



# PON GOVERNANCE 2014-2020 Rischio Sismico e Vulcanico

Attività PUG\_F4.2 | Supporto all'applicazione del modello valutativo dell'efficacia degli interventi per la riduzione del rischio nell'ambito dei diversi Contesti Territoriali

## Valutazione di operatività strutturale dei Contesti Territoriali pilota Regione Puglia

**Versione 1.3**

Publicato in data 24/01/2022





# PON GOVERNANCE 2014-2020 Rischio Sismico e Vulcanico

Attività PUG\_F4.2 | Supporto all'applicazione del modello valutativo dell'efficacia degli interventi per la riduzione del rischio nell'ambito dei diversi Contesti Territoriali

## Valutazione di operatività strutturale dei Contesti Territoriali pilota Regione Puglia

**Versione 1.3**

Publicato in data 24/01/2022



## PON GOVERNANCE E CAPACITÀ ISTITUZIONALE 2014-2020

PROGRAMMA PER IL SUPPORTO AL RAFFORZAMENTO DELLA GOVERNANCE IN MATERIA DI RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO E VULCANICO AI FINI DI PROTEZIONE CIVILE

### DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE

#### Struttura responsabile dell'attuazione del Programma

Fabrizio Curcio (responsabile), Eliana Mazzaro (supporto)

Immacolata Postiglione (delega funzioni specifiche)

#### Unità di coordinamento

Fabrizio Brammerini, Angelo Corazza, Luigi D'Angelo, Fausto Guzzetti, Francesca Romana Paneforte, Paola Stefanelli

#### Unità operativa rischi

Paola Bertuccioli, Sergio Castenetto, Stefano Ciolli, Andrea Duro, Emilio De Francesco, Marco Falzacappa, Domenico Fiorito, Pietro Giordano, Antonella Gorini, Giuseppe Naso, Stefania Renzulli, Daniele Spina

#### Unità di raccordo DPC

Silvia Alessandrini, Sara Babusci, Pierluigi Cara, Patrizia Castigliero, Valter Germani, Maria Penna

#### Unità amministrativa e finanziaria

Valentina Carabellese, Francesca De Sandro, Susanna Gregori, Maria Cristina Nardella

#### Hanno fatto parte della struttura

Angelo Borrelli, Gabriella Carunchio, Luciano Cavarra, Pietro Colicchio, Biagio Costa, Lavinia Di Meo, Gianluca Garro, Antonio Gioia, Francesca Giuliani, Italo Giulivo, Fabio Maurano, Natale Mazzei, Agostino Miozzo, Paolo Molinari, Anna Natili, Roberto Oreficini Rosi, Lucia Palermo, Simona Palmiero, Ada Paolucci, Sara Petrinelli, Biagio Prezioso, Umberto Rosini, Marco Rossitto, Sisto Russo, Chiara Salustri Galli, Maria Siclari, Maurilio Silvestri, Gianfranco Sorchetti, Vincenzo Vigorita

### REGIONI

#### Referenti

*Basilicata*: Claudio Berardi, Antonella Belgiovine, Maria Carmela Bruno, Cinzia Fabozzi, Donatella Ferrara, Cosimo Grieco, Guido Loperte (coordinatore), Alfredo Maffei, Pietro Perrone; *Calabria*: Fortunato Varone (coordinatore); *Campania*: Mauro Biafore (coordinatore), Claudia Campobasso, Luigi Cristiano, Emilio Ferrara, Luigi Gentilella, Maurizio Giannattasio, Francesca Maggi, Celestino Rampino; *Puglia*: Tiziana Bisantino (coordinatore), Carlo Caricasole, Domenico Donvito, Franco Intini, Teresa Mungari, Fabrizio Panariello, Francesco Ronco, Zoida Tafilaj; *Sicilia*: Giuseppe Basile, Antonio Brucculeri, Aldo Guadagnino, Maria Nella Panebianco, Antonio Torrisi

#### Sono stati referenti

*Basilicata*: Alberto Caivano; *Calabria*: Giuseppe Iritano, Domenico Pallaria, Francesco Russo (coordinatore), Carlo Tansi, Luigi Giuseppe Zinno; *Puglia*: Giuseppe Tedeschi; *Campania*: Crescenzo Minotta; *Sicilia*: Nicola Alleruzzo

#### Affidamento di servizi del DPC al CNR-IGAG

*Responsabile Unico del Procedimento*: Mario Nicoletti

*Direttore di Esecuzione Contrattuale*: Fabrizio Brammerini

*Referenti rischio sismico*: Fabrizio Brammerini, Sergio Castenetto, Daniele Spina, Antonella Gorini, Giuseppe Naso

*Referente rischio vulcanico*: Stefano Ciolli

*Referenti pianificazione di emergenza*: Domenico Fiorito, Stefania Renzulli

#### CNR-IGAG (operatore economico rischio sismico e vulcanico)

Massimiliano Moscatelli (referente)

#### Struttura di coordinamento

Gianluca Carbone, Claudio Chiappetta, Francesco Fazio, Massimo Mari, Silvia Massaro, Federico Mori, Edoardo Peronace, Attilio Porchia, Francesco Stigliano (coordinatore operativo)

#### Struttura tecnica

Angelo Anelli, Massimo Cesarano, Eleonora Cianci, Stefania Fabozzi, Gaetano Falcone, Cora Fontana, Angelo Gigliotti, Michele Livani, Amerigo Mendicelli, Giuseppe Occhipinti, Federica Polpetta, Alessandro Settimi, Rose Line Spacagna, Daniel Tentori, Valentina Tomassoni

#### Struttura gestionale

Lucia Paciucci (coordinatrice gestionale), Francesca Argiolas (supporto gestionale), Federica Polpetta (supporto gestionale), Francesco Petracchini

#### Revisori

Emilio Bilotta, Paolo Boncio, Paolo Clemente, Maria Ioannilli, Massimo Mazzanti, Roberto Santacroce, Carlo Viggiani

#### Supporto tecnico-amministrativo

Francesca Argiolas, Patrizia Capparella, Martina De Angelis, Marco Gozzi, Alessandro Leli, Patrizia Mirelli, Simona Rosselli

#### Hanno fatto parte della struttura

Raffaella Ciuffreda, Giuseppe Cosentino, Melissa Di Salvo, Giovanni Di Trapani, Rosa Marina Donolo, Carolina Fortunato, Biagio Giaccio, Marco Modica, Marco Nocentini, Andrea Rampa, Laura Ragazzi, Gino Romagnoli, Paolo Tommasi, Vitantonio Vacca

#### PUG\_F4.2 – Supporto all'applicazione del modello valutativo dell'efficacia degli interventi per la riduzione del rischio nell'ambito dei diversi Contesti Territoriali

**Responsabile DPC**: Sergio Castenetto, Antonella Gorini

**Responsabile CNR-IGAG**: Federico Mori

#### A cura di

Andrea Gena, Attilio Porchia, Valentina Tomassoni, Amerigo Mendicelli, Gianluca Acunzo

versione colophon 06/12/2021

# Sommario

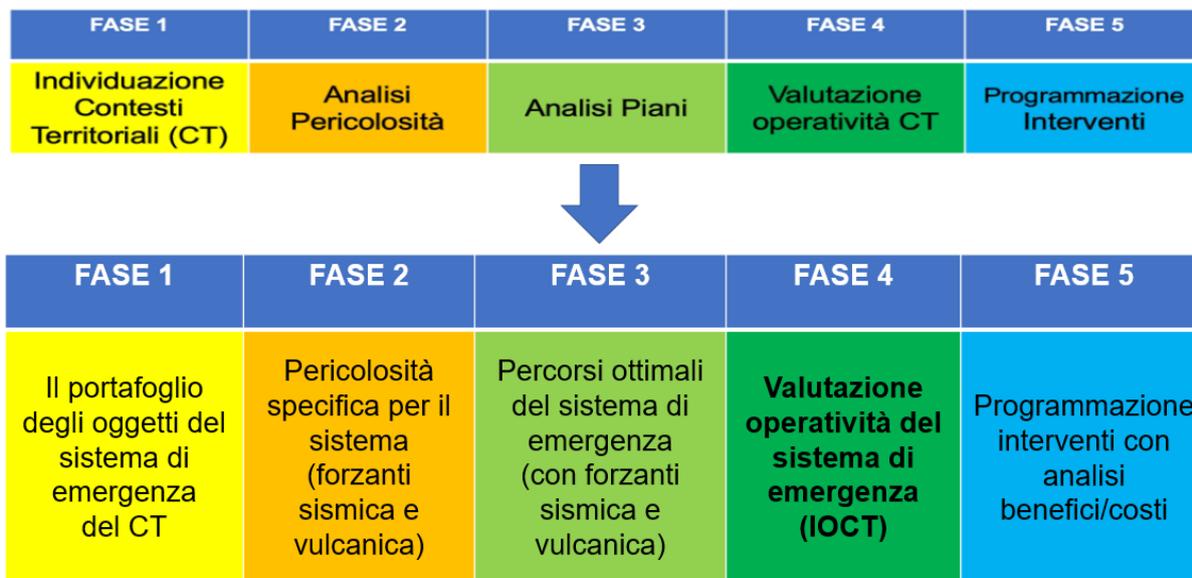
---

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>CLE del Contesto Territoriale di Castellaneta</b>	<b>6</b>
2.1	<i>Inquadramento</i>	6
2.2	<i>Analisi delle CLE Comunali</i>	6
2.3	<i>Individuazione degli elementi del Sistema strutturale minimo del CT di Castellaneta</i>	8
<b>3</b>	<b>Le fasi del percorso di valutazione</b>	<b>10</b>
3.1	<i>Fase 1 – Il portafoglio dell’esposto</i>	10
3.2	<i>Fase 2 – La pericolosità specifica per i sistemi a rete</i>	11
3.3	<i>Fase 3 – I percorsi ottimali</i>	14
3.3.1	Importazione dei nodi strategici	14
3.3.2	Importazione delle CLE comunali e dei raster di impedenza	15
3.3.3	Generazione della matrice di connessione e dei percorsi con grado di ridondanza $k$	16
3.3.4	Selezione dei percorsi che ottimizzano le impedenze selezionate	18
3.4	<i>Fase 4 – La valutazione di operatività (IOCT)</i>	22
3.5	<i>Fase 5 – La programmazione degli interventi con analisi benefici/costi</i>	23

# 1 Introduzione

Il presente report costituisce l'applicazione della metodologia sperimentale per la valutazione di operatività del sistema di emergenza (IOCT) sul Contesto Territoriale pilota di Castellaneta della Regione Puglia e recepisce quanto delineato in maniera teorica nella "Linea Guida IOCT" (documento A4.1 versione 5.0).

Le fasi che costituiscono la valutazione di operatività e la programmazione del miglioramento, vengono declinate a partire dal "progetto standard" secondo il seguente schema:



Nel seguito si analizza il caso applicativo con i risultati passando in rassegna le singole fasi con alcuni richiami teorici.

## 2 CLE del Contesto Territoriale di Castellaneta

In questo capitolo si riporta una sintesi delle elaborazioni condotte per l'individuazione degli elementi del Sistema strutturale minimo di gestione dell'emergenza (CLE di CT) del Contesto Territoriale di Castellaneta, costituito dal comune di Castellaneta (Comune di Riferimento), Ginosa, Palagiano, Mottola, Laterza e Palagianello.

### 2.1 Inquadramento

Il CT di Ginosa ricade nella provincia di Taranto, alle falde meridionali della murgia tarantina. Nella tabella sottostante vengono riportati i dati principali dei 6 comuni costituenti il CT.

Comune	Popolazione residente	n. Centri e Nuclei	% residenti in centri o nuclei	% residenti capoluogo comunale
Ginosa	22719	8	93	71
<b>Castellaneta (CR)</b>	17216	17	89	83
Palagiano	16161	3	95	95
Mottola	16116	3	83	82
Laterza	15272	4	91	91
Palagianello	7879	2	93	91
<b>Totale CT</b>	<b>95363</b>	<b>37</b>	<b>91</b>	<b>85</b>

Tabella 2-1 - Dati principali dei comuni appartenenti al Contesto territoriale analizzato

### 2.2 Analisi delle CLE Comunali

All'interno dei 6 comuni selezionati e appartenenti al CT sono disponibili le analisi di CLE validate.

Il quadro degli elementi individuati, ricavato dalle Schede indice e dal database di ciascun comune, è rappresentato nella Tabella 2-2 e nella Figura 2-1.

Comune	ES	di cui ES diversi da 1, 2, 3	AE amm	AE ric	AC conn	AC acc	Tot. Elem CLE
Ginosa	7	5	2	8	54	5	76
<b>Castellaneta (CR)</b>	4	1	2	6	35	3	50
Palagiano	3	1	3	6	15	3	30
Mottola	7	0	1	4	14	3	29
Laterza	3	1	1	5	23	4	36
Palagianello	3	1	1	4	10	2	20
<b>Totale CT</b>	<b>27</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>33</b>	<b>151</b>	<b>20</b>	<b>241</b>

Tabella 2-2 - Sintesi degli elementi individuati nelle analisi delle CLE comunali per il CT di Ginosa

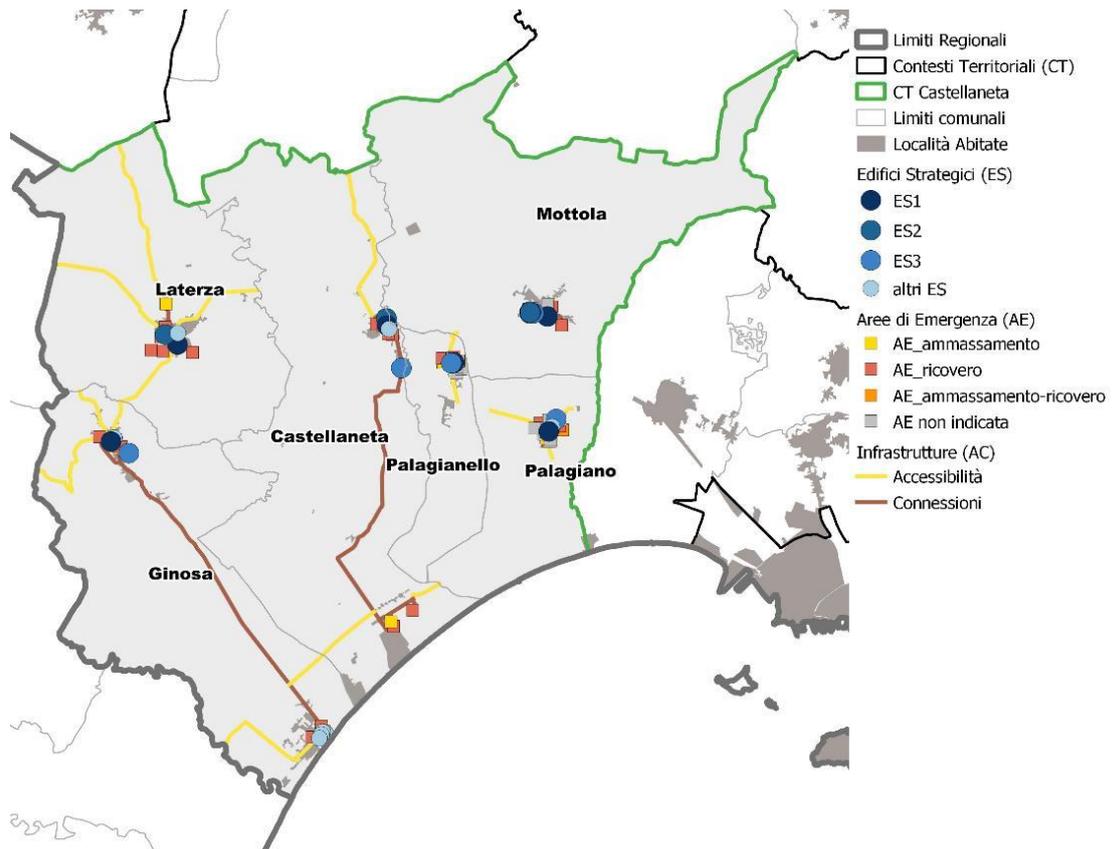


Figura 2-1 - Elementi analisi CLE comunali del Contesto Territoriale di Ginosa

## 2.3 Individuazione degli elementi del Sistema strutturale minimo del CT di Castellaneta

La Tabella 2-3 sintetizza il processo di applicazione delle Linee Guida, che ha portato all'individuazione del Sistema strutturale minimo del CT di Castellaneta, mostrato nella sua prima ipotesi in Figura 2-2, in cui vengono evidenziate 3 criticità riscontrate in questa prima ipotesi e risolte come evidenziato in Figura 2-3.

Comune	Tipo	Criteri / Verifica	
Castellaneta (CR)	ES1	da CLE: ES001 COC c/o Municipio – Polizia Municipale	<input checked="" type="checkbox"/>
	ES2	da CLE: ES002 Presidio Ospedaliero di Castellaneta	<input checked="" type="checkbox"/>
	ES3	da CLE: ES003 Distaccamento VV.F. Sud Castellaneta	<input checked="" type="checkbox"/>
	AE amm	da CLE: Area adiacente VV.F. <ul style="list-style-type: none"> <li>Superficie 30000 mq (&gt; 25000 mq)</li> </ul>	<input checked="" type="checkbox"/>
	AE ric	da CLE: Campo sportivo comunale <ul style="list-style-type: none"> <li>Di dimensioni maggiori nel centro o nucleo abitato con maggiori residenti</li> </ul>	<input checked="" type="checkbox"/>
Ginosa	ES001	da CLE: ES001 Sala Operativa Comunale Polizia Municipale <ul style="list-style-type: none"> <li>Non è più elevato livello dell'A.P. (S52 - Pubblica Sicurezza)</li> <li>Non rispetta le dimensioni minime (800 - 1000 mq) (2 piani * 300 mq)</li> </ul>	<input type="checkbox"/>
		da CLE: ES004 Sala Operativa Comunale Alternativa <ul style="list-style-type: none"> <li>È il più elevato livello dell'A.P. (Sala Operativa Comunale)</li> </ul>	<input checked="" type="checkbox"/>
	AE ric	da CLE: Arre sterrate fra via della Pace e via Palatrasio <ul style="list-style-type: none"> <li>Di dimensioni maggiori nel centro o nucleo con maggior numero di residenti (7500 mq)</li> </ul>	<input checked="" type="checkbox"/>
Laterza	ES001	da CLE: ES001 COC Municipio-Polizia Municipale	<input checked="" type="checkbox"/>
	AE ric	da CLE: Parcheggio Oasi Lipu <ul style="list-style-type: none"> <li>di dimensioni maggiori nel centro o nucleo con maggior numero di residenti (7470 mq)</li> </ul>	<input checked="" type="checkbox"/>
Mottola	ES001	da CLE: ES001 Polizia Municipale	<input checked="" type="checkbox"/>
	AE ric	da CLE: Campo sportivo comunale	<input checked="" type="checkbox"/>
Palagianello	ES001	da CLE: ES001 Municipio Comunale	<input checked="" type="checkbox"/>

Comune	Tipo	Colonna	Criteri / Verifica
	AE ric	da CLE: Stadio	<ul style="list-style-type: none"> <li>di dimensioni maggiori nel centro o nucleo con maggior numero di residenti (18400 mq)</li> </ul> <input checked="" type="checkbox"/>
Palagianò	ES001	da CLE: ES001 Polizia Municipale	<input checked="" type="checkbox"/>
	AE ric	da CLE: Campo Sportivo Comunale "Marco Stea"	<ul style="list-style-type: none"> <li>di dimensioni maggiori nel centro o nucleo con maggior numero di residenti (14172 mq)</li> </ul> <input checked="" type="checkbox"/>

Tabella 2-3 - Elementi ES e AE dalle analisi CLE comunali selezionati per il CT di Castellana

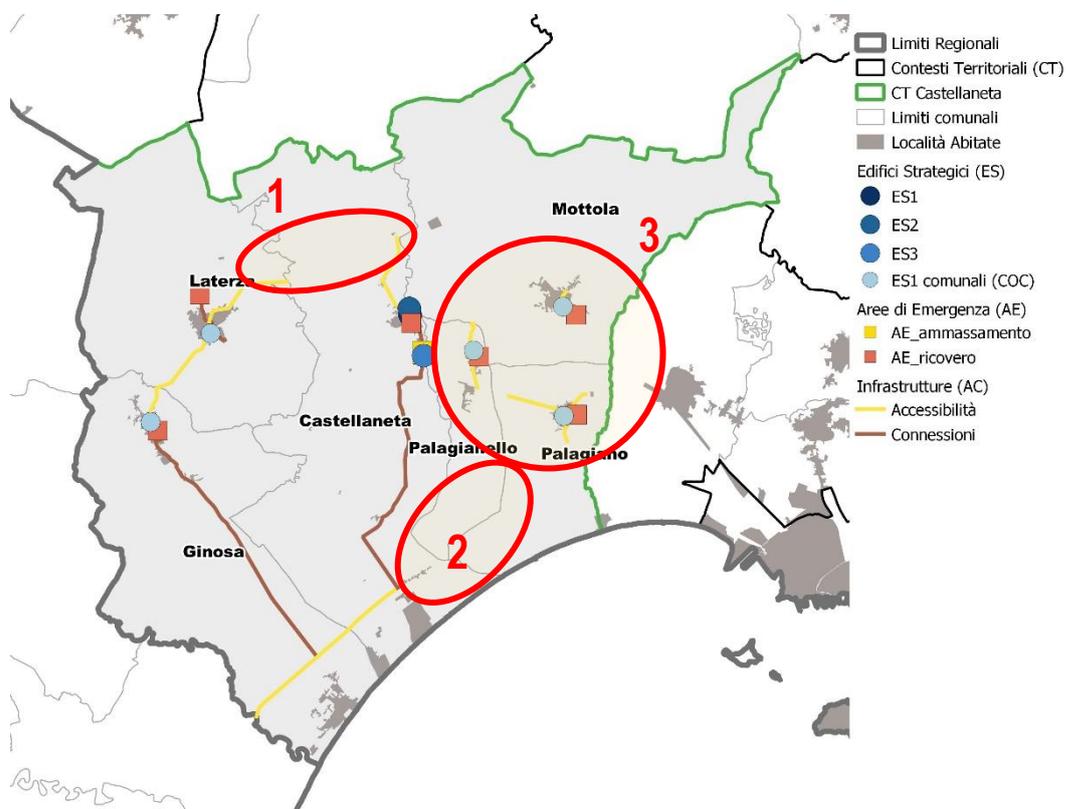


Figura 2-2 - Grafo CT Castellana prima ipotesi

Le 3 criticità riscontrate sono:

1. Mancanza di collegamento tra Laterza e Castellana
2. Mancanza di collegamento tra Castellana, Palagianello e Palagianò
3. Le AC di Mottola, Palagianò e Palagianello non arrivano ai limiti comunali

Per risolvere tali criticità è stato necessario introdurre tratti di percorso aggiuntivi – rispetto a quanto individuato a scala del singolo comune – per permettere il raccordo tra percorsi di accessibilità interna (connessione reciproca) tra territori comunali contigui, e per permettere una buona accessibilità dall'esterno.

La Figura 2-3 mostra il grafo finale.

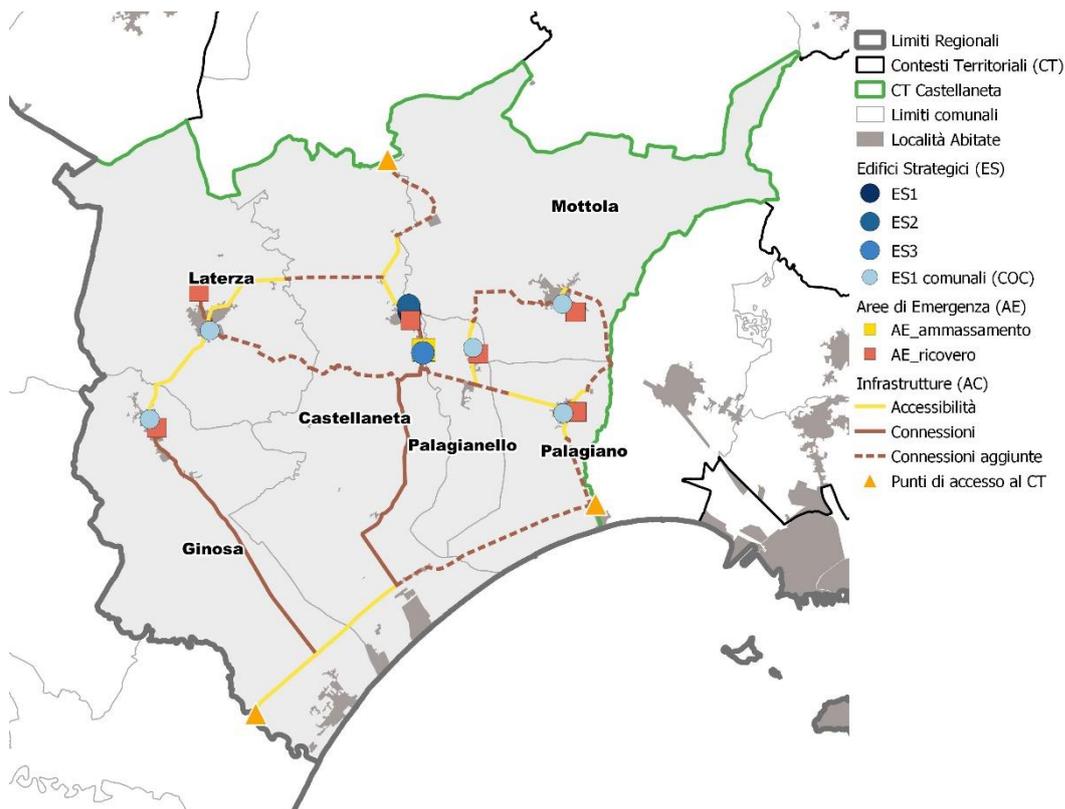


Figura 2-3 – Grafo CT Castellaneta

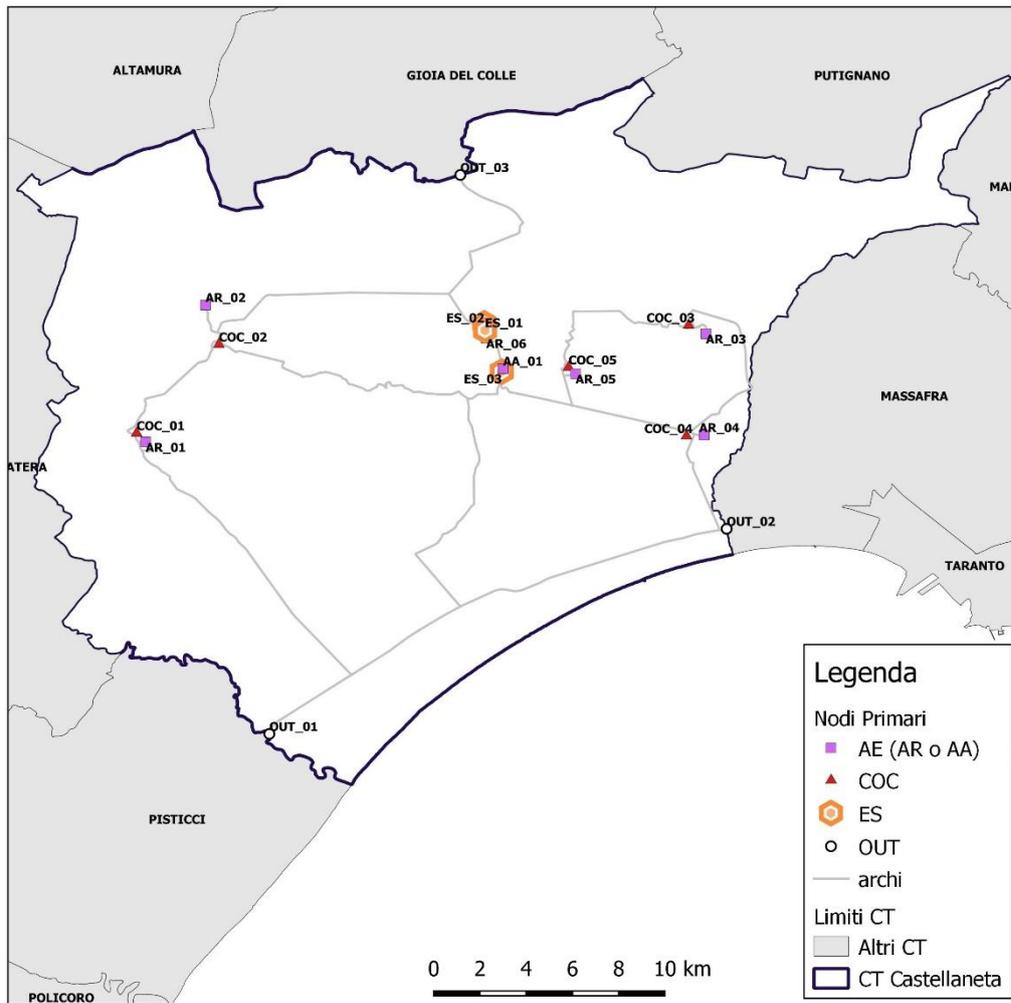
## 3 Le fasi del percorso di valutazione

### 3.1 Fase 1 – Il portafoglio dell’esposto

Il portafoglio dell’esposto è rappresentato dall’insieme degli oggetti che rappresentano il sistema a rete di gestione dell’emergenza strutturale del Contesto Territoriale ovvero:

- i tre edifici strategici ES fondamentali con funzione di coordinamento degli interventi (ES01), soccorso sanitario (ES02), intervento operativo (ES03);
- area di ammassamento (AA);
- aree di ricovero (AE) per ogni comune facente parte del Contesto Territoriale;
- edifici COC (COC) per ogni comune facente parte del Contesto Territoriale;
- punti di accesso al sistema di emergenza dai CT esterni (OUT);
- archi di connessione.

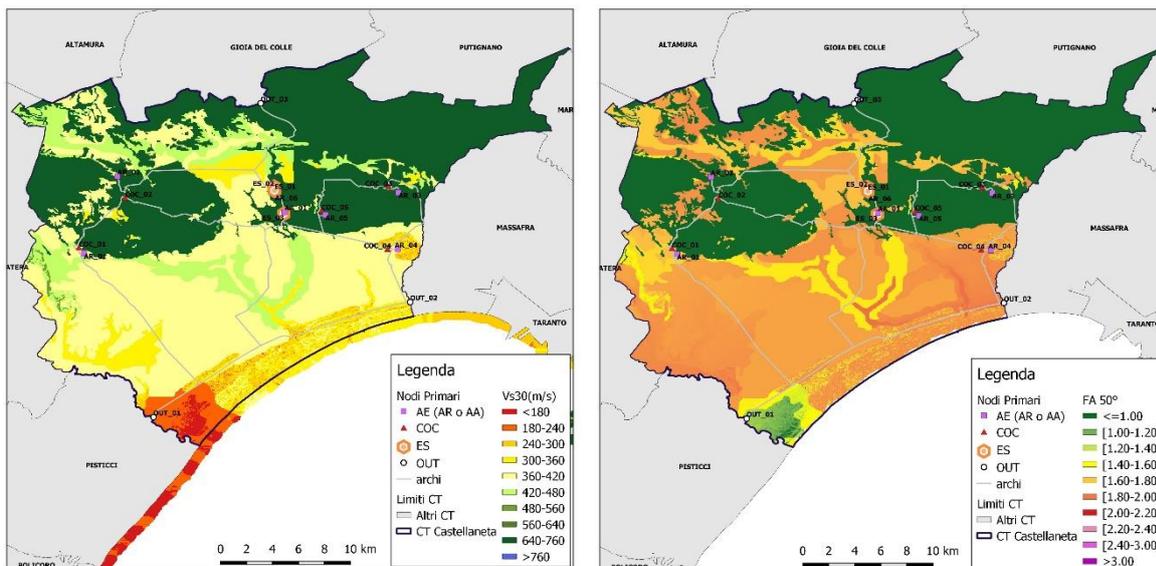
Di seguito si riporta l’immagine del portafoglio dell’esposto del sistema di gestione dell’emergenza del CT pilota.



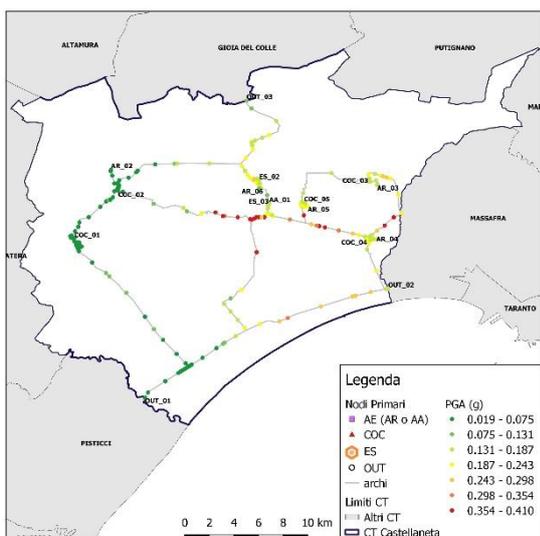
### 3.2 Fase 2 – La pericolosità specifica per i sistemi a rete

I sistemi a rete sono caratterizzati da esposti distribuiti spazialmente. Questo comporta che il calcolo della funzionalità dei singoli oggetti debba contemplare l'utilizzo di una pericolosità con scenari disaggregati. L'utilizzo di una pericolosità standard produrrebbe infatti una sovrastima delle perdite. Per tale motivo si utilizza una pericolosità stocastica per due periodi di ritorno 100 e 475 anni. Inoltre la pericolosità sismica di base (da zonazione ZS9 e tassi di sismicità da catalogo CPT104) viene amplificata per mezzo dei funzionali contenuti nel lavoro Falcone et al. 2021 al fine di considerare l'amplificazione stratigrafica.

In particolare ai nodi degli oggetti dell'esposto la misura di intensità specifica (PGA, PGV, ASI) viene amplificata con il fattore di amplificazione FA specifico in funzione del cluster geomorfologico, del livello di scuotimento previsto al bedrock con GMPE Bindi 2011 (ITA10) e del valore del  $V_{s30}$  ricavato da carta nazionale Mori et al., 2020. Di seguito si riportano le mappe di  $V_{s30}$  e FA sovrapposte al portafoglio dell'esposto.

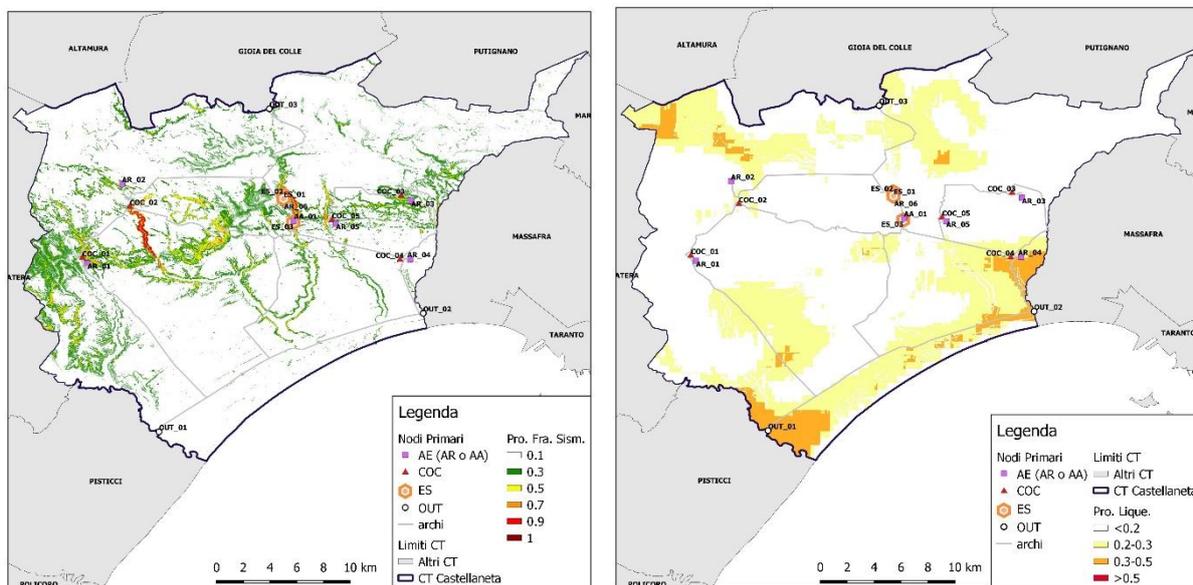


Per ogni singolo scenario prodotto da un'analisi "event based" (realizzata con il software Openquake) si calcolano le misure di intensità ai singoli oggetti. Di seguito un esempio di PGA amplificata ai nodi del sistema per uno degli scenari (in totale 170 scenari per  $T_r=100$  anni, 32 scenari per  $T_r=475$  anni).



Dal calcolo della PGV amplificata, si calcolano le probabilità di frana e liquefazione sismoindotta rispettivamente con i modelli di regressione logistica di Nowicki et al., 2018 e Zhu et al., 2017.

Si riporta di seguito un esempio di scenario di probabilità di frana sismoindotta a sinistra e di probabilità di liquefazione dinamica a destra calcolate per un singolo scenario. La probabilità varia tra 0 e 1.



### 3.3 Fase 3 – I percorsi ottimali

In questa fase vengono generati i percorsi stradali che definiscono i collegamenti tra gli elementi strutturali facenti parte della CLE di CT, andando a effettuare un'ottimizzazione sia in termini di efficienza stradale (lunghezze e tempi di percorrenza) che in termini di impedenze esterne fornite in input (e.g. delle impedenze correlate a pericolosità naturali presenti sul territorio).

A tale scopo è stato predisposto il tool softGOCT, un software che interfacciandosi direttamente con il database OpenStreetMap consente di scaricare automaticamente l'intera rete stradale dei CT di interesse e di automatizzare la maggior parte delle operazioni che portano alla definizione dei percorsi.

L'utilizzo del tool può essere sintetizzato in 5 fasi operative principali:

- 1) Importazione dei nodi strategici
- 2) Importazione delle CLE comunali (se presenti) e dei raster di impedenza
- 3) Generazione della matrice di connessione e dei percorsi con grado di ridondanza k
- 4) Selezione dei percorsi che ottimizzano le impedenze importate
- 5) Export del grafo e generazione di un report contenente i principali risultati di calcolo

#### 3.3.1 Importazione dei nodi strategici

In questa fase è possibile importare tramite file Excel le informazioni relative ai nodi strategici che fanno parte della CLE di CT, andando a fornire in input le seguenti informazioni fondamentali:

- Denominazione
- Descrizione
- Coordinate

La *denominazione* è un ID che va ad individuare in maniera univoca ogni nodo strategico e ne identifica la tipologia (e.g. ES\_1, COC\_2, AR\_2, ...), la *descrizione* è una stringa di testo che verrà associata all'elemento per rendere più agevole il riconoscimento degli oggetti all'interno del visualizzatore grafico del software, mentre le *coordinate* forniscono la posizione dell'elemento sul territorio.

A partire dalle coordinate fornite, il software provvede in automatico ad effettuare il download della rete di strade carrabili presenti all'interno del o dei CT interessati (qualora i nodi dovessero trovarsi in Contesti differenti verranno scaricate le reti stradali di tutti i CT coinvolti) e i nodi strategici importati verranno agganciati alla rete.

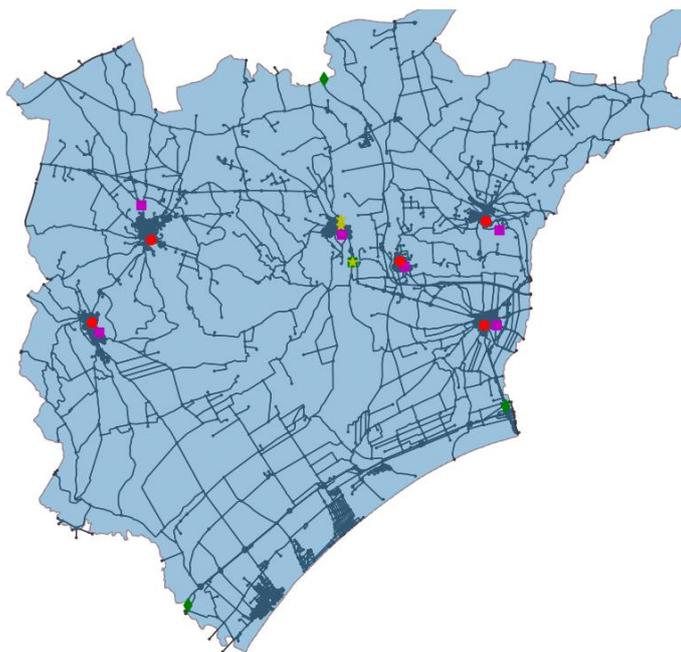


Figura 4: Scaricamento della rete stradale per il CT e aggancio dei nodi strategici

### 3.3.2 Importazione delle CLE comunali e dei raster di impedenza

In questa fase è possibile importare all'interno del software i raster di impedenza, ovvero delle informazioni spazializzate sul territorio delle quali si vuole tenere conto nella successiva fase di generazione dei percorsi ottimali.

Al momento dell'importazione, per ognuno dei raster selezionati il software va a effettuare un campionamento sui punti geometrici che compongono la geometria dei rami del grafo stradale, andando a calcolare il valore finale dell'impedenza di ogni ramo come la media ponderata dei valori campionati sulla sua geometria.

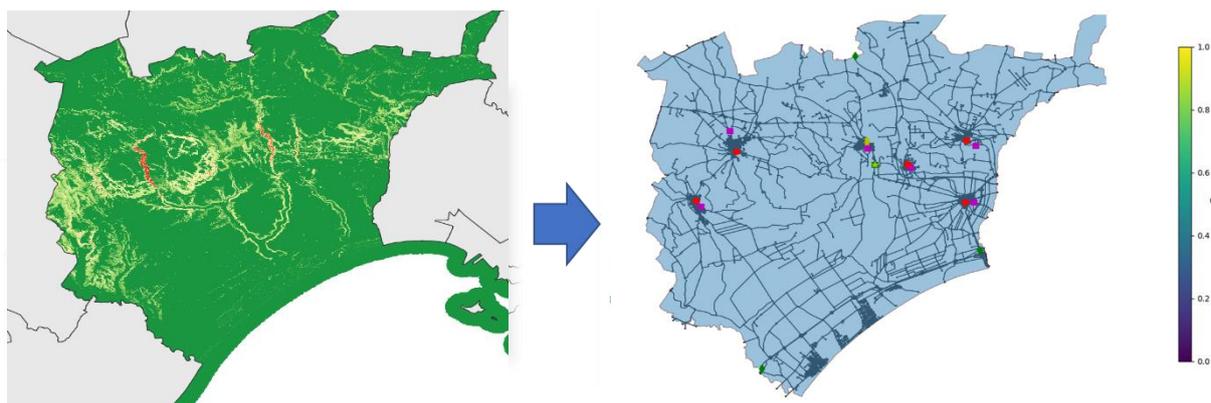


Figura 5: Importazione del raster di pericolosità e valorizzazione dei rami

Al termine di questa operazione, ognuno dei rami del grafo stradale risulterà valorizzato con dei nuovi attributi corrispondenti alle diverse impedenze importate.

Qualora fossero presenti delle CLE per alcuni dei comuni facenti parte del CT, è possibile procedere all'importazione diretta dei relativi Shapefile all'interno del tool. Al termine dell'operazione i rami stradali che fanno parte delle CLE verranno valorizzati con un apposito attributo che permetterà di distinguerli e di riconoscerli.

### 3.3.3 Generazione della matrice di connessione e dei percorsi con grado di ridondanza $k$

Una volta terminata la fase di import è possibile iniziare ad effettuare le prime operazioni all'interno del software.

Un elemento fondamentale propedeutico alla costruzione del grafo è la definizione di una *matrice di connessione*, ovvero una matrice che definisce quali nodi strategici della CLE di CT debbano essere collegati tra di loro, andando quindi a stabilire l'insieme delle origini e delle destinazioni.

Questa matrice può essere importata manualmente andandola a definire all'interno del file di input dei nodi strategici ma è anche possibile generarla automaticamente all'interno del software. In tal caso il software si baserà sull'ID del nodo strategico per individuarne la tipologia e costruirà la matrice secondo i criteri definiti dalla matrice delle adiacenze teorica, che possono essere sintetizzati come segue:

- L'edificio strategico ES\_1 e l'area di ammassamento AA vengono collegati a tutti gli altri nodi strategici
- Gli altri edifici strategici ES\_i verranno collegati a tutti gli altri ES e ai COC
- Il COC\_i verrà collegato a tutti gli ES e all'area di ricovero AR\_i (con lo stesso pedice)

Al termine dell'operazione la matrice generata può essere esportata su un file Excel per essere verificata e, in caso di necessità, modificata e importata nuovamente all'interno del tool.

J	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF				
1	Denominazione	ES_02_2	COC_1	AR_1	COC_2	AR_2	COC_3	AR_3	COC_4	AR_4	COC_5	AR_5	COC_6	AR_6	COC_7	AR_7	COC_8	AR_8	COC_9	AR_9	COC_10	AR_10	ES_02	COC_11	AR_11	COC_12	AR_12	ES_03	ES_02_3	ES_03	AR_13	AA_01				
2	ES_02_2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
3	COC_1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
4	AR_1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
5	COC_2	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	AR_2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	COC_3	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	AR_3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9	COC_4	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	AR_4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	COC_5	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	AR_5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	COC_6	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	AR_6	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
15	COC_7	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	AR_7	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	COC_8	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	AR_8	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	COC_9	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	AR_9	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	COC_10	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	AR_10	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	ES_02	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	COC_11	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	AR_11	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	COC_12	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	AR_12	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	ES_01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
29	ES_02_3	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	ES_03	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	AR_13	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	AA_01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Figura 6: Matrice di connessione esportata da softGOCT

Una volta definita la matrice di connessione è possibile andare a generare i percorsi ridondanti che collegano tutte le origini e le destinazioni.

In questa fase, il software calcola automaticamente i  $k$  percorsi più brevi e i  $k$  percorsi più veloci che collegano tutte le origini e le destinazioni coerentemente con quanto specificato dalla matrice di connessione. Il numero massimo  $N_{p,max}$  di percorsi ridondanti generato in questa fase risulta pari a:

$$N_{p,max} = (2 * k)^m$$

dove  $k$  è il grado di ridondanza scelto e  $m$  rappresenta il numero di coppie origine-destinazione che devono essere collegate tra loro. Il grado di ridondanza  $k$  può essere scelto arbitrariamente prima dell'inizio dell'analisi.

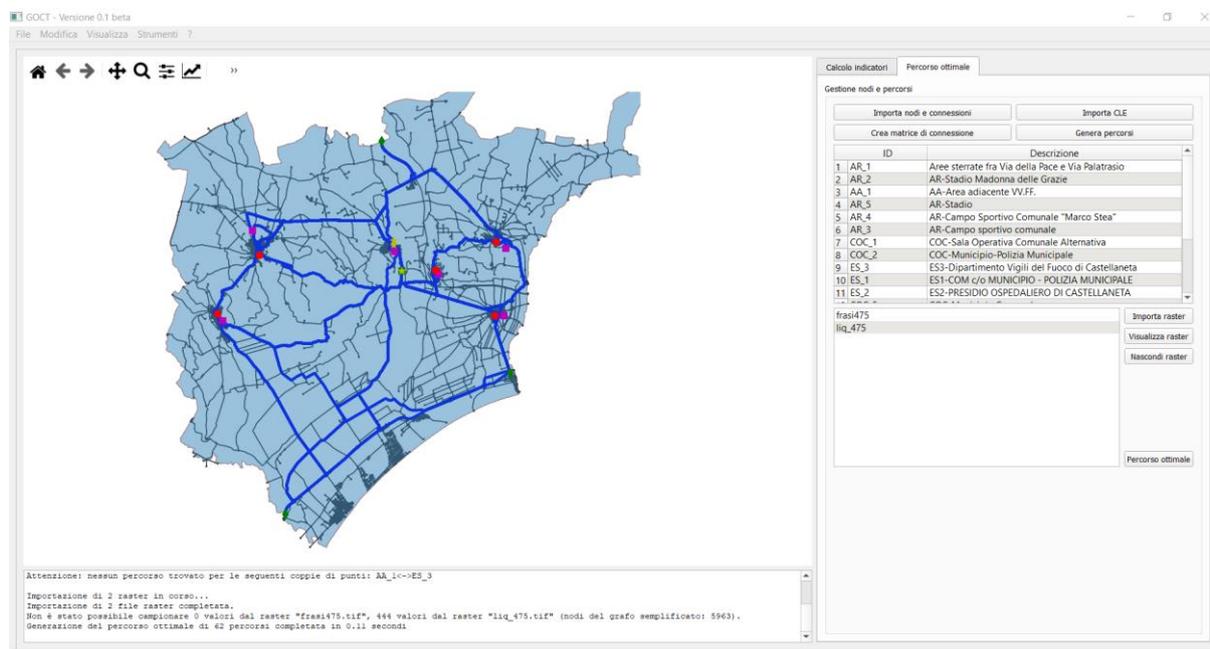


Figura 7: Grafo dei percorsi ridondanti generato con grado di ridondanza  $k=3$

Il calcolo dei percorsi ridondanti può essere effettuato utilizzando 3 livelli di approccio nei confronti delle CLE comunali eventualmente importate nel programma:

- Approccio a priorità assoluta di CLE
- Approccio a priorità parziale di CLE
- Approccio a priorità nulla di CLE

Se i percorsi ridondanti vengono generati utilizzando un approccio a *priorità assoluta di CLE* il software cercherà di collegare le origini e le destinazioni utilizzando, dove possibile, i soli rami appartenenti alla CLE. Scegliendo invece l'approccio a *priorità parziale di CLE* il software collega le origini e le destinazioni andando a privilegiare i rami appartenenti alle CLE comunali, ma in maniera meno stringente rispetto al criterio precedente. In ultimo, utilizzando un approccio a *priorità nulla di CLE*, come suggerito dal nome verrà effettuata una generazione secondo un criterio puramente di ottimizzazione di lunghezze e tempi di percorrenza, ignorando l'informazione relativa all'appartenenza o meno dei rami alle CLE comunali.

Il software permette inoltre di visualizzare l'incremento di costo, inteso come incremento di lunghezza e di tempo di percorrenza, che deriva dall'utilizzo degli approcci a priorità assoluta e parziale di CLE rispetto ad un utilizzo a priorità nulla di CLE (ottimizzazione pura). In base ai risultati, la scelta finale dell'approccio da utilizzare è demandata all'utilizzatore.

### 3.3.4 Selezione dei percorsi che ottimizzano le impedenze selezionate

Una volta generati i percorsi ridondanti, il software permette di andare a determinare il grafo ottimale nei confronti delle impedenze importate andando a individuare per ogni coppia origine-destinazione il percorso che minimizza il valore medio delle impedenze sui rami che lo compongono. Considerando il  $k$ -esimo percorso tra origine e destinazione, il suo valore di score  $S_k$  nei confronti delle impedenze sarà pari a:

$$S_k = \frac{\sum_{i=1}^{n_k} l_i \bar{l}_i}{\sum_{i=1}^{n_k} l_i}$$

dove  $n_k$  è il numero di rami che compongono il  $k$ -esimo percorso,  $\bar{l}_i$  e  $l_i$  sono rispettivamente l'impedenza media e la lunghezza del ramo  $i$ -esimo.

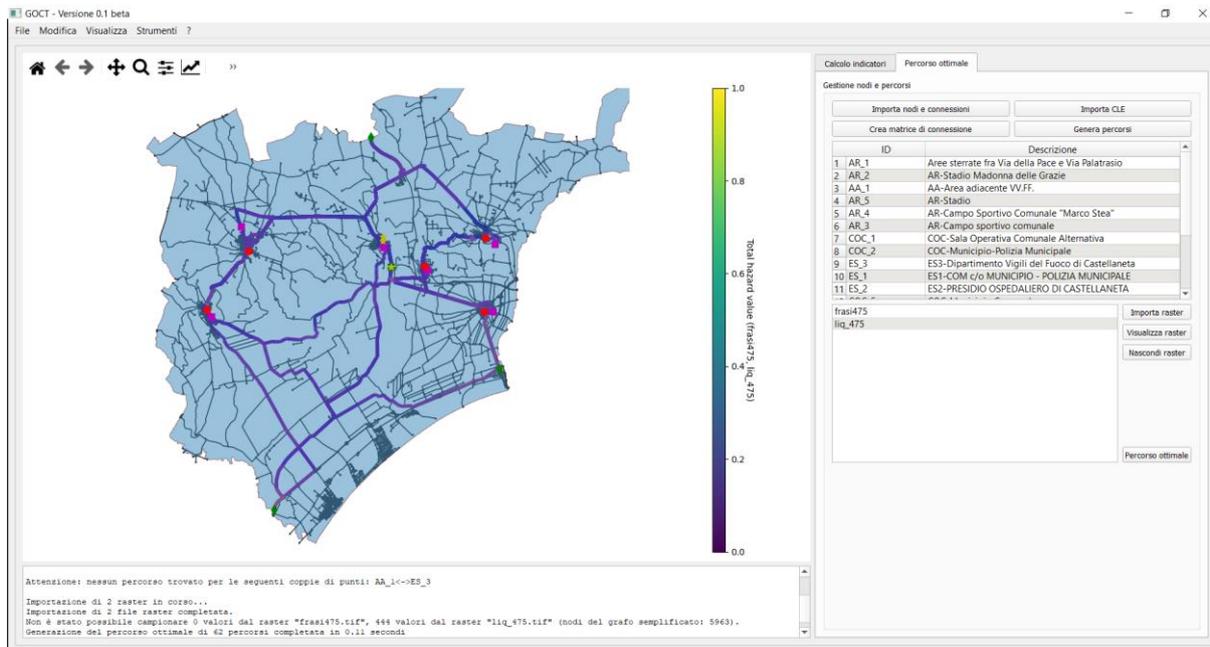


Figura 8: Percorso ottimale generato minimizzando le impedenze medie dei rami

Al termine delle operazioni, il grafo generato potrà essere esportato in formato Shapefile o Geopackage per essere poi verificato ed eventualmente modificato in un software GIS per un successivo post-processing.

La procedura di generazione dei percorsi ottimali è stata sperimentata sul CT di Castellana. Le impedenze considerate sono relative a pericolosità naturali presenti sul territorio, in particolare dovute ad effetti di tipo cosismico. Per la sperimentazione sono state considerate come impedenze i valori di probabilità di accadimento di frane sismoindotte e di liquefazioni dinamiche, ottenute rispettivamente con il modello di Nowicki et al (2018) e di Zhu et al (2017). Per entrambe le pericolosità è stato considerato un evento sismico con tempo di ritorno pari a 475 anni.

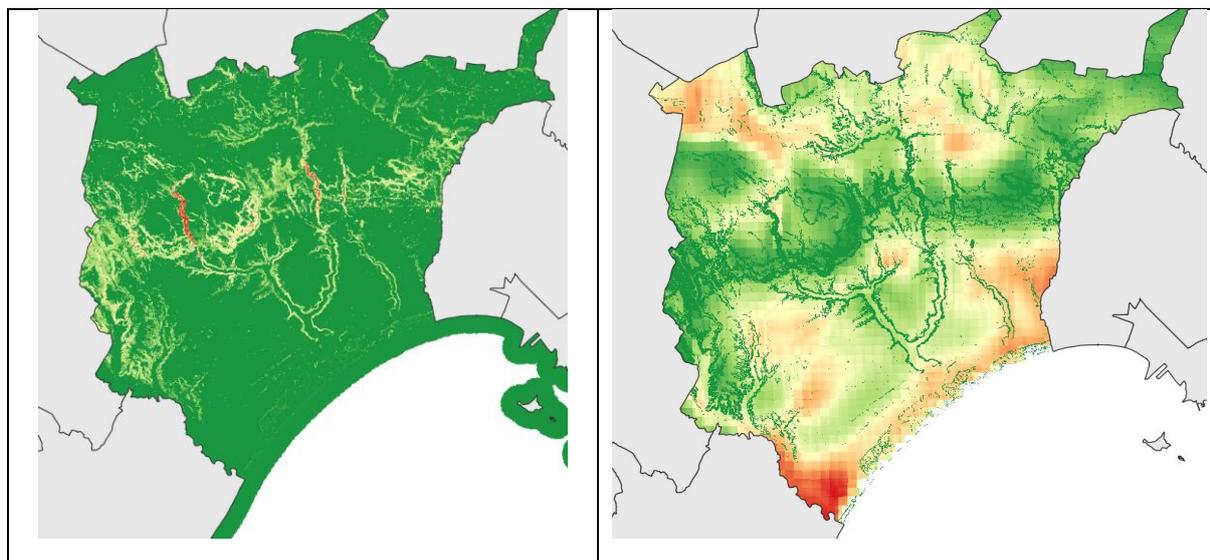


Figura 9: raster di impedenza per le frane sismoindotte (sx) e per le liquefazioni dinamiche (dx)

Si riporta nel seguito l'elenco dei 18 nodi strategici considerati nell'analisi:

Denominazione	comune	Descrizione	Lon	Lat
AR_1	GINOSA	Aree sterrate fra Via della Pace e Via Palatrasio	16.762323	40.573435
AR_2	LATERZA	AR-Stadio Madonna delle Grazie	16.792746	40.643642
AA_1	CASTELLANETA	AA-Area adiacente VV.FF.	16.944065	40.611059
AR_5	PALAGIANELLO	AR-Stadio	16.980956	40.608399
AR_4	PALAGIANO	AR-Campo Sportivo Comunale "Marco Stea"	17.046338	40.577008
AR_3	MOTTOLA	AR-Campo sportivo comunale	17.04723	40.628904
COC_1	GINOSA	COC-Sala Operativa Comunale Alternativa	16.757714	40.577969
COC_2	LATERZA	COC-Municipio-Polizia Municipale	16.799553	40.62343
ES_3	CASTELLANETA	ES3-Dipartimento Vigili del Fuoco di Castellaneta	16.943358	40.609499
ES_1	CASTELLANETA	ES1-COM c/o MUNICIPIO - POLIZIA MUNICIPALE	16.934854	40.630682
ES_2	CASTELLANETA	ES2-PRESIDIO OSPEDALIERO DI CASTELLANETA	16.934461	40.634216
COC_5	PALAGIANELLO	COC-Municipio Comunale	16.977339	40.611635
COC_4	PALAGIANO	COC-Polizia Municipale	17.037314	40.576513
COC_3	MOTTOLA	COC-Polizia Municipale	17.038392	40.633311
AR_6	CASTELLANETA	AR-Campo sportivo comunale De Bellis	16.93547	40.626593
OUT_1			16.825214	40.423878
OUT_2			17.052843	40.532112
OUT_3			16.92256	40.71046

Al termine dell'importazione dei nodi strategici è stato generato il grafo della rete stradale del CT, costituito da un totale di 5963 nodi e di 14778 rami.

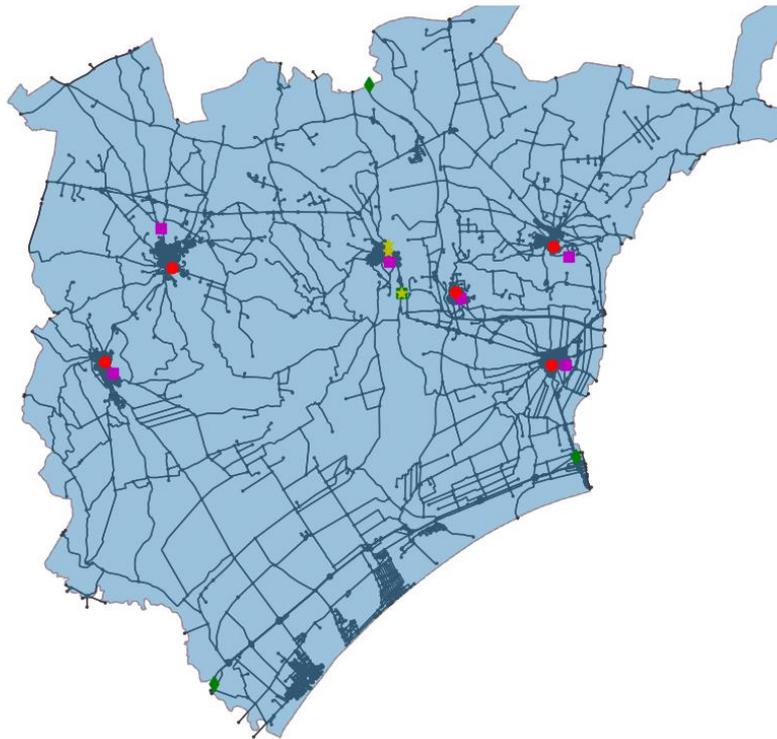


Figura 10: Grafo stradale generato per il CT di Castellana e sovrapposizione dei nodi strategici importati

Per la generazione dei percorsi ridondanti è stato scelto un approccio a priorità nulla di CLE, andando quindi ad ottimizzare le lunghezze e i tempi di percorrenza senza tenere conto dell'appartenenza dei rami alle CLE comunali.

Al termine dell'operazione sono stati generati 362 percorsi con un tempo di elaborazione pari a 112 secondi.

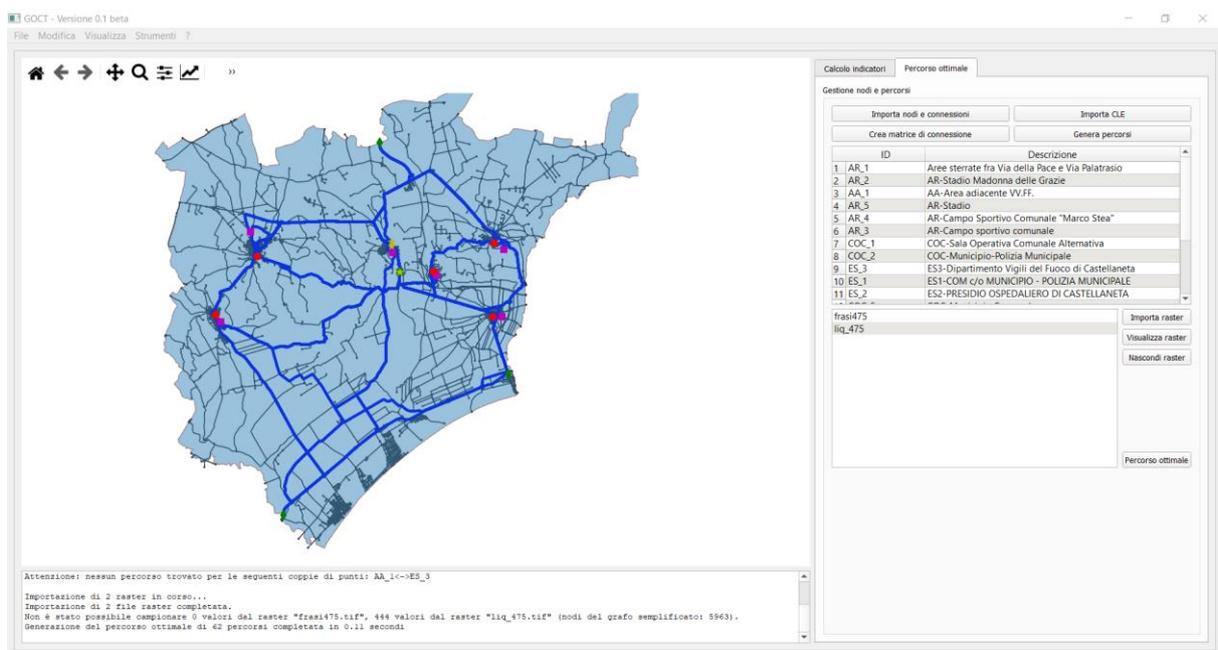


Figura 11: Percorsi ridondanti tra i nodi strategici del CT di Castellana (approccio a priorità nulla di CLE)

Infine è stato generato il grafo ottimale andando a selezionare i percorsi tra le origini e le destinazioni caratterizzati da uno score migliore, ovvero con il minor valore di impedenza media. Il grafo finale viene mostrato con una color bar coerente con il valore di impedenza media residua sui rami appartenenti al grafo ottimale.

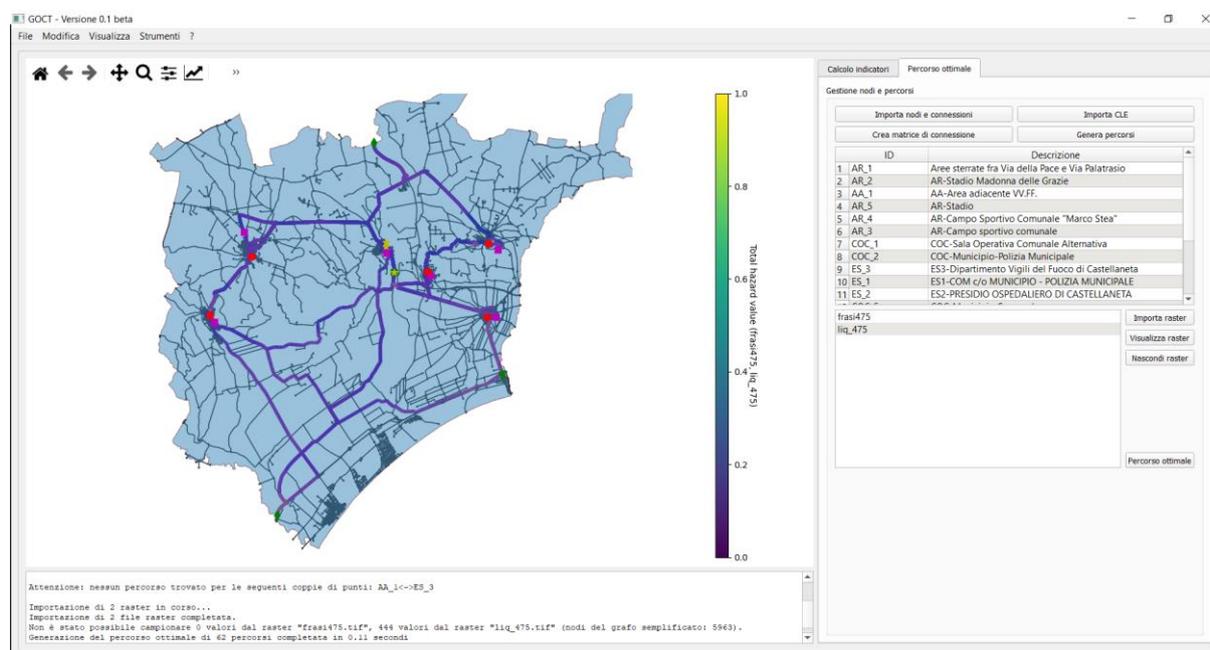


Figura 12: Grafo ottimale per il CT di Castellana Grotte

Al termine dell'operazione è stato generato il grafo finale composto da 62 percorsi totali e con una lunghezza complessiva dei rami stradali coinvolti pari a 198.49 Km.

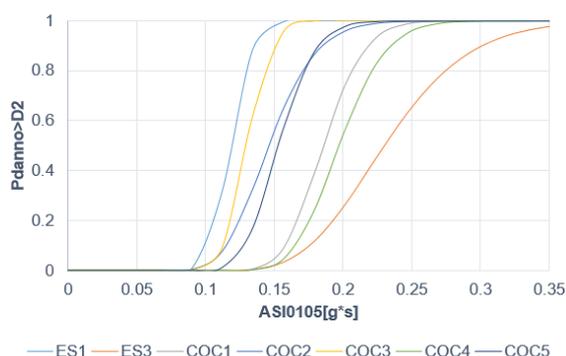
### 3.4 Fase 4 – La valutazione di operatività (IOCT)

Per la valutazione di operatività degli edifici si utilizzano i seguenti modelli:

-curve di fragilità da modello SMAV per la valutazione di operatività degli edifici strategici fondamentali; in assenza di queste si utilizzano modellazioni numeriche più o meno avanzate (ad esempio con software 3DMACRO o modelli beam-like). In assenza di modellazioni numeriche si utilizzano curve di fragilità di letteratura.

Di seguito si riportano le curve di fragilità da modello SMAV per gli ES fondamentali e i COC espresse in termini di ASI in ascissa e probabilità di superamento del danno D2 in ordinata.

Curve di fragilità ottenute con misure di vibrazione (POLIBA) e modello SMAV



- 1.ES1: Municipio Castellaneta
- 2.ES3: VVF Castellaneta
- 3.COC1 Ginosa
- 4.COC2 Laterza
- 5.COC3 Mottola
- 6.COC4 Palagiano
- 7.COC5 Palagianello

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

\*ES2 Ospedale di Castellaneta: non è stato possibile effettuare le misure causa emergenza COVID-19

-curve di fragilità di letteratura per la valutazione della probabilità di crollo degli edifici residenziali interferenti da CLE. Da questa si calcola la probabilità di operatività dell'infrastruttura di connessione stradale.

Una volta calcolate le probabilità di operatività dei singoli oggetti (nodi e archi) si valutano gli indici parziali delle famiglie di oggetti e l'indice globale IOCT. Di seguito i risultati per  $T_r=475$  anni (32 scenari).

### RISULTATI $T_r=475$ anni

### Legenda indici e classi

Componenti del sistema di gestione dell'emergenza				CLASSE	INDICE	Risultati componenti
	ES fondamentali	0.78	B	A	0.8 - 1.0	
	Area di ammassamento	1.00	A	B	0.6 - 0.8	
	Edifici COC	0.86	A	C	0.4 - 0.6	
	Aree di ricovero	1.00	A	D	0.2 - 0.4	
	Connessioni	0.87	A	E	0 - 0.2	
	Out	1.00	A			

Contesto Territoriale			COCT	IOCT	Risultato globale	
		0.59	B	A		0.60 - 1.0
				B		0.35 - 0.6
				C		0.15 - 0.35
				D		0.05 - 0.15
				E		0 - 0.05

## 3.5 Fase 5 – La programmazione degli interventi con analisi benefici/costi

In funzione dei risultati degli indici delle singole componenti ravvisiamo le seguenti criticità:

- i. Criticità 1: ES fondamentali con riferimento al COM di Castellaneta.

Si interviene simulando gli interventi con i modelli di miglioramento riportati nel documento A4.1. Per ogni criticità riscontrata si valuta:

-il beneficio del modello di miglioramento in termine di passaggio di classe della singola componente associando un costo economico di massima tramite una classe di costo;

-l'eventuale beneficio in termini di passaggio di classe globale COCT.

Hp	Beneficio in termini di passaggio di classe singole componenti	Beneficio in termini di passaggio di classe globale <b>COCT</b>	Classe di costo associata
Hp1	SI	SI (B→A)	

CLASSI DI COSTO



Gli interventi vengono simulati ed economicamente stimati in relazione alle criticità riscontrate a Tr= 475 anni. In questo caso non è necessario intervenire per Tr=100 anni.

**Tr=475 anni**

**ANTE**



**POST**

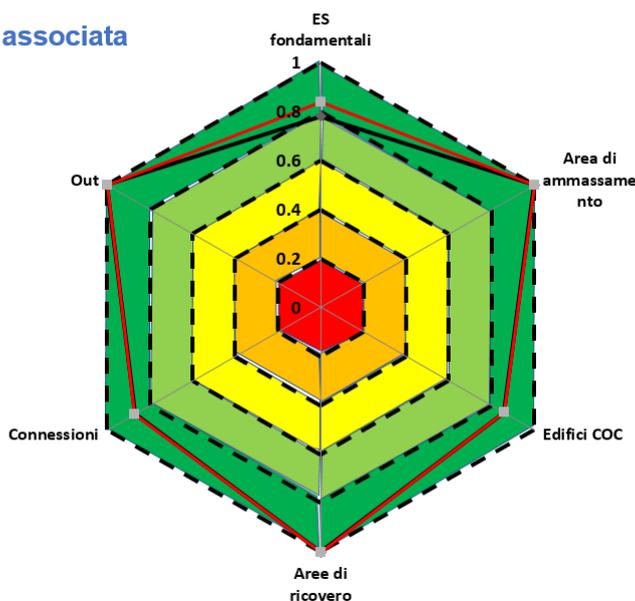
		INDICE	CLASSE
Componenti del sistema di gestione dell'emergenza	CR1 ES fondamentali	0.78	B
	Area di ammassamento	1.00	A
	Edifici COC	0.86	A
	Aree di ricovero	1.00	A
	Connessioni	0.87	A
	Out	1.00	A
Contesto Territoriale		IOCT 0.59	COCT B

		INDICE	CLASSE
Componenti del sistema di gestione dell'emergenza	ES fondamentali	0.84	A
	Area di ammassamento	1.00	A
	Edifici COC	0.86	A
	Aree di ricovero	1.00	A
	Connessioni	0.87	A
	Out	1.00	A
Contesto Territoriale		IOCT 0.65	COCT A

Si riportano i diagrammi a radar per ante e post intervento.

**Analisi benefici/costi associata al miglioramento**

**Tr=475 anni**



Rappresentazione grafica degli indici delle componenti

-ANTE  
-POST