



**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile

A.a. 2022/2023

Sessione di Laurea Aprile 2023

Il Database ERIKUS per la gestione del rilevamento danni post sismico

Il caso dell'evento di Dicembre 2018 in provincia di Catania

Relatore:

Prof.ssa Marta Castelli

Candidato:

Valerio Rosa Calamaro

Correlatori:

Dott. Stefano Campus

Dott. Rocco Pispico

INDICE

INDICE DELLE FIGURE	
TABELLE DI DECODIFICA.....	1
INTRODUZIONE.....	5
1. CAPITOLO 1: ASPETTI PRELIMINARI	9
1.1. Normativa Sismica Italiana	9
1.2. Le schede AeDES	13
1.2.1. Aspetti generali	13
1.2.2. Struttura.....	14
1.3. ERIKUS	24
2. CAPITOLO 2: CASO STUDIO.....	27
2.1. Inquadramento geografico	27
2.2. Inquadramento geologico.....	28
2.2.1. Struttura geologica della provincia di Catania	30
2.3. Inquadramento Normativo Regionale	31
2.4. Terremoto 26 dicembre 2018	35
3. CAPITOLO 3: CREAZIONE DEL DATABASE	41
3.1. Modalità di raccolta dati.....	41
3.2. Caricamento dati	42
3.3. Modellazione in QGIS	49
4. CAPITOLO 4: ANALISI DEI DATI.....	53
4.1. Analisi per esito	53
4.2. Analisi per caratteristiche.....	55
4.2.1. Anno di costruzione	55
4.2.2. Numero di piani.....	56
4.2.3. Tipologia strutturale	57
4.2.4. Copertura.....	59
4.3. Analisi per classi di esito.....	59
4.3.1. Edifici con esito <i>Agibile</i>	61

4.3.2.	Edifici con esito <i>Inagibile</i>	64
4.4.	Relazione tra le caratteristiche degli edifici	70
4.5.	Analisi Statistica.....	74
4.5.1.	Introduzione all'analisi.....	74
4.5.2.	Allestimento dati in QGIS	76
4.6.	Analisi fattoriale delle componenti principali	80
4.7.	Analisi discriminante.....	90
4.7.1.	Intera popolazione dei dati	92
4.7.2.	80% dei casi	99
4.7.3.	60% dei casi	104
5.	CONCLUSIONI.....	111
6.	BIBLIOGRAFIA.....	115
7.	RINGRAZIAMENTI	117

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 – suddivisione zone sismiche secondo valori di a_g	11
Figura 2 – mappa sottozone del territorio nazionale.	12
Figura 3 – sezione 1 scheda AeDES.	16
Figura 4 – spazio per inserimento mappa, sezione 1 AeDES.	16
Figura 5 – sezione 2 scheda AeDES.	17
Figura 6 - sezione 3 scheda AeDES.	18
Figura 7 - strutture in muratura, sezione 3 AeDES.	19
Figura 8 - altre strutture, sezione 3 AeDES.	19
Figura 9 - regolarità, sezione 3 AeDES.	19
Figura 10 - copertura, sezione 3 AeDES.	20
Figura 11 - sezione 4 scheda AeDES.	20
Figura 12 - sezione 5 scheda AeDES.	21
Figura 13 - sezioni 6 e 7 scheda AeDES.	21
Figura 14 - sezione 8-A scheda AeDES.	22
Figura 15 - sezione 8-B scheda AeDES.	22
Figura 16 - sezione 8-C scheda AeDES.	23
Figura 17 - sezione 8-D scheda AeDES.	23
Figura 18 - sezione 8-E scheda AeDES.	23
Figura 19 - sezione 9 scheda AeDES.	24
Figura 20 - fasce altimetriche regione Sicilia (ISTAT 2004).	28
Figura 21 - sistema di faglie Sicilia orientale (www.antoniorandazzo.it).	30
Figura 22 - zonazione sismica Regione Sicilia (2003).	32
Figura 23 - valori di pericolosità sismica del territorio siciliano (2006).	33
Figura 24 - aggiornamento zonazione sismica Sicilia (2022).	34
Figura 25 - mappa dei terremoti antecedenti l'evento del 26 dicembre 2018.	36
Figura 26 - variazione di velocità e accelerazione massime al suolo, terremoto 26 dicembre 2018.	36
Figura 27 - crollo edificio ad uso abitativo, frazione di Fleri.	37
Figura 28 - crepa sul manto stradale, frazione di Fleri.	37
Figura 29 - danneggiamenti a strutture verticali su edificio in costruzione.	38
Figura 30 - crepe sulla facciata della chiesa di sant'Agata di Fleri.	38
Figura 31 - crepe su manto stradale e suolo, Pennisi.	39
Figura 32 - crepe su suolo, Pennisi.	39
Figura 33 - interfaccia area di lavoro ERIKUS.	42
Figura 34 - sezione 1 portale ERIKUS.	43
Figura 35 - sezione 2 portale ERIKUS.	43
Figura 36 - sezione 3 portale ERIKUS.	40
Figura 37 - sezioni 8 e 9 portale ERIKUS.	44
Figura 38 - ricerca istanza in ERIKUS.	45

Figura 39 - individuazione istanza in ERIKUS.....	45
Figura 40 - esempio di compilazione sezione 1.....	47
Figura 41 - esempio di compilazione sezione 2.....	47
Figura 42 - esempio di compilazione sezione 3.....	44
Figura 43 - esempio di compilazione sezione 9.....	48
Figura 44 - mappa Sicilia in QGIS.....	49
Figura 45 - limiti comunali regionali in QGIS.....	50
Figura 46 - faglie e fratturazioni al suolo in QGIS.....	50
Figura 47 - istanze importate in QGIS.....	51
Figura 48 - diagramma ad albero esiti di agibilità.....	54
Figura 49 - istogramma esiti di agibilità.....	55
Figura 50 - istogramma anno di costruzione, casi totali.....	56
Figura 51 - istogramma numero di piani, casi totali.....	57
Figura 52 - istogramma tipologia di struttura verticale, casi totali.....	58
Figura 53 - istogramma tipologia di struttura orizzontale, casi totali.....	58
Figura 54 - istogramma tipologia costruttiva copertura, casi totali.....	59
Figura 55 - diagramma ad albero distinzione tra casi Agibili e casi Inagibili.....	60
Figura 56 - istogramma percentuali casi raggruppati in Agibili e Inagibili.....	60
Figura 57 - anno di costruzione, casi agibili.....	61
Figura 58 - numero di piani, casi agibili.....	62
Figura 59 - tipologia di struttura verticale, casi agibili.....	62
Figura 60 - tipologia di struttura orizzontale, casi agibili.....	63
Figura 61 - tipologia costruttiva copertura, casi agibili.....	63
Figura 62 - distribuzione spaziale casi agibili in QGIS.....	64
Figura 63 - anno di costruzione, casi inagibili.....	65
Figura 64 - numero di piani, casi inagibili.....	65
Figura 65 - tipologia di struttura verticale, casi inagibili.....	66
Figura 66 - tipologia di struttura orizzontale, casi inagibili.....	66
Figura 67 - tipologia costruttiva copertura, casi inagibili.....	67
Figura 68 - distribuzione spaziale casi inagibili in QGIS.....	68
Figura 69 - confronto anno di costruzione tra le due classi, in RAWGraphs 2.0.....	69
Figura 70 - confronto struttura verticale tra le due classi, in RAWGraphs 2.0.....	69
Figura 71 - relazione tra anno di costruzione e struttura verticale casi agibili, in RAWGraphs 2.0.....	71
Figura 72 - relazione tra anno di costruzione e struttura verticale casi inagibili, in RAWGraphs 2.0.....	71
Figura 73 - relazione tra anno di costruzione e numero piani casi agibili, in RAWGraphs 2.0.....	72
Figura 74 - relazione tra anno di costruzione e numero di piani casi inagibili, in RAWGraphs 2.0.....	73
Figura 75 - campi per distanza dalle faglie in QGIS.....	77
Figura 76 - file raster derivati dal dtm, in QGIS.....	77
Figura 77 - campi aggiunti per interpolazione con il dtm.....	78

Figura 78 - campi aggiunti per interpolazione con il dtm.	78
Figura 79 - campo aggiunto per interpolazione con il dtm.	79
Figura 80 - statistiche per campo altezza interpiano.	84
Figura 81 - statistiche per campo struttura mista.	84
Figura 82 - statistiche per campo superficie piano tipo.	85
Figura 83 - statistiche per campo regolarità in elevazione.	85
Figura 84 - statistiche per campo regolarità in pianta.	86
Figura 85 - statistiche per campo stato di conservazione edificio.	86
Figura 86 - statistiche per campo regolarità tamponature.	86
Figura 87 - tabella della varianza spiegata.	88
Figura 88 - tabella della varianza spiegata.	89
Figura 89 - matrice dei componenti ruotati.	90
Figura 90 - variabili immesse nell'analisi.	93
Figura 91 - tabella probabilità a priori uguale tra i due gruppi.	93
Figura 92 - tabella riepilogativa analisi discriminante.	94
Figura 93 - tabella coeff. della funzione canonica.	95
Figura 94 - matrice di struttura.	95
Figura 95 - coeff. funzioni di classificazione.	96
Figura 96 - tabella di riclassificazione casi in SPSS.	97
Figura 97 - probabilità a priori proporzionate tra i due gruppi.	98
Figura 98 - tabella riepilogativa analisi discriminante.	98
Figura 99 - coeff. di funzioni di classificazione.	99
Figura 100 - variabili immesse nell'analisi.	99
Figura 101 - tabella riepilogativa analisi discriminante.	100
Figura 102 - coeff. di funzione canonica.	101
Figura 103 - matrice di struttura.	101
Figura 104 - coeff. funzioni di classificazione.	101
Figura 105 - tabella riepilogativa analisi discriminante.	102
Figura 106 - coeff. di funzione canonica.	103
Figura 107 - matrice di struttura.	103
Figura 108 - coeff. funzioni di classificazione.	103
Figura 109 - variabili immesse nell'analisi.	104
Figura 110 - tabella riepilogativa analisi discriminante.	105
Figura 111 - coeff. di funzione canonica.	106
Figura 112 - matrice di struttura.	106
Figura 113 - coeff. funzioni di classificazione.	106
Figura 114 - tabella riepilogativa analisi discriminante.	107
Figura 115 - coeff. di funzione discriminante.	108
Figura 116 - matrice di struttura.	108
Figura 117 - coeff. funzioni di classificazione.	108

TABELLE DI DECODIFICA

Tabella 1 – codici numero piani.

Cod_piani	
0	n.d.
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6
7	7
8	8
9	9
10	10
11	11
12	12
13	>12

Tabella 2 – codici anno costruzione/ristrutturazione.

Cod_anno	
1	< 1919
2	19 - 45
3	46 - 61
4	62 - 71
5	72 - 75
6	76 - 81
7	82 - 86
8	87 - 91
9	92 - 96
10	97 - 01
11	02 - 08
12	09 - 11
13	> 2011

Tabella 3 – codici altezza interpiano.

Cod_altezza	
0	n.d.
1	<2.50 m
2	2.50-3.49 m
3	3.50-5.00 m
4	>5.00 m

Tabella 4 – codici stato di conservazione.

Cod_stato_conservazione	
0	n.d.
A	Scadente
B	Mediocre
C	Buono
D	Eccellente

TABELLE DI DECODIFICA

Tabella 5 – codici regolarità in elevazione.

Cod_regolarità_elevazione	
0	n.d.
A	Non regolare
B	Regolare

Tabella 6 – codici regolarità in pianta.

Cod_regolarità_pianta	
0	n.d.
A	Non regolare
B	Regolare

Tabella 7 – codici regolarità tamponature.

Cod_regolarità_tamponature	
0	n.d.
1	Regolare
2	Non regolare

Tabella 8 – codici struttura mista.

Cod_str_mista	
0	n.d.
1	G1
2	G2
3	G3

Tabella 9 – codici struttura orizzontale.

Cod_str_orizzontale	
1	n.d.
2	Volte senza catene
3	Volte con catene
4	Travi con soletta deformabile
5	Travi con soletta semirigida
6	Travi con soletta rigida

Tabella 10 – codici tipologia copertura.

Cod_str_copertura	
1	Spingente pesante
2	Non spingente pesante
3	Spingente leggera
4	Non spingente leggera

Tabella 11 – codici struttura verticale.

Cod_str_verticale	
1	n.d.
2	Muratura a tessitura irregolare e di cattiva qualità senza catene o cordoli
3	Muratura a tessitura irregolare e di cattiva qualità con catene o cordoli
4	Muratura a tessitura regolare e di buona qualità senza catene o cordoli
5	Muratura a tessitura regolare e di buona qualità con catene o cordoli
6	Telai in c.a.
7	Pareti in c.a.
8	Telai in acciaio
9	Telai/pareti in legno

Tabella 12 – codici esito di agibilità.

Esito	
A	Edificio agibile
A-F	Edificio agibile dal punto di vista strutturale ma inagibile per rischio esterno
B	Edificio temporaneamente inagibile (in tutto o in parte) ma agibile con provvedimenti di p.i.
B-F	Edificio temporaneamente inagibile dal punto di vista strutturale ma inagibile per rischio esterno
C	Edificio parzialmente inagibile
C-F	Edificio parzialmente inagibile dal punto di vista strutturale e inagibile per rischio esterno
D	Edificio temporaneamente inagibile da rivedere con approfondimenti
D-F	Edificio temporaneamente inagibile dal punto di vista strutturale e inagibile per rischio esterno
E	Edificio inagibile
E-F	Edificio inagibile dal punto di vista strutturale e inagibile per rischio esterno
F	Edificio inagibile per rischio esterno
n.d.	Non determinato

INTRODUZIONE

La Sicilia è una delle regioni italiane maggiormente soggette ad eventi sismici frequenti e di elevata intensità, sia di origine tettonica, a causa della sua posizione a cavallo tra la placca euroasiatica e quella africana, sia vulcanica per la presenza del “Monte” Etna. In particolare, la zona orientale della regione è caratterizzata dalla presenza di numerose faglie che si estendono dalla zona tettonica dell’Arco Calabro fino a congiungersi, a Sud, con il sistema della Scarpata di Malta, percorrendo tutta la costa ionica. Per tale motivo, seguendo le direttive dell’OPCR 3519/2006, gran parte del territorio è stato classificato in zona 1 di pericolosità sismica (DPCR n. 64/2022).

Per far fronte alle frequenti emergenze post-sisma, la Regione Siciliana ha adottato, a partire dall’evento sismico del dicembre 2018, il sistema ERIKUS (Emergenze Richieste Unità Strutturali). ERIKUS è uno strumento sviluppato da Regione Piemonte e ARPA Piemonte, efficace per agevolare le operazioni di rilievo post terremoto da parte di tecnici ed esperti che, basandosi sulla scheda AeDES predefinita (Agibilità e Danno nell’Emergenza Sismica) danno una valutazione speditiva della agibilità di un aggregato strutturale. Infatti, tramite la scheda AeDES è possibile ricavare, in maniera speditiva, le caratteristiche costruttive e strutturali degli edifici, l’intensità del danno da essi subito ed esprimere un giudizio sulla loro agibilità.

Nel seguente elaborato verranno analizzati i dati raccolti a seguito del terremoto di magnitudo 4.9, con epicentro Viagrande (CT), che il 26 dicembre 2018 ha danneggiato gravemente il patrimonio urbano di nove comuni etnei, tra cui Zafferana Etnea e Santa Venerina. Scelti tali comuni come oggetto di studio, sono state inserite nella piattaforma ERIKUS le informazioni inerenti gli edifici, pubblici e privati, raccolte a seguito di sopralluoghi post-sisma e riportate nelle schede AeDES di I livello insieme all’esito di agibilità. Tutto ciò è stato possibile grazie alla collaborazione con il

Dipartimento della Protezione Civile Siciliana, la quale ha permesso l'accesso alle istanze inserite in ERIKUS e agli archivi contenenti le schede cartacee depositate presso l'ufficio di San Giovanni la Punta (CT). Tale procedura ha consentito di avere, tramite ERIKUS, una rappresentazione cartografica e georeferenziata degli edifici ispezionati dalle squadre incaricate di effettuare i rilievi, con l'indicazione delle caratteristiche degli edifici e dell'esito di agibilità.

Il database così creato costituisce un'importante fonte di informazioni per le amministrazioni pubbliche e può fornire un contributo alle attività di pianificazione e gestione delle emergenze sismiche. Con questo scopo, nell'ambito della tesi, si è cercato di comprendere come fosse possibile sfruttare le informazioni contenute in ERIKUS, al fine di evidenziare caratteristiche comuni degli immobili, localizzati nelle zone interessate dal terremoto e metterle in relazione con il giudizio di agibilità e le condizioni geologiche e geomorfologiche del sito.

L'elaborato, nato dalla collaborazione tra il Politecnico di Torino, la Regione Piemonte, l'Arpa Piemonte e il Dipartimento della Protezione Civile Regionale Siciliana, vuole sottolineare come ERIKUS non abbia come unico obiettivo quello di agevolare le operazioni di sopralluogo post-sisma, ma rappresenti un database consistente che possa essere utilizzato come strumento di indagine e di ricerca. Attraverso l'utilizzo del software di analisi statistica IBM SPSS Statistics, è stato possibile effettuare una analisi statistica multivariata (costituita da analisi fattoriale e analisi discriminante), allo scopo di costruire un modello predittivo in grado di classificare statisticamente la probabilità che un edificio abbia un risultato di agibilità o inagibilità.

La struttura dell'elaborato è costituita da 5 capitoli in cui:

- nel capitolo 1 vengono elencate le normative di riferimento legate agli eventi tellurici e viene fornita una breve descrizione circa le schede AeDES e il portale ERIKUS;
- nel capitolo 2 viene presentato il caso studio evidenziando gli aspetti peculiari del territorio siciliano e del terremoto del 2018;
- il capitolo 3 e il capitolo 4 descrivono le varie fasi che hanno contribuito alla creazione del database e le successive analisi dei dati ottenuti, analisi fattoriale e analisi discriminante;
- il capitolo 5 mostra il fine ultimo dello studio condotto tramite l'interpretazione e la discussione dei risultati ottenuti e dei futuri sviluppi della ricerca.

1. CAPITOLO 1: ASPETTI PRELIMINARI

1.1. Normativa Sismica Italiana

L'Italia risulta essere uno dei territori europei maggiormente caratterizzato dalla presenza di eventi sismici. La motivazione risiede nella sua collocazione naturale che la rende particolarmente soggetta al verificarsi di terremoti. Si trova, infatti, lungo il margine di convergenza tra la placca africana e quella euroasiatica, i cui relativi movimenti provocano accumuli di energia che si propagano tramite eventi sismici.

Il numero elevato di fenomeni tellurici che si sono verificati ha spinto i vari Governi italiani a stilare delle Linee Guida al fine di fornire degli strumenti per valutare la vulnerabilità del territorio, ridurre il rischio sismico, ma soprattutto fronteggiare le emergenze post-terremoto.

Il D.Lgs. n. 112 del marzo 1998 stabilisce che spetta ad ogni Regione suddividere il proprio territorio in zone sismiche, tenendo conto delle direttive imposte dallo Stato riguardanti le caratteristiche di ogni categoria sismica e le relative norme tecniche sulle costruzioni.

La normativa vigente fa riferimento ai seguenti testi:

1. **Decreto Legislativo n. 112 del 02.02.1998 artt. 93 e 94** - “Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle Regioni ed agli Enti locali, in attuazione del capo I della legge 15 marzo 1997, n. 59”;
2. **Decreto Ministeriale LL.PP. del 16.01.1996** - “Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche” (attiva fino al 14 giugno 2010 e poi sostituita dalla normativa di cui al punto 8);

3. **Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 2788 del 12.06.1998** - “Individuazione delle zone ad elevato rischio sismico del territorio nazionale”;
4. **Decreto del Presidente della Repubblica n. 380 del 18.05.2001** - “Testo unico per l’edilizia”;
5. **Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20.03.2003** - “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica” - (sostituita pro parte dalle normative di cui al punto 8);
6. **Decreto Ministeriale Infrastrutture e Trasporti del 14.09.2005** - “Norme Tecniche per le costruzioni” (attivo fino al giugno 2009 e poi sostituito totalmente dalla normativa di cui al punto 8);
7. **Ordinanza Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28.04.2006** - “Criteri generali per l’individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l’aggiornamento degli elenchi delle medesime zone”;
8. **Decreto Ministeriale Infrastrutture e Trasporti del 14.01.2008** - “Nuove Norme Tecniche per le costruzioni”;
9. **Decreto Ministeriale Infrastrutture e Trasporti del 17.01.2018** - “Aggiornamento delle « Norme tecniche per le costruzioni »”.

La classificazione in zone sismiche ha subito, nel corso degli anni, varie modifiche a causa del numero sempre più crescente di terremoti, che ha portato gli esperti ad individuare, in modo più accurato, le caratteristiche peculiari del territorio in cui questi eventi si manifestano con maggiore frequenza.

La legge n. 64 del 1974, infatti, individuava 3 zone, distinguendo il livello di pericolosità in *alto*, *medio* e *basso*. A seguito del terremoto dell’ottobre 2002 nel territorio tra Molise e Puglia, fu emanata l’Ordinanza PCM n. 3274 del 2003, in cui venne aggiunta una quarta zona comprendente tutte quelle parti di territorio non classificate nella normativa precedente e, inoltre, vennero individuate quelle che

dovevano essere le norme tecniche per la costruzione di edifici, ponti, opere di fondazione e sostegno dei terreni. L'applicazione di tali norme avviene seguendo criteri differenziati di severità per le prime tre zone. Caso a parte per la zona 4 poiché spetta alla singola Regione predisporre provvedimenti circa la progettazione sismica.

L'intero territorio nazionale fu, quindi, suddiviso in 4 zone sismiche con pericolosità decrescente in funzione dell'accelerazione massima al suolo (a_g) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, come riportato nella tabella in *figura 1*:

zona	accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10 % in 50 anni [a_g/g]	accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) [a_g/g]
1	> 0,25	0,35
2	0,15-0,25	0,25
3	0,05-0,15	0,15
4	<0,05	0,05

Figura 1 – suddivisione zone sismiche secondo valori di a_g .

La successiva Ordinanza 3519/06 ha consentito la suddivisione delle zone 1, 2 e 3 in sottozone su base di valori di a_g intermedi rispetto a quelli riportati in tabella 1 e intervallati da valori non minori di 0,025 g (*figura 2*).

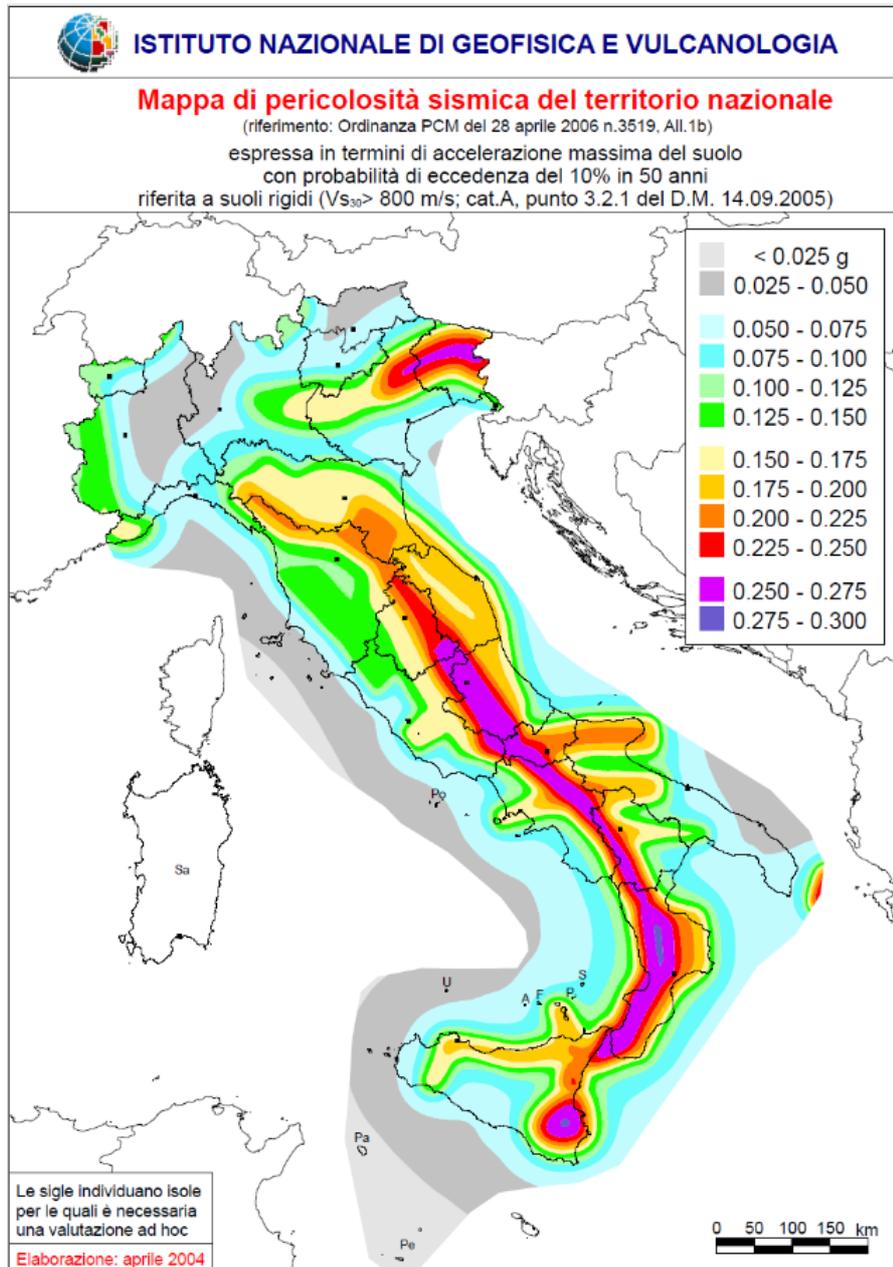


Figura 2 – mappa sottozone del territorio nazionale.

1.2. Le schede AeDES

1.2.1. Aspetti generali

La scheda AeDES (Agibilità e Danno nell’Emergenza Sismica) costituisce un importante strumento per la rilevazione speditiva delle caratteristiche tipologiche, del danno e dell’agibilità degli edifici a seguito di un’attività sismica, dove per edifici si intende *una unità strutturale “cielo terra”, individuabile per caratteristiche tipologiche e quindi distinguibile dagli edifici adiacenti per tali caratteristiche e anche per differenza di altezza e/o età di costruzione e/o piani sfalsati, etc...*[1]. Tale scheda consente di effettuare un rilievo speditivo ed una valutazione del patrimonio edilizio, partendo dai dati descrittivi dell’edificio, che, uniti al rilievo del danno e della tipologia strutturale, portano ad un’analisi di valutazione del rischio e, dunque, ad un giudizio di agibilità.

L’agibilità in emergenza post sismica non è basata su calcoli o analisi numeriche sulle strutture, ma su un giudizio da parte dell’esperto che effettua il rilievo. Obiettivo della valutazione di agibilità è tutelare la vita di ciascun occupante, verificando che le funzionalità dell’edificio non siano state alterate dai danni causati dal sisma. Trattandosi di un’analisi eseguita “a vista”, l’affidabilità del giudizio espresso dal rilevatore, il cui compito è stabilire il livello di danno in relazione alle caratteristiche costruttive dell’immobile in esame, dipende dal corretto svolgimento del sopralluogo.

Nel corso degli anni, tali schede sono state oggetto di svariate modifiche. Inizialmente, i rilievi post sisma venivano effettuati utilizzando una scheda di vulnerabilità, ideata e redatta dal Gndt (Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti), limitandosi a constatare la vulnerabilità e il danno sul manufatto, senza considerarne l’agibilità. Negli anni 1996/97 il Ssn (Servizio Sismico Nazionale) e il Gndt, avviarono uno studio per definire uno strumento per la schedatura, che includesse la valutazione

dell'agibilità post sisma dell'edificio e la definizione di provvedimenti di pronto intervento per limitare i danni. Tale scheda, utilizzata, nella sua prima versione, per la valutazione dell'agibilità degli edifici colpiti dal terremoto del 1997 che interessò le regioni di Marche e Umbria, ha subito ulteriori correzioni e aggiornamenti, fino alla sua versione definitiva del 2000. La versione del '97 presentava una classificazione molto dettagliata della tipologia di elementi strutturali (18 tipologie di strutture verticali e 9 di strutture orizzontali), che spesso portava ad ambiguità ed imprecisione nella definizione degli stessi. Questo tipo di approccio era finalizzato ad ottenere una fotografia, il più affidabile possibile, dell'oggetto del rilievo, che esulava dal giudizio del rilevatore. L'elevato livello di dettaglio della scheda, ha portato ad appesantire eccessivamente il rilievo con conseguente diminuzione della sua affidabilità. Per questo motivo si è passati da un approccio descrittivo ad uno di tipo comportamentale, mirato non tanto alla descrizione minuziosa delle componenti del manufatto quanto ai comportamenti attesi durante un terremoto.

Ci si rese conto, infatti, che i meccanismi innescati dal sisma alle strutture potevano essere ricondotti ad un numero limitato. Ciò ha portato a semplificare drasticamente la scheda, ottenendo una maggiore affidabilità dei dati rilevati.

La pubblicazione dell'OPCM 3753 del 2009 ha decretato le schede AeDES di livello I come strumento di valutazione dei danni e degli esiti di agibilità degli edifici post-sisma, i cui contenuti derivano dall'esperienza maturata negli eventi sismici verificatisi in Umbria e Marche (1997), nel Pollino (1998) e in Molise (2002).

1.2.2. Struttura

L'attuale scheda AeDES si compone di 9 sezioni, ognuna dedicata ad un aspetto diverso dell'edificio e del contesto in cui è inserito:

- Sezione 1 – Identificazione edificio;
- Sezione 2 – Descrizione edificio;

- Sezione 3 – Tipologia costruttiva
- Sezione 4 – Danni ad elementi strutturali e provvedimenti di pronto intervento (P.I.) eseguiti;
- Sezione 5 – Danni ad elementi non strutturali e provvedimenti di pronto intervento (P.I.) eseguiti;
- Sezione 6 – Pericolo esterno indotto da altre costruzioni, reti, versanti e provvedimenti di pronto intervento (P.I.) eseguiti;
- Sezione 7 – Terreno e fondazioni;
- Sezione 8 – Giudizio di agibilità;
- Sezione 9 – Altre osservazioni.

La sezione 1 (*figura 3*) consente un inquadramento generale dell'edificio, inserendo la Provincia, il Comune, l'indirizzo, le coordinate, il codice d'uso e il nominativo del proprietario. È, inoltre, possibile indicare i codici identificativi (codice Istat e codice Catastale) del manufatto e definirne la sua posizione rispetto al rapporto di collegamento o contatto con altri edifici (isolato, interno, d'estremità, d'angolo). In questa sezione si individua, anche, l'identificativo del sopralluogo, la squadra esecutrice, il numero della scheda e la data in cui esso è avvenuto.

La zona quadrettata al centro della scheda offre la possibilità di riportare la parte di mappa contenente l'aggregato strutturale in esame che sarà evidenziato (*figura 4*).

SEZIONE 3 - TIPOLOGIA (multiscelta; per gli edifici in muratura indicare al massimo 2 tipi di combinazioni strutture verticali-solai)											
Strutture verticali Strutture orizzontali		STRUTTURE IN MURATURA							ALTRE STRUTTURE		
		Non identificate	A tessitura irregolare e di cattiva qualità (Pietrame non squadrato, ciottoli,...)		A tessitura regolare e di buona qualità (Blocchi; mattoni; pietra squadrata,...)		Pilastrini isolati	Mista	Rinforzata	REGOLARITÀ	
			Senza catene o cordoli	Con catene o cordoli	Senza catene o cordoli	Con catene o cordoli				Non Regolare A	Regolare B
A	B	C	D	E	F	G	H	1	2		
1	Non Identificate	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	SI	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2	Volte senza catene	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	G1	H1	<input type="checkbox"/>	
3	Volte con catene	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	G1	H1	<input type="checkbox"/>	
4	Travi con soletta deformabile (travi in legno con semplice tavolato, travi e voltine,...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	NO	G2	H2	<input type="checkbox"/>	
5	Travi con soletta semirigida (travi in legno con doppio tavolato, travi e tavelloni,...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	G2	H2	<input type="checkbox"/>	
6	Travi con soletta rigida (solai di c.a., travi ben collegate a solette di c.a.,...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	G3	H3	<input type="checkbox"/>	

Figura 6 - sezione 3 scheda AeDES.

La prima tabella (figura 7) è composta come segue:

- in colonna sono riportate, per le strutture in muratura, le tipologie di struttura verticale suddivise in 2 categorie (“a tessitura irregolare e di cattiva qualità”, “a tessitura regolare e di buona qualità”), ciascuna delle quali si divide a sua volta in due sotto-categorie (“Senza catene o cordoli”, “Con catene o cordoli”);
- in riga vengono elencate le tipologie di struttura orizzontale suddivise in: volte senza catene, volte con catene, travi con soletta deformabile, travi con soletta semirigida, travi con soletta rigida;
- Per entrambe le tipologie strutturali è presente una casella “Non identificate” nel caso in cui il rilevatore non è in grado di definire con certezza la struttura. In tale tabella è possibile anche indicare la presenza di pilastrini isolati (in legno, c. a. o acciaio), se la struttura è mista (G1, G2, G3) e se la muratura è rinforzata (H1, H2, H3).

Strutture verticali Strutture orizzontali		STRUTTURE IN MURATURA							
		Non identificate	A tessitura irregolare e di cattiva qualità (Pietrame non squadrato, ciottoli,..)		A tessitura regolare e di buona qualità (Blocchi; mattoni; pietra squadrata,..)		Pilastrini isolati	Mista	Rinforzata
			Senza catene o cordoli	Con catene o cordoli	Senza catene o cordoli	Con catene o cordoli			
		A	B	C	D	E	F	G	H
1	Non Identificate	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	SI	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Volte senza catene	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Volte con catene	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Travi con soletta deformabile (travi in legno con semplice tavolato, travi e voltine,...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	Travi con soletta semirigida (travi in legno con doppio tavolato, travi e tavelloni,...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	Travi con soletta rigida (solai di c.a., travi ben collegate a solette di c.a.,...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura 7 - strutture in muratura, sezione 3 AeDES.

Per tipologie costruttive diverse dalle strutture in muratura, è presente una seconda tabella denominata “Altre Strutture” riguardante le strutture intelaiate in acciaio, c.a. e legno (figura 8).

ALTRE STRUTTURE		
1	Telai in c.a.	<input type="checkbox"/>
2	Pareti in c.a.	<input type="checkbox"/>
3	Telai in acciaio	<input type="checkbox"/>
4	Telai/Pareti in legno	<input type="checkbox"/>

Figura 8 - altre strutture, sezione 3 AeDES.

Un'altra parte della sezione riguarda la regolarità della forma della pianta, dell'elevazione e della disposizione delle tamponature (figura 9). L'ultima tabella riguarda, infine, l'identificazione della tipologia di copertura suddivisa in: spingente pesante, non spingente pesante, spingente leggera, non spingente leggera (figura 10).

REGOLARITÀ		Non Regolare	Regolare
		A	B
1	Forma pianta ed elevazione	○	○
2	Disposizione tamponature	○	○

Figura 9 - regolarità, sezione 3 AeDES.

COPERTURA	
1	○ Spingente pesante
2	○ Non spingente pesante
3	○ Spingente leggera
4	○ Non spingente leggera

Figura 10 - copertura, sezione 3 AeDES.

Nella sezione 4 (figura 11) sono riportati i danni, osservabili a vista, subiti dagli elementi strutturali, già esistenti o legati al sisma. La classificazione del danno viene effettuata attraverso l'uso di una prima tabella. È presente, anche, un'ulteriore tabella in cui sono elencati i provvedimenti di pronto intervento eventualmente eseguiti precedentemente al rilievo.

SEZIONE 4 - DANNI AD ELEMENTI STRUTTURALI e provvedimenti di pronto intervento (P.I.) eseguiti																		
Livello-estensione		Danno ⁽¹⁾									Nullo		Provvedimenti di P.I. eseguiti					
		D4 - D5 Gravissimo			D2 - D3 Medio Grave			D1 Leggero					Nessuno	Demolizioni	Cerchiature e/o tiranti	Riparazione	Puntelli	Trasenne e protezione passaggi
		2/3 ^	1/3 - 2/3	< 1/3	2/3 ^	1/3 - 2/3	< 1/3	2/3 ^	1/3 - 2/3	< 1/3	A	B	C	D	E	F		
Componente strutturale- Danno preesistente	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	A	B	C	D	E	F		
	1	Strutture verticali	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>										
2	Solai	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>												
3	Scale	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>												
4	Copertura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>												
5	Tamponature - Tramezzi	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>												
6	Danno preesistente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>												

(1) - Di ogni livello di danno indicare l'estensione solo se esso è presente. Se l'oggetto indicato nella riga non è danneggiato, campire **Nulla**.

Figura 11 - sezione 4 scheda AeDES.

La sezione 5 (figura 12) riguarda, invece, l'analisi del danno subito da elementi non strutturali con relativi provvedimenti di pronto intervento.

SEZIONE 5 - DANNI AD ELEMENTI NON STRUTTURALI e provvedimenti di pronto intervento (P.I.) eseguiti							
Tipo di danno	Presenza Danno	Provvedimenti di P.I. eseguiti					
		Nessuno	Rimozione	Puntelli	Riparazione	Divieto di accesso	Trasenne e protezione passaggi
		B	C	D	E	F	G
1 Distacco intonaci, rivestimenti, controsoffitti, ...	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>				
2 Caduta tegole, comignoli, canne fumarie, ...	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>				
3 Caduta cornicioni, parapetti, ...	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>				
4 Caduta altri oggetti interni o esterni	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>				
5 Danno alla rete idrica, fognaria o termoidraulica	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>				
6 Danno alla rete elettrica o del gas	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>				

Figura 12 - sezione 5 scheda AeDES.

Oggetto di analisi delle sezioni 6 e 7 (figura 13) sono i rischi esterni all'edificio in esame. Nello specifico, in sezione 6 vengono sbarrate le caselle sia legate alla posizione del pericolo e alle cause che lo hanno provocato, sia relative ai provvedimenti di pronto intervento eseguiti; nella sezione 7 sono individuati i fattori che possono influire sul rischio geotecnico, quali la morfologia del sito e i dissesti alle fondazioni.

SEZIONE 6 - Pericolo ESTERNO indotto da altre costruzioni, reti, versanti e provvedimenti di pronto intervento (P.I.) eseguiti							
Causa	Pericolo su:				Provvedimenti di P.I. eseguiti		
	Assente	Edificio	Vie d'accesso o di fuga	Vie interne	Nessuno	Divieto di accesso	Barriere protettive
	A	B	C	D	E	F	G
1 Crolli o caduta oggetti da edifici adiacenti	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2 Collasso di reti di distribuzione	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 Crolli da versanti incombenti	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

SEZIONE 7 - TERRENO E FONDAZIONI							
Morfologia del sito				Dissesti alle fondazioni			
1 <input type="radio"/> Cresta	2 <input type="radio"/> Pendio forte	3 <input type="radio"/> Pendio leggero	4 <input type="radio"/> Pianura	A <input type="radio"/> Assenti	B <input type="radio"/> Generati dal sisma	C <input type="radio"/> Acuiti dal sisma	D <input type="radio"/> Preesistenti

Figura 13 - sezioni 6 e 7 scheda AeDES.

La sezione 8 si compone di 5 tabelle:

- Tabella 8-A: viene qui espressa una valutazione del rischio, basandosi sui dati raccolti nelle precedenti sezioni (*figura 14*);

8-A Valutazione del rischio				
Rischio	Esterno (sez. 6)	Strutturale (sez. 3 e 4)	Non Strutturale (sez. 5)	Geotecnico (sez. 7)
Basso	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Basso con provvedimenti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Alto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Figura 14 - sezione 8-A scheda AeDES.

- Tabella 8-B: si attribuisce un giudizio circa l'agibilità dell'edificio, evidenziandone l'esito intrinseco legato al manufatto, con la possibilità di mettere in relazione tale aspetto con l'eventuale inagibilità per cause esterne (*figura 15*);

8-B Esito di agibilità		
A	Edificio AGIBILE (*)	<input type="radio"/>
B	Edificio TEMPORANEAMENTE INAGIBILE (in tutto o in parte) ma AGIBILE con provvedimenti di P.I. (1)	<input type="radio"/>
C	Edificio PARZIALMENTE INAGIBILE (2)	<input type="radio"/>
D	Edificio TEMPORANEAMENTE INAGIBILE da rivedere con approfondimento (3)	<input type="radio"/>
E	Edificio INAGIBILE (4)	<input type="radio"/>
F	Edificio INAGIBILE per rischio esterno (5)	<input type="checkbox"/>

Figura 15 - sezione 8-B scheda AeDES.

- Tabella 8-C: si esamina il livello di accuratezza del sopralluogo, tenuto conto che, anche in caso di rilievo parziale o dall'esterno, quanto dichiarato nella tabella 8-B, valga come certo e definitivo. È possibile, inoltre, contrassegnare le cause di mancato svolgimento dell'ispezione (figura 16);

8-C Sull'accuratezza della visita	1 <input type="radio"/> Solo dall'esterno	4 <input type="radio"/> Non eseguito per:	A <input type="radio"/> Sopralluogo rifiutato (SR)	B <input type="radio"/> Rudere (RU)	C <input type="radio"/> Demolito (DM)
	2 <input type="radio"/> Parziale		D <input type="radio"/> Proprietario non trovato (NT)	E <input type="radio"/> Altro (AL)	_____
	3 <input type="radio"/> Completa (>2/3)				_____

Figura 16 - sezione 8-C scheda AeDES.

- Tabella 8-D: vengono suggeriti i provvedimenti da eseguire al fine di ridurre il grado di rischio o eliminare le cause che hanno determinato l'inagibilità (figura 17);

8-D Provvedimenti suggeriti di pronto intervento di rapida realizzazione, limitati (*) o estesi (**)					
*	**	PROVVEDIMENTI DI P.I. SUGGERITI	*	**	PROVVEDIMENTI DI P.I. SUGGERITI
1	<input type="checkbox"/>	Messa in opera di cerchiature o tiranti	7	<input type="checkbox"/>	Rimozione di cornicioni, parapetti, aggetti, ...
2	<input type="checkbox"/>	Riparazione danni leggeri alle tamponature e tramezzi	8	<input type="checkbox"/>	Rimozione di altri oggetti interni o esterni
3	<input type="checkbox"/>	Riparazione copertura	9	<input type="checkbox"/>	Transennature e protezione passaggi
4	<input type="checkbox"/>	Puntellatura di scale	10	<input type="checkbox"/>	Riparazioni delle reti degli impianti
5	<input type="checkbox"/>	Rimozione di intonaci, rivestimenti, controsoffittature, ...	11	<input type="checkbox"/>	
6	<input type="checkbox"/>	Rimozione di tegole, comignoli, canne fumarie, ...	12	<input type="checkbox"/>	

Figura 17 - sezione 8-D scheda AeDES.

- Tabella 8-E: in caso di inagibilità, si indicano il numero di unità immobiliari inagibili, i nuclei familiari e il numero di persone evacuate, allo scopo di stimare rispettivamente gli immobili non utilizzabili, il numero di posti letto e i senzatetto (figura 18).

8-E Unità immobiliari inagibili, famiglie e persone evacuate		
Unità immobiliari inagibili	_____	N° persone evacuate
	Nuclei familiari evacuati	_____

Figura 18 - sezione 8-E scheda AeDES.

Una volta ricevuta la richiesta di rilievo da parte del cittadino, infatti, i tecnici incaricati possono inserire in ERIKUS le informazioni contenute nel modulo cartaceo con la possibilità di individuare la posizione dell'immobile sulla base cartografica di riferimento. Successivamente, viene avviata la campagna di rilievo, usufruendo della scheda AeDES predefinita, al fine di ricavare le caratteristiche costruttive e strutturali dell'edificio da esaminare ed esprimere un giudizio circa l'agibilità. Infine, la squadra esecutrice dell'ispezione avrà il compito di integrare quanto ottenuto con i dati già presenti all'interno del portale ERIKUS, così facendo, si avrà l'opportunità di stampare mappe e modelli riassuntivi utili per il censimento e il monitoraggio dei danni nel territorio colpito, anche per attività successive.

ERIKUS si avvale dell'utilizzo di QGIS e Postgres, con estensione PostGIS, programmi Open Source facilmente accessibili.

Numerosi sono i comuni italiani che usufruiscono dell'applicativo ERIKUS, tra questi il comune di Catania che ha dovuto gestire l'emergenza provocata dal terremoto di dicembre 2018.

Per ulteriori approfondimenti vedasi [2].

2. CAPITOLO 2: CASO STUDIO

2.1. Inquadramento geografico

La Sicilia è l'isola più grande del Mediterraneo e costituisce la regione italiana più vasta, con una superficie di 2.570.467 ha e di forma approssimativamente triangolare. Bagnata dal mar Tirreno a Nord, dal mar Ionio a Est e dal mar Mediterraneo a Sud e Ovest, lo stretto di Messina la separa dalla penisola italiana e il Canale di Sicilia dal continente africano.

Il territorio risulta per il 61,4% collinare, per il 24,4% montuoso e per il 14,2% pianeggiante. Le principali catene montuose sono situate lungo il versante settentrionale e sono costituite dai monti Peloritani, Nebrodi e Madonie con quote variabili tra 800 e 2000 m s. l. m. Caso a parte per il Monte Etna che, con i suoi 3357 m circa, rappresenta il vulcano attivo più alto d'Europa e occupa gran parte della Sicilia centro-orientale. La zona collinare si concentra prevalentemente nella parte centro-meridionale e sud-occidentale della regione, mentre la zona sud è caratterizzata da numerose "cave", valli incise nella roccia calcarea dai corsi d'acqua. Gran parte della pianura è rappresentata dalla Piana di Catania e dalla Piana di Gela.

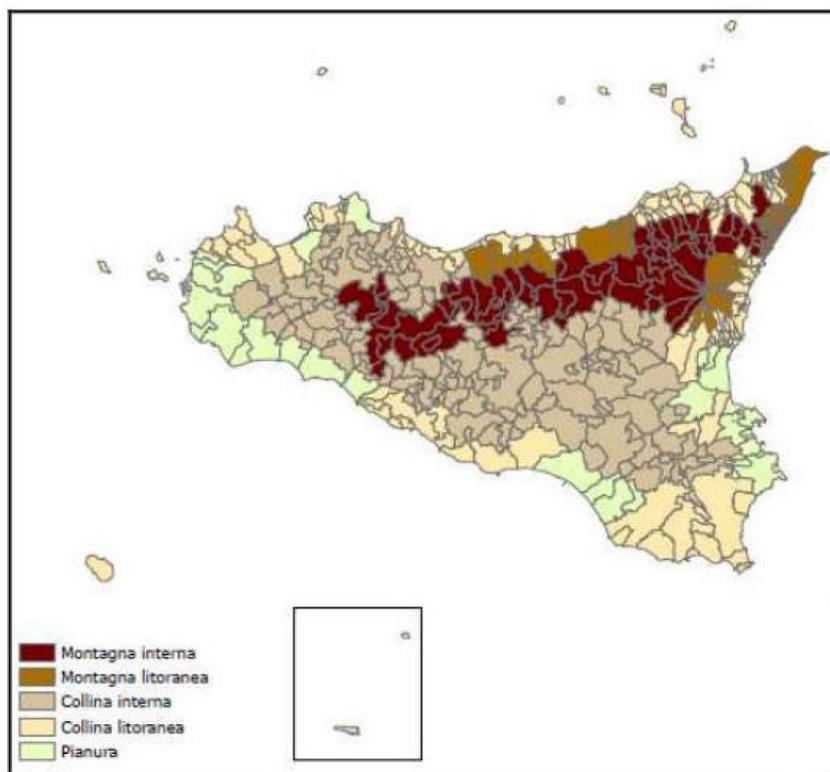


Figura 20 - fasce altimetriche regione Sicilia (ISTAT 2004).

2.2. Inquadramento geologico

La regione siciliana è situata a cavallo tra due placche tettoniche, quella Euroasiatica e quella Africana. Il movimento di quest'ultima al di sotto della placca euroasiatica causa numerosi eventi sismici in tutto il territorio.

Nello specifico, la Sicilia orientale fa parte dell'area tettonica dell'Arco Calabro e rappresenta una zona sismicamente attiva (*figura 21*). La struttura di quest'area è composta da faglie normali di lunghezza complessiva di 370 km con direzioni Nord/Nord-Est e Sud/Sud-Ovest che, partendo dal bordo tirrenico dell'arco, culmina negli iblei orientali, passando per lo stretto di Messina e la costa ionica della Sicilia, congiungendosi, a Sud, con il sistema della scarpata di Malta. Lungo questa struttura

è possibile individuare differenti segmenti, di svariata lunghezza, che caratterizzano l'aspetto geologico della regione. La faglia Messina-Taormina si estende per 30 km, con direzione Nord/Nord-est, Sud/Sud-Ovest lungo la costa orientale al confine con i monti Peloritani, la cui attività è testimoniata dalla presenza di terrazzamenti marini, specie nella zona di Taormina.

Più a Sud, la faglia di Piedimonte, con estensione di 15 km e direzione Nord/Nord-est, è caratterizzata da una scarpata rettilinea alta 60 m ricca di sedimenti vulcanici etnei. La faglia di Sant'Alfio-Acireale si estende per circa 20 km lungo il versante orientale dell'Etna con direzione Nord/Nord-Ovest-Sud/Sud-Est e presenta scarpate rettilinee. Tale zona presenta un'elevata attività sismica con terremoti di magnitudo compresa tra 4 e 6.

Proseguendo verso Sud si individua il sistema di Augusta-Siracusa, formato da più segmenti, il più importante dei quali si estende per circa 45 km lungo la costa ionica con direzione Nord/Nord-Ovest-Sud/Sud-Est, dove si congiunge con la Scarpata di Malta. Sul fondo marino, esso è responsabile della creazione di scarpate rettilinee di altezza compresa tra 80 e 240 m.

Con direzione Nord-Est/Sud-Ovest, la faglia di Avola-Noto ha un'estensione di circa 20 km e forma una scarpata rettilinea con altezze fino a 400 m.

Nella zona compresa tra queste due faglie sono stati registrati gli epicentri delle due scosse del terremoto avvenuto nel gennaio del 1693, uno degli eventi più violenti della storia sismica italiana, che distrusse gran parte del territorio della Sicilia orientale.

A Sud del sistema Avola-Noto si rilevano una serie di faglie normali, orientate Nord-Est/Sud-Ovest, che creano scarpate rettilinee con altezza di 70 m in corrispondenza di Ispica.

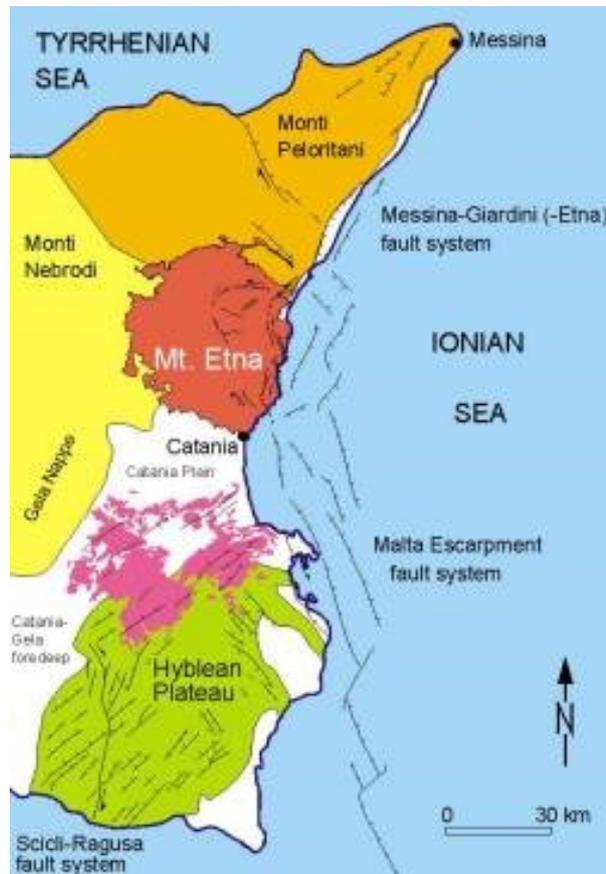


Figura 21 - sistema di faglie Sicilia orientale (www.antoniorandazzo.it).

2.2.1. Struttura geologica della provincia di Catania

La geologia del territorio catanese è frutto di processi legati ad attività tettonica e vulcanica, a cambiamenti del livello eustatico e a interventi ad opera dell'uomo. Essa, quindi, risulta caratterizzata da una stratigrafia variegata distinguibile in sette unità principali:

- **Argille grigio azzurre** - rappresentate da argille marnose compatte, sovraconsolidate, contenenti piroclastiti con granulometria medio-fine e sabbie a granulometria fine;

- **Sabbie e ghiaie** - strato di spessore 40 m costituito prevalentemente da sabbie giallastre con granulometria medio-fine;
- **Terrazzi marini** - caratterizzati da alternanza di argille giallastre e sabbie a granulometria medio-fine;
- **Tufiti** - situati nella zona collinare, sono costituiti da prodotti derivanti da attività vulcanica con granulometria da media a grossolana;
- **Lave** - abbondanti ed omogenee, costituiscono il litotipo prevalente dell'area più urbanizzata della città, con spessore massimo di oltre 50 m;
- **Alluvioni attuali** – depositi alluvionali della pianura e sabbie sciolte;
- **Terreni di riporto** – localizzati nel centro storico di Catania, sono caratterizzati dalle macerie del terremoto del 1693.

Per approfondimenti vedasi [5], [6] e [7].

2.3. Inquadramento Normativo Regionale

Come previsto dall'Ordinanza PCM n. 3274/2003, riguardante la suddivisione del territorio italiano in zone sismiche secondo i valori di accelerazione massima al suolo, la Regione Sicilia ha provveduto ad una classificazione del proprio territorio introducendo una nuova zona sismica per la parte sud-orientale, mediante l'emanazione del DGR n. 408/2003 (*figura 22*).

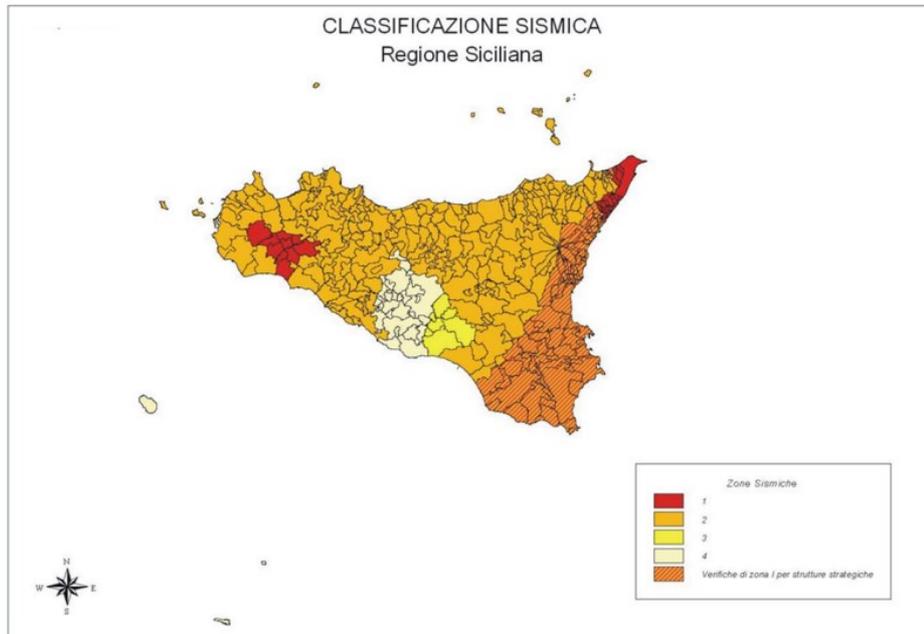


Figura 22 - zonazione sismica Regione Sicilia (2003).

L'Ordinanza PCM 3519/2006 colloca gran parte del territorio siciliano in zona 1, cioè con pericolosità sismica molto elevata, a causa di valori di accelerazione massima al suolo attesi elevati. Tali valori, indicati in *figura 23*, sono conseguenza della storia sismica regionale, nella quale sono stati registrati fenomeni sismici disastrosi, con magnitudo superiore a 7.0, tra cui i terremoti del 1693 e del 1908.

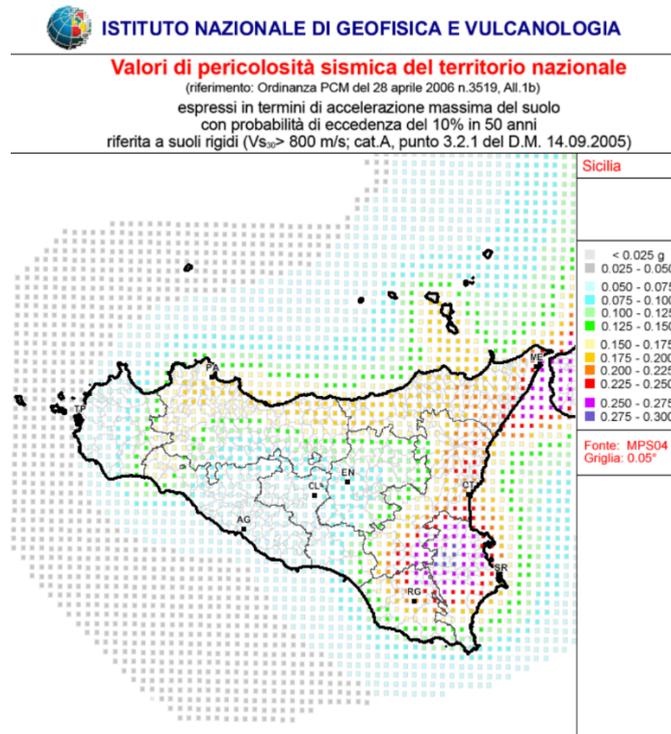


Figura 23 - valori di pericolosità sismica del territorio siciliano (2006).

Con l’emanazione del DPCR n. 64/2022 (vedasi [3]), la regione ha recentemente aggiornato la zonazione sismica del proprio territorio (*figura 24*). Seguendo le linee guida definite dall’Ordinanza n. 3519 del 2006, è stata introdotta una nuova classificazione dei comuni nelle rispettive zone sismiche che, in alcuni casi ha comportato una variazione rispetto alla precedente. Entrata in vigore lo scorso 25 marzo 2022, prevede:

- 53 Comuni classificati in Zona 1;
- 304 Comuni classificati in Zona 2;
- 32 Comuni classificati in Zona 3;
- 2 Comuni classificati in Zona 4.

Inoltre, 117 comuni sono catalogati come zona sismica 1, nonostante i risultati indichino la collocazione in una categoria a più basso rischio. La nuova classificazione, tra l'altro, include il Comune di Misiliscemi (Provincia di Trapani), recentemente istituito con la legge regionale 10 febbraio 2021 n. 3.

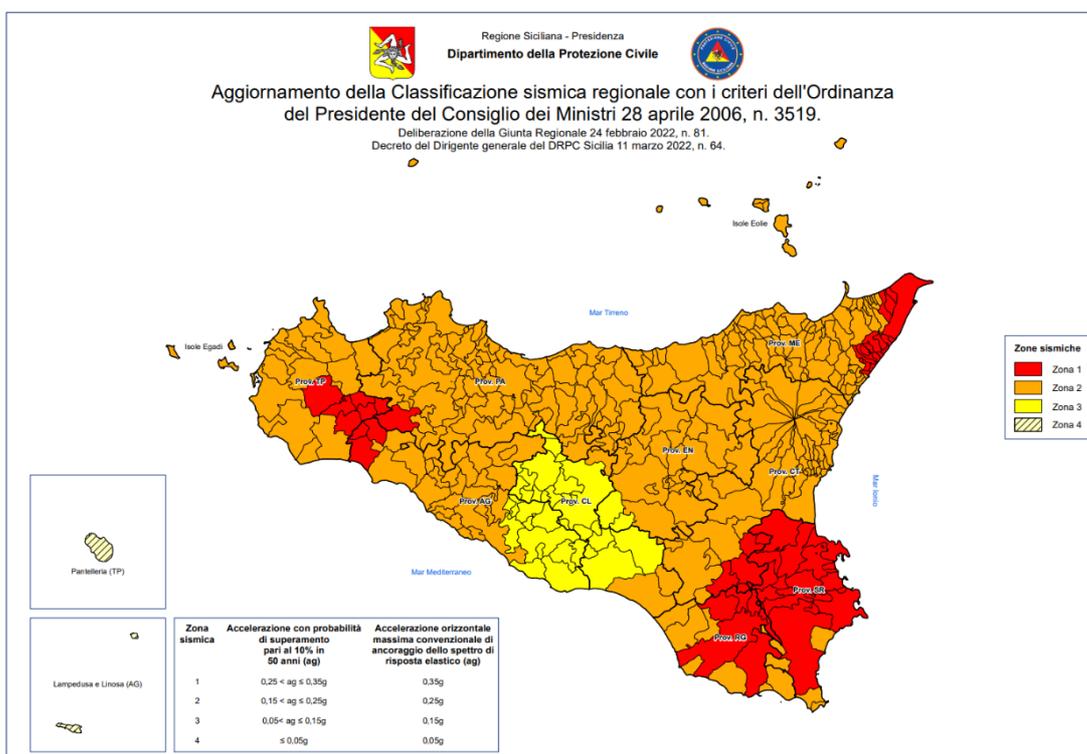


Figura 24 - aggiornamento zonazione sismica Sicilia (2022), [3].

2.4. Terremoto 26 dicembre 2018

Il 26 Dicembre 2018, alle ore 03:19, è stata registrata una scossa di terremoto di magnitudo 4.9, con epicentro a 4 km NE da Viagrande (CT) ed ipocentro a meno di 1 km di profondità. Tale episodio rappresenta il principale tra una serie di eventi sismici, localizzati sul fianco orientale dell'Etna, verificatisi a partire dal 23 dicembre in concomitanza ad eruzioni vulcaniche. Secondo uno studio condotto dall'università di Catania, esso è stato causato da *processi dinamici della tettonica regionale della Sicilia orientale ed è riferito a meccanismi di deformazione crostale* già presenti nella zona interessata (vedasi [8]). Conseguenza del sisma è stata la produzione di fratturazione superficiale, estesa tra Fleri e Pennisi, lungo la Faglia di Fiandaca, appartenente al sistema di faglie attive delle Timpe. La faglia di Fiandaca, generalmente sepolta al di sotto delle colate laviche etnee, si manifesta in superficie solo in seguito ad attività tellurica.

A differenza di quanto avviene nelle aree tettoniche, per cui la fagliazione superficiale si genera a seguito di terremoti con magnitudo prossima o maggiore di 6, a causa della maggiore profondità ipocentrale, nelle aree vulcaniche la fagliazione superficiale si produce per terremoti di intensità minore, essendo più superficiali.

Lo studio ha sottolineato come tale meccanismo sia stato innescato da movimenti lungo due strutture: la faglia sismogenetica, con orientamento Nord-Ovest/Sud-Est, riattivata a causa dei movimenti di convergenza tra Africa ed Europa; e la fratturazione, orientata da Nord-Nord-Ovest a Sud-Sud-Est, localizzata nella zona di Pennisi, che ha agito come una barriera tettonica, deviando la propagazione della faglia sismogenetica, alterando la deformazione e gli effetti al suolo. Le *figure 25 e 26* mostrano, rispettivamente, gli eventi antecedenti il terremoto del 26 dicembre e la variazione di velocità e accelerazione massime al suolo di tale evento.



Figura 25 - mappa dei terremoti antecedenti l'evento del 26 dicembre 2018.

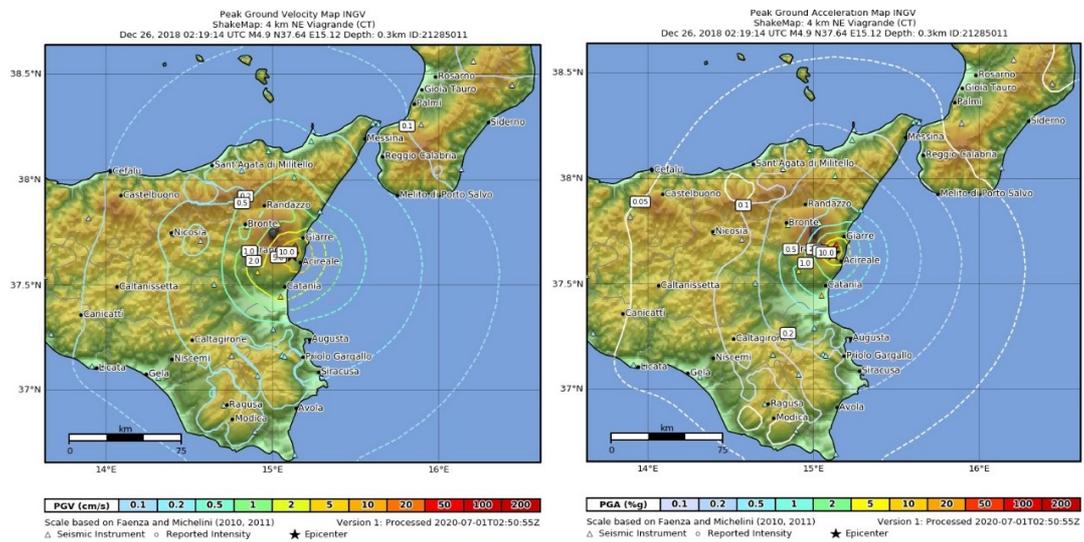


Figura 26 - variazione di velocità e accelerazione massime al suolo, terremoto 26 dicembre 2018.

La zona maggiormente colpita ha interessato il comune di Zafferana Etnea, in particolare le frazioni di Fleri e Pennisi, dove si sono riscontrati numerosi danni al manto stradale e crolli, totali o parziali, di edifici, come testimoniano le *figure 27, 28, 29, 30, 31 e 32* riportate di seguito.



Figura 27 - crollo edificio ad uso abitativo, frazione di Fleri (ingvterremoti.com [8]).



Figura 28 - crepa sul manto stradale, frazione di Fleri (ingvterremoti.com [8]).



Figura 29 - danneggiamenti a strutture verticali su edificio in costruzione(ingvterremoti.com [8]).



Figura 30 - crepe sulla facciata della chiesa di sant'Agata di Fleri (archiviobollettino.unict.it [10]).



Figura 31 - crepe su manto stradale e suolo, Pennisi (ingvterremoti.com [8]).



Figura 32 - crepe su suolo, Pennisi (ingvterremoti.com [8]).

A seguito del sisma si è avviata una campagna di rilievo danni, condotta da tecnici ed esperti e facendo uso delle schede AeDES di I livello, le quali hanno consentito di esprimere un giudizio circa l'agibilità degli edifici colpiti. Raccolti i dati, sono stati inseriti sul portale ERIKUS con l'obiettivo di ottenere un quadro completo dell'emergenza e poter intraprendere, in tempi brevi, manovre per la salvaguardia della vita dei cittadini.

3. CAPITOLO 3: CREAZIONE DEL DATABASE

3.1. Modalità di raccolta dati

Lo studio condotto ha riguardato la campagna di rilievo danni, effettuata tramite l'utilizzo delle schede AeDES di I livello, sugli edifici colpiti dal sisma del 26 dicembre 2018. L'evento ha interessato gran parte dei comuni etnei, tra cui Zafferana Etnea e Santa Venerina, i cui rilievi hanno avuto una durata di circa 4 mesi, a partire da fine dicembre 2018 fino ad aprile 2019. Gli esiti di agibilità, assegnati dalle squadre incaricate durante i sopralluoghi, sono stati riportati sul portale ERIKUS, tralasciando, però, le informazioni riguardanti le caratteristiche degli aggregati strutturali rilevati. Per tale motivo, al fine di eseguire le analisi presenti nel capitolo successivo, è stato necessario reperire le schede AeDES di I livello dei comuni oggetto dello studio, schede archiviate presso una delle sedi del Dipartimento della Protezione Civile siciliana, a San Giovanni la Punta (CT).

A causa della presenza di dati anagrafici riferiti ai proprietari degli immobili, e considerata la legge sulla privacy, l'unica modalità per avere accesso alle informazioni contenute nelle schede, è stata quella di recarsi in loco e procedere, mediante l'utilizzo dello scanner, alla creazione di documenti in formato .pdf. Il numero di schede raccolte è di circa 1100 per il comune di Santa Venerina e di circa 2700 per Zafferana Etnea, per un totale di quasi 4000 schede.

3.2. Caricamento dati

Collegandosi al sito di ERIKUS tramite le credenziali fornite, è possibile visualizzare la mappa dell'area della Sicilia interessata, con le relative istanze puntiformi, il cui numero, per tutta la provincia di Catania, è di 5355, di cui 2872 riferite ai comuni di Zafferana Etnea e Santa Venerina (figura 33).

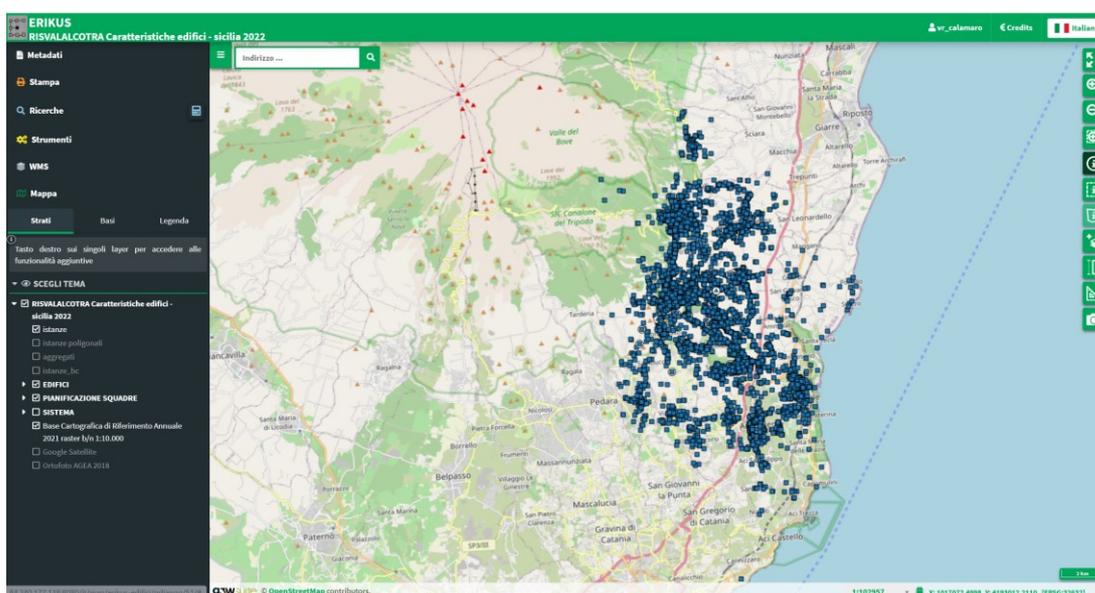


Figura 33 - interfaccia area di lavoro ERIKUS.

Ciascuna istanza identifica un aggregato strutturale a cui è associato il numero di protocollo della scheda AeDES corrispondente, con il relativo giudizio di agibilità. Selezionando un punto tra questi, si apre una finestra su cui sono riportati i vari campi da compilare con le informazioni richieste. Tali campi riproducono quelli costituenti le sezioni 1, 2, 3, 8 e 9 della scheda AeDES (figura 34, 35, 36, 37).

	istanza	data istanza	evento
	1532	NULL	2019-12-31

Sezione 1	Sezione 2	Sezione 3	Sezione 9	Autore
istanza				
istanza	1532	data istanza	NULL	
evento				
2019-12-31				
regione				
NULL				
provincia				
NULL				
comune				
NULL				
frazione				
NULL				
denominazione				
NULL				
indirizzo				
indirizzo	NULL	civico	NULL	
Dati catastali				
foglio	NULL	allegato	NULL	
particelle	NULL	subalterno	NULL	
Identificazione del fabbricato				
aggregato	NULL	sub aggregato	NULL	edificio NULL
posizione 0 - Non determinato				

Figura 34 - sezione 1 portale ERIKUS.

	istanza	data istanza	evento
	1532	NULL	2019-12-31

Sezione 1	Sezione 2	Sezione 3	Sezione 9	Autore
descrizione edificio				
n. piani	0 - Non determinato	n. piani interrati	(0)	
superficie	0 - Non determinato	altezza	0 - Non determinato	
anno costruzione e intervento strutturale				
anno costruzione	0 - Non determinato	anno intervento	0 - Non determinato	
destinazione d'uso				
uso	0 - Non determinato	n. unità d'uso	0	
uso	0 - Non determinato	n. unità d'uso	0	
uso				
uso (bdtre)	0 - Non determinato			
utilizzo	0 - Non determinato			
tipologia (BDTRE)	0 - Non determinato			
tipologia	0 - Non determinato			
stato (bdtre)	0 - Non determinato			
proprietà	0 - Non determinato			

Figura 35 - sezione 2 portale ERIKUS.

Sezione 1	Sezione 2	Sezione 3	Sezione 9	Autore
Tipologia strutturale prevalente				
Struttura verticale				
tipologia strutturale verticale prevalente		0 - Non determinato		
Struttura orizzontale				
tipologia strutturale orizzontale prevalente		(0)		
Copertura				
tipologia strutturale copertura		0 - Non determinato		
geometria copertura		NULL		
regolarità in elevazione		NULL		
regolarità in pianta		NULL		
struttura mista		0 - Non determinato		
Strutture in muratura				
spessore muratura		0		
Strutture intelaiate				
distribuzione degli elementi strutturali		NULL		
piano debole		NULL		
elementi tozzi		NULL		
regolarità delle tamponature		0 - Non determinato		
stato di conservazione		NULL		
finiture		NULL		

Figura 36 - sezione 3 portale ERIKUS.

	istanza	data istanza	evento																																								
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> 📍 ⬇️ 🗑️ ✓️ 🔗 ✎ 1532 NULL 2019-12-31 </div>																																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Sezione 1</th> <th>Sezione 2</th> <th>Sezione 3</th> <th>Sezione 9</th> <th>Autore</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">n. squadra</td> <td colspan="3">NULL</td> </tr> <tr> <td colspan="2">rilevatori</td> <td colspan="3">NULL</td> </tr> <tr> <td colspan="5">scheda Aedes</td> </tr> <tr> <td>n. aedes</td> <td>NULL</td> <td>data aedes</td> <td colspan="2">NULL</td> </tr> <tr> <td colspan="2">esito</td> <td colspan="3">A. Edificio agibile</td> </tr> <tr> <td colspan="2">note</td> <td colspan="3">NULL</td> </tr> <tr> <td colspan="2">foto</td> <td colspan="3">NULL</td> </tr> </tbody> </table>				Sezione 1	Sezione 2	Sezione 3	Sezione 9	Autore	n. squadra		NULL			rilevatori		NULL			scheda Aedes					n. aedes	NULL	data aedes	NULL		esito		A. Edificio agibile			note		NULL			foto		NULL		
Sezione 1	Sezione 2	Sezione 3	Sezione 9	Autore																																							
n. squadra		NULL																																									
rilevatori		NULL																																									
scheda Aedes																																											
n. aedes	NULL	data aedes	NULL																																								
esito		A. Edificio agibile																																									
note		NULL																																									
foto		NULL																																									

Figura 37 - sezioni 8 e 9 portale ERIKUS.

Tramite il comando “Ricerche”, è possibile cercare il numero di protocollo indicato nella scheda ed individuare l’istanza corrispondente sulla mappa (esempio in *figura 38*).

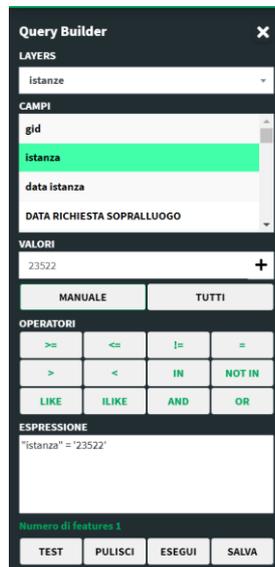


Figura 38 - ricerca istanza in ERIKUS.

Individuata l'istanza corrispondente, in automatico viene selezionata sulla mappa e viene aperta la finestra per la compilazione (figura 39).

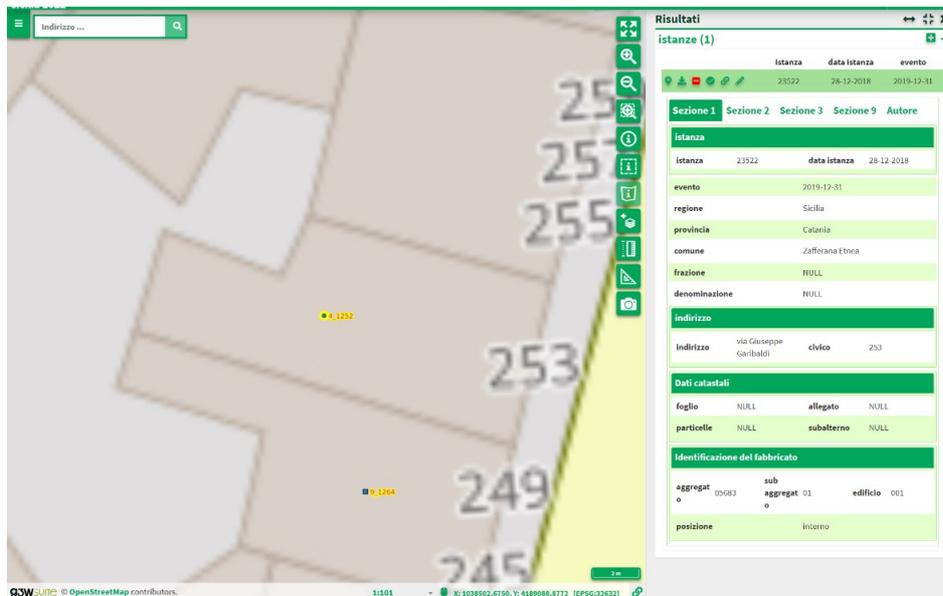


Figura 39 - individuazione istanza in ERIKUS.

Utilizzando il comando “Editing” è poi possibile modificare i campi contenuti nelle diverse sezioni. Nello specifico, si è provveduto ad inserire i dati mancanti:

- Sezione 1 – regione, provincia, frazione, indirizzo, numero civico, dati catastali, identificazione fabbricato e posizione; il comune è associato in automatico rispetto alla mappa sottostante;
- Sezione 2 – numero piani, numero piani interrati, superficie, altezza, anno costruzione e ristrutturazione, destinazione e numero di unità d’uso, tipo di proprietà, uso, tipologia, stato (questi ultimi tre secondo la classificazione nazionale dei dbtopografici);
- Sezione 3 – tipologia struttura verticale, orizzontale e della copertura, geometria della copertura, regolarità in elevazione, in pianta e delle tamponature, struttura mista, spessore muratura, distribuzione elementi strutturali, presenza di piano debole ed elementi tozzi, stato di conservazione e finiture;
- Sezione 9 – numero squadra, rilevatori, numero AeDES, note e foto.

Per le sezioni 2 e 3 e per alcuni campi della sezione 1, l’inserimento prevede di scegliere tra le opzioni proposte.

Viene mostrato, di seguito, un esempio di compilazione relativa ad un’istanza del comune di Zafferana Etnea (*figure 40, 41, 42, 43*).

istanza		data istanza		evento	
157		01-01-2019		2019-12-31	
Sezione 1 Sezione 2 Sezione 3 Sezione 9 Autore					
istanza					
istanza	157		data istanza	01-01-2019	
evento	2019-12-31				
regione	Sicilia				
provincia	Catania				
comune	Zafferana Etnea				
frazione	NULL				
denominazione	NULL				
indirizzo					
indirizzo	via Giuseppe Garibaldi		civico	245	
Dati catastali					
foglio	NULL		allegato	NULL	
particelle	NULL		subalterno	NULL	
Identificazione del fabbricato					
aggregato	05632	sub aggregato	01	edificio	001
posizione	interno				

Figura 40 - esempio di compilazione sezione 1.

istanza		data istanza		evento	
157		01-01-2019		2019-12-31	
Sezione 1 Sezione 2 Sezione 3 Sezione 9 Autore					
descrizione edificio					
n. piani	2		n. piani interrati	0 piani interrati	
superficie	100 - 129		altezza	2.50 - 3.49	
anno costruzione e intervento strutturale					
anno costruzione	1919 - 1945		anno intervento	1982 - 1986	
destinazione d'uso					
uso	ABITATIVO		n. unità d'uso	2	
uso	0 - Non determinato		n. unità d'uso	0	
uso					
uso (bdtre)	abitativa				
utilizzo	> 65%				
tipologia (BDTRE)	edificio tipico				
tipologia	Edificio ordinario				
stato (bdtre)	costruito				
proprietà	Privata				

Figura 41 - esempio di compilazione sezione 2.

istanza	data istanza	evento
157	01-01-2019	2019-12-31

Sezione 1	Sezione 2	Sezione 3	Sezione 9	Autore
Tipologia strutturale prevalente				
Struttura verticale				
tipologia strutturale verticale prevalente	STRUTTURE IN MURATURA A TESSITURA IRREGOLARE E DI CATTIVA QUALITA' - CON CATENE E CORDOLI			
Struttura orizzontale				
tipologia strutturale orizzontale prevalente	TRAVI CON SOLETTA RIGIDA			
Copertura				
tipologia strutturale copertura	non spingente leggera			
geometria copertura	a più falde			
regolarità in elevazione	0 - Non determinato			
regolarità in pianta	0 - Non determinato			
struttura mista	G3-muratura in parallelo con telai			
Strutture in muratura				
spessore muratura	0			
Strutture intelaiate				
distribuzione degli elementi strutturali	pareti mododirezionali			
piano debole	Assenza di porticato			
elementi tozzi	assenti			
regolarità delle tamponature	0 - Non determinato			
stato di conservazione	mediocre			
finiture	0 - Non determinato			

Figura 42 - esempio di compilazione sezione 3.

istanza	data istanza	evento
157	01-01-2...	2019-12...

Sezione 1	Sezione 2	Sezione 3	Sezione 9	Autore
n. squadra			1264	
rilevatori			NULL	
scheda Aedes				
n. aedes	9	data aedes	10-01-2019	
esito			A. Edificio agibile	
note			NULL	
foto			NULL	

Figura 43 - esempio di compilazione sezione 9.

La procedura descritta precedentemente è stata eseguita per ciascuna istanza presente su ERIKUS, riscontrando non poche difficoltà. Innanzitutto, le schede raccolte erano in numero superiore rispetto alle istanze già inserite sul portale; in alcune non era indicato il numero di protocollo; in altre il protocollo era associato a più istanze; alcune schede risultavano, invece, compilate solo in parte. Per questi motivi, il numero di istanze su cui sono state condotte le analisi si è ridotto a circa 2100, a fronte delle 2872 di partenza.

Nonostante le problematiche evidenziate, i dati sono stati sufficienti per condurre valutazioni adeguate e affidabili. Il lavoro svolto, infatti, risulta di fondamentale importanza non solo per studi e ricerche successive, ma sarà utile anche per il Dipartimento di Protezione Civile siciliano, in quanto consentirà una consultazione, in formato digitale, più rapida e agevolata delle informazioni contenute nelle schede AeDES di I livello.

3.3. Modellazione in QGIS

Terminata la procedura di inserimento dati sul portale ERIKUS, il passo successivo ha riguardato la creazione del modello su QGIS, un'applicazione open source che permette di visualizzare, organizzare, analizzare e rappresentare dati spaziali. Inizialmente, si è provveduto ad importare la mappa della regione Sicilia tramite Google Maps, i limiti amministrativi comunali estrapolati dal geoportale siciliano e il sistema di faglie e fratturazioni al suolo, localizzate lungo il versante orientale dell'Etna, ricavati dal sito della Protezione Civile siciliana, come mostrano le *figure 44, 45 e 46*.



Figura 44 - mappa Sicilia in QGIS.

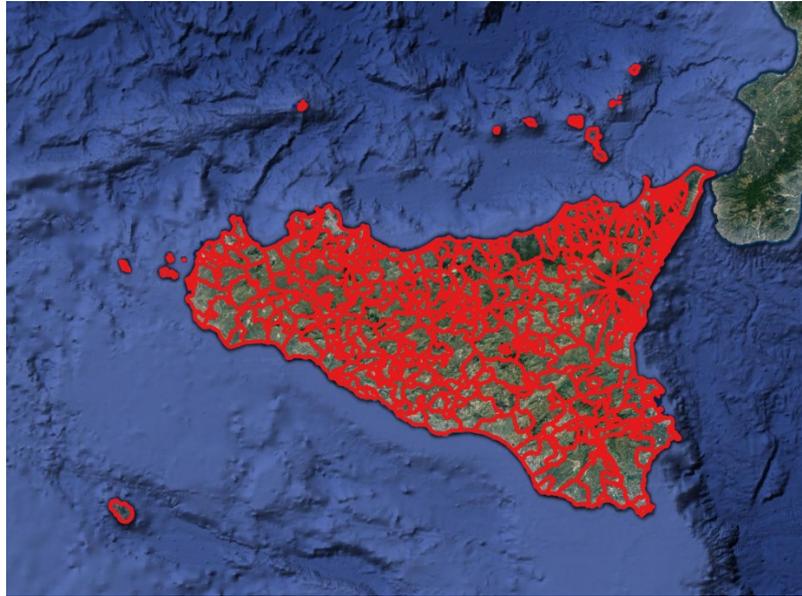


Figura 45 - limiti comunali regionali in QGIS (Dipartimento di Protezione Civile Siciliana).



Figura 46 - faglie e fratturazioni al suolo in QGIS (Dipartimento di Protezione Civile Siciliana).

Successivamente, è stato esportato il progetto ERIKUS con le relative informazioni (tabella attributi) nel formato .gpkg per importarlo in QGIS (figura 47).

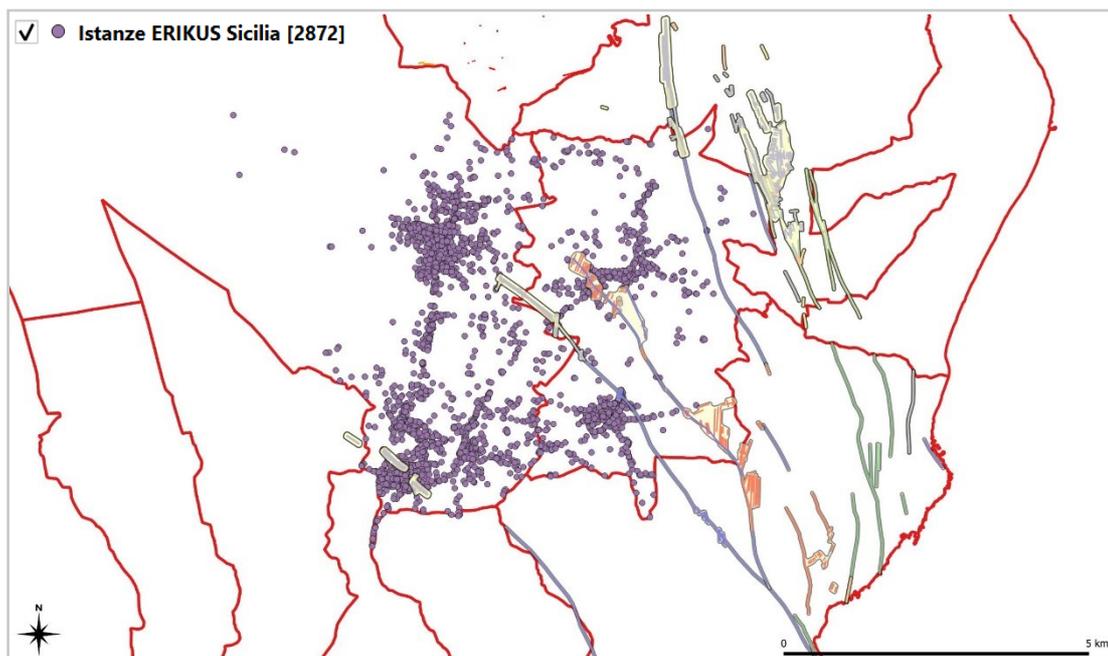


Figura 47 - istanze importate in QGIS.

Infine, la tabella attributi è stata convertita in formato Excel (.xlsx) al fine di avviare le analisi descritte nel capitolo 4.

4. CAPITOLO 4: ANALISI DEI DATI

4.1. Analisi per esito

Una volta creato il database in ERIKUS, è stato possibile avviare delle analisi e, successivamente, trarre alcune considerazioni circa l'esito di agibilità e le caratteristiche principali degli edifici in questione, evidenziando le eventuali relazioni che intercorrono tra questi.

Le istanze esaminate sono 2872 e rappresentano il 53,63% delle istanze totali riguardanti la campagna di rilievo condotta nei paesi etnei, in occasione dell'evento del 26/12/2018 (5355).

Da una prima analisi (*figura 48*) si evince come gli edifici con esito di agibilità A (*agibile*) siano in numero maggiore rispetto a quelli con esito E (*inagibile*). Nello specifico, come mostrato nell'istogramma in *figura 49*:

- 51% degli edifici ispezionati agibile;
- 0,97% agibile dal punto di vista strutturale ma inagibile per rischio esterno (esito A-F);
- 16,68% temporaneamente inagibile (in tutto o in parte) ma agibile con provvedimenti di pronto intervento (esito B);
- 0,38% temporaneamente inagibile dal punto di vista strutturale ma inagibile per rischio esterno (esito B-F);
- 7% parzialmente inagibile (esito C);
- 0,28% parzialmente inagibile dal punto di vista strutturale e inagibile per rischio esterno (esito C-F);
- 0,52% temporaneamente inagibile da rivedere con approfondimenti (esito D);

- 0,03% temporaneamente inagibile dal punto di vista strutturale e inagibile per rischio esterno (esito D-F);
- 17,69% inagibile (esito E);
- 1,64% inagibile dal punto di vista strutturale e inagibile per rischio esterno (esito E-F);
- 0,10% inagibile per rischio esterno (esito F);
- 3,68% non determinato.

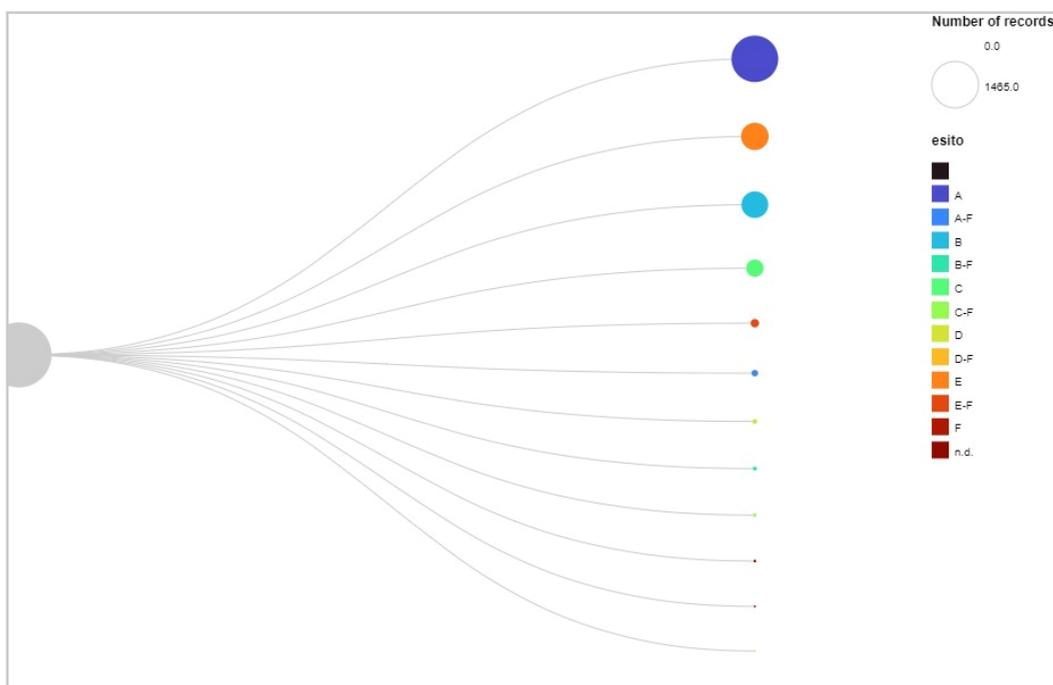


Figura 48 - diagramma ad albero esiti di agibilità, in RAWGraphs 2.0.

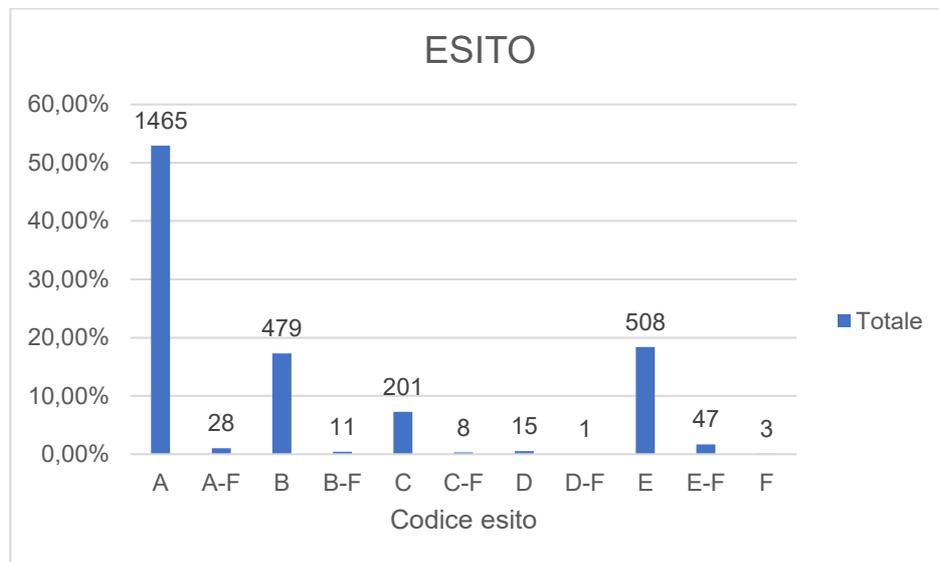


Figura 49 - istogramma esiti di agibilità. Vedi Tabella 12.

4.2. Analisi per caratteristiche

Di seguito vengono riportate le analisi relative ad alcuni campi riguardanti le caratteristiche costruttive e strutturali del fabbricato, desunti dalle schede AeDES, che possono rivelarsi determinanti per lo studio e che hanno prodotto risultati significativi. Per quanto riguarda i grafici relativi ai campi rimanenti, vedasi *allegato*.

4.2.1. Anno di costruzione

L'anno di costruzione (*figura 50*) della maggior parte degli immobili oggetto dei rilievi può essere collocato in un intervallo di tempo compreso, rispettivamente, tra gli anni antecedenti al 1919 e il 1986, più precisamente:

- 12% circa prima del 1919;
- 13,76% tra il 1919 e il 1945;

- 12% tra il 1946 e il 1961;
- 13,38% tra il 1962 e il 1971;
- 8,64% tra il 1972 e il 1975;
- 11,22% tra il 1976 e il 1981;
- 11,17% tra il 1982 e il 1986.

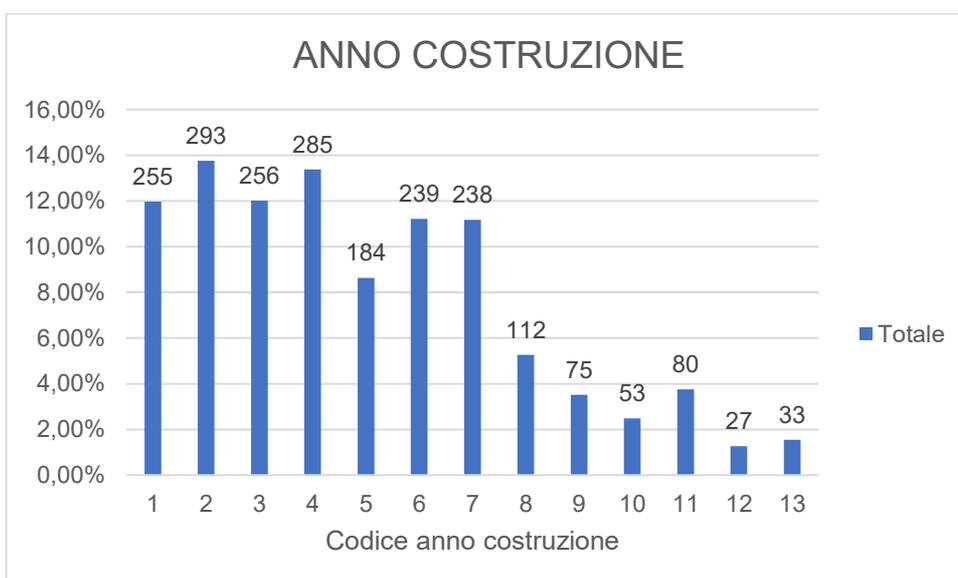


Figura 50 - istogramma anno di costruzione, casi totali. Vedi Tabella 2.

4.2.2. Numero di piani

La maggioranza dei casi rilevati possiede un numero di piani compresi tra 1 e 3, con il 26,58% di edifici con 1 piano, il 36,75% con 2 piani e il 24,87% con 3 piani (figura 51).

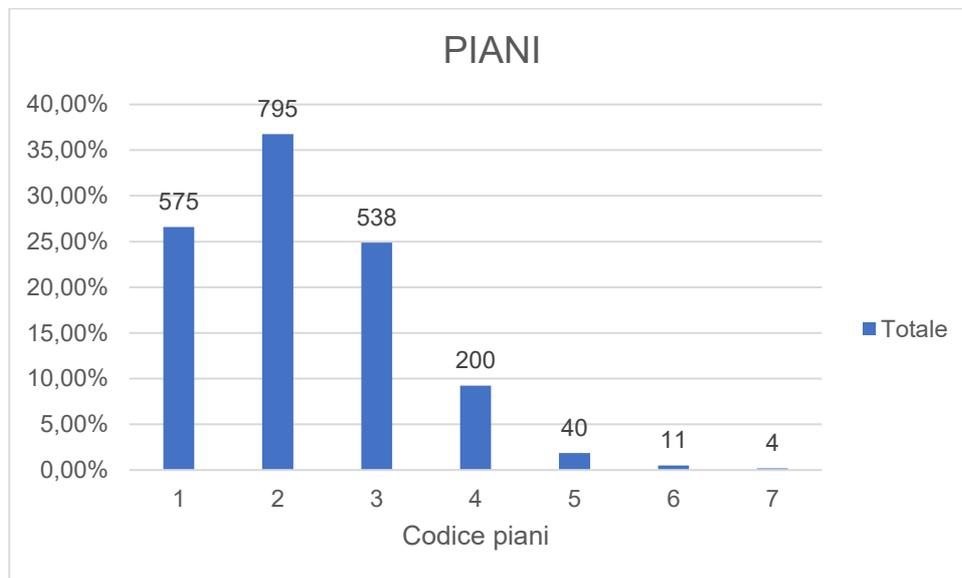


Figura 51 - istogramma numero di piani, casi totali. Vedi Tabella 1.

4.2.3. Tipologia strutturale

Riguardo la tipologia di struttura con cui sono costruiti gli edifici, si evince che il 58,15% presenta una struttura verticale di telai in c.a. (*figura 52*), mentre il 71,47% ha una struttura orizzontale costituita da travi con soletta rigida (*figura 53*).

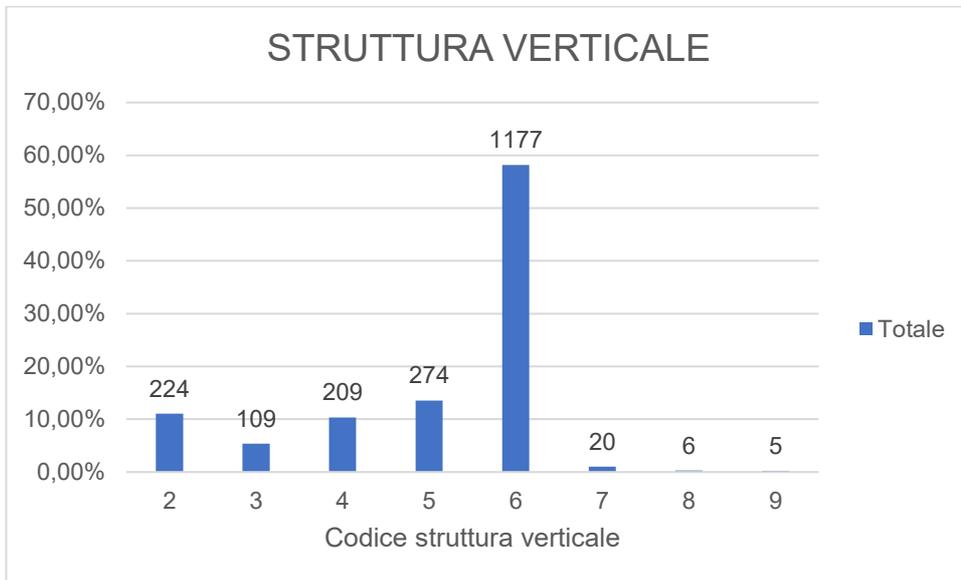


Figura 52 - istogramma tipologia di struttura verticale, casi totali. Vedi Tabella 11.

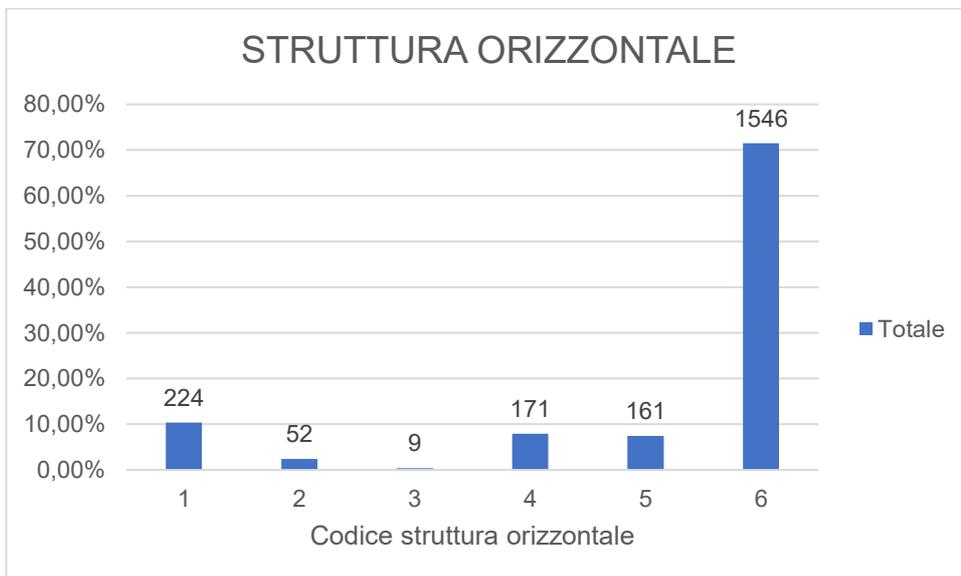


Figura 53 - istogramma tipologia di struttura orizzontale, casi totali. Vedi Tabella 9.

4.2.4. Copertura

La tipologia di copertura (figura 54) varia omogeneamente tra *non spingente pesante* (33%), *spingente leggera* (31,90%) e *non spingente leggera* (29%) con una percentuale molto bassa di copertura *spingente pesante* (5,97%).

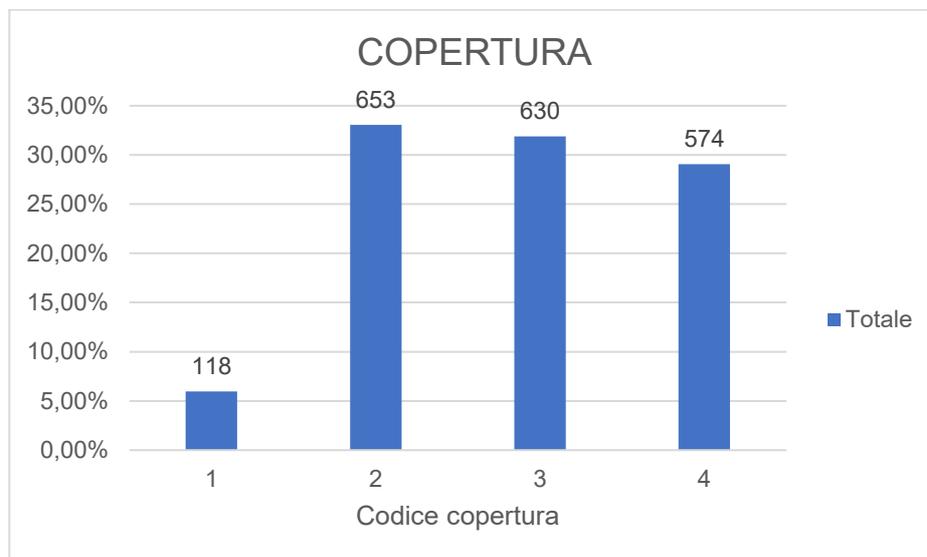


Figura 54 - istogramma tipologia costruttiva copertura, casi totali. Vedi Tabella 10.

4.3. Analisi per classi di esito

Al fine di condurre le analisi successive si è ritenuto opportuno accorpate i risultati delle istanze in due classi (*Agibile – Inagibile*) poiché l'esito F (*rischio esterno*), sia nel caso di agibilità che inagibilità, non interessa proprietà caratterizzanti gli edifici rilevati, ma fattori esterni:

- Classe degli edifici *Agibili* (esito A, A-F, B e B-F);
- Classe degli edifici *Inagibili* (C, C-F, D, D-F, E, E-F ed F).

Con tale classificazione, il totale degli edifici *agibili* è del 69,05% contro il 27,26% di quelli *inagibili*, con una percentuale del 3,69% di istanze il cui esito non è determinato (figura 55 e 56).

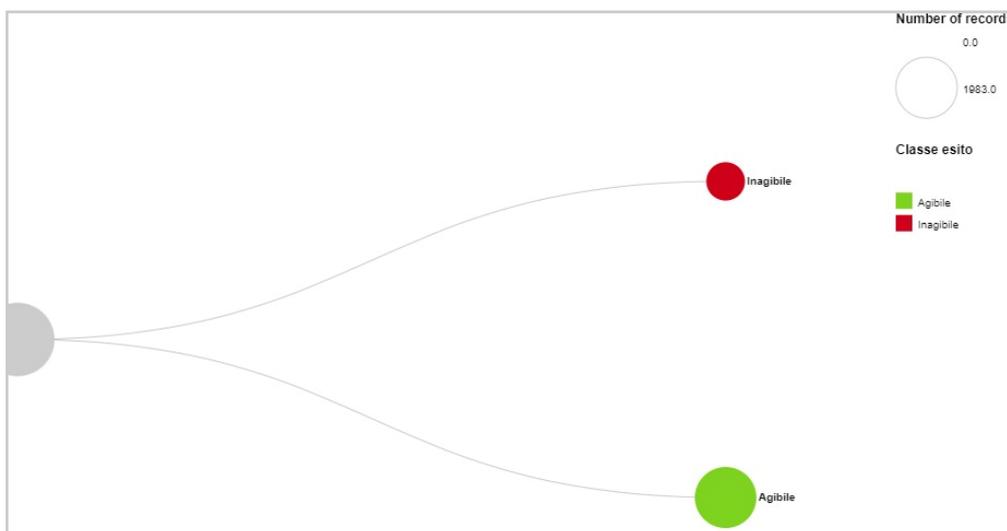


Figura 55 - diagramma ad albero distinzione tra casi Agibili e casi Inagibili, in RAWGraphs 2.0.

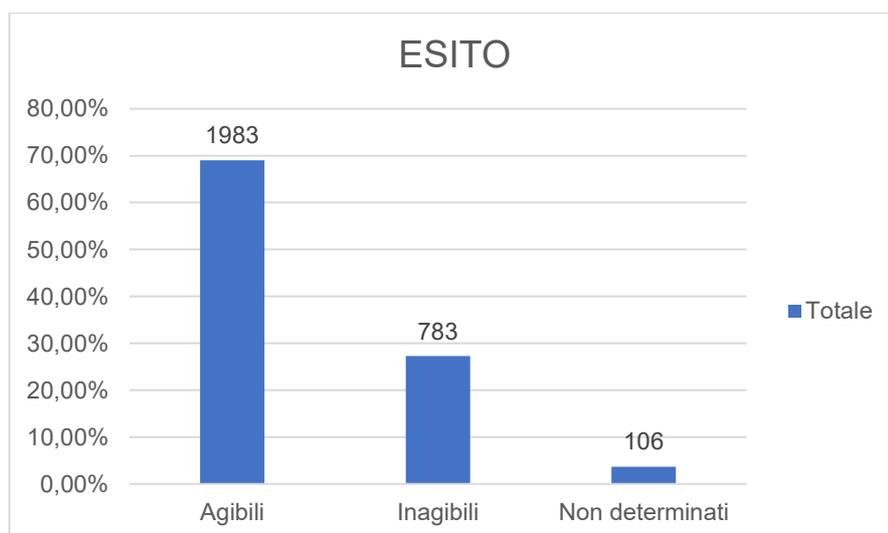


Figura 56 - istogramma percentuali casi raggruppati in Agibili e Inagibili.

4.3.1. Edifici con esito *Agibile*

La maggior parte degli immobili definiti *agibili* è stata costruita tra il 1919 e il 1986, con il 13,75% costruiti tra il 1962 e il 1971 e il 13% tra il 1982 e il 1986 (*figura 57*).

Per quanto riguarda il numero di piani, il 20,42% possiede 1 piano, il 37,76% 2 piani, il 28,52% 3 piani, il 10% 4 piani, mentre una bassissima percentuale ne possiede più di 4 (*figura 58*).

Analizzando la tipologia strutturale, la quasi totalità presenta *struttura verticale con telai in c.a. e struttura orizzontale composta da travi con soletta rigida* (*figure 59 e 60*).

Per la copertura, infine, si ha il 5,11% di tipo *spingente pesante*, il 37,61% *non spingente pesante*, il 27,66% *spingente leggera* e il restante 29,62% *non spingente leggera* (*figura 61*).

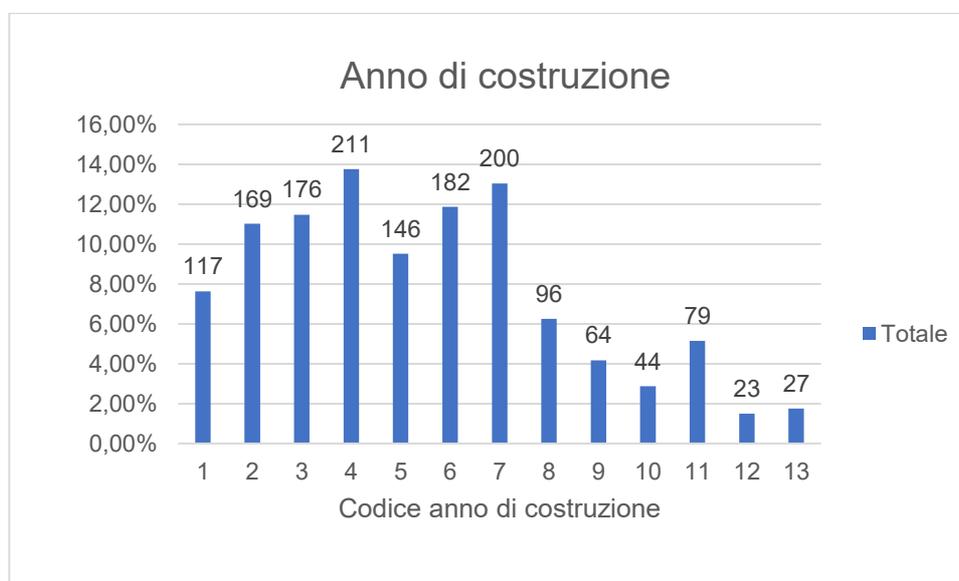


Figura 57 - anno di costruzione, casi *agibili*. Vedi Tabella 2.

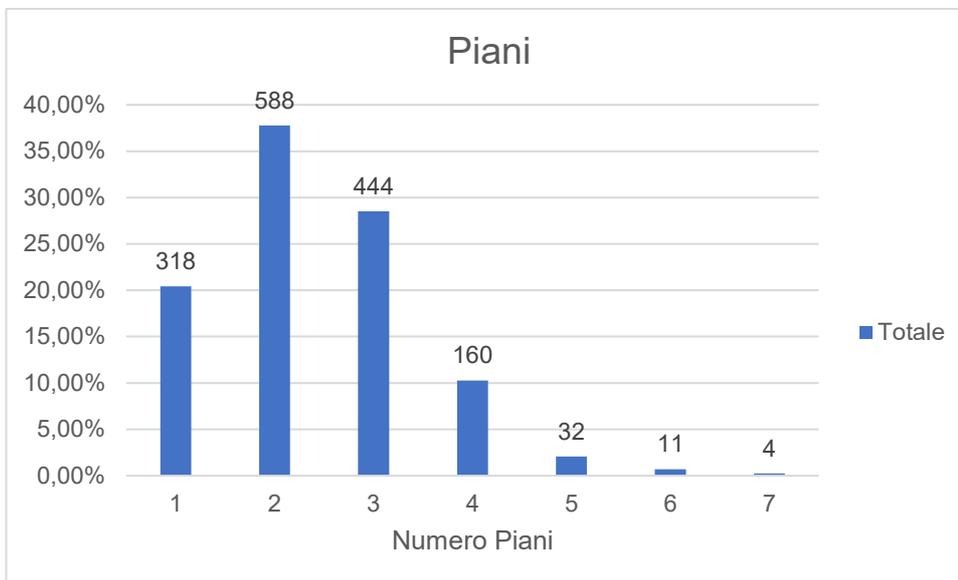


Figura 58 - numero di piani, casi agibili. Vedi Tabella 1.

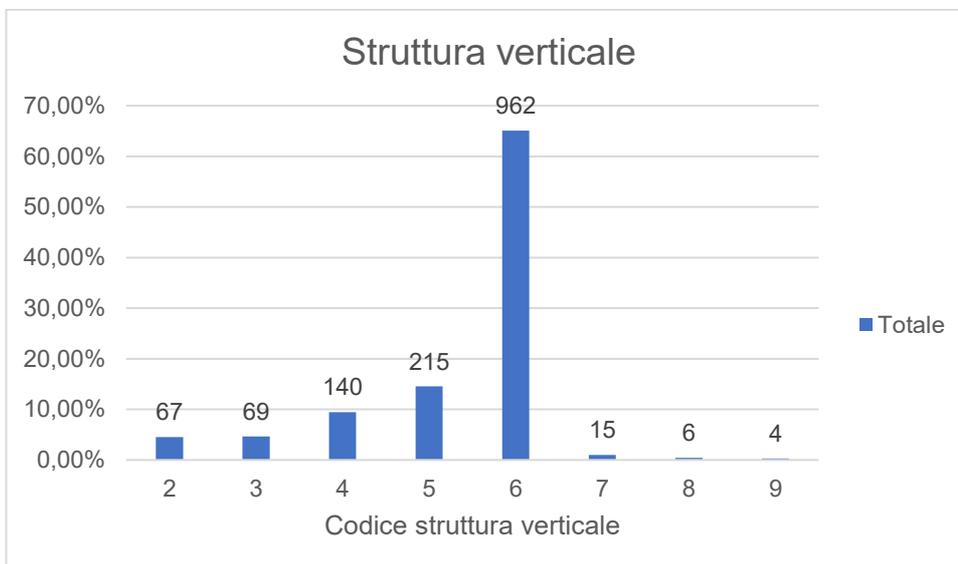


Figura 59 - tipologia di struttura verticale, casi agibili. Vedi Tabella 11.

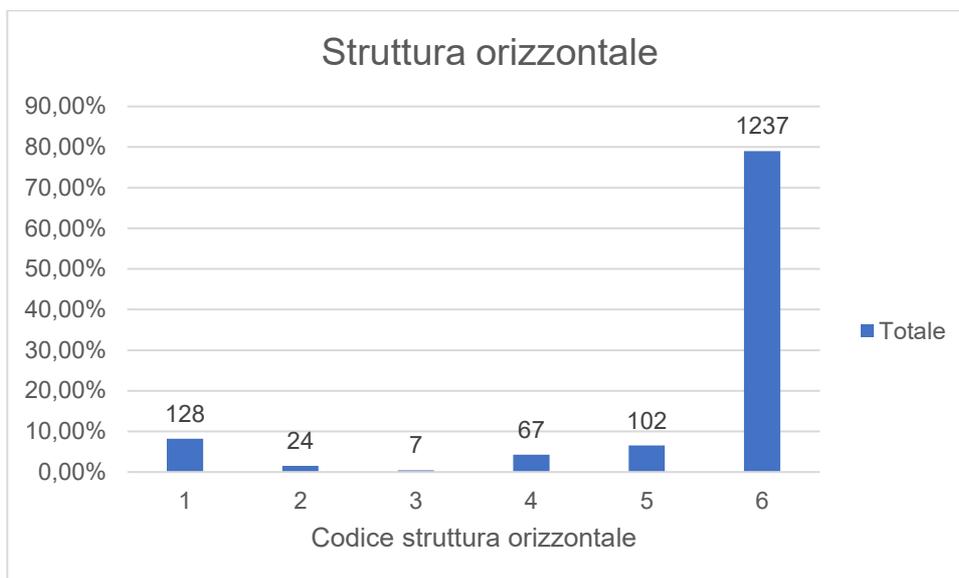


Figura 60 - tipologia di struttura orizzontale, casi agibili. Vedi Tabella 9.

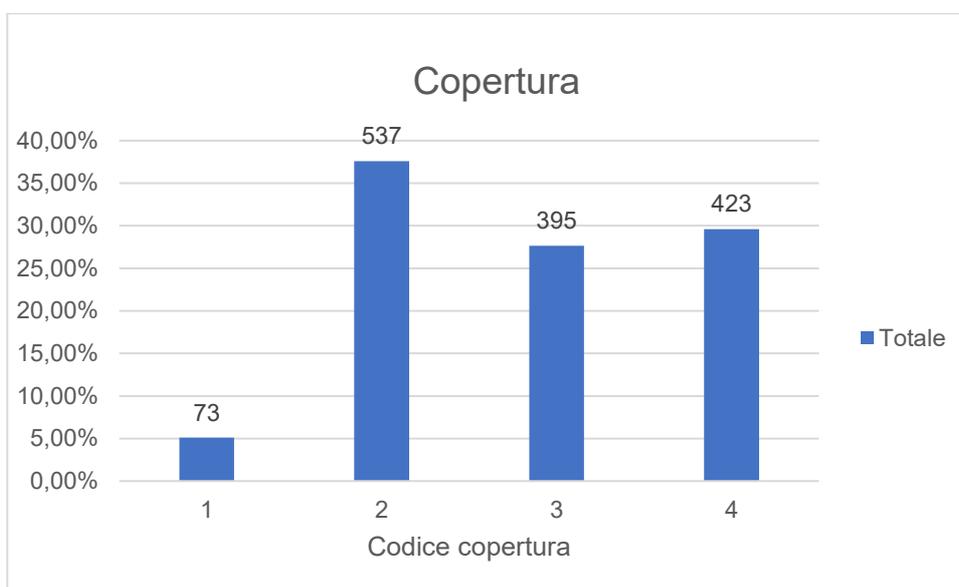


Figura 61 - tipologia costruttiva copertura, casi agibili. Vedi Tabella 10.

Tramite QGIS, è possibile osservare, inoltre, come gli edifici agibili non siano collocati in una particolare zona, ma siano distribuiti su tutto il territorio analizzato. (figura 62).

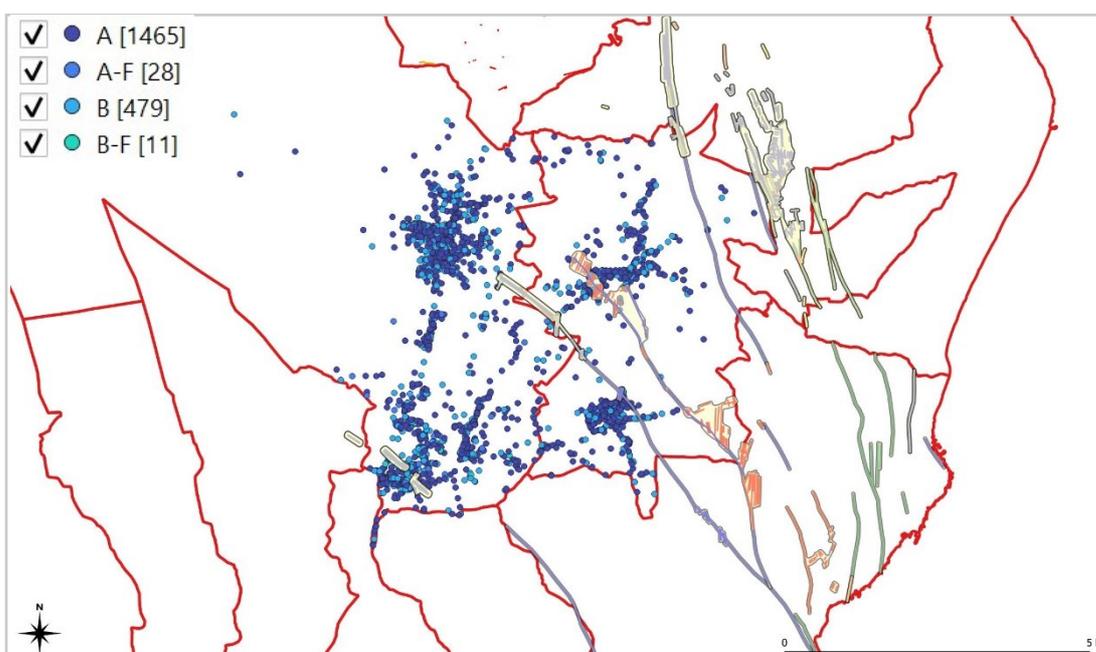


Figura 62 - distribuzione spaziale casi agibili in QGIS.

4.3.2. Edifici con esito *Inagibile*

Per gli edifici *inagibili*, si nota come la maggior parte di essi sia stata costruita tra gli anni compresi tra quelli precedenti al 1919 e il 1945, risultando meno recenti rispetto a quelli *agibili* (figura 63).

La maggioranza presenta un numero di piani compreso tra 1 e 2, rispettivamente il 42,33% e il 34% (figura 64); la tipologia di *struttura verticale* prevalente è quella dei *telai in c.a.* (39,5%), con una buona percentuale (29%) di edifici costruiti in *muratura a tessitura irregolare senza catene o cordoli* (figura 65), mentre la *struttura orizzontale* (figura 66) è costituita principalmente da *travi con soletta rigida* (51,7%).

La tipologia costruttiva della copertura prevalente è *spingente leggera* (figura 67).



Figura 63 - anno di costruzione, casi inagibili. Vedi Tabella 2

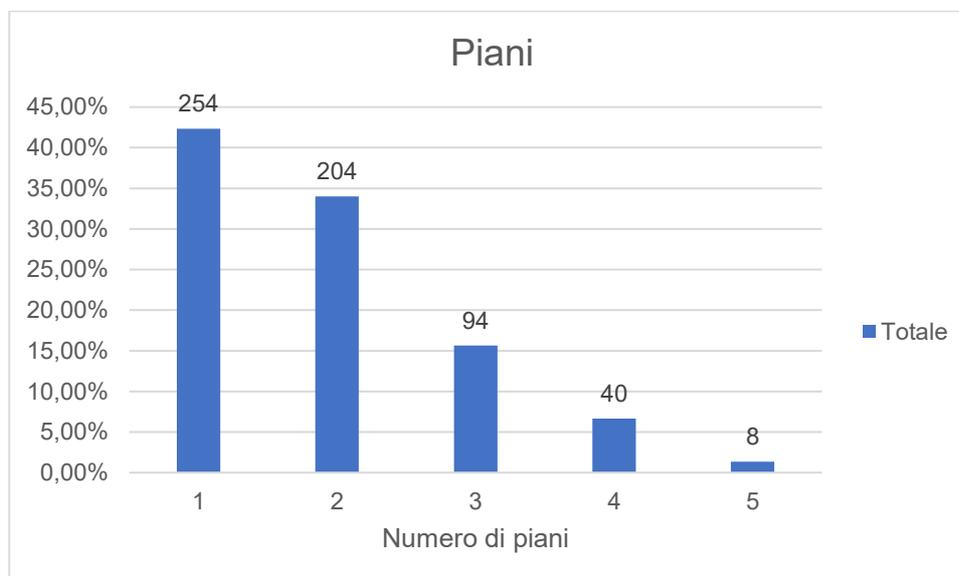


Figura 64 - numero di piani, casi inagibili. Vedi Tabella 1.

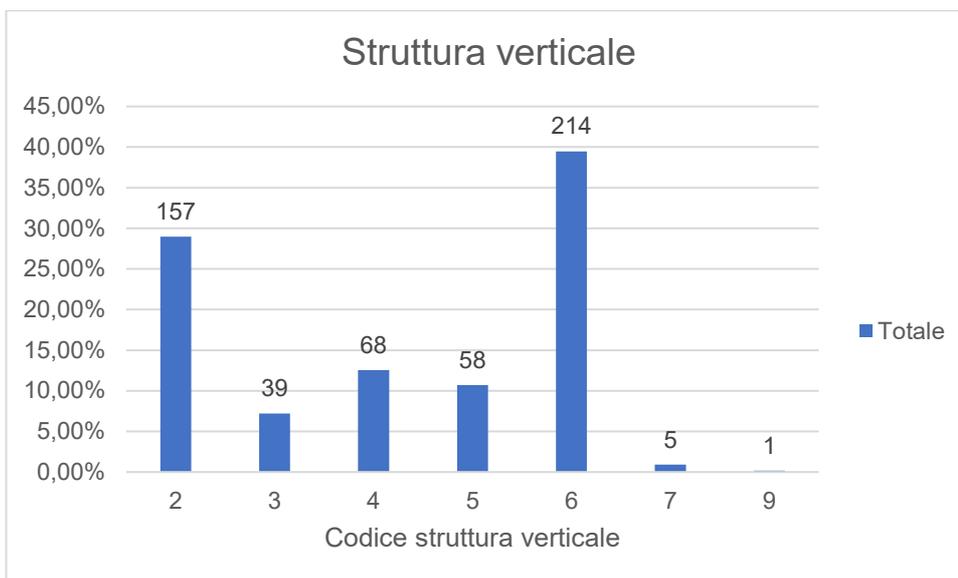


Figura 65 - tipologia di struttura verticale, casi inagibili. Vedi Tabella 11.

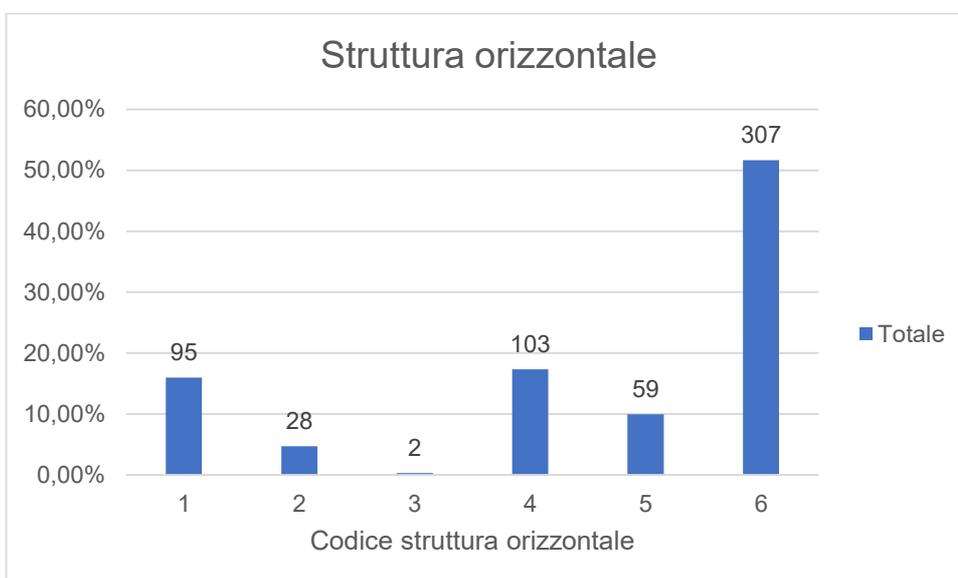


Figura 66 - tipologia di struttura orizzontale, casi inagibili. Vedi Tabella 9.

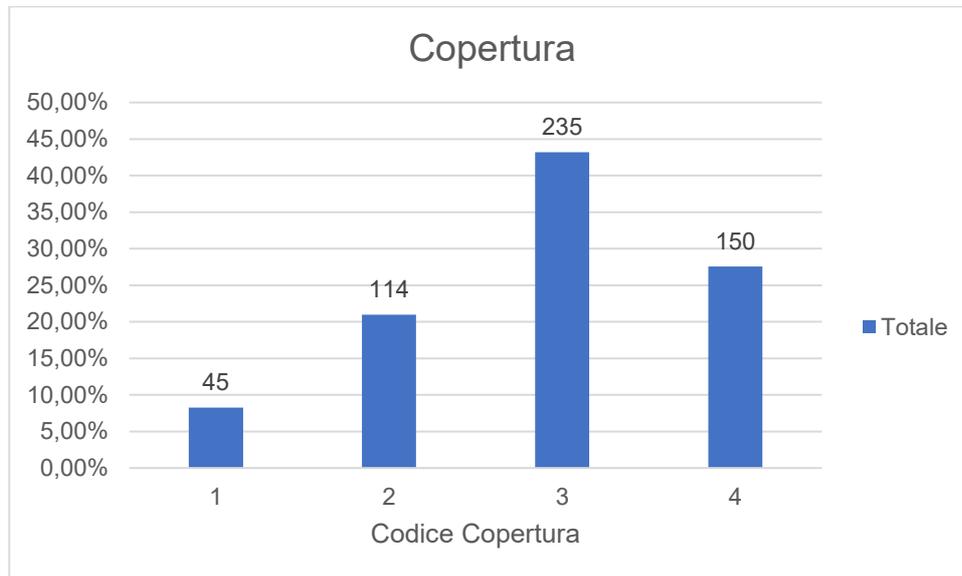


Figura 67 - tipologia costruttiva copertura, casi inagibili. Vedi Tabella 10.

Su QGIS si osserva che gli edifici inagibili sono localizzati su tutto il territorio analizzato, con una particolare concentrazione nella zona sud del comune di Zafferana Etnea, in prossimità di una faglia (*figura 68*).

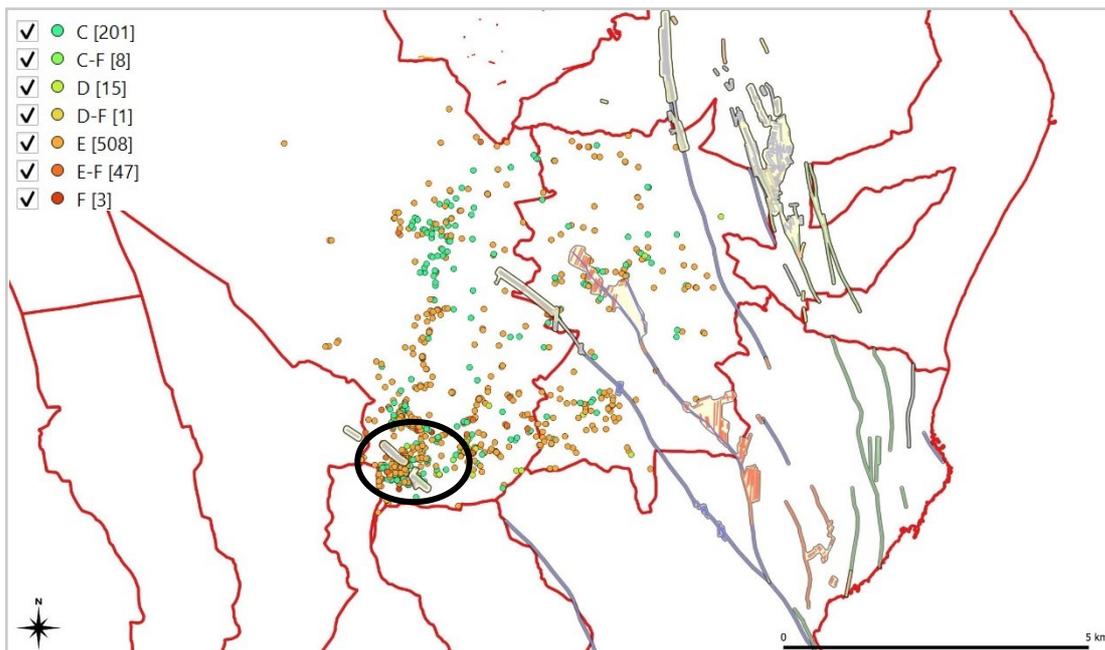


Figura 68 - distribuzione spaziale casi inagibili in QGIS.

Dalle analisi preliminari descritte fino ad ora, si evince che, tra gli edifici agibili e inagibili, esiste una certa analogia per ciò che riguarda il numero di piani, la tipologia di struttura orizzontale e il tipo di copertura, osservazione che sembra dimostrare la non influenza di tali caratteristiche nella definizione dell'esito di agibilità. I campi anno di costruzione e tipologia di struttura verticale, invece, potrebbero condizionare l'esito di agibilità, avendo rilevato risultati leggermente differenti tra le due classi di esito (figura 69 e 70).

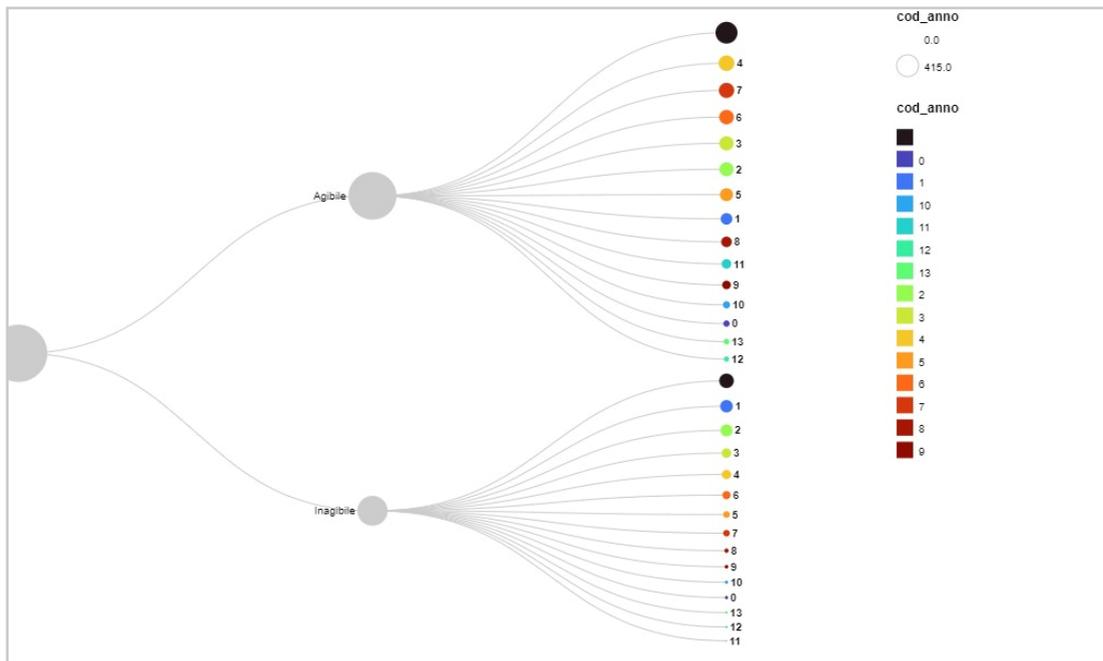


Figura 69 - confronto anno di costruzione tra le due classi, in RAWGraphs 2.0.

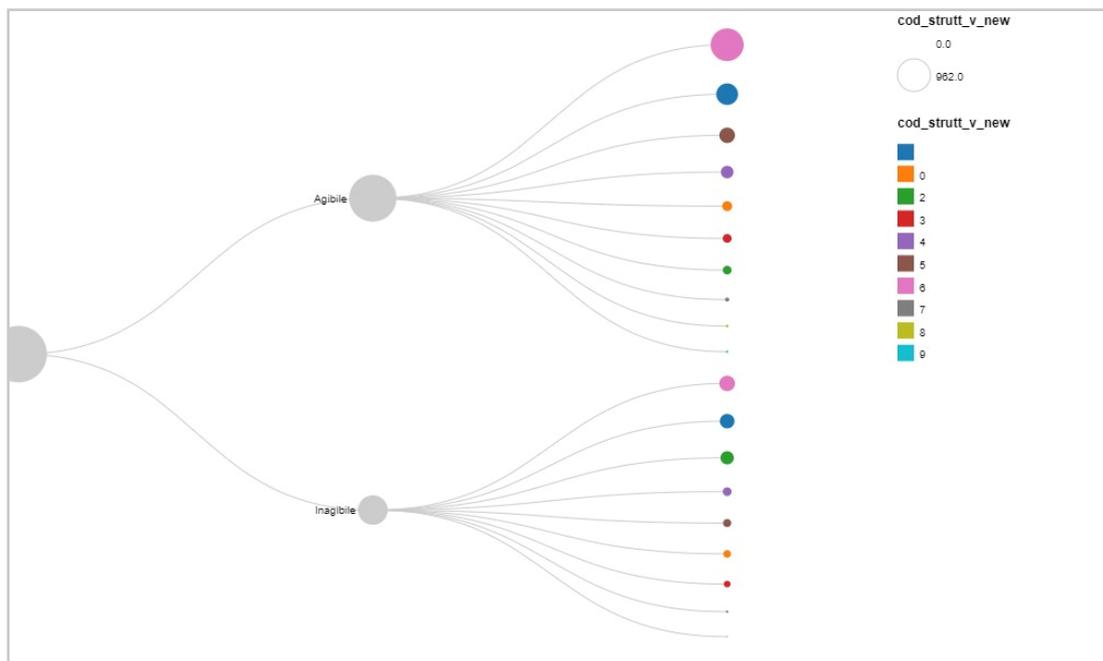


Figura 70 - confronto struttura verticale tra le due classi, in RAWGraphs 2.0.

4.4. Relazione tra le caratteristiche degli edifici

Il passo successivo è stato individuare possibili correlazioni tra le varie caratteristiche degli edifici, analizzandole a coppie. Il metodo utilizzato è stato quello di creare dei grafici con trama di contorno (*contour plot*), eseguiti tramite RAWGraphs 2.0 (<https://www.rawgraphs.io/>), in modo da evidenziare la distribuzione dei dati. Dall'analisi condotta si evince una eventuale correlazione tra l'anno di costruzione e la tipologia di struttura verticale. Per gli edifici ritenuti *agibili* si può notare, infatti, come quelli costruiti da prima del 1919 al 1961 presentano una *struttura verticale in muratura a tessitura regolare*, mentre dal 1961 in poi, la tipologia strutturale prevalente è quella dei *telai in c.a.* (*figura 71*). Andamento simile presentano anche gli edifici *inagibili*, ma la tipologia di muratura per gli edifici costruiti da prima del 1919 al 1961 è a *tessitura irregolare* (*figura 72*).

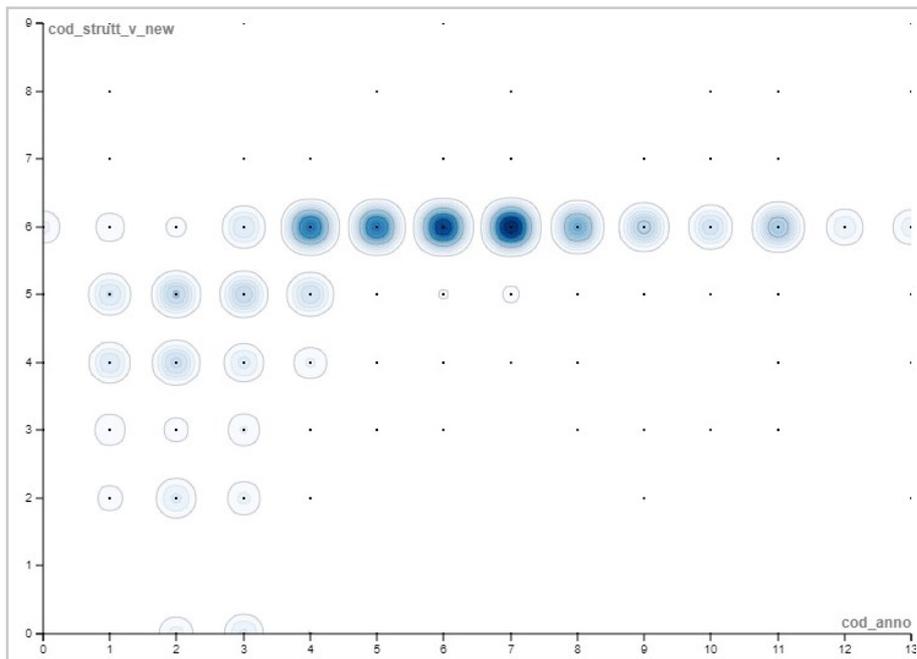


Figura 71 - relazione tra anno di costruzione e struttura verticale casi agibili, in RAWGraphs 2.0.
Vedi Tabella 1 e Tabella 11.

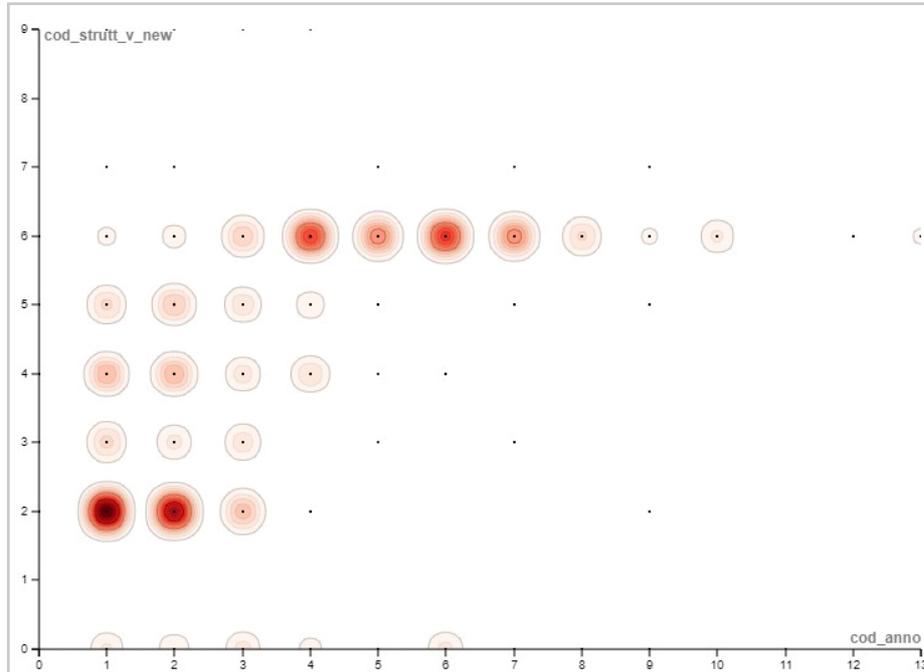


Figura 72 - relazione tra anno di costruzione e struttura verticale casi inagibili, in RAWGraphs 2.0.
Vedi Tabella 1 e Tabella 11.

Ulteriore correlazione da attenzionare è quella che lega l'anno di costruzione al numero dei piani dell'edificio. La maggior parte degli edifici *agibili* con anno di costruzione che va da prima del 1919 al 1961, ha in prevalenza 1 o 2 piani; si nota un cambio di tendenza, invece, per quelli costruiti dal 1961 in poi, la cui maggioranza ha un numero di piani compreso tra 2 e 3 (*figura 73*).

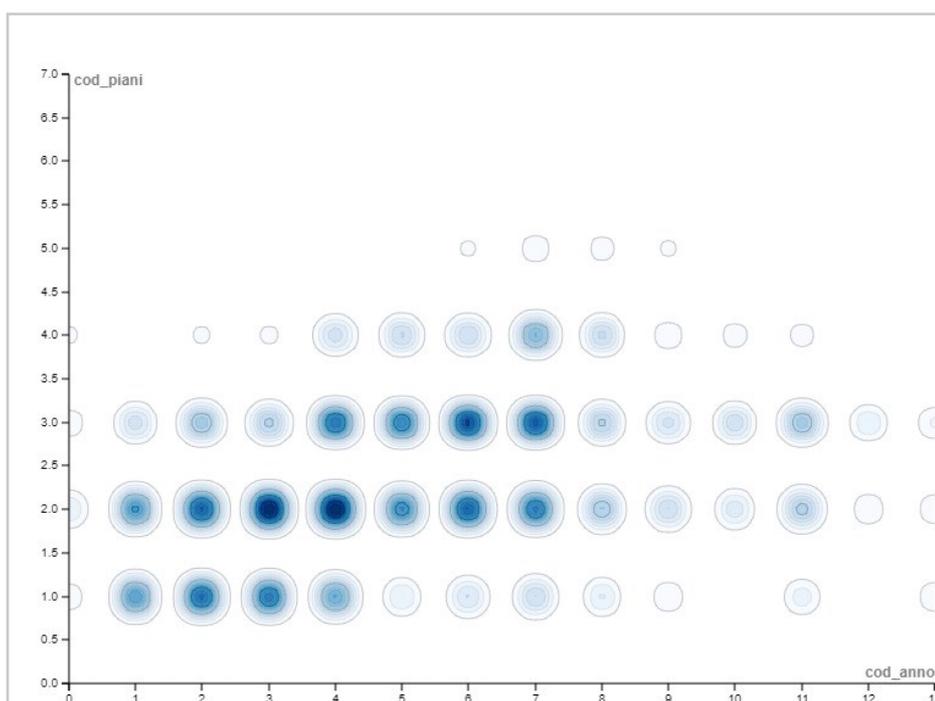


Figura 73 - relazione tra anno di costruzione e numero piani casi agibili, in RAWGraphs 2.0.
Vedi Tabella 1 e Tabella 2.

Per quanto riguarda gli edifici *inagibili*, quelli con anno di costruzione che va da prima del 1919 al 1945 si presentano in maggioranza con 1 piano; dal 1945 in poi, il numero di piani della maggior parte è compreso tra 2 e 3 piani (*figura 74*).

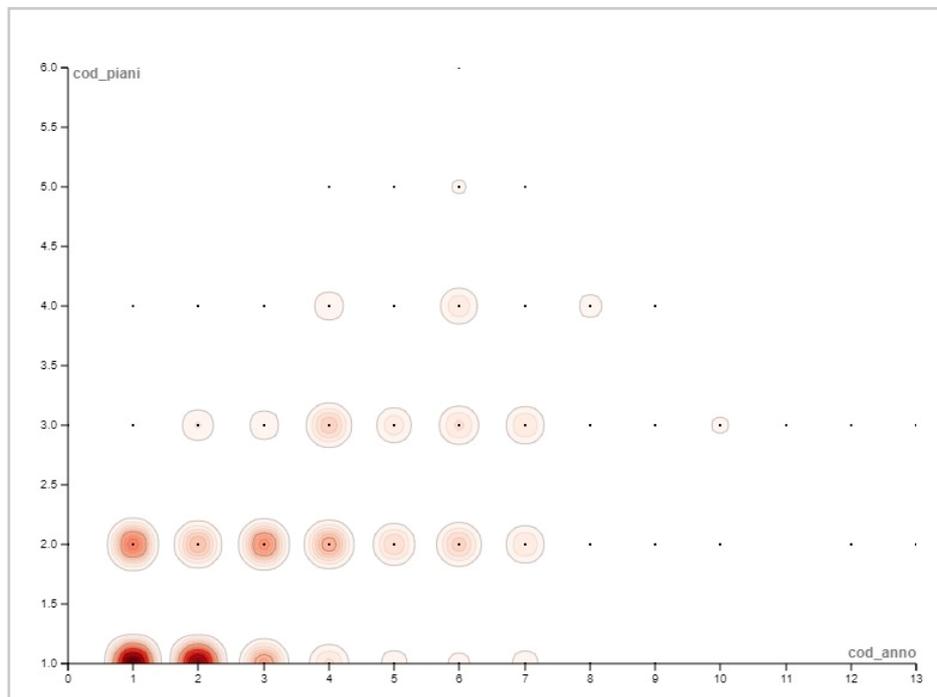


Figura 74 - relazione tra anno di costruzione e numero di piani casi inagibili, in RAWGraphs 2.0.
Vedi Tabella 1 e Tabella 2.

Dai grafici si potrebbe dedurre una dipendenza tra i campi esaminati. Tuttavia, si è preferito procedere con la successiva analisi statistica, in particolare l'analisi fattoriale, per evidenziare maggiormente una possibile relazione e valutare se tenerne conto ai fini degli studi successivi.

Sono state condotte ulteriori analisi, mettendo in relazione le restanti caratteristiche degli edifici, che non hanno prodotto alcun risultato significativo (vedasi *allegato*).

4.5. Analisi Statistica

4.5.1. Introduzione all'analisi

Per comprendere al meglio le analisi eseguite ed esposte in questo capitolo, occorre richiamare alcuni concetti fondamentali riguardanti i modelli statistici, nello specifico i modelli statistici predittivi. La metodologia dell'analisi predittiva consiste nell'esaminare i dati attuali e storici allo scopo di prevedere gli eventi futuri con conseguente costruzione di un modello matematico.

La modellizzazione, a partire da un insieme di variabili di input, permette di individuare la probabilità di risultati futuri delle variabili in esame e suggerire misure da adottare per ottenere risultati ottimali. Il modello identifica, quindi, le relazioni che legano le variabili, assegnando anche un punteggio in base agli elementi che è stato "addestrato" a cercare.

L'obiettivo è andare oltre la comprensione di cosa è successo per arrivare a una migliore valutazione di quello che accadrà in futuro. Per fare ciò, occorre eseguire un'analisi multivariata con i dati a disposizione. In tutte le analisi statistiche multivariate il campione è costituito da un certo numero di caratteristiche che si vogliono studiare simultaneamente. L'analisi è detta *multivariata* perché vi sono più variabili oggetto di studio e non una sola, considerando quindi tante variabili contemporaneamente.

Nello studio effettuato, le analisi eseguite sono state:

- Analisi fattoriale delle componenti principali: è una tecnica di ordinamento che ha come obiettivo quello di rappresentare il campione e la relazione tra le variabili in uno spazio dimensionale ridotto, al fine di ottenere una matrice con il minor numero possibile di variabili indipendenti, riducendo al minimo la perdita di informazioni. Operativamente essa genera una rotazione rigida degli

assi dello spazio multidimensionale dei dati in modo tale da orientarli in maniera coerente con i modelli di dispersione dei dati stessi. Ciò consente di rappresentare un insieme di dati in un numero ridotto di dimensioni, in un sistema di assi ortogonali (le Componenti Principali), definiti come combinazioni lineari delle variabili originali;

- **Analisi discriminante:** è un modello di classificazione il cui obiettivo è quello di individuare un insieme di variabili in grado di discriminare nel modo migliore la popolazione di dati tra due o più gruppi predefiniti, che risultano noti a priori. Come conseguenza, si costruisce un modello che prevede l'appartenenza ad una classe. Generalmente si giunge alla formulazione di una regola di decisione, detta *regola di classificazione*, funzione di un numero limitato di variabili, tramite la quale si attribuisce ciascuna istanza ad uno di questi gruppi predefiniti.

L'analisi discriminante utilizza una variabile per definire i gruppi o le classi, mentre le altre variabili per effettuare la discriminazione fra gruppi. Dal punto di vista operativo, considerato un vettore X di variabili ritenute utili per la classificazione, supponiamo che un'istanza, caratterizzata da un dato valore x di X , possa appartenere ad uno qualsiasi degli n gruppi distinti che costituiscono la popolazione. L'analisi si occupa di individuare la regola ottimale in base alla quale assegnare il singolo campione ad uno degli n gruppi sulla base dei valori x di X . Potrebbe accadere che, scelta una qualsiasi regola di decisione, un dato campione possa essere attribuito ad un gruppo errato. Al fine di evitare tale problema, la regola di decisione da individuare deve minimizzare il rischio di ottenere una classificazione sbagliata. Pertanto, il criterio utilizzato impone che le due o più classi siano univocamente determinate e che la loro distinzione sia evidente e il meno ambigua possibile.

Nel caso in esame, tramite l'analisi discriminante, è stato costruito un modello statistico che fosse in grado di prevedere l'appartenenza di un edificio alla classe *Agibile* o *Inagibile*.

4.5.2. Allestimento dati in QGIS

Per poter effettuare l'analisi discriminante, si è tenuto conto non solo delle caratteristiche dedotte dalla scheda AeDES, ma anche delle informazioni riguardanti la morfologia del terreno ricavate dal Modello Digitale del Terreno prodotto dalla Regione Sicilia con cella di lato 2 m (inclinazione del terreno, concavità longitudinale e trasversale), la distanza di ogni edificio dalla faglia più vicina (fonte Dipartimento di Protezione Civile Siciliana) e i valori di pericolosità sismica con passo di 0,02 gradi (fonte INGV). Per questo motivo si è proceduto con l'inserimento di tali dati su QGIS, estrapolandoli dal geo-portale della Protezione Civile Siciliana.

Utilizzando il geopackage contenente le faglie presenti nel versante orientale dell'Etna, sono state calcolate in QGIS le distanze di ogni istanza dalla faglia più vicina, generando i campi *HubName* e *HubDist*, che indicano rispettivamente il numero di distanze totali e le distanze in metri (*figura 75*).

La distanza è stata calcolata come percorso minimo tra il punto che identifica l'istanza, interna all'aggregato strutturale, e i vertici che compongono la linea della faglia, così come rese disponibili nel sito del Dipartimento di Protezione Civile Siciliana.

	HubName	HubDist
	250	9,5448376159
	228	1643,3263321
	250	26,51567293
A	193	2319,7716677
	250	1,8214489579
	262	183,07778244
	261	137,22175015
	261	275,04245152
	261	320,49867888
	262	479,50330589
	261	469,5143495
	227	1684,8148839

Figura 75 - campi per le distanze dalle faglie in QGIS, espresse in metri.

I dati contenenti i valori di inclinazione e concavità del terreno sono stati estratti dal DTM regionale (Digital Terrain Model) attraverso il comando *slope*, *aspect*, *curvature* di QGIS. Sono stati ottenuti, in questo modo, singoli file raster contenenti le informazioni richieste (figura 76).

- ▶  *Cross-Sectional Curvature*
- ▶  *Flow Line Curvature*
- ▶  *General Curvature*
- ▶  *Longitudinal Curvature*
- ▶  *Maximal Curvature*
- ▶  *Minimal Curvature*
- ▶  *plan_curvature*
- ▶  *Profile Curvature*
- ▶  *Slope*
- ▶  *Tangential Curvature*
- ▶  *Total Curvature*

Figura 76 - file raster derivati dal DTM, in QGIS.

Attraverso il comando *join*, le informazioni contenute in questi file, sono state integrate alla tabella attributi del file vettoriale contenente le istanze di ERIKUS (figure 77 e 78).

CrossSectio	FlowLineCur	GeneralCurv	Longitudina	MaximalCurv	MinimalCurv
0,00194157	4,768e-05	0,01157464	0,00963307	0,00937665	-0,00354599
0,03656481	0,00034684	0,05847128	0,02190647	0,03484949	-0,00802195
-0,0045881	0,00047955	-0,01676769	-0,0121796	0,00778316	-0,01555685
0,00929142	-0,00016005	0,00928771	-3,71e-06	0,00610017	-0,00227051
-0,0045476	-5,27e-06	-0,0131944	-0,00864681	0,00601897	-0,0150507

Figura 77 - campi aggiunti per interpolazione con il DTM.

ProfileCurv	Slope	TangentialC	TotalCurvat	dtm2x22013	plancurvatu
0,00448452	13,39280362	0,00083764	0,00010317	643,31787319	0,00380789
0,01446302	7,47496462	0,01160245	0,00114041	357,74891331	0,09869364
-0,00617021	11,82007934	-0,00122001	0,00037309	649,17288539	-0,00818736
-0,00022353	14,54456448	0,00394723	3,715e-05	657,42710617	0,01581489
-0,00968595	1,40651053	0,00072768	0,00037024	377,15548315	-0,07601302

Figura 78 - campi aggiunti per interpolazione con il DTM.

I valori di pericolosità sismica con passo di 0,02 gradi sono stati estratti dal file, di tipo vettoriale, contenente una serie di punti, che è stato trasformato in raster. Successivamente, mediante interpolazione con il file vettore delle istanze, i valori sono stati aggiunti determinando il campo *Per_Sism 0.02* (figura 79).

Per_Sism 0.02
0,22484719
0,22533762
0,22484719
0,22587649
0,22484719

Figura 79 - campo aggiunto per interpolazione con raster della pericolosità sismica.

Ultimata la preparazione della base dati, la tabella è stata esportata in un file .xlsx.

Per poter procedere con l'analisi, ad ogni cella si assegna *a priori* l'appartenenza alla classe *Agibile* o *Inagibile* seguendo la classificazione descritta precedentemente. In tal modo, il modello statistico è in grado di elaborare le informazioni già esistenti sull'esito di agibilità al fine di individuare le caratteristiche che collocano un edificio nella rispettiva classe.

Il modello statistico, considerando le variabili a disposizione indipendenti tra loro e utilizzando la loro migliore combinazione possibile, permette di ricostruire la suddivisione in classi di esito.

Dal punto di vista operativo, l'analisi statistica prevede:

1. applicazione della tecnica di Analisi Fattoriale delle Componenti Principali per la valutazione dell'indipendenza delle variabili e quindi per una possibile riduzione delle stesse, senza alterare il modello;
2. applicazione della tecnica dell'Analisi Discriminante con le variabili determinate al passo precedente.

4.6. Analisi fattoriale delle componenti principali

L'Analisi Fattoriale delle Componenti Principali è stata utilizzata per individuare se qualche variabile fosse combinazione lineare di altre e, quindi, procedere con la sua eliminazione. Le Componenti Principali definiscono un sistema di riferimento che massimizza la separazione media tra le singole osservazioni.

Per condurre tale analisi, è stato necessario importare i dati, contenuti in QGIS ed estrapolati dal portale ERIKUS, all'interno del programma IBM SPSS Statistics.

Primo passo è stato quello di organizzare il dataset a disposizione. In *tabella 13* sono riportati i campi presenti e il loro significato:

Tabella 13 – spiegazione campi nell’analisi.

Nome campo	Significato
<i>fid</i>	identificativo singolo caso
<i>istanza</i>	numero istanza del caso
<i>data_ist</i>	data richiesta sopralluogo
<i>comune</i>	comune appartenenza edificio
<i>provincia</i>	provincia appartenenza edificio
<i>regione</i>	regione appartenenza edificio
<i>fraz_ed</i>	eventuale frazione del comune
<i>indir_ed</i>	indirizzo edificio
<i>civico_ed</i>	numero civico edificio
<i>foglio</i>	numero foglio catastale
<i>particelle</i>	particella catastale
<i>id_aggregato</i>	identificativo catastale aggregato
<i>id_subaggregato</i>	identificativo catastale sub-aggregato
<i>id_edificio</i>	identificativo catastale edificio
<i>cod_tipol</i>	tipologia edificio con codice numerico
<i>esito</i>	esito assegnato post rilievo
<i>n_squadra</i>	numero squadra conducente sopralluogo
<i>n_aedes</i>	numero scheda AeDES sopralluogo

<i>data_aedes</i>	data compilazione scheda AeDES
<i>autoremodifica</i>	utente autore modifica istanza
<i>evento</i>	evento causante campagna di rilievo
<i>cod_posizione</i>	posizione manufatto in rapporto al collegamento o contatto con altri edifici con codice numerico
<i>n_unità</i>	numero unità d'uso
<i>n_unità2</i>	numero seconda unità d'uso
<i>cod_utilizzo</i>	percentuale utilizzo
<i>occupanti</i>	numero occupanti
<i>cod_proprietà</i>	proprietà privata o pubblica
<i>cod_strutt_o</i>	tipologia costruttiva struttura orizzontale con codice numerico
<i>cod_altezza</i>	l'altezza interpiano con codice numerico
<i>codice_stato_bdtre</i>	stato edificio per bdtre con codice numerico
<i>codice_uso_bdtre</i>	uso edificio per bdtre con codice numerico
<i>cod_uso</i>	unità d'uso con codice numerico
<i>cod_uso2</i>	seconda unità d'uso con codice numerico
<i>cod_anno</i>	anno costruzione con codice numerico
<i>cod_anno_2</i>	eventuale anno ristrutturazione con codice numerico

<i>cod_sup</i>	superficie piano tipo con codice numerico
<i>cod_piani</i>	numero piani totali edificio con codice numerico
<i>cod_piani_int</i>	numero piani interrati con codice numerico
<i>cod_strutt_mista</i>	struttura mista con codice numerico
<i>cod_strutt_v_new</i>	tipologia di struttura verticale con codice numerico
<i>cod_strutt_c_new</i>	tipologia strutturale copertura con codice numerico
<i>spessore_muratura</i>	spessore muratura
<i>cod_piano_debole</i>	presenza di piano debole con codice numerico
<i>cod_distr_strutture</i>	distribuzione strutture con codice numerico
<i>cod_tozzi</i>	presenza elementi tozzi con codice numerico
<i>cod_regolarità_elevazione</i>	regolarità in elevazione con codice alfanumerico
<i>cod_regolarità_pianta</i>	regolarità in pianta con codice alfanumerico
<i>cod_geometria_copertura</i>	geometria copertura con codice numerico
<i>cod_finiture</i>	tipologia finiture con codice alfanumerico
<i>cod_conservazione</i>	stato conservazione edificio con codice alfanumerico
<i>cod_regolarità_tamponature</i>	regolarità tamponature con codice numerico

I campi *data_ist*, *comune*, *provincia*, *regione*, *fraz_ed*, *indir_ed*, *civico_ed*, *foglio*, *particelle*, *id_aggregato*, *id_subaggregato*, *id_edificio*, *cod_tipologia*, *n_squadra*, *n_aedes*, *data_aedes*, *autoremodifica*, *evento*, *cod_posizione*, *cod_piani_int*, *cod_piano_debole*, *cod_distr_strutture*, *n_unità*, *n_unità2*, *cod_utilizzo*, *occupanti*,

cod_proprietà, *cod_stato_bdtre*, *cod_uso_bdtre*, *cod_stato*, *cod_uso* e *cod_uso2* sono stati eliminati perché contenenti informazioni irrilevanti al fine della determinazione delle caratteristiche costruttive dell'edificio e dunque irrilevanti per l'analisi. Il campo *cod_anno2* non è stato considerato per l'elevato numero di casi indefiniti e perché non forniva informazioni utili riguardo il tipo di intervento di ristrutturazione effettuato; il campo *spessore muratura* è stato escluso perché non compilato; dei campi *cod_altezza*, *cod_strutt_mista*, *cod_sup*, *cod_regolarità_elevazione*, *cod_regolarità_pianta*, *cod_conservazione* e *cod_regolarità_tamponature* non si è tenuto conto poiché la percentuale di casi non determinati superava il 25% del totale, soglia, questa, scelta arbitrariamente per non avere troppi casi non valorizzati (figure 80, 81, 82, 83, 84, 85 e 86).

cod_altezz					
		Frequenza	Percentuale	Percentuale valida	Percentuale cumulativa
Valido	1	27	1,0	1,0	1,0
	2	1686	61,0	61,0	61,9
	3	336	12,1	12,1	74,1
	4	28	1,0	1,0	75,1
	999	689	24,9	24,9	100,0
	Totale	2766	100,0	100,0	

Figura 80 - statistiche per campo altezza interpiano.

cod_stru_m					
		Frequenza	Percentuale	Percentuale valida	Percentuale cumulativa
Valido	1	144	5,2	5,2	5,2
	2	17	,6	,6	5,8
	3	295	10,7	10,7	16,5
	999	2310	83,5	83,5	100,0
	Totale	2766	100,0	100,0	

Figura 81 - statistiche per campo struttura mista.

		cod_sup			
		Frequenza	Percentuale	Percentuale valida	Percentuale cumulativa
Valido	0	36	1,3	1,3	1,3
	1	100	3,6	3,6	4,9
	2	187	6,8	6,8	11,7
	3	512	18,5	18,5	30,2
	4	628	22,7	22,7	52,9
	5	309	11,2	11,2	64,1
	6	213	7,7	7,7	71,8
	7	136	4,9	4,9	76,7
	8	26	,9	,9	77,6
	9	8	,3	,3	77,9
	10	8	,3	,3	78,2
	11	1	,0	,0	78,2
	12	1	,0	,0	78,3
	13	1	,0	,0	78,3
	15	2	,1	,1	78,4
		999	598	21,6	21,6
	Totale	2766	100,0	100,0	

Figura 82 - statistiche per campo superficie piano tipo.

		cod_regola			
		Frequenza	Percentuale	Percentuale valida	Percentuale cumulativa
Valido		612	22,1	22,1	22,1
	0	528	19,1	19,1	41,2
	A	426	15,4	15,4	56,6
	B	1200	43,4	43,4	100,0
	Totale	2766	100,0	100,0	

Figura 83 - statistiche per campo regolarità in elevazione.

cod_rego_1					
		Frequenza	Percentuale	Percentuale valida	Percentuale cumulativa
Valido		613	22,2	22,2	22,2
	0	523	18,9	18,9	41,1
	A	424	15,3	15,3	56,4
	B	1206	43,6	43,6	100,0
	Totale	2766	100,0	100,0	

Figura 84 - statistiche per campo regolarità in pianta.

cod_conser					
		Frequenza	Percentuale	Percentuale valida	Percentuale cumulativa
Valido		612	22,1	22,1	22,1
	0	831	30,0	30,0	52,2
	A	46	1,7	1,7	53,8
	B	961	34,7	34,7	88,6
	C	308	11,1	11,1	99,7
	D	8	,3	,3	100,0
	Totale	2766	100,0	100,0	

Figura 85 - statistiche per campo stato di conservazione edificio.

cod_rego_2					
		Frequenza	Percentuale	Percentuale valida	Percentuale cumulativa
Valido	0	577	20,9	26,8	26,8
	1	1232	44,5	57,2	84,1
	2	343	12,4	15,9	100,0
	Totale	2152	77,8	100,0	
Mancante	Sistema	614	22,2		
Totale		2766	100,0		

Figura 86 - statistiche per campo regolarità tamponature.

L'analisi delle componenti principali restituisce una matrice di correlazione, che evidenzia la dipendenza delle variabili a disposizione. Si è posta particolare attenzione alle variabili con coefficiente di correlazione maggiore o uguale a 0,8:

- *GeneralCurv* – *LongitudinalCurv* con coefficiente 0,839;
- *CrossSection* – *GeneralCurv* con coefficiente 0,793;
- *CrossSection* – *TangentialCurv* con coefficiente 0,940;
- *ProfileCurv* – *LongitudinalCurv* con coefficiente 0,950;
- *TotalCurv* – *MaximalCurv* con coefficiente 0,987.

A causa della forte dipendenza da altre variabili, i campi *GeneralCurv*, *CrossSection*, *ProfileCurv* e *TotalCurv* sono stati esclusi dall'analisi.

L'analisi è preimpostata per estrarre tutti gli autovalori maggiori di 1, dai quali poi derivare le componenti principali. In questo modo si costruisce un altro spazio vettoriale in cui ciascun asse è ortonormale all'altro e che "ingloba" il contributo delle variabili che non sono linearmente indipendenti. A fronte di un "sacrificio" di varianza spiegata, è possibile dunque rappresentare il fenomeno considerando solo le variabili linearmente indipendenti.

La *figura 87* mostra il contributo di ogni componente nella spiegazione della varianza totale. Come si può notare, il limite di autovalore unitario porta all'estrazione di sole sei componenti, con una varianza totale spiegata del 60% circa, ritenuta insufficiente.

CAPITOLO 4: ANALISI DEI DATI

Componente	Varianza totale spiegata								
	Totale	Autovalori iniziali		Caricamenti somme dei quadrati di estrazione			Caricamenti somme dei quadrati di rotazione		
		% di varianza	% cumulativa	Totale	% di varianza	% cumulativa	Totale	% di varianza	% cumulativa
1	2,557	15,043	15,043	2,557	15,043	15,043	2,301	13,538	13,538
2	2,110	12,413	27,456	2,110	12,413	27,456	1,938	11,402	24,940
3	1,788	10,517	37,973	1,788	10,517	37,973	1,637	9,632	34,572
4	1,635	9,616	47,589	1,635	9,616	47,589	1,624	9,552	44,124
5	1,149	6,762	54,350	1,149	6,762	54,350	1,498	8,810	52,934
6	1,079	6,348	60,698	1,079	6,348	60,698	1,320	7,764	60,698
7	,998	5,869	66,567						
8	,959	5,642	72,209						
9	,854	5,025	77,234						
10	,798	4,692	81,926						
11	,702	4,132	86,058						
12	,680	3,998	90,056						
13	,550	3,237	93,294						
14	,422	2,484	95,778						
15	,386	2,268	98,046						
16	,270	1,587	99,632						
17	,063	,368	100,000						

Metodo di estrazione: Analisi dei componenti principali.

Figura 87 - tabella della varianza spiegata.

Per questo motivo si è scelto di prendere in considerazione 12 variabili, a fronte di una percentuale di varianza spiegata del 90%, modificando i parametri di selezione degli autovalori da maggiori di 1 a maggiori di 0,6 (figura 88). Ciò significa che, considerando 12 variabili, si ottiene un'affidabilità dei risultati pari al 90%, mentre se si considerassero tutte le variabili, l'affidabilità raggiungerebbe il 100%.

Componente	Varianza totale spiegata								
	Totale	Autovalori iniziali		Caricamenti somme dei quadrati di estrazione			Caricamenti somme dei quadrati di rotazione		
		% di varianza	% cumulativa	Totale	% di varianza	% cumulativa	Totale	% di varianza	% cumulativa
1	2,557	15,043	15,043	2,557	15,043	15,043	1,818	10,697	10,697
2	2,110	12,413	27,456	2,110	12,413	27,456	1,812	10,657	21,354
3	1,788	10,517	37,973	1,788	10,517	37,973	1,639	9,639	30,993
4	1,635	9,616	47,589	1,635	9,616	47,589	1,531	9,007	40,000
5	1,149	6,762	54,350	1,149	6,762	54,350	1,269	7,463	47,463
6	1,079	6,348	60,698	1,079	6,348	60,698	1,084	6,377	53,840
7	,998	5,869	66,567	,998	5,869	66,567	1,072	6,306	60,146
8	,959	5,642	72,209	,959	5,642	72,209	1,031	6,067	66,213
9	,854	5,025	77,234	,854	5,025	77,234	1,023	6,020	72,234
10	,798	4,692	81,926	,798	4,692	81,926	1,016	5,977	78,210
11	,702	4,132	86,058	,702	4,132	86,058	1,008	5,929	84,139
12	,680	3,998	90,056	,680	3,998	90,056	1,006	5,917	90,056
13	,550	3,237	93,294						
14	,422	2,484	95,778						
15	,386	2,268	98,046						
16	,270	1,587	99,632						
17	,063	,368	100,000						

Metodo di estrazione: Analisi dei componenti principali.

Figura 88 - tabella della varianza spiegata.

La rotazione delle componenti estratte permette di spargere più uniformemente la varianza spiegata da ogni singola componente. Nella matrice delle componenti ruotate si nota come ogni componente individui univocamente una variabile del modello (figura 89).

Matrice dei componenti ruotati ^a												
	Componente											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
cod_stru_o	,000	,933	,003	,039	-,067	,008	,058	,020	-,005	,032	-,028	,015
cod_anno	,008	,300	-,057	,009	-,065	,007	,186	,037	,009	,885	-,040	-,070
cod_piani	-,031	,201	-,006	-,039	-,132	-,036	,901	,081	-,001	,188	-,034	-,007
cod_stru_v	-,006	,859	-,025	-,021	-,052	,003	,150	,023	,008	,269	-,018	-,065
cod_stru_c	,007	-,005	,000	-,057	,927	-,003	-,076	-,007	-,022	-,034	-,065	,036
Cod_tozzi2	-,007	-,037	,018	,012	,012	-,004	-,006	-,002	,013	-,058	-,005	,995
Cod_geometria_c	-,010	-,245	-,001	,474	,613	,014	-,095	,008	,042	-,046	,106	-,054
HubDist	,036	-,041	,013	-,134	-,018	-,004	-,024	-,003	-,008	-,036	,980	-,005
FlowLineCur	-,001	,001	,075	-,004	-,002	,113	,003	,020	,983	,006	-,008	,014
Longitudina	-,063	,010	,073	,002	,004	,984	-,029	,035	,115	,004	-,003	-,004
MaximalCurv	,968	-,003	,083	,045	,000	,138	-,003	-,015	,017	-,020	,025	-,003
MinimalCurv	-,905	,004	,193	-,056	-,004	,273	,021	-,158	,023	-,025	-,019	,007
Slope	,101	,037	,023	,082	-,003	,033	,074	,984	,021	,031	-,003	-,003
TangentialC	-,050	-,009	,881	-,017	-,026	,021	-,006	,096	,173	-,041	,006	,005
dtm2x22013	,191	,086	,001	,820	,008	,031	,223	,118	,028	-,188	-,106	,028
plancurvatu	-,016	-,010	,896	,024	,024	,060	-,002	-,068	-,080	-,010	,008	,015
Per_Sism 0.02	-,083	-,007	,010	,772	,053	-,040	-,357	-,009	-,054	,278	-,125	,002

Metodo di estrazione: Analisi dei componenti principali.
 Metodo di rotazione: Varimax con normalizzazione Kaiser. ^a

a. Convergenza per la rotazione eseguita in 6 iterazioni.

Figura 89 - matrice dei componenti ruotati.

4.7. Analisi discriminante

Individuate le 12 variabili, si è proceduto con l'analisi discriminante.

Per eseguire l'Analisi Discriminante, è stato necessario innanzitutto individuare una variabile di raggruppamento in cui classificare *a priori* il campione. Ciò significa, in pratica, assegnare ogni cella del dominio di studio ad una delle Classi scelte come base per la discriminazione. Come variabile è stata scelta l'appartenenza di ogni cella al Gruppo *Agibile* (codice 1) o al Gruppo *Inagibile* (codice 2), così come è stato fatto per l'analisi fattoriale. Tale variabile rappresenta la condizione iniziale di discriminazione che il modello statistico cerca di ricostruire attraverso la combinazione delle variabili disponibili.

I criteri e i parametri adottati per l'esecuzione dell'Analisi Discriminate nel programma SPSS sono:

1. Analisi di tipo *stepwise* i cui obiettivi sono la determinazione delle variabili quantitative più efficaci per una corretta classificazione delle osservazioni e la

selezione di un insieme di poche variabili, che possano vantaggiosamente sostituire, ai fini della classificazione dei dati, le molte variabili quantitative di partenza. L'Analisi Discriminante *stepwise* procede con eliminazioni e/o immissioni progressive (passo-passo) di una variabile alla volta nel modello, per mezzo di diversi possibili criteri di valutazione. In particolare, ad ogni passo il software rivedrà tutte le variabili ed analizzerà quale contribuisce meglio alla discriminazione tra gruppi. I metodi *stepwise* non garantiscono la selezione della combinazione ottimale di variabili originali in senso assoluto, ma solamente in senso relativo;

2. Il metodo di selezione delle variabili per l'analisi *stepwise* si basa su quanto ciascuna variabile diminuisce la lambda di Wilks. Ad ogni *step* è inserita nel modello statistico la variabile che minimizza la lambda complessiva di Wilks. La procedura *stepwise* è guidata per mezzo dei rispettivi valori *F per inserire* e *F per rimuovere*. Il valore *F* per una variabile indica la sua significatività statistica nel discriminare tra gruppi, cioè, esso è una misura del grado in cui una variabile offre un contributo unico alla previsione per l'appartenenza a gruppi. In generale, l'analisi continuerà a scegliere variabili da includere nel modello finché i rispettivi valori *F* per le variabili saranno maggiori del valore *F per inserire* specificato dall'utente. Saranno escluse dal modello le variabili se la loro significatività risulta minore del *F per rimuovere* specificato dall'utente e si passerà allo *step* successivo;
3. Utilizzo dei coefficienti delle funzioni di classificazione di Fisher per calcolare direttamente l'appartenenza di un caso ad un gruppo. Viene calcolato un insieme di coefficienti per ciascun gruppo ed un caso è assegnato al gruppo per il quale si ha un punteggio discriminante più alto. I coefficienti di Fisher vengono utilizzati per classificare i casi non utilizzati per generare il modello statistico, cioè in maniera predittiva;

4. La probabilità di appartenenza di una cella ad un gruppo è uguale per tutti i gruppi, pertanto è indipendente dalla consistenza dei gruppi stessi. Questa ipotesi è molto importante poiché si assume *a priori* che una cella ha la stessa probabilità di essere *agibile* o *inagibile*. Data la reale differente numerosità dei due gruppi, tale assunzione assicura un'analisi accurata e obiettiva;
5. Esecuzione di analisi di cross-validazione (metodo *leaving-one-out*). È un procedimento che consiste nel classificare ogni osservazione di un campione di numerosità n , in base alle funzioni discriminanti tratto dalle altre $(n - 1)$ osservazioni. Richiede che la funzione discriminante sia ricalcolata tante volte quante sono le osservazioni stesse. La cross-validazione evita l'insorgere di errori di attribuzione artificialmente bassi, che non costituiscono una buona stima del reale potere discriminatorio del modello.

Per maggiori dettagli su analisi fattoriale e discriminante si rimanda a [4].

Sono state eseguite tre diverse iterazioni, prendendo in esame percentuali diverse della popolazione di dati per poter confrontare i risultati e capire l'affidabilità del modello. Inoltre, per ogni iterazione, sono state eseguite due simulazioni, una con probabilità a priori uguale per i due gruppi e una con probabilità a priori proporzionale tra i due gruppi.

4.7.1. Intera popolazione dei dati

Per la prima iterazione è stato preso in esame il 100% dei dati disponibili. Il programma analizza le variabili e seleziona in automatico quelle maggiormente discriminanti che verranno utilizzate per creare il modello. Per questa iterazione le variabili selezionate sono mostrate in *figura 90*.

Variabili immesse/rimosse ^{a,b,c,d}									
Fase	Immessa	Statistica	Lambda di Wilks			Statistica	F esatta		Sign.
			gl1	gl2	gl3		gl1	gl2	
1	cod_anno	,941	1	1	2034,000	127,117	1	2034,000	,000
2	cod_stru_o	,925	2	1	2034,000	82,353	2	2033,000	,000
3	cod_piani	,920	3	1	2034,000	59,248	3	2032,000	,000
4	Slope	,915	4	1	2034,000	47,073	4	2031,000	,000
5	plancurvatu	,911	5	1	2034,000	39,476	5	2030,000	,000
6	HubDist	,908	6	1	2034,000	34,160	6	2029,000	,000

Ad ogni fase, viene inserita la variabile che minimizza il lambda di Wilks globale.

Figura 90 - variabili immesse nell'analisi.

Considerando uguale la probabilità a priori tra i due gruppi (figura 91), la figura 92 mostra la percentuale di successo dell'analisi eseguita. Il programma restituisce come esito che il 64,9% dei casi totali è stato correttamente riclassificato nella classe di appartenenza di partenza; il 64,4% dei casi definiti *Agibili a priori*, sono stati riconfermati come tali, mentre per quelli *inagibili* la percentuale dei casi riconfermati è del 66,3%. Anche i valori ottenuti dalla cross-validazione non si discostano di molto rispetto a quelli ottenuti dalla riclassificazione precedente, si osserva, infatti, una percentuale di casi riclassificati del 64,8%.

Probabilità a priori per i gruppi			
Codice classe agibilità	Probabilità a priori	Casi utilizzati nell'analisi	
		Non pesato	Pesato
1	,500	1501	1501,000
2	,500	535	535,000
Totale	1,000	2036	2036,000

Figura 91 - tabella probabilità a priori uguale tra i due gruppi.

Risultati della classificazione^{a,c}					
		Codice classe agibilità	Appartenenza gruppo prevista		Totale
			1	2	
Originale	Conteggio	1	1008	557	1565
		2	200	393	593
	%	1	64,4	35,6	100,0
		2	33,7	66,3	100,0
Con convalida incrociata ^b	Conteggio	1	1007	558	1565
		2	202	391	593
	%	1	64,3	35,7	100,0
		2	34,1	65,9	100,0

a. 64,9% di casi raggruppati originali classificati correttamente.

b. La convalida incrociata viene eseguita solo per i casi nell'analisi. Nella convalida incrociata, ogni caso viene classificato in base alle funzioni derivate da tutti gli altri casi eccetto quello.

c. 64,8% di casi raggruppati con convalida incrociata classificati correttamente.

Figura 92 - tabella riepilogativa analisi discriminante.

Dalla *figura 93* si evince quanto ciascuna variabile sia determinante nel catalogare i casi all'interno della classe, attraverso dei coefficienti. Quanto più il valore del coefficiente è alto, tanto più la variabile contribuisce a determinare l'appartenenza di ogni cella alla classe; i coefficienti rivelano, tuttavia, soltanto il contributo parziale di ogni variabile sulle funzione discriminanti.

In *figura 94* sono illustrati i coefficienti di struttura, che evidenziano la correlazione tra le variabili nell'analisi e la funzione discriminante, sottolineano, cioè, quanto pesano le variabili su ogni funzione discriminante.

Coefficients standardizzati di funzione discriminante canonica	
	Funzione 1
cod_stru_o	,426
plancurvatu	-,215
cod_piani	,308
Slope	-,235
cod_anno	,591
HubDist	,195

Figura 93 - tabella coeff. della funzione canonica.

Matrice di struttura	
	Funzione 1
cod_anno	,787
cod_stru_o	,648
cod_piani	,550
plancurvatu	-,243
cod_stru_c ^a	-,118
Cod_tozzi2 ^a	-,111
Slope	-,094
HubDist	,078
MaximalCurv ^a	-,047
Longitudina ^a	-,042
FlowLineCur ^a	-,015
dtm2x22013 ^a	-,013

a. Questa variabile non viene utilizzata nell'analisi.

Figura 94 - matrice di struttura.

Obiettivo dell'analisi discriminante è anche effettuare una previsione di classificazione dei casi. A tal proposito viene restituita la tabella in figura 95 che mostra i coefficienti della funzione di classificazione, legati ad ogni variabile considerata, con i quali è possibile calcolare con quale probabilità ogni caso appartiene ad una classe, tramite l'equazione:

$$S_i = c_i + w_{i1}x_1 + w_{i2}x_2 + \dots + w_{im}x_m$$

dove:

- il pedice i denota il gruppo rispettivo;
- i pedici $1, 2, \dots, m$ indicano le m variabili;
- c_i è una costante per l' i -mo gruppo;
- w_{ij} è il peso per la j -ma variabile nel calcolo del punteggio di classificazione per l' i -mo gruppo;
- x_j è il valore osservato per il rispettivo caso per la j -ma variabile;
- S_i è il risultante punteggio di classificazione.

Vengono dunque calcolati i punteggi di classificazione per un caso la cui appartenenza ad una classe dipenderà dal punteggio di classificazione maggiore, esprimendone anche la probabilità di appartenenza, dette *probabilità a posteriori*.

Coefficients di funzione di classificazione		
	Codice classe agibilità	
	1	2
cod_stru_o	2,304	2,093
plancurvatu	,603	2,432
cod_piani	1,190	,978
Slope	,194	,228
cod_anno	,173	,028
HubDist	,002	,002
(Costante)	-10,897	-8,769

Funzioni discriminanti lineari di Fisher

Figura 95 - coeff. funzioni di classificazione.

Il software IBM SPSS Statistics restituisce, infine, una tabella in cui fornisce, per ogni cella, la previsione di appartenenza ad una delle due classi, *Agibile* o *Inagibile*, effettuata applicando il modello descritto in termini di probabilità.

La *figura 96* riporta nella prima colonna il codice identificativo dell'istanza per ogni cella (*fid*), nella seconda la classifica *a priori* della cella (*Codiceclasseagibilità*), nella terza la previsione eseguita dal modello statistico (*tot_equal*), nella quarta la probabilità che essa appartenga alla classe *Agibile* (*tot_equal_prob1*) e nella quinta colonna la probabilità che essa appartenga alla classe *Inagibile* (*tot_equal_prob2*). Considerando, ad esempio, la cella numero 1, la previsione di classificazione la ricolloca nella classe 1 (*Agibile*) con una probabilità del 66,8%, mentre per la cella

numero 22 la previsione è quella di appartenenza alla classe 2 (*Inagibile*) con una probabilità del 53,6%.

	fid	Codiceclasseagibilità	tot_equal	tot_equal_prob1	tot_equal_prob2
1	3604	1	1	,66827	,33173
2	1980	1	1	,60980	,39020
3	4070	1	1	,58473	,41527
4	1821	1	1	,58545	,41455
5	2652	1	1	,57798	,42202
6	2997	1	1	,67568	,32432
7	3465	1	1	,54815	,45185
8	3471	1	1	,63773	,36227
9	3138	1	1	,60409	,39591
10	1437	1	1	,68674	,31326
11	4179	1	1	,74827	,25173
12	5137	1	1	,69094	,30906
13	1679	1	1	,75819	,24181
14	3423	1	1	,52503	,47497
15	829	1	1	,57600	,42400
16	3366	1	1	,52310	,47690
17	1520	1	1	,59101	,40899
18	2918	1	1	,51501	,48499
19	3766	1	1	,67955	,32045
20	1418	1	1	,61767	,38233
21	2565	1	1	,74856	,25144
22	1617	1	2	,46347	,53653
23	744	1	1	,55453	,44547
24	923	1	1	,54425	,45575
25	3624	1	1	,51422	,48578

Figura 96 - tabella di riclassificazione casi in SPSS.

Considerando la probabilità a priori proporzionata tra i due gruppi (*figura 97*), in *figura 98* è illustrata la percentuale di successo della simulazione. In questo caso il 93,6% dei casi *Agibili* è stato riclassificato come tale, e solo il 19,6% dei casi *Inagibili* è stato riconfermato. La percentuale dei casi totali riconfermati correttamente ammonta al 73,3%, e il 72,9% sono riconfermati dalla cross-validazione.

Codice classe agibilità	Probabilità a priori	Casi utilizzati nell'analisi	
		Non pesato	Pesato
1	,737	1501	1501,000
2	,263	535	535,000
Totale	1,000	2036	2036,000

Figura 97 - probabilità a priori proporzionate tra i due gruppi.

	Codice classe agibilità	Appartenenza gruppo prevista		Totale	
		1	2		
Originale	Conteggio	1	1465	100	1565
		2	477	116	593
	%	1	93,6	6,4	100,0
		2	80,4	19,6	100,0
Con convalida incrociata ^b	Conteggio	1	1461	104	1565
		2	481	112	593
	%	1	93,4	6,6	100,0
		2	81,1	18,9	100,0

a. 73,3% di casi raggruppati originali classificati correttamente.
 b. La convalida incrociata viene eseguita solo per i casi nell'analisi. Nella convalida incrociata, ogni caso viene classificato in base alle funzioni derivate da tutti gli altri casi eccetto quello.
 c. 72,9% di casi raggruppati con convalida incrociata classificati correttamente.

Figura 98 - tabella riepilogativa analisi discriminante.

I valori dei coefficienti standardizzati di funzione canonica e della matrice di struttura restano invariati (*figure 93 e 94*), mentre per i coefficienti della funzione di classificazione varia il valore della costante (*figura 99*).

Coefficienti di funzione di classificazione		
	Codice classe agibilità	
	1	2
cod_stru_o	2,304	2,093
plancurvatu	,603	2,432
cod_piani	1,190	,978
Slope	,194	,228
cod_anno	,173	,028
HubDist	,002	,002
(Costante)	-10,509	-9,412

Funzioni discriminanti lineari di Fisher

Figura 99 - coeff. di funzioni di classificazione.

4.7.2. 80% dei casi

L'analisi discriminante è stata eseguita una seconda volta prendendo in esame solo l'80% della popolazione dei dati. A differenza della precedente iterazione, in questo caso cambia una delle variabili in gioco (figura 100).

Variabili immesse/rimosse^{a,b,c,d}									
Fase	Immessa	Statistica	Lambda di Wilks			Statistica	F esatta		Sign.
			gl1	gl2	gl3		gl1	gl2	
1	cod_anno	,942	1	1	1632,000	99,645	1	1632,000	,000
2	cod_stru_o	,927	2	1	1632,000	64,035	2	1631,000	,000
3	cod_piani	,921	3	1	1632,000	46,539	3	1630,000	,000
4	Slope	,916	4	1	1632,000	37,431	4	1629,000	,000
5	dtm2x22013	,913	5	1	1632,000	31,157	5	1628,000	,000
6	plancurvatu	,910	6	1	1632,000	26,780	6	1627,000	,000

Ad ogni fase, viene inserita la variabile che minimizza il lambda di Wilks globale.

Figura 100 - variabili immesse nell'analisi.

I risultati ottenuti per la simulazione con probabilità a priori uguale tra i due gruppi sono riportati nelle *figure 101, 102, 103 e 104*, che mostrano rispettivamente la percentuale di successo dell'analisi, i coefficienti di funzione discriminante canonica, la matrice di struttura e i coefficienti di funzione di classificazione.

Risultati della classificazione ^{a,b,d}						
				Appartenenza gruppo prevista		
		Codice classe agibilità		1	2	Totale
Casi selezionati	Originale	Conteggio	1	810	450	1260
			2	166	305	471
		%	1	64,3	35,7	100,0
	Con convalida incrociata ^c	Conteggio	1	807	453	1260
			2	171	300	471
		%	1	64,0	36,0	100,0
Casi non selezionati	Originale	Conteggio	1	200	105	305
			2	38	84	122
		%	1	65,6	34,4	100,0
		Conteggio	1	31,1	68,9	100,0
			2			
		%	1			

a. 64,4% di casi raggruppati originali selezionati classificati correttamente.
 b. 66,5% di casi raggruppati originali non selezionati classificati correttamente.
 c. La convalida incrociata viene eseguita solo per i casi nell'analisi. Nella convalida incrociata, ogni caso viene classificato in base alle funzioni derivate da tutti gli altri casi eccetto quello.
 d. 64,0% di casi raggruppati con convalida incrociata selezionati classificati correttamente.

Figura 101 - tabella riepilogativa analisi discriminante.

Si osserva che il 64,4% dei casi selezionati è stato riclassificato correttamente. Nello specifico, il 64,3% è stato riconfermato in classe *Agibile* e il 64,8% è stato riconfermato *Inagibile*. Anche con la cross-validazione la percentuale di riclassificazione corretta è del 64%. Inoltre, come mostra la figura, il programma effettua una classificazione anche dei casi non selezionati con una percentuale del 66,5% che rappresenta la corretta riclassificazione.

Coefficienti standardizzati di funzione discriminante canonica	
	Funzione 1
cod_stru_o	,418
plancurvatu	-,177
dtm2x22013	-,198
cod_piani	,330
Slope	-,220
cod_anno	,571

Figura 102 - coeff. di funzione canonica.

Matrice di struttura	
	Funzione 1
cod_anno	,786
cod_stru_o	,646
cod_piani	,569
plancurvatu	-,207
dtm2x22013	-,171
Cod_tozzi2 ^a	-,117
MaximalCurv ^a	-,102
Slope	-,101
cod_stru_c ^a	-,095
HubDist ^a	-,080
Longitudina ^a	-,040
FlowLineCur ^a	-,024

a. Questa variabile non viene utilizzata nell'analisi.

Figura 103 - matrice di struttura.

	Coefficienti di funzione di classificazione	
	Codice classe agibilità	
	1	2
cod_stru_o	1,931	1,730
plancurvatu	,129	1,663
dtm2x22013	,034	,035
cod_piani	1,049	,821
Slope	,030	,062
cod_anno	,164	,027
(Costante)	-15,977	-14,683

Funzioni discriminanti lineari di Fisher

Figura 104 - coeff. funzioni di classificazione.

Le figure 105, 106, 107 e 108 mostrano i risultati ottenuti per la simulazione con probabilità a priori proporzionata tra i due gruppi.

Risultati della classificazione ^{a,b,d}						
			Codice classe agibilità	Appartenenza gruppo prevista		Totale
				1	2	
Casi selezionati	Originale	Conteggio	1	1182	78	1260
			2	382	89	471
		%	1	93,8	6,2	100,0
	Con convalida incrociata ^c	Conteggio	1	1176	84	1260
			2	385	86	471
		%	1	93,3	6,7	100,0
Casi non selezionati	Originale	Conteggio	1	292	13	305
			2	101	21	122
		%	1	95,7	4,3	100,0
		Conteggio	1	82,8	17,2	100,0
			2			
		%	1	95,7	4,3	100,0
<p>a. 73,4% di casi raggruppati originali selezionati classificati correttamente.</p> <p>b. 73,3% di casi raggruppati originali non selezionati classificati correttamente.</p> <p>c. La convalida incrociata viene eseguita solo per i casi nell'analisi. Nella convalida incrociata, ogni caso viene classificato in base alle funzioni derivate da tutti gli altri casi eccetto quello.</p> <p>d. 72,9% di casi raggruppati con convalida incrociata selezionati classificati correttamente.</p>						

Figura 105 - tabella riepilogativa analisi discriminante.

Nella figura, si deduce che la classificazione del 73,4% dei casi selezionati è stata confermata, il 93,8% dei casi è stato confermato *Agibile*, mentre il 18,9% *Inagibile*. La cross-validazione ha prodotto una percentuale del 72,9% di casi riclassificati correttamente. Per i casi non selezionati, invece, il 73,3% ha ottenuto una riclassificazione corretta.

Coefficienti standardizzati di funzione discriminante canonica	
Funzione 1	
cod_stru_o	,418
plancurvatu	-,177
dtm2x22013	-,198
cod_piani	,330
Slope	-,220
cod_anno	,571

Figura 106 - coeff. di funzione canonica.

Matrice di struttura	
Funzione 1	
cod_anno	,786
cod_stru_o	,646
cod_piani	,569
plancurvatu	-,207
dtm2x22013	-,171
Cod_tozzi2 ^a	-,117
MaximalCurv ^a	-,102
Slope	-,101
cod_stru_c ^a	-,095
HubDist ^a	-,080
Longitudina ^a	-,040
FlowLineCur ^a	-,024

a. Questa variabile non viene utilizzata nell'analisi.

Figura 107 - matrice di struttura.

Coefficienti di funzione di classificazione		
	Codice classe agibilità	
	1	2
cod_stru_o	1,931	1,730
plancurvatu	,129	1,663
dtm2x22013	,034	,035
cod_piani	1,049	,821
Slope	,030	,062
cod_anno	,164	,027
(Costante)	-15,588	-15,327

Funzioni discriminanti lineari di Fisher

Figura 108 - coeff. funzioni di classificazione.

4.7.3. 60% dei casi

Per l'ultima iterazione è stata presa in considerazione una percentuale del 60% dei casi totali. Come sottolineato anche precedentemente, cambiano le variabili immesse nell'analisi, riducendosi, in questo caso, a 5 (*figura 109*).

Variabili immesse/rimosse ^{a,b,c,d}									
Fase	Immessa	Statistica	Lambda di Wilks			F esatta			Sign.
			gl1	gl2	gl3	Statistica	gl1	gl2	
1	cod_anno	,939	1	1	1191,000	76,848	1	1191,000	,000
2	cod_stru_o	,922	2	1	1191,000	50,519	2	1190,000	,000
3	Slope	,913	3	1	1191,000	37,685	3	1189,000	,000
4	cod_piani	,907	4	1	1191,000	30,514	4	1188,000	,000
5	plancurvatu	,902	5	1	1191,000	25,811	5	1187,000	,000

Ad ogni fase, viene inserita la variabile che minimizza il lambda di Wilks globale.

Figura 109 - variabili immesse nell'analisi.

Le *figure 110, 111, 112 e 113* mostrano i risultati per probabilità a priori uguale tra i gruppi.

				Appartenenza gruppo prevista		Totale
				1	2	
Casi selezionati	Originale	Conteggio	Codice classe agibilità			
			1	595	310	905
		2	126	236	362	
		%	65,7	34,3	100,0	
	Con convalida incrociata ^c	Conteggio	Codice classe agibilità			
			1	593	312	905
		2	127	235	362	
		%	65,5	34,5	100,0	
Casi non selezionati	Originale	Conteggio	Codice classe agibilità			
			1	412	248	660
		2	80	151	231	
		%	62,4	37,6	100,0	
	Con convalida incrociata ^c	Conteggio	Codice classe agibilità			
			1	412	248	660
		2	80	151	231	
		%	65,4	34,6	100,0	

a. 65,6% di casi raggruppati originali selezionati classificati correttamente.
b. 63,2% di casi raggruppati originali non selezionati classificati correttamente.
c. La convalida incrociata viene eseguita solo per i casi nell'analisi. Nella convalida incrociata, ogni caso viene classificato in base alle funzioni derivate da tutti gli altri casi eccetto quello.
d. 65,4% di casi raggruppati con convalida incrociata selezionati classificati correttamente.

Figura 110 - tabella riepilogativa analisi discriminante.

La figura evidenzia come il 65,6% dei casi selezionati ha ottenuto una corretta riclassificazione (65,7% riconfermati *Agibili* e 65,2% *Inagibili*). Anche per la cross-validazione si nota che la percentuale si aggira intorno al 65,4%. La percentuale di casi non selezionati riclassificati correttamente è, invece, del 63,2%.

Coefficienti standardizzati di funzione discriminante canonica	
	Funzione 1
cod_stru_o	,420
plancurvatu	-,235
cod_piani	,285
Slope	-,349
cod_anno	,586

Figura 111 - coeff. di funzione canonica.

Matrice di struttura	
	Funzione 1
cod_anno	,770
cod_stru_o	,642
cod_piani	,516
plancurvatu	-,255
Slope	-,204
MaximalCurv ^a	-,170
cod_stru_c ^a	-,123
Cod_tozzi2 ^a	-,097
HubDist ^a	-,083
FlowLineCur ^a	-,056
Longitudina ^a	-,048
dtm2x22013 ^a	-,027

a. Questa variabile non viene utilizzata nell'analisi.

Figura 112 - matrice di struttura.

Coefficienti di funzione di classificazione		
	Codice classe agibilità	
	1	2
cod_stru_o	2,462	2,242
plancurvatu	,092	1,933
cod_piani	1,077	,878
Slope	,204	,256
cod_anno	,123	-,027
(Costante)	-9,825	-7,971

Funzioni discriminanti lineari di Fisher

Figura 113 - coeff. funzioni di classificazione.

Di seguito, in *figura 114, 115, 116 e 117*, sono riportati invece i risultati per la simulazione con probabilità a priori proporzionata tra i due gruppi.

Risultati della classificazione ^{a,b,d}							
			Codice classe agibilità	Appartenenza gruppo prevista		Totale	
				1	2		
Casi selezionati	Originale	Conteggio	1	842	63	905	
			2	276	86	362	
		%	1	93,0	7,0	100,0	
			2	76,2	23,8	100,0	
	Con convalida incrociata ^c	Conteggio	1	839	66	905	
			2	277	85	362	
		%	1	92,7	7,3	100,0	
			2	76,5	23,5	100,0	
Casi non selezionati	Originale	Conteggio	1	599	61	660	
			2	173	58	231	
		%	1	90,8	9,2	100,0	
	2		74,9	25,1	100,0		
	<p>a. 73,2% di casi raggruppati originali selezionati classificati correttamente.</p> <p>b. 73,7% di casi raggruppati originali non selezionati classificati correttamente.</p> <p>c. La convalida incrociata viene eseguita solo per i casi nell'analisi. Nella convalida incrociata, ogni caso viene classificato in base alle funzioni derivate da tutti gli altri casi eccetto quello.</p> <p>d. 72,9% di casi raggruppati con convalida incrociata selezionati classificati correttamente.</p>						

Figura 114 - tabella riepilogativa analisi discriminante.

Nell'analisi di cross-validazione, il 72,9% dei casi selezionati è stato riconfermato alla classe di appartenenza iniziale, la percentuale di casi selezionati e riclassificati correttamente è del 73,2% (93% *Agibile* e 23,8% *Inagibile*). Per il restante 40%, solo il 72,9% è stato riclassificato correttamente.

Coefficienti standardizzati di funzione discriminante canonica	
	Funzione 1
cod_stru_o	,420
plancurvatu	-,235
cod_piani	,285
Slope	-,349
cod_anno	,586

Figura 115 - coeff. di funzione discriminante.

Matrice di struttura	
	Funzione 1
cod_anno	,770
cod_stru_o	,642
cod_piani	,516
plancurvatu	-,255
Slope	-,204
MaximalCurv ^a	-,170
cod_stru_c ^a	-,123
Cod_tozzi2 ^a	-,097
HubDist ^a	-,083
FlowLineCur ^a	-,056
Longitudina ^a	-,048
dtm2x22013 ^a	-,027

a. Questa variabile non viene utilizzata nell'analisi.

Figura 116 - matrice di struttura.

Coefficienti di funzione di classificazione		
	Codice classe agibilità	
	1	2
cod_stru_o	2,462	2,242
plancurvatu	,092	1,933
cod_piani	1,077	,878
Slope	,204	,256
cod_anno	,123	-,027
(Costante)	-9,453	-8,572

Funzioni discriminanti lineari di Fisher

Figura 117 - coeff. funzioni di classificazione.

Nella *tabella 14* viene mostrata una sintesi delle analisi condotte.

Si nota che, pur variando la percentuale dei dati utilizzati (100%, 80%, 60%), le istanze totali correttamente riclassificate ammontano intorno al 65% nel caso di probabilità *a priori* uguale e a circa il 73% nel caso di probabilità *a priori* proporzionata.

Inoltre, nelle tre analisi condotte, assegnando probabilità *a priori* uguale, le percentuali di successo per la classificazione nei due gruppi sono pressoché uguali (intorno al 65%); nel caso di probabilità *a priori* proporzionata, si osservano risultati nettamente differenti: circa il 93% per il gruppo *agibili* e circa il 29% per il gruppo *inagibili*.

Pertanto, si può affermare che i risultati migliori si sono ottenuti tenendo conto della probabilità *a priori* uguale.

Tabella 14 – tabella riepilogativa delle analisi condotte.

Campione	Percentuale casi riclassificati correttamente (probabilità a priori uguale)			Percentuale casi riclassificati correttamente (probabilità a priori proporzionata)		
	<i>Agibili</i>	<i>Inagibili</i>	Totale	<i>Agibili</i>	<i>Inagibili</i>	Totale
100%	64,4%	66,3%	64,9%	93,6%	19,6%	73,3%
80%	64,3%	64,8%	64,4%	93,8%	18,9%	73,4%
60%	65,7%	65,2%	65,6%	93,0%	23,8%	73,2%

5. CONCLUSIONI

Lo scopo della tesi ha riguardato principalmente l'individuazione di una metodologia che utilizzasse i dati raccolti in ERIKUS, una piattaforma che contiene le informazioni ottenute dalla compilazione della scheda AeDES predefinita per il censimento del danno sismico ed il giudizio di agibilità post-sismica. Tramite le schede AeDES è stato possibile reperire dati inerenti le caratteristiche strutturali degli edifici ispezionati (esito di agibilità, numero di piani, altezza interpiano, anno di costruzione, tipologia di struttura verticale, orizzontale e mista, tipologia di copertura, regolarità in pianta e in elevazione, regolarità delle tamponature, stato di conservazione) e i dati anagrafici (regione, provincia, comune, frazione, indirizzo, numero civico).

Sono state raccolte circa 4000 schede dagli archivi del Dipartimento di Protezione Civile Siciliana relative ai comuni di Zafferana Etnea e di Santa Venerina, di cui 2872 hanno avuto una corrispondenza con le istanze già inserite in ERIKUS. Soltanto 2100, infine, sono risultate utilizzabili per eseguire le analisi.

Aggiornando le relative sezioni di ERIKUS per ciascun edificio ispezionato, si è proceduto ad esportare i dati ottenuti in QGIS e a metterli in relazione con le caratteristiche geomorfologiche del sito quali l'inclinazione del terreno, la concavità longitudinale e trasversale, la distanza dalle faglie e i valori di pericolosità sismica.

In tal modo si è costituito un database coerente e consistente che ha permesso di eseguire analisi di tipo quantitativo e predittivo sugli effetti causati dal sisma al patrimonio edilizio.

Come riferimento per le analisi condotte, è stata utilizzata la statistica multivariata poiché le caratteristiche che si vogliono esaminare simultaneamente sono molteplici, quindi vi sono più variabili da studiare contemporaneamente e non una sola.

CONCLUSIONI

L'analisi statistica effettuata ha previsto due fasi:

1. analisi fattoriale delle componenti principali, tramite cui è stato possibile ridurre le variabili individuando quelle linearmente indipendenti;
2. analisi discriminante che ha permesso, mediante la determinazione delle variabili maggiormente discriminanti, la creazione di un modello in grado di classificare gli edifici nelle due classi identificate (*Agibili e Inagibili*).

I risultati delle analisi statistiche hanno dimostrato come il sistema ERIKUS sia fondamentale non soltanto per l'organizzazione delle campagne di rilievo post-sisma ma anche per la costruzione di un modello statistico capace di prevedere gli effetti del sisma in termini di agibilità degli edifici in funzione delle informazioni raccolte nel database.

Tuttavia, durante la creazione del modello, sono state riscontrate alcune criticità, quali in particolare:

- I dati a disposizione riguardano soltanto 2 dei 9 comuni maggiormente interessati dal sisma. Pur costituendo più del 50% delle istanze rilevate, l'inserimento di ulteriori informazioni in merito ai restanti comuni consentirebbe di avere un database più completo e, di conseguenza, un modello statistico da cui ottenere risultati più affidabili;
- La raccolta e l'inserimento dei dati sulla piattaforma ERIKUS ha evidenziato come molte delle schede AeDES fossero incomplete o imprecise. Per esempio alcune possedevano un numero di protocollo mancante, errato o corrispondente a più istanze; alcune, pur possedendo il protocollo, risultavano non compilate e altre si presentavano incomplete a causa del mancato o non corretto inserimento di dati legati alle caratteristiche degli edifici. Per questo motivo, su una raccolta di circa 4000 schede AeDES, lo studio si è basato soltanto su circa 2900 schede;

- L'analisi effettuata non comprende le variabili relative alle caratteristiche del fenomeno ed alla geotecnica sismica (accelerazione sismica e microzonazione) perché non è stato possibile reperirle. Trascurando tali variabili che sappiamo avere una certa influenza perché legate al fenomeno fisico, i risultati ottenuti sono fortemente condizionati da incertezza. Per questo motivo, si è tenuto conto delle variabili *più discriminanti* tra quelle a disposizione, ma in futuro sarà necessario includere le variabili di caratterizzazione sismica del sito e, di conseguenza, rivalutare il potere discriminante delle variabili precedentemente selezionate.

Pur essendo, il lavoro, di carattere preliminare, e nonostante le difficoltà esaminate, i risultati ottenuti, si sono rivelati incoraggianti perché hanno permesso di individuare, con probabilità al di sopra del 50%, quelle che potrebbero essere le variabili da considerare, legate, non tanto all'evento in sé quanto alle condizioni.

In conclusione, si può affermare che il sistema ERIKUS costituisca una risorsa preziosa per lo studio e per l'analisi degli effetti del sisma sul patrimonio edilizio, anche dal punto di vista spaziale. Per tale motivo, sarebbe auspicabile che, in futuro, il suo utilizzo per la gestione delle istanze di agibilità venisse incentivato ed allargato all'intero territorio nazionale.

L'auspicio è, inoltre, che il database ERIKUS possa essere popolato a priori, cioè non in condizioni di emergenza, con le informazioni anagrafiche e sulle caratteristiche strutturali degli edifici, in modo da costituire una base dati da utilizzare sia in sede di gestione dell'emergenza sismica, per produrre schede AeDES precompilate e ottimizzare il lavoro di rilievo, sia in fase di studio, programmazione e pianificazione, per condurre analisi statistiche previsionali sugli effetti di un sisma sul territorio.

6. BIBLIOGRAFIA

[1] Baggio C. et al., *Manuale per la compilazione della scheda di 1°livello di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell'emergenza post-sismica (AeDES)*, v. I, 2 ed., Collana tecnica, 2014.

[2] Ceriana Mayneri E., Campus S., Pispico R., Lanteri L., “ERIKUS: An open source geographical tool for earthquake risk management”, in *Geoingegneria Ambientale e Mineraria* v. 151, n. 2, pp. 15-20, agosto 2017.

[3] Decreto del Dirigente generale del DRPC Sicilia 11 marzo 2022, n. 64.

[4] Gelatri R. et al., *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 - Foglio 211 Dego*, Litografia Geda, 2010.

[5] Lentini F., Carbone S., “Geologia della Sicilia – *Geology of Sicily*” in *Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia* v. 95, pp.7-414, 2014.

[6] Monaco C., Tortorici L., “Tettonica estensionale quaternaria nell'Arco Calabro e in Sicilia orientale” in *Studi Geologici Camerti* Volume Speciale n. 2, pp. 351-362, 1995.

[7] Monaco C., Petronio L., Romanelli M. “Tettonica estensionale nel settore orientale del Monte Etna (Sicilia): dati morfotettonici e sismici” in *Studi Geologici Camerti* Volume Speciale n. 2, pp. 363-374, 1995.

BIBLIOGRAFIA

[8] Neri M., Carbone M. L., “La ricerca scientifica a supporto della ricostruzione dei territori colpiti dal sisma del 26 dicembre 2018: mappatura delle zone sismicamente pericolose” in *Terremoti e ricerca INGV*, settembre 2020.

[9] Romagnoli G. et al., “The 2018 Mount Etna Earthquake (Mw 4.9): Depicting a Natural Model of a Composite Fault System From Coseismic Surface Breaks” in *Tectonics* v. 40 n. 5, 2021.

[10] Russo A., “Il terremoto del dicembre del 2018: un “legame profondo” con il territorio della Sicilia orientale”, in *Archivio Bollettino UNICT*, luglio 2021.

<http://terremoti.ingv.it>

<https://www.protezionecivilesicilia.it/it/>

<https://www.regione.sicilia.it/>

SCHEDE AEDES

<https://www.protezionecivile.gov.it/it/approfondimento/scheda-aedes>

<https://www.protezionecivile.gov.it/it/pubblicazione/manuale-la-compilazione-della-scheda-di-primo-livello-di-rilevamento-di-danno-pronto-intervento-e-agibilita-edifici-ordinari-nellemergenza-post>

ERIKUS

<https://www.regione.piemonte.it/web/temi/protezione-civile-difesa-suolo-opere-pubbliche/calamita-naturali/emergenze-sismiche-censimento-danni/sistema-erikus>

7. RINGRAZIAMENTI

Al termine di questo elaborato, desidero fortemente ringraziare la professoressa **Marta Castelli** per aver accettato di essere la mia relatrice, per avermi dimostrato disponibilità e pazienza, per essermi venuta incontro in ogni momento comprendendo la mia situazione e le mie difficoltà.

Un ringraziamento va, inoltre, alla Regione Piemonte nella figura di **Stefano Campus** e ad ARPA Piemonte nella persona di **Rocco Pispico**. Grazie a voi per essere stati i miei correlatori e per avermi permesso di ampliare la mia conoscenza anche in altro ambito diverso da quello edilizio. In particolare, ringrazio Rocco per il supporto “tecnico” e quindi per tutto ciò che riguarda grafici, dati inseriti in ERIKUS e corrispondente allestimento in QGIS. Ringrazio profondamente Stefano per essere stato una guida fondamentale per la stesura “pratica” della tesi, per essersi sempre mostrato disponibile in qualsiasi momento e a qualsiasi ora del giorno, per aver sopportato le mie interminabili e insistenti richieste e domande, per fornirmi qualsiasi tipo di spiegazione quando qualcosa non mi era chiara, ma soprattutto per aver abbattuto quella distanza alunno-professore.

Ringrazio il Dipartimento della Protezione Civile della Regione Sicilia per aver preso parte a questo “progetto” che, si spera possa avere sviluppi futuri. Nello specifico, un grazie particolare va all’**Ing. Antonio Torrisi** per aver accettato la collaborazione e per essersi mostrato molto interessato all’argomento della tesi. Il suo consenso si è rivelato essenziale e fondamentale poiché, non avrei potuto avere accesso ai dati necessari per effettuare le analisi e gli studi contenuti in questo elaborato. Per questo motivo, ringrazio anche i membri dell’ufficio della Protezione Civile di San Giovanni La Punta, in particolare l’**Ing. Vincenzo Salanitri** per la disponibilità e per avermi permesso di recarmi in sede e consultare gli archivi.

ALLEGATO

Istogrammi caratteristiche mancanti edifici

Casi totali

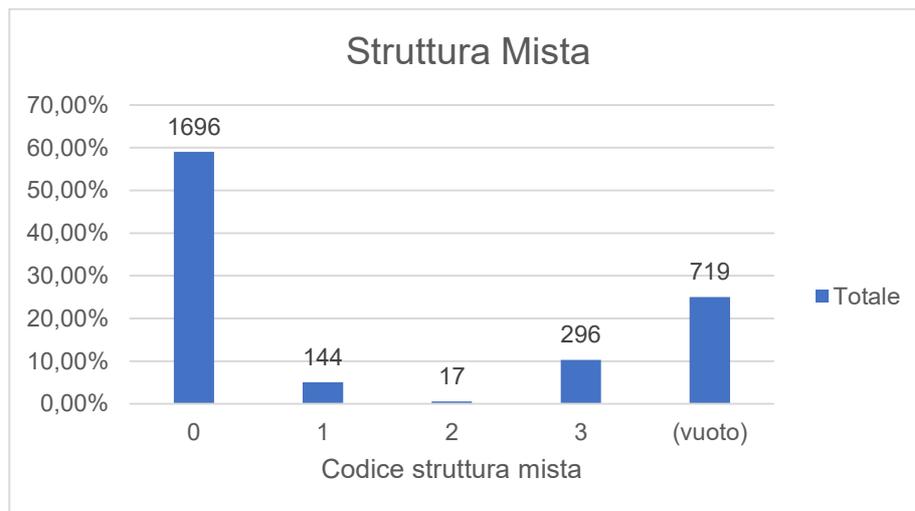


Figura nnnn - istogramma struttura mista, casi totali. Vedi Tabella 8.

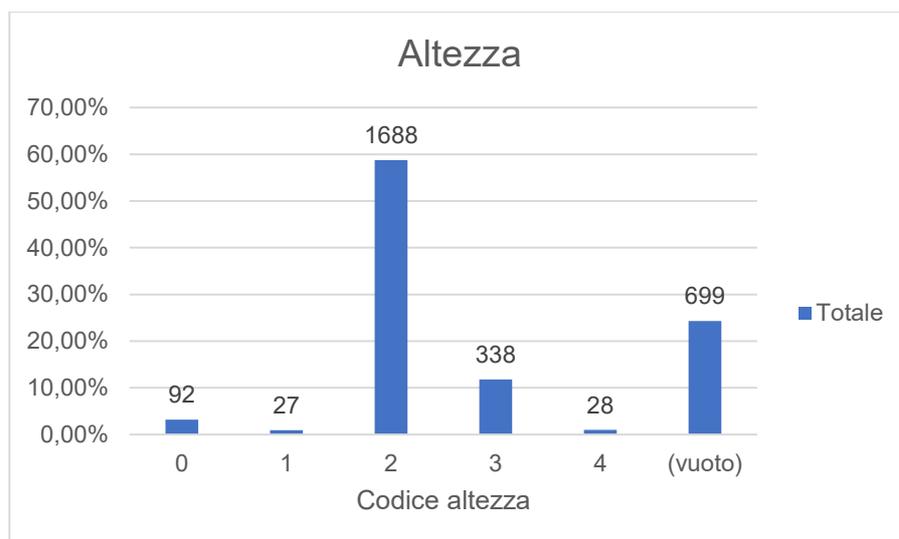


Figura ooooo - istogramma altezza interpiano, casi totali. Vedi tabella 3.

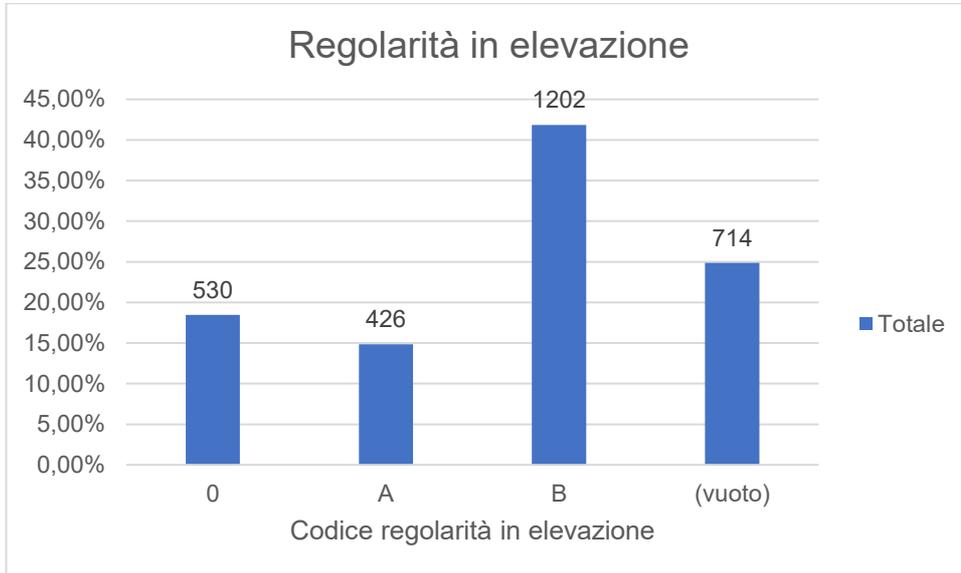


Figura ppppp - istogramma regolarità in elevazione, casi totali. Vedi Tabella 5.

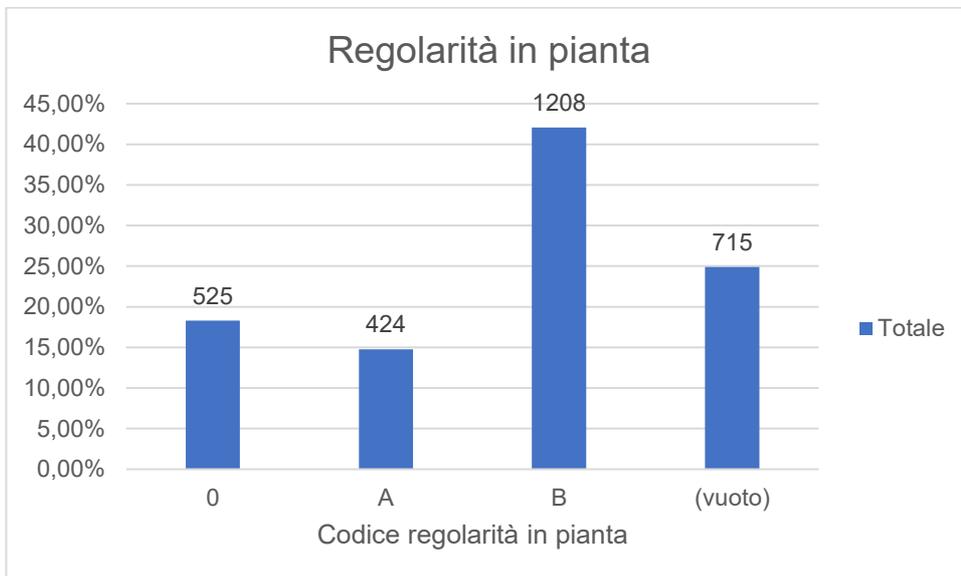


Figura qqqqq - istogramma regolarità in pianta, casi totali. Vedi Tabella 6.

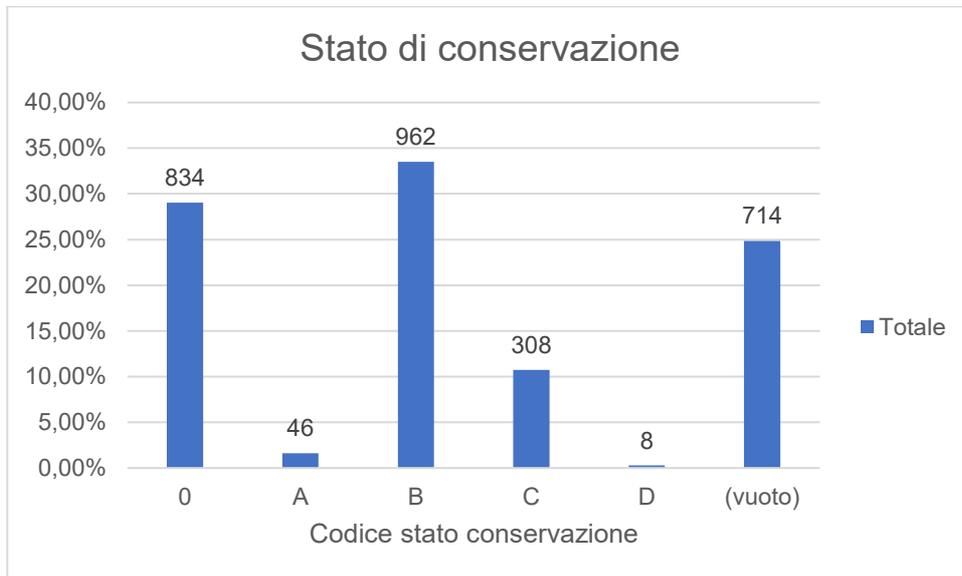


Figura rrrr - istogramma stato di conservazione, casi totali. Vedi Tabella 4.

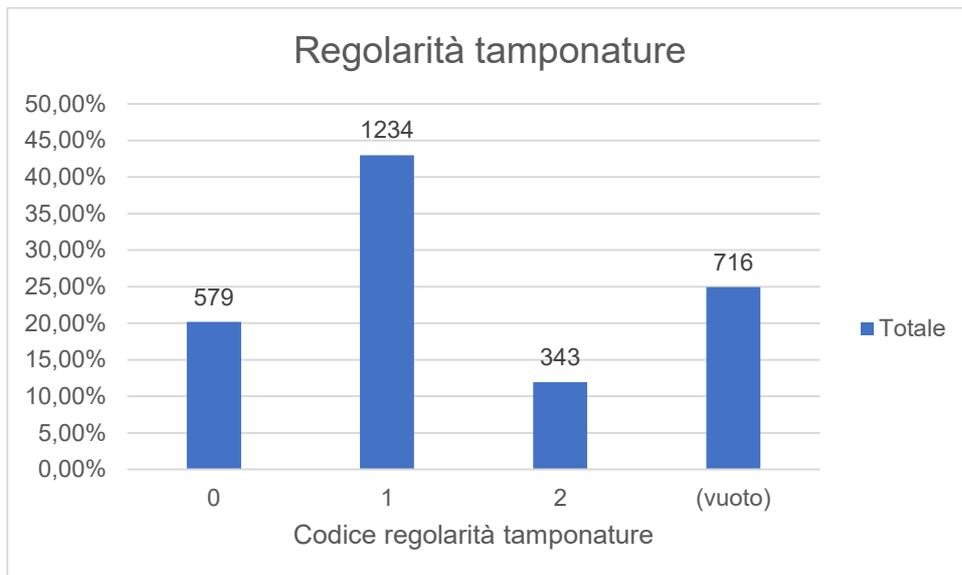


Figura ssss - istogramma regolarità tamponature, casi totali. Vedi Tabella 7.

Casi Agibili

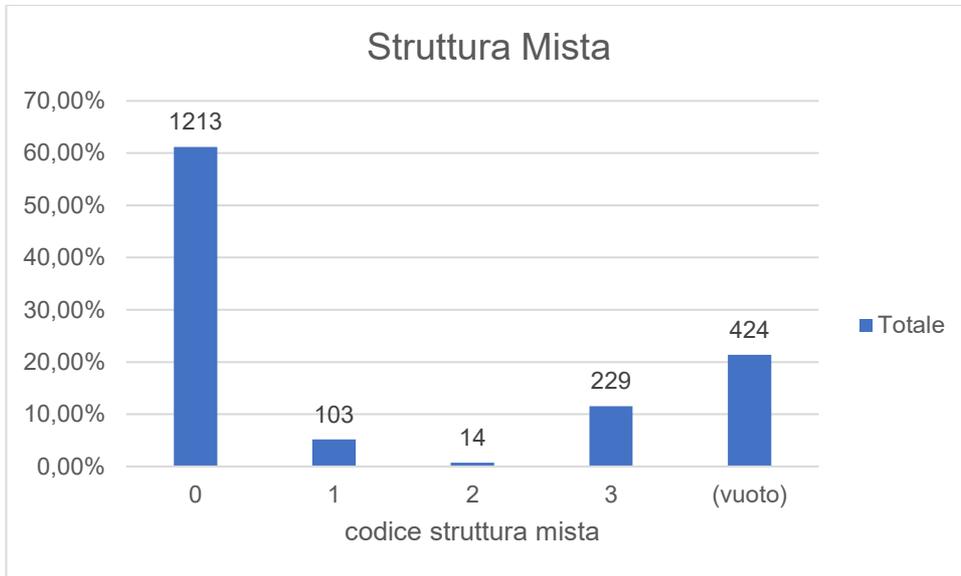


Figura ttttt - istogramma struttura mista, casi agibili. Vedi Tabella 8.

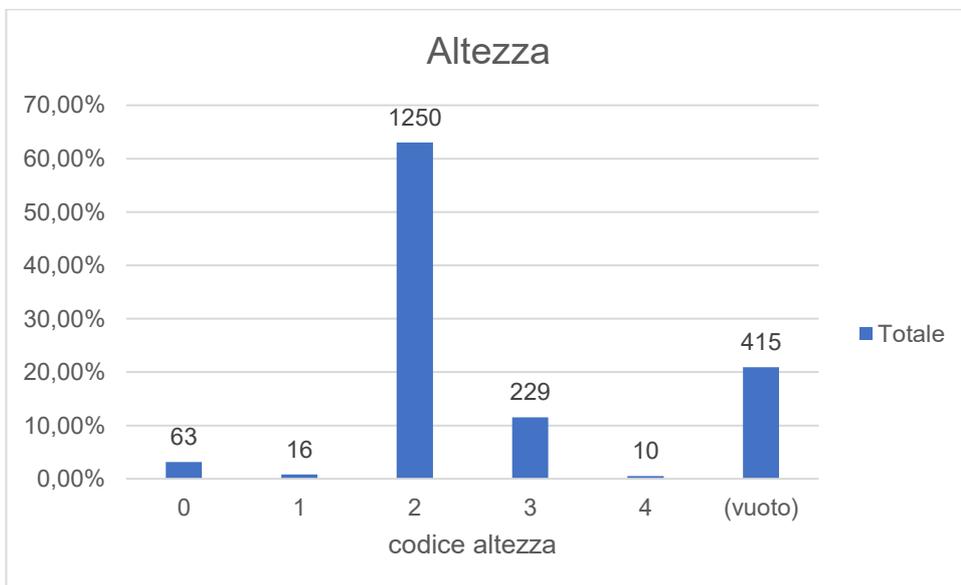


Figura uuuuu - istogramma altezza interpiano, casi agibili. Vedi Tabella 3.

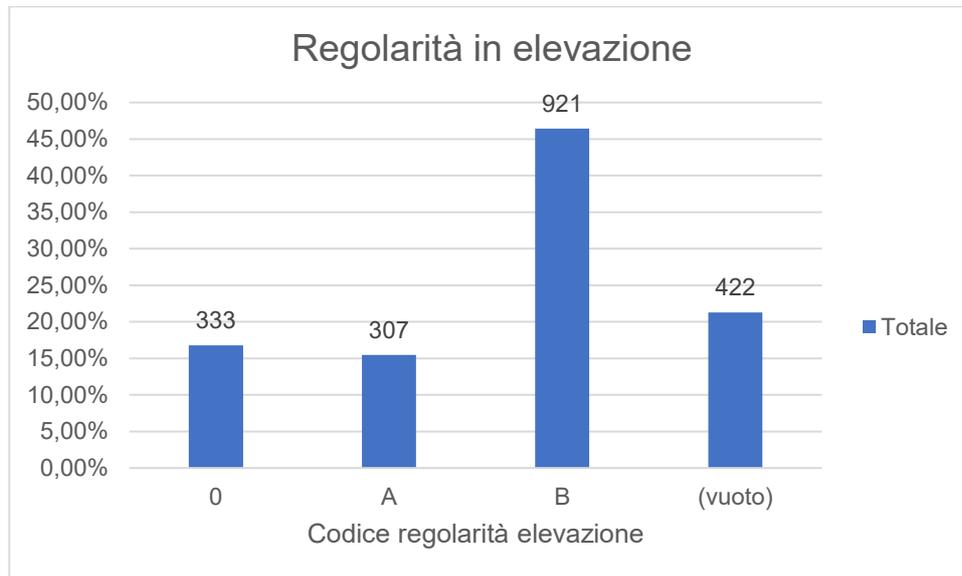


Figura vvvv - istogramma regolarità in elevazione, casi agibili. Vedi Tabella 5.

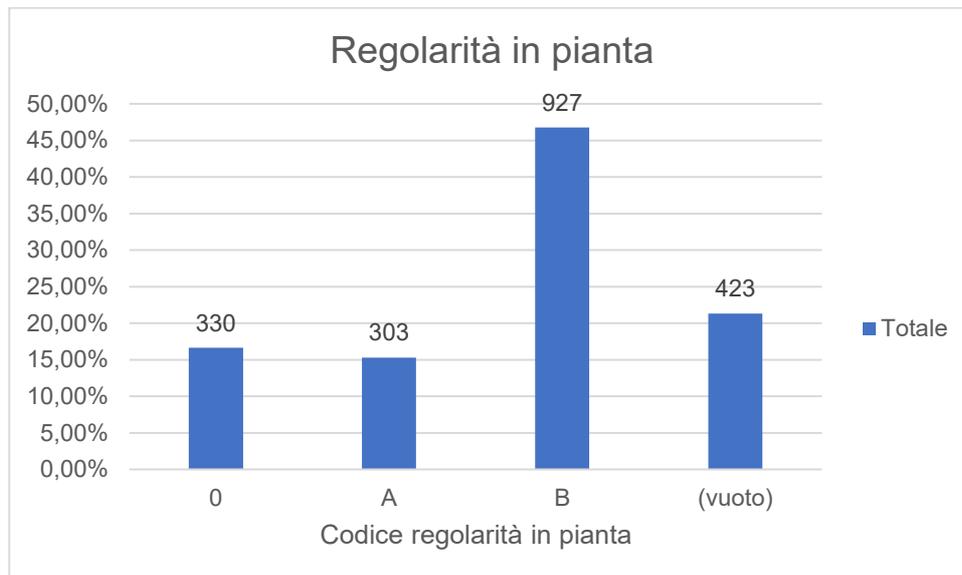


Figura vvvvv - istogramma regolarità in pianta, casi agibili. Vedi Tabella 6.

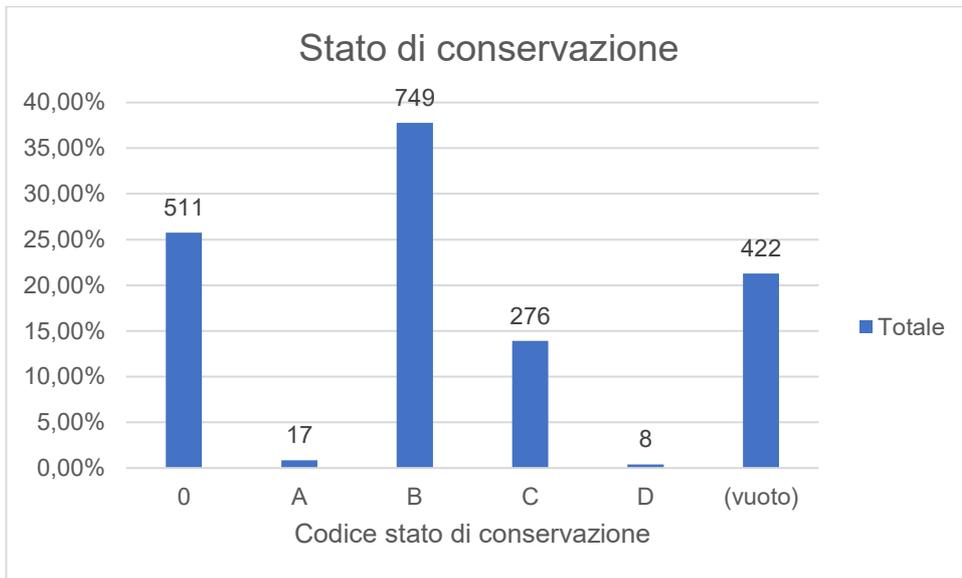


Figura xxxxx - istogramma stato di conservazione, casi agibili. Vedi Tabella 4.

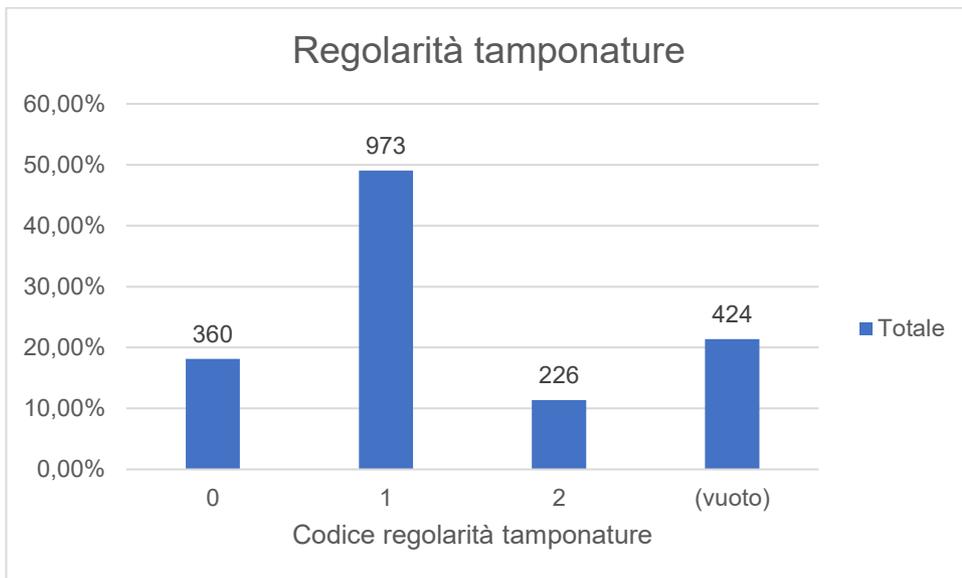


Figura yyyy - istogramma regolarità tamponature, casi agibili. Vedi Tabella 7.

Casi Inagibili

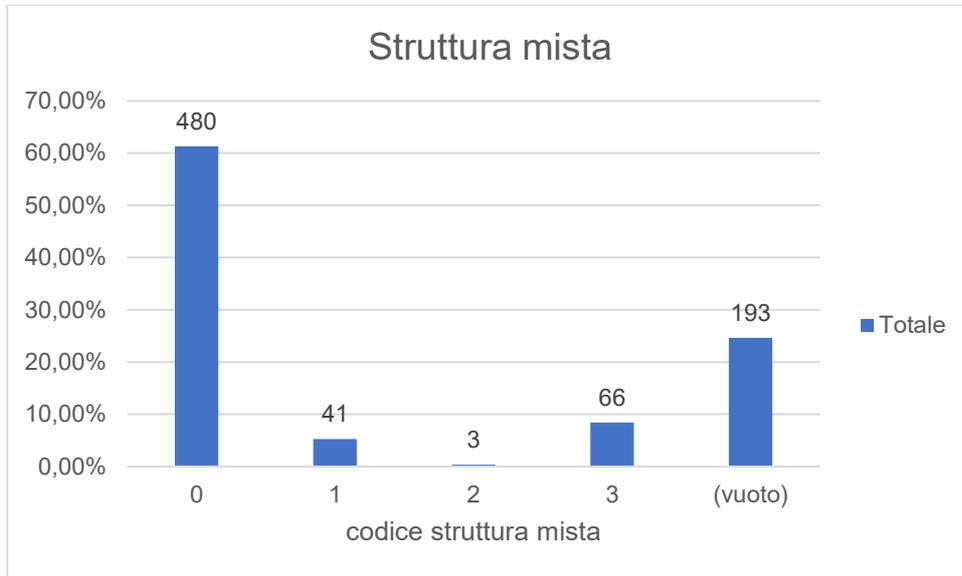


Figura zzzzz - istogramma struttura mista, casi inagibili. Vedi Tabella 8.

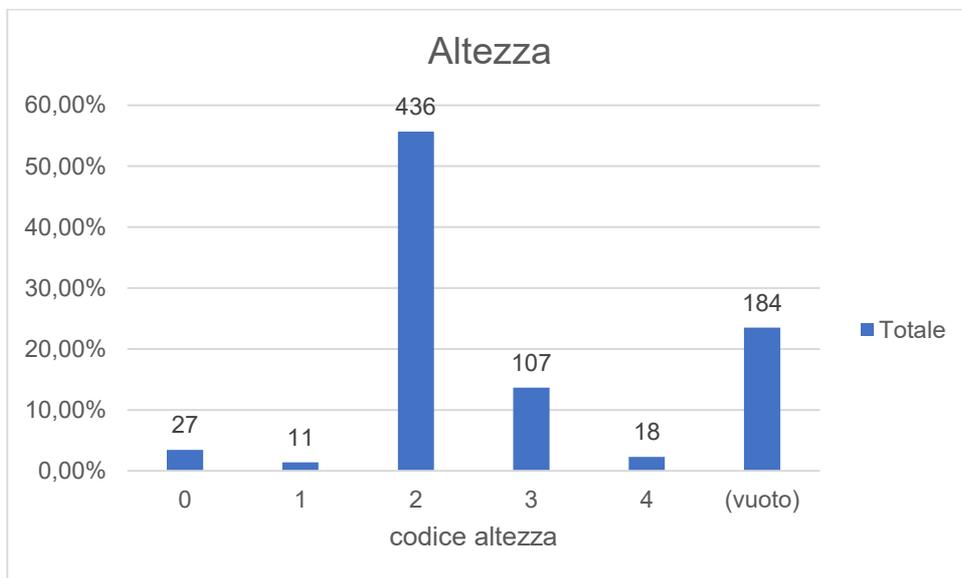


Figura aaaaaa - istogramma altezza interpiano, casi inagibili. Vedi Tabella 3.

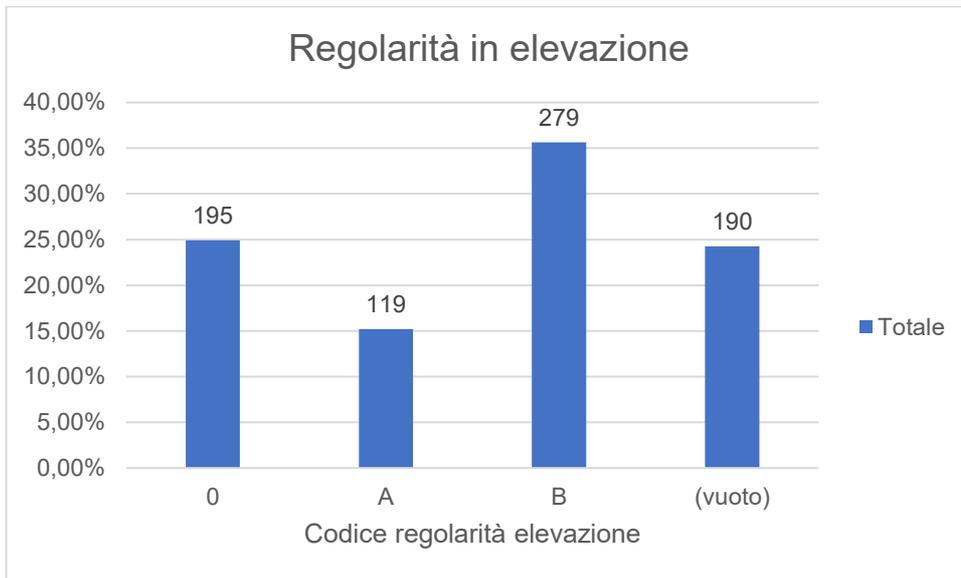


Figura bbbbbb - istogramma regolarità in elevazione, casi inagibili. Vedi Tabella 5.

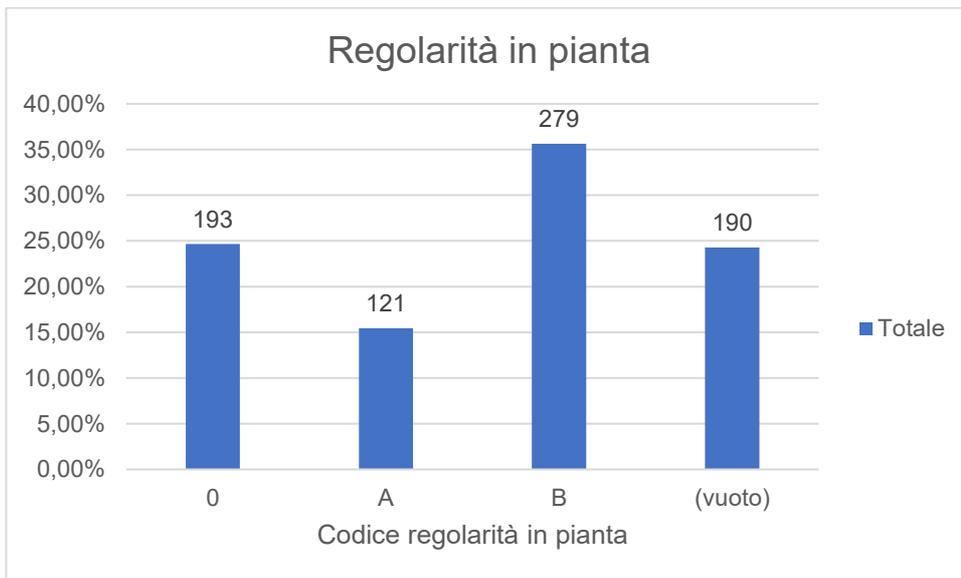


Figura cccccc - istogramma regolarità in pianta, casi inagibili. Vedi Tabella 6.

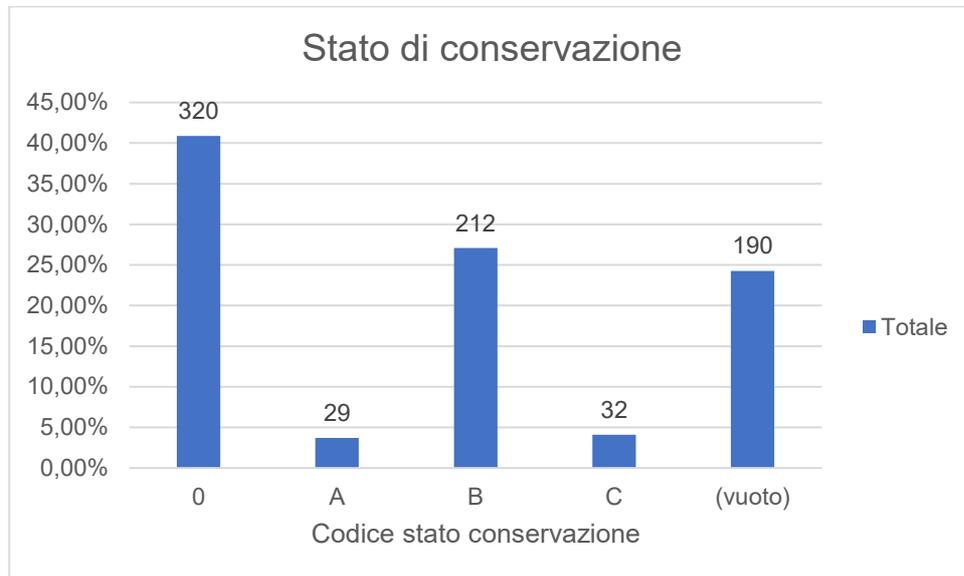


Figura dddddd - istogramma stato di conservazione, casi inagibili. Vedi Tabella 4.

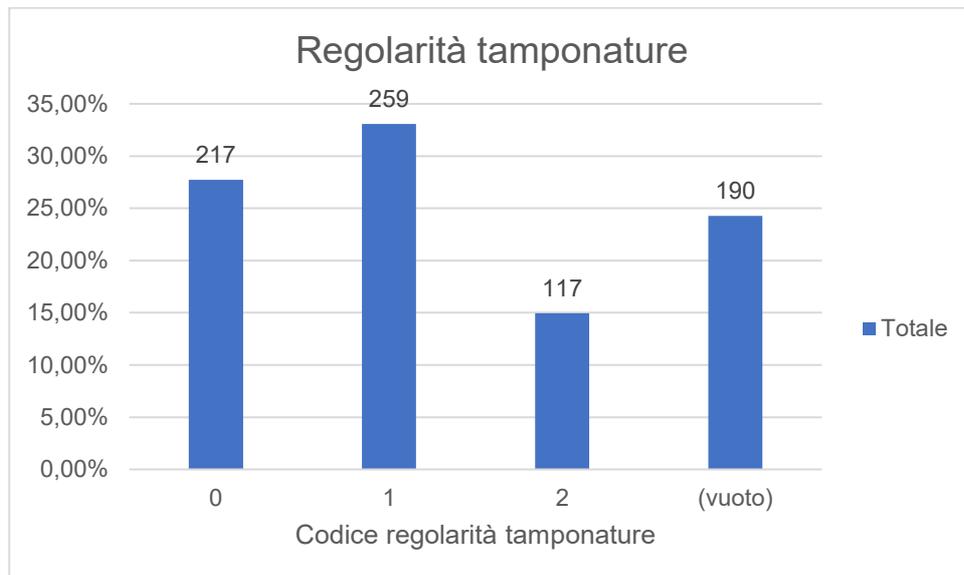


Figura eeeeeee - istogramma regolarità tamponature, casi inagibili. Vedi Tabella 7.

Grafici di relazione tra caratteristiche per i casi *Inagibili*

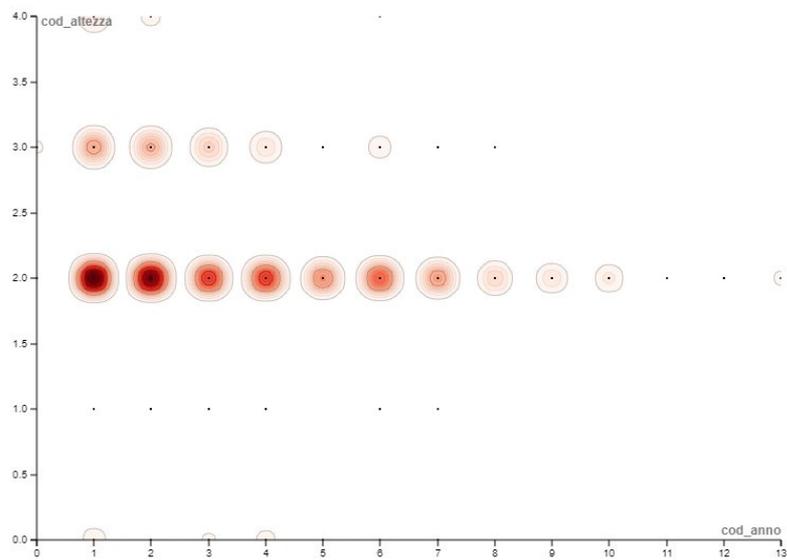


Figura ffffff – relazione tra anno di costruzione e altezza interpiano. Vedi Tabella 2 e Tabella 3.

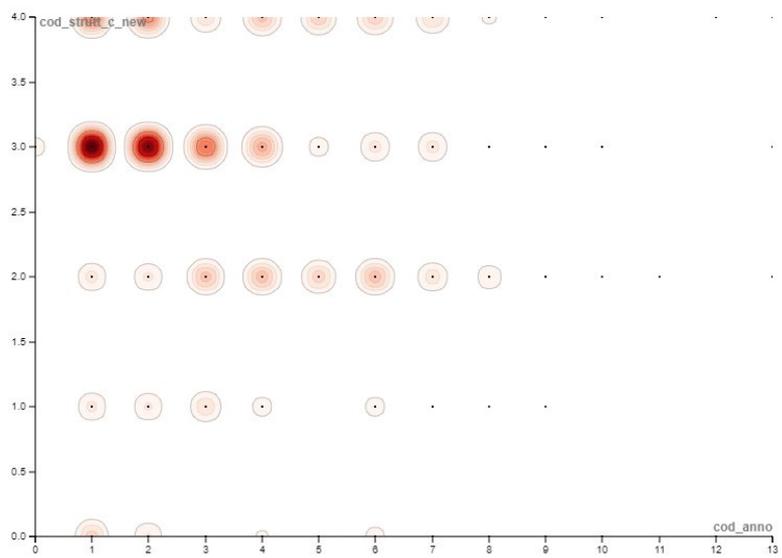


Figura gggggg – relazione tra anno di costruzione e copertura. Vedi Tabella 2 e Tabella 10.

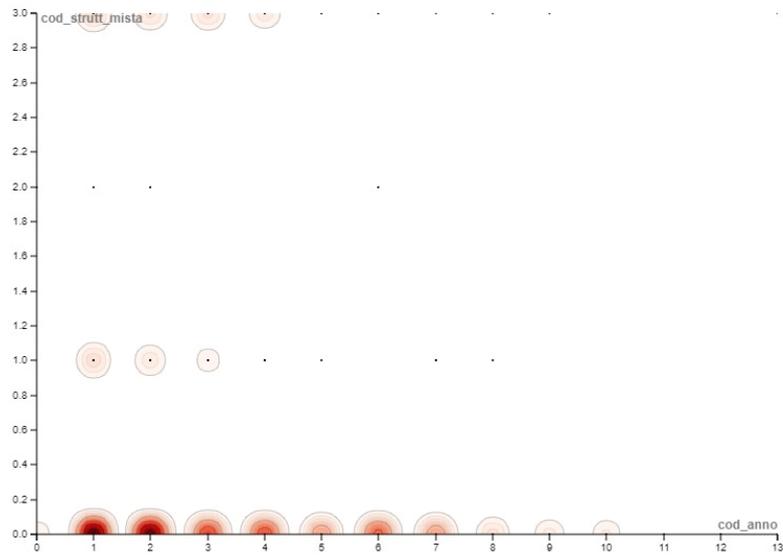


Figura hhhhhh – relazione tra anno di costruzione e struttura mista. Vedi Tabella 2 e Tabella 8.

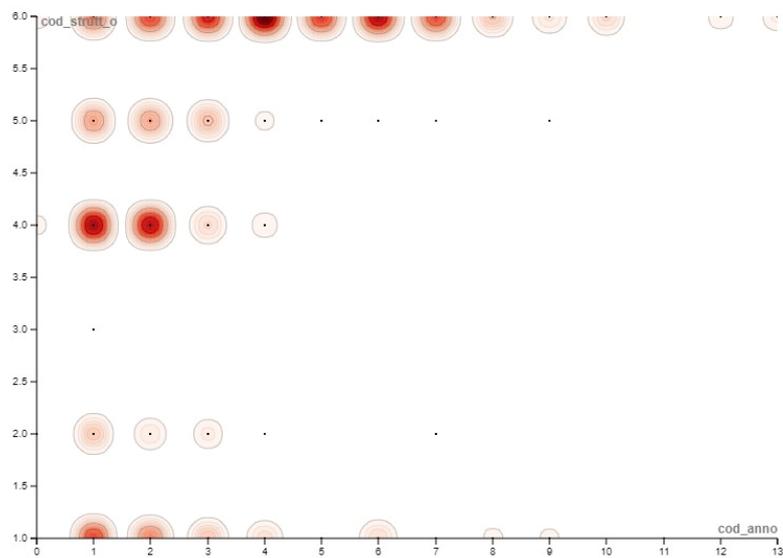


Figura iiiiii – relazione tra anno di costruzione e struttura orizzontale. Vedi Tabella 2 e Tabella 9.

ALLEGATO

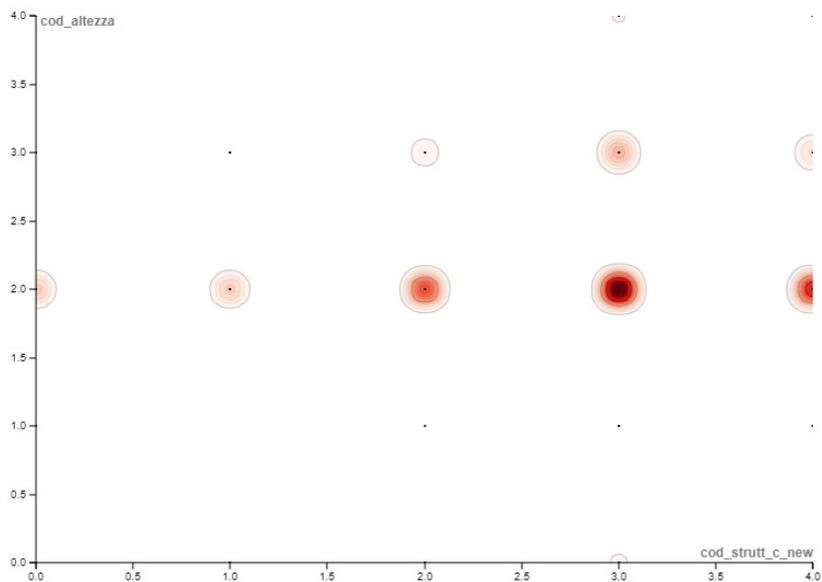


Figura jjjjj – relazione tra copertura e altezza interpiano. Vedi Tabella 3 e Tabella 10.

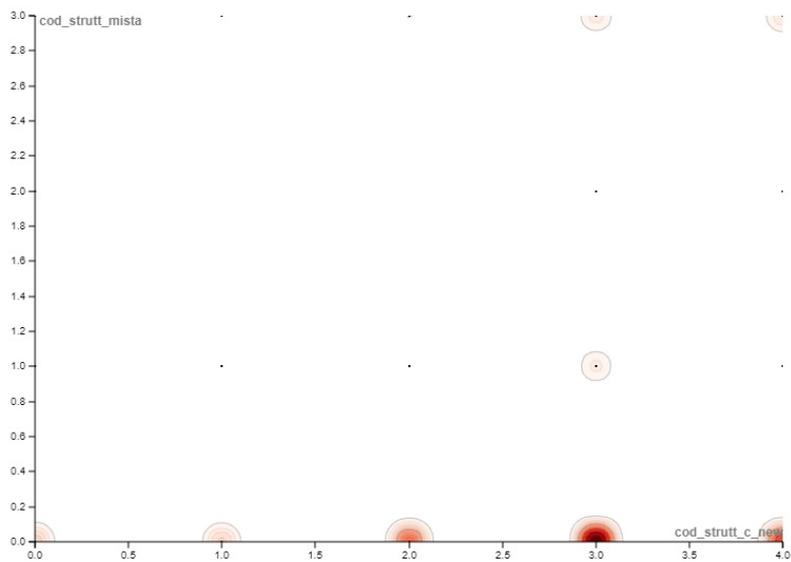


Figura kkkkk – relazione tra copertura e struttura mista. Vedi Tabella 8 e Tabella 10.

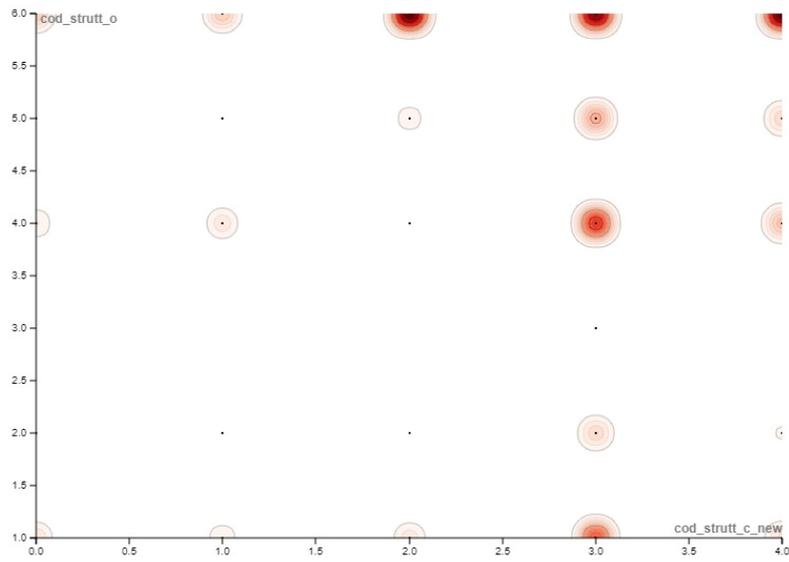


Figura llllll – relazione tra copertura e struttura orizzontale. Vedi Tabella 9 e Tabella 10.

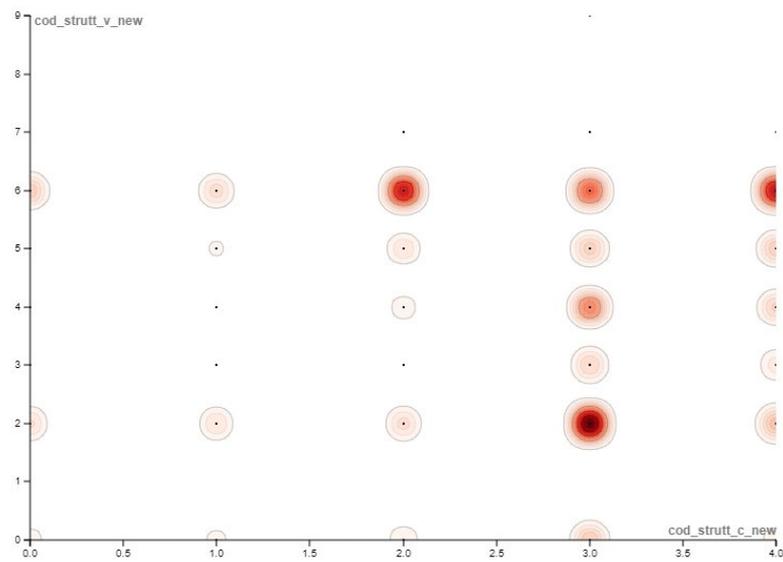


Figura mmmmm – relazione tra copertura e struttura verticale. Vedi Tabella 10 e Tabella 11.

ALLEGATO

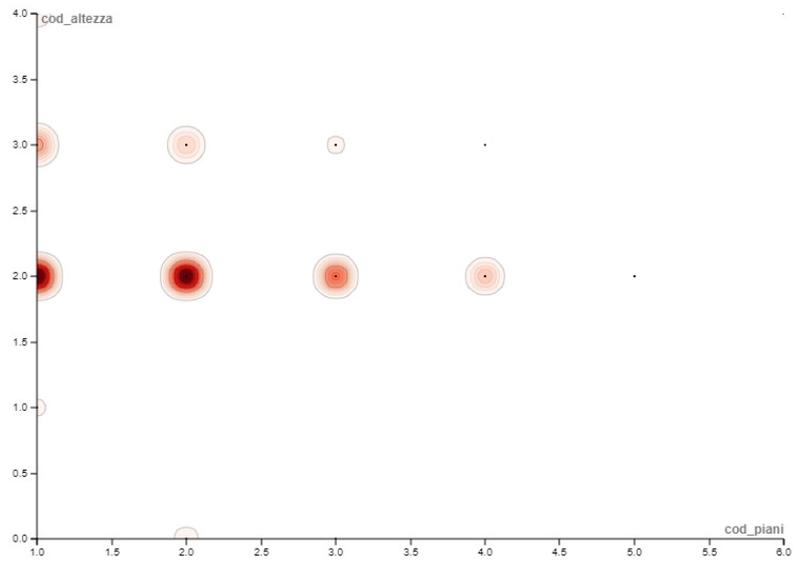


Figura nnnnnn – relazione tra numero di piani e altezza interpiano. Vedi Tabella 1 e Tabella 3.

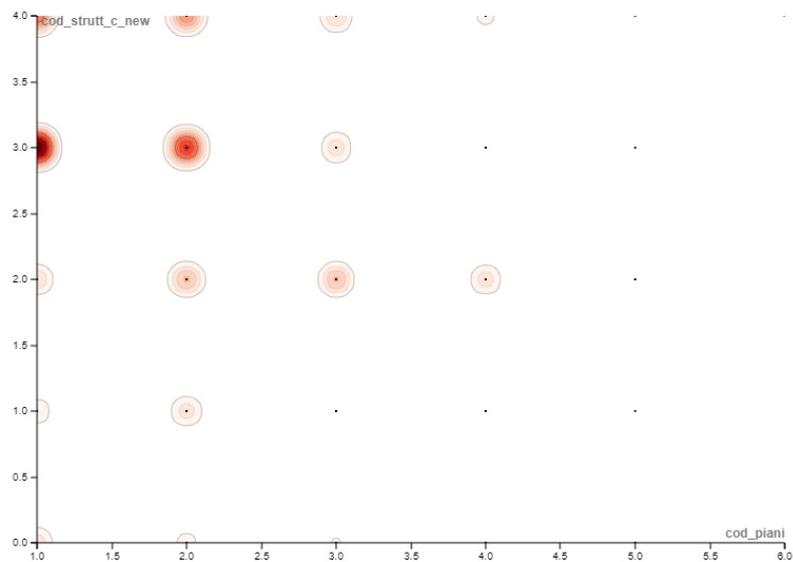


Figura oooooo – relazione tra numero di piani e copertura. Vedi Tabella 1 e Tabella 10.

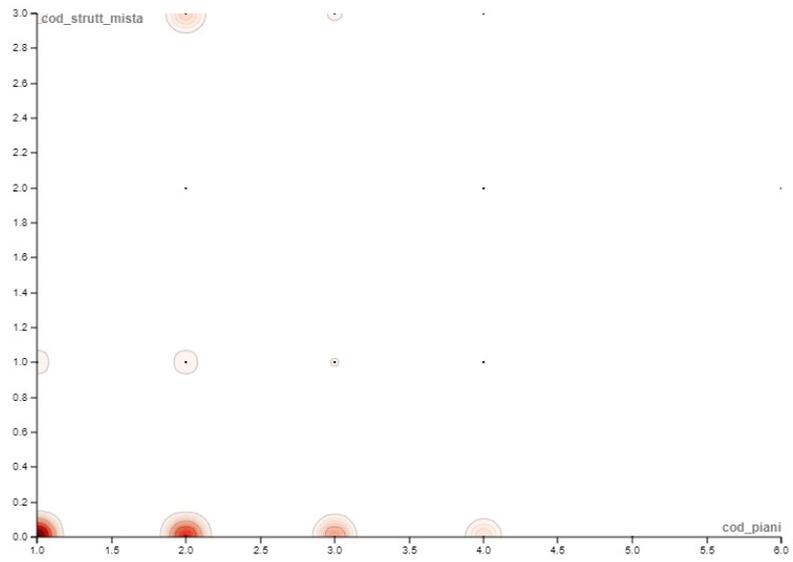


Figura pppppp – relazione tra numero di piani e struttura mista. Vedi Tabella 1 e Tabella 8.

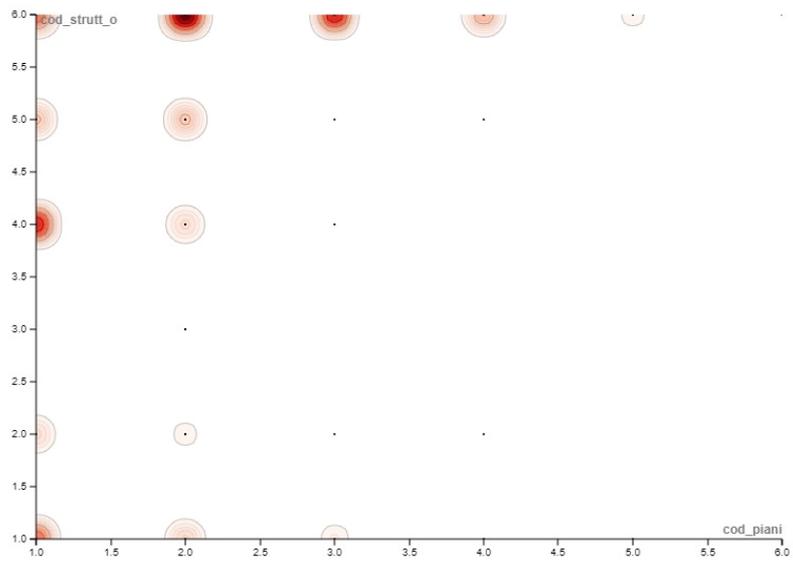


Figura qqqqqq – relazione tra numero di piani e struttura orizzontale. Vedi Tabella 1 e Tabella 9.

ALLEGATO

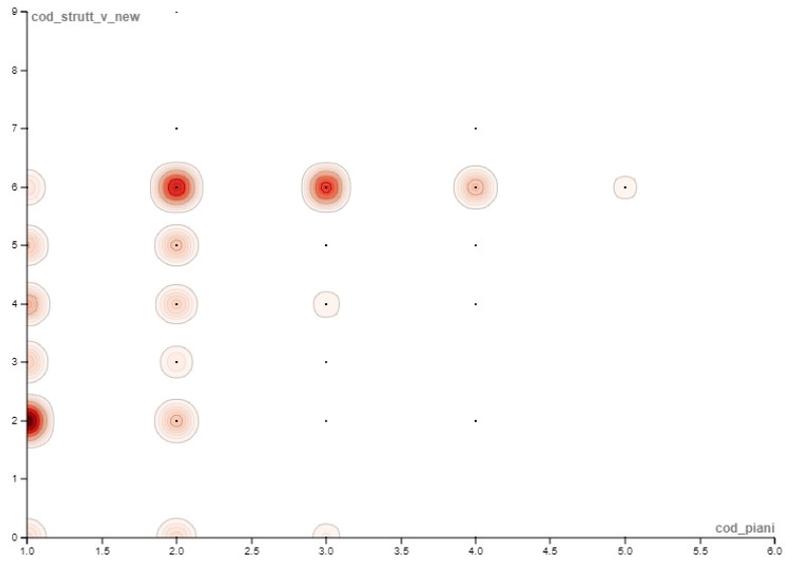


Figura rrrrrr – relazione tra numero di piani e struttura verticale. Vedi Tabella 1 e Tabella 11.

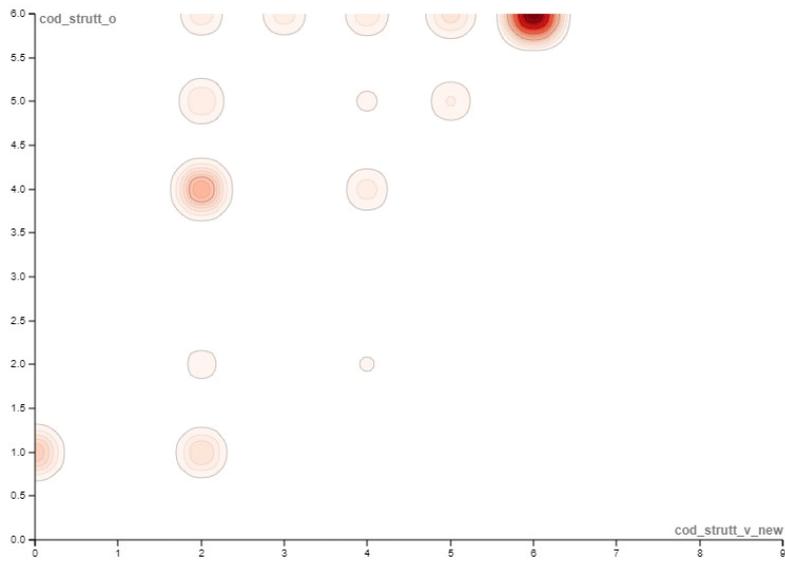


Figura ssssss – relazione tra struttura verticale e struttura orizzontale. Vedi Tabella 9 e Tabella 11.

Relazione tra caratteristiche per i casi agibili

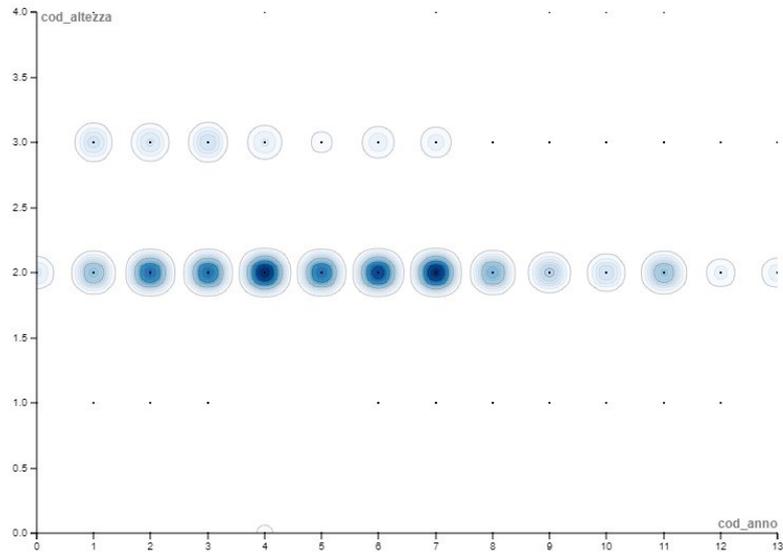


Figura tttttt – relazione tra anno di costruzione e altezza interpiano. Vedi Tabella 2 e Tabella 3.

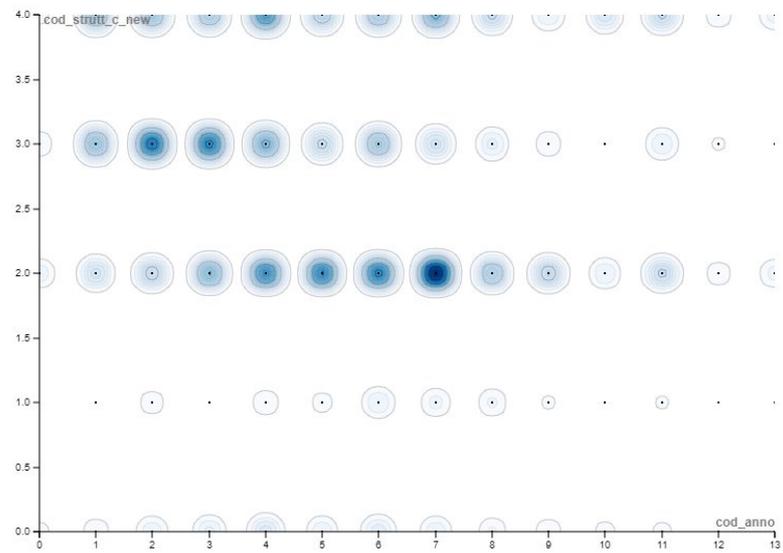


Figura uuuuuu – relazione tra anno di costruzione e copertura. Vedi Tabella 2 e Tabella 10.

ALLEGATO



Figura vvvvvv – relazione tra anno di costruzione e struttura mista. Vedi Tabella 2 e Tabella 8.

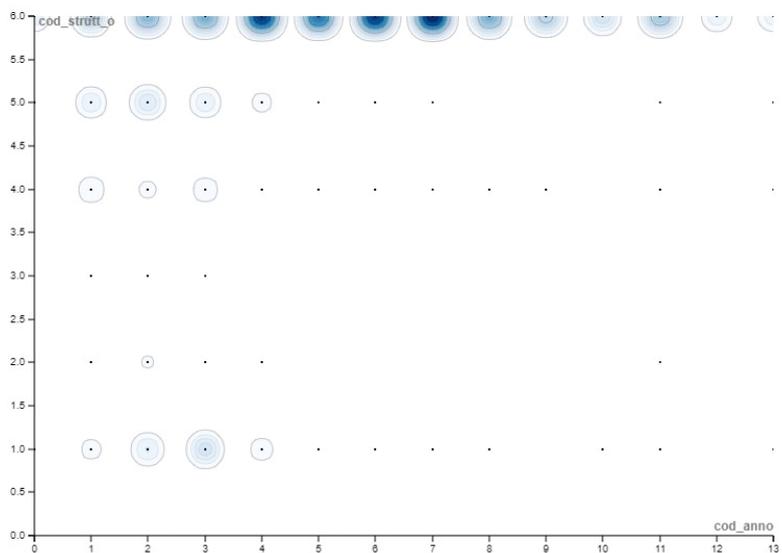


Figura wwwwww – relazione tra anno di costruzione e struttura orizzontale. Vedi Tabella 2 e Tabella 9.

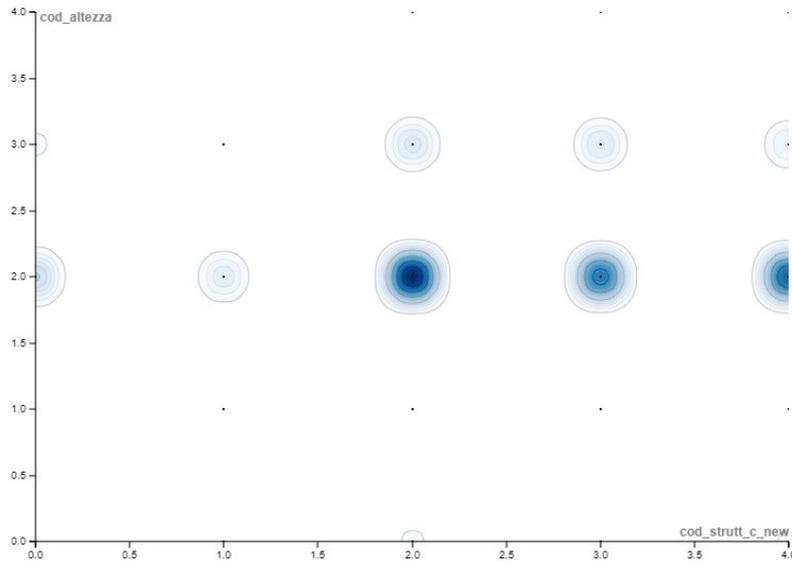


Figura xxxxxx – relazione tra copertura e altezza interpiano. Vedi Tabella 3 e Tabella 10.

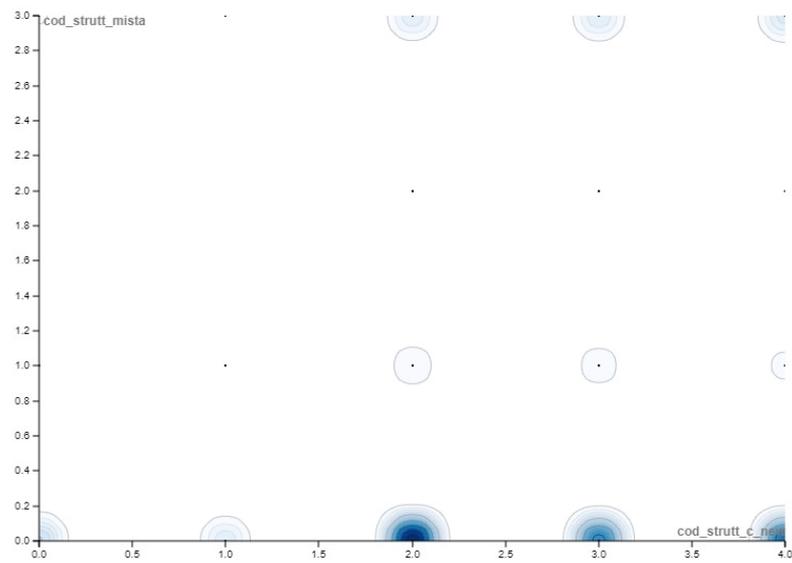


Figura yyyyyy – relazione tra copertura e struttura mista. Vedi Tabella 8 e Tabella 10.

ALLEGATO

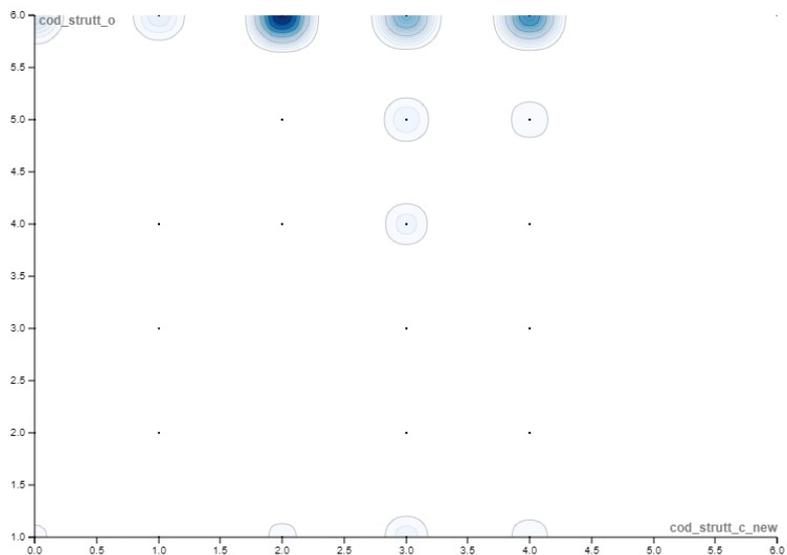


Figura zzzzzz – relazione tra copertura e struttura orizzontale. Vedi Tabella 9 e Tabella 10.

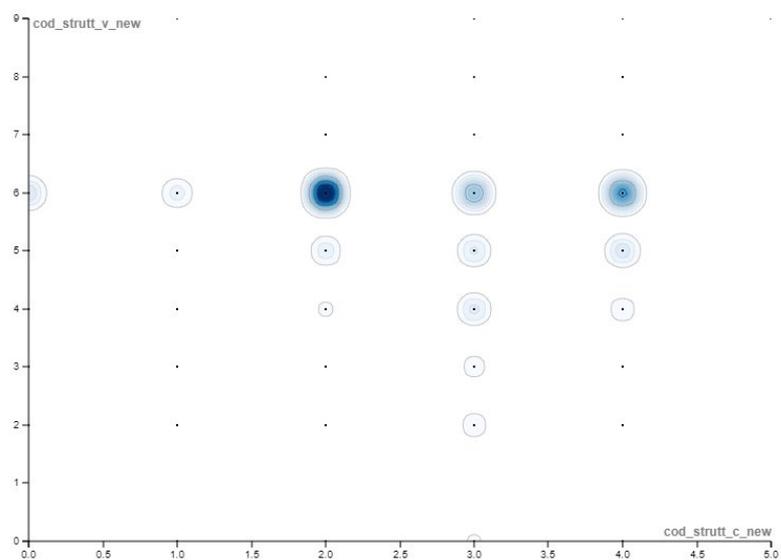


Figura aaaaaa – relazione tra copertura e struttura verticale. Vedi Tabella 10 e Tabella 11.

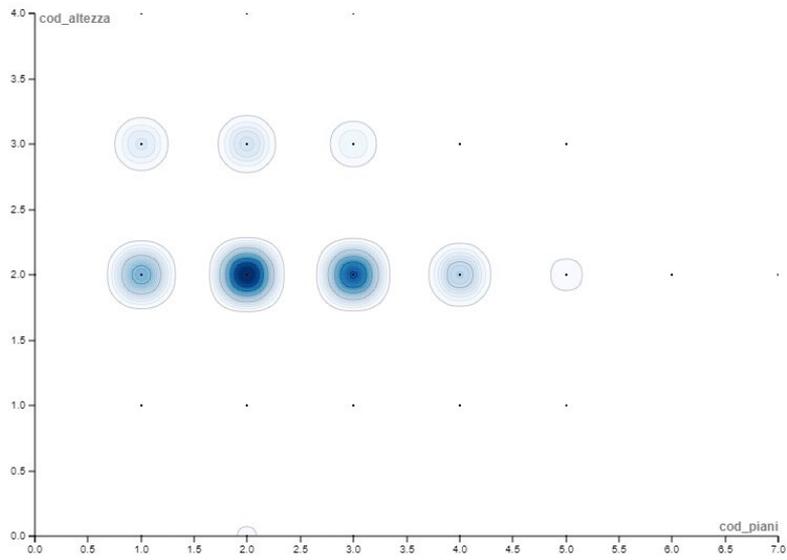


Figura bbbbbb – relazione tra numero di piani e altezza interpiano. Vedi Tabella 1 e Tabella 3.

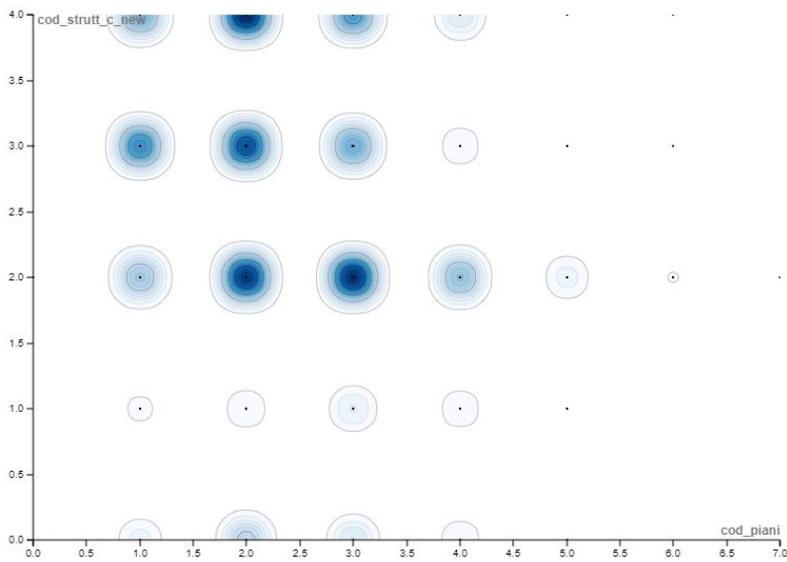


Figura cccccc – relazione tra numero di piani e copertura. Vedi Tabella 1 e Tabella 10.

ALLEGATO

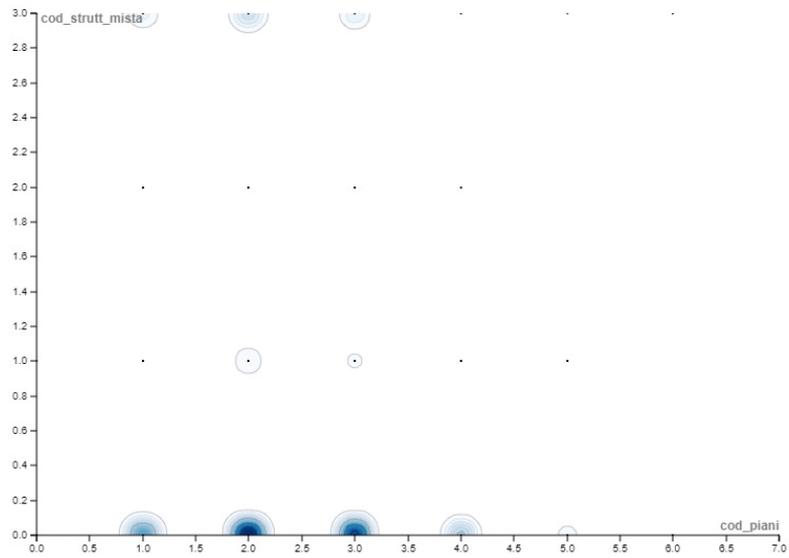


Figura dddddd – relazione tra numero di piani e struttura mista. Vedi Tabella 1 e Tabella 8.

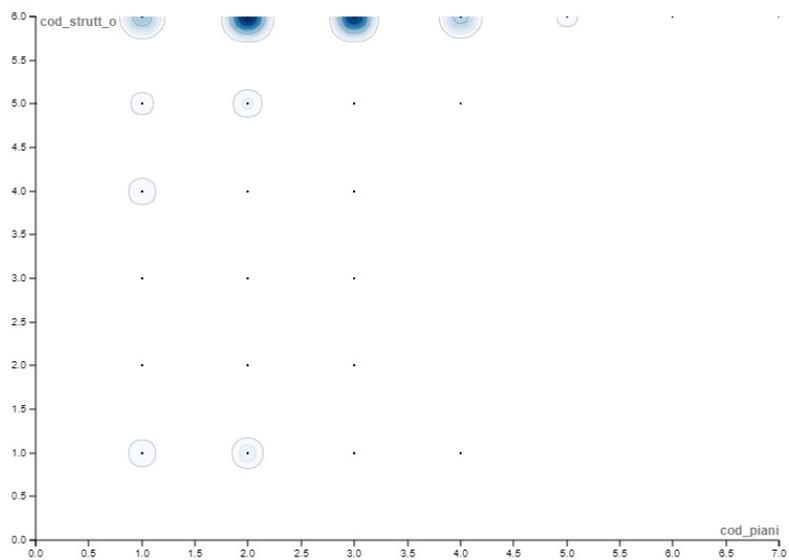


Figura eeeeeee – relazione tra numero di piani e struttura orizzontale. Vedi Tabella 1 e Tabella 9.

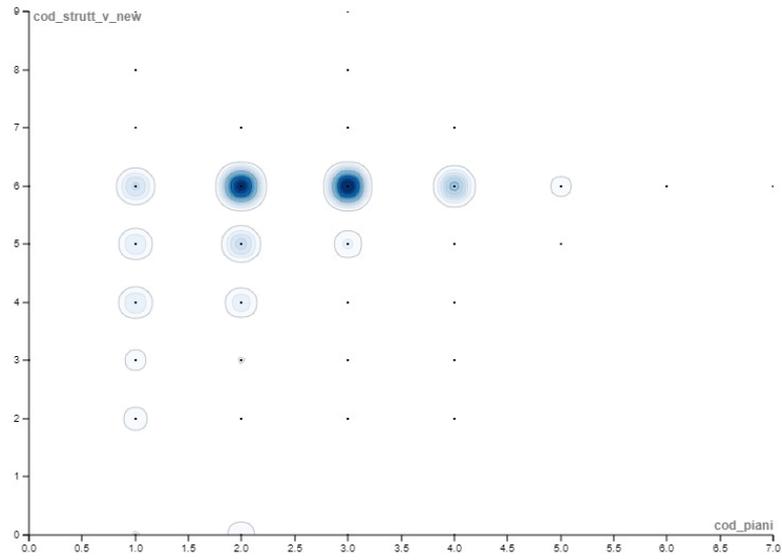


Figura fffffff – relazione tra numero di piani e struttura verticale. Vedi Tabella 1 e Tabella 11.

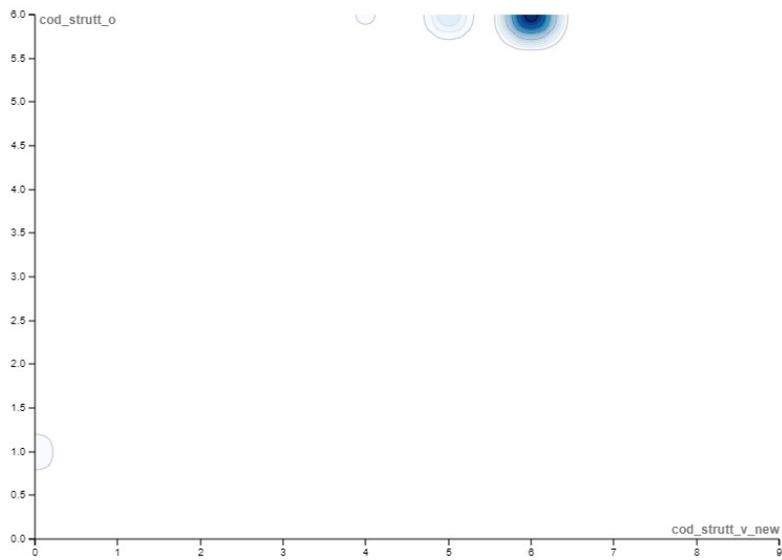


Figura ggggggg – relazione tra struttura verticale e struttura orizzontale. Vedi Tabella 9 e Tabella 11.

Distribuzione spaziale istanze classificate per caratteristiche

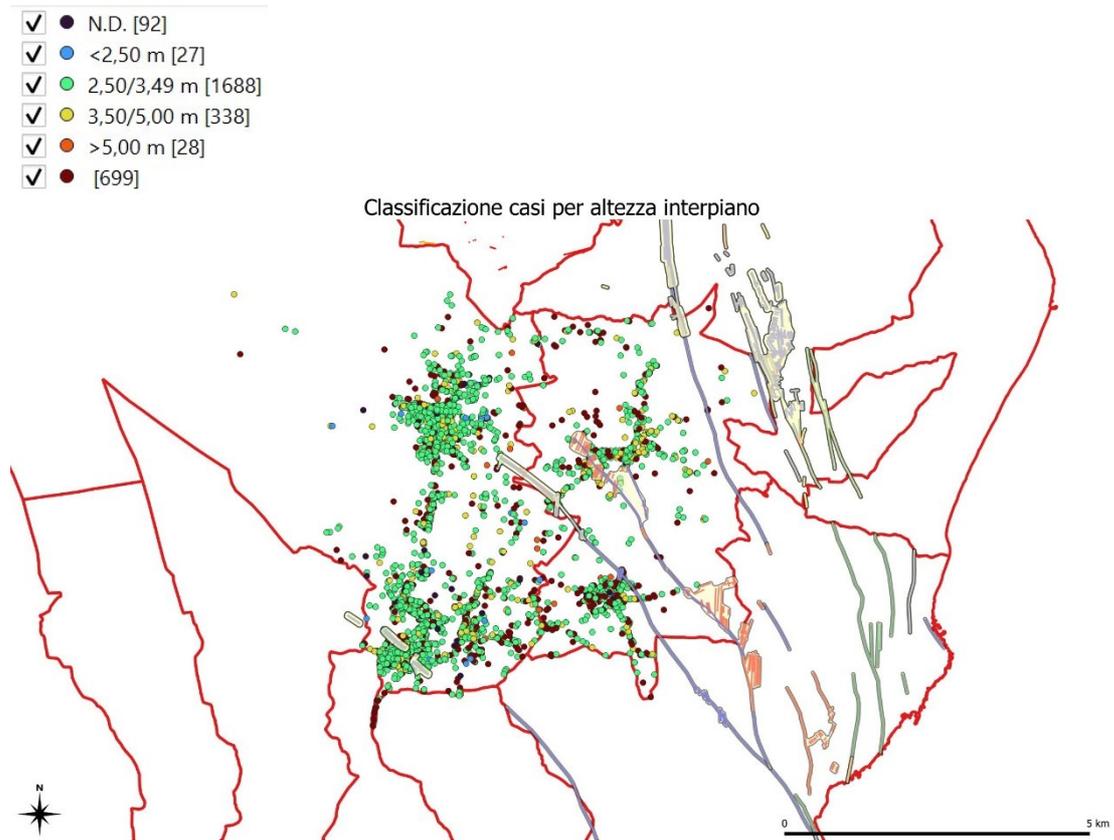


Figura hhhhhh - classificazione per altezza interpiano.

- ✓ ● N.D. [44]
- ✓ ● <1919 [255]
- ✓ ● 1919-1945 [293]
- ✓ ● 1946-1961 [256]
- ✓ ● 1962-1971 [285]
- ✓ ● 1972-1975 [184]
- ✓ ● 1976-1981 [239]
- ✓ ● 1982-1986 [238]
- ✓ ● 1987-1991 [112]
- ✓ ● 1992-1996 [75]
- ✓ ● 1997-2001 [53]
- ✓ ● 2002-1008 [80]
- ✓ ● 2009-2011 [27]
- ✓ ● >2011 [33]
- ✓ ● [698]

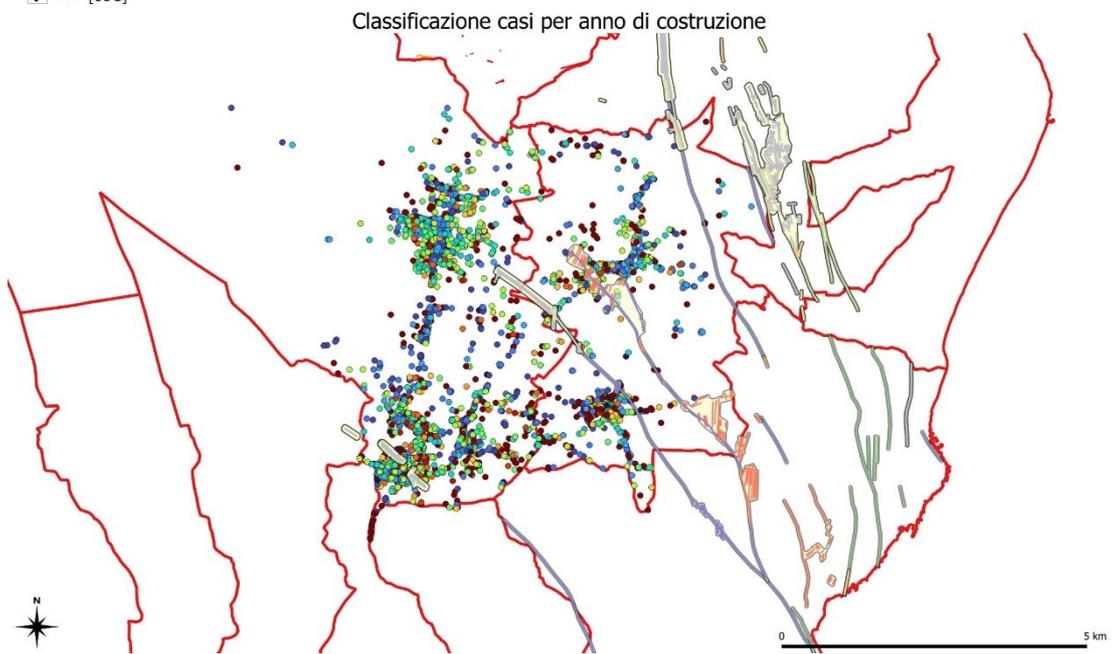


Figura iiiiii - classificazione per anno di costruzione.

- ✓ ● N.D. [184]
- ✓ ● Spingete pesante [118]
- ✓ ● Non spingente pesante [653]
- ✓ ● Spingente leggera [630]
- ✓ ● Non spingente leggera [574]
- ✓ ● [713]

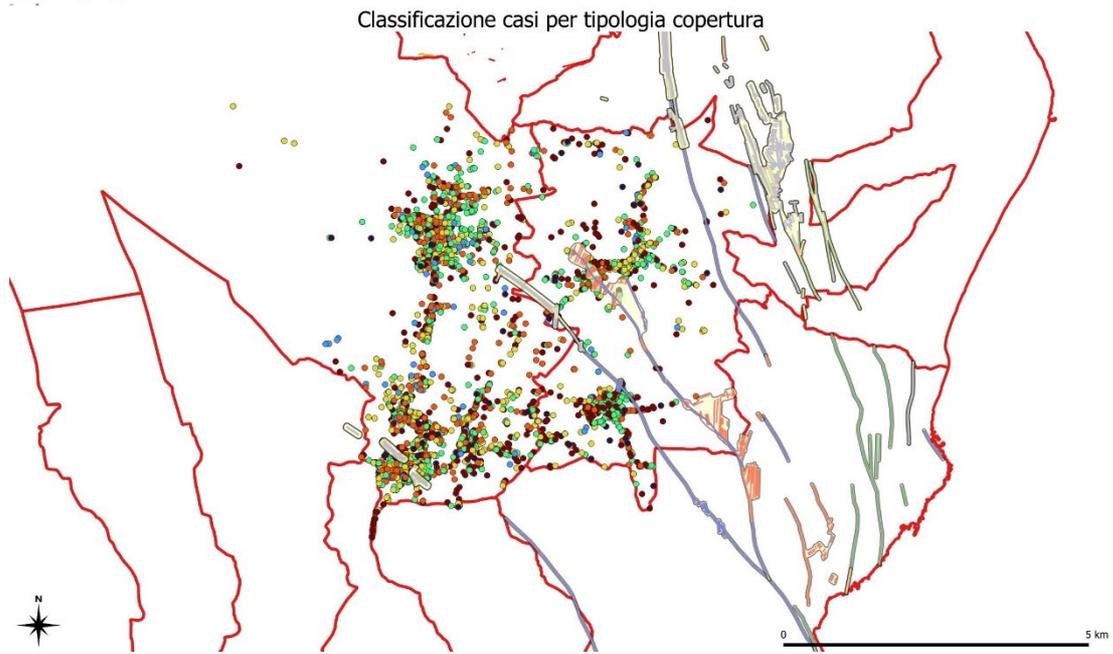


Figura jjjjjj - classificazione per tipologia di copertura.

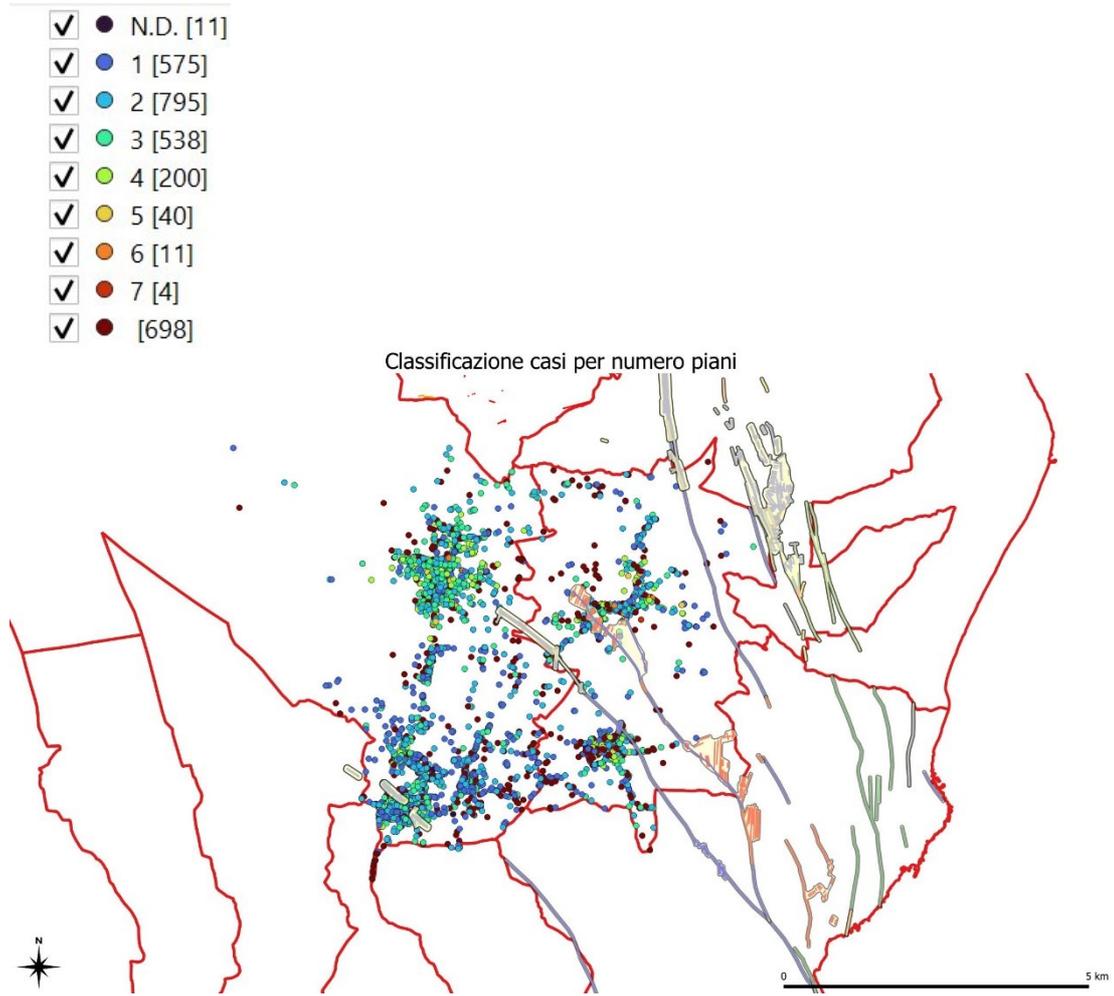


Figura kkkkkkk - classificazione per numero di piani.

- ✓ ● N.D. [1696]
- ✓ ● G1 [144]
- ✓ ● G2 [17]
- ✓ ● G3 [296]
- ✓ ● [719]

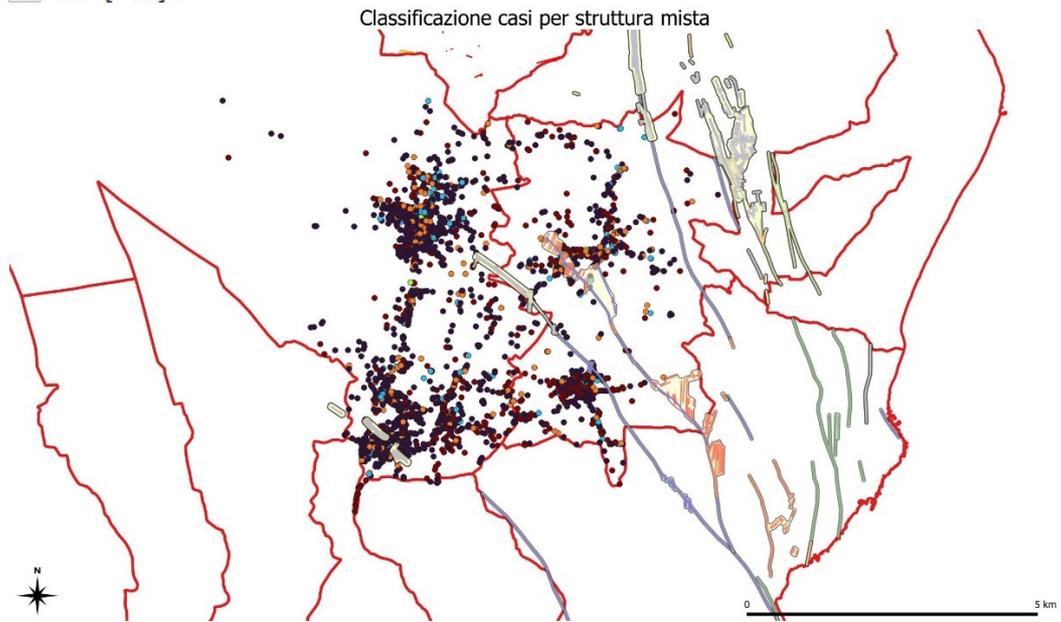


Figura IIIIII - classificazione per struttura mista.

- ✓ ● N.D. [224]
- ✓ ● Volte senza catene [52]
- ✓ ● Volte con catene [9]
- ✓ ● Travi con soletta deformabile [171]
- ✓ ● Travi con soletta semi-rigida [161]
- ✓ ● Travi con soletta rigida [1546]
- ✓ ● [709]

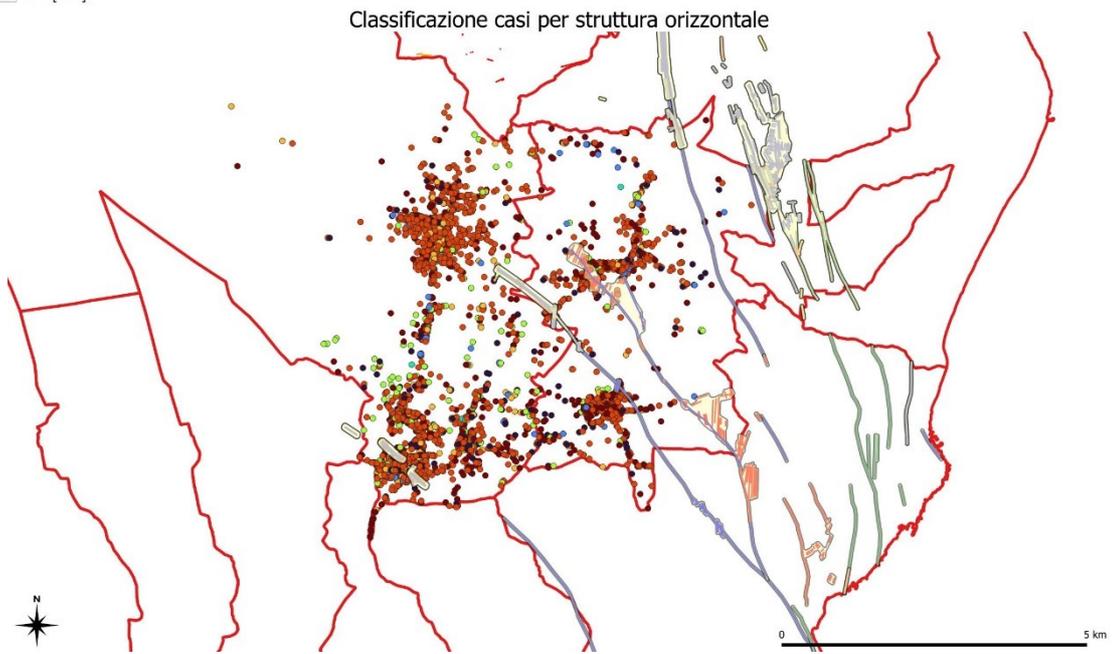


Figura mmmmmm - classificazione per struttura orizzontale.

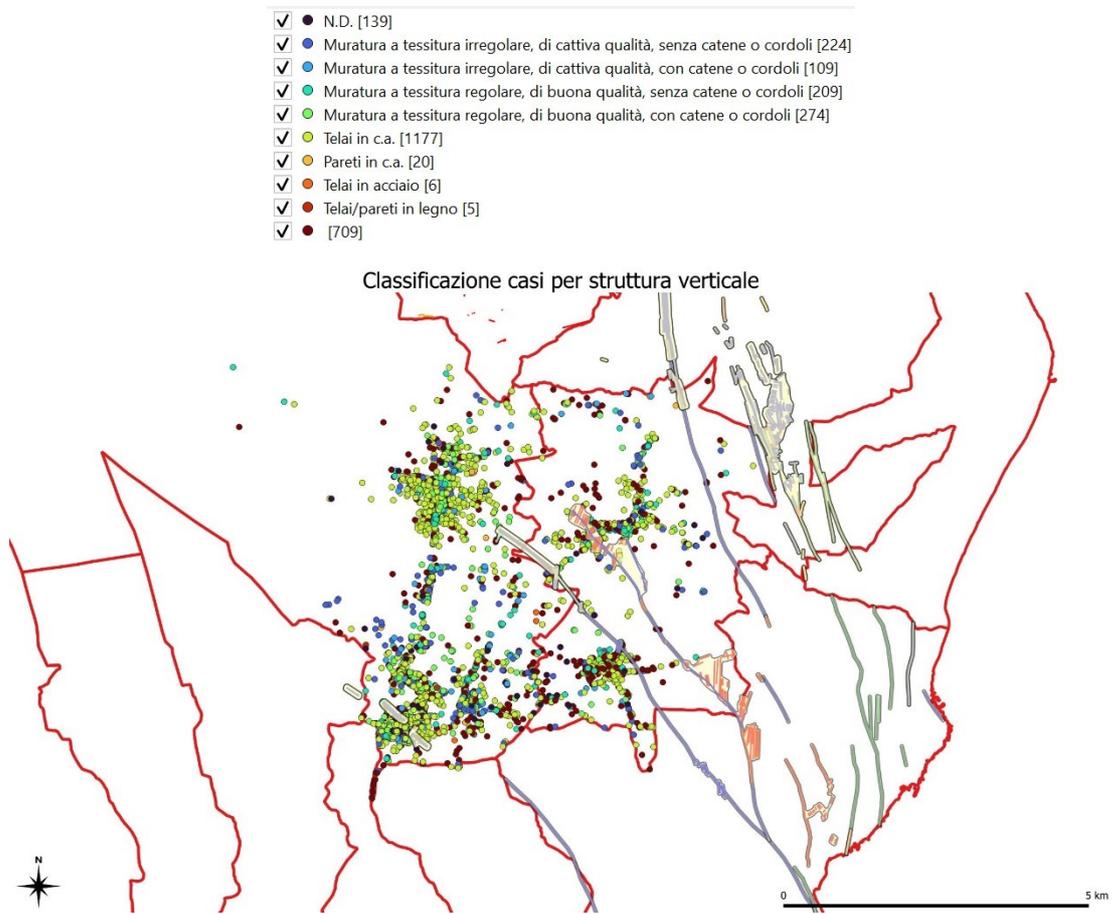


Figura nnnnnn - classificazione per struttura verticale.