

Protezione civile: verso una governance più forte per la riduzione del rischio

Webinar sulla valutazione dell'operatività in emergenza nella Regione Siciliana

30 giugno 2021

Operatività strutturale e non strutturale del Contesto Territoriale
(Lentini e Catania)

Federico Mori – Valentina Tomassoni
CNR – IGAG

Giuseppe Naso
Dipartimento della Protezione Civile



Analisi dell'operatività nel Contesto Territoriale

**Analizzare la capacità del Sistema di Gestione dell'Emergenza del
Contesto Territoriale
di fronteggiare l'emergenza 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 CT

FASE 1	FASE 2	FASE 3	FASE 4	FASE 5
Individuazione Contesti Territoriali (CT)	Analisi Pericolosità	Analisi Piani	Valutazione operatività CT	Programmazione Interventi



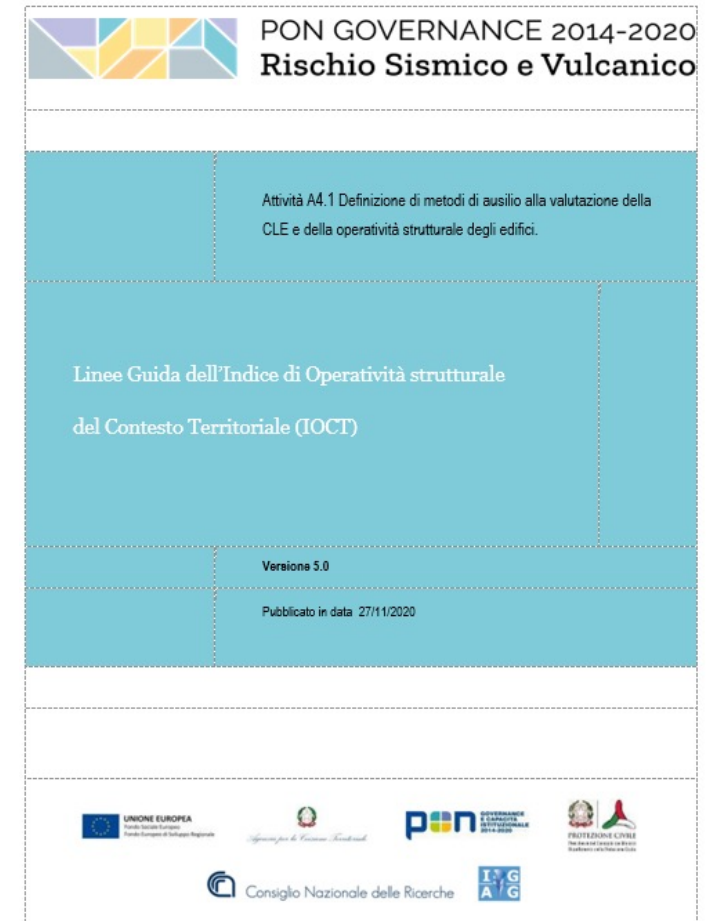
FASE 1	FASE 2	FASE 3	FASE 4	FASE 5
Il portafoglio degli oggetti del sistema di emergenza del CT	Pericolosità specifica per il sistema (forzanti sismica e vulcanica)	Percorsi ottimali del sistema di emergenza (con forzanti sismica e vulcanica)	Valutazione operatività del sistema di emergenza (IOCT)	Programmazione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

Linee Guida Indice di Operatività del Contesto Territoriale (IOCT)

La “valutazione di operatività strutturale” del sistema di gestione dell'emergenza di un Contesto Territoriale si articola attraverso un percorso che comprende:

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

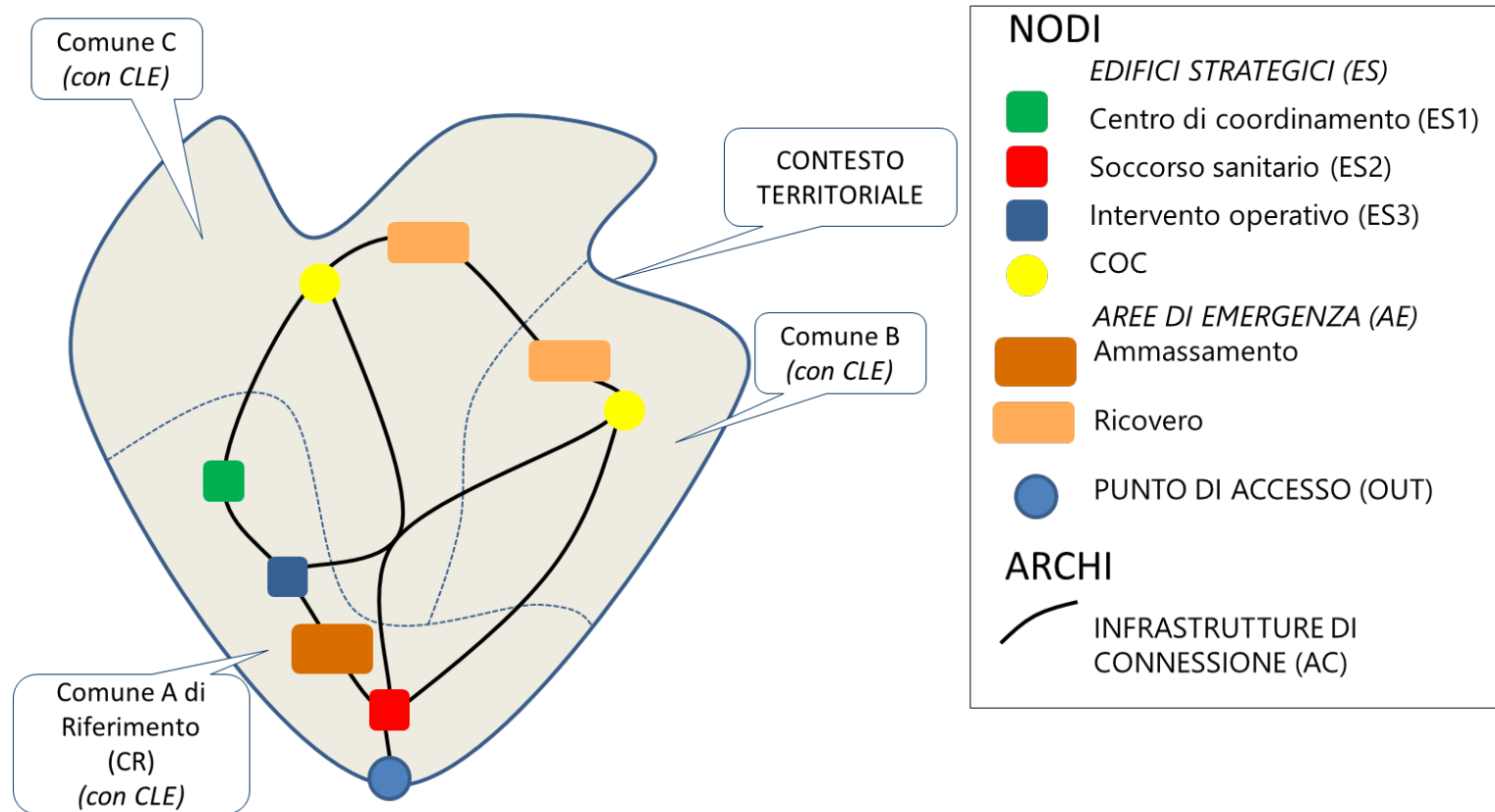
Le valutazioni che seguono riguarderanno la valutazione della forzante sismica



Linea guida per la valutazione dell'operatività strutturale del sistema di gestione dell'emergenza

1. Esposizione

SISTEMA STRUTTURALE A RETE DEL CONTESTO TERRITORIALE



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:

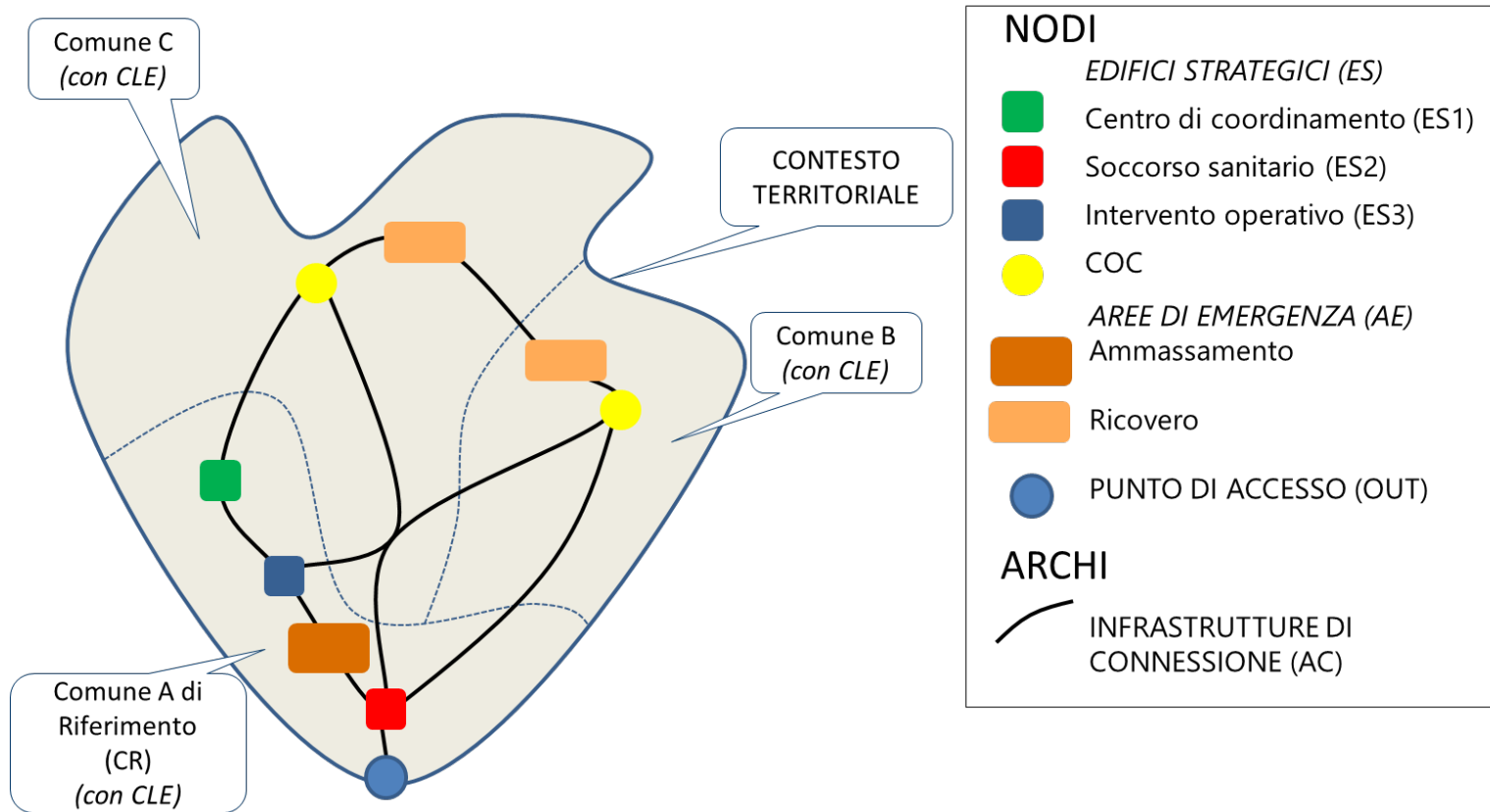
- nodi (edifici strategici, aree di emergenza, punti di accesso)
- archi (infrastrutture di collegamento: percorsi che collegano i nodi del sistema)

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

SISTEMA STRUTTURALE A RETE DEL CONTESTO TERRITORIALE



LEGENDA PERCORSO:

1. Esposizione

2. Pericolosità

3. Vulnerabilità

4. Operatività strutturale

5. Analisi benefici/costi miglioramento

Gli oggetti che costituiscono il portafoglio dell'esposto strutturale sono sensibili alle seguenti problematiche connesse alla forzante sismica:

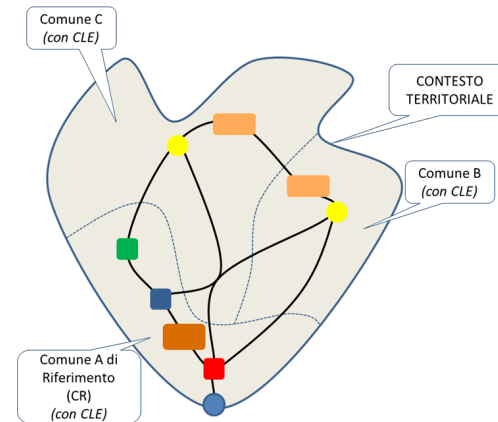
-*Edifici strategici*: danno strutturale

-*Aree 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

Percorsi ottimali



LEGENDA PERCORSO:

1. Esposizione

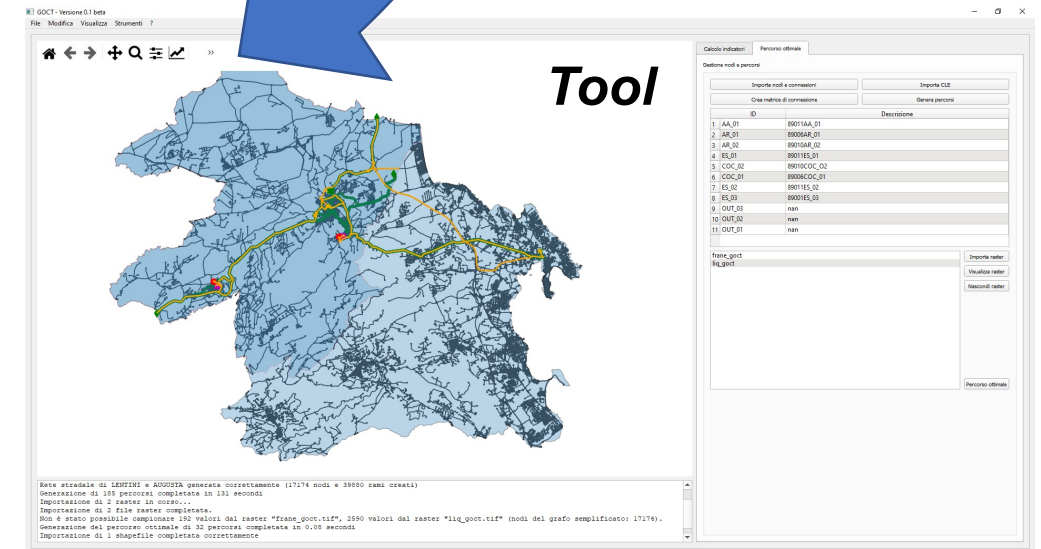
2. Pericolosità

3. Vulnerabilità

4. Operatività strutturale

5. Analisi benefici/costi miglioramento

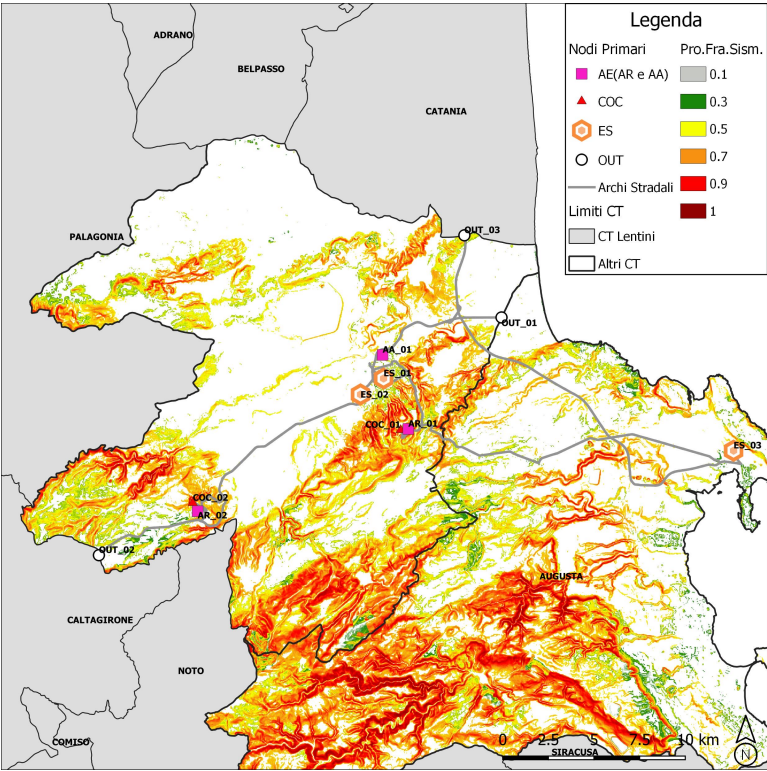
Un algoritmo **sperimentale** ed un tool specifico, **messo a punto nell'ambito del progetto PON**, è in grado di trovare i **percorsi ottimali** con un certo grado di **ridondanza** tra i nodi del sistema per ogni tipo di pericolosità (sismica, idro, vulcanica) ed effettuare successivamente una selezione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



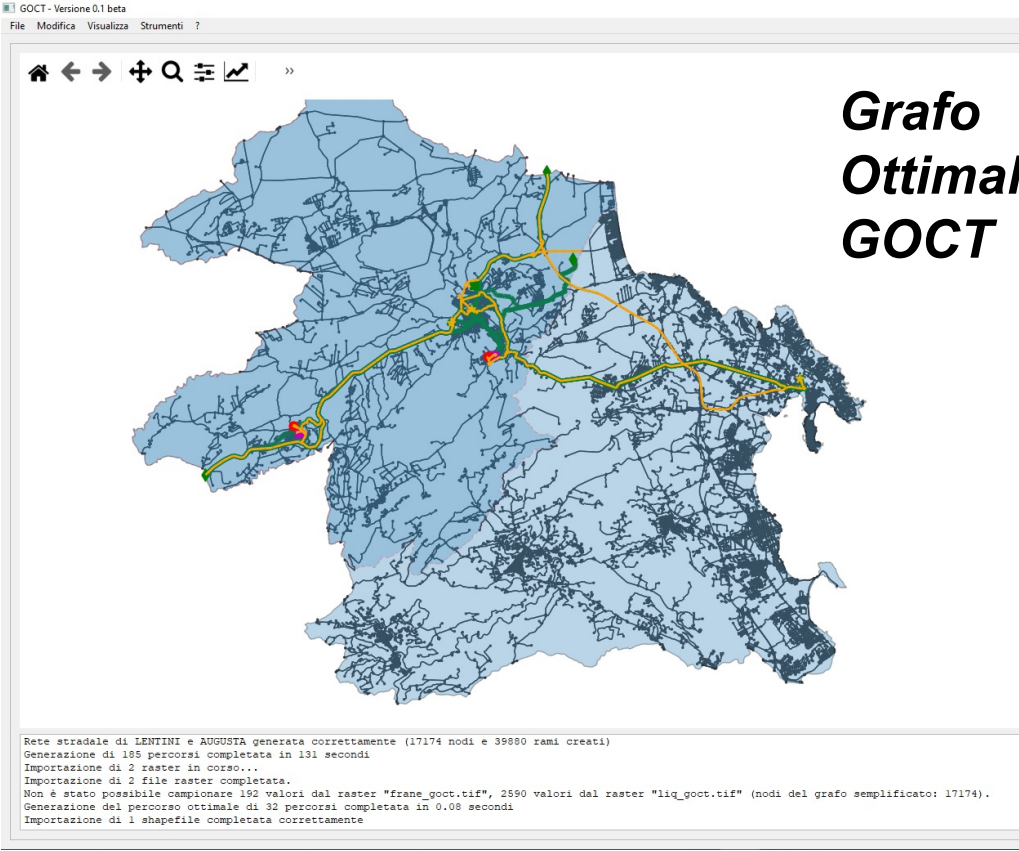
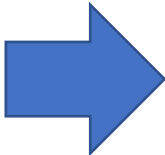
1. Esposizione

Percorsi ottimali con forzanti multi-hazard

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



Raster frane sismoindotte

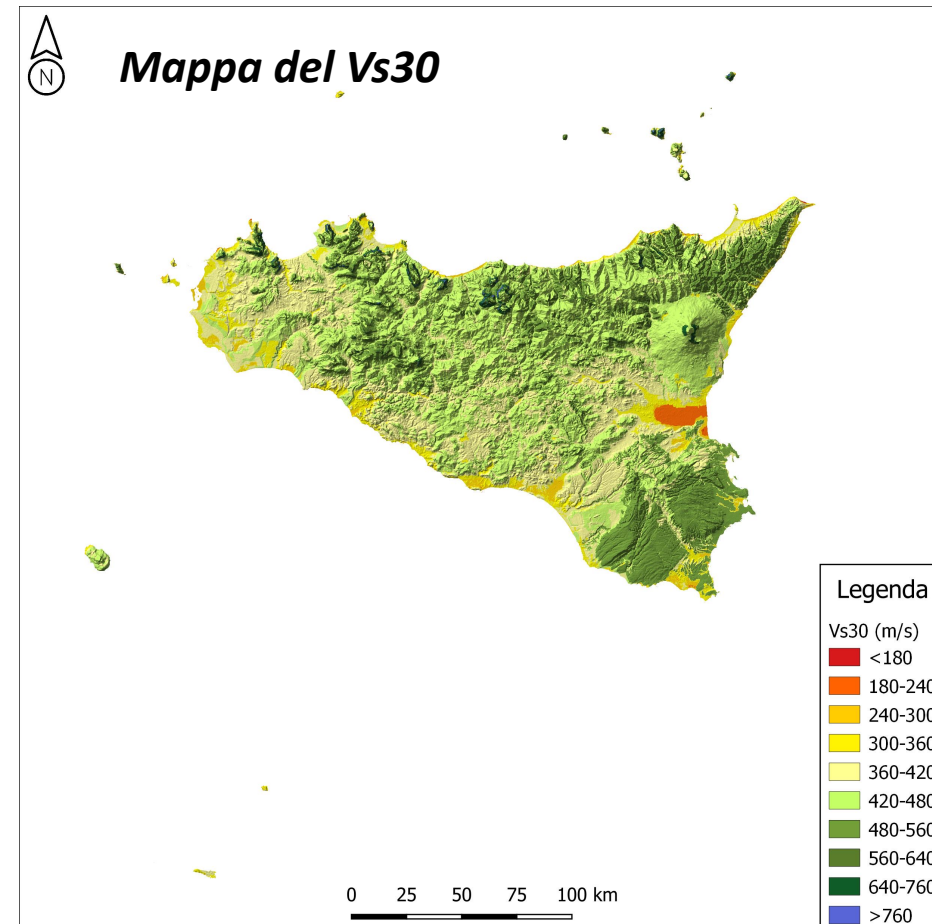


2. Pericolosità sismica

- **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 stratigrafica ricavati con funzionali (Falcone et al., 2021) dipendenti da:
 - I. aree omogenee dal punto vista geologico e geomorfologico
 - II. V_{s30} ricavata dal database della MS (Mori et al., 2020)
 - III. livello energetico dello scuotimento sismico di base
- **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:

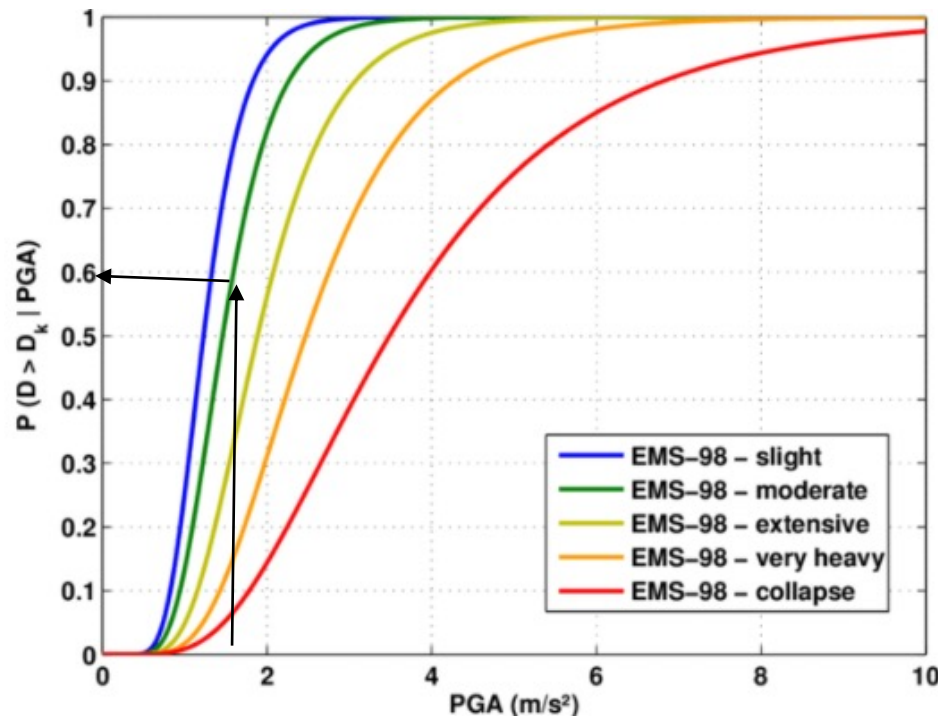
1. Esposizione
- 2. Pericolosità**
3. Vulnerabilità
4. Valutazione dell'operatività strutturale
5. Analisi benefici/costi miglioramento



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 **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)

4. Valutazione dell'operatività strutturale

LEGENDA PERCORSO:

1. Esposizione

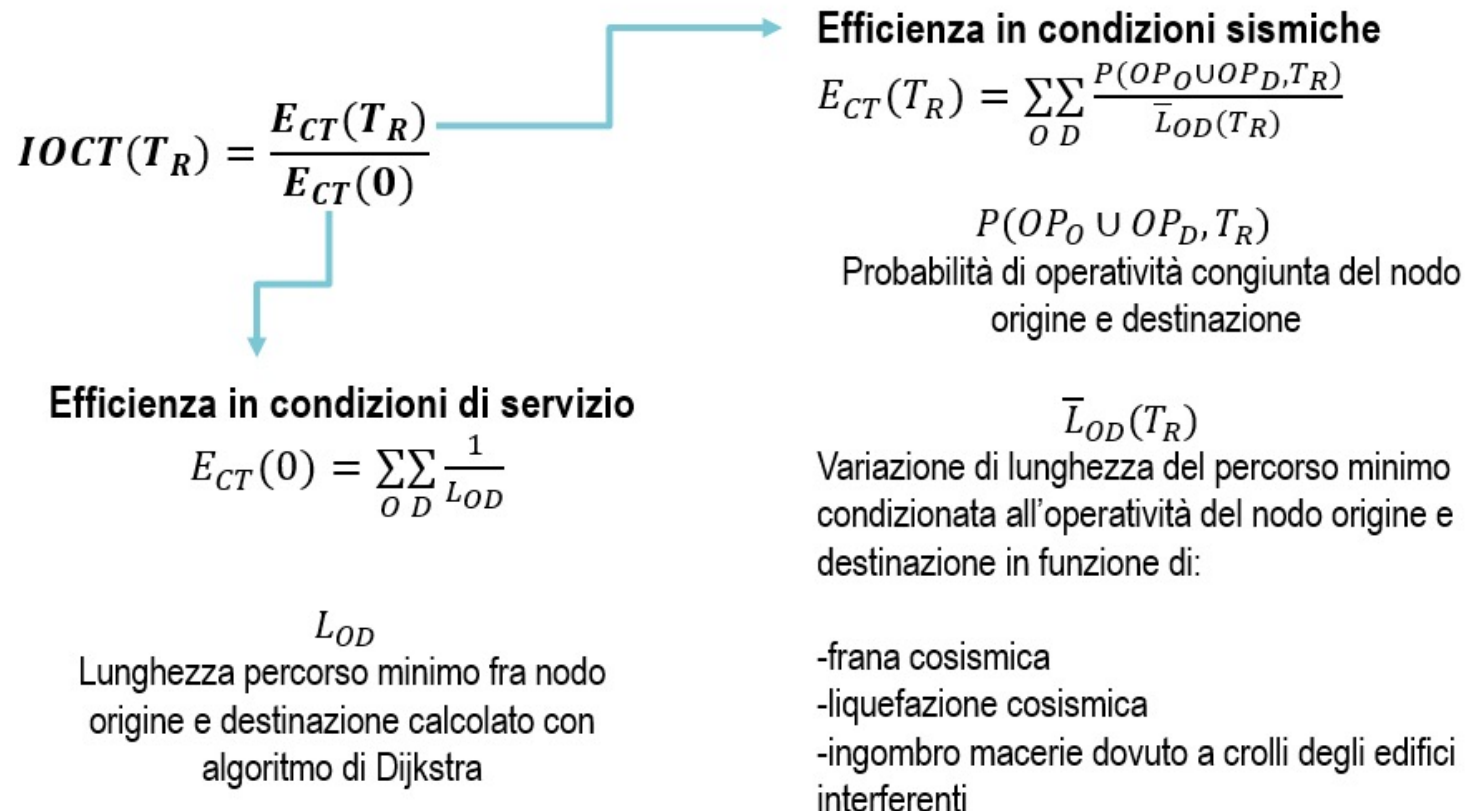
2. Pericolosità

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	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
Modello logistico <i>Nowicki et al., 2018</i>	Modello logistico <i>Zhu et al., 2017</i>	Curve di fragilità ricavate da misure vibrazione e modello SMAV <i>Spina et al., 2019-2021</i> <i>Vacca et al.</i> <i>In preparazione</i>	Curve di fragilità ricavate da misure vibrazione e modello SMAV <i>Mori et al., 2019</i> <i>dove non eseguite</i> <i>misure</i>	Curve di fragilità di letteratura <i>Anelli et al., 2021</i>

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** sono indici e relative classi di operatività:

- per le singole componenti (Edifici strategici fondamentali, Aree di ricovero e ammassamento, Edifici COC, Connessioni) in termini di 50° percentile di operatività media
- per Contesto Territoriale in termini di indicatore IOCT

L'indice e la classe di operatività globale del Contesto Territoriale vengono denominati:

- **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

		INDICE	CLASSE
Componenti del sistema di gestione dell'emergenza	ES fondamentali	0.46	C
	Area di ammassamento	0.93	A
	Edifici COC	0.30	D
	Aree di ricovero	1.00	A
	Connessioni	0.93	A
	Out	1.00	A

Legenda indici e classi

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

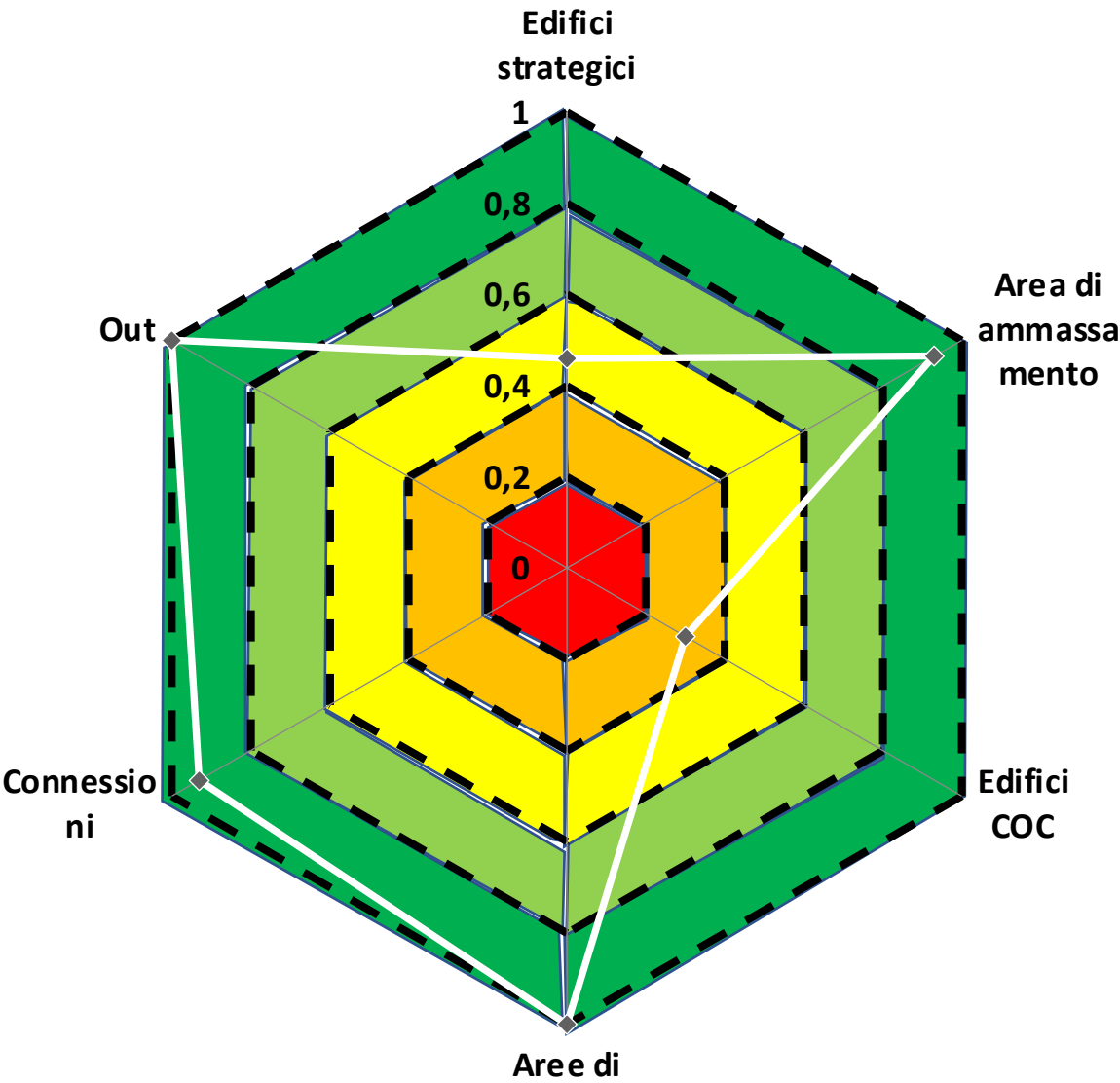
	IOCT	COCT
Contesto Territoriale	0.19	C

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

Le soglie delle classi sono preliminari e verranno ricalibrate con un campione di sperimentazioni più ampio. Si noti comunque 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

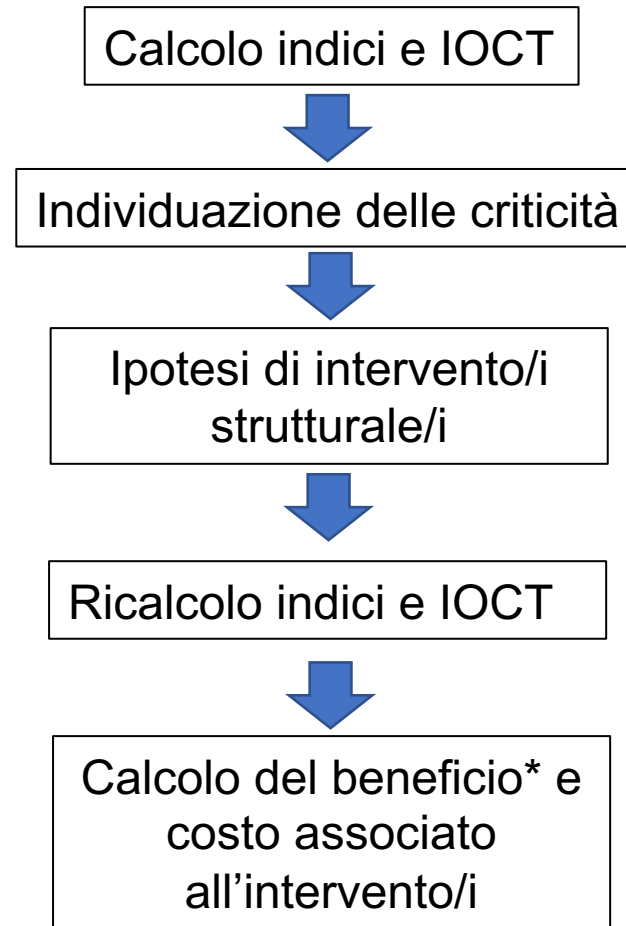
Una rappresentazione qualitativa dei risultati è questa del radar a esagono, nella quale vengono rappresentati i valori di operatività delle componenti del sistema con la scala cromatica delle classi

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

LEGENDA PERCORSO:

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

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



*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**

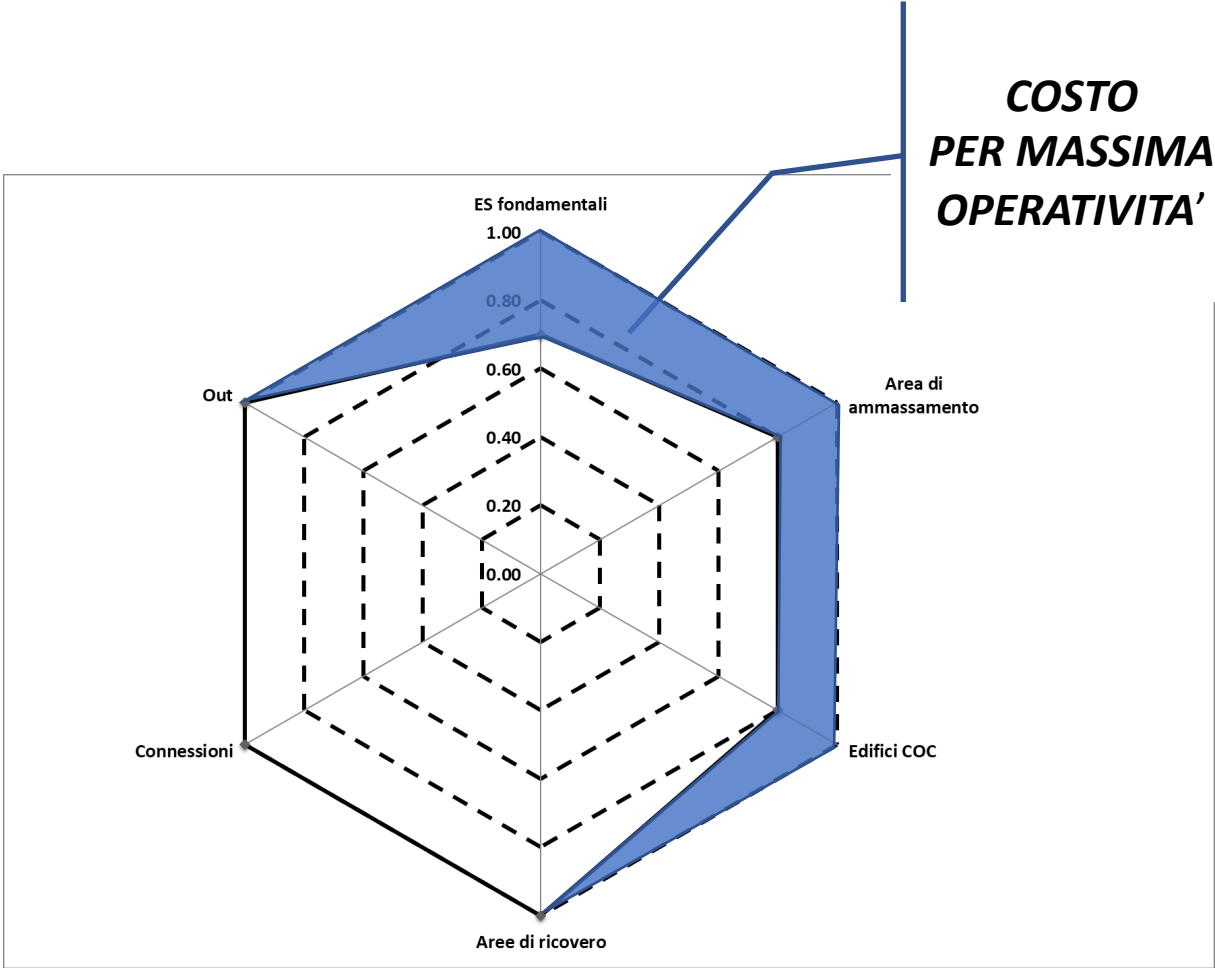
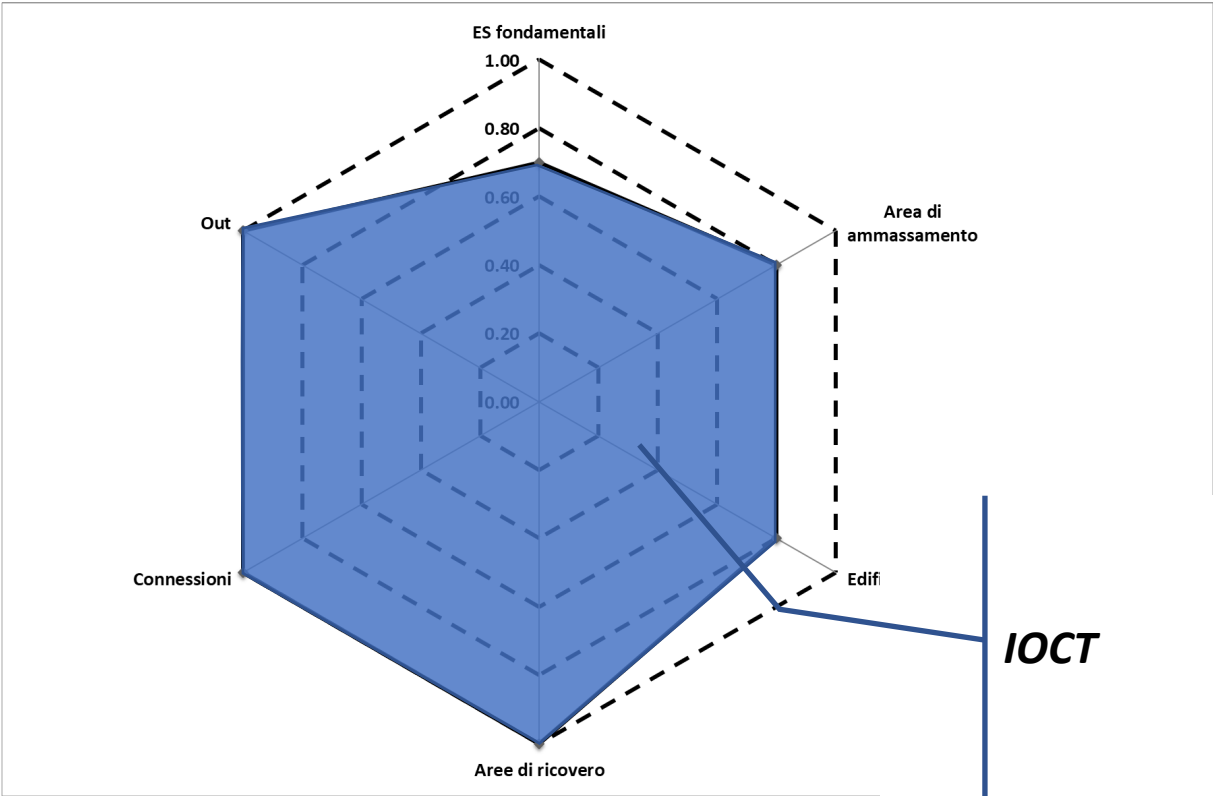
I modelli utilizzati per associare i costi legati al miglioramento

<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

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

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



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

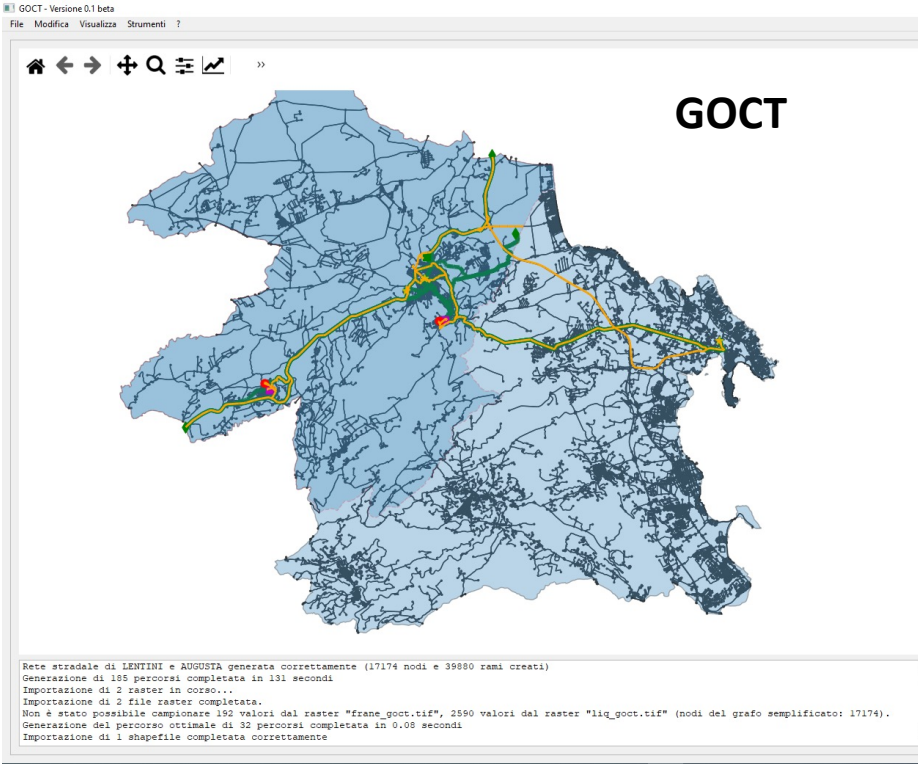
CLASSI DI COSTO



Software/tools in preparazione per la fine del progetto

- **Soft_IOCT:**

tool per la gestione del percorso di valutazione dell’operatività del CT (Indici e Classi) comprensivo dell’ottimizzazione dei percorsi in condizioni multi forzante (GOCT)



		INDICE	CLASSE
Componenti del sistema di gestione dell'emergenza	ES fondamentali	0.46	C
	Area di ammassamento	0.93	A
	Edifici COC	0.30	D
	Aree di ricovero	1.00	A
	Connessioni	0.93	A
	Out	1.00	A
		IOCT	COCT
Contesto Territoriale		0.19	C

Lavori pubblicati su queste tematiche dal Gruppo CNR-IGAG

- Anelli, A., 2021. Seismic fragility and vulnerability curves for the Italian residential building stock – Structure and Infrastructure engineering – in press
- Falcone et al., 2021 - Seismic amplification maps of Italy based on site-specific microzonation dataset and one-dimensional numerical approach - <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.106170>
- Mori, F., Gaudiosi, I., Tarquini, E., Bramerini, F., Castenetto, S., Naso, G., Spina, D., 2019. HSM: a synthetic damage-constrained seismic hazard parameter. Bull. Earthq. Eng. <https://doi.org/10.1007/s10518-019-00677-2>
- Mori, F., Gena, A., Mendicelli, A., Naso, G., Spina, D., 2020. Seismic emergency system evaluation: The role of seismic hazard and local effects. Eng. Geol. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2020.105587>
- Mori F, Mendicelli A, Moscatelli M, et al (2020) A new Vs30 map for Italy based on the seismic microzonation dataset. Eng Geol. doi: 10.1016/j.enggeo.2020.105745
- Occhipinti et al., Multistorey building fragility curves by means of an equivalent beam like model - Engineering Structures – under review
- Spina, D., Acunzo, G., Fiorini, N., Mori, F., Dolce, M., 2019. A probabilistic simplified seismic model of masonry buildings based on ambient vibrations. Bull. Earthq. Eng. <https://doi.org/10.1007/s10518-018-0481-y>
- Spina, D., Acunzo, G., Fiorini, N., Mori, F. and Dolce, M.: A probabilistic simplified Seismic Model from Ambient Vibrations (SMAV) of existing reinforced concrete buildings, Eng. Struct., doi:10.1016/j.engstruct.2021.112255, 2021.
- Vacca et al., SMAV analysis for the fragility curves of civil protection strategic buildings – in preparazione

APPLICAZIONE CT PILOTA

LENTINI

Di seguito si presenta l'applicazione al CT pilota di **Lentini** ed in particolare la simulazione ed il prototipo del:

- calcolo dell'operatività (**ANTE**) per $Tr=475$ anni
- stima del **miglioramento** del sistema con ipotesi di intervento e analisi benefici/costi associata a $Tr=475$ anni
- nuovo calcolo dell'operatività (**POST**) a $Tr=475$ anni
- Verifica per $Tr=100$ anni con gli interventi riferiti a $Tr=475$ anni

Operatività strutturale del Contesto Territoriale pilota

LEGENDA PERCORSO:

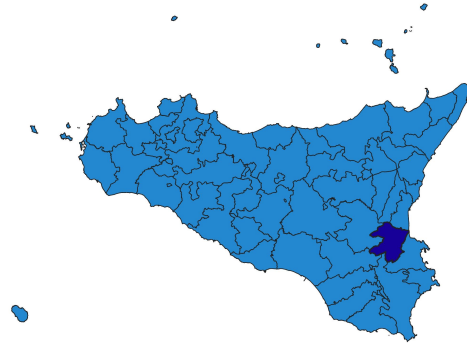
1. Esposizione

2. Pericolosità

3. Vulnerabilità

4. Operatività strutturale

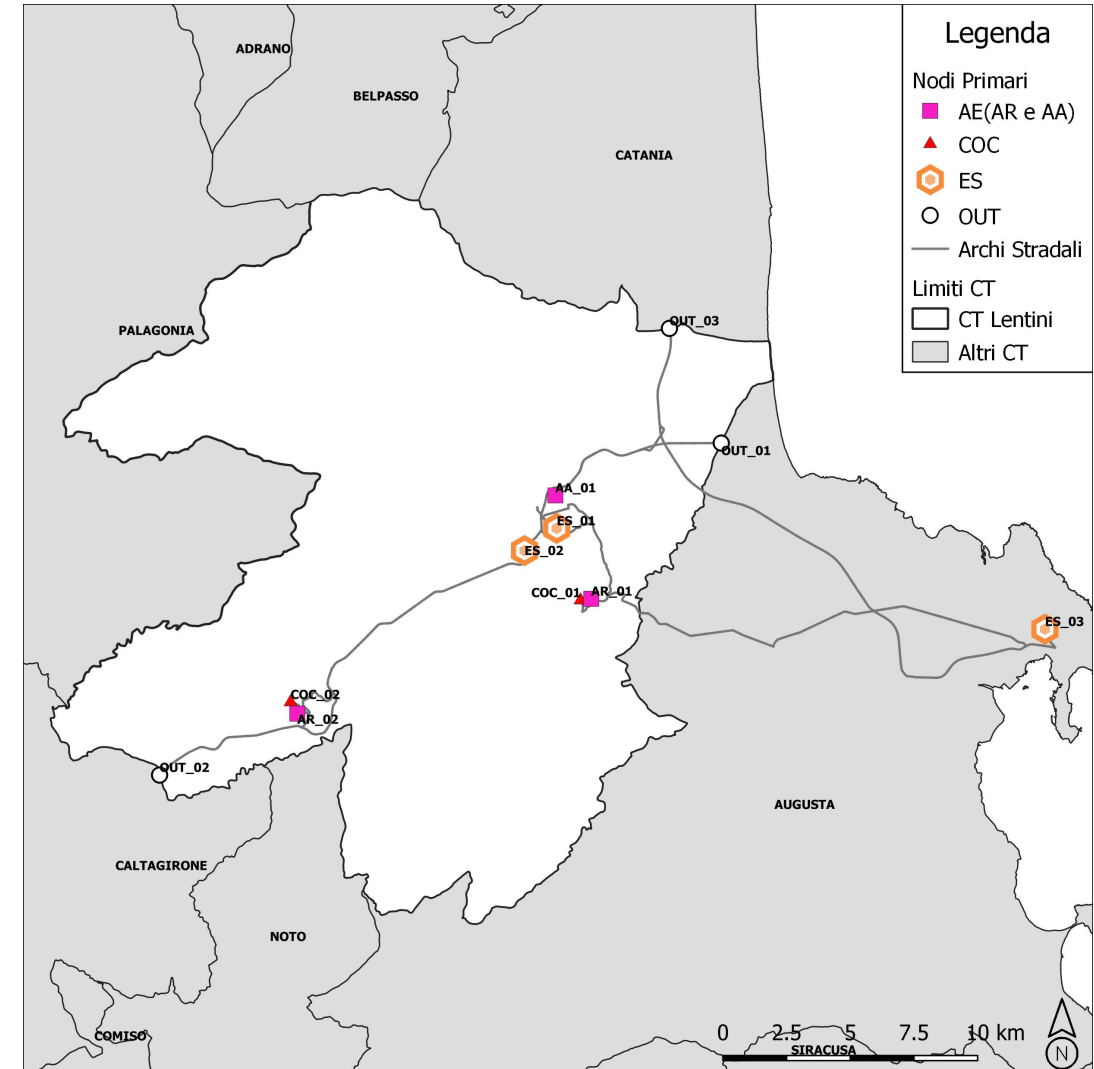
5. Analisi benefici/costi miglioramento



Il portafoglio degli oggetti del sistema strutturale di emergenza del CT

- 11 nodi primari (3 ES, 2 COC, 2 AR, 1 AA, 3 OUT)
- 473 archi

Il sistema a rete

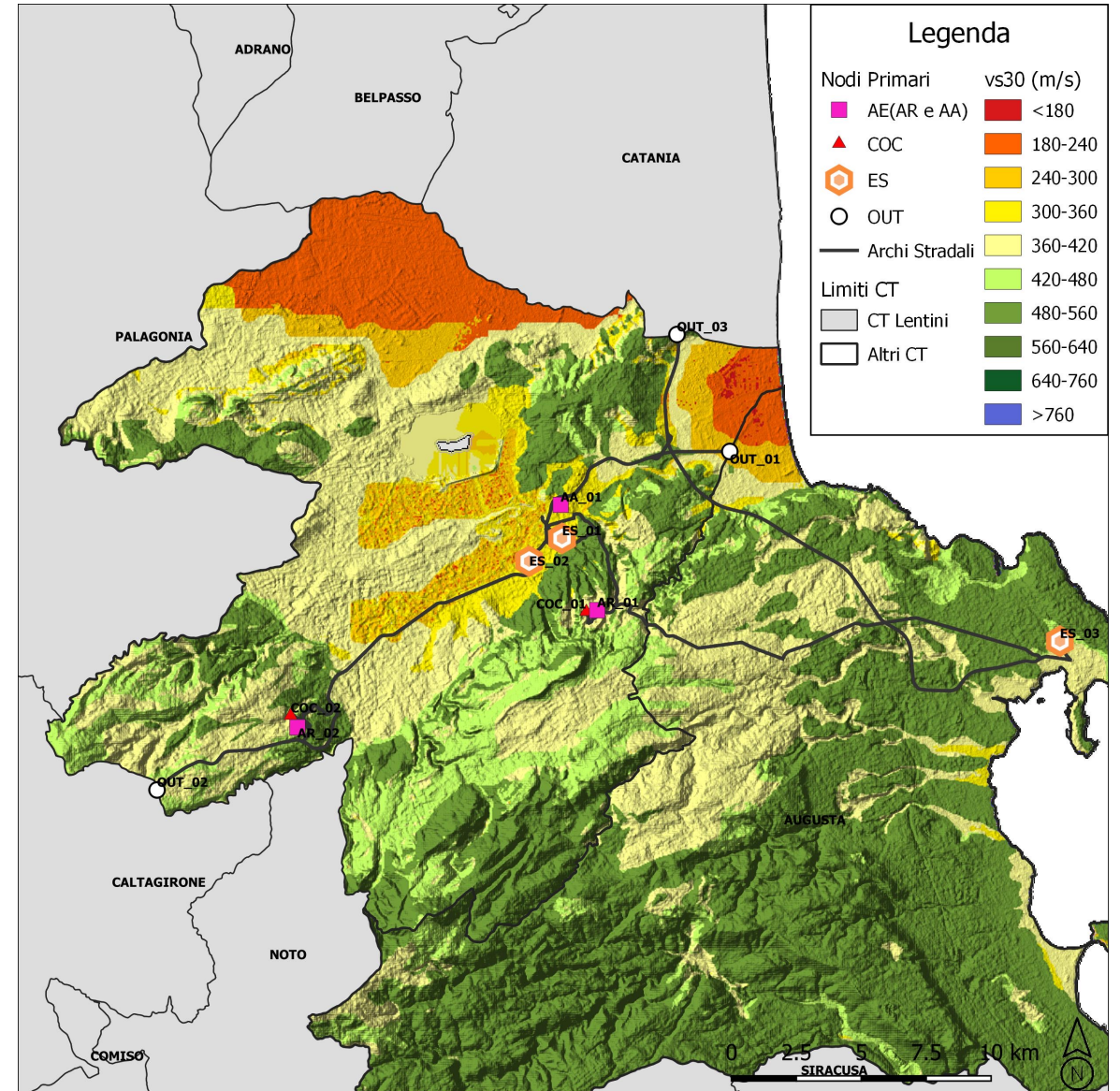


Operatività strutturale del Contesto Territoriale pilota

LEGENDA PERCORSO:

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

Mappa Vs30

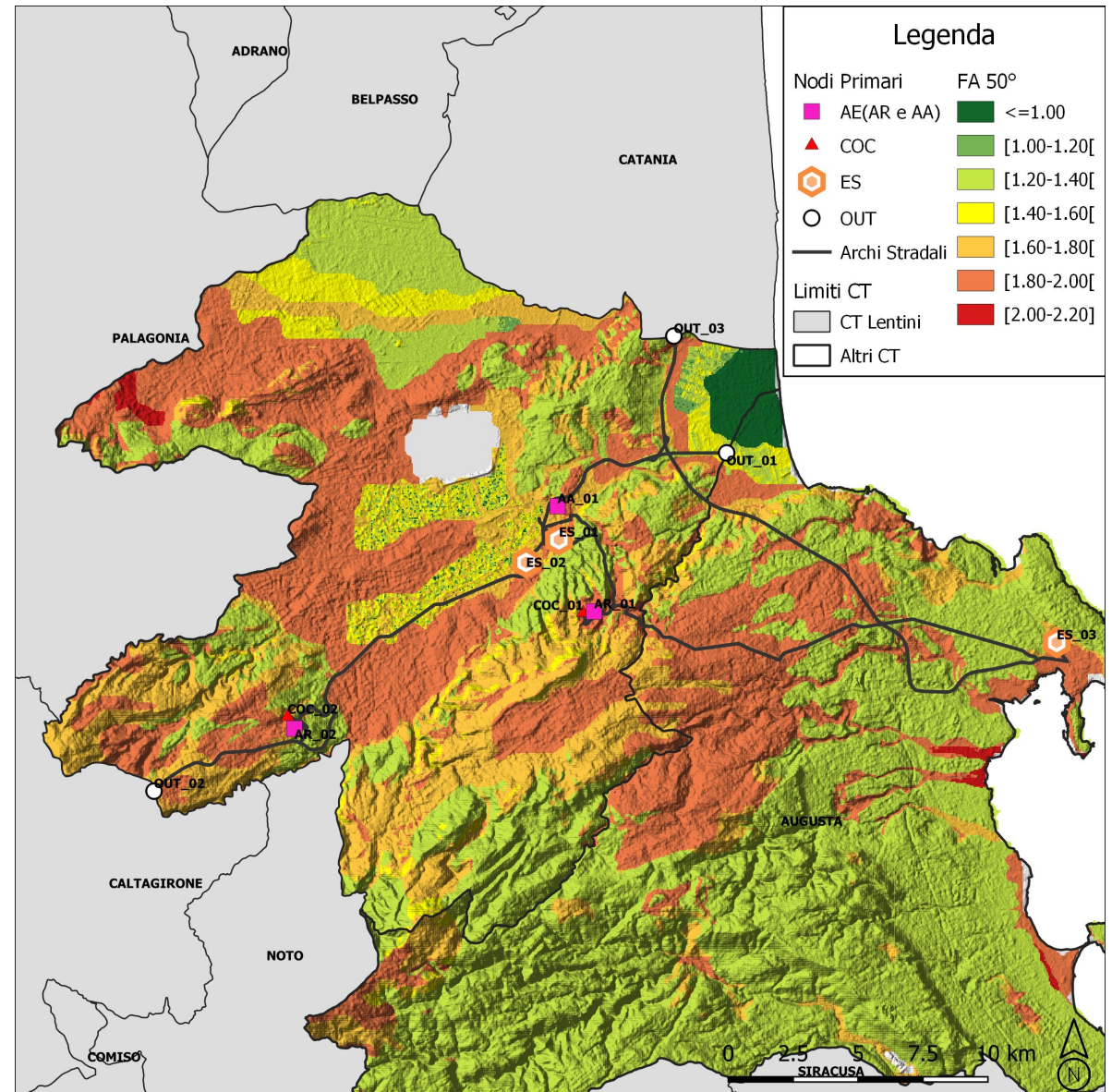


Operatività strutturale del Contesto Territoriale pilota

LEGENDA PERCORSO:

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

Mappa FA



Operatività strutturale del Contesto Territoriale pilota

LEGENDA PERCORSO:

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

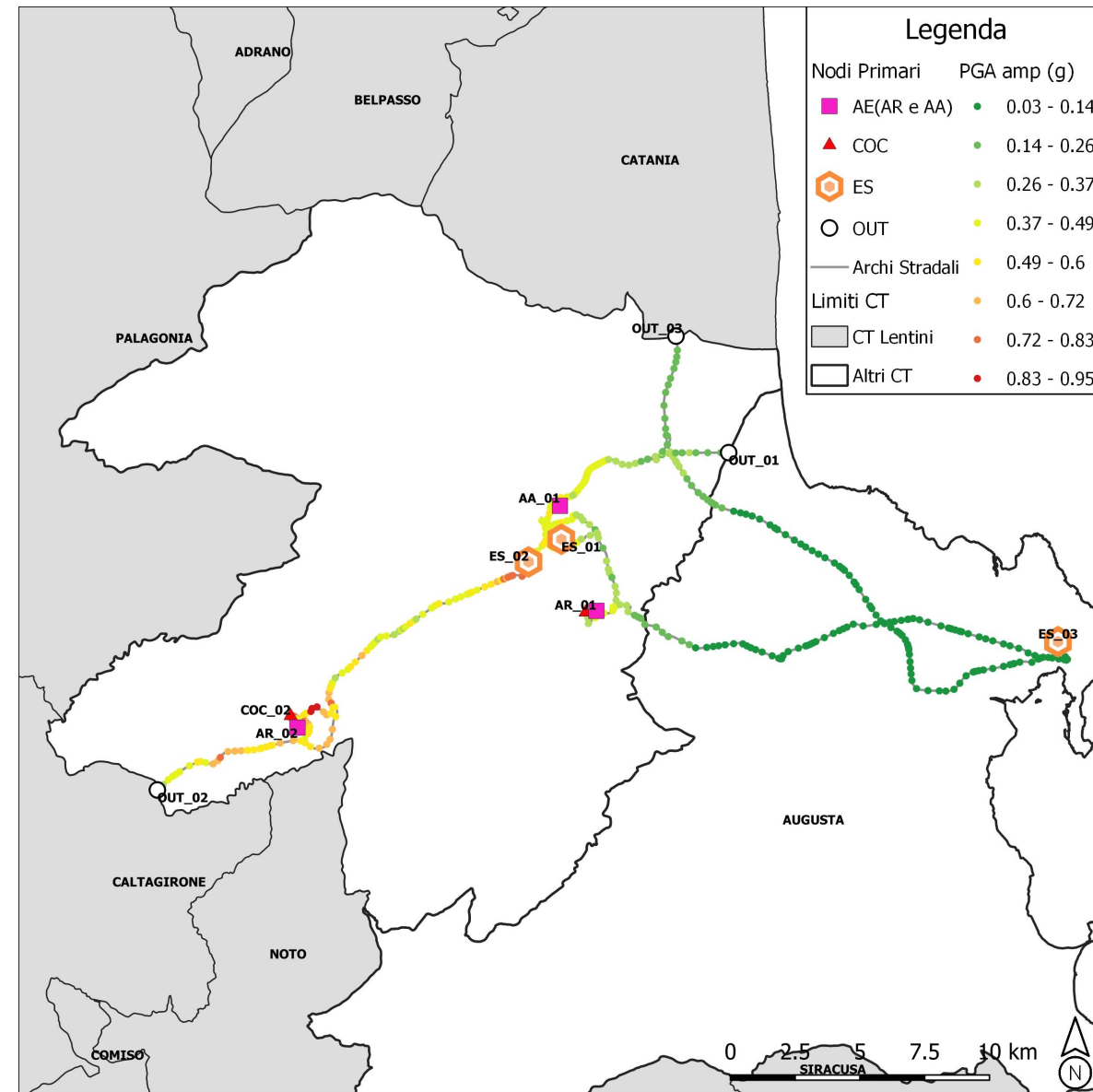
Scenari estratti da procedura stocastica con *Openquake*:

-141 scenari a 100 anni

-32 scenari a 475 anni

Esempio di scuotimento sismico amplificato ai nodi del grafo in termini di PGA per uno degli scenari associati al periodo di ritorno di **475 anni**

Esempio di scenario agli oggetti



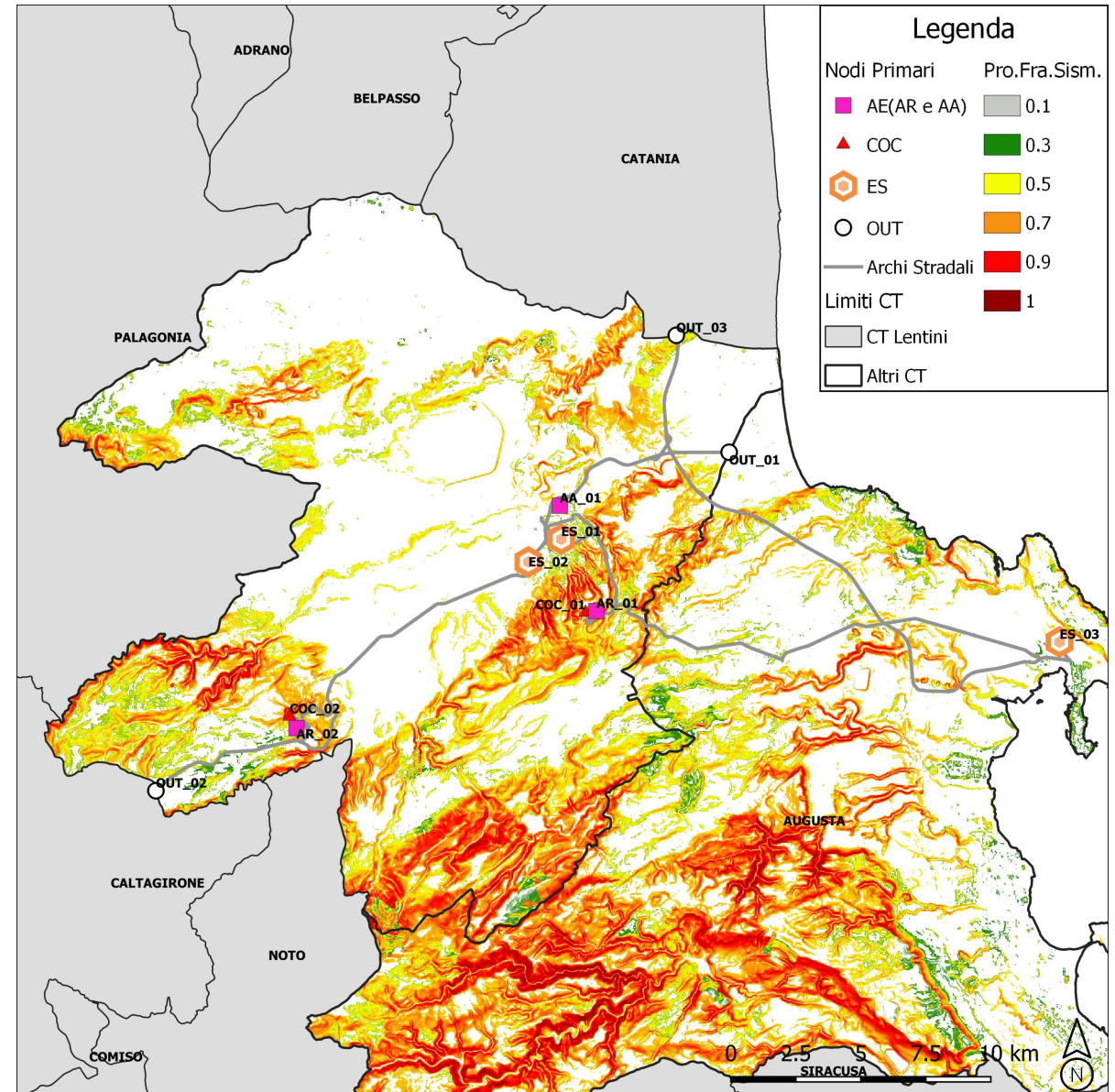
Operatività strutturale del Contesto Territoriale pilota

LEGENDA PERCORSO:

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

Mappa Probabilità frana con modello logistico Nowicki et al. (2018)

Mappa Probabilità frana



Operatività strutturale del Contesto Territoriale pilota

Vulnerabilità

Misure di vibrazione (UNIBAS) e curve di fragilità da modelli

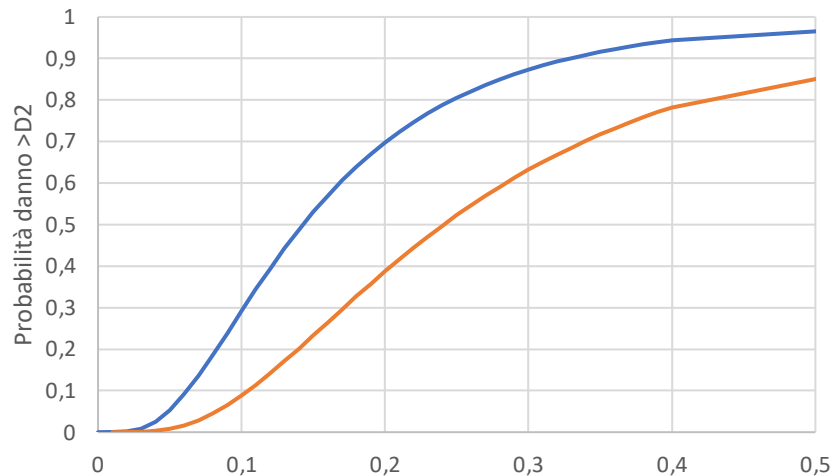
Curve per COM Lentini (ES1), Ospedale Lentini (ES2), VVF Augusta (ES3)

LEGENDA PERCORSO:

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

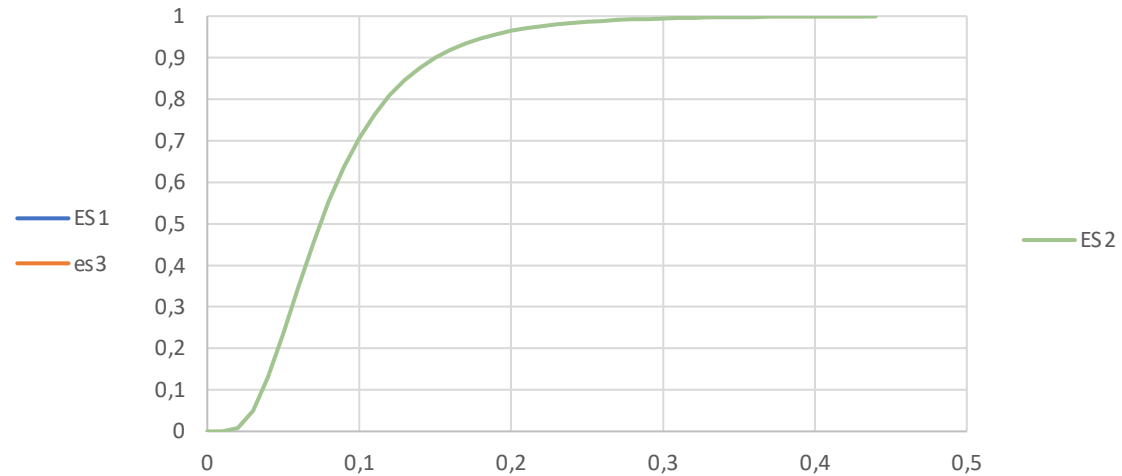
Curve di fragilità da modello SMAV

ASIO.1-0.5



Curve di fragilità da modello beam like – ES2 Lentini

ASIO.7-1.1



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

Operatività strutturale del Contesto Territoriale pilota

LEGENDA PERCORSO:

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

RISULTATI per Tr=475 anni

		INDICE	CLASSE
Componenti del sistema di gestione dell'emergenza	ES fondamentali	0.46	C
	Area di ammassamento	0.93	A
	Edifici COC	0.30*	D*
	Aree di ricovero	1.00	A
	Connessioni	0.93	A
	Out	1.00	A

Legenda indici e classi

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	0.19	C

COCT	IOCT
A	0.60 - 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 (Indice IOCT)

*stimato con curve di letteratura

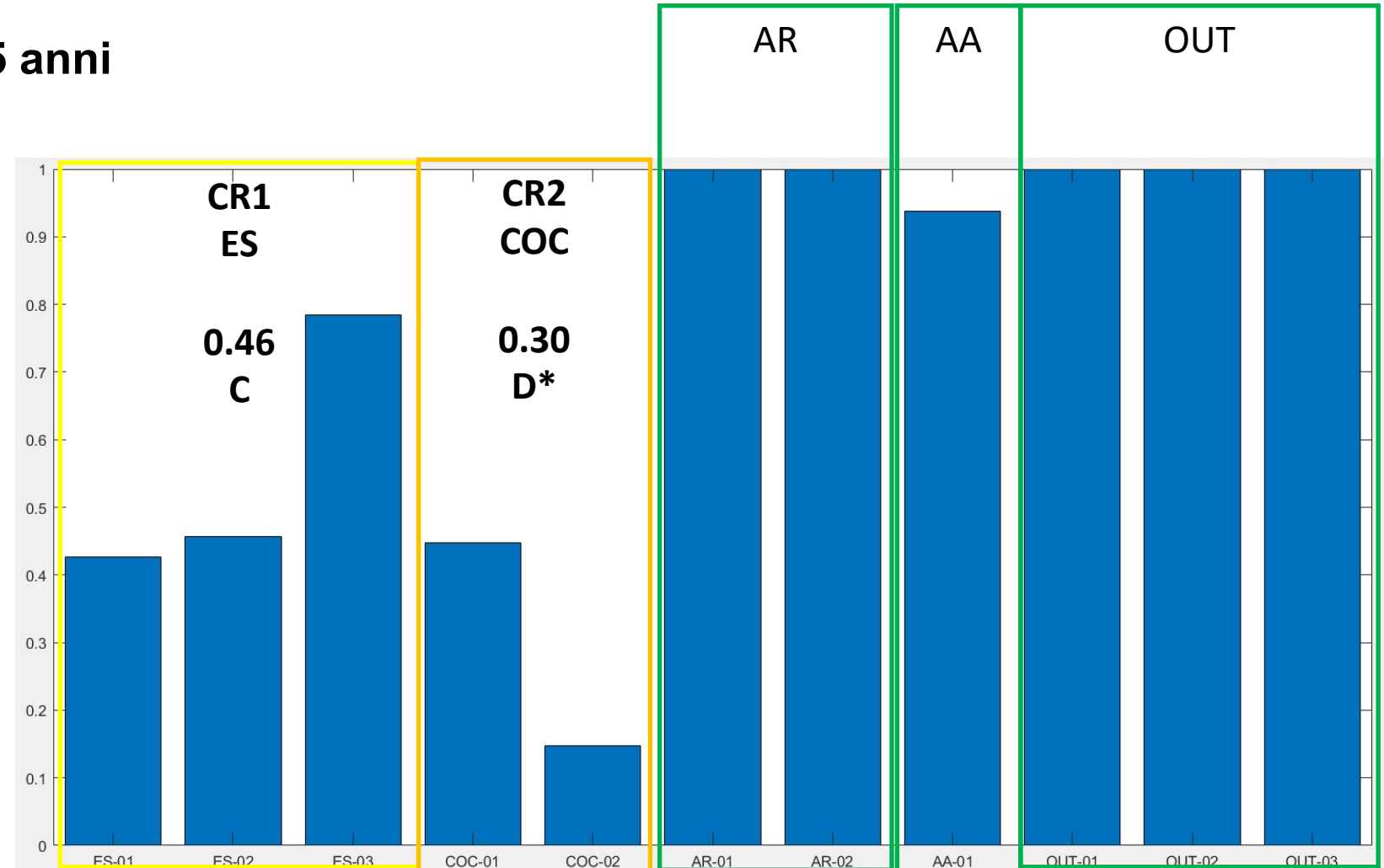
Operatività strutturale del Contesto Territoriale pilota

LEGENDA PERCORSO:

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

Analisi benefici/costi associata agli interventi per il miglioramento

Criticità (CR) riscontrate a 475 anni



*Probabilità di operatività
media dei nodi del
sistema a rete*

*stimato con curve di letteratura

Operatività strutturale del Contesto Territoriale pilota

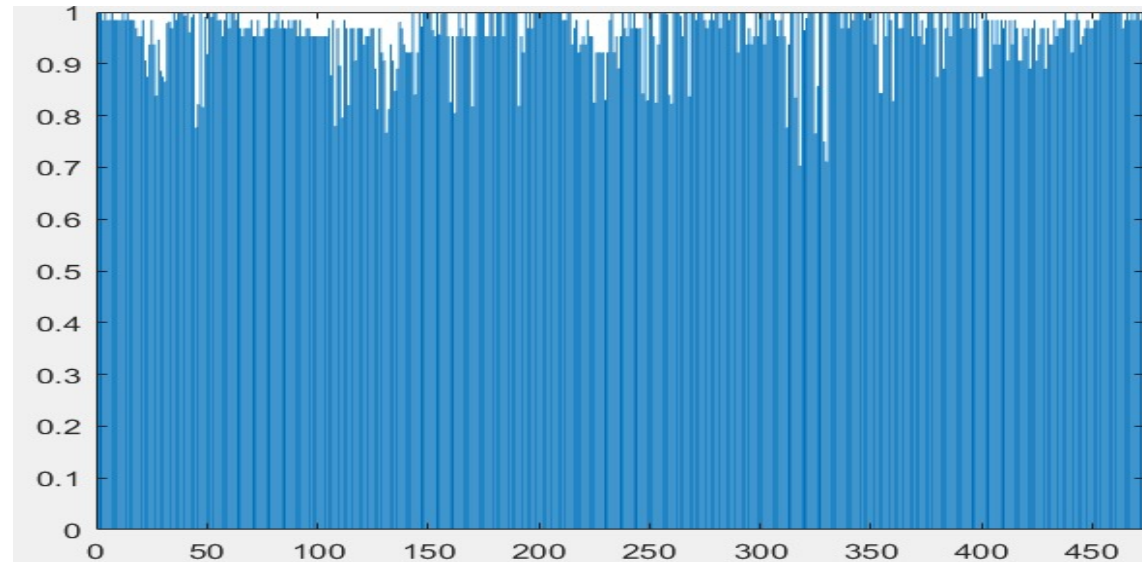
LEGENDA PERCORSO:

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

Analisi benefici/costi associata agli interventi per il miglioramento

Criticità (CR) riscontrate a 475 anni

Connessioni 0.93 A



*Probabilità di operatività
media dovuta a interferenza
per i 473 archi*

Operatività strutturale del Contesto Territoriale pilota

LEGENDA PERCORSO:

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

Analisi benefici/costi associata agli interventi per il miglioramento

Criteri e ipotesi di intervento per $Tr=475$ anni:

Per ogni criticità individuata, partendo dalla peggiore, si interviene e si valuta:

- il beneficio in termini di passaggio di classe globale COCT e classe della singola componente
- la classe di costo associata

Si interviene fino al raggiungimento della performance obiettivo, ovvero il miglioramento di classe globale COCT

Operatività strutturale del Contesto Territoriale pilota

Analisi benefici/costi associata agli interventi per il miglioramento

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



Ipotesi di intervento	<i><u>Beneficio in termini di passaggio di classe</u></i> <i><u>Globale COCT</u></i>	Beneficio in termini di passaggio di classe singola componente	<i>Classe di costo associata</i>
Hp1 (Cr1. COC)	NO	SI (C → B)	<div><div>X</div></div>
Hp2 (Cr2. ES)	NO	SI (D → B)	<div><div>X</div></div>
Hp3 (Hp1+Hp2)	<i>SI (C → B)</i>	SI	<div><div>X</div></div>

Operatività strutturale del Contesto Territoriale pilota

Analisi benefici/costi associata al miglioramento

Classe componente		Classe CT	
CLASSE	INDICE	COCT	IOCT
A	0.8 - 1.0	A	0.6 - 1.0
B	0.6 - 0.8	B	0.35 - 0.6
C	0.4 - 0.6	C	0.15 - 0.35
D	0.2 - 0.4	D	0.05 - 0.15
E	0 - 0.2	E	0 - 0.05

Tr=475 anni

ANTE



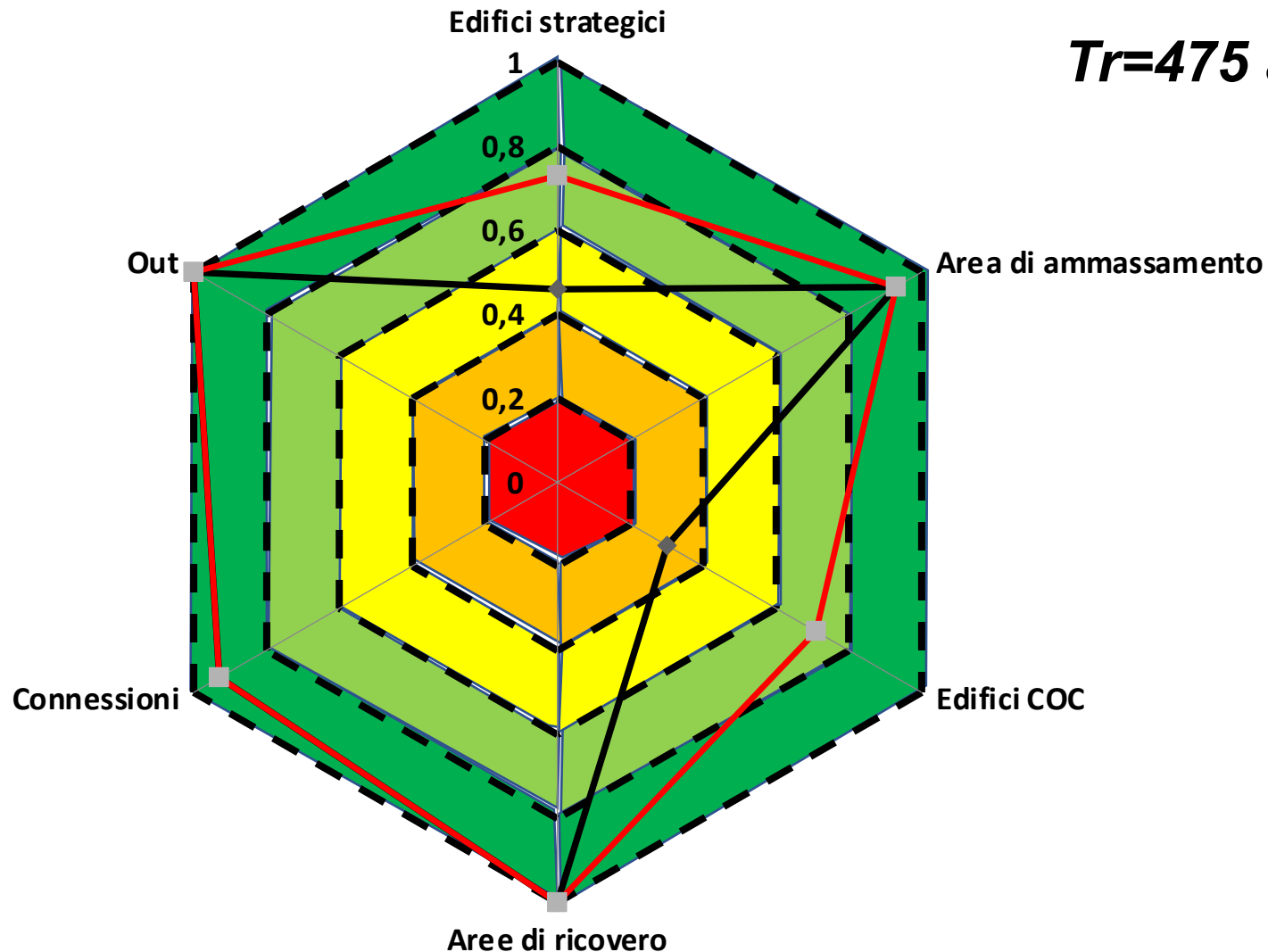
POST (Hp.3)

		INDICE	CLASSE			INDICE	CLASSE
Componenti del sistema di gestione dell'emergenza	ES fondamentali	0.46	C	Componenti del sistema di gestione dell'emergenza	ES fondamentali	0.73	B
	Area di ammassamento	0.93	A		Area di ammassamento	0.93	A
	Edifici COC	0.30*	D*		Edifici COC	0.71*	B*
	Aree di ricovero	1.00	A		Aree di ricovero	1.00	A
	Connessioni	0.93	A		Connessioni	0.93	A
	Out	1.00	A		Out	1.00	A
		IOCT	COCT			IOCT	COCT
Contesto Territoriale		0.19	C	Contesto Territoriale		0.41	B

Si interviene fino al raggiungimento della performance obiettivo, ovvero il miglioramento di classe COCT

Operatività strutturale del Contesto Territoriale pilota

Analisi benefici/costi associata
al miglioramento



*Rappresentazione
grafica degli indici
delle componenti*

-ANTE
-POST

Operatività strutturale del Contesto Territoriale pilota

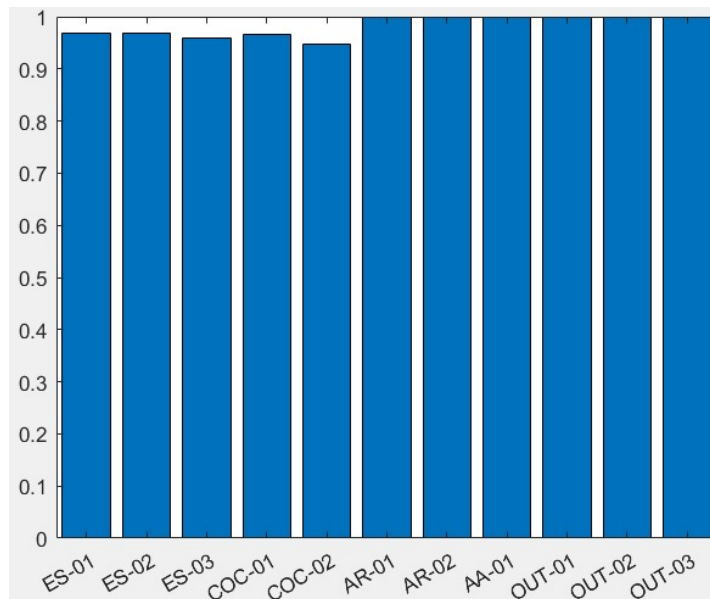
Analisi benefici/costi associata al miglioramento

Verifica a $Tr=100$ anni con gli interventi basati su $Tr=475$ anni

IOCT = 0.92

COCT = A

*Probabilità di operatività media
dei nodi del sistema a rete*



*Probabilità di operatività
media per le connessioni*

