



### Committente

Comune di Calenzano  
Piazza Vittorio Veneto 12 - 50041 Calenzano (FI)

### Oggetto

Analisi di rischio sismico a scala territoriale



### RELAZIONE ILLUSTRATIVA



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE  
SPIN-OFF APPROVATO

### **S2R s.r.l.**

Startup innovativa  
Spin off dell'Università degli Studi di Firenze  
Via Vittorio Emanuele II, 161 - 50134 Firenze - Italia  
info@s2r-sismosafe.it - s2r.pec@dnmail.it  
[www.s2r-sismosafe.it](http://www.s2r-sismosafe.it)

### Direttori tecnici

*Prof. Ing.*  
*Andrea Vignoli*

*Ing. Ph.D.*  
*Andrea Borghini*

*Ing. Ph.D.*  
*Emanuele Del Monte*

### Collaboratori

*Ing. Giacomo Pandi*  
*Ing. Viola Nistri*  
*Ing. Jr Riccardo Rossi*

*Ing. Francesco Nicchi*  
*Ing. Jr Francesca Corsi*

### Data

*Maggio 2019*

**INDICE**

<b>1. Introduzione</b> .....	<b>2</b>
<b>2. Il Comune - Calenzano -</b> .....	<b>4</b>
<b>3. Il database ISTAT</b> .....	<b>5</b>
<b>4. Il database CARTIS</b> .....	<b>7</b>
<b>5. Il rischio sismico a scala territoriale</b> .....	<b>10</b>
5.1 La pericolosità sismica.....	10
5.2 L'esposizione sismica.....	12
5.3 La vulnerabilità sismica.....	13
5.4 Il rischio sismico.....	16
<b>6. Il danno post-sisma</b> .....	<b>17</b>
<b>7. Elaborazioni grafiche e statistiche</b> .....	<b>20</b>
7.1 Inquadramento territoriale (TAV.1, TAV.2).....	20
7.2 Analisi dei dati ISTAT (TAV.3).....	20
7.3 Individuazione dei comparti edilizi (TAV.4).....	20
7.4 Analisi del Comune e dei comparti edilizi (da TAV.5 a TAV.28).....	21
7.5 Tipologie edilizie (da TAV.29 a TAV.34).....	21
7.6 Vulnerabilità sismica a scala territoriale (da TAV.35 a TAV.59).....	22
7.7 Pericolosità sismica (da TAV.60 a TAV.65).....	24
7.8 Esposizione sismica (TAV.66 e TAV.67).....	24
7.9 Rischio sismico (da TAV.68 a TAV.92).....	25
7.10 Scenari di danno (da TAV.93 a TAV.142).....	25
<b>8. Conclusioni</b> .....	<b>29</b>

## 1. Introduzione

L'Italia è contraddistinta da una forte pericolosità sismica, da una grande densità abitativa e da un patrimonio edilizio molto vulnerabile, con circa 2.1 milioni di edifici ad uso residenziale sprovvisti di presidi antisismici e con uno stato di conservazione pessimo o mediocre.

Oltre il 50% del territorio e il 38% dei comuni italiani manifestano un elevato rischio sismico.

Tra il 1981 e il 2012 si sono succeduti più di 150000 eventi sismici, dei quali più di 50 con magnitudo Richter superiore a 5, tra il 1944 e il 2012 le vittime sono state numerose ed i costi complessivi dei danni provocati dai terremoti hanno superato 181 miliardi di euro, di cui 13 relativi al solo triennio 2010-2012 (*Rapporto ANCE/CRESME, 2012*).

Dal quadro appena delineato emerge la necessità di impegnarsi nella conoscenza del patrimonio edilizio nazionale e di investire adeguate risorse in studi previsionali degli effetti post-sisma.

Questo lavoro si colloca in tale ambito e nasce con un obiettivo principale: il tracciamento di una mappa comunale di rischio sismico.

Più nel dettaglio, tale relazione si configura come un testo di accompagnamento di una serie di elaborati grafici concernenti:

- L'Inquadramento territoriale del Comune in esame;
- Le statistiche ISTAT relative all'edificato dell'insieme di Sezioni Censuarie che lo costituiscono;
- La sua partizione in aree con tessuto edilizio omogeneo a livello di età di primo impianto e di tecniche costruttive/strutturali;
- La distribuzione delle diverse tipologie edilizie, dei materiali, delle destinazioni d'uso e dei periodi di costruzione all'interno dei vari comparti;
- La rappresentazione di scenari di danno e di mappe comunali di vulnerabilità, di pericolosità, di esposizione e di rischio sismico.

Per conseguire il suddetto fine si procede con la creazione di un'apposita banca dati georeferenziata (shapefile leggibile su software tipo Q-GIS), a scala di singolo edificio, frutto dell'osservazione diretta dei fabbricati su GoogleMaps-Streetview, di sopralluoghi in situ, di informazioni raccolte con interviste a tecnici locali e di ricerche storiche, cartografiche e fotografiche.

Tale archivio viene impiegato sia per mettere in evidenza le caratteristiche tipologico-strutturali delle classi edilizie maggiormente diffuse nel territorio comunale sia per condurre un'analisi di vulnerabilità sismica a scala territoriale.

La classe di esposizione è, invece, valutata a partire dal numero di edifici e di residenti di ogni area omogenea sub-comunale mentre quella di pericolosità globale viene ricavata dalla pericolosità di base (accelerazione massima attesa su suolo rigido e pianeggiante, fornita dalle NTC18) e da quella locale, dedotta da mappe di microzonazione sismica.

La mappa di rischio sismico, risultante dalla sovrapposizione di quelle di vulnerabilità, di esposizione e di pericolosità, assume una valenza considerevole a livello di protezione civile ma anche da un punto di vista urbanistico. Essa rende possibile un'identificazione immediata delle aree meno sicure e delle classi edilizie più fragili e si dimostra un valido supporto per le amministrazioni pubbliche, ai fini dell'impostazione e della pianificazione di un'attenta politica di monitoraggio, di verifica e di rinforzo strutturale del costruito.

## 2. Il Comune - Calenzano -

Calenzano è un Comune italiano di 16637 abitanti (fonte: ISTAT, 2011), afferente alla Città Metropolitana di Firenze, situato a nord della Regione Toscana.

Il Comune si estende per 76.97  $km^2$  (fonte: ISTAT, *La superficie dei comuni, delle province e delle regioni italiane al Censimento 2011*), si colloca tra i Monti della Calvana (ad ovest) e Monte Morello (ad est) e presenta un paesaggio vario, per circa due terzi montuoso. È inoltre attraversato da numerosi corsi d'acqua, quali i torrenti Marinella di Travalle e Marina (affluenti del fiume Bisenzio).

Più nello specifico, da un punto di vista geologico e morfologico, nel territorio di Calenzano si possono riscontrare:

- Una dorsale collinare e montuosa occidentale riconducibile al complesso dei Monti della Calvana e diretta da nord a sud, su cui si sviluppano gli agglomerati di Collinuzza, San Pietro in Casaglia, Regina del Bosco e la frazione di Croci di Calenzano;
- Una porzione meridionale di terreni di fondovalle (valli alluvionali dei torrenti Marinella, Marina e Chiosina-Garille), dove sono ubicate le aree più urbanizzate del capoluogo e della frazione di Settimello;
- Una seconda dorsale collinare e montuosa di Monte Morello, con gli agglomerati di Lavacchio, Sorbetole e Pratale.

Infine, lungo le due direzioni principali di sforzo tettonico (appenninico ed anti-appenninico) si osservano linee di faglia e di frattura che costituiscono anche una via preferenziale delle linee di deflusso superficiale.

Calenzano è classificato sismicamente in zona 2 a partire dal 1982 (Decreto Ministeriale 19 marzo 1982).

### 3. Il database ISTAT

L'Istituto Nazionale di Statistica (ISTAT) diffonde i dati geografici (formato shapefile) del sistema delle basi territoriali ovvero dell'insieme delle seguenti partizioni, volte alla caratterizzazione statistica del territorio italiano:

- Sezioni di censimento;
- Aree di censimento (ACE);
- Aree sub-comunali (municipi, quartieri, etc., ASC);
- Località;
- Limiti amministrativi (regioni, province e comuni).

A tali realtà territoriali vengono associate ben 134 variabili, registrate con il censimento ISTAT del 2011 (progetto Census2010).

Esse riguardano:

- La popolazione (P);
- Le abitazioni (A), alloggi costituiti da uno o più locali (stanze e vani accessori), costruiti con i requisiti necessari per assumere la funzione di dimora per una o più persone. Presentano almeno un accesso dall'esterno o da spazi di disimpegno comune (pianerottoli, ballatoi, terrazze, etc.), sono separate da altre unità abitative attraverso delle pareti, occupano parzialmente o totalmente un edificio e possono ospitare anche parti adibite ad uffici (studi professionali, etc.);
- Gli edifici (E), definiti come costruzioni generalmente realizzate in modo unitario, dotate di una struttura indipendente. Essi contengono spazi utilizzabili stabilmente da persone per uso abitativo, per uso produttivo o per servizi e sono delimitati da pareti continue, esterne o divisorie, e da coperture. Sono dotati di almeno un accesso dall'esterno e possono essere affiancati da pertinenze (box, garage, etc.);
- Le famiglie (PF);
- Gli stranieri (ST).

Ai fini delle elaborazioni oggetto di questa attività si focalizza l'attenzione sulle Sezioni Censuarie, ovvero sulle unità minime di rilevazione del Comune. A partire da queste è possibile ricostruire, per somma, tutte le entità geografiche ed amministrative di livello superiore (località abitate, aree sub-comunali, collegi elettorali, territorio comunale, etc.).

Tra gli attributi messi a disposizione dall'ISTAT si riportano solo quelli necessari alla presente attività, direttamente utilizzati per disegnare grafici statistici (TAV. 3) inerenti all'edificato del Comune in esame e per calcolare l'Esposizione Sismica delle diverse aree omogenee sub-comunali.

In particolare:

- P1: Popolazione residente totale;
- E1: Edifici e complessi di edifici (totale);
- E2: Edifici e complessi di edifici utilizzati;

- E3: Edifici ad uso residenziale;
- E4: Edifici e complessi di edifici ad uso produttivo, commerciale, direzionale/ terziario, turistico/ ricettivo, servizi, altro;
- E5: Edifici ad uso residenziale in muratura portante;
- E6: Edifici ad uso residenziale in calcestruzzo armato;
- E7: Edifici ad uso residenziale in altro materiale (acciaio, legno, etc.);
- E8: Edifici ad uso residenziale costruiti prima del 1919;
- E9: Edifici ad uso residenziale costruiti dal 1919 al 1945;
- E10: Edifici ad uso residenziale costruiti dal 1946 al 1960;
- E11: Edifici ad uso residenziale costruiti dal 1961 al 1970;
- E12: Edifici ad uso residenziale costruiti dal 1971 al 1980;
- E13: Edifici ad uso residenziale costruiti dal 1981 al 1990;
- E14: Edifici ad uso residenziale costruiti dal 1991 al 2000;
- E15: Edifici ad uso residenziale costruiti dal 2001 al 2005;
- E16: Edifici ad uso residenziale costruiti dopo il 2005.

Nello shapefile delle Sezioni di Censimento, leggibile con software tipo Q-GIS, si possono, invece, reperire varie voci assegnate ad esse, tra le quali:

- Il Codice Regionale, *COD\_REG*;
- Il Codice della Provincia e del Comune, *PRO\_COM*;
- Il Codice *ISTAT*, dato dalla concatenazione del codice regionale, provinciale e comunale;
- Il Codice univoco della Sezione (Codice *PRO\_COM* seguito dal campo *SEZ*, con un totale di 7 cifre);
- Il Codice tipologico, *COD\_TIPO* (Sezioni non classificabili, Edifici civili, Chiese, Monumenti, Aree verdi, Porti, Aeroporti, Ospedali, Impianti sportivi, etc.);
- La tipologia di località, *TIPO\_LOC*: 1 per i centri abitati, 2 per i nuclei abitati, 3 per le aree produttive, 4 per le case sparse;
- Il Codice di località, *COD\_LOC*, di cinque cifre (la prima di esse coincide con *TIPO\_LOC*);
- Il perimetro della Sezione, *Shape\_Leng*, espresso in metri lineari;
- L'area della Sezione, *Shape\_Area*, espressa in metri quadrati.

#### 4. Il database CARTIS

Ai fini dell'identificazione delle diverse categorie edilizie presenti nel territorio comunale, si utilizza la metodologia CARTIS (CARatterizzazione Tipologica Strutturale). Questa è volta al rilevamento delle tipologie ordinarie prevalenti nell'ambito di zone comunali o sub-comunali (Comparti), contraddistinte da omogeneità del tessuto edilizio, per età di primo impianto e/o di tecniche costruttive e strutturali.

La scheda di primo livello CARTIS (Zuccaro, De Gregorio, Dolce, Speranza, & Moroni, 2014), è sviluppata nel contesto del Progetto triennale RELUIS 2014-2016 (*Sviluppo di una metodologia sistematica per la valutazione dell'esposizione a scala territoriale, sulla base delle caratteristiche tipologico-strutturali degli edifici*), con la collaborazione del Dipartimento della Protezione Civile.

L'individuazione e il riconoscimento di tipologie strutturali prevalenti a livello territoriale rappresentano un punto cardine per le analisi di vulnerabilità del costruito e, quindi, per la definizione di scenari di rischio sismico e/o di danno post-sisma.

Nel presente lavoro si prendono in considerazione tali parametri ma si ambisce ad un grado di dettaglio superiore: si passa dalla scala delle aree omogenee sub-comunali alla scala del singolo edificio, creando un'ingente banca dati. In breve, il database CARTIS nasce da un riaggiornamento e da un'estensione dello shapefile *Periodizzazione dei sedimenti edilizi*, scaricabile dal Sistema Informativo Territoriale ed Ambientale della Regione Toscana.

In esso, alle geometrie rilevate nella Carta Tecnica Regionale Toscana (sedimenti edilizi, non sempre coincidenti con gli edifici ISTAT), vengono associate le rispettive date di prima documentazione, in relazione ad una serie di fonti cartografiche. In particolare si utilizzano:

- le mappe reperibili all'indirizzo internet <http://www.regione.toscana.it/-/geoscopio>, nelle quali si distinguono gli edifici esistenti nel 1897, nel 1956, nel 1978, nel 1988 e nel 1996;
- l'insieme dei Catasti Storici toscani (prima metà del XIX secolo);
- le ricognizioni aerofotografiche "Volo GAI" (1954), "Volo Alto" (1978, Regione Toscana), "Volo RT" (1988) e "Volo AIMA" (1996);
- ulteriori documenti, forniti dai Comuni e citati nel paragrafo 7.4.

Per mezzo di essi è possibile ricondurre ogni sedime ad uno dei periodi costruttivi contemplati nella scheda CARTIS (periodo di realizzazione antecedente al 1919, compreso tra il 1919 e il 1945, tra il 1946 e il 1961, tra il 1962 e il 1975, tra il 1976 e il 1986, tra il 1987 e il 1996, tra il 1997 e il 2008 e successivo al 2008).

Ciascun sedime è inoltre caratterizzato da specifici codici identificativi, da un'area di impronta e da un'altezza fuori terra, ottenibile, per differenza, dalla quota in gronda (*Q\_GRONDA*) e da quella del suolo (*Q\_TERRA*). Mediante l'osservazione diretta di tali edifici su GoogleMaps-StreetView, l'esecuzione di alcuni sopralluoghi in situ e i suggerimenti di Responsabili



e di Tecnici esperti del luogo, si è in grado di aggiungere al layer appena descritto nuovi attributi:

Proprietà generali

- *MATERIALE* (muratura, calcestruzzo armato gettato in opera, calcestruzzo armato prefabbricato, legno, acciaio);
- *POS\_URBANA* (edifici isolati o in aggregato);
- *N\_PIANI* (numero di piani);
- *H\_PIANO* (altezza media di interpiano);
- *PIANO\_INT* (eventuali piani interrati);
- *VOLUME*;
- *PERIODO* (antecedente al 1860, compreso tra il 1861 e il 1919, compreso tra il 1920 e il 1945, compreso tra il 1946 e il 1961, compreso tra il 1962 e il 1975, compreso tra il 1976 e il 1986, compreso tra il 1987 e il 1996, compreso tra il 1997 e il 2008, successivo al 2009);
- *FUNZIONE* (ordinaria, strategica e rilevante, industriale, agricola, monumentale, speciale, di centrale elettrica, di rimessa, di cimitero, di culto, di rudere);
- *COP\_FORMA* (copertura a singola falda, a falde inclinate, con terrazzo praticabile, con terrazzo non praticabile, a volta);
- *COP\_TIPO* (copertura leggera o pesante);
- *COP\_MAT* (copertura in legno, in calcestruzzo armato, in acciaio, in muratura);
- *APER\_FACC* (percentuale di aperture in facciata);
- *APER\_PT* (percentuale di aperture al piano terra);
- *REG\_P* (regolarità in pianta: edifici irregolari, mediamente regolari e regolari);
- *REG\_A* (regolarità in altezza: edifici irregolari, mediamente regolari e regolari);
- *CONSERV* (stato di conservazione buono, medio o scadente);
- *TIPOLOGIA* (tipologia edilizia, funzione del materiale, della tipologia architettonica e del numero di piani);
- *CLASSE EMS98* (M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, per la muratura; RC1, RC2, RC3, RC4, RC5, RC6, per il calcestruzzo armato; S, per l'acciaio e W, per il legno).

Proprietà degli edifici in muratura e delle strutture miste:

- *TIPO\_MUR* (tessitura muraria e tipo di blocchi);
- *CORD\_CAT* (possibili cordoli e/o catene);
- *MISTA* (sopraelevazioni in calcestruzzo armato su muratura o in muratura su calcestruzzo armato, ampliamenti di strutture in muratura con calcestruzzo armato);
- *LOG\_POR* (logge e portici);
- *SPESS\_MUR* (spessore dei maschi murari, elevato o contenuto);
- *DIST\_PARETI* (distanza tra le pareti portanti, elevata o contenuta);

- *COL\_PARETI* (connessione tra le pareti, buona o assente);
- *SOPRAAEL* (presenza o assenza di sopraelevazioni);
- *COP\_SPING* (possibile carattere spingente della copertura);
- *INTERVENTI* (ristrutturazioni, variazioni o rinforzi strutturali con conseguenze positive o negative sul comportamento sismico dei manufatti);
- *POS\_AGGR* (unità isolate, di testata, intercluse o d'angolo);
- *ALT-AGGR* (differenti altezze e sfalsamento dei piani tra più unità appartenenti al medesimo aggregato);
- *FOND\_MUR* (fondazioni complanari o poste a quote diverse);

Proprietà degli edifici in calcestruzzo armato:

- *D\_TAMP* (tamponature disposte in maniera regolare o irregolare);
- *ERD\_LEVEL* (ERD: Earthquake Resistant Design, livello di progettazione antisismica alto, medio o basso, dipendente dal periodo di costruzione e dall'anno di classificazione in zona sismica del Comune);
- *GIUNTI* (giunti sismici a norma o meno);
- *FOND\_C\_A* (fondazioni: travi, travi collegate o plinti isolati);
- *BOW\_WIND* (possibili bow-windows);
- *SHORT\_COL* (possibili pilastri tozzi).

Tale banca dati consente sia il calcolo di un indice numerico di vulnerabilità per ciascun edificio sia un frazionamento del territorio in Comparti edilizi omogenei, in termini di età di costruzione e di tecnologie realizzative e strutturali.

Per il tracciamento dei perimetri dei Comparti si tiene conto delle seguenti caratteristiche territoriali:

- Fasi costruttive dell'edificato e, quindi, tipologie edilizie;
- Confini del territorio urbanizzato del Capoluogo e delle Frazioni (Piano Strutturale del Comune).

## 5. Il rischio sismico a scala territoriale

Il rischio sismico può essere definito come la "probabilità che si verifichi o che venga superato un certo livello di danno o di perdita in termini economico-sociali, in un prefissato intervallo di tempo ed in una data area, a causa di un evento sismico" (Presidenza del Consiglio dei Ministri, Conferenza delle Regioni e delle Province autonome - Dipartimento della Protezione Civile).

Tale concetto non richiama solo la capacità di calcolare la probabilità che un evento pericoloso accada, ma anche quella di valutare il danno provocato. Rischio e pericolo sono elementi ben distinti: il pericolo è rappresentato dagli eventi calamitosi che possono colpire una certa area (causa), mentre il rischio è determinato dalle loro possibili conseguenze (effetto).

Al rischio sismico concorrono essenzialmente tre fattori: la vulnerabilità, l'esposizione e la pericolosità sismica.

### 5.1 La pericolosità sismica

Per conoscere la pericolosità sismica occorre stimare quantitativamente lo scuotimento del terreno provocato da un evento sismico, in una data area. Essa può essere analizzata mediante metodi deterministici, in relazione ad uno specifico terremoto di riferimento, o probabilistici, i quali mettono in conto le incertezze connesse all'entità, alla localizzazione e al tempo di ritorno del sisma.

Con uno studio sufficientemente approfondito di un certo sito è possibile pervenire a due tipi di pericolosità sismica:

- La pericolosità sismica di base, legata alle caratteristiche sismologiche del luogo (tipo, dimensioni, profondità delle sorgenti sismiche, energia e frequenza dei terremoti) e ottenuta mediante il calcolo, per una data regione e per un dato periodo di tempo, dei valori di alcuni parametri (velocità, accelerazione, intensità, ordinate spettrali) corrispondenti a prefissate probabilità di eccedenza e a condizioni di suolo rigido e senza irregolarità morfologiche. La scala di studio è solitamente regionale; una delle finalità più rilevanti di queste analisi è indubbiamente la classificazione sismica del territorio, la quale consente una corretta programmazione delle attività di prevenzione e pianificazione dell'emergenza.

Questa grandezza viene stimata sulla base dei dati contenuti nelle attuali Norme Tecniche sulle Costruzioni (D.M. 17/01/2019);

- La pericolosità sismica locale, connessa alle caratteristiche litostratigrafiche e morfologiche del sito (effetti locali) e spesso esaminata a scala di dettaglio, a partire dalla pericolosità sismica di base ed in relazione ai caratteri geologici, geomorfologici, geotecnici e geofisici del sito. Con essa si arrivano a definire le amplificazioni locali e le possibilità di accadimento di fenomeni di

instabilità (instabilità di versante, liquefazioni, faglie attive e capaci, cedimenti differenziali etc.).

La pericolosità locale viene valutata attraverso studi di microzonazione sismica.

Le principali grandezze con cui può essere "misurato" un terremoto sono la Magnitudo, l'Intensità Macrosismica, la PGA e gli spettri di risposta. Nell'ottica dell'elaborazione di scenari di rischio e di danno post-sisma, esse devono essere scelte coerentemente con il modello di valutazione della vulnerabilità adottato.

In questo contesto, per disegnare mappe di pericolosità sismica, si ricorre alle istruzioni contenute in una bozza di Allegato Tecnico della Regione Toscana. In particolare:

. Le Classi di Pericolosità sismica di base vengono valutate in relazione all'accelerazione massima attesa ( $a_g$  [g]) su suolo rigido e pianeggiante, per un tempo di ritorno pari a 475 anni (NTC 2018):

<b>Pericolosità sismica di base</b>	<b>Valori di <math>a_g</math> [g]</b>	<b>Classe di pericolosità sismica di base</b>
<i>alta</i>	$a_g > 0.200 g$	4
<i>medio-alta</i>	$0.150 g < a_g \leq 0.200 g$	3
<i>medio-bassa</i>	$0.125 g < a_g \leq 0.150 g$	2
<i>bassa</i>	$a_g \leq 0.125 g$	1

. Le Classi di Pericolosità sismica locale, legate alla litologia e alla morfologia della zona, vengono dedotte dalle carte di microzonazione di primo livello:

<b>Pericolosità sismica di base</b>	<b>Descrizione tipo di suolo</b>	<b>Classe di pericolosità sismica locale</b>
<i>molto elevata</i>	zone instabili (S4)	4
<i>elevata</i>	zone stabili suscettibili di amplificazione con alto contrasto di impedenza sismica e altre tipologie di terreni (S3)	3
<i>media</i>	zone stabili suscettibili di amplificazione (S2)	2
<i>bassa</i>	zone stabili (S1)	1

Dalle informazioni di pericolosità sismica di base e locale si risale alle Classi di pericolosità sismica complessiva (4, "alta"; 3, "medio-alta"; 2, "medio-bassa"; 1, "bassa") secondo quanto suggerito dalla seguente Tabella:

<b>Pericolosità sismica</b>	<b>Valori di <math>ag</math></b>	<b>Classe di pericolosità sismica</b>
<i>alta</i>	$ag > 0.200 g$ eccetto le zone S1; $0.150 g < ag \leq 0.200 g$ con zone S4 o S3; $0.125 g < ag \leq 0.150 g$ con zone S4	4
<i>medio-alta</i>	$ag > 0.200 g$ con zone S1; $0.150 g < ag \leq 0.200 g$ con zone S2; $0.125 g < ag \leq 0.150 g$ con zone S3; $ag \leq 0.125 g$ con zone S4	3
<i>medio-bassa</i>	$0.150 g < ag \leq 0.200 g$ con zone S1; $0.125 g < ag \leq 0.150 g$ con zone S2; $ag \leq 0.125 g$ con zone S3	2
<i>bassa</i>	$0.125 g < ag \leq 0.150 g$ con zone S1; $ag \leq 0.125 g$ con zone S1 o S2	1

## 5.2 L'esposizione sismica

L'insieme degli elementi (o beni) esposti coincide con tutto ciò che può essere negativamente affetto da un evento sismico; su di esso viene svolta l'analisi di rischio sismico. Il patrimonio esposto può essere identificato attraverso diverse categorie o sistemi, quali popolazione, attività economiche, servizi pubblici, beni culturali, etc.

Una particolare attenzione deve essere prestata alla classe d'uso dei fabbricati; una certa destinazione d'uso comporta, infatti, particolari distribuzioni degli ambienti e diversi livelli di occupazione.

Per quanto attiene al tracciamento di mappe di esposizione sismica, la procedura contemplata nella bozza di Allegato Tecnico della Regione Toscana citata in precedenza prevede che per ogni Sezione Censuaria ISTAT si determini un Indice di esposizione, *Ies* (O.P.C.M. del 12/06/1998), e, in funzione di questo, si scelga la classe di esposizione più appropriata.

$$Ies = Npop \cdot \frac{2}{3} + Ned \cdot \frac{1}{3}, \text{ con:}$$

*Npop*: popolazione totale residente per Sezione Censuaria (P1);

*Ned.tot*: numero totale di edifici per Sezione Censuaria (E1).

L'indice *Ies* medio in Toscana è circa pari a 150.

<b>Esposizione sismica</b>	<b>Valori di <math>Ies</math></b>	<b>Classe di esposizione sismica</b>
<i>alta</i>	$Ies \geq 250$	4
<i>medio-alta</i>	$150 \leq Ies < 250$	3
<i>medio-bassa</i>	$50 \leq Ies < 150$	2
<i>bassa</i>	$Ies < 50$	1

Qualora si voglia prendere in considerazione anche la densità abitativa e di popolazione, è possibile modificare l'Indice *Ies*, dividendolo per la superficie della Sezione di Censimento (*Sup*), espressa in *ettari*:

$$\overline{Ies} = \left( Npop \cdot \frac{2}{3} + Ned \cdot \frac{1}{3} \right) / Sup.$$

In tal caso, cambiano i range di  $\overline{Ies}$  tabellati (l'Indice  $\overline{Ies}$  medio in Toscana è circa pari a 24):

<b>Esposizione sismica</b>	<b>Valori di <math>\overline{Ies}</math></b>	<b>Classe di esposizione sismica</b>
<i>alta</i>	$Ies \geq 56$	4
<i>medio-alta</i>	$24 \leq Ies < 56$	3
<i>medio-bassa</i>	$10 \leq Ies < 24$	2
<i>bassa</i>	$Ies < 10$	1

Tuttavia, visto che in questo contesto non si lavora a scala di Sezione Censuaria, il procedimento descritto non è direttamente applicabile. Per quantificare, in maniera semplificata e speditiva, l'esposizione sismica a livello di aree omogenee sub-comunali, occorre conoscere la superficie, il numero di edifici ed il numero di abitanti di ciascun comparto residenziale. In questo caso specifico si sceglie di utilizzare i dati ISTAT e di riadattare la metodologia appena illustrata secondo quanto segue:

- Il numero di edifici viene contato sul software Q-GIS;
- Il numero di abitanti delle Sezioni Censuarie viene ripartito proporzionalmente al volume dell'edificato racchiuso in esse; si misurano i volumi del costruito situati nelle aree di intersezione tra le Sezioni ISTAT e il comparto esaminato, si stimano i rispettivi residenti e si procede con una somma di questi ultimi.

### 5.3 La vulnerabilità sismica

La vulnerabilità sismica di un edificio coincide con la sua suscettibilità a subire danni conseguentemente ad un evento sismico di assegnate caratteristiche.

Dagli anni '70 sono state messe a punto diverse metodologie per la stima della vulnerabilità:

- Metodi meccanici (Freeman, HAZUS, Calvi, FAMIVE, etc.);
- Metodi empirici (DPM sperimentali, etc.);
- Metodi basati sul giudizio degli esperti (ATC13, Schede GNDT, etc.).

Per valutare la vulnerabilità sismica di ciascun edificio si impiega il Metodo Macrosismico (ibrido), nella sua versione più recente, elaborata da A. Bernardini, S. Giovinazzi e S. Lagomarsino (2007).

Esso appare il più appropriato in quanto consente sia di lavorare in maniera speditiva e a scala territoriale sia di sfruttare tutti i dati CARTIS archiviati per i singoli fabbricati.

Prima di poterlo mettere in pratica, si rende necessaria una suddivisione del patrimonio edilizio nelle Classi tipologiche contemplate nella scala di Intensità Macrosismica EMS98 (*European Macroseismic Scale 1998*):

- M1: *rubble stone/fieldstone*. Costruzioni in muratura tradizionale con pietre naturali disposte in maniera irregolare e malta spesso di bassa qualità. I solai, tipicamente in legno, non sono caratterizzati da significativa rigidità nel piano orizzontale;
- M2: *adobe/earth brick*. Questa tipologia di edifici, realizzata secondo diverse possibili metodologie costruttive, si sviluppa in luoghi dove si dispone di elevate quantità di argilla; la risposta agli eventi sismici può variare anche molto da un manufatto all'altro;

- M3: *simple stone*. Edifici semplici con pietre lavorate o sbozzate spesso disposte secondo tecniche funzionali ad un incremento della resistenza della struttura;
- M5: *unreinforced brick/concrete blocks*. Questa categoria è molto comune e comprende edifici con solai generalmente in legno o comunque flessibili. La loro vulnerabilità è influenzata dal numero, dalle dimensioni e dalla posizione delle aperture;
- M6: *unreinforced brick with RC floors*. Rientrano in questa classe tutte le costruzioni con pareti in mattoni non rinforzate e con solai in calcestruzzo armato; la resistenza ai carichi laterali è elevata. Quando le connessioni tra pareti ortogonali e tra pareti e solai rigidi sono buone si verifica un funzionamento scatolare;
- M7: *reinforced brick/confined masonry*. Nella muratura rinforzata le barre di acciaio sono inserite nei fori dei mattoni o lungo i giunti tra i blocchi (la muratura può essere rinforzata in direzione sia orizzontale che verticale); si ottengono così pareti molto resistenti e duttili.

La tecnica della muratura confinata prevede, invece, pannelli murari rigidi delimitati su tutti e quattro i lati da travi e pilastri in calcestruzzo armato; con essa si possono raggiungere risultati simili alla muratura rinforzata.

- RC1: Strutture a telaio in calcestruzzo armato con basso livello di progettazione antisismica;
- RC2: Strutture a telaio in calcestruzzo armato con medio livello di progettazione antisismica;
- RC3: Strutture a telaio in calcestruzzo armato con alto livello di progettazione antisismica;
- RC4: Strutture a setti in calcestruzzo armato con basso livello di progettazione antisismica;
- RC5: Strutture a setti in calcestruzzo armato con medio livello di progettazione antisismica;
- RC6: Strutture a setti in calcestruzzo armato con alto livello di progettazione antisismica.

Si omettono i fabbricati in acciaio e in legno in quanto essi costituiscono una percentuale trascurabile del costruito.

Una volta stabilita una corrispondenza (paragrafo 0) tra le tipologie edilizie CARTIS (note) e le classi EMS98, si può associare ad ogni edificio un indice di vulnerabilità di partenza,  $I_{v,o}$ .

Classe EMS_98	$I_{v,o}$
M1	0.853
M2	0.820
M3	0.720
M4	0.596
M5	0.720
M6	0.596
M7	0.431
RC1	0.624
RC2	0.464

Classe EMS_98	$I_{v,0}$
RC3	0.309
RC4	0.524
RC5	0.364
RC6	0.214

L'indice di vulnerabilità finale  $I_v$  (variabile tra 0 e 1) è dato dalla somma algebrica di  $I_{v,0}$  e di modificatori ( $\Delta I_{v,m}$ ) rappresentativi dei principali parametri che influenzano il comportamento sismico delle strutture. I  $\Delta I_{v,m}$ , differenziati per i manufatti in muratura e per quelli in calcestruzzo armato, sono elencati di seguito.

Masonry			Reinforced Concrete			
			ERD	Without	Moderate	High
State of preserv.	Good	-0.04	Good	-	-	-
	Bad	+0.04	Bad	+0.04	+0.02	0
N. of floors	1÷2	-0.08	1÷3	-0.02	-0.02	-0.02
	3÷5	0	4÷7	0	0	0
	≥6	+0.08	≥8	+0.04	+0.04	+0.04
Structural system	Wall thickness	-0.04÷+0.04				
	Wall distance					
	Wall connections					
Plan Irregularity	Geometry	+0.04	Geometry	+0.04	+0.02	0
	Mass distrib.		Mass	+0.02	+0.01	0
Vertical Irregularity	Geometry	+0.04	Geometry	+0.04	+0.02	0
	Mass distrib.		Mass			
Superimposed floors		+0.04				
Roof	Weight, thrust, connections	+0.04				
Retrofitting intervention		-0.08÷+0.08				
Aseismic devices		-0.04				
Aggregate building position	Middle	-0.04	Insuff. aseismic joints	+0.04	0	0
	Corner	+0.04				
	Header	+0.06				
Aggregate building elevation	Staggered floors	+0.04				
	Buildings with different height	-0.04÷+0.04				
Foundation	Different level foundations	+0.04	Beams	-0.04	0	0
			Connected	0	0	0
			Isolated	+0.04	0	0
			Short col.	+0.02	+0.01	0
			Bow wind.	+0.04	+0.02	0

Alcuni di tali modificatori non sono conosciuti o conoscibili a priori; si completa l'analisi di vulnerabilità con uno studio approfondito dell'evoluzione della normativa vigente all'epoca di costruzione dei diversi fabbricati e con alcune indicazioni dei tecnici esperti del luogo,



(percentuali espresse per ogni attributo incognito, in funzione della tipologia costruttiva e dell'epoca di realizzazione, a livello dei singoli comparti).

Infine, si stima il valore medio di tutti gli Indici di Vulnerabilità  $I_v$  degli edifici racchiusi in uno stesso Comparto e, a seconda del range in cui esso ricade, si ipotizza, per l'area sub-comunale omogenea, una Classe di Vulnerabilità:

<b>Vulnerabilità sismica</b>	<b>Valori di <math>I_{v,medio}</math></b>	<b>Classe di vulnerabilità sismica</b>
<i>alta</i>	$I_v, medio \geq 0.80$	4
<i>medio-alta</i>	$0.60 \leq I_v, medio < 0.80$	3
<i>medio-bassa</i>	$0.40 \leq I_v, medio < 0.60$	2
<i>bassa</i>	$I_v, medio < 0.40$	1

#### 5.4 Il rischio sismico

Date le classi di Pericolosità (P), di Vulnerabilità (V) e di Esposizione (E), si valuta agevolmente l'Indicatore di Rischio Sismico:  $I_r = P + V + E$ . Nella seguente Tabella si esplicita il passaggio da Indicatore a Classe di Rischio Sismico:

<b>Rischio Sismico</b>	<b>Valori di <math>I_r</math></b>	<b>Classe di Rischio Sismico</b>
<i>Alto</i>	$I_r \geq 10$	4
<i>medio-alto</i>	$8 \leq I_r < 10$	3
<i>medio-basso</i>	$6 \leq I_r < 8$	2
<i>basso</i>	$I_r < 6$	1

Nell'ambito di questa attività l'Indicatore di rischio viene determinato per ciascun fabbricato, assumendo la pericolosità dell'area su cui insiste, l'esposizione del Comparto a cui esso appartiene e la Classe di vulnerabilità definita a partire dal singolo Indice di vulnerabilità.






Attraverso un'operazione di media pesata sul volume degli edifici, si può poi risalire all' $I_r$  medio di una tipologia edilizia all'interno di un Comparto o dell'intero Comune e di tutti i Comparti.

## 6. Il danno post-sisma

La succitata scala di intensità macrosismica EMS\_98 contempla cinque differenti gradi di danno,  $D_{Gk}$  ( $k=1\div 5$ ), a cui può essere soggetto un edificio colpito da un terremoto (Figura 1):

- D1: Assenza di danno strutturale, presenza di danno non strutturale molto contenuto;
- D2: Presenza di danno strutturale molto contenuto e di danno non strutturale moderato;
- D3: Presenza di danno strutturale moderato e di danno non strutturale rilevante;
- D4: Presenza di danno strutturale rilevante e di danno non strutturale molto rilevante;
- D5: Presenza di danno strutturale molto rilevante / Collasso.

Per un edificio rimasto intatto in ogni sua parte, in seguito ad un evento sismico, è possibile assumere un livello di danno D0.

Classification of damage to masonry buildings	
	<b>Grade 1: Negligible to slight damage</b> (no structural damage, slight non-structural damage) Hair-line cracks in very few walls. Fall of small pieces of plaster only. Fall of loose stones from upper parts of buildings in very few cases.
	<b>Grade 2: Moderate damage</b> (slight structural damage, moderate non-structural damage) Cracks in many walls. Fall of fairly large pieces of plaster. Partial collapse of chimneys.
	<b>Grade 3: Substantial to heavy damage</b> (moderate structural damage, heavy non-structural damage) Large and extensive cracks in most walls. Roof tiles detach. Chimneys fracture at the roof line; failure of individual non-structural elements (partitions, gable walls).
	<b>Grade 4: Very heavy damage</b> (heavy structural damage, very heavy non-structural damage) Serious failure of walls; partial structural failure of roofs and floors.
	<b>Grade 5: Destruction</b> (very heavy structural damage) Total or near total collapse.

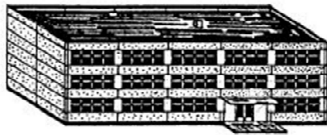
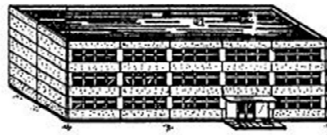



Classification of damage to buildings of reinforced concrete	
	<p><b>Grade 1: Negligible to slight damage</b> (no structural damage, slight non-structural damage) Fine cracks in plaster over frame members or in walls at the base. Fine cracks in partitions and infills.</p>
	<p><b>Grade 2: Moderate damage</b> (slight structural damage, moderate non-structural damage) Cracks in columns and beams of frames and in structural walls. Cracks in partition and infill walls; fall of brittle cladding and plaster. Falling mortar from the joints of wall panels.</p>
	<p><b>Grade 3: Substantial to heavy damage</b> (moderate structural damage, heavy non-structural damage) Cracks in columns and beam column joints of frames at the base and at joints of coupled walls. Spalling of concrete cover, buckling of reinforced rods. Large cracks in partition and infill walls, failure of individual infill panels.</p>
	<p><b>Grade 4: Very heavy damage</b> (heavy structural damage, very heavy non-structural damage) Large cracks in structural elements with compression failure of concrete and fracture of rebars; bond failure of beam reinforced bars; tilting of columns. Collapse of a few columns or of a single upper floor.</p>
	<p><b>Grade 5: Destruction</b> (very heavy structural damage) Collapse of ground floor or parts (e. g. wings) of buildings.</p>

Figura 1: Brevi descrizioni dei gradi di danno EMS\_98 per gli edifici in muratura e per quelli in calcestruzzo armato.

In generale, all'interno di un gruppo di edifici non ugualmente vulnerabili, sottoposto alla medesima azione sismica, si possono avere diverse percentuali di fabbricati con danno D0, D1, D2, D3, D4 e D5.

Un parametro sintetico direttamente correlato a tali percentuali è il danno medio:

$$\mu_D = \sum_{k=0}^5 p_k \cdot k, \quad 0 < \mu_D < 5,$$

con:

pk: probabilità di occorrenza di un grado di danno k nell'insieme di edifici in analisi.

In letteratura si possono reperire alcune formulazioni che permettono di calcolare  $\mu_D$  a partire dai parametri di scuotimento sismico e dalla vulnerabilità sismica.

A tale proposito si porta l'esempio dell'equazione proposta da A. Bernardini, S. Giovinazzi e S. Lagomarsino (2007):

$$\mu_D = \left( 2.5 + 3 \tanh \left( \frac{I + 6.25 \cdot I_v - 12.7}{3} \right) \right) \cdot f(I_v, I), \text{ con } f(I_v, I) = \begin{cases} e^{\frac{I_v}{2} \cdot (I-7)} & \text{per } I \leq 7 \\ 1 & \text{per } I > 7 \end{cases} .$$

In questo caso i termini di input risultano essere l'Indice di vulnerabilità  $I_v$  medio della classe di edifici, calcolato secondo il Metodo elaborato dai suddetti autori, e l'Intensità macrosismica in scala EMS\_98,  $I$ .

Una volta noto  $\mu_D$ , ipotizzando una certa distribuzione di probabilità di danno attorno a tale valore medio (ad esempio la distribuzione discreta beta), si può, infine, risalire alle percentuali corrispondenti a  $P(D0)$ ,  $P(D1)$ ,  $P(D2)$ ,  $P(D3)$ ,  $P(D4)$  e  $P(D5)$ .

## 7. Elaborazioni grafiche e statistiche

La presente relazione è accompagnata da una serie di Tavole in formato A3 in cui compaiono mappe, diagrammi statistici a torta, istogrammi e fotografie. I contenuti di queste ultime vengono brevemente descritti nei paragrafi che seguono.

Si precisa che la scala in cui vengono rappresentate le varie mappe non è fissa ma viene scelta in modo tale da conseguire una buona restituzione grafica per le differenti realtà territoriali (Comune e Comparti edilizi).

### 7.1 Inquadramento territoriale (TAV.1, TAV.2)

Nelle prime due Tavole si mostrano rispettivamente la collocazione del Comune in analisi all'interno della provincia di Firenze (TAV. 1) ed il territorio comunale nel suo complesso (TAV. 2).

### 7.2 Analisi dei dati ISTAT (TAV.3)

A fianco di una mappa del Comune si trascrivono la Città metropolitana e la Regione di appartenenza, la sua Popolazione, la sua Superficie (in  $km^2$ ), il suo codice ISTAT ed il numero totale di Sezioni Censuarie in cui è suddiviso. Tali informazioni sono seguite da tabelle, grafici a torta ed istogrammi inerenti:

- All'utilizzazione e alla destinazione d'uso degli edifici;
- Al materiale dei manufatti (muratura portante, calcestruzzo armato o altro);
- Al periodo di costruzione dei fabbricati (antecedente al 1919, compreso tra il 1919 e il 1945, compreso tra il 1946 e il 1961, compreso tra il 1962 e il 1970, compreso tra il 1971 e il 1980, compreso tra il 1981 e il 1990, compreso tra il 1991 e il 2000, compreso tra il 2001 e il 2005 e successivo al 2005).

Tutti i dati numerici (numero di edifici) sono desunti dal database ISTAT.

### 7.3 Individuazione dei comparti edilizi (TAV.4)

Nella Tavola n°4 si illustra una mappa del Comune in cui tutti i comparti edilizi omogenei sono campiti con colori differenti. Tali aree sono scelte e numerate in maniera convenzionale:

- Il Centro Storico del Capoluogo coincide con il comparto n°1;
- La numerazione prosegue progressivamente per le zone di espansione più recenti;
- Per ogni Frazione del Comune si identificano uno o più comparti a seconda dell'omogeneità e della stratificazione temporale del tessuto edilizio;
- Le case sparse non ricomprese nei confini del territorio urbanizzato del Piano Strutturale del Comune (2018) non vengono inserite nel

database CARTIS; per le aree rurali in cui esse ricadono non si elaborano statistiche né si tracciano mappe di rischio sismico o scenari di danno.

#### **7.4 Analisi del Comune e dei comparti edilizi (da TAV.5 a TAV.28)**

Nella Tavola 5, a lato di una mappa comunale, si quantificano sia i comparti sia le tipologie costruttive effettivamente rilevate (con una percentuale di incidenza a livello comunale, in termini volumetrici, superiore all'1%) e si riportano i seguenti dati generali derivabili dalla banca dati CARTIS:

- Numero e volume totale di tutte le unità edilizie;
- Numero e volume totale delle unità residenziali, industriali o con diversa destinazione d'uso;
- Numero e volume totale delle strutture in muratura e in calcestruzzo armato;
- Numero e volume totale delle unità edilizie realizzate prima del 1919, tra il 1919 e il 1945, tra il 1946 e il 1961, tra il 1962 e il 1975, tra il 1976 e il 1986, tra il 1987 e il 1996 e tra il 1997 e il 2008. Ai fini della periodizzazione dei sedimi edilizi, per il Comune di Calenzano, si dispone delle fonti documentarie elencate nel paragrafo **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** e di un ulteriore shapefile (ottenuto dal Comune stesso, nel 2017) in cui vengono messi in evidenza i fabbricati presenti nel 1830, nel 1883, nel 1934, nel 1954, nel 1963, nel 1978, nel 1988, nel 1996, nel 2002, nel 2004, nel 2005, nel 2006, nel 2007, nel 2009, nel 2010 e nel 2013.

Si precisa che le piccole discrepanze tra i dati ISTAT (TAV. 3) e i dati CARTIS (TAV. 5) sono essenzialmente legate alla non esatta corrispondenza tra sedimi edilizi (unità minime di raccolta dei dati CARTIS) ed edifici ISTAT (unità di rilevazione dell'ISTAT).

Nelle Tavole successive si concentra l'attenzione sui singoli comparti edilizi e, per ognuno di essi, si esplicita il numero di abitanti e si presentano le informazioni elencate sopra.

#### **7.5 Tipologie edilizie (da TAV.29 a TAV.34)**

Tale insieme di Tavole è dedicato alle varie Tipologie Edilizie CARTIS rilevate in tutto il territorio Comunale, con una percentuale di incidenza, in termini volumetrici, superiore al 5%:

- TM1, edifici in muratura costruiti prima del 1919 con 1 o 2 piani;
- TM2, edifici in muratura costruiti prima del 1919 con 3, 4 o 5 piani;
- TM3, edifici in muratura costruiti tra il 1919 e il 1945 con 1 o 2 piani;
- TM5, edifici in muratura costruiti tra il 1946 e il 1961 con 1 o 2 piani;

- TM6, edifici in muratura costruiti tra il 1946 e il 1961 con 3, 4 o 5 piani;
- TM7, edifici in muratura costruiti tra il 1962 e il 1975 con 1 o 2 piani;
- TM8, edifici in muratura costruiti tra il 1962 e il 1975 con 3, 4 o 5 piani;
- TCA10, edifici in calcestruzzo armato costruiti tra il 1962 e il 1975 con 1, 2 o 3 piani;
- TCA11, edifici in calcestruzzo armato costruiti tra il 1962 e il 1975 con 4, 5, 6 o 7 piani;
- TCA12, edifici in calcestruzzo armato costruiti tra il 1976 e il 1986 con 1, 2 o 3 piani;
- TCA13, edifici in calcestruzzo armato costruiti tra il 1976 e il 1986 con 4, 5, 6 o 7 piani;
- TCA14, edifici in calcestruzzo armato costruiti tra il 1987 e il 1996 con 1, 2 o 3 piani;
- TCA15, edifici in calcestruzzo armato costruiti tra il 1987 e il 1996 con 4, 5, 6 o 7 piani;
- TCA16, edifici in calcestruzzo armato costruiti tra il 1997 e il 2008 con 1, 2 o 3 piani;
- TCA17, edifici in calcestruzzo armato costruiti tra il 1997 e il 2008 con 4, 5, 6 o 7 piani;
- TCA18, edifici in calcestruzzo armato costruiti dopo il 2008 con 1, 2 o 3 piani;
- TCA19, edifici in calcestruzzo armato costruiti dopo il 2008 con 4, 5, 6 o 7 piani.

Ogni Tipologia Edilizia è descritta mediante una fotografia ed un elenco di caratteristiche essenziali (posizione isolata o in aggregato, tessitura muraria, tipo di copertura, per i fabbricati in muratura; posizione isolata o in aggregato, struttura a telaio o a setti, tipo di copertura e di solai, livello di progettazione antisismica, per i manufatti in calcestruzzo armato). Inoltre, per ciascuna di esse, si stabilisce una corrispondenza con una o più classi EMS\_98, si rende nota l'incidenza a livello comunale e si chiarisce la distribuzione percentuale nei diversi comparti.

## 7.6 Vulnerabilità sismica a scala territoriale (da TAV.35 a TAV.59)

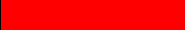



Una condizione necessaria per l'applicazione del Metodo Macrosismico, di cui al paragrafo **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, è rappresentata dall'associazione di una classe tipologica EMS98 ad ogni edificio del Comune. Essa viene effettuata in maniera automatica, a partire dalle tipologie edilizie CARTIS:

- Per gli edifici in muratura si mettono in conto il periodo di costruzione, il materiale e la tessitura muraria;

- Per quelli in calcestruzzo armato si prendono in esame sia il periodo di costruzione sia il tipo di struttura (a setti o a telaio).

Si osserva che, per aver chiaro il quadro normativo vigente all'epoca di realizzazione di un edificio, non è sufficiente conoscere l'arco temporale in cui è stato eretto ma deve essere tenuta in considerazione anche la data di prima classificazione sismica.

Seguendo la suddetta procedura si perviene ad una mappa di Vulnerabilità Sismica a scala di area omogenea sub-comunale. I comparti sono campiti con colori diversi, a seconda della classe di Vulnerabilità:

<b>Classe di vulnerabilità sismica</b>	<b>Colore</b>	
4 alta	Rosso	
3 medio-alta	Arancione	
2 medio-bassa	Giallo	
1 bassa	Verde	

Le mappe di vulnerabilità sono affiancate da grafici e tabelle in cui si evidenziano:

- l'incidenza totale (a livello sia di numero di edifici sia di volume edilizio) e percentuale (in termini volumetrici) delle differenti tipologie edilizie CARTIS;
- il valore medio, la deviazione standard (stdev) ed il coefficiente di variazione (COV) degli Indici di vulnerabilità, per ognuna di esse;
- i box plot degli  $I_v$  per tutte le tipologie edilizie CARTIS;
- la distribuzione degli Indici  $I_v$  nei range  $I_v = 0.0 \div 0.1$ ;  $I_v = 0.1 \div 0.2$ ;  $I_v = 0.2 \div 0.3$ ;  $I_v = 0.3 \div 0.4$ ;  $I_v = 0.4 \div 0.5$ ;  $I_v = 0.5 \div 0.6$ ;  $I_v = 0.6 \div 0.7$ ;  $I_v = 0.7 \div 0.8$ ;  $I_v = 0.8 \div 0.9$ ,  $I_v = 0.9 \div 1.0$  e nei macro-intervalli corrispondenti alle quattro classi di cui sopra,  $I_v = 0.0 \div 0.4$  (Cl.1);  $I_v = 0.4 \div 0.6$  (Cl.2);  $I_v = 0.6 \div 0.8$  (Cl.3);  $I_v = 0.8 \div 1.0$  (Cl.4).

Tali dati vengono forniti a livello sia comunale (TAV.37) che di singolo comparto (da TAV.38 a TAV.58).

Per ciascun comparto e per l'intero Comune, si illustra, inoltre, la variabilità complessiva dell'indicatore  $I_v$ , attraverso un unico box plot, mettendo in risalto i valori:  $I_{v,medio}$  (media degli  $I_v$  ponderata sul volume, identificata da un piccolo cerchio rosso)  $I_{v,1^{\circ}percentile}$ ,  $I_{v,mediana}$  (linea viola) e  $I_{v,3^{\circ}percentile}$ .





Infine, nella Tavola 59, si riporta un quadro riassuntivo in cui si rendono note:

- la ripartizione dell'edificato nelle diverse aree omogenee sub-comunali (in termini di numero di edifici, di volumi edilizi totali e di percentuali volumetriche);
- la vulnerabilità ( $I_{v,medio}$ , stdev, COV, box plot degli  $I_v$ ) di queste ultime.







### 7.7 Pericolosità sismica (da TAV.60 a TAV.65)

Nelle mappe di pericolosità sismica di base (Tav.60 e Tav.61) si colorano le diverse aree del Comune in funzione dell'accelerazione massima attesa su suolo rigido e pianeggiante ( $a_g$ ), espressa in [g]:





<b>Classe di pericolosità sismica di base</b>	<b>Colore</b>	
4 alta	Rosso	
3 medio-alta	Arancione	
2 medio-bassa	Giallo	
1 bassa	Verde	

Nelle mappe di pericolosità sismica locale (Tav.62 e Tav.63) si campiscono le medesime superfici, a seconda delle peculiarità dei depositi di terreno:

<b>Classe di pericolosità sismica locale</b>	<b>Colore</b>	
4 molto elevata	Rosso	
3 elevata	Arancione	
2 media	Giallo	
1 bassa	Verde	





Dalla sovrapposizione di tali due mappe si possono, infine, estrapolare le mappe di pericolosità globale (Tav.64 e Tav.65).

Le classi di pericolosità globale sono ancora una volta identificate da colori diversi:

<b>Classe di pericolosità sismica globale</b>	<b>Colore</b>	
4 molto elevata	Rosso	
3 elevata	Arancione	
2 media	Giallo	
1 bassa	Verde	

### 7.8 Esposizione sismica (TAV.66 e TAV.67)





Nelle mappe di esposizione sismica i colori dei comparti rispecchiano quanto suggerito nella seguente tabella:

<b>Classe di esposizione sismica</b>	<b>Colore</b>	
4 alta	Rosso	
3 medio-alta	Arancione	
2 medio-bassa	Giallo	
1 bassa	Verde	

Nella Tav. 66 si riporta, inoltre, una tabella in cui si rendono noti il numero di abitanti, il numero di edifici, la superficie, la densità abitativa e la classe di esposizione di ogni area omogenea sub-comunale.

## 7.9 Rischio sismico (da TAV.68 a TAV.92)

Per quanto concerne la colorazione dei comparti nelle mappe di rischio sismico, si mantengono gli standard adottati nelle precedenti Tavole:

<b>Classe di Rischio Sismico</b>	<b>Colore</b>	
4 alto	Rosso	
3 medio-alto	Arancione	
2 medio-basso	Giallo	
1 basso	Verde	

Le mappe di rischio sismico sono affiancate da grafici e tabelle in cui si evidenziano:

- l'incidenza totale (a livello sia di numero di edifici sia di volume edilizio) e percentuale (in termini volumetrici) delle differenti tipologie edilizie CARTIS;
- il valore medio, la deviazione standard (stdev) ed il coefficiente di variazione (COV) degli Indicatori di rischio  $I_r$ , per ognuna di esse;
- i box plot degli  $I_r$  per tutte le tipologie edilizie CARTIS;
- la distribuzione degli  $I_r$  nei macro-intervalli corrispondenti alle quattro classi di cui sopra,  $I_r < 6$  (Cl.1);  $I_r = 6 \div 8$  (Cl.2);  $I_r = 8 \div 10$  (Cl.3);  $I_r \geq 10$  (Cl.4).

Tali dati vengono forniti a livello sia comunale (TAV.70) che di singolo comparto (da TAV.71 a TAV.91).

Per ciascun comparto e per l'intero Comune, si illustra, inoltre, la variabilità complessiva dell'indicatore  $I_r$ , attraverso un unico box plot, mettendo in risalto i valori:  $I_{r,medio}$  (media degli  $I_r$  ponderata sul volume, identificata da un piccolo cerchio rosso)  $I_{r,1^{\circ}percentile}$ ,  $I_{r,mediana}$  (linea viola) e  $I_{r,3^{\circ}percentile}$ .

Infine, nella Tavola 92, si riporta un quadro riassuntivo in cui si rendono note:

- la ripartizione dell'edificato nelle diverse aree omogenee sub-comunali (in termini di numero di edifici, di volumi edilizi totali e di percentuali volumetriche);
- il rischio sismico ( $I_{r,medio}$ , stdev, COV, box plot degli  $I_r$ ) di queste ultime.

## 7.10 Scenari di danno (da TAV.93 a TAV.142)

Nelle ultime 50 Tavole vengono presentati due differenti scenari di danno:

- Il primo è ottenuto per un'intensità macrosismica EMS\_98 pari a VI, coincidente con il grado massimo registrato nel corso degli anni nel Comune di Calenzano. Questa informazione viene desunta dal Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (Database Macrosismico Italiano aggiornato al 2015 - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) ed è riferita al Terremoto del Mugello del 1919.

Calenzano (FI) , Coordinate (Lat.;Long.): 43.859; 11.164			
Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	Mw
NF	1874 10 07	Imolese	4.96
4	1887 11 14 05 48 05.00	Fiorentino	4.47
6	1895 05 18 19 55 12.00	Fiorentino	5.5
5	1899 06 26 23 17 22.00	Valle del Bisenzio	5.02
2-3	1899 07 08 22 56 55.00	Bagno di Romagna	4.02
3	1907 12 20 10 29 15.00	Chianti	4.44
<b>6</b>	<b>1919 06 29 15 06 13.00</b>	<b>Mugello</b>	<b>6.38</b>
NF	1950 09 05 04 08	Gran Sasso	5.69
NF	1951 09 01	Monti Sibillini	5.25
NF	1952 12 02 06 13 22.00	Appennino forlivese	4.42
4	1959 03 24 10 24	Fiorentino	4.85
3-4	1973 11 07 17 06 17.00	Pistoiese	4.06
NF	1995 10 10 06 54 21.72	Lunigiana	4.82

- Il secondo è, invece, determinato a partire da un'intensità macrosismica EMS\_98 pari a VIII, derivante da un'analisi di disaggregazione della pericolosità sismica di base, in magnitudo e distanza epicentrale (M-R).

Studi di questo tipo forniscono i cosiddetti "terremoti di scenario", ovvero gli eventi sismici di magnitudo M, a distanza R dal sito in esame, che concorrono maggiormente alla pericolosità di quell'area. Tali dati sono disponibili per tutti i nodi della griglia adottata per l'elaborazione di mappe di pericolosità sismica del territorio nazionale. In corrispondenza dei quattro nodi della maglia in cui ricade il centro abitato di Calenzano, per un periodo di ritorno di 475 anni, si rileva che il contributo percentuale più consistente è imputabile a terremoti con M=4.5-5 e R=0-10 km.

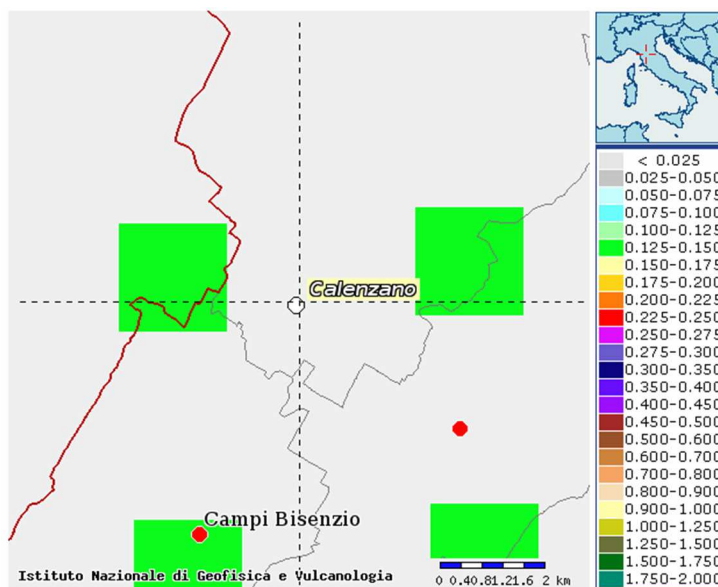


Figura 2: I quattro nodi della maglia in cui ricade il centro abitato di Calenzano

Nel grafico che segue vengono rappresentate le relazioni di attenuazione proposte da Coburn et al. (1988) che consentono di ricavare il valore atteso dell'intensità macrosismica (scala EMS\_98) una volta fissate la magnitudo M e la distanza epicentrale R. Per la coppia di valori (M=5;R=1 km) è possibile prevedere un'intensità macrosismica EMS\_98 pari a VIII.

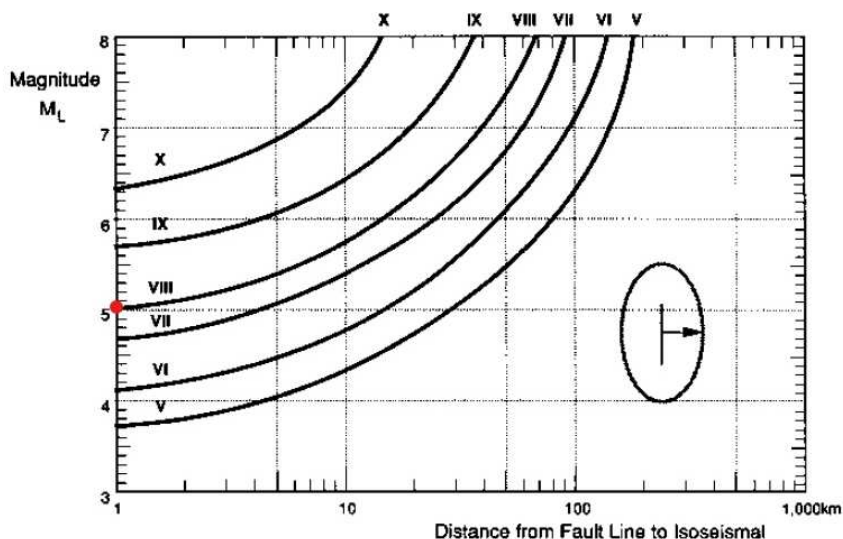


Figura 3: Relazioni di attenuazione tra intensità macrosismica EMS\_98 e la coppia di parametri M-R (Coburn et al., 1988).

Nelle Tavole 93 e 94 si osservano le mappe relative al primo scenario di danno. I Comparti sub-comunali vengono campiti in base al loro danno medio  $\mu_d$ , calcolato come media pesata dei  $\mu_d$  delle diverse tipologie edilizie presenti in essi, con una percentuale di incidenza (in termini volumetrici) almeno pari all'1%. Si specifica che la grandezza rispetto alla quale viene ponderata la media è il volume edilizio.

Range di $\mu_d$	Colore
0-0.5	Verde scuro
0.5-1.5	Verde chiaro
1.5-2.5	Giallo chiaro
2.5-3.5	Giallo scuro
3.5-4.5	Rosso chiaro
4.5-5.0	Rosso scuro

Nella Tavola 95 sono riportati cinque grafici ed una Tabella nei quali vengono illustrati:

- I volumi delle tipologie edilizie rilevate nell'intero Comune e la loro distribuzione percentuale;
- I danni medi di ogni tipologia e di tutto il Comune, quantificati mediante le formulazioni di cui al Capitolo 6, per  $I_v = I_{v,medio}$  della tipologia e  $I_{EMS_{98}} = VI$  ( $PGA \sim 0.06g$ , secondo la correlazione empirica I-PGA di Margottini et al. (1992))

- Le percentuali di occorrenza dei livelli di danno contemplati nella scala di intensità macrosismica EMS\_98 (D0, D1, D2, D3, D4 e D5), per gli edifici facenti parte di una data tipologia CARTIS e per tutti i fabbricati del Comune.

Dalla Tavola 96 alla Tavola 116, per ciascun comparto, si mostrano le statistiche del danno relative alle sue tipologie edilizie e a tutti i manufatti dell'area omogenea sub-comunale.

In breve, in ogni Tavola appartenente a tale gruppo, si possono reperire le informazioni di cui sopra (distribuzione delle tipologie edilizie, valori del danno medio e percentuali di occorrenza dei gradi di danno EMS\_98) non più a scala di Comune ma a livello di Comparto.

Infine, la Tavola 117 è dedicata ad un riepilogo dei dati di danno descritti in precedenza. In essa si esplicitano i volumi edilizi racchiusi in tutti i Comparti, le corrispondenti percentuali, i danni medi e le probabilità di danno D0, D1, D2, D3, D4 e D5 sia per le 21 aree omogenee che per tutto il Comune.

Nelle 25 Tavole che seguono è possibile reperire i medesimi contenuti, riferiti non più al primo ma al secondo scenario di danno.

## 8. Conclusioni

Il lavoro svolto sul Comune di Calenzano culmina nel tracciamento di mappe di pericolosità, di esposizione, di vulnerabilità, di rischio sismico e nell'elaborazione di scenari di danno, relativi al Capoluogo e alle maggiori Frazioni del Comune, per valori prefissati di intensità macrosismica.

In sintesi:

- La pericolosità sismica globale varia molto all'interno del Comune; in esso si osservano zone riconducibili a tutte e quattro le classi di pericolosità (alta, medio-alta, medio-bassa e bassa). L' area più estesa con pericolosità alta si colloca in prossimità di San Pietro a Casaglia.
- L'esposizione sismica è alta nel Comparto 'La Fogliaia' e media (medio-alta / medio-bassa) o bassa in tutte le altre aree omogenee sub-comunali.
- La vulnerabilità sismica è massima nelle aree di primo insediamento del Comune, quali i nuclei storici del Capoluogo, di 'La Fogliaia', di Settimello, di 'La Chiusa', di Carraia, di Legri e di San Pietro a Casaglia.
- Il rischio sismico appare alto nel comparto di 'La Fogliaia', medio-alto nel comparto 'Capoluogo 1', a Settimello e nella sua area di espansione ovest, Carraia centro, Legri centro, San Pietro a Casaglia, Londolatico e Croci di Calenzano centro, medio-basso a Calenzano, a Pratello Travalle, Sommaia, La Chiusa, Collinuzza e nelle aree di espansione di Carraia, di Legri, di Croci di Calenzano, e del Capoluogo.
- Gli scenari di danno, nell'ipotesi di intensità macrosismica costante sull'intero territorio comunale, appaiono necessariamente coerenti rispetto a quanto emerso dalle mappe di vulnerabilità. Le tipologie edilizie più fragili, che comprendono un numero significativo di manufatti con indici di vulnerabilità prossimi al valore massimo unitario e che richiedono un attento monitoraggio ed eventuali interventi locali o globali di adeguamento o miglioramento sismico, coincidono con la TM1 (edifici in muratura costruiti prima del 1919 con 1 o 2 piani) e la TM2 (edifici in muratura costruiti prima del 1919 con 3, 4 o 5 piani). Le zone più suscettibili al danno rivelano una prevalenza di queste ultime.