



# PON GOVERNANCE 2014-2020

## Rischio Sismico e Vulcanico

Attività CAL\_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 Calabria

Versione 1.3

Pubblicato in data 24/01/2022



Consiglio Nazionale delle Ricerche





# PON GOVERNANCE 2014-2020

## Rischio Sismico e Vulcanico

Attività CAL\_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 Calabria

**Versione 1.3**

Pubblicato in data 24/01/2022



UNIONE EUROPEA  
Fondo Sociale Europeo  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Agenzia per la  
Coesione Territoriale



GOVERNANCE  
e CAPITALE  
STRUZIONALE  
2014-2020



PROTEZIONE CIVILE  
Presidenza del Consiglio dei Ministri  
Dipartimento della Protezione Civile



Consiglio Nazionale delle Ricerche



IGAG

Istituto di  
Geologia Ambientale  
e Geoingegneria

## 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 Bramerini, Angelo Corazza, Luigi D'Angelo, Fausto Guzzetti, Francesca Romana Paneforte, Paola Stefanelli

#### Unità operativa rischi

Paola Bertuccioli, Sergio Castenetto, Stefano Ciolfi, 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 Castigliego, Valter Germani, Maria Penna

#### Unità amministrativa e finanziaria

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

#### Hanno fatto parte della struttura

Angelo Borrelli, Gabriella Caruncho, 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 Maggiò, Celestino Rampino; **Puglia:** Tiziana Bisantino (coordinatore), Carlo Caricasole, Domenico Donvito, Franco Intini, Teresa Mungari, Fabrizio Panariello, Francesco Ronco, Zoida Taflaj; **Sicilia:** Giuseppe Basile, Antonio Brucculeri, Aldo Guadagnino, Maria Nella Panebianco, Antonio Torrisi

#### Sono stati referenti

**Basilicata:** Alberto Caivano; **Calabria:** Giuseppe Iiritano, 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 Bramerini

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

**Referente rischio vulcanico:** Stefano Ciolfi

**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

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

### CAL F 4.2 Supporto all'applicazione del modello valutativo dell'efficacia degli interventi per la riduzione del rischio nell'ambito dei diversi Contesti Territoriali

**Responsabile DPC:** Daniele Spina

**Responsabile CNR-IGAG:** Federico Mori

#### A cura di

Andrea Gena, Amerigo Mendicelli, Angelo Gigliotti, Attilio Porchia, Vitantonio Vacca, Giuseppe Occhipinti, Gianluca Acunzo.

versione colophon 06/12/2021

# Sommario

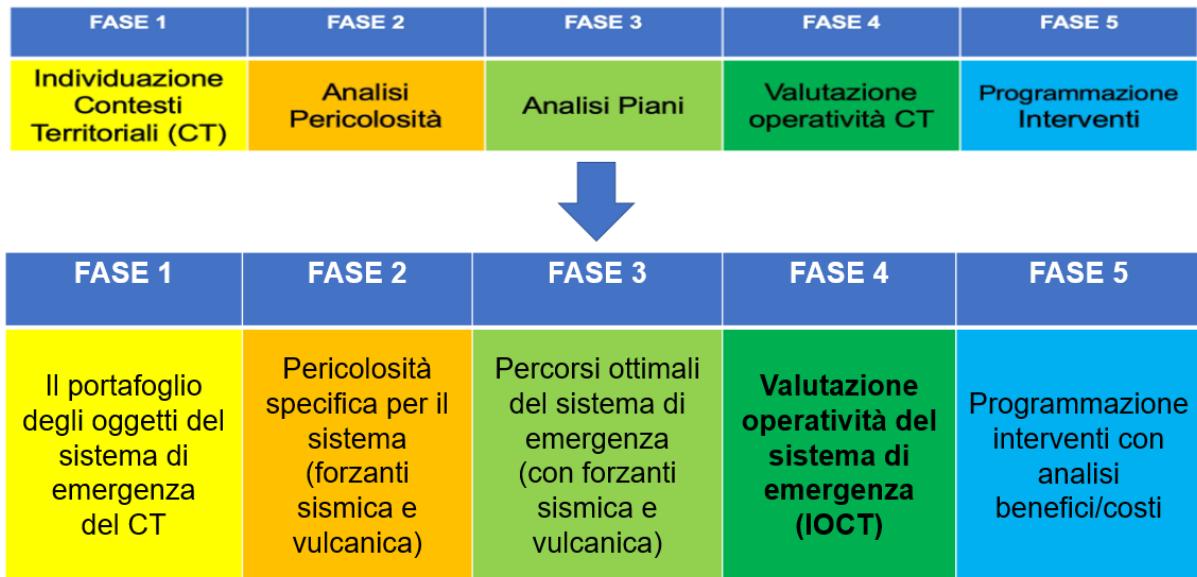
---

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Le fasi del percorso di valutazione</b>	<b>6</b>
2.1	<i>Fase 1 – Il portafoglio dell'esposto</i>	6
2.2	<i>Fase 2 – La pericolosità specifica per i sistemi a rete</i>	7
2.3	<i>Fase 3 – I percorsi ottimali</i>	9
2.3.1	Importazione dei nodi strategici	9
2.3.2	Importazione delle CLE comunali e dei raster di impedenza	10
2.3.3	Generazione della matrice di connessione e dei percorsi con grado di ridondanza $k$	11
2.3.4	Selezione dei percorsi che ottimizzano le impedenze selezionate	13
2.4	<i>Fase 4 – La valutazione di operatività (IOCT)</i>	17
2.5	<i>Fase 5 – La programmazione degli interventi con analisi benefici/costi</i>	18
<b>3</b>	<b>Appendice II grafo ottimale del CT di Catanzaro</b>	<b>21</b>

## 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 Cariati della Regione Calabria 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.

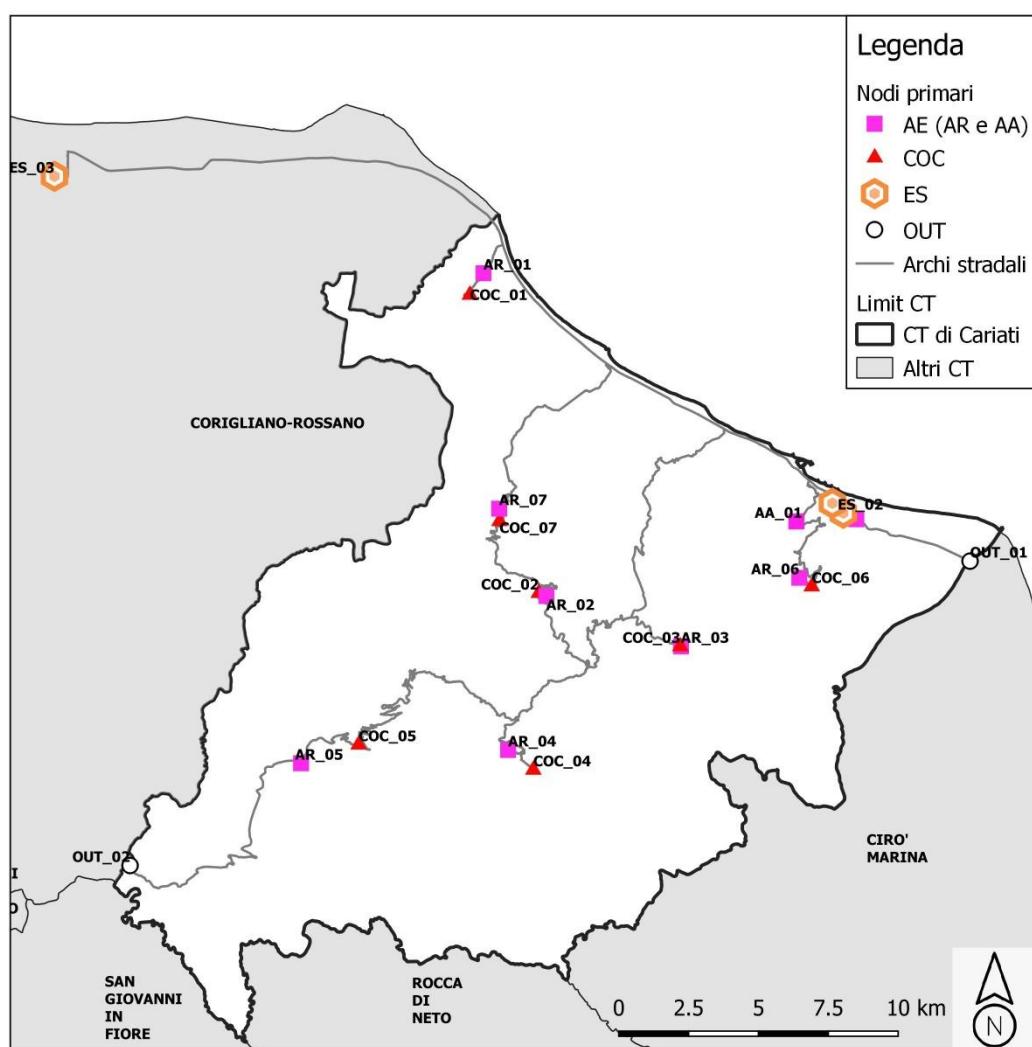
## 2 Le fasi del percorso di valutazione

### 2.1 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.

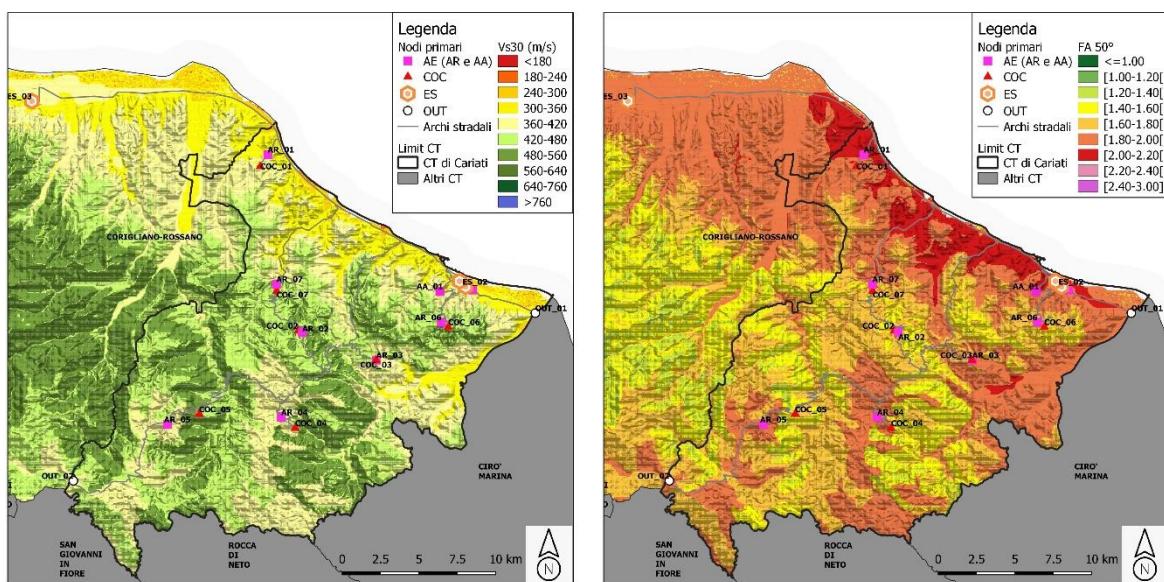
Di seguito si riporta l'immagine del portafoglio dell'esposto del sistema di gestione dell'emergenza del CT pilota.



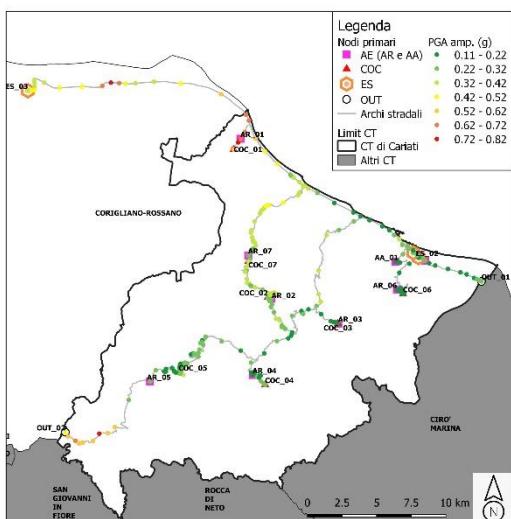
## 2.2 Fase 2 – La pericolosità specifica per i sistemi a rete

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 CPTI04) 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 Vs<sub>30</sub> ricavato da carta nazionale Mori et al., 2020. Di seguito si riportano le mappe di Vs<sub>30</sub> e FA sovrapposte al portafoglio dell'esposto.

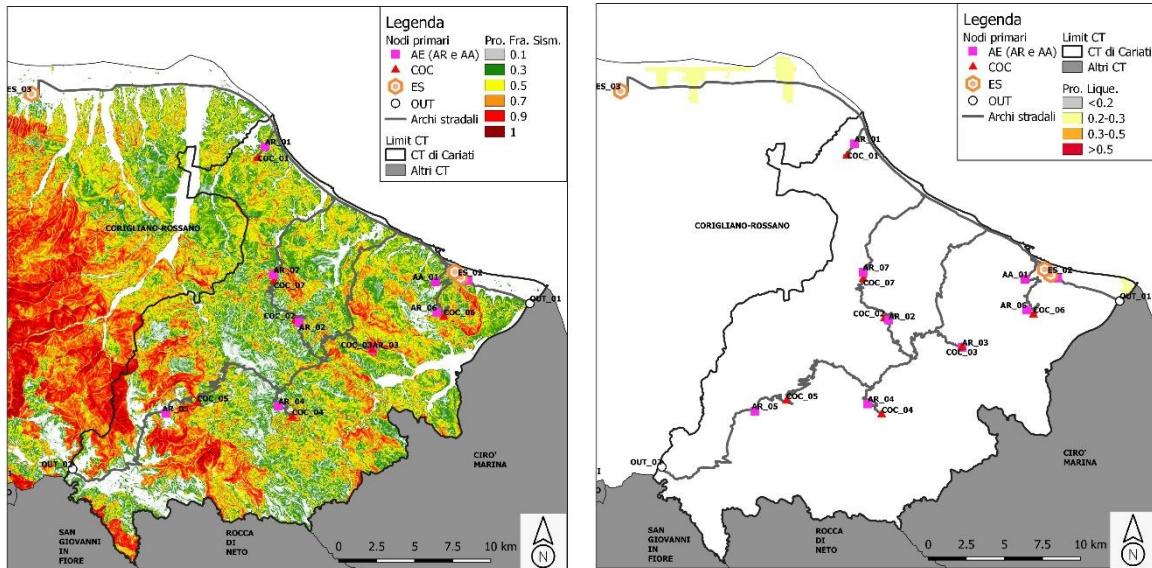


Per ogni singolo scenario prodotto da un'analisi "event based" (realizzata con il software Openquake) si calcolano le misure di intensità ai singoli oggetti. Di seguito un esempio di PGA amplificata ai nodi del sistema per uno degli scenari (in totale 144 scenari per Tr=100 anni, 44 scenari per Tr=475 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.



## 2.3 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

### 2.3.1 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, ecc.), 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.

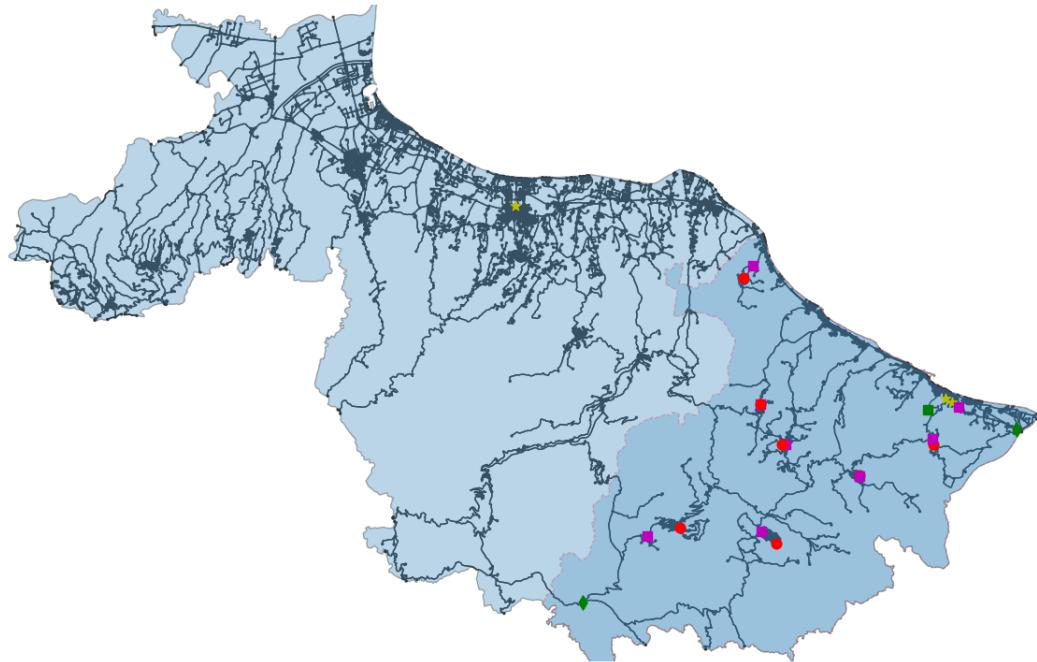


Figura 1: Scaricamento della rete stradale per il CT e aggancio dei nodi strategici

### 2.3.2 Importazione delle CLE comunalni 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.

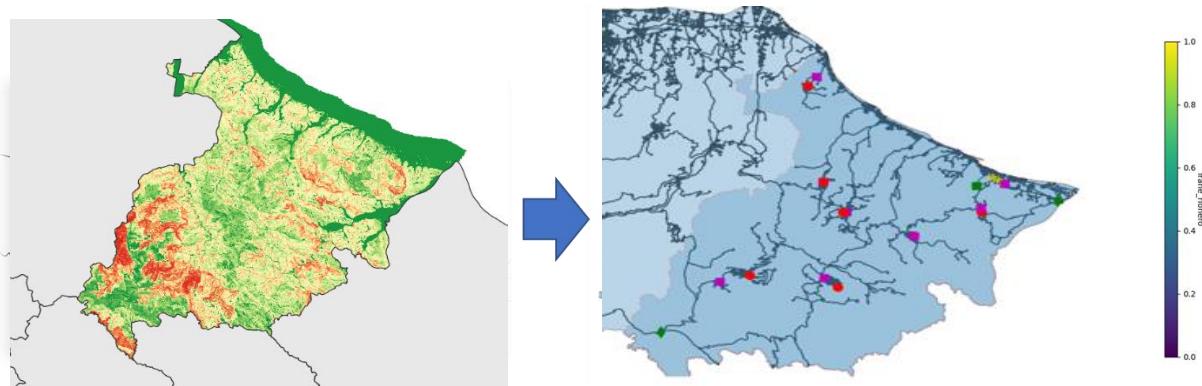


Figura 2: Importazione del raster di pericolosità e valorizzazione dei rami

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.

### 2.3.3 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.

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_01	ES_02_3	ES_03	AR_13	AA_01
2 EDIFICI_2	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0		
3 COC_4	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	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	1	0	1	1	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	
6 AR_2	0	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	
7 COC_3	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	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	
9 COC_4	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	
10 AR_4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	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	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
12 AR_5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	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	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	
14 AR_6	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
15 COC_7	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
16 AR_7	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	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	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	
18 AR_8	0	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	0	0	0	
19 COC_9	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	1	1	1	0	
20 AR_9	0	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	1	0	0	0	
21 AR_10	1	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	
22 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	1	1	1	0	
23 ES_02	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	
24 COC_15	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	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	1	0	0	0	0	1	1	1	0	
26 COC_12	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	1	1	1	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	1	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	
29 ES_02_3	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0	
30 ES_03	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	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	1	1	1	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	

Figura 3: 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.

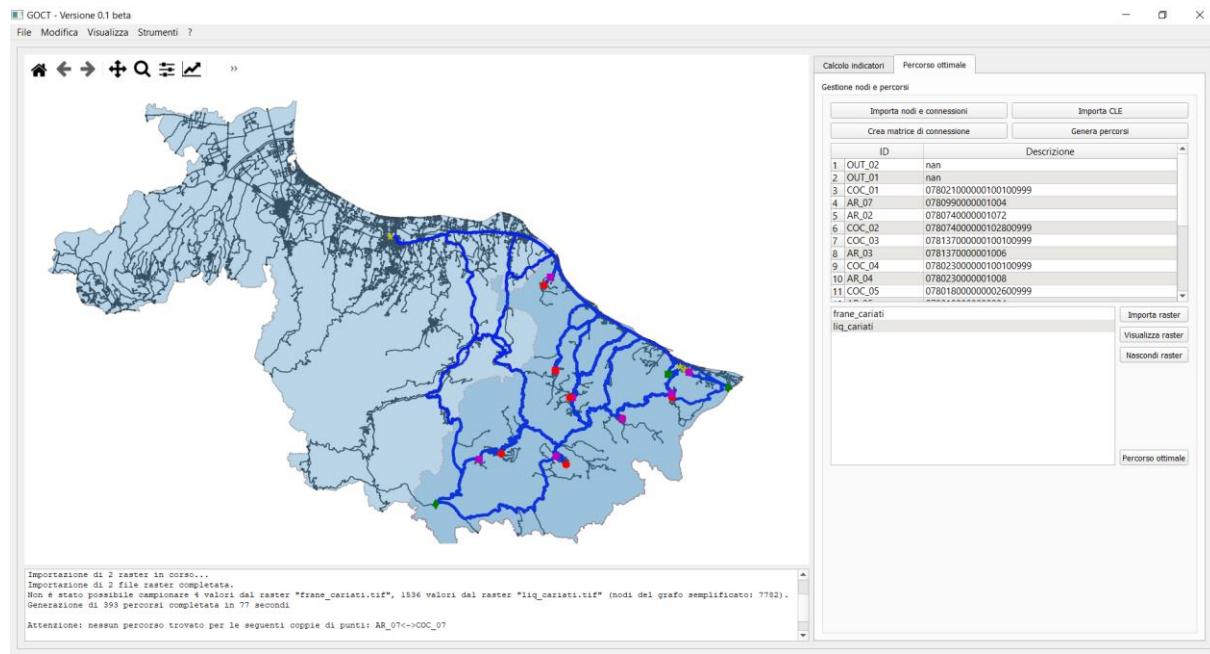


Figura 4: Grafo dei percorsi ridondanti generato con grado di ridondanza  $k=3$

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.

### 2.3.4 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:

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

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

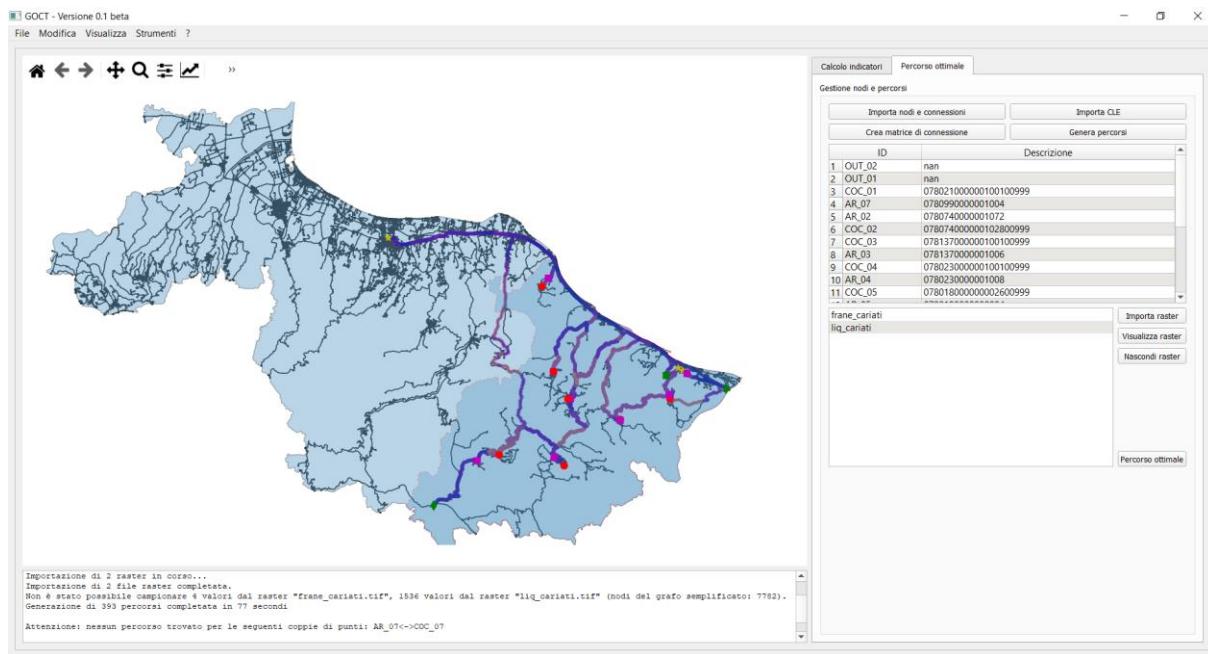


Figura 5: Percorso ottimale generato minimizzando le impedenze medie dei rami

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 pilota di Cariati. 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.

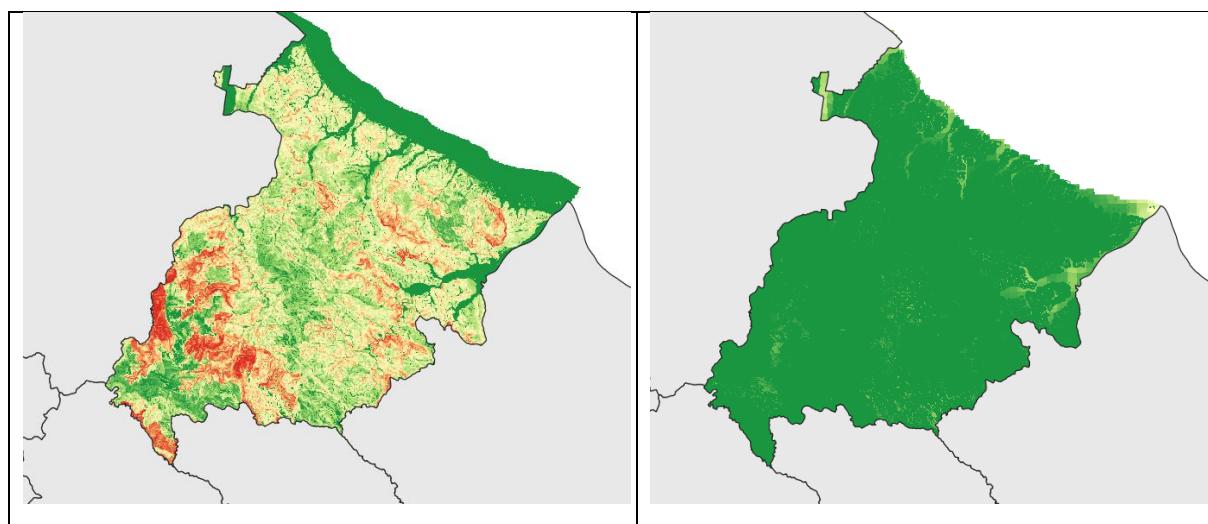


Figura 6: raster di impedenza per le frane sismoindotte (sx) e per le liquefazioni dinamiche (dx)

Si riporta nel seguito l'elenco dei 21 nodi strategici considerati nell'analisi:

<b>Lon</b>	<b>Lat</b>	<b>Id</b>	<b>Denominazione</b>	<b>PRO_COM</b>	<b>comune</b>
16.659259	39.380571	1	OUT_02	78018	Bocchigliero
17.007487	39.474481	2	OUT_01	78025	Cariati
16.805157	39.562411	3	COC_01	78021	Calopezzati
16.815546	39.493313	4	AR_07	78099	Pietrapaola
16.83445	39.464839	5	AR_02	78074	Mandatoriccio
16.83132	39.465828	6	COC_02	78074	Mandatoriccio
16.889715	39.447713	7	COC_03	78137	Scala Coeli
16.889984	39.447721	8	AR_03	78137	Scala Coeli
16.827561	39.408897	9	COC_04	78023	Campana
16.817252	39.41545	10	AR_04	78023	Campana
16.755161	39.418109	11	COC_05	78018	Bocchigliero
16.731103	39.4125	12	AR_05	78018	Bocchigliero
16.94488	39.46611	13	COC_06	78147	Terravecchia
16.939784	39.469004	14	AR_06	78147	Terravecchia
16.939078	39.487186	15	AA_01	78025	Cariati
16.954204	39.492791	16	ES_01	78025	Cariati
16.95865	39.489538	17	ES_02	78025	Cariati
16.964035	39.487473	18	AR_08	78025	Cariati
16.815599	39.489261	19	COC_07	78099	Pietrapaola
16.810994	39.569292	20	AR_01	78021	Calopezzati
16.633049	39.603186	21	ES_03	78108	Rossano

Poiché uno dei nodi strategici si trova all'interno di un CT adiacente (Corigliano-Rossano), al termine dell'importazione dei nodi strategici è stato generato il grafo della rete stradale per entrambi i CT di Cariati e di Corigliano-Rossano. Il grafo finale è costituito da un totale di 7782 nodi e di 18510 rami.

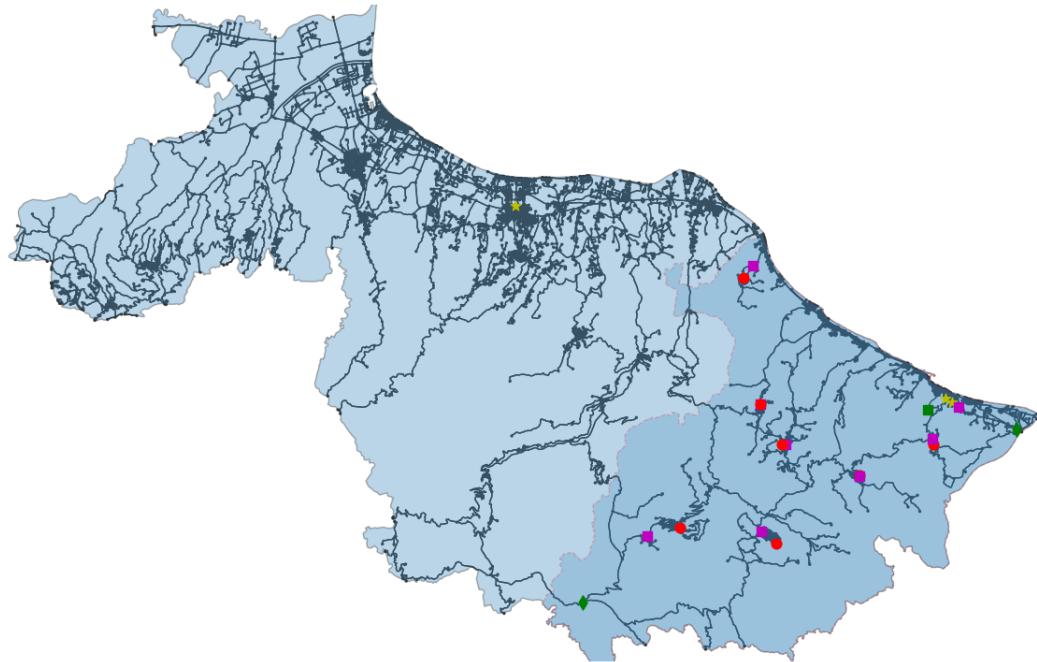


Figura 7: Grafo stradale generato per i CT di Cariati e Corigliano-Rossano con sovrapposizione dei nodi strategici importati

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 393 percorsi con un tempo di elaborazione pari a 53 secondi.

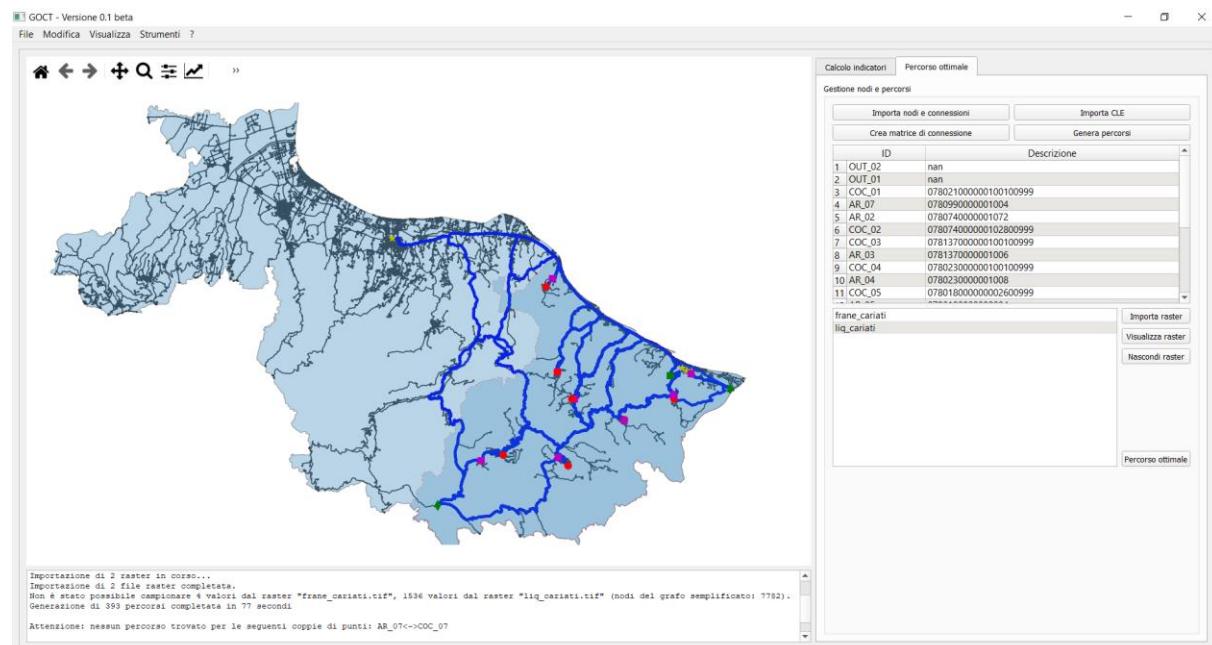


Figura 8: Percorsi ridondanti tra i nodi strategici del CT di Cariati (approccio a priorità nulla di CLE)

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.

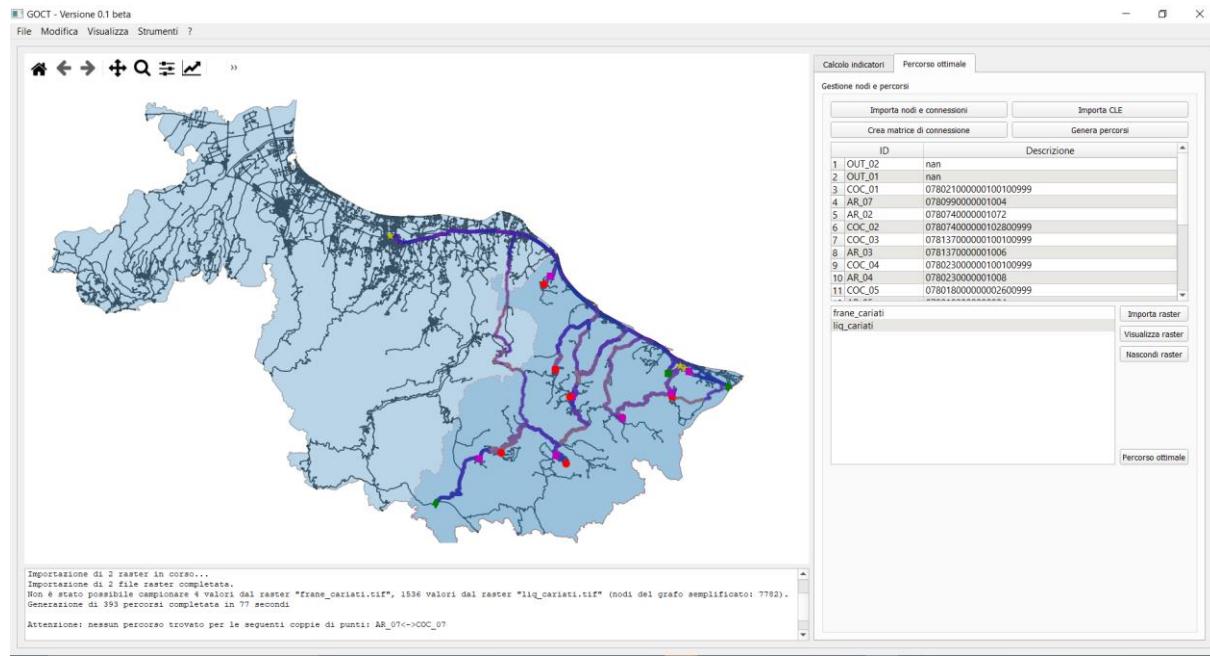


Figura 9: Grafo ottimale per il CT di Cariati

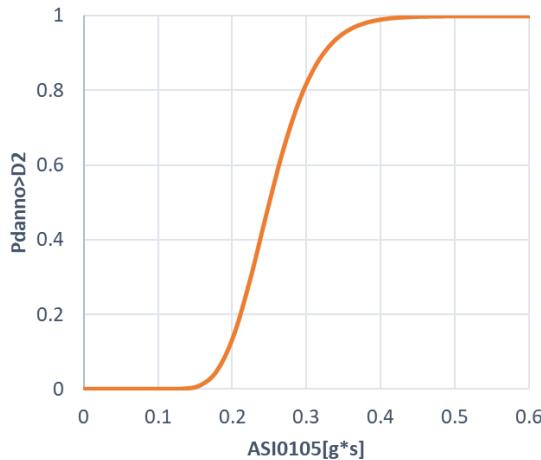
Al termine dell'operazione è stato generato il grafo finale composto da 76 percorsi totali e con una lunghezza complessiva dei rami stradali coinvolti pari a 200.53 Km.

## 2.4 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. In virtù dell'emergenza COVID19 è stato possibile misurare ed ottenere la sola curva per l'edificio ES3 VVF di Rossano Calabro.



-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  $Tr=475$  anni (44 scenari).

#### RISULTATI per Tr=475 anni

	INDICE	CLASSE
Componenti del sistema di gestione dell'emergenza	ES fondamentali	B*
	Area di ammassamento	A
	Edifici COC	C*
	Aree di ricovero	A
	Connessioni	C
	Out	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 (50° percentile delle medie)

	IOCT	COCT
Contesto Territoriale	0.44	B

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)

\*modelli di fragilità di letteratura – da modello SMAV su ES3

## 2.5 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.
- ii. Criticità 2: COC
- iii. Criticità 3: connessioni in relazione alle frane sismoindotte

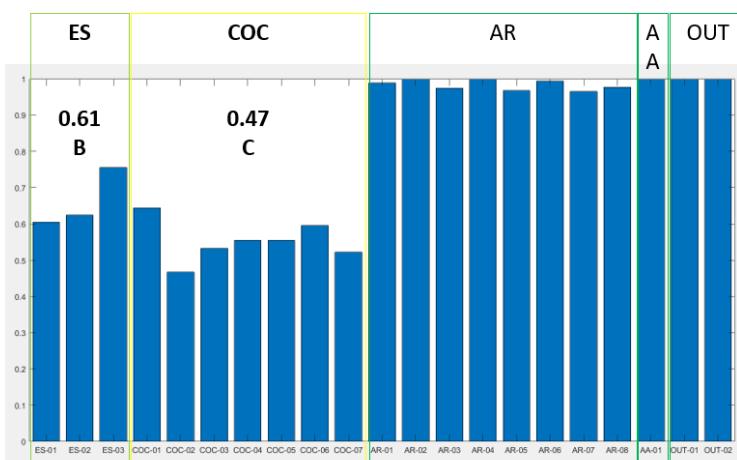
### Criticità riscontrate a 475 anni

- Criticità 1 (CR1)**

Operatività degli ES fondamentali

- Criticità 2 (CR2)**

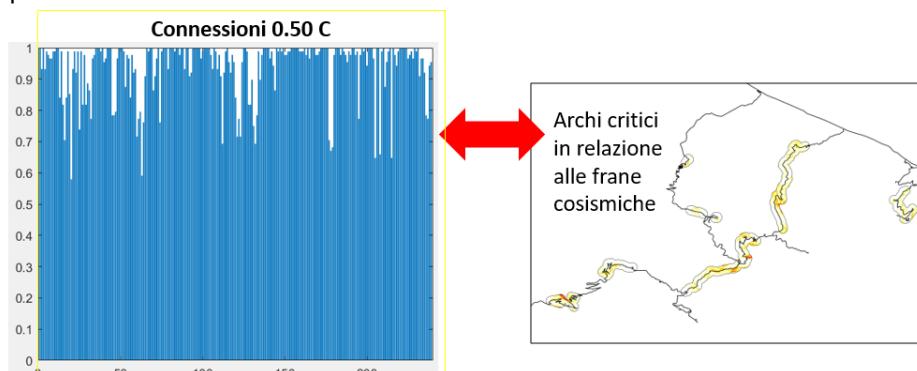
Operatività dei COC



Probabilità di operatività media dei nodi del sistema a rete

- Criticità 3 (CR3) – Operatività delle connessioni in relazione alle frane**

Probabilità di operatività media dovuta a interferenza da frane per i 239 archi

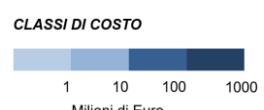


Si interviene simulando gli interventi con i modelli di miglioramento riportati nel documento A4.1. Per ogni criticità riscontrata si valuta:

-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.

Ipotesi di intervento	Beneficio passaggio di classe Globale <b>COCT</b>	Beneficio passaggio di classe singola componente	Classe di costo associata
<b>Hp1 (Cr1. ES)</b>	NO	SI ( $B \rightarrow A$ )	X 10 100 1000
<b>Hp2 (Cr2. COC)</b>	NO	SI ( $C \rightarrow B$ )	X 10 100 1000
<b>Hp3 (Cr3. Connessioni)</b>	NO	SI ( $C \rightarrow B$ )	X 10 100 1000
<b>Hp4 (Cr1-Cr2-Cr3)</b>	<b>SI (<math>B \rightarrow A</math>)</b>	SI (ES, COC, Connessioni)	X 10 100 1000



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.

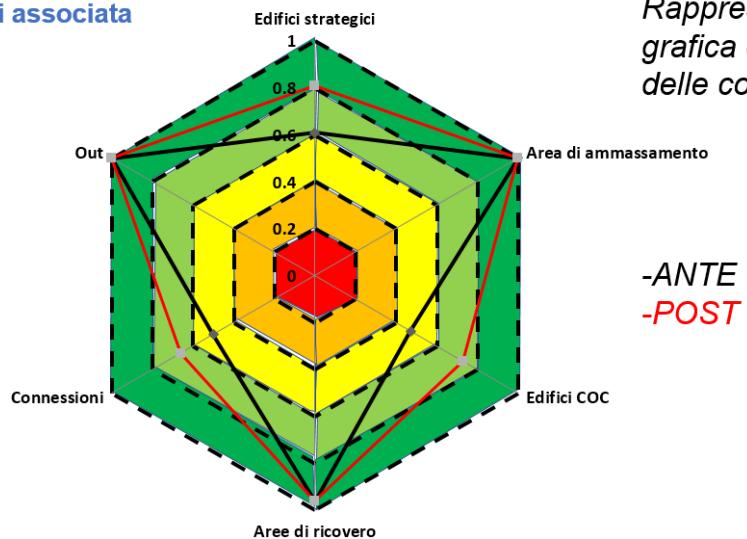
<i><b>Tr=475 anni</b></i>		<i><b>ANTE</b></i>		<i><b>POST (Hp.4)</b></i>			
<b>Componenti del sistema di gestione dell'emergenza</b>	<i><b>ES fondamentali</b></i>	<i><b>INDICE</b></i>	<i><b>CLASSE</b></i>	<i><b>ES fondamentali</b></i>	<i><b>INDICE</b></i>	<i><b>CLASSE</b></i>	
	<i><b>Area di ammassamento</b></i>	1.00	A	<i><b>Area di ammassamento</b></i>	1.00	A	
	<i><b>Edifici COC</b></i>	0.47*	C*	<i><b>Edifici COC</b></i>	0.73*	B*	
	<i><b>Arearie di ricovero</b></i>	0.96	A	<i><b>Arearie di ricovero</b></i>	0.96	A	
	<i><b>Connessioni</b></i>	0.50	C	<i><b>Connessioni</b></i>	0.66	B	
	<i><b>Out</b></i>	1.00	A	<i><b>Out</b></i>	1.00	A	
	<i><b>IOCT</b></i>	<i><b>COCT</b></i>		<i><b>IOCT</b></i>	<i><b>COCT</b></i>		
<i><b>Contesto Territoriale</b></i>		0.44	B	<i><b>Contesto Territoriale</b></i>		0.71	A

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

#### **Analisi benefici/costi associate al miglioramento**

***Tr=475 anni***

#### ***Rappresentazione grafica degli indici delle componenti***



### 3 Appendice Il grafo ottimale del CT di Catanzaro

La procedura di generazione dei percorsi ottimali è stata sperimentata anche sul secondo CT pilota della Calabria, ovvero il CT di Catanzaro.

Anche in questo caso sono stati considerati gli stessi raster di impedenza utilizzati per Cariati, ovvero la probabilità di accadimento di frane sismoindotte e di liquefazioni dinamiche per un'azione sismica con tempo di ritorno pari a 475 anni.

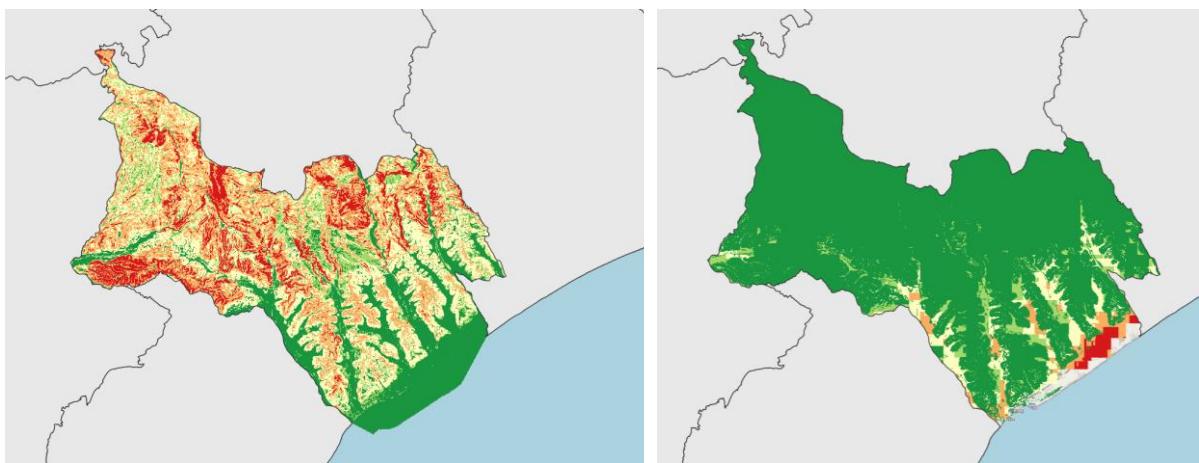


Figura 10: raster di impedenza per le frane sismoindotte (sx) e per le liquefazioni dinamiche (dx)

Si riporta nel seguito l'elenco dei 32 nodi strategici considerati nell'analisi:

<b>Id Comune</b>	<b>comune</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Denominazione</b>	<b>Lon</b>	<b>Lat</b>
1	Amato	ES-1	COC_01	16.462	38.942
1	Amato	AE-2	AR_01	16.468	38.943
2	Marcellinara	Municipio	COC_02	16.491	38.927
2	Marcellinara	Area di ricovero in località Vignali	AE_02	16.481	38.921
3	Miglierina	Municipio	COC_03	16.473	38.948
3	Miglierina	Campo sportivo	AR_03	16.473	38.943
4	San Pietro Apostolo	Comune di San Pietro Apostolo	COC_04	16.469	39.005
4	Gimigliano	Campo sportivo	AR_04	16.466457	39.006212
5	Settingiano	Bic	COC_05	16.527	38.881
5	Settingiano	Parcheggi	AR_05	16.51	38.905

<b>Id Comune</b>	<b>comune</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Denominazione</b>	<b>Lon</b>	<b>Lat</b>
6	Simeri Crici	Municipio	COC_06	16.64	38.955
6	Simeri Crici	Campo Sportivo Crici	AR_06	16.641	38.947
7	Soveria Simeri	Municipio	COC_07	16.68	38.946
7	Soveria Simeri	Campo Sportivo	AR_07	16.688	38.935
8	Tiriolo	Sede Com	COC_08	16.508	38.946
8	Tiriolo	Campo sportivo cuture	AR_08	16.51	38.953
9	Catanzaro	OSPEDALE "CIACCIO"	ES_02_2	16.577	38.924
9	Catanzaro	COC, COM - COMANDO POLIZIA MUNICIPALE	ES_01	16.587	38.916
9	Catanzaro	PREFETTURA	ES_01_3	16.592	38.907
9	Catanzaro	VIGILI DEL FUOCO	ES_03	16.585	38.918
9	Catanzaro	POLICLINICO UNIVERSITARIO	ES_02_1	16.579	38.868
9	Catanzaro	CITTADELLA REGIONALE	ES_01_2	16.571	38.86
9	Catanzaro	OSPEDALE CIVILE "PUGLIESE"	ES_02_3	16.583	38.92
9	Catanzaro	DIPARTIMENTO PROTEZIONE CIVILE	ES_01_4	16.57	38.857
9	Catanzaro	OSPEDALE "Mater Domini"	ES_02	16.57	38.913
9	Catanzaro	Parco della Biodiversita'	AR_09	16.58	38.92
9	Catanzaro	Piazzale antistante Univ. Magna Graecia	AA_09	16.575	38.868
0	-	-	OUT_1	16.573199	38.848582
0	-	-	OUT_2	16.606847	38.818281
0	-	-	OUT_3	16.704668	38.876786
0	-	-	OUT_4	16.435518	39.029424
0	-	-	OUT_5	16.408879	38.906038

Al termine dell'importazione dei nodi strategici è stato generato il grafo della rete stradale del CT, costituito da un totale di 4512 nodi e di 10008 rami.

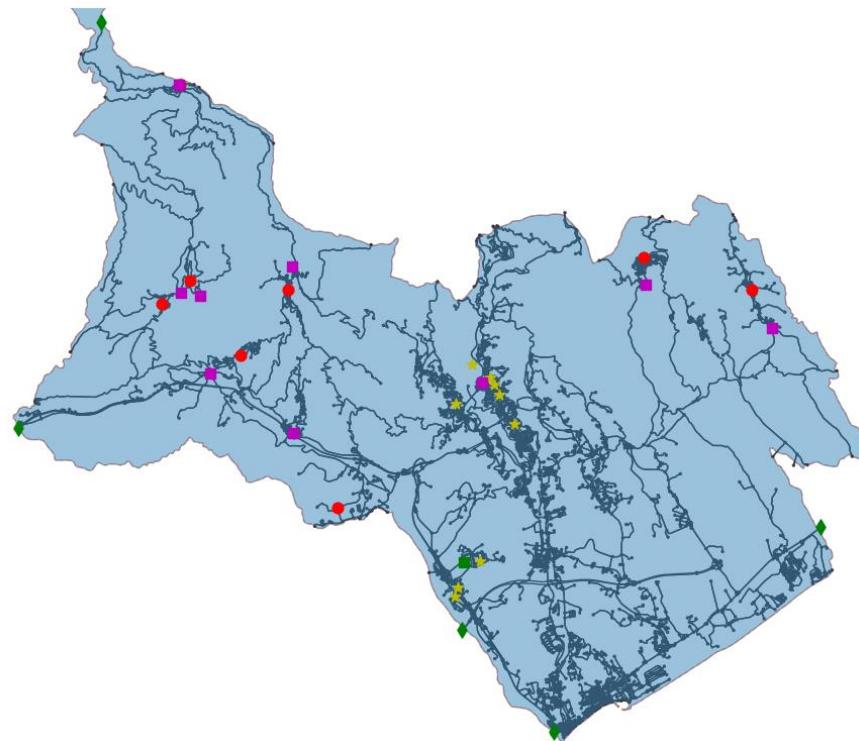


Figura 11: Grafo stradale generato per il CT di Catanzaro e sovrapposizione dei nodi strategici importati

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 1217 percorsi con un tempo di elaborazione pari a 126 secondi.

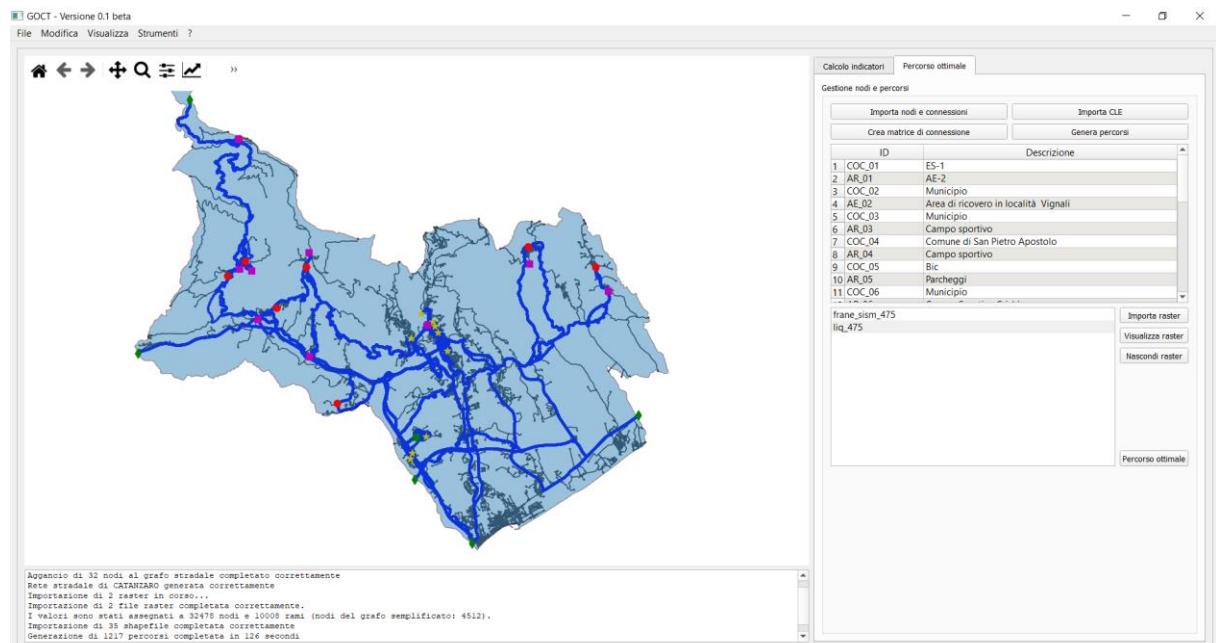


Figura 12: Percorsi ridondanti tra i nodi strategici del CT di Catanzaro (approccio a priorità nulla di CLE)

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.

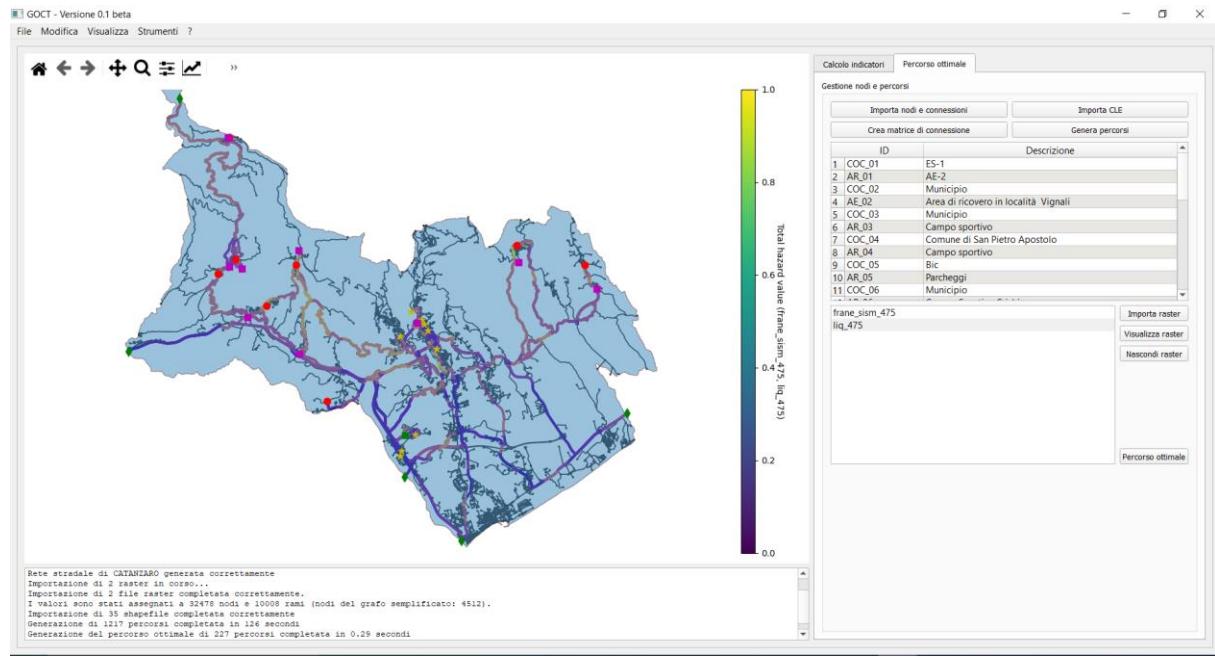


Figura 13: Grafo ottimale per il CT di Catanzaro

Al termine dell'operazione è stato generato il grafo finale composto da 227 percorsi totali e con una lunghezza complessiva dei rami stradali coinvolti pari a 257.32 Km.