

Committente



Unione dei Comuni Montani del Mugello
Via Palmiro Togliatti, 45 - 50032 Borgo San Lorenzo (FI)

Oggetto

Analisi di vulnerabilità sismica a scala territoriale



RELAZIONE ILLUSTRATIVA



Comune

Palazzuolo sul Senio



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

Progettisti

Direttore tecnico

*Ing. Ph.D.
Andrea Borghini*

*Ing. Ph.D.
Emanuele Del Monte*

*Prof. Ing.
Andrea Vignoli*

Collaboratori

*Ing. Giacomo Pandi
Ing. Viola Nistri*

*Ing. Francesco Nicchi
Ing. Riccardo Rossi*

Data

Marzo 2019

INDICE

1	Introduzione	2
2	Il Comune - Palazzuolo sul Senio -	3
3	Il database ISTAT	3
4	Il database CARTIS	5
5	Il rischio sismico a scala territoriale	8
5.1	La pericolosità sismica	8
5.2	L'esposizione sismica	9
5.3	La vulnerabilità sismica	9
6	Elaborazioni grafiche e statistiche	12
6.1	Inquadramento territoriale (TAV.1, TAV.2)	12
6.2	Analisi dei dati ISTAT (TAV.3)	12
6.3	Individuazione dei comparti edilizi (TAV.4)	13
6.4	Analisi del Comune e dei comparti edilizi (da TAV.5 a TAV.11)	13
6.5	Tipologie edilizie (da TAV.12 a TAV.14)	14
6.6	Vulnerabilità sismica a scala territoriale (da TAV.15 a TAV.21) ..	14
7	Conclusioni	15

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 vulnerabilità sismica.

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 Mappe comunali di vulnerabilità sismica.

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.

Si osserva che la presente attività potrebbe essere significativamente ampliata con studi inerenti all'esposizione e alla pericolosità sismica.

Con una valutazione del numero di edifici e di residenti dei vari comparti e con la definizione della pericolosità sia di base (fornita dalle NTC18) che locale (deducibile da mappe di microzonazione sismica) si potrebbe arrivare a conoscere il rischio sismico di tutto il Comune.

Una mappa completa di rischio sismico assumerebbe una valenza considerevole a livello urbanistico ma anche di protezione civile. Essa consentirebbe un'identificazione immediata delle aree meno sicure e delle classi edilizie più fragili e si dimostrerebbe 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 - Palazzuolo sul Senio -

Palazzuolo sul Senio è un Comune italiano di 1141 abitanti (fonte: ISTAT, 31/12/2017), afferente alla Città Metropolitana di Firenze, situato a nord-est della Regione Toscana e della vallata del Mugello (Unione Montana dei Comuni del Mugello).

Il Comune si estende per 109.11 km^2 (fonte: ISTAT, *La superficie dei comuni, delle province e delle regioni italiane al Censimento 2011*), si colloca sul versante adriatico dell'Appennino tosco-romagnolo, nell'alta valle del fiume Senio, e presenta un paesaggio prevalentemente collinare/montuoso.

Il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Firenze svolge alcuni studi geologici in Mugello, dai quali emerge sia l'esistenza di faglie attive, ubicate soprattutto a nord della valle (faglie di Ronta, di Rupecanina, di Rostolena e della Sieve), sia un elevato fattore di amplificazione stratigrafica, in corrispondenza del perimetro del bacino.

Palazzuolo sul Senio è classificato sismicamente in zona 2 già nel Regio Decreto del 13 marzo 1927.

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.

In particolare:

- 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 Tipologico 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).

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 2008);
- *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);
- *SOPRAEL* (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 delle Unità Territoriali Omogenee Elementari, UTOE (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.

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.

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 EMS_98 (*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 sbazzate 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 6.6) tra le tipologie edilizie CARTIS (note) e le classi EMS_98, 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

Masonry			Reinforced Concrete			
			ERD	Without	Moderate	High
			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:

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

6 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).

6.1 Inquadramento territoriale (TAV.1, TAV.2)

Nelle prime due Tavole si mostrano rispettivamente la collocazione del Comune in analisi rispetto al raggruppamento dei Comuni Montani del Mugello (TAV. 1) ed il territorio comunale nel suo complesso (TAV. 2).

6.2 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.

6.3 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;
- Tutte le case sparse nel territorio comunale vengono ricondotte ad un unico comparto denominato Area Rurale.

Per quest'ultimo, vista l'ampiezza, la varietà del costruito e del tipo di suolo e l'assenza di indagini specifiche, non si è in grado né di elaborare statistiche significative né di tracciare mappe di vulnerabilità sismica.

6.4 Analisi del Comune e dei comparti edilizi (da TAV.5 a TAV.11)

Nella Tavola 5, a lato di una mappa comunale, si quantificano sia i comparti residenziali e industriali sia le tipologie costruttive effettivamente rilevate 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, strategiche, rilevanti 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.

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.

6.5 Tipologie edilizie (da TAV.12 a TAV.14)

Tale insieme di Tavole è dedicato alle varie Tipologie Edilizie CARTIS individuate all'interno del territorio Comunale:

- 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;
- TCA12, edifici in calcestruzzo armato costruiti tra il 1976 e il 1986 con 1, 2 o 3 piani;
- TCA14, edifici in calcestruzzo armato costruiti tra il 1987 e il 1996 con 1, 2 o 3 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.

6.6 Vulnerabilità sismica a scala territoriale (da TAV.15 a TAV.21)

Una condizione necessaria per l'applicazione del Metodo Macrosismico, di cui al paragrafo 5.3, è rappresentata dall'associazione di una classe tipologica EMS_98 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:

Classe di vulnerabilità sismica	Colore
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 (in termini sia di numero di edifici che di volume edilizio) delle differenti tipologie edilizie CARTIS;
- i valori minimi, medi e massimi dell'Indice di vulnerabilità per ognuna di esse.

Tali dati vengono forniti a livello sia comunale (TAV.16) che di singolo comparto (da TAV.17 a TAV.20).

Inoltre, per ciascun comparto, si disegna un istogramma relativo alla distribuzione di I_v e si illustra l'intervallo totale di variabilità di tale indicatore, mettendo in risalto i valori corrispondenti a $I_{v,min}$, $I_{v,max}$ e $I_{v,medio}$. Infine, nella Tavola 21, si riporta un quadro riassuntivo riguardante la ripartizione degli edifici nelle diverse aree omogenee sub-comunali e la vulnerabilità di queste ultime.

7 Conclusioni

Il lavoro svolto sul Comune di Palazzuolo sul Senio culmina nel tracciamento di una mappa di vulnerabilità sismica relativa al Capoluogo e alle maggiori Frazioni del Comune.

In essa emergono le zone più suscettibili al danneggiamento in caso di sisma: la vulnerabilità è massima nelle aree di primo insediamento del Comune, come il nucleo storico di Palazzuolo Sul Senio, e decresce progressivamente nei quartieri più recenti.

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).