



ControllARE, mitigare e gestire l'**Emergenza Sismica**
Analisi costi-benefici e multi-criterio di scenari di impatto
per la **Riduzione del Rischio** e l'incremento della **Resilienza**

Un modello di valutazione di impatto sismico atteso a scala comunale via web VERSO UNA RESILIENZA DIGITALE

REPORT FINALE DI PROGETTO



*Agenzia per la
Creazione Territoriale*



Comune di Grumento Nova



Fondo Sociale Europeo
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Università degli studi di Napoli Federico II



Città di
Cava de' Tirreni
Regione Campania



*Agenzia per la
Coesione Territoriale*

www.agenziacoesione.gov.it

CAESAR II - ControllAre, mitigare e gestire l'Emergenza Sismica: Analisi costi-benefici e multi-criterio di scenari di impatto per la Riduzione del Rischio e l'incremento della Resilienza

Programma: PON GOVERNACE

Asse: 3

Obiettivo Specifico: 3.1

Azione: 3.1.1

Cup: J76E18000110006

Codice Locale: ID-49 - SI_1_604

Dotazione finanziaria del progetto: 700.000,00

Il progetto CAESAR II è certamente un esempio di buona pratica, che mette insieme le Regioni, i Comuni, le competenze del centro Plinivs-Lupt dell'Università degli Studi di Napoli Federico II e le opportunità offerte dall'Unione Europea e dall'Agenzia per la Coesione Territoriale. In questo progetto, il Comune di Cava de' Tirreni ha subito creduto, tanto da svolgere il ruolo di città capofila, mettendo a disposizione le professionalità dei suoi uffici e dell'Assessore Giovanna Minieri e avendo anche la possibilità di formare giovani tecnici del territorio. Ed abbiamo avuto ragione. Il progetto è diventato una realtà ed il "kit di riuso" sviluppato è un potente strumento innovativo, in un campo, quello del rischio sismico, di estrema

importanza per tutte le città italiane, e non solo, che devono convivere con un pericolo così imprevedibile come il terremoto. Avere la possibilità per i sindaci, e per le protezioni civili in particolare, di conoscere quale impatto avrebbe sul proprio territorio una scossa sismica, prevederne i danni, avere consapevolezza delle criticità e poter agire preventivamente per mitigarne le conseguenze, in termini di danni strutturali e di salvaguardia di vite umane, credo sia un enorme passo in avanti nella difesa dei territori e per la sicurezza di ognuno di noi.

Vincenzo Servalli
Sindaco di Cava de' Tirreni

Sommario

Introduzione	9
Partner del progetto	11
Il gruppo di lavoro	13
Il progetto	16
Obiettivi	18
La buona pratica di riferimento	19
I modelli di analisi	20
Modello di analisi di rischio e scenario	21
Rischio e scenario	21
Pericolosità	22
Esposizione	25
Vulnerabilità	25
Il Modello di analisi costi - benefici	29
Il Modello di analisi multi - criteria	32
Il processo decisionale	32
Il decision making multi- criteria	34
Kit di riuso	37
Fasi di funzionamento	37
I casi studio	39
Cava de' Tirreni	42
Grumento Nova	46
Nicolosi	50
Conclusioni e prospettive future	54
Ringraziamenti	56
Eventi	57
BIBLIOGRAFIA	59

Introduzione

L'Italia è un paese ad alto rischio sismico, tuttavia a causa della tardiva classificazione sismica del territorio nazionale, la maggior parte del patrimonio edilizio esistente risulta non conforme alle attuali normative tecniche antisismiche. Circa 15 milioni di edifici (oltre il 50% del totale) sono stati costruiti prima del 1974, in assenza di regolamenti antisismici. Inoltre, circa 4 milioni di edifici sono precedenti il 1920 e circa 2,7 milioni il 1945. Solo il 5% degli edifici è stato costruito dopo il 2001 e, per questo motivo, almeno sulla carta, necessita di meno misure di sicurezza. Solo gli edifici costruiti dopo il 2008 sono conformi alle ultime normative antisismiche e pertanto non necessitano di alcun intervento. Gli eventi sismici, che hanno colpito l'Italia negli ultimi anni, hanno messo in luce la complessità della sfida, per gli enti pubblici, nella gestione delle emergenze, nella ricostruzione post-evento e nella pianificazione di misure efficaci di prevenzione e mitigazione del rischio da attuare in "tempo di pace". Queste difficoltà riguardano, in particolare, la capacità di gestire adeguatamente le risorse finanziarie e tecniche disponibili e di identificare le priorità di intervento durante l'intero ciclo emergenziale. Per una corretta gestione, la priorità diventa quantificare e localizzare, attraverso simulazioni, i danni probabili e valutare, in termini di costi-benefici, le possibili strategie alternative di mitigazione, tenendo conto anche del potenziale, in termini di rapporto costo-efficacia, di misure integrate per l'adeguamento sismico ed energetico.

In quest'ottica, il progetto **CAESAR II** (ControllAre, mitigare e gestire l'Emergenza Sismica: Analisi costi-benefici e multicriterio degli scenari di impatto per la riduzione del Rischio e l'incremento

della Resilienza) è stato sviluppato come un sistema di supporto alle decisioni per le autorità pubbliche impegnate nello sviluppo di piani di riduzione del rischio da catastrofi, con la possibilità di programmare investimenti a medio e lungo termine, nonché di definire meccanismi personalizzati di sostegno finanziario e incentivi fiscali. Il progetto, sviluppato come follow-up dei progetti CRISMA UE-FP7 (2012-2015) e CAESAR I, è finanziato dall'Agenzia per la coesione territoriale, nell'ambito del PON Governance e Capacità Istituzionale 2014-2020, quale intervento volto al trasferimento, evoluzione e diffusione di **buone pratiche** (best practices) fra pubbliche amministrazioni. L'amministrazione beneficiaria, nonché ente capofila, è il Comune di Cava de'Tirreni (Campania), gli enti cedenti sono la Regione Campania e il Centro Studi Plinivs-Lupt dell'Università degli Studi di Napoli Federico II e gli enti riusanti sono il Comune di Grumento Nova (Basilicata) e la Regione Sicilia.

CAESAR II include un modulo per la simulazione di misure di retrofitting applicate a scala comunale, che integrano diverse categorie di misure antisismiche e di miglioramento energetico, basate sull'analisi della vulnerabilità del patrimonio edilizio esistente. Il nucleo dello strumento CAESAR II è rappresentato dal modulo di valutazione degli "scenari di impatto sismico", sulla base della pericolosità assunta dagli utenti finali. L'output del modello include informazioni sui livelli di danno attesi per edifici (da D0- no danno a D5- collasso totale) e popolazione (morti feriti e senzatetto). Gli scenari di impatto possono essere personalizzati in base alla unità minima di analisi assunta (comune o griglia a maglie quadre di 250x250m) e alla disponibilità dei dati di esposizione (da

censimento Istat o da rilievo). Gli scenari includono dati georeferenziati gestiti da geo-server in grado di scambiare dati in un formato conforme agli standard OGC e alla Direttiva europea INSPIRE. I risultati delle simulazioni possono essere ulteriormente elaborati attraverso i moduli di analisi costi-benefici e multi-criteria, allo scopo di supportare la valutazione comparativa di misure sismiche ed energetiche alternative.

Il modello è stato testato attraverso alcuni casi studio, costituiti da tre comuni italiani: Cava de' Tirreni (Regione Campania, 54.000 abitanti), Nicolosi (Regione Sicilia, 7.492 abitanti) e Grumento Nova (Regione Basilicata, 1.689 abitanti), dove, con l'obiettivo di raccogliere

informazioni sugli edifici ordinari, sono state effettuate delle attività di rilievo in situ.

CAESAR II, una volta sviluppato, sarà messo a disposizione di tutte le amministrazioni che vorranno implementarlo. Lo scopo principale del progetto è, infatti, quello di promuovere la **resilienza intelligente**, creando una piattaforma condivisa per il riuso dei dati e dei modelli in modo da fornire alle amministrazioni, soprattutto a quelle maggiormente esposte al rischio sismico, uno strumento aggiuntivo per poter rispondere al meglio alle problematiche del territorio.



Partner del progetto

Il progetto è gestito dal Comune di Cava de' Tirreni (capofila ed ente riuscante) in partenariato con la Regione Campania (Direzione generale per il governo del territorio ed ente cedente), l'Università degli Studi di Napoli Federico II – Centro interdipartimentale di ricerca Laboratorio di Urbanistica e di pianifica-

zione del territorio "Raffaele d'Ambrosio" – L.U.P.T./PLINIVS (ente cedente), la Regione Sicilia (Dipartimento della Protezione Civile) e il Comune di Grumento Nova (entrambi enti riuscanti).

**Cup: J76E18000110006 – Codice Locale:
ID-49 – SI_1_604D**



Beneficiario/Ente capofila
Comune di Cava de' Tirreni



Enti riuscanti
Comune di Grumento Nova
Regione Siciliana



Enti cedenti
Regione Campania
Università di Napoli Federico II



Risorse assegnate
700.000,00 euro



Durata
2018 – 2019



Asse 3
Obiettivo Specifico 3.1
Azione 3.1.1



A regia di
Autorità di Gestione





Il gruppo di lavoro

ENTE CAPOFILA



GRUPPO DI LAVORO INTERNO

Gianluigi Accarino
 Antonino Attanasio
 Filomena Landi
 Francesco Sammarco
 Francesco Sorrentino
 Raffaele Sica
 Salvatore Ferrara
 Simonetta Perrella
 Stefania Piccirillo
 Valeria De Pascale
 Vincenzo Maiorino
 Vincenzo Pepe

GRUPPO DI LAVORO ESTERNO

Giulio Zuccaro
 Supporto strategico al coordinamento per l'attuazione del progetto
Lucio Trifiletti
 Supporto specialistico per il trasferimento di competenze tra pubbliche amministrazioni nell'ambito di progetti finanziati direttamente dalla EU o per il tramite di organismi nazionali o sovranazionali
Vincenzo Apicella
Luciano Avagliano
Ferdinando Toraldo

FORNITORI DI SERVIZI

Servizi Informatici
NETCARING srl; G.I.A. CONSULTING srl
 Servizi di Comunicazione - **30science**

Supporto Tecnico - Raccolta dati su territorio
 ed immissione in apposita GIS - web application relativamente alla individuazione di caratteristiche tipologico- strutturali degli edifici esposti ai rischi sismico ed idrogeologico. Utilizzo ordinario e gestione della piattaforma CAESAR

ENTI CEDENTI



Università degli studi di Napoli Federico II

REFERENTE DI PROGETTO

Alberto Romeo Gentile

- Massimiliano Rauci

COORDINATORE DEL PROGETTO

Luciano Rosati

- Francesco Cacace
- Daniela De Gregorio
- Lucia Malafronte
- Francesco Marmo
- Mario Masciocchi
- Daniele Masi
- Stefano Nardone
- Francesca Linda Perelli
- Enrica Rapolla
- Loredana Rivieccio
- Salvatore Sessa
- Guglielmo Trupiano
- Antonello Ventre

ENTI RIUSANTI



Grumento Nova

REFERENTE DI PROGETTO

Nicola Alleruzzo

- Antonio Torrisi
- Rosangela Cosentino
- Rosanna Germana
- Paola D. Mangano

REFERENTE DEL PROGETTO

Antonio Maria Imperatrice

- Antonio Mazzeo
- Rosanna Masini
- Antonio Rago
- Pasqualina Samà







Il progetto

Il progetto prevede l'applicazione, tra le pubbliche amministrazioni (PP.AA.) coinvolte, di uno **strumento di supporto alle decisioni nell'ambito della pianificazione e gestione dell'emergenza in-generata dagli eventi sismici, denominato CAESAR II.**

Tale strumento si basa su analisi di scenario e di rischio realizzate su scala territoriale e consente di sfruttare l'output di diversi modelli di simulazione di impatto attraverso un'interfaccia user-friendly. Nello specifico, la procedura, implementata attraverso moduli software, permette di addivenire ad analisi multi-criterio e costi-benefici funzionali, da un lato, ad ottimizzare l'amministrazione da parte delle PP.AA. delle risorse disponibili a livello comunitario, nazionale e regionale per la gestione dell'emergenza in fase di pianificazione e, dall'altro,

a supportare la valutazione delle misure alternative di mitigazione dell'impatto e ricostruzione post-evento.

La diffusione della pratica relativa all'applicazione di CAESAR II rende possibile, in primo luogo, l'incremento dell'efficacia e dell'efficienza delle procedure, fornendo agli enti coinvolti gli strumenti per operare scelte strategiche per la riduzione del rischio sismico sulla base di idonee quantificazioni di impatto e di efficacia costi-benefici. Lo strumento, inoltre, garantisce il miglioramento dei modelli e strumenti di controllo e gestione attraverso la possibilità di utilizzare un'unica piattaforma software per coordinare le azioni di prevenzione del rischio, le misure di pianificazione dell'emergenza e le politiche di incentivazione di investimenti pubblici e privati.

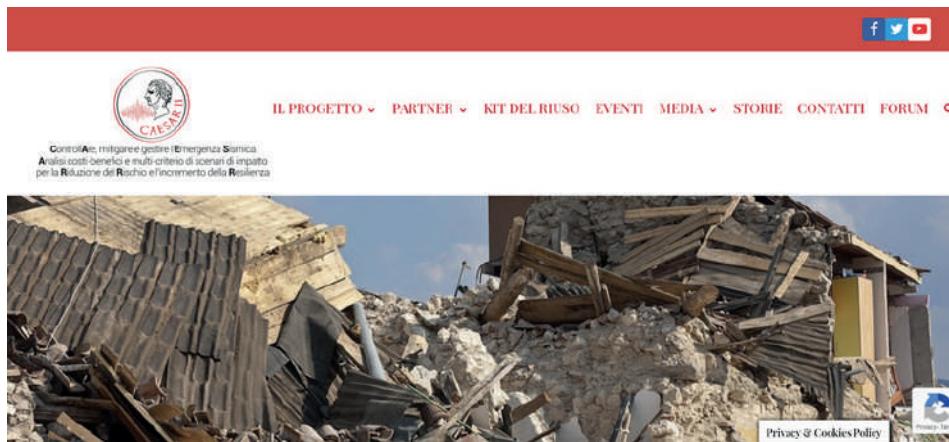
CAESAR II fornisce un particolare appporto nell'accesso al finanziamento e nell'ottimizzazione dei processi di spesa mediante la possibilità di una quantificazione prestazionale e finanziaria delle azioni di prevenzione, per individuare le priorità di spesa e supportare con adeguati benchmark l'avanzamento delle azioni. Per quanto concerne i processi di acquisizione di beni e servizi, inoltre, il sistema costituisce un supporto fondamentale per le amministrazioni, in particolare nella definizione degli interventi di mitigazione sismica degli edifici pubblici e di corretta organizzazione dei piani di emergenza.

In aggiunta, la dotazione di un sistema informativo-valutativo unico, accessibile e interrogabile in rapporto alle specifiche funzioni delle PP.AA. nell'ambito del rischio sismico ha, al contempo, effetti positivi anche in termini di miglioramento della trasparenza, della partecipazione e della comunicazione.

A tale riguardo, assume particolare rilievo anche l'interoperabilità rispetto alle altre banche dati, attraverso l'adozione degli standard europei per l'interscambio di informazioni geospatiali (INSPIRE – *Infrastructure for Spatial Information in Europe*, OGC – *Open Geospatial Consortium*) e la compatibilità con i database nazionali (Istat – Istituto nazionale di statistica), che caratterizza i sistemi informativi applicati nell'ambito del progetto.

La buona pratica consente, in sintesi, di individuare correttamente i criteri di efficienza in termini di costi-benefici e di efficacia delle azioni rispetto alle specifiche esigenze delle singole amministrazioni, nella definizione, realizzazione e gestione degli interventi di mitigazione sismica, con importanti ricadute nelle attività ordinarie di pianificazione territoriale e dell'emergenza.

Sito di progetto: www.progettocesar2.it



Canale YouTube:

www.youtube.com/channel/UCIJsfmSvx_XpEKIGBdTafHw

Pagina Facebook:

www.facebook.com/progettocesar2

Account Twitter ufficiale:

twitter.com/Ceser2Progetto

Obiettivi

- Rendere disponibile alle pubbliche amministrazioni uno strumento di valutazione e quantizzazione del danno sismico a scala comunale utile per la pianificazione e la gestione dell'emergenza.
- Realizzare un kit di riuso della procedura, da caricare sulla piattaforma della Agenzia per la coesione territoriale nell'ambito delle azioni volte al trasferimento, all'evoluzione e alla diffusione di buone pratiche attraverso **Open Community PA 2020**.
- Fornire nell'ottica di una resilienza intelligente uno strumento alle PA per orientare scelte di politiche alternative indirizzate alla riduzione del rischio con l'ausilio di analisi costi-benefici e analisi multicriterio a supporto delle decisioni.



La buona pratica di riferimento

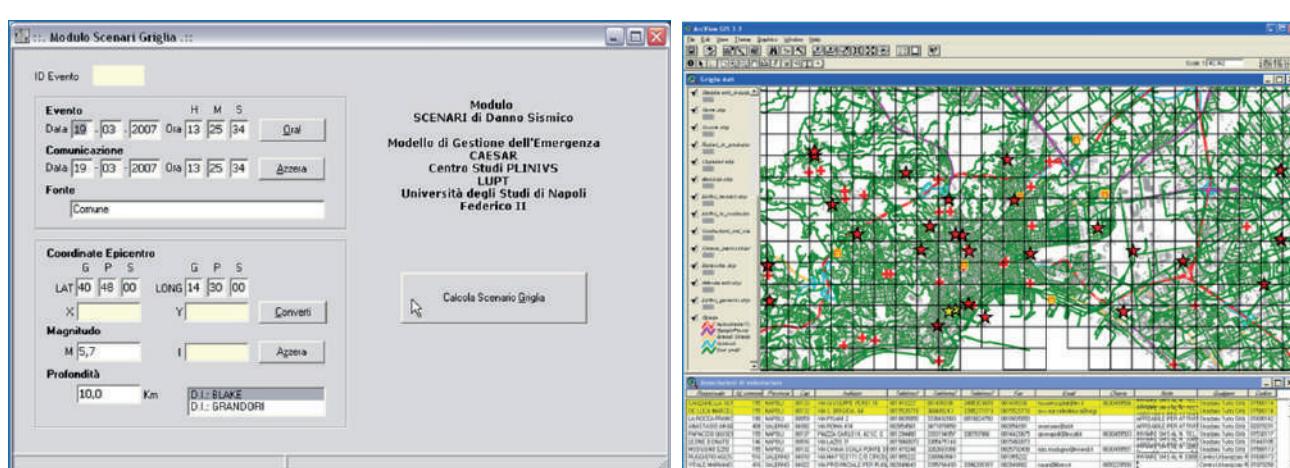
CAESAR II si fonda sulla buona pratica sviluppata dal Centro Studi Plinivs-Lupt dell'Università Federico II di Napoli per la Regione Campania (denominata **CAESAR I**), allo scopo di fornire un modello per la elaborazione degli scenari sismici, a disposizione della Protezione Civile campana.

Le caratteristiche del modello originario sono le seguenti:

- suddivisione del territorio in **unità minima di analisi** (comune o cella di una griglia di riferimento a maglie quadre di lato 500m);
- valutazione, per ogni area elementare, delle caratteristiche di **vulnerabilità ed esposizione** per edifici ordinari ed occupanti. Per ogni unità minima di analisi, il numero di edifici e le distribuzioni delle classi tipologiche sono ricavate dal dato

Istat mediante una procedura calibrata sulla scorta di un robusto data-base di schede rilevate. Analoga procedura è adottata per la stima della popolazione e la distribuzione degli occupanti per edifici suddivisi per classe tipologica.

- in funzione della localizzazione della **pericolosità sismica** ipotizzata (coordinate dell'epicentro, profondità e magnitudo), calcolo della propagazione dell'intensità sul territorio e determinazione dell'intensità in ogni unità minima di analisi;
- stima delle distribuzioni del **danneggiamento dell'edificato ordinario** e delle **casualties** (morti, feriti e senzatetto) per ciascuna unità minima di analisi;
- elaborazione delle **mappe tematiche di riepilogo** dello scenario sismico.



I modelli di analisi

CAESAR II è uno strumento di supporto alle decisioni per gli enti locali, sviluppato per migliorare la capacità di coordinamento dei processi di pianificazione e gestione dell'emergenza sismica, nonché l'allocazione delle risorse destinate alla mitigazione del rischio su edifici e infrastrutture.

CAESAR II si fonda su **tre modelli di analisi**, di seguito descritti:

1. Modello di analisi di rischio e scenario dell'impatto sismico;
2. Modello di analisi costi-benefici;
3. Modello di analisi multi-criteria.

I tre modelli sono stati implementati sinergicamente in altrettanti moduli all'interno del cosiddetto **kit di riuso**.

Modello di analisi di rischio e scenario

Rischio e scenario

Un'efficace pianificazione e programmazione nella gestione delle emergenze sismiche comporta la necessità di valutazioni preliminari di questi effetti sul territorio. In ragione dei diversi obiettivi, è possibile distinguere due diversi tipi di valutazioni, fondate su analisi di rischio e analisi di scenario.

Il **rischio** è la probabilità che un livello prefissato di danno (su persone, edifici, infrastrutture, economia, etc.) causato da eventi sismici si attinga entro un dato periodo di tempo, in una certa area geografica. Pertanto, il rischio va inteso come una valutazione cumulativa, che mette in conto i danni potenziali complessivi che nella medesima area possono essere generati da eventi diversi in un arco temporale prefissato.

Lo **scenario**, invece, rappresenta la distribuzione probabilistica, in una certa area geografica, del danno indotto da un singolo evento sismico con probabilità di accadimento assegnata (assunto come **scenario di riferimento**).

Sia nelle analisi di rischio che in quelle di scenario, entrano in gioco tre variabili aleatorie: la pericolosità, l'esposizione e la vulnerabilità.

La **pericolosità** è la probabilità di accadimento, in una specifica area ed in uno specifico periodo temporale, di: tutti i possibili eventi sismici, per le analisi di rischio, o di un singolo evento, nel caso di analisi di scenario.

L'**esposizione** è la distribuzione geografica in termini quantitativi e qualitativi dei differenti elementi a rischio che caratterizzano l'area in esame (persone, edifici, infrastrutture, attività e beni mobili), le cui condizioni e/o funzionamento possono essere danneggiati, alterati o distrutti a causa del verificarsi dell'evento naturale.

La **vulnerabilità** è la sensibilità di un elemento esposto nei riguardi dell'evento naturale. Essa può essere valutata come la probabilità che l'elemento esposto subisca un certo livello di danno o cambiamenti di stato, con riferimento ad un'opportuna scala, per effetto di un evento sismico di assegnata intensità.

Nella pianificazione di emergenza possono essere impiegate tanto analisi di rischio che di scenario, in risposta alle diverse finalità che si intende perseguire.

Le analisi di rischio consentono valutazioni comparative di aree sottoposte a pianificazione sia per decisioni in merito alle strategie di intervento (ad esempio, priorità di evacuazione, etc.), sia per la definizione di interventi di mitigazione del danno.

Le analisi di scenario, attraverso l'individuazione dell'estensione dell'area d'interesse e la valutazione dell'impatto territoriale, sono utili alla quantificazione delle risorse necessarie alla pianificazione d'emergenza ed alla organizzazione dell'intervento operativo.

Pericolosità

La pericolosità sismica adottata in CAE-SAR II è funzione del tipo di analisi che si intende sviluppare.

Nel caso di **analisi di “rischio”**, si adotta la pericolosità sismica di base, vale a dire il valore massimo (o picco) di accelerazione orizzontale del suolo (Pga, Peak ground acceleration), calcolate

dalle Istituto nazionale di geofisica e vulcanologia (Ingv) e pubblicate nelle Nuove norme tecniche per le costruzioni (2018). I valori della Pga sono forniti in corrispondenza di un reticolo di 10.751 punti, definito tramite le coordinate di latitudine e longitudine, che ricopre tutto il territorio nazionale (Fig.1).

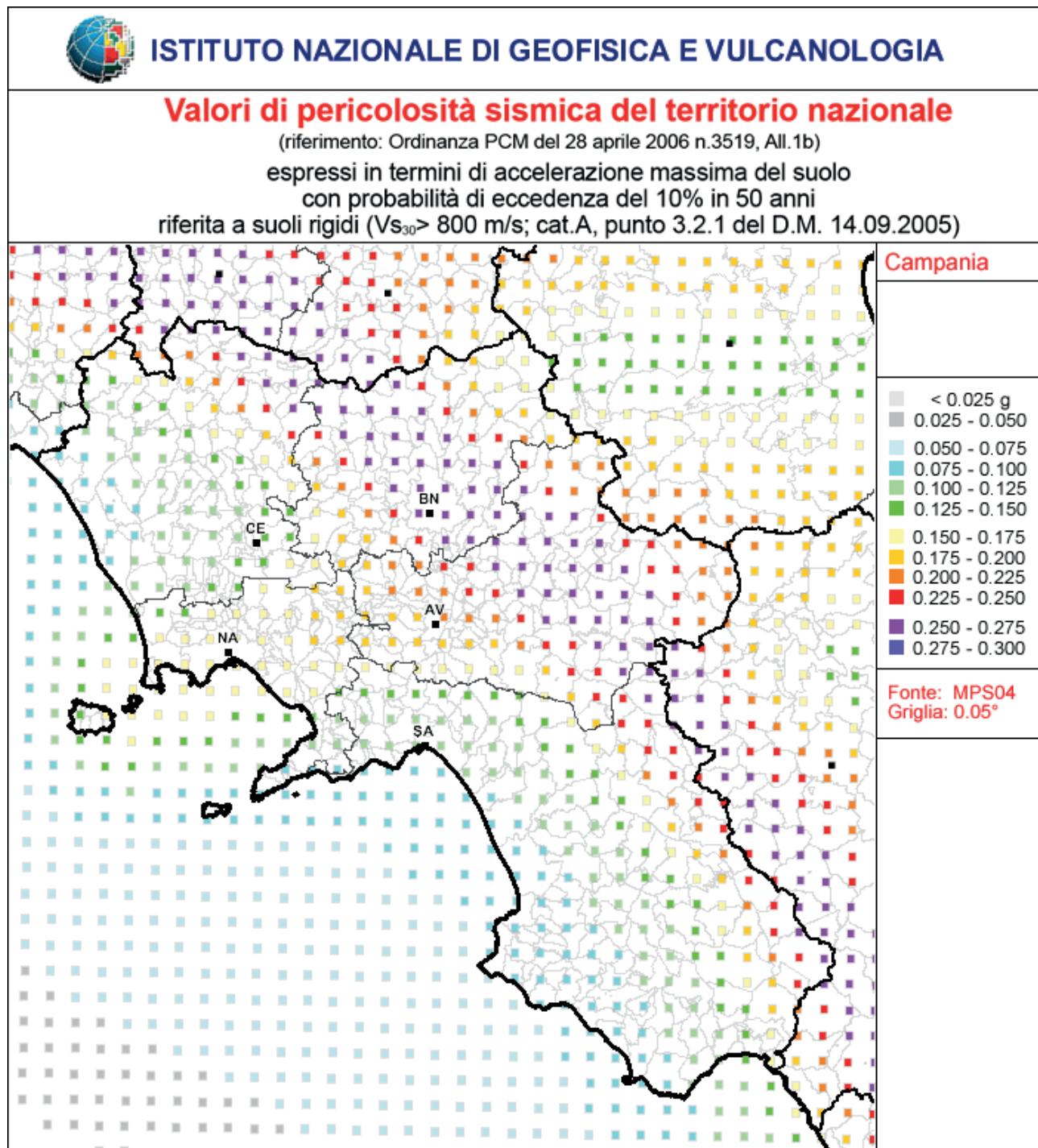


Figura 1. Valori di pericolosità sismica del territorio nazionale espressi in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi.

Per ogni nodo del reticolo geografico i parametri sono forniti in corrispondenza di determinati **periodi di ritorno, TR** (30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2.475 anni). In statistica, il “periodo di ritorno” di un evento, definito anche come “tempo di ritorno”, è il tempo medio intercorrente tra il verificarsi di due eventi successivi di entità uguale o superiore ad un valore di assegnata intensità o, analogamente, è il tempo medio in cui un valore di intensità assegnata viene uguagliato o superato almeno una volta.

Le mappe della Pga sono calcolate per differenti probabilità di superamento in 50 anni (in totale 9, dal 2% all'81%). Per ogni stima è disponibile la distribuzione del **50mo percentile** (mappa mediana, che è la mappa di riferimento per ogni probabilità di superamento) e la distribuzione del 16mo e dell'84mo percentile che indicano la variabilità delle stime.

Nel caso di **analisi di “scenario”**, l'evento sismico preso a riferimento può essere assunto attraverso: 1) una legge di attenuazione in funzione di alcuni parametri sismici, come le coordinate dell'ipocentro ed il valore della magnitudo, o 2) una mappa di scuotimento (ShakeMap).

La distribuzione sul territorio dei parametri che definiscono la misura di un evento sismico (ad es., la Pga) può essere ricavata attraverso l'adozione di una **legge di attenuazione**, in funzione di altri parametri sismici (di norma la magnitudo) e delle coordinate epicentrali (o ipocentrali).

Il punto in cui si origina il terremoto è detto **ipocentro**. Il corrispondente punto in superficie sulla verticale si chiama **epicentro**. L'ipocentro può essere:

- superficiale, quando la profondità arriva fino a 70 km; in questa fascia si concentra il 75% dei sismi;
- intermedio, con profondità fino a 300

km; vi appartiene il 22% dei sismi;

- profondo, se si verifica da 300 km fino alla base del mantello superiore (circa 700 km); in questa zona si ha circa il 3% dei terremoti.

Un terremoto ad ipocentro superficiale dà fenomeni più intensi ma più localizzati rispetto a quello con ipocentro profondo.

La grandezza di un terremoto può misurarsi con la **magnitudo** (ideata nel 1935 dal famoso sismologo statunitense Charles F. Richter), che esprime la stima dell'energia elastica sprigionata dall'evento sismico. La massima magnitudo mai misurata, pari a 9.5, è quella del terremoto del Cile nel 1960. I più piccoli terremoti percepiti dall'uomo hanno magnitudo molto basse (intorno a 2.0), mentre quelli che possono provocare danni hanno in genere una magnitudo superiore a 5.5. In Italia, i terremoti più forti si sono verificati in Sicilia, nelle Alpi orientali e lungo gli Appennini centro-meridionali, dall'Abruzzo alla Calabria, ma sono avvenuti terremoti importanti anche nell'Appennino centro-settentrionale e nel Gargano. Negli ultimi 1.000 anni ci sono stati circa 260 eventi di magnitudo pari o superiore a 5.5, in media uno ogni quattro anni.

CAESAR II adotta, quale legge di attenuazione, la relazione di Blake (1941), che suppone un decadimento di tipo logaritmico decimale e la legge di conversione determinate da Faenza and Michelini (2010, 2011) tra i parametri di scuotimento osservati e la scala delle intensità MCS.

In Italia, le **mappe di scuotimento** sono fornite dall'Ingv per tutti i terremoti con magnitudo $M \geq 3.0$ che si verificano sul territorio nazionale e nelle zone circonstanti. Esse sono pubblicate sul sito web <http://shakemap.rm.ingv.it>. Qualora ri-

sultino disponibili nuove informazioni o ulteriori dati relativi al terremoto (e.g. la dimensione della faglia del terremoto -faglia estesa, nuovi dati da reti gestite da altri enti) le mappe vengono aggiornate per migliorare la definizione dello scuotimento del terreno, in particolare nelle zone epicentrali.

Esse forniscono un'immediata visualizzazione del livello di scuotimento (shaking) di una zona colpita o interessata da un terremoto, riportando i valori di picco registrati da accelerometri e sismometri, principalmente forniti dalla Rete accelerometrica nazionale (Ran) del Dipartimento per la Protezione Civile e dalla Rete sismica nazionale (Rsn) dell'Ingv, presenti nella zona del terremoto. Ove non sono presenti valori osservati, un software ad hoc interpola i dati avvalen-

dosi, ad esempio, delle leggi di attenuazione dello scuotimento con la distanza disponibili per l'area in esame.

Le mappe riportano sia valori fisici, come ad esempio accelerazione (usa- ta da CAESAR II) e velocità di picco del suolo sulle componenti orizzontali, che una trasposizione di questi valori in intensità macroseismica (Mercalli Cancani Sieberg, MCS) che ovviamente non è osservata, ma stimata dai dati. Questa distribuzione del risentimento atteso fornisce una prima indicazione sul livello di scuotimento osservato e quindi del potenziale impatto, informazione molto utile alla Protezione Civile per il coordinamento e l'organizzazione delle squadre di soccorso in caso di terremoti rilevanti (Fig.2).

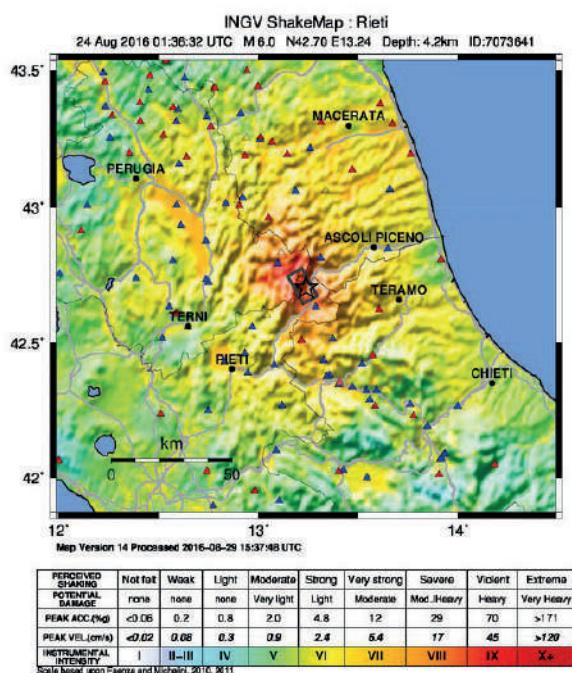


Figura 2. ShakeMap (mappa di scuotimento) espressa in intensità strumentale (scala di intensità Mercalli-Cancani-Sieberg, MCS) dell'evento principale M6.0 delle ore 03.36 italiane del 24 agosto 2016, determinata utilizzando i dati della Rete Sismica Nazionale dell'Ingv (triangoli rossi), della Rete accelerometrica nazionale (Ran, triangoli blu) e la faglia estesa ricavata da dati sismologici (rettangolo grigio). La stella rappresenta l'epicentro.

Esposizione

Esposizione e vulnerabilità rappresentano fattori strettamente connessi. Per ciascuna categoria di elementi a rischio, la stima della vulnerabilità nei riguardi dell'evento sismico deve essere accompagnata da "un'analisi qualitativa e quantitativa del bene esposto" (esposizione), allo scopo di identificare la distribuzione spaziale, ed eventualmente temporale, di classi tipologiche di elementi a rischio, dette **classi di vulnerabilità**, ciascuna delle quali costituisce un insieme di elementi che per caratteristiche presentano comportamento simile (vulnerabilità) nei riguardi del sisma. In altri termini, occorre individuare le caratteristiche salienti dell'elemento a rischio (fattori di vulnerabilità), cui si attribuisce una certa capacità di rispondere al fenomeno naturale.

CAESAR II fa riferimento a due tipologie di elementi a rischio: gli edifici ordinari ed i relativi occupanti.

La stima degli **edifici** presenti nell'area in esame è riconducibile ad un'analisi statistica, che valuti la distribuzione percentuale delle diverse classi di vulnerabilità degli edifici (A, B, C, D per vulnerabilità decrescente) sulla base del loro differente comportamento nei riguardi dell'evento naturale. Analoga procedura è adottata per la stima della popolazione e la distribuzione degli **occupanti** per edifici suddivisi per classe di vulnerabilità.

A seconda del grado di conoscenza del tessuto edilizio, in CAESAR II la valutazione dell'esposizione è condotta secondo nelle seguenti due possibili modalità (Zuccaro et al., 2012):

1. nel caso in cui nell'Unità geografica minima di riferimento – Umr (comune o cella quadrata di 250m di lato) non siano disponibili rilievi degli edifici, l'asse-

gnazione della classe di vulnerabilità agli edifici è condotta sulla base di opportune correlazioni statistiche tra le informazioni contenute nel data-base Istat 2011 sugli edifici (da "Censimento generale della popolazione e delle abitazioni") e le caratteristiche di edifici noti da rilievo sul campo (Cacace et al., 2018);

2. nel caso in cui nell'Umr siano disponibili dei dati di rilievo su un campione di edifici, l'assegnazione della classe di vulnerabilità è condotta sulla base di una media pesata fra la classe derivante da applicazione diretta, sulla base degli elementi di vulnerabilità noti (Zuccaro e Cacace, 2015) per gli edifici di caratteristiche note e quella desunta dal dato Istat 2011, proporzionalmente alla percentuale di completezza del rilievo.

Infine, per ciascuna Umr, il numero medio degli occupanti al variare della classe di vulnerabilità sismica è valutato pari al 65% del numero di persone per classe sismica stimato sulla base del dato Istat 2011.

Vulnerabilità

La vulnerabilità di un edificio, inteso come singola unità strutturale, è la probabilità che il sistema (intero edificio), i sottosistemi (pareti, cornici, tetti, ecc.), o le componenti del sistema (travi, pilastri, pannelli di tamponamento, finestre, porte, ecc.) siano danneggiati per effetto di un'assegnata azione cui sono sottoposti.

La definizione stessa di vulnerabilità suggerisce la necessità di definire in maniera univoca il livello di "danneggiabilità" del bene esposto per effetto dell'evento naturale. In Tab. 1, è riportato una possibile scala di danno degli edifici.

La propensione di un edificio a subire danni è funzione degli elementi che lo

costituiscono. La resistenza e gli aspetti tecnologici degli elementi strutturali (pareti, travi, colonne, solai, coperture, ecc.) e non strutturali (pannelli di tamponatura, aperture, pannelli di protezione, ecc.) influenzano fortemente la vulnerabilità dell'edificio stesso (Zuccaro e De Gregorio, 2013).

La vulnerabilità di un edificio nei riguardi

di un terremoto può essere valutata attraverso le cosiddette curve di vulnerabilità. Per un'assegnata classe di vulnerabilità, esse esprimono la probabilità di superamento di un certo livello di danno al variare del parametro di misura della pericolosità, che può essere l'accelerazione sismica di picco, l'intensità spettrale, l'intensità macrosismica, ecc.

Tabella 1. Esempio di scala di danno degli edifici

Livello di danno	Descrizione
D0 Assenza di danno	Nessun danno
D1 Danno Leggero	Danno trascurabile agli elementi strutturali
	Danno trascurabile alle tamponature
	Rottura di aperture grandi o deboli
D2 Danno Moderato	Danno moderato agli elementi strutturali
	Danno moderato alle tamponature deboli
	Rottura di aperture mediamente resistenti
D3 Danno Pesante	Danno severo agli elementi strutturali
	Danno severo o collasso totale delle tamponature deboli
	Rottura di aperture forti
D4 Collasso Parziale	Collasso parziale degli elementi strutturali
	Rottura di tamponature forti
D5 Collasso	Collasso totale

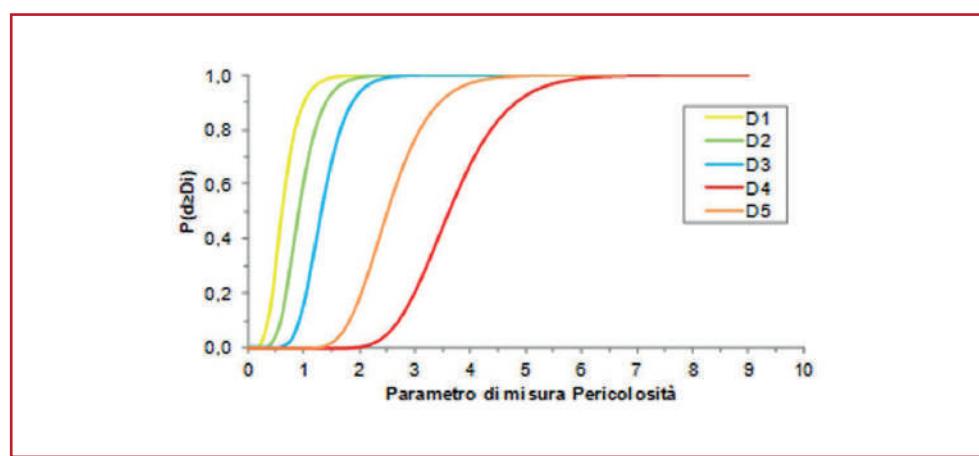


Figura 3. Esempio di curva di vulnerabilità per un'assegnata classe di vulnerabilità.

Le curve di vulnerabilità possono ottenersi attraverso tre diversi approcci, metodi osservazionali, metodi meccanici e metodi ibridi, utilizzabili in ragione delle diverse informazioni a disposizione.

I “metodi osservazionali” valutano le curve di vulnerabilità attraverso l’analisi statistica dell’osservazione dei danni prodotti da eventi passati su un campione consistente di edifici.

I “metodi meccanici” valutano le curve di vulnerabilità attraverso elaborazione statistica dei risultati ottenuti da analisi meccaniche (non lineari) condotte su un campione random di modelli rappresentanti l’edificato dell’area in esame (ad esempio, generato con simulazione Montecarlo) soggetti ad un set rappresentativo di eventi (pericolosità).

I “metodi ibridi” valutano le curve di vulnerabilità combinando analisi meccaniche e osservazione di danni prodotti da eventi occorsi.

Le curve di vulnerabilità degli edifici adottate in CAESAR II sono di tipo osservazionale. Esse sono state valutate attraverso analisi statistica della distribuzione dei danni rilevati a seguito di numerosi terremoti del passato (Zuccaro, 2004; Zuccaro et al., 2008; Zuccaro e De Gregorio, 2013; Dolce et al., 2019; Perelli et al., 2019).

La vulnerabilità della popolazione nei riguardi del sisma, invece, è determinata con riferimento ai danni subiti dall’edificio occupato. Le percentuali di morti e feriti sono valutate in funzione del livello di danno subito dall’edificio a seguito del terremoto e della tipologia edilizia, sulla base di calibrazioni condotte sui dati raccolti a seguito di eventi sismici passati (Zuccaro e Cacace, 2011).

Il Modello di analisi costi-benefici

L'operatore privato decide in merito alla realizzazione di un determinato investimento esclusivamente sulla base del proprio utile, cioè considerando la differenza tra il costo dell'investimento di mitigazione ed i benefici (costi evitati) conseguibili nel tempo.

L'operatore pubblico deve considerare anche i costi e i benefici che derivano come conseguenza dalla realizzazione dell'opera nei confronti dell'ambiente e della collettività.

In quest'ottica, CAESAR II mette a disposizione dell'operatore pubblico un utile strumento per la valutazione della convenienza di possibili interventi di mitigazione sismica a larga scala (in termini di riduzione della vulnerabilità dell'edificato): un modello di analisi costi-benefici.

L'analisi costi benefici è un'analisi di tipo economico, che prende in considerazione solamente quei costi e quei benefici che, direttamente o indirettamente possono essere espressi attraverso valori monetari.

In CAESAR II, sono presi in considerazione le seguenti voci di "costo" e "benefici". I costi dell'investimento sono relativi agli oneri sostenuti per gli interventi di mitigazione volti alla riduzione della vulnerabilità dell'edificato.

I **benefici** comprendono, invece, il valore del danno evitato grazie alla realizzazione dell'investimento di mitigazione. Esso può essere calcolato rapportando la valutazione del danno conseguente allo scenario di mitigazione prescelto con lo scenario cosiddetto di "di base" (ipotesi 0) privo di intervento di mitigazione.

La valutazione del danno, nei due scenari, viene effettuato stimando i corrispondenti seguenti costi (nell'ipotesi "baseline" e in quella con intervento di mitigazione attuato) derivanti dall'evento sismico simulato, come riportato in Fig. 4:

- Costi di gestione dell'emergenza;
- Costi di ricostruzione;
- Costi di riabilitazione;
- Costi di interventi di manutenzione;
- Costi sanitari.



Figura 4. Valutazione economica del danno.

Il beneficio derivante complessivamente dall'intervento di mitigazione adottato, è pari alla differenza tra le valutazioni dei danni nei due scenari (di base e mitigato), opportunamente attualizzato al tempo t0 (di realizzazione dell'investimento di mitigazione) per tenere conto del valore del denaro nel tempo.

In Fig. 5, è illustrato uno schema del procedimento di valutazione dei costi-benefici.

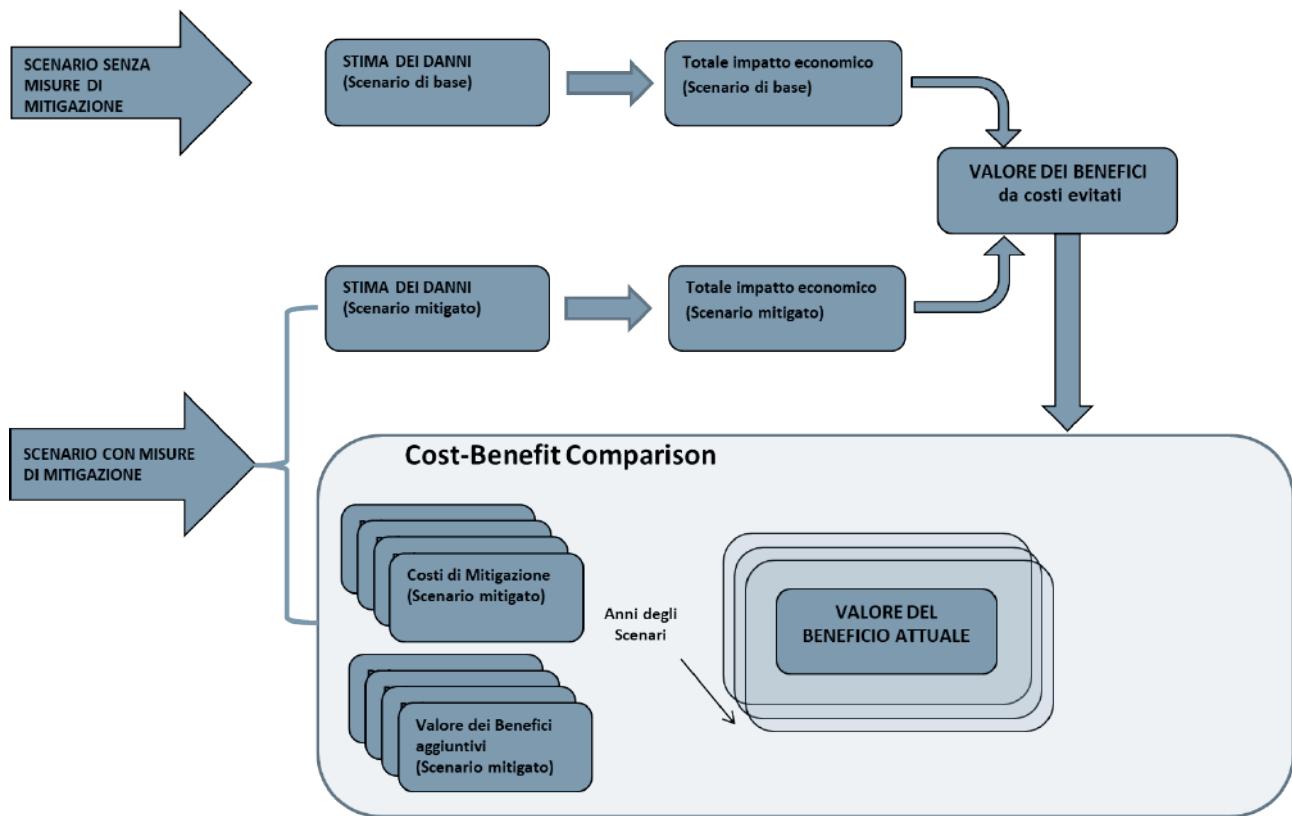


Figura 5. Schema del procedimento di valutazione dei costi-benefici.

Il Modello di analisi multi-criteria

Il processo decisionale

Un processo decisionale ha inizio nel momento in cui si definisce un problema e procede secondo una sequenza di azioni non precostituite, difficilmente implementabili con un semplice approccio sequenziale, portando all'individuazione dell'alternativa "migliore" tra quelle proposte, in grado di soddisfare un determinato obiettivo. Tale attività non prescinde dall'attitudine personale del singolo decisore chiamato ad esprimere un giudizio in merito al problema, sulla base di sensazioni ed esperienze. La scelta della sola alternativa ritenuta valida avviene, infatti, in condizioni di forte incertezza, le cui cause possono essere ricercate in osservazioni errate o incomplete, non rappresentatività del campione, struttura errata del modello, dati variabili nel tempo, imprevedibilità del sistema, comportamento caotico, concetti sfocati, unità spaziali e/o temporali inappropriate, proiezioni dei modelli comportamentali umani e tentativi di modellazione di un futuro sconosciuto.

È opportuno, dunque, avvalersi di tecni-

che di problem solving che consentano di affrontare problemi complessi in maniera quanto più oggettiva possibile, escludendo un eccessivo coinvolgimento emotivo. Il problem solving è un processo cognitivo dinamico, che si spinge oltre la capacità di pensare, coinvolgendo l'osservazione e la ricerca critica, nonché la possibile modifica delle opinioni in base alle indicazioni ottenute attraverso meccanismi di retroazione. Si parte, ovviamente, dalla definizione del problema, inteso come divario esistente tra una situazione attuale e quella più desiderabile. Se il divario esiste rispetto ad un riferimento, ad uno standard, ad una norma o ad un'aspettativa, allora il problema ne costituisce lo scostamento, la non conformità, la deviazione; se, viceversa, il divario è valutato in prospettiva e in termini di miglioramento rispetto ai riferimenti attuali, allora il problema costituisce l'obiettivo da raggiungere, l'opportunità da cogliere, il miglioramento da realizzare (Fig. 6).

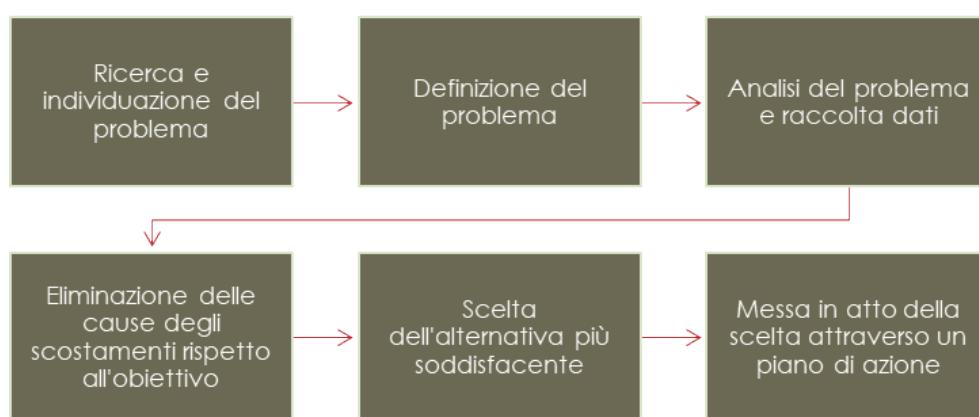


Figura 6. Fasi del processo di problem solving

“Decidere” significa operare una scelta tra due o più alternative, ciascuna associata ad un valore atteso e ad un’incertezza nei risultati. In tal senso, è fondamentale individuare tutte le alternative fattibili e analizzare le loro conseguenze, poiché la corretta esecuzione di un piano di azione dedicato alla risoluzione di un problema avrà l’effetto di ridurre i conflitti decisionali con grande vantaggio per la validità delle decisioni finali. Un presupposto fondamentale per prendere decisioni valide è quello di disporre di informazioni adeguate, potendo usufruire della possibilità di processarle all’interno di modelli a supporto all’attività decisionale. Compresa il problema, bisogna trovare una soluzione opportuna definendo la strategia di implementazione, analizzando ogni situazione critica, dando spazio alla creatività nel trovare possibili soluzioni alternative e caratterizzando ogni scenario risultante. La decisione presa deve, quindi, rispon-

dere ad alcuni criteri generali di validità intrinseca, convenienza economica e realizzabilità, considerando le risorse disponibili o reperibili, nonché le condizioni interne ed esterne, attuali e future. Una volta analizzata la situazione, raccolti i dati e individuate le criticità, la decisione potrà dipendere quasi esclusivamente dall’intuito innato del decisore, oppure da sistemi di supporto all’attività decisionale. Quando si analizza un problema il decisore deve individuare l’insieme rilevante delle azioni, degli stati e delle conseguenze e, eventualmente, costruire un albero di decisione allo scopo di caratterizzare in modo adeguato il problema stesso. In Fig. 7 è riportato un grafo in cui sono visualizzate le decisioni e le loro possibili conseguenze attese, utilizzato per creare un piano di azioni mirato ad uno scopo predefinito (Malczewski, 1996 e 1999).

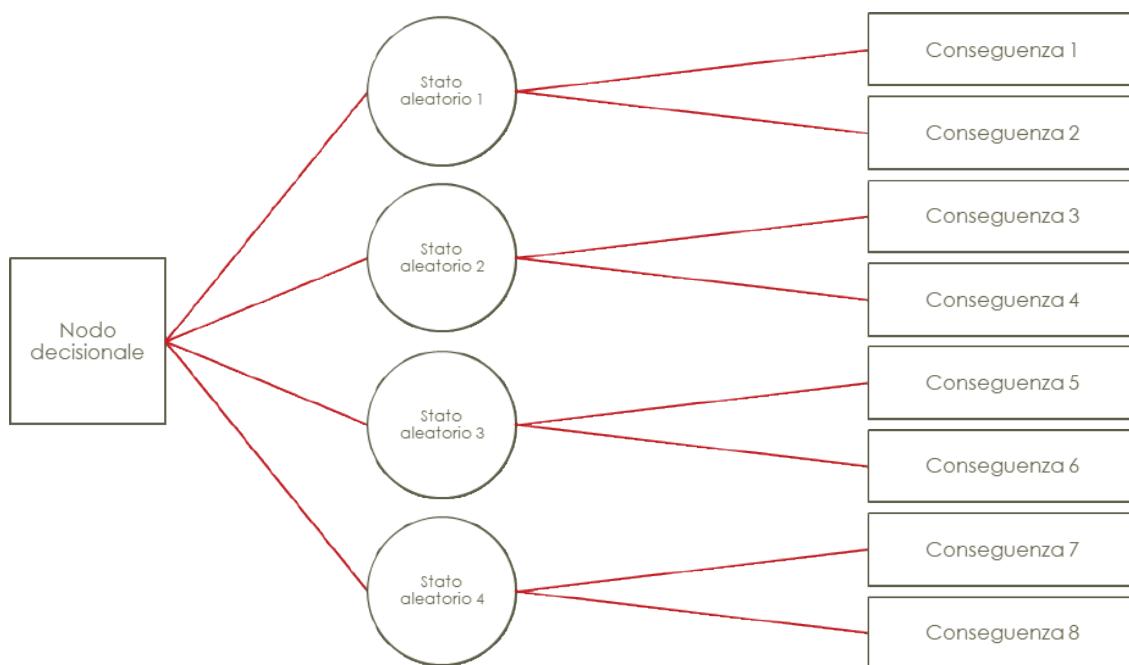


Figura 7. Albero di decisione.

Ogni problema decisionale implica delle conseguenze che il decisore considera più accettabili di altre, se così non fosse, non sussisterebbe un problema di scelta. Di particolare rilevanza è il principio della dominanza, che impone di escludere tutte le alternative che comportino conseguenze peggiori; se esiste un'alternativa che domina tutte le altre, il principio di dominanza porta a scegliere tale alternativa, risolvendo in modo ottimale il problema decisionale, anche se, sfortunatamente, casi del genere si riscontrano assai raramente nelle situazioni reali. Un'ulteriore interessante questione, legata alla specificazione del problema, è quella relativa alla distinzione tra decisione "giusta" e decisione "razionale". Una decisione

giusta si risolve in esiti ottimali, scenario possibile se si disponesse, però, di una conoscenza completa del futuro. Nella quasi totalità dei casi risulta impossibile prendere una decisione giusta, si deve, allora, prendere una decisione razionale valutando al meglio l'insieme parziale di informazioni a disposizione. La risoluzione di un problema con approccio scientifico culmina, dunque, con la definizione di un modello che può essere sia quantitativo, tendendo al rigore logico e alla precisione, sia qualitativo, non utilizzando formule o tecniche numeriche. In entrambi i casi si richiedono capacità di analisi, sintesi e valutazione, nonché capacità di ricercare e generare alternative (Fig. 8).



Figura 8. Fasi del processo di decision making.

Un modello decisionale non deve assolutamente copiare la realtà, bensì esserne un'astrazione in grado di fornire informazioni circa le soluzioni adottabili e le loro conseguenze. Inoltre, è costruito nel modo più semplice ed essenziale possibile, così da risultare comprensibile al decisore. Durante la costruzione di un modello si esplicitano gli obiettivi, identificando come questi saranno influenzati dalle diverse alternative plausibili, si valutano e si quantificano le variabili in gioco, le informazioni necessarie, i vincoli e le limitazioni e si simulano gli scenari alternativi.

II decision making multi-criteria

L'approccio risolutivo adottato per i problemi decisionali è stato, per anni, quello fornito dall'ottimizzazione lineare a singolo criterio, metodo matematico di ricerca della soluzione ottima di un problema, quando l'obiettivo che si persegue è unico ma soggetto a diversi vincoli lineari. L'utilizzo di questa tecnica permette l'esplicitazione dell'obiettivo attraverso un'accurata definizione di ciascun elemento del problema, portando alla realizzazione di un modello razionale della realtà teso a fornire la

migliore soluzione possibile della funzione da minimizzare o da massimizzare. Quando, però, si devono risolvere problemi decisionali complessi in cui si è in presenza di più obiettivi e vincoli, il più delle volte non espliciti, l'approccio fornito dall'ottimizzazione lineare a singolo criterio risulta troppo rigido e difficilmente riconducibile ad un modello che rappresenti adeguatamente il problema. Un problema decisionale complesso, infatti, può essere caratterizzato da una molteplicità di aspetti rilevanti e punti di vista dei singoli decisori. È ovvio ricorrere, in questi casi, all'utilizzo di modelli dell'**analisi multi-criteria**, che permettono di confrontare e ordinare le alternative presenti nel problema, sulla base di dati riferiti ad obiettivi che molte volte sono in contrasto tra di loro. Questi metodi di comparazione a criteri multipli sono capaci di tenere conto della natura conflittuale dei moderni problemi di valutazione dei rischi e di analizzare gli obiettivi attraverso la strutturazione di problemi complessi, esplicitando i criteri per la selezione delle alternative in termini di traguardi specifici. Tutti i problemi, a prescindere dalla loro diversa natura, hanno delle caratteristiche comuni, attributi multipli che il decisore deve individuare per mettere a fuoco il problema, conflitti fra criteri e unità di misura incommensurabili che ostacolano l'ideazione e la selezione dell'alternativa decisionale più soddisfacente. Il **decision making multi-criteria** è elaborato proprio per affrontare situazioni in cui il numero di alternative e di variabili in gioco sono elevate ed ognuna di esse conduce ad un risultato che non necessariamente coincide con quello prodotto dalle altre, rendendo estremamente difficile individuarne una che risulti essere in assoluto la migliore in relazione ad ogni criterio considerato. In netto contrasto con le classiche tecniche di

ricerca operativa e di ottimizzazione a singolo criterio, non c'è la ricerca di soluzioni "oggettivamente ottime", bensì il supporto all'attività di scelta attraverso una razionalizzazione del processo decisionale e l'ottimizzazione di un vettore di più criteri pesati secondo le priorità dichiarate. In questo modo si possono abbracciare, in un unico procedimento valutativo, sia i criteri di carattere economico, sia quelli non prettamente economici, offrendo una griglia metodologica più realistica, basata sulla formulazione di un giudizio di convenienza di un intervento o di un'azione, in funzione di più criteri di riferimento [Jankowski, 1995]. L'obiettivo prefissato non dipende da un'unica variabile ma da diversi fattori che devono essere considerati e valutati dal decisore attraverso attività che si sviluppano in due tempi successivi, seppur complementari: in un primo momento si ricercano quelle alternative che abbiano una rilevanza oggettiva, in seguito si passa alla loro stima e al loro ordinamento. Questo moderno schema valutativo, dunque, inizialmente indirizzato verso l'individuazione di una "scelta soddisfacente", non necessariamente porta all'alternativa migliore, anche perché potrebbe essere oggettivamente impossibile raggiungerla, ma all'identificazione di alternative che soddisfino un certo numero di standard esplicitamente definiti. L'elemento innovativo introdotto da questo metodo decisionale consiste, infatti, nell'abbandono del paradigma dell'ottimalità, a favore della ricerca del "compromesso ottimale", in cui non si ricerca un risultato unico ma sono individuati quegli elementi che servono a chiarire le priorità su cui basare le scelte. Tutti i problemi di valutazione a criteri multipli vengono analizzati individuando ed inserendo, all'interno di una struttura decisionale, un obiettivo generale e un decisore, o un gruppo di

decisori, coinvolti nel processo di scelta. Le preferenze dei decisori sono tipicamente espresse in termini di pesi assegnati sia ai criteri di valutazione, sia alle alternative. Gli elementi di una struttura decisionale si suddividono in:

Obiettivi: dichiarazioni riguardanti la condizione che si vorrebbe raggiungere, resi operazionali attraverso l'assegnazione di uno o più attributi che rendono un criterio misurabile qualitativamente e/o quantitativamente;

Criteri: standard di giudizio o regole per testare la desiderabilità delle alternative decisionali, anche se il termine stesso risulta generico, includendo sia il concetto di obiettivo, sia quello di attributo;

Alternative: oggetti della valutazione e della scelta che devono essere ordinati sulla base di punteggi che esprimano il valore dell'alternativa i-esima rispetto all'attributo j-esimo, costituendo, di fatto, gli elementi di una matrice, detta matrice di decisione.

Sulla base delle performance delle alternative rispetto ai criteri considerati e in conseguenza dei pesi che i decisori assegnano ai criteri, queste vengono valutate ed ordinate. In riferimento alla figura seguente, la matrice colorata in celeste chiaro è la matrice di decisione, mentre il vettore colorato in giallo è il **vettore dei pesi** (Fig. 9).

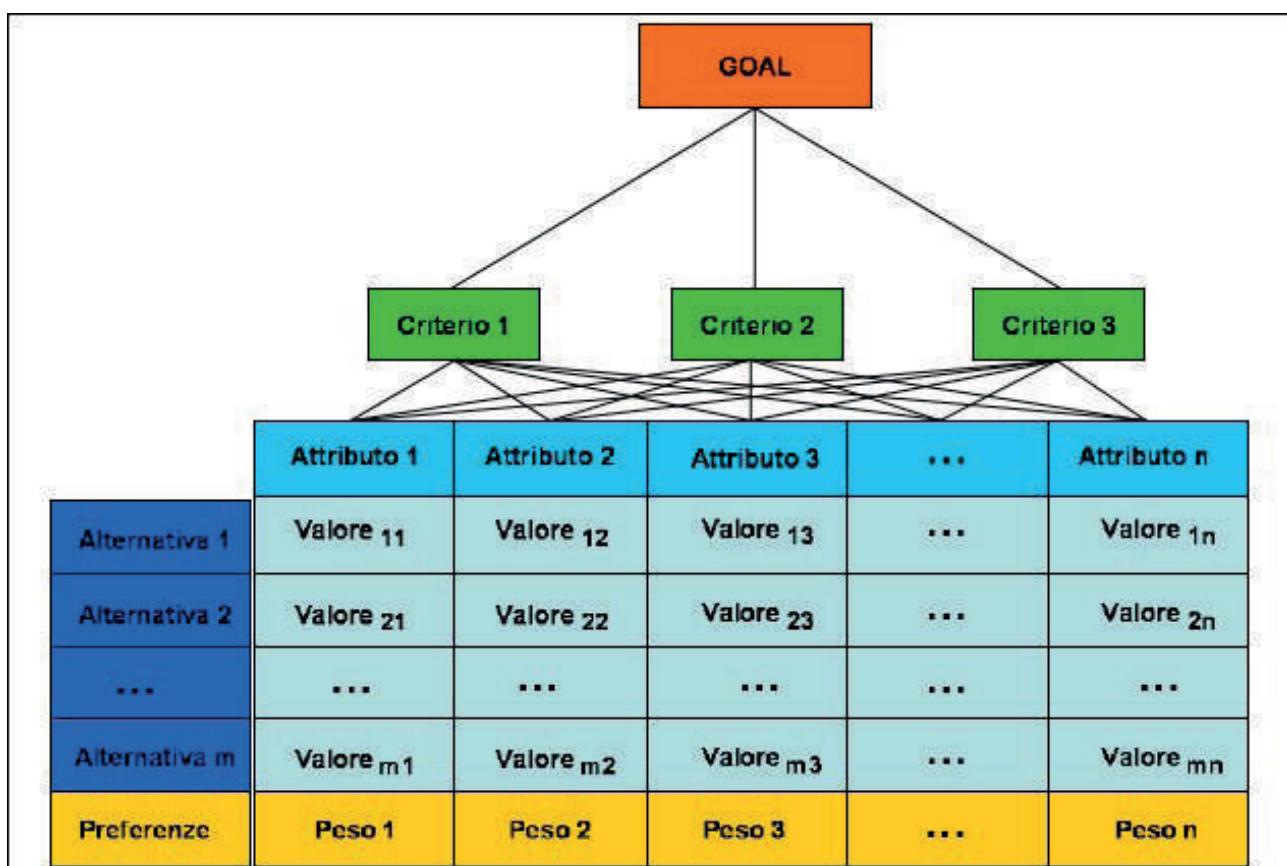


Figura 9. Struttura formale di un problema di comparazione a criteri multipli (Malczewski, 1996 e 1999).

Kit di riuso

Fasi di funzionamento

Il software CAESAR II è distribuito come "kit di riuso" in forma libera secondo le indicazioni della Open Community PA 2020.

Il flusso di funzionamento del software è costituito da quattro fasi (Fig. 10):

- 1) attivazione;
- 2) configurazione;
- 3) calibrazione;
- 4) analisi.

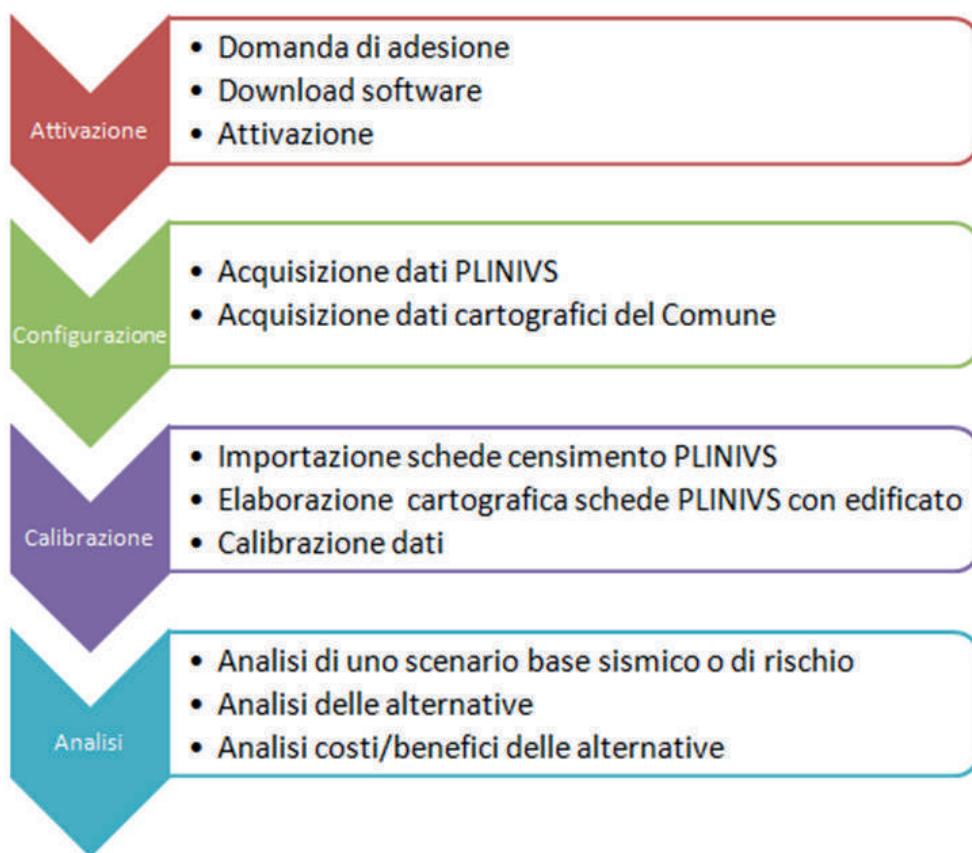


Figura 10. Principali fasi di funzionamento del software CAESAR II.

Fase 1. Attivazione

Ciascun Comune interessato può effettuare il download del software ed installarlo sul server del Comune, collegandosi al link www.progettocaesar2.it e selezionando la voce di menu "kit di riuso", ove sarà possibile compilare un'apposita scheda di registrazione (Fig. 11).

REGISTRAZIONE PER LA RICHIESTA DEL KIT DI RIUSO

CAESAR II rappresenta uno strumento di supporto alle decisioni per gli enti locali, sviluppato per migliorare la pianificazione e gestione delle risorse destinate alla mitigazione sismica, nonché l'allocazione dello stesso su edifici e infrastrutture.

KIT DEL RIUSO – FORM

PEC:

CODICE IPA:

TELEFONO:

EMAIL:

MANSIONE:

NOME REFERENTE:

BUSI:

PBN GOVERNANZA E CAPACITÀ INSTITUZIONALE 2014-2020

Figura 11. Scheda di registrazione per l'accesso al kit di riuso CAESAR II.

Nella scheda di registrazione (form), i dati richiesti sono i seguenti:

- **Pec:** Indirizzo Pec del Comune richiedente;
- **Codice IPA:** Codice IPA del Comune richiedente;
- **Telefono del soggetto richiedente:** Telefono del referente comunale che effettua la richiesta;
- **E-mail:** E-mail del soggetto che sta effettuando la richiesta. Si tratta di mail standard e non Pec;
- **Nome referente:** Nominativo di chi sta effettuando la richiesta;
- **Mansione:** mansione del referente all'interno dell'Ente comunale

I campi obbligatori sono la Pec ed il codice IPA del Comune richiedente. Su questi due dati il sistema effettua un controllo di coerenza utilizzando un apposito servizio web messo a disposizione dall'Agenzia per l'Italia digitale, AgId (<https://www.indicepa.gov.it/ricerca>), pertanto i dati inseriti devono essere quelli che comunicati ad AgId.

La registrazione è propedeutica all'attivazione del software ma non necessaria alla sua installazione.

Il prodotto è disponibile in due modalità:

- Download dell'istanza del server virtuale. È attivabile tramite Oracle VirtualBox o qualsiasi altro software di virtualizzazione in grado di leggere i file con estensione .ova. L'installazione è su un server dell'ente e comprende, già installate, tutte le componenti software di base/ambiente ed applicative con cui è stato sviluppato il prodotto.
- Download dei codici sorgenti. Questa procedura presuppone che siano stati installati e configurati tutti gli ambienti di base al prodotto (web server, database, etc).

Fase 2. Configurazione

La configurazione (remota e locale) del sistema è la funzionalità che consente di allineare l'istanza dell'applicativo ai modelli di analisi di CAESAR II. Allo scopo, l'unico strumen-

to software esterno necessario è costituito da **QGIS**, che è un'applicazione desktop GIS open source che permette di visualizzare, organizzare, analizzare e rappresentare dati spaziali. In particolare, per la fase di configurazione locale, che è quella che permette di caricare i vari strati cartografici d'interesse disponibili presso il comune, i dati dovranno essere caricati direttamente nel database Postgres dell'istanza locale del Comune, attraverso un progetto QGIS-CAESAR2.

Fase 3. Calibrazione

Come detto in precedenza, le informazioni relative l'esposizione (edifici e occupanti) possono essere di due tipologie: 1) soli dati Istat 2011; 2) dati raccolti sul territorio edificio per edificio, attraverso una scheda denominata PliniVS (caricati in automatico attraverso un applicativo ad hoc oppure caricati manualmente da formato .excel o .csv).

Sulla base delle informazioni disponibili, l'applicativo valuta automaticamente la distribuzione delle classi di vulnerabilità per ciascuna unità minima di riferimento grazie a servizi on-demand disponibili.

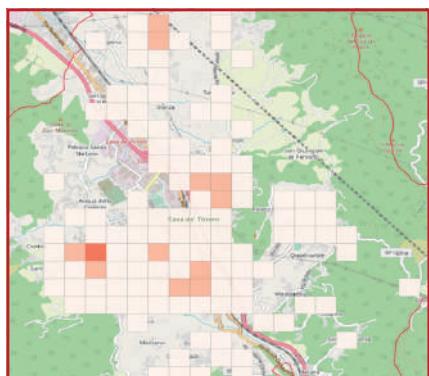
A valle del corretto completamento del processo, i dati calibrati saranno disponibili nel sistema e pronti ad essere elaborati ulteriormente nella sezione 'Analisi'.

Fase 4. Analisi

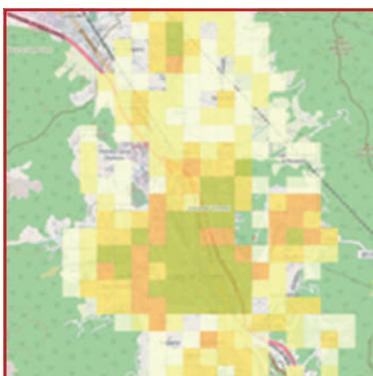
Alla voce 'Analisi' del menù, sarà possibile avviare le analisi di rischio e scenario. Ogni cartografia mette a disposizione alcune opzioni di visualizzazione relativamente ai parametri di (Fig. 12):

- Edifici Inagibili
- Senzatetto
- Vittime
- Edifici Persi

Senza tetto per cella



Edifici inagibili per cella



Vittime per cella

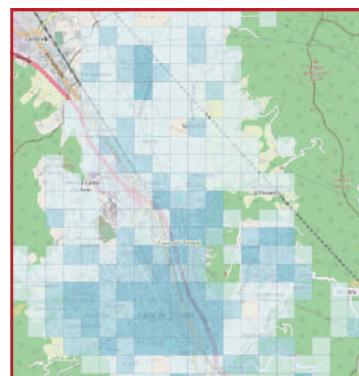


Figura 12. Esempio di output.

Ogni analisi di rischio o scenario sviluppata è inserita nella tabella principale del modulo analisi.

All'utente è consentita la possibilità di svolgere anche analisi costi- benefici e analisi multicriterio, allo scopo di confrontare diverse strategie di mitigazione (ipotesi 1-4).

La visualizzazione dei risultati del modello sia come rappresentazione numerica che tabellare sono riportati nella sezione 'Tabelle'.

I casi studio

Il kit di riuso CAESAR II è stato testato su tre casi studio, costituiti da tre comuni italiani: Cava de' Tirreni (Regione Campania, 54.000 abitanti), Nicolosi (Regione Sicilia, 7.492 abitanti) e Grumento Nova (Regione Basilicata, 1.689 abitanti), dove, con l'obiettivo di raccogliere informazioni sugli edifici ordinari, sono state effettuate delle attività di rilievo in situ.

Nello specifico, allo scopo di identificare le principali tipologie edilizie ordinarie dei comuni analizzati, i tecnici preposti hanno provveduto alla compilazione della scheda di primo livello CARTIS (per la CARatterizzazione Tipologico- Strutturale dei compatti costituiti da edifici ordinari). La suddetta scheda è finalizzata al rilevamento delle tipologie edilizie ordinarie prevalenti nell'ambito di zone comunali o sub-comunali, denominate "comparti", caratterizzate da omogeneità del tessuto edilizio per età di primo impianto e/o tecniche costruttive e strutturali (Zuccaro et al., 2015). La scheda CARTIS si riferisce ai soli edifici ordinari, quali quelli, prevalentemente per abitazioni e/o servizi, oggetto della scheda AeDES e del relativo manuale. Si tratta, per lo più, di edifici multipiano, caratterizzati da struttura in muratura o in c.a. intelaiato o a setti, altezze interpiano e interasse tra elementi strutturali verticali contenuti. Sono, perciò, escluse dalla caratterizzazione tipologie riconducibili a beni monumentali (edifici religiosi, palazzi storici, etc.), a strutture speciali, (capanoni industriali, centri commerciali, etc.) o strategiche (ospedali, scuole, caserme, prefetture, sedi di protezione civile, etc.), le cui caratteristiche non rientrano in quelle degli edifici ordinari. Per ciascuno dei tre comuni, la scheda

è stata compilata con l'ausilio di un'intervista ad un tecnico locale con approfondita ed affidabile conoscenza dell'area oggetto di studio.

Successivamente, si è passati ad un'attività di rilevo building by building, attraverso la compilazione di una scheda di livello ad hoc, denominata Plinivs, per la raccolta dei parametri che influenzano la vulnerabilità sismica, idrogeologica e vulcanica degli edifici.

Le informazioni contenute nella scheda Plinivs possono essere divise in due gruppi.

Il primo contiene i comuni parametri utilizzati per la valutazione della vulnerabilità sismica. Esso fornisce, infatti, informazioni sulle principali strutture verticali e orizzontali, sulla regolarità in pianta e in elevazione, sull'età e la conservazione della costruzione e sul numero dei piani.

Il secondo gruppo, invece, è specifico del comportamento dell'edificio per effetto di un'eruzione vulcanica, in quanto raccoglie le informazioni relative agli elementi di vulnerabilità nei riguardi dei depositi da caduta (coperture) e dei flussi piroclastici (aperture e tamponature).

Nello specifico, la scheda Plinivs è divisa nelle otto seguenti sezioni:

1. La sezione "Identificazione" localizza l'edificio con riferimento ai parametri geografici forniti dalla regione Campania.
2. La sezione "Informazioni Generali" si riferisce al tipo (edificio ordinario, magazzino, stazione elettrica, ecc.), alla destinazione (ospedale, scuola, ecc.), all'uso (interamente utilizzata, parzialmente utilizzata, non utilizzata e abban-

donata) ed alla esposizione (ordinaria, strategica, esposta a rischi particolari) della costruzione.

3. La sezione "Condizione" si riferisce all'età, allo stato di conservazione della struttura (scarso, mediocre, buono e ottimo) e alla tipologia delle finiture (economico, ordinario, di lusso).

4. La sezione "Caratteristiche descrittive" si riferisce: al numero di piani totale a partire dal piano terra, al numero dei piani fuori terra, compreso l'attico; al numero di appartamenti residenziali; alla presenza di scantinato occupato o meno; all'altezza del primo piano; alle altezze minime e massime di tutti i piani fino alla copertura; alla presenza di ostacoli con altezza superiore ai 2m; all'orientamento (angolo tra la facciata più lunga o la facciata principale e il Nord); ed alla posizione nell'unità all'interno dell'aggregato.

5. La sezione "Caratteristiche strutturali" si riferisce: alla tipologia principale (cemento armato, muratura, legno, acciaio e miste); alle strutture verticali (muratura a sacco con o senza rinforzi, muratura di pietre sbozzate, muratura in blocchi di tufo, telaio in c.a. con tamponatura debole o resistente, ecc.); alle strutture orizzontali (solaio in legno, solaio con travi in acciaio, solaio in cemento, volte, ecc.); allo spessore delle pareti; ed alla tipologia delle facciate continue (blocchi di tufo o pietre squadrate, blocchi di cemento, ecc.).

6. La sezione "Aperture" si riferisce alla percentuale delle aperture sulla facciata, al numero di finestre piccole, medie e di grandi dimensioni, al materiale (legno, PVC, alluminio o legno-alluminio, acciaio leggero e acciaio di tipo anti-intrusione), alla loro protezione ed alla loro condizione.

7. La sezione "Interventi" si riferisce all'età e al tipo di intervento (manutenzione straordinaria, riqualificazione e adeguamento).

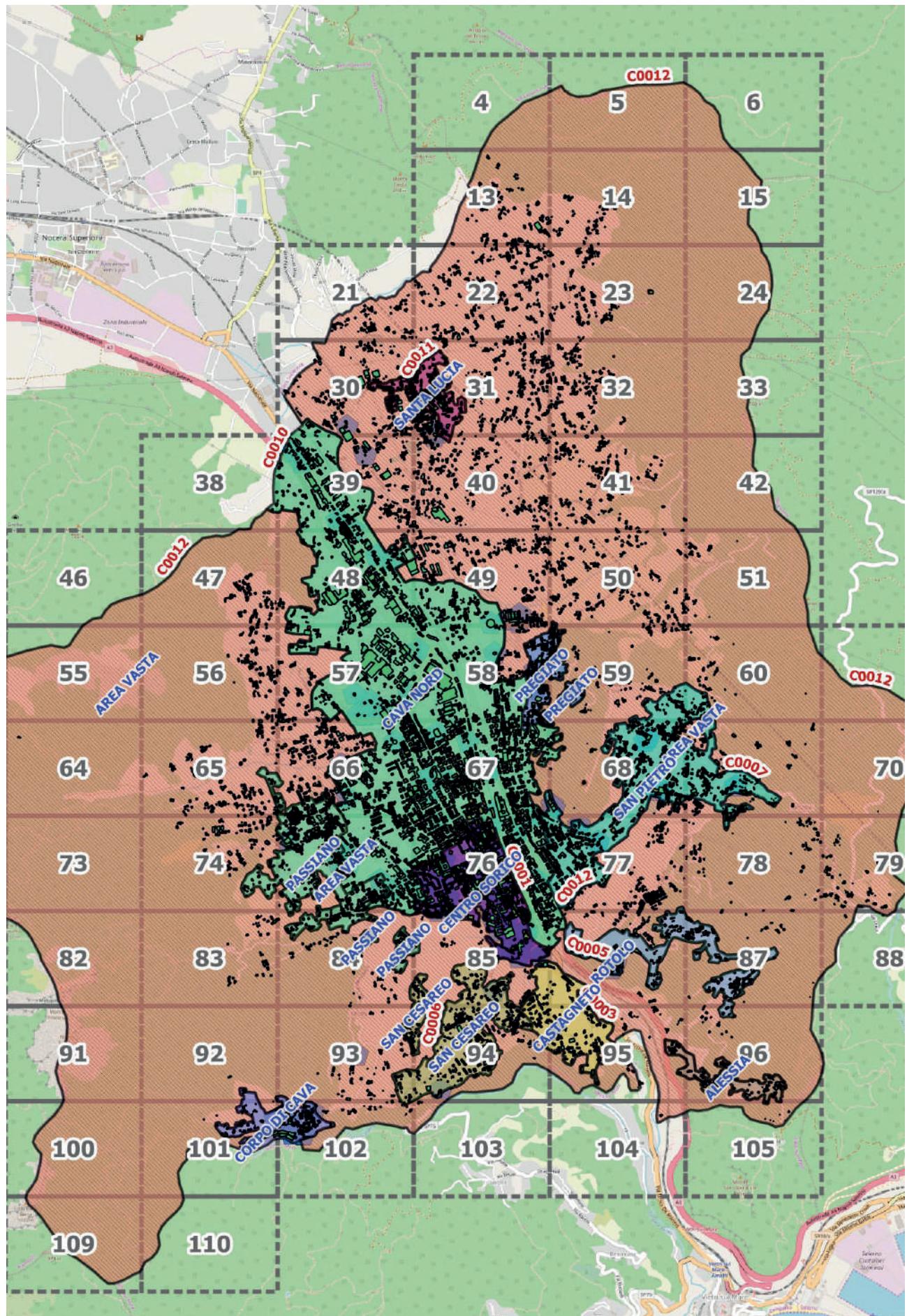
8. La sezione "Regolarità" si riferisce: alla distribuzione di masse e rigidezze in pianta ed in elevazione; al tipo di struttura (con singolo o doppio telaio monodirezionale, con singola o doppia parete direzionali, o pareti con telai); alla presenza di piano soffice (pilotis su una parte del piano terra, piano terra completamente aperto, o piani soffici intermedi); e alla presenza eventuale di elementi tozzi.

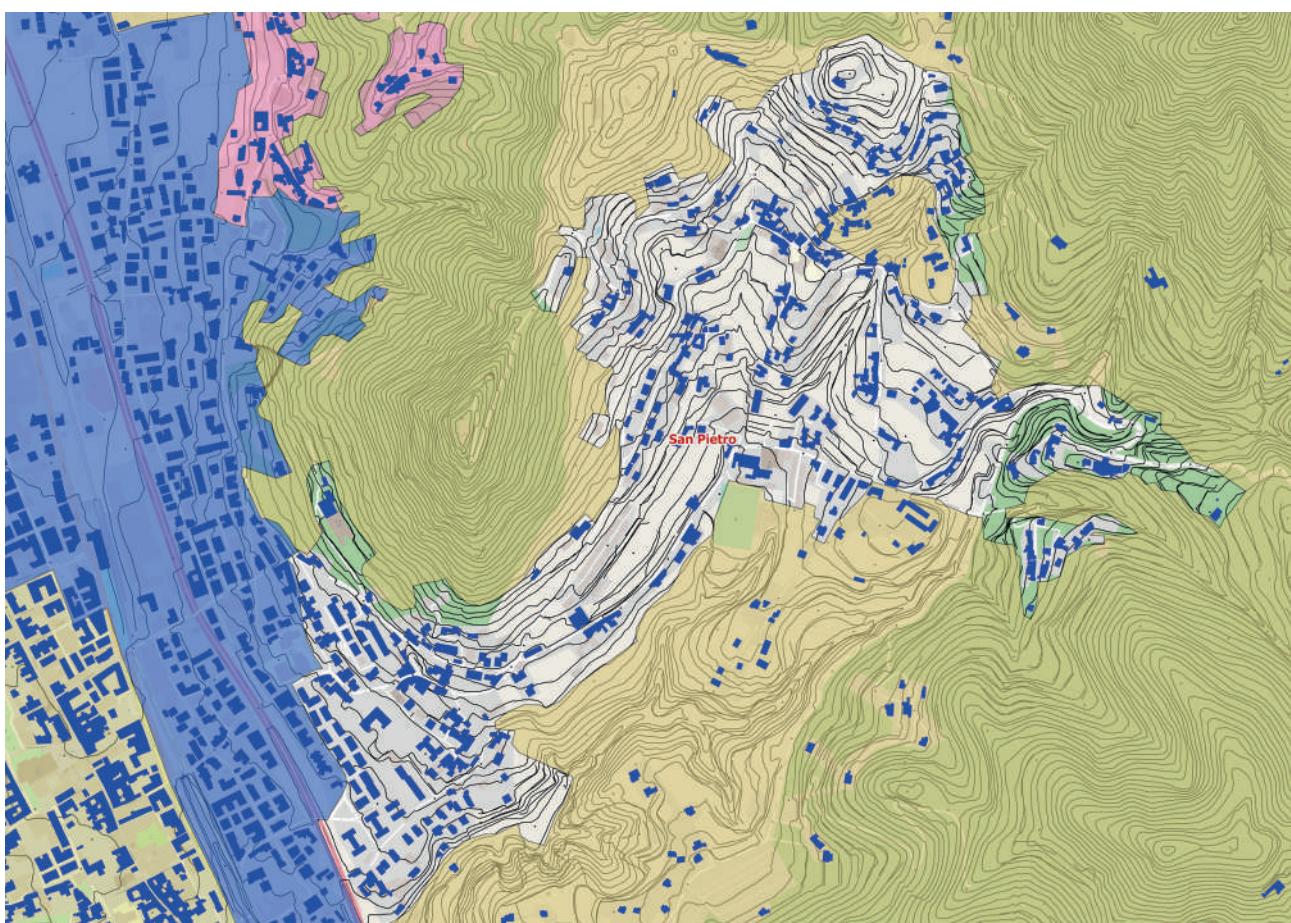
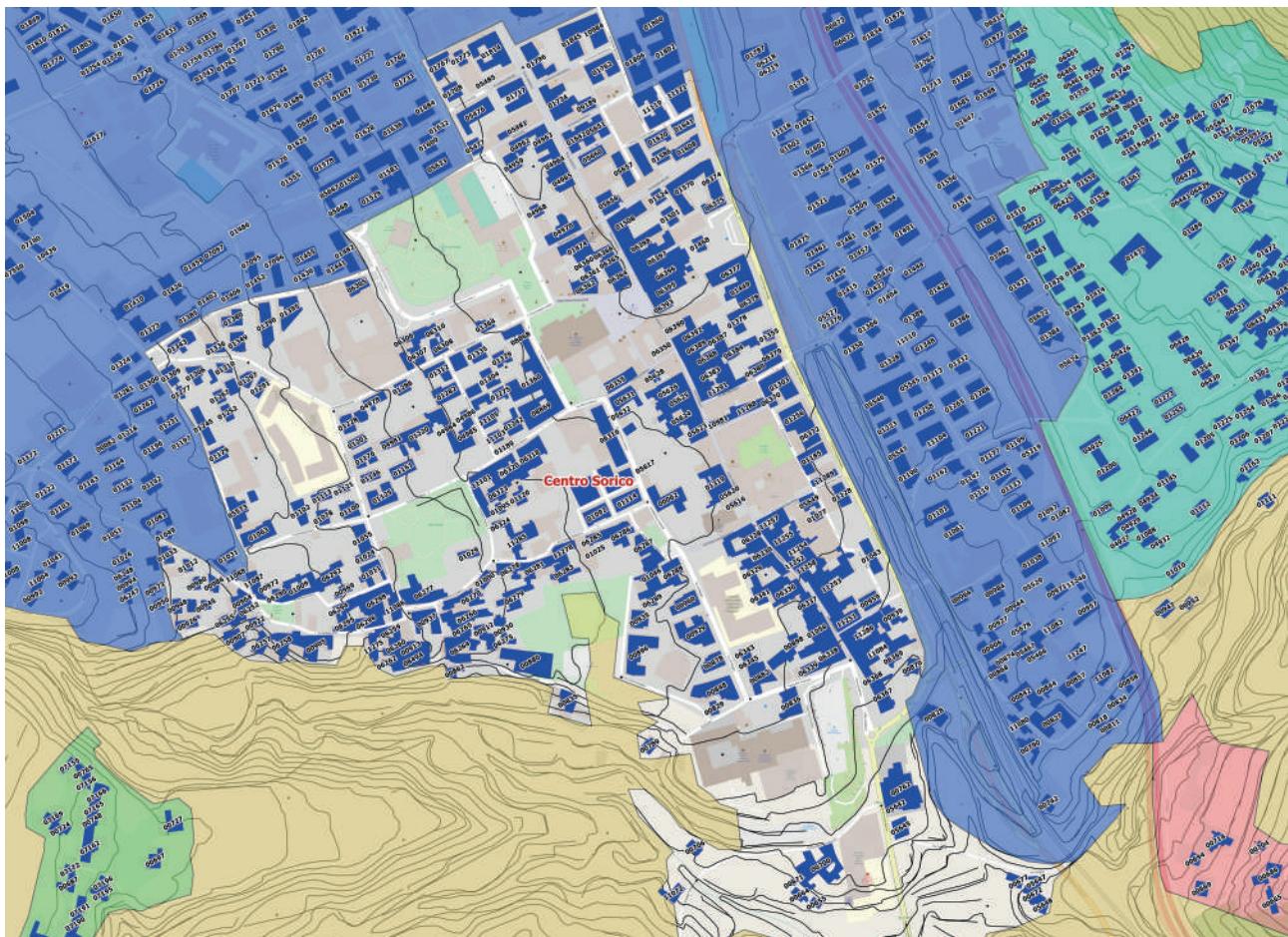
Cava de' Tirreni

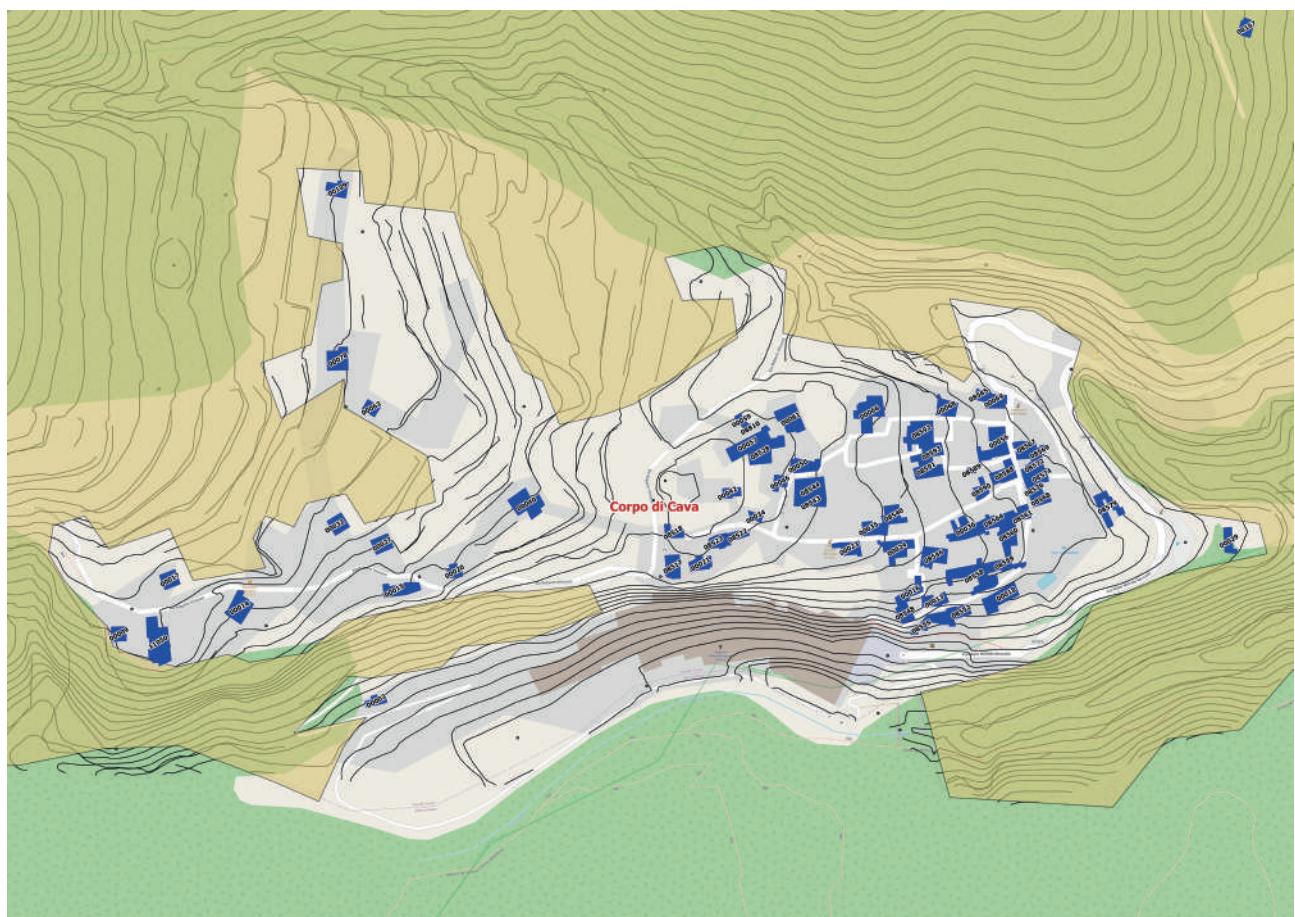
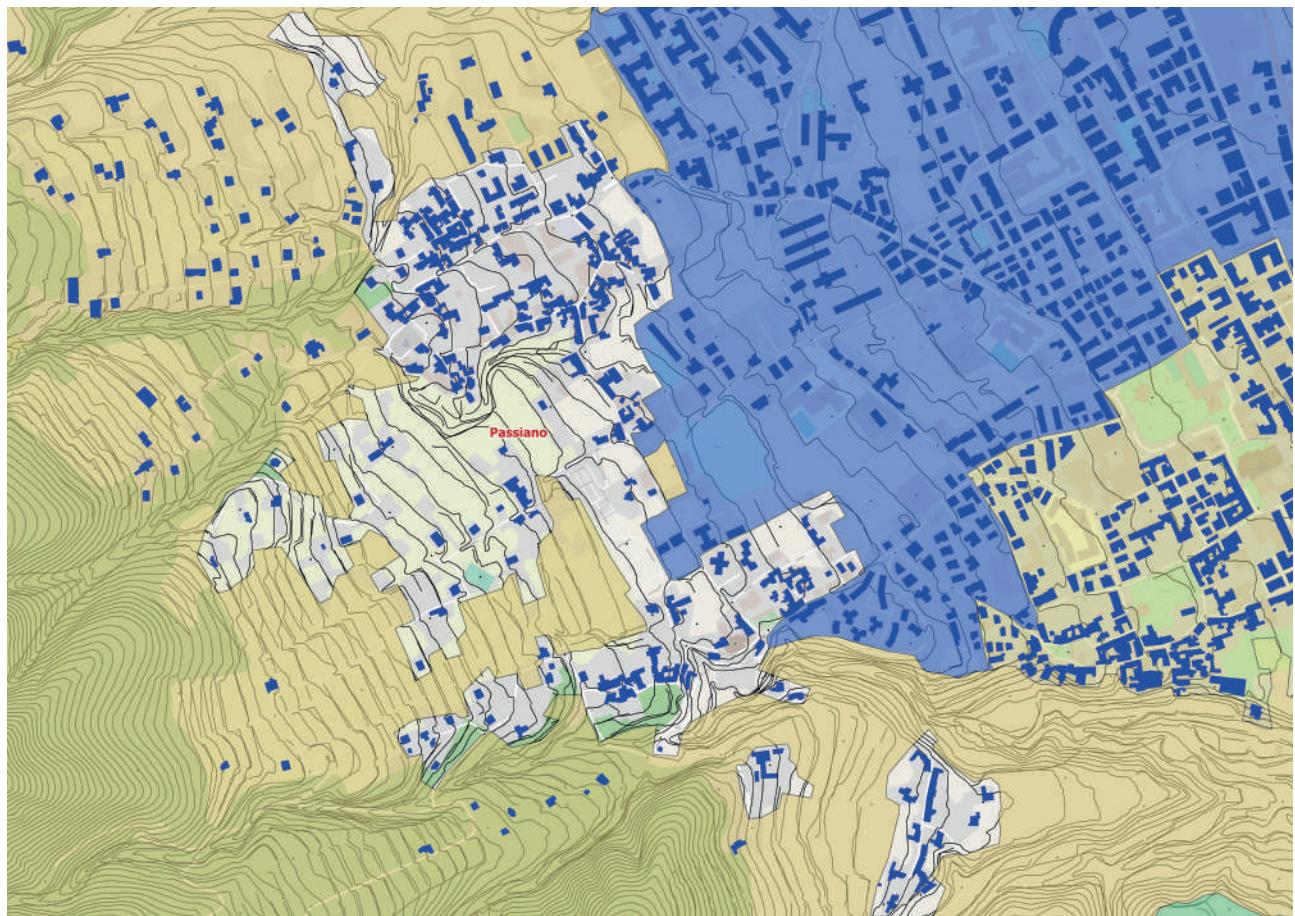


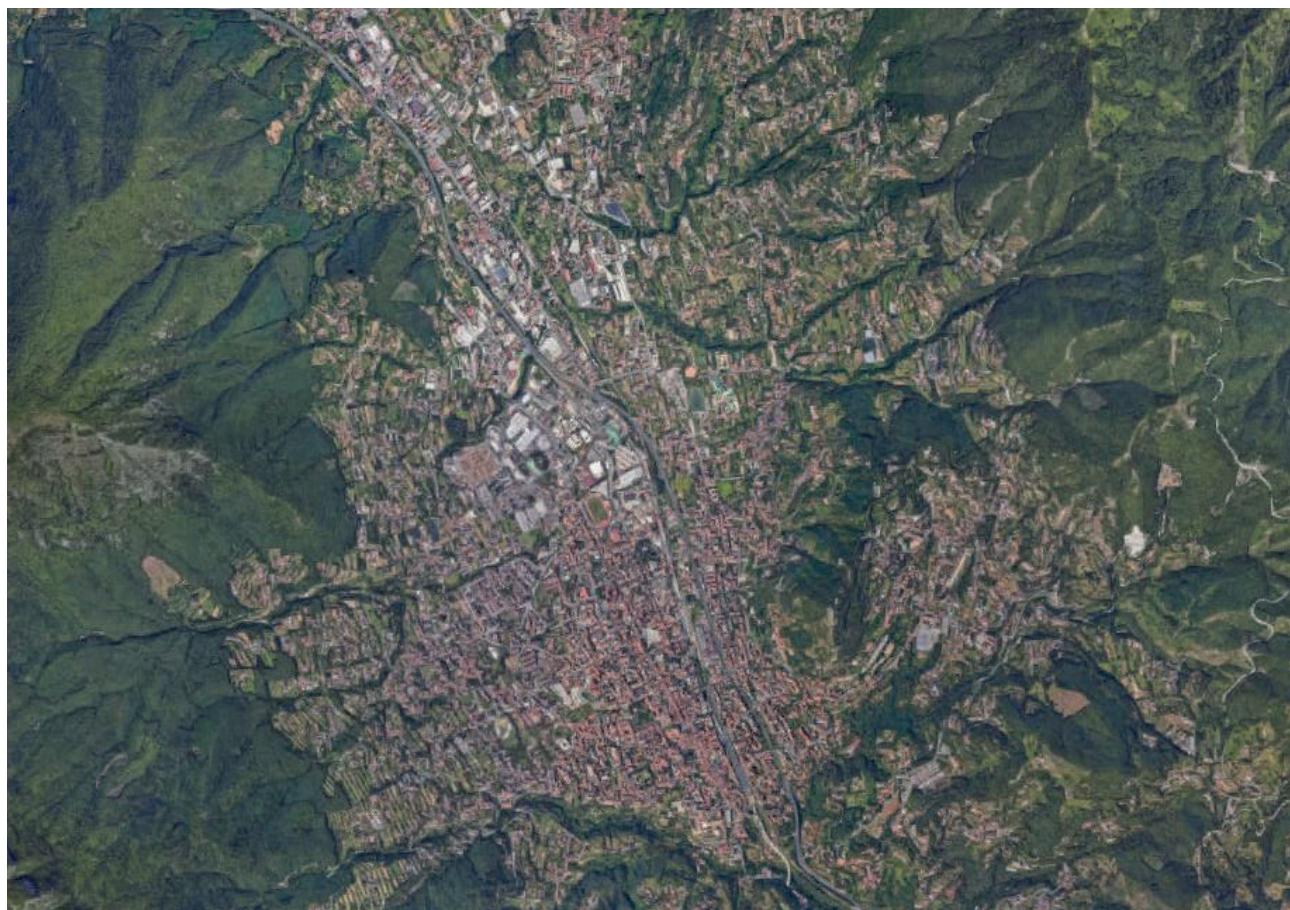
Regione	Campania
Provincia	Salerno
Coordinate	40°42'00"N 14°42'20"E
Altitudine	180m s.l.m.
Superficie	36,53 km²
Abitanti	52.969 (31.07.2018)
Densità	1.450 abitanti/km²
Codice Istat	065037
Cl. sismica	zona 3 (sismicità bassa)
Edifici totali	11.429 (di cui 4.836 residenziali)
Edifici rilevati	3.130









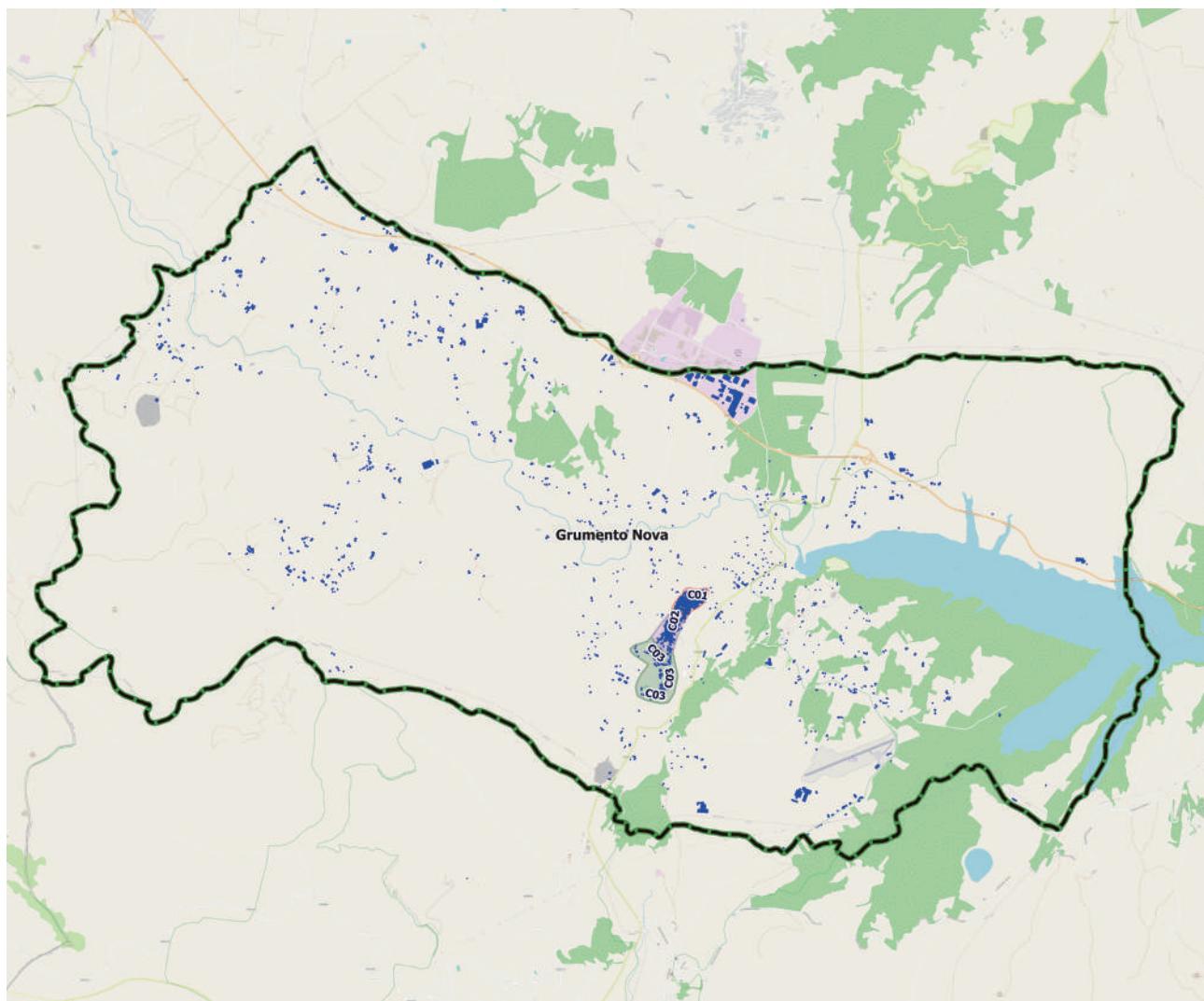


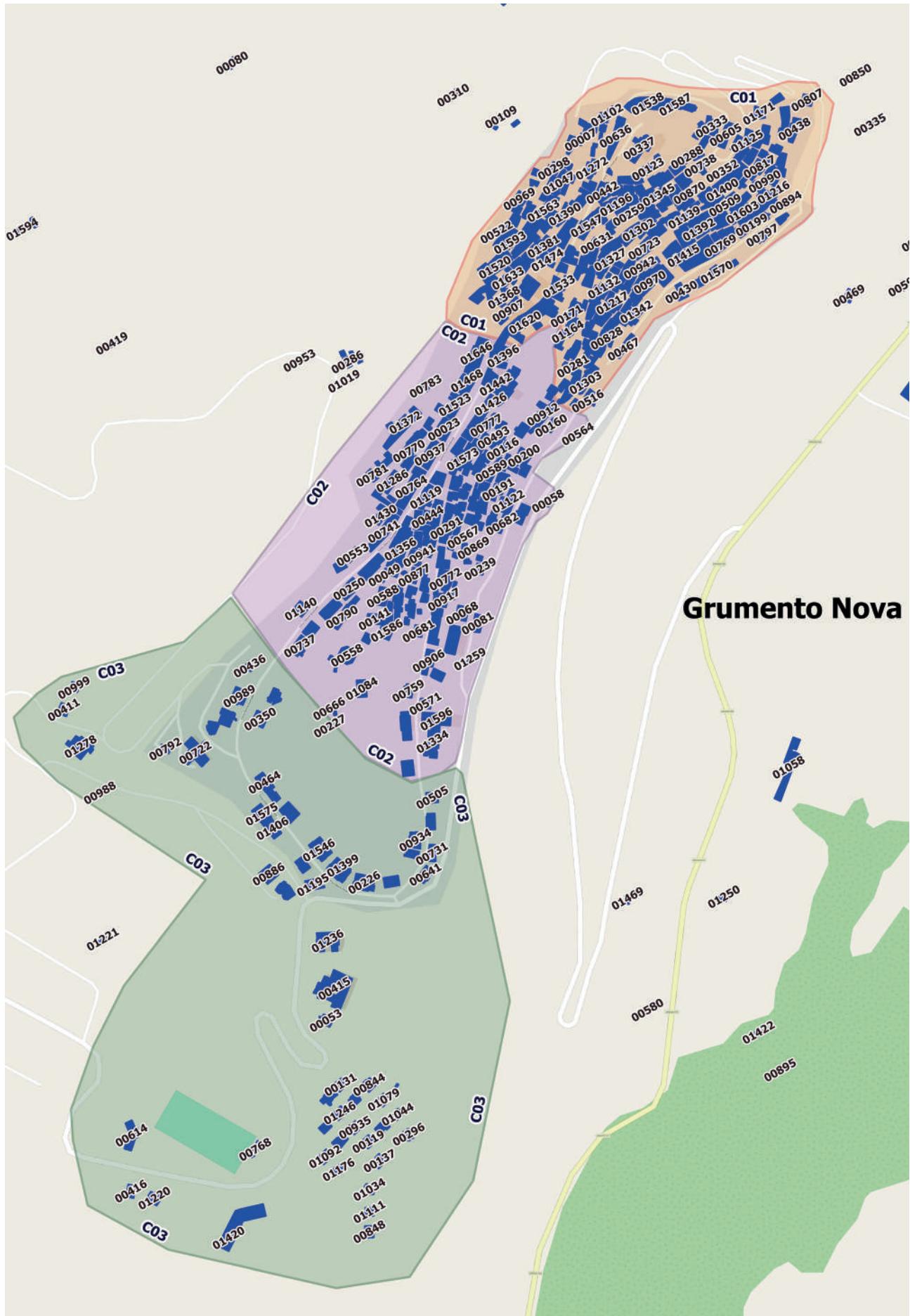
Grumento Nova

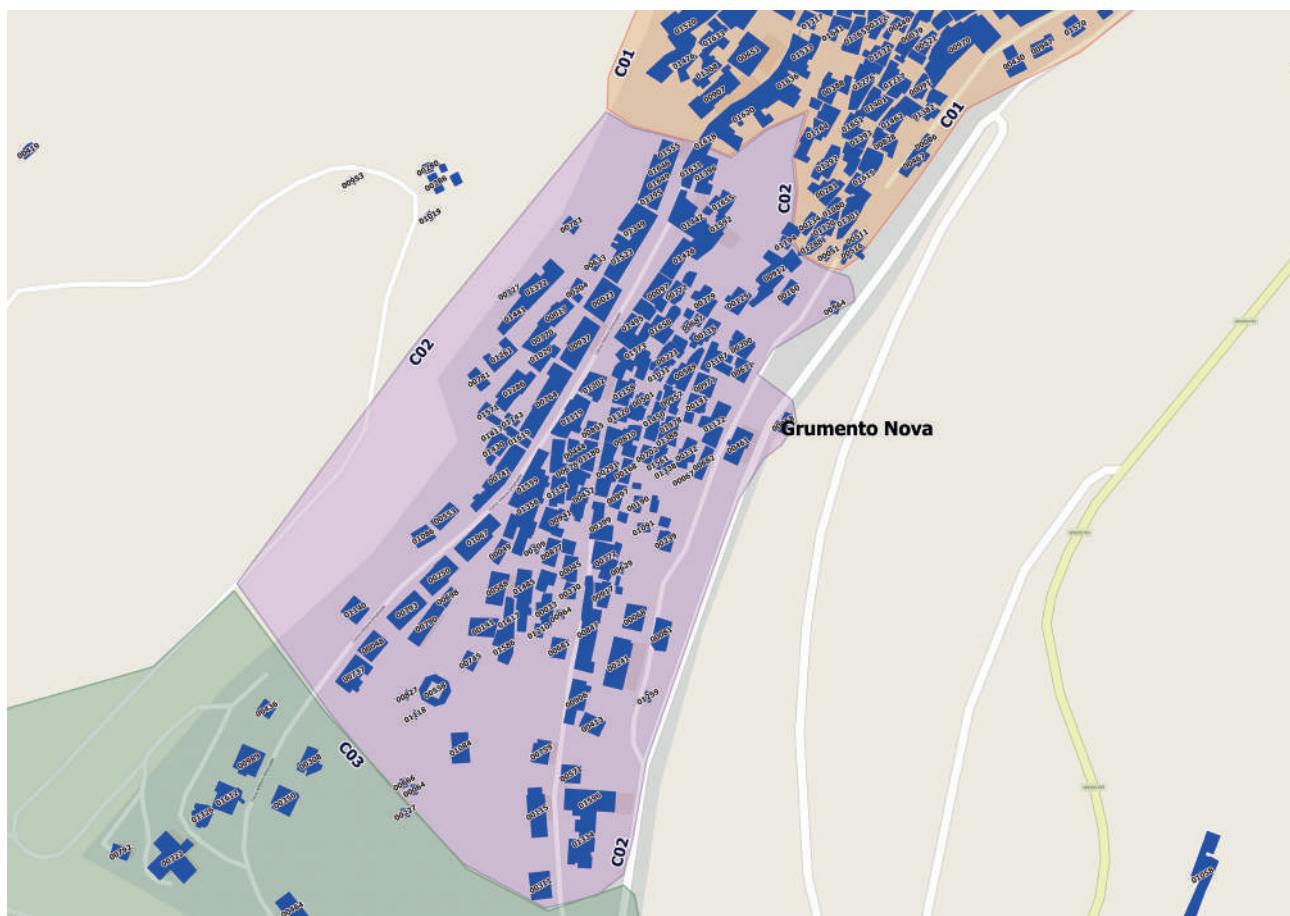
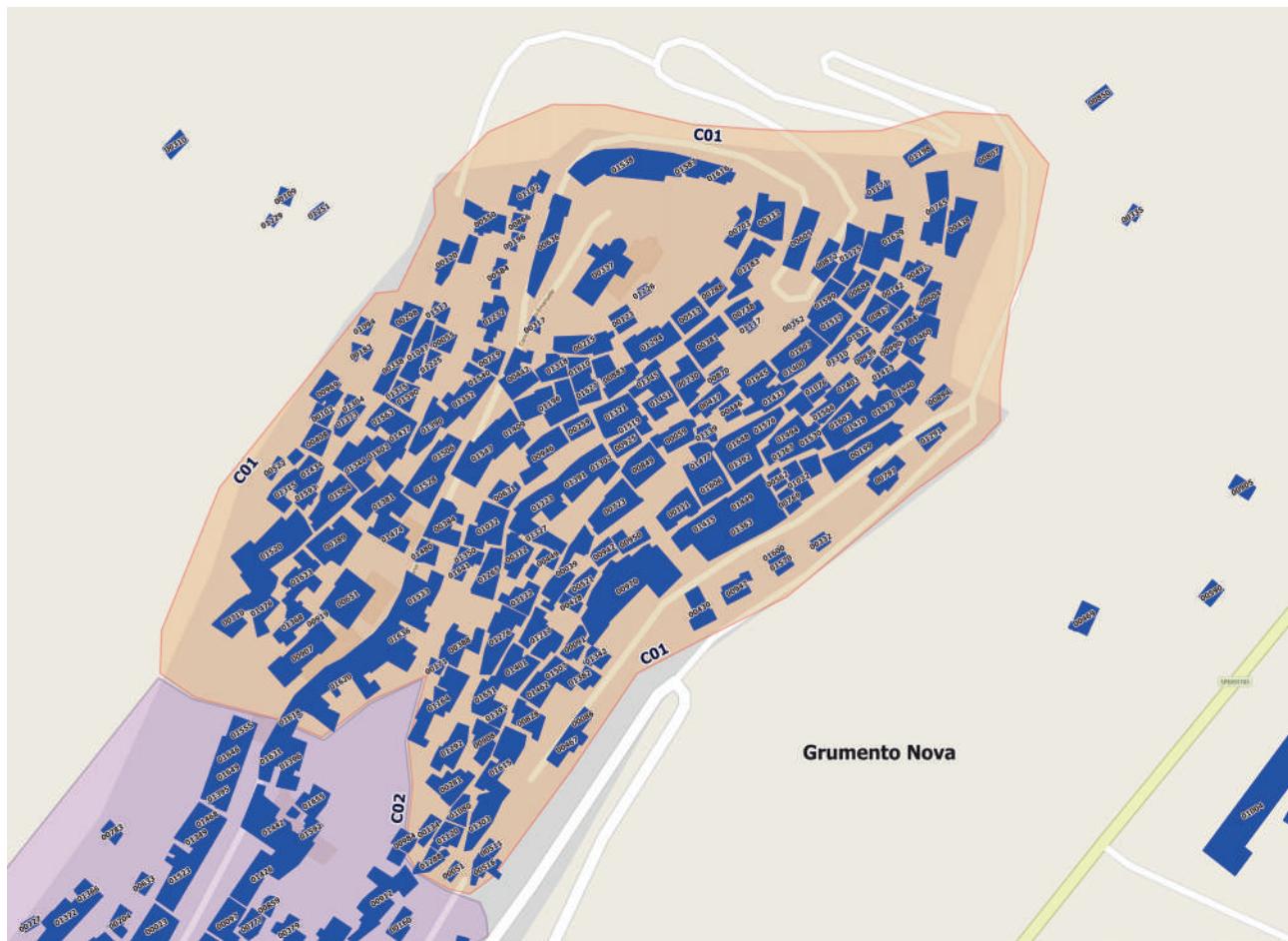


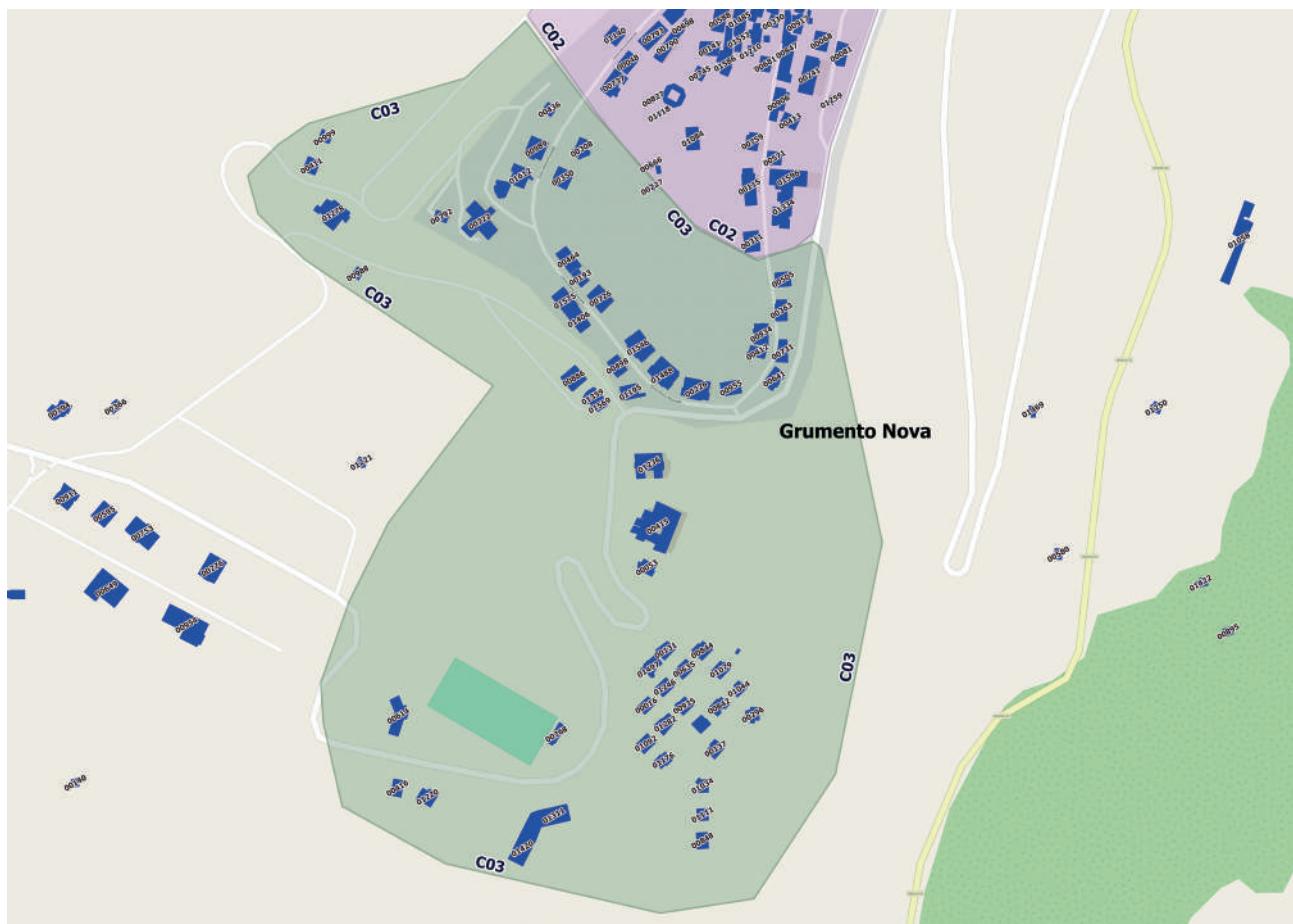
Regione
Provincia
Coordinate
Altitudine
Superficie
Abitanti
Densità
Codice Istat
Cl. sismica
Edifici totali
Edifici rilevati

Basilicata
Potenza
40°17'02"N 15°53'23"E
771 m s.l.m.
66,65 km²
1.658 (31.08.2019)
24,88 abitanti/km²
076037
zona 1 (sismicità alta)
694 (ad eccezione delle case sparse)
694









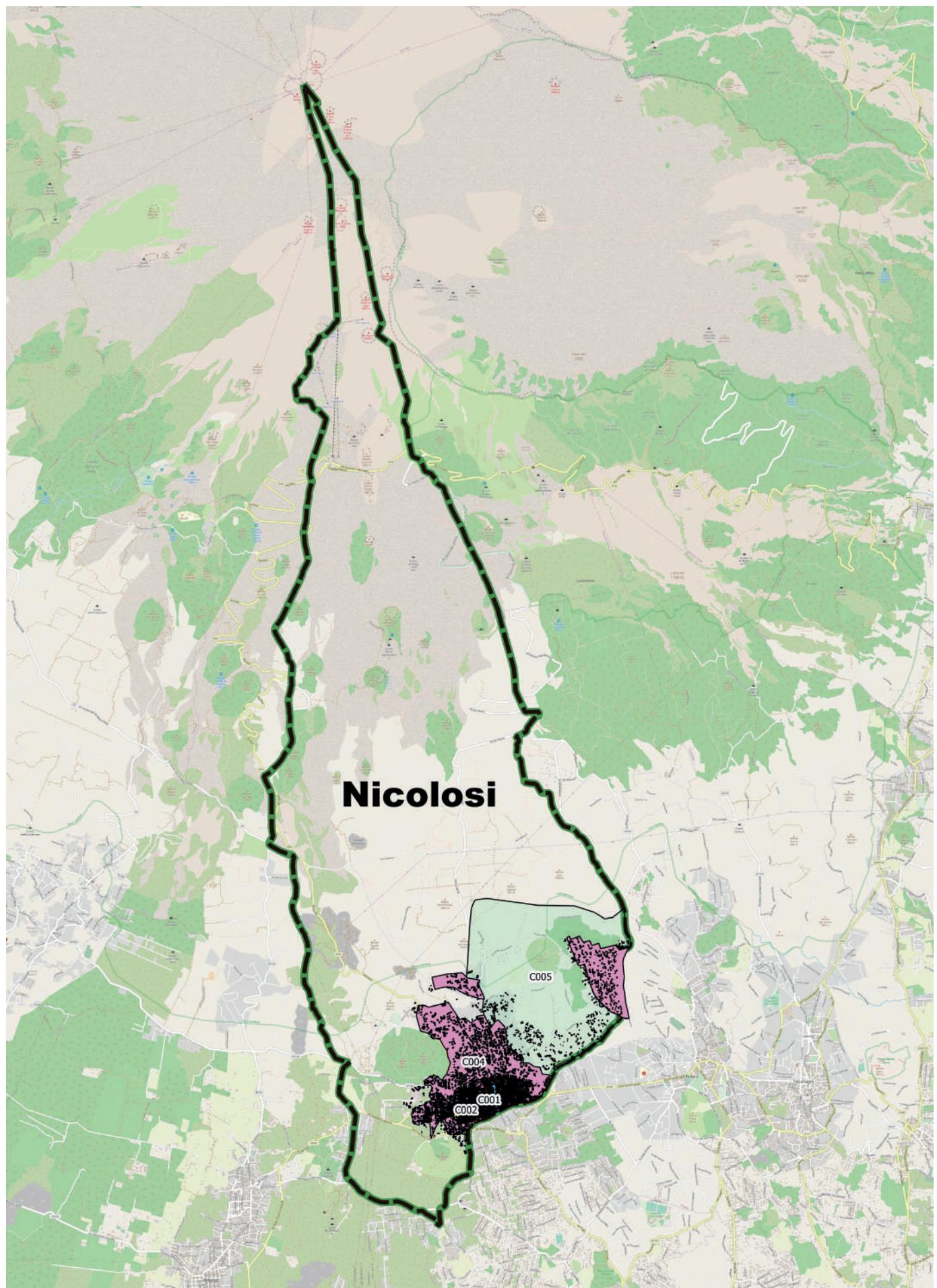


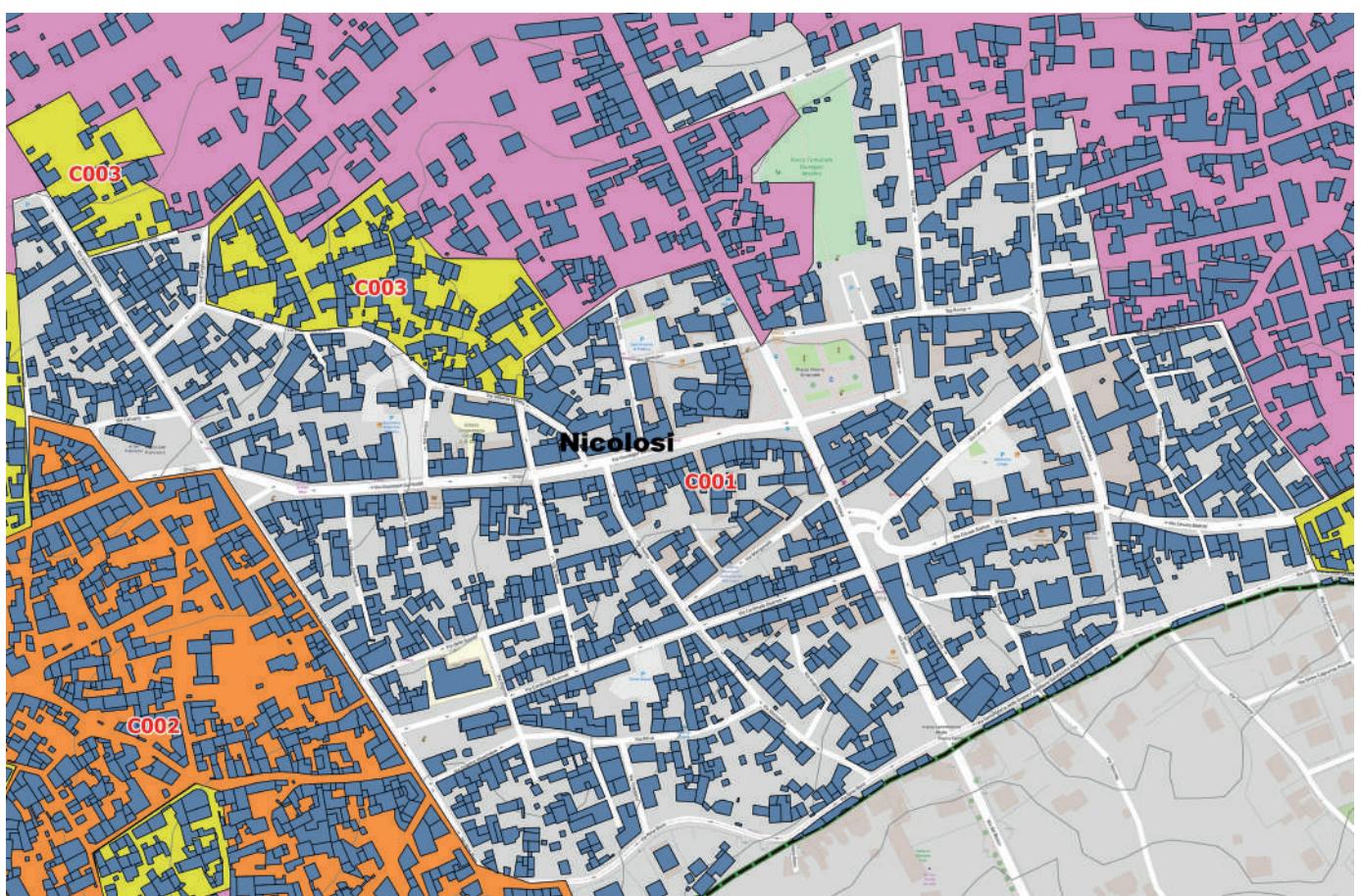
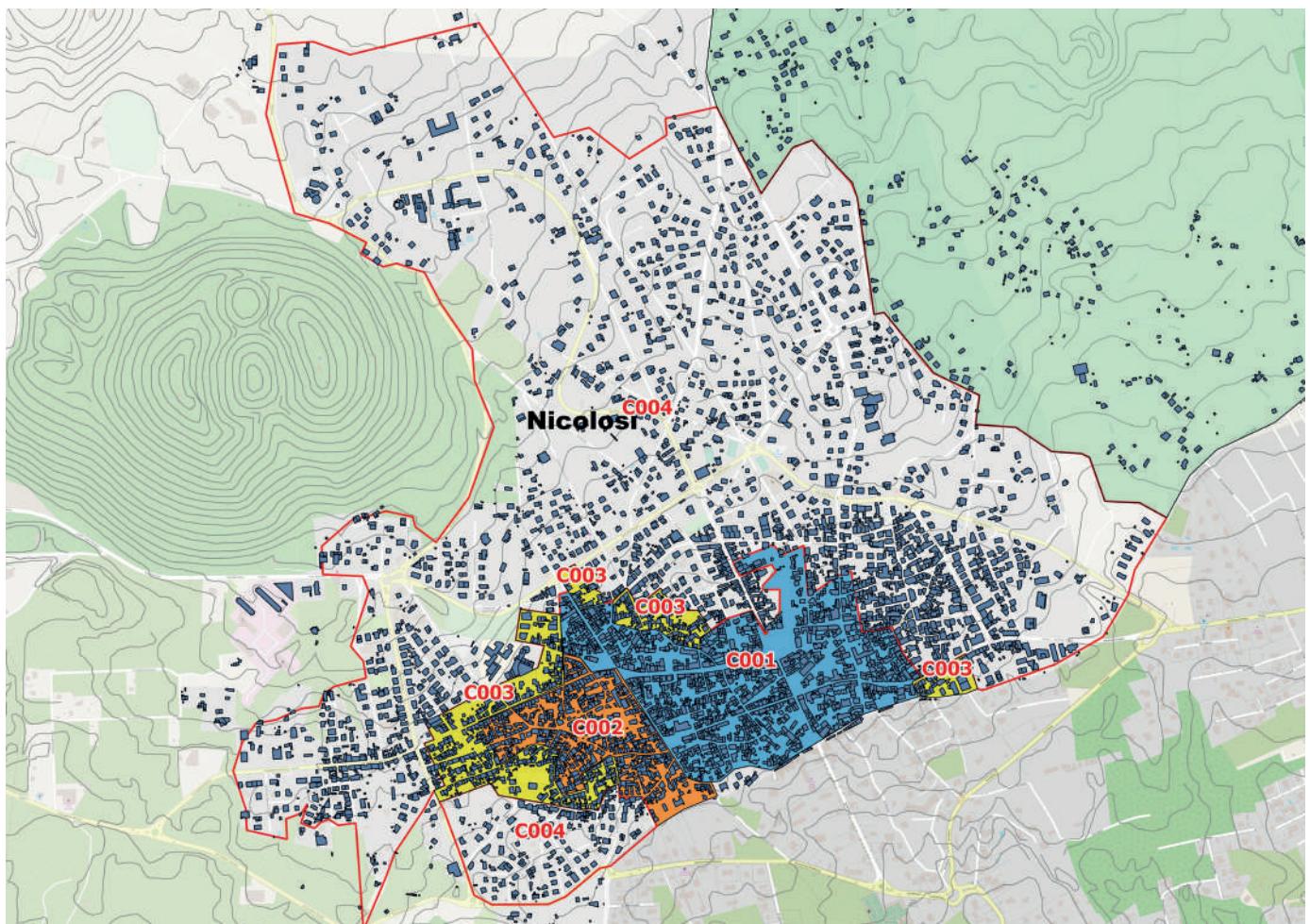
Nicolosi

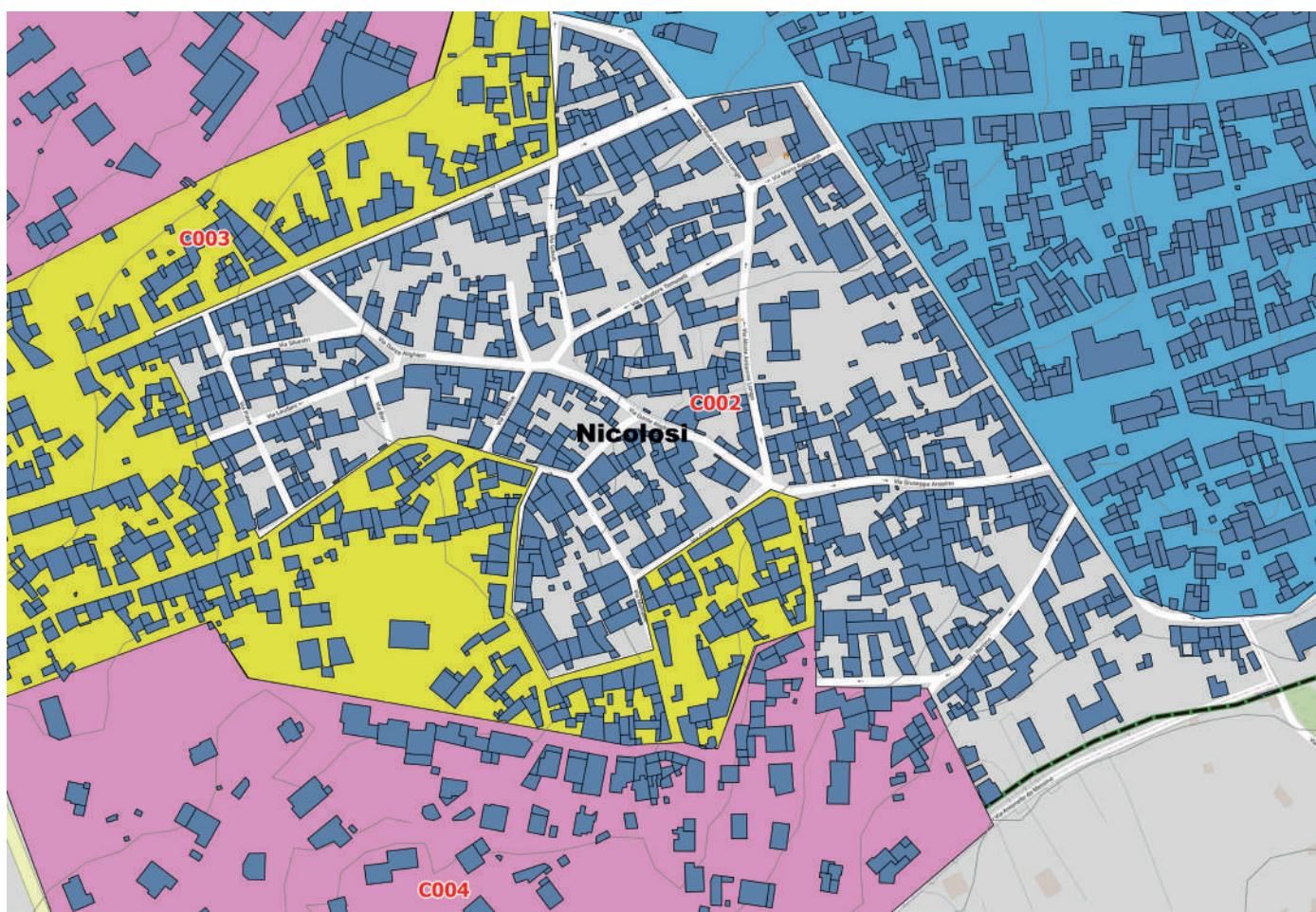
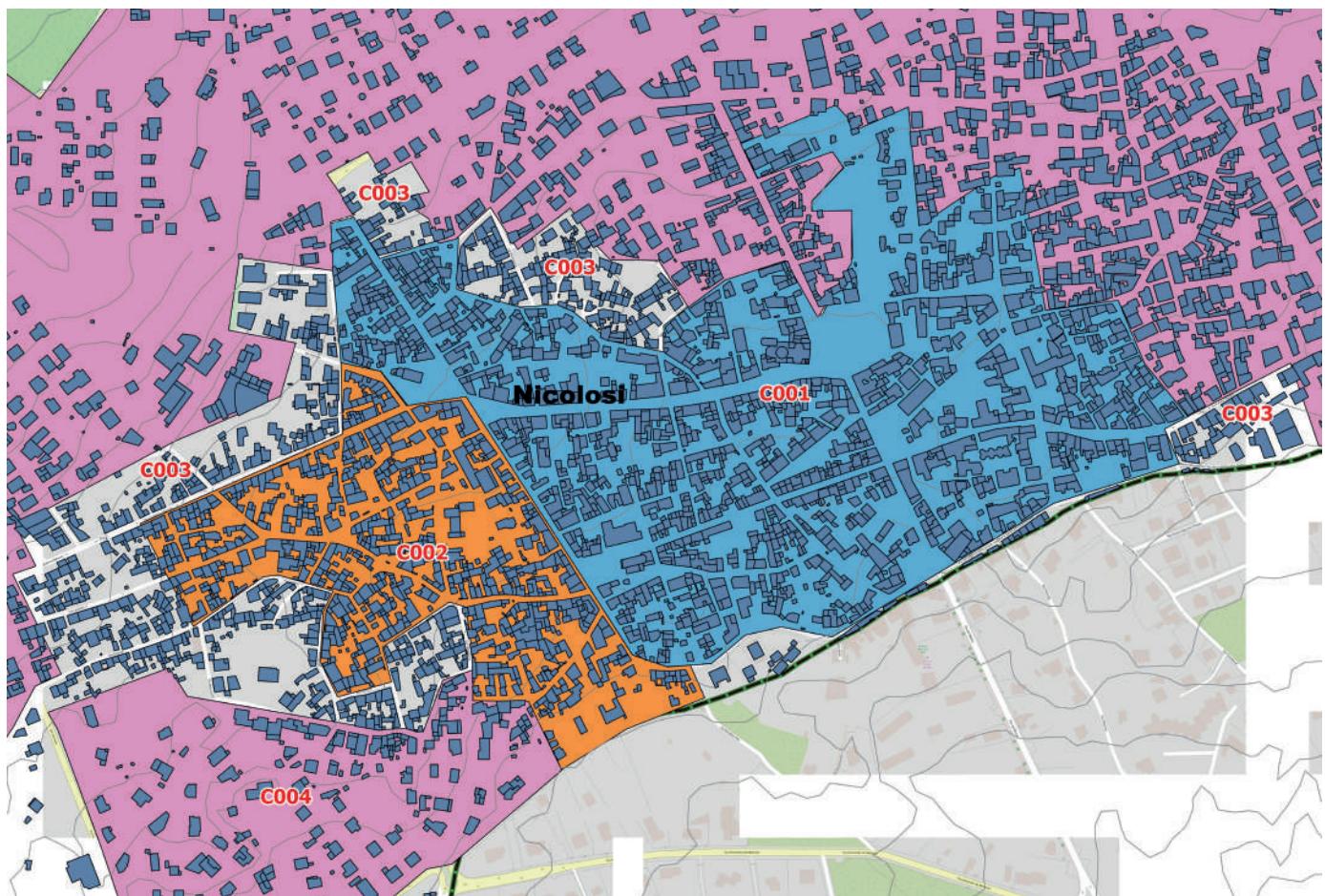


Regione	Sicilia
Provincia	Catania
Coordinate	37°37'N 15°01'E
Altitudine	698 m s.l.m.
Superficie	42,65 km²
Abitanti	7.492 (30.11.2018)
Densità	175,66 abitanti/km²
Codice Istat	087031
Cl. sismica	zona 2 (sismicità media)
Edifici totali	4.000
Edifici rilevati	2.238











Conclusioni e prospettive future

CAESAR II è uno strumento di supporto alle decisioni per gli enti locali, sviluppato per migliorare la capacità di coordinamento dei processi di pianificazione e gestione dell'emergenza sismica, nonché l'allocazione delle risorse destinate alla mitigazione del rischio su edifici e infrastrutture anche con l'ausilio di strumenti di analisi costi-benefici e multi-criteria.

Il progetto è volto a superare l'attuale frammentazione ed eccessiva articolazione delle competenze amministrative e a consentire, in questo modo, una migliore qualità nell'azione della pubblica amministrazione (PA). L'obiettivo principale è quello di una governance che funzioni in modo organico, mettendo a sistema tutti gli attori coinvolti, a tutti i livelli, nell'attuazione dei programmi di investimento pubblico, per agire in modo coordinato, più efficiente, più efficace e per una migliore capacità di realizzare interventi indirizzati a raggiungere i risultati attesi.

I Comuni italiani con CAESAR II hanno a disposizione un nuovo strumento, in grado di metterli in condizione di accedere alle tecnologie più sofisticate per analizzare il rischio sismico all'interno del proprio territorio, con un dettaglio a scala di quartiere (cella di lato 250x250 m quale unità minima di analisi). I primi comuni pilota sono stati: Cava de' Tirreni (in Provincia di Salerno), Grumento Nova (in provincia di Potenza) e Nicolosi (in Provincia di Catania). Per questi tre comuni, i tecnici incaricati hanno catalogato circa 6.000 edifici, allo scopo di approfondire la conoscenza dell'edificato esposto e rendere più affidabili le analisi del modello CAESAR II.

CAESAR II, quindi, mette a disposizione di tutti i comuni d'Italia uno strumento di valutazione dell'impatto sismico a scala territoriale, attualmente in possesso esclusivamente delle strutture centrali di gestione del rischio e dell'emergenza sismica (come le sale operative di protezione civile) per analisi di rischio a scala nazionale o regionale.

I Comuni potranno avere accesso al software (con allegata manualistica d'uso), scaricando gratuitamente il cosiddetto kit di riuso, dalla piattaforma dell'Agenzia per la coesione territoriale che ha finanziato il progetto nell'ambito del Programma Operativo Nazionale Governance e Capacità Istituzionale 2014-2020 - FSE/FESR.

Obiettivo futuro è l'implementazione di ulteriori funzionalità, allo scopo di consentire: il miglioramento delle valutazioni della pericolosità sismica (attualmente dedotta dal sito ufficiale dell'Ingv) alla base dello strumento, grazie ad analisi di microzonazione di livello I; l'introduzione di ulteriori modelli orientati a valutare l'impatto sul territorio dovuto da altri fenomeni naturali quali eventi idrogeologici, vulcanici o da cambiamenti climatici, nella prospettiva di una resilienza digitale, intelligente e multi-hazard.

CAESAR II lavora su una griglia che disegna l'intero territorio nazionale compatibile con quella introdotta dalla Unione Europea e questo consentirà nel tempo di formare un grande mosaico del rischio e del danno sismico atteso a scala nazionale, con un dettaglio mai considerato in precedenza, offrendo agli enti preposti alla governance sovra-comunale informazioni essenziali per la programmazione e la gestione dei rischi.

Ringraziamenti

Si ringraziano:

I' Agenzia per la Coesione Territoriale per aver finanziato il progetto CAESAR II; i partner per l'impegno profuso; e tutti coloro che, con entusiasmo, hanno contribuito al raggiungimento degli obiettivi.



Eventi

- **4 Maggio 2018**, Kick Off Meeting, presso Centro Plinivs-Lupt, Università degli Studi di Napoli Federico II, Napoli.
- **20 Marzo 2019**, riunione operativa, presso Grumento Municipio di Grumento Nova (PZ).
- **2-3 Aprile 2019**, riunione operativa, presso Servizio rischi sismico e vulcanico della Regione Sicilia e Municipio di Nicolosi (CT).
- **8 Ottobre 2019**, Convegno di presentazione dello stato dell'arte del progetto, presso l'aula consiliare "Sabato Martelli Castaldi", del Palazzo di Città di Cava de' Tirreni (SA).
- **22 Ottobre 2019**, Convegno sullo stato di attuazione del progetto CAESAR, presso il Castello San Severino di Grumento Nova (PZ).
- **29 Novembre 2019**, Convegno sui risultati del progetto, presso l'aula consiliare "Sabato Martelli Castaldi", del Palazzo di Città di Cava de' Tirreni (SA).
- **28 Maggio 2020**, Webinar "Presentazione della best practice CAESAR II" sulla piattaforma on line per la formazione professionale dell'Ordine degli Ingegneri di Napoli.
- **17 giugno 2020**, Webinar "CAESAR II big data contro il rischio sismico per i Comuni italiani", con l'Associazione Nazionale Comuni Italiani e l'Agenzia per la coesione territoriale, sul canal YouTube e la pagina Facebook del progetto.





Bibliografia

- Blake A. (1941). On the estimation of focal depth from macroseismic data. Bull. Seismol. Soc. Am., 31, 225-231.
- Cacace F., Zuccaro G., De Gregorio D., Perelli F. P. (2018). Building Inventory at National scale by evaluation of seismic vulnerability classes distribution based on Census data analysis: BINC procedure. International Journal of Disaster Risk Reduction 28 (2018) 384–393.
- Dolce M., Borzi B., da Porto F., Faravelli M., Lagomarsino S., Magenes G., Moroni C., Penna A., Prota A., Speranza E., Zuccaro G., Verderame G. M. (2019). Seismic risk maps for the Italian territory. XVIII Convegno ANIDIS L'ingegneria sismica in Italia, Ascoli Piceno, 15-19 settembre 2019, 1-16.
- Faenza L. and Michelini A. (2010). Regression analysis of MCS intensity and ground motion parameters in Italy and its application in ShakeMap. Geophysical Journal International 180 (3), 1138-1152.
- Faenza L. and Michelini A. (2011). Regression analysis of MCS intensity and ground motion spectral accelerations (SAs) in Italy. Geophysical Journal International 186 (3), 1415-1430.
- Grünthal, G. 1998. European Macroseismic Scale (EMS, 98).
- Jankowski P. (1995). Integrating geographical information systems and multiple criteria decision-making. International Journal of Geographical Information.
- Malczewski J. (1996). A GIS-based approach to multiple criteria group decision-making. International Journal of Geographical Information Systems.
- Malczewski J. (1999). GIS and Multicriteria Decision Analysis. Wiley & Sons INC.
- NTC (2018), Nuove norme sismiche per il calcolo strutturale, Decreto Ministeriale N. 8 del 17 gennaio 2018, Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana del 20 febbraio 2018.
- Perelli F. L., De Gregorio D., Cacace F., Zuccaro G. (2019). Empirical vulnerability curves for Italian masonry buildings. COMPDYN 2019. 7th ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering, Crete, Greece, 24–26 June 2019.
- Unesco (1972). Smithsonian Institution/SEAN, 1989. Global Volcanism Smithsonian Institution, Prentice Hall, New Jersey, USA.
- Zuccaro G (2004). Final report SAVE. Project Link to the Web Page of the "Save" Project in "Atlantis". http://gnst.ingv.it/Att_scient/Prodotti_attesi_2004/Dolce_Zuccaro/Mappe/Start2.htm. Roma
- Zuccaro G., Albanese V., Cacace F., Mercuri C. and Papa F., (2008). Seismic Vulnerability Evaluations within the Structural and Functional Survey Activities of the COM bases in Italy, AIP Conference, 2008.

- Zuccaro and Cacace (2011). Seismic casualty evaluation: The Italian model, an application to the L'Aquila 2009 event. *Human casualties in earthquakes*, 171-184.
- Zuccaro G., Cacace F., De Gregorio D. (2012). Buildings inventory for seismic vulnerability assessment at National and regional scale", In: 15th World Conference on Earthquake Engineering, 15th WCEE 2012, Lisbon (Portugal), 24–28 September 2012. Paper no 2829, 2012.
- Zuccaro G. and De Gregorio D., (2013). Time and Space dependency in impact damage evaluation of a sub- Plinian eruption at Mount Vesuvius. *Natural Hazard* (2013) 68:1399–1423. DOI: 10.1007/s11069-013-0571-8, 2013.
- Zuccaro G., Leone M. F., Del Cogliano D., Sgroi A. (2013). Economic impact of explosive volcanic eruptions: A simulation-based assessment model applied to Campania region volcanoes. *JOURNAL OF VOLCANOLOGY AND GEOTHERMAL RESEARCH*, vol. 266, p. 1-15, ISSN: 0377-0273, doi: 10.1016/j.jvolgeores.2013.09.002.
- Zuccaro G. and Cacace F. (2015). Seismic vulnerability assessment based on typological characteristics. The first level procedure "SAVE", *Soil Dyn. Earthq. Eng.* 69 (2015), 262–269.
- Zuccaro, G., Dolce, M., De Gregorio, D., Speranza, E., Moroni, C. (2015). La scheda CARTIS per la caratterizzazione tipologico- strutturale dei compatti urbani costituiti da edifici ordinari. Valutazione dell'esposizione in analisi di rischio sismico. 34° Convegno Nazionale GNGTS, Trieste, 17-19 novembre 2015, p.281-287