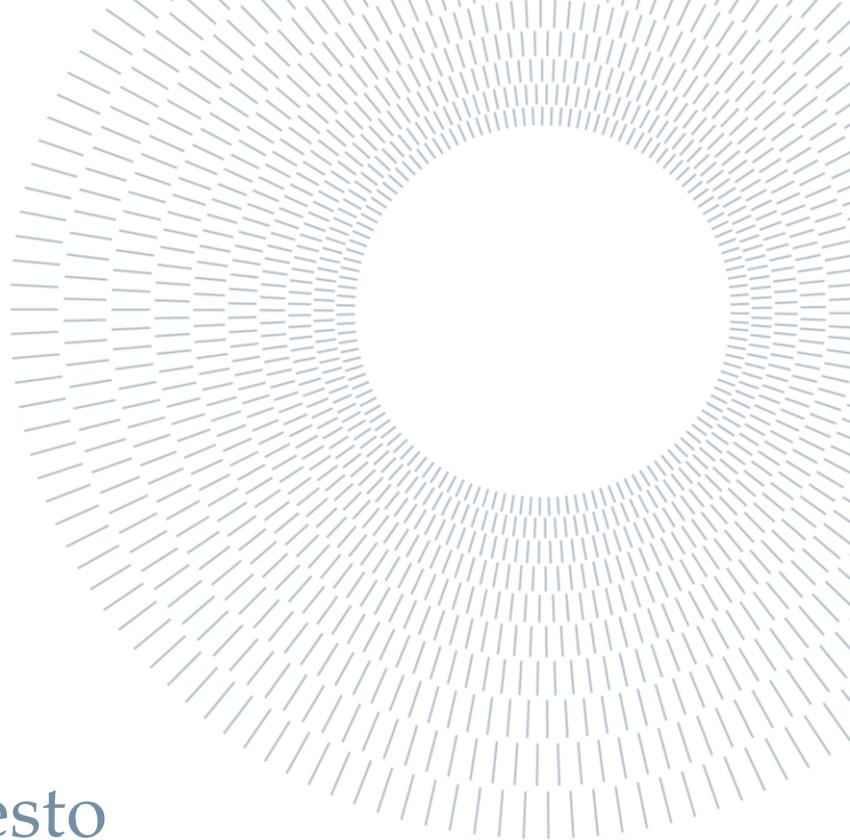




POLITECNICO
MILANO 1863

SCUOLA DI INGEGNERIA CIVILE,
AMBIENTALE E TERRITORIALE



Il danno da dissesto idrogeologico in Italia: analisi dei fattori predisponenti

TESI DI LAUREA MAGISTRALE IN
INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO –
MONITORAGGIO E DIAGNOSTICA AMBIENTALE

Autrice: Federica Astrologo

Matricola: 927511

Relatore: Prof. Giovanni Menduni

Correlatrice: Ing. Federica Zambrini

Anno Accademico: 2020/2021

Abstract

This thesis proposes the development of a study, still in progress at the DICA Department of the Politecnico di Milano, which promotes the analysis of damage from hydrogeological instability, at a national scale, and that uses as dataset the collection of requests for the restoration of damage to private property, public and productive activities, in the context of meteorological events classified as national emergencies.

In this regard, there are, from 2013 to February 2022, 120 Ordinances of the Head of the Civil Protection Department (OCDPC) for hydrogeological emergencies only. It is important to emphasize that to date there is no national database of requests from individual citizens, and also the accessibility of such data is limited by the need for cooperation by regional authorities, and therefore the analysis was carried out on a sample forcedly not exhaustive of all cases. Nevertheless, this is, in any case, a significant information asset.

The data show how, with substantially equal intensity of the phenomena, there is a notable dispersion of the value of the demands of the citizens for the restoration. The objective of this thesis is to identify and evaluate the predisposing factors that determine the propensity of the territory to generate flood damage in different areas of the country. The reference parameter, taken from the literature and elaborated during the thesis work, is the requirement required for the restoration of the square meter of vulnerable area. The thesis work has shown that the regional aggregation scale is a good solution to evaluate the correlations between the different factors governing the production and intensity of damage.

In the course of the work have been investigated both the factors related to the quality of the built environment and the social and economic fabric of the communities involved. Regarding this last aspect, there is a large body of literature that justifies the relationship between social dynamics, population composition and damage following calamitous events.

This aspect is fully confirmed in the present work. The results clearly show a strong correlation between damage generation and local socioeconomic conditions. This fact is shown through an extensive set of indicators drawn from the literature that indicate its prevalence over other indications related to the nature of the buildings. The main spin-offs of the research concern support to decision makers in charge of prevention policies.

Key words: Hydrogeological instability; flood damage; emergency management; social vulnerability; socioeconomic factors.

Sintesi

Il presente lavoro di tesi propone lo sviluppo di uno studio, tuttora in corso presso il Dipartimento DICA del Politecnico di Milano, che promuove l'analisi del danno da dissesto idrogeologico, a scala nazionale, e che utilizza come dataset la raccolta di richieste di fabbisogno per il ripristino dei danni a beni privati, pubblici e attività produttive, nell'ambito di eventi meteo-climatici classificati come emergenze nazionali.

A tal proposito si contano, dal 2013 al febbraio 2022, 120 Ordinanze del Capo Dipartimento di Protezione Civile (OCDPC) per le sole emergenze di tipo idrogeologico. È importante sottolineare che a tutt'oggi non sussiste un database nazionale delle richieste dei singoli cittadini, ed inoltre l'accessibilità di tali dati è limitata dall'esigenza della collaborazione da parte degli enti regionali, e dunque l'analisi è stata svolta su un campione forzatamente non esaustivo di tutte le fattispecie. Ciononostante, si tratta di comunque di un patrimonio informativo di indubbio rilievo.

I dati mostrano come, a sostanziale parità di intensità dei fenomeni, sussista una notevole dispersione del valore dei fabbisogni richiesti dai cittadini per il ripristino. Obiettivo di questa Tesi è di individuare e valutare i fattori predisponenti che determinano la propensione del territorio a generare danno da alluvione, nelle diverse aree del paese. Il parametro di riferimento, tratto dalla letteratura ed elaborato nel corso del lavoro di tesi, è il fabbisogno richiesto per il ripristino del metro quadrato di superficie vulnerata. L'attività di tesi ha evidenziato come la scala di aggregazione regionale costituisca una buona soluzione per valutare le correlazioni tra i diversi fattori regolano la produzione e l'intensità del danno.

Nel corso del lavoro sono stati investigati i fattori legati sia alla qualità dell'ambiente costruito, sia al tessuto sociale ed economico delle comunità coinvolte. Riguardo a quest'ultimo aspetto vi è ampia letteratura che giustifica la relazione fra le dinamiche sociali, la composizione della popolazione e il danno in seguito a eventi calamitosi.

Tale aspetto è pienamente confermato nel presente lavoro. I risultati mostrano chiaramente una chiara correlazione tra la generazione del danno e le condizioni socio-economiche locali. Questo fatto è mostrato attraverso una estesa serie di indicatori tratti dalla letteratura che ne indicano la prevalenza rispetto ad altre indicazioni relative alla natura degli edifici. Le principali ricadute della ricerca riguardano il supporto ai decisori preposti alle politiche di prevenzione.

Parole chiave: dissesto idrogeologico; danno da alluvione; governance dell'emergenza; vulnerabilità sociale; fattori socio-economici.

Sommario

Introduzione	6
Obiettivo della tesi.....	6
Materiali e metodi.....	8
1. Inquadramento	10
1.1 Dissesto idrogeologico	10
1.1.1 Alluvioni in Italia	14
1.2 Misura dei danni da alluvione.....	23
1.2.1 Scenari futuri.....	27
1.2.2 Assicurazioni su disastri naturali in Italia.....	28
1.2.3 OCDPC.....	32
1.2.4 European Union Solidarity Fund.....	35
2. Analisi delle Ordinanze di Protezione Civile	37
2.1 Dataset disponibile	37
2.2 Analisi del territorio	47
2.3 Analisi del tessuto urbano.....	49
2.4 Analisi del tessuto sociale: SoVI.....	54
3. Caso di studio: alluvione Benevento ottobre 2015	81
3.1 Inquadramento territoriale.....	82
3.2 L'Evento di ottobre 2015.....	85
3.2.1 Distribuzione del danno.....	89
3.2.2 Intensità del danno.....	93
3.3 Analisi del territorio colpito.....	100
3.3.1 Pericolosità idraulica.....	100
3.3.2 Tipologia di alluvione.....	102
3.3.3 Classificazione richieste.....	110
3.3.4 Vulnerabilità sociale.....	111
4. Fattori predisponenti della generazione del danno a scala regionale	116

4.1	Fabbisogno specifico	116
4.2	Fattori territoriali	120
4.3	Fattori del tessuto urbano.....	122
4.4	Fattori del tessuto socioeconomico	125
4.4.1	Prodotto Interno Lordo	125
4.4.2	Indice di Sviluppo Umano	127
4.4.3	Indice di Progresso Sociale	128
4.4.4	Benessere Equo e Sostenibile	130
Conclusioni.....		139
Bibliografia.....		144
Indice delle figure		149
Indice delle tabelle.....		153

Introduzione

Il presente lavoro si inserisce all'interno della tematica del danno da dissesto idrogeologico e in particolare da eventi alluvionali. Tale questione è tema centrale in un Paese come l'Italia, dove ogni anno si contano milioni di euro di danni dovuti agli eventi naturali, oltre ad un elevato numero di sfollati, feriti e vittime. In questa sede vengono esposti gli obiettivi e l'organizzazione del lavoro durante l'elaborazione della tesi.

Obiettivo della tesi

Un aspetto fondamentale della pianificazione e della gestione del rischio è volto alla riduzione del danno atteso successivamente ad eventi calamitosi. Per consentire ciò è necessario dapprima avere delle stime dei danni passati.

In letteratura sono presenti numerosi modelli di stima del danno in seguito ad alluvione. Essi possono basarsi su semplici strumenti statistici e matematici, o talvolta sono modelli più sofisticati come ad esempio quelli basati sull'intelligenza artificiale. Questi spesso vengono calibrati su precisi contesti territoriali o su determinati eventi, e ciò ne rende impraticabile, o comunque complessa, la trasferibilità su contesti differenti. Tali modelli sono di fatto principalmente idraulici, legati alle caratteristiche del territorio e alla dinamica fisica degli eventi, come ad esempio l'altezza dell'acqua, la velocità dell'acqua, il trasporto di materiale solido o altro.

In questo lavoro ci si vuole concentrare sull'effettivo danno avvenuto, indipendentemente dalla fenomenologia dell'evento, al fine di capire quali siano le zone più a rischio.

Sono stati svolti numerosi studi, soprattutto nell'ambito del Piano Assetto Idrogeologico e del Piano Gestione del Rischio Alluvioni, dove vengono forniti svariati strumenti per l'individuazione dell'esposto, in termini di popolazione, area, attività produttive, beni culturali ecc., sotto diversi scenari di pericolosità. Tuttavia, è stato anche dimostrato come strumenti quali le mappe PAI non siano sufficienti all'individuazione delle aree a rischio, poiché, come vedremo, molte aree alluvionate non erano state classificate a pericolosità idraulica.

Se da un lato questa tematica può essere affrontata con lo sviluppo, per altro in corso presso lo stesso dipartimento nel quale è stato svolto il presente elaborato, di strumenti alternativi per l'individuazione di aree soggette ad alluvione, è possibile anche affrontare la tematica con una diversa prospettiva.

La domanda che ci si pone in questo lavoro è se vi siano altri fattori, oltre quelli legati al territorio e alle sue caratteristiche geomorfologiche, che rendano la popolazione o un territorio più propensi a subire danno.

Lo scopo del lavoro è stato quindi quello di analizzare le caratteristiche sociali, culturali ed economiche della popolazione per capire se, in primo luogo, vi siano delle differenze nella produzione del danno fra diverse zone del paese, e, in secondo luogo, quali siano i fattori che regolano la produzione e l'intensità del danno. A supporto di questa ricerca vi è ampia letteratura sulla vulnerabilità sociale, intesa come la capacità della popolazione di sapersi comportare in modo adeguato durante un evento e di risollevarsi in seguito ad eventuali danni. In definitiva, si vuole indagare il tessuto socioeconomico del paese e osservare se vi sia un legame con il danno da alluvione, a diverse scale territoriali.

Materiali e metodi

Per le analisi svolte in questo lavoro viene preso in considerazione il danno registrato in seguito ad eventi per i quali il Capo Dipartimento di Protezione Civile ordina lo stato di emergenza nazionale, ossia eventi di “tipo C”. Si suppone quindi, che in termini di intensità e cratere degli eventi, essi possano essere confrontabili tra loro. In seguito ad ogni ordinanza, viene nominato un Commissario Delegato che ha il compito di svolgere la ricognizione del danno, ossia di raccogliere le richieste di fabbisogno dei cittadini e delle imprese per riparare i propri beni dai danni. Il dataset a disposizione è una raccolta parziale di tali schede per beni privati (schede B), relative a 61 ordinanze per eventi alluvionali, rispetto alle 120 totali. Questo database risulta unico a livello nazionale, poiché le raccolte non sono facilmente accessibili.

In primis, viene analizzato lo stato dell’arte del danno, dando una visione d’insieme della distribuzione delle ordinanze e delle richieste delle regioni di cui si dispongono dati.

Successivamente viene studiato il danno alla scala comunale e si è indagata la relazione con alcuni fattori del territorio urbanizzato e della popolazione, grazie al dataset proveniente dal Censimento della Popolazione e degli Edifici del 2011 di ISTAT. In questa fase si è svolta un’analisi del dettaglio della vulnerabilità sociale, sintetizzandola per ciascun comune in un unico valore, l’Indice di Vulnerabilità Sociale.

In seguito, si è svolto un focus su un caso di studio, l’Ordinanza 298 del Capo del Dipartimento di Protezione Civile, deliberata in seguito agli eventi alluvionali dell’ottobre 2015 nella provincia di Benevento, con lo scopo di individuare potenzialità e criticità delle raccolte di schede di fabbisogno.

Infine, viene analizzato il danno, in termini di fabbisogno totale per unità di superficie vulnerata, alla scala regionale, e si è esaminata la correlazione con diversi fattori del tessuto socioeconomico.

1. Inquadramento

1.1 Dissesto idrogeologico

L'Italia, per le sue caratteristiche geologiche, morfologiche ed idrografiche, è un paese particolarmente esposto al dissesto idrogeologico. Il dissesto idrogeologico è la degradazione ambientale dovuta principalmente all'attività erosiva delle acque superficiali, e colpisce primariamente i territori con una struttura geomorfologica giovane e instabile, come è l'Italia. Un importante fattore che regola il dissesto idrogeologico è l'azione antropica; infatti, lo sfruttamento intensivo o sregolato del territorio, o l'abbandono dello stesso, induce conseguenze negative. Ad esempio, nel secondo dopoguerra, l'intensificarsi dell'aumento delle aree urbanizzate, in assenza di una corretta pianificazione territoriale, ha portato alla sostanziale crescita di elementi e beni esposti al rischio di frane e alluvioni; allo stesso tempo l'abbandono di aree rurali montane e collinari ha fatto sì che vi fosse una mancanza di presidio e manutenzione del territorio, rendendo il territorio più vulnerabile (Trigila et al., 2018).

Per completezza di trattazione, occorre evidenziare come, pur essendo frane e alluvioni i fenomeni che colpiscono maggiormente il territorio italiano, rivestono una grande importanza anche i terremoti, l'attività vulcanica, le valanghe, gli incendi boschivi e l'erosione costiera.

Per quanto riguarda le frane, l'Italia è tra i paesi europei maggiormente esposti, e conta finora 620.808 frane, stima effettuata da ISPRA e consultabile nell'Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (Progetto IFFI). Ogni anno ci sono tra i 100 e i 300 fenomeni franosi in Italia (172 nel 2017, 311 nel 2014), che causano vittime, feriti, danni a edifici, beni culturali e infrastrutture (ISPRA, n.d.). Nell'ultimo rapporto dell'ISPRA si contano 1,28 milioni di abitanti a rischio frane e 7.275 comuni (91% del totale) a rischio

frane e/o alluvioni. In Figura 1, è riportata la mappa di pericolosità da frana realizzata da ISPRA e ottenuta dalla mosaicatura delle aree a pericolosità dei Piani di Assetto Idrogeologico (PAI) (ISPRA, n.d.). È riportata in 5 classi: pericolosità molto elevata P4, elevata P3, media P2, moderata P1 e aree di attenzione AA. L'area a rischio frane è pari a 59.981 km², cioè il 19,9% del territorio nazionale (Tabella 1).

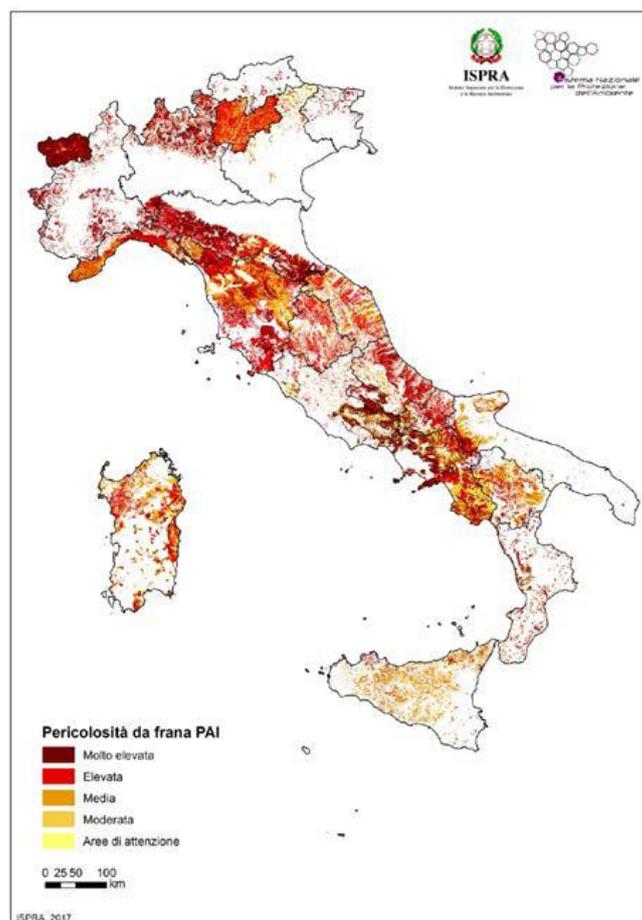


Figura 1 Pericolosità da frana PAI, ISPRA 2017

Tabella 1 Mosaicatura delle aree a pericolosità da frana – ISPRA, 2017

Aree a pericolosità da frana			
		<i>km²</i>	<i>% su territorio nazionale</i>
P4	Molto elevata	9.153	3,0%
P3	Elevata	16.257	5,4%
P2	Media	13.836	4,6%
P1	Moderata	13.953	4,6%
AA	Aree di Attenzione	6.782	2,2%
Totale Italia		59.981	19,9%

In Figura 2 e in Figura 3 vengono riportati i risultati del Rapporto Periodico sul Rischio posto dalla Popolazione italiana da Frane e Inondazioni, che contiene elenchi, mappe, statistiche ed analisi sugli eventi di frana e inondazione che hanno causato danni diretti alla popolazione. Questo documento viene redatto ogni anno, con l'aggiornamento della lista con gli eventi cumulativi. Nell'ultimo report sono elencati gli eventi principali del periodo tra il 1971 e il 2020, in cui sono contati, solo per gli eventi franosi, 1078 vittime, 10 dispersi, 1416 feriti e 146.365 evacuati e senzatetto. Tutte le regioni, seppur in maniera diversa, sono colpite. Il rischio individuale è espresso con l'indice di mortalità (Figura 3), che nel caso delle frane varia tra 0.00 e 0.74. Le regioni in cui l'indice è più elevato sono il Trentino-Alto Adige (0.73) e la Valle d'Aosta (0.44) (Bianchi & Salvati, 2021).

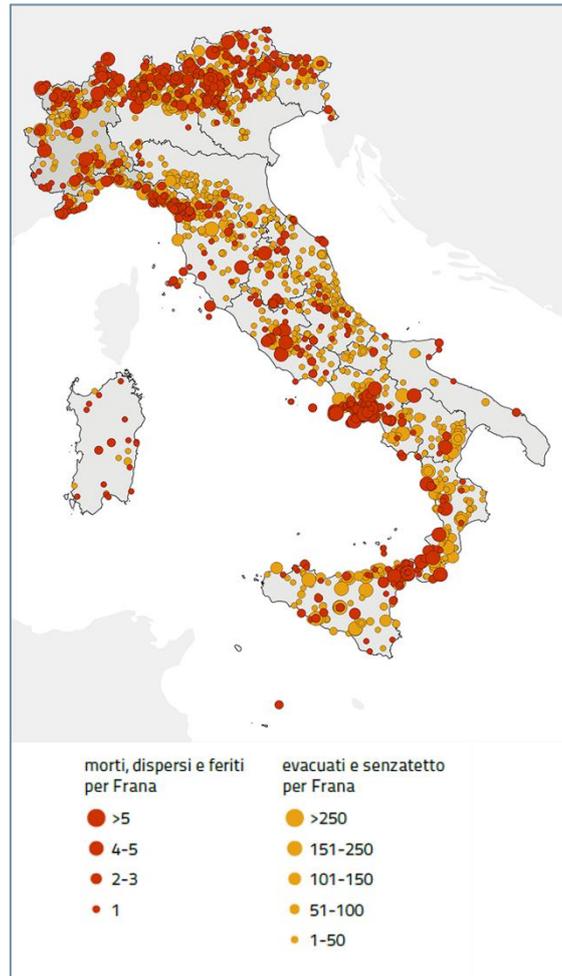


Figura 2 Mappa degli eventi di frana con vittime nel periodo 1971 – 2020 - IRPI, 2014

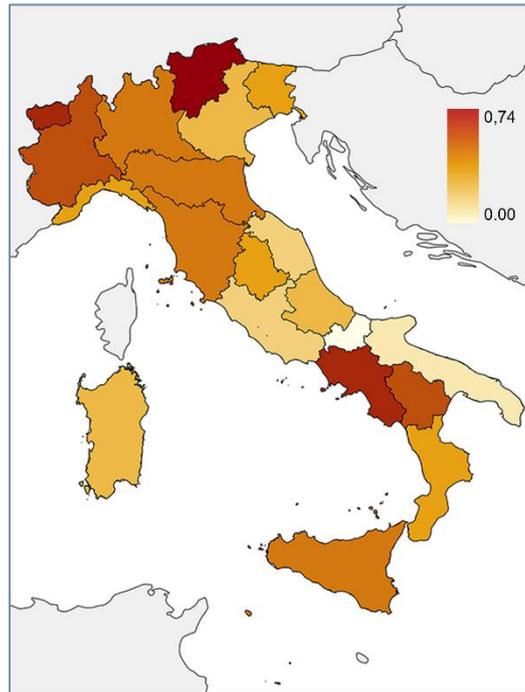


Figura 3 Mortalità per frana nel periodo 1971 - 2020

1.1.1 Alluvioni in Italia

Il fenomeno delle alluvioni è trattato in un paragrafo a sé, poiché sarà oggetto di analisi del presente lavoro di tesi.

ISPRA definisce l'alluvione come l'allagamento temporaneo di aree che abitualmente non sono coperte d'acqua. L'inondazione di tali aree può essere provocata da fiumi, torrenti, canali, laghi e, per le zone costiere, dal mare.

In seguito alla Direttiva 2007/60/CE (Direttiva Alluvioni) relativa alla valutazione e gestione dei rischi di alluvione, e con successivo Decreto Legislativo 49/2010 che prevede l'istituzione di un quadro di riferimento per la valutazione e gestione dei rischi alluvioni, l'Istituto Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (ISPRA) ha redatto due rapporti sulla situazione del dissesto idrogeologico in Italia. In seguito vengono riportati, in sintesi, i principali risultati del rapporto più recente, pubblicato nel 2018 (Trigila et al., 2018). Riportare i seguenti dati ha lo scopo di fornire una visione

più ampia possibile del rischio alluvionale sul territorio italiano. In generale la conoscenza di questi dati permette di avere un importante risvolto sociale ed economico poiché si presenta come mezzo per favorire la consapevolezza per prendere decisioni adeguate in merito al rischio a cui si è esposti, ed eventualmente di ridurre i possibili danni e i costi (Trigila et al., 2018).

Nel D. Lgs. 49/2010 vengono definiti tre scenari di pericolosità: pericolosità elevata P3, alluvioni frequenti con tempo di ritorno fra 20 e 50 anni, pericolosità media P2, alluvioni poco frequenti con tempo di ritorno fra 100 e 200 anni, pericolosità bassa P1, alluvioni con scarsa probabilità ed eventi estremi. In Tabella 2 e in Tabella 3 sono riportate rispettivamente le percentuali di aree in Italia appartenenti a ciascuna classe di pericolosità, e le percentuali di aree appartenenti alle classi di pericolosità media P2 su base regionale. In Figura 4 è presente la mappa di pericolosità idraulica media P2. Dai dati riportati, le regioni che risultano avere la percentuale più alta di aree a pericolosità media, sono Emilia-Romagna, Toscana, Lombardia, Piemonte e Veneto. È utile avere presente che un'area a pericolosità idraulica può essere inondata secondo uno o più dei tre differenti scenari di probabilità. Lo scenario P1, che rappresenta lo scenario massimo atteso ovvero la massima estensione delle aree inondabili in Italia, contiene gli scenari P3 e P2. I dati relativi ai tre scenari non vanno quindi sommati.

Tabella 2 Aree a pericolosità idraulica in Italia – Trigila et al., 2018

Aree a pericolosità idraulica - Scenari D.Lgs. 49/2010		
	<i>km²</i>	<i>% su territorio italiano</i>
Scenario pericolosità Elevata P3	12.405,3	4,1%
Scenario pericolosità Media P2	25.397,6	8,4%
Scenario pericolosità Bassa P1	32.960,9	10,9%

Tabella 3 Aree a pericolosità idraulica media P2 su base regionale - Trigila et al., 2018

Regione	Area Regione	Aree a pericolosità idraulica media P2 (D.Lgs. 49/2010)	
	<i>km²</i>	<i>km²</i>	<i>%</i>
Piemonte	25.387	2.066,0	8,1%
Valle D'Aosta	3.261	239,2	7,3%
Lombardia	23.863	2.405,7	10,1%
Trentino-Alto Adige	13.605	78,9	0,6%
<i>Bolzano</i>	7.398	33,2	0,4%
<i>Trento</i>	6.207	45,7	0,7%
Veneto	18.407	1.713,4	9,3%
Friuli Venezia Giulia	7.862	610,3	7,8%
Liguria	5.416	153,5	2,8%
Emilia-Romagna	22.452	10.252,5	45,7%
Toscana	22.987	2.790,8	12,1%
Umbria	8.464	336,7	4,0%
Marche	9.401	241,0	2,6%
Lazio	17.232	572,3	3,3%
Abruzzo	10.831	149,9	1,4%
Molise	4.460	139,4	3,1%
Campania	13.671	699,6	5,1%
Puglia	19.541	884,5	4,5%
Basilicata	10.073	276,7	2,7%
Calabria	15.222	576,7	3,8%
Sicilia	25.832	353,0	1,4%
Sardegna	24.100	857,3	3,6%
Totale Italia	302.066	25.398	8,4%



Figura 4 Aree a pericolosità idraulica media P2 – Trigila et al., 2018

Nel rapporto dell'ISPRA redatto nel 2018 citato finora, il valore esposto al rischio da alluvioni viene individuato da diversi indicatori, quali la popolazione, gli edifici, le famiglie, le attività produttive e i beni culturali a rischio.

Popolazione a rischio

Complessivamente, nel 2018, 9.341.533 persone vivono in zone che presentano pericolosità idraulica, circa il 16% della popolazione totale. La regione più a rischio è l'Emilia-Romagna con il 64,3% della popolazione in aree a pericolosità P2, a seguire la Toscana (26%), la Liguria (17,5) e il Veneto (9,5%).

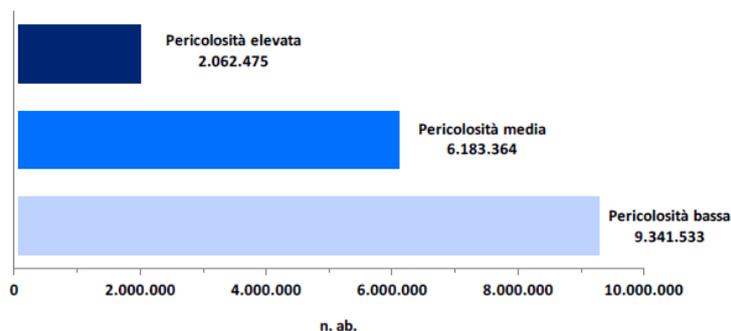


Figura 5 Popolazione a rischio alluvioni residente in aree a pericolosità idraulica in Italia - Trigila et al., 2018

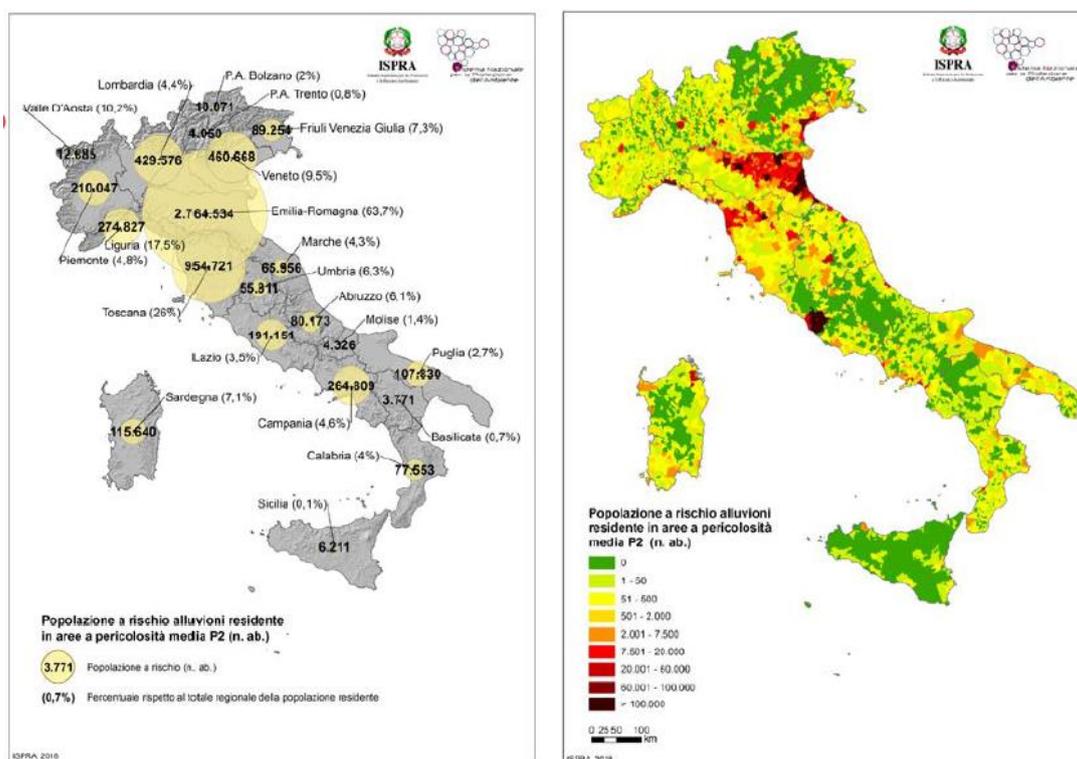


Figura 6 Popolazione a rischio residente in aree a pericolosità idraulica media P2 su base regionale e comunale – Trigila et al., 2018

Famiglie a rischio

Sono poco più di 4 milioni le famiglie che vivono in zone esposte a pericolosità idraulica, ossia il 16% delle famiglie totali, considerando che secondo Istat, 2011 le

famiglie sul territorio italiano sono circa 25 milioni. Di nuovo, l'Emilia-Romagna è la regione con più famiglie a rischio, contando il 63% in aree a pericolosità P2, sul totale di famiglie nella stessa regione. A seguire Toscana (25,8%), Liguria (17,8%) e Veneto (9,7%).

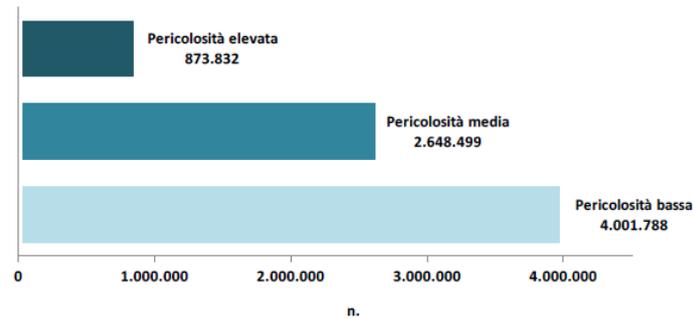


Figura 7 famiglie a rischio residenti in aree a pericolosità idraulica in Italia - Trigila et al., 2018

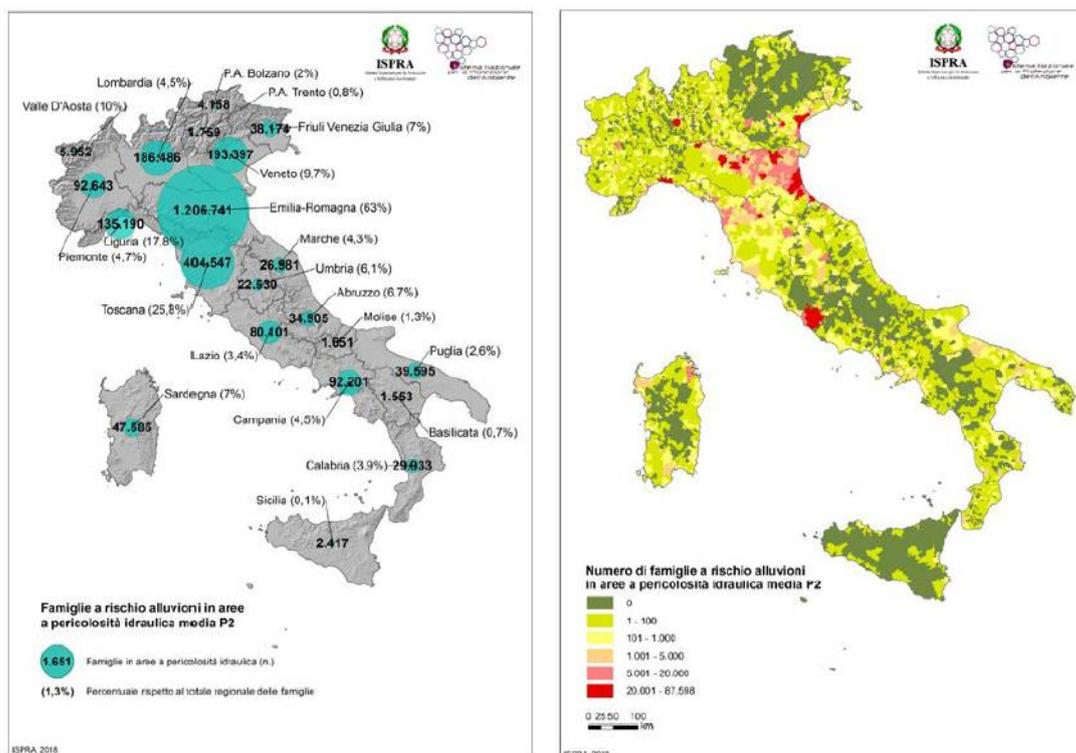


Figura 8 Famiglie a rischio residenti in aree a pericolosità idraulica media P2 su base regionale e comunale – Trigila et al., 2018

Edifici a rischio

Per quanto concerne gli edifici a rischio, in totale sono più di 2 milioni edifici esposti, che, su circa 14 milioni e mezzo di edifici in Italia, rappresentano approssimativamente il 14% del totale.

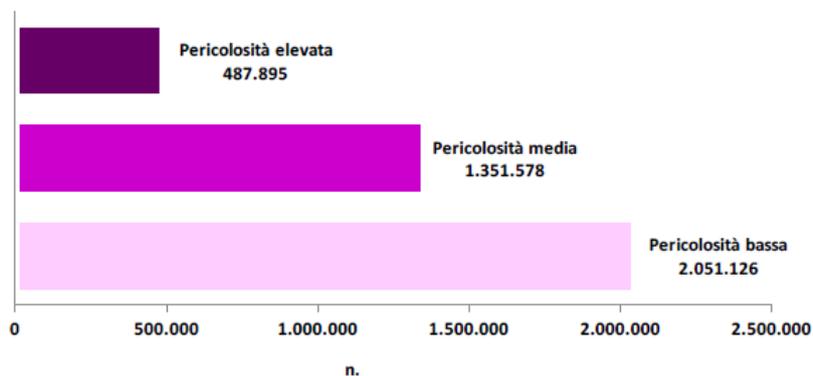


Figura 9 Edifici a rischio in aree a pericolosità idraulica in Italia - Trigila et al., 2018

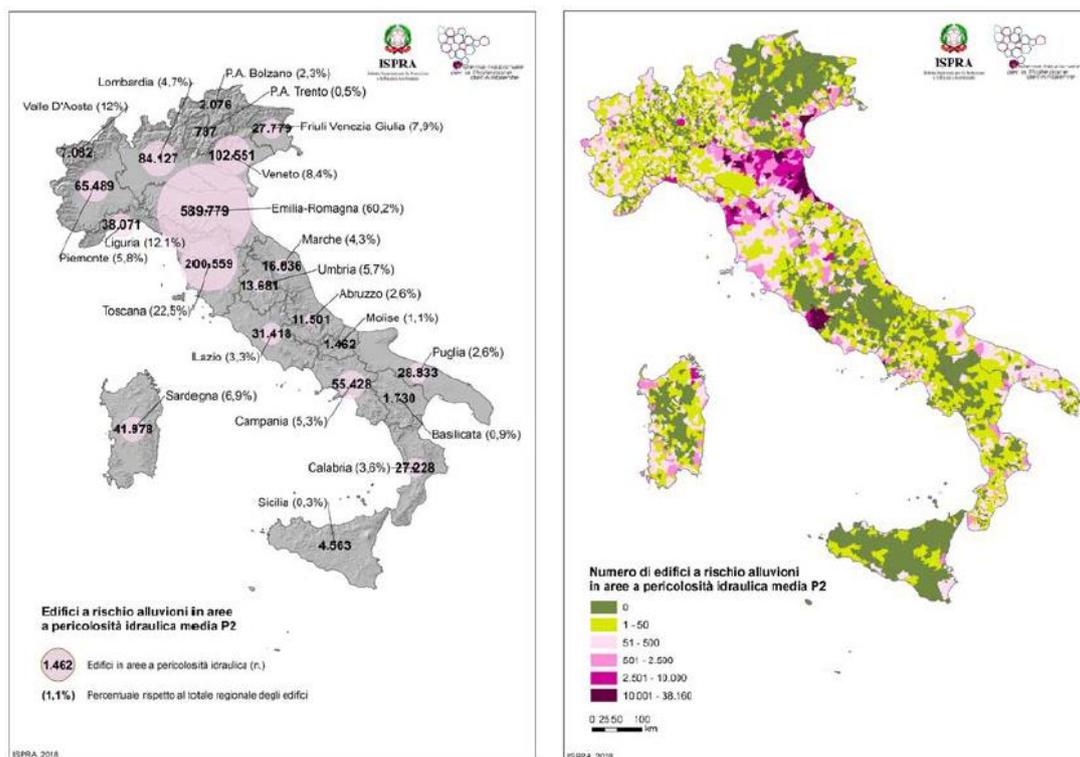


Figura 10 Edifici a rischio in aree a pericolosità idraulica media P2 su base regionale e comunale – Trigila et al., 2018

Beni culturali a rischio

I beni complessivamente esposti al rischio alluvionale, in totale sono quasi 40000. In Emilia-Romagna sono più del 50% del totale di beni nella regione, in aree di pericolosità idraulica P2.

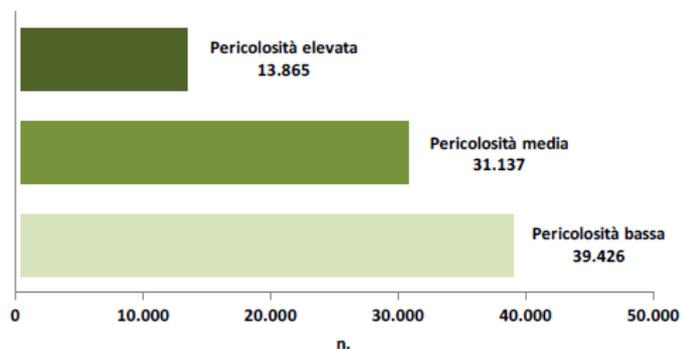


Figura 11 Beni culturali a rischio in aree a pericolosità idraulica in Italia - Trigila et al., 2018

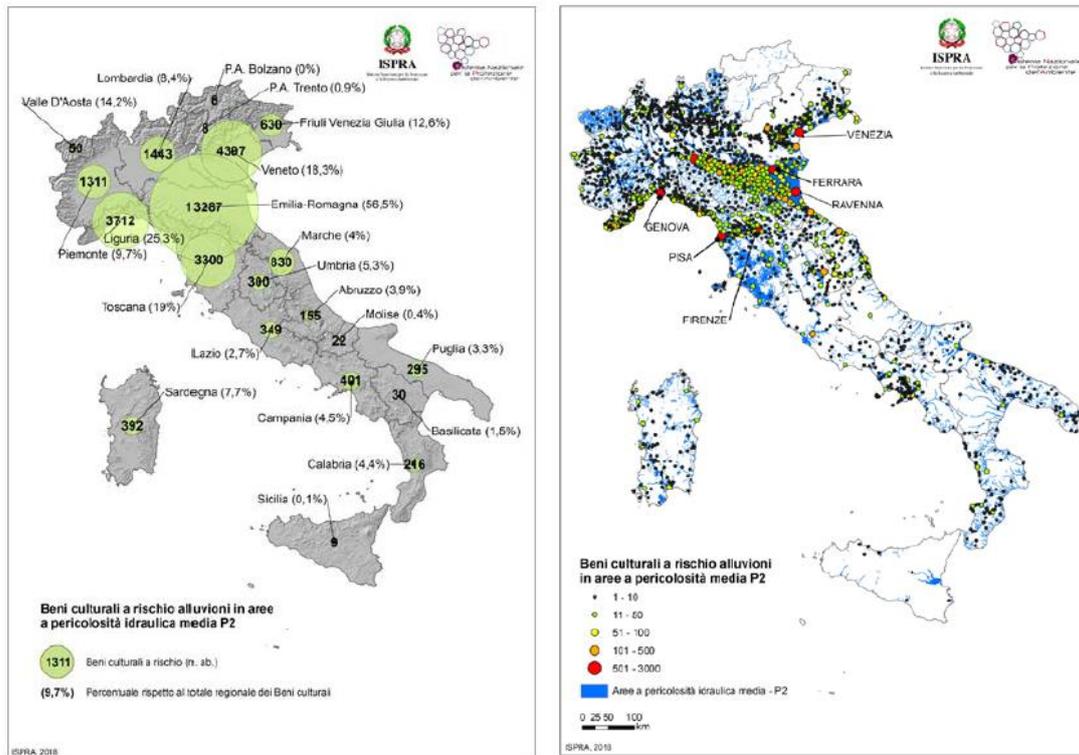


Figura 12 Beni culturali a rischio in aree a pericolosità idraulica media P2 su base regionale e comunale – Trigila et al., 2018

Attività produttive a rischio

Le attività produttive in zone a pericolosità bassa di essere alluvionate sono quasi 900000.

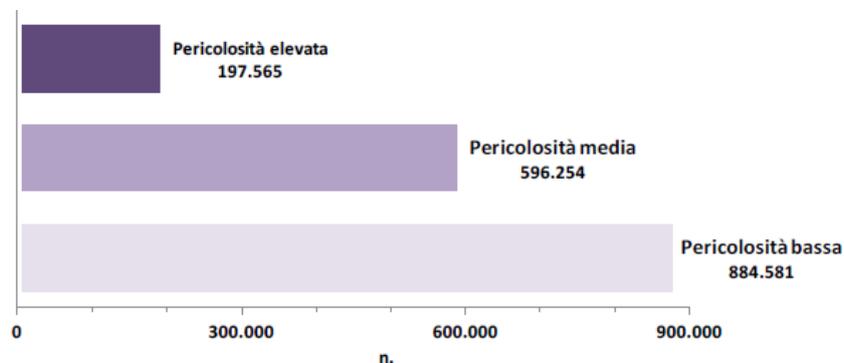


Figura 13 Attività produttive a rischio in aree a pericolosità idraulica in Italia - Trigila et al., 2018

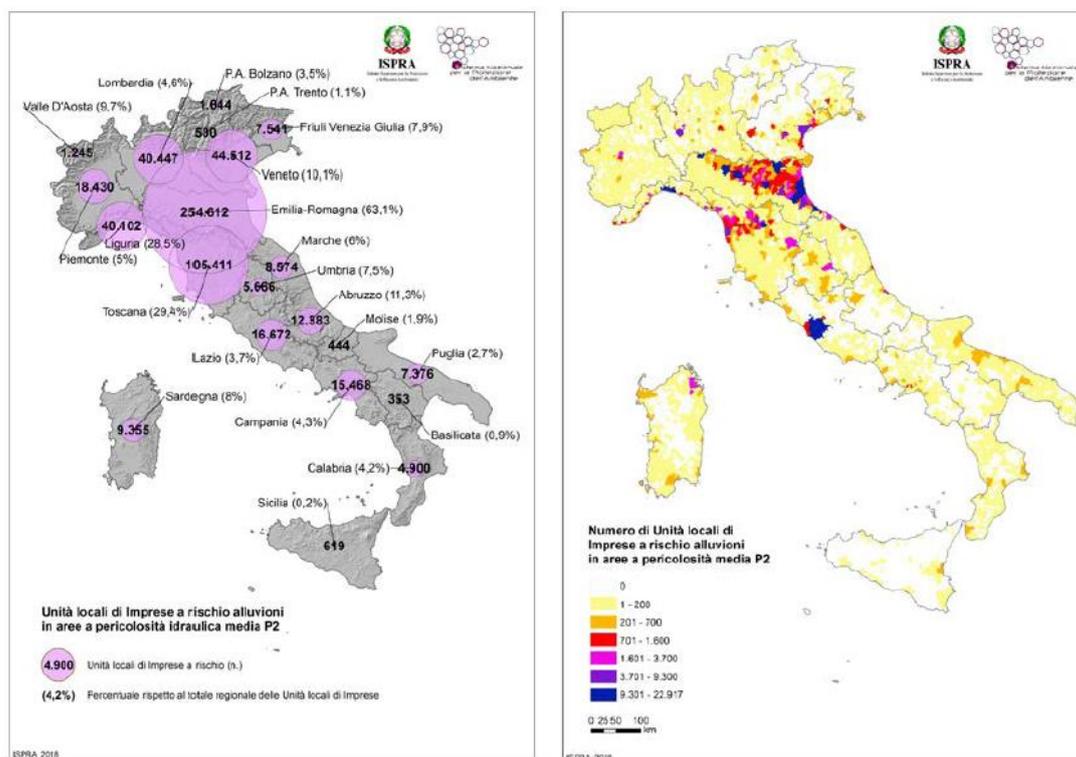


Figura 14 Attività economiche a rischio in aree a pericolosità idraulica media P2 su base regionale e comunale – Trigila et al., 2018

È chiaro che la regione a rischio più elevato di essere alluvionata è l'Emilia-Romagna

1.2 Misura dei danni da alluvione

Per l'IPCC, l'impatto negativo di un evento naturale è considerato un disastro quando questo produce danni molto diffusi e altera gravemente il normale funzionamento di comunità o società (IPCC, 2012), portando quindi alla necessità di supporto esterno per la ripresa post evento.

Globalmente, le perdite economiche dovute a disastri meteorologici e climatici sono aumentate, con variazioni sia a scala temporale che spaziale. L'IPCC stima che le perdite annuali vadano da pochi miliardi di dollari nel 1980 a oltre 200 miliardi nel 2010 (IPCC, 2012).

In Europa, negli ultimi 100 anni le alluvioni sono state tra gli eventi estremi più frequenti, con 5 episodi l'anno e una stima di 2 milioni di persone rimaste senza casa e un danno di 112 miliardi di dollari statunitensi (33% del totale dei danni dovuti a eventi naturali) (Gizzi et al., 2016). Come già riportato nei paragrafi precedenti, l'Italia è tra i paesi a maggiore rischio di essere colpita da disastri naturali quali terremoti, alluvioni e frane (Gizzi et al., 2016), di conseguenza questo rende il paese incline a grandi perdite economiche (Frigerio & De Amicis, 2016) e in media le perdite dovute a questi eventi rappresentano lo 0,2 % del PIL (Gizzi et al., 2016).

Le proprietà private rappresentano una componente fondamentale delle perdite economiche totali in eventi alluvionali (Tellman et al., 2020).

Per dare un'idea dell'intensità degli eventi alluvionali in Italia, è utile riportare anche per le inondazioni i principali risultati del rapporto CNR – IRPI del 2021 ("Rapporto Periodico sul Rischio posto alla Popolazione italiana da Frane e Alluvioni") (Figura 15 e Figura 16). In totale si contano, per il periodo dal 1971 al 2020, 547 vittime, 33 dispersi, 455 feriti, 163.939 evacuati e senzatetto. Come per le frane, tutte le regioni sono colpite da eventi alluvionali. Il range di valori del tasso di mortalità va da 0.00 a 0.10. Il valore più elevato è della Valle d'Aosta (0.10), a seguire la Sardegna (0.06) e il Piemonte e la Calabria (entrambe 0.05) (Bianchi & Salvati, 2021).

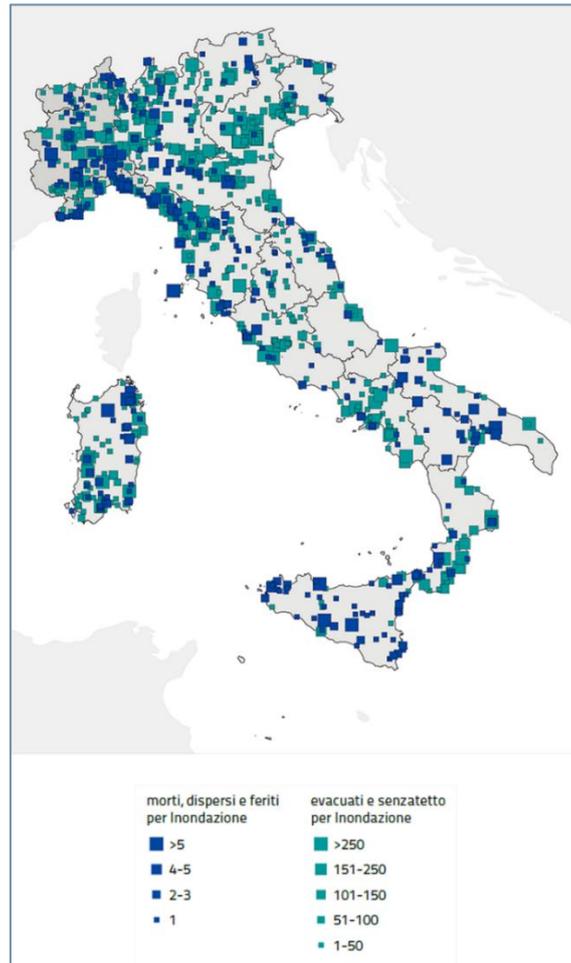


Figura 15 Mappa degli eventi di alluvioni con vittime nel periodo 1971 - 2020 - IRPI,

2014

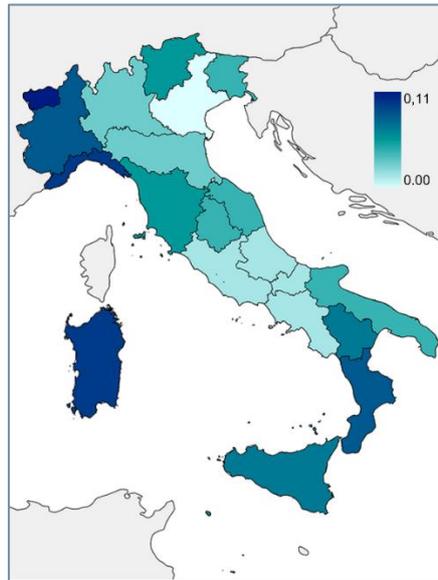


Figura 16 Mortalità per inondazione, nel periodo 1971 -2020

Il database di IRPI include eventi a partire già dal 671, e si stimano fino al 2008 2770 alluvioni, con un totale di 41.265 vittime, dispersi e feriti (Bianchi & Salvati, 2021; G. Roder et al., 2017).

Avere stime affidabili dei costi dei rischi naturali è fondamentale per processi decisionali informati, per lo sviluppo di politiche, strategie e misure per prevenire e ridurre l'impatto dei rischi naturali sulle società e per migliorarne la capacità di risposta e di adattamento (Meyer et al., 2013).

È importante sottolineare che queste cifre sono chiaramente una sottostima, poiché non vengono conteggiate e documentate le perdite indirette, difficili da monetizzare e da valutare, ad esempio la perdita di vite umane, e gli impatti sull'economia a lungo termine (IPCC, 2012). Sebbene le stime riportate generalmente si riferiscano al danno diretto, diversi studi in letteratura (Meyer et al., 2013) e progetti europei (es. EU CONHAM project, cost of natural hazard), pongono l'attenzione su alcuni aspetti del

danno più difficili da quantificare, ma ugualmente rilevanti. Nello specifico, i costi possono essere divisi in cinque categorie:

- costi diretti, cioè danni a proprietà dovuti a contatto fisico;
- costi di interruzione delle attività commerciali, ad esempio inaccessibilità del posto di lavoro, scarsità di risorse per alcuni tipi di produzioni;
- costi indiretti, ossia i costi che si prolungano nel tempo come la perdita di produzione;
- costi intangibili, ossia quei costi inquantificabili poiché non esiste un loro valore nel mercato, come impatto ambientale, impatto sulla salute o su beni culturali;
- costi di mitigazione del rischio, ossia quelli relativi alla ricerca e alla progettazione di infrastrutture o altre misure di mitigazione (Meyer et al., 2013).

Per ciascuna di queste categorie esistono diversi metodi in letteratura per la quantificazione.

Un altro importante aspetto da considerare è la mancanza di dati, che spesso porta a sottostime o, più in generale, alla difficoltà di prendere azioni al fine di mitigare il rischio di eventuali danni.

1.2.1 Scenari futuri

Secondo il rapporto dell'IPCC del 2012, la situazione descritta fino ad ora è destinata a peggiorare se non vengono prese azioni urgenti per la mitigazione del cambiamento climatico.

I futuri cambiamenti nell'esposizione, nella vulnerabilità e negli estremi climatici risultanti dalla variabilità climatica naturale, dai cambiamenti climatici antropogenici e dallo sviluppo socioeconomico, possono alterare gli impatti degli estremi climatici sui sistemi naturali e umani e il potenziale di disastri (IPCC, 2012). L'ultimo report

dell'IPCC del working group II, "Impacts, Adaptation and Vulnerability" (IPCC, 2022), afferma con affidabilità media che gli aumenti previsti dei danni diretti delle inondazioni sono superiori da 1,4 a 2 volte a 2°C e da 2,5 a 3,9 volte a 3°C rispetto al riscaldamento globale di 1,5°C senza adattamento. Con elevata affidabilità, afferma anche che l'intensità, la frequenza e la gravità delle alluvioni aumenteranno.

Inoltre, in molte regioni del mondo, i principali fattori che determineranno l'aumento delle perdite economiche dovute a fenomeni naturali saranno di natura socioeconomica. Gli insediamenti umani, i cambiamenti morfologici dei fiumi e i cambiamenti dell'uso del suolo concorrono infatti, come già evidenziato, al rischio di alluvioni (Coninx & Bachus, 2007). Alla luce di quanto esposto nel presente paragrafo, appare evidente come nelle trattazioni idrologiche, idrauliche e climatiche finalizzate alla modellazione dell'impatto delle alluvioni future sia fondamentale includere i possibili scenari di cambiamenti climatici.

1.2.2 Assicurazioni su disastri naturali in Italia

Stato dell'arte

Alla luce di quanto detto finora, e delle cifre riportate sui danni da disastri ambientali, e in particolare da alluvioni, è importante fare un focus sulla situazione assicurativa in Italia. In generale, il sistema assicurativo si presenta come uno strumento molto utile per cittadini e governi al fine di avere un diminuire l'impatto economico in caso di disastro (Giulia Roder et al., 2019). Il meccanismo assicurativo permette di ridurre il rischio di catastrofi e consente di adattarsi più facilmente ai cambiamenti climatici, grazie ai finanziamenti per il recupero dei mezzi di ricostruzione ed inoltre grazie alla diffusione della conoscenza del rischio e degli incentivi per ridurre il rischio prima dell'avvenimento dell'evento (IPCC, 2012).

I mercati delle assicurazioni variano in base al contesto culturale ed ambientale di ciascun paese. In Italia vi è una ridotta cultura assicurativa della popolazione, infatti la copertura su disastri ambientali, nello specifico ad alluvioni, finora ha avuto un ruolo estremamente marginale, e al 2014 è stata stimata a meno del 5% (Cesari & D'Aurizio, 2019; Lamond & Penning-Rowsell, 2014).

In Belgio, Irlanda, Francia e Regno Unito la copertura arriva al 90%, grazie alle misure che rendono obbligatoria l'estensione dei piani assicurativi per disastri naturali (Gizzi et al., 2016).

C'è da aggiungere anche che, in accordo con l'articolo 1912 del Codice Civile italiano, *“salvo patto contrario, l'assicuratore non è obbligato per i danni determinati da movimenti tellurici, da guerra, da insurrezione o da tumulti popolari”*. Nonostante l'articolo citi solamente i terremoti, come disastri naturali, e renda non obbligatoria l'elaborazione di piani assicurativi, alcune compagnie hanno comunque dei piani contro i disastri naturali. In particolare, Gizzi et al., 2016 contano 13 compagnie con uffici in Italia, che offrono programmi per tutelare edifici residenziali in caso di sisma; cinque di questi includono specifici pacchetti sulle alluvioni. Viene principalmente offerto il rimborso dei costi di base per la riparazione e ricostruzione dei beni ed alcune polizze provvedono anche ai costi dei beni custoditi all'interno delle abitazioni che vengono danneggiati.

A differenza delle alluvioni e dei sismi, le coperture sugli incendi sono molto più comuni, soprattutto perché l'avvenire di questi non è spesso collegato a cause naturali. La copertura sulle alluvioni potrebbe presentarsi come un'estensione della copertura sugli incendi, come spesso avviene in altri paesi. (Maccaferri et al., 2012).

Motivi della sottoassicurazione

Le ragioni per cui vi è una così bassa percentuale di assicurati contro le alluvioni sono varie, tra queste vi è una scarsa consapevolezza dell'esposizione al rischio e la percezione che questo tipo di eventi siano molto rari. Inoltre, non esiste un regolamento legislativo che renda la copertura obbligatoria e le compagnie assicurative private non promuovono adeguatamente la possibilità di estendere le coperture assicurative. (Gizzi et al., 2016; Kunreuther & Pauly, 2004).

La percezione del rischio gioca un ruolo fondamentale quando si tratta di prendere decisioni per tutelare sé stessi e i propri beni dai disastri naturali. Le persone che sono consapevoli di vivere in una zona con alto rischio alluvionale sono più propense ad agire di conseguenza e prendere provvedimenti, ad esempio proteggendo la propria abitazione con interventi diretti e strategie di adattamento, oppure estendendo la propria copertura assicurativa (Binh et al., 2020; Gizzi et al., 2016).

La percezione del rischio è fortemente influenzata dall'esperienza, ossia dall'aver affrontato in passato le conseguenze di eventi naturali che hanno provocato grossi danni.

Ad esempio, la percezione del rischio sismico è mediamente superiore rispetto al rischio idrogeologico, poiché si ha una maggiore memoria dell'evento: un terremoto coinvolge più persone durante il suo avvenimento e coglierne il carattere può risultare più immediato (Guzzetti et al., 2005; Salvati et al., 2014).

Sono stati svolti diversi studi riguardo la percezione del rischio di disastri naturali, tra questi Salvati et al., 2014 hanno approfondito la questione tramite dei questionari rivolti alla popolazione, giungendo alla conclusione che la popolazione si senta più esposta al rischio tecnologico (incidenti stradali e contaminazione da inquinanti) che al rischio naturale.

Inoltre, la popolazione pone molta fiducia sugli interventi pubblici, dando per certo che lo Stato sia tenuto a priori a dare un contributo per risarcire i danni causati da disastri, nonostante non ci siano regolamentazioni a evidenziare l'obbligatorietà statale di rimborsi. Questo accade specialmente nel sud Italia dove la percentuale di assicurati è minore rispetto a quella del nord Italia (Cesari & D'Aurizio, 2019; Gizzi et al., 2016).

C'è da aggiungere che per le compagnie assicurative vi è la preoccupazione di dover risarcire un numero di persone troppo elevato quando si presenta un evento naturale disastroso. Ad esempio, facendo riferimento al rischio vulcanico del Vesuvio, nella sola zona a rischio più elevato vivono circa 700.000 persone. In questo caso per la compagnia c'è il rischio di avere un numero troppo elevato di richieste e di valore esposto (Gizzi et al., 2016). Nel mercato privato gli assicuratori mirano al profitto, e costituiscono le riserve attraverso la riscossione dei premi, che dovrebbero essere sufficientemente alti per produrre profitto ed evitare perdite inaccettabili (Perazzini et al., 2020). Per le compagnie resta molto complesso il metodo per determinare il premio e per stabilire il danno da risarcire (Gizzi et al., 2016; Perazzini et al., 2020)

Risoluzioni

Negli ultimi anni sono state avanzate diverse proposte, ma nessuna è ancora riuscita a passare attraverso l'iter legislativo (Gizzi et al., 2016; Maccaferri et al., 2012). Sono state pensate diverse risoluzioni al problema della scarsità di adeguati programmi assicurativi, tra queste l'idea di rendere obbligatoria la copertura per le calamità naturali, oppure di rendere graduale la copertura, grazie a un programma di comunicazione pubblica, educazione assicurativa e incremento di agevolazioni fiscali (Cesari & D'Aurizio, 2019). Inoltre, il governo potrebbe fissare dei regolamenti per le compagnie assicurative in modo da aumentare la conoscenza del rischio per le persone e rendere più accessibili le informazioni a riguardo (Gizzi et al., 2016). Integrare la

conoscenza locale con conoscenza scientifica e tecnica può infatti ridurre il rischio di incorrere in un disastro (IPCC, 2012).

È fondamentale che il mercato assicurativo in Italia cominci ad affacciarsi in modo più sostanziale ai disastri naturali, permettendo così risarcimenti più rapidi, e riducendo l'impatto sulla finanza pubblica (Cesari & D'Aurizio, 2019).

La comunicazione del rischio è un aspetto ancora molto debole nella gestione dei rischi, ma è di grande importanza poiché la consapevolezza del rischio crea fiducia e un senso di comunità; inoltre, le persone sono più propense a supportare ed accettare strategie che comprendono (Bignami et al., 2018). In definitiva, la comunicazione efficace, tramite ad esempio i social network, deve essere considerata come un mezzo necessario per aumentare la consapevolezza e la partecipazione della comunità, al fine di essere più preparati alle emergenze ed evitare disastri dove si può (Bignami et al., 2018; Binh et al., 2020).

Dal punto di vista modellistico, la sottoassicurazione rende difficile utilizzare questo tipo di informazioni per la stima dei danni. Nell'auspicato aumento dell'utilizzo di questi mezzi sarà possibile attingere ai dati di polizze e premi risarcitori per conoscere la distribuzione dei danni, ma allo stato attuale questo risulta complesso.

Occorre dunque riferirsi ad altre sorgenti di informazioni, come quelle che saranno presentate nel prossimo paragrafo

1.2.3 OCDPC

L'attività di protezione civile riguarda gli eventi calamitosi che vengono classificati in base all'estensione, all'intensità e alla capacità di risposta del sistema di protezione civile in tre categorie, secondo la definizione dell'articolo 7 del Codice di Protezione Civile (D. Lgs 1/2018), riassumibile come segue:

Eventi di “tipo A”, possono essere fronteggiati con interventi in via ordinaria dai singoli enti e amministrazioni competenti;

Eventi di “tipo B”, per natura o estensione comportano l'intervento coordinato di più enti o amministrazioni e devono essere fronteggiati con mezzi e poteri straordinari;

Eventi di “tipo C”, per intensità ed estensione hanno rilievo nazionale e devono essere fronteggiati con mezzi e poteri straordinari.

Nel presente lavoro si fa riferimento alle emergenze di tipo C per le quali è proclamato dal Consiglio dei ministri lo stato di emergenza che ha la durata di 180 giorni con possibilità di proroga (Protezione Civile, s.d.).

Con la delibera vengono stanziati gli importi per i primi interventi urgenti di soccorso e superamento dell'emergenza; successivamente possono essere assegnate ulteriori risorse a seguito della ricognizione dei fabbisogni realizzata dal Commissario delegato. Il ruolo di quest'ultimo è stato introdotto nel Decreto-legge n. 59 del 15 maggio 2012 convertito dalla legge n. 100 del 12 luglio 2012: disposizioni urgenti per il riordino della protezione civile. Tra le emergenze ammissibili vi sono quelle per il rischio meteo-idro, per il rischio sismico, il rischio ambientale, sanitario, tecnologico e incendi, e le emergenze internazionali. Con il Decreto-legge n. 93 del 14 agosto 2013, convertito dalla Legge n. 119/2013, che modifica la Legge n. 225/1992, viene istituito il Fondo per le emergenze nazionali da cui vengono attinte più tempestivamente le risorse per affrontare gli eventi; viene inoltre definita la ricognizione puntuale dei fabbisogni per le attività di ripristino e censimento dei danni da parte dei Commissari delegati (Dipartimento della Protezione Civile, s.d.). Per ciascuna emergenza viene elaborata l'Ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile (OCDPC), in cui vengono indicati:

- i dati relativi ai provvedimenti adottati;
- il commissario delegato;

- i riferimenti della contabilità speciale;
- gli importi segnalati dalle Regioni per la richiesta dello stato di emergenza e finalizzati alla copertura delle spese per gli interventi urgenti e alla prima stima dei danni;
- le risorse stanziare e quelle trasferite;
- la ricognizione effettuata dai Commissari Delegati dei fabbisogni necessari per il ripristino delle strutture e delle infrastrutture, pubbliche e private, e per il ristoro dei danni subiti;
- l'amministrazione competente in via ordinaria a coordinare gli interventi una volta chiuso lo stato di emergenza (Dipartimento della Protezione Civile, s.d.).

Per quel che riguarda la ricognizione dei Commissari Delegati, che sarà oggetto del presente elaborato, capiamo meglio il tipo di importo che ci si aspetta in fase di ricognizione. Gli importi complessivi sono stati definiti sulla base della ricognizione dei fabbisogni, ovvero della quantificazione dei danni al patrimonio edilizio privato e alle attività economiche e produttive, realizzata dai vari Commissari Delegati in seguito ad eventi calamitosi per i quali è stato dichiarato lo stato di emergenza. I contributi – per danni alle abitazioni e alle attività economiche e produttive – sono concessi attraverso un finanziamento agevolato e sono a totale carico dello Stato, grazie all'attivazione di un credito di imposta. Per queste emergenze sono utilizzate solamente le risorse che vengono dal Fondo per le Emergenze Nazionali (FEN), gestite dal DPC. Nelle OCDPC le richieste sono categorizzate in richieste di tipo "A", relative ai beni culturali, "B", beni residenziali e "C", attività economiche e produttive. In particolare, per le richieste di contributi per beni residenziali definibili come prima casa, sono coperte le spese fino all'80% del valore risultante alla fine dell'istruttoria fino ad un limite di 187.500 euro, se l'abitazione è distrutta. Mentre il massimale è di

150.000 euro se l'abitazione è da ristrutturare e non da delocalizzare o ricostruire. Se l'abitazione non è quella principale il contributo scende al 50%, con il limite posto a 150.000 euro. È previsto un contributo di massimo 10.000 euro per le spese di demolizione. Per i contributi relativi ai danni economici ad attività economico produttive, i cittadini si rivolgono direttamente alle regioni. Questi particolari, relativi alle richieste di fabbisogno che il commissario delegato raccoglie, sono riportati per dare una visione generale dell'ordine di grandezza dei danni economici subiti dai cittadini, poiché in questo studio verranno utilizzati i dati provenienti da una raccolta di OCDPC.

1.2.4 European Union Solidarity Fund

Oltre ai risarcimenti provenienti dal Fondo per le Emergenze Nazionali, e ulteriori fondi, l'Italia, come tutti gli altri paesi dell'Unione Europea, può attingere, rispettando i requisiti richiesti, all'European Union Solidarity Fund. L'EU Solidarity Fund è stato creato, successivamente ad alcune gravi alluvioni avvenute in centro Europa nel 2012, per rispondere ai maggiori disastri naturali e per mostrare solidarietà alle regioni europee colpite da disastri. Fino ad oggi è stato utilizzato per coprire i costi di 80 eventi catastrofici, tra alluvioni, incendi, terremoti, siccità e uragani¹.

Il fondo interessa le operazioni essenziali di emergenza e di recupero; quindi, lo scopo è di ripristinare infrastrutture e servizi fondamentali, di rimborsare i costi delle operazioni di emergenza e di soccorso, e di far parzialmente fronte alle operazioni di bonifica nelle regioni disastrose.

L'Italia è tra i paesi dell'Unione Europea ad aver usufruito maggiormente del fondo, con un ammontare di quasi 3 miliardi di euro ottenuti dal 2012 al 2019 (dati reperibili

¹ Catalogo eventi: https://ec.europa.eu/regional_policy/en/funding/solidarity-fund/

sulla tabella riassuntiva EU Solidarity Fund Interventions). In totale l'Italia ha fatto richieste per dieci interventi, di cui quattro terremoti, un'eruzione vulcanica e cinque alluvioni (Figura 17).

	Occurrence	Nature of disaster	Category	Damage (million €)	EUSF aid (million €) ¹⁾	Total EUSF aid (million €)
ITALY 	October 2002	Earthquake (Molise)	regional	1 558	30.8	2 792.9
	October 2002	Eruption of Volcano Etna	regional	894	16.8	
	April 2009	Earthquake (Abruzzo)	major	10 212	493.8	
	October 2010	Floods (Veneto)	regional	676	16.9	
	October 2011	Floods (Liguria & Tuscany)	regional	723	18.1	
	May 2012	Earthquakes Emilia-Romagna	major	13 274	670.2	
	November 2013	Floods (Sardinia)	regional	652	16.3	
	October 2014	Floods	regional	2 241	56	
	August 2016 to January 2017	Earthquakes	major	21 879	1 196.8	
	October 2018	Floods	major	6 630.3	277.2	

Figura 17 Rimborsi ottenuti dall'Italia dall'EU Solidarity Fund

Un esempio di evento è quello delle alluvioni, frane e smottamenti causate da forti piogge che, nell'ottobre e novembre 2014, hanno colpito Emilia-Romagna, Liguria, Lombardia, Piemonte e Toscana. In quel caso per la richiesta le autorità italiane hanno presentato una relazione con il punto del disastro, in particolare in Liguria dove i fiumi hanno rotto gli argini inondando ponti e strade causando ingenti danni.

Si tratta in questo caso di dati relativi al ristoro delle spese e non alle richieste basate sui fabbisogni. Per questo motivo, il dato non è utilizzato nel presente lavoro.

2. Analisi delle Ordinanze di Protezione Civile

2.1 Dataset disponibile

Come spiegato nel paragrafo 1.2.3., la ricognizione del danno per eventi in cui è stato dichiarato lo stato di emergenza nazionale, viene svolta dal Commissario Delegato della Protezione Civile, che raccoglie le schede di richieste di fabbisogno per il ripristino dei danni in seguito ad un evento calamitoso. Questa modalità è stata introdotta nel 2013, il che significa che non vi sono dati puntuali e precisi prima di questa data. Le raccolte dei danni complessivi precedenti al 2013 si riferiscono ai provvedimenti normativi di spesa che però non dispongono di linee guida precise e definite. I dati di cui si dispone precedentemente al 2013 sono fondamentalmente tratti dai report redatti da enti, nazionali e non, quali ISTAT, ISPRA, Dipartimento di Protezione Civile, Coldiretti, Legambiente ecc., che propongono descrizioni più o meno dettagliate del danno dovuto agli eventi che hanno caratterizzato il territorio italiano nel corso degli anni (Bellicini et al., 2012; Bianchi & Salvati, 2021; Zampetti et al., 2012). L'introduzione della nuova metodologia di raccolta dei dati sui danni consente di avere maggiore ordine e chiarezza sull'entità degli eventi.

Dal 2013 a febbraio 2022 si contano 120 Ordinanze del Capo Dipartimento della Protezione Civile in ambito di eventi di carattere idrogeologico. Le ordinanze fanno riferimento a eventi di diversa tipologia e coprono periodi di tempo diversi fra di loro, non vi è una regola rigida su come essi debbano essere classificati. L'anno segnato dal maggior numero di ordinanze è il 2015, con 20 OCDPC, seguito dal 2013 e il 2014 con

17 OCDPC (Figura 18); mentre nel 2018 e 2021 si contano 8 e 6 ordinanze, meno rispetto alla media annuale.

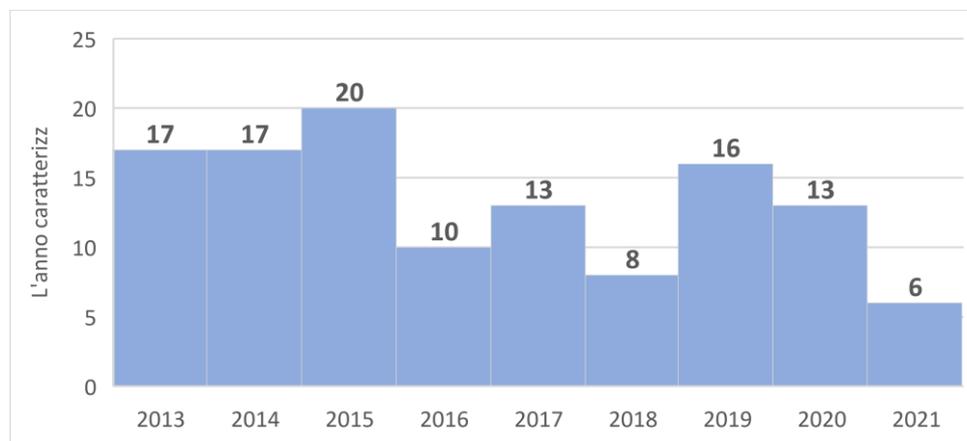


Figura 18 Numero di ordinanze per anno dal 2013 al 2021

Tipologia di eventi

In Figura 19 osserviamo come sono state classificate le diverse ordinanze e come vengono distinti diversi tipi di eventi. La definizione di eventi da dissesto idrogeologico include una casistica piuttosto varia, che include alluvioni e frane ma anche deficit idrico, fenomeni meteorologici quali neve, trombe d'aria, piogge forti e mareggiate. Un tentativo di classificazione per tipologia è stato fatto ed è mostrato in figura. Tuttavia, alcune diciture (avversità atmosferica, eccezionali eventi meteorologici, eventi meteorologici e idrologici), rimangono difficilmente attribuibili a singole tipologie di fenomeni e riguardano spesso una combinazione degli stessi. Per una comprensione più dettagliata di quali fenomeni siano coinvolti negli eventi in questione è necessaria un'indagine ad hoc su ogni ordinanza. Ad esempio, l'Ordinanza n. 205 viene così nominata "Eccezionali eventi meteorologici verificatisi nei giorni dall'8 al 12 dicembre 2017 nel territorio delle province di Piacenza, di Parma, di Reggio Emilia, di Modena, di Bologna e di Forlì-Cesena"; indagando su cosa sia avvenuto in quelle date, si evince che l'evento è caratterizzato da fenomeni nevosi, trombe d'aria, alluvioni e mareggiate (BUPERT, n.d.).

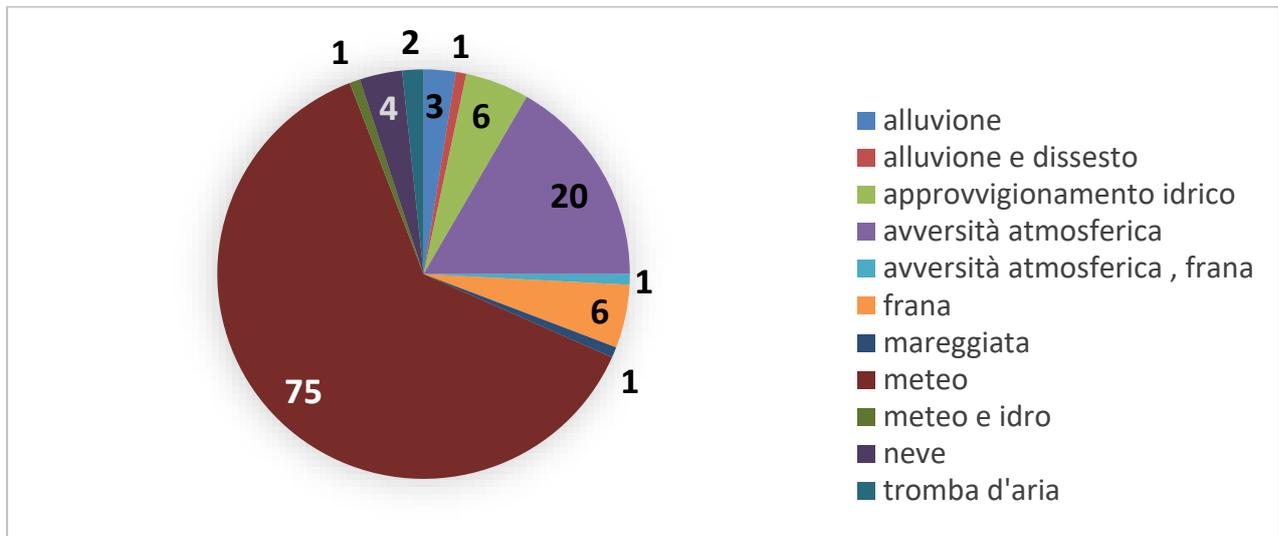


Figura 19 Tipologia eventi delle OCDPC

Arco temporale

Un altro esempio è l'Ordinanza n. 304 "Eccezionali eventi meteorologici che nel periodo dall'8 settembre al 3 novembre 2015 hanno colpito i territori delle province di Catania, Enna e Messina" e in questo caso si può osservare l'ampiezza temporale del fenomeno legato all'Ordinanza.

Regioni coinvolte

Un fattore aggiuntivo che rappresenta la complessità dei fenomeni racchiusi nelle Ordinanze è il fatto che alcune di esse coinvolgono molte regioni e ciò rende complicato definire gli estremi degli eventi. Infatti, le OCDPC n. 558 del 2018, n. 615 del 2019 e n. 710 del 2020, coinvolgono rispettivamente dieci (più le province autonome di Trento e Bolzano), dodici e due regioni.

Qualità delle informazioni

Le schede di fabbisogno compilate dai cittadini forniscono un dato preciso e puntuale di dove è avvenuto il danno. Inoltre, i cittadini sono tenuti a riportare informazioni dettagliate riguardo i beni danneggiati, come la tipologia della struttura, l'uso, l'area,

l'eventuale numero di piani, e il tipo di danno avvenuto. Tuttavia, capita che le schede siano compilate in modo impreciso.

Reperibilità dei dati

Svolta la ricognizione del danno da parte del Commissario Delegato, la raccolta delle richieste viene trasmessa agli enti regionali; non vi è un database unico nazionale in cui è possibile trovare le raccolte delle schede. Per ottenere le informazioni e le raccolte delle schede è necessaria la collaborazione degli uffici regionali, e non sempre è possibile reperire i dati.

Per questo motivo, in questo elaborato di tesi, verrà utilizzato un dataset limitato alle raccolte che si è riusciti a reperire presso gli Enti regionali.

Dati disponibili

In Figura 20 è riportato per ciascuna regione il numero di Ordinanze totali e il numero di Ordinanze disponibili per le analisi che verranno svolte in questo lavoro. Come già detto, in totale vi sono 120 Ordinanze per eventi di carattere idrogeologico, ma considerando che tre di queste coinvolgono più regioni, il totale delle OCDPC in Figura 20 è di 139. Osserviamo che le regioni col maggior numero di OCDPC sono l'Emilia-Romagna, il Piemonte, la Sicilia e il Veneto, mentre quelle col minor numero di Ordinanze registrate sono l'Abruzzo, le Marche, il Molise, l'Umbria e la Valle d'Aosta.

In totale, sono disponibili 61 raccolte di schede, il dataset più completo in questo studio è per l'Emilia-Romagna di cui si ha la totalità di dati dal 2013 al 2020, ad eccezione delle ultime 2 OCDPC avvenute nel 2021; e per la Puglia di cui si dispone di tutte le raccolte di schede.

Ricordiamo che le future analisi saranno limitate alla disponibilità dei dati e che quindi rappresenteranno una visione parziale del danno in seguito ad eventi di tipo C. Nel

considerare eventi di “tipo C”, cioè eventi per i quali è deliberato dal CdM lo stato di emergenza nazionale, ipotizziamo che la magnitudo o intensità di tali eventi sia confrontabile, pur nella complessità dei fenomeni coinvolti.

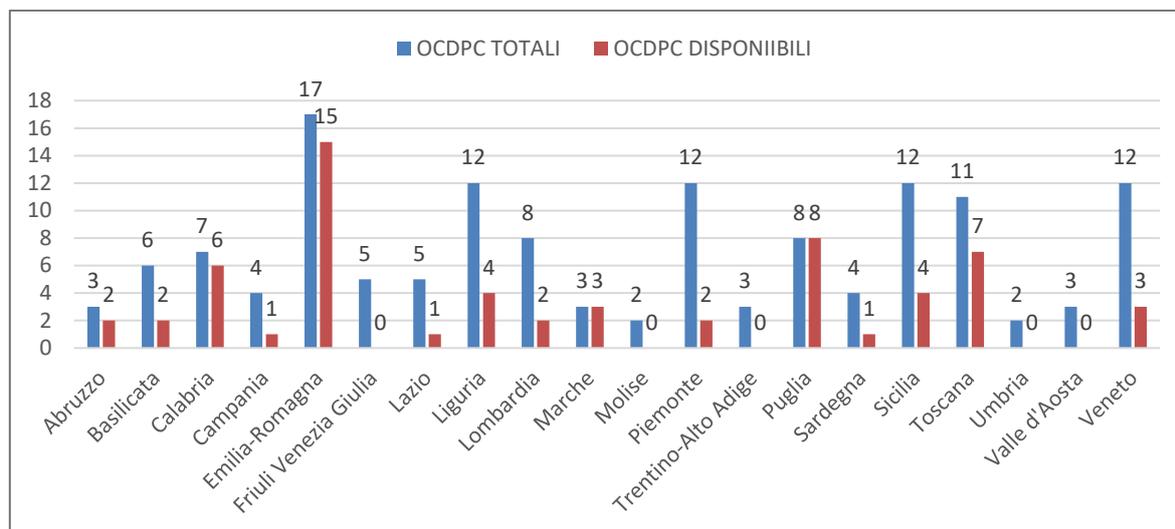


Figura 20 OCDPC totali e disponibili

In questo studio viene svolto un focus sul danno a beni privati; quindi, d’ora in poi si farà riferimento al danno considerando solo le schede B della ricognizione successiva all’evento. In Figura 21 osserviamo per ogni regione il fabbisogno totale relativo alle schede a disposizione, l’Emilia-Romagna risulta la regione con il maggior fabbisogno, ma ciò è dovuto all’elevato numero di ordinanze. **In Errore. L’origine riferimento non è stata trovata.** invece si può esaminare il fabbisogno medio per regione, al fine di rendere più confrontabili i dati. La Campania è la regione in cui vi è il fabbisogno maggiore, e come vedremo più avanti, l’Ordinanza in questione è riferita ad un evento particolarmente estremo in cui il danno riportato è molto elevato. All’opposto osserviamo che nonostante in Emilia-Romagna vi sia il maggior numero di Ordinanze, in media il fabbisogno è di circa 13 milioni di euro per OCDPC.

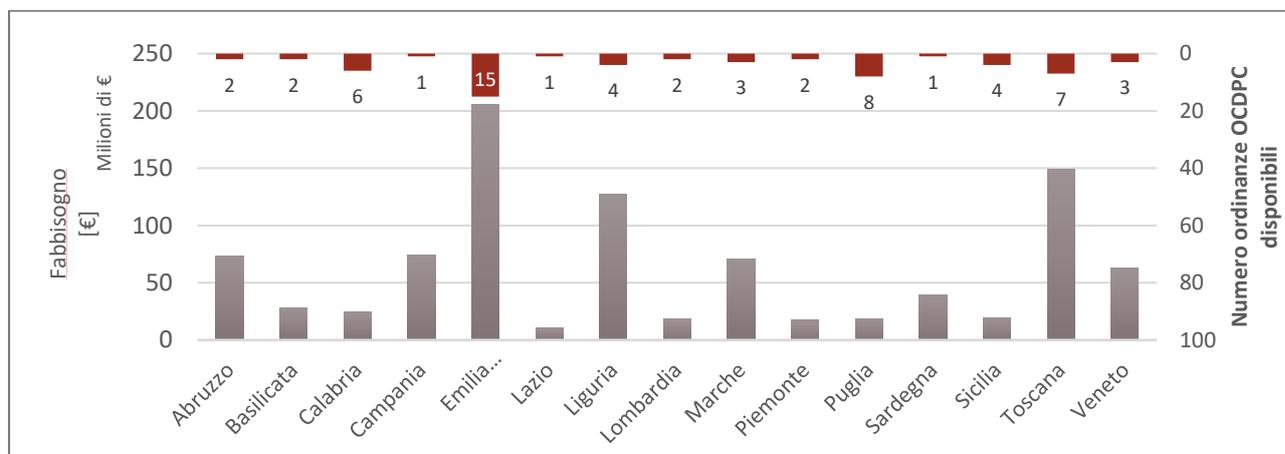


Figura 21 Fabbisogno relativo al totale delle OCDPC per regione

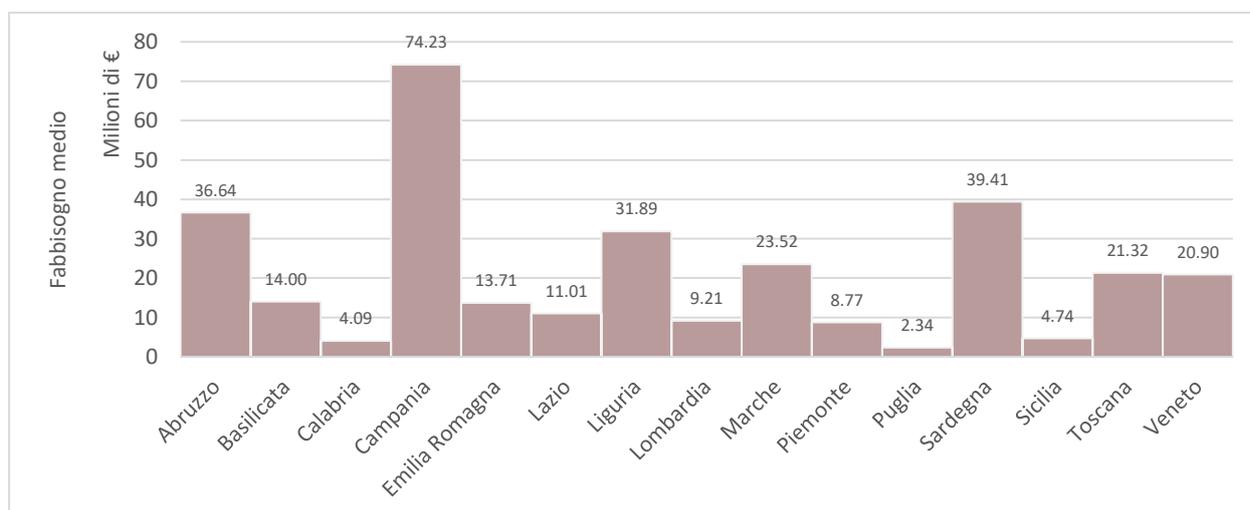


Figura 22 Fabbisogno medio per OCDPC

Per capire meglio il dataset a disposizione, In Tabella 4 vediamo il numero di comuni coinvolti, il numero di ordinanze per regione, le richieste totali e la percentuale di popolazione e area dei comuni coinvolti rispetto al totale regionale; osserviamo che L'Emilia-Romagna è la regione col maggior numero di comuni coinvolti, giustificato dal fatto che disponiamo di 15 raccolte di schede relative a 15 ordinanze. La Toscana invece, è la regione con il maggior numero di richieste totali, per un totale di sette OCDPC, i comuni in cui si sono registrati danni sono 182 e rappresentano il 76% della popolazione della Toscana e il 59% dell'area. Le statistiche sulla popolazione e l'area

non significano che tutta la popolazione e tutta l'area abbiano subito l'evento, ma ci dà un'idea di quanto la regione sia coinvolta in termini di estensione areale e abitanti. In tabella non compaiono Piemonte e Lombardia poiché per entrambe le regioni si hanno a disposizione solamente dati riassuntivi, che non includono il numero di richieste presentate in seguito all'Ordinanza.

Tabella 4 Dettaglio delle regioni in cui si hanno OCDPC disponibili

Regione	Comuni coinvolti	N OCDPC	Richieste totali	% Popolazione dei comuni coinvolti	% Area dei comuni coinvolti
Abruzzo	155	2	2562	72%	46%
Basilicata	39	2	757	41%	39%
Calabria	60	6	1073	19%	14%
Campania	70	1	2423	5%	15%
Emilia-Romagna	229	15	9949	80%	72%
Lazio	19	1	534	49%	10%
Liguria	141	4	4807	85%	64%
Marche	145	3	3442	77%	69%
Puglia	52	8	423	20%	22%
Sardegna	52	1	2583	7%	8%
Sicilia	51	4	842	26%	27%
Toscana	182	7	12697	76%	59%
Veneto	138	3	2336	42%	28%

In Figura 23 osserviamo la mappa dei comuni in cui si è registrato danno, l'ammontare totale del fabbisogno riportato nel dataset a disposizione è di più di 900 milioni di euro. In seguito vengono proposte le mappe relative ai danni sui beni privati, assoluti (Figura 23) e normalizzati al periodo in cui vengono presentate le ordinanze (7 anni)

e alla superficie comunali (Figura 24). Le regione su cui non osserviamo danno non sono esenti da danni poiché come visto precedentemente ogni regione conta almeno due ordinanze. I risultati che mostreremo sono quindi parziali, ma si possono considerare come punto di partenza per la mappatura del danno totale.

Dalle prime analisi è emersa una nuova criticità dei dati, legata alla fusione o alla divisione di alcuni comuni avvenute nell'ultimo decennio, per cui non è possibile assegnare un valore univoco di fabbisogno. Inoltre, negli approfondimenti presenti in questo elaborato, come vedremo, verranno utilizzati dati provenienti dall'ultimo censimento dell'ISTAT nel 2011, per cui sarebbe complesso aggregare o disaggregare i dati dei comuni che non esistono più in modo univoco. Sono 30 i comuni che presentano questa criticità e il totale delle richieste è di poco più di nove milioni di euro, ossia meno dell'1% del totale di tutti i comuni (Tabella 5).

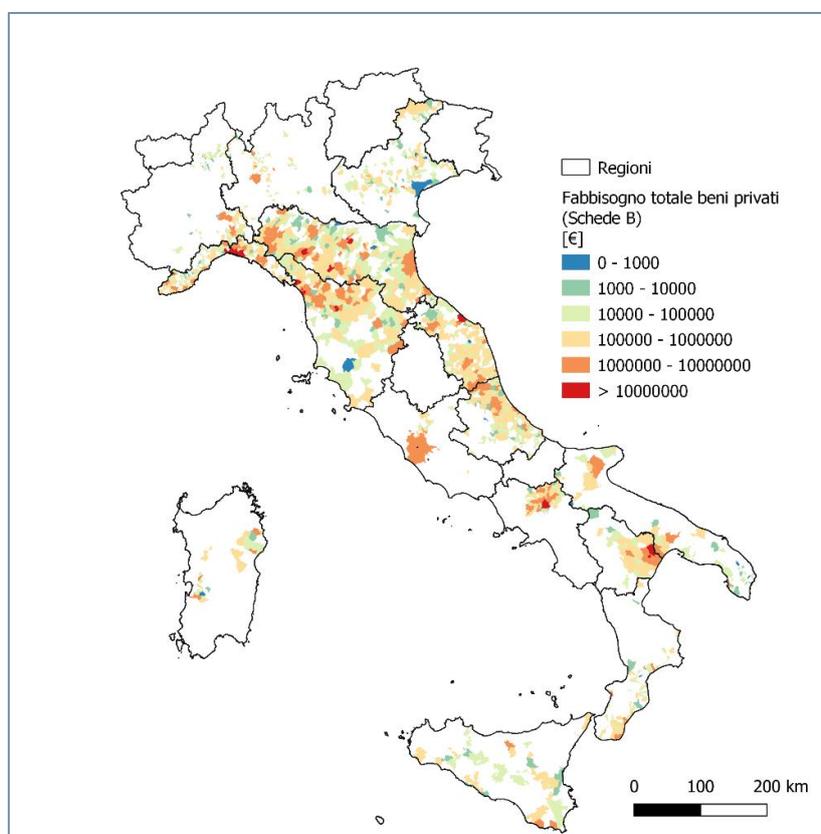


Figura 23 Fabbisogno totale schede B

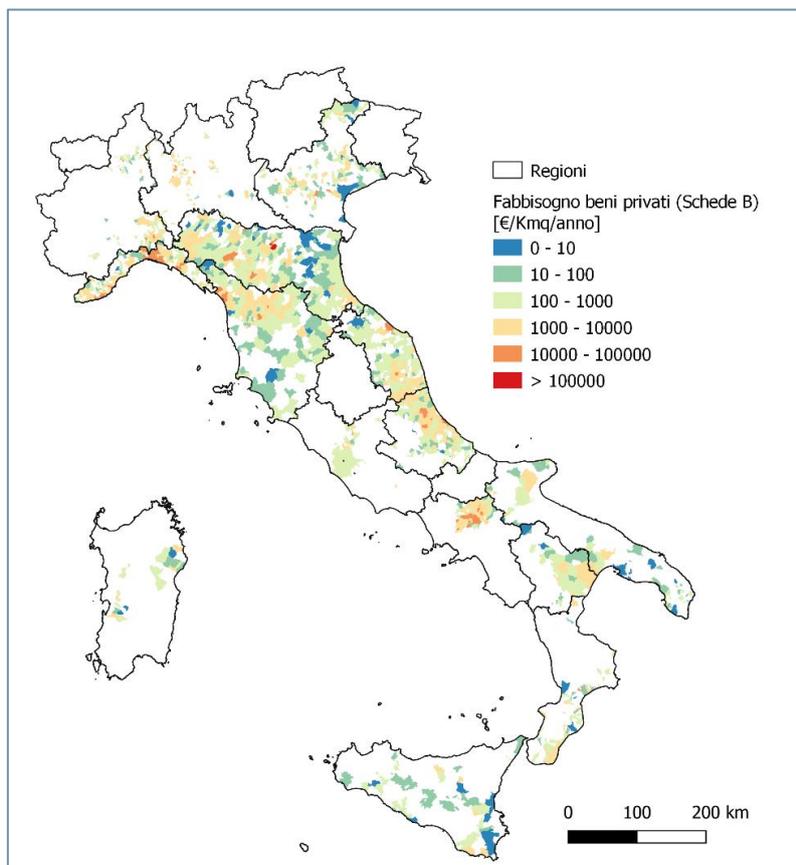


Figura 24 Fabbisogno schede B dal 2013 al 2020

Tabella 5 Fabbisogno totale e dato perso

Fabbisogno totale	937,963,954 €
Dato perso	9,053,101 €

In Figura 25 osserviamo per ciascun comune colpito il numero di richieste medie, il 50% dei comuni presenta in media sotto le cinque richieste (Figura 26), il comune che presenta il maggior numero di richieste è Nonantola, in provincia di Modena, duramente colpita da un'alluvione avvenuta a dicembre del 2020, che conta quasi 50 milioni di euro di danni a beni privati. Non risulta esserci un particolare comportamento tra il numero di richieste medio e il fabbisogno medio per eventi (Figura 27).

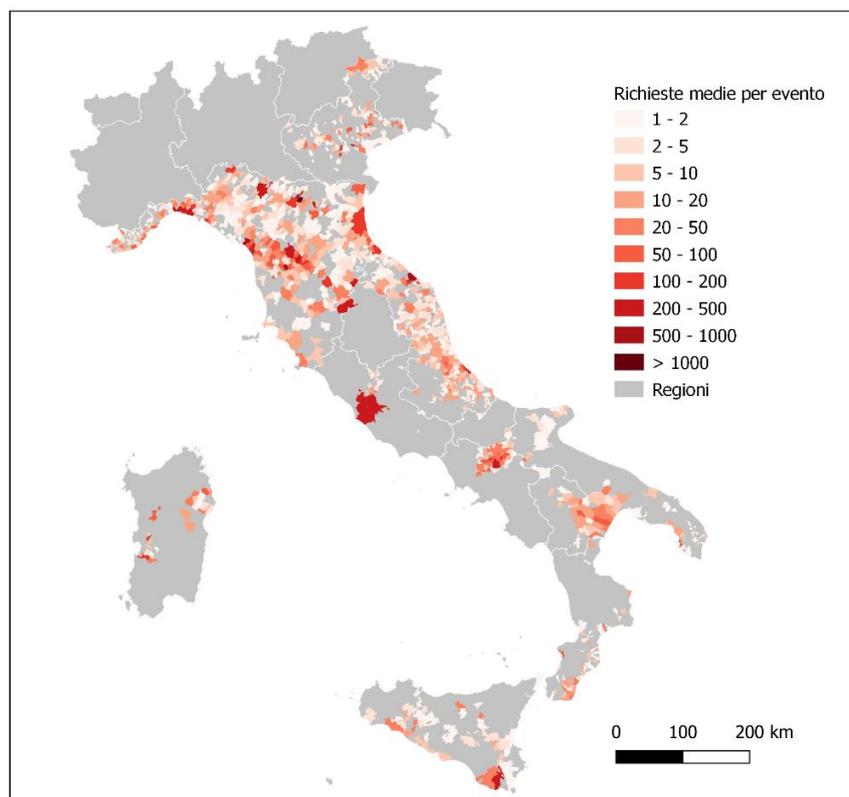


Figura 25 Numero richieste medie per comune

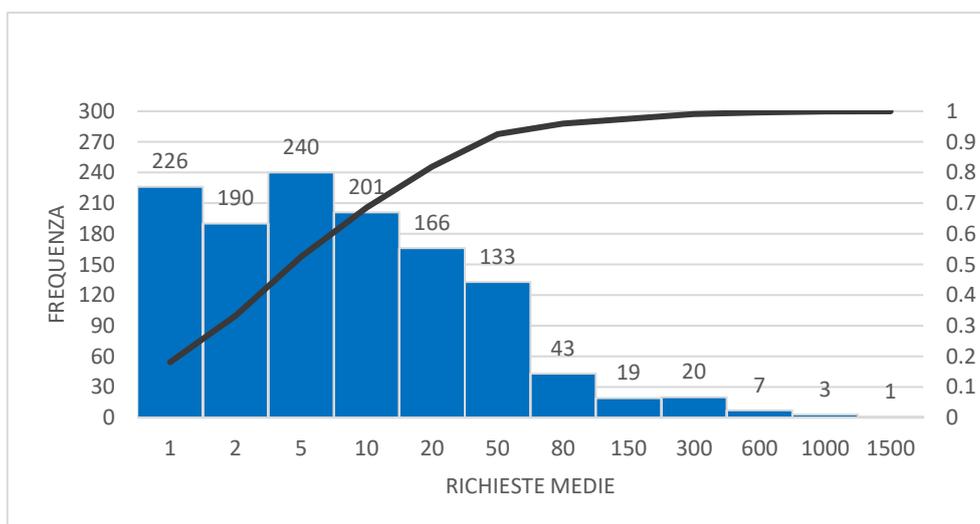


Figura 26 Frequenza comuni per richieste medie

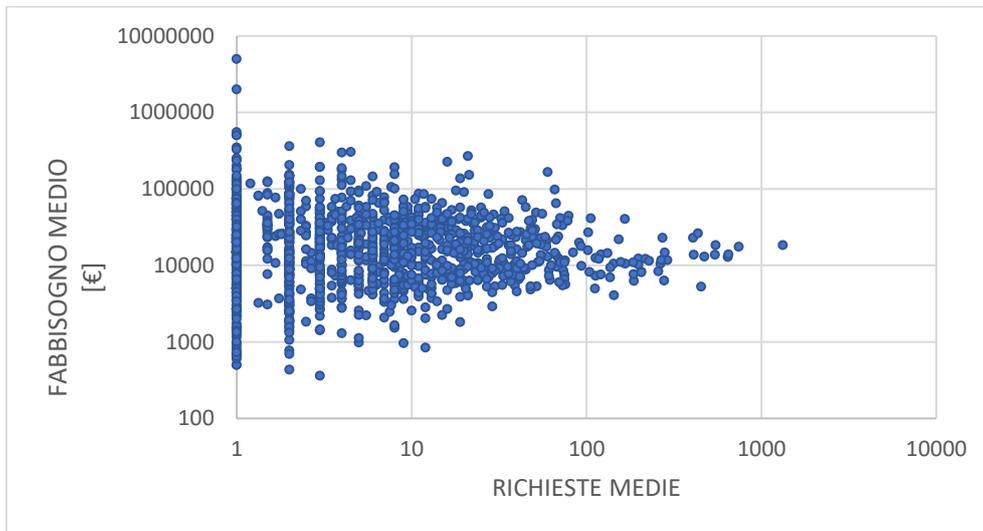


Figura 27 Richieste e fabbisogno medi per comune

2.2 Analisi del territorio

Per comprendere meglio i dati a disposizione, analizziamo in seguito alcuni aspetti del territorio colpito da eventi.

Dal punto di vista della pericolosità idraulica, osserviamo che vi è una forte distinzione nei comuni del centro e nord Italia, rispetto a quelli del sud Italia (Figura 28). Come già visto nel capitolo introduttivo, la zona della Pianura Padana e del bacino del fiume Arno sono aree ad elevata pericolosità idraulica e di conseguenza vi è un elevato numero di edifici presenti in quelle aree. Al contrario, in sud Italia e nelle Isole, con poche eccezioni, la percentuale di edifici esposti al rischio idraulico è bassa, sotto il 20-30%. Complessivamente, il 50% dei comuni colpiti ha meno del 10% degli edifici in classe P1 (Figura 29), e sono 140 i comuni che hanno più dell'80% degli edifici a rischio.

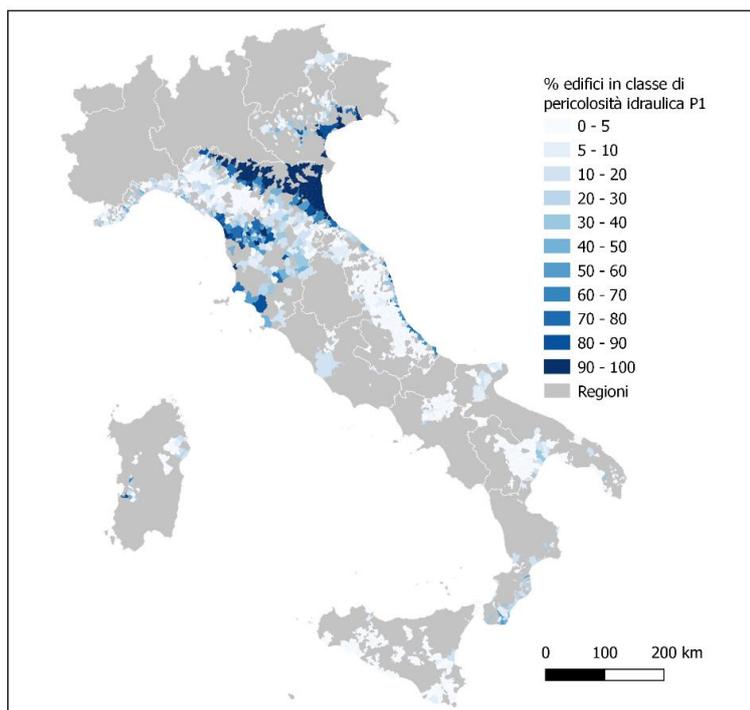


Figura 28 Edifici in classe di pericolosità idraulica P1

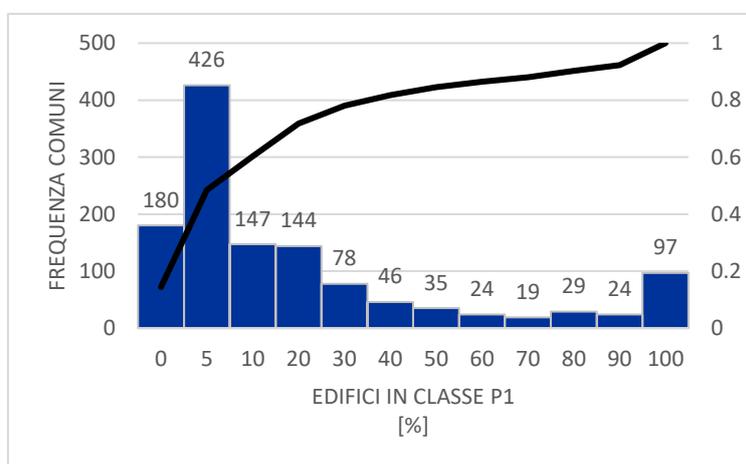


Figura 29 Frequenza comuni in classe di pericolosità idraulica P1

Un ulteriore fattore relativo al territorio è la quota media dei comuni colpiti (Figura 30), ma possiamo osservare che sono circa 600 comuni sia sotto sia sopra i 420 m s.l.m. Sono 163 i comuni oltre i 700 m, in aree montane.

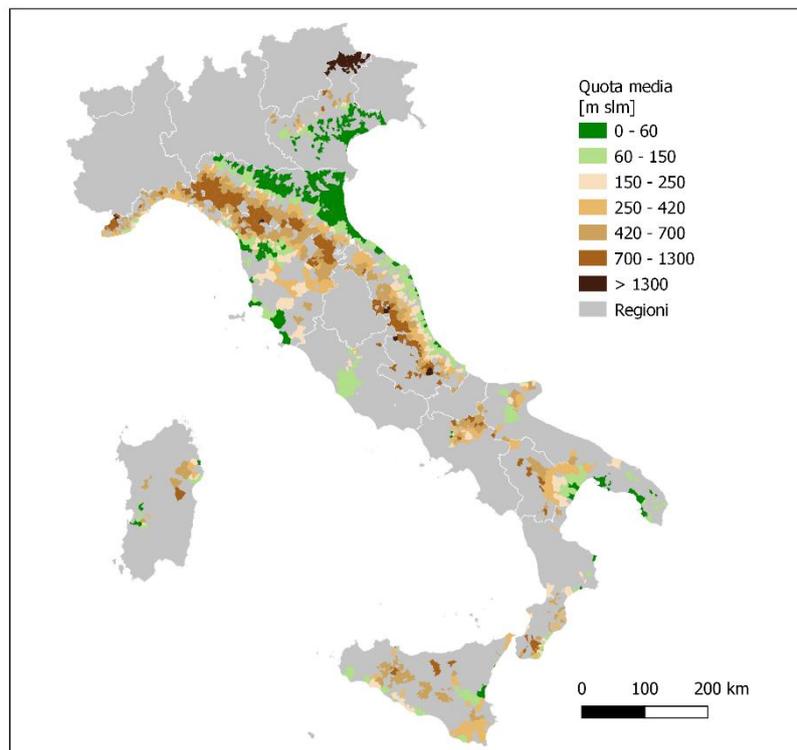


Figura 30 Quota media dei comuni

2.3 Analisi del tessuto urbano

In questo elaborato di tesi, viene fatta un'importante ipotesi che sarà alla base della maggior parte delle analisi svolte. Si ipotizza che, in caso di alluvione, solamente un piano degli edifici venga allagato, e inoltre consideriamo che ciascuna richiesta di fabbisogno faccia riferimento ad un edificio, per cui supponiamo che vi sia una relazione 1:1 tra le schede di danno e gli edifici residenziali abitati. Per questo motivo, analizziamo nel dettaglio il tessuto urbano dei comuni soggetti a danno da alluvione. Si precisa che tutti i dati utilizzati riguardo gli edifici provengono dall'ultimo Censimento della Popolazione e delle Abitazioni di Istat del 2011 (ISTAT, 2011).

In Figura 31 è riportata la densità dell'edificato residenziale, così da avere una visione del numero di edifici sul territorio e quindi dell'eventuale esposto ad alluvioni. Si

osserva che la densità dell'edificato risulta maggiore in Veneto, nelle zone costiere della Liguria, Marche, Emilia-Romagna, Abruzzo e della Puglia ionica. Il 50% dei comuni presenta densità dell'edificato sotto 30 edifici per km².

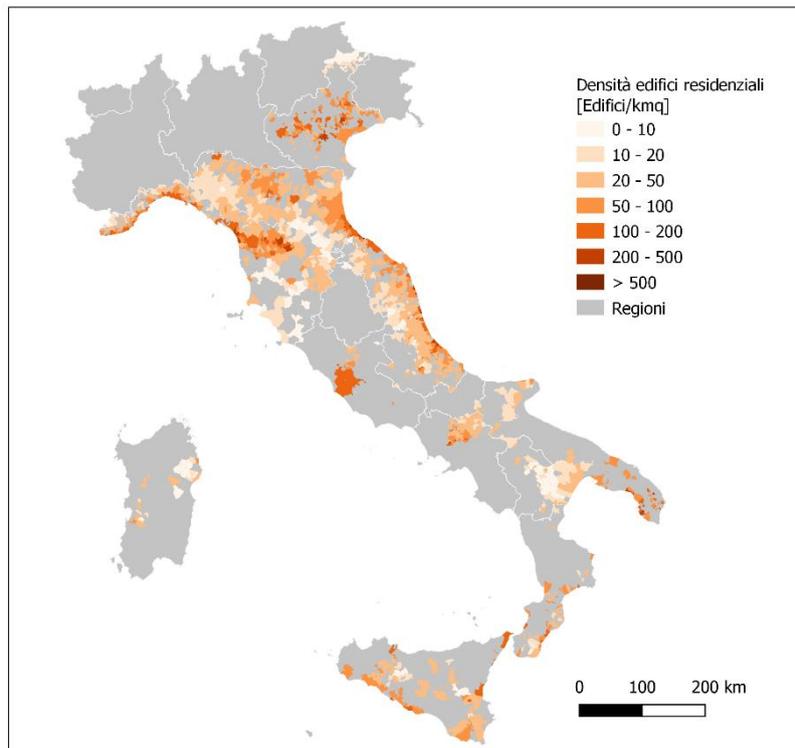


Figura 31 Densità edifici residenziali dei comuni danneggiati

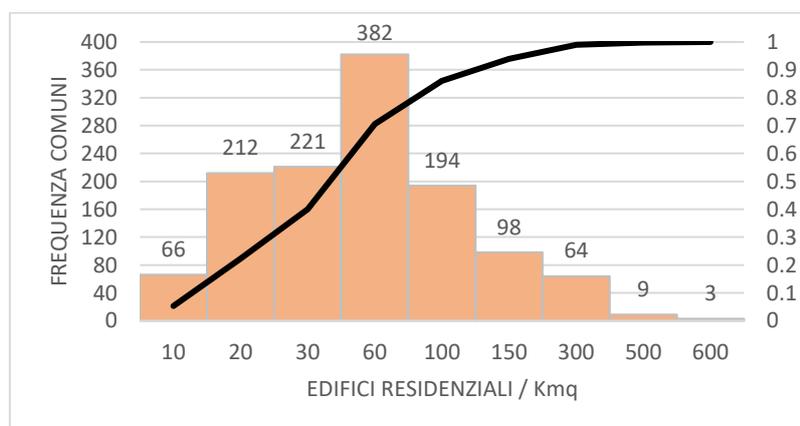


Figura 32 Frequenza dei comuni danneggiati nelle classi di densità di edificato residenziale

Osserviamo di seguito la percentuale di edifici ad un piano per ciascun comune, poiché, secondo l'ipotesi per cui ad ogni richiesta viene associato un edificio, assumiamo che in caso di alluvione la presenza di più edifici ad un piano incrementi l'esposto all'evento e l'eventuale intensità del danno sarebbe quindi maggiore (Manselli et al., 2022). Si nota in Figura 33 che le regioni del sud Italia hanno percentuali maggiori di edifici ad un piano rispetto agli edifici del centro e del nord, dove invece sono più diffusi edifici con più piani.

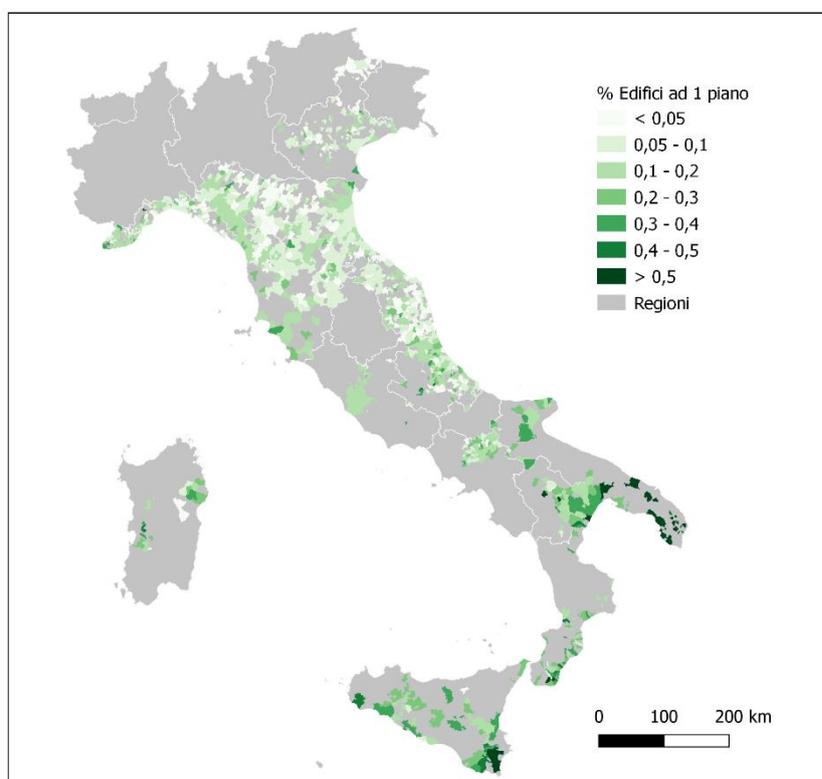


Figura 33 Percentuale di edifici ad 1 piano

In ultimo, si è considerata la percentuale di edifici in pessimo stato (Figura 34), come eventuale indicatore di vulnerabilità del complesso degli edifici sul comune. Non risultano esserci comuni con percentuale elevata, sono nove i comuni con più del 10%

di edifici in pessimo stato. Non risulta esserci una particolare distribuzione sul territorio.

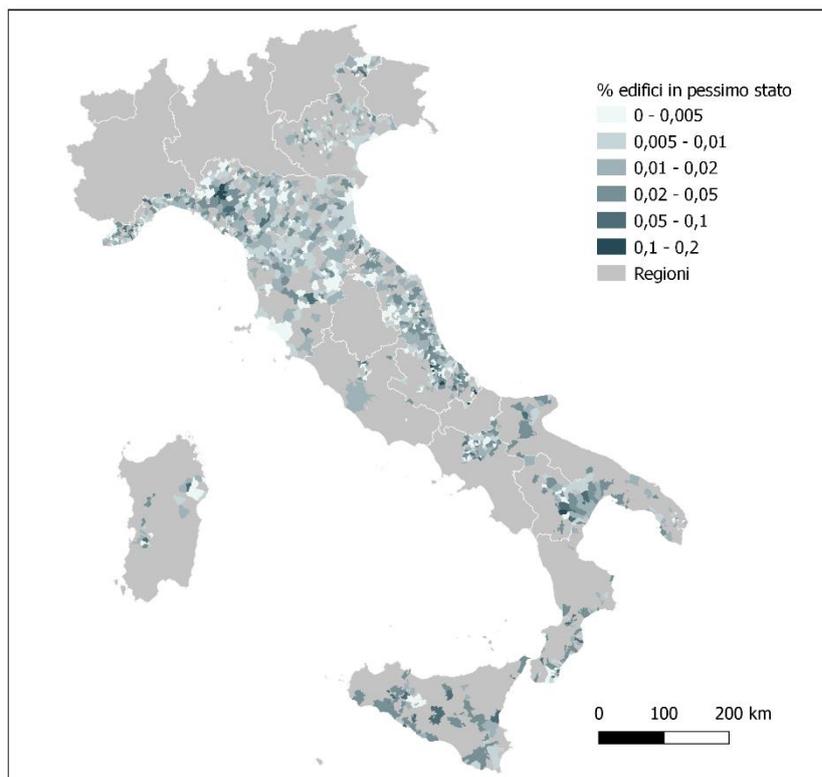


Figura 34 Percentuale edifici in pessimo stato

Sotto l'ipotesi secondo cui ad ogni richiesta coincide un edificio danneggiato, osserviamo il rapporto tra richieste e edifici residenziali per ciascun comune (Figura 35 e Figura 36) per vedere quali siano i comuni che hanno subito più danno in termini di percentuale di edifici danneggiati. Si può vedere che 16 comuni contano più del 10% degli edifici danneggiati, essi si trovano principalmente nella provincia di Benevento e di Modena, entrambe caratterizzate da eventi molto estesi e particolarmente dannosi. La maggior parte dei comuni (il 55% circa) presenta tra lo 0,1% e l'1% degli edifici danneggiati. Anche in questo caso non si riscontrano particolari differenze nella distribuzione dei comuni danneggiati sul territorio.

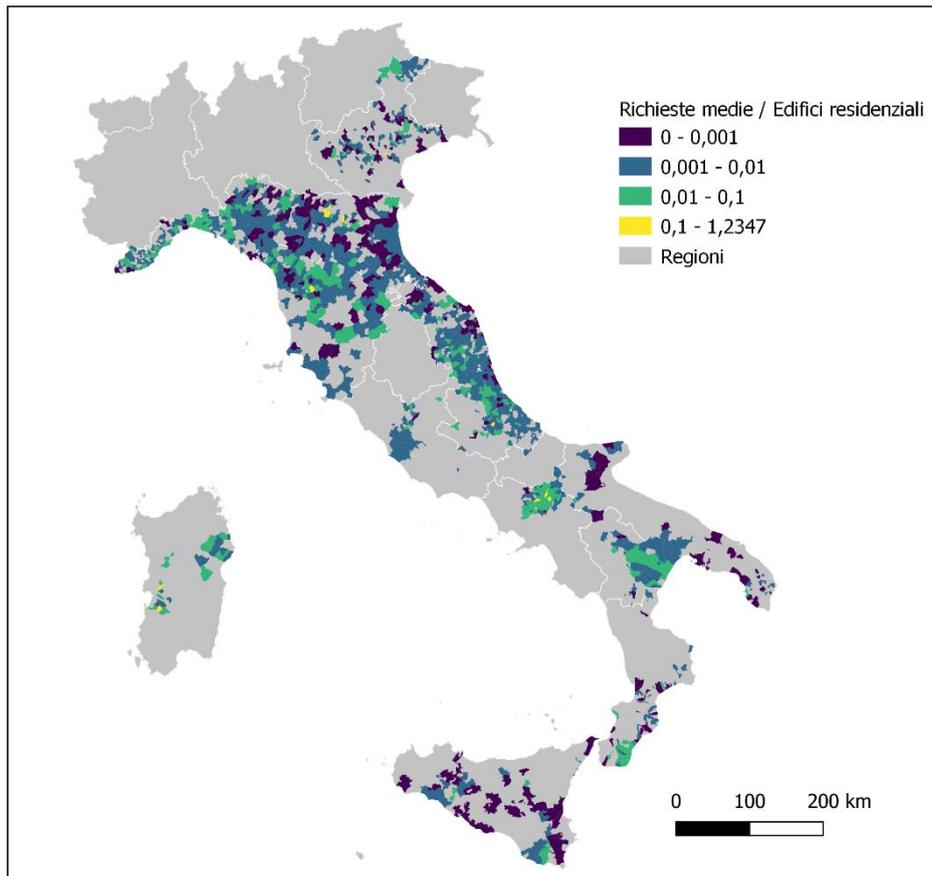


Figura 35 Richieste medie / Edifici residenziali

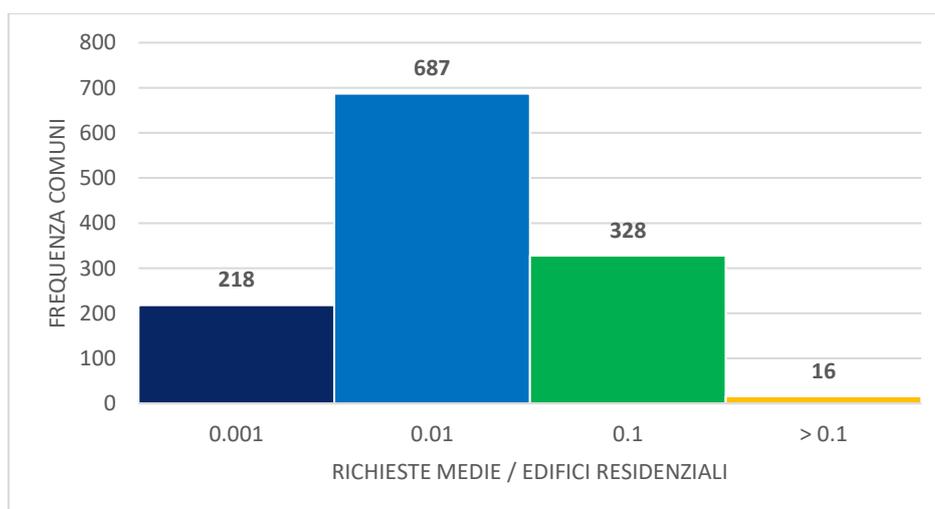


Figura 36 Frequenza comuni nelle classi di rapporto tra richieste medie e edifici residenziali

2.4 Analisi del tessuto sociale: SoVI

La definizione più tradizionale di “vulnerabilità” è quella fornita nell’equazione del rischio di Varnes (Equazione 1) (Varnes, 1984), che fa riferimento al rischio frane ma è applicabile anche ad altri eventi naturali:

Equazione 1 Equazione di Varnes

$$R = H \cdot V \cdot E$$

R, rischio totale, cioè il valore atteso di perdite di vite umane, danni economici ecc., in una determinata area, in conseguenza ad un evento naturale. Dipende da:

H, hazard, la pericolosità, cioè la probabilità che un fenomeno potenzialmente distruttivo si verifichi in un dato periodo di tempo e in una data area.

V, vulnerabilità è il grado di perdita prodotto su un certo elemento o gruppo di elementi esposti a rischio risultante dal verificarsi di un fenomeno naturale di una data intensità. Si esprime con valori da 0 (assenza di perdite) a 1 (perdita totale).

E, esposto, sono gli elementi esposti al rischio, come la popolazione, le attività economiche e produttive, proprietà private e pubbliche, servizi ecc.

Focalizzandoci sulla componente della “vulnerabilità”, questa si riferisce al grado di minaccia, per una comunità o un sistema, di subire danni durante il verificarsi di un evento di una certa pericolosità. La vulnerabilità coinvolge diversi livelli di rischio, ossia fisici, sociali ed economici. Solitamente, ci si riferisce alla vulnerabilità fisica dell’ambiente esposto, e quindi alla presenza di infrastrutture, attività economiche e produttive, abitazioni, strade e sistemi di comunicazione (Ali et al., 2017). Questa viene generalmente calcolata come grado di danneggiamento dell’esposto durante l’evento naturale, ad esempio può essere calcolata come il rapporto tra la perdita e il valore del

singolo oggetto a rischio. Dipende quindi dall'intensità del fenomeno e dalla tipologia degli elementi a rischio.

In definitiva, la vulnerabilità a rischi ambientali si riferisce alle potenziali perdite in seguito ad un evento naturale disastroso, è quindi un concetto legato al fatto di vivere in zone geomorfologicamente a rischio inondazione (Coninx & Bachus, 2007). Gli studi sugli effetti di eventi disastrosi, quali alluvioni o frane, sono tradizionalmente di natura idrologica e geomorfologica, e tengono in considerazione fattori legati all'evento alluvionale, come l'altezza d'acqua, l'intensità di pioggia, ecc. (Chen et al., 2021), o alle caratteristiche del territorio quali ad esempio permeabilità, distanza dal reticolo idrografico, pendenza, quota relativa al corso d'acqua ecc.. Le principali misure di impatto delle inondazioni tendono quindi a concentrarsi sui danni diretti alle risorse fisiche, e hanno lo scopo di individuare ciò che è esposto e in quale misura.

Si sa meno su quali siano gli individui esposti e quali siano le loro caratteristiche; ciò che si sa è molto limitato ad alcuni studi svolti nell'immediato post evento tramite ad esempio l'uso di questionari alla popolazione colpita come mezzo di indagine (Binh et al., 2020; Tate et al., 2021). Al momento, il tentativo, anche delle scienze sociali, di assegnare la vulnerabilità ad una comunità, è legato a determinati aspetti socioeconomici che regolano la capacità di un gruppo di sapersi preparare, di reagire e di recuperare dagli effetti dell'esposizione al rischio di un evento disastroso (Ali et al., 2017). In IPCC, 2022, la vulnerabilità è definita come la propensione o la predisposizione ad essere colpiti negativamente da un evento naturale, ed include una serie di concetti ed elementi, come la suscettibilità al danno e alla mancanza di capacità di reagire ed ad adattarsi.

Il concetto di vulnerabilità, quindi, può avere diverse connotazioni e tra queste vi è l'assunzione che la vulnerabilità sia una condizione sociale, una misura di resistenza sociale o di resilienza al rischio (Cutter et al., 2003). L'impatto sociale fa riferimento a

tutti i cambiamenti che avvengono, in seguito ad un evento disastroso, dei modi in cui le persone vivono, lavorano e si relazionano. L'impatto riguarda direttamente la povertà, la perdita di vite umane, l'incombere di problemi di salute, cambiamenti di abitudini e altri disagi (Coninx & Bachus, 2007).

Un'importante definizione fornita dall'IPCC è quella di resilienza, ossia la capacità di un sistema e delle sue componenti di anticipare, assorbire, accogliere e risollevarsi dagli effetti di un evento pericoloso in modo tempestivo ed efficiente, anche garantendo la conservazione, il ripristino o il miglioramento delle sue strutture di base essenziali (IPCC, 2012). Naturalmente, l'impatto sociale è fortemente legato all'evento alluvionale, infatti sono molti i fattori che rendono più o meno grave l'impatto dell'evento sulla società, tra questi vi sono l'altezza dell'acqua, la velocità dell'acqua, la durata dell'evento, il trasporto di materiale solido e l'orario dell'inondazione. (Coninx & Bachus, 2007).

In diverse occasioni si è introdotto il concetto di comunità resiliente, ad esempio nel rapporto redatto nel 2012 dal IPCC "Managing the risk of extreme events" in cui vengono individuati diversi approcci di adattamento e gestione del rischio. Tra questi, vi è quello di ridurre la vulnerabilità, di elaborare strategie di preparazione, risposta e recupero in caso di disastro, e di aumentare la resilienza delle comunità in scenari di cambiamento climatico. Il rapporto pone l'attenzione sul fatto che gli individui e le comunità sono esposti e sono vulnerabili in maniera differente, in base alle disuguaglianze che si esprimono attraverso, ad esempio, il livello di educazione, la presenza di disabilità, lo stato mentale, il genere, l'età, la classe e altre componenti sociali e culturali (IPCC, 2012).

Inoltre, nella Direttiva Alluvioni del 2007, viene promossa la gestione sostenibile del rischio alluvioni, e la componente sociale non può essere ignorata (Coninx & Bachus, 2007).

In questo contesto è possibile introdurre il termine “vulnerabilità sociale”, che si riferisce all’incapacità delle persone di far fronte all’impatto di eventi alluvionali, a causa di caratteristiche degli individui stessi (Messner Frank & Meyer, 2005). La vulnerabilità sociale permette quindi di indagare il legame fra le condizioni sociali della comunità colpita e l’evento stesso.

L’analisi e la valutazione della vulnerabilità sociale sono volte ad individuare quelle comunità o quegli individui che non sono in grado di gestire un’emergenza provocata da un evento disastroso, e di far fronte alle eventuali perdite causate da questo (Tellman et al., 2020). Si sposta l’attenzione dal rischio fisico, per dare priorità alle fasce di popolazione che risultano essere più fragili e quindi più vulnerabili. In questo modo si possono individuare i bisogni delle comunità, fornendo così uno strumento alle istituzioni di competenza per individuare quelle zone in cui è necessario un intervento repentino tramite assistenza diretta (Koks et al., 2015), oppure dove eventualmente indirizzare risorse e investimenti (Guillard-Gonçalves et al., 2015; Tate et al., 2021).

L’obiettivo che ci si pone è quello di quantificare la vulnerabilità delle comunità, e quindi di dare una dimensione sociale alle alluvioni. Spostare l’attenzione dalla vulnerabilità fisica al disastro, alla resilienza alle catastrofi permette di avere un impegno proattivo e positivo delle comunità nella riduzione dei rischi naturali (Cutter et al., 2008). È indispensabile riconoscere l’importanza di fattori che riguardano la società e gli individui che ne fanno parte, per capirla meglio e per aiutare i processi decisionali e di gestione dei rischi naturali (Chen et al., 2021).

Nonostante sia un argomento di grande interesse, la trattazione della vulnerabilità delle comunità, intese come gruppo sociale di singoli individui, è difficilmente trattata a causa della complessità nella quantificazione di essa e della mancanza di dati adeguati (Tate et al., 2021), quindi quantificare gli aspetti legati alla società e alle relazioni fra gli individui resta sicuramente una sfida. Un tentativo di misurazione

della vulnerabilità sociale è stato svolto da Cutter et. al nel 2003, l'autrice in primo luogo individua un insieme di fattori socioeconomici che indicano aspetti della comunità che la rendono più esposta al rischio. Il metodo aggrega poi questi fattori in un indice, chiamato "Social Vulnerability Index" (SoVI); si tratta di un indice additivo, in cui vengono sommati i contributi di tutti gli indicatori individuati come proxy di vulnerabilità sociale (Cutter et al., 2008). Il calcolo viene effettuato ad una scala di aggregazione spaziale funzione dello scopo dell'analisi e delle caratteristiche amministrative del territorio: lo studio originario del 2003 era applicato alle contee statunitensi, ma è stato poi applicato a varie scale in diversi contesti territoriali. Per l'Italia si potrebbe pensare alle sezioni di censimento, ai comuni o anche a scale provinciali e regionali. Una volta calcolato il SoVI, seguendo la metodologia che vedremo in seguito, è possibile classificarne i valori, così da sintetizzare i dati in una scala di vulnerabilità adeguata. Come già evidenziato, questo approccio e questo indice sono ampiamente utilizzati in letteratura, a diverse scale e con differenti applicazioni (Chen et al., 2021; Frigerio & De Amicis, 2016; Ge et al., 2013; Kirby et al., 2019; Messner Frank & Meyer, 2005; G. Roder et al., 2017; Rolfe et al., 2020; Tate et al., 2021).

Qui di seguito, vengono riportati alcuni fattori su cui vi è elevata accordanza nella comunità scientifica, che verranno utilizzati come indicatori di vulnerabilità sociale.

Densità di popolazione: le aree urbane con una densità di popolazione elevata possono essere particolarmente vulnerabili in seguito ad un evento esteso e distruttivo. Ad esempio, in fase di emergenza l'evacuazione in aree ad alta densità abitativa può essere più complessa e lenta. Nella fase successiva all'emergenza si conterebbero maggiori perdite economiche e produttive a causa dell'esposto maggiore nonché disagi anche a lungo termine nel caso coinvolgimento di infrastrutture principali (Cutter et al., 2003; Kirby et al., 2019).

Genere: le donne possono avere più difficoltà nella fase di recupero dopo l'emergenza, a causa dei salari più bassi e delle responsabilità nella gestione della casa (Cutter et al., 2003).

Età: Durante l'emergenza la gestione di bambini e di persone anziane può rallentare la messa in sicurezza di beni e persone. Le persone anziane sono a maggiore rischio di danni alla salute o di morte, o comunque di grandi disagi in seguito all'emergenza. La difficoltà nel recuperare i danni rende questi soggetti meno resilienti. (Coninx & Bachus, 2007; Cutter et al., 2003; Koks et al., 2015; Tellman et al., 2020).

Educazione: bassi livelli di educazione sono indicatori di vulnerabilità poiché possono ridurre la comprensione ed il processamento delle informazioni di allerta, o rendere più difficoltoso l'accesso alle informazioni su come recuperare dai danni (Cutter et al., 2003). Al contrario un buon livello di educazione (laurea ad esempio) è legato allo stato socioeconomico, che porterebbe a guadagni più elevati e di conseguenza maggiore facilità a riprendersi successivamente ad un evento disastroso (Cutter et al., 2003).

Analfabetismo: la presenza di persone analfabete ha lo stesso risvolto delle persone con un basso livello di educazione. La capacità di chiedere aiuti economici nella fase successiva all'evento potrebbe risultare complessa (Chen et al., 2021).

Occupazione: quando un evento colpisce e provoca danni anche alle attività produttive, i lavoratori, soprattutto operai, agricoltori, ecc., sono direttamente coinvolti in termini di riduzione dei guadagni o impossibilità di proseguire l'attività lavorativa (Cutter et al., 2003).

Struttura familiare: le famiglie con più componenti possono avere dei problemi nella fase dell'emergenza, ad esempio nel caso di una evacuazione repentina l'organizzazione potrebbe risultare difficile. Inoltre, nell'immediato post evento, le

risorse economiche disponibili potrebbero essere limitate, dovendo aver cura di più persone in un nucleo familiare (Cutter et al., 2003; Frigerio & De Amicis, 2016).

Etnia: la presenza di stranieri può essere considerata come fattore di vulnerabilità per questioni legate alle barriere culturali ma soprattutto linguistiche, che potrebbero provocare difficoltà sia nella gestione dell'emergenza durante l'evento, sia nella fase successiva in cui si deve eventualmente accedere ai fondi per il recupero dei danni (Cutter et al., 2003).

Ci sono altri fattori che, come vedremo, non includiamo per mancanza di dati, ma che sono validi proxy di vulnerabilità sociale, tra questi ricordiamo:

Stato socioeconomico: Da un lato gli individui benestanti hanno più facilità nel recuperare le proprie perdite in seguito ad un disastro che ha provocato dei danni. Dall'altro lato questo potrebbe far sì che, ad esempio, in un'abitazione ci sia un esposto dall'elevato valore economico e che di conseguenza un eventuale danno possa provocare grosse perdite. Comunque, nella fase successiva all'emergenza, avere risorse economiche private a disposizione rende il cittadino più resiliente, mentre non averle allunga il processo di recupero. Ad esempio, è più probabile che le persone in difficoltà economiche non siano provviste di un'assicurazione o di strumenti per mitigare il danno in fase di emergenza (Coninx & Bachus, 2007; Cutter et al., 2003).

Residenti in affitto: le famiglie o gli individui che affittano appartamenti, spesso non hanno le risorse per poter possedere una casa, è quindi un indicatore dello stato socioeconomico (Cutter et al., 2003).

Crescita della popolazione: i comuni in cui vi è una rapida crescita della densità di popolazione possono avere dei problemi nella gestione e l'aggiornamento dei servizi e dei piani di emergenza (Cutter et al., 2003).

Presenza infrastrutture: guasti a fognature, ponti, e infrastrutture di trasporti sono fonte di gravi perdite economiche che la comunità deve affrontare (Cutter et al., 2003).

Popolazione con particolari bisogni: la presenza di individui disabili o con malattie, aumenta la vulnerabilità poiché per queste l'evacuazione risulterebbe più difficile da organizzare e da mettere in atto (Coninx & Bachus, 2007; Cutter et al., 2003).

Stato degli edifici: gli edifici in condizioni mediocri o pessime, o costruiti con materiali di scarsa qualità sono maggiormente esposti a subire danni in seguito ad un'alluvione (Tellman et al., 2020).

Aree rurali: la presenza di individui o abitazioni in aree rurali può essere un indicatore di vulnerabilità, poiché generalmente in queste aree vi è una minore presenza di opere di protezione idraulica rispetto alle zone in cui la densità abitativa è maggiore (Tellman et al., 2020).

Dati utilizzati

In questo studio, il dataset che viene utilizzato proviene dall'ultimo censimento svolto dall'ISTAT (Istituto Nazionale di Statistica) nel 2011. In totale, nel censimento, vengono fornite 134 variabili, di cui 76 sulla popolazione, 7 sulle abitazioni, 27 sugli edifici, 9 sulle famiglie e 15 sugli stranieri. In questa fase sono state utilizzate unicamente le variabili riguardo la popolazione, le famiglie e gli stranieri. Per la generazione della mappa di vulnerabilità sociale si è scelto di procedere a scala comunale, per l'esattezza il censimento del 2011 conta 8092 comuni, per un totale di 59433744 abitanti.

Non è stato possibile reperire dati più recenti poiché i dati del Censimento permanente della popolazione e delle abitazioni, redatto da ISTAT non sono ancora resi disponibili in maniera completa. Nel futuro, il censimento sarà aggiornato ogni

anno e il set di informazioni disponibili sarà ampliato, offrendo una possibilità di aggiornamento e miglioramento del presente lavoro.

È comunque possibile considerare i dati del Censimento 2011 affidabili, poiché, come riportato nel report Istat “Il Censimento permanente della popolazione e delle abitazioni” (ISTAT, 2020), i dati risultano sostanzialmente stabili se confrontati con la situazione al 2018. Per avere una visione più completa possibile dei cambiamenti avvenuti dal 2011, in seguito sono riportate le variazioni dei principali fattori, che saranno poi utilizzati per l’analisi della vulnerabilità sociale sul territorio italiano.

Nel 2018 la popolazione conta lo 0.3% di abitanti in più rispetto al 2011, in particolare i residenti diminuiscono nell’Italia Meridionale e nelle Isole (-1,9% e -2,3%) e aumentano nell’Italia Centrale (+2%) e in Nord Italia (+1,5%). Il lieve incremento della popolazione è da attribuire esclusivamente alla componente straniera in tutte le regioni, che dal 2011 al 2019 è aumentato del 25% (circa 1 milione di unità).

Alcuni cambiamenti più sostanziali sono presenti nell’età media, che rispetto al 2011 si è spostata da 43 a 45 anni. La popolazione sopra i 45 anni è passata dal 48,2% al 53,5% nel 2019 (ISTAT, 2020).

Per quel che riguarda l’educazione, da una parte diminuiscono in percentuale le persone che non hanno concluso un corso di studi, e quelle con la licenza di scuola elementare e la licenza di scuola media. Dall’altra parte, aumenta la percentuale di persone in possesso di titoli di studio più elevati, infatti si contano ogni 100 individui, 36 diplomati (31 nel 2011), 14 laureati (11 nel 2011) e il 40% in più di dottori di ricerca.

Le forze di lavoro aumentano dal 50,8% al 52,5%, gli occupati aumentano dello 0,6%, mentre la quota di disoccupati passa dal 5,8% al 6,9%. Le regioni con numero di occupati sopra la media restano invariate (Trentino - Alto Adige, Emilia-Romagna, Veneto e Lombardia), così come le regioni con numero di occupati sotto la media

(Campania, Calabria e Sicilia). La percentuale di donne nel mercato del lavoro sale del 4,3%, mentre quella degli uomini dell'1,7%.

Nella Tabella 6 sono riportati gli indicatori utilizzati, estratti dal Censimento ISTAT del 2011.

Tabella 6 Indicatori, variabili proxy e loro impatto sulla vulnerabilità sociale.

VARIABILE		Min	Mean	Max	Dev. St.	Indicatore	Impatto sulla vulnerabilità sociale
Popolazione residente femminile	POPPEM	0.34	0.51	0.60	0.016		Aumenta
Popolazione residente < 5 anni	UNDER5	0.00	0.04	0.10	0.012	Età	Aumenta
Popolazione residente > 65	POPOVER65	0.05	0.23	0.62	0.058		Aumenta
Popolazione residente con laurea	LAUREA	0.00	0.09	0.37	0.035	Educazione	Diminuisce
Popolazione residente con media inferiore	8ANNIEDUC AZIONE	0.12	0.34	0.56	0.047		Aumenta
Popolazione residente analfabeti	ANALF	0.00	0.01	0.15	0.014		Aumenta
Popolazione residente >15 disoccupata	DISOC	0.00	0.07	0.29	0.038	Occupazione	Aumenta
Popolazione residente femminile > 15 occupata	OCCFEM	0.46	0.87	1.00	0.081		Diminuisce
Pendolari	PENDOLARI	0.00	0.69	1.30	0.211	Stato socio economico	Aumenta
Stranieri TOT	STRAN	0.00	0.06	0.37	0.042	Etnia	Aumenta
Famiglie in abitazioni in affitto	AFFITTO	0.00	0.12	0.53	0.059	Struttura familiare	Aumenta

Famiglie con 1 componente	FAM1	0.11	0.33	0.86	0.090		Aumenta
Famiglie con +6 componenti	FAM6	0.00	0.01	0.12	0.009		Aumenta
Densità di popolazione [ab/km ²]	DENSPOP	0.92	297.74	12224.41	633.133	Popolazione	Aumenta

Ai fini del presente lavoro, occorre evidenziare come la maggior parte dei fattori scelti ha un rapporto positivo con la vulnerabilità sociale; quindi, l'aumento di uno dei fattori aumenta anche la vulnerabilità; mentre l'occupazione femminile e il tasso di laureati fa diminuire la vulnerabilità sociale.

ANALISI DELLE COMPONENTI PRINCIPALI

Per il calcolo del SoVI, si è proceduto con la tecnica individuata da Cutter et al., 2003 che prevede come step iniziale, una volta individuato il set di variabili e fatte le opportune verifiche, l'analisi delle componenti principali (PCA). Questa è una tecnica che viene utilizzata per ridurre i dati, tramite una trasformazione ortogonale, al fine di trasformare un set di variabili correlate in un nuovo set ridotto di variabili non correlate.

PREPARAZIONE DATI

Per il trattamento dei dati e l'applicazione dell'analisi delle componenti principali è stato utilizzato il software Rstudio².

² RStudio Team (2020). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>.

Standardizzazione: poiché le variabili hanno unità di misura differenti, è stato utilizzato il metodo statistico Z-score per standardizzarle ad una scala comune con media 0 e deviazione standard 1, tramite la seguente Equazione 2:

Equazione 2

$$Z_{ij} = \frac{x - \mu_j}{\sigma_j}$$

dove μ_j e σ_j sono rispettivamente la media e la deviazione standard della j-esima variabile. Il valore assoluto di Z_{ij} rappresenta la distanza tra il valore originale e la media della popolazione della variabile, in termini di unità deviazione standard.

Analisi di Multicollinearità: per testare la multicollinearità tra le variabili, si è calcolato il Variance Inflation Factor (VIF), per assicurarsi che nessuna variabile sia predittiva delle altre. Il VIF (Equazione 3) misura la magnitudo della multicollinearità in un'analisi di regressione lineare (Gaither et al., 2011).

Equazione 3

$$VIF = \frac{1}{1 - R_i^2}$$

dove R_i^2 è il coefficiente di determinazione, calcolato come il quadrato del coefficiente di Pearson.

In letteratura non vi è una regola fissa su quale sia la soglia di VIF che indichi la presenza di multicollinearità, ma in accordo con alcuni studi sulla vulnerabilità sociale (Frigerio & De Amicis, 2016), si è scelto come valore di riferimento $VIF = 10$, oltre il quale la presenza multicollinearità potrebbe causare problemi nelle analisi successive:

$VIF > 10$, multicollinearità

$VIF < 10$, no multicollinearità

Nel nostro caso, come mostrato, in nessuna variabile viene superato questo valore, quindi sono stati mantenuti tutti gli indicatori.

Prima di procedere con la riduzione delle variabili, è stato assegnato il segno ai dati in base alla loro relazione positiva (+) o negativa (-) con la vulnerabilità sociale. Come riportato in Tabella 6, l'aumento della percentuale di donne occupate e di residenti in possesso di laurea (elevata educazione) diminuiscono la vulnerabilità sociale, quindi, è stato assegnato il segno negativo.

Test di sfericità di Bartlett: il test di Bartlett è un test di ipotesi che consente di confrontare la varianza di due o più campioni per determinare se provengano da popolazioni con uguale varianza. L'ipotesi nulla H_0 è che la matrice di correlazione coincida con la matrice identità e se così fosse non sarebbe utile l'analisi delle componenti principali, perché significherebbe che le variabili non sono correlate minimamente in modo lineare tra di loro.

$$p - value \leq 0.05, H_0 \text{ rifiutata}$$

$$p - value > 0.05, H_0 \text{ accettata}$$

Nel caso dei dati in esame, il $p - value$ risulta minore di 0.05, quindi H_0 è rifiutata e i dati possono essere accettati.

PCA

A questo punto, una volta preparati i dati, è possibile iniziare l'analisi delle componenti principali, con lo scopo di identificare il comportamento del dataset, ridurre la dimensionalità dei dati, rimuovendone il rumore e la ridondanza ed infine identificare le variabili correlate. Le componenti che vengono estratte sono combinazioni lineari delle variabili originali.

Dato un insieme di K variabili statistiche numeriche ($\{X_k\}_{k=1,\dots,K}$) rilevate su n unità, lo scopo della PCA è quello di ottenere $L \leq K$ nuove pseudo-variabili ($\{U_l\}_{l=1,\dots,L}$) che

siano fra loro non correlate, tali che la “varianza complessiva” (cioè la somma delle varianze di ciascuna variabile) delle variabili originali X_k sia pari a quelle delle nuove pseudo-variabili U_l (Muggeo & Ferrara, 2005).

L’analisi si sviluppa tramite lo studio degli autovalori e autovettori della matrice di varianze e covarianze o, in alternativa, della matrice di correlazione. A questo punto è possibile estrarre automaticamente, tramite appositi pacchetti di Rstudio, gli autovalori e i corrispondenti autovettori della matrice di correlazione. Le componenti principali sono ottenute come le combinazioni lineari delle X_k variabili, secondo coefficiente degli autovettori e risultano essere a media nulla, scorrelate e con varianze pari ai corrispondenti autovalori (Muggeo & Ferrara, 2005).

Scelta del numero di componenti: il numero di componenti da considerare dopo la PCA dipende dal metodo scelto. Tra questi vi è il metodo di Kaiser, che prevede di scegliere le componenti che hanno autovalori maggiori di 1. In alternativa, considerando che la somma delle varianze delle componenti principali è pari alla somma delle varianze delle variabili iniziali, per decidere il numero di componenti principali sufficienti a sintetizzare l’informazione contenuta nelle variabili iniziali, è possibile utilizzare come regola di decisione quella basata sul calcolo della percentuale cumulata di varianza e individuare le componenti fissando una percentuale di varianza cumulata (Muggeo & Ferrara, 2005). In questo studio è stato scelto il metodo di Kaiser, per cui sono state scelte le variabili con autovalore $\lambda > 1$.

In Figura 37 e Tabella 7 sono riportate le percentuali di varianza spiegata dalle varie componenti principali e i rispettivi autovalori. Sono state quindi scelte cinque componenti principali, che spiegano il 72% della varianza dei dati di partenza. È importante che le componenti garantiscano una variabilità complessiva di almeno 60%/70% in modo da mantenere più variabilità possibile. Inoltre, ogni componente dovrebbe apportare un incremento di almeno il 5% o 10% della varianza spiegata. Le

5 componenti scelte variano tra di loro di almeno il 6,7%, quindi la scelta delle prime cinque componenti può essere ritenuta accettabile.

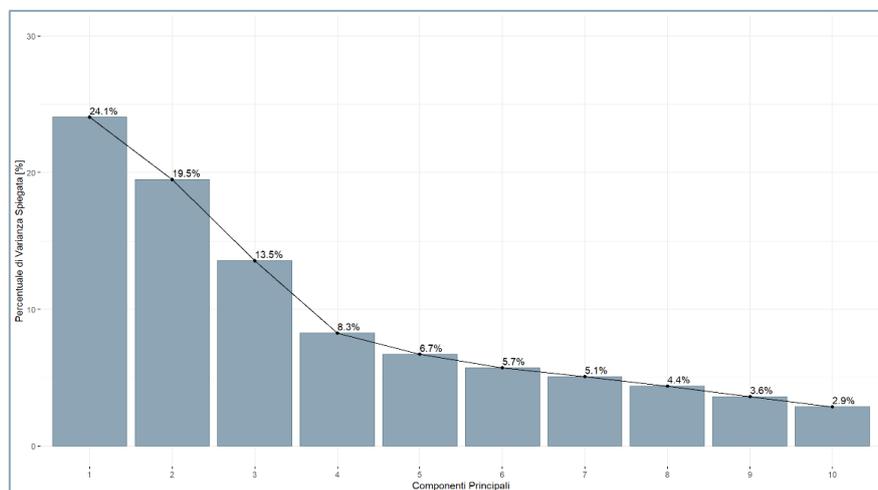


Figura 37 Varianza spiegata dalle componenti principali

Tabella 7 Autovalori delle componenti principali, varianza spiegata e varianza spiegata cumulate (le linee in grassetto sono le component scelte)

COMPONENTI PRINCIPALI	AUTOVALORE	PERCENTUALE DI VARIANZA SPIEGATA	VARIANZA SPIEGATA CUMULATA
1	3.37	24.1%	24.1%
2	2.73	19.5%	43.5%
3	1.90	13.5%	57.1%
4	1.16	8.3%	65.3%
5	0.94	6.7%	72.1%
6	0.80	5.7%	77.8%
7	0.71	5.1%	82.8%
8	0.61	4.4%	87.2%
9	0.51	3.6%	90.8%
10	0.40	2.9%	93.7%
11	0.34	2.4%	96.2%

12	0.28	2.0%	98.1%
13	0.15	1.1%	99.2%
14	0.11	0.8%	100.0%

A questo punto è opportuno attribuire a ciascuna componente una “etichetta”, per individuare quelle variabili che pesano di più sulla singola componente e capire se esse spieghino un raggruppamento dei dati in particolare. Come si può evincere dalla Figura 38 e dalla Figura 39, con questo tipo di estrazione delle componenti non è semplice capire quali siano i principali drivers delle componenti ed è quindi necessario applicare degli artifici statistici per riuscire ad individuarli.

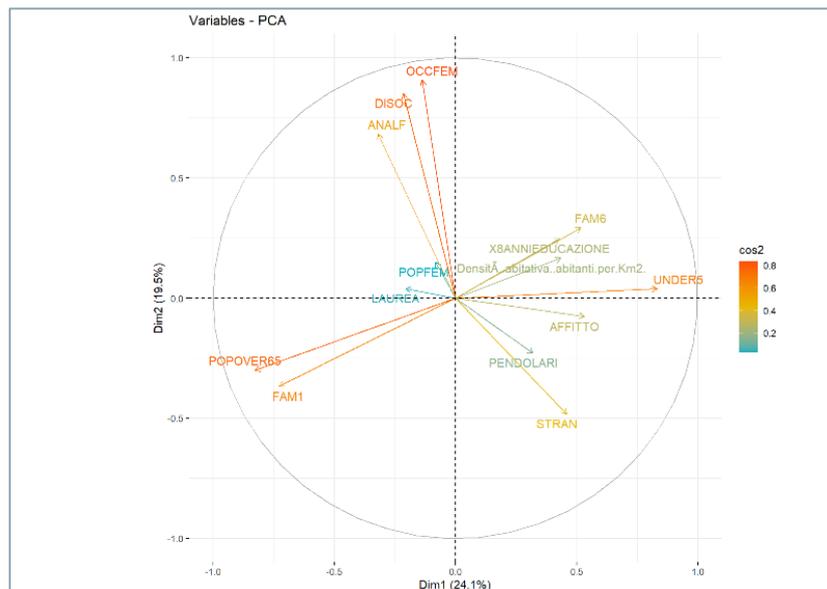


Figura 38 Peso delle variabili sulle prime due componenti principali

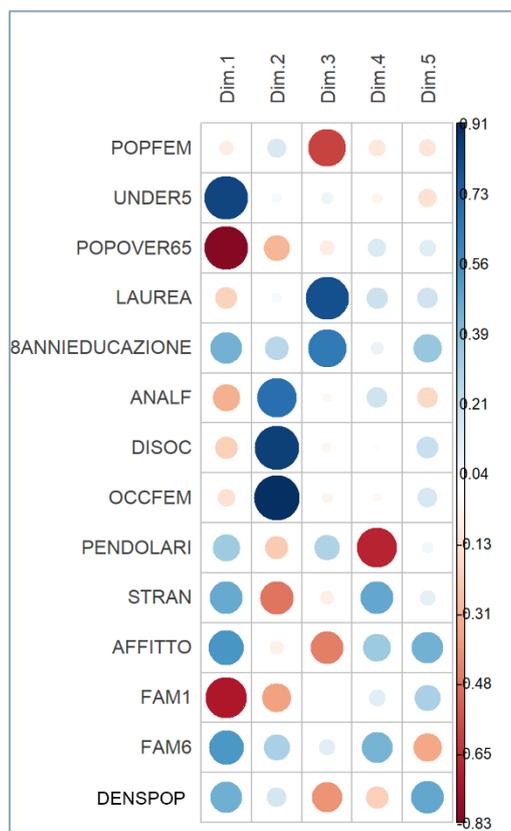


Figura 39 Correlazione variabili e componenti principali

Varimax rotation: per semplificare la struttura dei fattori, viene applicata la rotazione Varimax, che è una tecnica statistica volta all'assegnazione dei fattori e i pesi dei fattori attraverso la rotazione dell'asse perpendicolare. In questo modo vengono messe in risalto le variabili che pesano di più sui singoli fattori, lasciando invariato lo spazio (Kirby et al., 2019). Grazie a questa tecnica l'interpretabilità dei dati risulta migliore, infatti consente di capire per ciascun fattore quale sia la variabile che ha un peso maggiore su di essa.

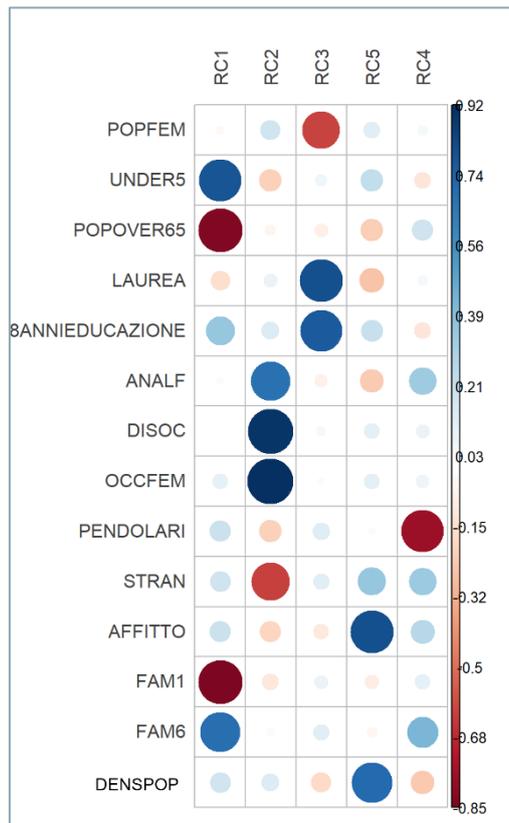


Figura 40 Correlazione variabili e componenti principali ruotate

Scelta delle componenti

Dall'analisi dei coefficienti degli autovettori è possibile osservare il peso che ciascuna variabile possiede all'interno di ogni componente principale, si considerano come principali drivers della componente, quelle variabili che hanno peso minore di -0.5 e maggiore di 0.5 (Tabella 8 e

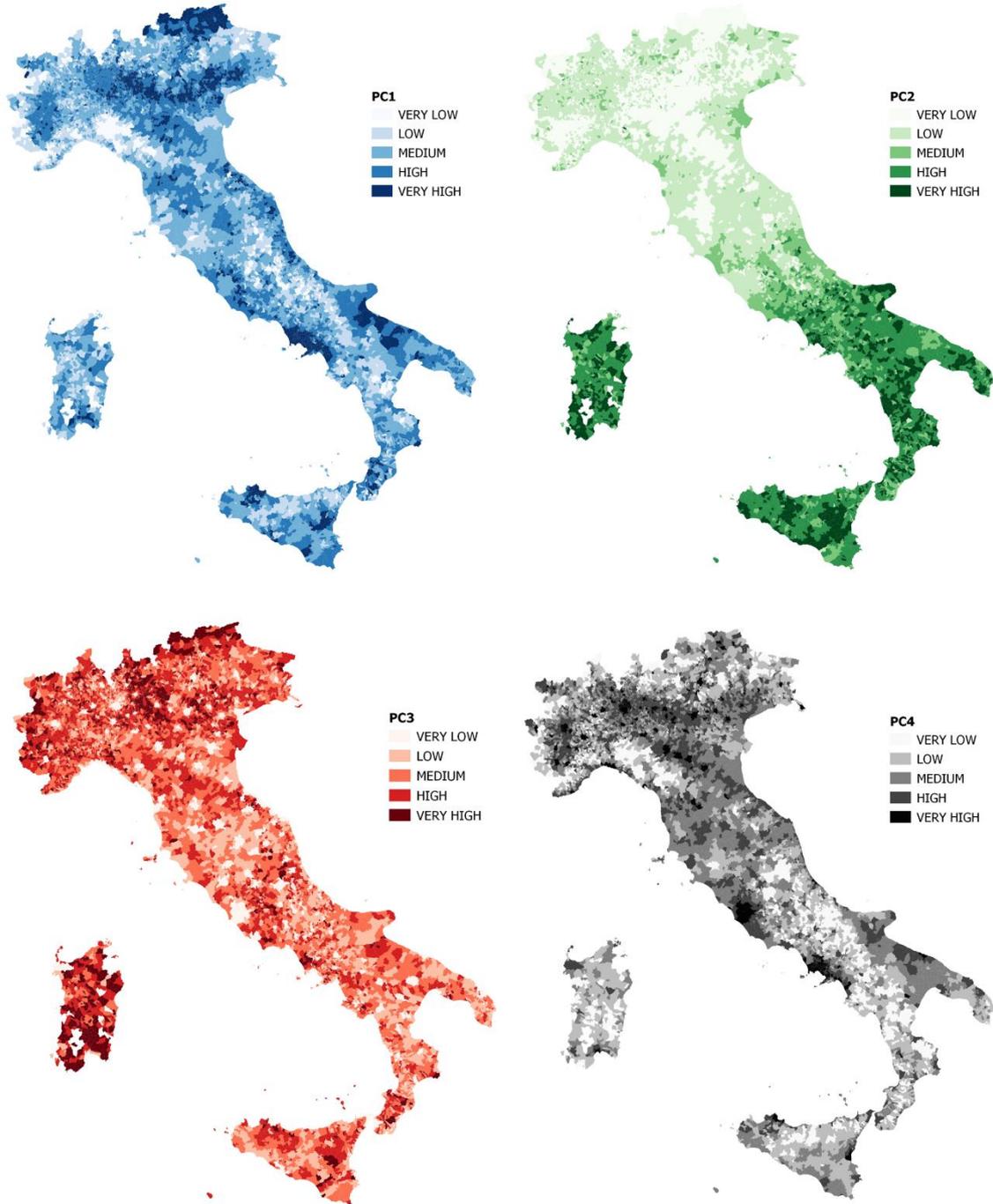
Tabella 9). In Figura 41 sono presenti le mappe delle cinque componenti principali scelte.

Tabella 8 Peso delle variabili sull componenti principali ruotate

VARIABILI	RC1	RC2	RC3	RC4	RC5
POPFEM	-0.03	0.17	-0.62	0.12	0.05
UNDER5	0.78	-0.21	0.06	0.22	-0.12
POPOVER65	-0.85	-0.05	-0.08	-0.22	0.19
LAUREA	-0.16	0.08	0.8	-0.26	0.04
8ANNIEDUCAZIONE	0.35	0.14	0.76	0.2	-0.12
ANALF	0.02	0.68	-0.07	-0.24	0.33
DISOC	-0.01	0.89	0.04	0.1	0.08
OCCFEM	0.1	0.92	0.02	0.1	0.07
PENDOLARI	0.2	-0.22	0.13	-0.02	-0.78
STRAN	0.19	-0.63	0.11	0.35	0.33
AFFITTO	0.2	-0.2	-0.1	0.8	0.26
FAM1	-0.85	-0.12	0.08	-0.08	0.1
FAM6	0.69	0.03	0.11	-0.04	0.42
DENSPOP	0.18	0.13	-0.18	0.71	-0.24

Tabella 9 Componenti principali scelte con rispettive variabili dominanti

COMPONENTE PRINCIPALE	NOME	PERCENTUALE DI VARIANZA SPIEGATA	VARIABILE DOMINANTE
1	Età e struttura familiare	20%	Pop over 65 e Famiglie con 1 componente
2	Occupazione e Stranieri	19%	Occupazione femminile
3	Educazione e popolazione femminile	12%	Tasso laureati
4	Affitto e densità abitativa	11%	Famiglie in affitto



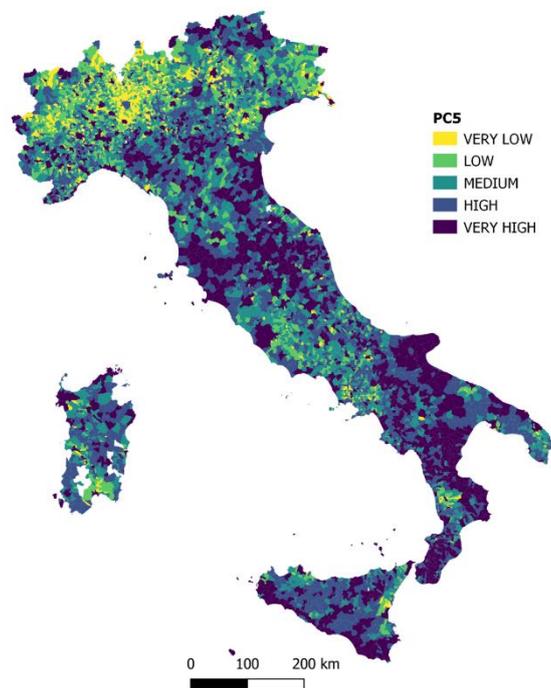


Figura 41 Mappe delle 5 componenti principali

SOVI

Una volta individuati gli indicatori in cui sono raggruppate le diverse variabili, è possibile calcolare l'indice di vulnerabilità sociale. Come già detto in precedenza, il SoVI è un indice additivo, quindi i fattori vengono semplicemente sommati. In letteratura vi sono diversi approcci per il calcolo del SoVI, Cutter et al., 2003, G. Roder et al., 2017 pesano ugualmente tutti i fattori, mentre altri attribuiscono un peso a questi ultimi, in base alla percentuale di varianza che spiegano. Resta quindi a discrezione quale metodo scegliere. In questo caso si è scelto di non assegnare un peso alle componenti, ossia di sommarle semplicemente.

Una volta calcolato il SoVI, per ciascun comune, è stata creata la mappa di vulnerabilità sociale (Figura 42), le classi sono state individuate con il metodo degli intervalli naturali di Jenks, che consiste nel dividere i dati in raggruppamenti naturali, cioè le classi risultanti saranno tali che ci sarà una varianza massima tra le singole classi e una

minima varianza all'interno di ciascuna classe (G. Roder et al., 2017). Il SoVI varia tra -23.44 (bassa vulnerabilità sociale) a 32.59 (alta vulnerabilità sociale), con media nulla, avendo standardizzato i dati, e deviazione standard 5.32 Tabella 10. Il numero delle classi è arbitrario, in questo caso è stato scelto di assegnare cinque classi di SoVI: molto basso [-23.4 ; -6), basso [-6 ; -0.9), medio [0.9 ; 3.7), alto [3.7 ; 10.3), molto alto [10.3 ; 32.6].

Tabella 10 Minimo, Massimo, Media e Dev. ST. del SoVI

MIN	MAX	MEDIA	DEV ST
-23.44	32.59	0.00	5.32

In Figura 42 è riportata la mappa di vulnerabilità sociale dell'Italia, a scala comunale. È possibile osservare che la distribuzione delle classi di SoVI risulta eterogenea, con un incremento della vulnerabilità sociale in Sud Italia e nelle Isole. In Figura 43 osserviamo che sul totale degli 8052 comuni coinvolti nell'analisi, circa il 36% dei comuni ricadono in classe media, pressoché con SoVI nullo (tra 0.9 e 3.7). Mentre 1744 comuni ricadono nella classe bassa e medio-bassa e rappresentano il 43% dei comuni, che sono quindi poco vulnerabili da un punto di vista sociale. Il 18% dei comuni (1445 comuni) hanno vulnerabilità medio alta e il restante 2% ha vulnerabilità alta (221 comuni).

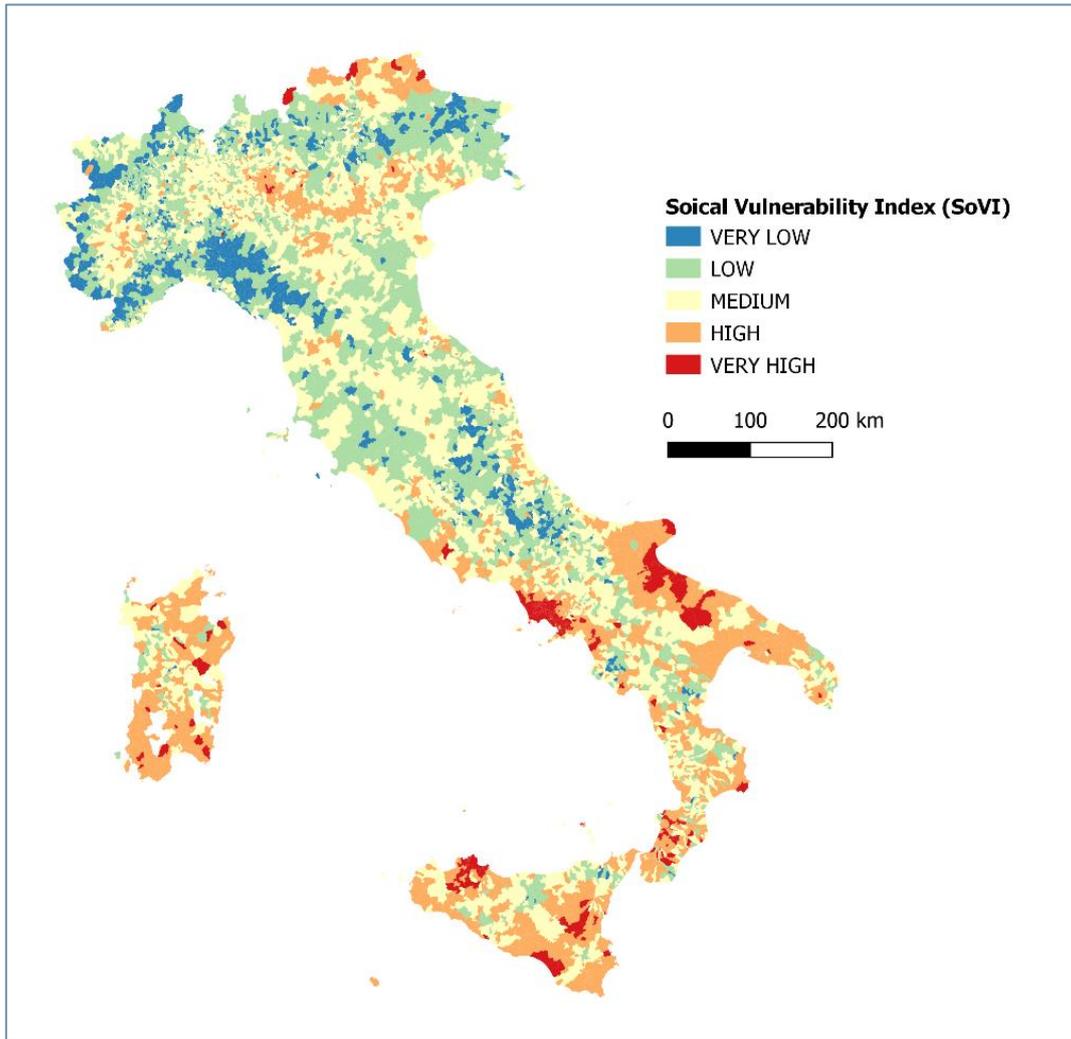


Figura 42 Mappa di vulnerabilità sociale per comuni

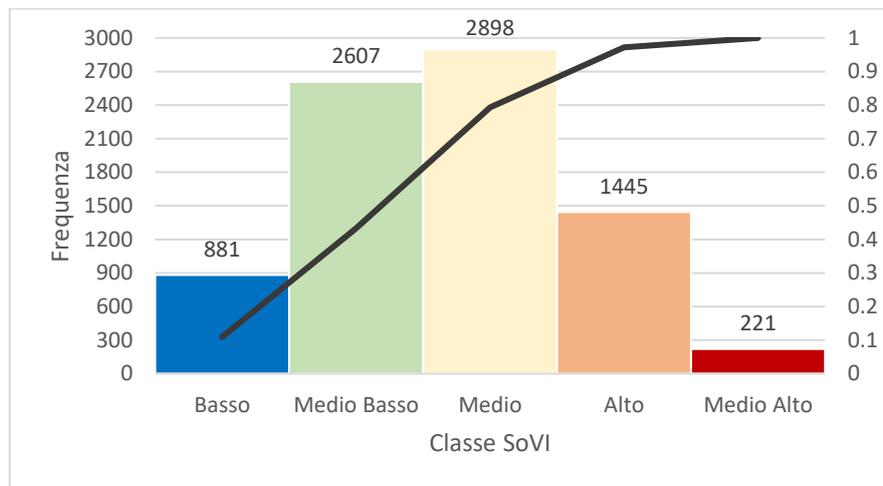


Figura 43 Distribuzione dei comuni per classi di SoVI

Per meglio capire la distribuzione della vulnerabilità in Italia, si è osservata la frequenza dei comuni in ciascuna classe di SoVI, per le diverse ripartizioni geografiche. In Nord-Ovest Italia, che include Liguria, Valle d'Aosta, Lombardia e Piemonte, e in Centro Italia, che include Toscana, Umbria, Marche e Lazio, la distribuzione del SoVI è pressoché omogenea, con i comuni che per circa l'85% ricadono nelle prime 3 classi, lasciando il 15% dei comuni nelle classi di SoVI più elevate. In Nord-Est (Emilia-Romagna, Trentino-Alto Adige, Friuli-Venezia Giulia e Veneto), la distribuzione è simile a quella del Nord Ovest e del centro. In nord Italia le regioni risultano complessivamente con valori di SoVI bassi, ad eccezione dell'area di Bolzano dove si riscontra un raggruppamento di comuni a vulnerabilità medio alta e alta e nelle province di Bergamo e Brescia dove vi sono dei cluster di comuni più vulnerabili. Diversamente per quel che riguarda il Sud Italia (Campania, Abruzzo, Basilicata, Calabria, Puglia e Molise) e le Isole (Sicilia e Sardegna), risultano di più i comuni in classe medio alta e alta, rispetto a quelli nelle classi più basse di vulnerabilità sociale. Al Sud i comuni in classe alta di vulnerabilità sono il 14% e nelle Isole il dato arriva fino al 19% e il totale di comuni in classe di SoVI medio alta e alta è più della

metà del totale dei comuni nelle Isole (Tabella 11). Nello specifico, la Puglia risulta particolarmente vulnerabile, con il 65% dei comuni in classe di vulnerabilità medio-alta e alta e solamente un comune nella classe più bassa. È evidente quindi che il Sud Italia e le Isole risultino più vulnerabili in caso di eventi naturali disastrosi, mentre il Nord Ovest presenta meno comuni vulnerabili.

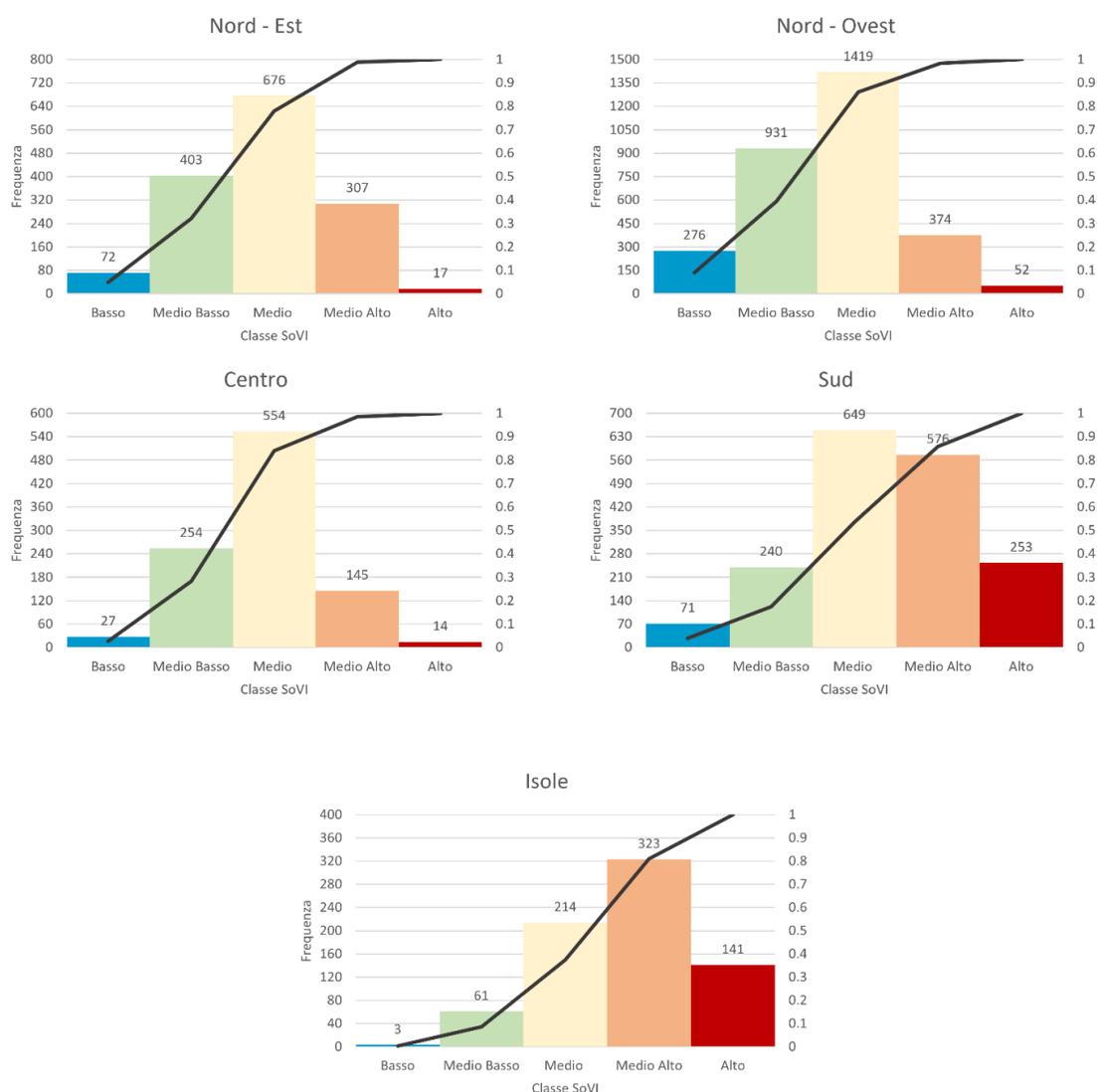


Figura 44 Frequenza dei comuni nelle 5 classi di vulnerabilità sociale divisi per ripartizioni geografiche: Nord-Ovest, Nord-Est, Centro, Sud e Isole.

Tabella 11 Frequenza dei comuni nelle 5 classi di vulnerabilità sociale divisi per ripartizioni geografiche: Nord-Ovest, Nord-Est, Centro, Sud e Isole.

<i>Classe SoVI</i>	<i>Nord - Est</i>	<i>Nord - Ovest</i>	<i>Centro</i>	<i>Sud</i>	<i>Isole</i>
Bassa	5%	9%	3%	4%	0%
Medio-Bassa	27%	31%	26%	13%	8%
Media	46%	46%	55%	36%	29%
Medio-Alta	21%	12%	15%	32%	44%
Alta	1%	2%	1%	14%	19%

In Tabella 12 è possibile osservare che i 5 comuni più vulnerabili si trovano tutti in provincia di Napoli, dove vi sono 4 comuni in classe media, 23 comuni in classe media alta, 65 comuni in classe alta e nessun comune nelle prime due classi di vulnerabilità (Figura 45). In generale quindi i comuni sul Golfo di Napoli risultano particolarmente vulnerabili. Qui ci sono alcuni valori degli indicatori utilizzati per il calcolo del SoVI che risultano sopra la media, come ad esempio la percentuale di famiglie in affitto (+0.12), la percentuale di disoccupati (+0.04), e la percentuale di pendolari (+0.08). Il peso maggiore sul calcolo finale del SoVI è dato dalla prima componente principale, cioè quella che spiega la varianza legata all'età e alla struttura familiare.

In Tabella 12 sono mostrati anche i 5 comuni con il SoVI più basso, quindi i 5 meno vulnerabili che si trovano uno in Liguria in provincia di Genova, uno in Abruzzo in provincia di L'Aquila e gli altri tre in Piemonte, rispettivamente in provincia di Cuneo, Alessandria e Vercelli. Questo risultato risulta coerente con il fatto che il Nord-Ovest appare complessivamente meno vulnerabile e il Sud, al contrario, più vulnerabile.

Tabella 12 5 comuni più vulnerabili e 5 comuni meno vulnerabili.

<i>Comune</i>	<i>SoVI</i>	<i>Comune</i>	<i>SoVI</i>
<i>Melito di Napoli (NA)</i>	32.6	<i>Fascia (GE)</i>	-23.4
<i>Casavatore (NA)</i>	30.2	<i>San Benedetto in Perillis (AQ)</i>	-20.7
<i>Sant'Antimo (NA)</i>	30.1	<i>Macra (CN)</i>	-19.9
<i>Crispano (NA)</i>	27.8	<i>Carrega Ligure (AL)</i>	-19.8
<i>Arzano (NA)</i>	27.2	<i>Sabbia (VC)</i>	-19.0

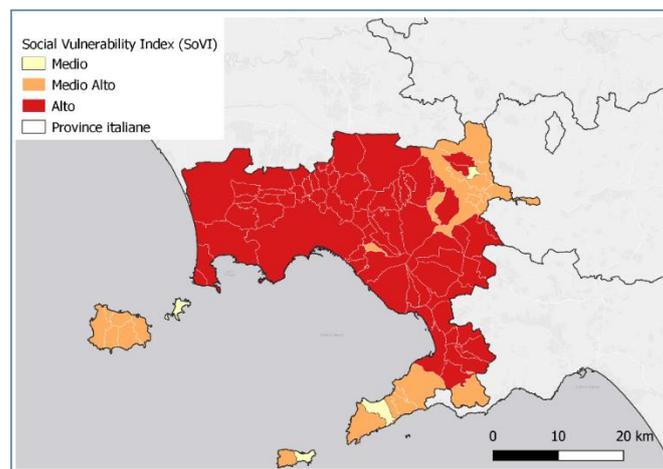


Figura 45 SoVI comuni in provincia di Napoli

3. Caso di studio: alluvione Benevento ottobre 2015

Come visto in precedenza, sono molte le Ordinanze di Protezione Civile disponibili sul territorio, ma molte risultano incomplete o poco precise, senza indirizzi o senza specifiche sui danni denunciati. Tra le ordinanze disponibili, una particolarmente completa è quella relativa alla dichiarazione dello stato di emergenza in conseguenza degli eccezionali eventi meteorologici che nei giorni dal 14 al 20 ottobre 2015 hanno colpito il territorio della regione Campania (OCDPC 298). Per questo motivo, si è scelto come caso di studio di dettaglio tale evento, al fine di utilizzare un dataset quanto più completo possibile. Le analisi del presente capitolo hanno lo scopo di approfondire la conoscenza delle ordinanze e delle possibilità di analisi offerte dai dataset più completi, in particolare, dei benefici dati dalla disponibilità degli indirizzi e dunque della geolocalizzazione dei danni sul territorio. Lo stato di emergenza dell'evento è stato deliberato in data 16 maggio 2016 con scadenza il 31 ottobre 2016. L'evento ha provocato molto interesse poiché l'impatto sul territorio e sulla società è stato notevole, come approfondiremo in seguito. Come fatto in precedenza, verrà analizzato solamente il danno relativo ai beni privati, quindi principalmente alle abitazioni; perciò, si farà riferimento solamente alle schede B dell'ordinanza, escludendo in questo modo le richieste relative alle attività produttive (schede di tipo C) che sono state comunque di elevatissima entità, avendo l'evento coinvolto vaste aree commerciali.

3.1 Inquadramento territoriale

Il fenomeno alluvionale ha colpito maggiormente la provincia di Benevento (Figura 46). L'evento ha interessato principalmente il fiume Calore, asta principale valliva ed alcuni tributari minori del suo bacino (Autorità di Bacino Liri-Garigliano Volturno, 2015).



Figura 46 Inquadramento territoriale provincia di Benevento

In generale, il territorio comunale di Benevento presenta grandi criticità relative al rischio idrogeologico e una lunga storia di eventi alluvionali passati (Comune di Benevento, 2015). La provincia di Benevento è attraversata da tre corsi d'acqua principali, il fiume Calore, il fiume Sabato e il fiume Tammaro. Il fiume Calore è uno dei maggiori fiumi dell'Italia meridionale e ha la sorgente sul Monte Accellica, in provincia di Avellino, per poi attraversare la provincia e il comune di Benevento prima di confluire nel fiume Volturno. Il bacino del Calore si estende per 3050 km², il fiume è lungo circa 110 km e la portata media annua, misurata appena a monte della confluenza nel fiume Volturno, è di circa 30 m³/s. (Magliulo & Valente, 2020). Il fiume

Sabato confluisce nel Calore proprio nei pressi di Benevento, dove la pianura alluvionale si allarga e così le aree di esondazione. In prossimità del comune di Paduli, anche esso come vedremo coinvolto nell'evento in questione, il fiume Tammaro confluisce nel Calore, che prosegue il suo corso verso Nord – Ovest (Comune di Benevento, 2015). I fiumi sopra citati presentano lungo il corso urbano diversi restringimenti della sezione fluviale, determinati dalle costruzioni di ponti e viadotti, dalla notevole presenza di piante e cespugli all'interno dell'alveo e dagli oggetti e rifiuti abbandonati. Questi ultimi possono determinare degli ostacoli al regolare deflusso delle acque in caso di piena, con eventuali allagamenti di questa zona del territorio che si presenta con alta densità di popolazione. (Comune di Benevento, 2015). Il sistema arginale del fiume Calore a Benevento è costituito da muraglioni in calcestruzzo a difesa di parti del centro urbano della città. L'opera venne realizzata successivamente ad un evento alluvionale disastroso che avvenne nel 1949 che interessò parte significativa del centro urbano. A tal proposito è importante ricordare che sono numerose le alluvioni avvenute nell'area di Benevento, che coinvolgono il fiume Calore e il fiume Sabato. Si ha traccia di eventi dal 369 d.C., con la documentazione di un'inondazione seppellì che l'Anfiteatro romano. In seguito, vi sono diverse altre testimonianze di alluvioni. Si contano almeno 3 eventi nel sedicesimo secolo, 4 eventi nel quindicesimo secolo, 4 eventi nel sedicesimo secolo e 4 eventi nel ventesimo secolo, tra cui un'alluvione di particolare importanza nel 1949 che presenta caratteristiche simili a quella del 2015 poiché interessò fortemente il tessuto urbano. Nell'evento del 1949 si contarono 17 vittime, 30 dispersi e circa 1500 sfollati. Accadde che la piena del fiume Calore sommerse diverse aree urbane a Benevento, coinvolgendo abitazioni e attività commerciali e rovinando più di diecimila ettari di terreno coltivati (Comune di Benevento, 2015). Nei piani stradali si aprirono fenditure profonde, solchi e voragini, ed oltre trecento famiglie rimasero

senza riparo. Successivamente si contano nel ventunesimo secolo altri 3 eventi, precedenti quello del 2015, in cui vennero registrate aree allagate e danni. In Figura 47 è possibile visualizzare un tratto del fiume Calore, in cui vi sono le diverse trasformazioni della piana alluvionale in seguito ai principali eventi alluvionali, presente nello studio di Magliulo e Valente, 2020.

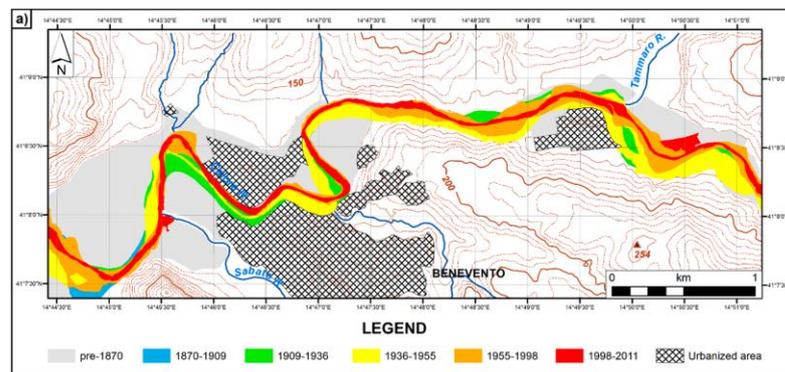


Figura 47 Trasformazioni della piana alluvionale nel corso degli anni in seguito ad eventi alluvionali [Magliulo e Valente, 2020]

In Figura 48 è invece riportata la mosaicatura delle aree a pericolosità idraulica P1 (bassa pericolosità) dell'area della provincia di Benevento e altri comuni limitrofi coinvolti dall'alluvione del 2015. È importante ricordare che l'area a pericolosità P1 include anche le aree a pericolosità P2 (media) e P3 (alta).

Tabella 13 Principali caratteristiche dell'evento del 15 ottobre [Magliulo e Valente, 2020]

Station	Latitude Longitude	Total Rainfall (mm)	Mean Rainfall (mm/h)	Intensity Peak (mm/10 min)
Benevento	41.142000 14.762417	140.6	28.1	13.8
Benevento Meteo	41.115056 14.825028	90.8	18.2	14.2
Ponte Valentino	41.141667 14.836028	107.6	21.5	9.6
Paduli	41.148222 14.834806	123.6	24.7	11.6
Pago Veiano	14.259833 14.897611	183.6	36.7	14.8

Secondo gli studi svolti da (Guerriero et al., 2018), l'area alluvionata è stata di circa 30 Km² e il livello dell'acqua ha raggiunto circa 9.8 m alla stazione di Solopaca.

Le maggiori aree di inondazione si sono avute al fiume Calore, da Benevento alla confluenza Volturno. Sono numerosi i processi distruttivi durante l'evento, che hanno recato danno non solo ad abitazioni e attività produttive ma anche a ferrovie, strade e strutture idrauliche.

Nei report di ricognizione dell'evento svolti subito dopo l'alluvione, si contano 33 comuni coinvolti ma come vedremo in seguito sono numerosi i comuni in cui i cittadini hanno denunciato danni ai propri beni privati.

L'evento è stato caratterizzato non solo dall'esondazione dei fiumi sopracitati, ma anche da numerosi fenomeni di trasporto solido, frane, colate, erosione, esondazione di tratti minori, deposito di materiale fangoso e detritico e numerosi episodi di squilibri idraulici. In Figura 49 e Figura 50 sono riportate delle foto rappresentative dell'evento che ha colpito principalmente la provincia di Benevento, al fine di mostrare la severità dell'alluvione, che in alcune zone ha ricoperto totalmente le strade, arrivando in alcuni punti a tiranti pari a 1.8m. I danni dell'evento furono ingenti, e nell'alluvione persero la vita due persone: una signora a Pago Veiano travolta dall'acqua di fronte la sua casa

in campagna e un signore a Montesarchio travolto nel suo scantinato dall'onda di piena.



Figura 49 foto dell'evento del 15 ottobre 2015, LaPresse - Gerardo Cafaro



Figura 50 foto dell'evento 15 ottobre 2015, Report Autorità di Bacino LGV

In Figura 51 si può osservare l'estensione dell'area allagata nel comune di Benevento, dall'immagine satellitare e si può facilmente notare che l'esondazione ha colpito zone ad alta densità urbana.



Figura 51 Immagine satellitare aree inondate comune di Benevento del 16/10/2015 e area alluvionata [Autorità di Bacino, 2015]

Qualche giorno dopo il primo evento, il 19 ottobre 2015, ulteriori piogge, caratterizzate da un'intensità minore rispetto a quelle del 14 e 15 ottobre, hanno colpito l'area di Benevento, causando uno scenario simile a quello avvenuto pochi giorni prima (Valente et al., 2016).

L'evento fu talmente disastroso che in seguito a questo vennero predisposti approfondimenti per le aree urbane particolarmente esposte e vennero ridefinite le aree a rischio esondazione, con l'indicazione delle vie di fuga e le aree di attesa per la popolazione coinvolta. In sostanza, quindi, è stato definito un piano di gestione di eventi alluvionali, con un nuovo sistema di allerta e andando ad individuare i livelli di attenzione, preallarme e allarme. Nel piano di protezione civile vengono anche approfondite le regole comportamento della popolazione, che, come abbiamo visto, risultano essenziali per una gestione più fluida dell'evento.

3.2.1 Distribuzione del danno

Come già detto, in seguito a questo evento è stato emanato lo stato di emergenza nazionale, ed è quindi stato classificato come di tipo “C” ai sensi del D. Lgs 1/2018. Tra le varie attività del commissario delegato nella gestione dell'emergenza, secondo l'Articolo 7 dell'ordinanza, vi è quella di ricognizione, cioè di raccolta del fabbisogno necessario per gli interventi strutturali di ripristino degli edifici privati, compresi gli edifici vincolati, classificati in base alle differenti destinazioni d'uso, conformi alle disposizioni previste dalla normativa urbanistica, di pianificazione territoriale di settore ed edilizia, danneggiati o dichiarati inagibili. In particolare, l'attività di ricognizione dovrà evidenziare per ogni edificio il numero delle unità immobiliari destinate ad abitazione principale e il relativo fabbisogno necessario per l'intervento di ripristino, ivi compreso quello relativo agli interventi sugli elementi strutturali e sulle parti comuni degli edifici.

La quantificazione dei dati relativi ai fabbisogni finanziari per i beni, come riportato in Gazzetta Ufficiale, avviene con autocertificazione della stima del danno e dell'eventuale copertura assicurativa, indicando la misura del risarcimento del danno, ove riconosciuto dall'assicurazione, in conseguenza del sinistro e i premi sostenuti nel quinquennio precedente (DPC, n.d.).

In seguito, viene riportata un'analisi dei dati provenienti dalla raccolta delle schede di tipo B per tale ricognizione. Per ciascuna richiesta si dispone dei seguenti dati:

- Data (gg/mm/aaaa)
- Regione
- Comune
- Indirizzo
- Uso (tipo di abitazione)
- Inagibilità (si/no)
- Tipologia strutturale (Cemento armato, muratura, ecc....)

- Numero di piani
- Superficie m²
- Strutture portanti
- Totale richiesto [€]
- Copertura assicurativa (si/no)

Come già detto in precedenza, è raro possedere una raccolta delle richieste completa; infatti, in questo caso la compilazione è parziale, poiché non si dispone del numero di piani e delle strutture portanti, mentre solo il 75% delle richieste ha riportato l'area, dato che per i nostri tipi di analisi sarebbe molto utile per capire al meglio l'entità del danno sulla singola richiesta.

Un altro importante aspetto delle ordinanze è il campo degli indirizzi; talvolta essi risultano incompleti, poco precisi o inesistenti. Anche in questo caso, quando si incontra una richiesta con un indirizzo parziale, in cui ad esempio non si ha il numero civico, si ha una notevole perdita di informazioni, che sono difficili o impossibili da recuperare in qualche modo. Avere indirizzi precisi consentirebbe di poter georeferenziare ogni singola richiesta, in modo da coprire l'interezza del territorio coinvolto dall'evento, e poter studiare il cratere dello stesso, la sua intensità in termini di danno e le caratteristiche geomorfologiche del territorio su cui sono avvenute. Nel caso della presente raccolta di schede, si ha che il 67% degli indirizzi è impreciso, quindi, per alcune analisi, queste richieste verranno escluse, tenendo in considerazione solo le richieste di cui si conosce la posizione esatta.

È comunque importante sottolineare come, per tutte le richieste, sia conservato il dato del comune dove è stato denunciato danno al bene privato, e quindi si è potuto tener traccia dell'entità e dell'ammontare del danno aggregato su ciascun comune, che sarà oggetto di analisi.

I comuni in cui si è contata almeno una scheda sono 69, per un totale di 2458 richieste di fabbisogno. I comuni che contano almeno 100 schede sono quattro e nell'ordine sono Benevento (437 richieste), Ponte (173 richieste), Pago Veiano (153 richieste) e Paupisi (106 richieste). Sono infine 30 i comuni in cui si contano meno di 10 richieste. Benevento è quindi il comune più colpito in termini di richiedenti, in maniera coerente con l'estensione dell'area alluvionata durante l'evento. In media, comunque, sono state presentate circa 35 richieste da ciascun comune, ovviamente alcuni risulteranno maggiormente coinvolti e altri meno come vedremo.

Tabella 14 Informazioni comuni e richiedenti

COMUNI COINVOLTI	69
NUMERO RICHIEDENTI	2458
% ASSICURATI	2.28%

Tabella 15 Statistiche di base sul totale delle schede B

Richieste per Comune	
MIN	1
MAX	437
MEDIA	35.61
DEV. ST.	59.56

In linea con quanto anticipato nell'introduzione, la percentuale di assicurati ai danni è molto bassa, infatti solo il 2,28% risulta possedere un'assicurazione esterna privata.

Questo dimostra la necessità di attingere a fondi pubblici per risollevarsi da un danno subito. Questi interventi di supporto alle popolazioni vittime di catastrofi naturali possono essere compresi alla luce del principio di solidarietà nell'articolo 2 della Costituzione della Repubblica Italiana.

In Tabella 16 è riportata la suddivisione delle richieste in base alla tipologia strutturale dell'abitazione danneggiata. Più della metà delle strutture, circa il 59%, è in muratura, mentre il 25% circa sono in cemento armato; le restanti abitazioni colpite sono un insieme di cemento armato e muratura oppure muratura e altro. Per l'8% delle richieste, infine, non è riportata questa informazione. Per quel che riguarda l'uso delle strutture danneggiate, il 60% sono adibite ad abitazione principale, il 21% circa non è adibito ad abitazione principale e non locato, le restanti sono adibite ad altro titolo, locate, utilizzate stagionalmente o altro. In questo caso in quasi il 10% delle richieste non è riportato l'uso della struttura su cui è stato segnalato danno (Tabella 17).

È interessante notare il costante rapporto 1:3 tra le richieste attribuite rispettivamente agli edifici in cemento armato e muratura, sia nel caso di abitazioni principali sia nel caso di strutture non adibite ad abitazione e non locate (Tabella 18). Infatti, il 26% delle abitazioni principali risulta in cemento armato, mentre il 63% in muratura, il restante è in altri materiali. Allo stesso modo, per quel che riguarda le strutture non adibite ad abitazione e non locate, il 21% sono in cemento armato e il 62% in muratura.

Tabella 16 Tipologia strutturale delle abitazioni danneggiate

CEMENTO ARMATO	CEMENTO ARMATO E MURATURA	MURATURA	MURATURA E ALTRO	TERRENO	ALTRO	Non Noto
599	74	1423	2	1	160	199
24.37%	3.01%	57.89%	0.08%	0.04%	6.51%	8.10%

Tabella 17 Uso delle strutture danneggiate

ABITAZIONE PRINCIPALE	ADIBITO AD ALTRO TITOLO	NON ADIBITO AD ABITAZIONE E NON LOCATO	LOCATO	DEPOSITO	USO STAGIONALE	ALTRO	Non Noto
1478	110	532	82	2	2	9	242
60.15%	4.48%	21.65%	3.34%	0.08%	0.08%	0.37%	9.85%

Tabella 18 Tipologia strutturale delle abitazioni principale e delle strutture non adibite ad abitazione e non locate

ABITAZIONE PRINCIPALE		NON ADIBITO AD ABITAZIONE E NON LOCATO	
CEMENTO ARMATO	MURATURA	CEMENTO ARMATO	MURATURA
391	936	110	331
26%	63%	21%	62%

3.2.2 Intensità del danno

Si stima che il danno totale in seguito all'evento oggetto di trattazione sia di 120 milioni di euro, dato che include il danno relativo non solo ai beni privati, ma anche ai beni pubblici e alle attività produttive, anche esse ampiamente coinvolte nell'evento. Poco più della metà, circa 75 milioni di €, è il danno relativo ai beni privati, ossia la somma delle singole richieste raccolte in seguito all'evento. In particolare, le richieste variano da 150 euro a circa un milione e mezzo di euro ed in media sono circa di 30.000 euro (Tabella 19 e Tabella 20). In Figura 52 è possibile osservare la frequenza con cui le schede si presentano in ogni classe. Il maggior numero di schede si presenta nella

classe tra 50.000 euro e 100000 euro e in generale il 90% delle richieste si trova sotto i 62000 euro.

Tabella 19 Informazioni generali sul danno

STIMA COSTO EVENTO IN TOTALE	120,000,000.00 €
SOMMA RICHIESTE SCHEDE B	74,227,764.41 €

Tabella 20 Statistiche di base delle singole schede

MIN	150 €
MAX	1510000 €
MEAN	30635 €
DEV ST	67340.7 €

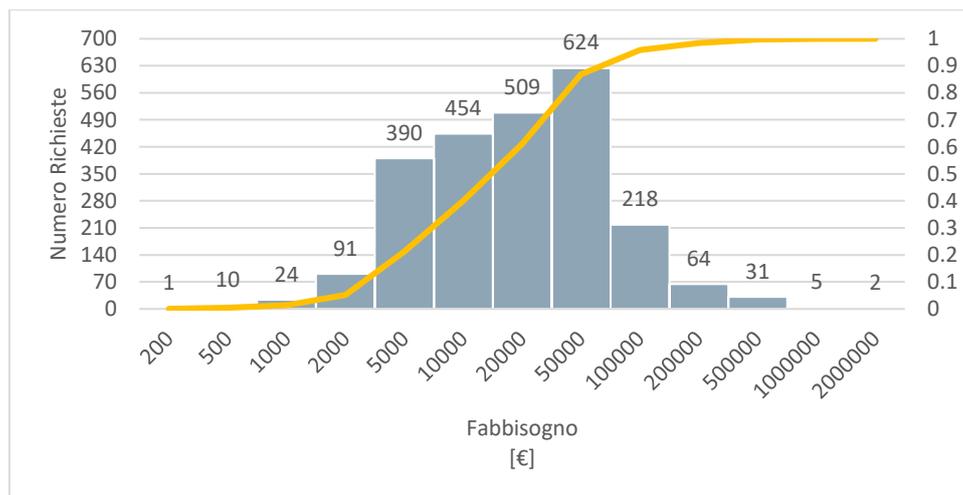


Figura 52 Frequenza richieste in classe di fabbisogno in €

In Figura 53 osserviamo l'entità del danno in termini assoluti, quindi somma di tutte le richieste, su ciascun comune. Come visto in precedenza, il comune di Benevento è quello in cui c'è stato il maggior numero di richieste, e l'ammontare totale è di più di 11 milioni di euro, con valore medio della singola richiesta di circa 26.000€. Altri comuni particolarmente colpiti, sempre in termini di danno assoluto, sono Ponte (BN), Torrecuso (BN), Paupisi (BN), Pago Veiano (BN) dove il danno totale supera ampiamente i 3 milioni di €.

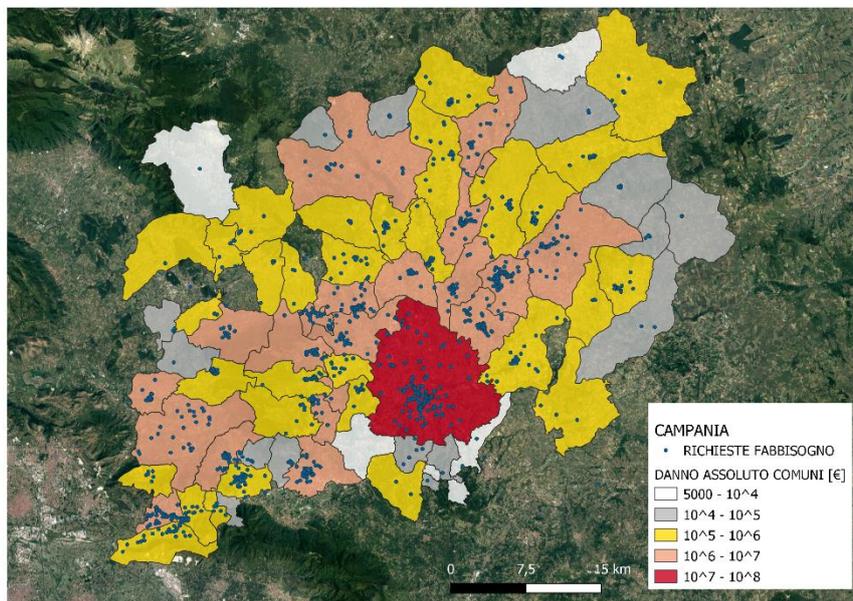


Figura 53 Danno assoluto [€] nei comuni colpiti dall'evento del 15 ottobre 2015

In Figura 54 si può invece osservare il danno al Km², standardizzato quindi sulla superficie del comune. Benevento non risulta più il comune più colpito in questi termini, bensì, in ordine di intensità del danno, Paupisi, Ponte, Campoli del Monte Taburno, Torrecuso, Pago Veiano, Reino e Dugenta sono i più colpiti, con valori di

intensità maggiori di 100.000 €/Km². Più avanti approfondiremo le caratteristiche territoriali dei comuni maggiormente colpiti.

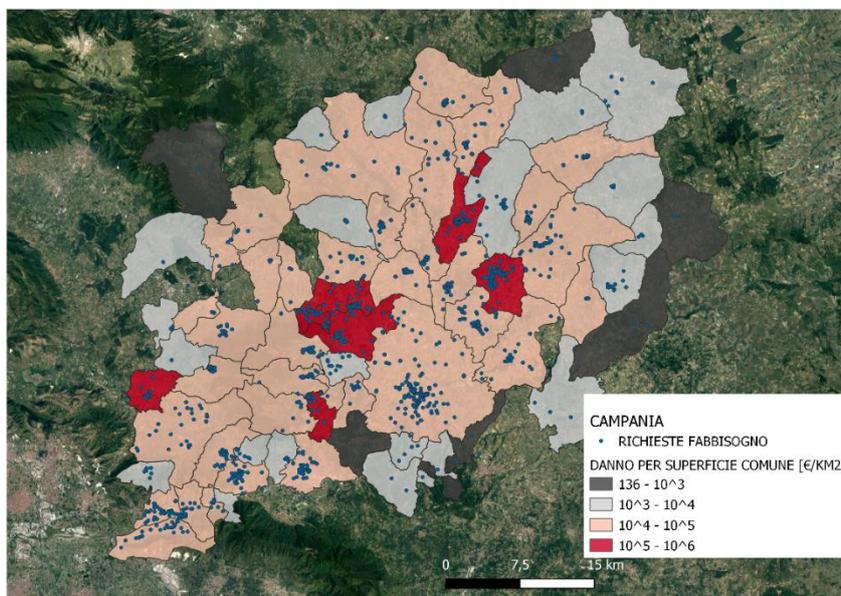


Figura 54 Danno per superficie [€/Km²] nei comuni colpiti dall'evento del 15 ottobre 2015

In Figura 55 sono riportati i dieci comuni in cui il danno è risultato più intenso in termini di €/Km². In totale in questi comuni si contano 1239 richieste e circa 43 milioni di € di danni, rispettivamente esattamente il 50% del totale delle richieste e il 58% del danno totale, il restante 50% di schede e il 42% di fabbisogno totale si distribuiscono negli altri 59 comuni (Tabella 21).

Sui 10 comuni si contano almeno 50 richieste ciascuno, Paupisi, Ponte e Pago Veiano contano poco più di 100 richieste, ma come visto in precedenza Benevento è il comune più colpito in questi termini, con oltre 400 richieste, nonostante ciò, avendo una superficie maggiore rispetto a quella degli altri comuni, il danno al Km² risulta molto più basso. Per quel che riguarda la densità abitativa, tutti i comuni contano più di 100

abitanti per Km². Il comune di Santa Maria a Vico risulta particolarmente abitato, con una densità di 1304,4 abitanti al Km² e una superficie di circa 10 Km². Informazioni sulla densità di popolazione ci danno un'idea della popolazione che è stata esposta all'evento. In Tabella 21 possiamo osservare anche il valore dell'indice di vulnerabilità sociale (SoVI) di ciascun comune. Risulta che sei comuni hanno un livello di vulnerabilità sociale media, tre medio – alta e 1 media – bassa. Come già detto in precedenza, il SoVI fornisce un'indicazione generica sulla propensione della popolazione a gestire adeguatamente un evento alluvionale disastroso e a riprendersi successivamente ad esso, ma è chiaro che si tratta di un dato da considerare come un'informazione aggiuntiva a quelle che sono le caratteristiche intrinseche della popolazione. Più avanti cercheremo di individuare se vi sia una relazione tra l'indice sopracitato e il danno avvenuto successivamente all'evento dell'ottobre del 2015. È interessante anche notare che i comuni più danneggiati risultano sparsi sul territorio, ad evidenziare il fatto che il fenomeno alluvionale non si è concentrato unicamente su un tratto del reticolo idrografico ed anzi che ha coinvolto diversi tratti del bacino del Volturno.

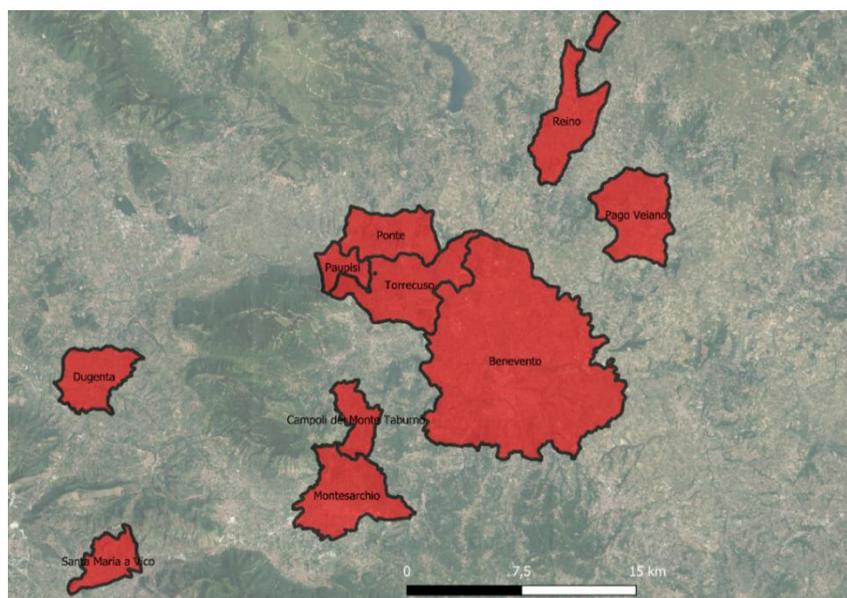


Figura 55 Dieci comuni più colpiti in termini di €/Km²

Tabella 21 Descrizione danno dei comuni più colpiti

COMUNE	DENSITÀ ABITATIVA (AB/KM ²)	NUMERO TOTALE RICHIESTE	FABBISOGNO TOTALE	Danno/Km ²	CLASSE SOVI
Paupisi	228.3129358	106	4361734.14	638359.184	medio
Ponte	148.5322744	173	6745574.86	376525.959	medio
Campoli del Monte Taburno	157.6937821	51	2606150	265830.304	medio
Torrecuso	117.9561822	68	6457922.55	221503.893	medio
Pago Veiano	107.1626312	153	3352800	141176.766	medio alto
Reino	53.38768998	72	2953078.2	124927.118	medio basso
Dugenta	171.4406039	52	1926110	119990.357	medio
Santa Maria a Vico	1304.470123	59	1038794.954	95873.5659	medio alto
Benevento	469.9772769	437	11469792.9	87666.7702	medio
Montesarchio	497.9006259	68	2344876.72	88461.5538	medio alto

Da questo momento in poi verranno prese in considerazione unicamente le richieste di cui si ha la posizione precisa, in modo tale da poter svolgere analisi puntuali sul territorio e osservare la distribuzione spaziale delle diverse richieste. In Figura 56 osserviamo la distribuzione spaziale delle richieste, sempre di tipo B, divise per richieste sopra e sotto i 90.000€, ossia il 95-esimo percentile dell'interezza del dataset (incluse le richieste senza localizzazione puntuale). Si contano sulla mappa 733 richieste sotto i 90.000€ e 36 richieste sopra i 90.000€ considerate come richieste di elevatissima entità, rispetto alle altre. Si è osservato dove possibile, tramite il software Google Earth in modalità Street View, che le richieste molto alte si riscontrano dove vi sono case indipendenti, fuori dagli agglomerati urbani e con superficie, dove dichiarata, più elevata. Infatti, la media della superficie dichiarata per le richieste sotto il 95-esimo percentile è di 180 m², mentre quella delle richieste sopra il 95-esimo percentile è di 845 m². La distribuzione sul territorio delle richieste molto elevate è pressoché omogenea e si trovano per lo più nei comuni maggiormente colpiti.

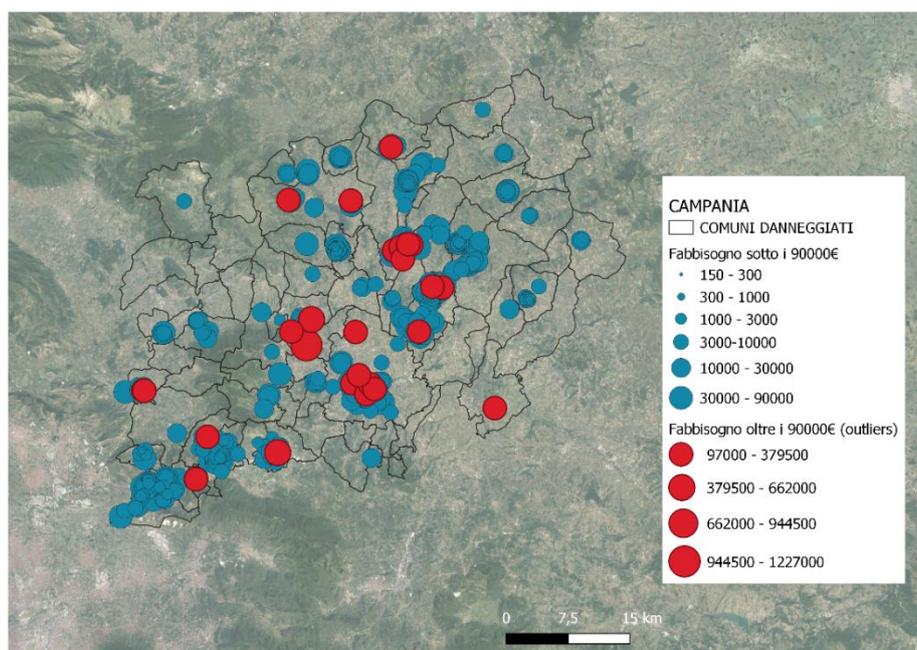


Figura 56 Richieste fabbisogno schede B - sopra e sotto i 90.000€

3.3 Analisi del territorio colpito

3.3.1 Pericolosità idraulica

In secondo luogo, per capire le caratteristiche territoriali, e nello specifico il legame con il rischio idraulico del territorio, si è osservata la distribuzione delle richieste in relazione alla carta del PAI (Piano Assetto Idrogeologico), in cui sono mappate le aree a pericolosità idraulica P1 (pericolosità bassa), che include anche le aree a pericolosità media P2 e pericolosità alta P3 (Figura 57).

Nel nostro caso di studio, si può osservare come in alcune zone le richieste ricadano in prossimità o direttamente in corrispondenza di aree a pericolosità idraulica P1, come la zona di Benevento o la zona di Santa Maria a Vico (rispettivamente Figura 58 e Figura 59). Al contrario, però, diverse aree che risultano colpite dall'evento e in cui vi sono state delle dichiarazioni di fabbisogno, non sono riportate come aree a pericolosità idraulica; ad esempio, i comuni di San Giorgio la Molara, Molinara e Pago Veiano (Figura 60) risultano particolarmente danneggiati, con un elevato numero di schede di tipo B. In totale solo il 7% delle richieste ricade in zone segnalate a pericolosità idraulica e ciò evidenzia i limiti della mappatura di pericolosità. È importante ricordare che la mappatura di pericolosità idraulica del PAI ha una copertura parziale, poiché questa è costruita a partire dai corsi d'acqua principali, andando a escludere in molti casi tratti secondari o tombati. A tal proposito, l'evento in esame dimostra come le aree allagate non derivino unicamente dai tratti principali, cosa che avviene ad esempio a Benevento in prossimità del Fiume Calore, ma anche da tratti del reticolo minore, o da tratti tombati, o da insufficienza della rete idrica fognaria. Le mappe PAI, in sostanza, danno una buona indicazione dell'eventualità di eventi di alluvione diretta da esondazione del reticolo principale. In questo modo

l'analisi dell'esposto e di conseguenza del danno risulta fortemente limitata ai mezzi che si hanno a disposizione così da fornire risultati parziali.

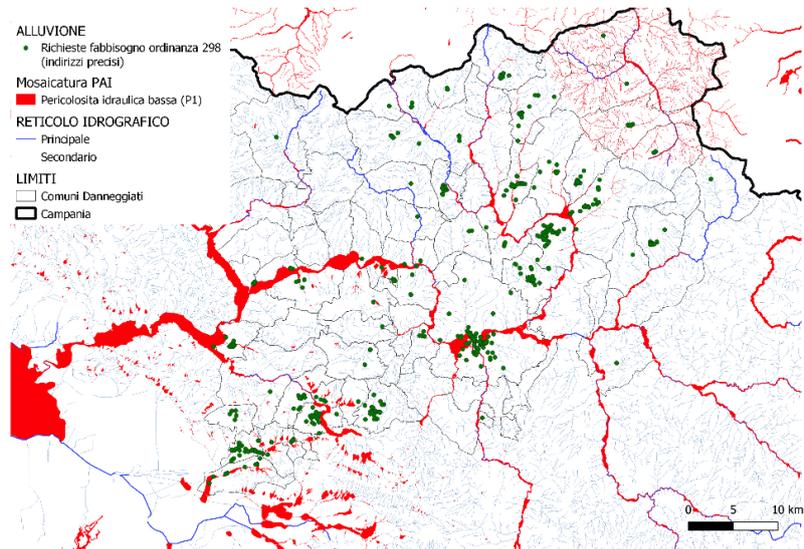


Figura 57 Richieste fabbisogno schede B e pericolosità idraulica P1

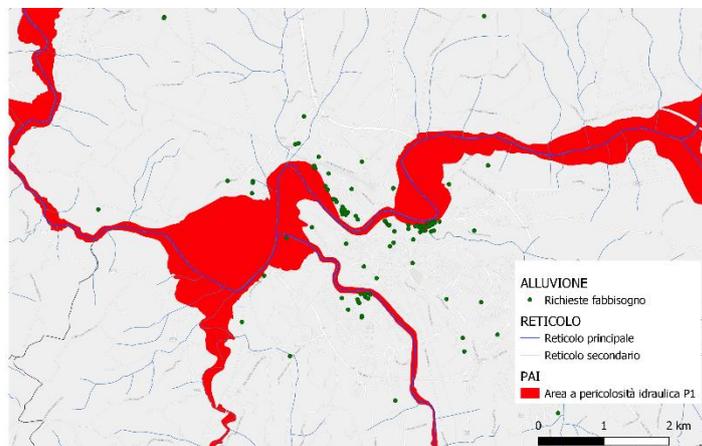


Figura 58 Focus Benevento

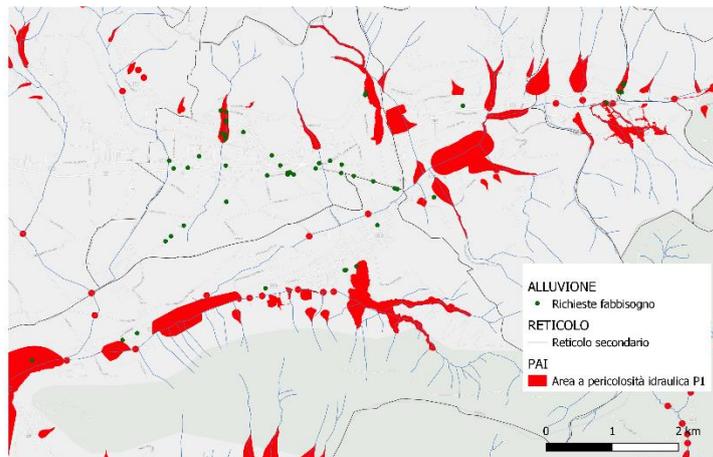


Figura 59 Focus Santa Maria a Vico

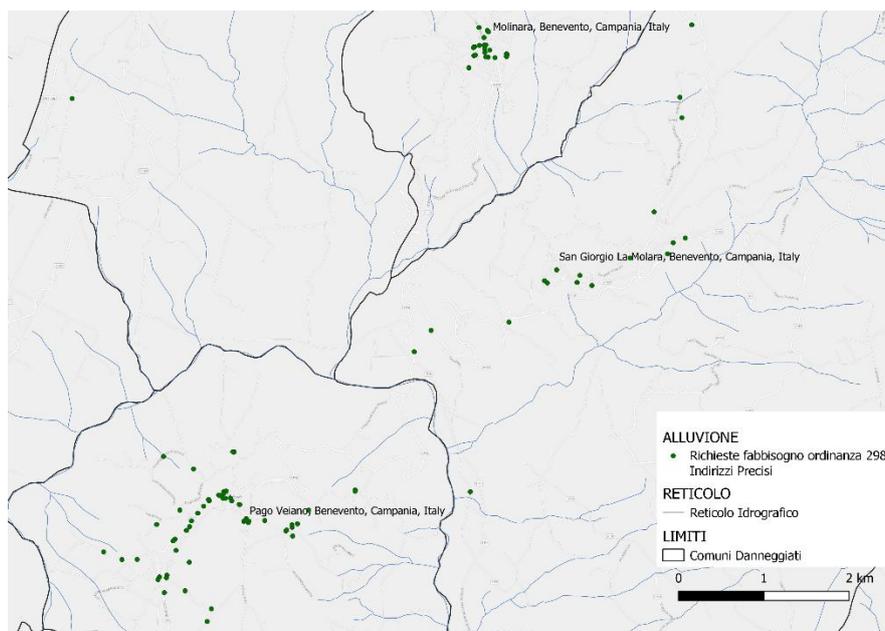


Figura 60 Focus comuni danneggiati

3.3.2 Tipologia di alluvione

Nel rapporto dell’Autorità di Bacino del Liri-Garigliano e Volturno, vi è un approfondimento della dinamica dell’evento e del danno subito per numerosi comuni coinvolti, ma sui comuni che non risultano nelle aree a pericolosità idraulica non sono stati riportati dettagli o immagini. Per questo motivo si è scelto di utilizzare un

modello geomorfologico per individuare quei punti colpiti da alluvione indiretta, per avere una panoramica della dinamica dell'evento in questi termini al fine di porre attenzione a quelle aree che non risultano a rischio. Il modello in questione è stato proposto dalla Dottoressa Pogliani nel suo elaborato di tesi (Pogliani, 2020). La metodologia propone di utilizzare fattori geomorfologici per classificare ciascun punto alluvionato in base alla tipologia di inondazione. Ovviamente utilizzando dati puntuali sul territorio, solamente le richieste di cui è nota la posizione sono prese in considerazione in questa analisi.

I fattori utilizzati sono i seguenti:

3.3.2.1 Distanza dal reticolo

La distanza del reticolo è considerata come un possibile indicatore di alluvione diretta poiché per alluvione diretta si intende la fuoriuscita dell'acqua dall'alveo naturale e la copertura del suolo usualmente asciutto. Quindi, a meno di volumi di acqua estremamente elevati, se un edificio non si trova in prossimità del reticolo è poco probabile che questo venga colpito dall'esonazione, e quindi in caso di alluvionamento questo potrebbe essere dovuto ad altre cause, come ad esempio in caso di deficit del sistema fognario. In Figura 61 si può osservare un focus sull'area di Pago Veiano, comune in cui le richieste risultano distanti dal reticolo, infatti dalle testimonianze dei cittadini, accadde una grave insufficienza della rete fognaria per cui l'acqua fuoriuscì dalle caditoie allagando il centro abitato e provocando ingenti danni. Sul totale delle richieste (Figura 62) circa il 25% di esse ricade nei primi 100m dal reticolo, mentre la maggior parte, il 45%, ricade tra i 200m e i 300m, il restante 30% ricade oltre i 300m.

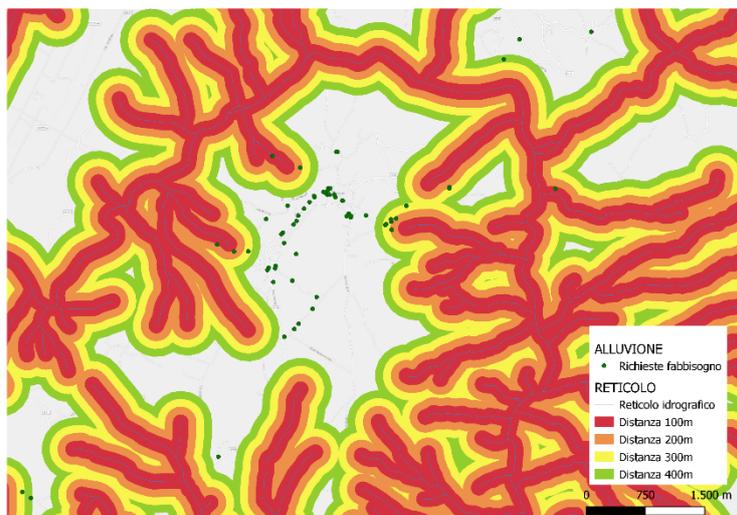


Figura 61 Reticolo idrografico, buffer 100m, 200m, 300m e 400 m - focus Pago Veiano

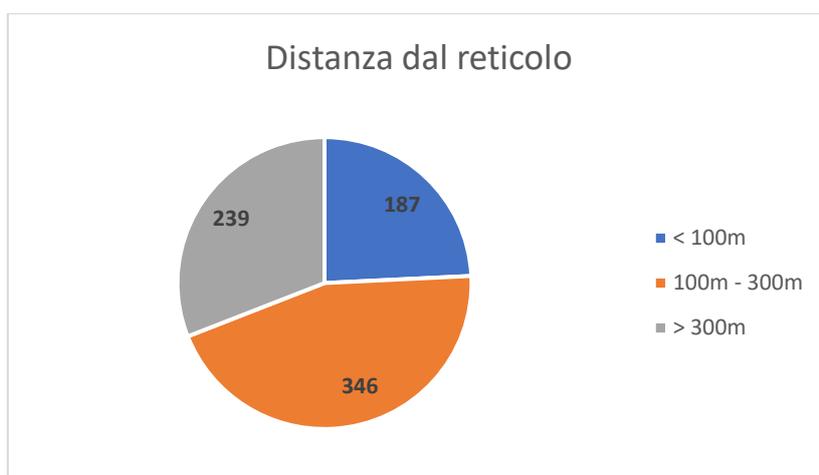


Figura 62 Distribuzione richieste nelle 3 classi di distanza dal reticolo idrografico

3.3.2.2 Permeabilità del terreno

La permeabilità del terreno è un fattore assai rilevante negli studi sui fenomeni alluvionali, poiché rappresenta la capacità del terreno di assorbire o di far defluire le acque che scorrono sullo stesso. È stata utilizzata la carta litologica e le diverse tipologie di terreno sono state aggregate in 5 classi per capacità di infiltrazione, percolazione e circolazione di acqua nel sottosuolo (bassa, medio bassa, media, medio

alta e alta) e successivamente ridivise in 3 classi ai fini della nostra analisi (bassa, media e alta). In Figura 63 osserviamo la permeabilità del terreno nelle 5 classi ed è facilmente intuibile che la prevalenza di permeabilità bassa e medio bassa, che nello specifico racchiudono complessi rocciosi come complessi sabbioso conglomeratici, piroclastici e lacustri (classe medio bassa), e depositi argillosi (classe bassa). Le aree meno permeabili sono chiaramente più esposte al rischio di alluvione, poiché il terreno ha minore capacità di assorbire acqua, provocando così deflusso superficiale. La quasi totalità delle richieste di fabbisogno risulta in aree a bassa e media permeabilità, e solo il 3% in aree ad alta permeabilità (Figura 64). Questo risultato è coerente con il fatto che le richieste rappresentano punti alluvionati.

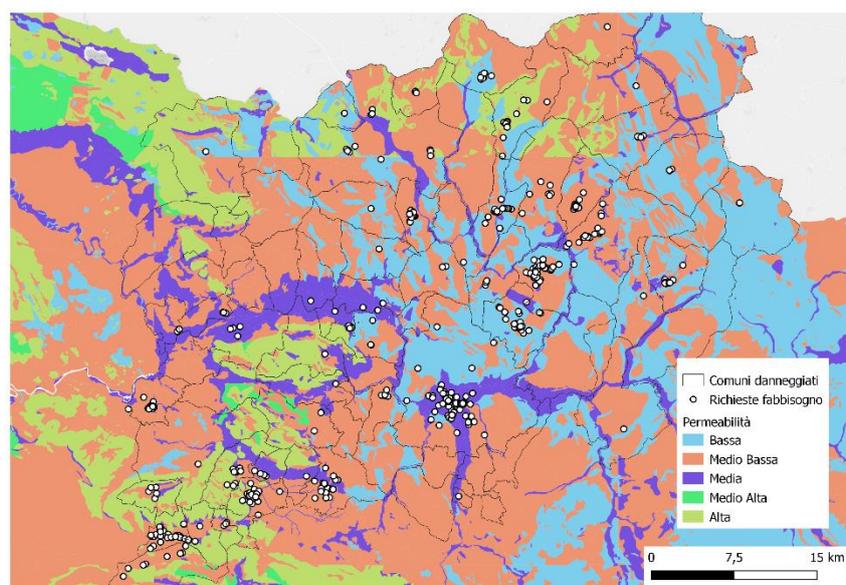


Figura 63 Permeabilità dell'area colpita dall'evento

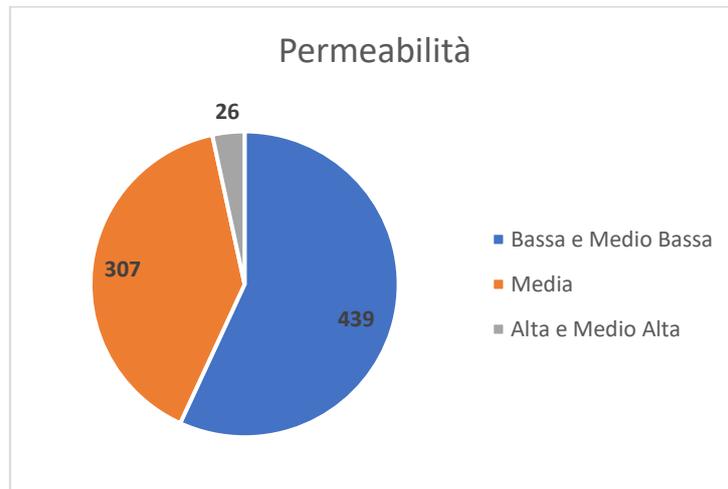


Figura 64 Distribuzione richieste nelle 3 classi di permeabilità

3.3.2.3 Quota assoluta

Si è considerata la quota assoluta, estratta dal DTM 5x5 disponibile sul sito del Geoportale della regione Campania e si è classificato il territorio in 3 classi: pianura, quota assoluta minore di 300m, collina, quota assoluta tra 300m e 600m, e montagna, quota assoluta maggiore di 660m. La morfologia del terreno risulta varia, con una prevalenza di richieste in area di pianura (52%), a seguire il 36% delle richieste si trova in collina e il restante 12% in aree montuose.



Figura 65 Distribuzione richieste nelle 3 classi di quota assoluta

3.3.2.4 Quota relativa

Per quota relativa si intende la quota relativa rispetto al reticolo e in particolare al corso d'acqua più vicino. Il metodo che è stato utilizzato per ricavare il fattore predisponente della quota relativa prevede che per ogni pixel si calcoli la differenza di quota tra la cella stessa e il corso d'acqua più vicino, ottenuto come minimo locale. Per essere sicuri che il punto individuato come minimo locale all'interno del raggio sia con buona certezza un punto del reticolo (e di conseguenza quindi per scegliere un raggio corretto) si fa riferimento al concetto di densità di drenaggio e quindi di distanza media tra i corsi d'acqua così da ottenere un layer nel quale ogni pixel contiene la quota minima nel determinato raggio d'azione. Il minimo si suppone essere coincidente con il reticolo idrografico che generalmente risulta essere il tratto più depresso. Operativamente, è stata calcolata la massima distanza di ruscellamento superficiale come metà della distanza media tra i corsi d'acqua, così da definire il raggio all'interno del quale esplorare il minimo locale:

$$l_0 = \frac{1}{2D}$$

l_0 è detto "length of overland flow" e D è la densità di drenaggio.

Le richieste di fabbisogno ricadono per poco più del 50% nella classe di quota relativa sotto i 20m, mentre le restanti si dividono quasi equamente nella classe 20m-40m e nella classe con quota relativa maggiore di 40m.



Figura 66 Distribuzione richieste nelle 3 classi di quota relativa

3.3.2.5 Geomorfon

Per caratterizzare ancora meglio il territorio, è stato utilizzato l'approccio dei *geomorfon* proposto da Stepinski & Jasiewicz, 2016 che propone di assegnare pattern geomorfologici al terreno, in base all'altitudine del terreno, andando a mediare le discontinuità del terreno così da poter individuare un fenotipo geomorfologico. Il geomorfone rappresenta una particolare tipologia geomorfologica del terreno e può distinguere tra zone vallive, creste, altipiani, e altro. In Figura 67 sono riportati i 10 tipi di geomorfon che si possono distinguere.

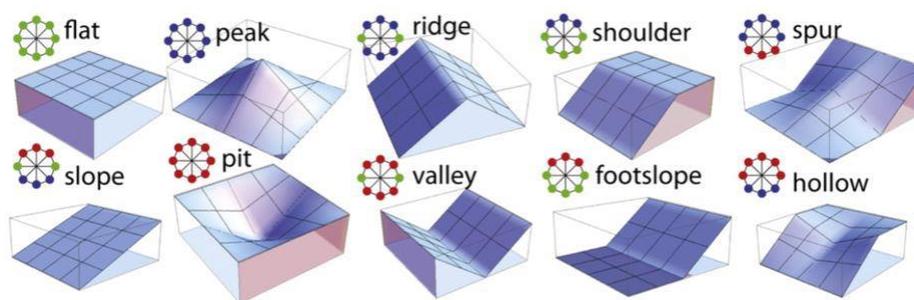


Figura 67 Tipi di geomorfon

Sul territorio in esame, è prevalente la forma slope, ridge e valley. Le tipologie più soggette a inondazioni sono *flat*, *hollow*, *valley*, *footslope* e *pit* che vanno quindi a rappresentare la classe in cui l'alluvione potrebbe essere diretta e in questa rientrano il 53% delle richieste totali. Il restante 33% e 14% sono divisi nelle classi che raccolgono rispettivamente i geomorfoli spur e slope, e peak, ridge e shoulder Figura 69.

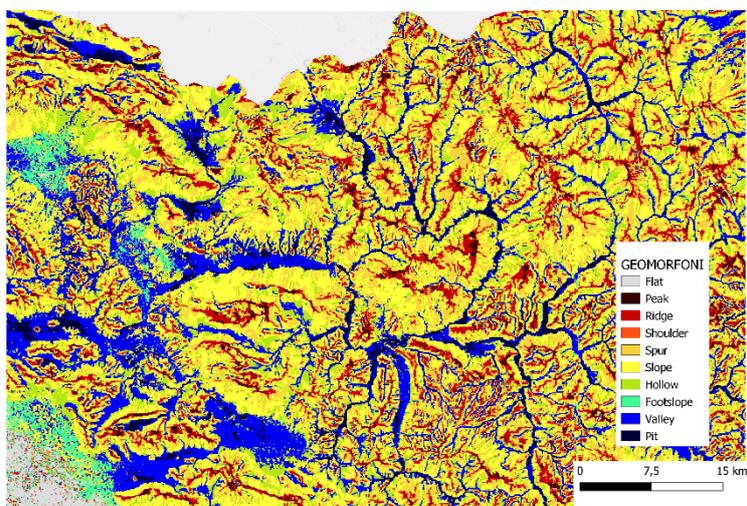


Figura 68 Geomorfoli dell'area colpita

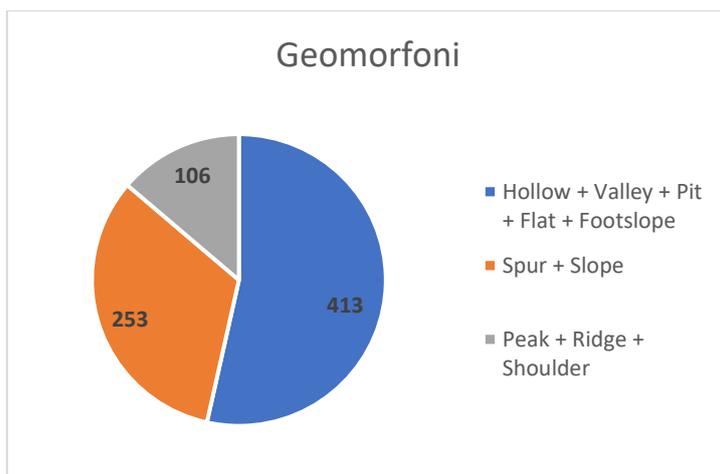


Figura 69 Distribuzione richieste nelle 3 classi di geomorfoli

3.3.3 Classificazione richieste

In Tabella 22 è riportata la classificazione generale delle inondazioni, divise per tipo diretto, misto e indiretto. Ciascun fattore, come già osservato nella descrizione di ciascuno, è stato diviso in 3 classi in base all'eventualità che essi siano punti in cui l'alluvione è stata diretta, mista o indiretta. A ciascuna classe, per ogni fattore, è stato assegnato un valore da 1 a 3, dove 1 rappresenta la classe in cui l'alluvione è presumibilmente diretta e 3 indiretta. Per ogni richiesta, sono stati sommati i valori delle classi di appartenenza e in fine si è applicata la classificazione nelle tre tipologie di alluvione. In Figura 70 si può osservare il territorio colpito dall'evento e la distribuzione delle richieste per tipologia di alluvione.

Il 51% delle richieste sono dovute ad alluvioni dirette, il 40% ad alluvioni miste e il 9% ad alluvioni indirette.

È interessante notare, che a validazione di questo modello, i punti che ricadono nelle aree segnalate dalla mappatura PAI sono stati tutti classificati come alluvione diretta tramite il modello sopra spiegato.

Tabella 22 Classificazione fattori geomorfologici

TIPOLOGIA ALLUVIONE	INONDAZIONE DIRETTA	TIPOLOGIA MISTA	INONDAZIONE INDIRETTA
Quota assoluta [m]	<300	300-600	>600
Distanza dal reticolo [m]	100	300	>300
Permeabilità	Bassa + Medio Bassa	Media	Alta + Medio Alta
Geomorfone	Hollow + Valley + Pit + Flat + Footslope	Spur + Slope	Peak + Ridge + Shoulder
Quota relativa	<20	20-40	>40

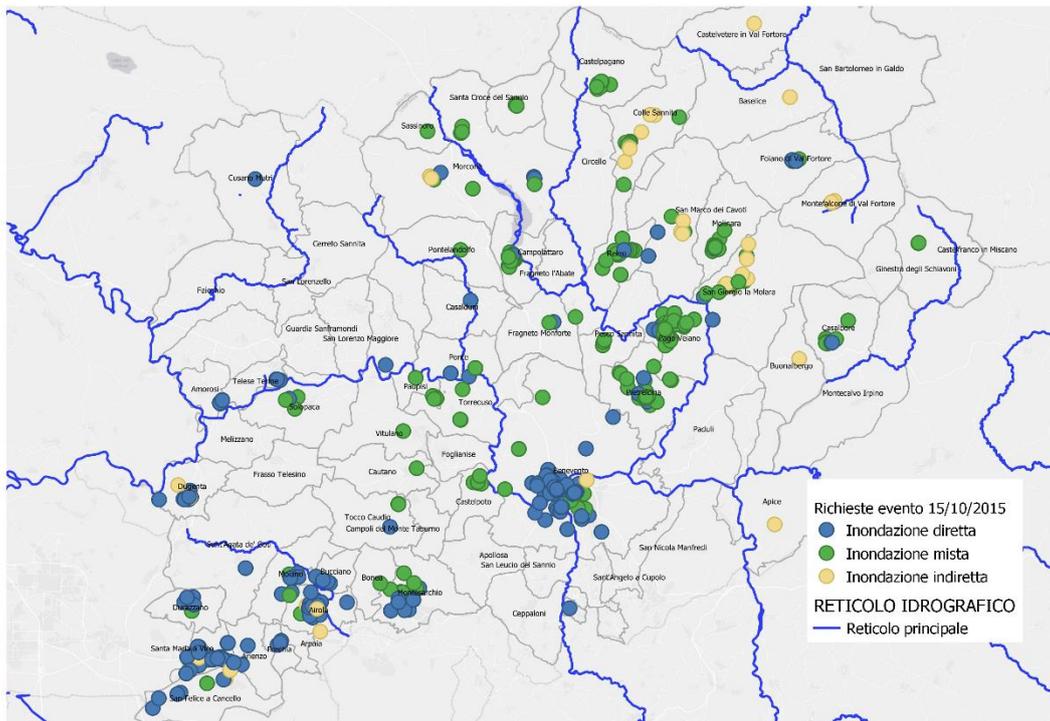


Figura 70 Classificazione richieste in alluvione diretta, mista e indiretta

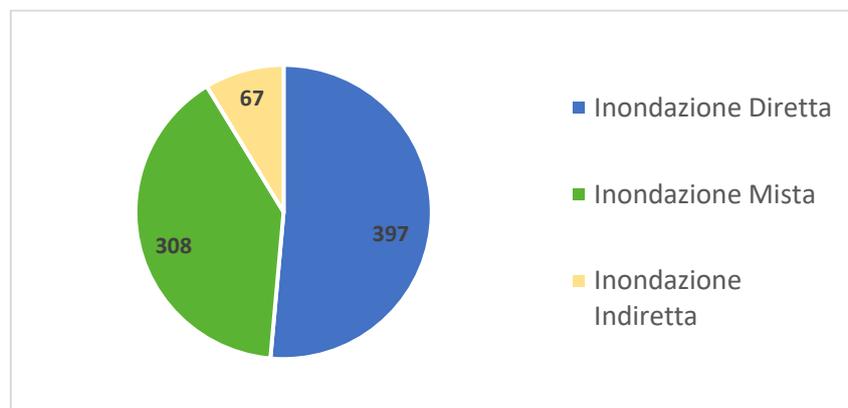


Figura 71 Distribuzione delle richieste in alluvione diretta, mista e indiretta

3.3.4 Vulnerabilità sociale

A questo punto il tentativo è stato quello di spiegare la distribuzione del danno nei comuni coinvolti dall'evento del 15 ottobre 2015, in termini di vulnerabilità sociale, ossia di Social Vulnerability Index (SoVI). Come si può osservare in Figura 72 e in

Figura 73, la maggior parte dei comuni sono in classe di vulnerabilità sociale media, i rimanenti si dividono equamente attorno a tale classe, con 12 comuni con vulnerabilità sociale medio alta e 15 medio bassa. I comuni a Sud Ovest che si collocano nelle classi di SoVI più elevate sono principalmente comuni della provincia di Caserta.

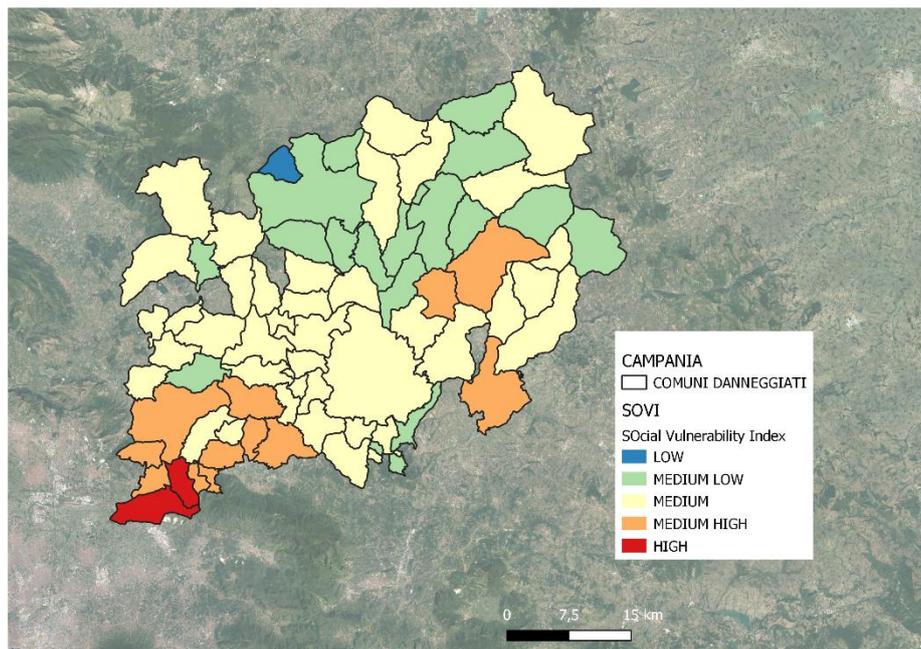


Figura 72 Mappa Social Vulnerability Index dei comuni colpiti dall'evento

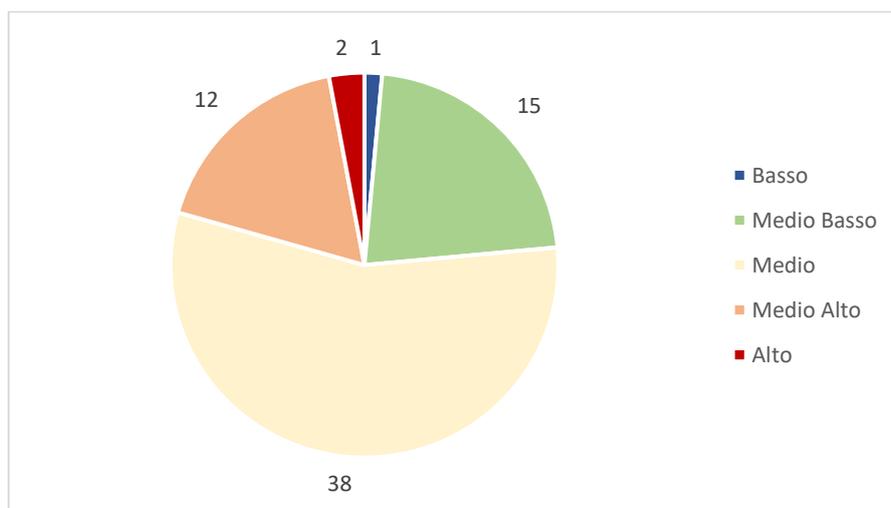


Figura 73 Divisione dei comuni per classe di SoVI

Si è successivamente tentato di capire se vi fosse una correlazione fra l'entità del danno, in termini di produzione di schede e di valore economico delle stesse, e la vulnerabilità sociale. Nelle figure successive (Figura 74, Figura 75, Figura 76) vengono mostrati il fabbisogno totale per km² di ciascun comune e il numero di richieste per km² in relazione al valore di SoVI. Per ciascuna classe, in particolar modo nella 2, 3 e 4 (rispettivamente : medio bassa, media e medio alta), i valori del danno al km² non si collocano intorno a particolari valori, e tra di loro le medie e le deviazioni standard risultano omogenee. Con questo tipo di analisi non è possibile affermare che vi sia una correlazione fra l'entità del danno e il valore o la classe di vulnerabilità sociale dei comuni colpiti.

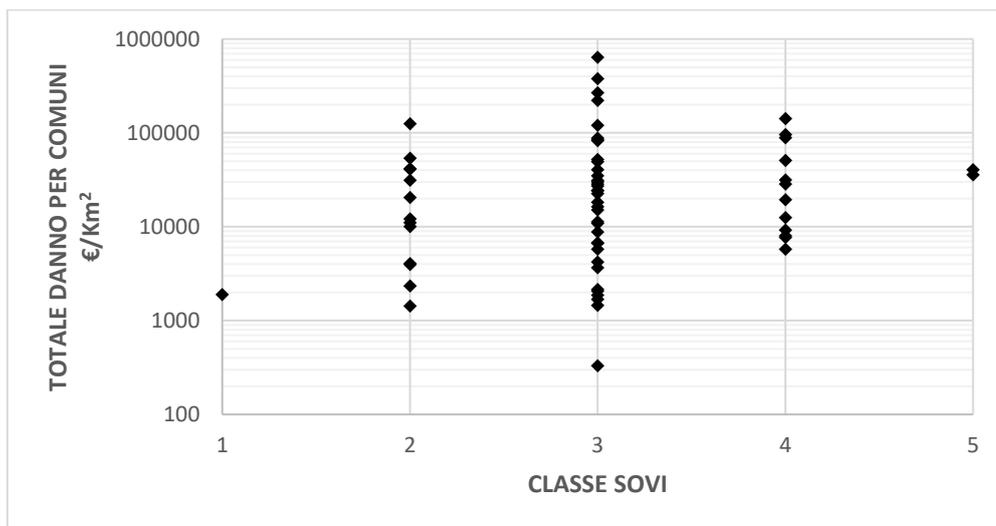


Figura 74 Fabbisogno al Km² per classe di SoVI

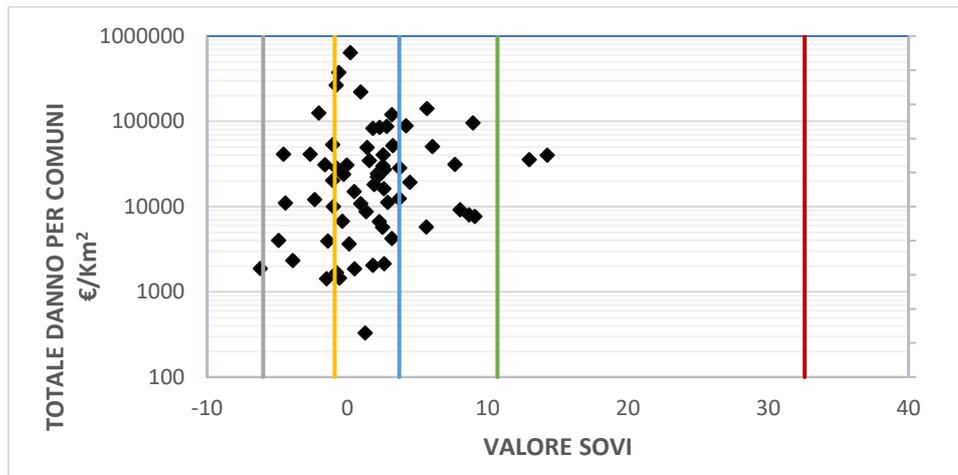


Figura 75 Fabbisogno al Km² per valore di SoVI, le barre rappresentano il confine delle classi di SoVI

Ugualmente, osservando il numero di richieste sulla superficie dei comuni, non compare un particolare comportamento nei dati che possa mostrare una correlazione fra essi.

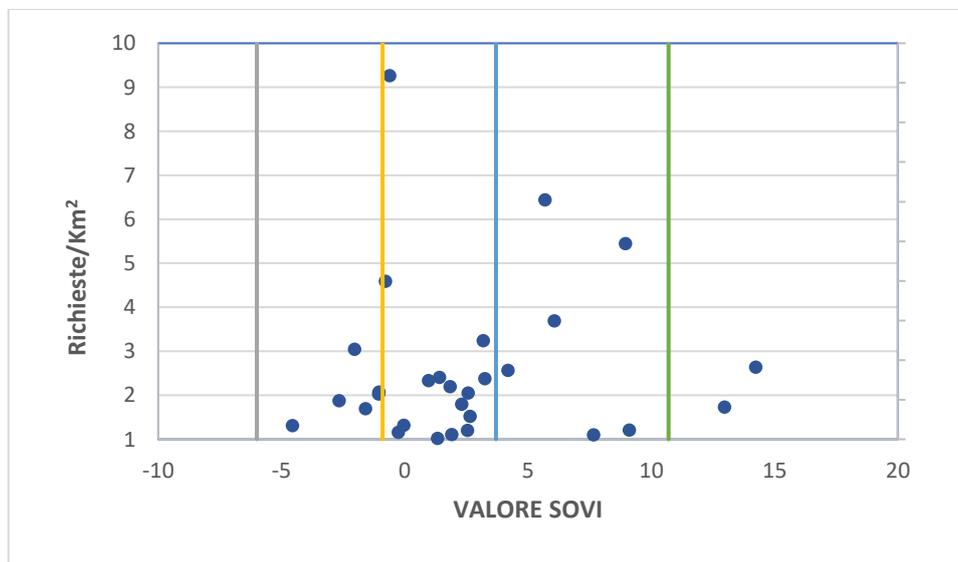


Figura 76 Richieste al Km² per valore di SoVI, le barre rappresentano il confine delle classi di SoVI

In conclusione, lo studio di questo evento ci consente di rimarcare il fatto che le schede raccolte in fase di ricognizione dal Commissario Delegato della Protezione Civile,

rappresentano un proxy del danno che si subisce in seguito ad un evento, ma con diverse limitazioni.

La singola scheda fornisce una versione soggettiva del danno, poiché la dichiarazione della necessità di fabbisogno è un'autovalutazione del singolo cittadino.

Dalla raccolta delle schede non è immediato conoscere quale sia il motivo del danno, poiché non è specificato il tipo di fenomeno avvenuto nell'area e di conseguenza sono necessari ulteriori studi per comprendere la dinamica dell'evento e la singola scheda non consente di spiegarlo. Anche le tipologie di evento dichiarate nelle ordinanze racchiudono spesso fenomeni complessi (alluvione diretta ed indiretta, meteo avverso...).

Le schede spesso risultano incomplete o poco precise, causando così una difficoltà nell'uniformazione del dataset per analisi post evento.

Le mappe di pericolosità del PAI non sono sufficienti per la previsione delle aree allagate in quanto non cattura possibili fenomeni come le indirette, dovute ad esempio dall'insufficienza rete fognaria che, come si è visto, è causa di ingenti danni.

La vulnerabilità sociale da sola non può spiegare l'entità del danno, poiché non si può prescindere dalle complesse dinamiche degli eventi. Soprattutto, in questo caso si sono confrontati comuni appartenenti principalmente alla stessa provincia (Benevento), quindi non ci si aspetta che il tessuto sociale e le caratteristiche territoriali varino in modo apprezzabile fra un comune e l'altro.

4. Fattori predisponenti della generazione del danno a scala regionale

4.1 Fabbisogno specifico

Finora, l'analisi del danno a scala comunale ha presentato discrepanze e fattori di confusione e non è stato possibile individuare degli indicatori che spiegassero per ciascun comune l'entità del danno. Si è quindi scelto di proseguire gli studi svolti da dai ricercatori del dipartimento DICA del Politecnico di Milano, sul fabbisogno specifico per unità di superficie (Manselli et al., 2022; Pogliani, 2020; Pogliani et al., 2021; Verga, 2017). Nel contesto degli studi appena citati, il danno specifico, inteso come danno per unità di superficie alluvionabile, è una grandezza individuata in fase di formulazione di un modello di regressione nominato zero-order (per la dipendenza di ordine zero dal tirante idrico), finalizzato alla valutazione rapida del danno, nell'immediato post evento. Il danno specifico viene così inteso:

$$s = \frac{D}{S_v}$$

D, danno totale riportato da edifici residenziali:

$$D = \sum \text{fabbisogni comunali}$$

S_v , superficie vulnerata, è la stima dell'area degli edifici residenziali alluvionati:

$$S_v = \text{numero di schede} \cdot \text{superficie media di un piano}$$

La superficie media di un piano viene calcolata grazie ai dati del censimento ISTAT (ISTAT, 2011) come segue:

$$\text{Superficie media di un piano} = \frac{S_r}{\sum_{i=1}^n iR_i}$$

S_r è la superficie totale calpestabile nelle abitazioni occupate da almeno un residente [m²], n è il numero di piani massimo, in questo caso quattro, e R_i è il numero di edifici con i -piani.

Nei precedenti studi il modello è stato applicato in due macroaree omogenee in termini di completezza del dataset e caratteristiche territoriali; i comuni considerati vengono così raggruppati in due diversi set associabili a nord e sud Italia. In Manselli et al., 2022 si nota una chiara differenza fra il fabbisogno specifico nelle due ripartizioni geografiche, per cui il valore associato al sud Italia risulta circa cinque volte maggiore rispetto al nord Italia. Si è quindi scelto di proseguire questa strada per individuare quali possano essere i fattori che regolano l'intensità del fabbisogno specifico.

Nel presente elaborato di tesi si considerano come unità territoriali le regioni e, nonostante la diversa aggregazione nel dataset, vedremo come i risultati risultino fra di essi comparabili. In Figura 77 si osserva il fabbisogno totale e la superficie vulnerata delle regioni e per una migliore comprensione notiamo che il rapporto tra le due grandezze, il fabbisogno specifico, varia notevolmente tra le regioni del centro \ nord Italia e Sud Italia e Isole (Tabella 23). Si osserva una forte omogeneità tra alcuni gruppi di regioni:

- Tra 0 – 200 €/m² per Emilia-Romagna, Lazio, Toscana e Veneto
- Tra 200 – 500 €/m² per Sardegna, Liguria, Marche, Sicilia e Abruzzo
- Oltre i 500 €/m² per Basilicata, Calabria e Puglia.

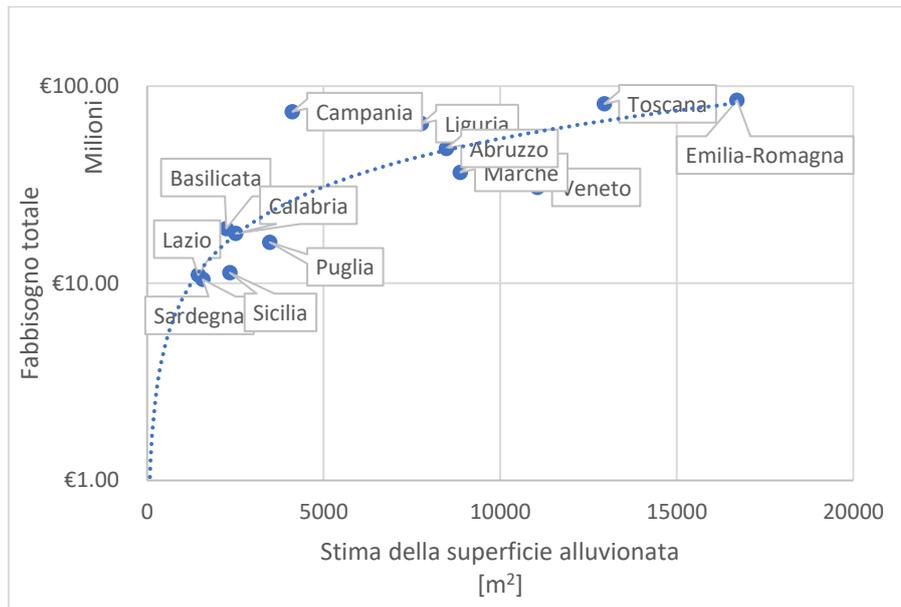


Figura 77 Stima della superficie alluvionata e fabbisogno totale

Tabella 23 Fabbisogno specifico delle regioni

Regione	Fabbisogno Specifico [€/m²]
Puglia	641.5
Calabria	599.5
Basilicata	581.7
Abruzzo	409.8
Campania	401.7
Sicilia	321.2
Marche	263.9
Liguria	248.8
Sardegna	201.4
Emilia-Romagna	166.9
Veneto	148.0
Toscana	146.3
Lazio	94.4

Nelle successive analisi tre regioni sono escluse, poiché esse presentano un deciso scostamento dalla tendenza complessiva dei dati. Si tratta della Sardegna e della Sicilia, regioni evidentemente atipiche rispetto a quelle continentali, una delle quali peraltro a statuto speciale, e della Campania. Per quest'ultima si ricorda che i dati provengono da un unico stato di emergenza che ha interessato la provincia di Benevento. Tale evento è stato approfondito con uno specifico studio nel corso della tesi. Si ritiene tuttavia che il campione statistico, per quanto esteso, sia riferito ad una unica realtà territoriale che non dà conto del generale trend della regione.

4.2 Fattori territoriali

Esaminando la percentuale di superficie che si trova in area di pericolosità idraulica P1, vediamo che mediamente i valori sono più alti nel nord: per le regioni del nord Italia, e la Toscana, più del 20% di superficie ricade in questa fascia, fatta eccezione per Piemonte, Liguria e Trentino-Alto Adige. Le restanti regioni di Italia hanno tutte, tranne la Calabria, meno del 10% in area P1 (Figura 79). Questo non sembrerebbe spiegare il perché in Sicilia, Calabria, Basilicata e Puglia vi sia un così elevato numero di ordinanze. Osservando l'esposto, in termini di percentuale di edifici e di abitanti in pericolosità P1, notiamo una distribuzione simile delle regioni, per cui al centro e al nord l'esposto è più elevato rispetto al sud (Figura 80, Figura 81). In particolare, le uniche regioni con percentuale di popolazione in area P1 sotto il 20% sono Calabria, Puglia, Sicilia, Basilicata e Molise; lo stesso vale per la percentuale di edifici a cui si aggiunge anche il Lazio. A rafforzare il fatto che non sembra esserci un legame fra la percentuale di esposto in area a pericolosità idraulica, e il numero delle ordinanze, vediamo che non vi è correlazione lineare fra il fabbisogno specifico e la percentuale di edifici in area P1 (Figura 82).

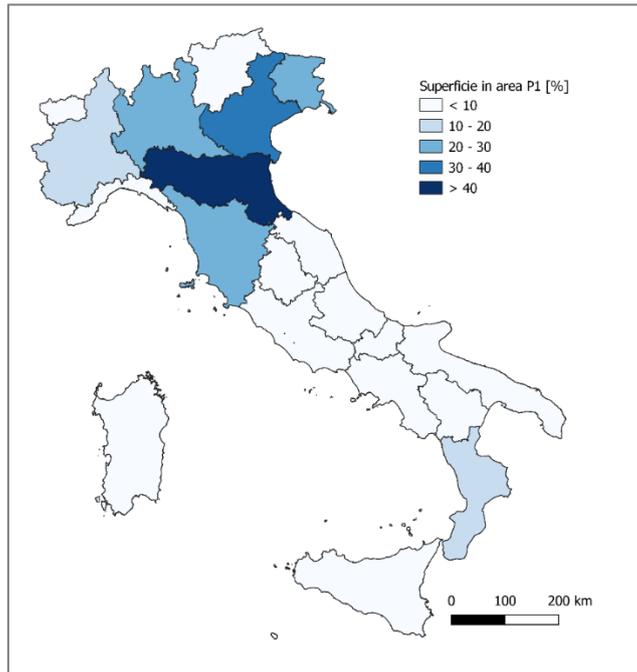


Figura 79 Superficie in area di pericolosità idraulica P1

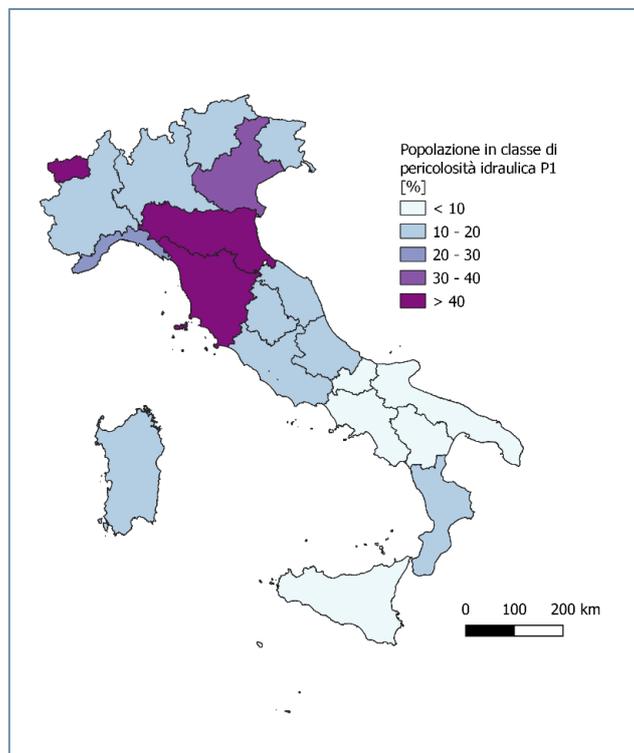


Figura 80 Popolazione in classe di pericolosità idraulica P1

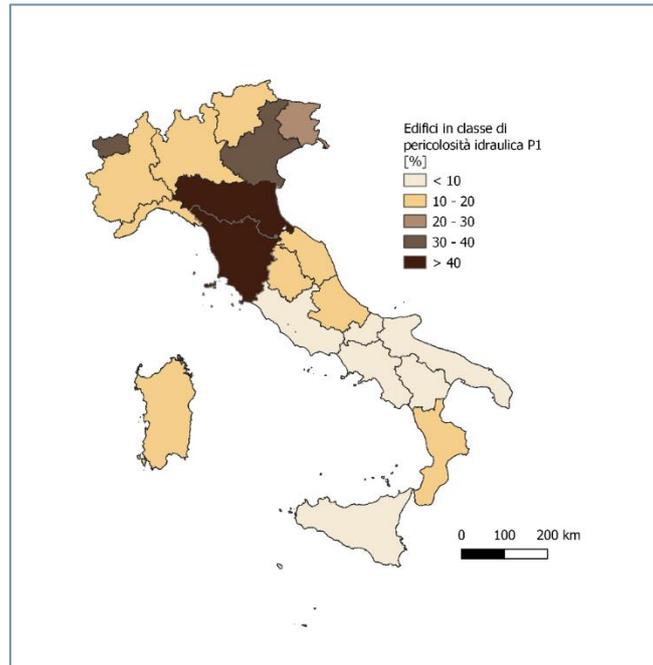


Figura 81 Edifici in classe di pericolosità idraulica P1

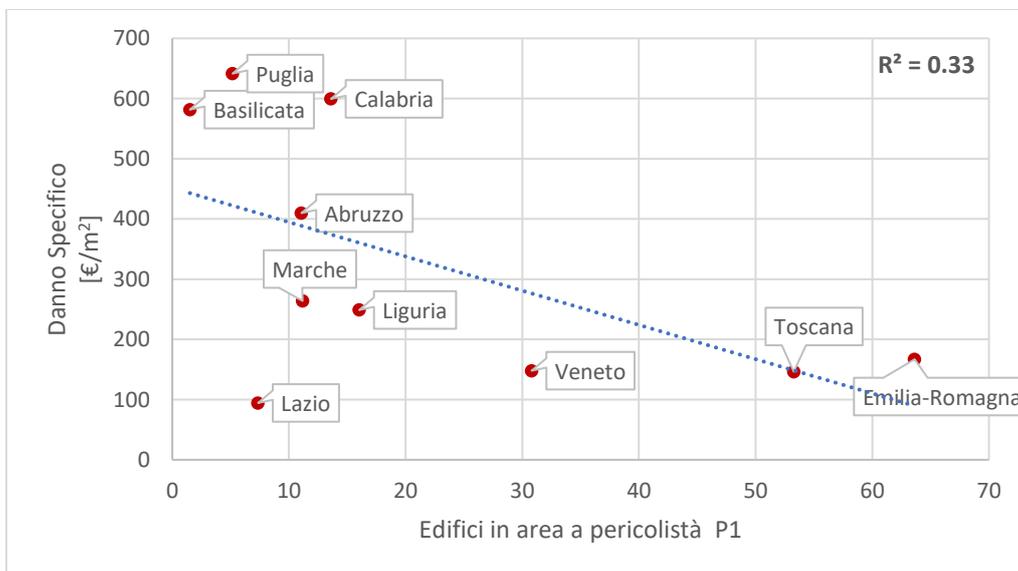


Figura 82 Danno specifico e Edifici in area P1

4.3 Fattori del tessuto urbano

Per approfondire l'aspetto urbano delle regioni, sono stati indagati alcuni fattori caratterizzanti la tipologia di edificato nelle diverse regioni, desumibili dai dati disponibili del censimento ISTAT.

Un primo indicatore che osserviamo è la percentuale di edifici residenziali ad un piano, poiché, come visto in precedenza, assumiamo che in caso di alluvione la presenza di più edifici ad un piano incrementi l'esposto all'evento e quindi l'eventuale danno (Manselli et al., 2022). La Puglia è la regione con il maggior numero di edifici ad un piano. Si nota in Figura 83 una debole correlazione con il danno specifico nonostante la tendenza positiva, tranne per alcune eccezioni come il Lazio.

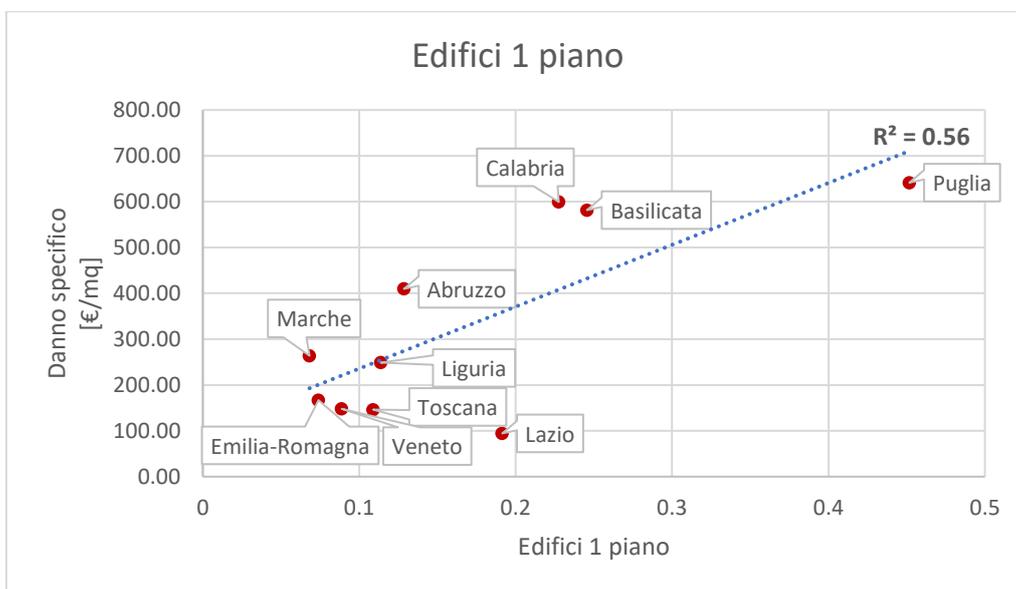


Figura 83 Danno specifico e percentuale edifici ad 1 piano

La correlazione cresce leggermente se si considera come indicatore l'abusivismo edilizio (fonte dati ISTAT), inteso come il numero di edifici abusivi ogni cento edifici (Figura 84). La Calabria con il 64% è la regione col maggior tasso di abusivismo.

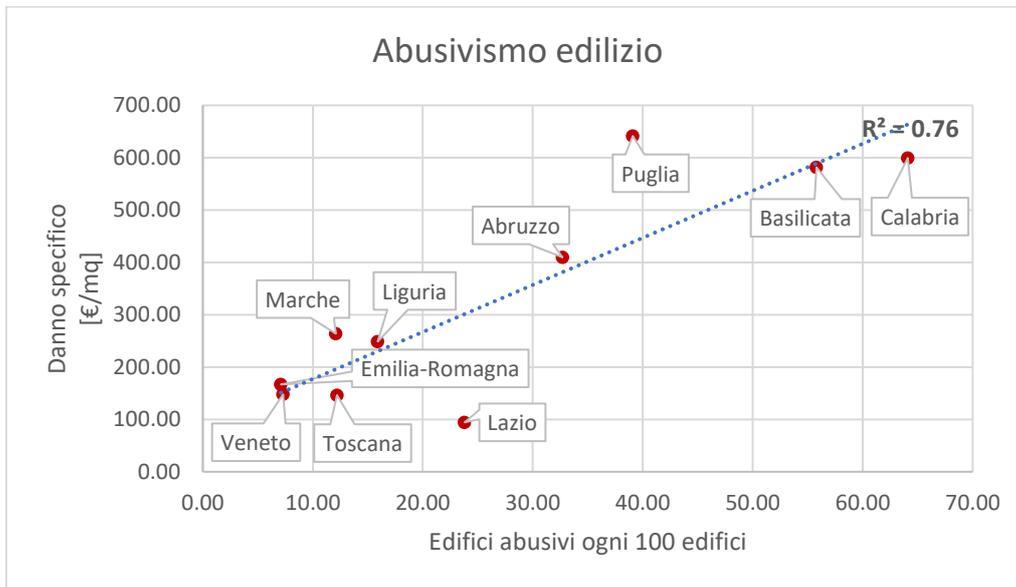


Figura 84 Danno specifico e abusivismo edilizio

Un ulteriore fattore analizzato, con una correlazione molto bassa con il danno specifico (Figura 85), è la percentuale di persone che vivono in abitazioni di bassa qualità, ossia in abitazioni sovraffollate e che presentano almeno uno tra i seguenti problemi: a) problemi strutturali; b) non avere bagno/doccia con acqua corrente; c) problemi di illuminazione.

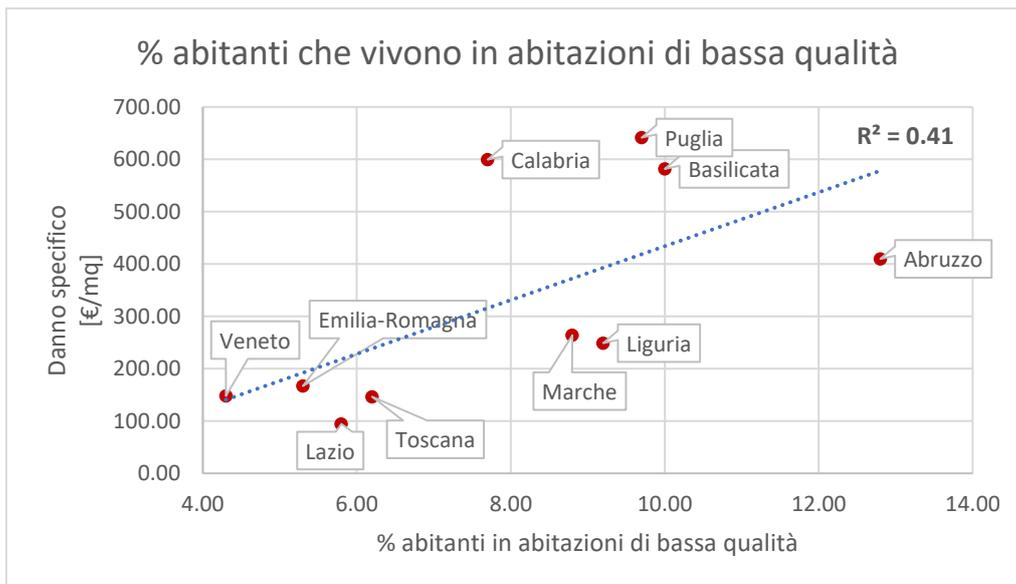


Figura 85 Danno specifico e popolazione che vive in abitazioni di bassa qualità

4.4 Fattori del tessuto socioeconomico

Nell'ultima fase dell'elaborato sono stati presi in considerazione diversi aspetti del tessuto socioeconomico, sintetizzati in alcuni indicatori. Abbiamo potuto osservare come sia attestato in letteratura un legame tra le condizioni sociali ed economiche della popolazione e il modo in cui quest'ultima reagisce e recupera in seguito ad un evento calamitoso. Si vuole osservare, quindi, se vi sia una relazione fra il danno riportato nei comuni colpiti, in termini di danno specifico per unità di superficie, e alcuni indici selezionati, relativi alla popolazione.

4.4.1 Prodotto Interno Lordo

Il primo indicatore analizzato è il Prodotto Interno Lordo, PIL, che da un'indicazione dello stato di salute dell'economia del paese. Questo include beni di consumo, beni di investimento e prodotti finali. Tiene conto dei consumi delle famiglie, degli investimenti delle imprese e dei singoli, della spesa pubblica e delle esportazioni nette.

Il PIL viene spesso utilizzato come indicatore di resilienza (Cutter et al., 2008), in particolare il livello di reddito è stato identificato come un importante indicatore socioeconomico di vulnerabilità ai rischi naturali (Cutter et al., 2003; King et al., 2000; Menoni et al., 2012).

Il PIL è un indicatore puramente economico e ne osserviamo il valore medio per capita nelle regioni (Figura 86) del 2017, poiché il fabbisogno considerato in questo studio è relativo al periodo 2013 – 2020 e si è così scelto un riferimento intermedio.

In Figura 87 notiamo l'elevata correlazione lineare tra il fabbisogno specifico e il PIL per capita e osserviamo come le regioni Calabria, Puglia e Basilicata si distinguono dalle regioni del centro e nord Italia. Questo si può considerare come un primo successo in questa fase di analisi, poiché possiamo considerare la condizione economica delle regioni come un driver dell'intensità del danno.

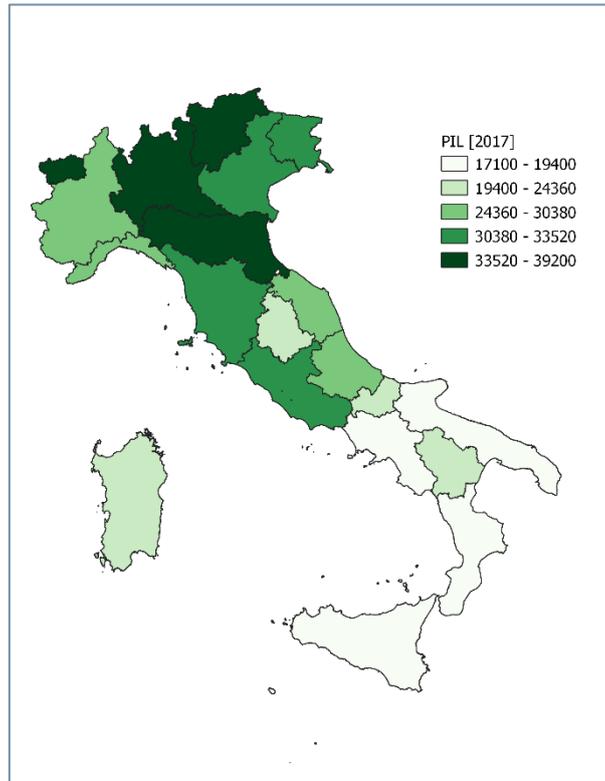


Figura 86 PIL per capita, (ISTAT, 2018)

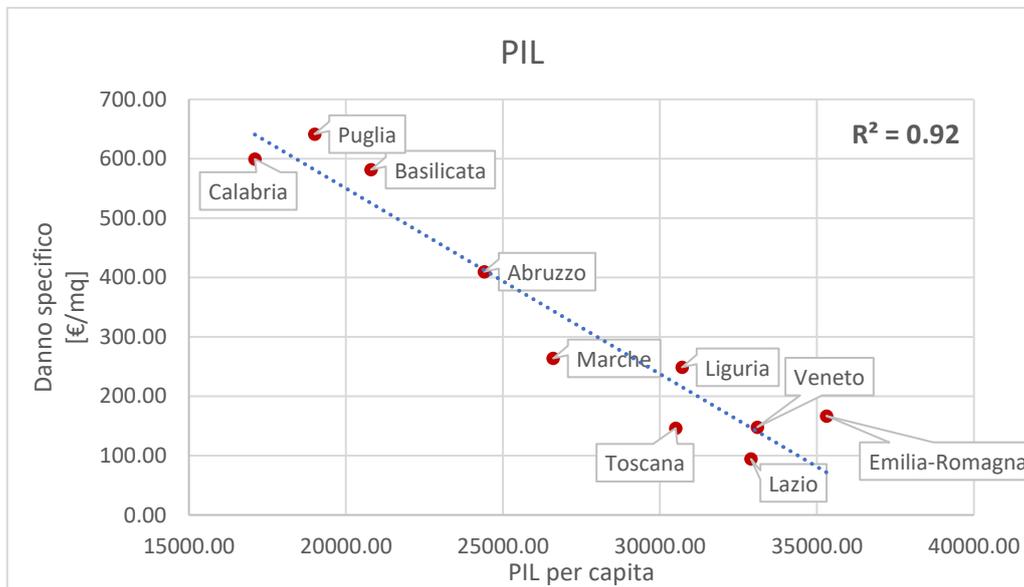


Figura 87 Danno specifico per PIL per capita

4.4.2 Indice di Sviluppo Umano

L'indice di Sviluppo Umano (ISU) è un indice multidimensionale di sviluppo macroeconomico che descrive la qualità della vita delle unità territoriali come media geometrica di tre indicatori:

$$ISU = \sqrt[3]{IAV \cdot II \cdot IR}$$

- Indice di aspettativa di vita (IAV), funzione dell'aspettativa di vita alla nascita
- Indice di istruzione (II), funzione degli anni medi di istruzione e anni previsti di istruzione
- Indice di reddito (IR), funzione del reddito nazionale lordo pro capite espresso in dollari statunitensi

È un indicatore che a differenza del PIL, non tiene conto unicamente dello stato economico del paese, o della regione, ma anche di aspetti legati alla vita della popolazione, ed introduce quindi una componente sociale.

In Figura 88, osserviamo la distribuzione dell'ISU nelle regioni Italiane e, nuovamente, possiamo constatare la notevole differenza fra alcune regioni del sud e del nord Italia. Come per il PIL, anche l'ISU ha una forte correlazione lineare con il fabbisogno specifico delle regioni ($R^2=0.91$). Puglia, Basilicata e Calabria rappresentano un cluster, ma in generale la distribuzione delle regioni sul grafico ISU è molto simile a quella del PIL. Sebbene l'Abruzzo appartenga alla macroarea del sud Italia, questa regione ha un comportamento, sia in termini di fabbisogno specifico, sia di ISU e PIL, molto più simile alle regioni del centro e nord Italia. L'Emilia-Romagna resta la regione con il valore maggiore sia di PIL che di ISU.

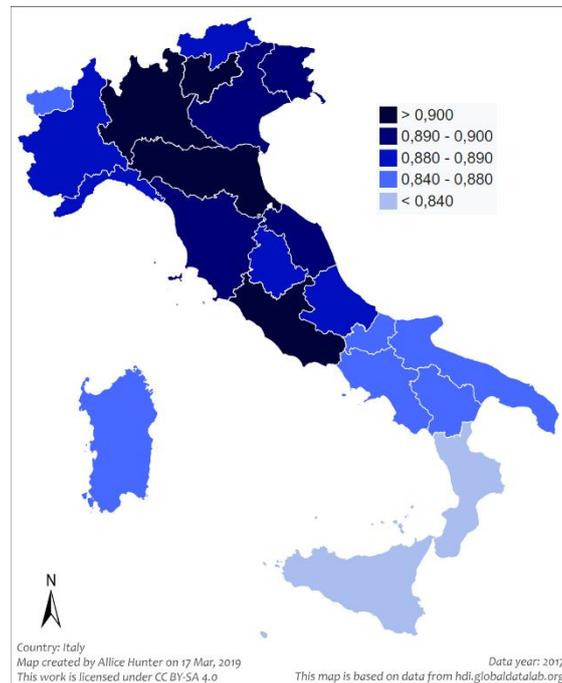


Figura 88 Indice di sviluppo umano (Smits et al., n.d.)

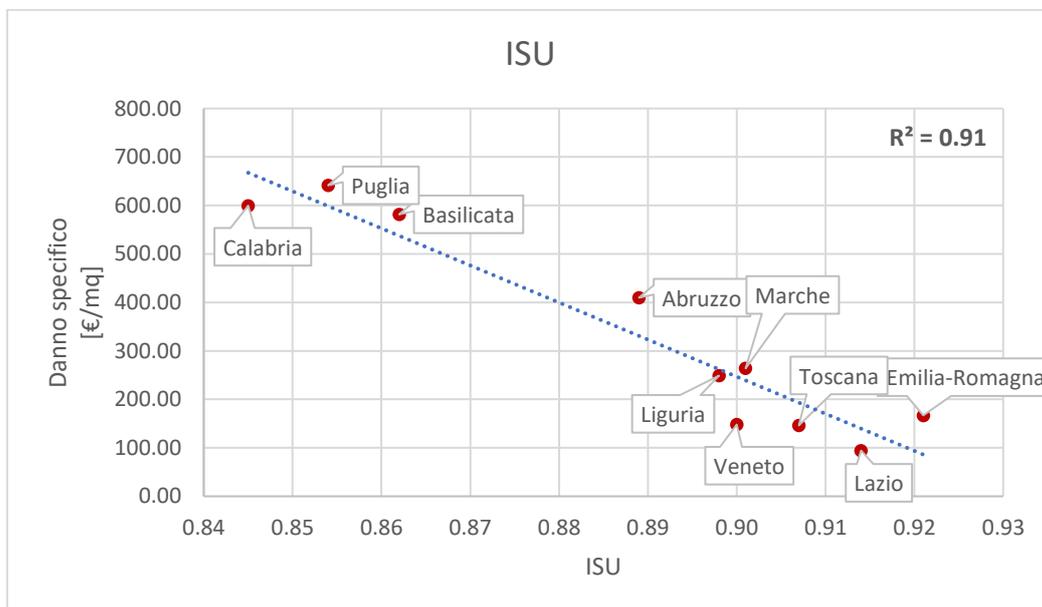


Figura 89 Danno specifico e ISU

4.4.3 Indice di Progresso Sociale

L'indice di Progresso Sociale (IPS) è un indicatore, con scala da 0 a 100, che racchiude all'interno 50 altri indicatori, divisibili in 3 dimensioni: esigenze umane di base; basi

del benessere; opportunità. Questo indice è stato sviluppato nell'ambito del progetto EU-SPI per cui è stato calcolato il valore per le 272 regioni degli stati membri dell'Unione Europea. In Figura 90 si può meglio capire la composizione dell'indice, ed osservare la quantità e varietà delle variabili che lo compongono (Annoni et al., 2016); a titolo di esempio, citiamo tra aspetti considerati dall'indice quelli legati alla sicurezza personale, all'accesso a conoscenza di base e informazione, e l'accesso all'educazione avanzata.

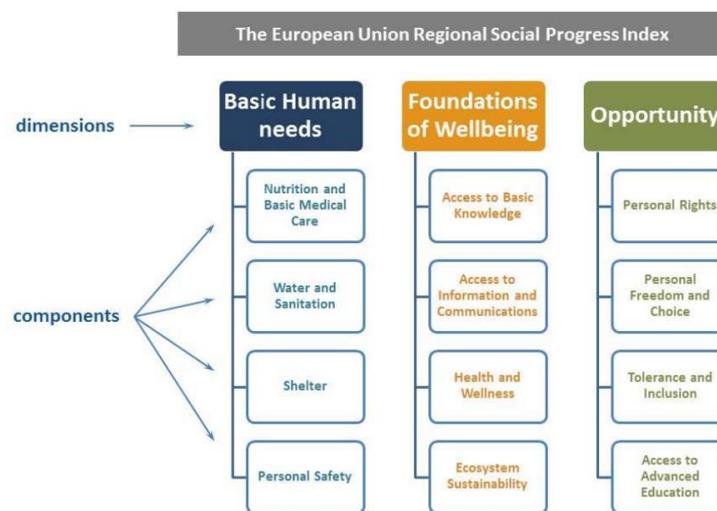


Figura 90 Struttura della composizione dell'indice IPS (Annoni et al., 2016)

Le regioni italiane si dividono in regioni con valore di IPS tra 55-60 (Nord-Ovest, Sardegna, Friuli-Venezia Giulia, Molise e Basilicata), 60-65 (centro, Abruzzo, Veneto e Trentino-Alto Adige), mentre i valori più bassi sono assegnati alla Sicilia, Puglia, Calabria e Campania (Figura 91). I dati utilizzati provengono dal database di Eurostat. Rispetto agli indici precedenti, in questo caso la correlazione con il fabbisogno specifico risulta più debole, ma, nonostante ciò, è comunque evidente una tendenza negativa per cui a valori più elevati di IPS corrispondono valori minori di fabbisogno specifico.

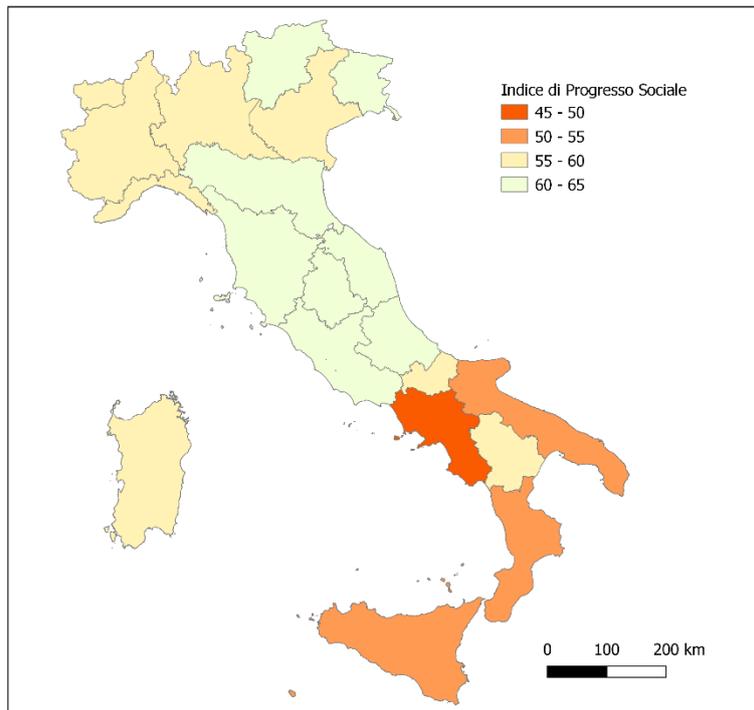
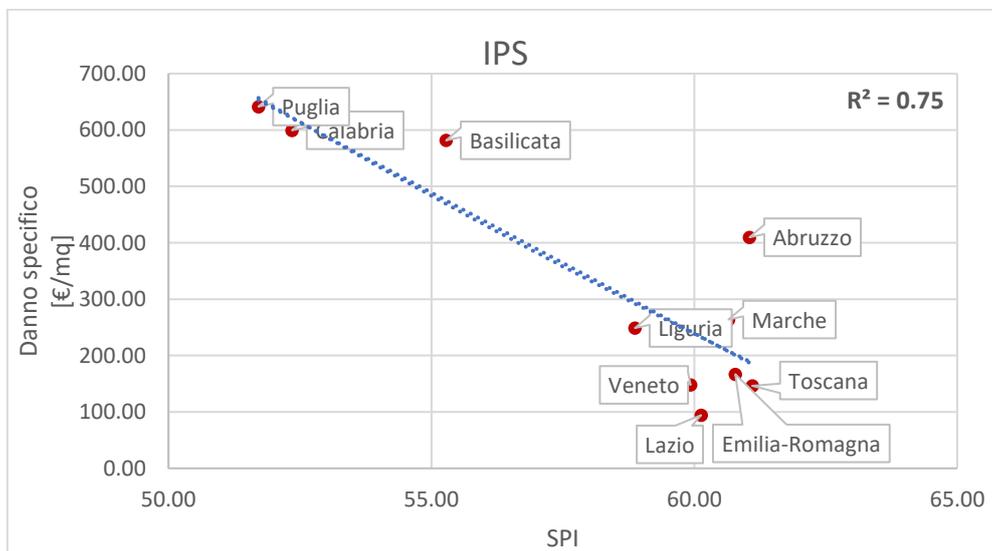


Figura 91 IPS delle regioni italiane, 2016



4.4.4 Benessere Equo e Sostenibile

Il progetto Benessere Equo e Sostenibile è stato sviluppato nel 2010 nell'ambito dell'Unione Europea, con il fine di valutare il progresso della società sia dal punto di

vista economico, sia sociale e ambientale; infatti, vengono integrate ai tradizionali indicatori economici, ulteriori misure sulla qualità di vita delle persone e dell'ambiente. Negli anni sono stati costruiti tra i 130 e i 152 indicatori, di seguito analizziamo alcuni di essi.

4.4.4.1 Tasso di occupazione

Il tasso di occupazione è un fattore direttamente collegato al reddito e allo stato economico di una comunità, che è a sua volta uno dei principali drivers della vulnerabilità sociale (Menoni et al., 2012; Rolfe et al., 2020; Rufat et al., 2015)

Il tasso di occupazione è calcolato come la percentuale di occupati di 20-64 anni sulla popolazione di 20-64 anni, (fonte ISTAT). In percentuale, la macro-aggregazione di nord e centro Italia si distingue ancora dalle regioni del sud, in particolare Campania, Calabria e Sicilia con tasso di occupazione intorno al 42% (Figura 92). La correlazione lineare con il fabbisogno specifico resta elevata, la Puglia e la Calabria rimangono le regioni con l'indicatore in questione più basso, e l'Emilia-Romagna, tra le regioni di cui disponiamo dati di danno, è la regione col tasso di occupazione più elevato (Figura 93).



Figura 92 Tasso di Occupazione 20-64 anni - Istat, 2016

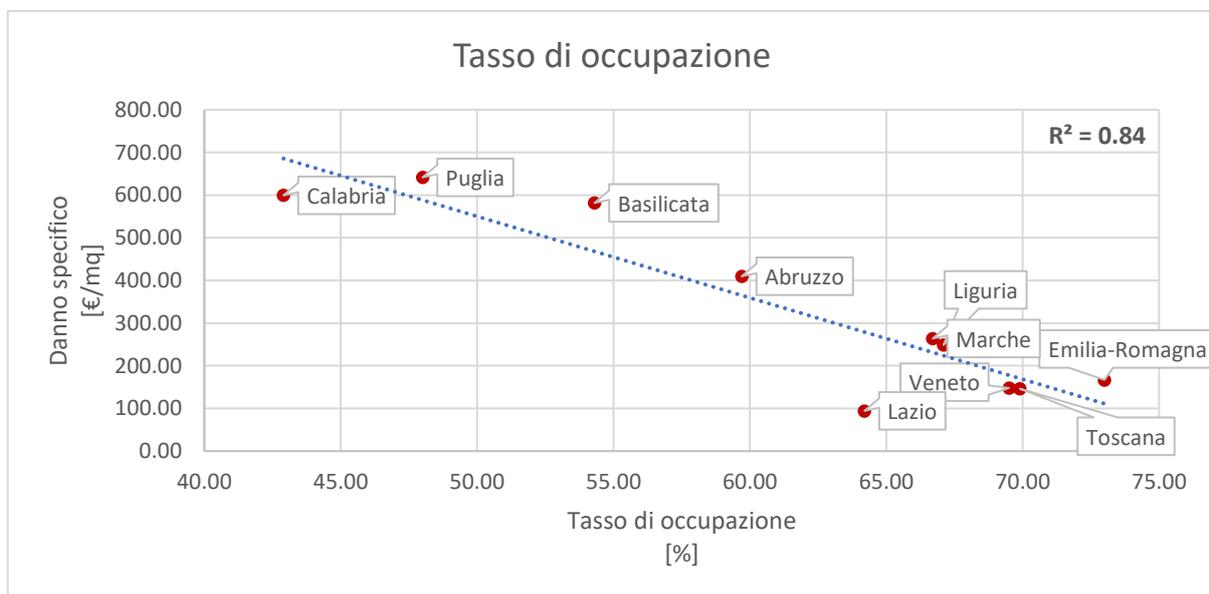


Figura 93 Fabbisogno specifico e tasso di occupazione

4.4.4.2 Competenze digitali

Un ulteriore indicatore proveniente dal database del progetto BES è quello delle competenze digitali, ossia delle persone di 16-74 anni che hanno competenze avanzate per tutti e quattro i domini individuati dal "Digital Competence Framework":

informazione, comunicazione, creazione di contenuti e problem solving (fonte dati: ISTAT). Tale indice si trova nella classe di indicatori legati all'istruzione e alla formazione, risulta quindi di interesse per questi studi poiché un aspetto che si vuole analizzare è la capacità della comunità di ricezione delle informazioni digitali rispetto ai piani di emergenza, e la capacità di accedere e compilare le schede di richieste di fabbisogno successive a danno. Nuovamente si osserva la sostanziale differenza fra le regioni del centro e nord Italia e le regioni del sud e isole, in particolar modo Sicilia, Campania, Calabria e Puglia, dove i valori risultano inferiori alla media nazionale (Figura 94). La correlazione lineare con il fabbisogno specifico è molto elevata, con R^2 pari a 0.91 (Figura 95).

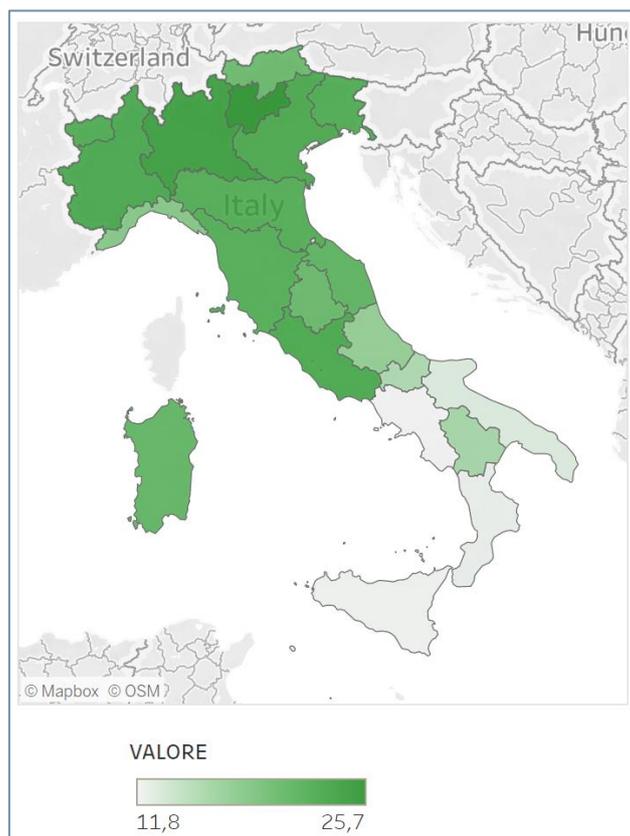


Figura 94 Competenze digitali nelle regioni italiane - ISTAT, 2016

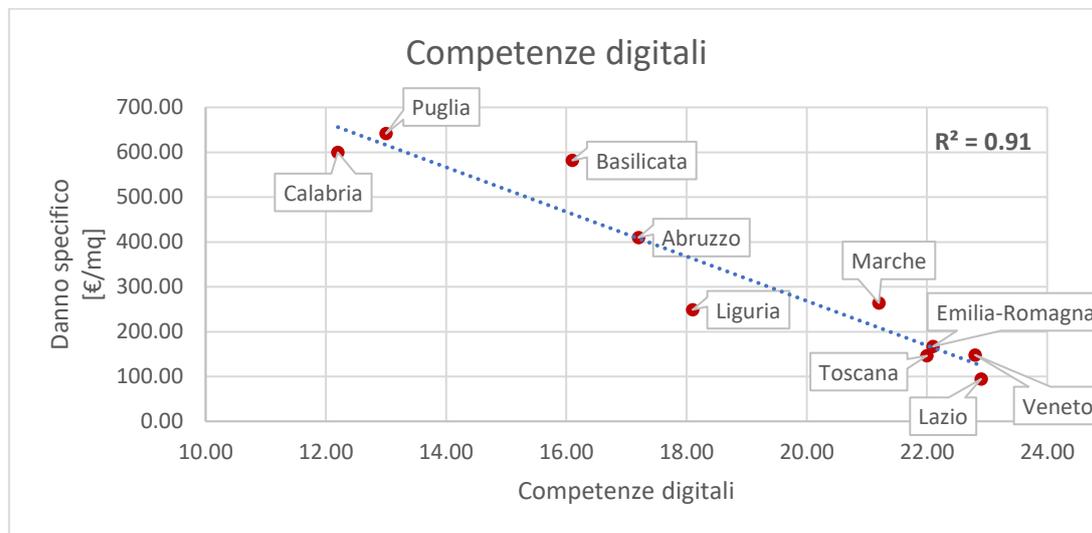


Figura 95 Competenze digitali e Danno specifico

4.4.4.3 Fiducia nelle istituzioni

Gli ultimi indicatori considerati sono **l'affluenza elettorale**, calcolato come la percentuale di persone che hanno votato alle ultime elezioni del parlamento europeo sul totale degli aventi diritto (fonte dati: Ministero dell'interno); e la **fiducia nelle forze dell'ordine e Vigili del fuoco**, espressa dalle persone di oltre 14 anni di età (dati ISTAT).

Questi indicatori vogliono essere rappresentativi della fiducia nelle istituzioni e dell'interesse nelle questioni politiche, poiché quando sono presenti, la popolazione è maggiormente propensa ad adottare misure di sicurezza (G. Roder et al., 2017). Seppur si continuino a osservare delle differenze fra alcune regioni del sud Italia e il centro e nord Italia (Figura 96 e Figura 97), non si riscontra un'elevata correlazione lineare con il fabbisogno specifico, in nessuno dei due ambiti (Figura 98 e Figura 99).

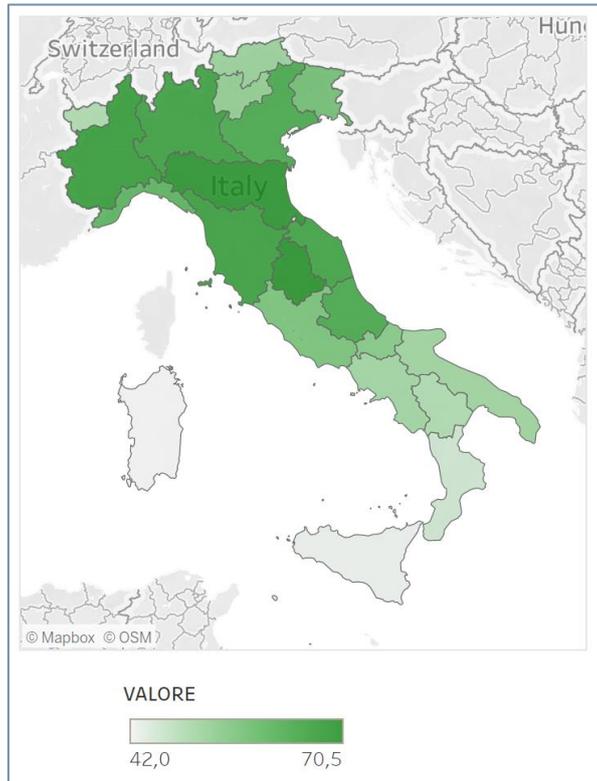


Figura 96 Partecipazione elettorale, Ministero dell'Interno, 2014

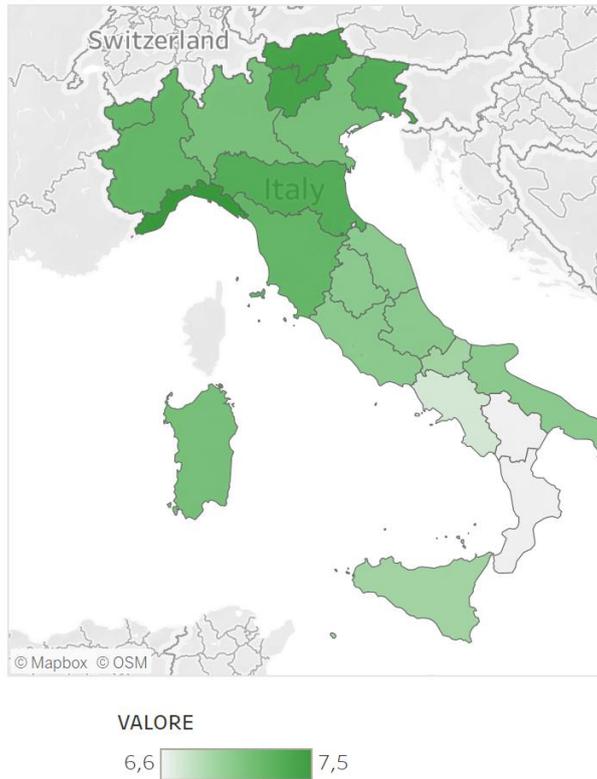


Figura 97 Fiducia nelle forze dell'ordine e nei vigili del fuoco, ISTAT - 2014

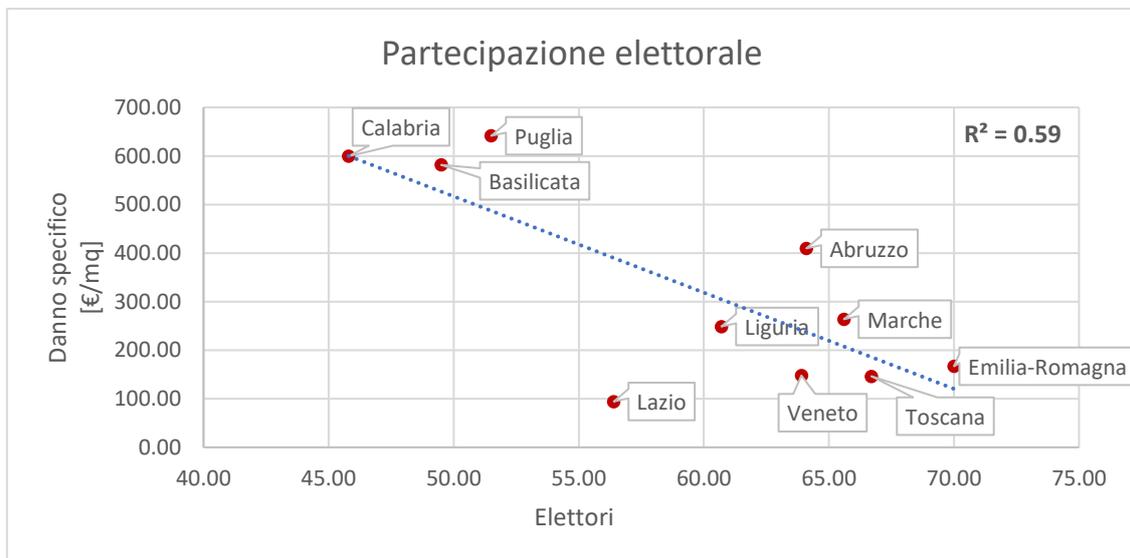


Figura 98 Partecipazione elettorale e danno specifico, 2014

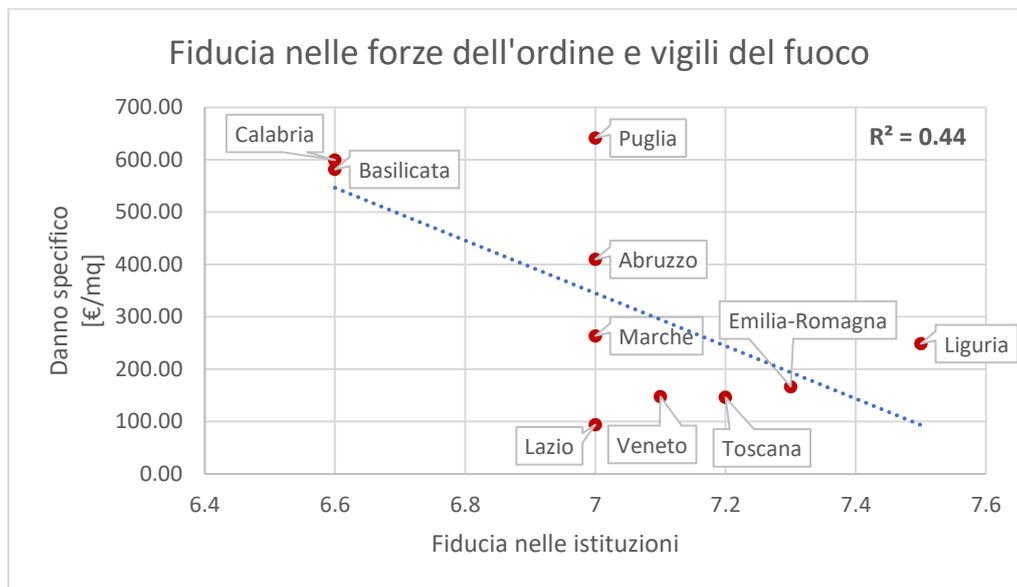


Figura 99 Fiducia nelle forze dell'ordine e vigili del fuoco

In conclusione, affermiamo che il danno specifico è un indicatore adatto a riassumere la diversità delle schede di danno registrate sul territorio a scala regionale.

Vi sono alcuni fattori a scala regionale, principalmente legati all'aspetto socioeconomico, che mostrano una buona correlazione con il danno specifico e potrebbero fornire degli elementi utili alla comprensione dei motivi alla base della differente distribuzione del danno specifico fra le diverse aree d'Italia. In particolar modo, appare significativa la differenza, a livello di danno e di distribuzione dei parametri socioeconomici, fra le regioni del sud Italia (Basilicata, Calabria e Puglia) e le regioni del centro e nord Italia.

La scelta degli indici sopradescritti è giustificata dall'ampia letteratura in merito alla vulnerabilità sociale; tuttavia, ribadiamo che, sebbene si sia dimostrata un'elevata correlazione lineare con il fabbisogno specifico, è difficile ammettere con certezza che questi forniscano una spiegazione sicura di cosa determini il danno e cosa ne definisca l'intensità, per diversi motivi:

- Il dataset a disposizione per la stima del fabbisogno specifico è parziale;

- L'aggregazione a scala regionale esclude le differenze, sia in termini di danno sia di fattori socioeconomici, che potrebbero essere all'interno della regione stessa.

Conclusioni

Obiettivo della tesi è approfondire la visione del danno da dissesto idrogeologico in Italia, offrendo un contributo alla individuazione dei fattori che ne regolano la produzione nelle diverse aree del Paese.

L'analisi è basata su una ampia messe di dati offerta dalle dichiarazioni dei fabbisogni per il ripristino dei beni compromessi a seguito delle alluvioni. Si tratta delle schede predisposte da parte dei cittadini e raccolte dai comuni a seguito degli stati di emergenza nazionali deliberati dal Consiglio dei Ministri e delle relative Ordinanze del Capo Dipartimento della Protezione Civile. In particolare, si è posta l'attenzione sul danno ai beni privati che mostrano una maggiore compattezza rispetto alla intrinseca dispersione presentata dai dati relativi ai beni pubblici o alle attività produttive.

In primo luogo, si è provveduto ad aggiornare il dataset con nuove schede relative alle ordinanze più recenti, andando a georiferire le richieste così da disporre di dati puntuali sul territorio. La base di dati nazionale così ottenuta offre una indiscutibile potenzialità. C'è purtroppo da riscontrare che si tratta tuttora di un insieme parziale, a causa della diffusa difficoltà di reperire i dati presso gli Enti titolari. Si dispone infatti dei dati relativi a 61 stati di emergenza dal 2013 al 2022, rispetto ai 120 totali. Nonostante ciò, il dataset disponibile include quasi 45.000 richieste, distribuite su una porzione significativa di territorio nazionale. Questi dati hanno certamente una significatività statistica e costituiscono una buona base per studiare, seppure con alcune ipotesi di lavoro, la genesi del danno da alluvione.

Prendendo spunto da recenti lavori di letteratura, si è focalizzata l'attenzione sull'indicatore costituito dal danno specifico per unità di superficie vulnerata.

L'indicatore ha mostrato forti variazioni nella sua distribuzione sul territorio italiano. Si sono riscontrate differenze, alla scala regionale, anche del 500% spostandosi dalle regioni settentrionali verso quelle del mezzogiorno. Tale risultato è significativo: l'attività di prevenzione, per sua stessa definizione, è espressamente finalizzata alla riduzione del danno a parità di evento forzante. Conoscere la distribuzione geografica dei fabbisogni costituisce di per sé un elemento fondamentale. A maggior ragione è importante individuare i fattori che maggiormente determinano tali squilibri per massimizzare l'efficacia dell'azione di assetto idrogeologico.

Tali fattori possono suddividersi tra quelli relativi all'assetto dell'ambiente costruito e quelli invece più propriamente connessi con elementi di ordine sociale, economico e culturale. Una analisi di correlazione sulla base di dati ISTAT ha indicato come questi ultimi risultino predominati rispetto ai primi.

Conseguentemente si sposta l'attenzione sulla cosiddetta "vulnerabilità sociale", intesa come misura di "resistenza sociale" e di resilienza nei confronti del rischio naturale (in questo caso). Si è così analizzata la dipendenza da alcune caratteristiche della popolazione, quali ad esempio la distribuzione dell'età, il tasso di occupazione, ed il tasso della presenza di cittadini stranieri. Si è così sintetizzato il concetto generico di vulnerabilità sociale in un indicatore derivato dalla letteratura, l'Indice di Vulnerabilità Sociale (SoVI), appunto, calcolato a scala comunale. I dati indicano una differenza tra le diverse ripartizioni geografiche: le regioni del sud Italia e le Isole presentano un maggior numero di comuni socialmente vulnerabili rispetto alle regioni del centro e nord Italia. Un'analisi di dettaglio su uno specifico evento calamitoso che ha colpito la Campania nel 2015 ha permesso di esplorare le potenzialità ed i limiti di questa scala di lavoro. È emerso come da un lato la georeferenziazione consenta verifiche puntuali, per esempio delle dinamiche che hanno indotto il danno, e comparazioni con i dati disponibili per le aree allagate, in grado di gettare le basi per

affinamenti del metodo di analisi. Tuttavia, la scala spaziale così ridotta rende difficoltosa, almeno con la metodologia seguita, l'identificazione di tendenze e clusterizzazioni nei parametri socioeconomici. Questi difatti, quantomeno per il caso in esame, tendono a svilupparsi su scale ben più estese di quella del singolo comune e vengono difatti spesso analizzate alla scala regionale. Per questa ragione si sono aggregati gli indicatori a tale scala, disponendo peraltro così, di ulteriori dati altrimenti non disponibili a maggiori gradi di dettaglio. Si così confermata la forte differenza (già peraltro osservata in letteratura) fra i valori più elevati di danno specifico propri delle regioni del sud Italia rispetto a quelli del Centro e poi del Nord Italia (Frigerio et al., 2018; Manselli et al., 2022). Tale danno aggregato è stato correlato con fattori, sia rappresentativi del tessuto urbano che di quello socioeconomico. Nel primo caso, come detto, non si è riscontrata un'evidente correlazione, mentre nel secondo è emersa una buona correlazione lineare con diversi indicatori. Si tratta in particolare del PIL, dell'"Indice di sviluppo umano", dell'"Indice di progresso sociale", del tasso di occupazione, delle competenze digitali. Ciò che apparentemente potrebbe stupire è il fatto che si tratti di una correlazione inversa: che cioè le aree apparentemente più sviluppate economicamente (e dunque ricche di infrastrutture e con alto valore esposto sul territorio) vengono a presentare il danno specifico più basso, quantomeno in termini di richieste. Altresì occorre osservare che i meccanismi forzanti sono distribuiti in maniera relativamente uniforme, sul territorio, fatta forse eccezione per le aree interne della pianura padana. Ad esempio, l'esposizione ai temporali convettivi particolarmente intensi, le cosiddette "bombe d'acqua", vede coinvolta buona parte dell'intera fascia costiera; Toscana ed Emilia-Romagna, sono tra le regioni più esposte al dissesto idrogeologico come pure la Calabria e la Campania. Analoga uniformità si riscontra per il numero di stati di emergenza dichiarati.

I meccanismi della generazione del danno vanno dunque ricercati nella intrinseca capacità del territorio di minimizzare gli effetti delle calamità naturali. Tale capacità è a sua volta connessa con la struttura e la consapevolezza delle comunità (che, ad esempio, indirizza la pianificazione urbanistica), con la fiducia nelle istituzioni (che porta a privilegiare la formulazione di richieste congrue), il livello di istruzione (che, tra le altre cose, determina cittadini confidenti nelle allerte), l'alfabetizzazione digitale (che rafforza la conoscenza su quanto accade in tempo reale nel mondo circostante).

Vale la pena riflettere sul fatto che l'approccio novecentesco alla prevenzione è stato per lo più basato su interventi di tipo strutturale, attribuendo poi l'insuccesso dell'azione. constatato pressoché quotidianamente dalla realtà dei fatti, sulla cronica mancanza di risorse. Questo lavoro di tesi sembra suggerire che parallelamente a tali interventi, sia indispensabile focalizzare quantomeno una parte consistente dell'azione di assetto, verso azioni non strutturali. In questo senso ricordiamo il Codice della Protezione civile che, tra le attività di prevenzione (Art. 2), indica fattispecie quali il rafforzamento del sistema nazionale di allertamento, le attività di pianificazione, l'applicazione e l'aggiornamento delle normative tecniche, la diffusione della conoscenza e della cultura della protezione civile, anche con il coinvolgimento delle istituzioni scolastiche, l'adozione di comportamenti consapevoli e misure di autoprotezione da parte dei cittadini, l'informazione alla popolazione sugli scenari di rischio e le relative norme di comportamento, le attività volte ad assicurare il raccordo tra la pianificazione di protezione civile e la pianificazione territoriale e le procedure amministrative di gestione del territorio.

Si tratta di misure che acquistano ancor più significato con la promozione del senso di comunità e degli ulteriori aspetti che stanno alla base della resilienza nei confronti delle calamità.

Gli sviluppi della ricerca stanno nell'ulteriore approfondimento di tali processi, andando ad enucleare i fattori di maggiore impatto sulla generazione del danno. Si tratta ovviamente di una ricerca a forte carattere interdisciplinare nella quale il contributo di ordine sociologico ed economico è assolutamente rilevante.

Bibliografia

- Ali, K., Bajracharyar, R. M., & Raut, N. (2017). Advances and Challenges in Flash Flood Risk Assessment: A Review. *Journal of Geography & Natural Disasters*, 07(02). <https://doi.org/10.4172/2167-0587.1000195>
- Annoni, P., Dijkstra, L., & Hellman, T. (2016). *EU Regional SPI: Methodological Paper*. February, 16.
- Autorità di Bacino Liri-Garigliano Volturno. (2015). *Distretto Idrografico dell ' Appennino Meridionale Distretto Idrografico dell ' Appennino Meridionale*.
- Bellicini, L., Reggio, P., Sandro, B., Campanelli, E., Stifani, G., Tascetta, M., Trinca, R., & Widmar, F. (2012). *Lo stato del territorio italiano 2012 Insediamento e rischio sismico e idrogeologico*. 284.
- Bianchi, C., & Salvati, P. (2021). *Rapporto periodico sul rischio posto alla Popolazione italiana da Frane e Inondazioni*. <https://doi.org/10.30437/report2021>
- Bignami, D. F., Dragoni, A., & Menduni, G. (2018). Assessing and Improving Flood and Landslide Community Social Awareness and Engagement via a Web Platform: The Case of Italy. *International Journal of Disaster Risk Science*, 9(4), 530–540. <https://doi.org/10.1007/s13753-018-0199-0>
- Binh, P. T., Zhu, X., Groeneveld, R. A., & van Ierland, E. C. (2020). Risk communication, women's participation and flood mitigation in Vietnam: An experimental study. *Land Use Policy*, 95(January), 104436. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104436>
- BUPERT. (n.d.). *DECRETO DEL PRESIDENTE DELLA GIUNTA REGIONALE 4 LUGLIO 2018, N. 95*. <https://bur.regione.emilia-romagna.it/dettaglio-inserzione?i=a8acf13c24a74aa39e17efc400f310c4>
- Cesari, R., & D'Aurizio, L. (2019). Calamità naturali e coperture assicurative: valutazione dei rischi e policy options per il caso italiano. *Quaderni Dell'Istituto per La Vigilanza Sulle Assicurazioni (IVASS)*, 13, 106.
- Chen, Y., Ye, Z., Liu, H., Chen, R., Liu, Z., & Liu, H. (2021). A GIS-based approach for flood risk zoning by combining social vulnerability and flood susceptibility: A case study of Nanjing, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(21). <https://doi.org/10.3390/ijerph182111597>
- Comune di Benevento. (2015). *Rischio idrogeologico e modello di intervento 2015*.
- Coninx, I., & Bachus, K. (2007). Integrating social vulnerability to floods in a climate change context. *Labour*, 1–30. http://dev.ulb.ac.be/ceese/ADAPT/public_section/Doc/Doc/Coninx_and_Bachus.pdf

- Cutter, S. L., Barnes, L., Berry, M., Burton, C., Evans, E., Tate, E., & Webb, J. (2008). A place-based model for understanding community resilience to natural disasters. *Global Environmental Change, 18*(4), 598–606. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2008.07.013>
- Cutter, S. L., Boruff, B. J., & Shirley, W. L. (2003). Social vulnerability to environmental hazards. *Social Science Quarterly, 84*(2), 242–261. <https://doi.org/10.1111/1540-6237.8402002>
- DPC. (n.d.). *No Title*. <https://www.protezionecivile.gov.it/it/normativa/ocdpc-n--298-del-17-novembre-2015--primi-interventi-urgenti-per-gli-eccezionali-eventi-meteorologici-che-dal-14-al-20-ottobre-2015-hanno-colpito-la-re>
- Frigerio, I., Carnelli, F., Cabinio, M., & De Amicis, M. (2018). Spatiotemporal Pattern of Social Vulnerability in Italy. *International Journal of Disaster Risk Science, 9*(2), 249–262. <https://doi.org/10.1007/s13753-018-0168-7>
- Frigerio, I., & De Amicis, M. (2016). Mapping social vulnerability to natural hazards in Italy: A suitable tool for risk mitigation strategies. *Environmental Science and Policy, 63*, 187–196. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.06.001>
- Gaither, C. J., Poudyal, N. C., Goodrick, S., Bowker, J. M., Malone, S., & Gan, J. (2011). Wildland fire risk and social vulnerability in the Southeastern United States: An exploratory spatial data analysis approach. *Forest Policy and Economics, 13*(1), 24–36. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2010.07.009>
- Ge, Y., Dou, W., Gu, Z., Qian, X., Wang, J., Xu, W., Shi, P., Ming, X., Zhou, X., & Chen, Y. (2013). Assessment of social vulnerability to natural hazards in the Yangtze River Delta, China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 27*(8), 1899–1908. <https://doi.org/10.1007/s00477-013-0725-y>
- Gizzi, F. T., Potenza, M. R., & Zotta, C. (2016). The Insurance Market of Natural Hazards for Residential Properties in Italy. *Open Journal of Earthquake Research, 05*(01), 35–61. <https://doi.org/10.4236/ojer.2016.51004>
- Guerriero, L., Focareta, M., Fusco, G., Rabuano, R., Guadagno, F. M., & Revellino, P. (2018). Flood hazard of major river segments, benevento province, southern italy. *Journal of Maps, 14*(2), 597–606. <https://doi.org/10.1080/17445647.2018.1526718>
- Guillard-Gonçalves, C., Cutter, S. L., Emrich, C. T., & Zêzere, J. L. (2015). Application of Social Vulnerability Index (SoVI) and delineation of natural risk zones in Greater Lisbon, Portugal. *Journal of Risk Research, 18*(5), 651–674. <https://doi.org/10.1080/13669877.2014.910689>
- Guzzetti, F., Stark, C. P., & Salvati, P. (2005). Evaluation of flood and landslide risk to the population of Italy. *Environmental Management, 36*(1), 15–36. <https://doi.org/10.1007/s00267-003-0257-1>
- IPCC. (2012). Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. In

Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation.

- IPCC. (2022). *Impacts, Adaptation and Vulnerability*.
https://report.ipcc.ch/ar6wg2/pdf/IPCC_AR6_WGII_FinalDraft_FullReport.pdf
- ISPRA. (n.d.). *Dissesto idrogeologico, le frane*. <https://www.isprambiente.gov.it/it/attivita/suolo-e-territorio/dissesto-idrogeologico/le-frane>
- ISTAT. (2011). *Censimento della popolazione e delle abitazioni*. <https://www.istat.it/it/censimenti-permanenti/censimenti-precedenti/popolazione-e-abitazioni/popolazione-2011>
- ISTAT. (2018). *Conti economici territoriali*. https://www.istat.it/it/files//2018/12/Report_Conti-regionali_2017.pdf
- ISTAT. (2020). *Il Censimento permanente della popolazione e delle abitazioni*.
<https://www.istat.it/it/files//2021/02/Censimento-permanente-Lombardia-2019.pdf>
- King, D., Moloney, J., & MacGregor, C. (2000). *Review of the Methodology of the Community Vulnerability in the Cairns Multi Hazard Risk Assessment Report prepared by David King , James Moloney and Colin MacGregor Centre for Disaster Studies James Cook University* (Issue April).
- Kirby, R. H., Reams, M. A., Lam, N. S. N., Zou, L., Dekker, G. G. J., & Fundter, D. Q. P. (2019). Assessing Social Vulnerability to Flood Hazards in the Dutch Province of Zeeland. *International Journal of Disaster Risk Science*, 10(2), 233–243. <https://doi.org/10.1007/s13753-019-0222-0>
- Koks, E. E., Jongman, B., Husby, T. G., & Botzen, W. J. W. (2015). Combining hazard, exposure and social vulnerability to provide lessons for flood risk management. *Environmental Science and Policy*, 47, 42–52. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.10.013>
- Kunreuther, H., & Pauly, M. (2004). Neglecting disaster: Why don't people insure against large losses? *Journal of Risk and Uncertainty*, 28(1), 5–21. <https://doi.org/10.1023/B:RISK.0000009433.25126.87>
- Lamond, J., & Penning-Rowsell, E. (2014). The robustness of flood insurance regimes given changing risk resulting from climate change. *Climate Risk Management*, 2, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2014.03.001>
- Maccaferri, S., Cariboni, F., & Campolongo, F. (2012). Natural Catastrophes: Risk relevance and Insurance Coverage in the EU. In *JRC Scientific and Technical Reports* (Issue September). http://ec.europa.eu/internal_market/insurance/docs/natural-catastrophes/jrc_report_on_nat_cat_en.pdf
- Magliulo, P., & Valente, A. (2020). GIS-Based geomorphological map of the Calore River floodplain near Benevento (Southern Italy) overflowed by the 15th october 2015 event. *Water (Switzerland)*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/w12010148>

- Manselli, L., Molinari, D., Pogliani, A., Zambrini, F., & Menduni, G. (2022). Improvements and Operational Application of a Zero-Order Quick Assessment Model for Flood Damage: A Case Study in Italy. *Water (Switzerland)*, 14(3). <https://doi.org/10.3390/w14030373>
- Menoni, S., Molinari, D., Parker, D., Ballio, F., & Tapsell, S. (2012). Assessing multifaceted vulnerability and resilience in order to design risk-mitigation strategies. *Natural Hazards*, 64(3), 2057–2082. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0134-4>
- Messner Frank, & Meyer, V. (2005). "Flood Damage , Vulnerability and Risk Perception – Challenges for Flood Damage." *Environmental Research*, 149–167.
- Meyer, V., Becker, N., Markantonis, V., Schwarze, R., Van Den Bergh, J. C. J. M., Bouwer, L. M., Bubeck, P., Ciavola, P., Genovese, E., Green, C., Hallegatte, S., Kreibich, H., Lequeux, Q., Logar, I., Papyrakis, E., Pfuerscheller, C., Poussin, J., Przylyski, V., Thieken, A. H., & Viavattene, C. (2013). Review article: Assessing the costs of natural hazards-state of the art and knowledge gaps. *Natural Hazards and Earth System Science*, 13(5), 1351–1373. <https://doi.org/10.5194/nhess-13-1351-2013>
- Muggeo, V. M. R., & Ferrara, G. (2005). *Il linguaggio R : concetti introduttivi ed esempi II edizione*. 75.
- Perazzini, S., Gnecco, G. S., & Pammolli, F. (2020). *A Public-Private Insurance Model for Natural Risk Management: an Application to Seismic and Flood Risks on Residential Buildings in Italy*. 2017. <http://arxiv.org/abs/2006.05840>
- Pogliani, A. (2020). *Quadro sinottico del danno da alluvione in Italia: proposta di un modello per il rapid mapping*. Politecnico di Milano.
- Pogliani, A., Bertulesi, M., Bignami, D. F., Boschini, I., Vecchio, M. Del, Menduni, G., Molinari, D., & Zambrini, F. (2021). A Zero-Order Flood Damage Model for Regional-Scale Quick Assessments. *Water*, 1–17.
- Roder, G., Sofia, G., Wu, Z., & Tarolli, P. (2017). Assessment of Social Vulnerability to floods in the floodplain of northern Italy. *Weather, Climate, and Society*, 9(4), 717–737. <https://doi.org/10.1175/WCAS-D-16-0090.1>
- Roder, Giulia, Hudson, P., & Tarolli, P. (2019). Flood risk perceptions and the willingness to pay for flood insurance in the Veneto region of Italy. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 37(April), 101172. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101172>
- Rolfe, M. I., Pit, S. W., McKenzie, J. W., Longman, J., Matthews, V., Bailie, R., & Morgan, G. G. (2020). Social vulnerability in a high-risk flood-affected rural region of NSW, Australia. *Natural Hazards*, 101(3), 631–650. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-03887-z>
- Rufat, S., Tate, E., Burton, C. G., & Maroof, A. S. (2015). Social vulnerability to floods: Review of case studies and

- implications for measurement. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 14, 470–486. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2015.09.013>
- Salvati, P., Bianchi, C., Fiorucci, F., Giostrella, P., Marchesini, I., & Guzzetti, F. (2014). Perception of flood and landslide risk in Italy: a preliminary analysis. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, 2(5), 3465–3497. <https://doi.org/10.5194/nhessd-2-3465-2014>
- Smits, J., van Geffen, A., Huisman, J., & Widelmand, J. (n.d.). *Human Development Indices*. <https://globaldatalab.org/shdi/shdi/>
- Stepinski, F., & Jasiewicz, J. (2016). *Geomorphons - a new approach to classification of landforms*. November, 109–112.
- Tate, E., Rahman, M. A., Emrich, C. T., & Sampson, C. C. (2021). Flood exposure and social vulnerability in the United States. *Natural Hazards*, 106(1), 435–457. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04470-2>
- Tellman, B., Schank, C., Schwarz, B., Howe, P. D., & de Sherbinin, A. (2020). Using disaster outcomes to validate components of social vulnerability to floods: Flood deaths and property damage across the USA. *Sustainability (Switzerland)*, 12(15), 1–28. <https://doi.org/10.3390/su12156006>
- Trigila, A., Iadanza, C., Bussetini, M., Lastoria, B., & Barbano, A. (2018). *Dissesto idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischi. Rapporto 2015. Rapporti 233/2015*.
- Valente, A., Iscaro, C., Magliulo, P., & Russo, F. (2016). The flood event in Benevento on 14th-15th October 2015: A short report. *Rendiconti Online Società Geologica Italiana*, 38(October 2015), 105–108. <https://doi.org/10.3301/ROL.2016.30>
- Varnes, D. J. (1984). *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*.
- Verga, B. (2017). *Criteri di analisi, stima e previsione del danno da eventi geo-idrologici: l'approccio top-down*. Politecnico di Milano.
- Zampetti, G., Ottaviani, F., & Minutolo, A. (2012). I costi del rischio idrogeologico - emergenza e prevenzione. *Legambiente*, 15.

Indice delle figure

Figura 1 Pericolosità da frana PAI, ISPRA 2017.....	11
Figura 2 Mappa degli eventi di frana con vittime nel periodo 1971 – 2020 - IRPI, 2014	13
Figura 3 Mortalità per frana nel periodo 1971 - 2020	14
Figura 4 Aree a pericolosità idraulica media P2 – Trigila et al., 2018.....	17
Figura 5 Popolazione a rischio alluvioni residente in aree a pericolosità idraulica in Italia - Trigila et al., 2018	18
Figura 6 Popolazione a rischio residente in aree a pericolosità idraulica media P2 su base regionale e comunale – Trigila et al., 2018	18
Figura 7 famiglie a rischio residenti in aree a pericolosità idraulica in Italia - Trigila et al., 2018.....	19
Figura 8 Famiglie a rischio residenti in aree a pericolosità idraulica media P2 su base regionale e comunale – Trigila et al., 2018.....	19
Figura 9 Edifici a rischio in aree a pericolosità idraulica in Italia - Trigila et al., 2018	20
Figura 10 Edifici a rischio in aree a pericolosità idraulica media P2 su base regionale e comunale – Trigila et al., 2018	20
Figura 11 Beni culturali a rischio in aree a pericolosità idraulica in Italia - Trigila et al., 2018.....	21
Figura 12 Beni culturali a rischio in aree a pericolosità idraulica media P2 su base regionale e comunale – Trigila et al., 2018.....	22
Figura 13 Attività produttive a rischio in aree a pericolosità idraulica in Italia - Trigila et al., 2018	22
Figura 14 Attività economiche a rischio in aree a pericolosità idraulica media P2 su base regionale e comunale – Trigila et al., 2018	23
Figura 15 Mappa degli eventi di alluvioni con vittime nel periodo 1971 - 2020 - IRPI, 2014.....	25
Figura 16 Mortalità per inondazione, nel periodo 1971 -2020	26
Figura 17 Rimborsi ottenuti dall'Italia dall'EU Solidarity Fund.....	36
Figura 18 Numero di ordinanze per anno dal 2013 al 2021	38

Figura 19 Tipologia eventi delle OCDPC.....	39
Figura 20 OCDPC totali e disponibili.....	41
Figura 21 Fabbisogno relativo al totale delle OCDPC per regione	42
Figura 22 Fabbisogno medio per OCDPC	42
Figura 23 Fabbisogno totale schede B	44
Figura 24 Fabbisogno schede B dal 2013 al 2020.....	45
Figura 25 Numero richieste medie per comune	46
Figura 26 Frequenza comuni per richieste medie.....	46
Figura 27 Richieste e fabbisogno medi per comune.....	47
Figura 28 Edifici in classe di pericolosità idraulica P1	48
Figura 29 Frequenza comuni in classe di pericolosità idraulica P1	48
Figura 30 Quota media dei comuni	49
Figura 31 Densità edifici residenziali dei comuni danneggiati	50
Figura 32 Frequenza dei comuni danneggiati nelle classi di densità di edificato residenziale.....	50
Figura 33 Percentuale di edifici ad 1 piano	51
Figura 34 Percentuale edifici in pessimo stato	52
Figura 35 Richieste medie / Edifici residenziali	53
Figura 36 Frequenza comuni nelle classi di rapporto tra richieste medie e edifici residenziali	53
Figura 37 Varianza spiegata dalle componenti principali.....	68
Figura 38 Peso delle variabili sulle prime due componenti principali.....	69
Figura 39 Correlazione variabili e componenti principali	70
Figura 40 Correlazione variabili e componenti principali ruotate.....	71
Figura 41 Mappe delle 5 componenti principali.....	74
Figura 42 Mappa di vulnerabilità sociale per comuni	76
Figura 43 Distribuzione dei comuni per classi di SoVI.....	77
Figura 44 Frequenza dei comuni nelle 5 classi di vulnerabilità sociale divisi per ripartizioni geografiche: Nord-Ovest, Nord-Est, Centro, Sud e Isole.	78
Figura 45 SoVI comuni in provincia di Napoli	80

Figura 46 Inquadramento territoriale provincia di Benevento.....	82
Figura 47 Trasformazioni della piana alluvionale nel corso degli anni in seguito ad eventi alluvionali [Magliulo e Valente, 2020].....	84
Figura 48 Zonizzazione aree di pericolosità idraulica P1 del PAI.....	85
Figura 49 foto dell'evento del 15 ottobre 2015, LaPresse - Gerardo Cafaro.....	87
Figura 50 foto dell'evento 15 ottobre 2015, Report Autorità di Bacino LGV.....	87
Figura 51 Immagine satellitare aree inondate comune di Benevento del 16/10/2015 e area alluvionata [Autorità di Bacino, 2015].....	88
Figura 52 Frequenza richieste in classe di fabbisogno in €.....	94
Figura 53 Danno assoluto [€] nei comuni colpiti dall'evento del 15 ottobre 2015.....	95
Figura 54 Danno per superficie [€/Km ²] nei comuni colpiti dall'evento del 15 ottobre 2015.....	96
Figura 55 Dieci comuni più colpiti in termini di €/Km ²	98
Figura 56 Richieste fabbisogno schede B - sopra e sotto i 90.000€.....	99
Figura 57 Richieste fabbisogno schede B e pericolosità idraulica P1.....	101
Figura 58 Focus Benevento.....	101
Figura 59 Focus Santa Maria a Vico.....	102
Figura 60 Focus comuni danneggiati.....	102
Figura 61 Reticolo idrografico, buffer 100m, 200m, 300m e 400 m - focus Pago Veiano.....	104
Figura 62 Distribuzione richieste nelle 3 classi di distanza dal reticolo idrografico.....	104
Figura 63 Permeabilità dell'area colpita dall'evento.....	105
Figura 64 Distribuzione richieste nelle 3 classi di permeabilità.....	106
Figura 65 Distribuzione richieste nelle 3 classi di quota assoluta.....	106
Figura 66 Distribuzione richieste nelle 3 classi di quota relativa.....	108
Figura 67 Tipi di geomorfoni.....	108
Figura 68 Geomorfoni dell'area colpita.....	109
Figura 69 Distribuzione richieste nelle 3 classi di geomorfoni.....	109
Figura 70 Classificazione richieste in alluvione diretta, mista e indiretta.....	111
Figura 71 Distribuzione delle richieste in alluvione diretta, mista e indiretta.....	111

Figura 72 Mappa Social Vulnerability Index dei comuni colpiti dall'evento.....	112
Figura 73 Divisione dei comuni per classe di SoVI.....	112
Figura 74 Fabbisogno al Km ² per classe di SoVI.....	113
Figura 75 Fabbisogno al Km ² per valore di SoVI, le barre rappresentano il confine delle classi di SoVI.....	114
Figura 76 Richieste al Km ² per valore di SoVI, le barre rappresentano il confine delle classi di SoVI.....	114
Figura 77 Stima della superficie alluvionata e fabbisogno totale.....	118
Figura 78 Numero di Ordinanze per OCDPC nel periodo 2013 – 2021.....	119
Figura 79 Superficie in area di pericolosità idraulica P1.....	121
Figura 80 Popolazione in classe di pericolosità idraulica P1.....	121
Figura 81 Edifici in classe di pericolosità idraulica P1.....	122
Figura 82 Danno specifico e Edifici in area P1.....	122
Figura 83 Danno specifico e percentuale edifici ad 1 piano.....	123
Figura 84 Danno specifico e abusivismo edilizio.....	124
Figura 85 Danno specifico e popolazione che vive in abitazioni di bassa qualità.....	124
Figura 86 PIL per capita, (ISTAT, 2018).....	126
Figura 87 Danno specifico per PIL per capita.....	126
Figura 88 Indice di sviluppo umano (Smits et al., n.d.).....	128
Figura 89 Danno specifico e ISU.....	128
Figura 90 Struttura della composizione dell'indice IPS (Annoni et al., 2016).....	129
Figura 91 IPS delle regioni italiane, 2016.....	130
Figura 92 Tasso di Occupazione 20-64 anni - Istat, 2016.....	132
Figura 93 Fabbisogno specifico e tasso di occupazione.....	132
Figura 94 Competenze digitali nelle regioni italiane - ISTAT, 2016.....	133
Figura 95 Competenze digitali e Danno specifico.....	134
Figura 96 Partecipazione elettorale, Ministero dell'Interno, 2014.....	135
Figura 97 Fiducia nelle forze dell'ordine e nei vigili del fuoco, ISTAT - 2014.....	136
Figura 98 Partecipazione elettorale e danno specifico, 2014.....	136

Figura 99 Fiducia nelle forze dell'ordine e vigili del fuoco	137
--	-----

Indice delle tabelle

Tabella 1 Mosaicatura delle aree a pericolosità da frana – ISPRA, 2017	12
Tabella 2 Aree a pericolosità idraulica in Italia – Trigila et al., 2018.....	16
Tabella 3 Aree a pericolosità idraulica media P2 su base regionale - Trigila et al., 2018	16
Tabella 4 Dettaglio delle regioni in cui si hanno OCDPC disponibili	43
Tabella 5 Fabbisogno totale e dato perso	45
Tabella 6 Indicatori, variabili proxy e loro impatto sulla vulnerabilità sociale.....	63
Tabella 7 Autovalori delle componenti principali, varianza spiegata e varianza spiegata cumulate (le linee in grassetto sono le component scelte).....	68
Tabella 8 Peso delle variabili sull componenti principali ruotate	72
Tabella 9 Componenti principali scelte con rispettive variabili dominanti.....	72
Tabella 10 Minimo, Massimo, Media e Dev. ST. del SoVI.....	75
Tabella 11 Frequenza dei comuni nelle 5 classi di vulnerabilità sociale divisi per ripartizioni geografiche: Nord-Ovest, Nord-Est, Centro, Sud e Isole.	79
Tabella 12 5 comuni più vulnerabili e 5 comuni meno vulnerabili.....	80
Tabella 13 Principali caratteristiche dell'evento del 15 ottobre [Magliulo e Valente, 2020].....	86
Tabella 14 Informazioni comuni e richiedenti	91
Tabella 15 Statistiche di base sul totale delle schede B	91
Tabella 16 Tipologia strutturale delle abitazioni danneggiate	92
Tabella 17 Uso delle strutture danneggiate	93

Tabella 18 Tipologia strutturale delle abitazioni principale e delle strutture non adibite ad abitazione e non locate	93
Tabella 19 Informazioni generali sul danno	94
Tabella 20 Statistiche di base delle singole schede	94
Tabella 21 Descrizione danno dei comuni più colpiti.....	98
Tabella 22 Classificazione fattori geomorfologici.....	110
Tabella 23 Fabbisogno specifico delle regioni.....	118