

Rapporto
relativo ad una preliminare predizione del danno agli edifici
residenziali di Casamicciola Terme e Lacco Ameno
a seguito del sisma del 21.08. 2017, ore 20.57, M=4.0
(v.2.0 aggiornamento al 30 agosto 2017)

Verderame Gerardo M., Del Gaudio Carlo, Di Domenico Mariano, Ricci Paolo

verderam@unina.it, carlo.delgaudio@unina.it, mariano.didomenico@unina.it, paolo.ricci@unina.it

Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura - DiSt
Università degli Studi di Napoli Federico II

1 Introduzione

Ischia è la maggiore isola dell'Arcipelago Campano, con un'estensione di circa 46 km² e una popolazione di 61086 abitanti al censimento generale ISTAT del 2011. Il suo territorio è suddiviso in sei comuni: Barano d'Ischia, Casamicciola Terme, Forio, Ischia, Lacco Ameno e Serrara Fontana. Tra questi, i comuni di Casamicciola Terme e Lacco Ameno sono stati maggiormente interessati dall'evento sismico del 21 agosto 2017, con significativi danni alle costruzioni, talvolta sino al loro crollo, decine di feriti, due vittime. Il recente terremoto è l'ultimo di una successione di eventi catastrofici che si sono verificati nei secoli, quanto meno sin dal 1228, con intensità macrosismiche spesso superiori al VII grado della scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS). Detta successione si presenta tuttavia come non chiaramente definita e regolare. Tale circostanza, insieme alla notevole complessità della struttura geologica dell'isola, ha reso e rende tutt'oggi difficile lo studio e l'interpretazione della storia sismica del luogo.

Ischia, nota località termale, è infatti un'isola di vulcanica appartenente al sistema costituito dai Campi Flegrei e dal Somma-Vesuvio. Le origini del sito risalgono a oltre 150000 anni fa. Esso è stato interessato da un'intensa attività vulcanica fino al 1300 circa, con un picco da collocarsi attorno a circa 55000 mila anni fa a seguito del quale si ebbe la formazione del Tufo Verde, in particolare alla sommità del Monte Epomeo. Attorno alla base del Monte Epomeo si presenta un notevole sistema di faglie e fratture orientate in direzione NE-SW e NW-SE (Figura 1). Si ritiene che le faglie collocate nella parte settentrionale dell'Epomeo siano sorgenti di sismicità, quelle nel settore orientale di attività vulcanica (Carlino et al., 2010).

Nel sottosuolo, allo stato tensionale locale dovuto ai flussi magmatici legati all'attività vulcanica, si sovrappongono gli sforzi generati dai movimenti tettonici della regione Tirrenica. La complessità dello stato di sforzo, nonché la frammentazione in numerose faglie e fratture del sottosuolo, la presenza nello stesso di notevoli gradienti termici dovuti al vulcanesimo dell'isola, la significativa variabilità dello spessore dello strato fragile della crosta terrestre nel territorio dell'isola producono una serie di effetti. Innanzitutto, come si è già detto, la difficoltà nel descrivere e interpretare il comportamento della struttura sismogenetica dell'isola. In secondo luogo, l'occorrenza di terremoti caratterizzati dal rilascio di un'energia elastica accumulata relativamente bassa e dall'ipocentro prossimo alla superficie, con profondità generalmente non superiori ai 10 km. Da ciò la magnitudo tendenzialmente piccola associata agli eventi in oggetto, con una massima magnitudo attesa pari a 5.3 (Luongo et al., 2006) a fronte di intensità macrosismiche rilevate anche piuttosto elevate. In terzo luogo, la tendenza delle intensità

macrosismiche rilevate a seguito di eventi catastrofici ad attenuarsi rapidamente al crescere della distanza dall'epicentro. In ultimo, l'affioramento di suoli eterogenei può provocare effetti di amplificazione dinamica locale del moto sismico e ovviamente dei suoi effetti sul costruito, come osservato per il terremoto del 1883 (Carlino et al., 2010).

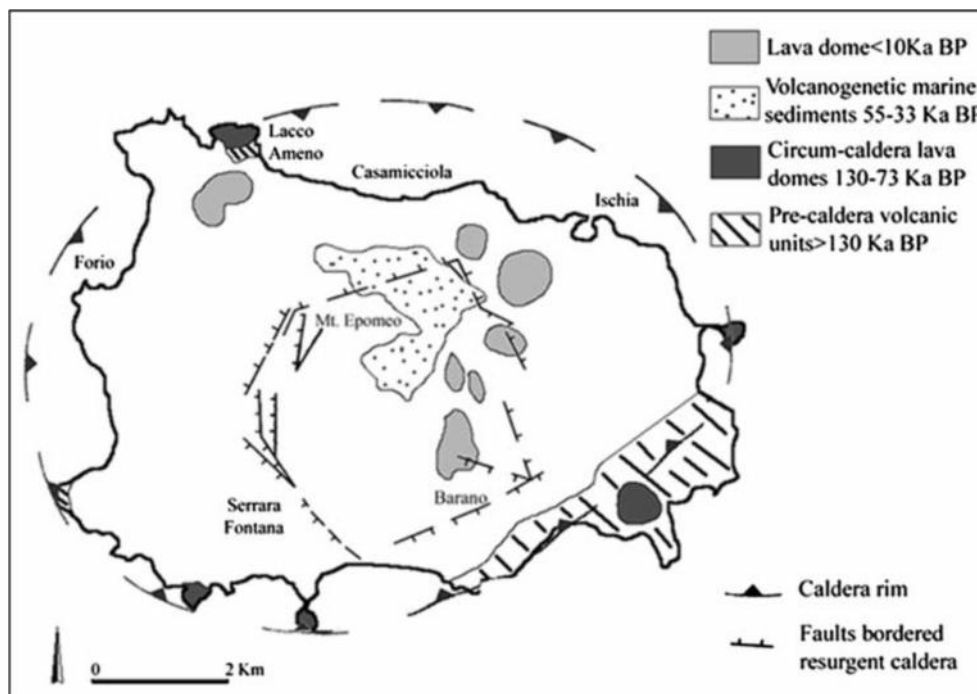


Figura 1 – Principali caratteristiche strutturali e vulcanologiche dell'isola di Ischia. Tratta da Carlino et al., 2010.

2 Sismicità del sito

Come detto sopra, la storia recente dell'isola è segnata dall'occorrenza di eventi sismici catastrofici. Il primo terremoto con epicentro Casamicciola descritto in letteratura con un certo dettaglio risale al 1228. Questo evento, d'intensità IX-X secondo la scala MCS, provocò presumibilmente circa 700 morti. Ad esso seguirono una serie di eventi di intensità macrosismica VII-VIII nel 1302, nel 1557, nel 1762 e nel 1767, due dei quali con epicentro in Casamicciola. Dal 1769 in poi, numerosi eventi di intensità compresa tra il VI e il IX grado della scala MCS ed epicentro a Casamicciola provocarono decine di morti e danni agli edifici. Infine, 126 morti e numerosi crolli a Casamicciola e Lacco Ameno furono provocati dal sisma del 1881 mentre oltre 2300 morti e la quasi totale distruzione del costruito in Casamicciola e Lacco Ameno, insieme a frane, smottamenti e variazioni della morfologia del territorio, si ebbero a seguito del catastrofico terremoto del 28 luglio 1883.

Il terremoto del 1883 ha assunto nel corso degli anni una notevole rilevanza storica, innanzitutto per gli effetti catastrofici che esso ebbe, con un'intensità macrosismica prossima pari al X grado della scala MCS. Al terremoto è stata associata una magnitudo stimata compresa tra 4.3 e 5.2 (cioè prossima alla massima magnitudo possibile stimata) e una profondità compresa tra 1 e 2 km ed epicentro situato nei pressi di piazza Maio, centro della zona residenziale del comune di Casamicciola. (Luongo et al., 2006). Le proporzioni dell'evento, unitamente alla rinomanza dei luoghi colpiti per gli storici stabilimenti termali, resero il terremoto del 1883 una delle prime catastrofi naturali "mediatiche" della nostra epoca, con una notevole risonanza internazionale. Personalità illustri, tra cui lo stesso Mercalli, si interessarono personalmente dell'evento e dei suoi effetti. Furono elaborate le *Schede di dichiarazione dei danni sofferti nei beni Immobili per*

terremoto del 28 luglio 1883, antesignane delle attuali schede AeDES per il rilievo del danno negli edifici colpiti dal sisma. L'analisi delle stesse ha consentito la ricostruzione della condizione dei comuni ischitani e la conseguente mappatura delle intensità macrosismiche registrate a seguito del sisma (Figura 2). In particolare, a Casamicciola risultavano crollati 667 edifici su 820 mentre a Lacco Ameno risultavano crollati 168 edifici su 390. In particolare, nel territorio di Casamicciola

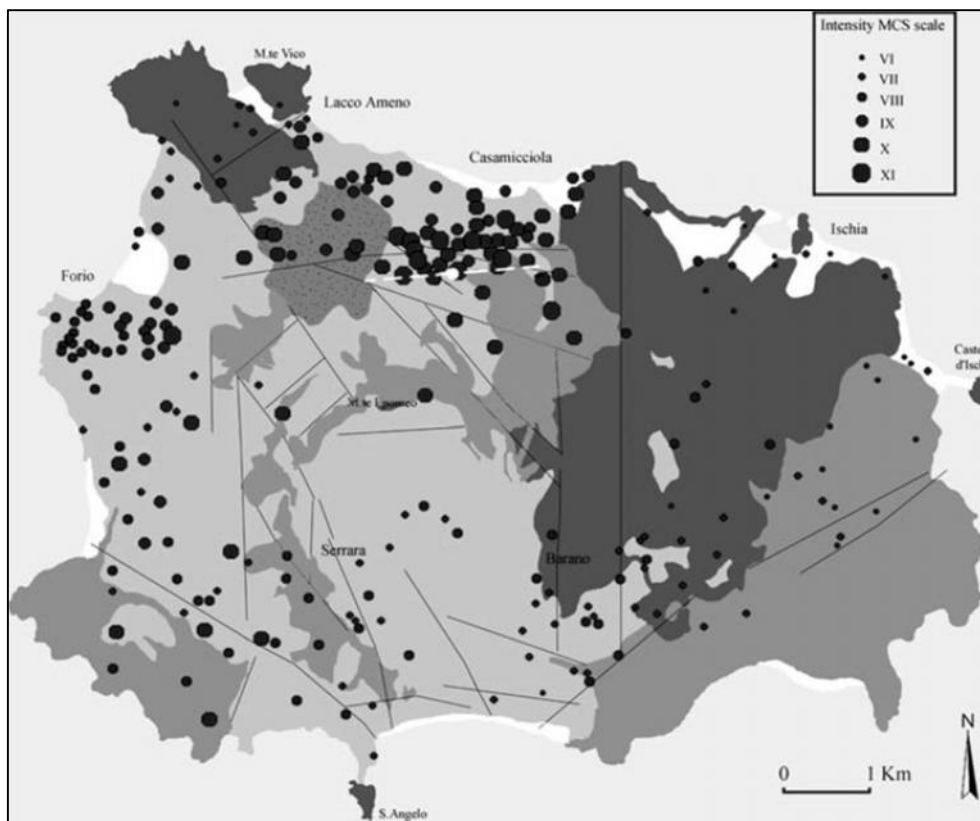


Figura 2 – Mappa geologica dell'isola e distribuzione dell'intensità macrosismica rilevata a seguito del sisma del 1883 con indicazione della faglia sismogenetica (linea bianca tratteggiata) e dell'epicentro del sisma (punto bianco). Tratta da Carlino et. al, 2010.

Alla prima prova di questo tipo, il giovane governo post-unitario reagì con l'approvazione del *Regolamento edilizio speciale per i comuni dell'isola d'Ischia* (Regio Decreto 2600 del 1884) il quale disponeva la ricostruzione dell'abitato lontano dalla zona dell'epicentro del sisma, e cioè in prossimità della costa, secondo una serie di criteri dimensionali e costruttivi all'epoca ritenuti antisismici. La ricostruzione secondo tali criteri fu perseguita, secondo una certa interpretazione, non avendo cura della storia e delle specificità dell'isola e inaugurando in alcune circostanze la tradizione del "provvisorio-definitivo" che ha accompagnato la storia del nostro paese fino anche ai nostri giorni.

Come si è detto, il terremoto del 1883 ebbe disastrosi effetti sulla vita dei comuni ischitani, in particolare per Casamicciola e Lacco Ameno. Secondo i dati censuari, la popolazione nel comune di Casamicciola decrebbe dell'11% circa tra il 1881 e il 1901 e di un ulteriore 6% circa tra il 1901 e il 1911. Messosi in moto e a regime il meccanismo di ricostruzione, tutti i comuni dell'isola sperimentarono tuttavia una nuova crescita demografica a partire dai primi del Novecento. Nello specifico, i comuni di Casamicciola e Lacco Ameno conobbero un'intensa crescita demografica a partire dagli anni 60 circa, accompagnata da una crescita del numero di edifici costruiti ad uso residenziale quasi del 50% in Casamicciola e del 140% in Lacco Ameno negli anni Settanta (dati ISTAT). In ossequio ai regolamenti emanati a seguito del sisma, le zone costiere furono

interessate da una forte espansione del numero di residenti e delle abitazioni. Nessun evento sismico significativo fu registrato fino allo scorso 21 agosto 2017.

Il 21 agosto 2017, alle 20.57, una forte scossa di terremoto è stata avvertita in Ischia e nella zona flegrea del comune di Napoli. In data 25 agosto 2017, la Sala Operativa dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) presso l'Osservatorio Vesuviano di Napoli ha localizzato l'ipocentro a 1 km a sud-ovest di Casamicciola Terme, in corrispondenza delle coordinate geografiche lat. 40.74 long. 13.90, ad una profondità di circa 1.75 km. In sostanza, il sisma in oggetto è stato originato in condizioni quasi del tutto analoghe a quelle che provocarono il terremoto del 1883. La magnitudo di durata (M_d) dell'evento è stata stimata in 4.0 (fonte: <http://cnt.rm.ingv.it/event/16796811>). Il terremoto ha provocato due vittime, decine di feriti, numerosi danni alle costruzioni e crolli nei comuni di Casamicciola e Lacco Ameno. Alcune fotografie scattate sui luoghi dell'evento sono riportate in **Figura 3** (D'Ambra et al., 2017, per conto di ReLUIS).



Figura 3 – Alcune foto scattate nei comuni ischitani a seguito dell'evento del 21 agosto 2017. Tratte da D'Ambra et al., 2017.

La stazione Ischia – Osservatorio Casamicciola (IOCA), appartenente alla Rete Sismica Nazionale (RSN) dell'INGV, posta nel comune di Casamicciola in corrispondenza delle coordinate lat. 40.75 long. 13.90 su un suolo di classe stratigrafica B secondo i criteri dell'Eurocodice 8 e classe topografica T1, ha prodotto la registrazione delle accelerazioni al suolo dovute al terremoto in oggetto riportate in **Figura 4**. (Luzi et al., [Engineering Strong Motion database](#),

<http://esm.mi.ingv.it/>). La registrazione è costituita da 9980 campioni rilevati ad un intervallo di tempo di 0.005 s. La magnitudo locale (M_L) stimata è di 4.3. Sulla base di tale registrazione, si sono ottenute per successive integrazioni le storie temporali delle velocità e degli spostamenti al suolo, riportate in [Figura 5 e 6](#). Alcuni parametri significativi del moto sismico sono riportati in [Tabella 1](#).

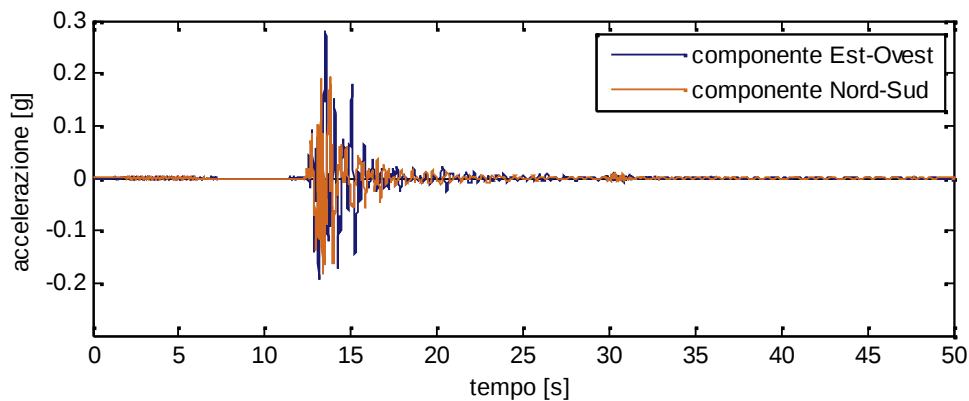


Figura 4 – Storia temporale delle accelerazioni nelle direzioni Est-Ovest e Nord-Sud registrate dalla stazione IOCA di Casamiciola il 21 agosto 2017 alle 20.57.

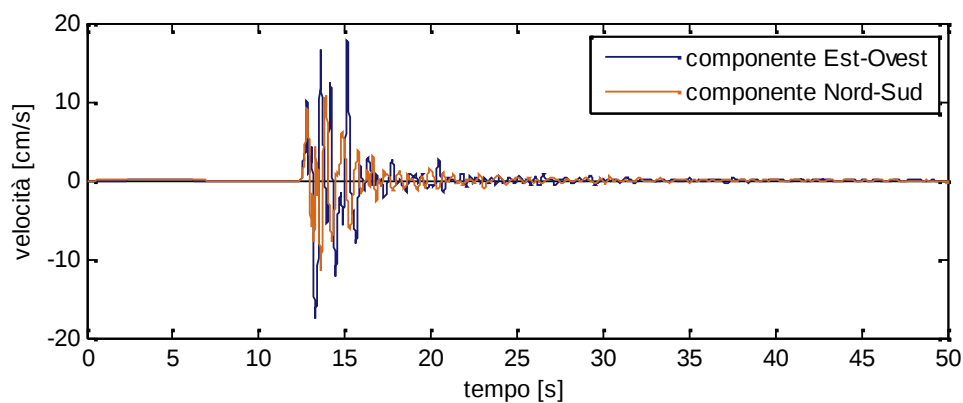


Figura 5 – Storia temporale delle velocità nelle direzioni Est-Ovest e Nord-Sud in occasione dell'evento del 21 agosto 2017.

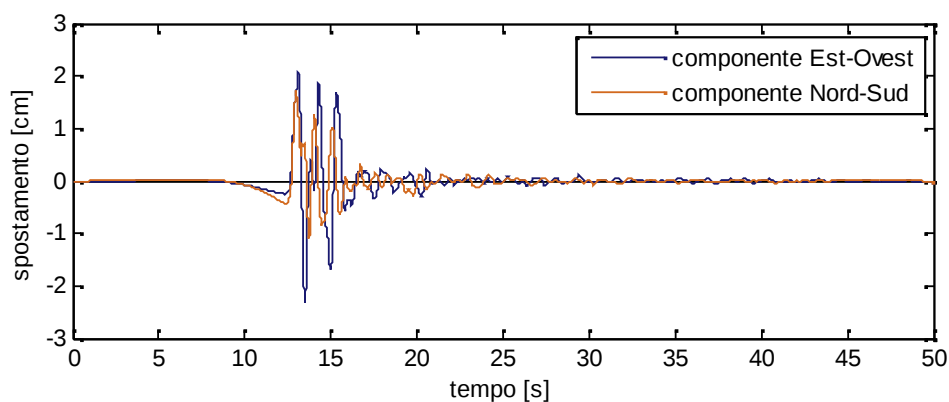


Figura 6 – Storia temporale degli spostamenti nelle direzioni Est-Ovest e Nord-Sud in occasione dell'evento del 21 agosto 2017.

Tabella 1 – Parametri significativi del moto sismico registrato nelle direzioni Est-Ovest e Nord-Sud dalla stazione IOCA di Casamicciola il 21 agosto 2017 alle 20.57.

Componente	PGA [g]	PGV [cm/s]	PGD [cm]	I _{Arias} [cm/s]	I _{Housner} [cm]	D ₅₋₉₅ [s]
Est-Ovest	0.28	17.8	2.3	39.4	66.3	2.86
Nord-Sud	0.19	11.5	1.7	22.2	43.5	3.61

Gli spettri di risposta in pseudo-accelerazione, pseudo-velocità e spostamenti di entrambe le componenti orizzontali del moto sismico, insieme al corrispondente spettro di risposta valutato sulla base dei parametri di pericolosità sismica per il comune di Casamicciola associati ad un evento con periodo di ritorno di 475 anni secondo la normativa vigente ([Decreto Ministeriale 14/01/2008, 2008](#)) sono riportati in [Figura 7](#). Il rapporto di smorzamento è fissato al 5%.

Per maggiori dettagli si rimanda al rapporto di ([Iervolino e Baltzopoulos, 2017](#)) in www.reluis.it.

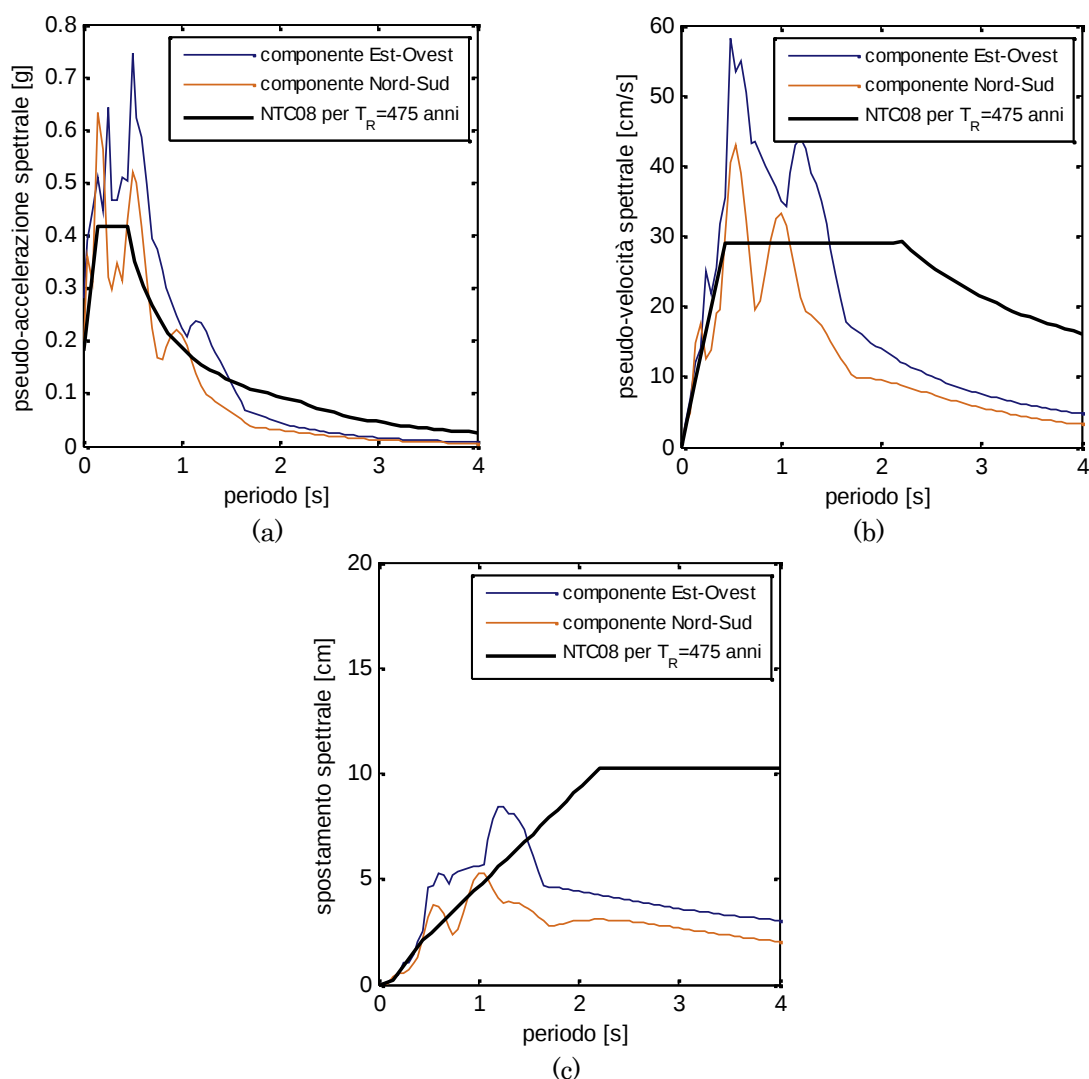


Figura 7 – Spettri di risposta in pseudo-accelerazioni (a), pseudo-velocità (b) e spostamenti (c) delle componenti nelle direzioni Est-Ovest e Nord-Sud registrate dalla stazione IOCA di Casamicciola il 21 agosto 2017 alle 20.57. Confronto con gli spettri di normativa associati ad un evento con periodo di ritorno di 475 anni su suolo tipo B ($S_s=1.20$) e categoria topografica T1 ($S_T=1.00$)

3 Dati di base territoriali specifici

In assenza di informazioni specifiche riguardanti le caratteristiche dei singoli edifici, la valutazione delle stesse, propedeutica alla stima della vulnerabilità sismica dello stesso, è stata condotta sulla base dei dati provenienti dal Censimento ISTAT dell'ottobre 2011. Tali dati, pubblicamente accessibili, sono forniti in forma “aggregata” per Sezioni censuarie, ovvero consistono nelle distribuzioni di alcuni parametri riguardanti la popolazione e gli edifici ricadenti nella porzione di territorio detta appunto “Sezione censuaria”. È evidente che a partire da tali dati non è possibile – se non attraverso una stima basata sull’assunzione di specifiche ipotesi – risalire alle caratteristiche dei singoli edifici.

I Comuni di Lacco Ameno e Casamicciola Terme sono composti, in totale, da 21 Sezioni censuarie, per ciascuna delle quali attraverso i dati ISTAT, sono disponibili i seguenti dati:

- Edifici e complessi di edifici (totale)
- Edifici e complessi di edifici utilizzati
- Edifici ad uso residenziale
- Edifici e complessi di edifici (utilizzati) ad uso produttivo, commerciale, direzionale/terziario, turistico/ricettivo, servizi, altro
- Tipologia strutturale:
 - Edifici in muratura portante
 - Edifici in calcestruzzo armato
 - Edifici in altro materiale (acciaio, legno, ecc.)
- Epoca di costruzione:
 - Edifici costruiti prima del 1919
 - Edifici costruiti dal 1919 al 1945
 - Edifici costruiti dal 1946 al 1960
 - Edifici costruiti dal 1961 al 1970
 - Edifici costruiti dal 1971 al 1980
 - Edifici costruiti dal 1981 al 1990
 - Edifici costruiti dal 1991 al 2000
 - Edifici costruiti dal 2001 al 2005
 - Edifici costruiti dopo il 2005
- Numero di piani:
 - Edifici con un piano
 - Edifici con 2 piani
 - Edifici con 3 piani
 - Edifici con 4 piani o più

Dall’analisi delle distribuzioni di dati si evince come, con riferimento ai Comuni di Lacco Ameno e Casamicciola Terme:

- Sono presenti 3552 edifici destinati ad uso residenziale;
- Dall’analisi delle tipologie strutturali emerge che il 80,2% di tali edifici residenziali è caratterizzato da struttura in muratura portante, il 11,1% in calcestruzzo armato e il 8,6% da altre tipologie;
- Dall’analisi dell’epoca di costruzione emerge che il 10,7% risale tutt’al più al 1919, il 5,8% nel periodo che va dal 1919 al 1945, il 10,2% dal 1946 al 1961, il 21,7% dal 1962 al 1971, il 26,5 dal 1972 al 1981, il 17,4% dal 1982 al 1991, il 6,4% dal 1992 al 2001, l’1% dal 2002 al 2005, lo 0,3% dopo il 2005.
- La distribuzione del numero di piani evidenzia una netta prevalenza di Edifici bassi, caratterizzati da 1 (36,0%) o 2 (49,7%) piani, una modesta occorrenza di Edifici a 3 piani (12,7%) ed una percentuale estremamente limitata di Edifici a 4 o più piani (1,5%);

Si riporta nel seguito l'analisi della distribuzione spaziale delle caratteristiche sopra riportate. Si osserva la presenza di due nuclei abitativi antecedenti al 1919, nelle adiacenze delle zone portuali dei Comuni indagati (Lacco Ameno e Casamicciola Terme). Inoltre, si osserva come la zona portuale del Comune di Casamicciola sia costituita nella quasi totalità di edifici in muratura portante, a differenza del Comune di Lacco Ameno in cui si trovano percentuali non trascurabili di edifici in calcestruzzo armato. Negli anni nelle zone circostanti ai due porti si sono sviluppate delle zone di espansione urbanistica: tali area sono costituite per lo più da edifici in muratura portante e percentuali non trascurabili di edifici in calcestruzzo armato.

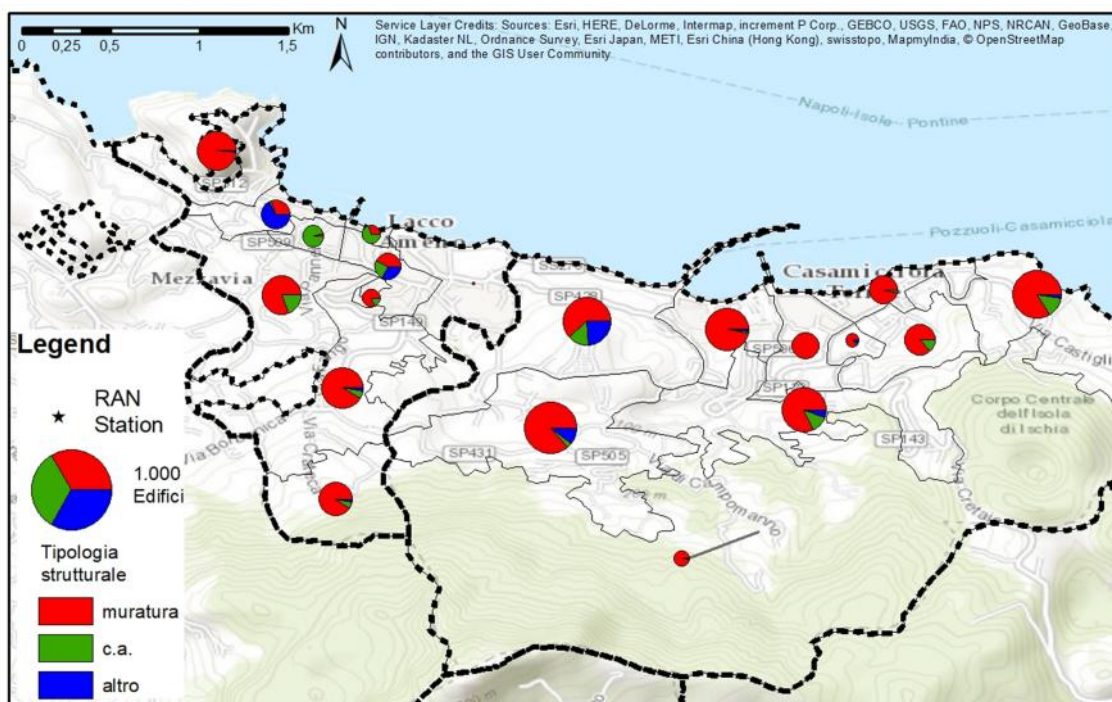


Figura 8 – Distribuzione della tipologia strutturale per sezione censuaria

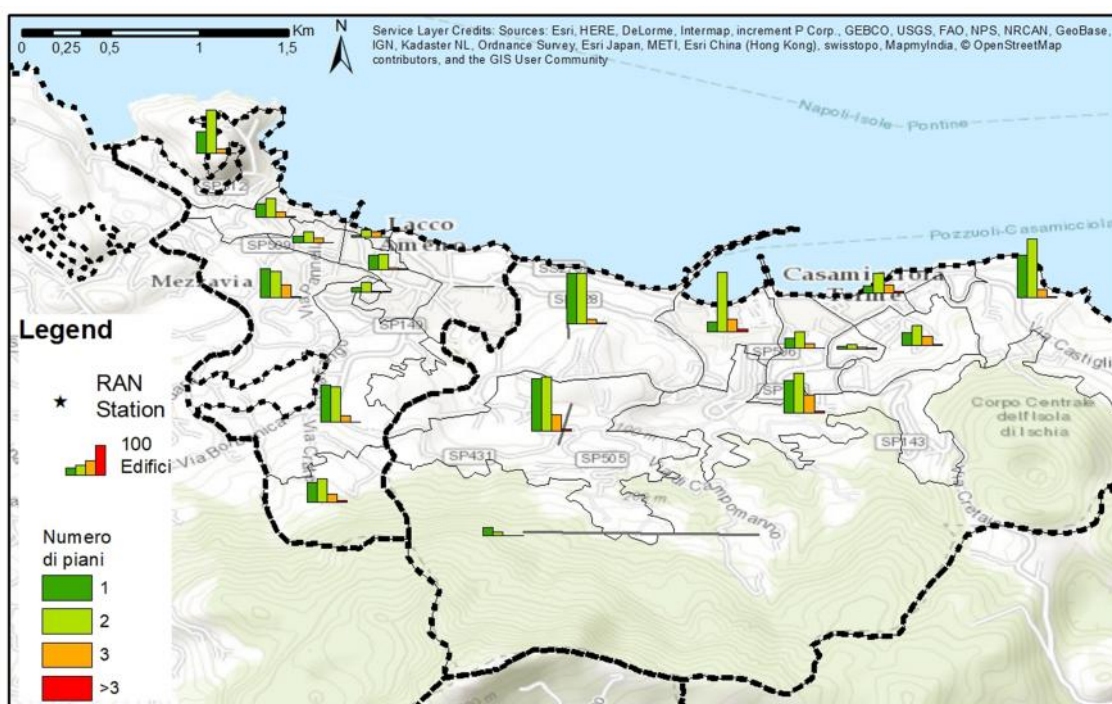


Figura 9 – Distribuzione del numero di piani per sezione censuaria

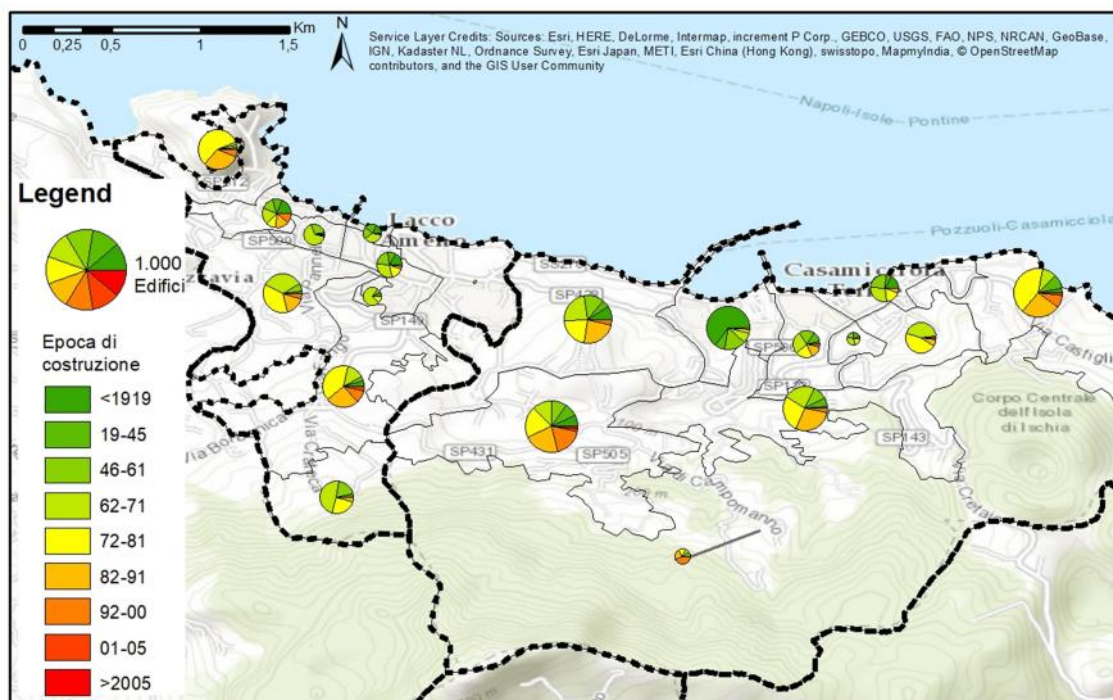


Figura 10 – Distribuzione dell'epoca di costruzione per sezione censuaria

4 Valutazione degli scenari di danno

Nel presente lavoro, per la derivazione degli scenari di danno sono utilizzate le Matrici di Probabilità di Danno (DPM) basate sui dati di danneggiamento degli edifici raccolti in seguito ai terremoti italiani degli ultimi 30 anni (Zuccaro e Cacace, 2009). Le DPM considerano:

- 4 differenti Classi di Vulnerabilità, da A a D;
- 6 livelli di danno (Damage States), da DS0 (nessun danno) - sino a DS5 (collasso).

In particolare, Zuccaro e Cacace (2009) fanno riferimento a Classi di Vulnerabilità, livelli di danno (Damage States) ed Intensità Macrosismica (MS) definite in accordo a quanto riportato nell'European Macroseismic Scale 1998 (Grünthal, 1998).

4.1 Definizione ed assegnazione delle Classi di Vulnerabilità agli edifici residenziali di Casamicciola Terme e Lacco Ameno

La procedura utilizzata per la associazione delle Classi di Vulnerabilità agli edifici residenziali segue la classificazione della Scala Macrosismica Europea, EMS-98 (Grünthal, 1998), riportata in Figura 11. Quest'ultima individua le Classi di Vulnerabilità suddividendole, innanzitutto, in relazione alla tipologia strutturale (edifici in muratura, edifici in cemento armato, edifici in acciaio o in legno). In secondo luogo, per ciascuna tipologia strutturale sono individuate delle ulteriori sotto-tipologie in relazione alla tipologia di orizzontamento, per gli edifici in muratura, ed in relazione al grado di progettazione sismica, per gli edifici in cemento armato.

L'EMS-98 permette di assegnare un margine di discrezionalità nell'attribuzione della Classe di Vulnerabilità (CdV) dell'edificio. Per ciascuna tipologia di edifici è possibile individuare la CdV (indicata in Figura 11 con un cerchio). Nella stessa figura, con tratto pieno, se presente, è individuata una classificazione alternativa in relazione a determinate caratteristiche dell'edificio che possono ridurre o aumentare la sua vulnerabilità, e quindi modificare la Classe di appartenenza. Allo stesso modo, con linea tratteggiata, è riportata la CdV da associare all'edificio in casi estremi, qualora si possa assumere che questo sia dotato di dispositivi e/o che abbia

determinate caratteristiche che possono modificare notevolmente la propria classe di attribuzione. I fattori che permettono di individuare la CdV più probabile riguardano lo stato di conservazione dell'edificio, la qualità della costruzione, fattori di irregolarità in pianta ed in elevazione, il livello di progettazione sismico, ecc.

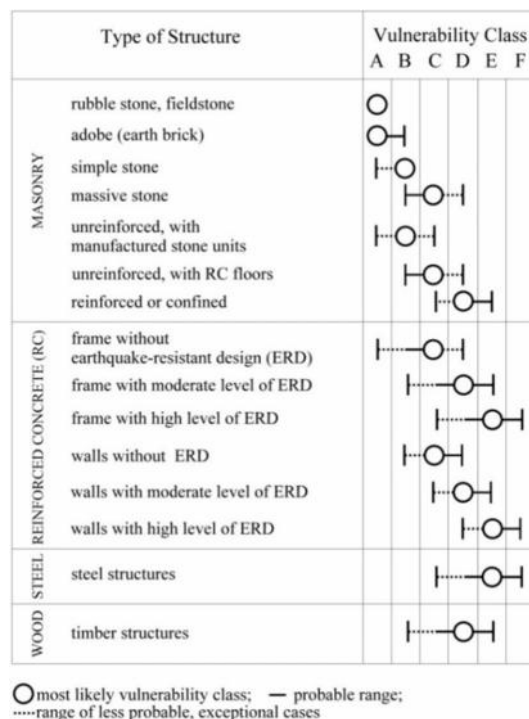


Figura 11 – Classi di Vulnerabilità secondo la European Macroseismic Scale, EMS-98, (Grünthal, 1998).

Per gli edifici in **cemento armato** risulta relativamente semplice associare una CdV, in funzione del livello di progettazione sismica dello stesso. Il livello di progettazione sismica è messo in relazione all'epoca di progettazione/costruzione dell'edificio, individuando le normative tecniche vigenti in quell'arco temporale. In particolare, il territorio del Comune di Casamicciola Terme è stato dichiarato sismico in II zona con [RDL 640 25/03/1935](#), mentre i Comuni di Ischia, Barano d'Ischia, Lacco Ameno, Forio, Serrara Fontana sono stati classificati in II zona sismica con [DM 07/03/1981](#) (si veda software STIL, www.reluis.it). Agli edifici in c.a. costruiti successivamente alla prima classificazione sismica, viene assegnata una CdV "D"; in caso contrario, viene assegnata una CdV "C".

Per gli edifici in **muratura** la procedura per la assegnazione della CdV è meno esplicita e diretta rispetto al caso degli edifici in cemento armato, a causa della mancata conoscenza di alcuni parametri utili a tale definizione. Il database delle caratteristiche degli edifici ISTAT permette solo l'individuazione della tipologia strutturale, senza fornire informazioni sulla tipologia di orizzontamento, né sulla qualità e tessitura della struttura portante. L'assenza di queste informazioni risulta pregiudizievole alla definizione della CdV per gli edifici in muratura, in accordo con la classificazione dell'EMS-98. Infatti, l'EMS-98 individua 7 differenti sottoclassi in funzione della struttura portante verticale e della tipologia di orizzontamento; tra questi: edifici con muratura portante a sacco, muratura con pietra sbazzata, con mattoni di argilla, edifici monumentali, edifici con blocchi o pietre ben squadrate, con mattoni pieni o con blocchi di calcestruzzo. A seconda della differente tipologia strutturale l'edificio può risultare caratterizzato da una CdV variabile da "A" fino ad "E", come si evince dalla Figura [Figura 11](#).

Purtroppo, i dati ISTAT contengono siffatte informazioni, pertanto l'associazione della CdV agli edifici in muratura viene effettuata (in via semplificata) utilizzando le statistiche riportate nel lavoro di [Di Pasquale et al. \(2005\)](#), che riporta la correlazione tra la CdV dell'edificio in muratura e l'epoca di costruzione dello stesso, ottenuta da uno studio statistico di un campione di 50.000 edifici raccolti in seguito al terremoto dell'Irpinia, riportata in [Tabella 2](#). In tal modo, per ciascun edificio in muratura è possibile valutare la probabilità che quest'ultimo appartenga ad una predefinita CdV (da "A" a "C") in funzione della sola epoca di costruzione.

[Tabella 2 – Matrice di correlazione tra l'epoca di costruzione e la Classe di Vulnerabilità \(da Di Pasquale et al., 2005\).](#)

Epoca di Costruzione	Classe di Vulnerabilità		
	A	B	C
<1919	0,74	0,23	0,03
1919 - 1945	0,52	0,40	0,08
1946 - 1960	0,25	0,47	0,28
1961 - 1971	0,04	0,31	0,65
1972 - 1991	0,02	0,19	0,79

In [Tabella 3](#), si osserva che il 15,9% degli edifici dei Comuni di Lacco Ameno e Casamicciola Terme appartenga ad una classe di vulnerabilità "A", il 29,3% da una classe di vulnerabilità "B", il 45,1% da una classe di vulnerabilità "C", il 9,7% da una classe di vulnerabilità "D".

[Tabella 3 – Numero di edifici di assegnata Classe di Vulnerabilità](#)

COMUNE	A	B	C	D
Casamicciola Terme	420	671	970	157
Lacco Ameno	145	369	799	21

In [Figura 12](#) si osserva come nella zona del porto di Casamicciola Terme vi sia una prevalenza di edifici in classe di vulnerabilità "A" (a cui associare una elevata vulnerabilità) dovuto alla concentrazione di edifici in muratura datati anteriormente al 1919. Le aree edificate in seguito sono, invece, caratterizzate da una predominante presenza di edifici di classe di vulnerabilità "C". Nella zona del porto di Lacco Ameno e nelle zone edificate più di recente vi sono percentuali non trascurabili di edifici in classe di vulnerabilità "C".

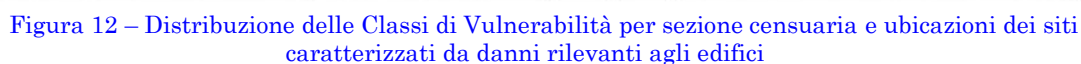
È interessante effettuare un primo confronto tra le località caratterizzate da notevoli danni agli edifici (in alcuni casi sino al crollo degli stessi) e la distribuzione delle Classi di Vulnerabilità delle sezioni censuarie cui esse appartengono (si veda [Figura 12](#)).

Con riferimento al comune di Casamicciola Terme la sezione censuaria #6 definita da un edificio vetusto (che conduce ad una elevata percentuale di edifici classificate in CdV "A") non sembra aver registrare ingenti danni alle abitazioni.

Viceversa, le sezioni censuarie nelle quali ricadono le località che hanno registrato crolli parziali o totali quali, Piazza Maio (sezione #9), località La Rita (sezioni #8 e #9), Piazza Bagni (sezione # 7) sono caratterizzate da una predominante presenza di edifici classificati in CdV "C".

Quest'ultimo risultato sembra non essere in accordo con le prime osservazioni effettuate dal Gruppo operativo QUEST ([Azzaro et al., 2017](#)), il quale durante il rilievo eseguito tra il 23-25 agosto 2017 osserva che in siffatte zone: *"La maggioranza delle abitazioni è di tipo "B", in mattoni, blocchetti di tufo e pietra squadrata, tuttavia senza tiranti e catene o altri elementi vincolanti. Percentualmente poche le case di tipo "A" e di tipo "C".*

Tale discrepanza è riconducibile alla modalità di assegnazione della CdV per gli edifici in muratura mediante il solo dato ISTAT, il quale non fornisce alcuna informazione sulla qualità e tessitura della struttura portante (né sulla tipologia di orizzontamento).



Gli scenari derivati nella presente sezione sono valutati a livello di sezione censuaria.

12

ancorata ai parametri significativi del moto del suolo registrati dalla stazione IOCA (in particolare la PGA) mediante l'utilizzo della formulazione empirica (I_{MCS} -PGA) proposta in (Faenza e Michelini, 2010). La legge di attenuazione proposta in (Carlino et al., 2010) si basa sui dati di intensità macrosismica MCS (Mercalli-Cancani-Sieberg) relativi all'evento del 1883, riportati in (Cubellis e Luongo, 1998) e (Cubellis et al., 2004), riguardanti in particolare 249 località dell'isola (con I_{MCS} compresa tra 6 e 11) e alcune località della città di Napoli. Tale legge viene adottata nel presente studio allo scopo di tener conto delle caratteristiche specifiche dei fenomeni di attenuazione associate sia alla natura del sottosuolo dell'isola che alla tipologia di evento, caratterizzato da ipocentro superficiale e magnitudo relativamente bassa. Gli Autori derivano tale legge assumendo la forma funzionale proposta da Blake (1941):

$$I_0 - I_i = \gamma \log \left[1 + (\Delta_i / h)^2 \right]^{1/2}$$

con:

- I_0 intensità epicentrale
- I_i intensità al sito
- γ coefficiente di attenuazione
- Δ_i distanza epicentrale
- H profondità dell'ipocentro

Viene assunta l'ipotesi di sorgente puntuale. La regressione lineare dei dati osservati (I_{MCS} - Δ_i), con riferimento alle sole località dell'isola, restituisce un valore del coefficiente di attenuazione $\gamma=5.5$ (si veda Figura 13). Gli Autori osservano, inoltre, delle differenze significative nel gradiente di tale attenuazione a partire dall'epicentro dell'evento (posto in prossimità di quello attuale) nelle diverse direzioni; in particolare, maggiore attenuazione in direzione sud e, ancor più, est, e minore attenuazione in direzione ovest. Tali differenze sono ricondotte dagli Autori alle caratteristiche degli strati di sottosuolo più profondi. In assenza di indicazioni più precise riguardanti, in particolare, la direzione nord, di maggior interesse per la derivazione dei presenti scenari di danno, si assume nel seguito il suddetto valore $\gamma=5.5$.

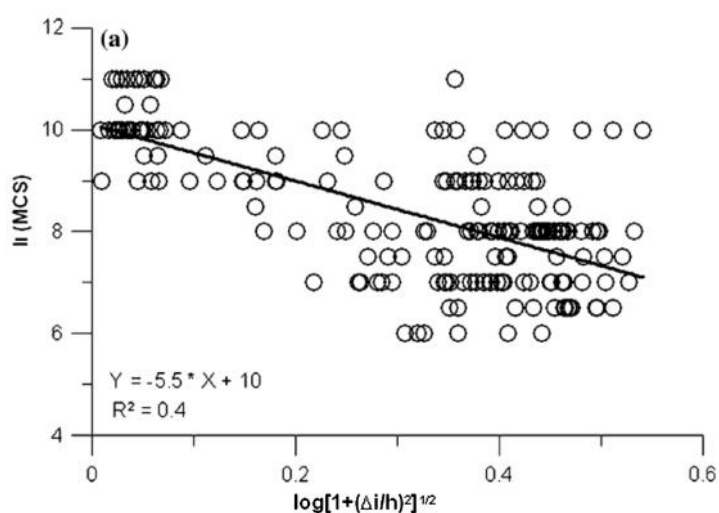


Figura 13 - Regressione lineare dei dati osservati (I_{MCS} - Δ_i), con riferimento alle sole località dell'isola (tratta da Carlino et al., 2010)

Per la valutazione degli scenari di danno si utilizza una procedura probabilistica di simulazione Monte Carlo, secondo la quale per ogni edificio generato, si identificano i parametri tipologici-funzionali dai dati ISTAT 2011 (tipologia strutturale, epoca di costruzione) relativi alla generica sezione censuaria; in relazione a quest'ultimi si associa: (i) la probabilità di appartenere

ad una Classe di Vulnerabilità, variabile da “A” a “D”; (ii) e le corrispondenti Matrici di Probabilità di Danno (DPM) relative a predefiniti livelli di danno (Damage States, DS). In funzione delle DPM e dei parametri del moto del suolo sono ricavate le distribuzioni di danno (Del Gaudio et al., 2017).

In Figura 14 sono riportate le DPM di (Zuccaro e Cacace, 2009), per le 4 Classi di Vulnerabilità e per i 5 livelli di danno (DS). In particolare, in (Zuccaro e Cacace, 2009) i livelli di danno (Damage States) e l’Intensità Macrosismica (IEMS) sono definite in accordo a quanto riportato nell’European Macroseismic Scale 1998 (Grünthal, 1998).

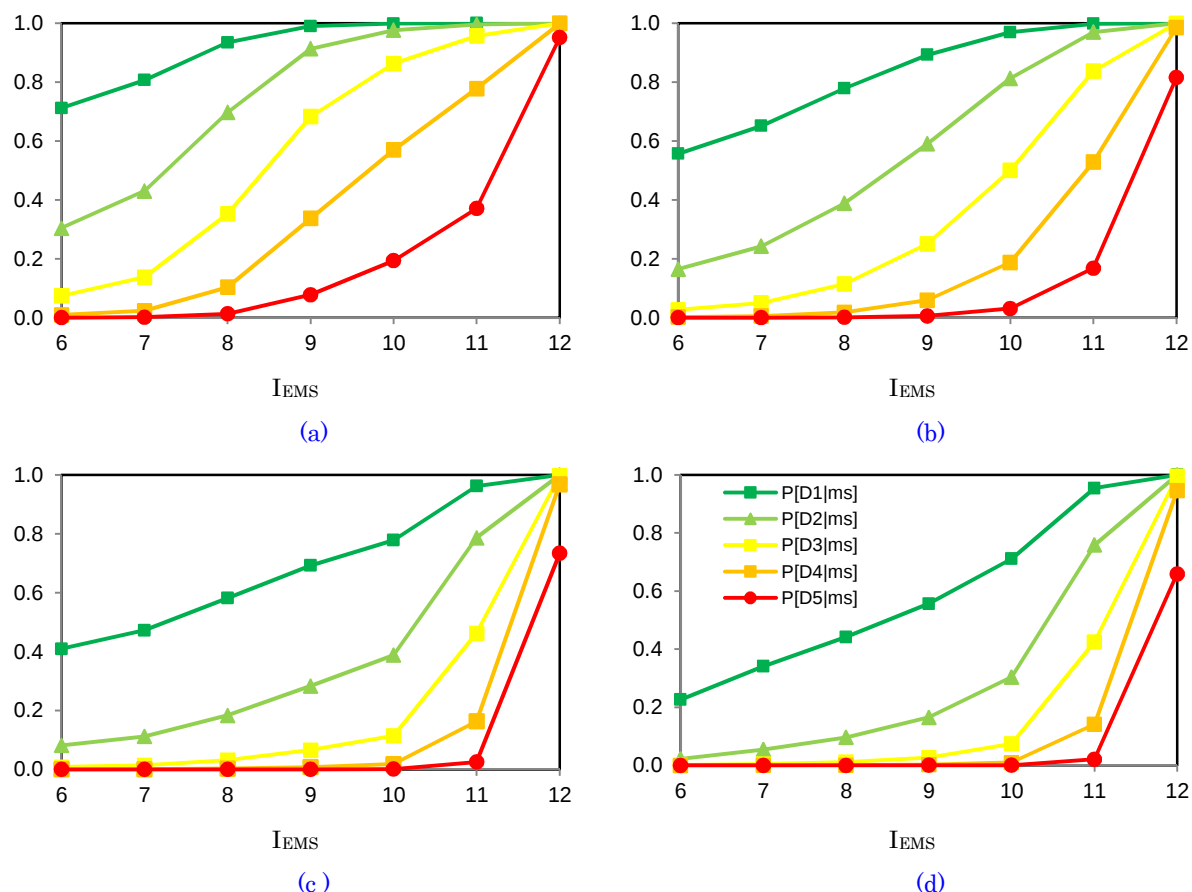


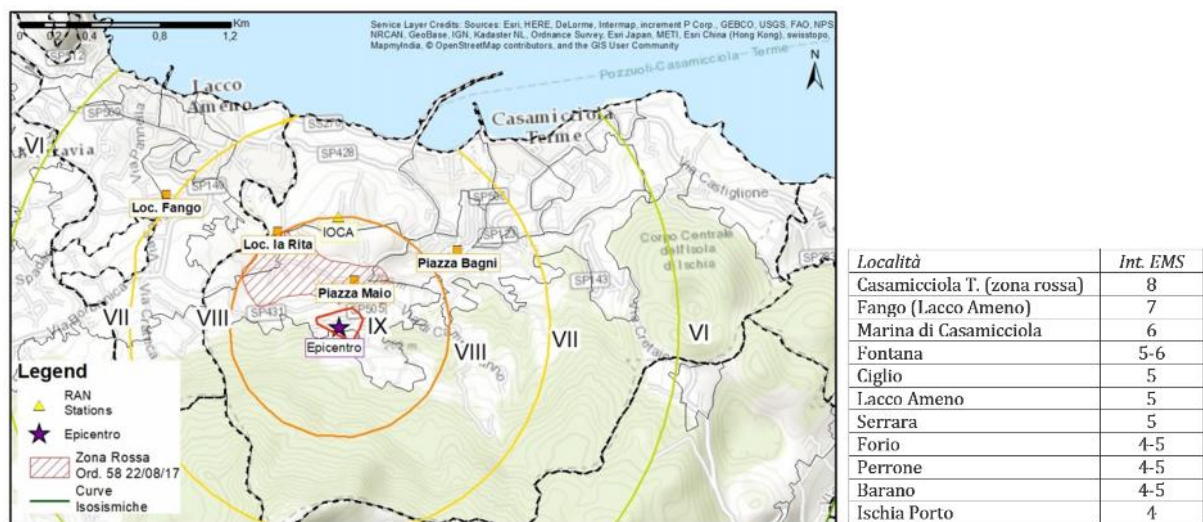
Figura 14 – Matrice di Probabilità di Danno Cumulata derivate da (Zuccaro e Cacace, 2009) per edifici appartenenti alla Classe di Vulnerabilità A (a), B (b), C (c), D (d).

La conversione tra la scala macrosismica MCS adottata nella formulazione di (Carlino et al., 2010) e la scala macrosismica EMS utilizzata da (Zuccaro e Cacace, 2009) viene effettuata compatibilmente a quanto discusso e proposto in (Musson et al., 2010). Gli autori, seppur consapevoli che l’esperienza sembra dimostrare che, per gli stessi dati, le assegnazioni di intensità MCS sono frequentemente più elevate rispetto a quelle di EMS, propongono di adottare una eguaglianza tra le intensità della scala macrosismica EMS e quella MCS, ($I_{EMS} = I_{MCS}$). Tale ipotesi è adottata anche nel prosieguo.

A partire dalle assunzioni presentate e discusse in precedenza è possibile derivare la distribuzione delle intensità macrosismiche MCS nei territori comunali di Casamicciola Terme e Lacco Ameno. In Figura 15 sono riportate le isosisme, nella scala macrosismica MCS; nella stessa figura sono riportate le località caratterizzate da elevati danni agli edifici e, talvolta, sino al crollo parziale o totale.

La classificazione macrosismica MCS delle località riportate in Figura 15 è comparata con il rilievo preliminare eseguito dal gruppo operativo QUEST tra il 23-25 agosto. Il rilievo è stato

eseguito secondo la scala macrosismica EMS98 e ha riguardato il solo danno esterno degli edifici. Nella tabella a dx della [Figura 15](#) è riportata la preliminare assegnazione dell'intensità delle principali località colpite dal sisma del 21 agosto, pubblicate da INGV il 28 agosto 2017 ([Azzaro et al., 2017](#)). Ricordando, l'ipotesi di eguaglianza tra l'intensità macrosismica MCS e quella EMS, si osserva un buon accordo soprattutto nelle principali zone quali: la "zona rossa" (tratteggiata in rosso) di Casamicciola Terme che presenta in entrambe i casi una intensità macrosismica $I_{EMS}=8$; la località Fango ($I_{EMS}=7$) e la Marina di Casamicciola ($I_{EMS}=6$). Viceversa, si registra una sovrastima presso il centro di Lacco Ameno ($I_{EMS}=5$ assegnato dal gruppo QUEST vs $I_{EMS}=6$).



[Figura 15](#) – Isosisme derivate dalla legge di attenuazione di ([Carlino et al., 2010](#)), nella scala macrosismica MCS; (dx) tabella delle intensità macrosismiche EMS assegnate dal gruppo QUEST (tratta da [Azzaro et al., 2017](#)).

Nel seguito viene presente lo scenario derivati considerando la distribuzione dell'azione sismica riportata in [Figura 15](#) in termini di intensità macrosismica.

Lo scenario è derivato utilizzando la legge di attenuazione riportata in ([Carlino et al., 2010](#)) ancorata ai parametri significativi del moto del suolo registrati dalla stazione IOCA (in particolare la PGA) mediante l'utilizzo della formulazione empirica proposta in ([Faenza e Michellini, 2010](#)).

In [Tabella 4](#) si osserva che il 43,0% degli edifici dei Comuni di Lacco Ameno e Casamicciola Terme risulta non danneggiato in seguito all'evento sismico, mentre il 36,0% e il 15,5% risultano caratterizzati, rispettivamente, da un danno lieve e moderato, mentre il 4,5% e 0,9% da un danno significativo e grave, e solo lo 0,1% dal collasso strutturale.

[Tabella 4](#) – Numero di edifici di assegnata danno

COMUNE	DS0	DS1	DS2	DS3	DS4	DS5
Casamicciola Terme	898	800	373	117	26	3
Lacco Ameno	630	480	177	41	6	0

In [Figura 16](#) è riportata la distribuzione dei danni secondo la scala EMS-98 per ciascuna sezione censuaria. In termini frequentistici, i danni di maggiore entità registrano nelle sezioni censuarie a ridosso dell'epicentro. Questa circostanza può essere messa in risalto osservando la distribuzione del danno medio (*mean damage*, μ_D) per ciascuna sezione censuaria, valutato in funzione della distribuzione del danno come:

$$\mu_D = \sum_{i=0}^5 \Pr[ds = DS_i | PGA] \cdot i$$

dove $\Pr[ds = DS_i | PGA]$ rappresenta la probabilità di esibire il livello di danno i -esimo per il singolo edificio o per un sottoinsieme di edifici. È bene sottolineare che risulta:

$$\sum_{i=0}^5 \Pr[ds = DS_i | PGA] = 1$$

In [Figura 17](#) si osserva come il danno medio (*mean damage*, μ_D) risulta, maggiormente concentrato nelle aree prossime all'epicentro.

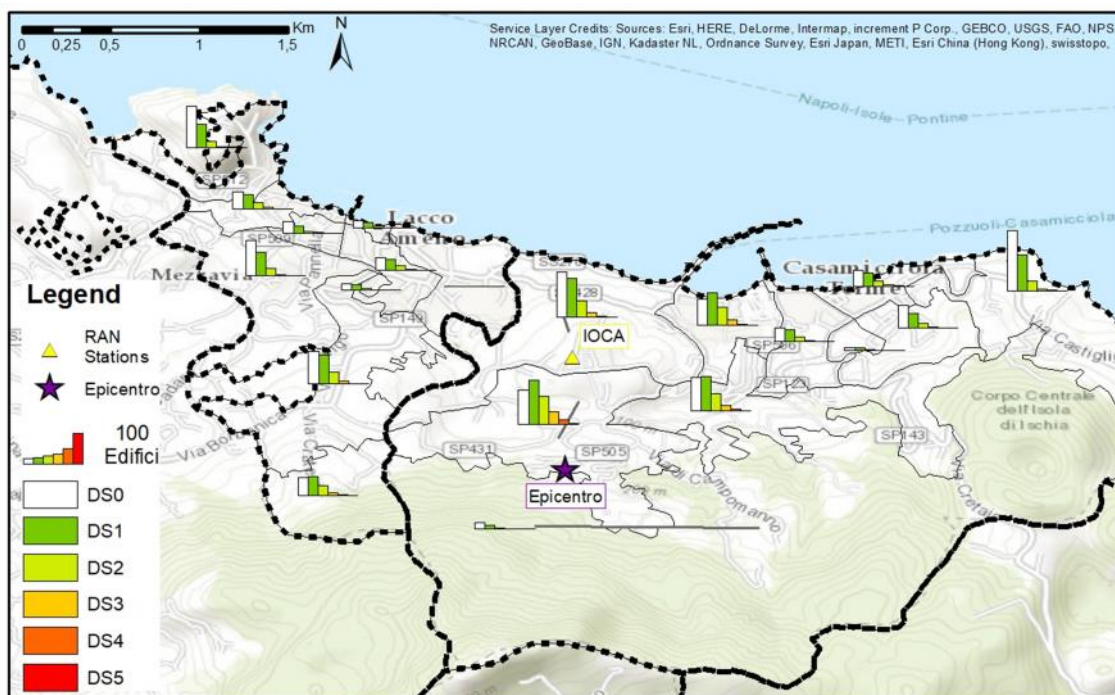


Figura 16 – Distribuzione del danno per sezione censuaria

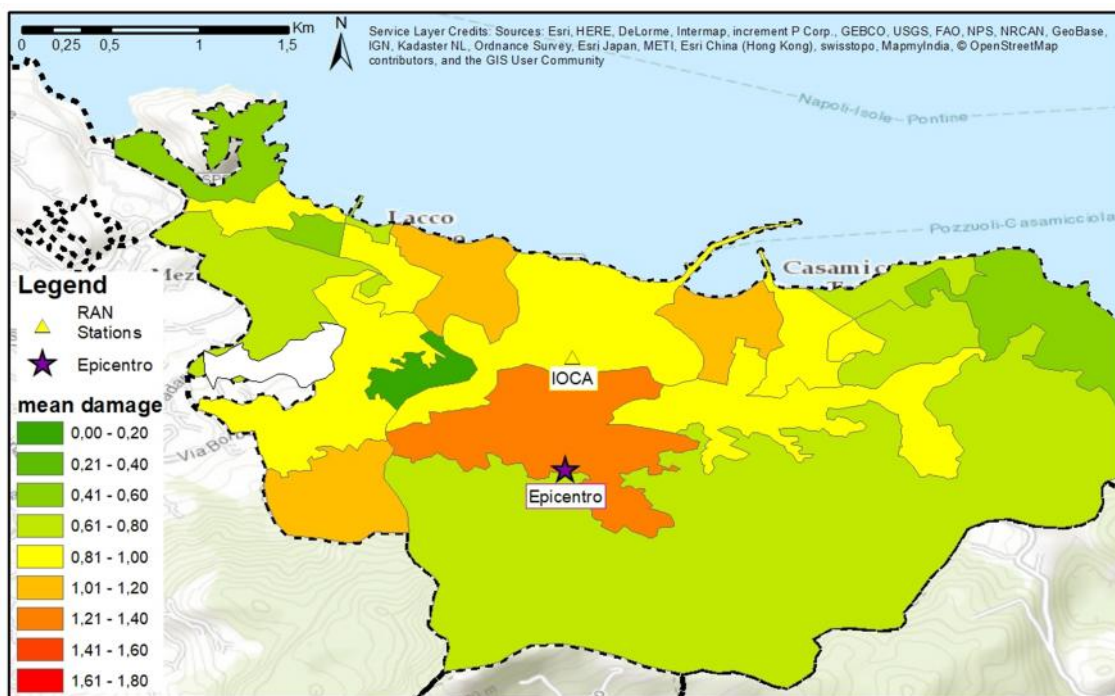


Figura 17 – Danno medio per sezione censuaria

5 Agibilità degli edifici

La definizione di agibilità in emergenza post-sismica è legata alla necessità di utilizzare l'edificio nel corso della crisi sismica, restando ragionevolmente protetti dal rischio di gravi danni alle persone. La verifica di agibilità mira, da un lato, alla salvaguardia della vita degli occupanti, valutando, attraverso un rilievo visuale e speditivo fatto da personale qualificato, la capacità della struttura di resistere ad un'eventuale replica sismica, e, al contempo, al pronto recupero delle normali condizioni di vivibilità delle popolazioni colpite.

Molti autori hanno analizzato i dati raccolti da edifici danneggiati in seguito ad eventi sismici passati, per cercare di cogliere la relazione tra danneggiamento all'edificio ed esito di agibilità. In tal modo, valutato uno scenario di evento (di rilevanza locale o nazionale), sarebbe possibile stimare il numero di edifici che risultino, in seguito all'evento considerato, "inutilizzabili" perché non sufficientemente sicuri per gli occupanti dello stesso.

Nel presente lavoro sarà adoperato l'approccio di [Sabetta et al. \(2013\)](#), ottenuto da un database di circa 80.000 edifici rilevati in seguito al terremoto del 2009 che ha colpito l'Italia centrale. Gli Autori permettono di stimare il numero di edifici agibili, temporaneamente o parzialmente inagibili ed inagibili sulla base del danneggiamento atteso in una data area.

Assegnato uno scenario di danno sismico in una data area, il numero di edifici agibili è pari al numero degli edifici non danneggiati (DS0) e dal 60% degli edifici caratterizzati da un danno lieve (DS1). Il numero di edifici temporaneamente o parzialmente inagibili è pari al 40% degli edifici caratterizzati da un danno lieve (DS1) e dal 20% degli edifici caratterizzati da un danno moderato o significativo (DS2 e DS3). Il numero di edifici inagibili è pari all'80% degli edifici caratterizzati da un danno moderato o significativo (DS2 e DS3) oltre che dal numero di edifici caratterizzati da un danno grave o dal collasso (DS4 e DS5).

Questa procedura permette di stimare la distribuzione di edifici agibili, temporaneamente o parzialmente inagibili, inagibili per ciascuna sezione censuaria.

A valle della procedura adottata il 64,6% degli edifici dei Comuni di Lacco Ameno e Casamicciola Terme risulta "Agibile", ovvero "*pienamente utilizzabili restando ragionevolmente protetta la vita umana*".

Il 18,4% degli edifici risulta "Temporaneamente o Parzialmente Inagibile", ovvero taluni edifici risultano "*almeno in parte inagibile, ma è sufficiente eseguire alcuni provvedimenti di pronto intervento per poterlo utilizzare in tutte le sue parti, senza pericolo per i residenti*", altri edifici invece potrebbero presentare "*porzioni limitate giudicate tali da comportare elevato rischio per i loro occupanti ma tali da non compromettere la stabilità della restante parte dell'edificio né delle sue vie di accesso*".

Infine il 17,0% degli edifici dei Comuni indagati risulta "Inagibile" ovvero "*lo stesso può essere utilizzato in alcuna delle sue parti neanche a seguito di provvedimenti di pronto intervento. La riparazione dello stesso richiede un intervento tale che, per i tempi dell'attività progettuale e realizzativa e per i relativi costi, è opportuno sia ricondotto alla fase della ricostruzione*".

Si veda [Figura 18 e Tabella 5](#).

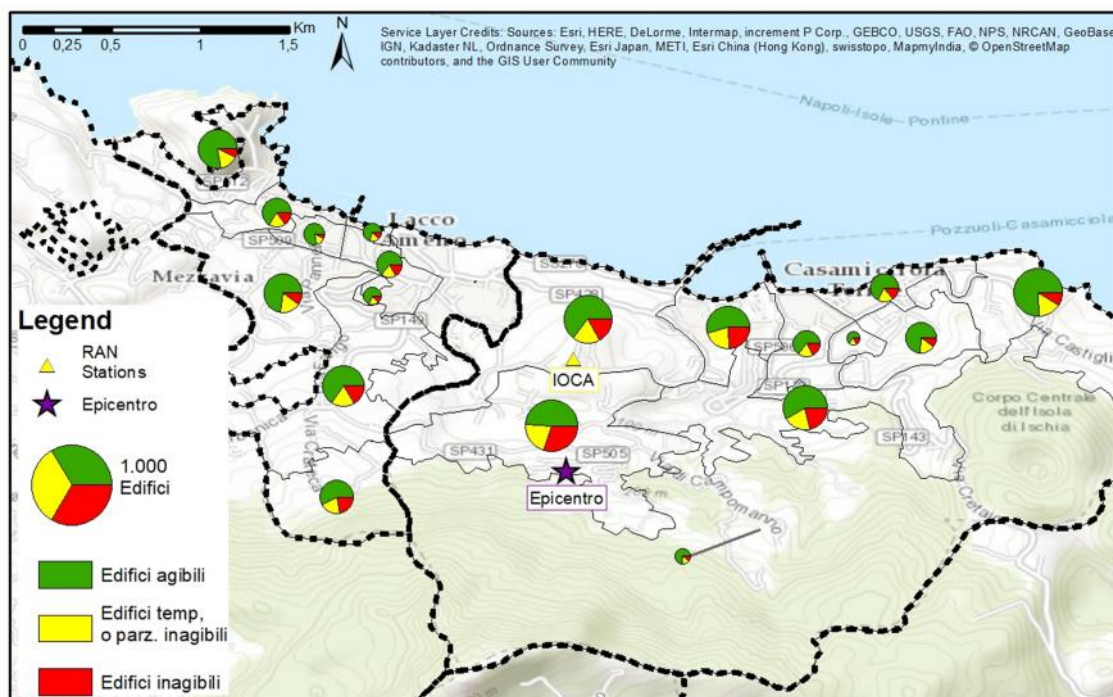


Figura 18 – Distribuzione di agibilità degli edifici per sezione censuaria

Tabella 5 – Numero di edifici agibili e non

COMUNE	Edifici_Agibili	Edifici_Temp / Parz_Inagibili	Edifici_Inagibili
Casamicciola Terme	1378	418	422
Lacco Ameno	917	235	181

6 Conclusioni

A distanza di pochi giorni dal disastroso evento sismico che ha colpito l'isola di, il presente lavoro mostra un approccio metodologico per la valutazione degli scenari di danno sismico relativi ai Comuni di Lacco Ameno e Casamicciola Terme.

A tal fine viene condotta un'analisi dettagliata delle caratteristiche dell'edificato sulla base dei dati provenienti dal Censimento ISTAT dell'ottobre 2011. Tali dati, pubblicamente accessibili, sono forniti in forma "aggregata" per Sezioni censuarie, ovvero consistono nelle distribuzioni di alcuni parametri riguardanti la popolazione e gli edifici ricadenti nella porzione di territorio detta appunto "Sezione censuaria". È evidente che a partire da tali dati non è possibile – se non attraverso una stima basata sull'assunzione di specifiche ipotesi – risalire alle caratteristiche dei singoli edifici. In particolare le distribuzioni complessive e spaziali dei parametri: (i) epoca di costruzione, (ii) numero di piani e (iii) tipologia strutturale, hanno permesso l'individuazione delle aree a maggiore vulnerabilità dei territori comunali. Perciò, la procedura per l'assegnazione delle Classi di Vulnerabilità degli edifici, adottata nel presente studio, si basa sull'associazione di quest'ultima con l'epoca di costruzione e la tipologia strutturale.

Per la derivazione degli scenari di danno sono state utilizzate le Matrici di Probabilità di Danno (DPM) basate sui dati di danneggiamento degli edifici raccolti in seguito ai terremoti italiani degli ultimi 30 anni (Zuccaro e Cacace, 2009). Le distribuzioni di agibilità degli edifici dei Comuni di Lacco Ameno e Casamicciola Terme sono state ottenute a partire dai dati sul danneggiamento degli edifici secondo l'approccio di Sabetta et al. (2013),

Bibliografia

- Azzaro R, Del Mese S, Martini G., Paolini S, Screpanti A, Verrubbi V, Tertulliani A (2017), QUEST- Rilievo macrosismico per il terremoto dell'isola di Ischia del 21 agosto 2017, Rapporto interno, doi:10.5281/zenodo.849091
- Blake A (1941). On the estimation of focal depth from macroseismic data. *Bulletin of the Seismological Society of America* 31(3):225–231
- Carlino S, Cubellis E, Marturano A. The catastrophic 1883 earthquake at the island of Ischia (southern Italy): macroseismic data and the role of geological conditions. *Natural hazards* 52.1 (2010): 231.
- Cubellis E, Luongo G (1998). Il terremoto del 28 luglio 1883 a Casamicciola nell'isola d'Ischia – “Il contesto fisico”. Monografia N.1 – Servizio Sismico Nazionale. Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma, pp 49–123.
- Cubellis E, Carlino S, Iannuzzi R, Luongo G, Obrizzo F (2004). Management of historical seismic data using GIS: the island of Ischia (Southern Italy). *Natural Hazards* 33:379–393. doi:10.1023/B:NHAZ.0000048465.40413.17
- D'Ambra C, Prota A, Di Ludovico M, Manfredi G, Rapporto fotografico relativo ai danni subiti da alcuni edifici a seguito dell'evento sismico del 21 agosto 2017 presso isola d'Ischia – M=4.0, Report ReLUIS pubblicato il 25 agosto 2017 su <http://www.reluis.it/>
- Decreto ministeriale 7 marzo 1981. Dichiarazione in zone sismiche nelle regioni Campania, Basilicata e Puglia.
- Decreto ministeriale 14 gennaio 2008 - Norme Tecniche per le Costruzioni NTC2008. Supplemento ordinario n. 30 Gazzetta Ufficiale 4 febbraio 2008, n 29.
- Del Gaudio C., Ricci P, Verderame G.M. (2017). First remarks about the expected damage scenario following the 24th August 2016 earthquake in central Italy. 16th World Conference on Earthquake, 16WCEE 2017 Santiago Chile, January 9th to 13th 2017, Paper 5005.
- Di Pasquale G, Orsini G, Romeo RW. New Developments in Seismic Risk Assessment in Italy. *Bulletin of Earthquake Engineering* 3.1 (2005):101-128.
- Faccioli E, Paolucci R. Elementi di sismologia applicata all'ingegneria. Pitagora Ed., Bologna, Italia (2005).
- Faenza L, Alberto M. Regression analysis of MCS intensity and ground motion parameters in Italy and its application in ShakeMap. *Geophysical Journal International* 180.3 (2010): 1138-1152.
- Grünthal G. Cahiers du centre européen de géodynamique et de séismologie: volume 15 – European Macroseismic Scale 1998. Luxembourg: European Center for Geodynamics and Seismology. 1998.
- Iervolino I, Baltzopoulos G. Preliminary engineering report on ground motion data of the Aug 21st 2017 Ischia earthquake V2.0, Report ReLUIS pubblicato il 27 agosto 2017 su <http://www.reluis.it/>.
- Luongo G, Carlino S, Cubellis E, Delizia I, Iannuzzi R, Obrizzo F. Il terremoto di Casamicciola del 1883: una ricostruzione mancata. Alfa Tipografia, Napoli, Italia (2006).
- Luzi L, Puglia R, Russo E, ORFEUS WG. Engineering Strong Motion Database, version 1.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Observatories & Research Facilities for European Seismology (2016). doi: 10.13127/ESM
- Musson Roger M. W., Grünthal Gottfried, Stucchi Max. The comparison of macroseismic intensity scales. *Journal of Seismology*, Springer Verlag, 2009, 14 (2), pp.413-428.
- Regio Decreto Legge n. 640 del 25/3/1935. Nuovo testo delle norme tecniche di edilizia con speciali prescrizioni per le località colpite dai terremoti. G.U. n. 120 del 22/5/1935
- Sabetta F, Speranza E, Borzi B, Faravelli M. Scenari di danno empirici e analitici a confronto con recenti terremoti italiani. Atti del 32° Convegno Nazionale GNGTS (Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida), November 19-21, Trieste, Italy. volume 2: 2013, p. 136–141.
- G. Zuccaro, F. Cacace. Revisione dell'inventario a scala nazionale delle classi tipologiche di vulnerabilità ed aggiornamento delle mappe nazionali di rischio sismico 2009. Proceedings of National Congress of Italian National Association of Earthquake Engineering, Bologna 2009.