

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

Il grafo ottimale del sistema strutturale di gestione dell'emergenza
Il software softGOCT

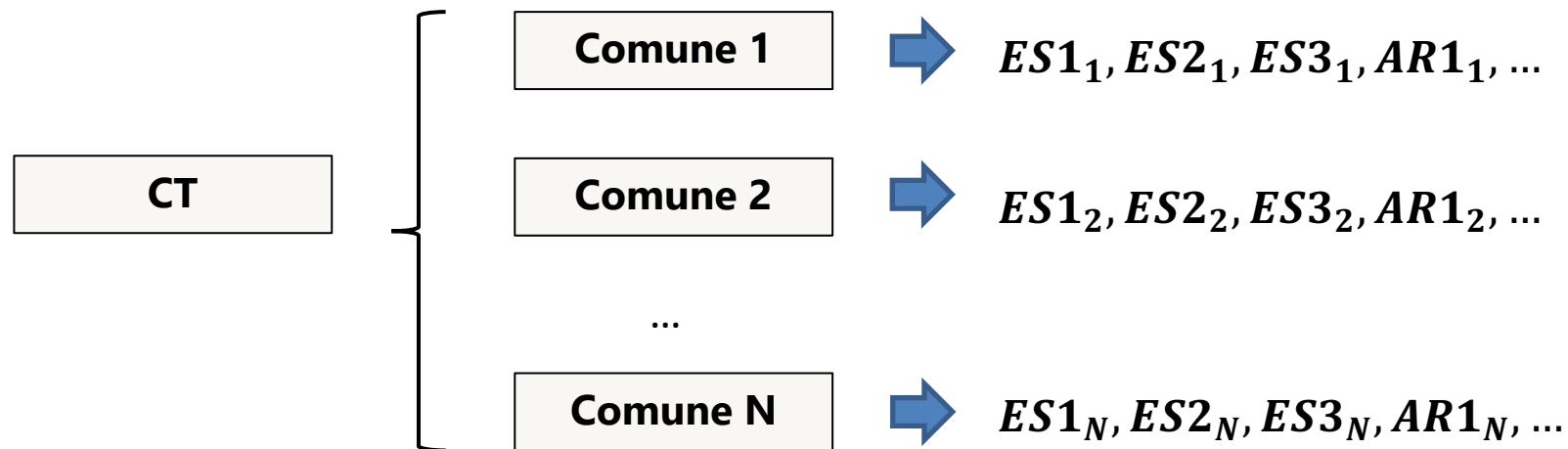
Gianluca Acunzo
CNR IGAG



Genesi del problema

Dalla C.L.E. comunale alla C.L.E. del Contesto Territoriale

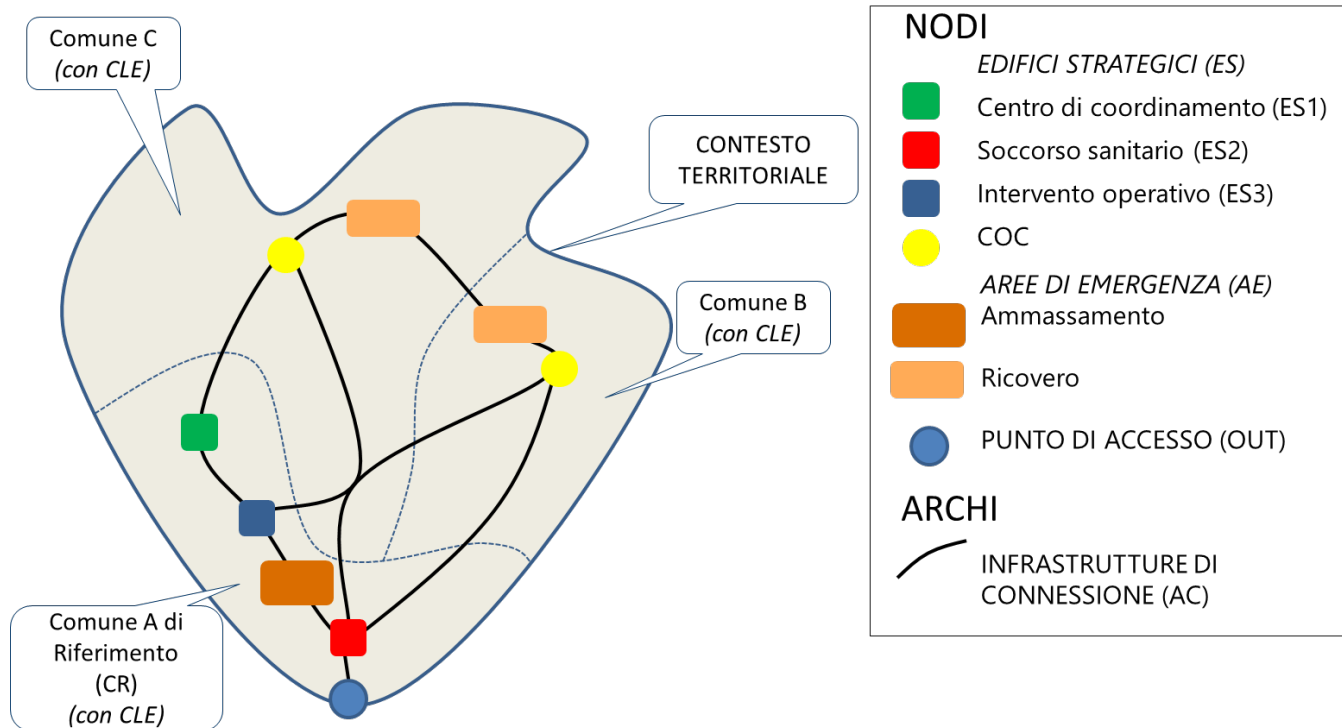
Il Contesto Territoriale è generalmente costituito da un insieme di comuni, per ognuno dei quali può essere disponibile una analisi della Condizione Limite per l'Emergenza



Ogni comune facente parte del C.T. avrà quindi una propria C.L.E. costituita da Edifici Strategici, Aree di Emergenza e infrastrutture pensati in un'ottica di **scala comunale**

Genesi del problema

Dalla C.L.E. comunale alla C.L.E. del Contesto Territoriale



- I nodi strategici (*ES*, *AE*) saranno un sottoinsieme dei nodi strategici iniziali, distribuito sui vari comuni del contesto territoriale
- Dovranno essere definite delle nuove infrastrutture (*AC*) di connessione tra i nodi strategici situati in comuni differenti e verso i punti di accesso al contesto territoriale

La C.L.E. del Contesto Territoriale non è la semplice unione delle C.L.E. dei singoli comuni che ne fanno parte

Genesi del problema

Dalla C.L.E. comunale alla C.L.E. del Contesto Territoriale

La scelta dei nodi strategici viene effettuata attraverso una selezione dei nodi presenti nelle singole CLE, individuando gli **elementi strutturali minimi** per la gestione dell'emergenza a scala di contesto.

Questi elementi devono poi essere sottoposti a verifica nei confronti di diversi requisiti:

- Caratteristiche dimensionali e funzionali
- Proprietà e presenza di vincoli
- Posizione sul territorio (e.g. fuori da zone instabili)

I nodi strategici della CLE di CT vengono selezionati sulla base di **criteri ben definiti**

SCHEDA VERIFICA ES1

EDIFICIO STRATEGICO DI COORDINAMENTO INTERVENTI PER IL CONTESTO

Requisito	Verifiche
A Instabilità e rischio idrogeologico - idraulico	L'edificio non ricade in aree Instabili, in aree R3 e R4 PAI (Scheda ES campo 37 e campo 46)
B Funzione	L'edificio possiede una funzione corrispondente al più elevato livello di organizzazione dell'Amministrazione Pubblica del Comune. Sono da privilegiare sedi di livello superiore rispetto a sedi di livello inferiore e sedi tecniche a sedi amministrative.
C Requisiti funzionali e dimensionali	<i>Dimensioni minime</i> 800-1000 mq (Scheda ES campo 23 e campo 18) <i>Dotazioni minima di spazi e impianti</i> Spazi e impianti per le funzioni di supporto attivabili in situazioni di emergenza (attestazione dell'amministrazione competente)
D Condizioni d'uso e disponibilità	Condizioni d'uso: L'edificio possiede un uso ordinario attuale definito (non è in abbandono né in corso di trasformazione) L'edificio è di disponibilità immediata o permette il cambio d'uso immediato in fase di emergenza.
E Proprietà e vincoli	L'edificio è di proprietà pubblica L'edificio è vincolato all'uso per almeno 10 anni

Genesi del problema

Dalla C.L.E. comunale alla C.L.E. del Contesto Territoriale

EDIFICI STRATEGICI (ES) 3 ES per il CT

ES1 = coordinamento interventi

ES2 = soccorso sanitario

ES3 = intervento operativo

+ 1 ES1 per ogni comune del CT (COC)

AREE EMERGENZA (AE)

1 AE di ammassamento per ogni CT

1 AE di ricovero per ogni comune

INFRASTRUTTURE (AC)

AC di accessibilità al/dal CT e

AC di connessione tra nodi (ES-AE)



Pianificatore

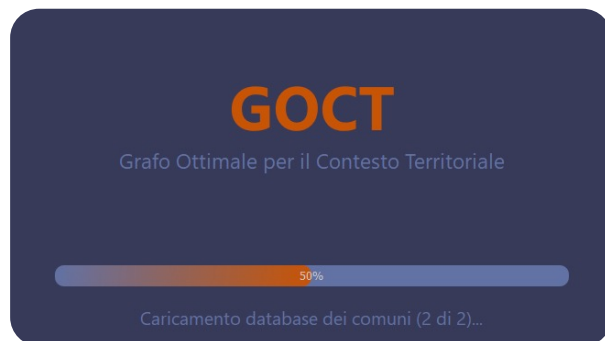
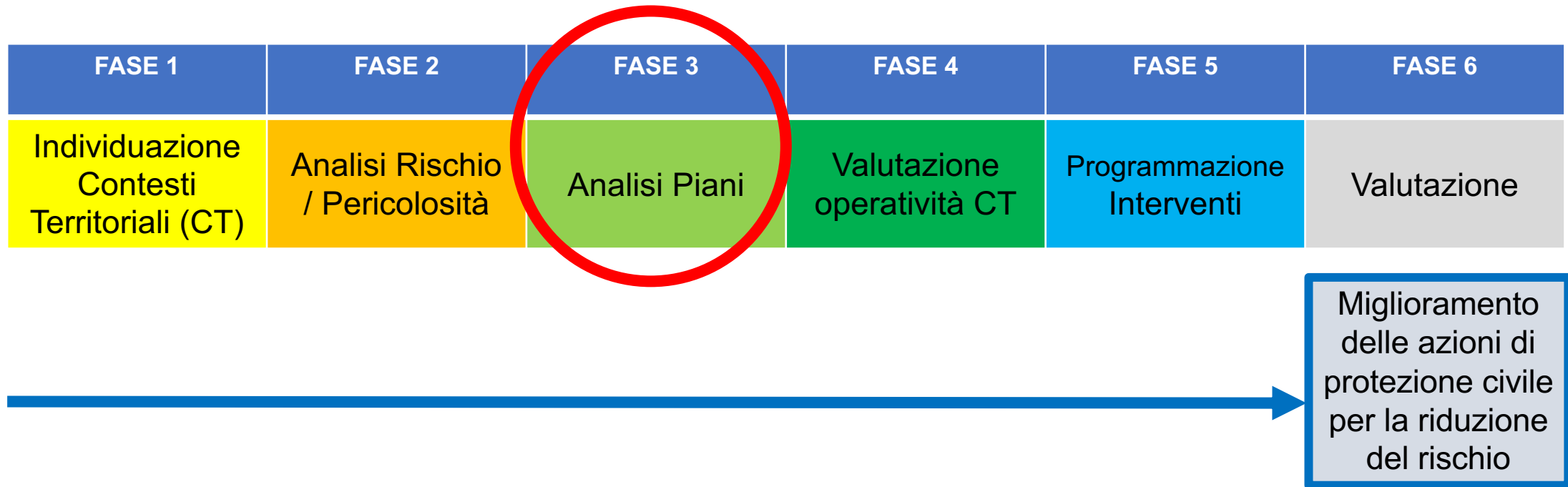


Pianificatore + softGOCT

- Analisi delle CLE comunali e selezione dei nodi strategici

- Definizione della matrice di connessione
- Scelta dei percorsi tra i nodi strategici e di accesso al / dal CT

Dove si colloca softGOCT?



Nel flusso delle diverse fasi operative verso la riduzione del rischio, **softGOCT** ha la funzione di fornire un supporto nella fase di definizione del grafo stradale per la CLE di CT, che verrà poi analizzato tramite software **softIOCT** per valutarne l'operatività delle componenti strutturali.

Filosofia e scelte preliminari

Per lo sviluppo del software è stato scelto il linguaggio **Python**



- Open source e gratuito
- Ampiamente utilizzato in ambito scientifico
- Facile interfaccia con altri applicativi e con il web

Per il recupero delle informazioni relative alla rete stradale viene utilizzato **OpenStreetMap**



- Database esteso e liberamente utilizzabile
- Nessuna necessità di licenze proprietarie per l'utilizzo delle API

Le librerie utilizzate sono tutte concesse con licenza **LGPL** o **MIT**



- Open source e gratuite
- In continuo sviluppo da parte degli sviluppatori e degli utenti stessi

Filosofia e scelte preliminari



OSMNX

Hagberg, Aric, Pieter Swart, and Daniel S Chult. "Exploring network structure, dynamics, and function using NetworkX.» No. LA-UR-08-05495; LA-UR-08-5495. Los Alamos National Lab.(LANL), Los Alamos, NM (United States), 2008.

Boeing, Geoff. "OSMnx: New methods for acquiring, constructing, analyzing, and visualizing complex street networks." Computers, Environment and Urban Systems 65 (2017): 126-139.

Qualche definizione preliminare

Nodo strategico

Elemento strutturale
facente parte della
CLE di CT

Nodo

Elemento del grafo stradale nel
quale convergono più rami

Percorso

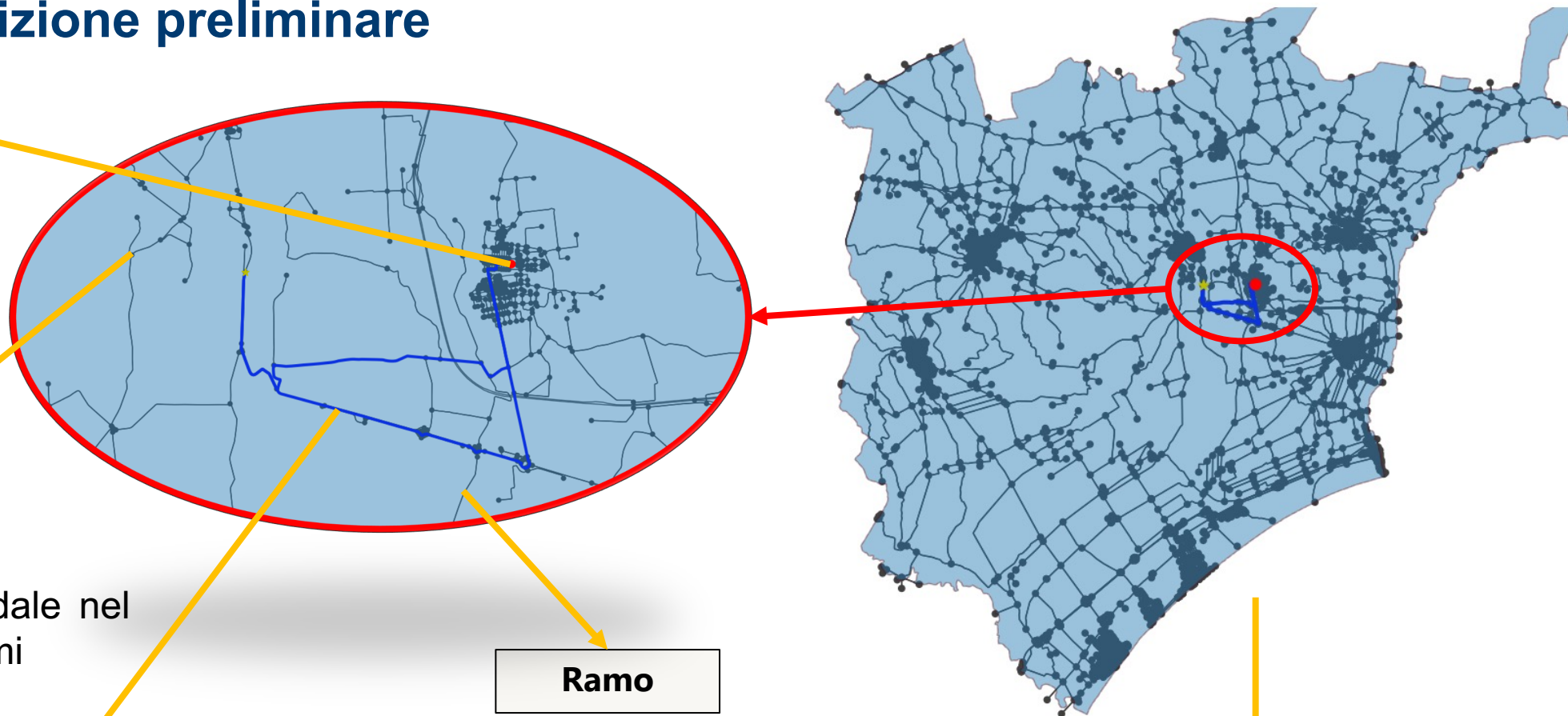
Insieme di rami contigui che
definisce un collegamento tra
due nodi strategici nel grafo

Ramo

Elemento lineare che
congiunge due nodi
del grafo stradale

Grafo stradale

Insieme di nodi e rami che
costituiscono la rete delle strade
carrabili



Flusso di lavoro

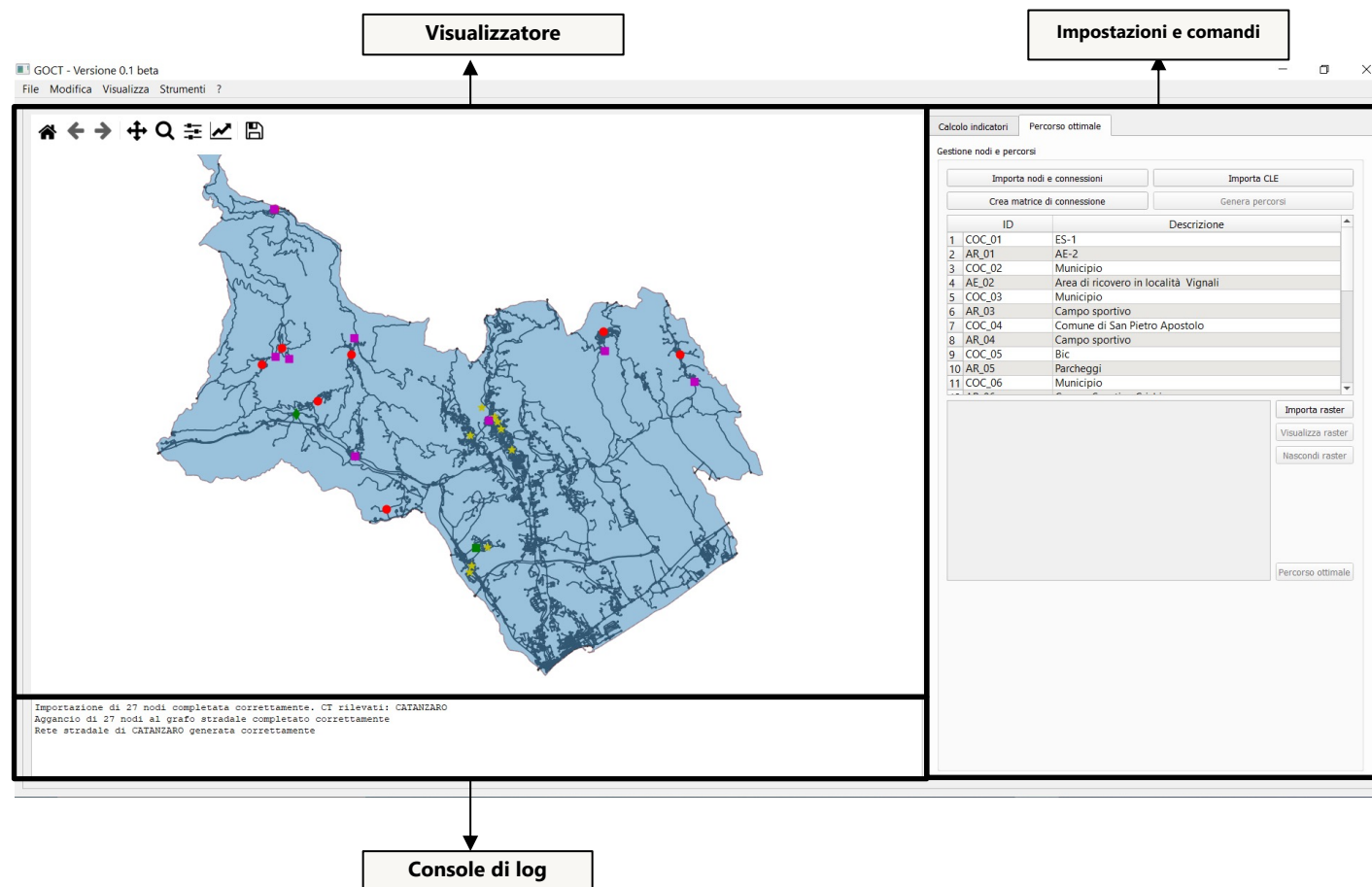
Importazione dei
nodi strategici

Importazione delle
CLE comunali e dei
raster di impedenza

Calcolo dei percorsi
ridondanti più brevi
e di quelli più veloci

Calcolo dei percorsi
che ottimizzano le
impedenze
selezionate

Export del grafo su
Shapefile



Importazione dei nodi strategici

Importazione delle CLE comunali e dei raster di impedenza

Calcolo dei percorsi ridondanti più brevi e di quelli più veloci

Calcolo dei percorsi che ottimizzano le impedenze selezionate

Export del grafo su Shapefile

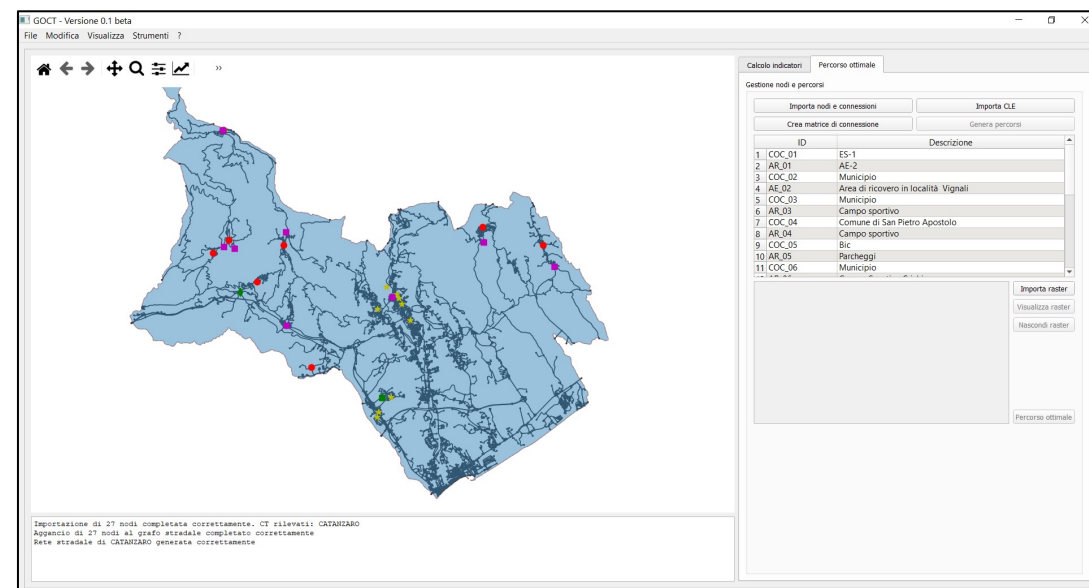
	A	B	C	D	E	F
1	Id Comune	comune	Descrizione	Denominazione	Lon	Lat
2	1	Amato	ES-1	COC_01	16.462	38.942
3	1	Amato	AE-2	AR_01	16.468	38.943
4	2	Marcellinara	Municipio	COC_02	16.491	38.927
5	2	Marcellinara	Area di ricovero in località Vignali	AE_02	16.481	38.921
6	3	Migliarina	Municipio	COC_03	16.473	38.948
7	3	Migliarina	Campo sportivo	AR_03	16.473	38.943
8	4	San Pietro Apostolo	Comune di San Pietro Apostolo	COC_04	16.469	39.005
9	4	San Pietro Apostolo	Campo sportivo	AR_04	16.466457	39.006212
10	5	Settignano	Bic	COC_05	16.527	38.881
11	5	Settignano	Parcheggi	AR_05	16.51	38.905
12	6	Simeri Cricchi	Municipio	COC_06	16.64	38.955
13	6	Simeri Cricchi	Campo Sportivo Cricchi	AR_06	16.641	38.947
14	7	Soveria Simeri	Municipio	COC_07	16.68	38.946
15	7	Soveria Simeri	Campo Sportivo	AR_07	16.688	38.935
16	8	Tinolo	Sede Com.	COC_08	16.508	38.946
17	8	Tinolo	Campo sportivo cuture	AR_08	16.51	38.953
18	9	Catanzaro	OSPEDALE "CIACCIO"	ES_02_2	16.577	38.924
19	9	Catanzaro	COC, COM - COMANDO POLIZIA MUNICIPALE	ES_01	16.587	38.916
20	9	Catanzaro	PREFETTURA	ES_01_3	16.592	38.907
21	9	Catanzaro	VIGILI DEL FUOCO	ES_03	16.585	38.918
22	9	Catanzaro	POLICLINICO UNIVERSITARIO	ES_02_1	16.579	38.868
23	9	Catanzaro	CITTADELLA REGIONALE	ES_01_2	16.571	38.86
24	9	Catanzaro	OSPEDALE CIVILE "PUGLIESE"	ES_02_3	16.583	38.92
25	9	Catanzaro	DIPARTIMENTO PROTEZIONE CIVILE	ES_01_4	16.57	38.857
26	9	Catanzaro	OSPEDALE "Mater Domini"	ES_02	16.57	38.913
27	9	Catanzaro	Parco della Biodiversita'	AR_09	16.58	38.92
28	9	Catanzaro	Piazzale antistante Univ. Magna Graecia	AA_09	16.575	38.868
29	0	-	-	OUT_1	16.573199	38.848582
30	0	-	-	OUT_2	16.606847	38.818281
31	0	-	-	OUT_3	16.704668	38.876786
32	0	-	-	OUT_4	16.435518	39.029424
33	0	-	-	OUT_5	16.408879	38.906038

Il software permette di importare da un file Excel le informazioni sui nodi strategici per i quali andranno generate le connessioni.

Un generico nodo strategico del sistema è caratterizzato da una **denominazione**, da una **descrizione** e dalle sue **coordinate**.

In base alle coordinate dei nodi importati vengono riconosciuti automaticamente i CT corrispondenti.

Il software procede in automatico al download della rete stradale dei CT coinvolti e all'aggancio dei nodi strategici al più vicino nodo della rete stradale, inteso come punto di intersezione tra due o più rami.



Importazione dei nodi
strategici

Importazione delle CLE
comunali e dei raster di
impedenza

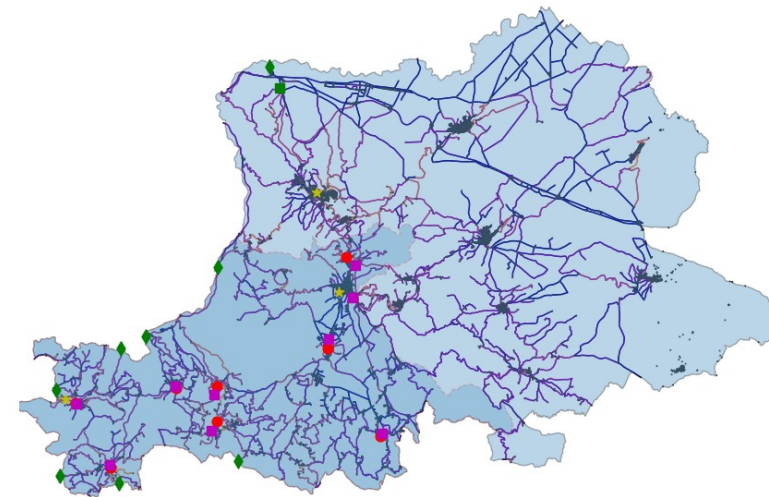
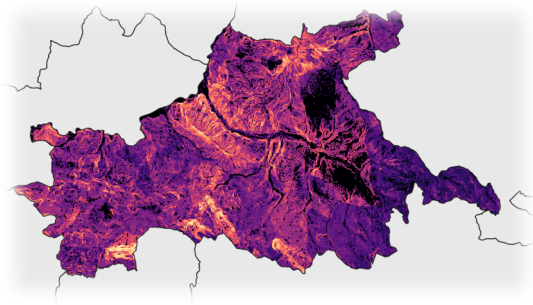
Calcolo dei percorsi
ridondanti più brevi e
di quelli più veloci

Calcolo dei percorsi che
ottimizzano le
impedenze selezionate

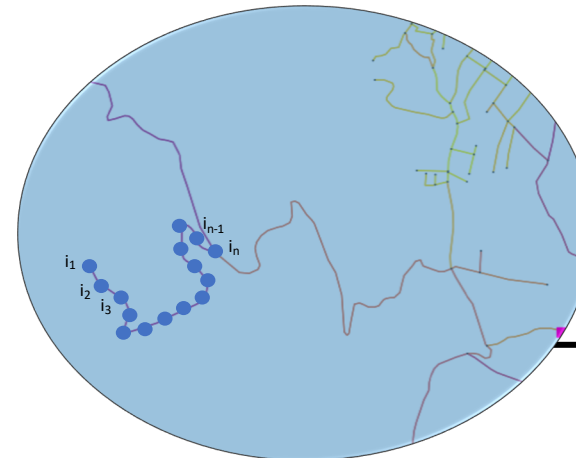
Export del grafo su
Shapefile

E' possibile importare nel software i file raster relativi alle impedenze riferite al Contesto Territoriale considerato

L'impedenza può essere una qualsiasi grandezza,
spazializzata sul territorio, della quale si vuole
tenere conto nella generazione del grafo finale



Il valore dell'impedenza dei singoli rami viene
calcolato campionando i valori presenti sul raster
per ognuno dei punti intermedi che compongono la
geometria dell'elemento



$$I_k = \frac{1}{L} \sum_{j=1}^n i_j \Delta L$$

Importazione dei nodi
strategici

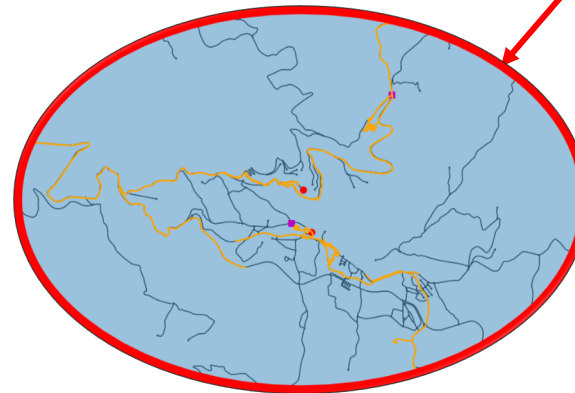
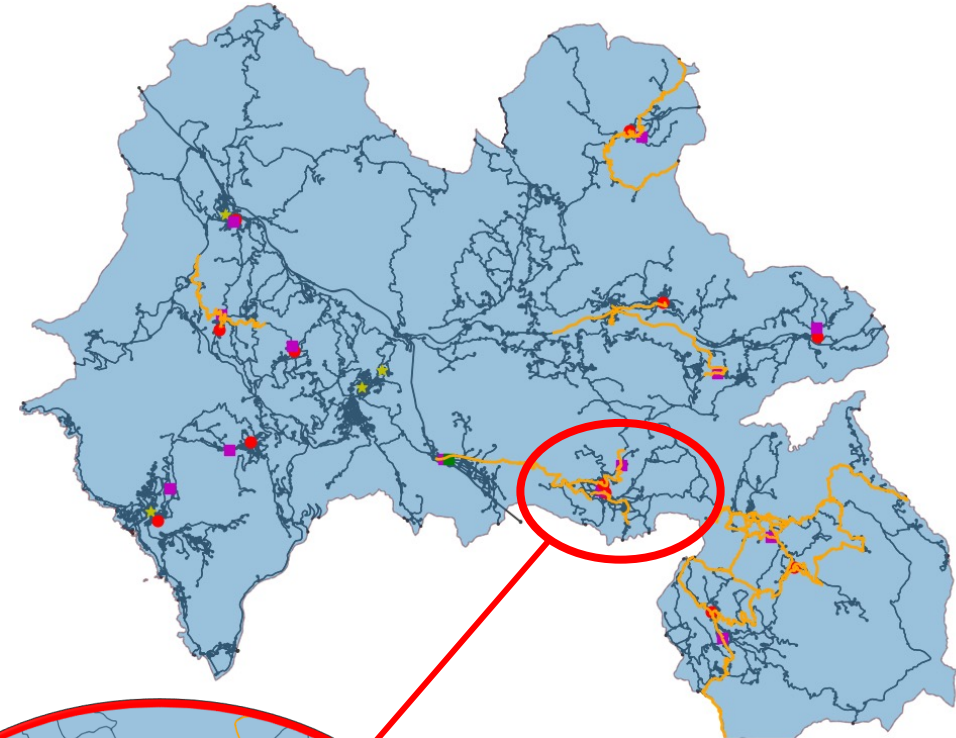
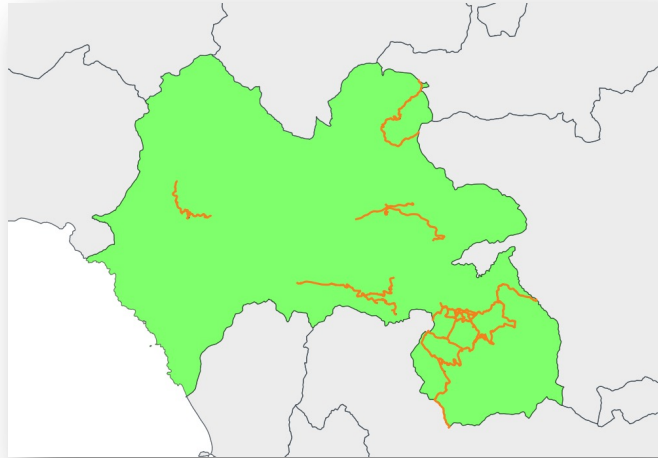
Importazione delle CLE
comunali e dei raster di
impedenza

Calcolo dei percorsi
ridondanti più brevi e
di quelli più veloci

Calcolo dei percorsi che
ottimizzano le
impedenze selezionate

Export del grafo su
Shapefile

Il software permette l'importazione degli shapefile contenenti le CLE comunali disponibili per il CT analizzato



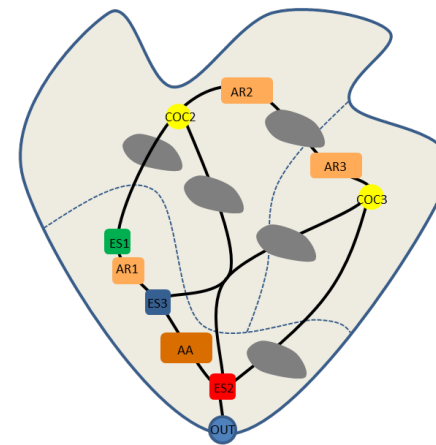
I rami del grafo coincidenti con quelli delle CLE importate vengono automaticamente riconosciuti e valorizzati con un apposito attributo

Calcolo dei percorsi ridondanti più brevi e di quelli più veloci

Calcolo dei percorsi che
ottimizzano le
impedenze selezionate

La **matrice di connessione** definisce la rete di connessione tra i **nodi strategici del sistema**.

La matrice di connessione può essere importata da un file Excel oppure può essere generata automaticamente dal programma sulla base della denominazione dei punti (ES, COC, AR, ...)



Esempio di Contesto Territoriale composto da 3 Comuni

La matrice delle adiacenze traduce la performance richiesta:

O/D	ES1	ES2	ES3	AA	OUT	COC2	COC3	AR1	AR2	AR3
ES1	\	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ES2	1	\	1	1	0	1	1	0	0	0
ES3	1	1	\	1	0	1	1	0	0	0
AA	1	1	1	\	1	1	1	1	1	1
OUT	1	0	0	1	\	0	0	0	0	0
COC2	1	1	1	1	0	\	0	0	1	0
COC3	1	1	1	1	0	0	\	0	0	1
AR1	1	0	0	0	0	0	0	\	0	0
AR2	1	0	0	1	0	1	0	0	\	0
AR3	1	0	0	1	0	0	1	0	0	\

Il software genera una matrice di connessione secondo il seguente criterio di default:

ES_1 e AA



connessi a tutti i nodi strategici

ES_i



connessi a tutti i COC e a tutti gli ES

COC_i



connessi a ES e ad AR i

[illegible]

Importazione dei nodi strategici

Importazione delle CLE comunali e dei raster di impedenza

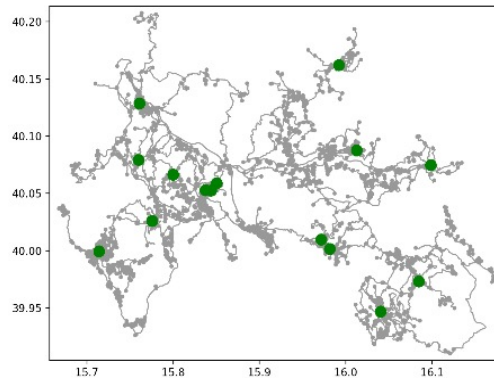
Calcolo dei percorsi ridondanti più brevi e di quelli più veloci

Calcolo dei percorsi che ottimizzano le impedenze selezionate

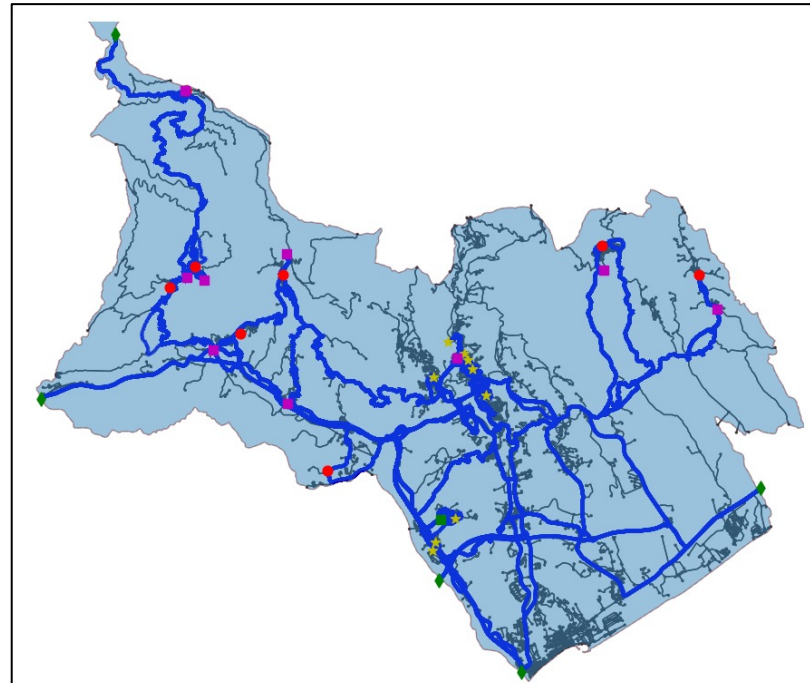
Export del grafo su Shapefile

Una volta importati i nodi strategici e verificata la correttezza della matrice di connessione, il software permette di calcolare automaticamente tramite l'algoritmo di Dijkstra i k percorsi più brevi e i k percorsi più veloci che connettono tutte le coppie di nodi strategici da collegare

	ES1	ES2	ES3	AA	AR	COC	OUT
ES1		X	X	X	X	X	X
ES2	X		X	X		X	
ES3	X	X		X		X	
AA	X	X	X		X	X	X
AR	X			X		X	
COC	X	X	X	X	X		
OUT	X			X			



Input

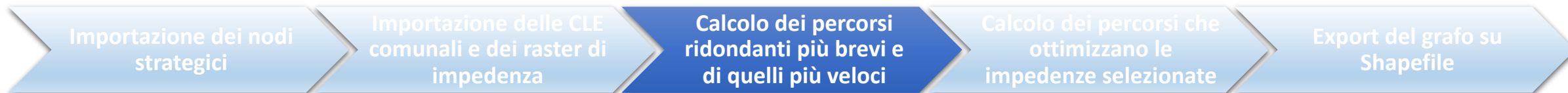


Percorsi generati

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

$N_{p,max}$: numero totale massimo di percorsi generati

m : numero di coppie di nodi strategici collegati tramite la matrice di connessione



I percorsi che minimizzano il costo in termini di **lunghezza** e **tempo di percorrenza** possono essere calcolati assumendo criteri differenti con livelli differenti di «dialogo» con le CLE comunali

Calcolo con priorità assoluta CLE



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

Calcolo con priorità parziale CLE



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

Calcolo con priorità nulla CLE



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

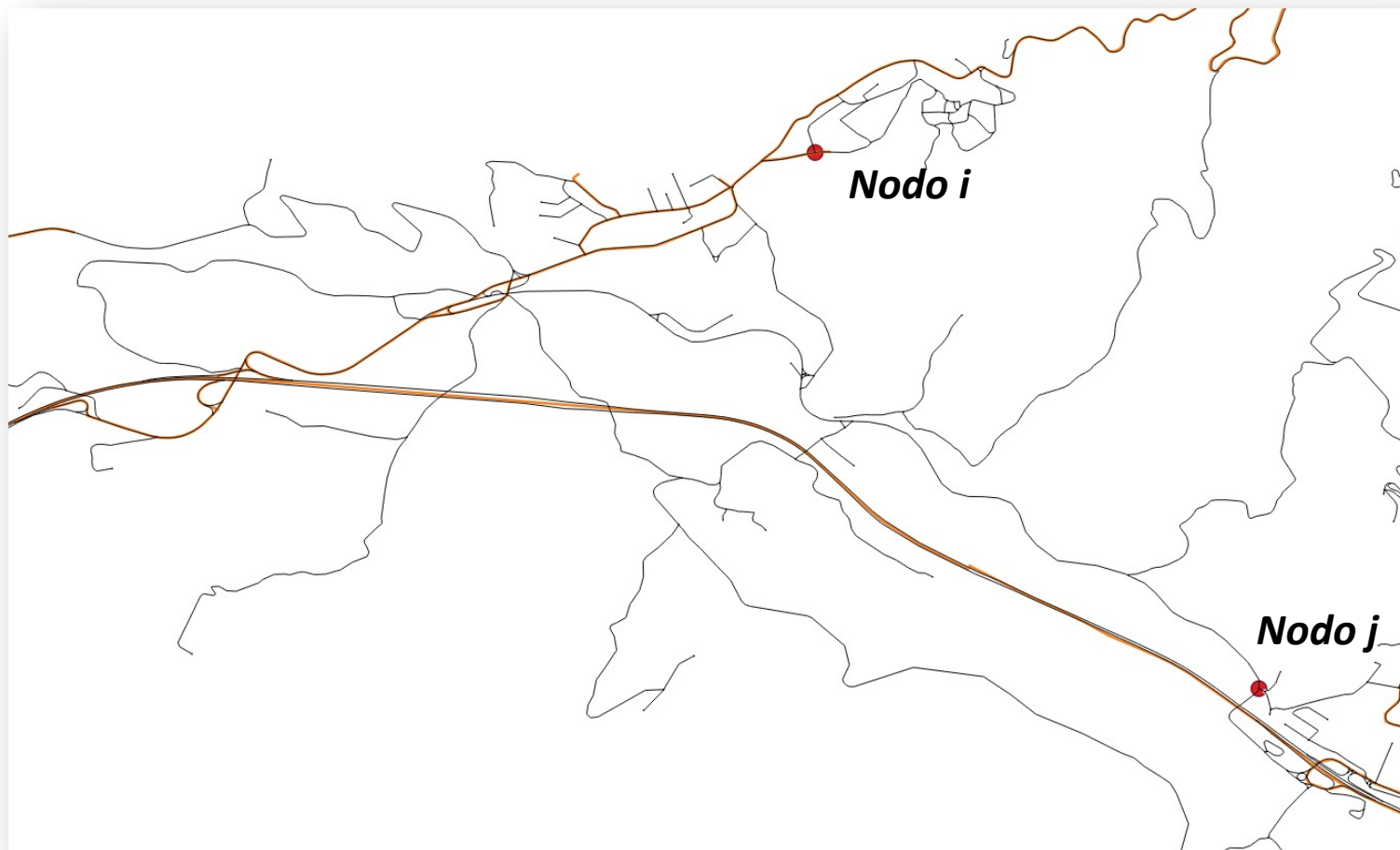
Importazione dei nodi
strategici

Importazione delle CLE
comunali e dei raster di
impedenza

Calcolo dei percorsi
ridondanti più brevi e
di quelli più veloci

Calcolo dei percorsi che
ottimizzano le
impedenze selezionate

Export del grafo su
Shapefile



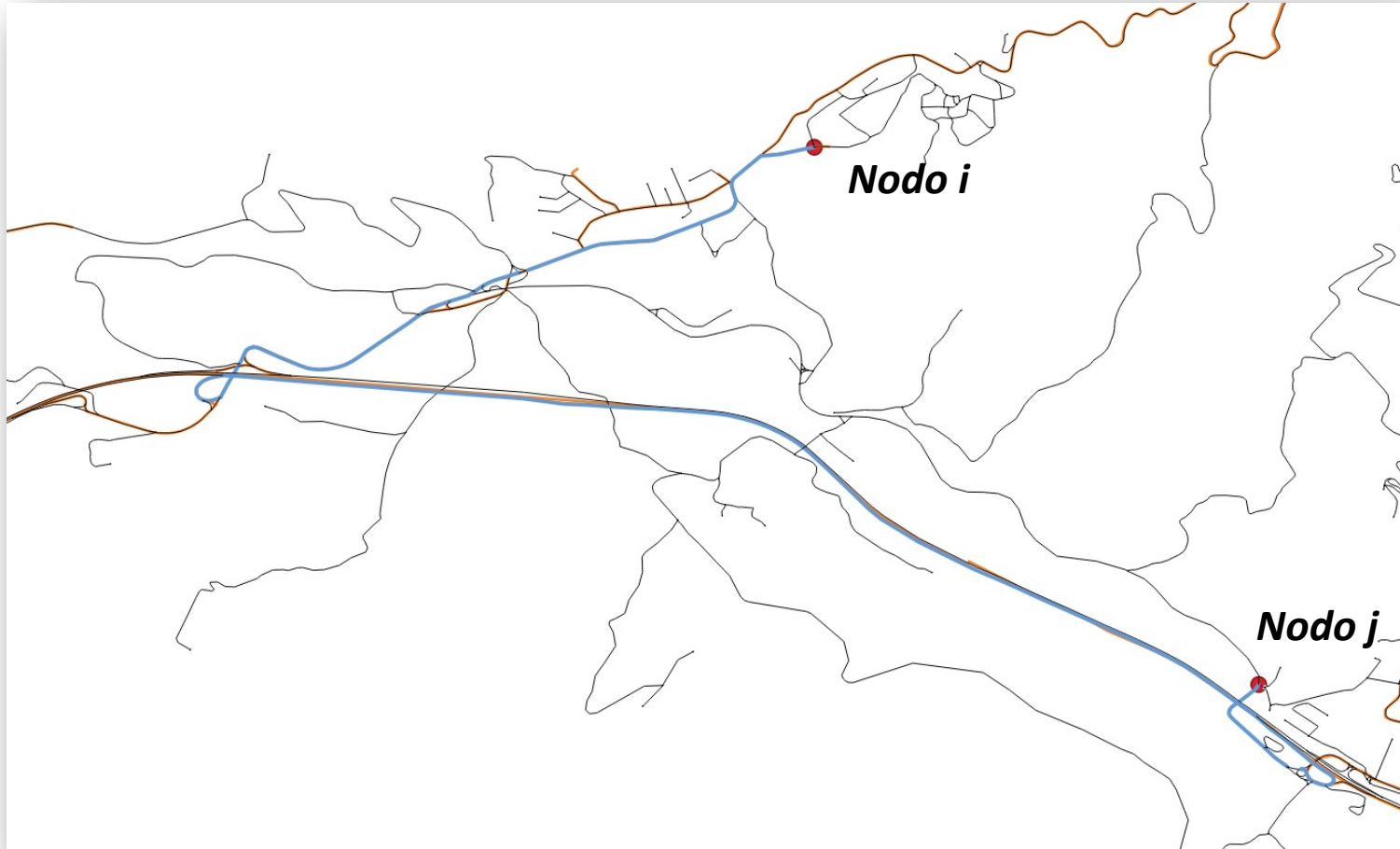
Importazione dei nodi
strategici

Importazione delle CLE
comunali e dei raster di
impedenza

Calcolo dei percorsi
ridondanti più brevi e
di quelli più veloci

Calcolo dei percorsi che
ottimizzano le
impedenze selezionate

Export del grafo su
Shapefile



- Con l'approccio **a priorità assoluta** di CLE il software collegherà il *Nodo i* e il *Nodo j* utilizzando i soli rami appartenenti alla CLE, indipendentemente dal costo del percorso

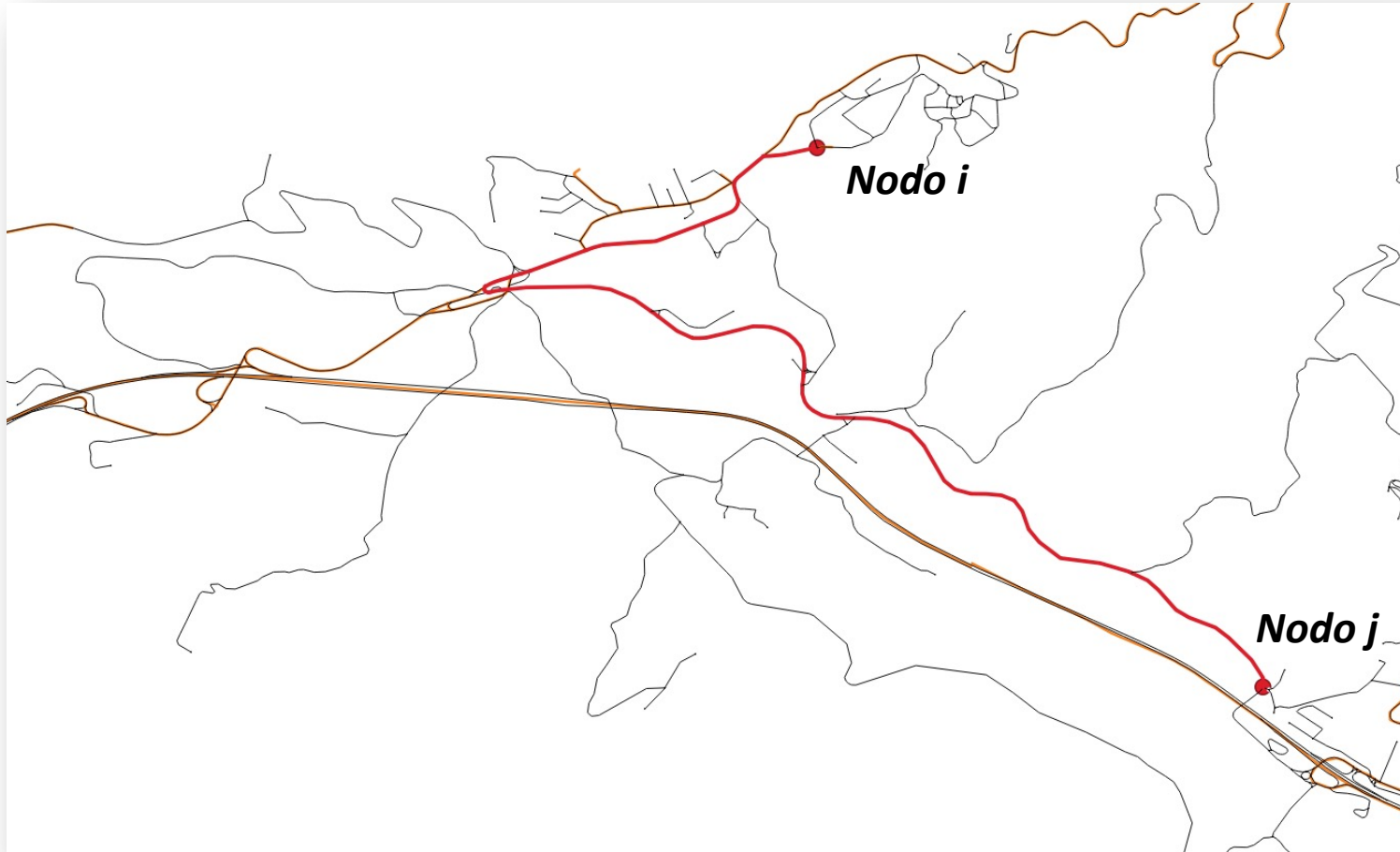
Importazione dei nodi strategici

Importazione delle CLE comunali e dei raster di impedenza

Calcolo dei percorsi ridondanti più brevi e di quelli più veloci

Calcolo dei percorsi che ottimizzano le impedenze selezionate

Export del grafo su Shapefile



- Con l'approccio **a priorità assoluta** di CLE il software collegherà il *Nodo i* e il *Nodo j* utilizzando i soli rami appartenenti alla CLE, indipendentemente dal costo del percorso
- Con l'approccio **a priorità parziale** di CLE il software collegherà il *Nodo i* e il *Nodo j* privilegiando ove possibile i rami appartenenti alle CLE

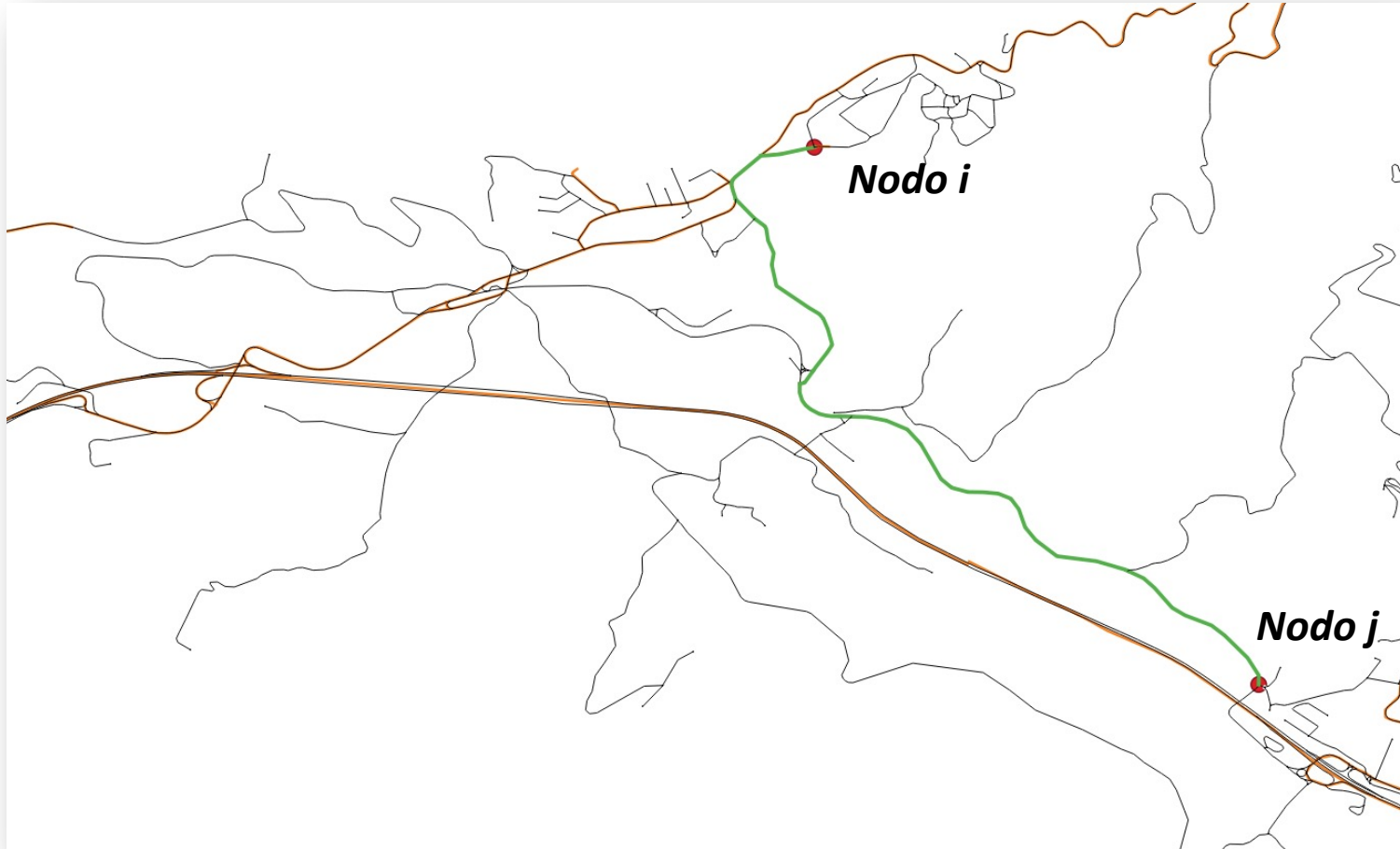
Importazione dei nodi strategici

Importazione delle CLE comunali e dei raster di pericolosità

Calcolo dei percorsi ridondanti più brevi e di quelli più veloci

Calcolo dei percorsi che ottimizzano le impedenze selezionate

Export del grafo su Shapefile



- Con l'approccio **a priorità assoluta** di CLE il software collegherà il *Nodo i* e il *Nodo j* utilizzando i soli rami appartenenti alla CLE, indipendentemente dal costo del percorso
- Con l'approccio **a priorità parziale** di CLE il software collegherà il *Nodo i* e il *Nodo j* privilegiando i rami appartenenti alle CLE
- Con l'approccio **a priorità nulla** di CLE il software collegherà il *Nodo i* e il *Nodo j* ignorando le informazioni sulle CLE

Importazione dei nodi
strategici

Importazione delle CLE
comunali e dei raster di
impedenza

Calcolo dei percorsi
ridondanti più brevi e
di quelli più veloci

Calcolo dei percorsi che
ottimizzano le
impedenze selezionate

Export del grafo su
Shapefile

Al termine dell'operazione è possibile calcolare il **costo finale** in termini di efficienza stradale del grafo ottenuto utilizzando i percorsi migliori tra tutti quelli individuati

Il grafo ottenuto ignorando la CLE sarà quello che presenterà il costo minimo e il software mostra **l'aumento percentuale di costo** che si ha utilizzando i rami della CLE con priorità assoluta o parziale.

$$\Delta_{C_{PA}} = 100 * \frac{C_{PA} - C_{PN}}{C_{PN}}$$

$$\Delta_{C_{PP}} = 100 * \frac{C_{PP} - C_{PN}}{C_{PN}}$$

C_{PA} : costo della rete con priorità assoluta CLE

C_{PP} : costo della rete con priorità parziale CLE

C_{PN} : costo della rete con priorità nulla CLE

La scelta finale della modalità con cui generare i k percorsi ridondanti sui quali verrà condotta l'analisi nei confronti delle pericolosità **è demandata all'utente.**

Importazione dei nodi
strategici

Importazione delle CLE
comunali e dei raster di
impedenza

Calcolo dei percorsi
ridondanti più brevi e
di quelli più veloci

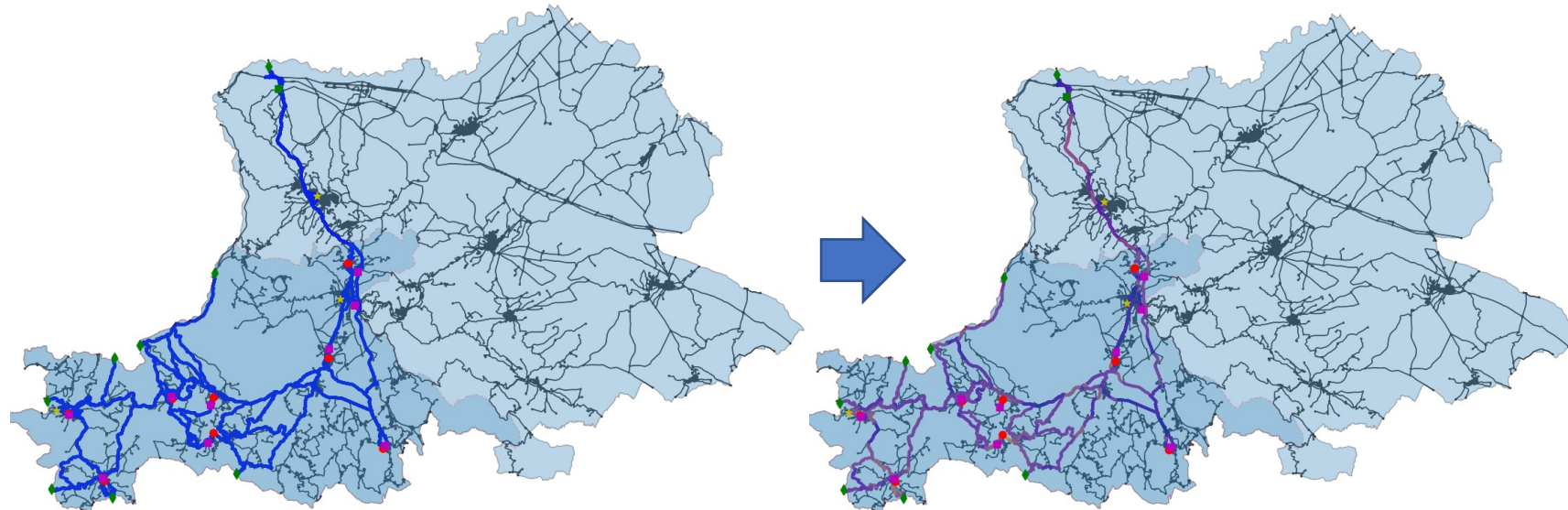
Calcolo dei percorsi che
ottimizzano le
impedenze selezionate

Export del grafo su
Shapefile

Dopo la generazione dei percorsi ridondanti il software consente di effettuare per ognuna delle connessioni tra i nodi strategici il calcolo dello **score** dei percorsi nei confronti delle impedenze desiderate

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

S_k : Score del k-esimo percorso
 \bar{I}_i : Valore medio delle impedenze sull'i-esimo ramo del percorso
 l_i : lunghezza dell'i-esimo ramo del percorso
 nk : numero di rami del percorso



Il percorso ottimale nei confronti delle impedenze selezionate sarà quello **con lo score più basso**

Importazione dei nodi
strategici

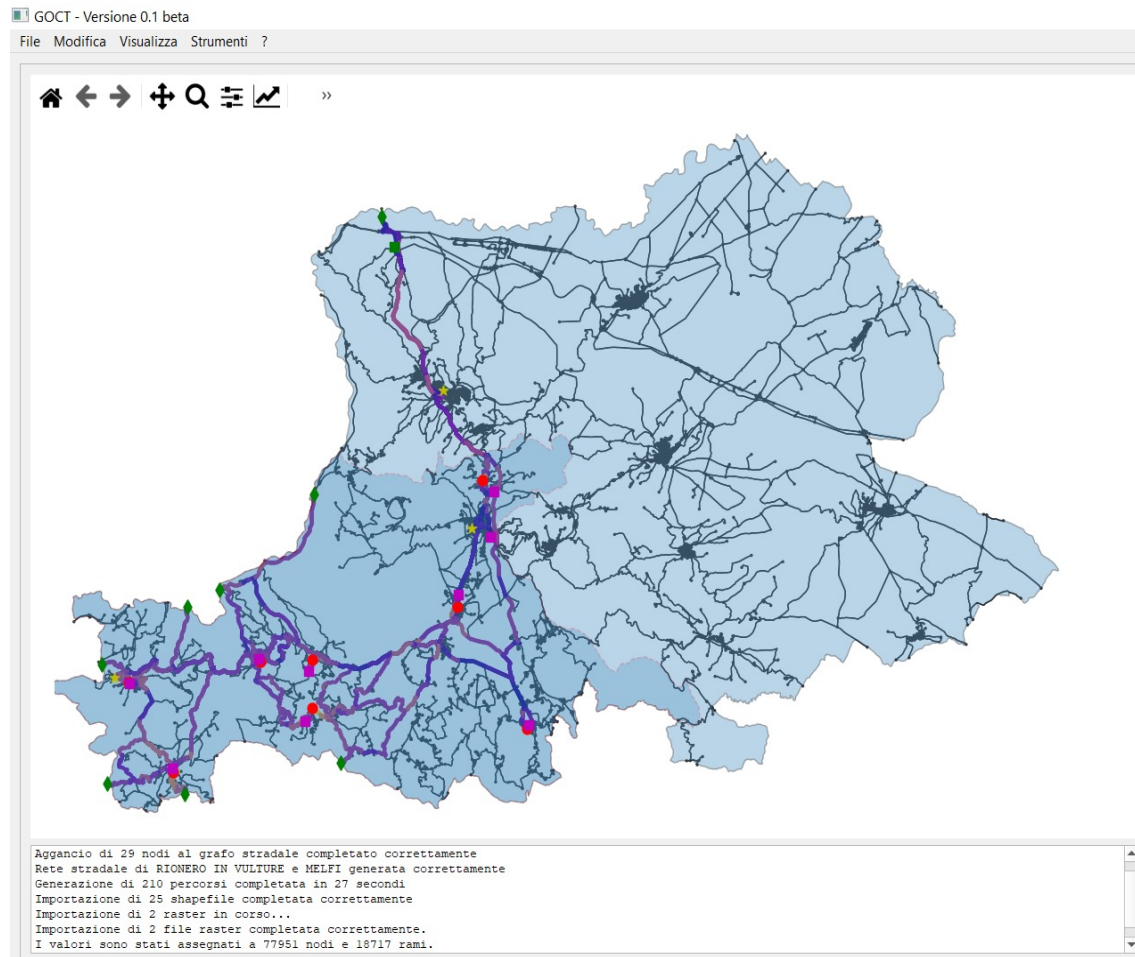
Importazione delle CLE
comunali e dei raster di
impedenza

Calcolo dei percorsi
ridondanti più brevi e
di quelli più veloci

Calcolo dei percorsi che
ottimizzano le
impedenze selezionate

Export del grafo su
Shapefile

Al termine della fase di progettazione e del relativo flusso di lavoro, sarà possibile confermare il grafo finale ed esportare il risultato in formato **Shapefile** o **Geopackage** per il successivo post-processing



E' prevista anche l'esportazione di un report sintetico che riassume i principali risultati del calcolo

Grafo finale

Singole connessioni

- Lunghezza totale del grafo
- Valore medio delle impedenze considerate
- Lunghezza e tempo di percorrenza dei singoli percorsi tra nodi strategici
- Valore medio delle impedenze considerate

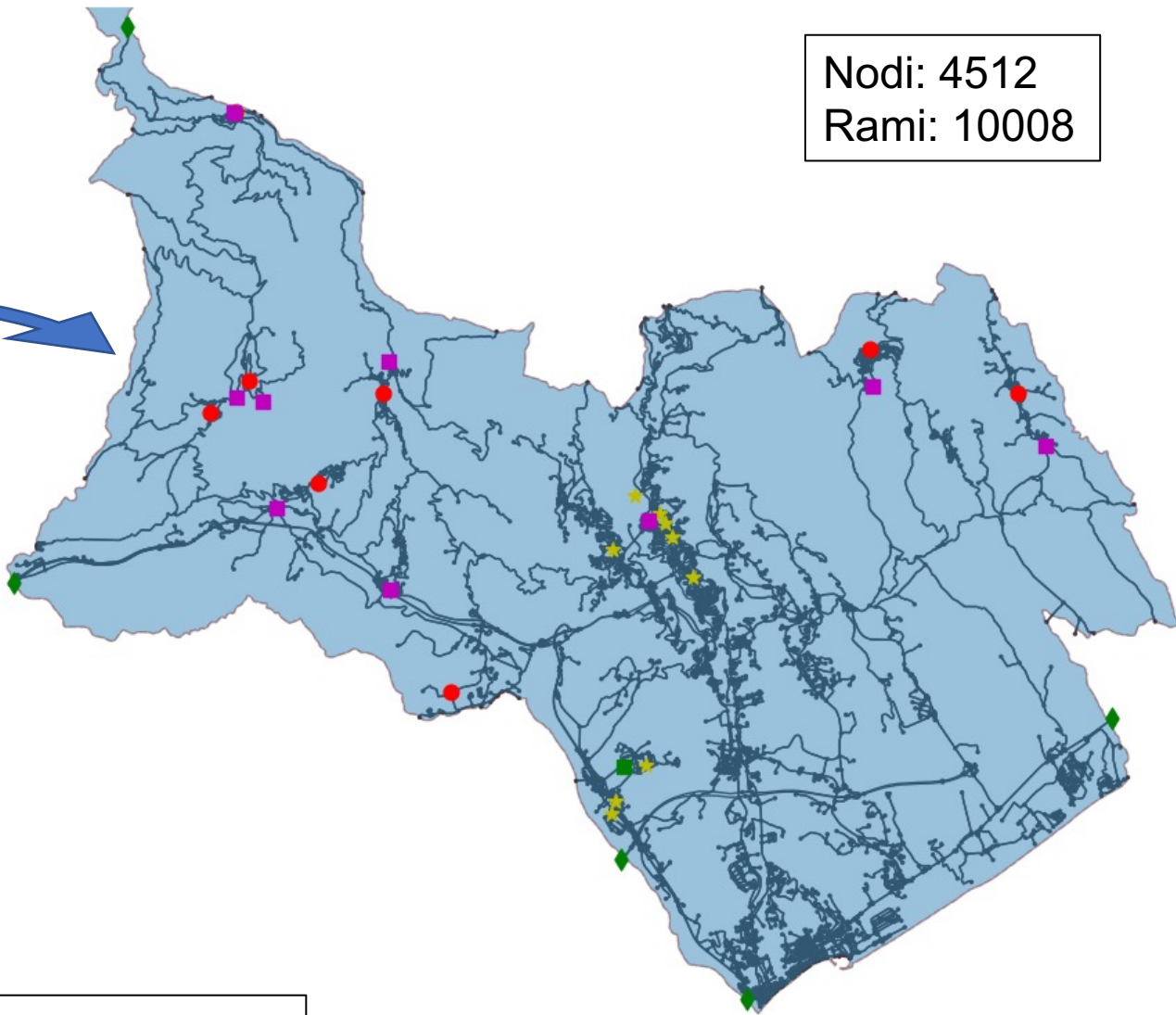
Applicazione al CT di Catanzaro: importazione nodi strategici

- ★ ES
- COC
- AR, AE
- AA
- ◆ OUT

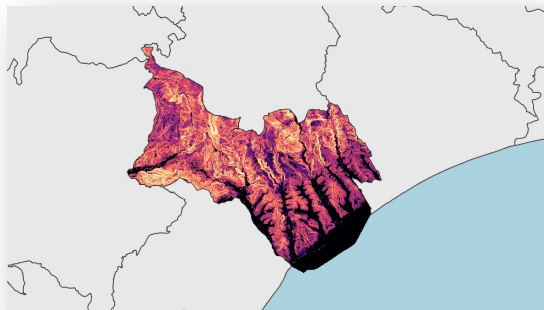
Nodi: 4512
Rami: 10008

Id Comune	comune	Descrizione	Denominazione	Lon	Lat
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	Settignano	Bic	COC_05	16.527	38.881
5	Settignano	Parcheggi	AR_05	16.51	38.905
6	Simeri Crichi	Municipio	COC_06	16.64	38.955
6	Simeri Crichi	Campo Sportivo Crichi	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

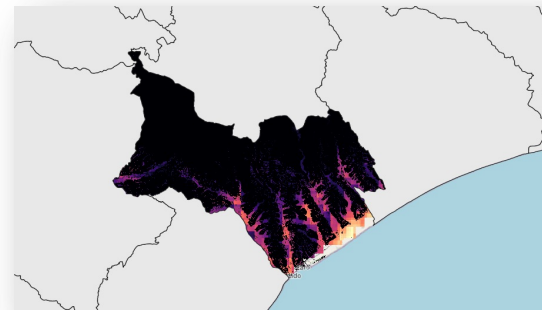
Nodi strategici: 32



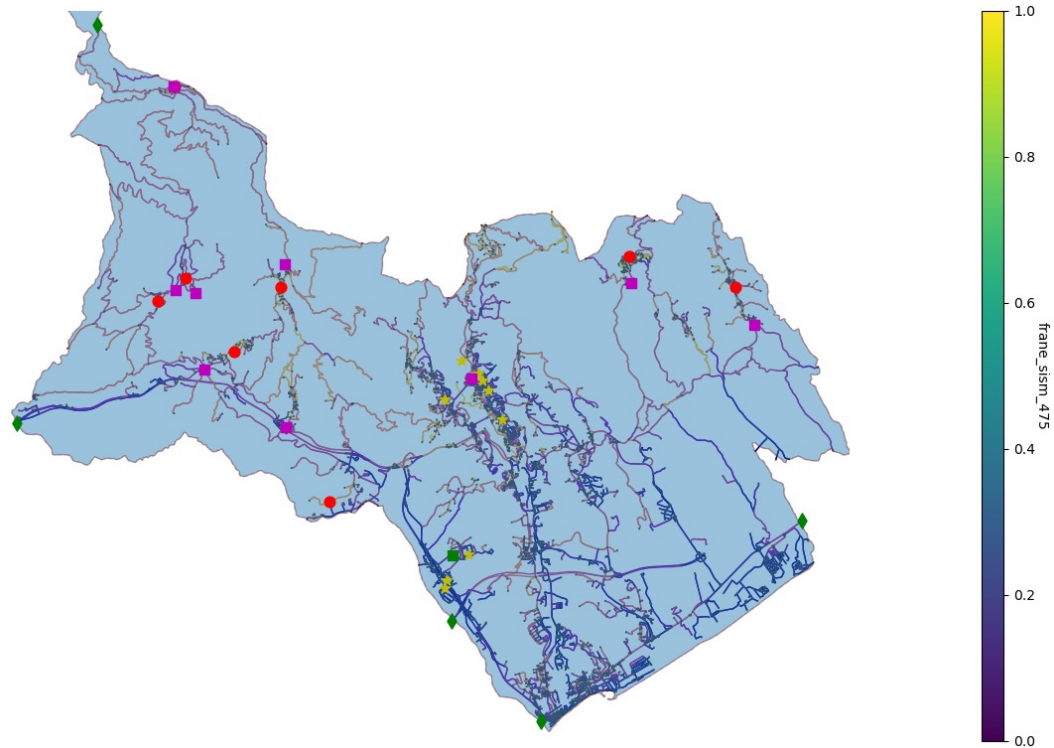
Importazione raster di impedenza (pericolosità sismica)



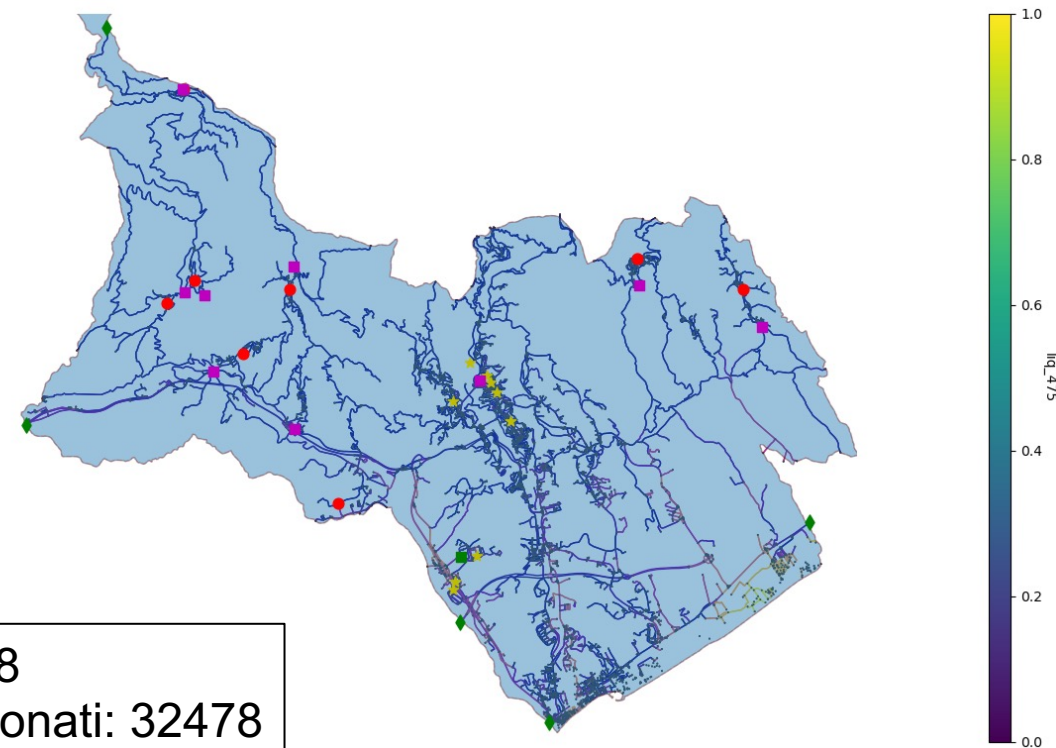
Frane sismoindotte (Tr = 475 anni) - [Nowicki et al., 2018]



Liquefazione dinamica (Tr = 475 anni) - [Zhu et al., 2017]



Rami: 10008
Punti campionati: 32478

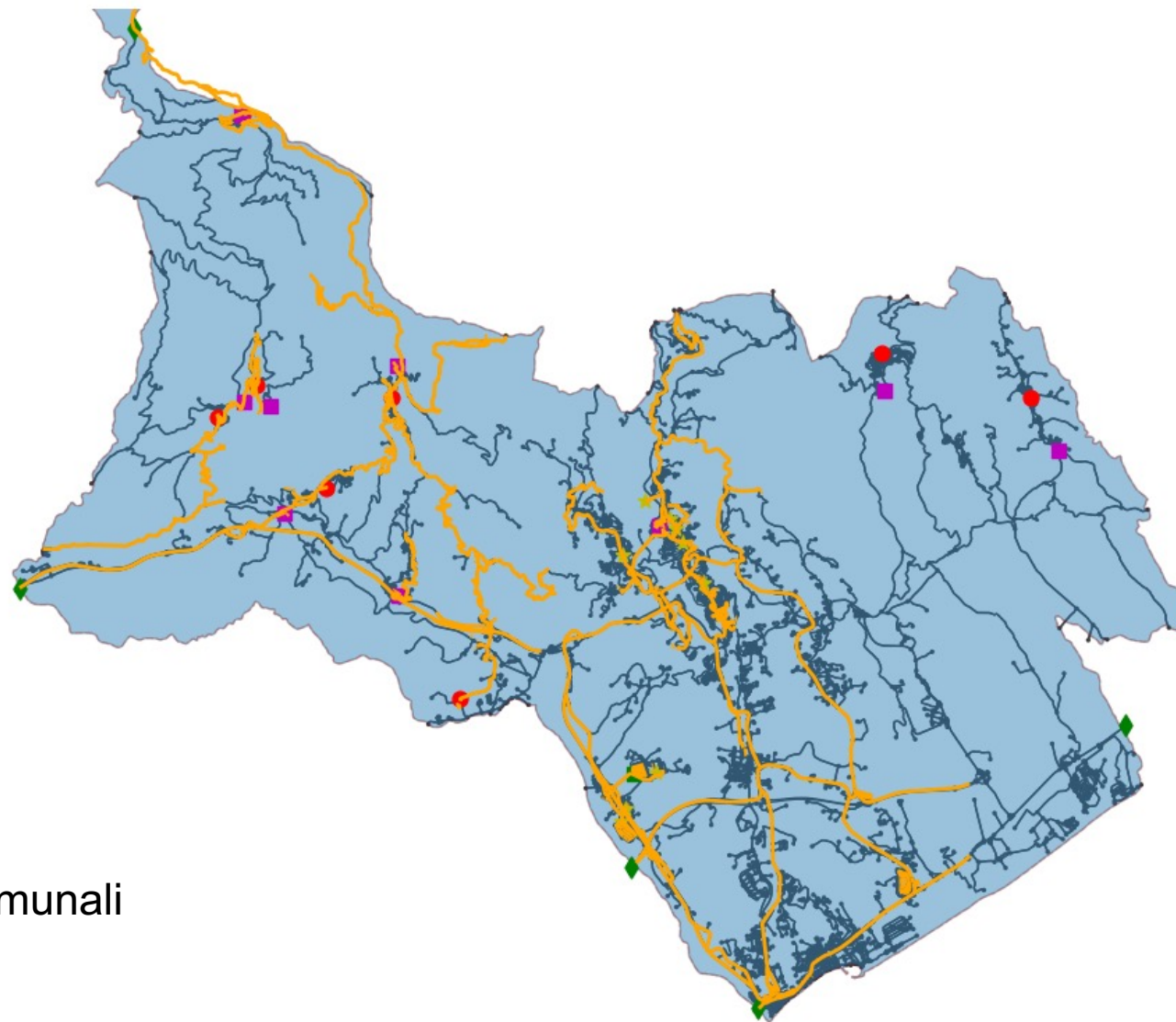


Importazione CLE comunali

CLE comunali importate:

- Amato
- Catanzaro
- Marcelinara
- Miglierina
- S. Pietro Apostolo
- Settingiano
- Tiriolo

— CLE Comunali

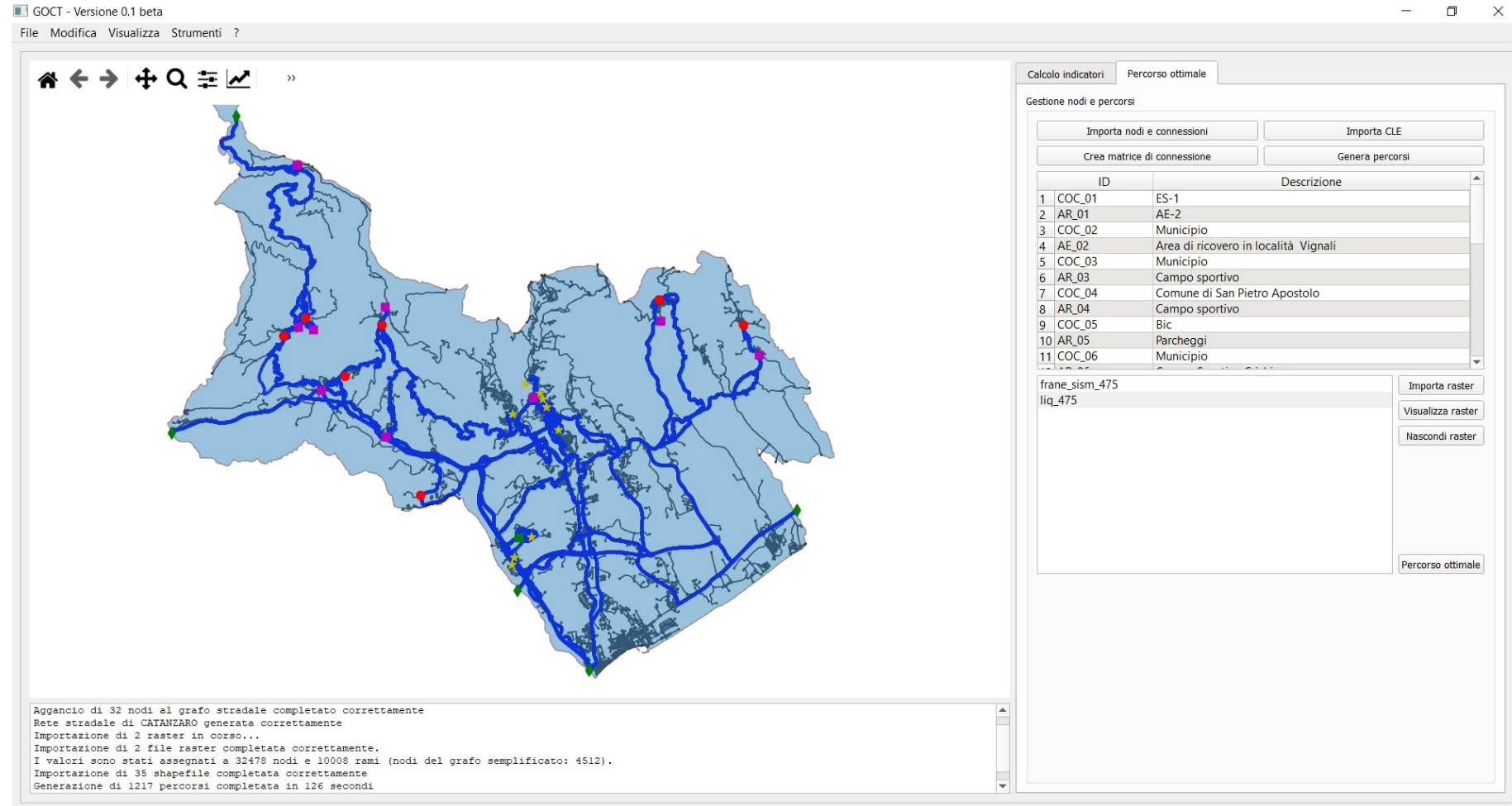


Generazione percorsi ridondanti

I percorsi sono stati generati considerando una ridondanza per i percorsi $k = 3$ e utilizzando l'approccio a *priorità nulla CLE*

- 1217 percorsi generati
- Tempo di elaborazione: 126s

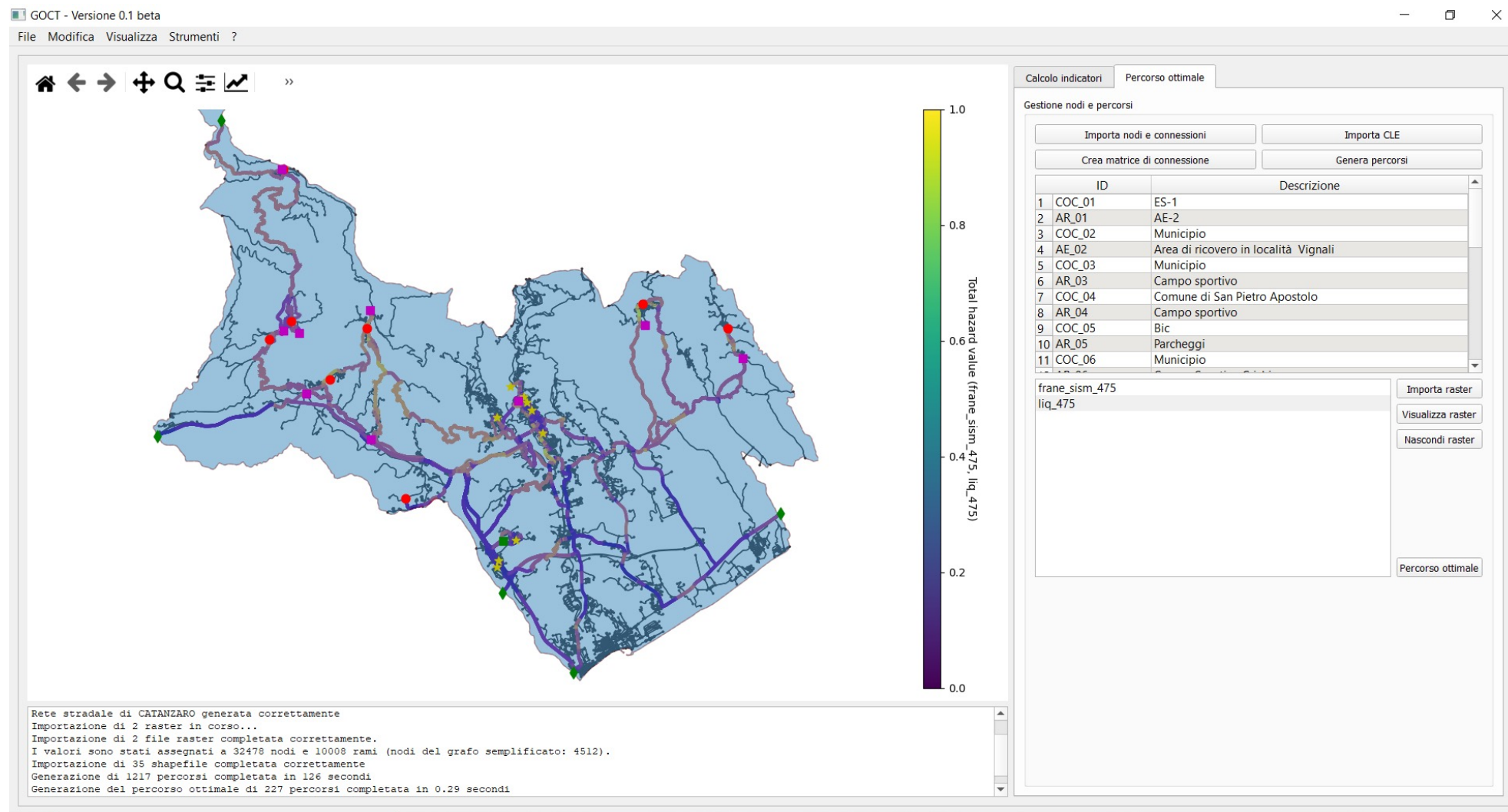
Percorsi
ridondanti



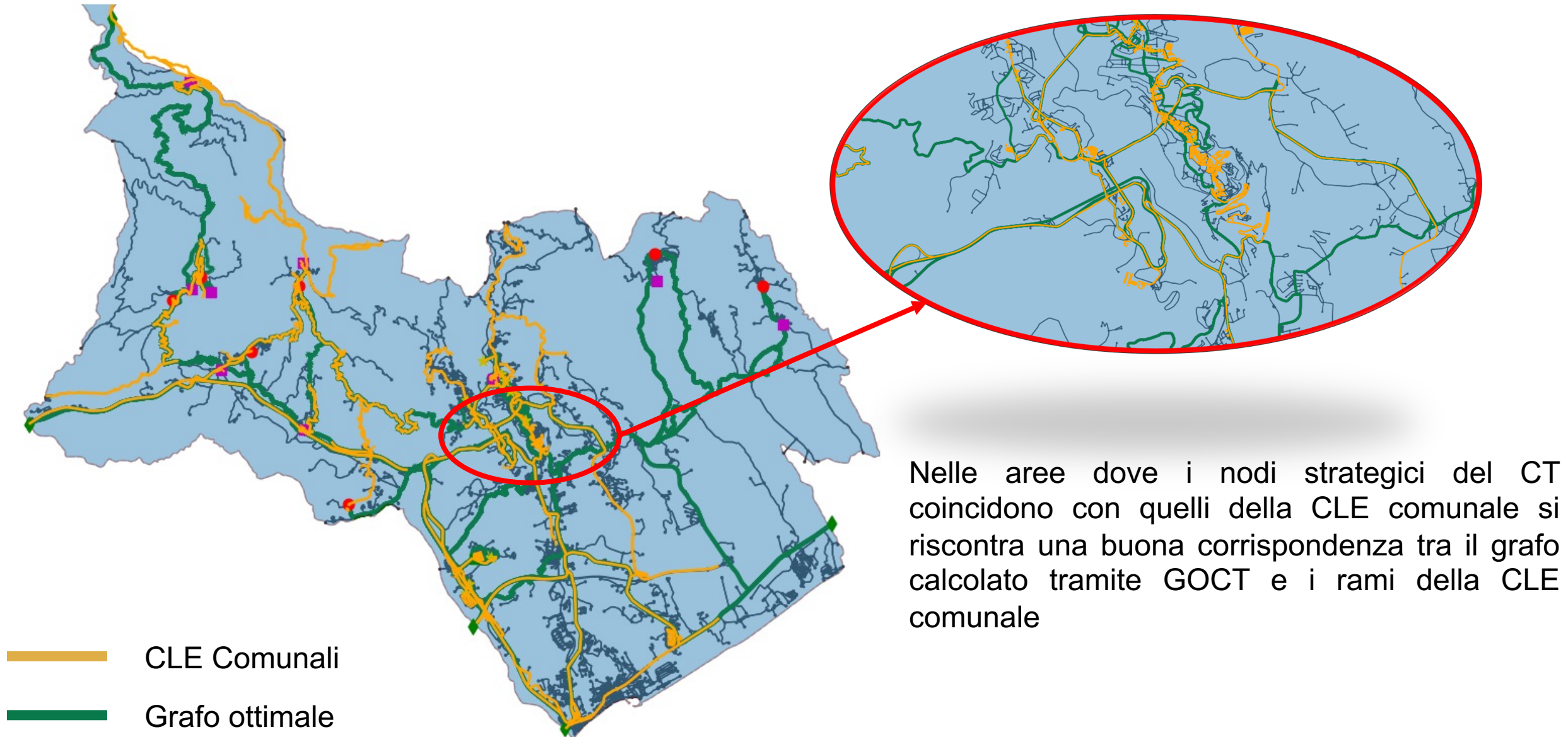
Applicazione al CT di Catanzaro: generazione percorso ottimale

Percorsi totali: 227

- Lunghezza totale:
257.32 Km

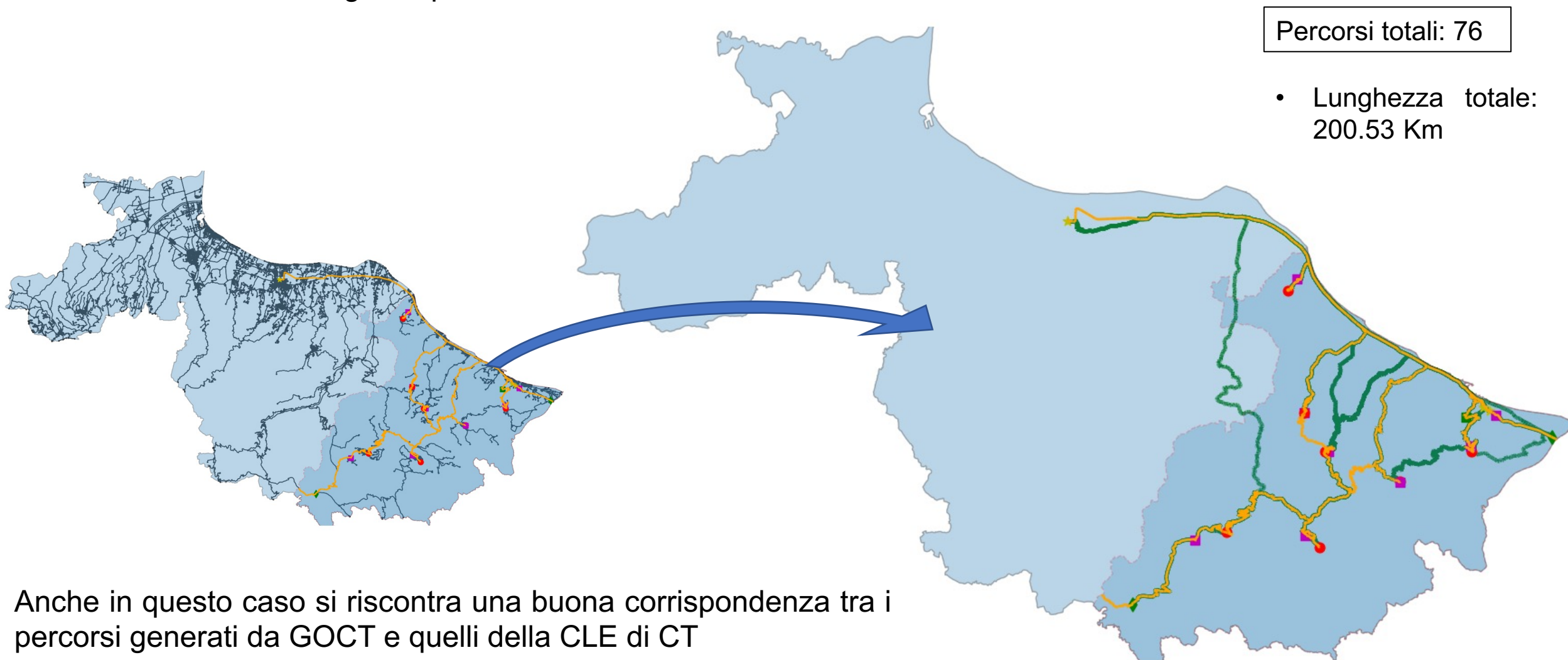


Applicazione al CT di Catanzaro: sovrapposizione grafo e CLE comunali



Applicazione al CT di Cariatì

Per il CT di Cariatì è già disponibile la CLE di CT elaborata «manualmente»



Anche in questo caso si riscontra una buona corrispondenza tra i percorsi generati da GOCT e quelli della CLE di CT

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

GRAZIE PER L'ATTENZIONE

