

PROGRAMMA PER IL SUPPORTO AL RAFFORZAMENTO DELLA GOVERNANCE IN MATERIA DI RIDUZIONE DEL RISCHIO AI FINI DI PROTEZIONE CIVILE:

RISCHIO IDROGEOLOGICO E IDRAULICO

A11_DT4

Set di indicatori individuati comprendenti anche quelli costruiti ad hoc.

18.05.2020



CIMA
POLIMI
IRPI
CAMI lab
CiNiD

Azione

A11

Dimensioni territoriali e indicatori finalizzati all'analisi dei rischi e delle condizioni di sicurezza ai fini della protezione civile.

Partner

CNR IRPI
FONDAZIONE CIMA

Autori

Istituto di Ricerca per la
Protezione Idrogeologica
Consiglio Nazionale delle Ricerche

Donnini Marco
Pisano Luca
Esposito Giuseppe
Reichenbach Paola

Petrucci Olga
Lollino Pierinicola

Fondazione CIMA
Franciosi Chiara
Giambelli Marta

Note / Dettagli

INDICE

1.	Introduzione.....	5
2.	Definizione degli indicatori e degli indici territoriali.....	7
3.	Indicatori territoriali.....	9
3.1	Indicatori definiti utilizzando dataset disponibili a scala nazionale.....	9
3.1.1	<i>Percentuale di aree in frana IFFI</i>	9
3.1.2	<i>Percentuale di aree in frana PAI</i>	10
3.1.3	<i>Percentuale di aree alluvionabili da PAI idraulico</i>	12
3.1.4	<i>Numero degli eventi di tipo C</i>	14
3.1.5	<i>Numero di interventi ReNDiS frane</i>	15
3.1.6	<i>Numero di interventi ReNDiS alluvioni</i>	16
3.1.7	<i>Numero di frane con vittime</i>	17
3.1.8	<i>Numero di inondazione con vittime</i>	18
3.1.10	<i>Percentuale e numero di aree incendiate</i>	19
3.2	Indicatori definiti utilizzando dataset disponibili a scala regionale.....	21
4.	Indici territoriali	23
4.1	Indici territoriali frane.....	26
4.1.1	<i>Indice di franosità</i>	26
4.1.2	<i>Indice dell'impatto delle frane</i>	28
4.1.3	<i>Indice di suscettibilità da frana</i>	30
4.2	Indici territoriali piene	37
4.2.1	<i>Indice di alluvionabilità</i>	37
4.2.2	<i>Indice dell'impatto delle piene</i>	39
4.2.3	<i>Indice di suscettibilità da piena</i>	41
5.	Indice di operatività semplificata.....	43
5.1	IOS frane.....	43
5.2	IOS piene	44
6.	Indice di resilienza (CIMA)	45
6.1	La Resilienza nel contesto del progetto.....	46
6.2	Le dimensioni della resilienza	48
6.3	Le sottidimensioni e gli indicatori della resilienza	48
6.3.1	Governance e resilienza	52
6.4	Strumenti per la popolabilità degli indicatori	52
	Bibliografia di riferimento.....	54
	Sitografia	56

Lista degli acronimi

SIGLA	DESCRIZIONE
CT	Contesto Territoriale
CFDMI	Centro Funzionale Decentrato Multirischio Integrato
CUORE	Centri Unificati Operativi per l'Emergenza
DPC	Dipartimento di Protezione Civile
IFFI	Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia
ISPRA	Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
MATTM	Ministero dell'Ambiente, della Tutela del Territorio e del Mare
DG TTRI	Direzione Generale per la Tutela del Territorio e delle Risorse Idriche
PAI	Piano di Assetto Idrogeologico
Polaris	Popolazione a rischio da frana e da inondazione in Italia
PGRA	Piano di Gestione del Rischio Alluvioni
ReNDiS	Repertorio Nazionale degli interventi per la Difesa del Suolo

1. Introduzione

Il rapporto “A11_DT4 - Set di indicatori individuati comprendenti anche quelli costruiti ad hoc” illustra parte dei risultati ottenuti nell’ambito dell’attività “A.1.1 Dimensioni territoriali e indicatori finalizzati all’analisi dei rischi e delle condizioni di sicurezza ai fini della protezione civile”, prevista dal “Programma per il supporto al rafforzamento della governance in materia di riduzione del rischio ai fini di protezione civile: rischio idrogeologico e idraulico”, a valere sul PON Governance e capacità istituzionale 2014-2020.

Nel documento sono proposti e descritti indicatori e indici territoriali (per la differenza fra indicatori e indici si rimanda al capitolo §2) e sono riportati i loro valori nei Contesti Territoriali (CT) e/o Centri Unificati Operativi per l’Emergenza (CUORE) per le regioni del progetto PON (Campania, Calabria, Puglia, Basilicata e Sicilia).

I CT utilizzati sono stati introdotti nell’ambito del progetto PON Governance 2014-2020 “Riduzione del rischio sismico, vulcanico e idrogeologico ai fini di protezione civile (PON sisma)” e sono stati definiti come l’insieme di aree limitrofe che cooperano sul tema della riduzione del rischio e nelle quali le attività possono essere esercitate in modo unitario tra più municipalità (*Accordo di Partenariato Italia 2014 – 2020; Delibera della Giunta Regionale Calabria n. 408 del 2016*). I CT sono stati definiti prendendo in considerazione le Unioni di Comuni, le aree afferenti ai Centri Operativi Misti e i Sistemi Locali del Lavoro (dati Istat), analizzando le relazioni esistenti, sia in termini di perimetrazione che di Comuni “rilevanti” (*Cassone et al., 2016*).

Nelle regioni Campania, Calabria, Puglia e Basilicata i CT sono stati recepiti o sono in via di recepimento mentre la Regione Siciliana nel 2017 ha indicato i CUORE (Centri Unificati Operativi per l’Emergenza) come suddivisione del territorio regionale (*DGR n. 454 del 23/10/2017*). Sebbene la perimetrazione dei CUORE sia in fase di rimodulazione, nel presente rapporto le analisi sono state effettuate considerando i 72 CUORE istituiti con *DGR n. 454 del 23/10/2017*. Al momento della stesura del presente rapporto la Regione Siciliana mantiene come suddivisione del territorio regionale i CUORE non avendo adottato i CT.

Complessivamente, sono stati considerati 207 CT/CUORE così suddivisi: (i) 45 CT per la regione Campania (codice ISTAT 15), (ii) 31 CT per la regione Puglia (codice ISTAT 16), (iii) 11 CT per la regione Basilicata (codice ISTAT 17), (iv) 48 CT per la regione Calabria (codice ISTAT 18) e (v) 72 CUORE per la Regione Siciliana (codice ISTAT 19).

Le analisi, descritte nei successivi capitoli, sono state svolte in parte presso:

- La Protezione Civile della Regione Campania, con il supporto logistico e scientifico dell’Ing. Mauro Biafore;
- la Protezione Civile della Regione Calabria, con il supporto logistico e scientifico del Dott. Michele Folino Gallo e del Dott. Luigi Mollica;
- il Centro Funzionale Decentrato della Regione Puglia, con il supporto logistico e scientifico dell’Ing. Tiziana Bisantino;
- il Centro Funzionale Decentrato della Regione Basilicata, con il supporto logistico e scientifico dell’Ing. Guido Loperte;
- il Centro Funzionale Decentrato Multirischio Integrato - Settore Idro (CFDMI) della Regione Siciliana, con il supporto logistico e scientifico del Dott. Giuseppe Basile e della Dott.ssa Marinella Panebianco.

Con lo scopo di assicurare la massima chiarezza dei contenuti riportati nel presente report, nei successivi capitoli vengono riportate alcune informazioni condivise con i report A11_DT5 “Analisi di fattibilità del set di indicatori individuati comprendenti anche quelli costruiti ad hoc” e A11_DT6 “Analisi delle relazioni con altri sistemi di indicatori”.

Per poter comprendere il contenuto del rapporto riteniamo utile specificare il significato dei seguenti termini:

Suscettibilità da frana. È una misura della propensione che un territorio ha di produrre dissesti (*Brabb, 1984*). È la probabilità spaziale (geografica) dei movimenti franosi (*Guzzetti et al., 2005*). La suscettibilità dipende dalle caratteristiche fisiografiche e climatiche di un territorio, e può essere influenzata dall'azione dell'uomo. La suscettibilità non tiene conto della frequenza e della dimensione (o magnitudo) delle frane (*Reichenbach et al. 2018; Guzzetti et al., 2005; Guzzetti, 2006*).

Pericolosità da frana. È la probabilità che un dissesto di dimensioni (magnitudo) date si verifichi in un'area ed in un tempo predefiniti (*Varnes e IAEG, 1984; Guzzetti et al. 1999; Guzzetti et al., 2005*). La stima della pericolosità richiede la valutazione di tre probabilità distinte (ed indipendenti): la probabilità temporale, la probabilità dimensionale, e la probabilità geografica delle frane (la suscettibilità) (*Guzzetti et al., 2005; 2006*).

2. Definizione degli indicatori e degli indici territoriali

Gli indicatori sono variabili o parametri utilizzati in letteratura per descrivere le condizioni di rischio e possono essere utili per valutare e mitigare i potenziali effetti dei pericoli naturali. Si ritiene che il loro corretto utilizzo possa essere adatto alle autorità locali in materia di protezione civile, per la pianificazione territoriale e l'elaborazione dei soccorsi. La definizione di indicatori è sostenuta dalle Nazioni Unite (*Sendai Framework, 2015*), con lo scopo di confrontare le prestazioni delle singole nazioni nella valutazione dei rischi naturali, che sono la causa di ingenti perdite economiche e vite umane. All'interno del report del *Sendai framework* sono identificati 38 indicatori per misurare i progressi globali nell'attuazione del quadro in oggetto. Gli indicatori sono finalizzati alla misura dei progressi compiuti e per determinare il trend globale di riduzione del rischio e delle perdite e sono distribuiti all'interno dei sette obiettivi principali siglati nell'accordo (cfr, <https://www.preventionweb.net/sendai-framework/sendai-framework-monitor/indicators>).

Una ricerca bibliografica ha evidenziato che gli indici sono normalmente costituiti dalla combinazione di indicatori. Come esempio esplicativo si riporta l'Indice Multidimensionale di Povertà che viene definito combinando una serie di indicatori di povertà relativi, quali ad esempio, il grado di salute, di alfabetizzazione etc... (<https://www.economist.com/finance-and-economics/2010/07/29/a-wealth-of-data>). *Heink and Kowarik (2010)* usano il termine indicatore come sinonimo di "indicans", cioè una misura o componente da cui si possono dedurre conclusioni sul fenomeno di interesse (*l'indicandum*). L'analisi della bibliografia esistente riportata suggerisce come in molti casi vi sia una sovrapposizione di termini. Spesso, infatti, il termine indicatore è utilizzato come sinonimo di indice, così come di altri termini, quali "variabile", "fattore", "parametro" (*Ivcevic et al., 2019*). Prendendo come riferimento la letteratura relativa ai "*natural hazard*", in questo report verrà considerata la definizione di indicatore proposta da *Cutter (2016)*. Secondo questo autore, gli Indicatori possono essere ritenuti delle variabili quantificabili rappresentative di una caratteristica specifica, dalla cui aggregazione è possibile ottenere un indice finale che verrà usato per la valutazione di uno specifico aspetto.

All'interno del progetto PON Governance 2014-2020, che coinvolge cinque regioni dell'Italia meridionale (Calabria, Puglia, Basilicata, Calabria e Sicilia), dopo un'attenta analisi dei dati disponibili sono stati introdotti una serie di indicatori territoriali finalizzati alla valutazione del rischio geo-idrologico (frana e alluvione) ed al fenomeno degli incendi boschivi. Per ottenere una visualizzazione spaziale dei diversi rischi (geo-idrologico e incendio), sono state elaborate una serie di mappe dei valori di diversi indicatori territoriali all'interno dei CT/CUORE. Tali indicatori sono stati successivamente combinati fra di loro per definire degli indici territoriali.

Gli indicatori per la caratterizzazione del territorio utilizzano solamente un dataset (come ad esempio il dataset di IFFI), mentre gli indici sono ottenuti dalla combinazione di un insieme di dataset in grado di definire nella maniera più completa uno specifico aspetto relativo al rischio idrogeologico. La definizione di indici è motivata dal fatto che i singoli indicatori derivati dai dataset territoriali disponibili, non siano in grado di descrivere e caratterizzare un territorio in maniera completa rispetto ad uno specifico rischio naturale. Nella definizione degli indici, a ciascun indicatore è stato assegnato, secondo una valutazione esperta, un peso che tiene conto della completezza, dell'accuratezza, della qualità e dell'affidabilità del dato.

Per la definizione degli indicatori finalizzati alla caratterizzazione del territorio rispetto ai rischi geo-idrologici e al rischio da incendio, sono stati utilizzati sia dataset disponibili a scala nazionale che a scala regionale.

Di seguito sono elencati i dataset disponibili a scala nazionale che sono stati utilizzati per la definizione di indicatori territoriali:

- Aree in frana IFFI

- Aree PAI frane (AA - Aree di Attenzione, P1 e P2)
- Aree PAI frane (P3 e P4)
- Aree PAI idraulico (P1 e P2)
- Aree PAI idraulico (P3 e P4)
- Eventi di tipo C
- Interventi ReNDiS relativi alle frane (interventi in progettazione, in esecuzione e conclusi)
- Interventi ReNDiS relativi alle alluvioni (interventi in progettazione, in esecuzione e conclusi)
- Catalogo delle frane con vittime (dato proveniente dalla banca dati CNR-IRPI)
- Catalogo delle alluvioni con vittime (dato proveniente dalla banca dati CNR-IRPI)
- Aree incendiate (dati provenienti da archivi DPC)

Ulteriori indicatori sono stati definiti utilizzando dataset disponibili a scala regionale. In particolare sono stati usati i dati forniti dal CFDMI (Sezione Idro della Regione Siciliana) che nell'ambito del progetto POR FESR Sicilia 2007-2013, ha elaborato un geo-database contenente informazioni relative a movimenti franosi (per semplicità nominati "nodi frana") e punti di possibile criticità idraulica (per semplicità nominati "nodi idro").

Per quanto riguarda gli indici ci si è focalizzati solamente sui rischi geo-idrologici e sono state individuate quattro tipologie di indici definite sia per i movimenti franosi che per le alluvioni.

Indici di pericolosità frane:

- Indice di franosità (elaborazione da IFFI, PAI frane e "nodi frana");
- Indice di impatto (elaborazione da numero degli eventi C, numero delle frane con vittime e numero degli interventi ReNDiS per le frane)
- Indice di suscettibilità (elaborazione da tematismi ambientali)
- Indice di operatività semplificata (interazione fra la rete stradale e la suscettibilità da frana)

Indici pericolosità piene:

- Indice di alluvionabilità (elaborazione da PAI idraulico e "nodi idro");
- Indice di impatto (elaborazione da numero degli eventi C, numero delle alluvioni con vittime e numero degli interventi ReNDiS per le alluvioni)
- Indice di suscettibilità
- Indice di operatività semplificata (interazione fra la rete stradale e il PGRA)

3. Indicatori territoriali

In questo capitolo sono descritti gli indicatori di pericolosità individuati per le cinque regioni del PON definiti con dataset disponibili sia per tutto il territorio nazionale che per singole regioni. Nella rappresentazione grafico-numerica degli indicatori sono state considerate 5 classi: nulla (0); bassa (L); media (M); alta (H); molto alta (VH).

3.1 Indicatori definiti utilizzando dataset disponibili a scala nazionale

3.1.1 Percentuale di aree in frana IFFI

L'inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (Progetto IFFI), realizzato da ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) e dalle Regioni e Province Autonome, censisce, secondo modalità standardizzate e condivise, le frane verificatesi sul territorio nazionale (Trigila, 2007). L'Inventario IFFI è la banca dati delle frane più completa e di dettaglio esistente a scala nazionale, sia per la scala della cartografia adottata (1:10.000) che per il numero di parametri ad esse associati (<http://www.progettoiffi.isprambiente.it>).

I poligoni delle frane censite da IFFI vengono utilizzati per definire un indicatore della franosità all'interno dei CT/CUORE. La Figura 3.1(a) mostra la percentuale delle aree mappate in frana da IFFI all'interno dei singoli CT/CUORE. La figura evidenzia: (i) che i CT con la maggior percentuale di area in frana sono localizzati nell'Appennino Campano e Lucano e nell'area del Cilento e (ii) che i CT con franosità pressoché assente sono localizzati all'interno del Tavoliere delle Puglie. La Figura 3.1(b) mostra la distribuzione della percentuale di area in frana mappata da IFFI all'interno dei singoli CT/CUORE. La figura evidenzia che la percentuale dell'area in frana non supera il 25% del territorio del CT/CUORE e che la maggior parte dei CT/CUORE presenta una franosità IFFI minore del 5%. La suddivisione in classi di percentuale è stata effettuata seguendo le classi dell'indice di franosità su base comunale proposta da [ISPRA \(2018a\)](#).

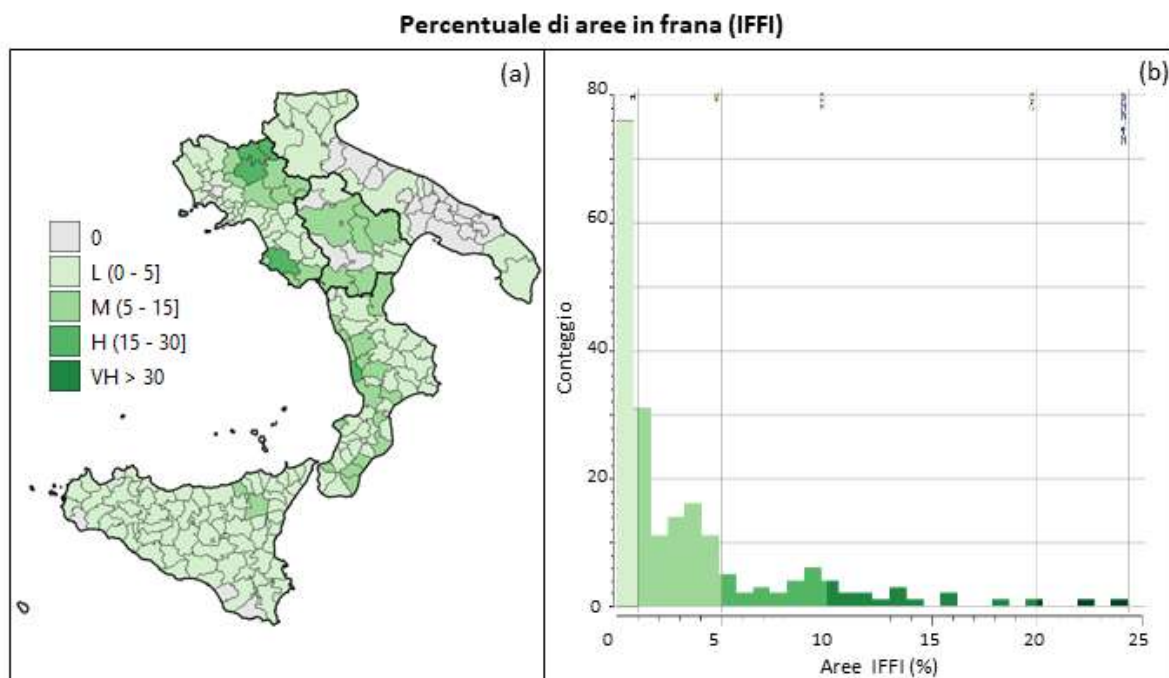


Figura 3.1 (a) Percentuale delle aree in frana IFFI all'interno dei singoli CT/CUORE. (b) Conteggio dei CUORE caratterizzati da diverse percentuali di area in frana mappata da IFFI.

3.1.2 Percentuale di aree in frana PAI

Il Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI) è uno strumento fondamentale della politica di assetto territoriale ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni, gli interventi e le norme d'uso riguardanti la difesa dal rischio idrogeologico del territorio.

Il PAI contiene due linee di analisi parallele:

- una linea relativa alla valutazione della pericolosità e del rischio geomorfologico (dissesti di versante e movimenti gravitativi), nella quale uno degli obiettivi principali è l'individuazione della pericolosità da frana e la perimetrazione delle situazioni di maggior rischio. In questo report verrà citata per semplicità "PAI frane";
- una linea relativa alla pericolosità e al rischio idraulico (aree inondabili delle piane alluvionali), nella quale uno degli obiettivi è l'individuazione della pericolosità e del rischio idraulico con riferimento al reticolo principale, secondario e minore, attraverso la perimetrazione delle aree inondabili per diversi tempi di ritorno e la valutazione del rischio degli elementi esposti. In questo report chiamata per semplicità "PAI idraulico".

I PAI sono strumenti dinamici che negli anni sono stati oggetto di integrazioni e modifiche da parte delle Autorità di Bacino (ora Autorità di Bacino Distrettuali), a seguito di nuovi studi e indagini, nuovi eventi idrogeologici, al completamento di interventi strutturali di mitigazione del rischio o su richiesta degli Enti locali.

La pericolosità da frana rappresenta la probabilità di occorrenza di un fenomeno potenzialmente distruttivo, di una determinata intensità in un dato periodo e in una data area ([Varnes, 1984](#)). La maggiore criticità nell'analisi della pericolosità da frana deriva generalmente dalla mancanza di informazioni relative alle date di attivazione delle frane e quindi dalla difficoltà di determinare il tempo di ricorrenza. Le aree a pericolosità da frana individuate dai PAI includono, oltre alle frane già verificatesi, anche le zone di possibile evoluzione dei fenomeni e le zone potenzialmente suscettibili a nuovi fenomeni franosi. Per la valutazione e mappatura della pericolosità da frana, le Autorità di Bacino, le Regioni e le Province Autonome hanno utilizzato diverse metodologie, tra le quali il metodo qualitativo a matrici, il metodo geomorfologico, i metodi quantitativi statistici o approcci di tipo misto, caratterizzati dalla combinazione di più metodi. Tutte le metodologie si basano, come dato di input, sull'inventario delle frane e su alcuni parametri in esso archiviati (es. tipologia di movimento, stato di attività). Il PAI classifica la pericolosità da frana secondo lo schema riportato in Tabella 3.1 (le "aree di attenzione" corrispondono generalmente a porzioni di territorio ove vi sono informazioni di possibili situazioni di dissesto a cui non è ancora stata associata alcuna classe di pericolosità). L'ISPRA ha proceduto, nel 2017, ad una nuova mosaicatura nazionale delle aree a pericolosità dei diversi PAI (v. 3.0 - Dicembre 2017). Dall'analisi della mosaicatura della pericolosità da frana sul territorio nazionale, ISPRA evidenzia significative disomogeneità di mappatura e classificazione, dovute principalmente alle differenti metodologie utilizzate per la valutazione della pericolosità da frana ([ISPRA, 2018b](#)).

Tabella 3.1 Classi di pericolosità da frana

Classificazione ISPRA	Classificazione PAI Sicilia	
AA	0	Aree di attenzione
P1	1	Pericolosità moderata

P2	2	Pericolosità media
P3	3	Pericolosità elevata
P4	4	Pericolosità molto elevata
	"nc"	Aree non classificate

Le aree delimitate dal PAI frane sono state utilizzate per definire un indicatore della pericolosità da frana dei diversi CT/CUORE. In particolare sono state raggruppate:

- le aree di attenzione AA, le aree a pericolosità moderata P1 e media P2;
- le aree a pericolosità elevata P3 e molto elevata P4.

Per le regioni Calabria, Campania, Puglia e Basilicata sono stati considerati i poligoni provenienti dalla mosaicatura ISPRA del 2017¹, mentre per la Regione Siciliana i poligoni provenienti dal Geoportale della Regione Siciliana (SITR)². La Tabella 3.1 mostra la diversa nomenclatura utilizzata da ISPRA e dal PAI Sicilia.

La Figura 3.2(a) mostra i CT/CUORE classificati in base alla percentuale delle aree AA, P1 e P2 mappate dal PAI frana. La figura evidenzia che: (i) i CT caratterizzati dall'assenza di aree AA, P1 e P2 sono localizzati in Puglia (11 CT) e in Campania (Arzano, Aversa e Caivano) e che (ii) sono presenti 23 CT caratterizzati da una percentuale di aree AA, P1 e P2 maggiore del 30%, di cui 22 in Campania e 1 in Basilicata (Potenza). Tra questi 23 CT, quelli con percentuale maggiore del 70% sono 7, tutti localizzati in Campania (Capaccio, Padula, Oliveto Citra, Roccapide, Buccino, Eboli e Sala Consilina). La Figura 3.2(b) mostra la distribuzione delle percentuali delle aree a pericolosità AA, P1 e P2 mappate dal PAI frana. L'istogramma evidenzia che la maggior parte dei CT/CUORE sono caratterizzati da percentuali di area AA, P1 e P2 inferiore al 5%. Le 5 classi di percentuale sono state definite seguendo l'indice di franosità su base comunale proposta da [ISPRA \(2018a\)](#).

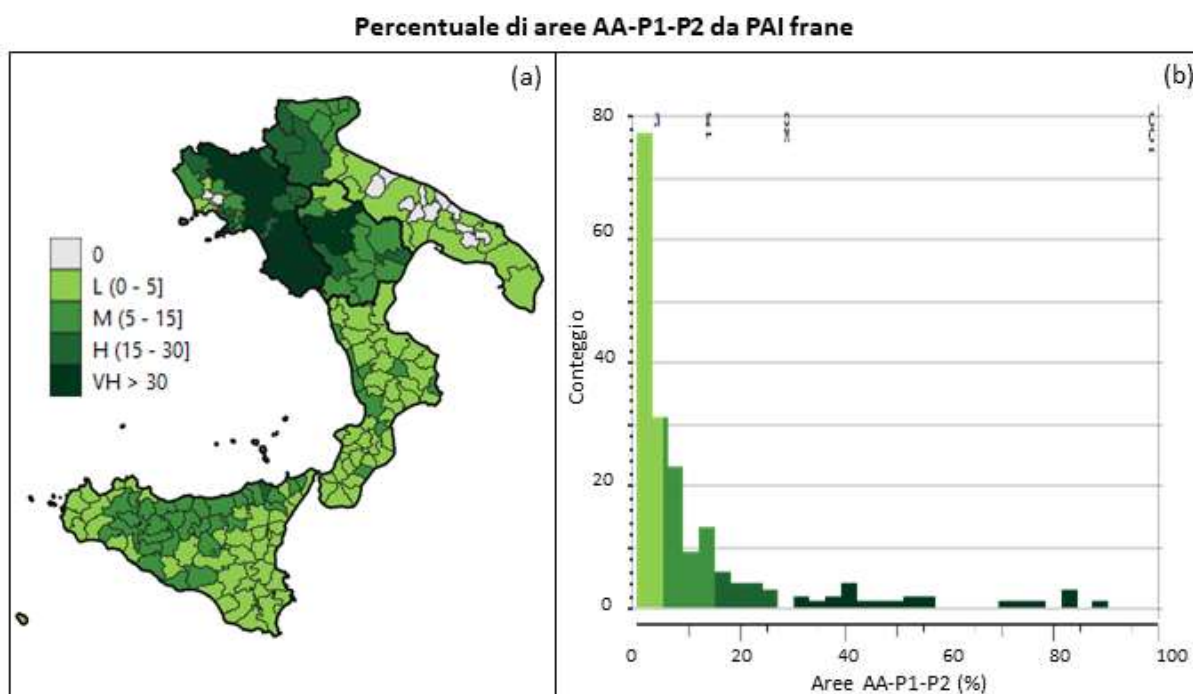


Figura 3.2 (a) Percentuale delle aree AA, P1 e P2 censite dal PAI frane all'interno dei singoli CT/CUORE. (b) Conteggio dei CT/CUORE caratterizzati da diverse percentuali di area AA, P1 e P2 mappata dal PAI frane.

¹ <http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/download-mais/mosaicature-nazionali-ispra-pericolosita-frane-alluvioni>

² <http://www.sitr.regione.sicilia.it/geoportale/it/metadata/details/671>

La Figura 3.3(a) mostra i CT/CUORE classificati in base alla percentuale delle aree a pericolosità P3 e P4 mappate dal PAI frana presenti all'interno del loro territorio. In Campania sono presenti (i) 22 CT caratterizzati dall'assenza di frane P3 e P4 e (ii) 9 CT caratterizzati da una percentuale di area a pericolosità P3 e P4 maggiore del 30%, percentuale che raggiunge il 75% nel CT di Positano e 86% nel CT di Amalfi. La Figura 3.3(b) mostra la distribuzione della percentuale delle aree a pericolosità P3 e P4 mappate all'interno dei CT/CUORE. L'istogramma evidenzia che la maggior parte dei CT/CUORE sono caratterizzati da aree mappate a pericolosità da frana P3 e P4 inferiore al 5%.

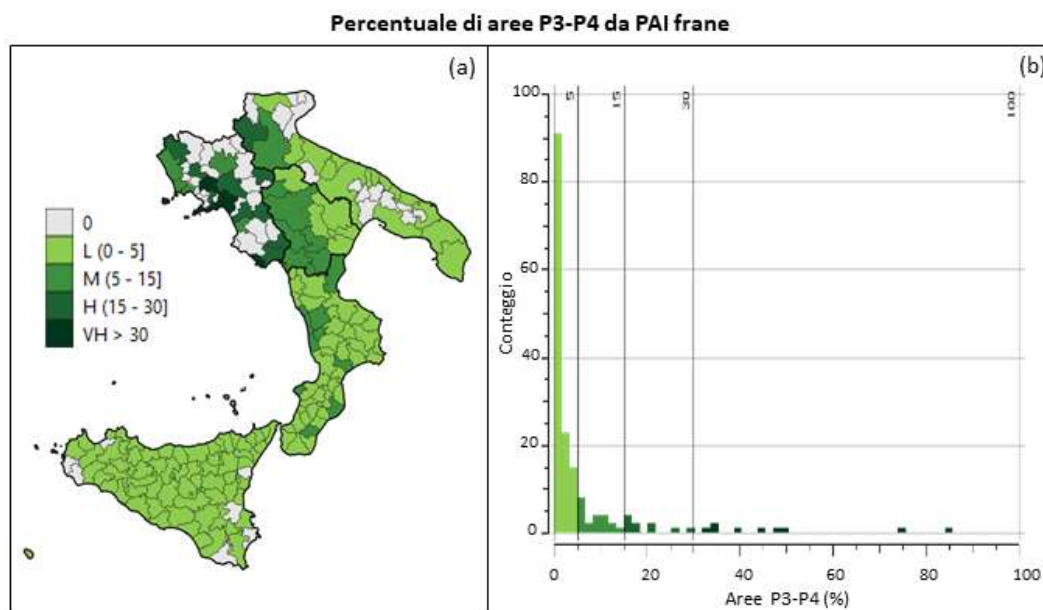


Figura 3.3 (a) Percentuale delle aree P3 e P4 censite dal PAI frane all'interno dei singoli CT/CUORE. (b) Conteggio dei CT/CUORE caratterizzati da diverse percentuali di area P3 e P4 mappata dal PAI frane.

3.1.3 Percentuale di aree alluvionabili da PAI idraulico

Uno degli obiettivi del PAI idraulico è la realizzazione di mappe di pericolosità idraulica. È noto che la pericolosità idraulica è funzione principalmente: (i) del tempo di ritorno, ovvero del tempo medio che intercorre tra due eventi calamitosi (cioè di intensità maggiore di un valore prefissato), (ii) del tirante idrico (normalmente espresso in metri) e (iii) della velocità (normalmente espressa in m/s). Le aree potenzialmente interessate da alluvioni sono state definite dal PAI idraulico secondo scenari prestabiliti dal [D.Lgs.49/2010](#) considerando i diversi tempi di ritorno (T_R) ai quali sono associati diversi livelli di pericolosità. Nello specifico, il [D.Lgs.49/2010](#) considera:

- P3: pericolosità elevata. $20 \leq T_R \leq 50$ anni. Alluvioni frequenti con elevata probabilità di accadimento);
- P2: pericolosità media. $100 \leq T_R \leq 200$ anni. Alluvioni poco frequenti con media probabilità di accadimento;
- P1: pericolosità bassa. $200 < T_R \leq 500$ anni. Alluvioni rare di estrema intensità con bassa probabilità di accadimento.

Si fa presente che allo stato attuale il PAI idraulico caratterizza solamente le aste idrografiche principali, non fornendo quindi informazioni relative al reticolo idrografico secondario. Si fa presente inoltre che le varie Regioni e le Autorità di Bacino, nella analisi della pericolosità idraulica, hanno adottato metodologie differenti in base alle caratteristiche fisiche territoriali ed ambientali e in base alle disponibilità operative e finanziarie ([MATTM - DG TTRI, 2013](#)).

I poligoni delle aree mappate dal PAI idraulico vengono utilizzati come indicatore della pericolosità idraulica dei singoli CT/CUORE. In particolare le aree sono state così raggruppate:

- le aree a pericolosità bassa P1 e a pericolosità media P2;
- le aree a pericolosità elevata P3 e le aree a pericolosità molto elevata P4 (quest'ultima classe è presente solo in Sicilia).

Per le regioni Calabria, Campania, Puglia e Basilicata sono stati considerati i poligoni provenienti dalla mosaicatura ISPRA del 2017¹, mentre per la Regione Siciliana sono stati considerati i poligoni provenienti dal Geoportale della Regione Siciliana (SITR)³.

La **Figura 3.4(a)** mostra CT/CUORE classificati in base alla percentuale delle aree a pericolosità P1 e P2 da PAI idro all'interno del loro territorio, mentre la **Figura 3.4(b)** mostra la distribuzione della percentuale di aree a pericolosità P1 e P2 mappata dal PAI idraulico all'interno dei singoli CT/CUORE. L'istogramma evidenzia che la maggior parte dei CT/CUORE sono caratterizzati da un'area classificata a pericolosità da alluvione P1 e P2 inferiore del 5%. La suddivisione in classi di percentuale è stata effettuata seguendo le classi dell'indice di franosità su base comunale proposta da [ISPRA \(2018a\)](#).

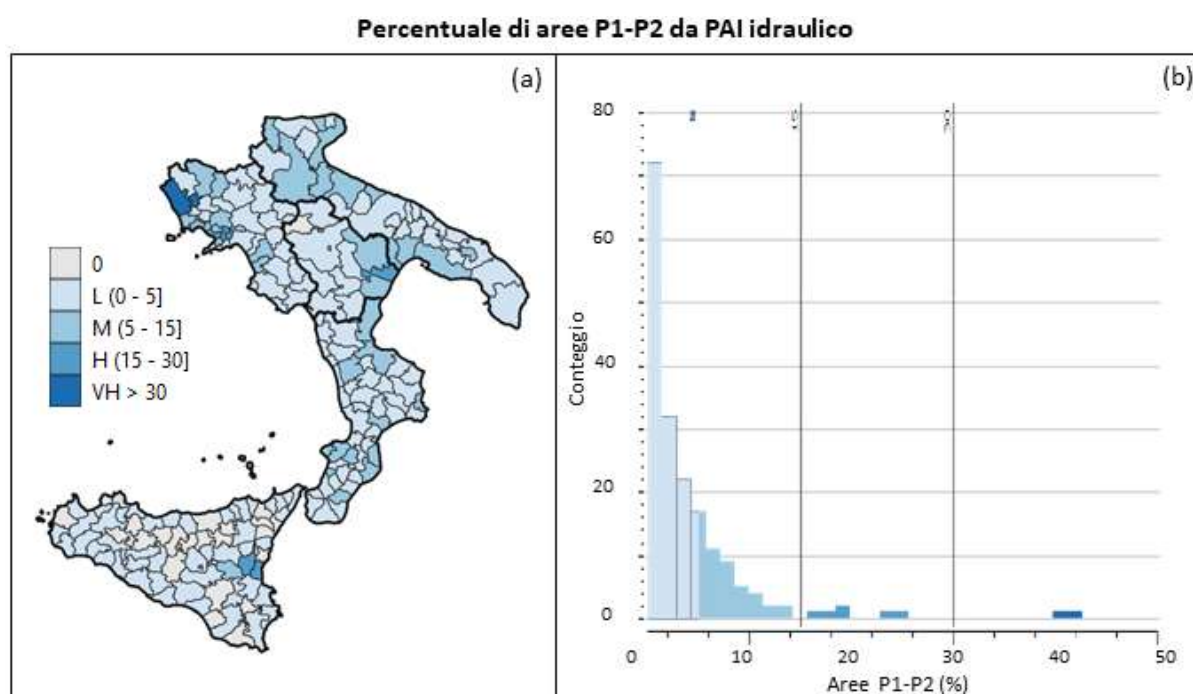


Figura 3.4 (a) Percentuale delle aree P1 e P2 censite dal PAI idraulico all'interno dei diversi CT/CUORE. (b) Conteggio dei CT/CUORE caratterizzati da diverse percentuali di area P1 e P2 mappata dal PAI idraulico.

La **Figura 3.5(a)** mostra la percentuale delle aree a pericolosità P3 e P4 da PAI idro all'interno dei singoli CT/CUORE, mentre la **Figura 3.5(b)** la distribuzione della percentuale di aree a pericolosità P3 e P4 mappata dal PAI idraulico all'interno dei singoli CT/CUORE. Quest'ultima figura evidenzia che la maggior parte dei CT/CUORE sono caratterizzati da pericolosità da alluvione P3 e P4 per un'area inferiore al 5%.

³ www.sitr.regione.sicilia.it/geoportale/it/metadata/details/676

Percentuale di aree P3-P4 da PAI idraulico

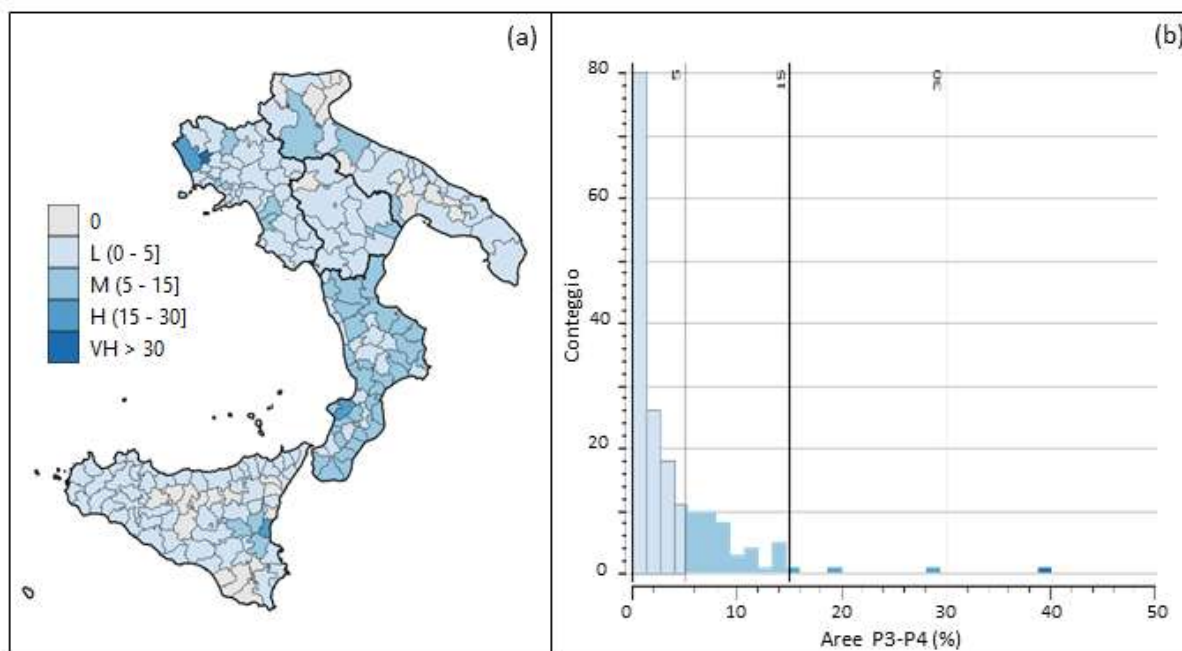


Figura 3.5 (a) Percentuale delle aree P3 e P4 censite dal PAI idraulico all'interno dei singoli CT/CUORE. (b) Conteggio dei CUORE caratterizzati da diverse percentuali di area P3 e P4 mappata dal PAI idraulico.

3.1.4 Numero degli eventi di tipo C

Ai fini dell'attività di protezione civile, gli eventi geoidrologici si distinguono in: a) eventi naturali o connessi con l'attività dell'uomo che possono essere fronteggiati mediante interventi attuabili dai singoli enti e amministrazioni competenti in via ordinaria; b) eventi naturali o connessi con l'attività dell'uomo che per loro natura ed estensione comportano l'intervento coordinato di più enti e amministrazioni competenti in via ordinaria; c) calamità naturali, catastrofi o altri eventi che per intensità ed estensione devono essere fronteggiati con mezzi e poteri straordinari (art. 2, L.225/92). Informazioni riguardanti gli eventi di tipo C sono disponibili nel sito del DPC⁴ che riporta tutti gli stati di emergenza per eccezionali eventi meteorologici, alluvioni e frane a partire da maggio 2013.

In questo paragrafo, la numerosità degli eventi di tipo C all'interno dei vari CT/CUORE è stata utilizzata come indicatore della pericolosità geo-idrologica dei diversi CT/CUORE. La Figura 3.6(a) mostra il numero di eventi di tipo C all'interno dei singoli CT/CUORE, evidenziando una distribuzione degli eventi di tipo C molto differente all'interno delle cinque regioni del PON. La regione i cui CT/CUORE presentano il maggior numero di eventi di tipo C è la Calabria, mentre le regioni con il minor numero di eventi di tipo C sono la Campania e la Puglia. Situazioni intermedie sono evidenti in Basilicata e in Sicilia, con un numero maggiore di eventi in Sicilia. La Figura 3.6(b) mostra la distribuzione della numerosità degli eventi di tipo C all'interno dei CT/CUORE.

Come evidenziato nel report A11_DT5 "Analisi di fattibilità del set di indicatori individuati comprendenti anche quelli costruiti ad hoc", va sottolineato che i dati relativi agli eventi di tipo C non risultano omogenei né dal punto di vista spaziale né temporale. I fenomeni geo-idrologici, infatti, non sempre hanno avuto un impatto tale da determinare l'emanazione di uno

⁴ <http://www.protezionecivile.gov.it/amministrazione-trasparente/interventi-straordinari-emergenza/emergenze-rischio-meteo-idro>

stato di emergenza, e spesso sono risultati abbastanza localizzati o con impatti limitati (eventi tipo A e B).

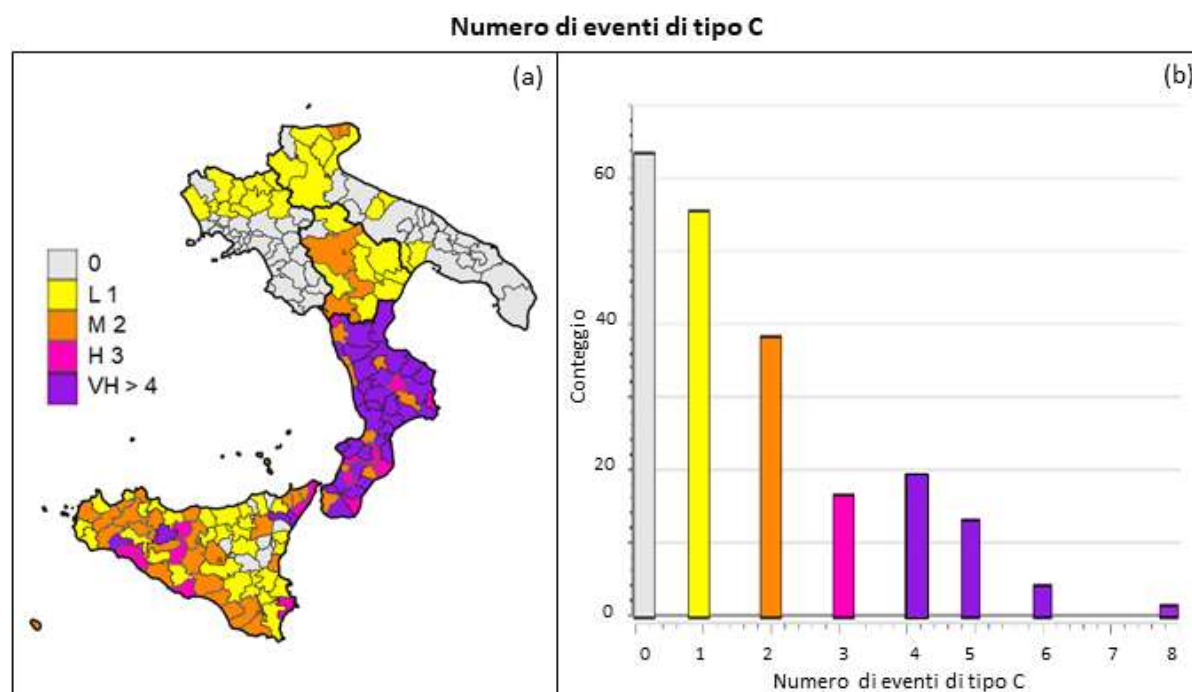


Figura 3.6 (a) Numero di eventi di tipo C all'interno dei singoli CT/CUORE. (b) Conteggio dei CT/CUORE caratterizzati da diversi eventi C.

3.1.5 Numero di interventi ReNDiS frane

Il progetto ReNDiS (Repertorio Nazionale degli interventi per la Difesa del Suolo) nasce nel 2005 a partire dall'attività di monitoraggio che l'ISPRA svolge, per conto del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM), sull'attuazione di Piani e programmi di interventi urgenti per la mitigazione del rischio idrogeologico finanziati dal Ministero stesso. Il principale obiettivo di ReNDiS è la formazione di un quadro unitario, sistematicamente aggiornato, delle opere e delle risorse impegnate nel campo di difesa del suolo, condiviso tra tutte le Amministrazioni che operano nella pianificazione ed attuazione degli interventi.

Le informazioni attualmente rese disponibili da ReNDiS riguardano tutti gli interventi finanziati dal MATTM con i diversi Piani e programmi di interventi urgenti nelle aree a rischio idrogeologico di cui al [D.L. 180/98](#), a partire dal 1998 fino ad oggi. A questi si aggiungono anche i due programmi per le aree percorse da incendi, finanziati ai sensi della [O.M. 3073/2000](#) nel 2001, e gli interventi di tutela ambientale e difesa del suolo finanziati, nel 2008, con i fondi connessi alla realizzazione del Ponte sullo stretto (<http://www.rendis.isprambiente.it>).

Presso il portale web di ReNDiS, alla sezione "*Open Data*"⁵ è possibile scaricare il file in formato vettoriale con l'ubicazione degli interventi. Nella tabella attributi del file vettoriale, oltre all'importo dell'intervento, sono riportate una serie di informazioni fra le quali: tipologia di dissesto (alluvione, costiero, frana, incendio, misto, non definito, valanga) e fase di attuazione dell'intervento (concluso, da avviare o dati non comunicati, defianziati o sostitutivi, in esecuzione, in progettazione).

⁵ <http://www.rendis.isprambiente.it/rendisweb/vistepub.jsp>

In questo paragrafo viene analizzata la numerosità di tutti gli interventi riportati da ReNDiS relativamente alle frane per definire un indicatore della pericolosità da frana. La Figura 3.7(a) mostra i CT/CUORE classificati in base al numero di interventi ReNDiS. La carta permette di evidenziare che il maggior numero di interventi è localizzato lungo l'Appennino Calabro-Lucano. La Figura 3.7(b) mostra invece la distribuzione delle informazioni di interventi ReNDiS relativi alle frane. La suddivisione in classi è stata effettuata considerando la distribuzione della numerosità degli interventi relativi alle frane all'interno dei vari CT/CUORE.

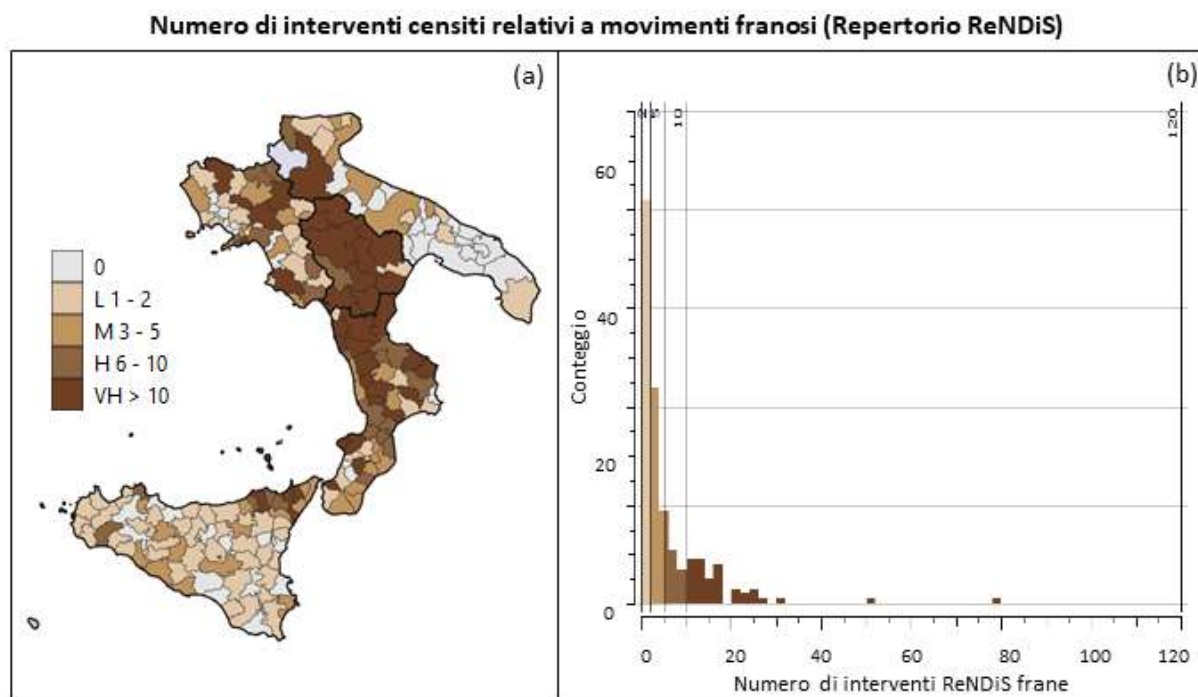


Figura 3.7 (a) Numero di interventi ReNDiS relativi alle frane all'interno dei singoli CT/CUORE. (b) Conteggio dei CT/CUORE caratterizzati da diversi numeri di interventi ReNDiS.

3.1.6 Numero di interventi ReNDiS alluvioni

In questo paragrafo la numerosità di tutti gli interventi riportati da ReNDiS relativamente alle alluvioni viene utilizzata come indicatore della pericolosità idraulica dei diversi CT/CUORE.

La Figura 3.8(a) mostra il numero di interventi ReNDiS relativi alle alluvioni (ReNDiS alluvioni) all'interno dei singoli CT/CUORE, evidenziando una distribuzione degli interventi "a macchia di leopardo" all'interno delle cinque regioni del progetto PON Governance. La Figura 3.8(b) mostra invece la distribuzione delle informazioni di interventi ReNDiS relativi alle alluvioni (ReNDiS alluvioni) evidenziando che la maggior parte dei CT/CUORE conta un numero di interventi inferiore a 2. La suddivisione in classi è stata effettuata seguendo le classi utilizzate per la numerosità degli interventi ReNDiS relativi alle frane all'interno dei vari CT/CUORE (Figura 3.7b del Paragrafo § 3.1.5).

Numero di interventi censiti relativi alle alluvioni (Repertorio ReNDiS)

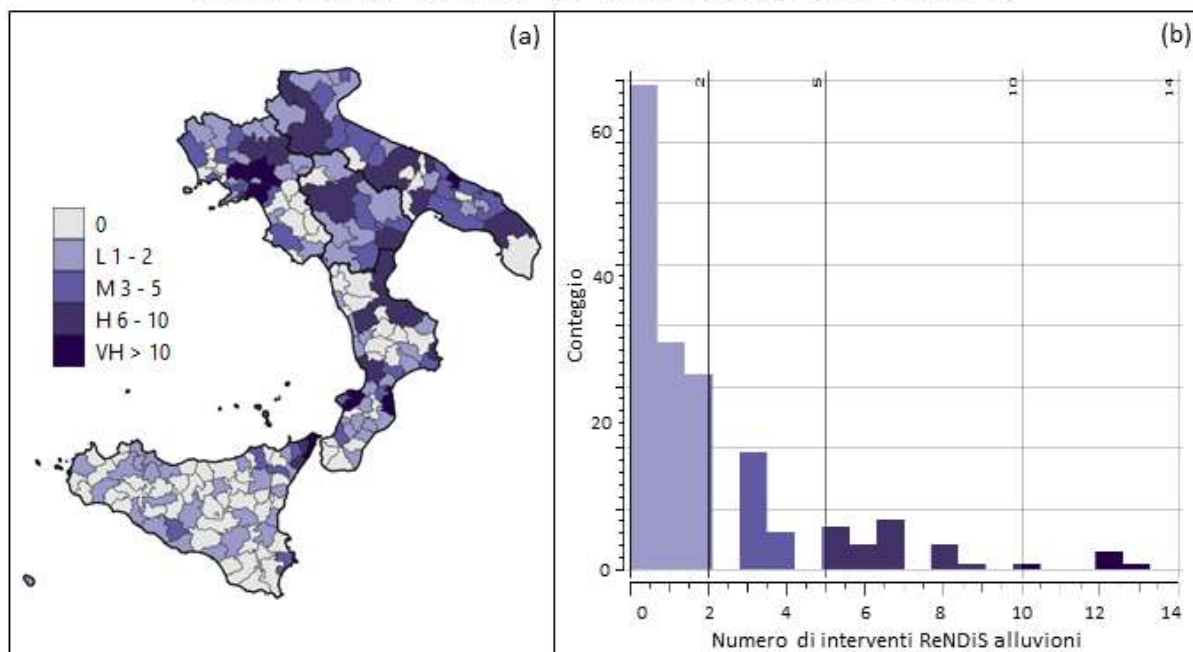


Figura 3.8 (a) Numero di interventi ReNDiS relativi alle alluvioni all'interno dei singoli CT/CUORE. (b) Numero dei CT/CUORE caratterizzati da diversi numeri di interventi ReNDiS relativi alle alluvioni.

3.1.7 Numero di frane con vittime

I dati descritti in questo paragrafo provengono dal catalogo degli eventi di frane e inondazioni con danni alle persone messo a disposizione dal CNR-IRPI (di seguito nominato "catalogo danni alle persone"). I dati del catalogo sono disponibili parzialmente nel sito web Polaris (<http://polaris.irpi.cnr.it/>) e sono stati utilizzati per la redazione di diverse pubblicazioni scientifiche (Salvati et al., 2010; Salvati et al., 2013; Salvati et al., 2017; Rossi et al., 2019).

La Figura 3.9(a) mostra i CT/CUORE classificati in base al numero di frane con vittime verificatesi nel periodo 1989-2019 riportate nel "catalogo danni alle persone". La carta evidenzia una distribuzione dell'informazione "a macchia di leopardo" all'interno delle cinque regioni del progetto PON Governance con una maggiore concentrazione in Campania. La figura inoltre permette di individuare i CT/CUORE con numero di frane con vittime maggiori di 4: il CT di Sarno (Campania) e il CUORE numero 500 di Messina (Sicilia) dove sono avvenuti, rispettivamente, l'evento di Sarno e Quindici del 1998 che ha causato 160 vittime (<http://polaris.irpi.cnr.it/>) e l'evento di Messina del 2009 che ha causato più di 30 vittime (<http://polaris.irpi.cnr.it/>; Regione Siciliana, Centro Funzionale Regionale, 2009). La Figura 3.9(b) mostra invece la distribuzione del numero di frane con vittime dal 1989 al 2019 all'interno dei singoli CT/CUORE evidenziando che nella maggior parte dei CT/CUORE non si sono verificate frane con vittime nel periodo di osservazione. La suddivisione in classi è stata effettuata seguendo le classi proposte nel Paragrafo § 3.1.4 (Frequenza degli eventi di tipo C).

Numero di frane con vittime 1989 - 2019 (Polaris)

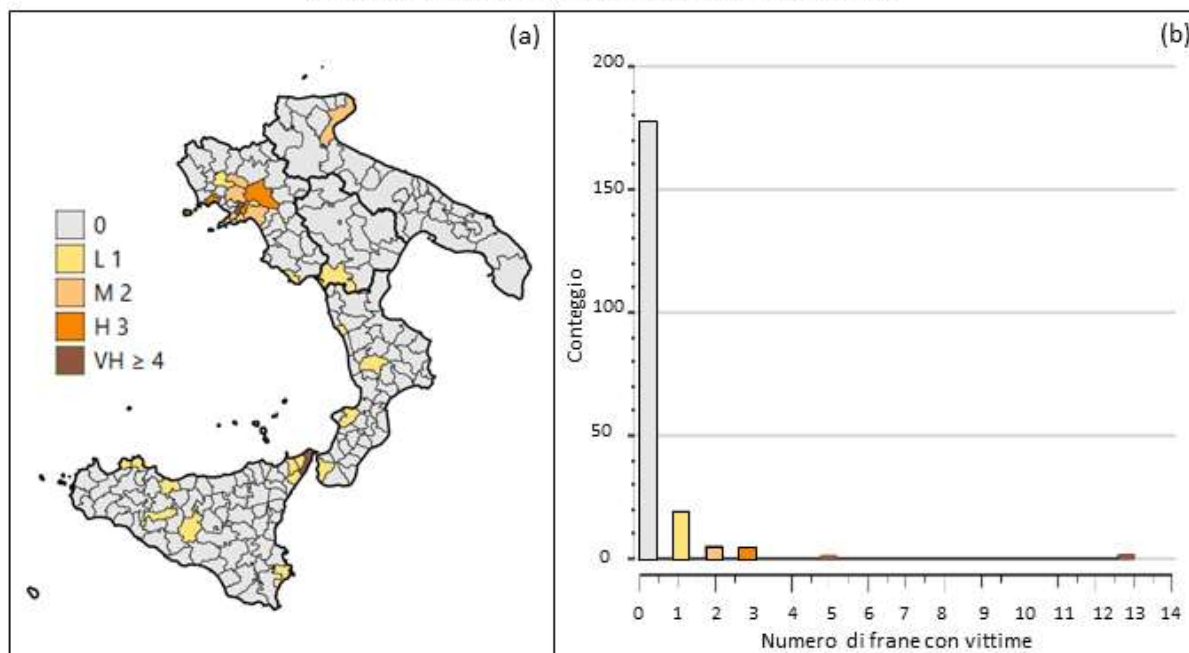


Figura 3.9 (a) Numero di frane con vittime dal 1989 al 2019 all'interno dei singoli CT/CUORE. (b) Conteggio dei CT/CUORE caratterizzati da diversi numeri di frane con vittime dal 1989 al 2019.

3.1.8 Numero di inondazione con vittime

Il catalogo "danni alle persone" è stato analizzato anche riguardo le inondazioni con vittime. La Figura 3.10(a) mostra il numero di inondazioni con vittime all'interno dei diversi CT/CUORE verificatesi nel periodo 1989-2019, evidenziando una distribuzione dei fenomeni alluvionali con vittime più distribuita all'interno delle cinque regioni del progetto PON Governance rispetto agli eventi franosi con vittime. L'unico CT/CUORE ad avere un numero di inondazioni con vittime pari a 4 (valore massimo) è il CUORE numero 301 di Acireale interessato da alluvioni con vittime nel 1993, 1995, 1997 e 2013. La Figura 3.10(b) mostra invece la distribuzione del numero di alluvioni con vittime nel periodo 1989-2019 all'interno dei singoli CT/CUORE evidenziando che nella maggior parte dei CT/CUORE non si sono verificate frane con vittime nel periodo di osservazione. La suddivisione in classi è stata effettuata seguendo le classi proposte nei § 3.1.4 e 3.1.7 (Frequenza degli eventi di tipo C e Numero di frane con vittime).

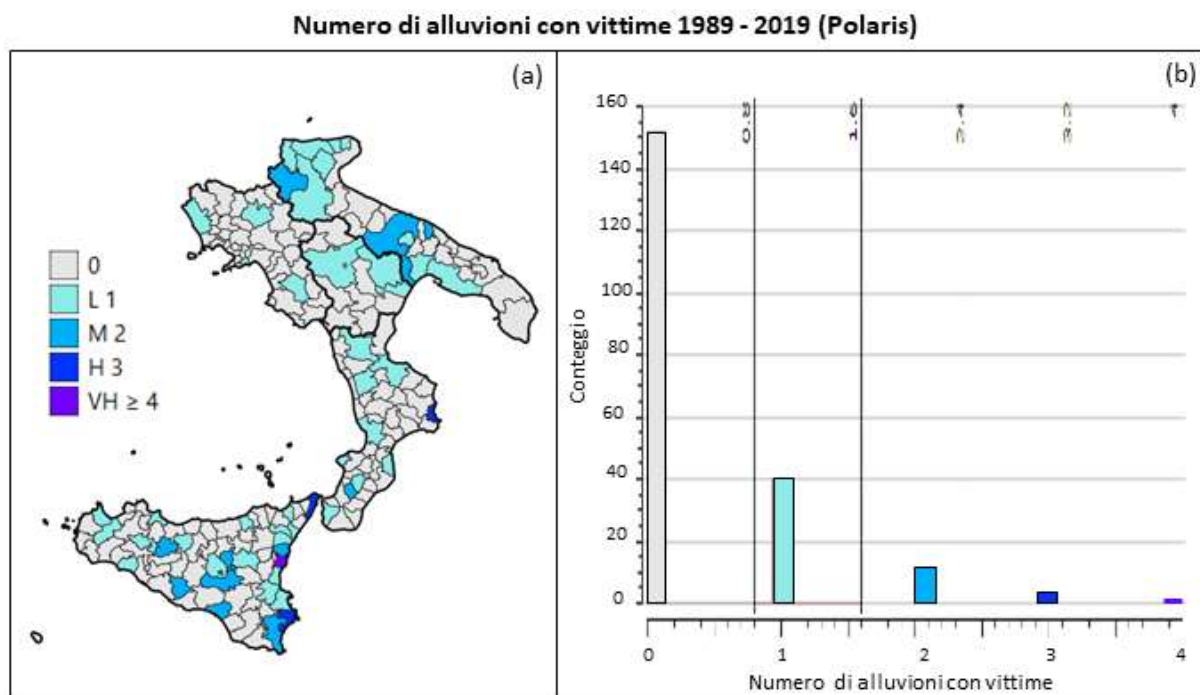


Figura 3.10 (a) Numero di alluvioni con vittime dal 1989 al 2019 all'interno dei *singoli CT/CUORE*. (b) *Conteggio dei CT/CUORE* caratterizzati da diversi numeri di alluvioni con vittime dal 1989 al 2019.

3.1.10 Percentuale e numero di aree incendiate

Il Dipartimento di Protezione Civile ha reso disponibile l'informazione relativa alle aree incendiate per tutto il territorio nazionale, in formato vettoriale, per il periodo compreso fra Gennaio 2007 e Dicembre 2017. Nella tabella attributi del file vettoriale sono contenute le informazioni relative alla data di occorrenza dell'incendio. L'analisi spaziale del database ha permesso di calcolare per ciascun CT/CUORE la percentuale di territorio che ha subito incendi fra il 2007 e il 2017.

La Figura 3.11(a) mostra i CT/CUORE classificati in base alla percentuale delle aree incendiate. Le classi di percentuale sono state definite seguendo le classi dell'indice di franosità su base comunale proposta da [ISPRA \(2018a\)](#). La figura evidenzia che i CT/CUORE che non hanno subito incendi nel periodo di osservazione sono 4, di cui 3 localizzati in Campania (Arzano, Aversa, Caivano e Capri) e 1 localizzato in Puglia (Molfetta) e che i CT/CUORE caratterizzati da una percentuale di incendi da media (M) a molto alta (VH) sono 94, pari al 45% della totalità dei CT/CUORE. Questi 94 CT/CUORE sono localizzati principalmente in Campania, in Calabria e in Sicilia. La Figura 3.11(b) mostra invece la distribuzione della percentuale di aree incendiate nel periodo 2007-2017 all'interno dei singoli CT/CUORE, evidenziando che la maggior parte dei CT/CUORE presentano una percentuale di aree incendiate comprese fra l'1% e il 15% del proprio territorio.

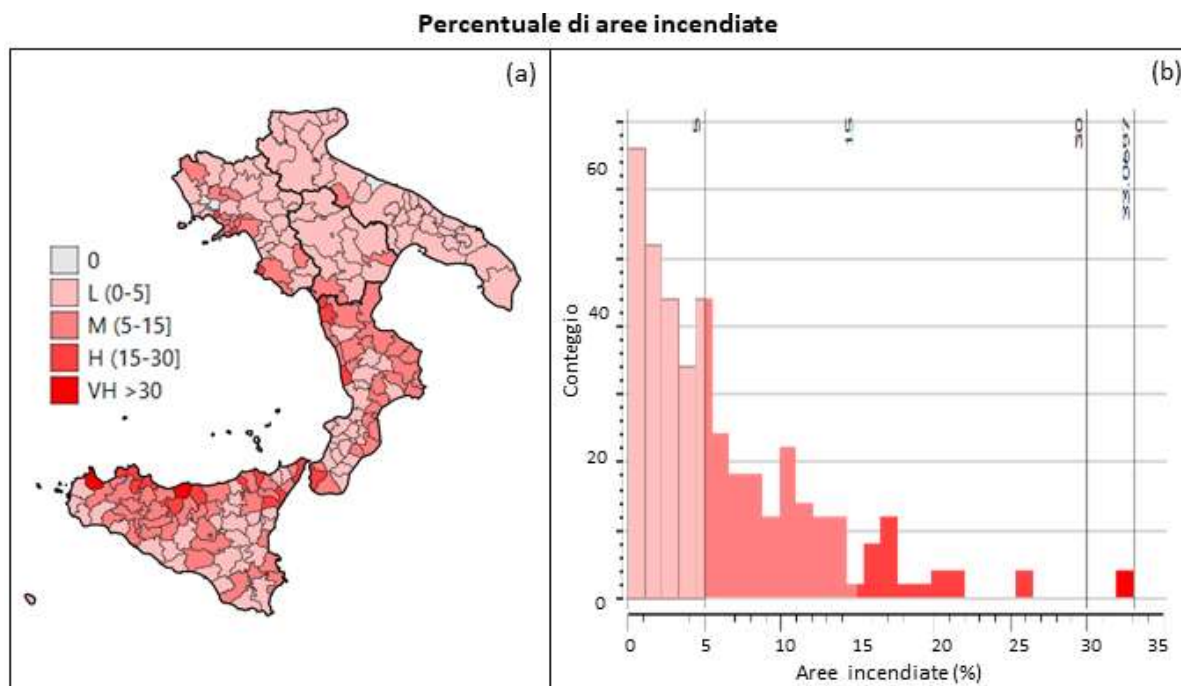


Figura 3.11 (a) Percentuale delle aree incendiate all'interno dei singoli CT/CUORE nel periodo 2007-2017. (b) Conteggio dei CT/CUORE caratterizzati da diverse percentuali di aree incendiate nel periodo 2007-2017.

Il Dipartimento della Protezione Civile ha inoltre reso disponibile l'informazione relativa alla frequenza di incendi, in formato raster, relativo a tutto il territorio nazionale per un periodo compreso fra Gennaio 2007 e Dicembre 2017. È stato quindi possibile determinare per ciascun CT/CUORE il numero massimo di incendi occorsi nel periodo di osservazione.

La Figura 3.12(a) mostra i CT/CUORE classificati in base al numero massimo di incendi occorsi fra il 2007 e il 2017. È possibile notare che nella gran parte dei CT/CUORE sono stati riportati un numero di incendi superiore a 4. La Figura 3.12(b) mostra invece la distribuzione del numero di incendi riportati nei CT/CUORE nel periodo 2007-2017, evidenziando che la maggior parte dei CT/CUORE hanno subito un numero massimo di incendi compreso fra 3 e 4. La suddivisione in classi è stata effettuata seguendo le classi proposte nei Paragrafi 3.1.4, 3.1.7 e 3.1.8 (Frequenza degli eventi di tipo C, Numero di frane con vittime e Numero di alluvioni con vittime).

L'informazione relativa alle aree incendiate potrebbe essere utilizzata per stimare l'impatto dell'incendio sulla suscettibilità da frana.

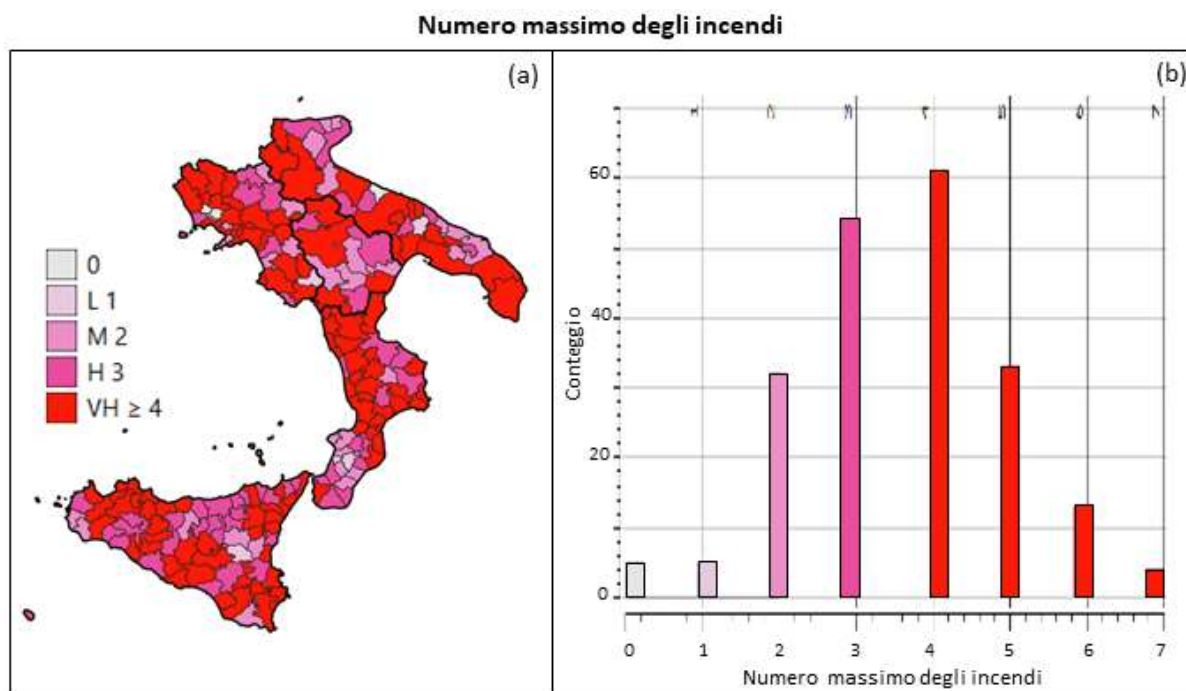


Figura 3.12 (a) Numero massimo di incendi registrati all'interno dei singoli CT/CUORE nel periodo 2007-2017. (b) Conteggio dei CT/CUORE caratterizzati da diversi numeri massimi di aree incendiate nel periodo 2007-2017.

3.2 Indicatori definiti utilizzando dataset disponibili a scala regionale

Il CFDMI – Sezione Idro della Regione Siciliana, nell'ambito del progetto POR FESR Sicilia 2007 – 2013 - Linea intervento 2.3.1.C, ha censito attraverso l'interpretazione delle immagini di Google Earth i movimenti franosi e una serie di punti di possibile criticità idraulica (ponti, sottopassaggi etc...). Per semplicità i punti relativi alle frane vengono di seguito nominati “nodi frana”, mentre quelli relativi alle criticità idrauliche “nodi idro”.

La numerosità dei “nodi frana” è stata utilizzata come indicatore della pericolosità da frana. La Figura 3.13(a) mostra i CUORE classificati in base al numero di “nodi frana” censiti all'interno del proprio territorio. La Figura 3.13(b) mostra invece la distribuzione del numero di “nodi frana” all'interno dei singoli. La suddivisione in classi è stata effettuata considerando la distribuzione della numerosità dei “nodi frana” all'interno dei vari CUORE.

La numerosità dei “nodi idro” è stata utilizzata come indicatore della pericolosità idraulica. La Figura 3.14(a) mostra i CUORE classificati in base al numero di “nodi idro” censiti all'interno del proprio territorio. La Figura 3.14(b) mostra invece la distribuzione del numero di “nodi idro” all'interno dei singoli. La suddivisione in classi è stata effettuata seguendo la suddivisione utilizzata per la numerosità dei “nodi frana” all'interno dei vari CUORE (Figura 3.13b)

Numero di «nodi frana» censiti dal CFDMI - Sicilia

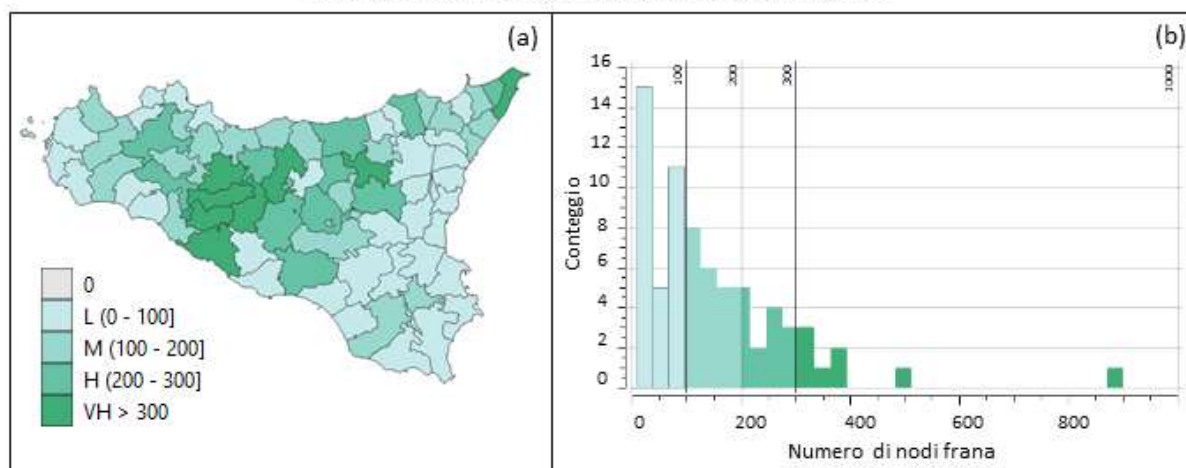


Figura 3.13 (a) Numero di “nodi frana” all’interno dei singoli CUORE. (b) Conteggio dei CUORE caratterizzati da diversi numeri di “nodi frana”.

Numero di «nodi idro» censiti dal CFDMI - Sicilia

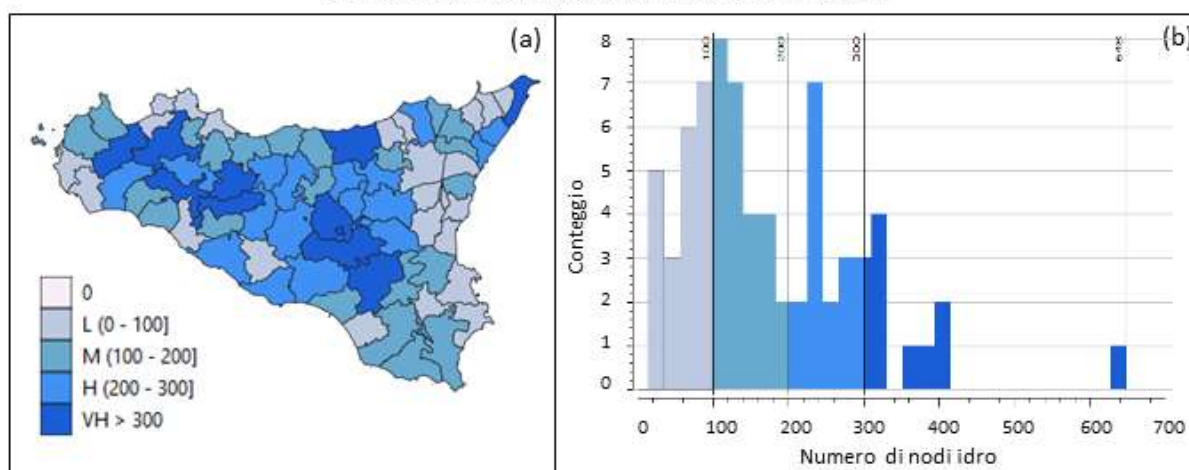


Figura 3.14 (a) Numero di “nodi idro” all’interno dei singoli CUORE. (b) Conteggio dei CUORE caratterizzati da diversi numeri di “nodi idro”.

4. Indici territoriali

In questo paragrafo vengono descritti alcuni esempi nei quali sono stati calcolati gli indici di pericolosità. In Tabella 4.1 sono elencati gli indici di pericolosità frane e alluvioni e le relative aree di studio.

Tabella 4.1 Elenco degli indici di pericolosità (frane e alluvioni) e aree di studio dove sono stati calcolati

	Indice	Area di Studio
Indici di pericolosità frane	Indice di franosità	Regione Siciliana
	Indice di impatto	Regione Siciliana
	Indice di suscettibilità	CT di Catanzaro (Regione Calabria)
	Indice di operatività semplificata	CT di Catanzaro (Regione Calabria)
Indici di pericolosità piene	Indice di alluvionabilità	Regione Siciliana
	Indice di impatto	Regione Siciliana
	Indice di suscettibilità	CT di Catanzaro (Regione Calabria)
	Indice di operatività semplificata	CT di Catanzaro (Regione Calabria)

Come spiegato nel Paragrafo § 2, l'indice viene definito e calcolato dalla combinazione di un insieme di indicatori. Per la definizione di indice, ad ogni indicatore viene attribuito un peso seguendo la formula di Equazione [1]

$$I = (i_1 \times w_1) + (i_2 \times w_2) + (i_3 \times w_3) + (\dots) + (i_n \times w_n) \quad \text{Equazione [1]}$$

dove I rappresenta l'indice, $i_1, i_2, i_3, \dots, i_n$ i singoli indicatori e $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ i pesi associati agli indicatori. Per ottenere indici che variano da 0 a 1, la somma dei pesi associati agli indicatori dovrà essere pari a 1 ($w_1 + w_2 + w_3 + \dots + w_n = 1$). La scelta dei valori da assegnare ai pesi è il risultato di una "valutazione esperta". Inoltre, per ottenere indici che variano da 0 a 1 sono state effettuate operazioni di normalizzazione degli indicatori secondo le seguenti procedure:

(i) gli indicatori espressi in percentuale (come ad esempio la percentuale di aree in frana IFFI) sono espressi in unità decimali dividendo il valore percentuale per 100 (ad esempio 10% espresso in unità decimali diventa 0.1),

(ii) gli indicatori espressi in unità (come ad esempio il numero di eventi di tipo C) sono normalizzati seguendo due criteri:

- Criterio 1 utilizzando la relazione di Equazione [2]

$$iN_{CT} = (i_{CT} - i_{min}) / (i_{max} - i_{min}) \quad \text{Equazione [2]}$$

dove iN_{CT} è il valore normalizzato dell'indicatore calcolato all'interno del CT, i_{CT} è il valore dell'indicatore all'interno del CT, i_{min} e i_{max} sono, rispettivamente, il valore minimo e il valore massimo dell'indicatore all'interno del dataset.

- Criterio 2 utilizzando la relazione di Equazione [3]

$$\delta i_{CT} = (i_{CT} / \Sigma i) \quad \text{Equazione [3]}$$

dove δi_{CT} è il valore di densità normalizzato dell'indicatore all'interno del CT, i_{CT} è il valore dell'indicatore all'interno del CT e Σi è il numero totale dell'indicatore all'interno del dataset.

Ogni indicatore è stato normalizzato selezionato il criterio idoneo. Nelle figure seguenti sono riportati gli indicatori normalizzati. In Figura 4.1 è riportato il numero normalizzato di eventi C all'interno dei singoli CUORE; in Figura 4.1(a) e 4.2(b) sono mostrati, rispettivamente, il numero normalizzato di interventi ReNDiS relativi alle frane e relativi alle piene; in figura 4.3(a) e 4.3(b) sono illustrati, rispettivamente, il numero normalizzato di frane con vittime e di alluvioni con vittime; mentre in Figura 4.4(a) e 4.4(b) sono riportate, rispettivamente, (i) la densità dei "nodi frana" e (ii) la densità dei "nodi idro" all'interno dei diversi CUORE, e in Figura 4.4(c) e 4.4(d) sono riportate, rispettivamente, (iii) la distribuzione dei "nodi frana" (iv) e la distribuzione dei "nodi idro" all'interno dei singoli CUORE.

Numero normalizzato di Eventi C

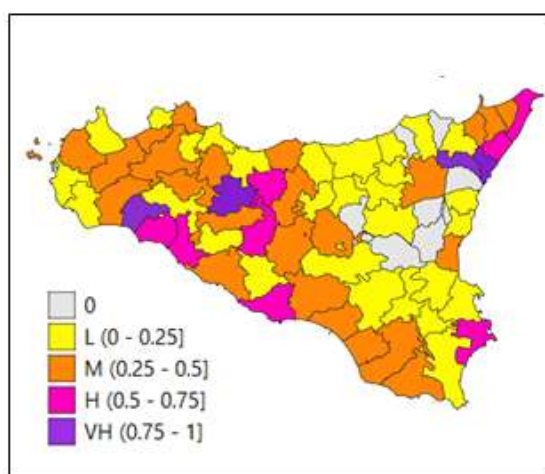


Figura 4.1 Numero normalizzato di eventi C all'interno dei CUORE

Numero normalizzato ReNDiS frane

Numero normalizzato ReNDiS alluvioni

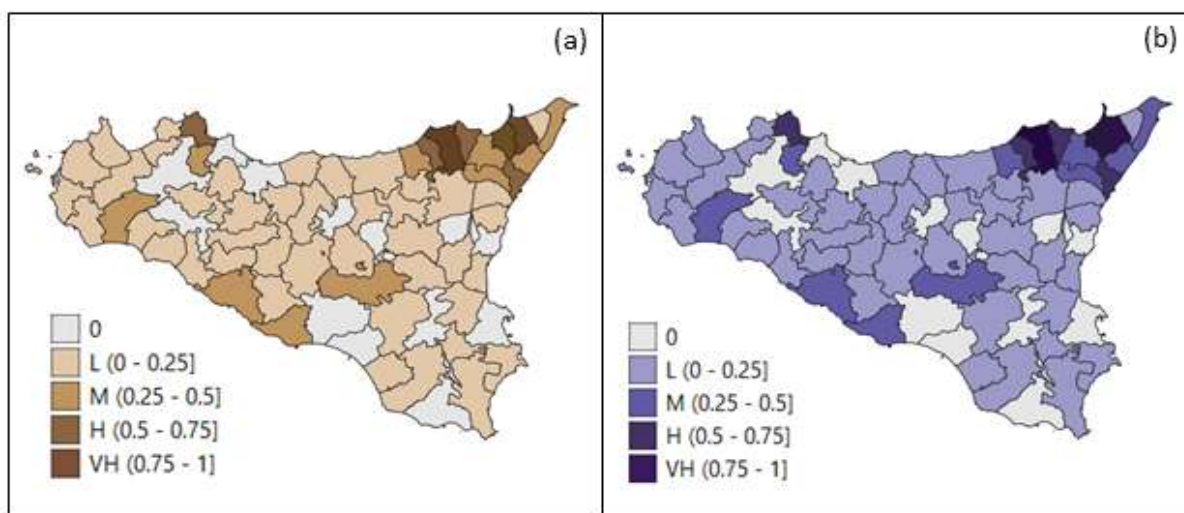
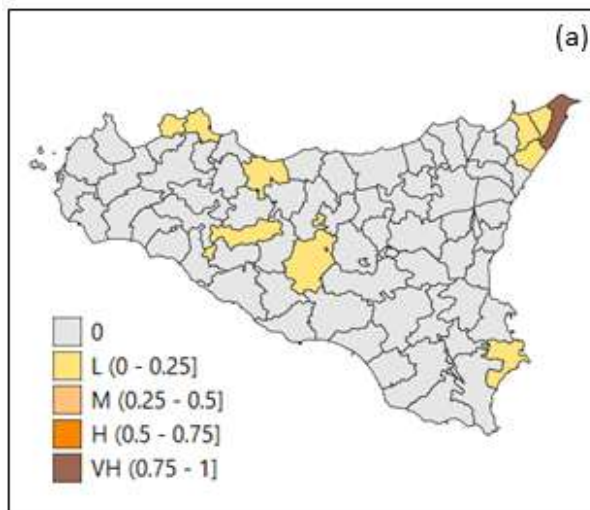


Figura 4.2 Numero normalizzato di interventi ReNDiS relativi alle frane (a) e alle piene (b) all'interno dei CUORE

Numero normalizzato frane con vittime



Numero normalizzato alluvioni con vittime

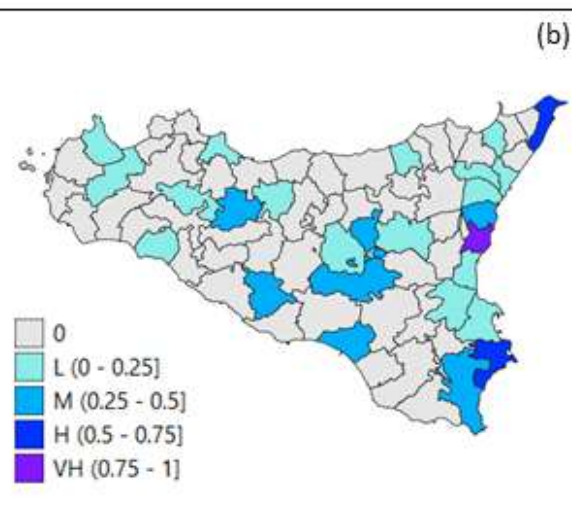
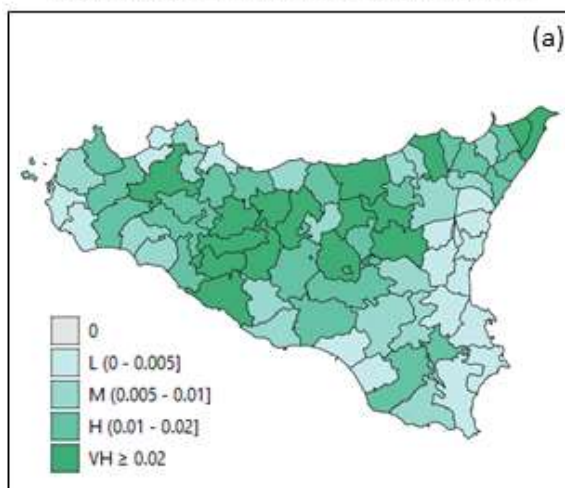


Figura 4.3 Numero normalizzato di frane con vittime (a) e di piene con vittime (b) all'interno dei CUORE

Densità «nodi frana» da CFDMI - Sicilia



Densità «nodi idro» da CFDMI - Sicilia

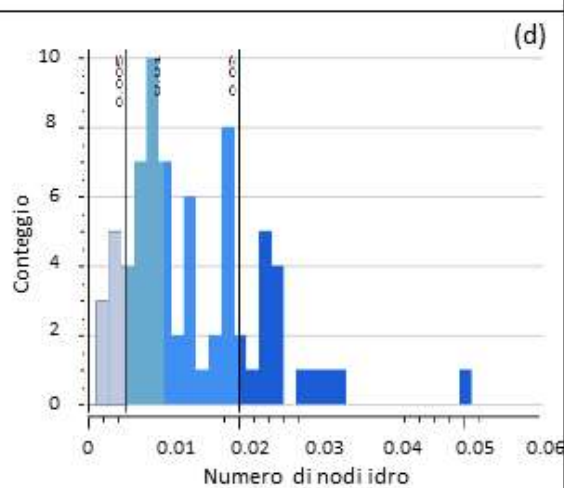
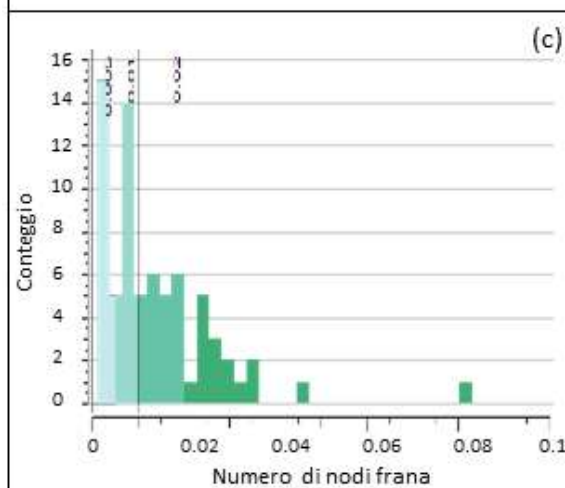
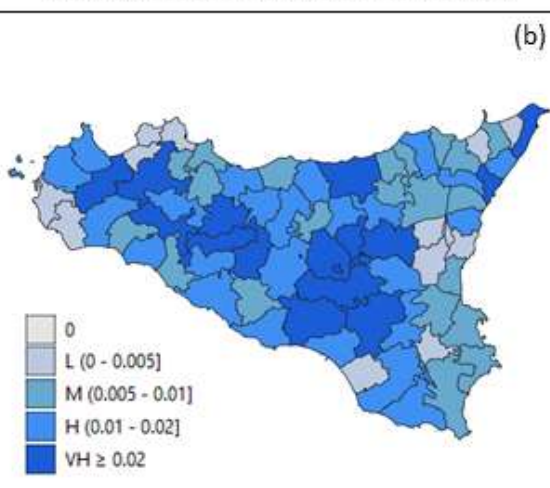


Figura 4.4 Densità dei «nodi frana» (a) e dei «nodi idro» (b) all'interno dei CUORE e conteggio dei CUORE caratterizzati da diversi numero di «nodi frana» (c) e di «nodi idro» (d).

4.1 Indici territoriali frane

4.1.1 Indice di franosità

L'indice di franosità ("idistrgeo" nel file *.shp) è stato definito utilizzando i seguenti indicatori:

- (i) percentuale delle aree in frana da IFFI,
- (ii) percentuale delle aree AA, P1 e P2 da PAI frane,
- (iii) percentuale delle aree P3 e P4 da PAI frane,
- (iv) densità dei "nodi frana" censiti dal CFDMI – Regione Siciliana.

Per prima cosa è stato verificato il grado di sovrapposizione delle aree PAI frane e i poligoni dell'IFFI. La Tabella 4.2 mostra che (i) i poligoni IFFI hanno un'area complessiva di 294 km², (ii) i poligoni delle aree AA, P1 e P2 dal PAI frana hanno un'area complessiva di 1065 km², e che (iii) i poligoni delle aree P3 e P4 dal PAI frana hanno un'area complessiva di 122 km².

La tabella mostra inoltre che (i) l'area di IFFI che si sovrappone alle aree AA, P1 e P2 dal PAI frane è di 67 km², pari al 22.79% di IFFI e che (ii) l'area di IFFI che si sovrappone alle aree P3 e P4 dal PAI frane è di 16 km², pari al 5.44% di IFFI. La sovrapposizione di IFFI sulle aree AA, P1 e P2 dal PAI frane (22.79%) è stata considerata non trascurabile, a differenza della sovrapposizione di IFFI sulle aree P3 e P4 dal PAI frane (5.44%).

Tabella 4.2 Confronto fra le aree IFFI e le aree PAI frane

	km ²	% IFFI rispetto al PAI
Area IFFI	294	
Area AA, P1 e P2 da PAI frane	1106	
Sovrapposizione IFFI + AA-P1-P2	67	22.79
Area IFFI	294	
Area P3 e P4 da PAI frane	122	
Sovrapposizione IFFI + P3-P4	16	5.44

Per evitare quindi di considerare per due volte le aree in sovrapposizione, i poligoni IFFI sono stati uniti con i poligoni AA, P1 e P2 del PAI frana, in modo da formare un unico indicatore, di seguito denominato "Percentuale IFFI + PAI frana (AA, P1, P2)".

Di conseguenza, per la determinazione dell'indice di franosità, i quattro indicatori di partenza sono stati combinati in modo da ottenere 3 indicatori che sono stati così nominati:

- (i) Percentuale IFFI + PAI frana (AA, P1, P2)
- (ii) Percentuale PAI frana (P3, P4)
- (iii) δ "nodi frana"

Tali indicatori sono stati poi combinati considerando 4 scenari (Tabella 4.3), ai quali corrispondono diversi valori dei pesi (w) da applicare alla formula di Equazione [1].

Gli scenari sono così schematizzabili:

- (i) Scenario 1 con stesso peso dato a: Percentuale IFFI + PAI frana (AA, P1, P2) ($w=0.33$), Percentuale PAI frana (P3, P4) ($w=0.33$) e δ "nodi frana" ($w=0.33$);
- (ii) Scenario 2 con peso maggiore a δ "nodi frana" ($w=0.5$), peso intermedio Percentuale PAI frana (P3, P4) ($w=0.3$) e peso minore a Percentuale IFFI + PAI frana (AA, P1, P2) ($w=0.2$);
- (iii) Scenario 3 con peso maggiore a Percentuale PAI frana (P3, P4) ($w=0.5$), peso intermedio a δ "nodi frana" ($w=0.5$) e peso minore a Percentuale IFFI + PAI frana (AA, P1, P2) ($w=0.2$);
- (iv) Scenario 4 con peso uguale a δ "nodi frana" e Percentuale PAI frana (P3, P4) ($w=0.4$) e peso inferiore a Percentuale IFFI + PAI frana (AA, P1, P2) ($w=0.2$).

Lo Scenario 1 prevede pesi uguali per tutti gli indicatori. In tutti gli altri scenari (Scenario 2, Scenario 3 e Scenario 4) all'indicatore "Percentuale IFFI + PAI frana _(AA, P1, P2)" viene assegnato un peso minore ($w = 0.2$), considerando la bassa pericolosità (AA, P1 e P2) che tale indicatore esprime.

Tabella 4.3 Valore dei pesi (w) da assegnare agli indicatori considerando diversi scenari per la determinazione dell'indice di franosità

Indicatore	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4
Percentuale IFFI + PAI frana _(AA, P1, P2)	0.33	0.2	0.2	0.2
PAI frana _(P3, P4)	0.33	0.3	0.5	0.4
δ "nodi frana"	0.33	0.5	0.3	0.4

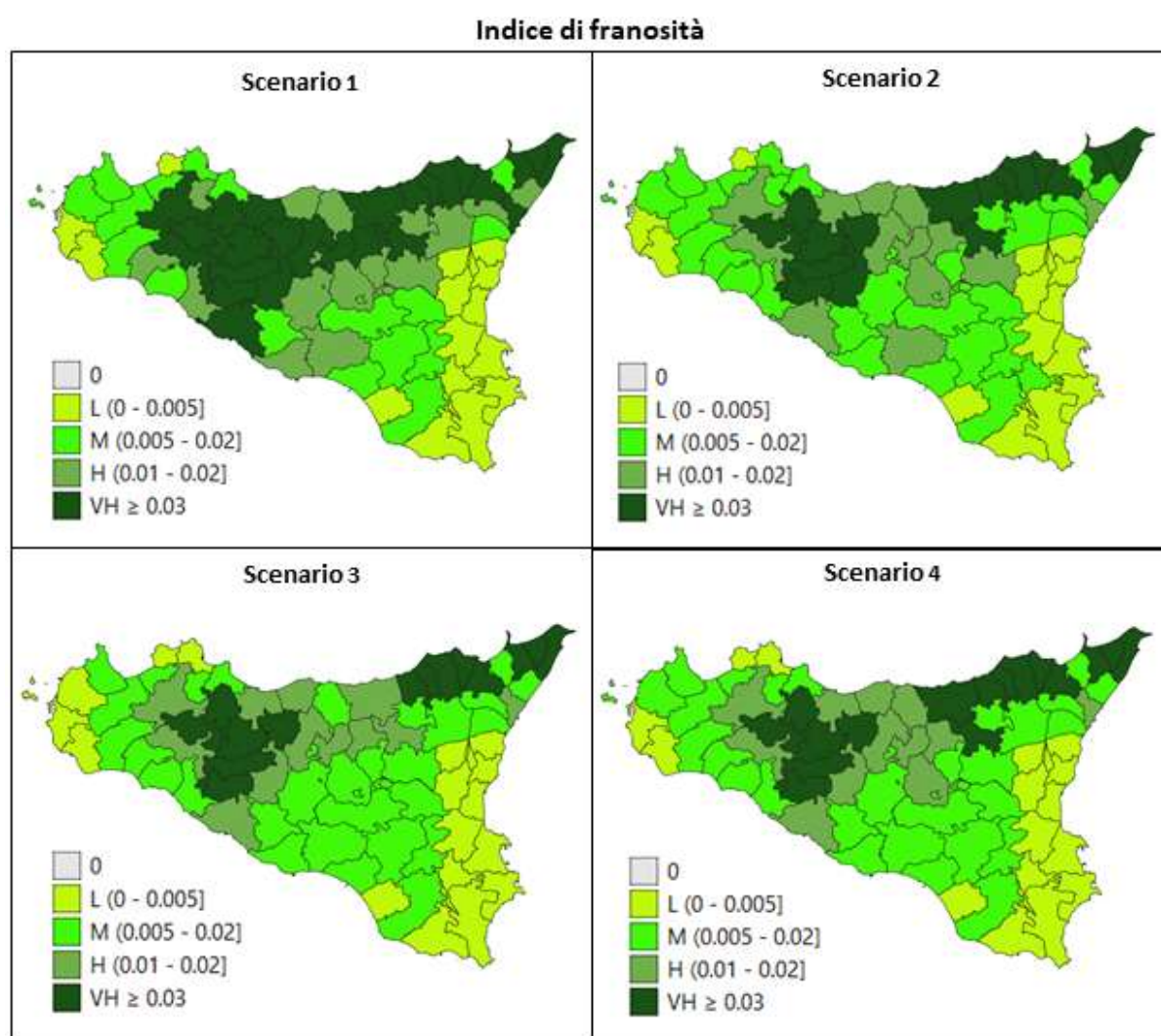


Figura 4.5 Indice di franosità all'interno dei CUORE calcolato con i pesi assegnati nei 4 scenari della Tabella 4.3

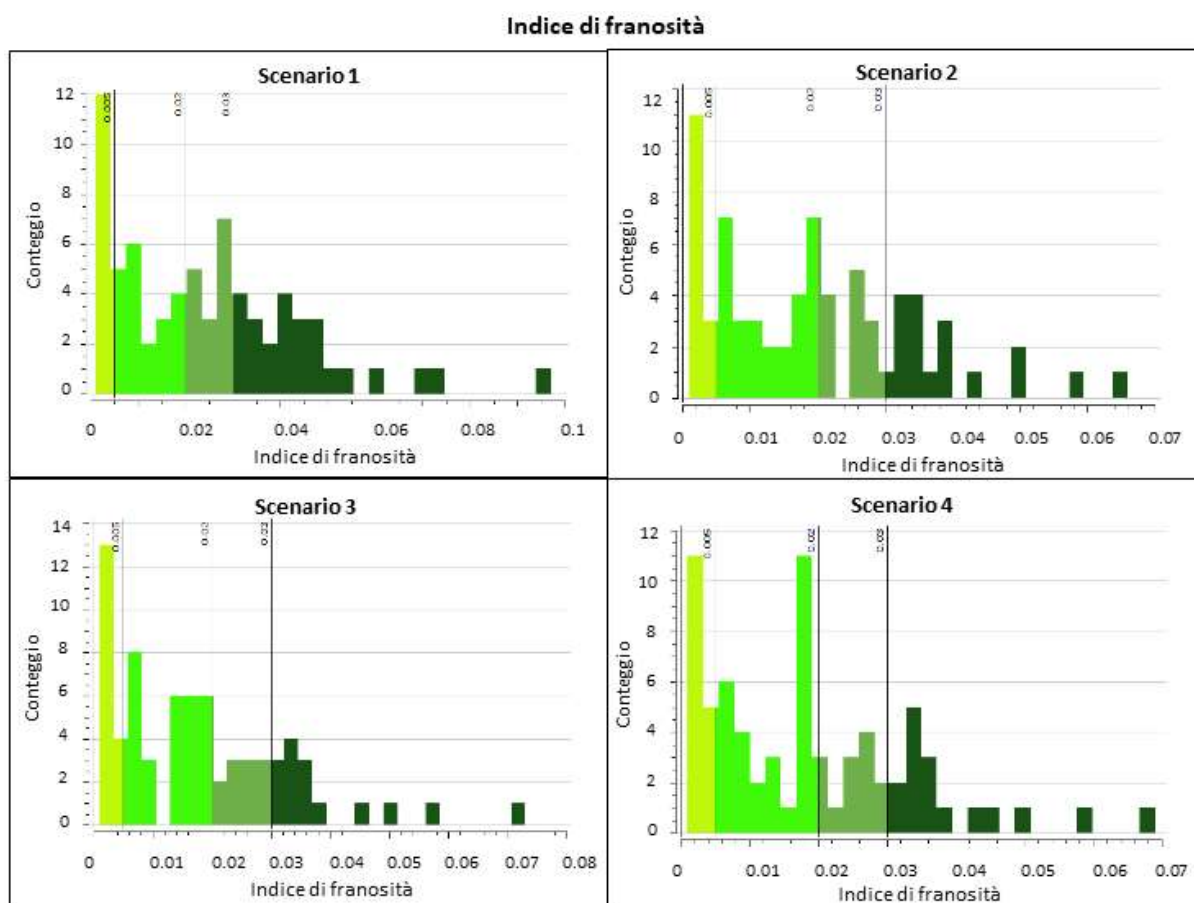


Figura 4.6 Conteggio dei CUORE caratterizzati da diversi valori dell'indice di franosità calcolato con i pesi assegnati nei 4 scenari della Tabella 4.3

La Figura 4.5 mostra i CUORE classificati in base all'indice di franosità calcolato con i pesi assegnati nei 4 scenari riportati nella Tabella 4.3, mentre la Figura 4.6 mostra la distribuzione dell'indice di franosità all'interno dei CUORE calcolato considerando i suddetti scenari. La suddivisione in classi (L: 0 – 0.005; M: 0.005 – 0.02; L: 0.02 – 0.03; VL: ≥ 0.03) è stata effettuata considerando i quantili dei valori che l'indice di franosità assume all'interno dei CUORE.

4.1.2 Indice dell'impatto delle frane

L'indice dell'impatto delle frane è il risultato della combinazione dei seguenti indicatori:

- (i) numero di frane con vittime (dato proveniente dal “catalogo danni alle persone”),
- (ii) numero di Eventi C,
- (iii) numero di interventi ReNDiS relativi alle frane.

Per la determinazione dell'indice dell'impatto delle frane sono stati considerati 3 scenari (Tabella 4.4) ai quali corrispondono diversi valori dei pesi (w) da applicare alla formula di Equazione [1].

Gli scenari sono così schematizzabili:

(i) Scenario 1 con stesso peso dato a numero di frane con vittime (“catalogo danni alle persone”), numero di eventi C e numero di interventi ReNDiS relativi alle frane ($w=0.33$);

(ii) Scenario 2 con peso maggiore a numero di frane con vittime (“catalogo danni alle persone”) e numero di eventi C ($w=0.40$) e peso minore a numero di interventi ReNDiS relativi alle frane ($w=0.20$);

(iii) Scenario 3 con peso maggiore a numero di frane con vittime (“catalogo danni alle persone”) ($w=0.50$) e peso minore e uguale a numero di eventi C e a numero di interventi ReNDiS relativi alle frane ($w=0.25$).

Lo Scenario 1 assegna pesi uguali per tutti gli indicatori, mentre nello Scenario 2 e 3 viene sempre assegnato il peso massimo all’indicatore “numero di frane con vittime” in quanto fa riferimento ad un catalogo più completo e accurato rispetto al “numero di Eventi C” e al “numero di interventi ReNDiS relativi alle frane” (vedere report A11_DT5 “Analisi di fattibilità del set di indicatori individuati comprendenti anche quelli costruiti ad hoc”).

Tabella 4.4 Valore dei pesi assegnati agli indicatori in tre scenari per la determinazione dell’indice dell’impatto delle frane

Indicatore	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
Numero di frane con vittime (Catalogo danni alle persone)	0.33	0.40	0.50
Numero Eventi C	0.33	0.40	0.25
Numero di interventi ReNDiS frane	0.33	0.20	0.25

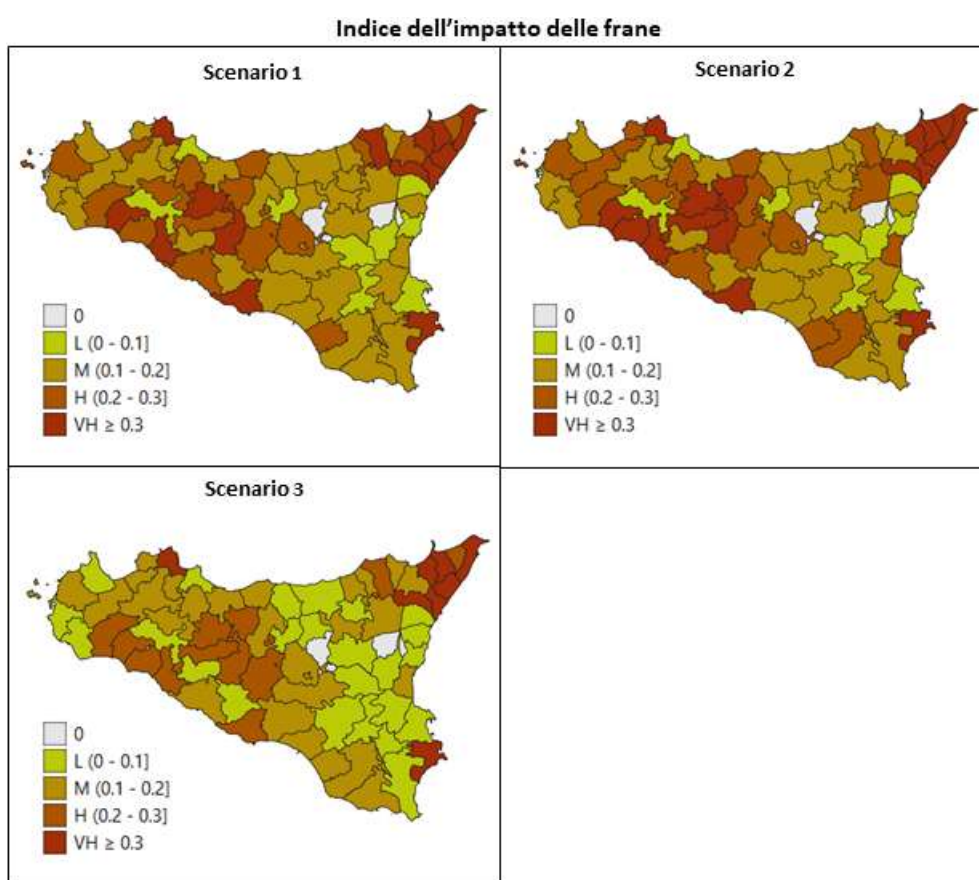


Figura 4.7 Indice dell’impatto delle frane all’interno dei singoli CUORE calcolato considerando 3 diversi scenari (Tabella 4.4)

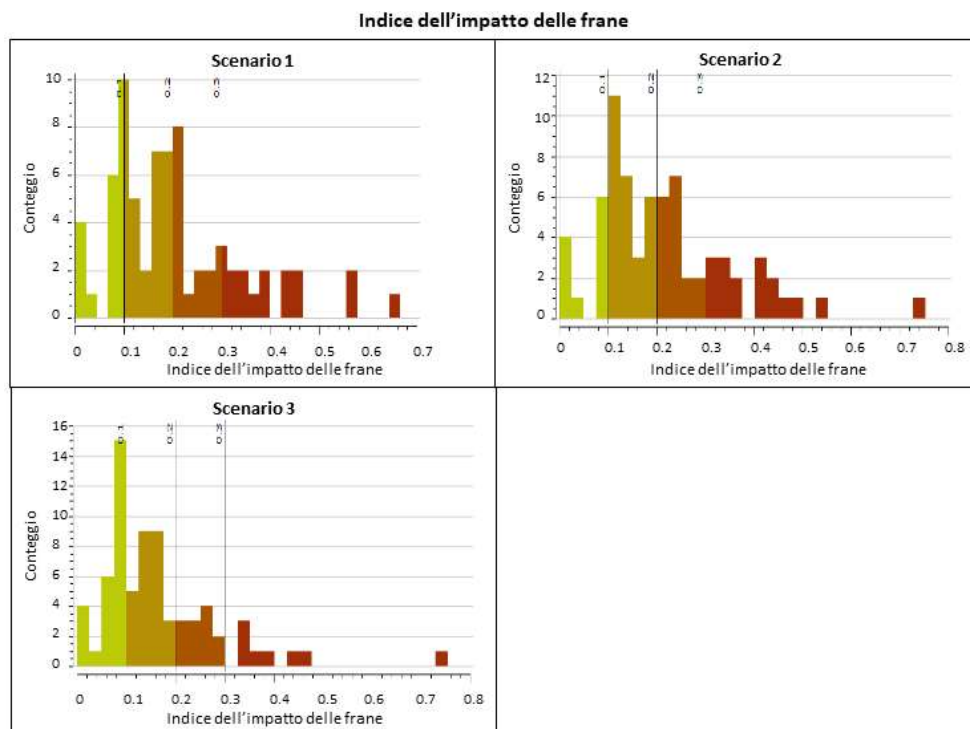


Figura 4.8 Conteggio dei CUORE caratterizzati da diversi valori dell'indice dell'impatto delle frane calcolato considerando 3 diversi scenari (Tabella 4.4)

La Figura 4.7 mostra l'indice dell'impatto delle frane all'interno dei diversi CUORE calcolato considerando i 3 scenari mostrati in Tabella 4.4, mentre la Figura 4.8 mostra la distribuzione dell'indice dell'impatto delle frane all'interno dei diversi CUORE calcolato considerando i suddetti scenari. La suddivisione in classi (L: 0 – 0.1; M: 0.1 – 0.2; L: 0.2 – 0.3; VL: ≥ 0.3) è stata effettuata considerando i quantili della serie di valori che l'indice dell'impatto delle frane assume all'interno dei diversi CUORE.

4.1.3 Indice di suscettibilità da frana

La pericolosità da frana è definita come la probabilità che una frana di una certa dimensione (o magnitudo) avvenga in un'area e in un periodo predeterminati ([Varnes et al. 1984](#), [Guzzetti et al. 1999](#), [2005](#), [2006](#)). Tale definizione incorpora i concetti (i) di “tempo” (quando o quanto frequentemente potrà accadere una frana), (ii) di “magnitudo” o dimensione (quanto grande o distruttiva sarà la frana) e (iii) di “spazio” (dove avverrà la frana).

La suscettibilità da frana è quindi una misura della propensione che un territorio ha di produrre dissesti ([Brabb, 1984](#)) o, in altre parole, la probabilità spaziale (geografica) di occorrenza di movimenti franosi ([Guzzetti et al., 2005](#)). La suscettibilità dipende dalle caratteristiche geomorfologiche, geologiche e climatiche di un territorio e può essere influenzata dall'azione dell'uomo. La suscettibilità è tempo invariante, ossia non tiene conto di quando o quanto frequentemente potranno avvenire le frane, e neppure quanto grande (dimensione) o distruttivo potrà essere un dissesto ([Guzzetti et al., 2005](#); [Guzzetti, 2006](#)). Una zonazione della suscettibilità da frana suddivide e classifica un territorio sulla base della propensione che lo stesso ha di produrre frane. I metodi più comunemente utilizzati per la valutazione della suscettibilità da frana, e per la produzione di carte di suscettibilità, possono essere classificati in metodi quantitativi o qualitativi, e diretti od indiretti. I metodi quantitativi forniscono una valutazione numerica e quantitativa del grado di pericolosità, generalmente in termini di probabilità d'occorrenza. I metodi qualitativi effettuano una valutazione qualitativa (euristica) del grado di suscettibilità da frana. I metodi diretti valutano direttamente la suscettibilità, mentre quelli indiretti stimano la suscettibilità a partire da informazioni tematiche ritenute

significative per comprendere la distribuzione delle frane (geologia, litologia, struttura, pendenza dei versanti, morfologia, stadio evolutivo della rete drenante, uso del suolo, ecc.) ([Carrara et al. 1999](#); [Guzzetti et al. 1999](#)). Essendo la suscettibilità da frana una probabilità, normalmente viene espressa come una variabile che varia da 0 (probabilità di frana minima o assente) a 1 (probabilità di frana massima).

Per la valutazione della suscettibilità da frana nei CT/CUORE pilota è stato utilizzato un modello tipo quantitativo che utilizza un approccio metodologico di tipo statistico ([Rossi et al., 2010](#); [Rossi e Reichenbach, 2016](#)). Lo schema concettuale del modello e delle varie fasi seguite nella stima della suscettibilità da frana sono riportati in Figura 4.9.

Il modello sviluppato è basato sull'utilizzo di differenti metodi di classificazione statistica multivariata: (i) analisi discriminante lineare, (ii) analisi discriminante quadratica, (iii) regressione logistica, e (iv) neurale auto ottimizzata. Tale modello prevede la combinazione dei risultati ottenuti dai tali modelli singoli utilizzando un approccio regressivo (i.e. regressione logistica). I singoli modelli da utilizzare nella combinazione possono essere scelti in fase di esecuzione del modello.

Tale modello può essere applicato a varie scale e può utilizzare sia unità territoriali di tipo poligonale che di tipo regolare (celle). Il modello, per ogni unità utilizzata per suddividere il territorio, richiede in input una variabile di raggruppamento (dipendente) binaria (0 o 1) indicante rispettivamente l'assenza o presenza di frana, e una serie di variabili esplanatorie (variabili indipendenti). Le variabili esplanatorie che descrivono le caratteristiche territoriali di ogni unità/suddivisione utilizzata, possono essere di tipo numerico o anche di comodo/fittizie (derivate in genere da variabili categoriche). Il modello include una procedura diagnostica per evidenziare problemi di collinearità tra le variabili esplanatorie, utile ai fini dell'esclusione di variabili tra loro correlate.

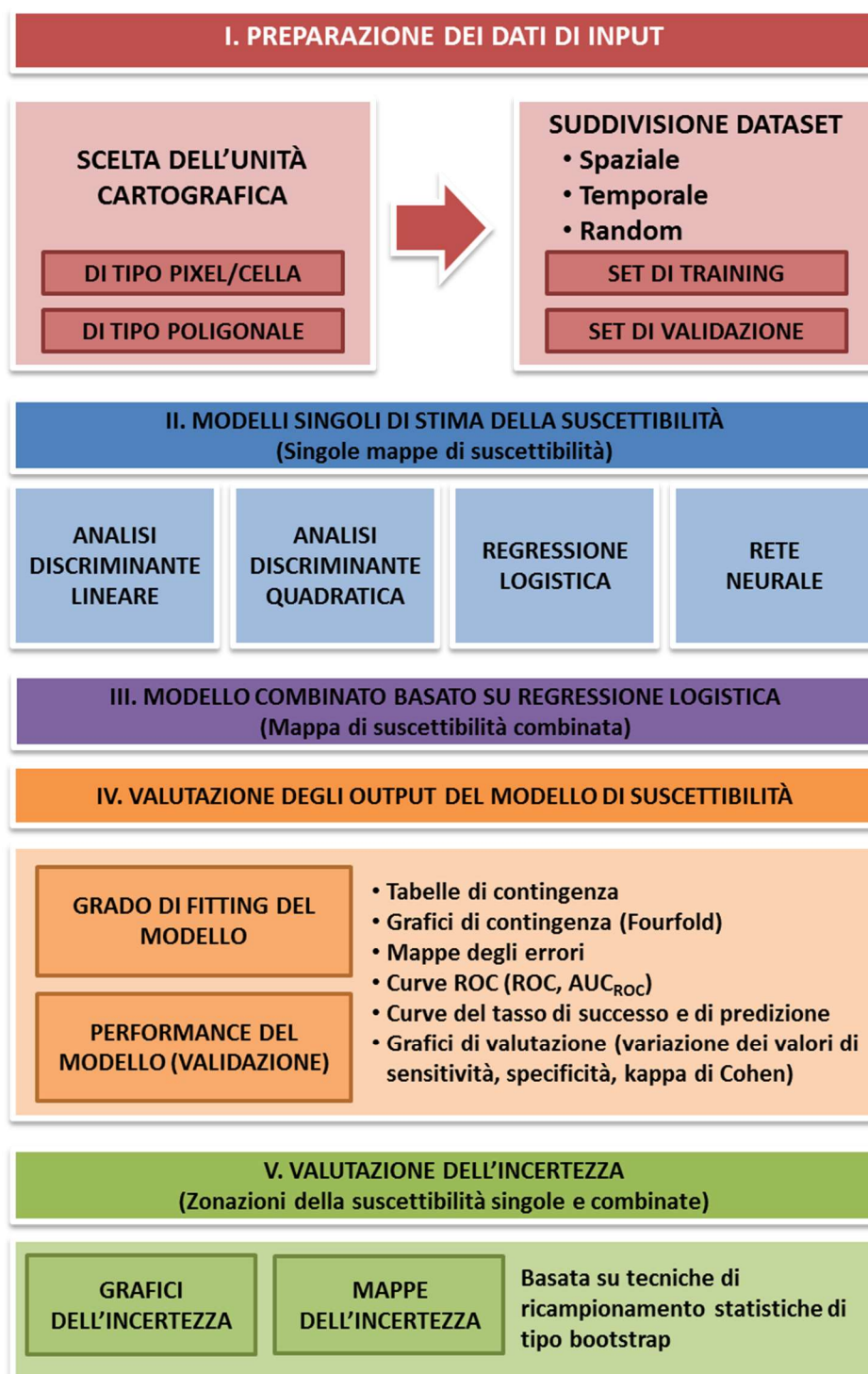


Figura 4.9 Schema logico del modello di suscettibilità da frana.

L'applicazione del modello (e quindi dei modelli singoli e del modello di combinazione) avviene in due fasi distinte: (i) fasi di training, e (ii) fase di validazione. Nella fase di training il modello ricostruisce le relazioni esistenti tra la variabile dipendente e le variabili indipendenti, mentre nella fase di validazione le relazioni ricostruite sono applicate in diverse condizioni. A tale scopo sono necessari due dataset di frana e di variabili territoriali indipendenti: (a) dataset di training, e (b) dataset di validazione. Tali dataset possono essere derivati dal dataset di partenza seguendo diversi approcci, ma in genere riconducibili a uno dei tre casi seguenti: (1) suddivisione temporale del dataset di partenza, (2) suddivisione spaziale del dataset di partenza in due aree contigue, (3) campionamento randomico del dataset di partenza. Anche

se il tipo di suddivisione non comporta differenze ai fini dell'applicazione del modello, i risultati ottenuti in fase di validazione hanno un differente significato geomorfologico. Una validazione realizzata utilizzando una suddivisione temporale, fornisce una valutazione delle reali capacità predittive (i.e. nel futuro) del modello (validazione temporale del modello). Una suddivisione in aree spazialmente contigue è utile invece nella valutazione della reale esportabilità del modello in aree geografiche differenti, rispetto a quelle dove il modello è stato generato, utile in particolare quando si dispone di informazioni territoriali limitate a piccole aree di studio (validazione spaziale del modello). Una suddivisione di tipo randomico, specialmente se associata a metodi ricorsivi che prevedano la ripetizione di tale campionamento, è in genere utile per l'analisi della robustezza statistica del modello (cross-validazione del modello).

Il modello proposto integra diversi criteri per la valutazione delle performance di ogni singolo modello di classificazione statistica e della relativa combinazione. Diversi parametri/misure sono utilizzati per valutare la qualità delle zonazioni di suscettibilità, includendo:

- i. misure del grado di fitting del modello (capacità del modello di “predire” i dati originali),
- ii. misure delle performance del modello in fase di validazione (capacità del modello di “predire” dati indipendenti spazialmente o temporalmente);
- iii. misure dell'incertezza relativa alle stime di suscettibilità.

Per le valutazioni di cui ai punti (i) e (ii) sono utilizzati: tabelle di contingenza (o matrici di confusione), grafici di contingenza (grafici Fourfold), mappe degli errori, curve ROC (Receiver Operating Characteristic) con relativa stima dell'area sottesa da tali curve (AUC_{ROC}), grafici di variazione dei valori di sensitività (*hit rate*), specificità (*true negative rate*) e del coefficiente kappa di Cohen ([Fawcet, 2006](#)), ed infine curve del tasso di successo e del tasso di predizione (success rate e prediction rate curve; [Chung & Fabbri, 1999](#)).

La valutazione dell'incertezza (punto iii) dei modelli è invece realizzata utilizzando una tecnica di campionamento statistica (bootstrap), che prevede la stima ripetuta della suscettibilità da frana al variare del dataset di partenza. In pratica ogni stima della suscettibilità da frana viene realizzata utilizzando un diverso set di dati campionato da quello originale. Tale procedura permette la realizzazione di grafici e mappe di incertezza legate alle stime della suscettibilità da frana.

Gli output del modello di suscettibilità sono mappe, grafici, e testi relativi ai risultati delle procedure sopra descritte. In particolare le mappe sono prodotte in formato grafico (.pdf) e geografico (shapefile, .shp), i grafici sono esportati in formato .pdf., mentre i risultati testuali sono resi disponibili in formato .txt.

Per la valutazione della suscettibilità da frana è stato utilizzato LAND-SUITE (LANDslide - SUSceptibility Inferential Tool Evaluator), un software open source implementato in R ([R Core Team 2018](#)), sviluppato internamente ad IRPI ([Rossi e Reichenbach, 2016](#)). Il tool include tre moduli principali: (i) LAND-SE (LANDslide - Susceptibility Evaluation) che esegue la modellazione e la zonazione della suscettibilità; (ii) LAND-SIP (LANDslide - Susceptibility Input Preparation) dedicato alla preparazione dei dati di input di LAND-SE; and (iii) LAND-SVA (LANDslide - Susceptibility Variable Analysis) dedicato all'analisi esplorativa del dataset di training e di validazione che verrà usato da LAND-SE.

Suscettibilità da frana nel CT di Catanzaro (Regione Calabria)

Per la zonazione della suscettibilità del CT di Catanzaro è stata scelta come unità cartografica di riferimento il pixel con la risoluzione pari al modello digitale del terreno utilizzato per l'analisi. Il modello digitale del terreno deriva da dati satellitari ALOS ed ha una risoluzione al suolo di

23 m × 23 m. Quale variabile dipendente è stata utilizzata la presenza (o l'assenza) di eventi di frana. Le informazioni sulle frane sono relative alla mappatura del progetto PAI.

Tabella 4.5 Dati sui dissesti ed informazioni tematiche utilizzati per la realizzazione della zonazione della suscettibilità da frana nel CT di Catanzaro. Legenda: V, formato vettoriale; R, formato raster.

<i>Tematismo</i>	<i>Formato</i>	<i>Scala</i>	<i>Fonte</i>
Dati eventi di frana	V	10.000	PAI
Cartografia litologica	V	25.000	Regione Calabria
Carta dei suoli	V	10.000	Regione Calabria
Modello Digitale del Terreno	R	23 m x 23 m	ALOS

Le variabili indipendenti (o esplicative) geo-ambientali utilizzate per la costruzione del modello di classificazione sono le seguenti:

- le variabili morfometriche sono ricavate dal modello digitale del terreno (DTM) in formato *raster*, con una risoluzione al suolo di 23 m × 23 m circa, derivato da dati satellitari ALOS.
- le variabili litologiche, ottenute da Carta Geologica della Regione Calabria in scala 1:25,000 (shapefile);
- le variabili di uso del suolo sono derivate da Carta di Uso del Territorio della Regione Calabria in scala 1:10,000 (shapefile); Regione Calabria.

In Tabella 4.5 sono riportati i dati usati in input per la determinazione della suscettibilità da frana.

Per utilizzare “LAND-SE”, nel CT di Catanzaro è stata identificata un’area di “training” (Figura 4.10) entro la quale sono state definite le relazioni statistiche tra le variabili esplanatorie ed i movimenti franosi. La selezione dell’area è stata condizionata dalla rappresentatività dei fenomeni franosi rispetto alle variabili esplanatorie.

I dati necessari alla realizzazione dell’Indice di suscettibilità da frana per il CT di Catanzaro sono stati forniti dal personale della Protezione Civile - Regione Calabria durante le attività di affiancamento (Figura 4.11).

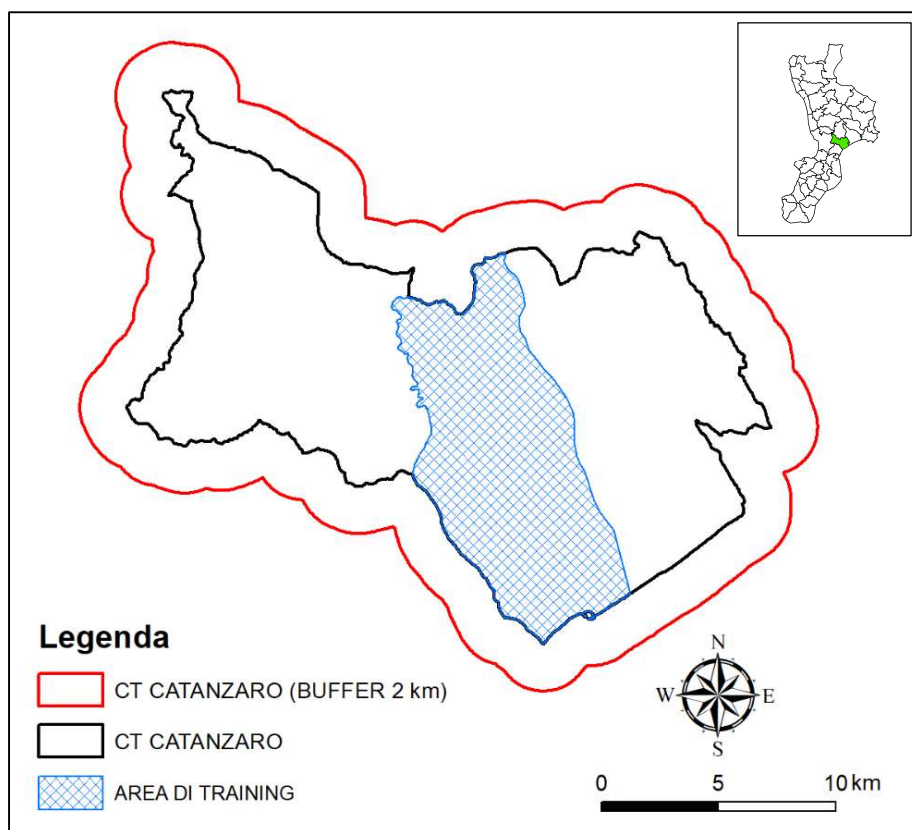


Figura 4.10 Aree considerate per la realizzazione dell'indice di suscettibilità da frana per il CT di Catanzaro.

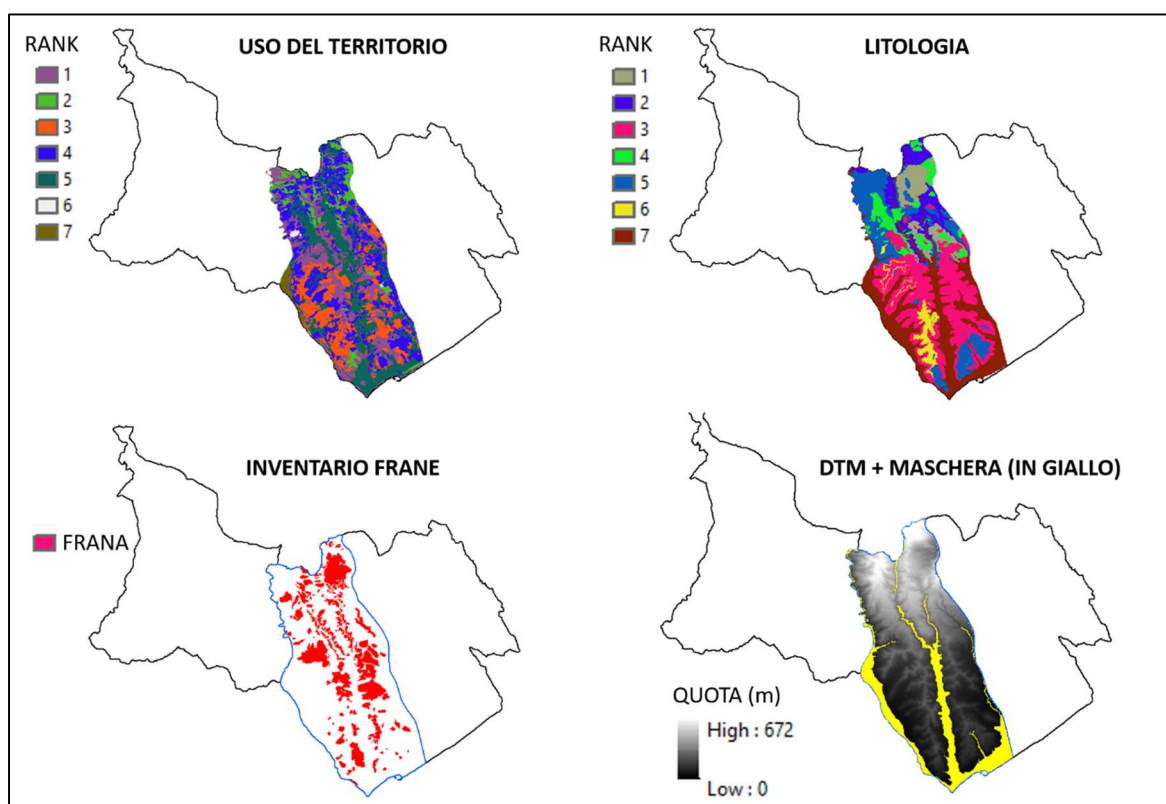


Figura 4.11 Dati territoriali utilizzati come input del modello relativi all'area di training.

La carta geologica e la carta dell'Uso del Territorio sono state riclassificate in 7 classi associando ad ogni classe un valore di "rank" (da 1 a 7) in base alla densità dei fenomeni franosi (Tabella 4.6).

Tabella 4.6 Ranking delle variabili "litologia" ed "uso del territorio"

LITOLOGIA	RANK	USO DEL TERRITORIO	RANK
Arenarie	1	Aree a pascolo	1
Scisti	2	Boschi di latifoglie	2
Argille	3	Seminativi	3
Formazioni litoidi	4	Vigneti	4
Conglomerati	5	Aree urbane	5
Sabbie poco cementate	6	Copertura erbacea	6
Depositi alluvionali	7	Corsi d'acqua e bacini	7

La carta di suscettibilità è il risultato della combinazione di 3 modelli statistici: Linear Discriminant Analysis (LDA), Quadratic Discriminant Analysis (QDA) e Logistic Regression Model (LRM). La performance della calibrazione è stata valutata considerando la ROC curve (Ayalew and Yamagishi, 2005), e il "Four-fold plot" che permette di analizzare le relazioni tra i quattro elementi principali della matrice di confusione (veri positivi; veri negativi; falsi positivi, falsi negativi) (Rossi et al., 2010). Nella Figura 4.12 è mostrata la frequenza di pixel per ogni classe di suscettibilità (Istogramma).

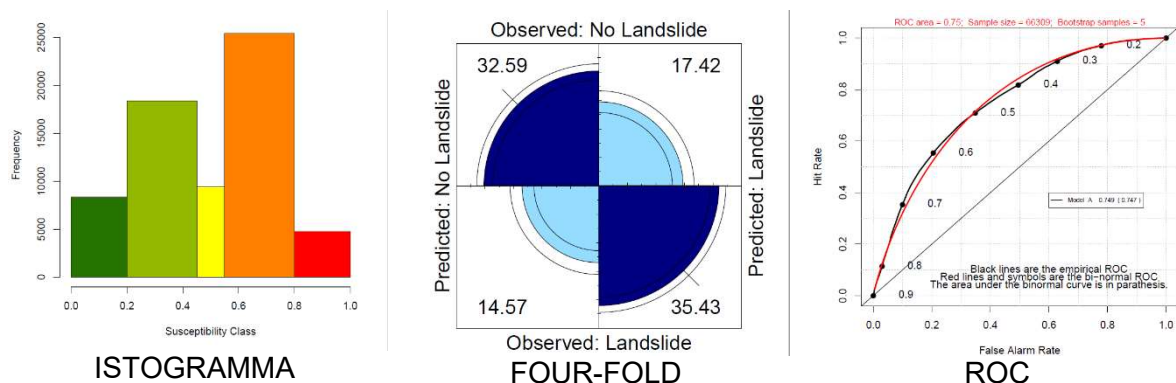


Figura 4.12 Metriche utilizzate per la valutazione della performance del modello.

Il modello statistico ottenuto in fase di calibrazione è stato applicato all'intero Contesto territoriale di Catanzaro. La zonazione della suscettibilità da frana, mostrata in Figura 4.13, è stata suddivisa in 5 classi la cui distribuzione di frequenza è mostrata nella figura Figura 4.12.

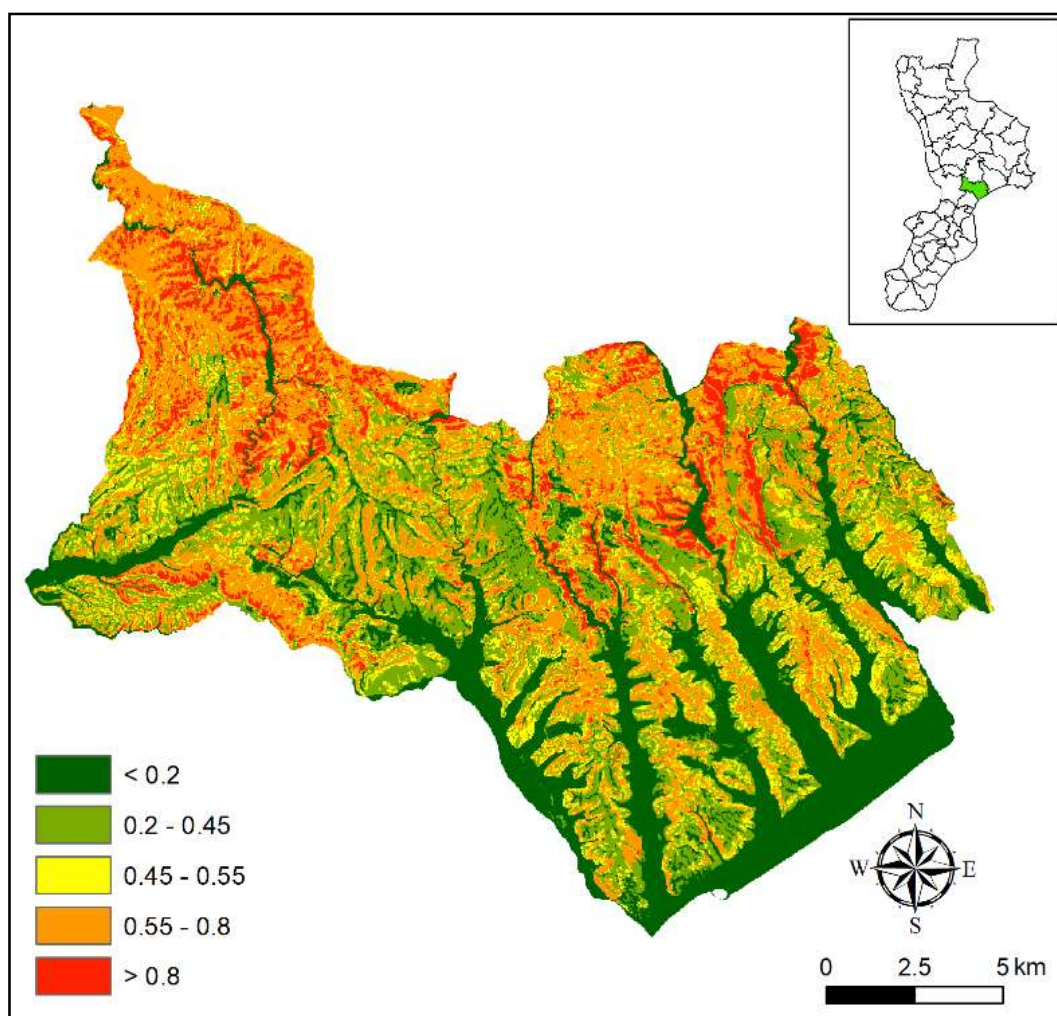


Figura 4.13 Carta della suscettibilità da frana per il CT di Catanzaro, classificata in 5 classi.

La percentuale di area del CT nella classe più alta (> 0.8) è stata utilizzata per definire l'indice di suscettibilità del CT. Nel CT di Catanzaro, tale percentuale è pari all'8% e, di conseguenza, l'indice di suscettibilità da frana per il CT di Catanzaro è pari a 0.8.

4.2 Indici territoriali piene

4.2.1 Indice di alluvionabilità

L'indice di alluvionabilità ("idistrdr" sul file *.shp) è il risultato della combinazione dei seguenti indicatori:

- (i) Percentuale aree P1 e P2 del PAI idraulico,
- (ii) Percentuale aree P3 e P4 del PAI idraulico
- (iii) Densità dei "nodi idro" censiti dal CFDMI – Regione Siciliana.

Per la determinazione dell'indice di alluvionabilità sono stati consideranti 4 scenari (Tabella 4.7) ai quali corrispondono diversi valori dei pesi (w) da applicare alla formula di Equazione [1].

Gli scenari sono così schematizzabili:

- (i) Scenario 1: stesso peso dato a percentuale aree P1 e P2 del PAI idraulico ($w=0.33$), percentuale aree P3 e P4 del PAI idraulico e δ "nodi idro" ($w=0.33$);

- (ii) Scenario 2: peso maggiore a δ “nodi idro” ($w=0.5$), peso intermedio percentuale aree P3 e P4 del PAI idraulico ($w=0.3$) e peso minore a percentuale aree P1 e P2 del PAI idraulico ($w=0.2$);
- (iii) Scenario 3: peso maggiore a percentuale aree P3 e P4 del PAI idraulico ($w=0.5$), peso intermedio a δ “nodi idro” ($w=0.5$) e peso minore a percentuale aree P1 e P2 da PAI idraulico ($w=0.2$);
- (iv) Scenario 4: peso uguale a δ “nodi idro” e percentuale aree P3 e P4 del PAI idraulico ($w=0.4$) e peso inferiore a percentuale aree P1 e P2 del PAI idraulico ($w=0.2$).

Analogamente all'Indice di franosità, lo Scenario 1 assegna pesi uguali a tutti gli indicatori e mentre negli altri scenari (Scenario 2, 3 e 4) all'indicatore “percentuale aree P1 e P2 da PAI idraulico” viene assegnato il peso minore ($w= 0.2$), considerando la bassa pericolosità (P1 e P2) che tale indicatore esprime.

Tabella 4.7 Valore dei pesi (w) da assegnare agli indicatori considerando diversi scenari per la determinazione dell'indice di alluvionabilità

Indicatore	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4
Percentuale delle aree P1 e P2 da PAI idraulico	0.33	0.2	0.2	0.2
Percentuale delle aree P3 e P4 da PAI idraulico	0.33	0.3	0.5	0.4
δ “nodi idro”	0.33	0.5	0.3	0.4

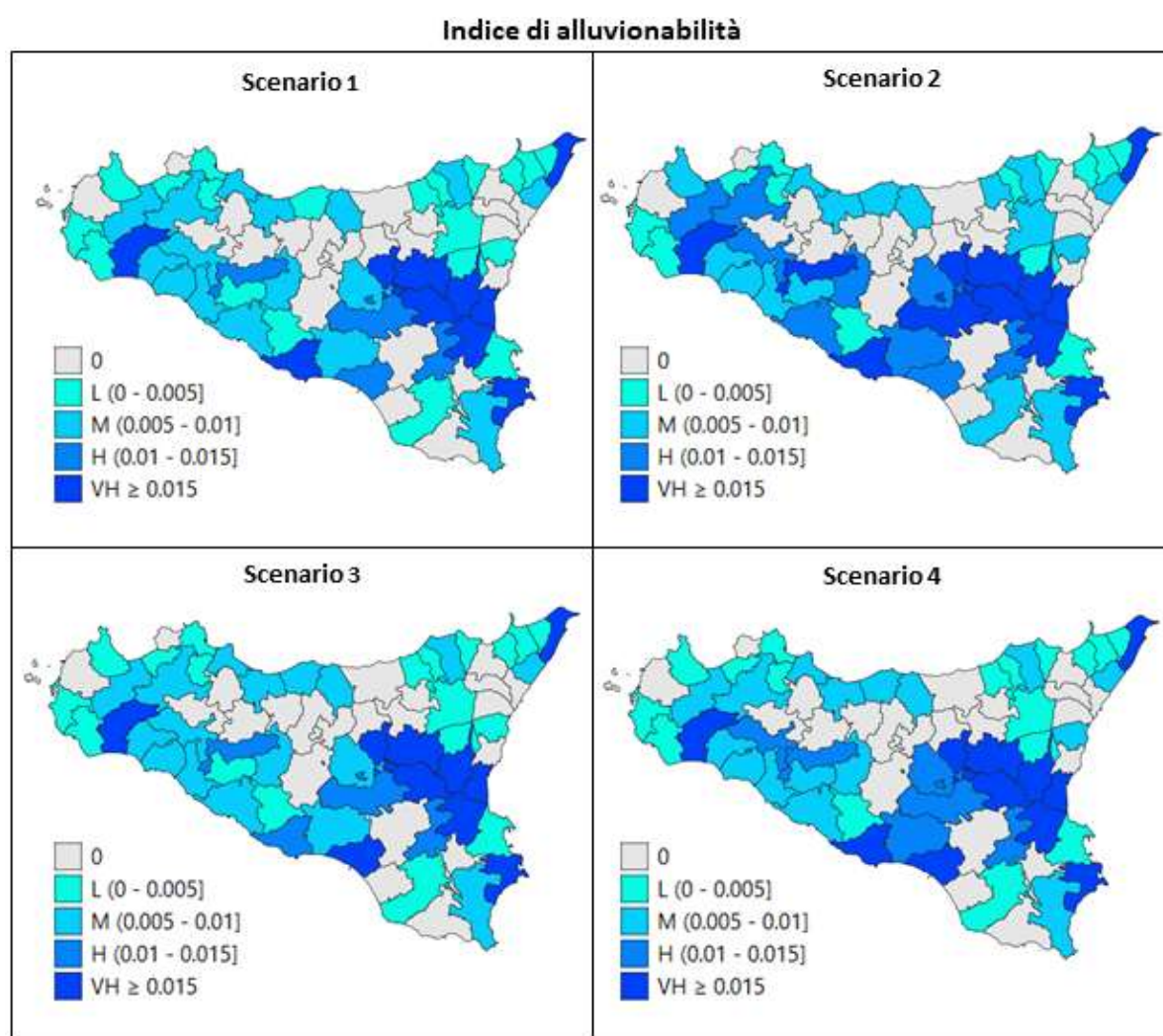


Figura 4.14 Indice di alluvionabilità all'interno dei CUORE considerando 4 scenari riportati nella Tabella 4.7.

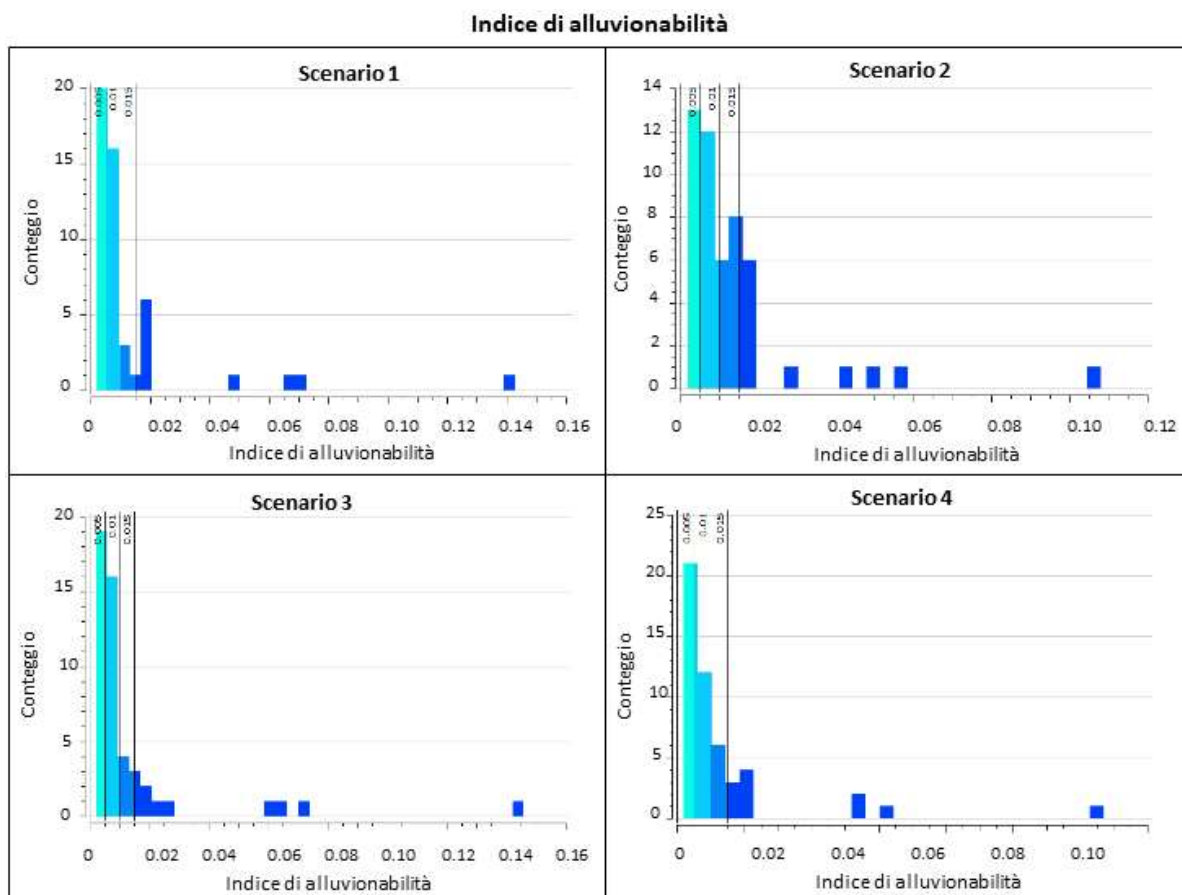


Figura 4.15 Conteggio dei CUORE caratterizzati da diversi valori dell'indice di alluvionabilità calcolato considerando 4 diversi scenari riportati nella Tabella 4.7.

La Figura 4.14 mostra l'indice di alluvionabilità all'interno dei CUORE calcolato considerando i 4 scenari riportati nella Tabella 4.7, mentre la Figura 4.15 mostra la distribuzione dell'indice di alluvionabilità all'interno dei CUORE calcolato considerando i suddetti scenari. La suddivisione in classi (L: 0 – 0.005; M: 0.005 – 0.01; L: 0.01 – 0.015; VL: ≥ 0.015) è diversa da quella usata per l'indice di franosità (cfr. Paragrafo 4.1.1) ed è coerente con i quantili della serie di valori che l'indice di alluvionabilità assume all'interno dei diversi CUORE.

4.2.2 Indice dell'impatto delle piene

L'indice dell'impatto delle piene (di seguito rinominato iimpidro), è il risultato della combinazione dei seguenti indicatori:

- (i) numero di alluvioni con vittime (dato proveniente da “catalogo danni alle persone”),
- (ii) numero di Eventi C e
- (iii) numero di interventi ReNDiS relativi alle piene.

Per la determinazione dell'indice dell'impatto delle piene sono stati consideranti 3 scenari (Tabella 4.8) ai quali corrispondono diversi valori dei pesi (w) da applicare alla formula di Equazione [1].

Gli scenari sono così schematizzabili:

- (i) Scenario 1: stesso peso dato a numero di alluvioni con vittime (“catalogo danni alle persone”), numero di eventi C e numero di interventi ReNDiS relativi alle alluvioni ($w=0.33$);
- (ii) Scenario 2: peso maggiore a numero di alluvioni con vittime (“catalogo danni alle persone”) e numero di eventi C ($w=0.40$) e peso minore a numero di interventi ReNDiS relativi alle alluvioni ($w=0.20$);
- (iii) Scenario 3: peso maggiore a numero di alluvioni con vittime (“catalogo danni alle persone”) ($w=0.50$) e peso minore e uguale a numero di eventi C e a numero di interventi ReNDiS relativi alle alluvioni ($w=0.25$).

Analogamente all'Indice dell'impatto delle frane, lo Scenario 1 attribuisce lo stesso peso a tutti gli indicatori mentre negli Scenari 2 e 3 viene assegnato il peso massimo all'indicatore “numero di alluvioni con vittime” in quanto fa riferimento ad un catalogo più completo e accurato rispetto al “numero di Eventi C” e al “numero di interventi ReNDiS relativi alle frane” (vedere report A11_DT5 “Analisi di fattibilità del set di indicatori individuati comprendenti anche quelli costruiti ad hoc”).

Tabella 4.8 Valore dei pesi (w) da assegnare agli indicatori considerando diversi scenari per la determinazione dell'indice dell'impatto delle piene

Variabile	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
Numero di alluvioni con vittime (“catalogo danni alle persone”)	0.33	0.40	0.50
Numero di Eventi C	0.33	0.40	0.25
Numero di interventi ReNDiS relativi alle piene	0.33	0.20	0.25

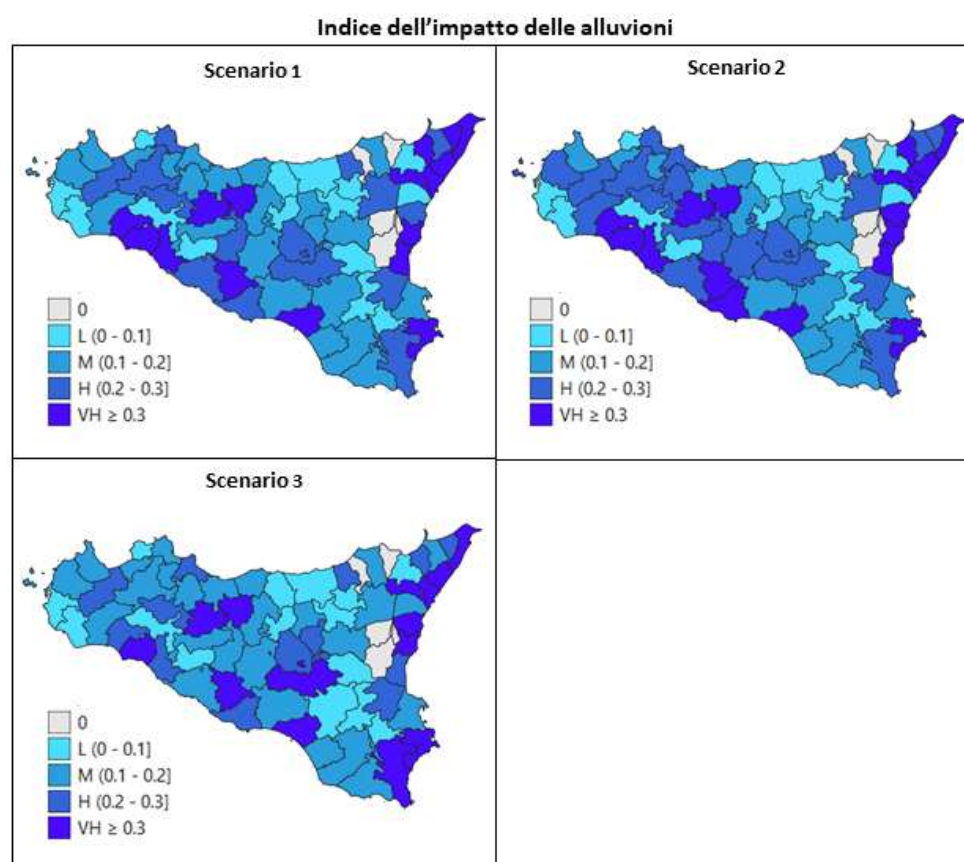


Figura 4.16 Indice dell'impatto delle alluvioni all'interno dei singoli CUORE considerando 3 diversi scenari (Tabella 4.8)

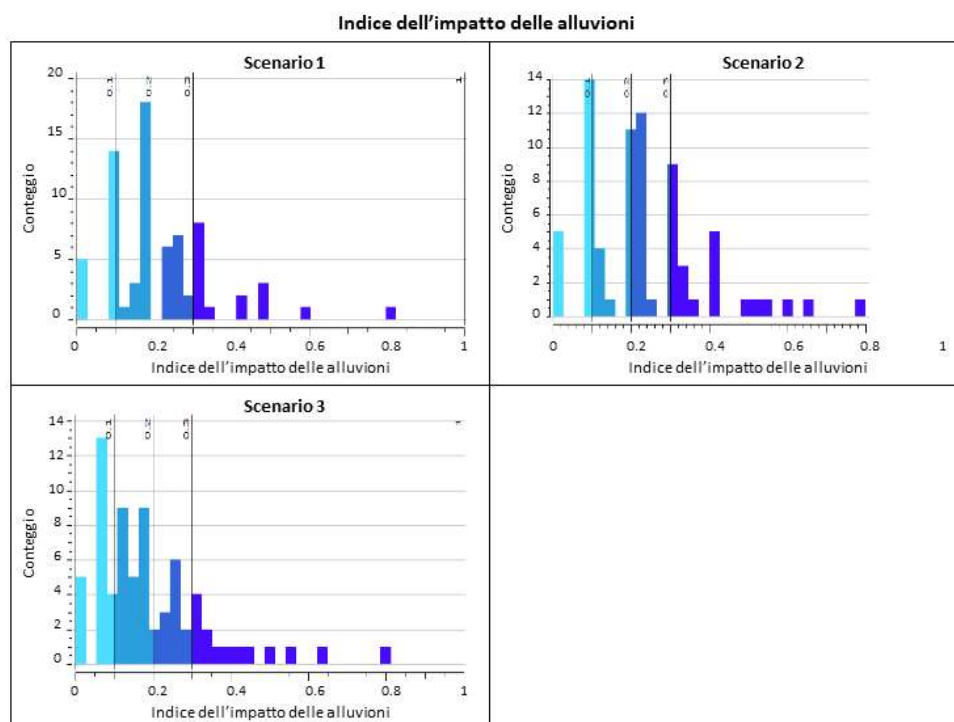


Figura 4.17 Conteggio dei CUORE caratterizzati da diversi valori dell'indice dell'impatto delle alluvioni calcolato considerando 3 diversi scenari (Tabella 4.8)

La Figura 4.16 mostra l'indice dell'impatto delle piene all'interno dei diversi CUORE calcolato considerando i 3 scenari mostrati in Tabella 4.8, mentre la Figura 4.17 mostra la distribuzione dell'indice dell'impatto delle piene all'interno dei diversi CUORE calcolato considerando i suddetti scenari. La suddivisione in classi (L: 0 – 0.1; M: 0.1 – 0.2; L: 0.2 – 0.3; VL: ≥ 0.3) è la stessa dell'indice dell'impatto delle frane (vedere Paragrafo 4.1.2) ed è coerente con i quantili della serie di valori che l'indice dell'impatto delle piene assume all'interno dei diversi CUORE.

4.2.3 Indice di suscettibilità da piena

I dettagli relativi alla realizzazione della carta della suscettibilità da piena del CT di Catanzaro sono descritti nel rapporto "A21_LG1 - Linee guida per la mappatura della pericolosità dei fenomeni idrogeologici e idraulici non analizzati dal PAI e/o dal PGRA e per la relativa integrazione dei Piani di protezione civile".

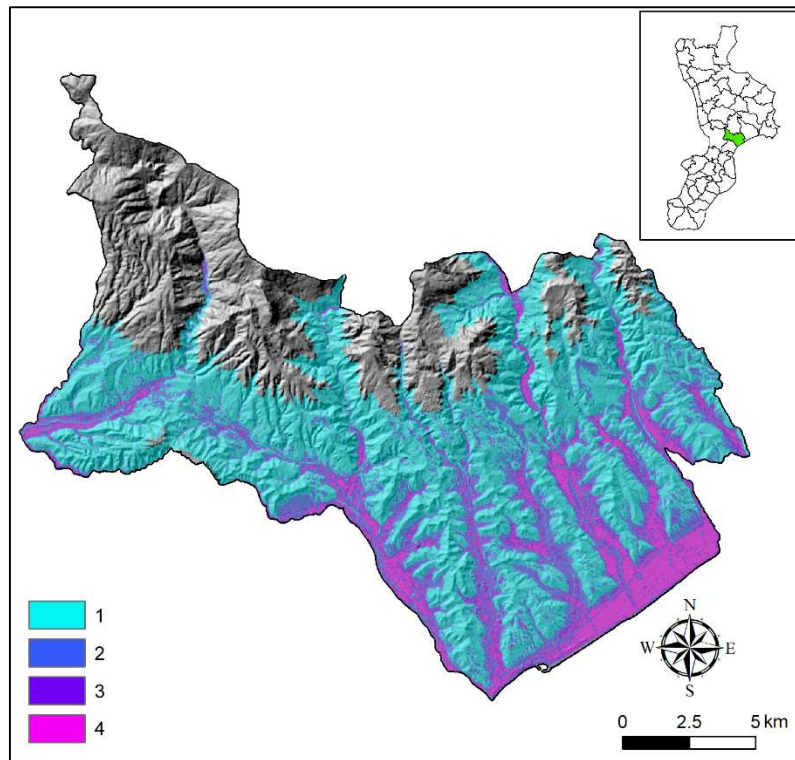


Figura 4.18 Carta della suscettibilità da piena per il CT di Catanzaro, classificata in 4 classi.

5. Indice di operatività semplificata

Per Indice di operatività semplificato (IOS) si intende un Indice finalizzato alla valutazione speditiva della capacità di risposta operativa di un CT/CUORE rispetto al verificarsi di un determinato scenario. Per la definizione di tale Indice si è scelto di considerare, l'operatività della rete stradale rispetto a potenziali fenomeni franosi (IOS frane) e alluvionali (IOS piene) che ne potrebbero compromettere la percorribilità o l'accessibilità, impedendo i collegamenti tra i diversi nodi che costituiscono la Condizione Limite d'Emergenza (CLE) di un insediamento urbano. La CLE, ampiamente descritta in [Bramerini & Castenetto, 2014](#), è stata introdotta nell'ambito del rischio sismico dall'[OPCM 4007/2012](#). Si definisce come CLE dell'insediamento urbano *“quella condizione al cui superamento, a seguito del manifestarsi dell'evento sismico, pur in concomitanza con il verificarsi di danni fisici e funzionali tali da condurre all'interruzione delle quasi totalità delle funzioni urbane presenti, compresa la residenza, l'insediamento urbano conserva comunque, nel suo complesso, l'operatività della maggior parte delle funzioni strategiche per l'emergenza, la loro accessibilità e connessione con il contesto territoriale”*⁶.

L'analisi della CLE comporta:

- a) l'individuazione degli edifici e delle aree che garantiscono le funzioni strategiche per l'emergenza;
- b) l'individuazione delle infrastrutture di accessibilità e di connessione con il contesto territoriale, degli edifici e delle aree di cui al punto a) e gli eventuali elementi critici;
- c) l'individuazione degli aggregati strutturali e delle singole unità strutturali che possono interferire con le infrastrutture di accessibilità e di connessione con il contesto territoriale.

Come area test per la definizione dell'IOS frane e delle piene è stato scelto il CT di Catanzaro.

5.1 IOS frane

Al fine di definire in maniera adeguata le caratteristiche di franosità nell'intero CT di Catanzaro, sono stati presi in considerazione sia i dati del PAI frane che i dati di suscettibilità da frana (vedere Paragrafo § 4.1.3). Nelle aree in cui queste due tipologie di dato sono risultate in sovrapposizione è stata calcolata la “suscettibilità da frana modificata”. Tale suscettibilità è stata definita su base euristica, utilizzando la matrice mostrata in Tabella 5.1 e seguendo le indicazioni di [Castellanos Abella e Van Westen \(2007\)](#). Nelle aree con assenza di sovrapposizione, invece, sono stati considerati i valori della “suscettibilità non-modificata”.

I dati relativi alla suscettibilità da frana sono stati intersecati in ambiente GIS con il reticolo stradale della CLE trasformato opportunamente in formato raster ed è stata verificata la percentuale di pixel appartenenti alle diverse classi di “suscettibilità da frana modificata” (Figura 5.1).

Tabella 5.1 Matrice utilizzata per il calcolo della “suscettibilità da frana modificata”

CLASSE SUSCETTIBILITA'	PERICOLOSITA' PAI			
	P4	P3	P2	P1

⁶ <http://www.protezionecivile.gov.it/attivita-rischi/rischio-sismico/attivita/analisi-condizione-limite-emergenza>

MOLTO ALTA ($P > 0.8$)	1	1	0.8	0.8
ALTA ($0.55 < P < 0.8$)	1	1	0.8	0.8
MEDIA ($0.45 < P < 0.55$)	1	1	0.6	0.6
BASSA ($0.20 < P < 0.45$)	1	0.8	0.4	0.4
MOLTO BASSA ($0 < P < 0.20$)	1	0.8	0.2	0.2

La Figura 5.1 mostra il reticolo stradale classificato in base alle 5 classi di suscettibilità modificata. Nel diagramma è illustrato la percentuale di reticolo in ogni classe di suscettibilità. Nella classe “molto alta” è presente il 20% del reticolo stradale considerato.

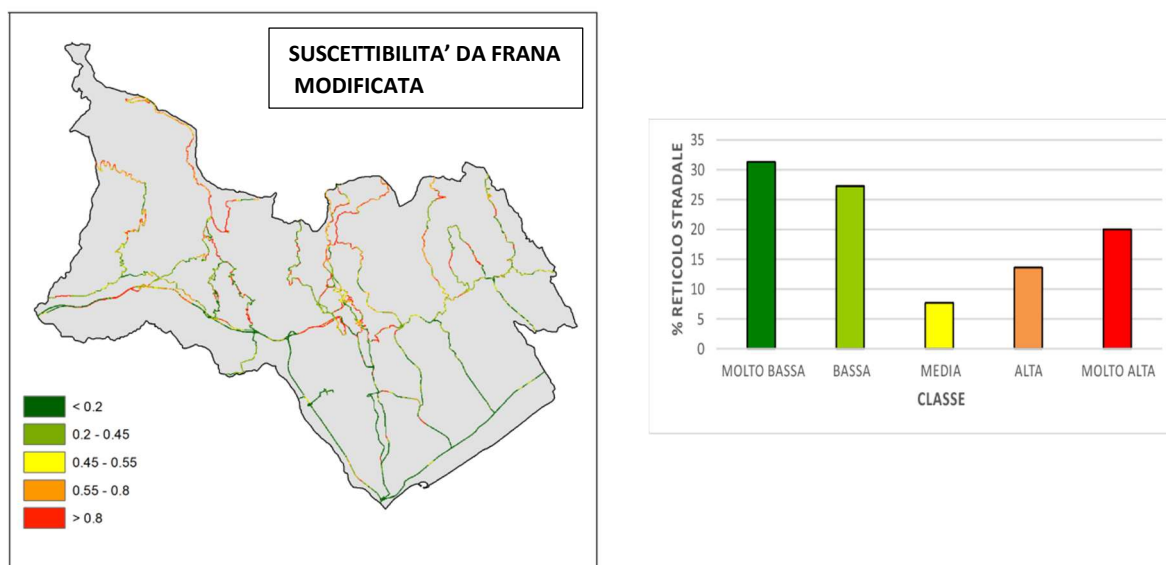


Figura 5.1 Reticolo stradale classificato secondo le diverse classi di “suscettibilità da frana modificata” e distribuzione percentuale.

Le informazioni descritte verranno utilizzate per la definizione di un Indice di operatività multirischio, in collaborazione con il CNR-IGAG.

5.2 IOS piene

Per la realizzazione dell'IOS piene sono stati presi in considerazione il reticolo stradale e il PGRA (Piano di Gestione del Rischio Alluvioni) del CT di Catanzaro (Figura 5.2).

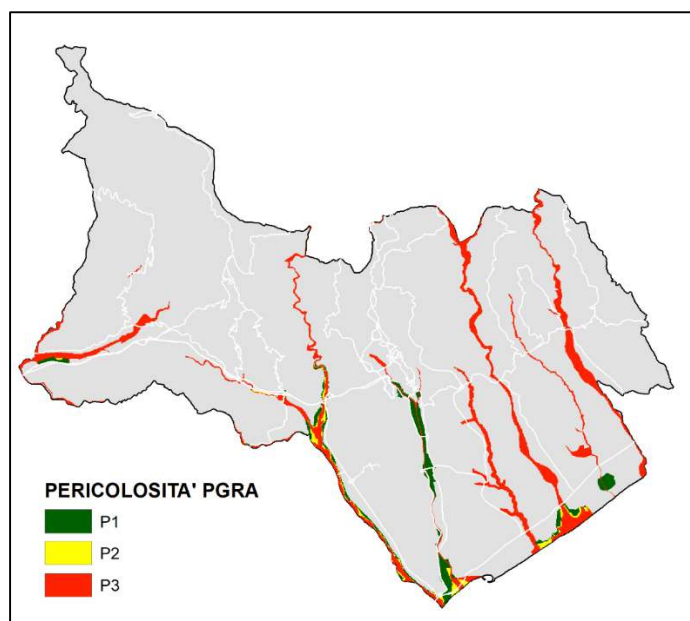


Figura 5.2 Rappresentazione dell'intersezione tra reticolo stradale (in bianco) e PGRA.

L'itersezione dei dati ha permesso di individuare i tratti stradali che ricadono all'interno delle aree a diversa pericolosità idraulica P1, P2 e P3 e per ogni classe, sono state calcolate le diverse percentuali di reticolo stradale (Figura 5.3). La figura evidenzia che una piccola percentuale di strade, pari a circa il 7%, ricade all'interno di aree mappate dal PGRA e che la percentuale di strada che ricade in area a maggiore pericolosità P3 è pari a circa 3%.

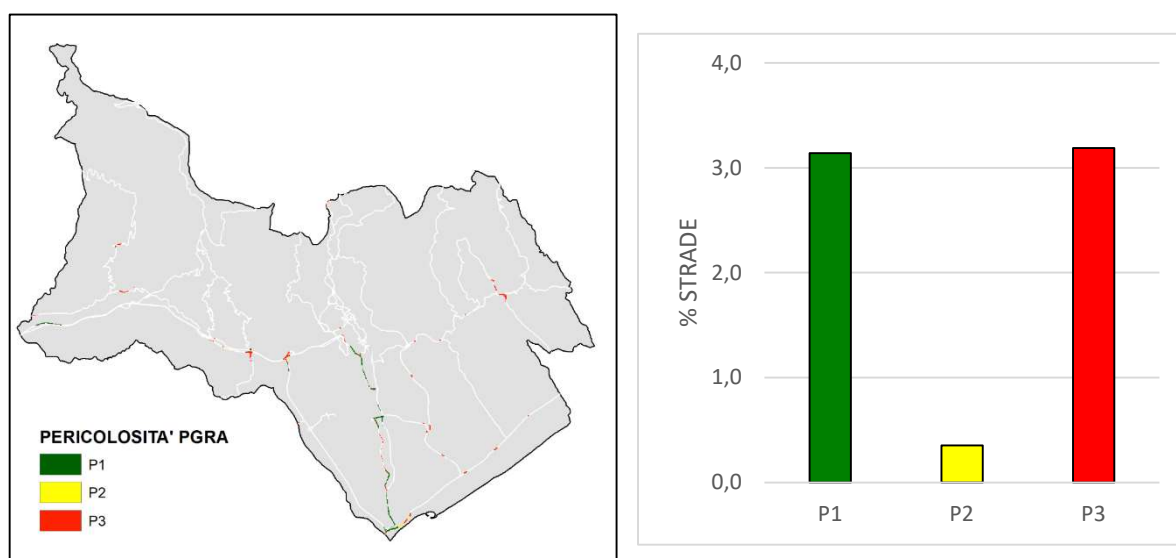


Figura 5.3 Reticolo stradale classificato secondo le diverse classi di pericolosità idraulica e distribuzione percentuale.

6. Indice di resilienza (CIMA)

La resilienza è un concetto complesso, multifaccettato e caratterizzato in modo differente a seconda del contesto di riferimento. Proprio per questa ragione, e per fare sì che il concetto di resilienza non rimanga un concetto troppo vago e non operativo, è necessario dettagliare e definire il contesto di analisi a cui questa dimensione si riferisce e individuare le sue specifiche

e settoriali caratteristiche. Per fare questo, è indispensabile trovare indicatori che siano in grado di “quantificare e qualificare” le dimensioni della resilienza.

Come noto, nell’ambito del progetto, la resilienza si riferisce al contesto della gestione del rischio idrogeologico e idraulico da parte della comunità e, nello specifico, alle attività di competenza della Protezione Civile. Per questa ragione nel contesto del progetto, la definizione di Resilienza è stata assunta dalla definizione data dal Dipartimento di Protezione Civile Nazionale vale a dire quale la “capacità di una comunità di affrontare gli eventi calamitosi, di superarli e di uscirne rafforzata o addirittura trasformata”.

Per rendere “operativo” un simile concetto è stato quindi necessario individuare le differenti componenti che caratterizzano la resilienza e successivamente definire gli indicatori che siano in grado di quantificarne ciascuna componente.

È inoltre necessario ricordare che nel nostro contesto di analisi l’indice di resilienza sarà funzionale a “misurare” l’effetto e/o l’impatto che l’applicazione delle misure non strutturali hanno sulla governance del rischio.

Di seguito sono elencate alcune caratteristiche che si ritengono necessarie per meglio definire l’indice di resilienza.

6.1 La Resilienza nel contesto del progetto

Primo assunto

La resilienza dovrà essere «costruita» in modo tale da poter considerare elementi/ aspetti/ fattori che vengono influenzati dalla realizzazione delle misure non strutturali di protezione civile, come definite nell’attività A51.

Secondo assunto

Nel contesto del progetto, si è ritenuto necessario comprendere e definire quali elementi/ dimensioni della Capacità⁷ (Coping, Adaptive e Trasformativa) andassero ad influenzare direttamente e caratterizzare e quindi “quantificare” il rischio e quali componenti della Capacità fossero più proprie e specifiche della Resilienza.

Come noto, nel corso del progetto, nell’attività A51, si è ipotizzato che la coping capacity e la adaptive capacity siano elementi che caratterizzano e definiscono la Capacità di Protezione Civile - elemento centrale per la quantificazione del rischio e quindi per l’individuazione delle misure non strutturali più efficaci per la sua riduzione. La **capacità trasformativa**, che è quella “abilità di un sistema / comunità di modificarsi in seguito ad un evento “traumatico” e di fare un “balzo” in avanti (**build foward**)⁸”, invece, nel contesto del progetto, viene considerata come un elemento più specifico della Resilienza.

⁷ Da una breve review di letteratura, è stato possibile definire come la resilienza possa essere caratterizzata da tre componenti principali: la capacità adattativa, la capacità di assorbire, la capacità trasformativa. Béné, C., Wood, R. G., Newsham, A., & Davies, M. (2012). Resilience: New Utopia or New Tyranny? Reflection about the potentials and limits of the concept of resilience in relation to vulnerability reduction programmes. IDS Working Papers, 405, 1–61.

⁸ L’abilità di “rimbalzo in avanti” riconosce che le comunità subiscono un cambiamento dopo il disastro, fornendo una “finestra di opportunità” per trasformare le condizioni socioeconomiche e lo status quo (Manyena et al., 2011). In effetti, la resilienza come “abilità di rimbalzo in avanti” cambia il significato originale di resilienza (Sudmeier-Rieux, 2014).

Tale aspetto della capacità consente infatti di prendere in considerazione elementi che hanno una realizzazione temporalmente differente rispetto alla capacità adattativa e alla coping capacity e in qualche modo misura e identifica gli elementi che consentiranno alla collettività di cambiare per "fare qualcosa di positivo" per affrontare i driver di rischio (Chandler, 2016).

Secondo Amartya Sen, inoltre attraverso la capacità trasformativa è possibile prendere in considerazione anche gli elementi che ostacolano la agency delle persone (Sen, 1999). Tale aspetto risulta molto importante per la costruzione di comunità che siano proattive rispetto al rischio e rispetto ai comportamenti da tenere in emergenze e dopo l'emergenza. L'agency infatti ha a che fare con la capacità degli individui e collettività di assegnare rilevanza e significato alle cose e agli eventi e quindi di avere comportamenti conseguenti con tali assegnazioni di significato.

La resilienza trasformativa va in una qualche misura a descrivere un processo continuo di potenziamento dell'individuo (Chandler & Reid, 2016).

Sulla base di numerosi studi di letteratura è possibile evidenziare alcuni elementi che caratterizzano la resilienza trasformativa (e quindi la possibilità di un sistema di modificarsi in seguito ad uno shock) (cfr Analysis of resilience measurement frameworks and approaches, The Resilience Measurement, Evidence and Learning Community of Practice CoP⁹, 2016):

- disponibilità a cambiare valori e cercare un accordo sulla necessità di un cambiamento in una proporzione sufficientemente elevata di individui e gruppi influenti
- fattibilità e attrattiva di usi alternativi delle risorse
- presenza di social network aperti al cambiamento e al collegamento tra scale e gruppi di stakeholder
- governance distribuita in grado di "possibilitare" i gruppi su scala locale ad avviare e attuare il cambiamento
- realizzazione di processi sociali per la negoziazione di accordi sull'equa distribuzione dei benefici e dei costi del cambiamento
- possibilità per i leader a diversi livelli di governance per promuovere un cambiamento radicale
- realizzazione di processi che collegano nuove conoscenze e apprendimento locali, scientifici e interdisciplinari
- opportunità per lo sviluppo e il reperimento di idee non convenzionali
- capacità di modificare le regole, in particolare quelle che regolano l'uso delle risorse, in modo da consentire nuovi usi
- capacità di cambiare e investire nel cambiamento

Assunto quanto prima è dato il modello di analisi sviluppato per studiare il rischio e le sue componenti, è possibile immaginare che la valutazione della resilienza nel nostro caso specifico, possa fare riferimento più specificatamente alla abilità/capacità trasformativa.

Terzo Assunto

La Resilienza presa in considerazione all'interno del progetto dovrà avere a che fare con la Governance del rischio.

Quarto assunto

⁹https://www.fsnnetwork.org/sites/default/files/analysis_of_resilience_measurement_frameworks_and_approaches.pdf

Dato che la resilienza deve essere misurabile attraverso indicatori e partendo dal presupposto che la resilienza è sia un processo che un risultato, si dovranno considerare **indicatori di processo e di risultato**.

L'indice di resilienza andrà a valutare gli effetti delle misure non strutturali anche in termini di

- Atteggiamento prodotto/indotto: reattivo versus proattivo
- Tempo di realizzazione degli effetti: breve periodo versus lungo periodo
- Sistema su cui incidono: singolo versus multiplo

6.2 Le dimensioni della resilienza

Nel quadro del progetto e per quanto derivante dall'attività A5.1 la capacità di protezione civile è stata suddivisa in 4 subdimensioni principali quali:

- Capacità Istituzionale
- Capacità Sociale
- Capacità Economica
- Capacità Territoriale

Tali sottodimensioni sono state individuate sulla base della loro relazione e capacità di intercettare gli impatti che le misure non strutturali hanno sul rischio. Si ritiene quindi che anche nel caso della definizione degli indicatori utili alla quantificazione della capacità trasformativa le sottodimensioni caratterizzanti possano essere le medesime.

In particolare, sono state individuate la sottodimensione

- **Resilienza istituzionale** e che corrisponde alla Capacità istituzionale
Essa rappresenta l'aspetto della resilienza che si riferisce alla abilità delle istituzioni di mettere in atto o avere meccanismi che consentano una trasformazione della macchina istituzionale al fine di poter accogliere le nuove istanze che vengono dal territorio, eliminando quegli elementi negativi che hanno influenzato il rischio sul territorio
- **Resilienza sociale** che corrisponde alla Capacità sociale
Essa rappresenta l'aspetto della resilienza legato alla collettività e si riferisce all'abilità della collettività di essere in grado di reagire all'evento, trasformandosi e mettendo in campo saperi e collaborazioni in grado di portare in avanti il sistema socio territoriale che si trovano ad abitare, eliminando o trasformando, dove possibile, gli elementi negativi preesistenti
- **Resilienza finanziaria** che corrisponde alla Capacità economica
Essa rappresenta l'aspetto della resilienza legato alla gestione economica e si riferisce all'abilità da parte di un sistema economico di innovarsi di fronte ad un'emergenza e quindi di mettere in campo strumenti economici che siano in grado di accogliere e soddisfare le esigenze del settore.
- **Resilienza della pianificazione** che corrisponde alla capacità legata alla gestione del territorio.
Essa rappresenta l'aspetto della resilienza legata alla gestione territoriale. Tale aspetto fa riferimento alla abilità di programmare lo sviluppo del territorio tenendo in considerazione il rischio attuale e quello futuro.

6.3 Le sottodimensioni e gli indicatori della resilienza

Resilienza Istituzionale		
Sotto-dimensione	Indicatori proposti	Note
Fiducia	% votanti	se la fiducia nelle istituzioni è alta, tali istituzioni saranno maggiormente legittimate a realizzare eventuali cambiamenti nella gestione del rischio, senza che i cittadini siano discordi nei confronti di tali cambiamenti e ci sarà la possibilità di trovare un accordo sulla necessità di un cambiamento
(Promozione di una) Visione condivisa del territorio e dell'agency degli stakeholders	Indagini sulla percezione del rischio	Se una istituzione promuove iniziative per creare una visione condivisa del territorio, dimostra la volontà di creare percorsi che siano in grado di accogliere e collegare le conoscenze e necessità locali con le necessità amministrative in un'ottica di apertura e interdisciplinarietà e di aumento della agency degli stakeholders
	Numero di azioni che hanno inciso sulla organizzazione di comunità per la gestione del rischio	
	Coinvolgimento del segmento di popolazione più vulnerabile	
	Momenti di condivisione con la comunità su esperienze di resilienza sviluppati sul territorio e fuori dal territorio di competenza	
Risoluzione dei problemi//Miglioramento amministrativo//Governance distribuita e accountability	Procedure collaborative per la risoluzione dei problemi	Se una istituzione realizza una governance decentrata e collaborativa, tale istituzione sarà in grado di individuare e accogliere, avviare e attuare un cambiamento che sia concorde con le necessità del territorio
	Numero di proposte di azioni per la mitigazione del rischio che derivano da buone pratiche sviluppate	
	Realizzazione di percorsi di giusta cultura	
	Organizzazione decentralizzata e intersettoriale	
Innovazione/Creatività	Numero delle iniziative/attività di	Se una istituzione è volta verso l'innovazione, tale istituzione sarà

	mitigazione del rischio in cui sono stati coinvolti i cittadini	in grado di migliorare la propria performance. Tale sottodimensione viene definita attraverso la mappatura della opportunità per lo sviluppo e il reperimento di idee non convenzionali e di dati necessari alla migliore realizzazione delle politiche di mitigazione del rischio
	Sforzo per imparare cosa le altre città, regioni e stati e aziende fanno per aumentare la resilienza	
	Diffusione dell'Utilizzo degli strumenti informatici	
	Esistenza inventario storico e sistematico dei disastri e delle perdite	
	Disponibilità di competenze ed esperienza nella resilienza nei confronti delle catastrofi	
Resilienza Sociale		
Sotto-dimensione	Indicatori proposti	
Senso di comunità	Supporto sociale/ numero di associazioni di volontariato	Se una comunità si riconosce come unica, avrà la capacità di prendere in considerazione le necessità del territorio in un unicum, senza creare distinzione e quindi sarà più in grado di trasformare e lavorare per il cambiamento complessivo per mitigare gli impatti dell'evento, mettendo in secondo piano le proprie specificità.
	Numero di gruppi e/o consulte	
Competenza	Numero di buone pratiche replicate a livello di comunità	Se una comunità è competente in termini di gestione del rischio, sarà in grado di realizzare scelte di gestione che siano in linea con le necessità che emergono dal territorio.
	Numero di scuole con attività curriculari legate al DRR	
	% di aziende che adottano standard di gestione dei rischi	
Innovazione	Livello di informatizzazione	Se una comunità è innovativa, sarà in grado di trasformarsi e aperta al

	Social network o reti dedicati alla discussione della tematica di mitigazione del rischio	cambiamento, accettandolo senza che esso sia stato programmato precedentemente.
Resilienza Economica		
Sotto-dimensione	Indicatori proposti	
Trasferimento del rischio	Sviluppo di un sistema assicurativo premiale e controllato e collaborativo	La realizzazione di politiche di trasferimento del rischio che vengano definite e costruite attraverso la collaborazione con le istituzioni e coloro che hanno subito perdite assicurano una flessibilità e una spinta verso la trasformazione per il miglioramento e verso sistemi sostenibili
	Incentivi per la costruzione di edifici produttivi e infrastrutture resilienti e/o agevolazioni per la realizzazione di misure strutturali di mitigazione del rischio	
	Schemi di risparmio e credito specifici per gruppi di stakeholders	
Previsione di fondi	Pianificazione per il recupero post-evento e il riavvio economico	La previsione di spesa e allocazione della stessa “testimonia” una logica anticipatoria che prende in considerazione gli aspetti futuri del sistema economico successivo ad un evento e quindi in grado di affrontare trasformazioni che siano in linea con le necessità del territorio, pur ipotizzate in tempo di pace
	Sistema di valutazione di spesa dei fondi	
Resilienza della pianificazione territoriale		
Sotto-dimensione	Indicatori proposti	
Integrazione della gestione del rischio nella programmazione territoriale	Pianificazione territoriale che prende in considerazione anche la mitigazione del rischio	L'integrazione della gestione del rischio all'interno delle differenti pianificazioni del territorio assicura che il rischio diventi uno degli elementi da considerare nelle linee di programmazione del territorio. Tale processo, se realizzato, va ad incidere direttamente sul rischio e quindi di fatto ha le potenzialità di
	Piani di adattamento al cambiamento climatico	
	Pianificazione strategica	

		trasformare le componenti del rischio in un'ottica di mitigazione.
--	--	--

6.3.1 Governance e resilienza

Sono stati definiti all'interno degli indicatori della capacità trasformativa alcuni indicatori specifici relativi alla mappatura e identificazione delle governance. Sia detto per inciso che la governance è una delle caratteristiche che consente ad una società di poter gestire gli eventi "traumatici" e mantenere e ricreare la sua identità e del caso trasformarla per potersi adattare alle nuove condizioni.

Tre sono le caratteristiche principali di tale governance:

- promozione della partecipazione e deliberazione,
- sviluppo del policentrismo e multistrato,
- sviluppo della responsabilità e giustizia sociale.

Di seguito alcuni esempi individuabili nella dimensione della Capacità Istituzionale

- sotto dimensione **Governance distribuita e accountability:**
governance decentralizzata: fa riferimento al trasferimento del potere politico e delle funzioni fiscali e/o amministrative dal governo centrale a livelli inferiori o locali. Ciò consente una governance autonoma dei collegi elettorali locali e una migliore risposta alle condizioni e ai bisogni locali (Miller e Douglas, 2016). Il decentramento politico offre ai cittadini e ai loro rappresentanti eletti locali maggiore potere nel processo decisionale, mentre il decentramento amministrativo si riferisce alla redistribuzione di autorità, responsabilità e risorse finanziarie a livello locale (il trasferimento di risorse finanziarie è anche noto come decentralizzazione fiscale). Avvicinando i decisori ai cittadini, il decentramento è considerato come elemento per migliorare la responsabilità e creare maggiori incentivi personali per i decisori per affrontare le questioni locali. Un sistema centralizzato è funzionale anche per accogliere la diversità, come le differenze nelle condizioni ambientali e le priorità dei cittadini (Hooghe and Marks, 2003).
I vantaggi di tale tipologia di governance policentrica comprendono maggiori opportunità di sperimentazione e apprendimento, che aiutano a migliorare la politica e una maggiore interazione tra le parti, che aiuta a costruire la fiducia necessaria per la cooperazione (Cole, 2015).
- sotto dimensione **Innovazione e creatività**
Numero delle iniziative/attività di mitigazione del rischio in cui sono stati coinvolti i cittadini per la programmazione e la decisione: fa riferimento alla capacità di una istituzione di coinvolgere diversi stakeholder e/o gruppi di stakeholder nel processo decisionale. In questo caso il processo decisionale e l'implementazione di soluzioni avverranno in modo coordinato e integrato (Djalante et al., 2011).
Questo dovrebbe aiutare a garantire che le decisioni rispondano alle necessità locali e alle mutevoli circostanze, il che è importante per affrontare shock e stress imprevedibili, in evoluzione e con esperienza locale.

6.4 Strumenti per la popolarità degli indicatori

L'approccio per la valutazione della resilienza trasformativa non può che essere un approccio di confronto diretto con la comunità. Gli indicatori individuati potranno essere popolati solo

attraverso una indagine territoriale condivisa e partecipata dall'amministrazione locale e dalla popolazione. Se è vero che alcune sotto dimensioni della resilienza per come descritte possono essere indagate attraverso l'analisi degli strumenti pianificatori, dei dati ISTAT e dei social network sviluppati sul territorio, è altrettanto vero che i risultati di tali indagini debbano essere successivamente convalidati dall'ascolto e dalla elaborazione di quanti quel territorio e quel rischio lo gestiscono e abitano. Per questa ragione, uno degli strumenti per la rilevazione della resilienza non potrà che essere un questionario costruito ad hoc per mappare il livello di realizzazione della resilienza.

Si ritiene inoltre che tale strumento possa diventare uno strumento utile per l'istituzione locale per sviluppare momenti di confronti interni ed esterni all'istituzione stessa che possano divenire volano per promuovere momenti di agency locale e contemporaneamente divenire un momento migliorativo delle politiche strategiche di riduzione del rischio.

Bibliografia di riferimento

- Alexander, D. E., 2013. Resilience and disaster risk reduction: an etymological journey, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 13, 2707–2716, <https://doi.org/10.5194/nhess-13-2707-2013>, 2013.
- Ayalew, L., Yamagishi, H., Marui, H., Kanno, T., 2005. Landslide in Sabo Island of Japan: Part II. GIS-based susceptibility mapping with comparison of results from two methods and verifications. *Engineering Geology* 81, 432-445.
- Aslam Sajaa, A.M. Teo, M., Goonetilleke A., Ziyatha A.M., 2018. An inclusive and adaptive framework for measuring social resilience to disasters. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 28, 862–873
- Béné, C., Wood, R. G., Newsham, A., & Davies, M., 2012. Resilience: New Utopia or New Tyranny? Reflection about the potentials and limits of the concept of resilience in relation to vulnerability reduction programmes. *IDS Working Papers*, 405, 1–61.
- Brabb, E.E. 1984. Innovative approach to landslide hazard and risk mapping. *Proceedings of the 4th International Symposium on Landslides*, Toronto, vol. 1, pp. 307–324
- Bramerini, F., Castenetto, S. 2014. *Manuale per l'analisi della Condizione Limite per l'Emergenza (CLE) dell'insediamento urbano*. Roma: BetMultimedia
- Cai, Heng & Lam, Nina & Qiang, Yi & Zou, Lei & Correll, Rachel & Mihunov, Volodymyr, 2018. A Synthesis of Disaster Resilience Measurement Methods and Indices. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 31. 10.1016/j.ijdrr.2018.07.015.
- Carrara, A., Guzzetti, F., Cardinali, M., Reichenbach, P. 1999. Use of GIS Technology in the Prediction and Monitoring of Landslide Hazard. *Natural Hazards* 20 (2-3), 117-135.
- Castellanos Abella, E.A., Van Westen, C.J., 2008. Qualitative landslide susceptibility assessment by multicriteria analysis: a case study from San Antonio del Sur, Guantanamo, Cuba. *Geomorphology* 94, 453-466.
- Chandler, D. and Reid, J., 2016. *The Neoliberal Subject: Resilience, Adaptation and Vulnerability*. London: Rowman & Littlefield International.
- Chung, C.-J.F., Fabbri, A.G. 1999. Probabilistic prediction models for landslide hazard mapping. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 65 (12), 1389-1399.
- Cutter, S.L., 2016. The landscape of disaster resilience indicators in the USA. *Nat. Hazards* 80, 741–758. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1993-2>
- Cole, Daniel., 2015. Advantages of a Polycentric Approach to Climate Change Policy. *Nature Climate Change*, 5:114-118.. *Nature Climate Change*. 5. 114. 10.1038/nclimate2490. DGR n. 454 del 23/10/2017
- Khazai, Bijan & Anhorn, Johannes & Burton, Christopher., 2018. Resilience Performance Scorecard: Measuring Urban Disaster Resilience at Multiple Levels of Geography With Case study Application to Lalitpur, Nepal. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 31. 10.1016/j.ijdrr.2018.06.012.
- Djalante, Riyanti & Holley, Cameron & Thomalla, Frank., 2011. Adaptive Governance and Managing Resilience to Natural Hazards. *International Journal of Disaster Risk Science*. 2. 10.1007/s13753-011-0015-6. D.L. 180/98
- D.Lgs.49/2010
- Fawcett, T. 2006. An introduction to ROC analysis. *Pattern Recognition Letters* 27, 861-874.
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., Reichenbach, P. 1999. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology*, 31(1-4), 181-216.
- Guzzetti, F., Reichenbach, P., Cardinali, M., Galli, M., Ardizzone, F. 2005. Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale. *Geomorphology*, 72(1-4), 272-299.
- Guzzetti, F., Reichenbach, P., Ardizzone, F., Cardinali, M., Galli, M. 2006. Estimating the quality of landslide susceptibility models. *Geomorphology*, 81(1-2), 166-184.

- Heink, U., Kowarik, I., 2010. What are indicators ? On the definition of indicators in ecology and environmental planning 10, 584–593. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.09.009>
- ISPRA, 2018 "Annuario dei dati ambientali." Capitolo "Pericolosità geologiche"
- ISPRA, 2018 "Dissesto idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio"
- Ivcevic, A., Mazurek, H., Siame, L., Ben, A., Bellier, O., 2019. International Journal of Disaster Risk Reduction Indicators in risk management : Are they a user-friendly interface between natural hazards and societal responses ? Challenges and opportunities after UN Sendai conference in 2015 41. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101301>
- Linkov, Igor & Bridges, Todd & Creutzig, Felix & Decker, Jennifer & Fox-Lent, Cate & Kröger, Wolfgang & Lambert, James & Levermann, Anders & Montreuil, Benoit & Nathwani, Jatin & Nyer, Raymond & Renn, Ortwin & Scharle, Benjamin & Scheffler, Alexander & Schreurs, Miranda & Clemen, Thomas., 2014. Changing the resilience paradigm. Nature Climate Change. 4. 407-409. 10.1038/nclimate2227.
- Marks, Gary & Hooghe, Liesbet., 2004. Contrasting Visions of Multi-Level Governance. 10.1093/0199259259.003.0002. MATTM - DG TTRI 2013. Documento conclusivo del tavolo tecnico Stato – Regioni. Indirizzi operativi
- Manyena, S.B. & O'Brien, Geoff & o'keefe, Phil & Rose, Jo., 2011. Editorial. Disaster resilience: a bounce back or bounce forward ability?. Local Environment. 16. 1-8. 10.1080/13549839.2011.583049. O.M. 3073/2000
- Manyena, Bernard & Machingura, Fortunate & O'Keefe, Phil., 2019. Disaster Resilience Integrated Framework for Transformation (DRIFT): A new approach to theorising and operationalising resilience. World Development. 123. 104587. 10.1016/j.worlddev.2019.06.011.
- Miller, M.A, and Douglass, M., 2016. Introduction: decentralising disaster governance in urbanising Asia, Habitat International, 52 (March): 1–4. doi:10.1016/j.habitatint.2015.08.028.OPCM 4007/2012
- Overseas development institute (ODI), 2016, Analysis of resilience measurement frameworks and approaches, The Resilience Measurement, Evidence and Learning Community of Practice CoP. https://www.fsnnetwork.org/sites/default/files/analysis_of_resilience_measurement_frameworks_and_approaches.pdf
- R Development Core Team. 2008. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available from: <http://www.R-project.org>.
- Regione Siciliana, Centro Funzionale Regionale 2009. Rapporto sugli eventi meteo che hanno colpito la Provincia di Messina il giorno 1 ottobre 2009, Dipartimento della Protezione Civile, Regione Siciliana
- Reichenbach, P., Rossi, M., Malamud, B. D., Mihir, M., Guzzetti, F. 2018. A review of statistically-based landslide susceptibility models. Earth-Science Reviews, 180, 60-91.
- Rossi, M., Guzzetti, F., Reichenbach, P., Mondini, A.C., Peruccacci, S. 2010. Optimal landslide susceptibility zonation based on multiple forecasts. Geomorphology, 114(3), 129-142.
- Rossi, M., Reichenbach, P. 2016. LAND-SE: a software for statistically based landslide susceptibility zonation, version 1.0. Geoscientific Model Development, 9(10).
- Rossi M., Guzzetti F., Salvati P., Donnini M., Napolitano E., Bianchi C. 2019. A predictive model of societal landslide risk in Italy
- Salvati P., Bianchi C., Rossi M., Guzzetti F. 2010. Societal Landslide and Flood Risk in Italy. Natural Hazards and Earth System Sciences Vol. 10, 465-483. (<http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/10/465/2010/nhess-10-465-2010.pdf>).
- Salvati P., Marchesini I., Balducci V., Bianchi C., Guzzetti F. 2013. A New Digital Catalogue of Harmful Landslides and Floods in Italy. In Margottini C., Canuti P., Sassa K. (eds): Landslide Science and Practice. Proceedings of the Second World Landslide Forum, Rome, 19-25 September 2011. Vol. 3: Spatial Analysis and Modelling, 409-414. ISBN: 978-3-642-31309-7

Salvati P., Petrucci O., Bianchi C., Rossi M., Guzzetti F. 2017. Gender, age and circumstances analysis of flood and landslide fatalities in Italy. *Science of the Total Environment* 610–611 (2018) 867–879. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.064>

Sen, A., 1999. *Development as freedom*. Oxford: Oxford University Press. Introduction

Sendai framework for disaster risk reduction 2015-2030 – UNISDR.
<https://www.unisdr.org/we/inform/publications/43291>

Sudmeier-Rieux, Karen., 2014. Resilience - an Emerging Paradigm of Danger or of Hope ?. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*. 23. 10.1108/DPM-12-2012-0143. Trigila, A. 2007. Rapporto sulle frane in Italia. Il Progetto IFFI–Metodologia, risultati e rapporti regionali, APAT, Roma, 1-681.

Varnes, D.J. 1984. Landslide hazard zonation: a review of principles and practice (No. 3).

Sitografia

<https://www.economist.com/finance-and-economics/2010/07/29/a-wealth-of-data>

<http://polaris.irpi.cnr.it/>

<https://www.preventionweb.net/sendai-framework/sendai-framework-monitor/indicators>

<http://www.progettoiffi.isprambiente.it>

<http://www.protezionecivile.gov.it/amministrazione-trasparente/interventi-straordinari-emergenza/emergenze-rischio-meteo-idro>

<http://www.protezionecivile.gov.it/attivita-rischi/rischio-sismico/attivita/analisi-condizione-limite-emergenza>

www.sitr.regione.sicilia.it/geoportale/it/metadata/details/676

<http://www.rendis.isprambiente.it>

<http://www.rendis.isprambiente.it/rendisweb/vistepub.jsp>

<http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/download-mais/mosaicature-nazionali-ispra-pericolosita-frane-alluvioni>

<http://www.sitr.regione.sicilia.it/geoportale/it/metadata/details/671>

