessioni/aree</u> per Frana sismoindotta	Operatività <u>connessioni/aree</u> per Liquefazione	Operatività <u>Edifici ES</u>	Operatività <u>Edifici COC</u>	Operatività <u>connessioni/aree</u> per crollo edifici interferenti
<p>Scuotimento da MS</p> <p>Modello logistico</p> <p><i>Nowicki et al., 2018</i></p>	<p>Scuotimento da MS</p> <p>Modello logistico</p> <p><i>Zhu et al., 2017</i></p>	<p>Scuotimento da MS</p> <p>Curve di fragilità ricavate da misure vibrazione e modello SMAV</p> <p><i>Spina et al., 2019-2021</i></p>	<p>Scuotimento da MS</p> <p>Curve di fragilità ricavate da misure vibrazione e modello SMAV</p> <p><i>Mori et al., 2019 dove non eseguite misure</i></p>	<p>Scuotimento da MS</p> <p>Curve di fragilità di letteratura</p> <p><i>Anelli et al., 2021</i></p>

## 4. Valutazione dell'operatività strutturale

### LEGENDA PERCORSO:

1. Esposizione
2. Pericolosità
3. Vulnerabilità
- 4. Valutazione dell'operatività strutturale**
5. Analisi benefici/costi miglioramento

I **risultati** del calcolo sono **indici** e relative **classi** di operatività:

- per le singole componenti (Edifici strategici fondamentali, Aree di ricovero e ammassamento, Edifici COC, Connessioni) **indici** calcolati in termini di 50° percentile di operatività media
- per il Contesto Territoriale:
  - **IOCT** (Indice di Operatività del CT)
  - **COCT** (Classe di operatività del CT)

## 4. Valutazione dell'operatività strutturale

### LEGENDA PERCORSO:

1. Esposizione
2. Pericolosità
3. Vulnerabilità
- 4. Valutazione dell'operatività strutturale**
5. Analisi benefici/costi miglioramento

### Esempio di risultati

### Legenda indici e classi

		INDICE	CLASSE
Componenti del sistema di gestione dell'emergenza	ES fondamentali	0.47	C
	Area di ammassamento	1.00	A
	Edifici COC	0.46	C
	Aree di ricovero	0.71	B
	Connessioni	0.55	C
	Out	1.00	A

CLASSE	INDICE
A	0.8 - 1.0
B	0.6 - 0.8
C	0.4 - 0.6
D	0.2 - 0.4
E	0 - 0.2

*Risultati per le singole componenti*

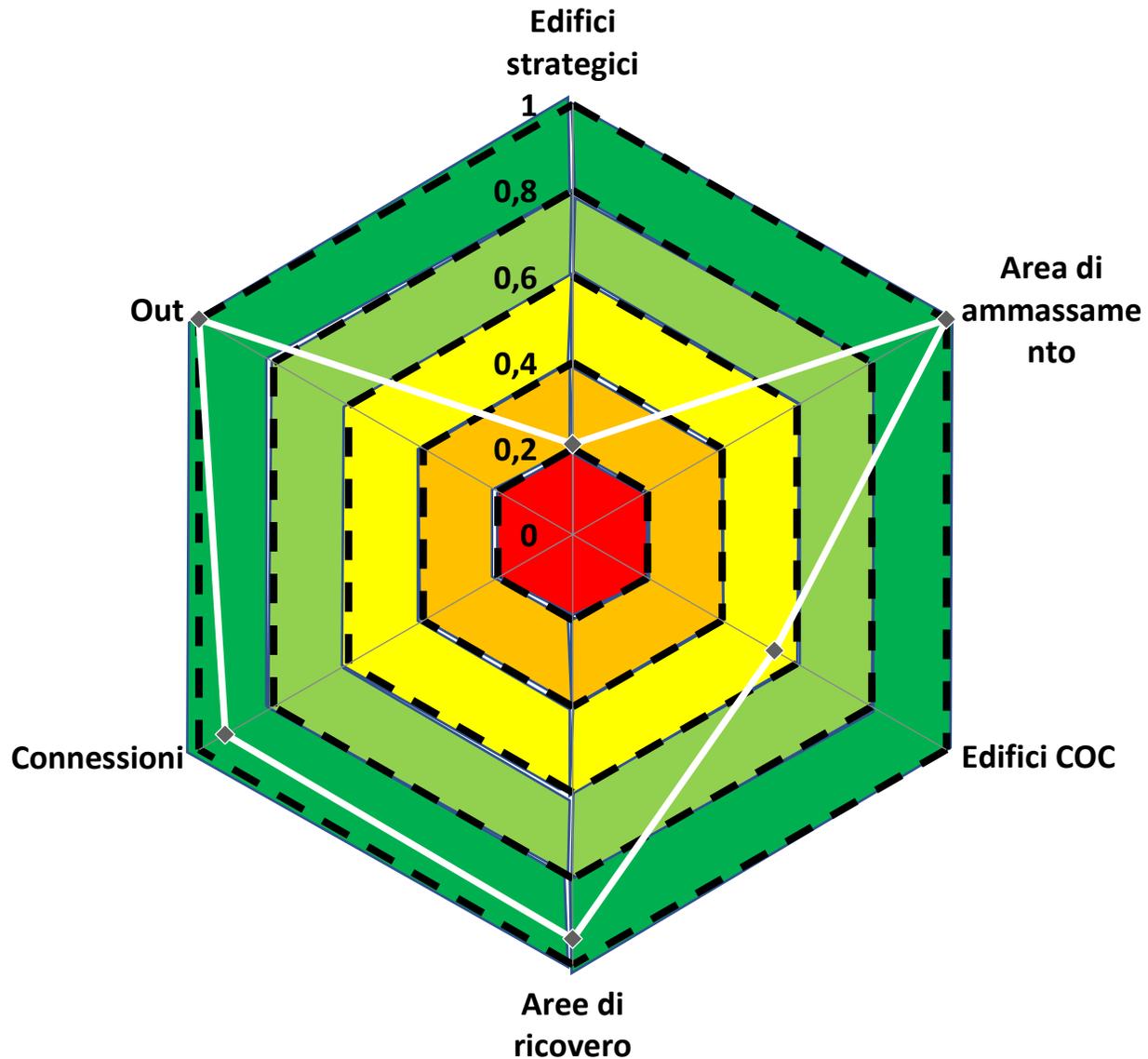
	IOCT	COCT
Contesto Territoriale	0.47	B

COCT	IOCT
A	0.6 - 1.0
B	0.35 - 0.6
C	0.15 - 0.35
D	0.05 - 0.15
E	0 - 0.05

*Risultato globale per il Contesto Territoriale*

Si noti che il passo della classificazione globale di IOCT non è lineare

## 4. Valutazione dell'operatività strutturale



### LEGENDA PERCORSO:

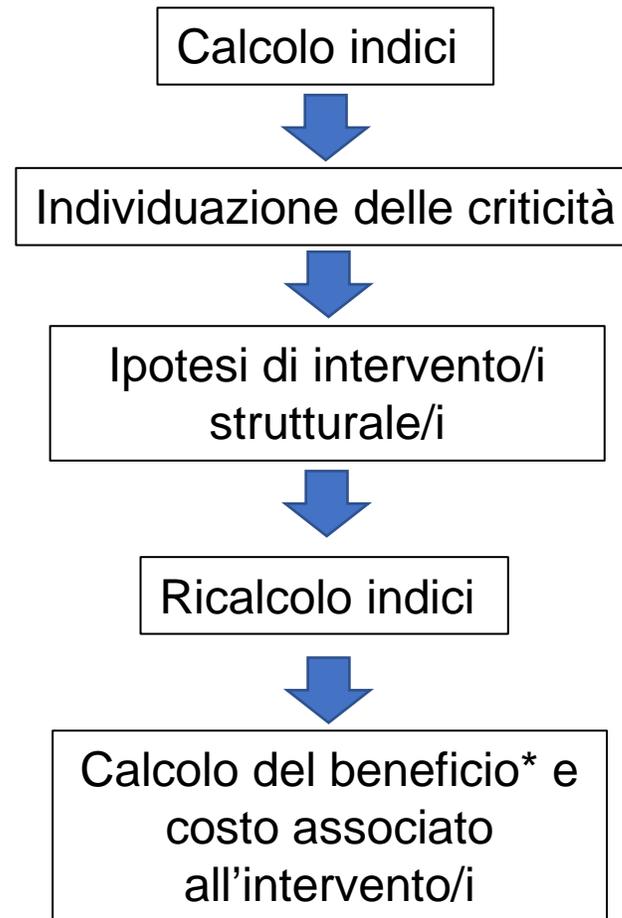
1. Esposizione
2. Pericolosità
3. Vulnerabilità
- 4. Valutazione dell'operatività strutturale**
5. Analisi benefici/costi miglioramento

CLASSE	INDICE
A	0.8 - 1.0
B	0.6 - 0.8
C	0.4 - 0.6
D	0.2 - 0.4
E	0 - 0.2

Una rappresentazione qualitativa dei risultati è questa del radar a esagono, nella quale vengono rappresentati i valori di operatività delle componenti del sistema con la scala cromatica delle classi

## 5. Analisi benefici/costi associati agli interventi (sperimentale)

*Processo utilizzato per determinare gli interventi per il miglioramento strutturale*



### LEGENDA PERCORSO:

1. Esposizione
2. Pericolosità
3. Vulnerabilità
4. Valutazione dell'operatività strutturale
- 5. Analisi benefici/costi miglioramento**

\*Il beneficio è stimato in termini di passaggio di classe di operatività del CT

## 5. Analisi benefici/costi associati agli interventi

### LEGENDA PERCORSO:

1. Esposizione
2. Pericolosità
3. Vulnerabilità
4. Valutazione dell'operatività strutturale
5. **Analisi benefici/costi miglioramento**

## I modelli utilizzati per associare i costi legati al miglioramento

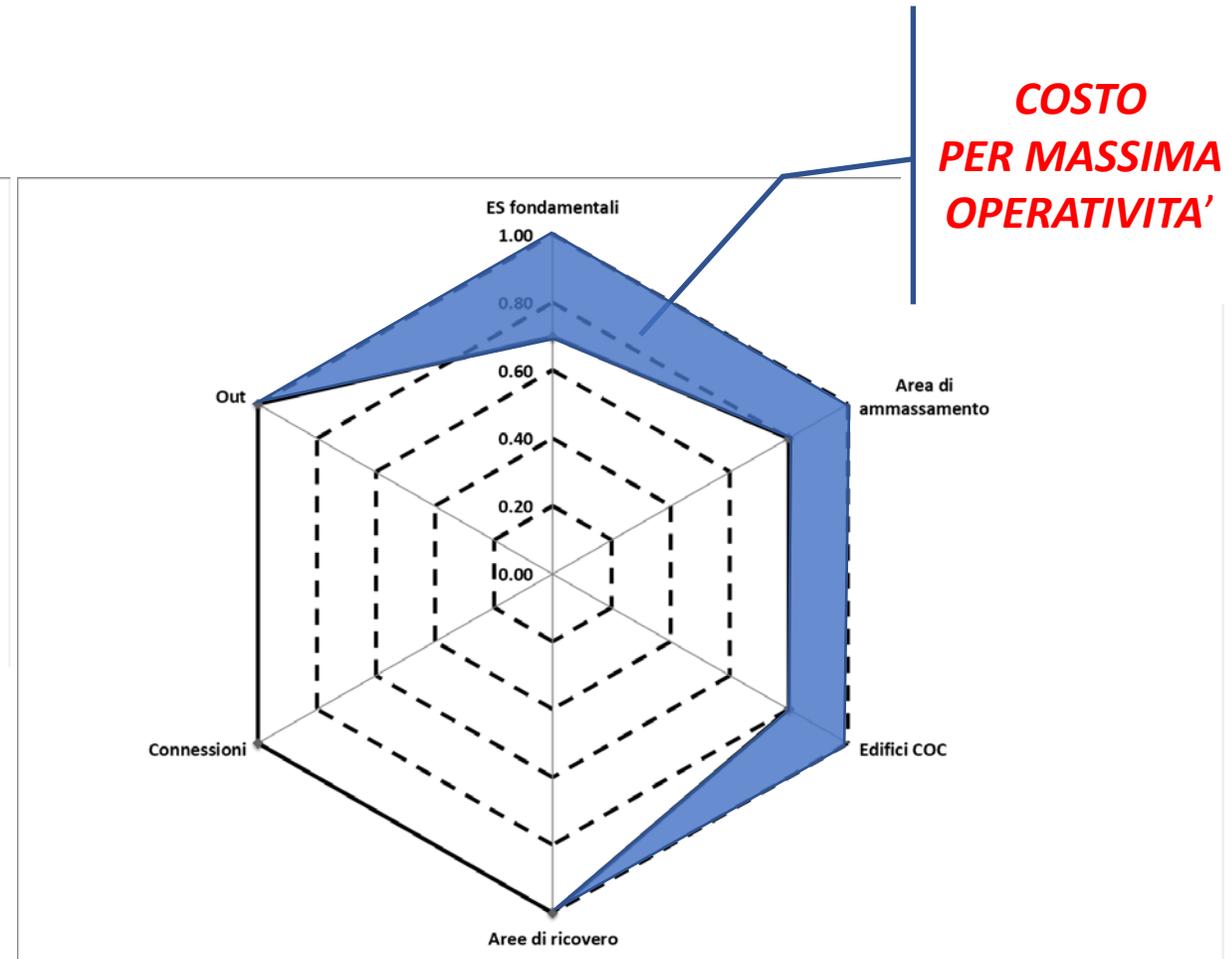
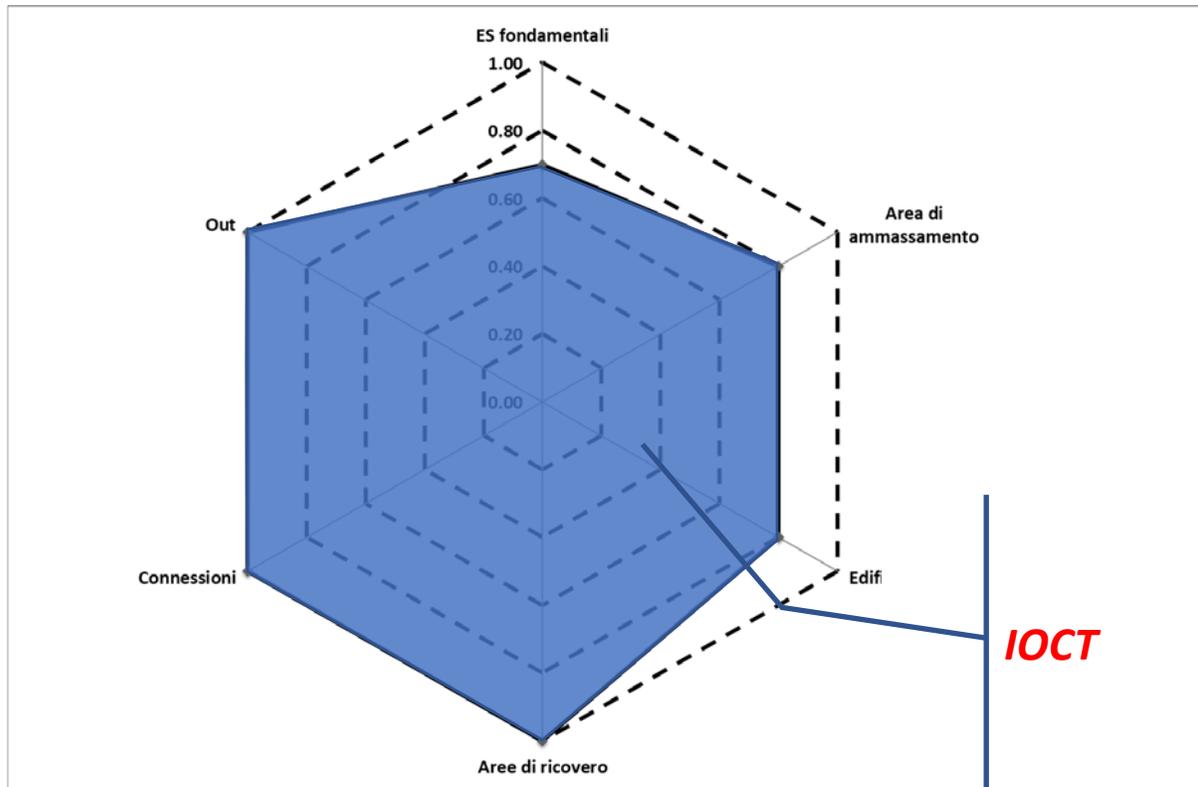
<u>Operatività connessioni/aree per Frana</u>	<u>Operatività connessioni/aree per Liquefazione</u>	<u>Operatività Edifici ES</u>	<u>Operatività Edifici COC</u>	<u>Operatività connessioni/aree per crollo edifici interferenti</u>
Prezzari ANAS	Progetto Liquefact	Caterino et al., 2018 (per c.a.)  Stime parametriche Reluis (per muratura)	Caterino et al., 2018 (per c.a.)  Stime parametriche Reluis (per muratura)	Curve di letteratura Anelli et al., 2021

## 5. Analisi benefici/costi associati agli interventi

La rappresentazione a radar aiuta a visualizzare anche il significato del costo per raggiungere la massima operatività strutturale

### LEGENDA PERCORSO:

1. Esposizione
2. Pericolosità
3. Vulnerabilità
4. Valutazione dell'operatività strutturale
5. **Analisi benefici/costi miglioramento**



## 5. Analisi benefici/costi associati agli interventi

### LEGENDA PERCORSO:

1. Esposizione
2. Pericolosità
3. Vulnerabilità
4. Valutazione dell'operatività strutturale
- 5. Analisi benefici/costi miglioramento**

Anche i costi sono classificati secondo una scala non lineare

### ***CLASSI DI COSTO***



## 5. Analisi benefici/costi associati agli interventi

### LEGENDA PERCORSO:

1. Esposizione

2. Pericolosità

3. Vulnerabilità

4. Operatività strutturale

**5. Analisi benefici/costi miglioramento**



Ipotesi di intervento	<u>Beneficio in termini di passaggio di classe globale COCT</u>	Beneficio in termini di passaggio di classe singola componente	<b>Classe di costo associata</b>
Hp1 (solo ES)	NO	SI (C→B)	
Hp2 (solo COC)	NO	SI (C→B)	
Hp3 (Hp1+Hp2)	SI (B→A)	SI (C→B)	

# 5. Analisi benefici/costi associati agli interventi

*Tr=475 anni*

Classe componente

CLASSE	INDICE
A	0.8 - 1.0
B	0.6 - 0.8
C	0.4 - 0.6
D	0.2 - 0.4
E	0 - 0.2

Classe CT

COCT	IOCT
A	0.6 - 1.0
B	0.35 - 0.6
C	0.15 - 0.35
D	0.05 - 0.15
E	0 - 0.05

**ANTE**



**POST (Hp.3)**

		INDICE	CLASSE
Componenti del sistema di gestione dell'emergenza	<i>ES fondamentali</i>	0.49	C
	<i>Area di ammassamento</i>	1.00	A
	<i>Edifici COC</i>	0.54	C
	<i>Aree di ricovero</i>	0.94	A
	<i>Connessioni</i>	0.93	A
	<i>Out</i>	1.00	A

		INDICE	CLASSE
Componenti del sistema di gestione dell'emergenza	<i>ES fondamentali</i>	0.73	B
	<i>Area di ammassamento</i>	1.00	A
	<i>Edifici COC</i>	0.75	B
	<i>Aree di ricovero</i>	0.94	A
	<i>Connessioni</i>	0.93	A
	<i>Out</i>	1.00	A

		IOCT	COCT
Contesto Territoriale		0.47	B

		IOCT	COCT
Contesto Territoriale		0.66	A



PROTEZIONE CIVILE  
Presidenza del Consiglio dei Ministri  
Dipartimento della Protezione Civile

... Ancora un'osservazione: la metodologia è applicabile a qualsiasi sistema a rete: sistema sanitario, sistema scolastico, sistema commerciale,...

# Grazie per l'attenzione

Giuseppe Naso  
Dipartimento della Protezione Civile  
*giuseppe.naso@protezionecivile.it*