



# PON GOVERNANCE 2014-2020

## Rischio Sismico e Vulcanico

Attività CAM\_F4.2 | Supporto all'applicazione del modello valutativo dell'efficacia degli interventi per la riduzione del rischio nell'ambito dei diversi contesti territoriali (inclusi scenari di danno in aree vulcaniche)

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

Versione 1.3

Pubblicato in data 24/01/2022



Consiglio Nazionale delle Ricerche





# PON GOVERNANCE 2014-2020

## Rischio Sismico e Vulcanico

Attività CAM\_F4.2 | Supporto all'applicazione del modello valutativo dell'efficacia degli interventi per la riduzione del rischio nell'ambito dei diversi contesti territoriali (inclusi scenari di danno in aree vulcaniche)

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

**Versione 1.3**

Pubblicato 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 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 Sidari, 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

### CAM F 4.2 Supporto all'applicazione del modello valutativo dell'efficacia degli interventi per la riduzione del rischio nell'ambito dei diversi contesti territoriali (inclusi scenari di danno in aree vulcaniche)

**Responsabile DPC:** Daniele Spina

**Responsabile CNR-IGAG:** Federico Mori

#### A cura di

Rosa Marina Donolo, Andrea Gena, Attilio Porchia, Amerigo Mendicelli, Gianluca Acunzo

versione colophon 06/12/2021

# Sommario

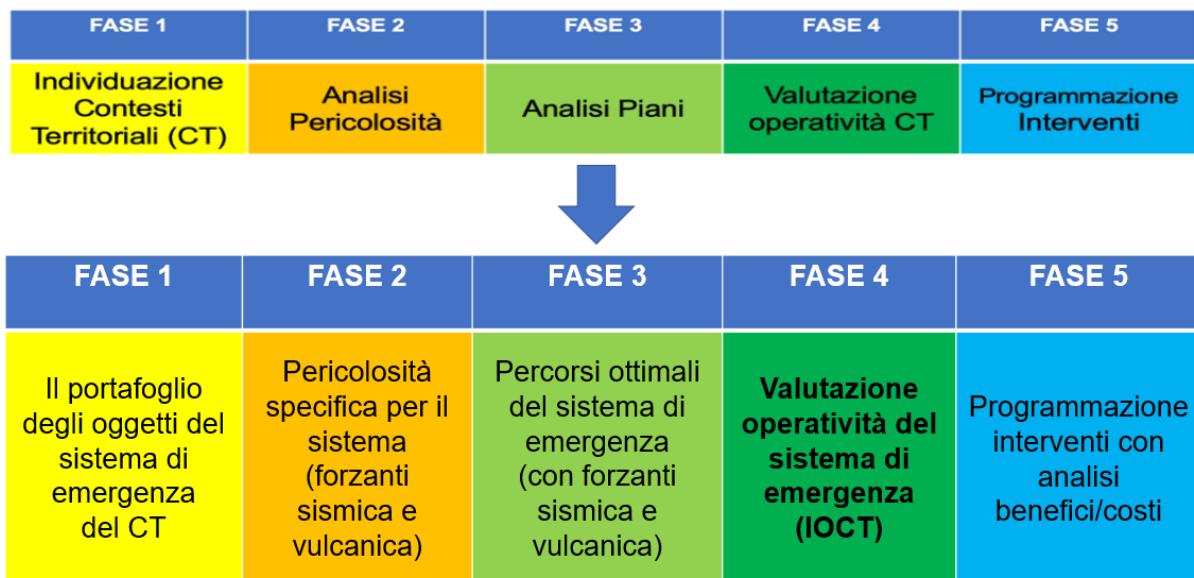
---

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Contesto Territoriale pilota di Vallata, Regione Campania</b>	<b>6</b>
2.1	<i>Inquadramento</i>	6
2.2	<i>Analisi dei Piani di protezione civile comunali</i>	7
2.3	<i>Analisi delle CLE Comunali</i>	7
2.3	<i>Individuazione degli elementi del sistema strutturale minimo di gestione dell'emergenza a scala di CT</i>	9
2.4	<i>Sintesi delle principali criticità</i>	14
<b>3</b>	<b>Le fasi del percorso di valutazione</b>	<b>15</b>
3.1	<i>Fase 1 – Il portafoglio dell'esposto</i>	15
3.2	<i>Fase 2 – La pericolosità specifica per i sistemi a rete</i>	16
3.3	<i>Fase 3 – I percorsi ottimali</i>	18
3.3.1	<i>Importazione dei nodi strategici</i>	18
3.3.2	<i>Importazione delle CLE comunali e dei raster di impedenza</i>	19
3.3.3	<i>Generazione della matrice di connessione e dei percorsi con grado di ridondanza k</i>	20
3.3.4	<i>Selezione dei percorsi che ottimizzano le impedenze selezionate</i>	21
3.4	<i>Fase 4 – La valutazione di operatività (IOCT)</i>	26
3.5	<i>Fase 5 – La programmazione degli interventi con analisi benefici/costi</i>	27
<b>Appendice 1</b>	<b>– La pericolosità vulcanica</b>	<b>32</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 Vallata della Regione Campania 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.

In Appendice 1 è riportato un prototipo metodologico di studio per le stime di pericolosità vulcanica probabilistica di lungo termine (50-500 anni) focalizzato alla stima quantitativa dell'accumulo al suolo di depositi piroclastici da caduta fino all'isopaca di 1 mm, quindi potenzialmente impattante fino a distanze di centinaia di km dal centro eruttivo. Si sottolinea che la modalità di stima della pericolosità vulcanica implementata è del tutto analoga alla prassi consolidata in ambito sismico. Lo studio è stato limitato alle eruzioni esplosive di diverse magnitudo dei vulcani Vesuvio e Campi Flegrei, ma in futuro lo studio potrà rendersi estendibile a qualsiasi taglia eruttiva e a qualsiasi vulcano.

## 2 Contesto Territoriale pilota di Vallata, Regione Campania

In questo capitolo si riporta una sintesi delle elaborazioni condotte per l'individuazione degli elementi del Sistema strutturale minimo di gestione dell'emergenza – applicazione delle LG della analisi CLE di CT, per il Contesto Territoriale pilota di Vallata (codice CT 152600), che si trova in Provincia di Avellino ed è costituito da 9 Comuni (*Andretta, Aquilonia, Bisaccia, Lacedonia, Monteverde, Scampitella, Trevico, Vallesaccarda, Vallata*)

Per le elaborazioni rappresentate e descritte nel presente documento sono state utilizzate le seguenti fonti dei dati:

- Informazioni demografiche: ISTAT – Censimento della popolazione 2011
- Microzonazione Sismica e Condizione Limite dell'Emergenza: CNR-IGAG– Database Nazionale di MS e CLE
- Piani comunali di Protezione Civile, sedi COM: dati forniti da Regione Campania, da banche dati e archivi regionali
- Dati su localizzazione caserme VV. F: Web-GIS “Mappe delle Sedi di Servizio VV.F in Italia” a cura della Direzione Generale per le Risorse Logistiche e Strumentali – Area VIII Sistemi Informativi Automatizzati
- Dati su localizzazione Ospedali (con PS) e sul sistema di emergenza-urgenza: Piano Regionale Sanitario Regione Campania (2018) e banche dati regionali.

### 2.1 Inquadramento

Il Contesto Territoriale di Vallata è stato scelto come primo contesto pilota per la Regione Campania in quanto si trova in zona sismica di classe 1 e presenta studi di MS ed analisi di CLE validati e in validazione (8 studi di MS di 1 livello in validazione ed 1 studio MS validato - Comune di Andretta - e 8 analisi di CLE in validazione ed 1 analisi CLE validata - Comune di Andretta).

In tabella n.1 sono elencati alcuni parametri di inquadramento demografico e territoriale per ogni Comune del CT di Vallata.

Comune	Altitudine capoluogo (m s.l.m.)	Altitudine media (m s.l.m.)	Superficie territoriale (Kmq)	Popolazione residente (ab)	n. centri o nuclei ISTAT	% residenti capoluogo comunale
Andretta	850	728	43,65	1956	7	73,36
Aquilonia	750	597	56,15	1720	1	98,55
Bisaccia	885	754	102,16	3.815	3	47,87
Lacedonia	732	609	82,10	2.275	2	78,24
Monteverde	740	453	39,58	771	1	100,00
Scampitella	775	600	15,11	1.190	3	77,66
Trevico	1090	837	11,00	932	3	35,46
Vallesaccarda	650	674	14,13	1.326	7	46,87
Vallata	870	684	47,91	2.659	7	63,63
<b>Totale</b>			<b>410,00</b>	<b>16.498</b>	<b>34</b>	<b>69,07</b>

Tabella 2-1 Dati principali dei comuni ricadenti nel CT di Vallata

Il Comune di Riferimento (CR) del CT di Vallata è Vallata, il tipo di CR è Capoluogo SLL + sede COM, in quanto comune Capoluogo di SLL (è il Comune con il più alto numero di posti di lavoro, attribuisce la denominazione al SLL di cui è capoluogo) e sede COM.

## 2.2 Analisi dei Piani di protezione civile comunali

Il CT di Vallata dispone dei piani di protezione civile comunali per tutti i 9 comuni; tuttavia, poiché i comuni del CT di Vallata dispongono delle analisi CLE comunali, in questa analisi delle CLE di CT si è fatto riferimento alle CLE comunali. Si segnala solamente che il Piano di Protezione civile per i comuni di Aquilonia, Bisaccia, Lacedonia e Monteverde, è stato fatto in Unione dei Comuni.

## 2.3 Analisi delle CLE Comunali

Il CT di Vallata dispone dei piani di analisi CLE in validazione per 8 comuni e di analisi di CLE validata per 1 comune. Il quadro degli elementi individuati è ricavato dalle Schede indice e dal database di ciascun comune degli studi di CLE, ed è rappresentato nella Tabella 2-1 e nella Tabella 2-2.

Comune	Stato di Validazione CLE	n. ES	n. AE amm	n. AE miste	n. AE ric	n.AC conn	n.AC acc	n. AS interferenti	n. US interferenti	Tot. ES-AE (1)
Andretta	Validata	6	4	1	0	10	6	6	27	11
Aquilonia	In validazione	4	2	5	0	8	2	30	/	11
Bisaccia	In validazione	4	4	10	0	21	9	131	138	18
Lacedonia	In validazione	3	2	8	0	16	5	21	174	13
Monteverde	In validazione	3	2	4	0	7	3	8	35	9
Scampitella	In validazione	2	0	1	0	2	2	3	13	3
Trevico	In validazione	3	10	12	0	29	6	14	73	25
Vallesaccarda	In validazione	3	3	8	0	21	8	59	241	14
Vallata (CR)	In validazione	2	15	10	0	38	10	34	207	27
<b>Totale</b>		<b>30</b>	<b>42</b>	<b>59</b>	<b>0</b>	<b>152</b>	<b>51</b>	<b>306</b>	<b>908</b>	<b>131</b>

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

Dall'unione delle CLE comunali di tutti i 9 comuni di Vallata, (cfr. figura 1-1), Comune di Riferimento (CR) del Contesto Territoriale di Vallata, si evidenziano immediatamente due criticità:

- 1) Che solo 1 ES appartiene al tipo dei tre edifici strategici fondamentali (ospitanti le tre funzioni coordinamento interventi, soccorso sanitario e intervento operativo) ovvero si individua 1 ES001, di coordinamento, che è il Municipio di Vallata:
  - ES001 del CR, Municipio di Vallata, Viale Kennedy 1, Vallata (Scheda ES, codice S52, campo 51);
  - ES002 del CR, Non presente a Vallata, ma presente nel comune di Bisaccia;
  - ES003 del CR, Non presente a Vallata, ma presente nel comune di Bisaccia;
  
- 2) Che molte infrastrutture di connessione (AC\_conn, indicate con il numero 2 in Legenda) e di accessibilità (AC\_acc, indicate con il numero 1 in Legenda), dei singoli comuni, non sono raccordate tra i comuni del Contesto Territoriale di Vallata.

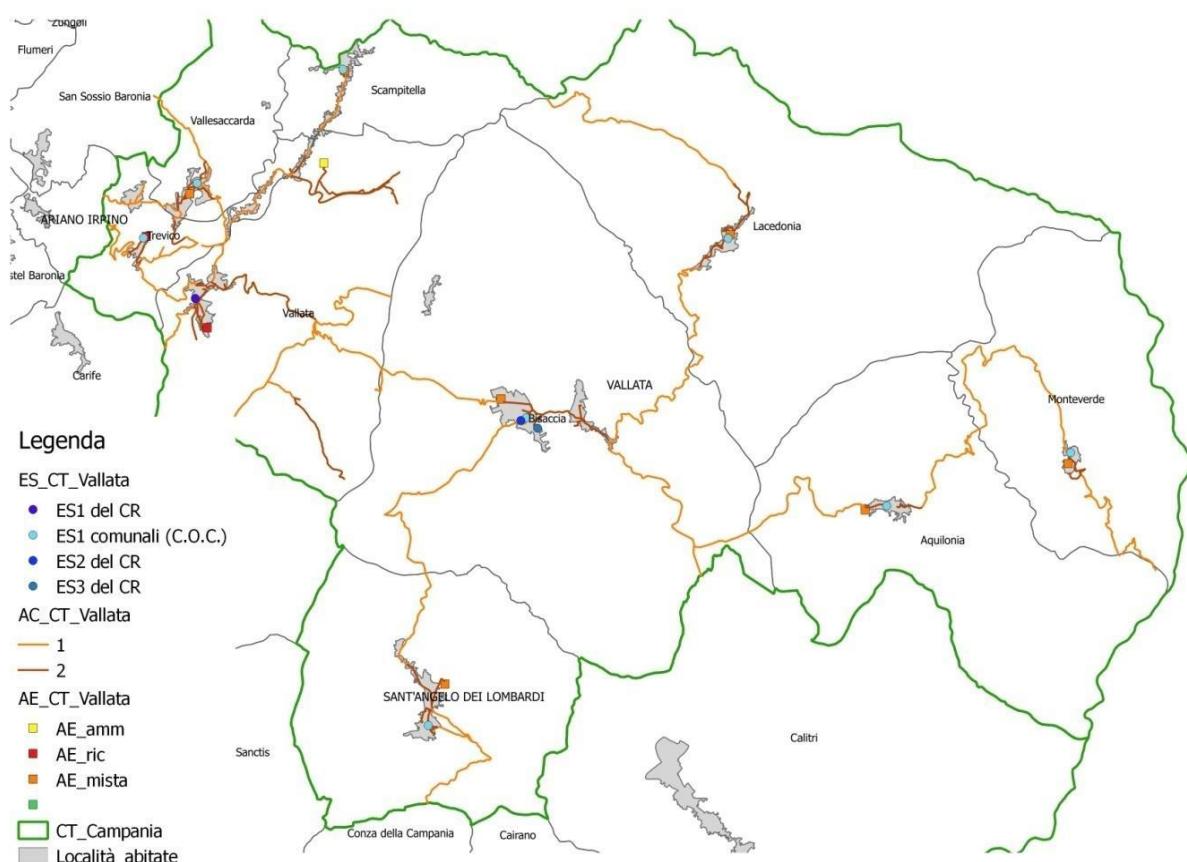


Figura 2-1 Quadro d'insieme di tutti gli elementi AC preselezione ed integrazione, da analisi di CLE comunitari del CT di Vallata (ES e AE già selezionati come da CLE di CT di Vallata)

## 2.3 Individuazione degli elementi del sistema strutturale minimo di gestione dell'emergenza a scala di CT

Nella tabella seguente sono indicati gli elementi da individuare nel sistema strutturale minimo di gestione dell'emergenza del Contesto Territoriale, come riportato nelle LG del CLE di CT, Report CAM\_F4.1, Progetto PON Governance Rischio sismico e vulcanico.

Tipologia di elementi	Elementi da individuare	Note
<b>Edifici strategici fondamentali per il coordinamento, il soccorso sanitario e l'intervento operativo del CT</b>	<b>ES1 del CR (coordinamento interventi)</b>	ES1 deve essere sempre individuato per il CT
	<b>ES2 del CR (soccorso sanitario)</b>	In caso di assenza: v. cap. 3
	<b>ES3 del CR (intervento operativo)</b>	In caso di assenza: v. cap. 3
<b>Edifici comunali per coordinamento interventi (COC - Centri Operativi Comunali)</b>	<b>ES1 (individuato come COC nell'analisi CLE comunale)</b> per ognuno dei comuni appartenenti al CT	Escluso il CR
<b>Arene di emergenza</b>	<b>AE_amm del CT</b>	In caso di assenza o sovrabbondanza di elementi: v. cap. 3
	<b>AE_ric</b> per ognuno dei comuni interni al CT	
<b>Infrastrutture di accessibilità e connessione</b>	<b>AC_acc dall'esterno del CT</b> <b>AC_conn reciproca tra nodi del Sistema (ES fondamentali, COC, AE_amm, AE_ric)</b>	In caso di assenza o sovrabbondanza di elementi: v. cap. 3

Tabella 2-3 Elementi da individuare nel sistema strutturale minimo del CT

Per la analisis CLE di CT di Vallata, gli Edifici Strategici (ES) fondamentali (ospitanti le tre funzioni coordinamento interventi, soccorso sanitario e intervento operativo) individuati sono:

- ES001 Municipio di Vallata, Viale Kennedy 1, (Scheda ES, codice S52, campo 51);
- ES002 Ospedale G. di Guglielmo, Via Giovanni Di Guglielmo (Indirizzo PS), (A.S.L. Avellino 1), Bisaccia;
- ES003 Distaccamento VV. F Sud Italia, Via Virgilio 100, 83044 Bisaccia;

Si riportano di seguito le schede con le verifiche effettuate per i singoli elementi del sistema strutturale minimo (CLE di CT) del Comune di Vallata (CR), che è sede COM (2012):

- ES 001 CLE di CT: Municipio di Vallata, Viale Kennedy 1

Requisito	Verifiche		
A instabilità	Aree instabili	no	✓
	PAI	-	
B funzione	Più elevato livello dell'AMM.Pubb	sì, Municipio	✓
	Dimensioni minime (300 mq)	si	✓
C requisiti funzionali e dimensionali	Spazi e impianti	-	
D Condizioni d'uso e disponibilità	Uso ordinario attuale definito	si	✓
E Proprietà e vincolo	Proprietà pubblica	si	✓

Tabella 2-4 Verifica requisiti su ES001

Per il comune CR Vallata non si può identificare l'edificio ES 002: da analisi a scala regionale è presente all'interno del comune di Bisaccia una postazione 118, Struttura Polifunzionale Salute, facente parte della Rete Emergenza - Urgenza della Regione Campania:

- ES 002 CLE di CT: Ospedale Nuovo di Bisaccia, Via G. Di Guglielmo, Bisaccia

Requisito	Verifiche		
A instabilità	Arearie instabili	no	✓
	PAI	-	
B funzione	Più elevato livello dell'AMM.Pubb	-	
	Dimensioni minime (mq)	si	✓
C requisiti funzionali e dimensionali	Spazi e impianti	-	
	Uso ordinario attuale definito	si	✓
E Proprietà e vincolo	Proprietà pubblica	si	✓

Tabella 2-5 Verifica requisiti su ES002

Per il comune CR Vallata non si può identificare l'edificio ES 003: da analisi a scala regionale si identifica l'ES 003 nel Comune Bisaccia:

- ES 003 CLE di CT: 1 Distaccamento VV. F Sud Italia, V. Virgilio 100, 83044 Bisaccia

Requisito	Verifiche		
A instabilità	Arearie instabili	no	✓
	PAI	-	
B funzione	Più elevato livello dell'AMM.Pubb	Caserma	✓
C requisiti funzionali e dimensionali	Dimensioni minime (mq)	si	✓
	Spazi e impianti	-	
D Condizioni d'uso e disponibilità	Uso ordinario attuale definito	si	✓
E Proprietà e vincolo	Proprietà pubblica	si	✓

Tabella 2-6 Verifica requisiti ES003

Si riportano nella Tabella 1-7 gli 11 edifici ES001, ES002, E003, identificati dalle CLE comunali e dalle analisi a scala regionale.

COMUNE	RIFERIMENTO (CLE, PIANO DI EMERGENZA COMUNALE)	N. ES SELEZIONATI	TIPO ES presenti
Andretta	CLE validata	1	ES1 (COC): Municipio, Piazza dei Caduti
Aquilonia	CLE in validazione	1	ES1 (COC): Sede comunale in via Principe di Piemonte (011);
Bisaccia	CLE in validazione  Piano Regionale Sanitario 2018  Web-GIS "Mappe delle Sedi di Servizio VV.F. in Italia"	3	1 ES1 (COC): Via Verdi – (e COC Via Grazia Deledda, sede secondaria);

COMUNE	RIFERIMENTO (CLE, PIANO DI EMERGENZA COMUNALE)	N. ES SELEZIONATI	TIPO ES presenti
			1 ES2 Ospedale Nuovo di Bisaccia, Via G. Di Guglielmo; 1 ES3 Distaccamento VV. F Sud Italia, V. Virgilio 100;
Lacedonia	CLE in validazione	1	ES1 (COC): Museo MAVi, Via Tribuni (244 mq)
Monteverde	CLE in validazione	1	ES1 (COC): Via Fontana
Scampitella	CLE in validazione	1	ES1 (COC): Sede comunale via Piave (anche se sede più piccola come superficie dell'altro edificio strategico - scuola)
Trevico	CLE in validazione	1	ES1 COC: stazione enogastronomica: Via Roma (438 mq), (anche se la Sede comunale, è a via Nicola Petrilli)
Vallesaccarda	CLE in validazione	1	ES1 (COC): Sede comunale, Via tedesco (anche qui sede comunale più piccola come superficie dell'altro edificio strategico presente)
Vallata (CR)	CLE in validazione	1	ES1 (COM): Municipio, Viale Kennedy 1 (e presenza di una sede comunale più piccola)

Tabella 2-7 ES da analisi CLE comunali e da analisi a scala regionale

Per la analisi CLE di CT di Vallata, i criteri da verificare per selezionare le AE sono i seguenti:

- Identificazione da scheda AE di area per ammassamento (campo 8) di maggiori dimensioni su tutte le schede dei Comuni (campi 13, 14 e 15);
- Identificazione area di proprietà pubblica di dimensioni pari o superiori a 25000 mq e rispondente ai criteri generali Direttiva 1099/2015, punto 3; Manuale CLE, Scheda AE, sezione 2.3.2, istruzioni per campo 8;
- Identificazione da schede AE di AE per ricovero (campo 8) di maggiori dimensioni per ciascun Comune (campi 13, 14 e 15);
- Identificazione di un'area di proprietà pubblica e rispondente ai criteri generali Direttiva 1099/2015, punto 3.3 - Manuale CLE, sezione 2.3.2 campo 8;

Dalle analisi CLE comunali del CT di Vallata, si può identificare 1 AE di ammassamento nel comune di Vallata (CR) di dimensioni che verificano il requisito > 25000 mq: Area Industriale PIP Maggiano, Vallata

Requisito	Verifiche		
A instabilità	Aree instabili	no	✓
	PAI	-	
B funzione	Più elevato livello dell'AMM.Pubb		
C requisiti funzionali e dimensionali	Dimensioni minime (25000 mq)	Si 39455 mq	✓

<b>Requisito</b>	<b>Verifiche</b>		
	Spazi e impianti	-	
D Condizioni d'uso e disponibilità	Uso ordinario attuale definito	si	✓
E Proprietà e vincolo	Proprietà pubblica	no	

Tabella 2-8 Verifica requisiti AE ammassamento

La seguente tabella 2-9 riporta tutte le 10 AE selezionate dalle analisi CLE comunali;

<b>COMUNE</b>	<b>RIFERIMENTO (CLE, PIANO DI EMERGENZA COMUNALE)</b>	<b>N. AE SELEZIONATE</b>	<b>TIPO AE presenti</b>
<b>Andretta</b>	CLE validata	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>campo sportivo 7674 mq, tipo 1 AE amm, non selezionata</li> <li>Area PIP 6790 mq, tipo 3 AE mista, selezionata</li> </ul>
<b>Aquilonia</b>	CLE in validazione	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Campo da calcio e area antistante 12024 mq, tipo 3, AE mista, selezionata</li> </ul>
<b>Bisaccia</b>	CLE in validazione	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Campo da calcetto coperto Aldo Scotece, 15120 mq, tipo 3, AE mista, selezionata</li> </ul>
<b>Lacedonia</b>	CLE in validazione	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Largo Poste e parcheggio ex Istituto Magistrale 1384 mq, non selezionata</li> <li>Campo sportivo, 6369 mq, tipo 1, AE amm, selezionata</li> </ul>
<b>Monteverde</b>	CLE in validazione	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Area protezione civile, 2394 mq, AE mista tipo 3, selezionata</li> </ul>
<b>Scampitella</b>	CLE in validazione	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Piazzale Padre Pio, 1741 mq, AE mista, tipo area 3, selezionata</li> </ul>
<b>Trevico</b>	CLE in validazione	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Campo sportivo, 4824 mq tipo 2, AE ricovero, selezionata</li> <li>Area antenne 7776 mq, AE amm, tipo area 1, non selezionata</li> </ul>
<b>Vallesaccarda</b>	CLE in validazione	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Area senza nome, 1657 mq, tipo 3, AE mista, selezionata</li> </ul>

COMUNE	RIFERIMENTO (CLE, PIANO DI EMERGENZA COMUNALE)	N. AE SELEZIONATE	TIPO AE presenti
Vallata (CR)	CLE in validazione	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Campo Sportivo San Vito, 5100 mq tipo 2, AE ricovero, selezionata</li> <li>• Area Industriale PIP Maggiano; 39455 mq (verificato maggiore di 25000 mq), AE ammassamento, tipo area 1, selezionata</li> </ul>

Tabella 2-9 AE da analisi CLE comunali

La seguente tabella sintetizza il risultato dell'applicazione delle Linee Guida, che ha portato all'individuazione del Sistema strutturale minimo del CT di Vallata, rappresentato in Figura 2-2.

Comune	n. ES	Tipo / Criteri	n. AE liv. 1	Tipo / Criteri
<b>Andretta</b> Studio validato	1 ES	<b>ES1</b> ✓ da CLE (001) – (COC): Municipio, Piazza dei Caduti	1 AE	✓ Area PIP 6790 mq, tipo 3 AE mista
<b>Aquilonia</b> Studio in fase di validazione	1 ES	<b>ES1</b> ✓ da CLE (001) – (COC) Sede comunale in via Principe di Piemonte (011);	1 AE	✓ Campo da calcio e area antistante 12024 mq, tipo 3, AE mista
<b>Bisaccia</b> Studio in fase di validazione	3 ES	<b>ES1</b> ✓ da CLE (001): (COC): Via Verdi – (COC) Via Grazia Deledda, sede secondaria);  <b>ES2</b> ✓ Ospedale G. di Guglielmo, Via Giovanni Di Guglielmo (Indirizzo PS), (A.S.L. Avellino 1), Bisaccia  <b>ES3</b> ✓ Distaccamento VV. F, Sud Italia, V. Virgilio 100	1 AE	✓ Campo da calcetto coperto Aldo Scotece, 15120 mq, tipo 3, AE mista
<b>Lacedonia</b> Studio in fase di validazione	1 ES	<b>ES1</b> ✓ da CLE (001): (COC): Museo MAVi, Via Tribuni (anche se 244 < 300 mq)	1 AE	✓ Campo sportivo, 6369 mq, tipo 1, AE amm, selezionata
<b>Monteverde</b> Studio in fase di validazione	1 ES	<b>ES1</b> ✓ da CLE (001): (COC): Via Fontana	1 AE	✓ Area protezione civile, 2394 mq, AE mista tipo 3
<b>Scampitella</b> Studio in fase di validazione	1 ES	<b>ES1</b> ✓ da CLE (001): (COC): Sede comunale via Piave (anche se sede più piccola come superficie dell'altro edificio strategico - scuola)	1 AE	✓ Piazzale Padre Pio, 1741 mq, AE mista, tipo area 3
<b>Trevico</b> Studio in fase di validazione	1 ES	<b>ES1</b> ✓ da CLE (001): (COC): stazione enogastronomica: Via Roma (438 mq), (anche se la Sede comunale, è a via Nicola Petrilli)	1 AE	✓ Campo sportivo, 4824 mq tipo 2, AE ricovero
<b>Vallesaccarda</b> Studio in fase di validazione	1 ES	<b>ES1</b> ✓ da CLE (001): (COC): Sede comunale, Via tedesco (anche qui sede comunale più piccola come superficie dell'altro edificio strategico presente)	1 AE	✓ Area senza nome, 1657 mq, tipo 3, AE mista
<b>Vallata</b> Studio in fase di validazione	1 ES	<b>ES1 (sede COM)</b> ✓ da CLE (001): Municipio, Viale Kennedy 1, Vallata (zona stabile ok, requisiti dimensionali ok dim.>= 300 m <sup>2</sup> )	2 AE	✓ Campo Sportivo San Vito, 5100 mq tipo 2, AE ricovero

Comune	n. ES	Tipo / Criteri	n. AE liv. 1	Tipo / Criteri
				✓ AE ammassamento, tipo 1, Area Industriale PIP Maggiano, Vallata (39455 m <sup>2</sup> > 25000 m <sup>2</sup> )

Tabella 2-10 Elementi ES ed AE selezionati dalle analisi CLE comunali per la CLE del CT di Vallata

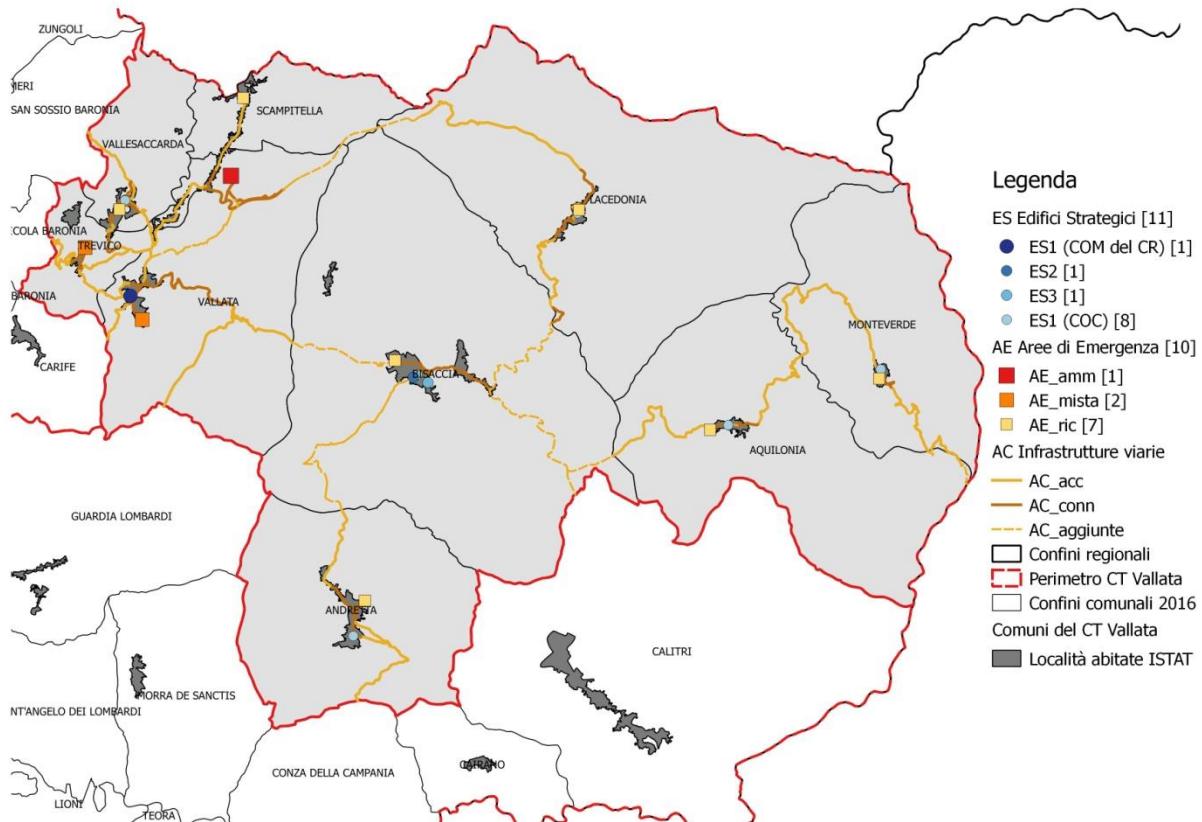


Figura 2-2 Soluzione grafo proposta per la CLE di CT di Vallata: selezione degli elementi da CLE comunali

## 2.4 Sintesi delle principali criticità

Per il comune di Vallata (CR) non è stato possibile identificare l'ES 002: da analisi a scala regionale è presente all'interno del comune di Bisaccia una postazione 118, Struttura Polifunzionale Salute, facente parte della Rete Emergenza Urgenza della Regione Campania, (Ospedale Nuovo di Bisaccia, Via G. Di Guglielmo), tale postazione tuttavia sta valutando se mantenere o meno il servizio di Pronto Soccorso.

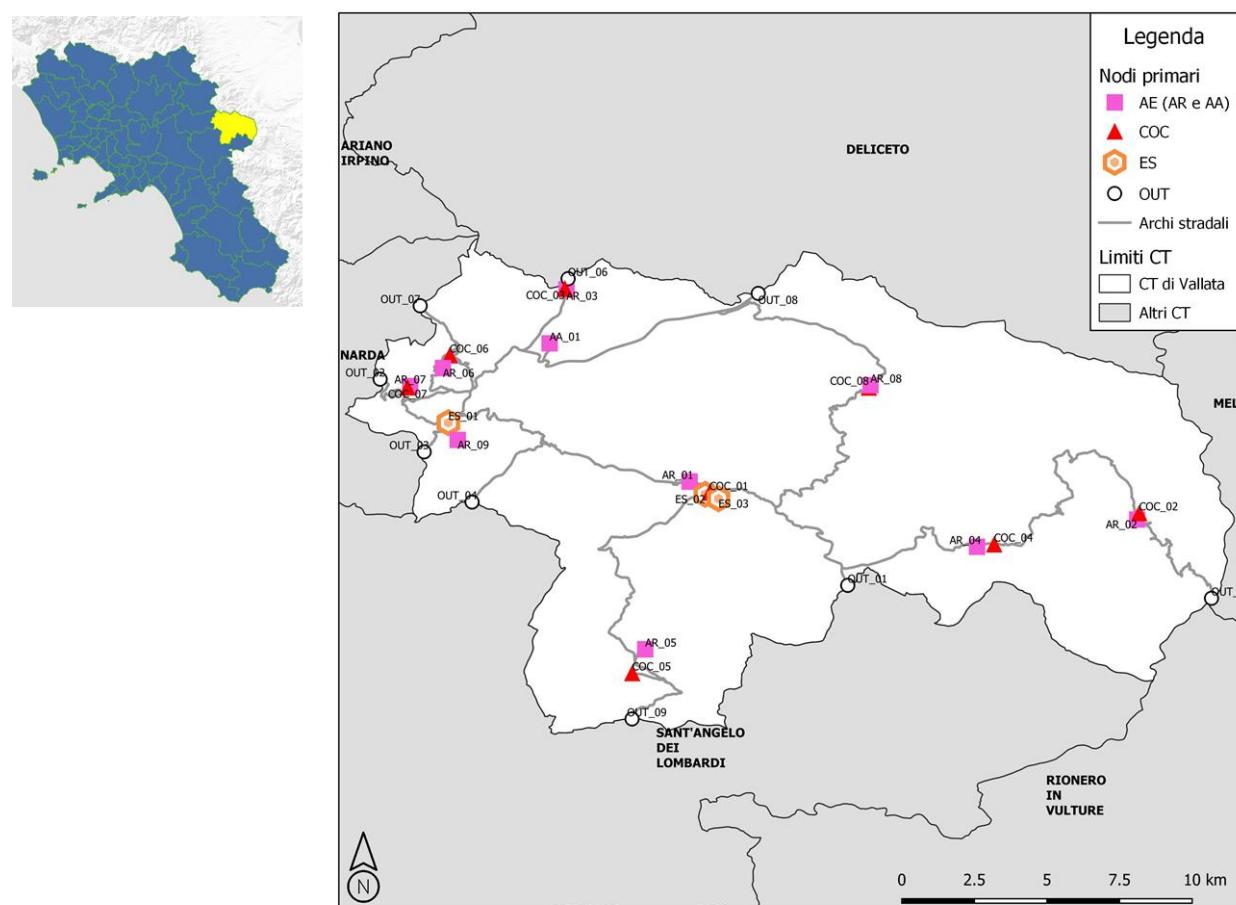
## 3 Le fasi del percorso di valutazione

### 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.

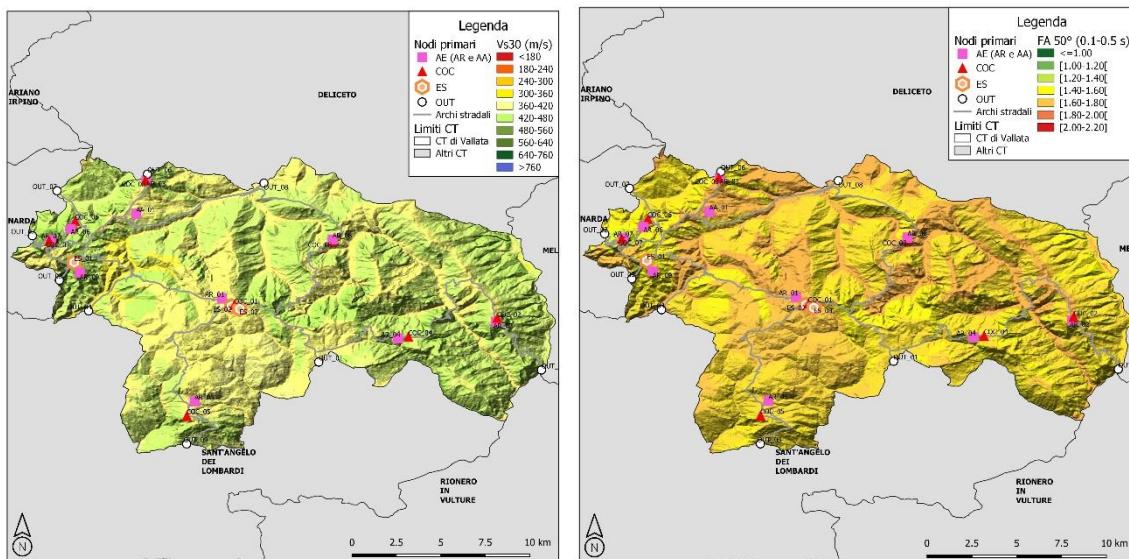
Di seguito si riporta l'immagine del portafoglio dell'esposto del sistema di gestione dell'emergenza del CT pilota.



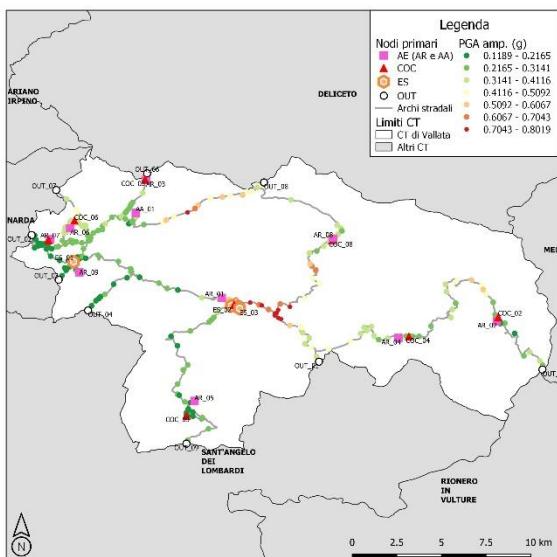
### 3.2 Fase 2 – La pericolosità specifica per i sistemi a rete

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 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.

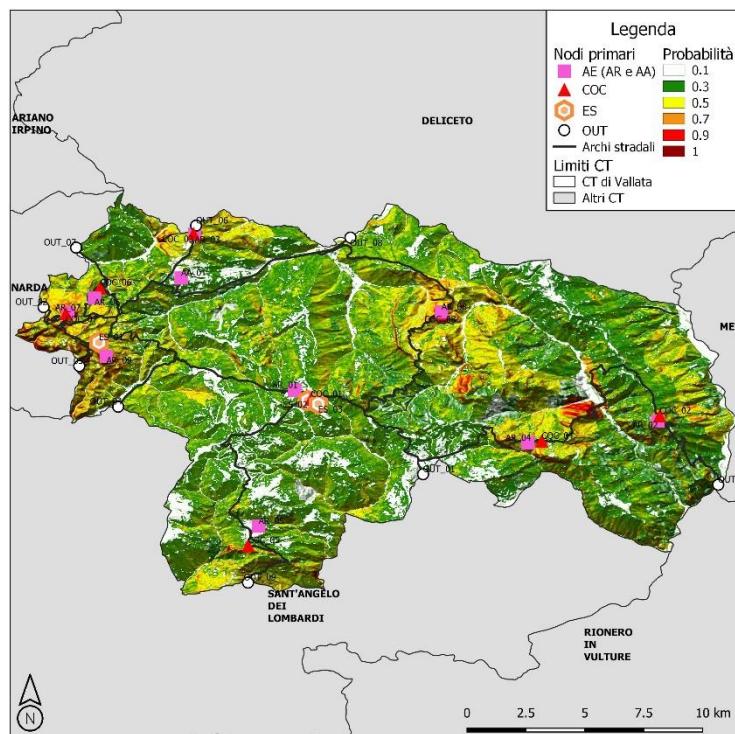


Per ogni singolo scenario prodotto da un'analisi "event based" (realizzata con il software Openquake) si calcolano le misure di intensità ai singoli oggetti. Di seguito un esempio di PGA amplificata ai nodi del sistema per uno degli scenari (in totale 138 scenari per Tr=100 anni, 42 scenari per Tr=475 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 per un singolo scenario. La probabilità varia tra 0 e 1. La probabilità di liquefazione dinamica risulta trascurabile.



### 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.

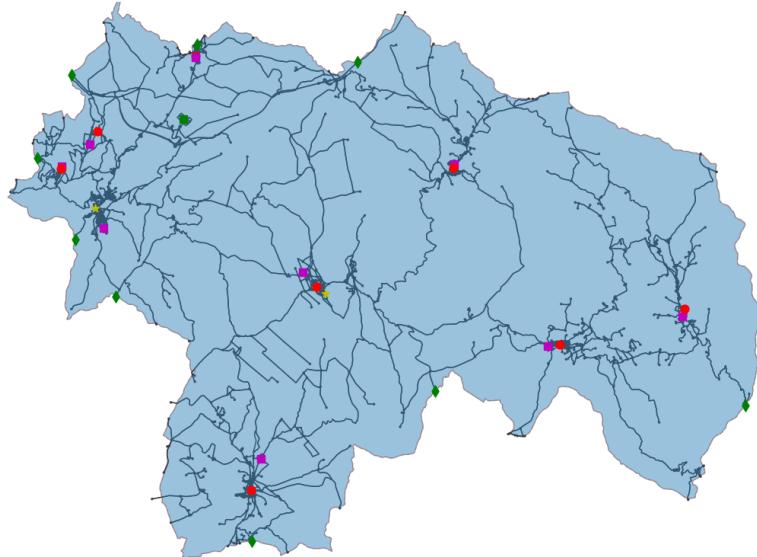


Figura 3: Scaricamento della rete stradale per il CT e aggancio dei nodi strategici

### 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.

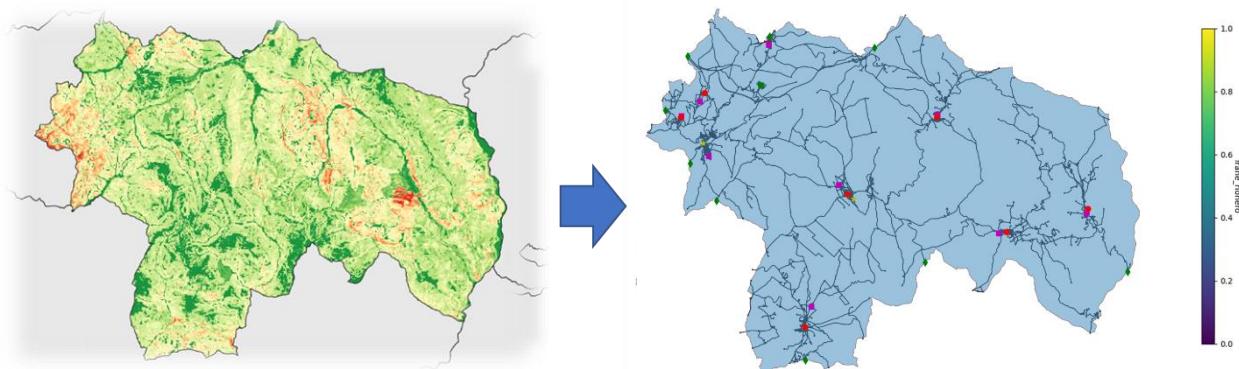


Figura 4: Importazione del raster di pericolosità e valorizzazione dei rami

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.

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	ES_01	ES_02_3	ES_03	AR_13	AA_01	
2 ES_02_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	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		
4 COC_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		
5 COC_3	1	0	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		
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		
7 COC_4	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0		
8 AR_3	0	1	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	0	0		
9 COC_5	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	1	1	0		
10 AR_4	0	1	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_6	1	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	1	1	0		
12 AR_5	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		
13 COC_7	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	0	0	0	0		
14 AR_6	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		
15 COC_8	1	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	1	1	0		
16 AR_7	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	0	0	0		
17 COC_9	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	1	1	0		
18 AR_8	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		
19 COC_10	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		
20 AR_9	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		
21 COC_11	1	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	1	1	0		
22 AR_10	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	0	0	0		
23 COC_12	1	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	1	1	0		
24 COC_13	1	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	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	1	0	0	0	0	0	1	1	0		
26 COC_14	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	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	1	0	0	0	0	1	1	0		
28 AR_13	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0		
29 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		
30 ES_02_3	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	0	1	0	1		
31 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	0	1	0	1		
32 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		
33 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		

Figura 5: 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 generati 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.

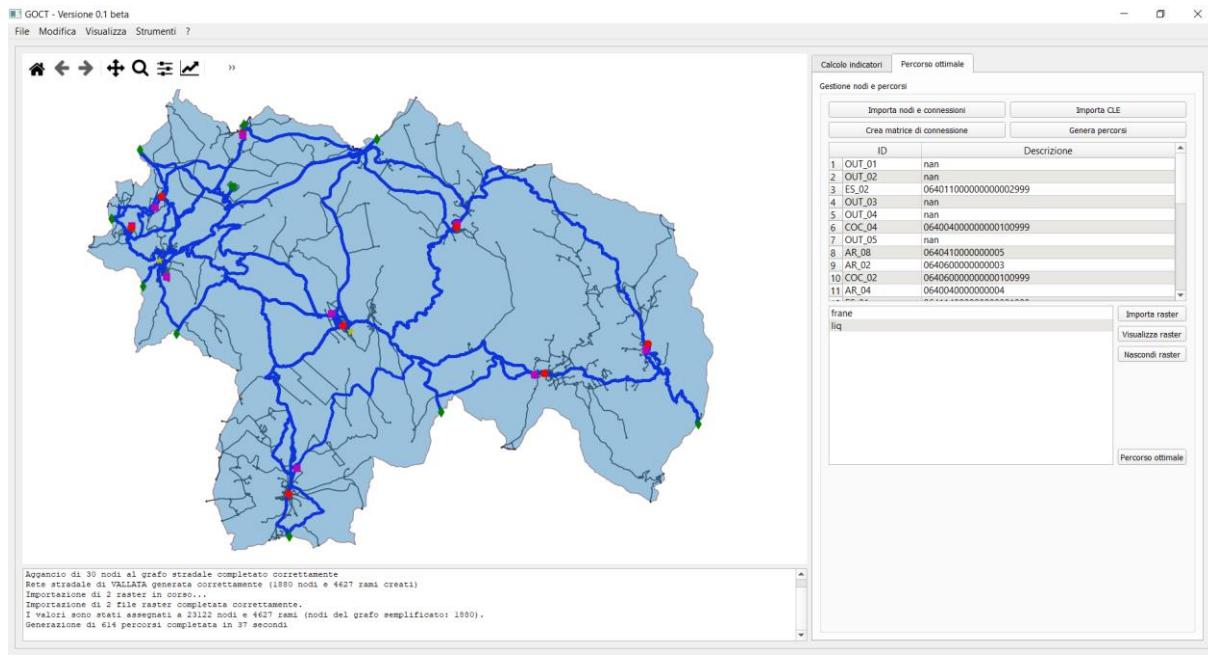


Figura 6: Grafo dei percorsi ridondanti generato con grado di ridondanza  $k=3$

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:

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

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.

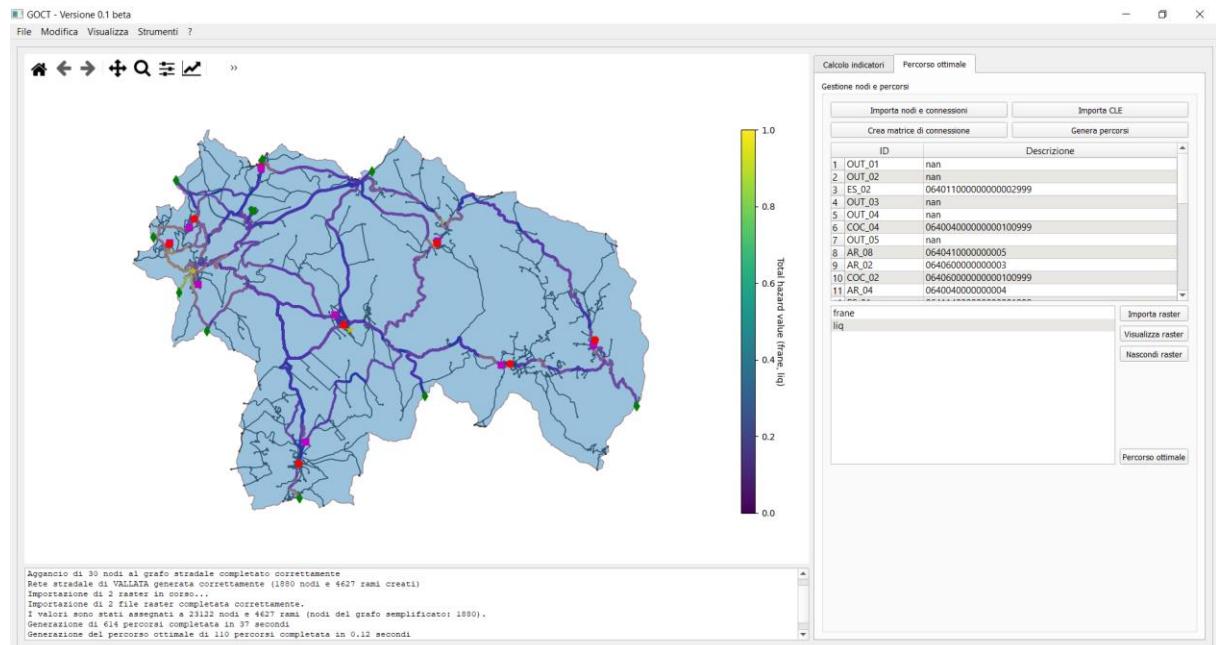


Figura 7: Percorso ottimale generato minimizzando le impedenze medie dei rami

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 Vallata. 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.

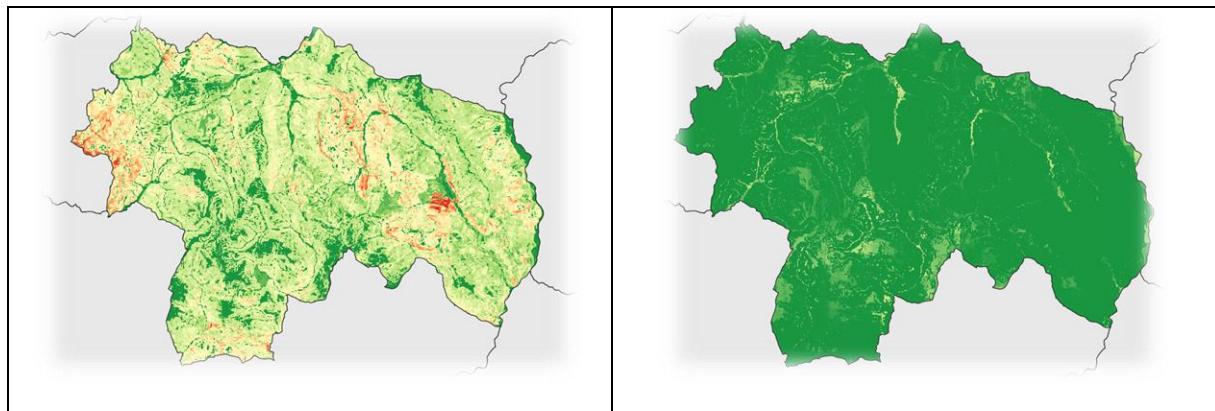


Figura 8: raster di impedenza per le frane sismoindotte (sx) e per le liquefazioni dinamiche (dx)

Si riporta nel seguito l'elenco dei 30 nodi strategici considerati nell'analisi:

Denominazione	Id	Lon	Lat	PRO_COM	COMUNE
OUT_01	1	15.414473	40.970541	64015	Calitri
OUT_02	2	15.223486	41.054659	64085	San Nicola Baronia
ES_02	3	15.356293	41.007694	64011	Bisaccia
OUT_03	4	15.241459	41.02501	64019	Carife
OUT_04	5	15.26103	41.00454	64040	Guardia Lombardi
COC_04	6	15.474257	40.987292		
OUT_05	7	15.563035	40.965259	76048	Melfi
AR_08	8	15.423769	41.052182	64041	Lacedonia
AR_02	9	15.532677	40.997404	64060	Monteverde
COC_02	10	15.533541	41.000031		
AR_04	11	15.467261	40.986275	64004	Aquilonia
ES_01	12	15.251369	41.036908	64114	Vallata
COC_08	13	15.423101	41.051254		
AR_01	14	15.349872	41.012879	64011	Bisaccia
OUT_06	15	15.30026	41.095677	64097	Scampitella
COC_05	16	15.326462	40.934749		
AR_05	17	15.331755	40.944435	64003	Andretta
ES_03	18	15.361697	41.005882	64011	Bisaccia
COC_01	19	15.358032	41.008362		
OUT_07	20	15.239845	41.084611	64087	San Sossio Baronia

Denominazione	Id	Lon	Lat	PRO_COM	COMUNE
AR_07	21	15.235767	41.051842	64112	Trevico
COC_07	22	15.234673	41.051344		
AR_06	23	15.249146	41.059203	64115	Vallesaccarda
COC_06	24	15.251941	41.064416		
COC_03	25	15.298957	41.091635		
AR_03	26	15.29958	41.091306	64097	Scampitella
AR_09	27	15.255181	41.029889	64114	Vallata
OUT_08	28	15.379016	41.089143	71052	Sant'Agata di Puglia
AA_01	29	15.292726	41.069289	64114	Vallata
OUT_09	30	15.326384	40.91602	64030	Conza della Campania

Al termine dell'importazione dei nodi strategici è stato generato il grafo della rete stradale del CT, costituito da un totale di 1880 nodi e di 4627 rami.

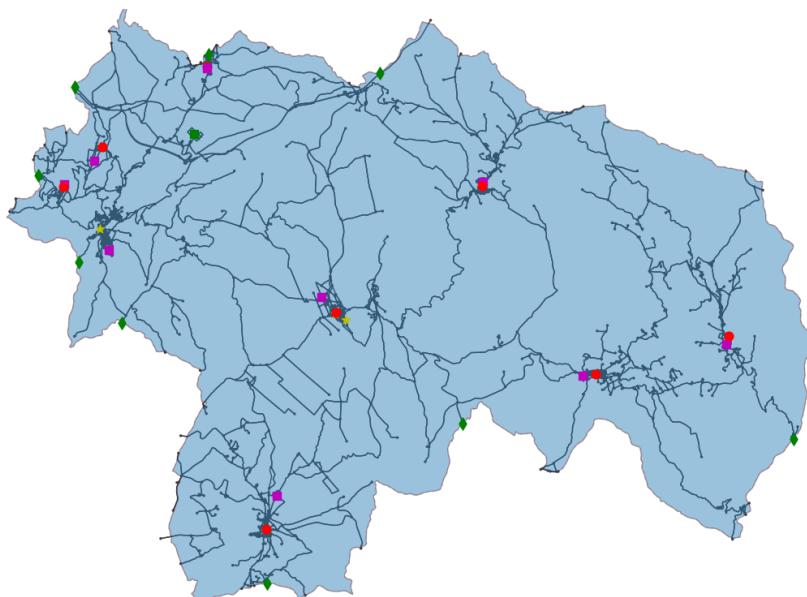


Figura 9: Grafo stradale generato per il CT di Vallata e sovrapposizione dei nodi strategici importati

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 614 percorsi con un tempo di elaborazione pari a 37 secondi.

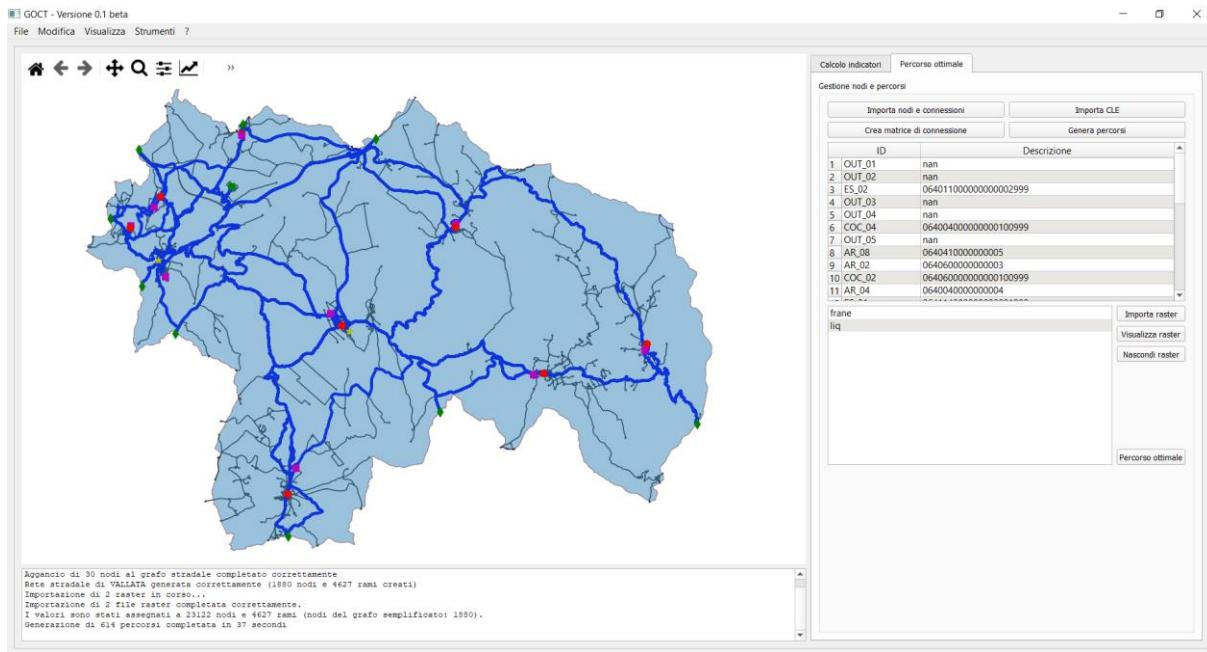


Figura 10: Percorsi ridondanti tra i nodi strategici del CT di Vallata (approccio a priorità nulla di CLE)

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.

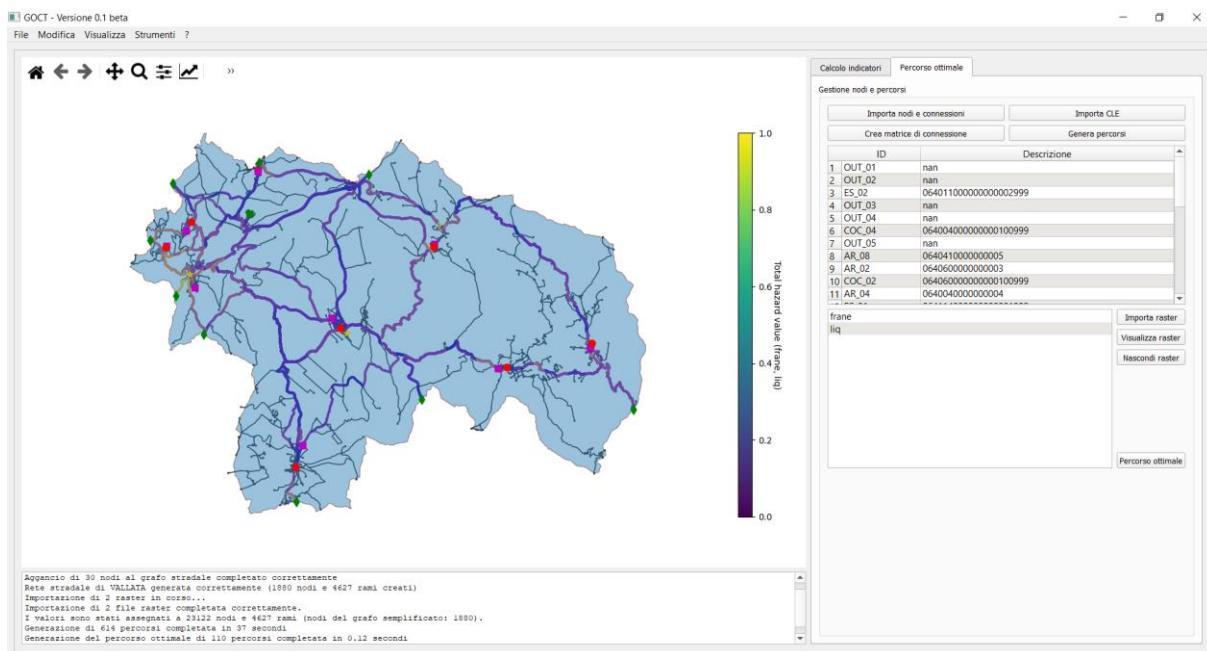


Figura 11: Grafo ottimale per il CT di Vallata

Al termine dell'operazione è stato generato il grafo finale composto da 110 percorsi totali e con una lunghezza complessiva dei rami stradali coinvolti pari a 233.65 Km.

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

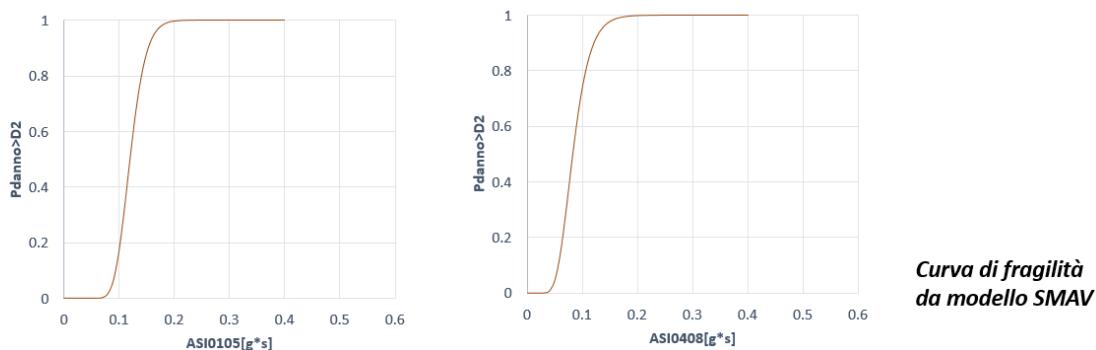
Per la valutazione di operatività degli edifici si utilizzano i seguenti modelli:

-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. In particolare si mostrano le curve di fragilità da modello SMAV per il municipio di Vallata e l'ospedale di Bisaccia.

#### Misure di vibrazione (UNIBAS), modello SMAV e curva di fragilità da modello SMAV

Esempio di curve per Municipio di Vallata e Ospedale di Bisaccia



-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 (42 scenari).

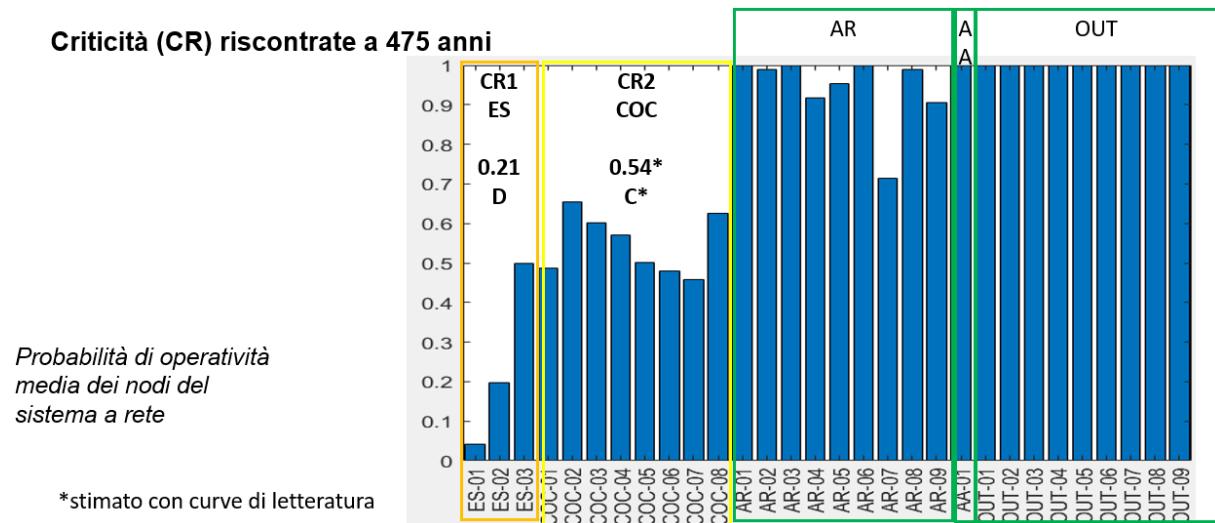
#### RISULTATI per Tr=475 anni

Componenti del sistema di gestione dell'emergenza	INDICE	CLASSE	CLASSE	INDICE	<i>Risultati per le singole componenti (medie delle operatività)</i>		
	ES fondamentali	0.21	D	A	0.8 - 1.0		
	Area di ammassamento	1.00	A	B	0.6 - 0.8		
	Edifici COC	0.54	C*	C	0.4 - 0.6		
	Aree di ricovero	0.94	A	D	0.2 - 0.4		
	Connessioni	0.93	A	E	0 - 0.2		
	Out	1.00	A				
Contesto Territoriale		IOCT	COCT	COCT	IOCT	<i>Risultato globale per il Contesto Territoriale (Indice IOCT)</i>	
		0.44	B				

### 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:

- Criticità 1: ES fondamentali.
- Criticità 2: COC

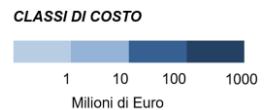


Si interviene simulando gli interventi con i modelli di miglioramento riportati nel documento A4.1. Per ogni criticità riscontrata si valuta:

-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.

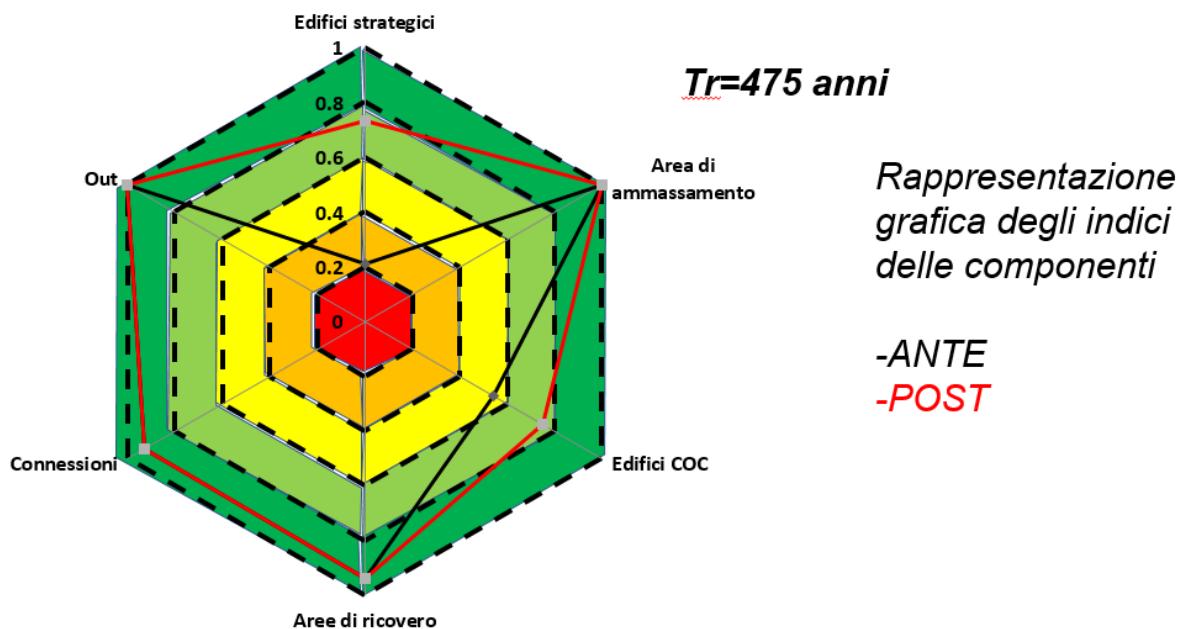
Ipotesi di intervento	<u>Beneficio in termini di passaggio di classe Globale COCT</u>	Beneficio in termini di passaggio di classe singola componente	<u>Classe di costo associata</u>
Hp1 (Cr1. ES)	NO	SI (D→B)	
Hp2 (Cr2. COC)	NO	SI (C→B)	
Hp3 (Hp1+Hp2)	SI (B→A)	SI	



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>Tr=475 anni</i>		<b>ANTE</b>		<b>POST (Hp.3)</b>			
Componenti del sistema di gestione dell'emergenza		<b>INDICE</b>	<b>CLASSE</b>		<b>INDICE</b>	<b>CLASSE</b>	
	ES fondamentali	0.21	D		0.73	B	
	Area di ammassamento	1.00	A		1.00	A	
	Edifici COC	0.54	C*		0.75	B	
	Aree di ricovero	0.94	A		0.94	A	
	Connessioni	0.93	A		0.93	A	
	Out	1.00	A		1.00	A	
		<b>IOCT</b>	<b>COCT</b>			<b>IOCT</b>	<b>COCT</b>
Contesto Territoriale		0.44	B	Contesto Territoriale		0.66	A

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





## PON GOVERNANCE 2014-2020 Rischio Sismico e Vulcanico

Attività CAM\_F4.2 | Supporto all'applicazione del modello valutativo dell'efficacia degli interventi per la riduzione del rischio nell'ambito dei diversi contesti territoriali (inclusi scenari di danno in aree vulcaniche)

### Appendice 1 – La pericolosità vulcanica

**Versione 1.3**

Pubblicato in data 24/01/2022



Consiglio Nazionale delle Ricerche





## PON GOVERNANCE 2014-2020 Rischio Sismico e Vulcanico

Attività CAM\_F4.2 | Supporto all'applicazione del modello valutativo dell'efficacia degli interventi per la riduzione del rischio nell'ambito dei diversi contesti territoriali (inclusi scenari di danno in aree vulcaniche)

### Appendice 1 – La pericolosità vulcanica

**Versione 1.3**

Pubblicato 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 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

### Attività CAM\_F4.2 | Supporto all'applicazione del modello valutativo dell'efficacia degli interventi per la riduzione del rischio nell'ambito dei diversi contesti territoriali (inclusi scenari di danno in aree vulcaniche)

#### Appendice 1 – La pericolosità vulcanica

##### A cura di

Marco Nocentini (CNR-IGAG); Silvia Massaro (CNR-IGAG).

##### Con il contributo di

Edoardo Peronace (CNR-IGAG); Biagio Giacco (CNR-IGAG); Massimiliano Moscatelli (CNR-IGAG); Antonio Costa (INGV); Laura Sandri (INGV); Jacopo Selva (INGV); Roberto Isaia (INGV); Roberto Sulpizio (UniBari); Gianluca Sottilli (Uni Roma1); Danilo Palladino (Uni Roma1).

versione colophon 06/12/2021

## Appendice 1 – La pericolosità vulcanica

Al fine di valutare in futuro il grafo ottimale del CT utilizzando come forzante anche la pericolosità vulcanica, è stato realizzato un prototipo metodologico per le stime di pericolosità vulcanica probabilistica di lungo termine (50-500 anni) focalizzato alla stima dell'accumulo al suolo dei depositi piroclastici da caduta (conosciuti generalmente come tefra, che a sua volta viene suddivisa in lapilli e ceneri a seconda delle dimensioni delle particelle), fino all'isopaca di 1 mm, quindi potenzialmente impattante fino a distanze di centinaia di km dal centro eruttivo. Seguendo l'approccio tradizionale, i modelli di pericolosità vengono realizzati separatamente per i diversi vulcani quantificando la variabilità delle condizioni al contorno (ad esempio, del vento, basandosi sulla statistica dei venti negli ultimi 20-30 anni) ed assumendo alcuni cosiddetti “scenari eruttivi di riferimento”. Generalmente questi scenari sono riferiti ad alcuni eventi ben studiati e “rilevanti” nella storia eruttiva del vulcano considerato, e rappresentano una specifica realizzazione delle infinite possibili “condizioni eruttive” che determinano alcuni fattori chiave nel processo di dispersione delle ceneri: posizione della bocca eruttiva, taglia e durata dell'eruzione, distribuzione granulometrica delle particelle di lapilli e ceneri prodotte. Pertanto, l'intrinseca variabilità nelle condizioni eruttive viene trascurata, producendo stime di pericolosità condizionate all'occorrenza di uno specifico scenario di riferimento (o di poche unità), non adatte al loro utilizzo all'interno del percorso di valutazione dell'operatività del sistema di gestione di emergenza sviluppato in questo progetto.

In questo studio, quindi, combinando diversi approcci disponibili in letteratura, si è cercato di superare l'approccio comunemente usato, producendo mappe di pericolosità assolute che includano la variabilità delle taglie eruttive e che combinino l'impatto di più vulcani. In questa fase, lo studio è stato limitato alle eruzioni esplosive di diverse magnitudo dei vulcani Vesuvio e Campi Flegrei, ma in futuro lo studio potrà rendersi estendibile a qualsiasi taglia eruttiva e a qualsiasi vulcano.

Si è proceduto alla stima della probabilità di accumulo di ceneri al suolo in 50 anni assumendo un processo poissoniano. Il risultato di questo schema di stima della pericolosità vulcanica da accumulo di ceneri al suolo ci permette di ottenere **curve assolute di pericolosità**, che mostrano come varia la probabilità di eccedenza di diversi valori di carico di ceneri accumulato al suolo, su una griglia di punti che copre le 5 regioni target ad una risoluzione di 3 km, in 50 anni. *In questo modo la stima della pericolosità vulcanica diviene del tutto analoga alla prassi consolidata in ambito sismico; di conseguenza la stima del rischio che ne deriva diviene confrontabile e “gerarchizzabile” con il rischio sismico ed altri eventuali rischi naturali la cui pericolosità è calcolata in modo analogo.*

Nel caso vulcanico, si tiene quindi complessivamente conto della variabilità nella posizione della bocca eruttiva e della variabilità nei parametri collegati alla taglia eruttiva simulando eruzioni a diversa magnitudo di entrambi i vulcani, oltreché della frequenza annuale di eruzioni per ciascun vulcano. Tale frequenza può variare nel tempo e la stima è basata sulla probabilità temporale di eruzione stimata ai Campi Flegrei (Bevilacqua et al. 2015) e al Vesuvio (Marzocchi et al. 2004).

In particolare, la pericolosità vulcanica può essere calcolata utilizzando la stessa formulazione adottata, per esempio, nel calcolo della pericolosità sismica (e.g. Bazzurro and Cornell 1999), adattando l'esplorazione dei diversi scenari al caso vulcanico:

$$\lambda(Z > z; x, t) = \nu_E(t) \int_{\Sigma} P(Z > z | \sigma) P(\sigma | E) d\sigma = \sum_{\substack{i \in \\ \text{volcano}}} \nu_{E_i}(t) \sum_{\substack{j \in \\ \text{vent size}}} \sum_{\substack{k \in \\ \text{size}}} P(Z > z | \sigma_{ijk}; x) P(\sigma_{jk} | E_i)$$

dove il termine  $P(\sigma_{jk}|E_i)$  rappresenta la probabilità di una particolare condizione eruttiva, data un'eruzione al vulcano  $i$ , e include:

- la variabilità nella posizione della bocca eruttiva (per il Vesuvio viene considerata solo una bocca posizionata sul cratere attuale, mentre alla caldera dei Campi Flegrei la dispersione della cenere viene simulata da una griglia di possibili bocche a cui è associata, per ogni cella, una probabilità spaziale);
- la variabilità nei parametri collegati alla taglia eruttiva (o magnitudo), simulando eruzioni di diversa magnitudo ed associando ad ognuna di esse una probabilità di occorrenza (condizionata all'occorrenza di un'eruzione) secondo una legge di potenza continua su tutto lo spettro dei possibili valori di magnitudo (Sandri et al., 2016). La legge di potenza è basata sulla frequenza osservata delle diverse magnitudo eruttive negli ultimi 2000 anni al Vesuvio e 5000 anni ai Campi Flegrei ed estrapolata per limiti temporali più estesi;

Il termine  $P(Z > z|\sigma_{ijk})$  è la probabilità di avere il superamento di un certo spessore di cenere al target  $x$  dovuta all'eruzione  $\sigma_{ijk}$ , ed è calcolata simulando migliaia di volte la dispersione e il deposito della cenere in condizioni di vento differente, campionato dalla statistica dei venti negli ultimi 30 anni.

Il termine  $\nu_{E_i}$  è la frequenza annuale di eruzioni al vulcano  $i$ . Questa frequenza può variare nel tempo e la stima è basata sulla probabilità temporale di eruzione stimata ai Campi Flegrei (Bevilacqua et al., 2015) e al Vesuvio (Marzocchi et al., 2004).

Le simulazioni del carico al suolo sono state effettuate con il codice numerico **FALL3D** (v. 8.0; Folch et al., 2020), in coordinate geografiche con risoluzione orizzontale di  $0.03 \times 0.03$  gradi (circa  $3 \times 3$  km) su un dominio computazionale esteso  $670 \times 630$  km. I parametri utilizzati nelle simulazioni sono riportati in **Tabella 1**.

Per ciascun vulcano, e per ciascuna taglia eruttiva considerata, sono state svolte 1500 simulazioni utilizzando i profili di vento medi giornalieri del dataset **ECMWF ERA5** (Copernicus Climate Change Service, 2017) con risoluzione  $0.03 \times 0.03$  gradi, nel periodo dal 01/01/1991 al 31/12/2020 per il caso del Vesuvio, e nel periodo dal 01/01/1999 al 31/12/2020 per i Campi Flegrei. L'attenzione viene rivolta ai depositi delle ceneri fini a grandi distanze, per carichi al suolo compresi tra  $0.01$  a  $16$  kg/m<sup>2</sup>, non considerando carichi superiori tipici delle zone prossimali, oggetto di altri studi precedenti.

Nel caso dei Campi Flegrei, viene considerata una variabilità nella posizione della bocca eruttiva simulando la dispersione della cenere da una griglia di possibili bocche che copre tutta la caldera ( $12 \times 10$  km), le cui celle sono caratterizzate da una probabilità spaziale (condizionata all'occorrenza di una eruzione) basata sulla posizione di alcune caratteristiche geo-morfologiche e strutturali e sulla posizione dei centri eruttivi degli ultimi 5000 anni (Selva et al., 2012). Per il Vesuvio viene invece considerata una singola sorgente corrispondente all'attuale posizione del cratere.

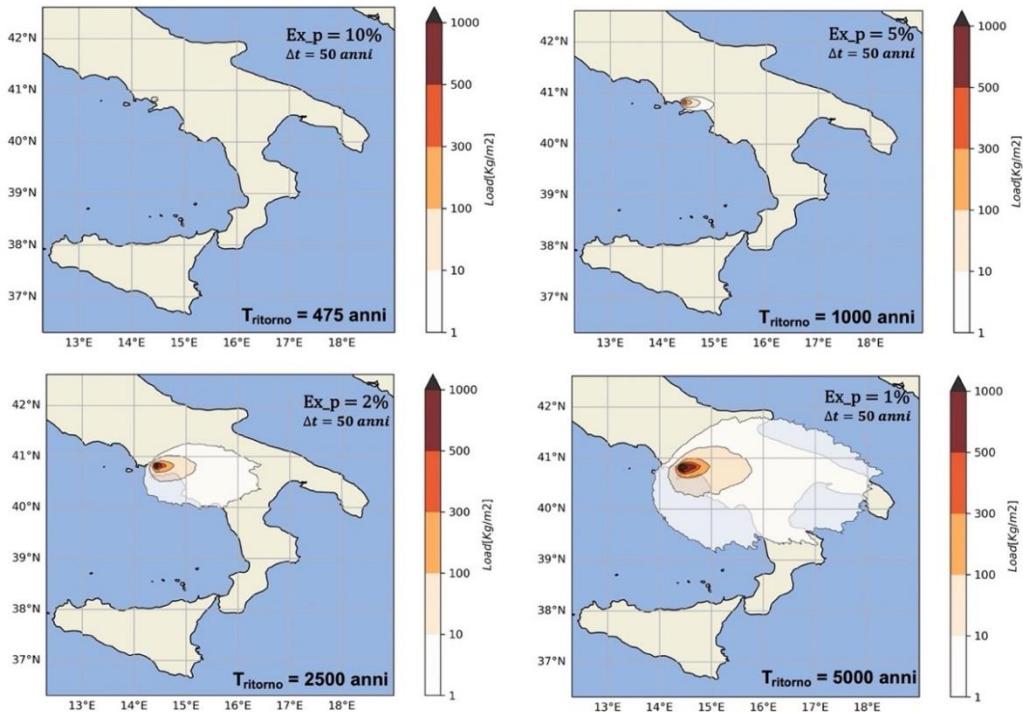
Considerando un intervallo di tempo di 50 anni, le mappe aggregate rappresentano le curve di isomassa con diverse probabilità di superamento: 10% (Tempo di ritorno associato = 475 anni), 5% (Tempo di ritorno associato = 1000 anni), 2% di superamento (Tempo di ritorno associato = 2500 anni), e 1% (Tempo di ritorno associato = 5000 anni). In **Figura 1** sono riportate le mappe aggregate con le diverse probabilità di superamento per il Vesuvio.

Lo studio è stato avviato con la realizzazione di mappe di pericolosità assoluta riguardanti i depositi delle ceneri corrispondenti a più taglie eruttive per ciascun vulcano (“**mappe aggregate**”). Per il Vesuvio (Figura 1) sono stati considerati gli scenari di magnitudo bassa (e.g., 1906/1944), medio-alta (e.g., Pollena/1631) e alta (e.g., Pompei/Avellino). Per i Campi Flegrei (Figura 2), gli scenari di magnitudo bassa (e.g., Averno 2), media (e.g., Astroni 6), e medio-alta (e.g., Agnano Monte Spina). È importante sottolineare che alle eruzioni di diversa magnitudo viene associata una probabilità di occorrenza (condizionata all'occorrenza di

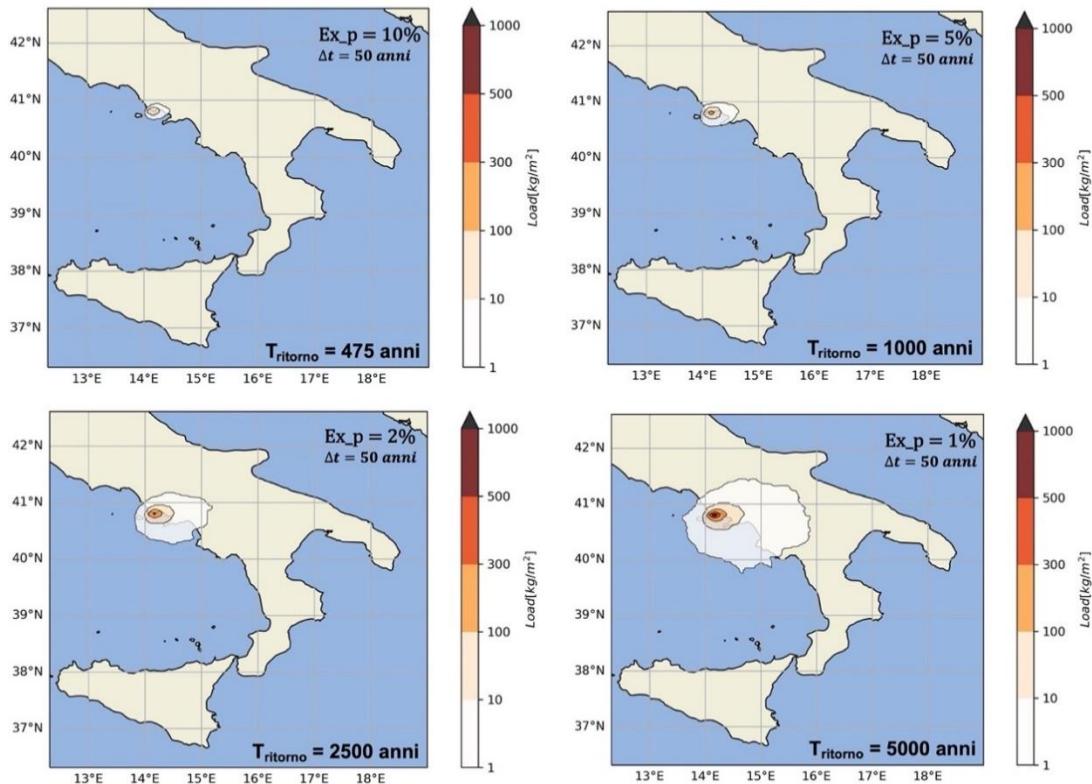
un'eruzione) secondo una legge di potenza continua su tutto lo spettro dei possibili valori di magnitudo al Vesuvio e ai Campi Flegrei (Sandri et al., 2016). La legge di potenza è basata sulla frequenza osservata delle diverse magnitudo eruttive negli ultimi 2000 anni al Vesuvio e 5000 anni ai Campi Flegrei ed estrapolata per limiti temporali più estesi.

**Tabella 1** - Parametri usati per le simulazioni FALL3D.

DESCRIZIONE	VESUVIO (taglia bassa/medio-alta/alta)	CAMPI FLEGREI (taglia bassa/media/medio-alta)
Massa totale (kg)	$10^{10} - 10^{11} - 10^{12} - 10^{13}$	$10^{10} - 10^{11} - 10^{12}$
Tasso eruttivo (kg/s)	calcolato da Mastin et al. 2009	calcolato da Mastin et al. 2009
Quota del cratere (m)	1281	458
Altezza colonna (dal cratere) (m)	calcolato da Mastin et al. 2009	calcolato da Mastin et al. 2009
Parametri forma colonna (Suzuki)	4/1	4/1
Durata dell'eruzione (ore)	(11.11, 87.60), (6.24, 11.11), (6.14, 6.24)	(3.48, 27.36), (1.95, 3.48), (1.92, 1.95)
Durata sedimentazione (ore)	24	48
Dataset meteo ECMWF	ERA5	ERA5
Distribuzione granulometrica	Bi-Gaussian (Mele et al. 2020)	Bi-Gaussian (Sandri et al. 2016)
Modello aggregazione	Cornell (1983)	Percentage
Modello velocità particelle	Ganser (1993)	Ganser (1993)
Modello turbolenza orizzontale	CMAQ	CMAQ
Modello turbolenza verticale	SIMILARITY	constant = 0



**Figura 1** – Mappe medie di pericolosità assoluta per l'accumulo di cenere al suolo. Tali mappe aggregano i risultati delle taglie di magnitudo alta, medio-alta, e bassa del Vesuvio e sono associate a diverse probabilità di eccedenza (10%-5%-2%-1%).



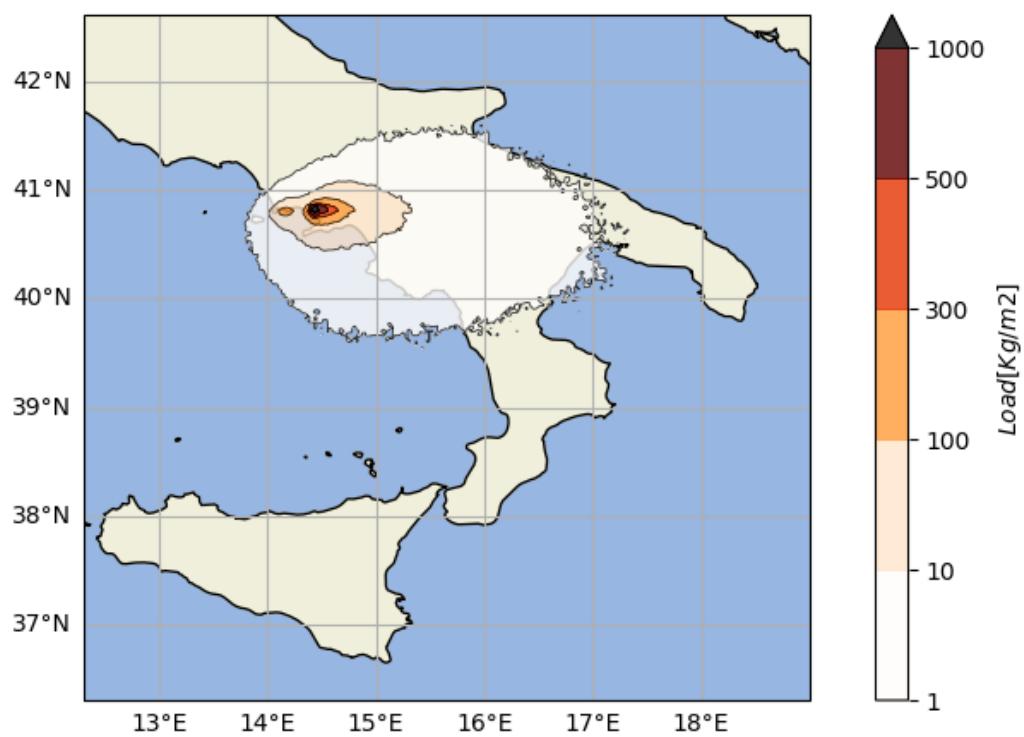
**Figura 2** – Mappe medie di pericolosità assoluta per l'accumulo di cenere al suolo. Tali mappe aggregano i risultati delle taglie di magnitudo medio-alta, media e bassa dei Campi Flegrei e sono associate a diverse probabilità di eccedenza (10%-5%-2%-1%).

## 1 Mappa combinata di pericolosità

In **Figura 3** viene presentata la mappa media di pericolosità “combinata” che risulta dalla combinazione dei risultati delle mappe aggregate di pericolosità assoluta del Vesuvio (Figura 1) e dei Campi Flegrei (Figura 2), riferite alla probabilità di eccedenza del 10%. Tale mappa è stata realizzata seguendo la tecnica statistica del **campionamento comonotonico**.

A differenza di quanto realizzato nelle mappe aggregate in cui viene considerata solo la curva di pericolosità media in ciascun punto del dominio computazionale, nella mappa combinata, per entrambe le sorgenti (Vesuvio e Campi Flegrei) viene considerato il set completo di curve di pericolosità, ovvero quelle che descrivono i diversi percentili della distribuzione della frequenza attesa di superamento delle soglie nel tempo di esposizione.

Per tutte le soglie di cenere al suolo considerate in ogni punto del dominio, vengono realizzate delle curve empiriche di probabilità (ECDFs), distinte per le due sorgenti, campionando random un numero elevato di valori (es. 1000) che si assumono essere un campione rappresentativo della distribuzione che descrive la probabilità di eccedenza (superamento) di una determinata soglia di cenere al suolo. Ad ogni coppia di valori campionati per le due sorgenti e corrispondenti allo stesso percentile della distribuzione viene applicata una formula combinatoria che dà luogo ad una nuova curva di pericolosità indicativa della probabilità di eccedenza di una determinata soglia di carico di cenere da almeno una delle sorgenti considerate. Quindi, in ogni punto del dominio, viene letto un campione della probabilità di avere quella soglia di cenere, da almeno uno dei due vulcani.



**Figura 3** - Mappa media di pericolosità assoluta che combina i risultati delle diverse taglie eruttive del Vesuvio e dei Campi Flegrei. La probabilità di eccedenza di avere accumulo di cenere al suolo è fissata al 10% (Tempo di ritorno: 475 anni).

## 2 Bibliografia

- Bazzurro, P. and Cornell, A. (1999). Disaggregation of seismic hazard. *Bulletin of the Seismological Society of America* 89(2), 501-520.
- Bevilacqua, A., Isaia, R., Neri, A., Vitale, S., Aspinall, W., Bisson, M. (2015). Quantifying volcanic hazard at Campi Flegrei caldera (Italy) with uncertainty assessment: 1. Vent opening maps. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 120, 2309–2329. <https://doi.org/10.1002/2014JB011775>.
- Cornell, W., Carey, S., Sigurdsson, H., 1983. Computer simulation of transport and deposition of campanian Y-5 ash. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 17, 89–109.
- Folch, A., Mingari, L., Gutierrez, N., Hanzich, M., Macedonio, G., & Costa, A. (2020). FALL3D-8.0: a computational model for atmospheric transport and deposition of particles, aerosols and radionuclides—Part 1: Model physics and numerics. *Geoscientific Model Development*, 13(3), 1431-1458.
- Ganser H (1993) A rational approach to drag prediction of spherical and non-spherical particles. *Powder Technol* 77:143–152
- Marzocchi, W., Sandri, L., Gasparini, P., Newhall, C., & Boschi, E. (2004). Quantifying probabilities of volcanic events: the example of volcanic hazard at Mount Vesuvius. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 109(B11).
- Mastin, L. G., Guffanti, M., Servranckx, R., Webley, P., Barsotti, S., Dean, K., & Waythomas, C. F. (2009). A multidisciplinary effort to assign realistic source parameters to models of volcanic ash-cloud transport and dispersion during eruptions. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 186(1-2), 10-21.
- Mele D., Sulpizio R., Dellino P., La Volpe L. (2011). Stratigraphy and eruptive dynamics of a pulsating Plinian eruption of Somma-Vesuvius: The Pomice di Mercato (8900 years B.P.). *Bulletin of Volcanology*, 73, 257-278. Doi: 10.1007/s00445-010-0407-2
- Sandri L, Costa A, Selva J, Tonini R, Macedonio G, Folch A, Sulpizio R (2016) Beyond eruptive scenarios: assessing tephra fallout hazard from Neapolitan volcanoes. *Sci. Rep.*, 6, 24271. doi: 10.1038/srep24271
- Selva, J., Orsi, G., Di Vito, M.A., Marzocchi, W., Sandri, L. (2012). Probability hazard map for future vent opening at Campi Flegrei caldera, Italy. *Bull. Volcanol.*, 74, 497–510. <https://doi.org/10.1007/s00445-011-0528-2>.