

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

RISCHIO IDROGEOLOGICO E IDRAULICO

A21_LG1_DEF

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

Volume 1: suscettività da alluvione

Versione definitiva

22.12.2021



CIMA
POLIMI
IRPI
CAtM lab
CiNiD

Azione

A21

Potenziamento dei sistemi di previsione e di allertamento: mappatura della pericolosità dei fenomeni idrogeologici e idraulici non analizzati nei PAI e/o PGRA

Partner

Fondazione Politecnico di Milano

Autori

Giovanni Menduni

Daniele Bignami

Ilaria Boschini

Silvano Dal Sasso

Michele Del Vecchio

Luciana Giuzio

Maria Antonia Pedone

Dina Pirone

Danilo Spina

Federica Zambrini

Note / Dettagli

Volume 1:

Suscettività da alluvione

Sommario

Attività previste nel terzo periodo di lavoro	4
Introduzione	5
Generalità sulle alluvioni.....	5
Il problema della mappatura	5
L'approccio "puramente geomorfologico"	6
L'approccio modellistico	6
L'uso delle carte PAI/PGRA nella pianificazione di emergenza.....	7
Approcci distinti.....	8
L'analisi di suscettività da alluvione.....	8
Generalità	8
Il metodo WoE	8
Il modello digitale del terreno	9
Il reticolo di drenaggio	10
Fattori predisponenti	13
Dati di addestramento del modello	13
La individuazione di unità territoriali omogenee di riferimento	17
La distribuzione spaziale dei depositi alluvionali	18
La definizione del dominio di applicazione del metodo	20
Applicazione del metodo	21
La realizzazione della mappa di suscettività oltre i 350 m.s.l.m.....	25
L'indice geomorfologico da alluvione: il GFI	25
La applicazione del GFI su un caso di studio: il comune di Potenza	26
L'estensione alla fascia al di sopra dei 350 m.s.l.m.m.	32
Bibliografia	36
Allegato 1.....	40
Linee guida per l'integrazione dei Piani di protezione civile	40

Attività previste nel terzo periodo di lavoro

In merito al “Potenziamento dei sistemi di previsione e di allertamento: mappatura della pericolosità dei fenomeni idrogeologici e idraulici non analizzati nei PAI e/o PGRA”, le attività previste dal Piano di Lavoro per il terzo periodo di progetto sono le seguenti:

- Produzione di A21_LG1, Linee guida per la mappatura della suscettività da alluvione e da frana a scala regionale; all'interno delle linee guida verranno esplicitati i rapporti tra l'analisi di suscettibilità sviluppata a livello regionale ed eventuali approcci per l'analisi di suscettività identificati nell'ambito dell'attività A32.
- Approfondimento sui comuni pilota e su altre aree test, con un esteso confronto con le informazioni provenienti da PAI/PGRA e l'integrazione con le attività previste in B31, B23 BAS e B32 BAS.
- Rilascio della mappa di suscettività da alluvione informatizzata per le aree soggette a inondazione nelle 5 regioni. La mappa sarà predisposta con metodi di letteratura sulla scorta delle informazioni storico inventariali disponibili e raccolte durante il progetto.
- Rilascio delle mappe di suscettività da frana informatizzate per le aree dei casi di studio.
- Rilascio Modello digitale del terreno con risoluzione a 5 metri per ognuna delle 5 regioni.
- Rilascio Mosaico dei Modelli Digitali del Terreno delle 4 regioni continentali.
- Rilascio data base contenente le informazioni utilizzate per la produzione delle mappe di suscettività da alluvione e da frana.

Il presente documento costituisce le Linee Guida per la mappatura della suscettività da alluvione e da frana e descrive in dettaglio la metodologia, i dati e le fonti di riferimento utilizzati per la costruzione delle mappe. Vista la differente natura dei fenomeni alluvionali da quelli franosi, cui consegue una diversità di mappe e metodologie di elaborazione, si è optato per la redazione di un unico documento che fosse tuttavia suddivisibile in due parti distinte. Per la parte relativa alla suscettività da alluvione, si allegano inoltre le Linee guida per l'integrazione dei Piani di protezione civile, finalizzate a fornire gli indirizzi per l'inserimento delle mappe di suscettività tra le fonti utili all'analisi per la costruzione degli scenari di evento per il rischio idraulico.

Introduzione

Generalità sulle alluvioni

Gli eventi alluvionali rappresentano, a livello globale, la tipologia di disastri naturali con maggior frequenza e che hanno interessato il più alto numero di individui nell'ultimo ventennio (EM-DAT; **Errore. Riferimento a collegamento ipertestuale non valido.**). Sebbene l'aumento della frequenza di questi eventi venga spesso messo in correlazione con i cambiamenti climatici in corso, lo sviluppo economico e sociale delle aree potenzialmente allagabili è il maggiore responsabile dell'aumento dei danni associati a tali eventi (Domeneghetti, Carisi, Castellarin, & Brath, 2015) (Bouwer, Bubeck, & Aerts, 2010).

Circa la metà di tutte le perdite e danni da catastrofi naturali in tutto il mondo è attribuibile alle inondazioni (Kron, 2005). Il servizio meteorologico nazionale degli Stati Uniti riporta che, tra tutte le calamità legate al clima che si verificano nel Paese, le inondazioni sono la principale causa di vittime (French, Ing, Von Allmen, & Wood, 1983). La mappatura dei pericoli e dei rischi di alluvione si rivela la pietra angolare di qualsiasi politica di gestione a diverse scale spaziali e temporali (Merz, Kreibich, Schwarze, & Thieken, 2010).

Considerando la mappatura del rischio di alluvione, vale la pena un cenno alle definizioni. La Comunità europea nella sua "Direttiva sulle alluvioni" (Unione Europea, 2007) propone la definizione, appunto, di "alluvione" nella forma di "la copertura temporanea da acqua di terra normalmente non coperta da acqua". Ciò include inondazioni da fiumi, torrenti montani, corsi d'acqua effimeri del Mediterraneo e inondazioni dal mare nelle zone costiere e può escludere inondazioni dal sistema fognario". Kron (Kron, 2005) riporta la definizione tipica dei contratti assicurativi come "copertura temporanea della terra dall'acqua a seguito della fuoriuscita delle acque superficiali dai loro confini normali o delle forti precipitazioni". Barredo presenta un'ampia rassegna dell'argomento con un'organizzazione in categorie (Barredo, 2007).

Il termine "rischio di alluvione" in idrologia è comunemente usato come sinonimo della probabilità di avere un'alluvione in un determinato luogo e intervallo di tempo. Il concetto di "rischio di alluvione" tiene conto delle conseguenze dovute alla stessa alluvione in termini di danni. Laddove non vi siano persone esposte o valori che possono essere influenzati da un'inondazione, anche se il pericolo è piuttosto elevato, non vi è alcun rischio. Allo stesso modo, il danno (rischio attualizzato) può verificarsi solo quando le persone sono danneggiate e/o i loro beni danneggiati (Kron, 2005).

Il problema della mappatura

Il riconoscimento e la perimetrazione delle aree inondabili è un problema complesso sia per le incertezze legate alla definizione delle forzanti di tipo idrologico sia per quelle legate alla parametrizzazione dei modelli di propagazione dell'onda di piena in alveo e nei territori di esondazione (Horrit, 2000), (Horritt & Bates, 2002), (Werner, Hunter, & Bates, 2005). La calibrazione di modelli matematici più o meno complessi, accoppiati a modelli digitali del terreno sempre più accurati e precisi, necessita di una conoscenza molto dettagliata e onerosa del territorio (Di Baldassarre, Schumann, & Bates, 2009). Tale approccio si adatta particolarmente allo studio di contesti territoriali localizzati ma non risulta sostenibile alla scala di vasti territori (scala di bacino o regionale).

D'altro canto, il comportamento idraulico dell'onda di piena è fortemente condizionato dalle caratteristiche morfologiche del bacino, così come è vero il viceversa. Le caratteristiche geometriche della corrente durante un evento di piena seguono leggi di scala che dipendono dalle dimensioni caratteristiche del bacino idrografico e dalla morfologia del fiume. Per tale motivo è comunque utile affrontare lo studio dell'esposizione al pericolo di inondazione attraverso una dettagliata descrizione delle caratteristiche morfologiche del bacino idrografico e del corso fluviale, tenendo presente che la geometria della corrente è controllata in modo marcato dall'area drenante a monte secondo leggi di scala dipendenti dalla forma morfologica caratteristica del fiume. Tali caratteristiche possono influenzare in modo marcato la scelta dei

parametri di modelli speditivi, basati su indici morfologici sintetici, per la delimitazione delle aree esposte al pericolo di inondazione.

L'approccio "puramente geomorfologico"

Gli approcci geomorfologici consentono di delineare le aree soggette a pericolosità alluvionale a partire dalla caratterizzazione geomorfologica del bacino fluviale. La struttura metodologica è adatta a studi su larga scala poiché si basa principalmente su analisi di DTM e richiede, in aggiunta, per la calibrazione, soltanto la disponibilità di una mappatura delle aree allagabili relativa ad una porzione, di estensione anche contenuta, del territorio di interesse. Sebbene questi approcci siano particolarmente indicati per applicazioni su larga scala, la variabilità delle condizioni climatiche, idrologiche e topografiche del territorio richiederebbe che la calibrazione dei parametri morfologici debba essere condotta in maniera specifica. Inoltre, è necessario tenere presente che questo tipo di analisi speditive, basate su indici geomorfologici, prescindono dalla descrizione dei processi fisici di deflusso superficiale delle acque, dalla loro propagazione nello spazio e nel tempo e dalla loro interazione con le infrastrutture. In ogni caso, però, la mappatura che ne risulta permette comunque una prima identificazione delle intersezioni critiche, che potranno essere poi oggetto di analisi di maggior dettaglio.

In letteratura sono reperibili diversi approcci geomorfologici per l'identificazione di zone soggette ad allagamenti e classificazione del pericolo. Beven e Kirby (Beven & Kirby, 1979) dimostrano che le aree esposte a pericolo di inondazione risultano fortemente legate ad alcune caratteristiche geomorfologiche del territorio e mostrano una forte dipendenza dall'indice topografico che può essere definito in funzione dell'area drenata per unità di larghezza del contorno di cella e dalla pendenza locale.

Manfreda et al. (Manfreda, Di Leo, & Sole, 2011) propongono un indice topografico modificato in cui l'area drenata tiene conto della pendenza locale mediante un esponente adimensionale che fornisce la misura del raggio idraulico come descrittore dell'esposizione alle alluvioni. Degiorgis e colleghi (Degiorgis, et al., 2012) studiano la relazione tra diverse caratteristiche morfologiche derivate dal DEM e la pericolosità da alluvione mediante classificatori binari lineari a scala di bacino. Altri autori (Nardi, Vivoni, & Grimaldi, 2006) propongono un approccio idro-geo-morfologico che stima il livello idrico lungo la rete fluviale e identifica l'area allagata come differenza di quota con le aree circostanti.

Più recentemente, Manfreda e colleghi (Manfreda, et al., 2015) e Samela ed altri (Samela, Troy, & Manfreda, 2017), (Samela, Albano, Sole, & Manfreda, 2018) hanno messo a punto un indice sintetico di pericolosità denominato GFI (Geomorphic Flood Index) che è funzione di un valore caratteristico del tirante idrico in corrispondenza della sezione del corso d'acqua (h_r) più prossima al punto di interesse secondo un percorso idraulico (stimato in funzione dell'area contribuyente) e la differenza di quota tra il punto considerato ed il punto più vicino del corso d'acqua (H). L'indice GFI viene calcolato per ogni cella del bacino, per poi identificare, mediante il processo di calibrazione, una soglia al di sopra della quale un'area è da considerarsi allagabile. Il valore di soglia da adottare viene identificato in fase di calibrazione minimizzando gli errori ottenuti dal confronto con le aree allagabili fornite dal PGRA, limitatamente alle aree mappate da quest'ultimo.

L'approccio modellistico

La mappatura delle pericolosità del territorio nel nostro Paese è stata storicamente affidata alla modellazione idrologica e idraulica, sino dalla prima produzione dei Piani di assetto idrogeologico dei primi anni '2000. L'inondazione in un sito assegnato è un processo stocastico funzione del tempo e dello spazio. La scarsità dei dati a disposizione, vista la dispersione che accompagna il fenomeno, impedisce una modellazione basata su analisi empirica. La necessità di ottenere comunque una caratterizzazione probabilistica ha portato generalmente ad operare trasferendo la probabilità dell'evento al suolo, a quella della precipitazione che lo ha determinato, procedendo poi con una modellazione complessiva del fenomeno (Fenicia, et al., 2013).

Questa “ipotesi di isofrequenza” che conserva intatta la probabilità della causa prima attraverso l’intera catena di trasformazione idrologica, è in realtà molto forte e, assai frequentemente, disattesa in natura. I fenomeni alluvionali sono difatti condizionati da una serie interminabile di fattori contingenti (anch’essi di carattere fortemente stocastico) che condizionano i risultati dei modelli in maniera severa. La modellazione proposta, quella che osserviamo nei PAI/PGRA è dunque “una” realizzazione del processo tra le tante possibili a partire dalla precipitazione di probabilità fissata. Vi sono casi nei quali la morfologia dei siti, i caratteri idraulici dell’asta fluviale, la presenza (o l’assenza) di opere idrauliche, rendono la soluzione relativamente stabile rispetto alla dinamica intrinseca dei processi. Altre volte non è così, e i poligoni ottenuti risultano strettamente limitati al ristretto ambito delle ipotesi assunte (Smith & Ward, 1988).

A questo fatto si aggiunge quello che molti dei fenomeni inondativi nel nostro Paese sono legati a fenomeni diversi dall’inondazione diretta per insufficiente capacità di smaltimento di un corso d’acqua. Si tratta dei casi di ristagno per insufficiente drenaggio, di malf funzionamento o collasso di opere idrauliche, di esondazione di rii minori e quant’altro. La integrale copertura modellistica isofrequente di queste casistiche è ovviamente impensabile: per questo fatto, storicamente, le Autorità deputate alla mappatura hanno generalmente proceduto con un approccio gerarchico, partendo dalla modellazione delle aste principali per poi proseguire, a seconda della disponibilità delle risorse, verso altri tronchi, talvolta limitando l’analisi a una soglia prefissata in termini di area drenata, ordine di Horton o quant’altro.

L’approccio appena delineato, seguendo la *mission* istituzionale delle Autorità di bacino distrettuali, non comporta in realtà problemi soverchi e, al contrario, presenta numerosi vantaggi. Trattandosi difatti di mappe a supporto di norme di Piano (e dunque della regolazione del territorio) offrono un approccio chiaro, trasparente e soprattutto facilmente replicabile, specialmente dove tutti gli elementi modellistici siano stati chiaramente esplicitati. Questo tutela i cittadini e aiuta a limitare eventuali ricorsi. Per le aree poi, ove gli studi non siano disponibili, può essere lo stesso strumento normativo a intervenire con indicazioni ad hoc (ad esempio affidare agli stessi proponenti lo studio, da svolgersi con la metodologia di riferimento) che tutelano comunque il territorio.

L’uso delle carte PAI/PGRA nella pianificazione di emergenza

Il mosaico nazionale delle carte di pericolosità da alluvione è stato redatto a cura di ISPRA e reso disponibile a partire dalla seconda metà della scorsa decade (Trigila & Iadanza, 2018). I vari stralci erano comunque distribuiti dalle Autorità a partire dalla adozione dei Piani, spesso in formato immagine o PDF. Una sorta di meccanismo automatico ha nei fatti posto queste carte tematiche alla base dell’analisi di scenario nella pianificazione di emergenza comunale, costituendone in numerosi casi, la fonte principale o addirittura la sola. Si tratta di un approccio generalmente non conforme alle necessità della pianificazione di protezione civile, per le ragioni che indichiamo sommariamente nel seguito.

Si tratta innanzitutto di una analisi non completa del territorio, vista la dichiarata non copertura integrale da parte della modellazione, riferita solo a tratti prefissati di reticolo. Offre poi, come detto, una delle possibili realizzazioni del processo stocastico della inondazione, senza proporre in generale una adeguata analisi di sensibilità a cambiamenti nelle condizioni iniziali e al contorno. Ignora, per ipotesi, l’occorrenza di processi inondativi non necessariamente derivanti da insufficiente capacità di smaltimento, ad esempio rotte arginali per livelli al disotto di quello di tracimazione, ristagni dovuti a malf funzionamento di opere idrauliche (ad esempio, inondazione di sottopassi), crisi di tratti tombinati e quant’altro.

Resta fermo il principio che le carte di pericolosità offerte dai PAI/PGRA costituiscono comunque un elemento conoscitivo di grande utilità per indirizzare l’analisi di eventi particolarmente significativi. Altrettanto vero è che queste, come ribadito più volte nei diversi documenti di indirizzo che a vario livello hanno guidato la pianificazione, vadano integrate con ulteriori analisi.

Approcci distinti

Ferma restante la necessità della consultazione degli studi disponibili, anche a servizio della pianificazione locale e di area vasta diversa da quella dell'Autorità distrettuale, tali ulteriori analisi possono e debbono essere svolti mediante due approcci concorrenti ma sostanzialmente distinti. Il primo, che possiamo chiamare “dal basso” o *bottom up* richiede la sintesi della conoscenza del territorio da parte dell'Ente di prossimità, raccogliendo la memoria storica delle passate inondazioni e/o cogliendone i segni sul territorio, individuando i punti critici ove si riscontrano problemi di inondazione, riconoscendo i punti di osservazione dai quali poter sintetizzare, sulla base di semplici indicatori, l'eventuale insorgere di una crisi. Questo tipo di informazioni è cruciale per la definizione degli scenari di rischio e dei relativi modelli di intervento.

In maniera sinergica e concorrente è opportuno effettuare analisi “dall'alto” o *top down* nella quale, sulla base di aspetti essenzialmente morfologici e di caratteristiche di uso del suolo, si individuano aree territoriali più propense all'alluvionamento basati su procedure automatiche di individuazione delle forme del territorio a partire dal modello digitale del terreno (Stepinski & Jasiewicz, 2011). In questo senso si riscontrano in letteratura approcci (citiamo quelli più recenti in ambito nazionale che riportano anche buone *review* dello stato dell'arte) (Samela, et al., 2015) (Samela, Troy, & Manfreda, 2017) (Manfreda, et al., 2015) che propongono indici basati sulla caratterizzazione geomorfologica del territorio e atti a individuare aree intrinsecamente prone ad essere alluvionate. Tali modelli possono provare una buona efficacia, specialmente ove si voglia procedere speditivamente su scala regionale. Una evoluzione di tale tipo di impostazione è offerta dalla analisi di suscettività.

L'analisi di suscettività da alluvione

Generalità

L'analisi di suscettività da alluvione si basa comunque sulla interpretazione di fattori predisponenti di ordine prevalentemente geomorfologico, ma li integra con modelli interpretativi addestrati sulla base di osservazioni. Tali modelli di inferenza, cosiddetti *data driven* utilizzano diverse tecnologie, tra le quali le reti neurali artificiali (ANN) (Pradhan & Buchroithner, Comparison and validation of landslide susceptibility maps using an artificial neural network model for three test areas in Malaysia, 2010), i processi gerarchici analitici (AHP) (Yalcin, 2008), la regressione logistica (LR) (Pradhan, 2010) e *fuzzy logic* (Pradhan, 2011). L'utilizzo di metodi *machine learning* è indirizzato in alcuni lavori recenti (Lamovec, Veljanovski, Mikoš, & Oštir, 2013), (Tehrany, Pradhan, & Jebur, 2013).

In questo caso si è scelto di utilizzare la tecnica cosiddetta *weight of evidence* (WoE) inizialmente introdotta per affrontare problemi decisionali in condizione di incertezza in vari campi (Agterberg, Bonham-Carter, & Wright, 1990) e utilizzata con successo anche per la analisi di suscettività da frana e da alluvione (Dahal, et al., 2008) (Regmi, et al., 2013).

Il metodo WoE

Per l'analisi di suscettività un metodo geo-statistico ampiamente applicato in letteratura è il cosiddetto *Weight of Evidence* (WoE): proposto da Bonham-Carter et al. (1990) come applicazione nell'ambito della ricerca mineraria, è particolarmente ricorrente in letteratura per la valutazione della suscettività da dissesti geomorfologici di versante (Neuhäuser et al., 2007; Lee et al., 2002), più recentemente, da fenomeni alluvionali (Tehrany et al., 2017 e 2014; Rahmati et al., 2016). Si tratta di un approccio statistico multifattoriale basato sulla probabilità bayesiana e facilmente implementabile in ambiente GIS. Vengono considerati separatamente i contributi di ogni classe dei fattori predisponenti al verificarsi dell'evento, determinata l'indipendenza reciproca tra i fattori considerati e valutata una probabilità a posteriori del verificarsi dell'evento di interesse combinando i diversi contributi.

Nel metodo WoE, che si basa sul teorema di Bayes, indicando con “B” ogni fattore predisponente considerato, con “B_i” ciascuna delle sue classi, e con “A” l’evidenza dell’evento, la probabilità di avere “s” data la classe “B_i” sarà pari a:

$$P(A|B_i) = \frac{P(B_i|A) \cdot P(A)}{P(B_i)}$$

dove $P(B_i|A)$ è la probabilità di trovare la classe “B_i” al verificarsi dell’evento “A”, $P(A)$ è la probabilità di avere un evento nell’area di studio, mentre $P(B_i)$ è la probabilità di trovare una determinata classe di un fattore predisponente.

Di conseguenza, la probabilità condizionata di trovare “A” fuori dalla classe “B_i” sarà pari a:

$$P(A|\bar{B}_i) = \frac{P(\bar{B}_i|A) \cdot P(A)}{P(\bar{B}_i)}$$

dove $P(\bar{B}_i)$ è la probabilità di non avere la classe “B_i” mentre la $P(\bar{B}_i|A)$ è la probabilità di non avere la classe “B_i” dato l’evento “A”. Tali probabilità, che vengono calcolate come rapporti tra aree andando a valutare la relazione spaziale che intercorre tra il verificarsi dell’evento e la presenza o assenza di una determinata classe di fattore predisponente, permettono successivamente di ottenere dei pesi di ciascuna classe in base a quanto questa sia correlata positivamente o negativamente all’insorgenza dell’evento.

I pesi W^+ e W^- sono espressi come:

$$W^+ = \ln \frac{P(B_i|A)}{P(B_i)}$$

$$W^- = \ln \frac{P(\bar{B}_i|A)}{P(\bar{B}_i)}$$

Il peso positivo W^+ rappresenta il rapporto tra la probabilità di trovare una classe dove si è verificato l’evento e la probabilità di trovare la stessa classe in un luogo in cui non si è verificato l’evento. Esso quantifica la relazione che intercorre tra una classe di un fattore predisponente e il verificarsi dell’evento, cioè indica l’influenza di tale classe sul verificarsi dell’evento. Il peso negativo W^- , al contrario, rappresenta il rapporto tra la probabilità di non trovare una classe dove si è verificato l’evento e la probabilità di non trovare la stessa classe in un’area priva di evento, definendo così l’entità di anti-correlazione tra la classe di un fattore e l’evento.

Il peso di contrasto C è definito come differenza tra i due pesi ($C = W^+ - W^-$) e indica l’entità della relazione spaziale tra la classe del fattore predisponente e il verificarsi dell’evento: un peso di contrasto uguale o prossimo allo 0 indica l’assenza di relazione tra la classe del fattore e l’evento, mentre i valori di contrasto positivi e negativi rivelano una relazione spaziale positiva o negativa della propensione di aree con determinate caratteristiche ad essere interessate dall’evento alluvionale.

I pesi di influenza W^+ e W^- e conseguentemente il peso di contrasto C permettono, attraverso una combinazione lineare di tutti i valori di C per ciascuna classe, di calcolare la probabilità a posteriori del verificarsi dell’evento espressa attraverso un indice di suscettività da alluvione $P_A(A) = \sum w_i \cdot \ln P(A)$.

Il modello digitale del terreno

Ai fini di operare in maniera omogenea sul territorio del progetto, si è provveduto a raccogliere i modelli digitali del terreno disponibili presso le 5 Regioni, a correggere le anomalie e a svilupparne uno apposito e

collaudare un modello digitale del terreno a servizio dell'analisi di suscettività (e d in ogni caso disponibile per le altre eventuali esigenze del progetto). Il passo è stato fissato in quello massimo tra le diverse fonti di informazione e dunque in 5 metri. Le attività sono descritte nel dettaglio in un apposito report.

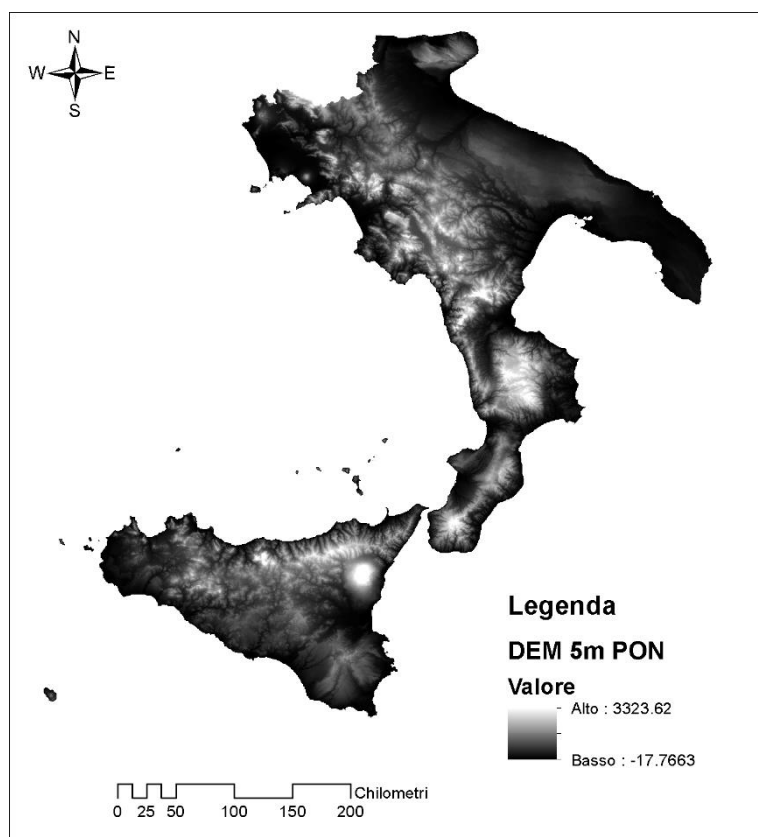


Figura 1. Il modello digitale del terreno a servizio del progetto PON

Il reticolo di drenaggio

Si è inoltre ricavato e verificato il reticolo di drenaggio come emerge dai database topografici delle diverse carte tecniche regionali ottenendo un insieme di archi ragionevolmente coerente per modalità di rilevamento e cartografazione.

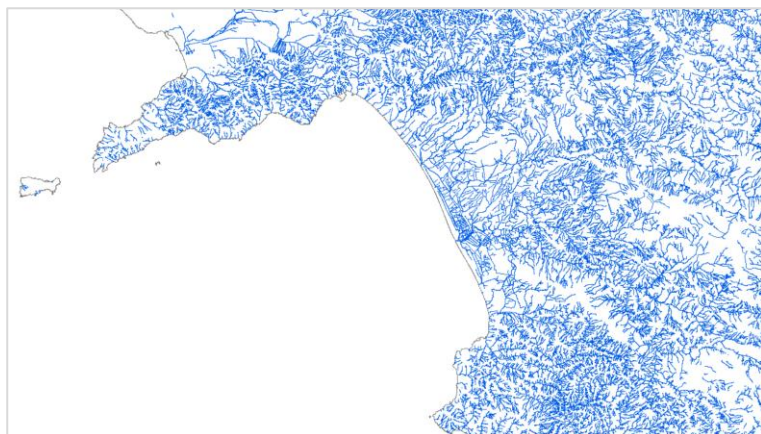


Figura 2. Esempio del reticolo di drenaggio nell'area della costiera amalfitana

Si tratta di dati che comunque presentano una componente fortemente eterogenea con tracciati record molto diversi. I criteri di formazione del database topografico sono apparsi comunque consistenti. I risultati delle estensioni dei reticoli sono riportati nella seguente tabella.

Regione	Superficie [kmq]	L [km]	L/S [1/km]
Basilicata	10073	34'059	3.4
Campania	13670	34'401	2.5
Puglia	19540	29'890	1.5
Calabria	15221	71'431	4.7
Sicilia	25832	103'436	4.0
totale	84338	273'218	

Tabella 1. Lunghezza del reticolo CTR per le 5 regioni e relativo rapporto con la superficie del territorio

Altresì si è composto il mosaico litologico derivando i dati dalle carte geologiche in scala 1:100000 del Servizio Geologico d'Italia, visto che le carte derivanti dal progetto CARG 1:50000 non coprono per intero il dominio di calcolo. Da questo si sono ricavati i tipi idrologici di suolo in accordo con il metodo SCS-CN (Mishra & Singh, 2003).

	A [km ²]	B [km ²]	C [km ²]	D [km ²]	Totale [km ²]
BASILICATA	537	4218	3316	1898	9969
CALABRIA	320	5070	6957	2730	15077
CAMPANIA	3109	7280	1011	2145	13545
PUGLIA	7465	10387	250	1091	19193
SICILIA	2272	8710	6620	8068	25670

Tabella 2. Distribuzione assoluta dei tipi idrologici di suolo sulle 5 regioni del PON

La Tabella 2 riporta i dati assoluti delle superfici interessate per le 5 regioni. Gli stessi dati sono riportati in forma relativa nella successiva tabella che illustra le percentuali per i diversi gruppi idrologici: da "A" (bassa propensione al deflusso) a D (terreni molto impermeabili).

	A	B	C	D
BASILICATA	5%	42%	33%	19%
CALABRIA	2%	34%	46%	18%
CAMPANIA	23%	54%	7%	16%
PUGLIA	39%	54%	1%	6%
SICILIA	9%	34%	26%	31%

Tabella 3. Distribuzione percentuale dei tipi idrologici di suolo sulle 5 regioni del PON

I dati appena presentati consentono una conferma, per quanto del tutto qualitativa, della relativa omogeneità della rappresentazione scelta per il reticolo di drenaggio.

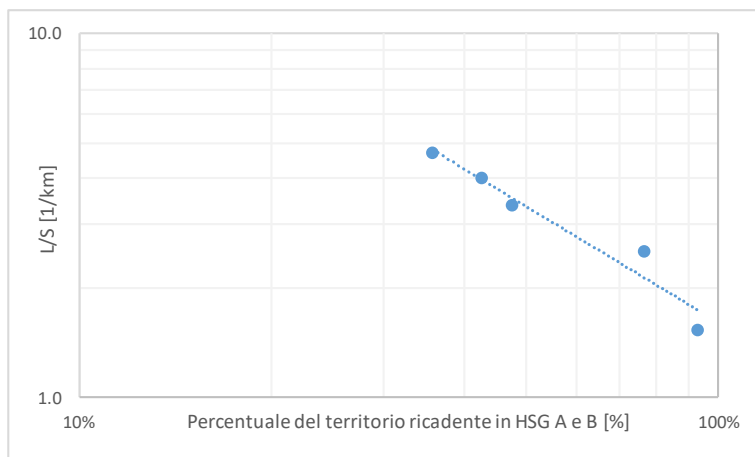


Figura 3. Rapporto tra la lunghezza complessiva del reticolo di drenaggio e superficie del territorio espresso in funzione della percentuale di suolo permeabile individuato tramite la somma delle aree coperte dai tipi idrologici di suolo A e B

L'immagine mostra il rapporto tra la lunghezza complessiva del reticolo di drenaggio e la superficie del territorio, riportato nel grafico in funzione della percentuale di suolo molto o mediamente permeabile. Quest'ultimo dato è rappresentato tramite la somma delle aree coperte dai tipi idrologici di suolo A e B. L'immagine mostra una buona consistenza dei dati, attraverso una legge di scala ben evidenziata. Non si tratta ovviamente delle classiche leggi di scala relative alla densità di drenaggio (Hack, 1957) che hanno senso a scala di bacino idrografico mentre qui si tratta di dati di interi territori valutati massivamente. L'osservazione consente tuttavia di comprendere l'ampia variabilità presentata dai valori riportati in Tabella 1 confortando una sostanziale omogeneità nel dettaglio dei rilievi.

L'uso del suolo è stato ricavato dal classico progetto Corine Land cover 2012¹ a livello 3, anch'esso restituito alla scala 1:100.000. I tematismi sono stati riaggregati assegnando alle componenti litologiche, diversi gruppi idrologici di suolo (HSG) in accordo al metodo SCS-CN (Mishra & Singh, 2003). Sulla base delle suddette informazioni è stata derivata in via automatica una carta del parametro CN sul territorio delle 5 regioni.

¹ <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>

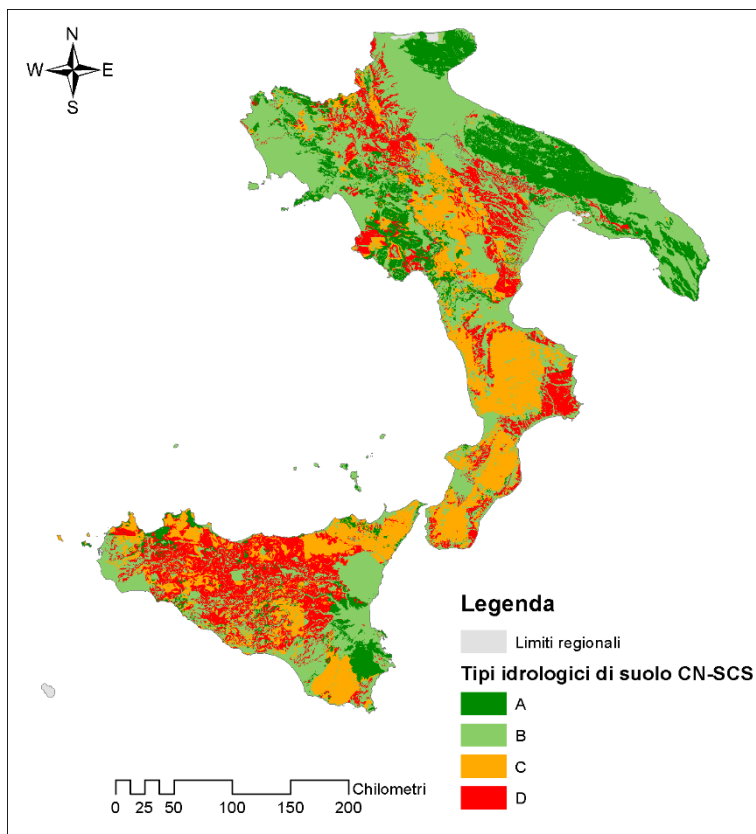


Figura 4. Tipi idrologici di suolo per le 4 regioni continentali

Fattori predisponenti

La scelta dei fattori predisponenti costituisce, assieme al metodo statistico, uno degli elementi chiave dell'analisi di suscettività. Nel caso di specie, si è seguito un approccio molto vicino ai lavori di letteratura più recenti (Tehrany, et al., 2017) che addestra il modello tramite il classico WoE.

Nel caso di specie si sono individuati due parametri di prossimità in forma di distanza orizzontale e verticale dal reticolo di drenaggio, la pendenza come parametro di morfologia locale e l'indice CN per dar conto del comportamento idraulico locale del territorio.

Dati di addestramento del modello

Una delle ragioni per l'impiego ancora relativamente modesto delle analisi di suscettività da alluvione, rispetto all'uso ormai ampiamente consolidato per il dissesto gravitativo di versante (Reichenbach, Rossi, Malamud, Mihir, & Guzzetti, 2018), sta nel carattere intrinseco degli effetti al suolo che condiziona in maniera determinante la disponibilità dei dati a disposizione. Si riscontrano difatti risalenti analisi di suscettività anche a servizio della redazione di Piani per l'assetto idrogeologico in contesti di rilievo nazionale (Catani, Casagli, Ermini, Righini, & Menduni, 2005) mentre la casistica di analisi in campo del rischio idraulico, in analogo contesto, è pressoché assente. Il fatto è che la frana riporta generalmente effetti al suolo consistenti e permanenti, nella maggior parte dei casi suscettibili di analisi, tanto da terra che da telerilevamento, che possono protrarsi per lunghi periodi e consentire di apprezzarne pienamente, non solo la geometria, ma pure la dinamica e le relative conseguenze.

L'alluvione al contrario un fenomeno generalmente effimero. Vi sono state alluvioni, ad esempio come quella del Po del 1951 e, più in generale quelle caratteristiche della pianura padana (Orlandini, Moretti, & Albertson, 2015) che effettivamente sono caratterizzate da tempi di permanenza di giorni, settimane e addirittura mesi. Più in generale i tempi sono modesti, poche ore o giorni. D'altro canto, anche per le emergenze di tipo

nazionale, non è frequente un rilievo organizzato dell'estensione delle aree inondate. I dati a disposizione, "carburante" fondamentale per l'analisi di suscettività, sono dunque relativamente scarsi, sebbene la letteratura su archivi organizzati di eventi alluvionali, segna già da tempo diversi esempi di notevole interesse (Guzzetti, Reichembach, & Cardinali, 1994).

Uno degli aspetti salienti del lavoro proposto, è stato il recupero massivo, per quanto possibile, dell'informazione di eventi storici in ambito PON, sia per quanto riguarda i dati areali che per quelli puntuali. Per quanto concerne lo strato informativo delle aree il materiale reperito può essere ricondotto alle seguenti fattispecie:

1. aree alluvionate fornite dalla Autorità di bacino distrettuale "Appennino meridionale" attraverso le diverse Unit of Management regionali;
2. aree fornite da Comuni a seguito della notizia di eventi significativi, successivamente elaborate dal gruppo di ricerca;
3. aree provenienti da immagini satellitari di vario genere (Copernicus EMS, Agenzia Spaziale Italiana), attraverso download o indirettamente attraverso gruppi di ricerca operanti nel settore (Dipartimento di Protezione Civile, Università della Basilicata);
4. aree direttamente prodotte dal gruppo di lavoro della Fondazione Politecnico di Milano, ricostruite mediante la ricerca e poi l'analisi dettagliata di fonti di cronaca, materiale fotografico e video, documentazione nei piani di protezione civile comunale.

Per quanto riguarda lo strato informativo dei punti invece, il materiale fa riferimento a:

1. punti critici frequentemente alluvionati, localizzati direttamente dall'Autorità di Bacino o segnalati da Comuni, privati, Prefetture, Protezione Civile e fonti di cronaca alla stessa
2. punti provenienti dalla georeferenziazione delle ricognizioni di cui alle schede di tipo "A", "B" e "C" di cui alle ordinanze di Protezione civile connesse agli stati di emergenza.

Nello specifico sono state raccolte/perimetrati 1259,59 km² di aree storicamente inondate di cui 51,13 km² per la Basilicata, 156,75 km² per la Calabria, 177,11 km² per la Campania, 739,64 km² per la Puglia e infine 134,95 km² per la Sicilia.

Come già cennato, le fonti utilizzate sono diverse e, mentre una parte delle aree era già stata perimetrata da chi ha prodotto il dato, un'altra parte è frutto dell'attività di delimitazione geografica svolta dal gruppo di lavoro della Fondazione Politecnico di Milano, secondo la seguente procedura:

1. ricerca sui Report di evento delle Protezioni Civili regionali, sugli articoli di giornale e sul web, degli eventi occorsi negli ultimi vent'anni nelle cinque regioni PON;
2. redazione di un elenco di eventi i cui effetti al suolo abbiano provocato allagamenti e danni a persone, immobili, infrastrutture e settore produttivo;
3. ricerca di immagini e filmati, da cui si potesse definire il perimetro delle aree allagate, sia sui canali istituzionali, come ad esempio il sito dei Vigili del Fuoco, che su canali come Youtube o Youreporter;
4. perimetrazione in ambiente GIS, con il supporto di ortofoto, reticolo idraulico, DEM e toponomastica, delle aree allagate.

FONTE	SUPERFICIE km ²
AdB Distretto Appennino Meridionale	909,9
Comune di Messina	4,24
Copernicus EMS	96,95
Dipartimento di Protezione Civile - Agenzia Spaziale italiana (ASI)	16,81
ex AdB Campania Sud ed Interregionale Sele	112,04
Fondazione Politecnico di Milano	114,11
Santangelo, Santo - 2002	1,33
Universita' della Basilicata - Agenzia Spaziale italiana (ASI)	4,21
TOT	1259,59

Tabella 4 - Dettaglio delle superfici raccolte suddivise per fonte di dato

Nella Tabella 4, si può leggere il dettaglio delle aree perimetrate in funzione della fonte del dato, si precisa tuttavia che per la Regione Puglia le aree fornite dalla UoM regionale Puglia e interregionale Ofanto è stato necessario un ulteriore lavoro di analisi per associare le aree agli eventi condotto utilizzando il Catalogo del Progetto AVI del CNR (GNDCI & Cardinali, 1998).

Il lavoro sul dato puntuale ha condotto alla raccolta di 6751 punti di cui 3564 per la Basilicata, 1489 per la Calabria, 1128 per la Campania e 570 per la Puglia.

FONTE	PUNTI
ex AdB Basilicata	2965
Fondazione Politecnico di Milano	3543
Protezione Civile Regione Puglia	243
TOT	6751

Tabella 5 - Dettaglio dei punti raccolti suddivisi per fonte di dato

Tra i punti georeferenziati dal gruppo di lavoro della Fondazione Politecnico di Milano ci sono quelli delle OCDPC, di cui in Tabella 6 si riporta il dettaglio.

REGIONE	FONTE	PUNTI
Puglia	2013/10/07-08 (OCDPC 135)	116
Puglia	2014/09/01-06 (OCDPC 200)	45
Calabria	2015 vari eventi (OCDPC 289)	14
Calabria	2015/08/12 (OCDPC 285)	420
Puglia	2015/10/10-15 (OCDPC 355)	79
Campania	2015/10/15 (OCDPC 298)	1128
Calabria	2015/10-11 (OCDPC 330)	370
Puglia	2016/03/11-18 (OCDPC 410)	64
Calabria	2016-2017 vari eventi (OCDPC 473)	260
Calabria	2018 vari eventi (OCDPC 545)	51
Calabria	2018 vari eventi (OCDPC 558)	374

Tabella 6 - Dettaglio dei punti georeferenziati da Fondazione Politecnico di Milano suddivisi per OCDPC

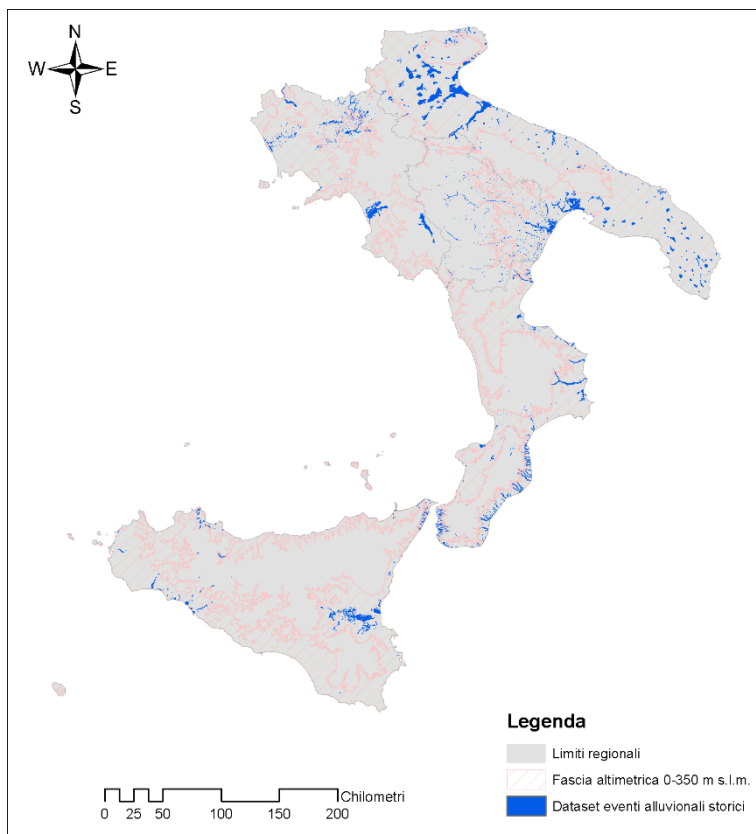


Figura 5. Sintesi dei dati relativi ai dati storici areali per l'addestramento e la validazione del modello

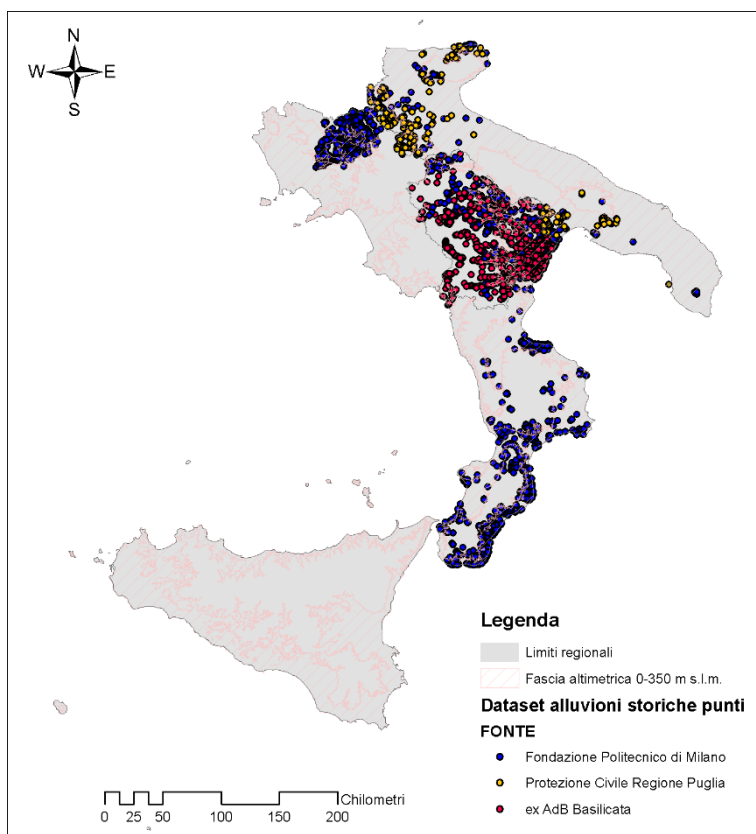


Figura 6. Sintesi dei dati relativi ai dati storici puntuali per l'addestramento e la validazione del modello

La individuazione di unità territoriali omogenee di riferimento

Una volta disponibile un significativo *dataset* di aree vulnerate, si è proceduto alla consueta analisi di cross correlazione sui diversi fattori predisponenti nel dominio dei dati di calibrazione. I risultati, peraltro anticipati da studi specifici svolti regione per regione dal Gruppo di lavoro sul territorio del Progetto, hanno rassicurato sull'indipendenza statistica dell'informazione considerata nei diversi parametri.

A questo punto è stata svolta una analisi finalizzata a caratterizzare uno o più specifici contesti geomorfologici sui quali impostare correttamente l'addestramento del modello in fase di calibrazione. A tal fine si è operato con un classico metodo di letteratura (Stepinski & Jasiewicz, 2011), applicato all'altimetria dell'intera zona di studio. Per il calcolo si è optato per il modello digitale del terreno SRTM (VanZyl, 2001) a passo 90 metri: più grossolano di quello in uso per la suscettività e pertanto in grado di mediare spazialmente le discontinuità minori del terreno prodotte dal modello ad alta risoluzione.

L'approccio "Geomorphon" è in sostanza un metodo per la classificazione e la mappatura di landforms a partire dall'altimetria. Il modello è basato sul principio del riconoscimento tipologico dei pattern geomorfologici, piuttosto che sulla mera analisi geometrica differenziale della superficie. Al centro del metodo c'è il concetto di "geomorfone" in sostanza un fonotipo geomorfologico, un semplice schema ternario che funge da archetipo di una particolare morfologia del terreno. Gli autori individuano un numero finito di "geomorfon" che costituiscono l'insieme completo ed esaustivo di tutti i possibili tipi assetti morfologici, inclusi elementi standard del paesaggio, nonché forme sconosciute che si trovano raramente nelle superfici naturali. Una singola scansione del DEM, assegna un geomorfone appropriato a ogni pixel, usando una procedura che si auto adatta per identificare la scala spaziale più adatta in ogni posizione.

Il metodo classifica i pattern delle forme del territorio in una gamma di diverse scale spaziali con una ragguardevole efficienza computazionale. Altresì è possibile derivare una mappa geomorfometrica per uso generale aggregando i "geomorfon" su un piccolo numero *landform pattern* più comuni.

La classificazione del territorio delle 5 regioni ha mostrato evidenze nei "geomorfon" *flat* (pianura), *peak* (picco), *ridge* (parte convessa del versante, contrario di *hollow*), *shoulder* (costone), *spur* (sperone), *slope* (versante), *hollow* (parte concava del versante, contrario di *ridge*), *footslope* (scarpata), *valley* (valle), *pit* (depressione locale).

Geomorphons	Area [km ²]	%
SLOPE	22307	26.7%
SPUR	13147	15.7%
VALLEY	11888	14.2%
HOLLOW	11126	13.3%
RIDGE	9915	11.9%
FLAT	5631	6.7%
FOOTSLOPE	3144	3.8%
PIT	2625	3.1%
PEAK	2099	2.5%
SHOULDER	1660	2.0%
totale	83543	100.0%

Tabella 7. Distribuzione delle aree del territorio PON aggregate sui diversi "geomorfon"

La Tabella 7 mostra la distribuzione dei "geomorfon" sugli oltre 83.000 km² del territorio delle 5 regioni del PON. Analizzando i numeri si osserva come le *landform* più propriamente associate ai versanti (*peak*, *ridge*, *hollow*, *shoulder*, *spur*, *slope*), risultano pari ai quasi tre quarti del territorio, mentre il restante quarto rientra

nei temi tipici della pianura alluvionale (*flat, footslope, pit, valley*), in analogia peraltro con il dato nazionale della ripartizione del territorio tra pianure e territori collinari e montani attorno al 23%.

Geomorphons	Area [km ²]	%
FLAT	440	36.6%
VALLEY	261	21.7%
FOOTSLOPE	195	16.2%
SLOPE	106	8.8%
PIT	70	5.8%
HOLLOW	48	4.0%
SHOULDER	43	3.6%
RIDGE	20	1.7%
SPUR	18	1.5%
PEAK	2	0.1%
totale	1203	100.0%

Tabella 8. Distribuzione delle aree storicamente inondate del territorio PON aggregate sui diversi “geomorfon”

La Tabella 8 mostra invece la distribuzione dei “geomorfon” per i 1200 km² relativi alle aree storicamente allagate. In questo caso, come era da aspettarsi, osserva la tipica inversione dell’assetto ove le *landform* relative alle morfologie di pianura risultano in un rapporto 20%-80% con quelle di versante. L’incidenza delle diverse forme nei due casi è ben percepibile nel diagramma “a ragnatela” riportato in Figura 7.

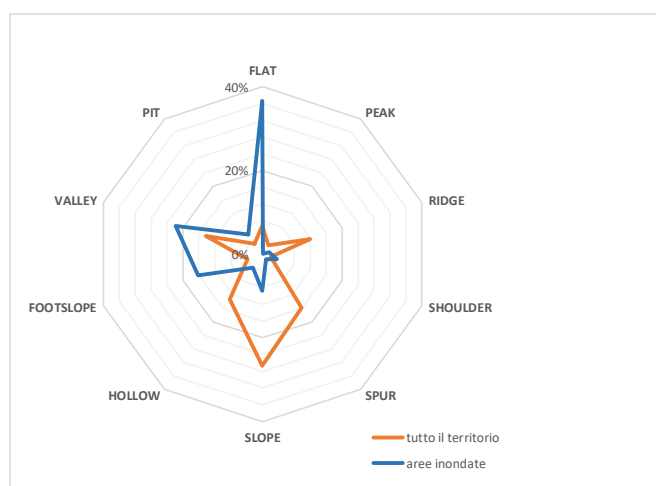


Figura 7. Distribuzione percentuale dei “geomorfon” sull’intero sistema territoriale (arancio) e sulle aree storicamente inondate (blu)

La distribuzione spaziale dei depositi alluvionali

Le considerazioni prettamente geomorfologiche sinora formulate richiedono di essere integrate con dati di carattere geolitologico. In questo senso si è provveduto ad aggregare le formazioni tipiche dei depositi alluvionali sulla Carta Geologica d’Italia in scala 1:100.000 sui tematismi “Depositi alluvionali”, “Depositi marini lacustri e fluviali”, “spiagge”, “dune costiere”, “coni di deiezione”, “terrazzamenti”.

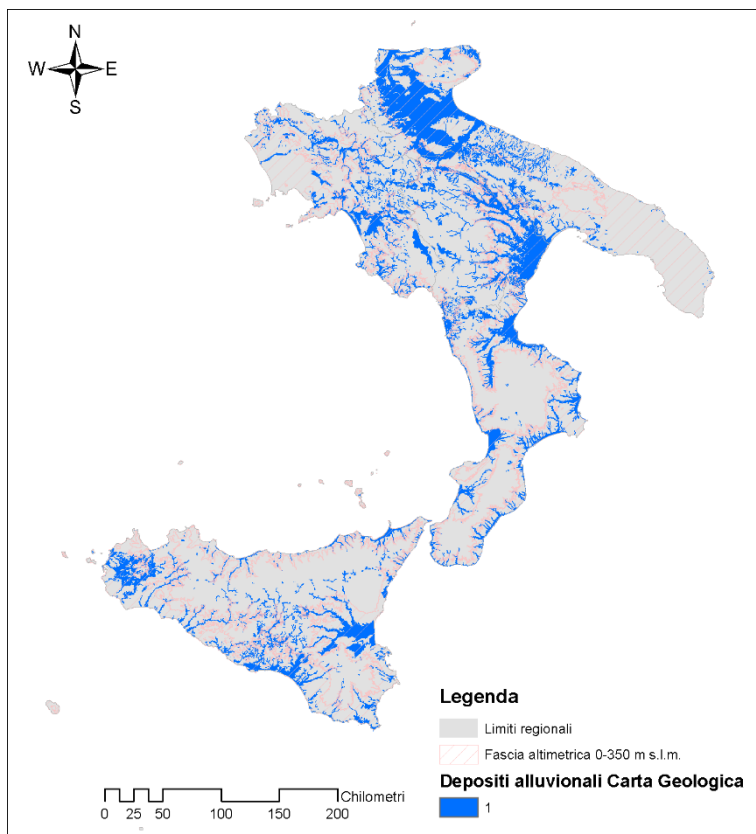


Figura 8. Distribuzione dei temi dei depositi alluvionali aggregati da CGdI 1:10000

La Figura 8 riporta la mappa risultante. I depositi alluvionali coprono 11.164 degli 83543 km² delle 5 regioni PON. In essi ricade quasi il 70% delle aree storicamente inondate.

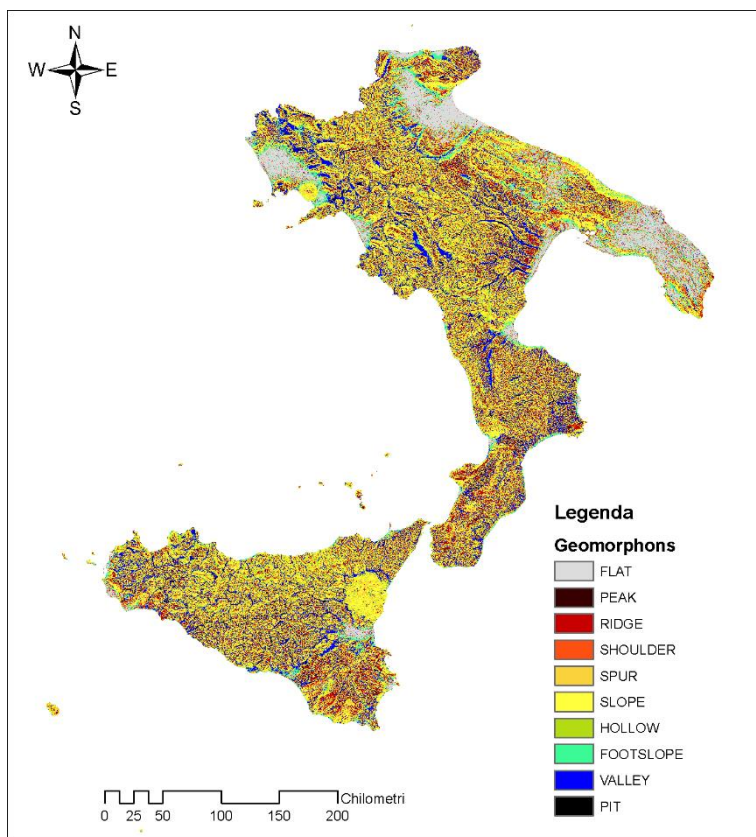


Figura 9. Carta dei "geomorfon" sulle 5 regioni del PON

La definizione del dominio di applicazione del metodo

Da quanto appena cennato (e come era facile immaginare) risulta che le aree di addestramento del modello ricadono per la quasi totalità in zone caratterizzate da specifici caratteri morfologici e litologici. Sono altresì pressoché assenti fonti di documentazione relative a fenomeni (che, seppur più raramente, comunque occorrono) in ambiti geomorfologici e litologici complementare. Per questa ragione conviene identificare correttamente l'ambito del quale è più conveniente e sensato addestrare, validare e utilizzare il modello di suscettibilità.

Resta il fatto che l'aggregazione per unità morfologiche o per "geomorfon" non è semplice per chi deve gestire il metodo. Anche fornendo una maschera informatizzata per definire le aree, resta comunque il problema di una vasta eterogeneità degli interlocutori e il conseguente timore di trasmettere informazioni non chiare o comunque di interpretazione non immediata.

Per questa ragione è stata condotta una verifica per fasce altimetriche, metodologia comunemente utilizzata anche da ISTAT per la ripartizione del territorio. Si tratta delle scelte operate nell'ambito del sistema circoscrizionale statistico istituito nel 1958, che definisce una ripartizione del territorio nazionale per zone altimetriche (montagna, collina, pianura). Tali zone derivano dall'aggregazione di comuni contigui e sono identificate sul territorio sulla base di valori soglia altimetrici². Una tale forma di identificazione dell'area di studio può semplificare l'applicazione del metodo, richiedendo dati facilmente reperibili e di uso corrente.

Per questa ragione è stata svolta una analisi ad hoc. La Figura 10. Andamento cumulato delle aree storicamente inondate in funzione del limite superiore di diverse fasce altimetriche.

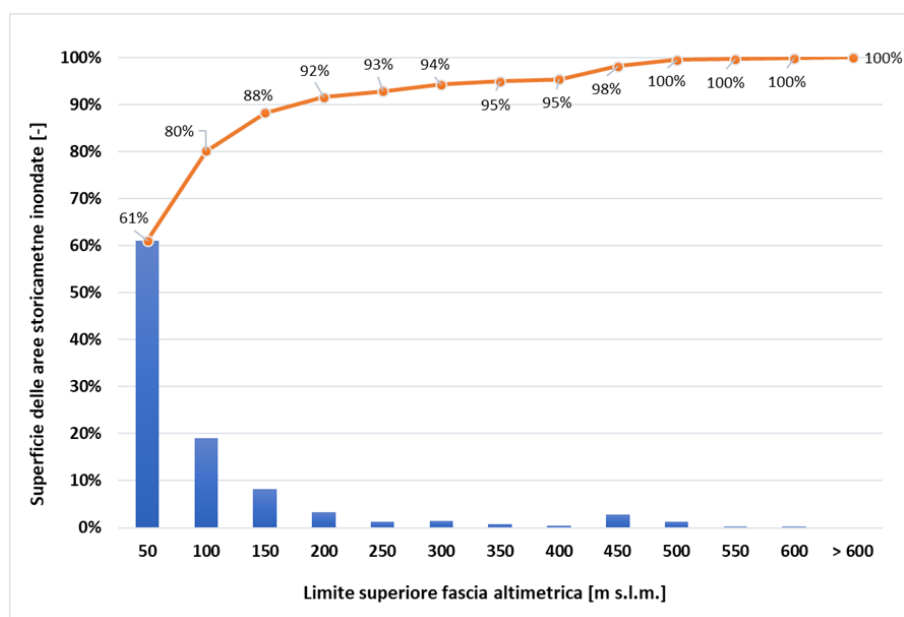


Figura 10. Andamento cumulato delle aree storicamente inondate in funzione del limite superiore di diverse fasce altimetriche.

Il grafico mostra come già il 94% del dato storicamente osservato sia compreso nella fascia tra 0 e 300 metri sul livello del mare. Tale percentuale sale a 95% portando il limite superiore a 350 metri. Allo stesso modo, quasi il 90% delle formazioni riconducibili ai depositi alluvionali, ricadono nella medesima fascia. Altresì oltre il 90% delle aree storicamente inondate è riportata al disotto della stessa soglia.

Per queste ragioni si è optato per individuare, nella fascia altimetrica compresa tra 0 e 350 m s.l.m., un'unica unità territoriale omogenea nella quale addestrare il modello di suscettibilità, validarlo e applicarlo.

² https://www.istat.it/it/files//2013/12/Cap_1.pdf

Applicazione del metodo

L'applicazione del metodo WoE presuppone che vengano definiti una serie di fattori predisponenti al rischio inondazioni. Nello specifico, in base alla letteratura scientifica disponibile, sono stati definiti quattro fattori quali: la pendenza locale, la permeabilità espressa in termini di Curve Number, la quota relativa e la distanza orizzontale rispetto al reticolo idrografico.

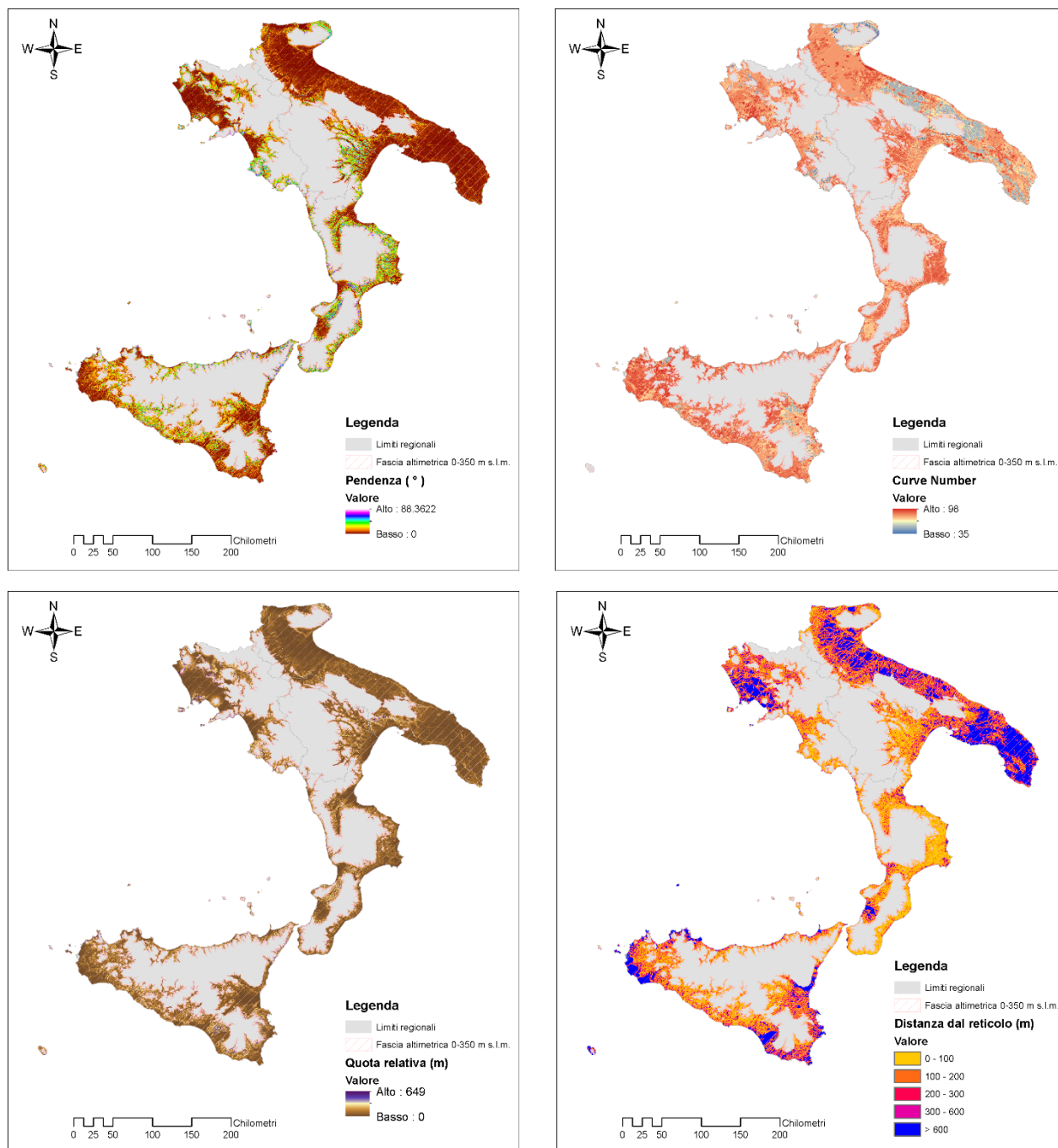


Figura 11. Distribuzione dei valori dei fattori predisponenti utilizzati nel modello WoE (da destra verso sinistra: pendenza locale, Curve Number, quota relativa e distanza orizzontale dal reticolo), lungo la fascia altimetrica investigata

Ciascuno di essi è stato suddiviso in classi e per ciascuna classe è stato calcolato: Il peso positivo W^+ , che rappresenta il rapporto tra la probabilità di trovare una classe dove si è verificato l'evento e la probabilità di trovare la stessa classe in un luogo in cui non si è verificato l'evento. Esso quantifica la relazione che intercorre tra una classe di un fattore predisponente e il verificarsi dell'evento, cioè indica l'influenza di tale classe sul

verificarsi dell'evento; Il peso negativo W^- , al contrario, rappresenta il rapporto tra la probabilità di non trovare una classe dove si è verificato l'evento e la probabilità di non trovare la stessa classe in un'area priva di evento, definendo così l'entità di anti-correlazione tra la classe di un fattore e l'evento.

	Classi	W^+	W^-	C
Pendenza locale	0 - 1	0.874	-0.518	1.392
	1 - 2	0.155	-0.033	0.188
	2 - 5	-0.158	0.034	-0.193
	5 - 10	-0.895	0.101	-0.995
	>10	-1.822	0.266	-2.087
CN	50-66	-0.311	0.065	-0.376
	66-82	0.269	-0.302	0.570
	82-98	-0.025	0.008	-0.033
	35-50	-2.216	0.085	-2.301
Quota Relativa	0 - 2	1.403	-0.351	1.753
	2 - 5	0.742	-0.273	1.015
	5 - 10	-0.089	0.020	-0.110
	10 - 20	-1.087	0.156	-1.243
	>20	-2.715	0.389	-3.104
Distanza orizzontale dal reticolo	0 - 100	0.039	-0.025	0.064
	100 - 200	0.031	-0.008	0.039
	200 - 300	0.108	-0.016	0.123
	300 - 600	0.139	-0.025	0.164
	>600	-0.404	0.065	-0.468

Tabella 9. Pesi dei fattori predisponenti utilizzati nell'analisi di suscettività da inondazione

La differenza tra i due pesi, viene definita come peso di contrasto C e indica la correlazione spaziale tra la classe del fattore predisponente e il verificarsi dell'evento: un peso di contrasto uguale o prossimo allo 0 indica l'assenza di relazione tra la classe del fattore e l'evento, mentre valori di contrasto positivi o negativi rivelano una correlazione spaziale positiva o negativa della propensione di aree con determinate caratteristiche ad essere interessate dall'evento alluvionale o meno. La combinazione lineare di tutti i valori di C per ciascuna classe di ogni fattore predisponente consente di calcolare la probabilità a posteriori del verificarsi dell'evento espressa attraverso un indice di suscettività da alluvione.

Tale indice di suscettività è stato poi suddiviso in quattro classi; come mostrato in Tabella 10, partendo dalla prima classe si ottiene dunque: suscettività trascurabile, bassa, media e alta.

Classi di suscettività	Area [km ²]	%
Trascurabile	20379	46.37%
Bassa	10318	23.48%
Media	4832	10.99%
Alta	8423	19.16%
totale	43952	100.0%

Tabella 10. Distribuzione delle aree e dei pesi per ciascuna delle classi di suscettività

La Figura 12 riporta la mappa risultante. Le aree a suscettività medio-alta coprono una superficie di 13.255 degli 43.952 km² dell'area compresa nella fascia altimetrica fino a 350 metri delle 5 regioni PON.

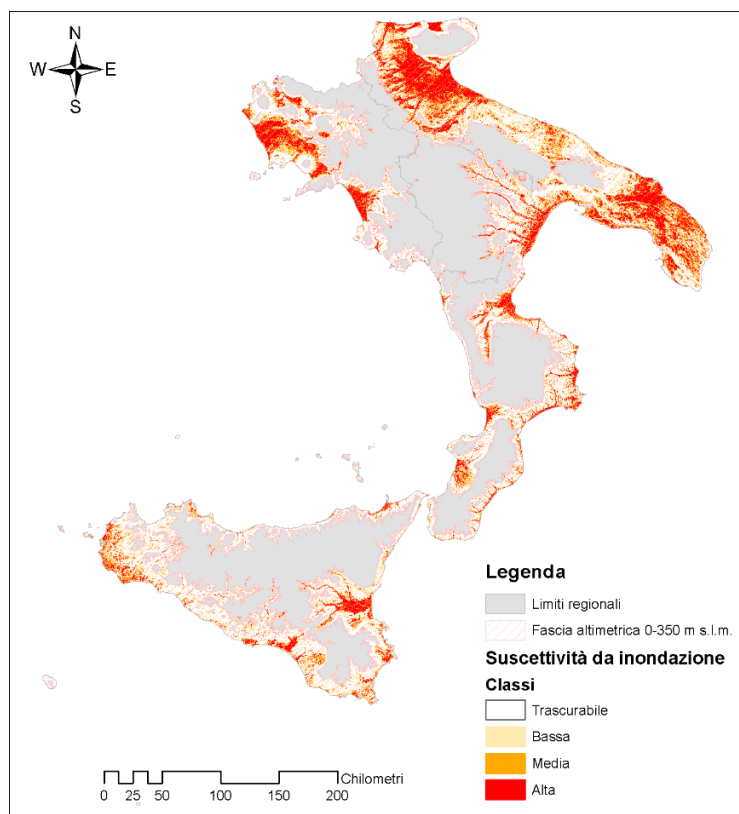


Figura 12. Distribuzione delle classi di suscettività lungo la fascia altimetrica investigata

In conclusione, dallo studio condotto, si evince che circa il 30% del territorio investigato presenta aree a suscettività media e alta e di queste, circa il 76% del dataset di calibrazione delle aree storicamente inondate e circa il 77% di quello di validazione, ricadono sempre nelle medesime classi di suscettività, come mostrato nel grafico in Figura 13.

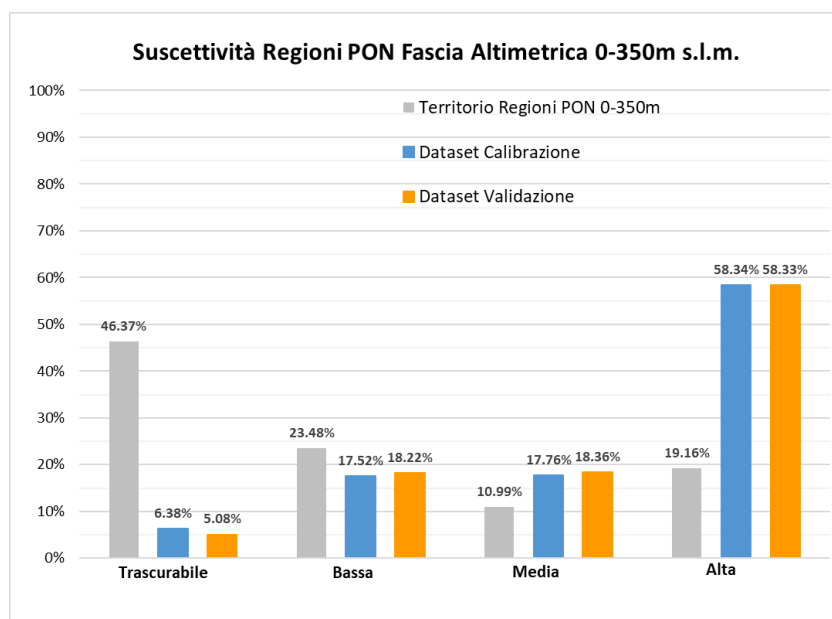


Figura 13. Distribuzione delle classi di suscettività lungo la fascia altimetrica investigata suddivise per dataset di calibrazione e validazione

I risultati ottenuti, quindi, se confrontati anche con le aree a pericolosità P1 e P2 del PAI/PGRA presentati nei grafici in Figura 14 e Figura 15 rispettivamente, consentono di pervenire a conclusioni incoraggianti circa l'affidabilità del metodo e la sua esportabilità in altri contesti territoriali.

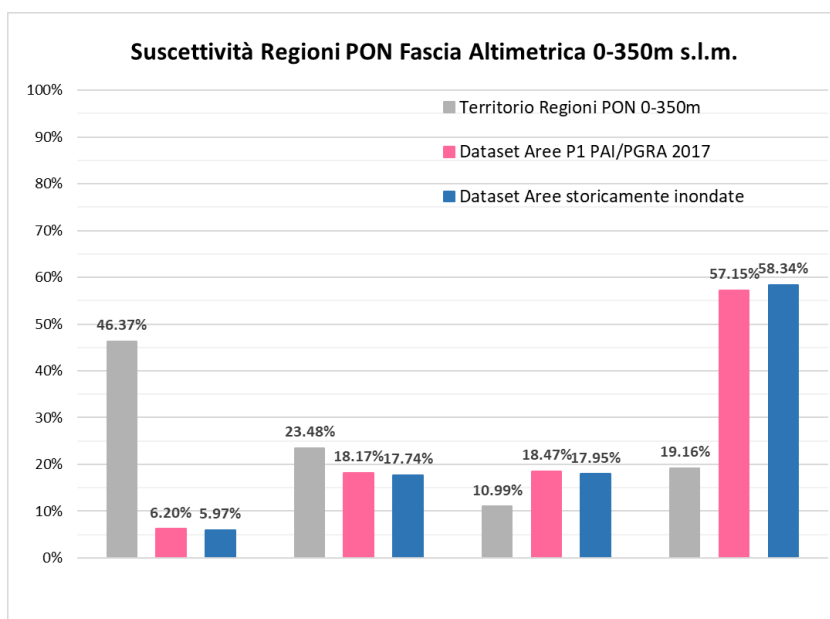


Figura 14. Distribuzione delle classi di suscettività lungo la fascia altimetrica investigata suddivise per aree a pericolosità P1 PAI/PGRA e aree storicamente inondate

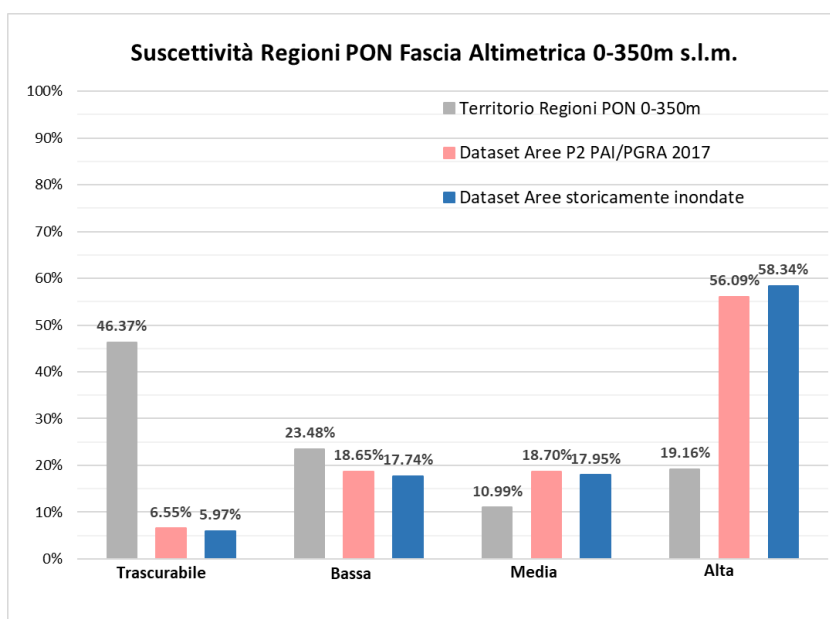


Figura 15. Distribuzione delle classi di suscettività lungo la fascia altimetrica investigata suddivise per aree a pericolosità P2 PAI/PGRA e aree storicamente inondate

La realizzazione della mappa di suscettività oltre i 350 m.s.l.m.

Per la costruzione della mappa sopra la fascia dei 350 m.s.l.m. si è deciso di utilizzare il metodo dell'indice geomorfologico delle alluvioni (GFI), il quale fornisce una buona rappresentazione delle aree soggette a inondazioni. La scelta di utilizzare tale metodo è scaturita dal fatto che nella aree sopra tale fascia non sono disponibili studi di dettaglio, come accade in buona parte del territorio nazionale, ed inoltre non si dispone di un dataset corposo di inondazioni storiche tali da poter applicare la metodologia, sopra descritta, ed applicata alla sola fascia altimetrica 0 – 350 m.s.l.m.m.. Vengono di seguito proposte strategie di analisi speditive basate sulle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

I modelli geomorfologici, anche detti modelli *dem*-basati in quanto adoperano modelli digitali del terreno (*Digital Elevation Model* in inglese, abbreviato in *DEM*), delineano le aree inondate mediante la caratterizzazione geomorfologica di un bacino idrologico. Basati sul concetto secondo il quale un bacino idrografico tiene traccia degli eventi alluvionali passati nelle caratteristiche ambientali e nella forma, consentono di identificare le aree geomorfologicamente prone alle inondazioni.

Durante gli ultimi anni, il loro utilizzo è aumentato grazie ai numerosi vantaggi che presentano, tra cui: la crescente disponibilità di modelli digitali del terreno ad alta risoluzione; la disponibilità di dati a scala globale; tempi computazionali ridotti (Manfreda, Di Leo, & Sole, 2011), (Manfreda, et al., 2014) (Manfreda, et al., 2015), (Manfreda & Samela, A digital elevation model based method for a rapid estimation of flood inundation depth., 2019) (Samela, Troy, & Manfreda, 2017).

In particolare, la propensione di un territorio ad essere inondato può essere delineata utilizzando un indice geomorfologico, calcolato grazie a un modello digitale del terreno. Confrontando i valori degli indici con le aree storicamente inondate, si è visto che la porzione di bacino esposta ad inondazioni è caratterizzata da valori degli indici geomorfologici maggiori di una determinata soglia (Manfreda, Di Leo, & Sole, 2011). Pertanto, considerato che per calibrare il modello occorre solo individuare la soglia ottimale dell'indice geomorfologico, lo sviluppo di modelli geomorfologici costituisce una procedura semplice per l'analisi speditiva di suscettività da alluvione. Nonostante i modelli sopracitati prescindano dalla descrizione dei processi fisici di deflusso superficiale delle acque, dalla loro propagazione nello spazio e nel tempo e dalla loro interazione con le infrastrutture, costituiscono una conveniente procedura per delineare le aree prone ad allagamento a larga scala.

Obiettivo del presente lavoro consiste nel valutare le prestazioni dell'approccio geomorfologico basato sull'indice omonimo *Geomorphologic Flood Index (GFI)*.

L'indice geomorfologico da alluvione: il GFI

Il GFI (*Geomorphologic Flood Index*) è un indice geomorfologico adoperato per l'individuazione delle aree suscettibili alle inondazioni (Samela et al., 2017). Da un punto di vista analitico, è definito come il logaritmo del rapporto tra il tirante idrico nel corso d'acqua h_r e la differenza di quota H tra il punto in esame e l'elemento del corso d'acqua più vicino ad esso.

$$GFI = \ln \left(\frac{h_r}{H} \right) \quad (1)$$

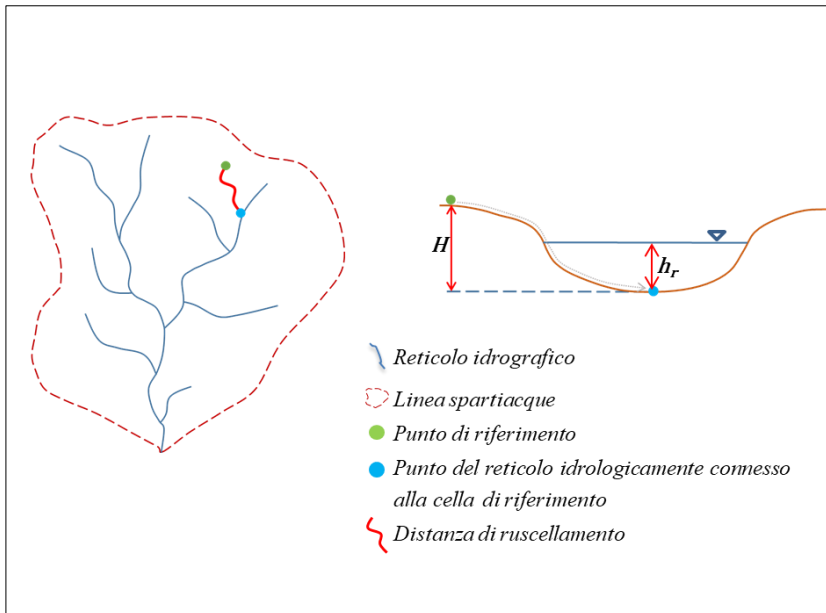


Figura 16 Descrizione schematica dei parametri utilizzati per derivare il GFI

Il tirante idrico nel corso d'acqua h_r viene stimato in funzione dell'area contribuyente a monte mediante una relazione idraulica di scala, recentemente investigata da (Nardi et al., 2006).

$$h_r \approx a A_r^n \quad (2)$$

dove h_r è il tirante idrico (m), A_r (km^2) è l'area contribuyente entrambi calcolati in un punto del reticolo idrografico, a è un fattore di scala e n un esponente adimensionale. La relazione idraulica di scala segue tipicamente una legge di potenza e richiede una serie di valori di h_r e A_r calcolati in un certo numero di stazioni di misura. Qualora non sia possibile la calibrazione dei fattori a ed n , si possono utilizzare i valori suggeriti in letteratura: n può essere considerato pari a 0.354 e a unitario, in quando non influenza le successive elaborazioni.

Il GFI fornisce una classificazione binaria del territorio identificando le aree prone all'allagamento e non. Questo metodo combina le informazioni geomorfologiche estratte del bacino idrologico con le informazioni delle mappe di rischio alluvioni ottenute mediante modelli idrologici/idraulici. Queste vengono utilizzate per individuare la soglia ottimale, τ , che rende possibile estendere la distinzione tra le aree prone all'allagamento e non per l'intero bacino. La soglia ottimale viene valutata iterando le soglie e minimizzando la somma tra il tasso di falsi positivi (sovrastima) e il tasso dei falsi negativi (sottostima). I risultati di questa classificazione binaria non sono influenzati dal parametro a . Infatti, il GFI può essere riscritto come:

$$GFI = \ln\left(\frac{h_r}{H}\right) = \ln\left(\frac{a A_r^n}{H}\right) = \ln(a) + n \ln(A_r) - \ln(H) \quad (3)$$

In questo modo, il parametro a sarà incorporato nella calibrazione della soglia.

La applicazione del GFI su un caso di studio: il comune di Potenza

Nel corso della quarta annualità del progetto è stato testato il metodo su un caso di studio, ovvero, il comune di Potenza, capoluogo della regione Basilicata (per maggiori dettagli si rimanda al rapporto tecnico consegnato B23BAS_RT1). Con una superficie di circa $174 km^2$, si sviluppa interamente nel bacino settentrionale del fiume Basento, terzo per estensione fra quelli del versante ionico lucano. Il territorio è prevalentemente montano, con una quota massima pari a 1345 m s.l.m. e una minima di 605 m s.l.m. Il clima

è mediterraneo e montano, quindi relativamente freddo e nevoso d'inverno, tiepido e secco d'estate. Secondo il mosaico nazionale delle carte di pericolosità da alluvione, redatto a cura dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) il 99,44% del territorio non è a rischio inondazione, ovvero non è stato studiato.

Il dataset per il caso di studio

Nella prima fase del presente studio si è provveduto alla raccolta di tutti i dati utili a caratterizzare l'esposizione del territorio al pericolo d'inondazione. Per l'individuazione delle aree storicamente soggette a dissesto idrogeologico, si è ritenuto opportuno effettuare un censimento aggiornato consultando diverse fonti. In particolare, si è fatto riferimento al Progetto Aree Vulnerate Italiane (AVI); alle mappature fornite da differenti enti, tra i quali l'Autorità di bacino distrettuale "Appennino Meridionale" attraverso le diverse Unit of Management regionali; alle aree inondate segnalate da Enti Locali a seguito della notizia di eventi significativi e successivamente perimetrare dal gruppo di ricerca. Si è inoltre ritenuto opportuno censire anche i punti critici frequentemente alluvionati, localizzati direttamente dall'Autorità di Bacino o segnalati da Comuni, Prefetture, Protezione Civile e fonti di cronaca alla stessa e provenienti dalla georeferenziazione delle ricognizioni di cui alle schede di tipo "A", "B" e "C" di cui alle ordinanze di Protezione civile connesse agli stati di emergenza.

Le perimetrazioni delle aree storicamente inondate sono state infine organizzare in un unico sistema GIS che ha consentito di rielaborare gli studi in un quadro d'insieme che comprende l'intera area di studio.

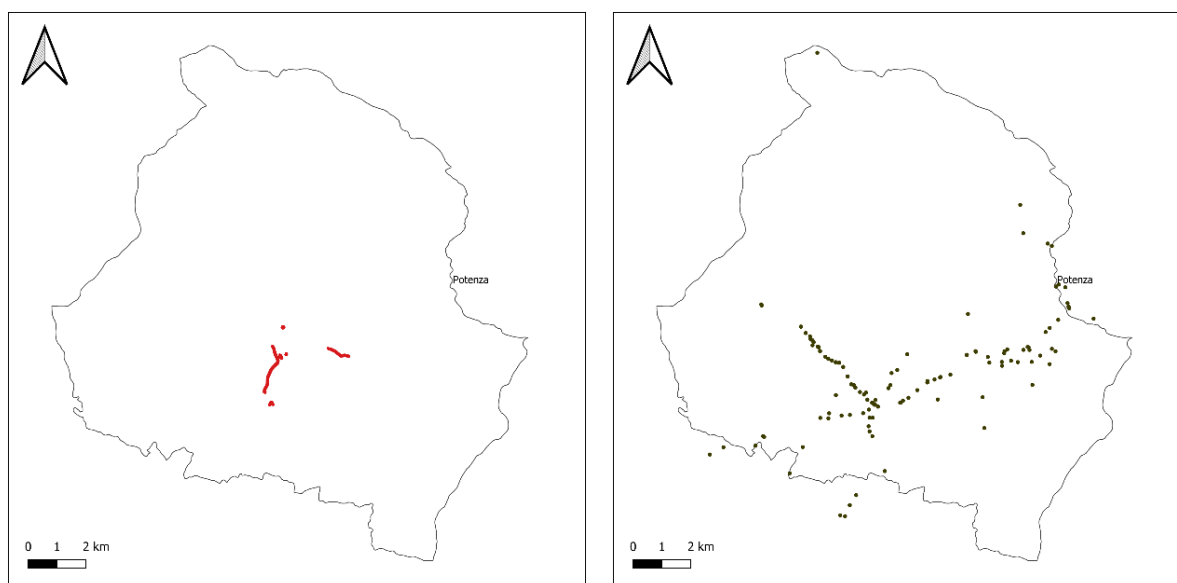


Figura 17 Perimetrazioni delle aree storicamente (sinistra) e punti critici (destra) per il Comune di Potenza

I metodi

Il diagramma di flusso della metodologia proposta per identificare le aree suscettibili ad inondazioni è illustrato in Figura 18. Il primo passo consiste nella preparazione della mappa dell'inventario delle inondazioni e dei fattori predisponenti designati per l'analisi di suscettività da alluvione. Successivamente si individua l'area marginale di azzardo, ossia l'area all'interno della quale si ritiene possibile distinguere le aree alluvionate e non. Si procede poi alla fase di calibrazione del modello, durante la quale il territorio è viene suddiviso in propenso ad alluvione e avverso. Infine, i risultati ottenuti vengono valutati quantitativamente e confrontati utilizzando diversi criteri oggettivi.

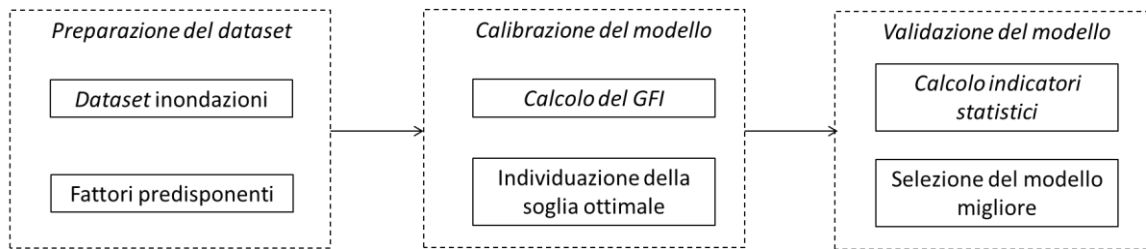


Figura 18 Diagramma di flusso per la calibrazione del modello geomorfologico

L'area "a rischio marginale"

Per calibrare un modello in grado di discriminare tra aree suscettibili ad inondazioni e avverse, è necessario identificare le aree marginali introdotte da (Degiorgis et al., 2012) e definite come le aree all'interno delle quali si può ritenere che non vi siano state inondazioni storiche. Di seguito si descrive la procedura utilizzata per individuare le aree "a rischio marginale" (*marginal hazard area*): data la perimetrazione di un'area storicamente inondata Figura 19 (a,d), si individua la porzione di reticolo idrografico che la drena Figura 19 (b,e). L'area a rischio marginale è definita come l'area drenata dalla porzione di reticolo idrografico che ha drenato l'area storicamente inondata Figura 19 (c,f).

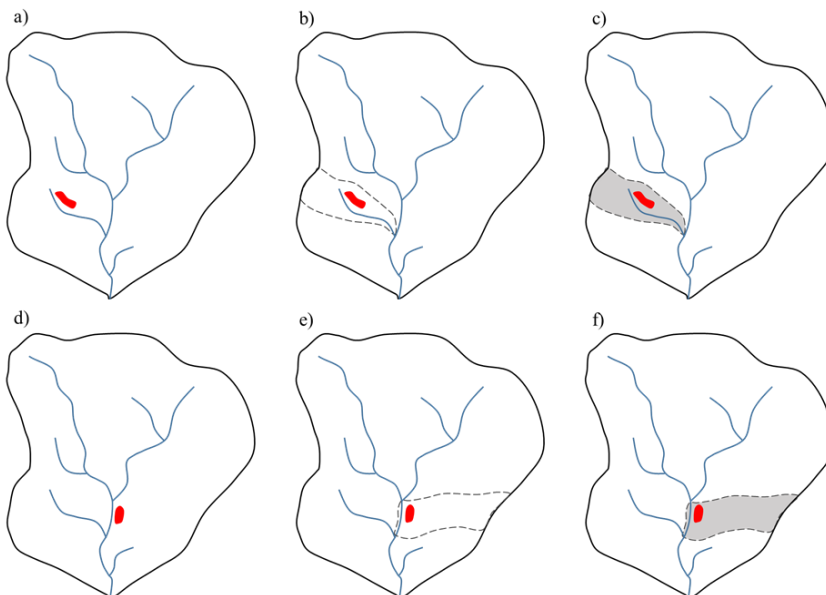


Figura 19 processo per individuare dell'area a rischio marginale. In nero la linea spartiacque del bacino idrografico; in blu il reticolo idrografico; in rosso la perimetrazione dell'area storicamente alluvionata; in grigio (tratteggiato) la linea spartiacque della porzione di bacino che drena l'area storicamente inondata; in grigio l'area marginale d'azzardo.

Gli indicatori statistici

La performance dei modelli viene valutata calcolando vari indicatori statistici: la percentuale delle aree storicamente inondate mappate come suscettibili; la percentuale di aree degli studi PAI mappate come suscettibili; il tasso di falsi positivi; il tasso di veri positivi; le curve ROC (acronimo dei termini inglesi *Receiver Operating Characteristics*).

Il tasso di falsi positivi (r_{FP}) viene calcolato come il rapporto tra il numero di falsi positivi (FP) e la somma dei falsi positivi (FP) e veri negativi (TN):

$$r_{FP} = \frac{FP}{FP+TN} \quad [\%] \quad (4)$$

Il tasso di veri positivi (r_{TP}) viene calcolato come il rapporto tra il numero di veri positivi (TP) e la somma dei veri positivi (TP) e falsi negativi (FN):

$$r_{TP} = \frac{TP}{TP+FN} \quad [\%] \quad (5)$$

Tasso di falsi positivi [%]	Tasso di veri positivi [%]	AUC [%]	Aree inondate suscettibili [%]	Aree PAI suscettibili [%]
17.22	99.04	95.54	99.04	98.51

Tabella 11 Indicatori statistici per valutare le performance del modello geomorfologico

La curva ROC è una tecnica statistica che misura l'accuratezza di un test lungo tutto il *range* dei valori possibili. Viene costruita considerando tutti i possibili valori del test e, per ognuno di questi, si calcola la proporzione di veri positivi (la sensibilità) e la proporzione di falsi positivi. Congiungendo i punti che mettono in rapporto la proporzione di veri positivi e di falsi positivi (le cosiddette coordinate) si ottiene una curva chiamata curva ROC.

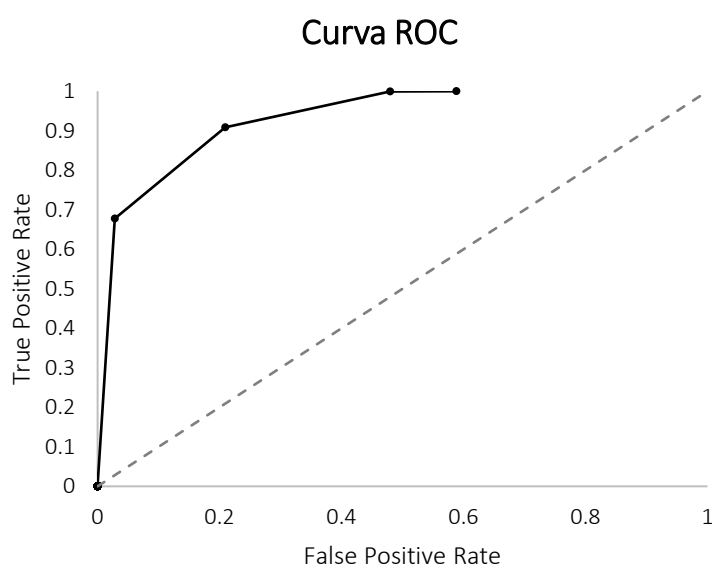


Figura 20 Curva ROC per il modello geomorfologico basato sull'indice omonimo

L'area sottostante alla curva ROC (AUC, acronimo dei termini inglesi "Area Under the Curve") è una misura di accuratezza. Se un ipotetico nuovo test discriminasse perfettamente le aree prone all'allagamento da quelle non, l'area della curva ROC avrebbe valore 1, cioè il 100% di accuratezza. Nel caso in cui il nuovo test non discriminasse per niente, la curva ROC avrebbe un'area di 0.5 (o 50%) che coinciderebbe con l'area sottostante la diagonale del grafico. L'area sotto la curva può assumere valori compresi tra 0.5 e 1.0. Tanto maggiore è l'area sotto la curva (cioè tanto più la curva si avvicina al vertice del grafico) tanto maggiore è il potere discriminante del test. Per l'interpretazione dei valori dell'area sottostante la curva ROC è possibile riferirsi alla classificazione proposta da (Swets, 1988):

1. AUC=0.5 il test non è informativo;

2. $0.5 < AUC \leq 0.7$ il test è poco accurato;
3. $0.7 < AUC \leq 0.9$ il test è moderatamente accurato;
4. $0.9 < AUC < 1.0$ il test è altamente accurato;
5. $AUC = 1$ test perfetto.

La mappa della suscettività ad alluvione del caso di studio con il GFI

La metodologia proposta per la definizione speditiva delle aree esposte al pericolo di esondazione fornisce stime delle aree allagabili. In Figura 21 è rappresentata la mappa di suscettività per il territorio comunale di Potenza ottenuta con il metodo sopra descritto, che suddivide il territorio in fasce di suscettività trascurabile, bassa, media e alta. In Figura 22, invece, è rappresentata la mappa di suscettività da alluvione che suddivide il territorio in suscettibile e avverso.

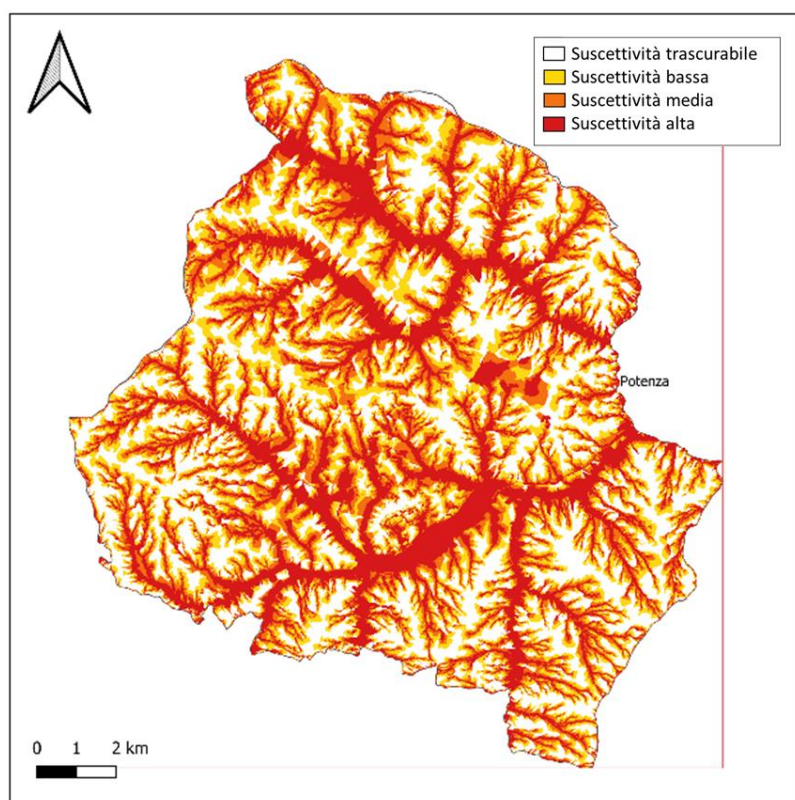


Figura 21 Mappa della suscettività da alluvione per il Comune di Potenza ottenuta con il metodo geomorfologico basato sull'indice omonimo

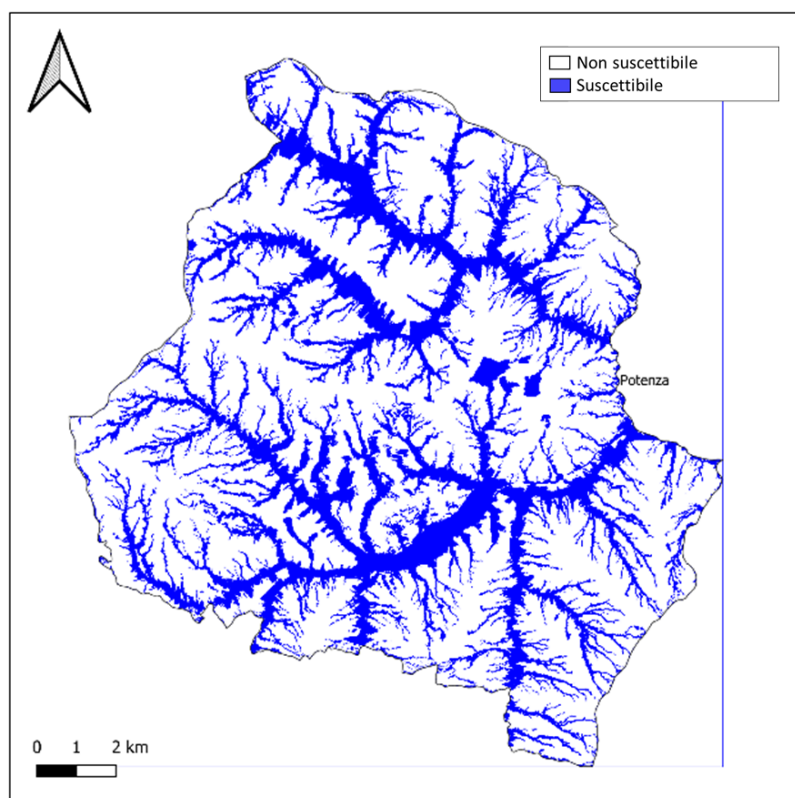


Figura 22 Mappa della suscettività da alluvione binaria per il Comune di Potenza ottenuta con il metodo geomorfologico basato sull'indice omonimo

Il confronto con la pericolosità

Da un confronto più puntuale è emerso che il metodo propone una buona rappresentazione delle aree più esposte al pericolo di esondazione. Si veda, a titolo d'esempio, un dettaglio di una visione sinottica tra le aree definite con tale metodo e quelle definite nei PAI sul territorio comunale del caso di studio (Figura 23), che, a fronte di una sostanziale scarsità di dati storicamente osservati, costituisce l'unico dato di confronto sul rischio idraulico disponibile.

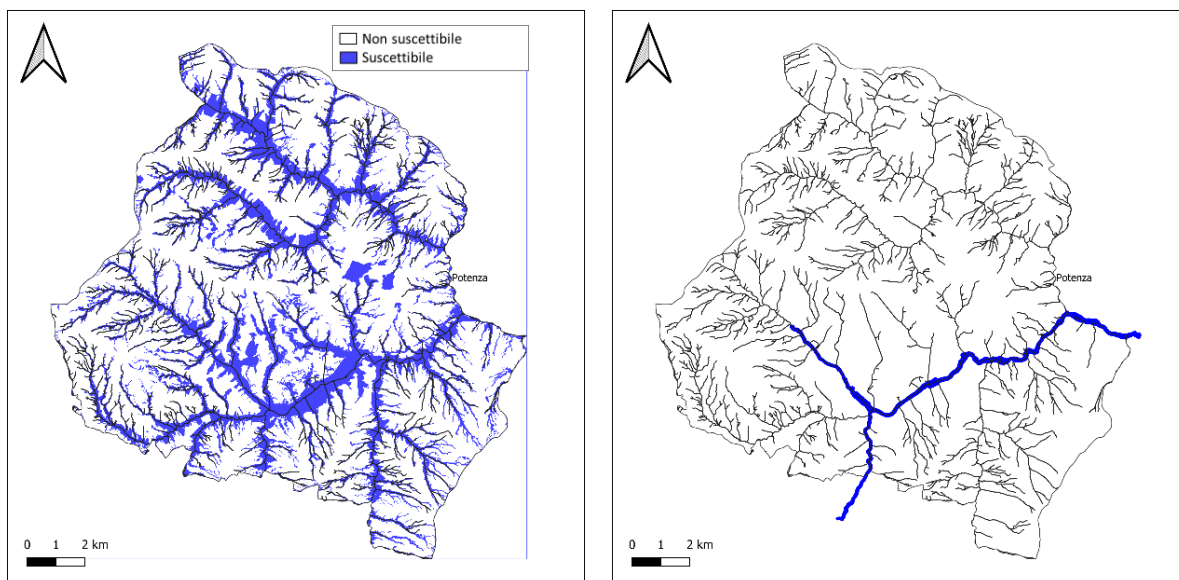


Figura 23 Confronto tra mappa di suscettività (sinistra) e aree a rischio perimetrate da PAI (destra)

L'estensione alla fascia al di sopra dei 350 m.s.l.m.m.

Il metodo geomorfologico proposto costituisce un valido strumento di analisi preliminare nei contesti in cui risultano ridotte le informazioni a disposizione per svolgere simulazioni idrologiche e idrauliche di dettaglio nei contesti in cui non sono presenti opere imponenti di difesa idraulica del territorio. È auspicabile approfondire l'utilizzo della metodologia proposta in aree in cui sono presenti evidenze storiche più numerose sul pericolo inondazione, al fine di ottimizzare la stima dei valori soglia e definire la scala ottimale di rappresentazione.

A tal proposito quindi, a partire da quanto osservato sul caso di studio di Potenza, si è deciso di estendere la metodologia all'intera area del progetto al di sopra del limite dei 350 m s.l.m.m.. Tale scelta è stata motivata da ragioni di omogeneità che dall'inizio del progetto hanno costituito il cardine imprescindibile della analisi di suscettività e da ragioni di ordine pratico collegate alla necessità di avere a disposizione l'intero repertorio di alluvioni storicamente osservate al di sopra dei 350 metri di altitudine (che si ricorda essere corrispondente al solo 5% del totale delle aree alluvionate per l'intera area del PON), per poter definire una suddivisione in classi di suscettività dell'indice GFI e validare il risultato di tale classificazione attraverso il dataset disponibile.

Costruendo il GFI per l'intera area al di sopra dei 350 metri con un'unica calibrazione parametrica secondo quanto presentato (Samela, Albano, Sole, & Manfreda, 2018) e quanto proposto da letteratura (Giannoni, Roth, & Rudari, 2005) si è giunti ad una classificazione del territorio in forma di indice, con valori direttamente proporzionali all'aumento della propensione all'alluvionamento (Figura 24).

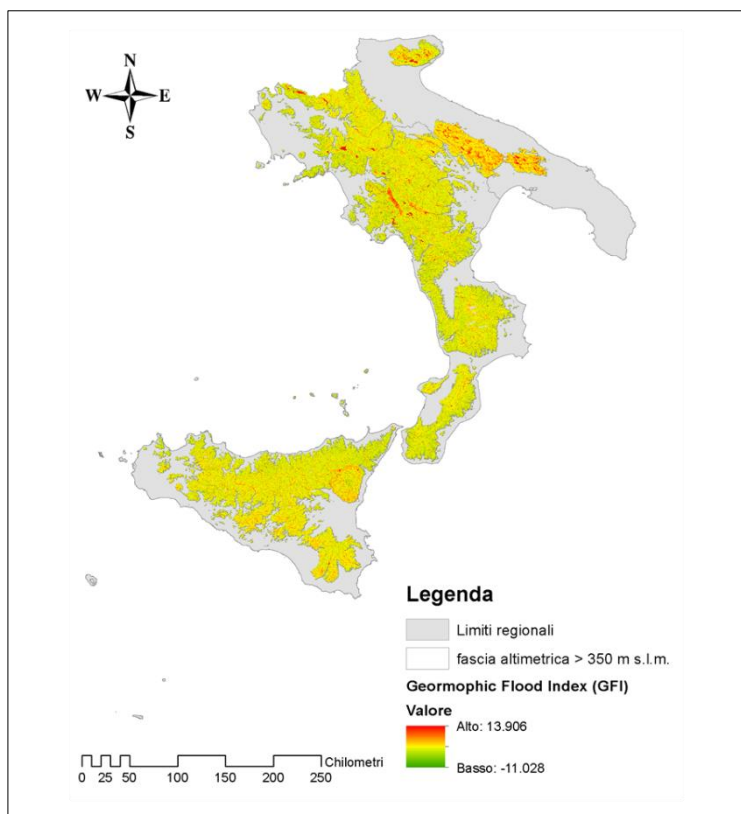


Figura 24. Rappresentazione dei territori al di sopra dei 350 m s.l.m. in funzione del GFI

Anche in questo caso per una migliore lettura dell'informazione, l'indice di suscettività ricavato è stato suddiviso in quattro classi, definite sulla base del campione di calibrazione. Questo per poter avere, anche in questa porzione di territorio, lo stesso tipo di classificazione offerto per l'area di studio di pianura.

Classi di suscettività	Area [km ²]	%
Trascurabile	24375	61.30%
Bassa	8558	21.52%
Media	4970	12.50%
Alta	1859	4.68%
totale	39762	100.0%

Tabella 12. Distribuzione delle aree in ciascuna delle classi di suscettività

Le aree a suscettività medio-alta secondo questa classificazione coprono una superficie di 6829 dei 39.762 km² dell'area al di sopra della fascia altimetrica da 0 a 350 metri delle 5 regioni PON.

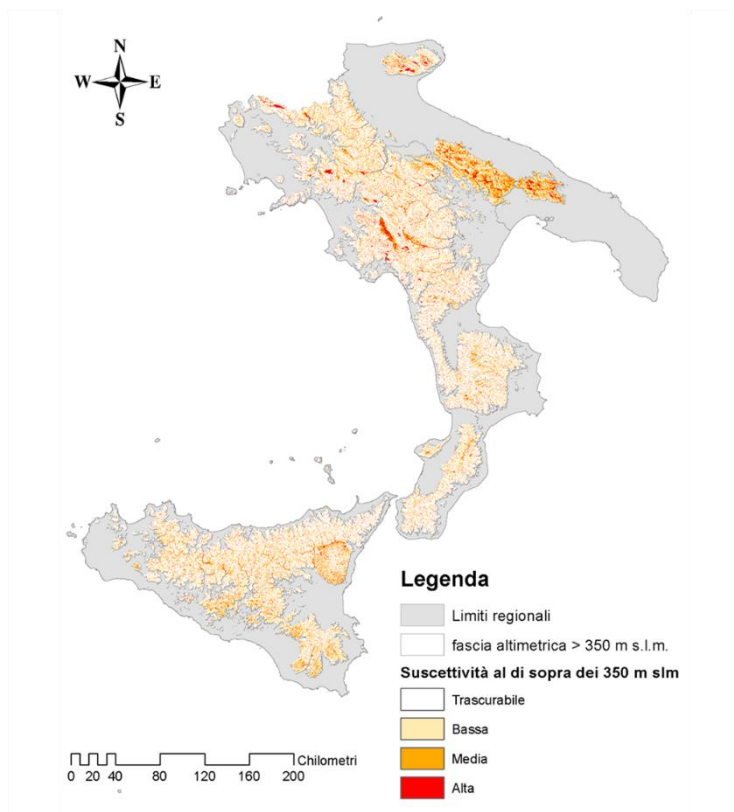


Figura 25. Distribuzione delle classi di suscettività lungo la fascia altimetrica investigata

Anche per questa analisi di suscettività è stata prodotta una statistica per rilevare la capacità del modello di individuare aree storicamente interessate da alluvionamento, seppur con un campione statistico meno consistente e più concentrato attorno a determinati eventi (molte delle aree inondate al di sopra dei 350 metri di altitudine fanno riferimento all'alluvione del Sele del 2010). Dalla Figura 26 si può osservare come più dell'80% del territorio analizzato presenti aree a suscettività media e alta, secondo la classificazione offerta con un 92% del dataset di calibrazione e circa un 82% di quello di validazione ricadono nelle medesime classi di suscettività medio-alta. Nonostante la ridotta estensione spaziale dei dati osservati tuttavia si può concludere che il modello abbia una buona capacità predittiva e una sostanziale stabilità anche a fronte di un dataset completamente indipendente.

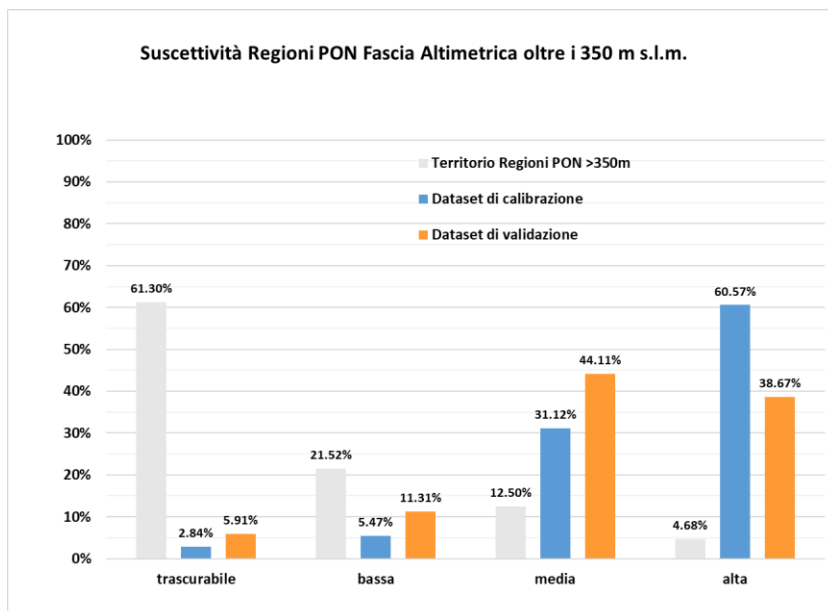


Figura 26. Distribuzione delle classi di suscettività lungo la fascia altimetrica investigata suddivise per dataset di calibrazione e validazione

I risultati ottenuti possono essere confrontati, anche per questa fascia altimetrica, con le aree a pericolosità P1 del PAI/PGRA presentate nei grafici in Figura 27: ciò permette di trarre a conclusioni positive e confortanti circa l'affidabilità del metodo e la sua sostanziale coerenza con agli strumenti di classificazione della criticità idraulica (più dell'80% delle perimetrazioni P1 vengono classificate a medio-alta suscettività).

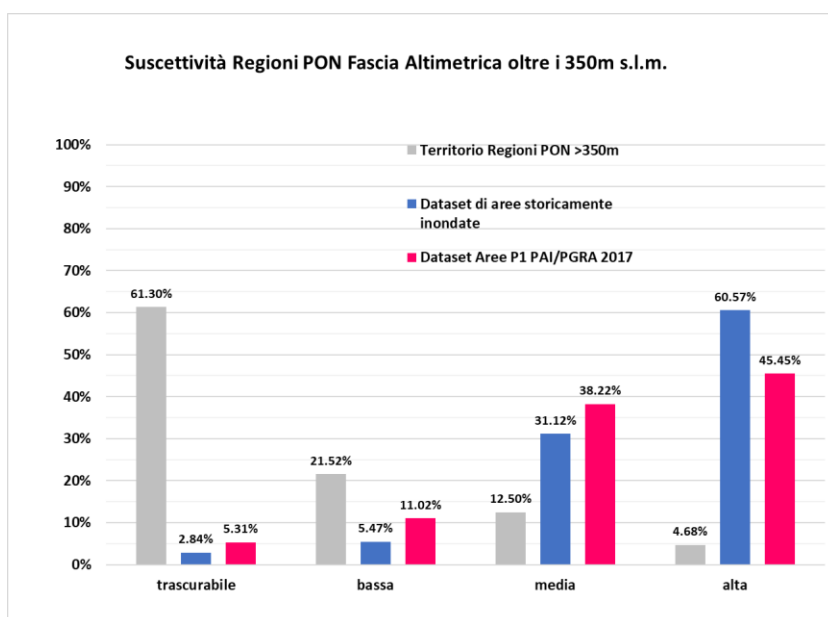


Figura 27. Distribuzione delle classi di suscettività lungo la fascia altimetrica investigata suddivise per aree a pericolosità P1 PAI/PGRA e aree storicamente inondate

Bibliografia

- Agterberg, F. P., Bonham-Carter, G. F., & Wright, D. F. (1990). Statistical pattern integration for mineral exploration. *Computer applications in resource estimation*, Pergamon, 1-21.
- Barredo, J. I. (2007). Major flood disasters in Europe: 1950–2005. *Natural Hazards*, 42(1), 125-148.
- Bellicini, L. (2012). *LO STATO DEL TERRITORIO ITALIANO 2012, Insediamento e rischio sismico e idrogeologico*. Roma: ANCE/CRESME.
- Beven, K., & Kirby, M. J. (1979). A physically-based variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrolog. Sci. Bull.*, 24(1), 43–69.
- Bouwer, M., Bubeck, P., & Aerts, J. C. (2010). Changes in future flood risk due to climate and development in a Dutch polder area. *Glob. Environ. Change* 20 (3), 463-471.
- Catani, F., Casagli, N., Ermini, L., Righini, G., & Menduni, G. (2005). Landslide hazard and risk mapping at catchment scale in the Arno River basin. *Landslides*, 2(4), 329-342.
- Crivellin, W. E. (2008). *Cattolici, politica e società in Piemonte tra '800 e '900*. Effata' Editrice - Fondazione Carlo Donat-Cattin.
- Dahal, R., Hasegawa, S., Nonomura, A., Yamanaka, M., Masuda, T., & Nishino, K. (2008). GIS-based weights-of-evidence modelling of rainfall-induced landslides in small catchments for landslide susceptibility mapping. *Environ. Geol.*, 54, 311-324.
- Degiorgis, M., Gnecco, G., Gorni, S., Roth, G., Sanguineti, M., & Taramasso, A. C. (2012). Classifiers for the detection of flood-prone areas using remote sensed elevation data. *Journal of Hydrology*, 470-471, 302-315.
- Di Baldassarre, G., Schumann, G. J., & Bates, P. D. (2009). Near real time satellite imagery to support and verify timely food modelling. *Hydrol. Process.*, 23, 799-803.
- Di Passio, R. (1994). *La Protezione Civile (seconda ed.)*. Roma: Maggioli.
- Domeneghetti, A., Carisi, F., Castellarin, A., & Brath, A. (2015). Evolution of Flood Risk Over Large Areas: Quantitative Assessment for The Po River. *J. Hydrol.*, 527, 809-823.
- Faas, A., & Barrios, R. (2015). Applied Anthropology of Risk, Hazards, and Disasters. *Human Organization*, 74(4). doi:10.17730/0018-7259-74.4.287
- Favro, K. (2013). Le plan communal de sauvegarde, un dispositif juridique adapté à la prévention et la gestion des catastrophes naturelles. *REVUE LAMY DES COLLECTIVITES TERRITORIALES*(88).
- Fenicia, F., Kavetski, D., Savenije, H., Clark, M., Schoups, G., Pfister, L., & Freer, J. (2013). Catchment properties, function, and conceptual model representation: is there a correspondence? *Hydrol. Process.*
- Fenoglio, M. T. (2003). LA COMUNITÀ NEI DISASTRI: UNA PROSPETTIVA PSICOSOCIALE. *Sociologi e Ambiente - Atti del IV Convegno nazionale dei sociologi dell'ambiente - 19-20 settembre 2003*. Torino. Retrieved from <http://www.dss.unito.it/cns4/pdf/fenoglio.pdf>
- Flamini, G. (2007). *L'Italia dei colpi di Stato: storie di burattini e di burattinai, di ricatti politici e di micce spente all'ultimo minuto: nomi, cognomi e amicizie segrete degli uomini che hanno attentato alla democrazia*. Newton Compton.

- French, J., Ing, R., Von Allmen, S., & Wood, R. (1983). Mortality from flash floods: a review of National Weather Service reports 1969-81. *Public Health Reports*, 98(6), 584.
- Gamba, M. (2011). *Vermicino. L'Italia nel pozzo*. Sperling & Kupfer editori.
- Giannoni, F., Roth, G., & Rudari, R. (2005). A procedure for drainage network identification from geomorphology and its application to the prediction of the hydrologic response. *Advances in Water Resources*.
- Gil-Rivas, V., & Kilmer, R. (2016). Building Community Capacity and Fostering Disaster Resilience. *Journal of Clinical Psychology - Special Issue: Disaster Mental Health and Positive Psychology*, 72(12), 1318-1332.
- GNDICI, & Cardinali, M. (1998). *Catalogo delle informazioni sulle localita'italiane colpite da frane e inondazioni*. Roma: Consiglio Nazionale delle Ricerche.
- Guzzetti, F., Reichembach, P., & Cardinali, M. (1994). The AVI Project: A bibliographical and archive inventory of landslides and floods in Italy. *Environmental Management*, 18(4), 623-633.
- Hack, T. (1957). Studies of longitudinal stream profiles in Virginia and Maryland. *U.S. Geol. Surv. Prof Pap.* 294-B, 45-97.
- Horrit, M. S. (2000). Calibration and validation of a two-dimensional finite element flood flow model using satellite radar imagery. *Water Resour. Res.*, 36(11), 3279-3291.
- Horritt, M. S., & Bates, P. D. (2002). Evaluation of 1D and 2D numerical models for predicting river flood inundation. *J. Hydrol. (Amsterdam)*, 268(1-4), 87-99.
- Kron, W. (2005). Flood risk= hazard• values• vulnerability. *Water International*, 30(1), 58-68.
- Lamovec, P., Veljanovski, T., Mikoš, M., & Oštir, K. (2013). Detecting flooded areas with machine learning techniques: case study of the Selška Sora river flash flood in September 2007. *J. Appl. Rem. Sens.*, 073564-073564.
- Manfreda, S., & Samela, C. (2019). A digital elevation model based method for a rapid estimation of flood inundation depth. *J. Flood Risk Manag.* 12, 1-10. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12541>.
- Manfreda, S., Di Leo, M., & Sole, A. (2011). Detection of Flood-Prone Areas Using Digital Elevation Models. *Journal of Hydrologic Engineering*, 16(10), 781-790.
- Manfreda, S., Nardi, F., Samela, C., Grimaldi, S., Taramasso, A., Roth, G., & Sole, A. (2014). Investigation on the use of geomorphic approaches for the delineation of flood prone areas. *J. Hydrol.* 517, 863-876. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.06.009>.
- Manfreda, S., Samela, C., Gioia, A., Consoli, G. G., Iacobellis, V., Giuzio, L., & Sole, A. (2015). Flood-prone areas assessment using linear binary classifiers based on flood maps obtained from 1D and 2D hydraulic models. *Natural Hazards*, 79(2), 735-754.
- Menoni, S. (2005). *Costruire la prevenzione. Strategie di riduzione e mitigazione dei rischi territoriali*. Bologna: PITAGORA.
- Merz, B., Kreibich, H., Schwarze, R., & Thieken, A. .. (2010). Review article" Assessment of economic flood damage". *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10(8), 1697-1724.
- Mezzadri, L., & Nuovo, L. (1999). *Storia della carità*. Jaca Book.
- Mishra, S. K., & Singh, V. P. (2003). SCS-CN Method. In *Soil conservation service curve number (SCS-CN) methodology* (pp. 84-146). Dordrecht.: Springer.

- Musso, S. (Ed.). (1999). *Tra fabbrica e società. Mondi operai nell'Italia del Novecento*. Feltrinelli.
- Nardi, F., Vivoni, E. R., & Grimaldi, S. (2006). Investigating a floodplain scaling relation using a hydrogeomorphic delineation method. *Water Resour. Res.*, 42, W09409.
- Orlandini, S., Moretti, G., & Albertson, J. D. (2015). Evidence of an emerging levee failure mechanism causing disastrous floods in Italy. *Water Resources Research*, 51.10, 7995-8011.
- Pontier, J. (2012). *LE CODE DE LA SÉCURITÉ INTÉRIEURE*. Retrieved from <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02119495/document>
- Pradhan, B. (2010). Flood susceptible mapping and risk area delineation using logistic regression, GIS and remote sensing. *J. Spatial Hydrol.*, 9, 1-18.
- Pradhan, B. (2011). Use of GIS-based fuzzy logic relations and its cross application to produce landslide susceptibility maps in three test areas in Malaysia. *Environ. Earth Sci.*, 329-349.
- Pradhan, B., & Buchroithner, M. (2010). Comparison and validation of landslide susceptibility maps using an artificial neural network model for three test areas in Malaysia. *Environ. Eng. Geosci.*, 16, 107-126.
- Quarantelli, E. (2000). *Disaster planning, emergency management and civil protection: the historical development of organized efforts to plan for and to respond to disasters*. Newark, Delaware: Disaster Research Center, University of Delaware.
- Rahmati, O., Pourghasemi, H. R., & Zeinivand, H. (2016). Flood susceptibility mapping using frequency ratio and weights-of-evidence models in the Golistan Province, Iran. *Geocarto International*, 31(1), 42-70.
- Regmi, A., Devkota, K., Yoshida, K., Pradhan, B., Pourghasemi, H., Kumamoto, T., & Akgun, A. (2013). Application of frequency ratio, statistical index, and weights-of-evidence models and their comparison in landslide susceptibility mapping in Central Nepal Himalaya. *Arab. J. Geosci.*
- Reichenbach, P., Rossi, M., Malamud, B., Mihir, M., & Guzzetti, F. (2018). A review of statistically-based landslide susceptibility models. *Earth-Science Reviews*, 180, 60-91.
- Samela, C., Albano, R., Sole, A., & Manfreda, S. (2018). A GIS tool for cost-effective delineation of flood-prone areas. *Computers, Environment and Urban Systems*, 70, 43-52.
- Samela, C., Manfreda, S., Paola, F. D., Giugni, M., Sole, A., & Fiorentino, M. (2015). DEM-based approaches for the delineation of flood-prone areas in an ungauged basin in Africa. *Journal of Hydrologic Engineering*, 21(2), 06015010.
- Samela, C., Troy, T. J., & Manfreda, S. (2017). Geomorphic classifiers for flood-prone areas delineation for data-scarce environments. *Advances in water resources*, 2017, 102, 13-28.
- Smith, k., & Ward, R. (1988). *Floods: Physical Processes and Human Impacts*. Chichester: Wiley.
- Sorvino, S. (2003). *Il sistema normativo della Protezione Civile*. Roma: Dipartimento della Funzione pubblica per l'efficienza delle amministrazioni, Formez, area editoria e document.
- Stepinski, T. F., & Jasiewicz, J. (2011). Geomorphons-a new approach to classification of landforms. *Proceedings of geomorphometry*, 109-112.
- Tehrany, M., Pradhan, B., & Jebur, M. (2013). Spatial prediction of flood susceptible areas using rule based decision tree (DT) and a novel ensemble bivariate and multivariate statistical models in GIS. *J. Hydrol.*, 504, 69-79.

- Tehrany, S., M., S. F., Neamah Jebur, M., Hong, H., Chen, W., & Xie, X. (2017). GIS-based spatial prediction of flood prone areas using standalone frequency ratio, logistic regression, weight of evidence and their ensemble techniques. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(2), 1538-1561.
- Trigila, A., & Iadanza, C. (2018). Landslide and flood risk in Italy: hazard and risk indicators. *ISPR4, Rapporti*, 287 bis.
- Trigila, A., Bussetini, M., Iadanza, C., & Lastoria, B. (2018). Dissesto idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio. Edizione 2018. *ISPR4, Rapporti 287/2018* (ISBN 978-88-448-0901-0).
- Urbani, P. (1993). *La difesa del suolo*. Roma: Edizioni delle autonomie.
- Vale, L., & Campanella, T. (Eds.). (2005). *The resilient city: How modern cities recover from disaster*. Oxford: Oxford University Press.
- VanZyl, J. (2001). The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM): a breakthrough in remote sensing of topography. *Acta Astronautica*, 48(5-12), 559-565.
- Werner, M. G., Hunter, N. M., & Bates, P. D. (2005). Identifiability of distributed floodplain roughness values in flood extent estimation. *J. Hydrol. (Amsterdam)*, 314(1-4), 139-157.
- Yalcin, A. (2008). GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): comparisons of results and confirmations. *Catena*, 1-12.

Allegato 1.

Linee guida per l'integrazione dei Piani di protezione civile

Linee guida per l'integrazione dei Piani di protezione civile.

Introduzione

Le mappe di suscettività costituiscono, tra gli altri, uno degli elementi informativi utili alla costruzione degli scenari di evento e di rischio da alluvione al fine di redigere, rivedere o aggiornare il Piano di protezione civile comunale ex Art. 18 del D.Lgs 1/2018 "Codice della protezione civile". È dunque un elemento da utilizzare nell'ambito di una analisi integrata e concorrente, da operarsi necessariamente con diversi strumenti.

Conviene a questo proposito precisare che si tratta di uno strumento di area vasta, elaborato alla scala delle 5 regioni del PON e che dunque, al contrario di alcune forme di modellazione numerica di dettaglio, non è necessariamente in grado di individuare fenomeni idraulici puntuali o altre singolarità.

Esso fornisce tuttavia una visione omogenea e continua del territorio, consentendo di individuare con buona approssimazione le aree più sfavorevolmente ubicate rispetto al pericolo di inondazione e sulle quali il pianificatore deve concentrare il suo interesse, anche laddove (e sono molti i casi) non sussista alcun supporto a carattere modellistico. Vale la pena di ricordare, a tale proposito, le cosiddette "aree bianche" nelle mappe dei PAI/PGRA. Si tratta degli areali ove non risulta esplicitata la pericolosità e che raramente precisano se si tratti di un'area non studiata o effettivamente priva di pericolo.

Non per questo l'analisi di suscettività deve considerarsi un ripiego, da utilizzare laddove non sussistano strumenti più sofisticati. La modellazione numerica tipica dei PAI/PGRA costituisce, in generale, la fotografia di una delle tante possibili modalità di realizzazione di un processo alluvionale di assegnata probabilità. Si tratta verosimilmente dello scenario più plausibile. Vi sono difatti casi nei quali l'insieme delle possibili estensioni areali dell'inondazione è relativamente ristretto: in tal caso la modellazione è effettivamente in grado di coprire la sostanza del fenomeno ed offrire una immagine ragionevolmente esaustiva del pericolo per lo scenario di probabilità assegnato.

Altresì capita il contrario, che dunque i possibili andamenti dell'inondazione, a parità di tempo di ritorno della sollecitazione pluviometrica, possano essere molteplici e diversi tra loro. Ciò può avvenire per una serie di accadimenti esogeni e/o imprevedibili nel tempo quali, ad esempio, occlusione delle luci dei ponti o di altri attraversamenti, rotte arginali, malfunzionamento di opere idrauliche, grovigli di automobili o altro trasporto flottante che muta sensibilmente le originarie condizioni al contorno utilizzate per la modellazione e altro ancora.

A tali considerazioni va aggiunta quella relativa all'approccio "isofrequente" seguito dalla pianificazione distrettuale: si tratta del fatto che la probabilità degli effetti al suolo è considerata pari a quella della precipitazione che produce l'evento calamitoso. Poiché le carte dei PAI/PGRA costituiscono, tra le altre cose, il supporto a una funzione normativa di apposizione di vincoli sugli usi del territorio, l'ipotesi appare del tutto ragionevole, in particolare ove si voglia avere procedure chiare e trasparenti verso il pubblico. In effetti sono numerosi gli esempi nei quali tale ipotesi di lavoro è pienamente confermata dai fatti.

È tuttavia altrettanto vero il caso contrario. Capita difatti che possa sussistere un forte differenziale tra il tempo di ritorno della precipitazione e quello degli effetti al suolo: abbiamo alluvioni "di cielo sereno" provocate da cause esogene al ciclo idrologico (mareggiate, tsunami, cause antropiche, sismi, frane ecc.), alluvioni "multihazard" nelle quali l'effetto della precipitazione, determina l'alluvione in sinergia con altre cause (la precipitazione determina una frana che sbarrà il corso d'acqua, il trasporto flottante che intasa le luci dei ponti, il collasso parziale di una arginatura per vizi occulti che si manifestano per stati d'acqua relativamente modesti, ecc.) e le stesse alluvioni "idrologiche pure" che, per questa o quella ragione, danno luogo ad effetti diversi a seconda della stagione (es. prima/dopo il raccolto), della precipitazione antecedente

(piove sull'asciutto/bagnato) o si propaga in modo completamente diverso dalle previsioni modellistiche (jam di veicoli che sbarrano le strade dirottando il flusso). Questo aspetto richiede ulteriore cautela verso le mappe di derivazione PAI/PGRA dato che, in definitiva, sono gli effetti al suolo (ben più della forzante che li ha determinati) la parte rilevante di informazione utile ai fini della pianificazione di protezione civile.

Per queste ragioni è sempre opportuno un approccio concorrente e integrato di diversi strumenti informativi, al fine di formare un quadro il più possibile esaustivo degli eventi probabili e del relativo inviluppo, che possa supportare adeguatamente l'analisi preliminare alla definizione degli scenari di evento e di rischio idraulico del Piano comunale di Protezione Civile e delle azioni del Presidio Territoriale da svolgersi all'attivazione delle fasi operative del Piano stesso.

La suscettività

La suscettività costituisce un indice della propensione di un sito ad essere alluvionato. La stima si basa su un set di fattori predisponenti: distanza dal reticolo, quota relativa, pendenza e permeabilità del terreno, valutati sull'intero territorio considerato. Il calcolo dell'indice di suscettività si basa sull'utilizzo di un modello statistico addestrato utilizzando i dati relativi a passate inondazioni, in modo da inferire quali sono le combinazioni dei fattori predisponenti che maggiormente fanno registrare fenomeni alluvionali e quali, invece, indicano il contrario. L'analisi è dunque di tipo dinamico poiché il peso e la correlazione tra i fattori predisponenti possono essere ricalibrati con nuovi dati relativi alle aree inondate mediante aggiornamenti periodici, sia programmati (ogni due, cinque o dieci anni, ad esempio), che eseguiti a seguito di specifici eventi particolarmente significativi.

Risoluzione nativa ed estensione del modello

Ai fini della corretta applicazione della mappa di suscettività, è bene chiarire l'estensione territoriale della stessa e la risoluzione nativa degli strati informativi utilizzati per la loro produzione.

L'analisi di suscettività è stata applicata e prodotta solo alla porzione di territorio comunale collocata al di sotto dei 350 metri di quota sul livello del mare, come descritto nella relazione di accompagnamento del prodotto PON A21_T15. La scelta metodologica deriva dall'aver constatato in fase di analisi delle aree storicamente inondate e delle perimetrazioni di pericolosità, che queste ricadono prevalentemente in questa fascia altimetrica, pertanto operando in questo modo non si produce una perdita consistente relativamente alle informazioni sulle aree soggette a inondazione. Inoltre, la maggior parte della popolazione residente nelle 5 regioni si colloca nella fascia studiata, per cui anche il dato sull'esposto è coerente con la scelta adoperata.

In merito alla risoluzione, la componente puramente morfologica, fornita dal modello digitale del terreno ha una risoluzione al suolo di 5 metri. Questo valore bene è in grado di rappresentare una serie di elementi, sia di carattere antropico (quali rilevati stradali e ferroviari, arginature maestre, opere idrauliche), che naturali quali scarpate dei corsi d'acqua, rotture di pendio significative, alti morfologici e quant'altro.

La risoluzione è tipicamente più grossolana invece, per i caratteri litologici e di uso del suolo, ambedue derivanti da fonti in scala 1: 100.000, tanto per le carte geologiche del progetto CARG che quelle relative al progetto CORINE Land cover. La letteratura tecnica indica una risoluzione al suolo corrispondente pari a 25 metri circa.

Queste caratteristiche vanno tenute presenti nell'applicazione del modello, che viene comunque restituito, sia su supporto cartaceo che digitale, alla risoluzione di 5 metri per non perdere la preziosa informazione morfologica. In sede di consultazione va comunque considerata una adeguata spazializzazione del dato considerandone la risoluzione nel suo complesso.

Contesto di applicazione

Il pianificatore che redige o aggiorna il Piano comunale di Protezione Civile, prima di stabilire i modelli di intervento e le strategie da mettere in campo in caso di evento, è chiamato ad effettuare una approfondita analisi finalizzata, in materia di rischio idraulico, a definire gli scenari di evento ovvero “l’evoluzione nello spazio e nel tempo del solo evento prefigurato, atteso e/o in atto, pur nella sua completezza e complessità”³. Per giungere alla sua definizione è necessario uno studio approfondito sia delle caratteristiche geomorfologiche e idrauliche del territorio, che degli eventi verificatisi in passato su di esso. Questo, come si può ben immaginare, non è semplice e richiede un dispendio di energie e risorse non sempre disponibili alle amministrazioni comunali e di conseguenza al pianificatore stesso.

Inoltre, sebbene la precipitazione sia la forzante che genera l’evento, gli effetti al suolo dipendono da numerose e altrettanto potenzialmente fatali cause. Pertanto, se si volesse davvero condurre un’analisi completa sia territorialmente che in termini probabilistici delle aree a rischio inondazione si dovrebbe tener conto del fatto che l’inondazione di un sito è un processo stocastico funzione del tempo e dello spazio, quindi per ogni coppia lat/long si dovrebbe osservare l’alluvionabilità, fare una statistica e derivare una distribuzione di probabilità, dato che è l’effetto al suolo l’informazione di cui si ha bisogno. Tuttavia, la scarsità dei dati a disposizione, vista la dispersione che accompagna il fenomeno, impedisce un approccio basato su analisi empirica, anche se la necessità di ottenere comunque una caratterizzazione probabilistica, ha portato generalmente ad operare trasferendo la probabilità dell’evento al suolo, a quella della precipitazione che lo ha determinato, procedendo poi con una modellazione complessiva del fenomeno. L’“ipotesi di isofrequenza”, come premesso, conservando intatta la probabilità dell’unica causa considerata (la pioggia) attraverso l’intera catena di trasformazione idrologica, è in realtà molto forte e, assai frequentemente, disattesa in natura. I fenomeni alluvionali sono difatti condizionati da una serie interminabile di fattori contingenti (anch’essi di carattere fortemente stocastico) che condizionano i risultati dei modelli in maniera severa.

La modellazione nei PAI/PGRA è dunque “una” realizzazione del processo tra le tante possibili a partire dalla precipitazione di probabilità fissata, non tiene quindi conto delle tante altre potenziali cause. Vi sono casi nei quali la morfologia dei siti, i caratteri idraulici dell’asta fluviale, la presenza (o l’assenza) di opere idrauliche, rendono la soluzione relativamente stabile rispetto alla dinamica intrinseca dei processi. Altre volte però non è così, e i poligoni ottenuti risultano limitati al ristretto ambito delle ipotesi assunte, infatti molti dei fenomeni inondativi nel nostro Paese, sono legati a cause diverse dall’inondazione diretta per insufficiente capacità di smaltimento di un corso d’acqua. Si pensi ad esempio ai casi di ristagno per insufficiente drenaggio, di malfunzionamento o collasso di opere idrauliche, di esondazione di rii minori e quant’altro. L’integrale copertura modellistica isofrequente di queste casistiche è ovviamente impensabile, men che meno se ad opera del singolo comune. Lo conferma il fatto che le stesse Autorità deputate alla mappatura hanno generalmente proceduto con un approccio gerarchico, partendo dalla modellazione delle aste principali e per poi proseguire, a seconda della disponibilità delle risorse, verso altri tronchi, talvolta limitando l’analisi a una soglia prefissata in termini di area drenata, ordine di Horton o quant’altro.

Tanto premesso, precisando che l’approccio appena delineato segue la mission istituzionale delle Autorità di bacino distrettuali, trattandosi di mappe a supporto di norme di Piano e dunque della regolazione del territorio, la mappa di suscettività ad inondazione, si inserisce tra gli strumenti disponibili per analizzare, al livello di area vasta, il territorio comunale anche in quelle aree potenzialmente inondabili su cui non sono disponibili altre fonti di analisi.

³ “Indirizzi operativi per la gestione organizzativa e funzionale del sistema di allertamento nazionale, statale e regionale per il rischio idrogeologico ed idraulico ai fini di protezione civile.” DPCM 27 febbraio 2004

Per questo, in linea con le finalità generali del progetto e in particolare con l'attività A31 "Miglioramento della pianificazione di emergenza comunale e intercomunale: analisi dei piani di emergenza con specifico riferimento al rischio idraulico e idrogeologico", si propone una procedura applicativa della mappa di suscettività in fase di analisi degli scenari di evento da rischio idraulico.

Questa è stata elaborata tenendo conto degli indirizzi che ciascuna delle regioni del PON fornisce per la redazione dei Piani Comunali di Protezione Civile e in particolare delle indicazioni fornite per la produzione degli scenari di rischio idraulico, l'intera analisi delle Linee Guida Regionali è consultabile nel Report di avanzamento dell'attività A_31.

Indirizzi regionali per la definizione degli scenari di evento per rischio idraulico

Essendo l'uso delle mappe di suscettività prevalentemente finalizzato all'analisi degli scenari di evento e di rischio idraulico, e dovendosi inserire tra gli strumenti già esistenti a supporto della pianificazione, non si è potuto non pensare alla procedura applicativa delle stesse come ad una procedura fortemente riferita alle Linee Guida regionali per la pianificazione comunale di Protezione Civile.

Per questo una parte fondamentale del lavoro ha riguardato l'analisi delle Linee Guida regionali, di cui di seguito si riportano schematicamente le indicazioni fornite per la costruzione degli scenari di evento da rischio idraulico.

Basilicata

Le "Linee Guida per la pianificazione comunale di protezione civile" della Basilicata, approvate con D.G.R. n24 del 19 gennaio 2016, nonostante aggiornate in tempi relativamente recenti, in merito allo scenario di evento da rischio idraulico non presentano elementi di innovazione. Esse infatti fanno riferimento esplicito a quanto indicato dal Manuale Operativo proposto dal Dipartimento Centrale di Protezione Civile nel 2007, indicando i PAI/PGRA quali fonti per l'analisi del rischio idraulico e lasciando quindi alla sensibilità del pianificatore le decisioni relative alle aree non perimetrate dai succitati strumenti.

Nello specifico riguardo agli elaborati da produrre, viene chiesto per la sezione di inquadramento generale la realizzazione della mappa dei bacini imbriferi, degli invasi e del reticolo idrografico, mentre per la sezione dello scenario di rischio idraulico, si richiede che relazione e cartografie riportino le aree inondabili con t_r 500 anni, t_r 200 anni e t_r 30 anni con riferimento alla cartografia dell'Autorità di Bacino, le aree inondabili per il rischio diga prese dai Piani diga e le intersezioni tra insediamenti e opere in alveo. Rimandando le indicazioni su come svolgere l'analisi all'allegato riportante lo stralcio del Manuale Operativo di cui all'OPCM 3606 del 28 agosto 2007.

Le fonti di riferimento per l'analisi degli scenari risultano quindi essere le pericolosità idrauliche definite da PAI/PGRA e i Piani Diga relativamente alle aree a valle di invasi artificiali. Non ci sono riferimenti ad analisi riguardanti le aree storicamente inondate, i punti critici e alla presenza di altri studi o piani territoriali contenenti informazioni sulla pericolosità idraulica del territorio.

Calabria

Le linee Guida per la Pianificazione comunale di Protezione Civile della Calabria sono state approvate nel dicembre 2019, pertanto risultano essere le più recenti tra le regioni PON. Esse, con quelle della Regione Puglia, in riferimento agli scenari di rischio sono le più dettagliate e complete nell'elencare e descrivere le fonti cui fare riferimento per l'analisi del rischio idraulico, prestando molta attenzione all'individuazione dei punti critici sul territorio e allo studio di aree non già ricomprese nei PAI e PGRA, ma derivanti da altri

strumenti di pianificazione e programmazione a scala locale e sovralocale o da eventi di inondazione verificatisi nel passato.

Nello specifico del rischio idrogeologico le Linee Guida prescrivono che la carta dello scenario di evento per le inondazioni contenga:

- le aree individuate dal PAI, come a rischio o pericolose, indipendentemente dal periodo di ritorno adottato;
- le aree individuate come pericolose nel Piano di Gestione del Rischio Alluvioni;
- le aree inondabili contenute negli strumenti di pianificazione comunali, provinciali (in particolare nei programmi Provinciali di Previsione e Prevenzione) e regionali, indicate in eventuali piani predisposti dalle cessate Comunità Montane o da altri Enti territoriali e non già considerate dal PAI o nel PGRA;
- le aree interessate nel passato da eventi alluvionali e non già considerate dal PAI o nel PGRA;
- i punti critici ovvero i punti nei quali il fenomeno può originarsi o può evolvere o trasformarsi in modo sfavorevole, ad esempio cambiando direzione o intensità, può assumere magnitudo particolarmente elevata, gli effetti dell'evento potrebbero ampliarsi e dove è possibile intervenire in fase di allertamento;
- i punti di osservazione ovvero quelli da cui è possibile osservare, in condizioni di sicurezza, l'evolvere del fenomeno.

Come contenuti facoltativi: i valori delle altezze idriche, h , delle velocità, v , massime prevedibili nelle zone inondabili, nonché i corrispondenti valori del prodotto $v \cdot h$, i punti di intervento dove è possibile attuare interventi di somma urgenza in corso di evento per attenuare l'impatto del fenomeno in atto.

Le indicazioni fornite dalla regione Calabria risultano quindi complete in termini di fonti di dati cui fare riferimento per l'analisi degli scenari di evento.

Campania

Le "Linee Guida per la redazione dei Piani di Emergenza Comunale" della Campania, rilasciate nel febbraio 2013, nella sezione di analisi e reperimento dati per la costruzione degli scenari di rischio idraulico si basano sulle aree a pericolosità dei Piani Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PSAI) e per la Difesa delle Coste (PSDC) e su studi di dettaglio sulla dinamica di evento, non facendo riferimento agli eventi storicamente occorsi se non per la descrizione dell'evoluzione del fenomeno in fase di approfondimento della dinamica di evento.

La sezione dedicata agli scenari di rischio idraulico distingue due momenti di analisi: uno di base, per la definizione dello scenario di evento statico, la cui fonte dei dati sono le Aree Inondabili e le Fasce Fluviali del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico, e uno di approfondimento della dinamica di evento da eseguire anche in fase di aggiornamento del piano, per cui eseguire analisi di dettaglio.

Per l'analisi di base, si chiede ai Comuni di adottare le informazioni contenute nei PSAI e nei PSDC, e nelle carte delle Aree Inondabili e delle Fasce Fluviali, facendo riferimento alle aree perimetrate come a pericolosità Elevata e Molto Elevata. È richiesto inoltre, che nella cartografia, oltre alle informazioni relative agli esposti e agli indicatori di evento, vengano riportati:

- il reticolo idraulico;
- i tratti tombati, arginati e gli attraversamenti stradali;
- la mappa delle dighe con indicazione delle caratteristiche e dell'ente gestore;

del Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico:

- la carta di pericolosità delle fasce fluviali;
- la carta del rischio idraulico,

- la carta dei punti di crisi idraulica;
- la carta del rischio idraulico legato alla presenza di dighe.

Per l'approfondimento invece, si chiede di fare riferimento a studi di dettaglio che consentano la descrizione della dinamica di evento, basandosi su informazioni quali: la descrizione della forzante meteorologica che può innescare l'evento, la descrizione degli eventuali fenomeni precursori dell'evento, il tempo di risposta del bacino, la descrizione dell'evoluzione del fenomeno basata sugli eventi già verificatisi o su studi specifici.

Puglia

Le "Linee Guida per la Redazione dei Piani di Protezione Civile Comunali" della Puglia, approvate con D.G.R.n.1414 del 30 luglio 2019, assieme a quelle della Regione Calabria sono le più aggiornate ma soprattutto, introducono modalità innovative e più dettagliate per la costruzione degli scenari di rischio idraulico. Poiché oltre all'uso dei PAI e PGRA quali fonti per la definizione degli scenari, richiedono l'analisi degli effetti al suolo provocati da eventi storicamente occorsi, di studi idraulici di dettaglio eventualmente esistenti e delle informazioni contenute nei piani o programmi di pianificazione territoriale. Esse inoltre, essendo state redatte con il contributo del gruppo di lavoro del PON, già riportano le mappe di suscettività tra le fonti da utilizzare per l'analisi del rischio.

La parte di scenari di rischio idraulico è divisa tra scenario di evento e scenario di rischio, la prima è quella relativa alla descrizione del fenomeno e degli effetti al suolo a prescindere dall'esposto, nella seconda invece si approfondisce in rischio mediante l'intersezione tra le aree in cui si verificano allagamenti e gli esposti.

Negli elaborati di piano relativi agli scenari di evento da rischio idraulico, si richiede ai comuni di riportare le seguenti informazioni:

- descrizione delle caratteristiche essenziali del bacino idrografico di interesse e delle eventuali forme carsiche influenti sull'evento;
- descrizione degli eventi storici riconducibili a questa tipologia di evento, le informazioni riguardanti la forzante generatrice e i relativi danni;
- individuazione degli indicatori di evento, con eventuale riferimento alle soglie definite per il sistema di monitoraggio e allertamento;
- perimetrazione delle aree alluvionabili da PAI e da PGRA, mappe di esondazione per aree a valle di invasi e mappe di suscettività;
- punti singoli ovvero i punti critici, i punti di osservazione e le opere idrauliche e di sistemazione in alveo;
- eventuali mappe d'intensità, velocità per tirante idraulico;
- eventuale perimetrazione di dettaglio realizzata mediante modellistica idraulica che consenta la simulazione mono o bidimensionale del fenomeno;
- eventuale indicazione delle principali direzioni di propagazione.

Sicilia

Le "Linee Guida per la redazione dei Piani di protezione civile comunali e intercomunali in tema di rischio idrogeologico", aggiornamento del 2017, della Regione Sicilia propongono una modalità di analisi degli scenari di evento e di rischio idraulico più incentrata sulle situazioni di criticità "puntuale", ponendo molta attenzione sulla mappatura e schedatura dei punti singoli di criticità, oltre che sulle aree a rischio da R1 a R4 e a pericolosità da P1 a P4 definite dai Piani di Assetto Idrogeologico.

Per la definizione degli scenari di evento riportano una descrizione sintetica di effetti al suolo e possibili danni, secondo quanto definito nelle Indicazioni operative del Capo del Dipartimento della Protezione Civile del 10 febbraio 2016, "Metodi e criteri per l'omogeneizzazione dei messaggi del Sistema di allertamento nazionale per il rischio meteo- idrogeologico e idraulico e della risposta del sistema di Protezione civile". Mentre, per

gli scenari di rischio, vengono proposte 3 casistiche a seconda delle caratteristiche idrauliche del territorio in cui ricade il comune:

1. territori a valle di dighe;
2. bacini di estensione superiori a 50 kmq con o senza diga;
3. bacini di estensione inferiore a 50 kmq.

Per ognuna sono indicate le tipologie di evento e di rischio che possono verificarsi e viene fornita una procedura codificata, che prevede:

- estrazione delle aree a rischio da R1 a R4 contenute nei PAI;
- estrazione delle aree a pericolosità da P1 a P4 contenute nei PAI;
- individuazione di altri punti sensibili non contenuti nei PAI e relativa classificazione mediante le schede del DRPC Sicilia.

Le schede del DRPC Sicilia, introdotte con le Linee Guida del 2010, sono schede di censimento dei punti singoli di criticità finalizzate ad una valutazione speditiva del livello del rischio da svolgere anche senza la realizzazione di studi e verifiche idraulici. Le stesse sono state utilizzate per redigere il “Rapporto preliminare sul Rischio idraulico in Sicilia e ricadute nel sistema di protezione civile – versione 5/2015” (prot. N. 63941 del 30/10/2015), indicato nella sezione relativa all’analisi del rischio idraulico quale fonte di riferimento per la redazione dei Piani comunali di Protezione Civile. Il documento riporta il censimento dei cd. "nodi idraulici" sul territorio regionale, ovvero: le intersezioni tra viabilità e corsi d'acqua, le strade che costituiscono vie preferenziali di deflusso superficiale o qualsivoglia situazione per la quale sia temibile una situazione di potenziale rischio per l’interferenza tra acque ed elementi antropici.

In questo caso si tiene conto delle aree storicamente vulnerate da eventi di carattere idraulico attraverso l’individuazione e la verifica dei punti sensibili, non si considerano tuttavia le informazioni che potrebbero essere reperite mediante la ricerca e l’analisi di altri piani e programmi di gestione e tutela del territorio e da eventuali studi idraulici preliminari alla realizzazione di opere idrauliche o di mitigazione del rischio.

Procedura applicativa

Alla luce di quanto indicato dalle Linee Guida regionali, di seguito si propone una procedura da utilizzare in fase di pianificazione per la definizione degli scenari di evento e di rischio idraulico che, da un lato uniforma gli indirizzi regionali prendendo come riferimento il più ampio spettro di fonti per l’analisi, dall’altro introduce e spiega le modalità d’uso della mappa di suscettività fornita.

A corredo della mappa di suscettività e per favorire ulteriormente il pianificatore nel suo utilizzo, è stato elaborato un tool informatico con allegato manuale d’uso, che consente di effettuare in modo speditivo parte dei calcoli e delle elaborazioni di seguito descritte.

Fase 1. Considerazioni preliminari

Il lavoro di costruzione degli scenari di evento richiede una serie di analisi preliminari utili a conoscere le caratteristiche geomorfologiche, idrauliche e urbanistiche del comune.

Per questo si devono compiere le seguenti attività propedeutiche allo svolgimento degli step successivi.

1. *Analizzare i caratteri amministrativi, morfologici e urbanistici* predisponendo la cartografia di base contenente i confini amministrativi, le principali arterie stradali e ferroviarie e la collocazione degli insediamenti con suddivisione di massima delle zone funzionali.

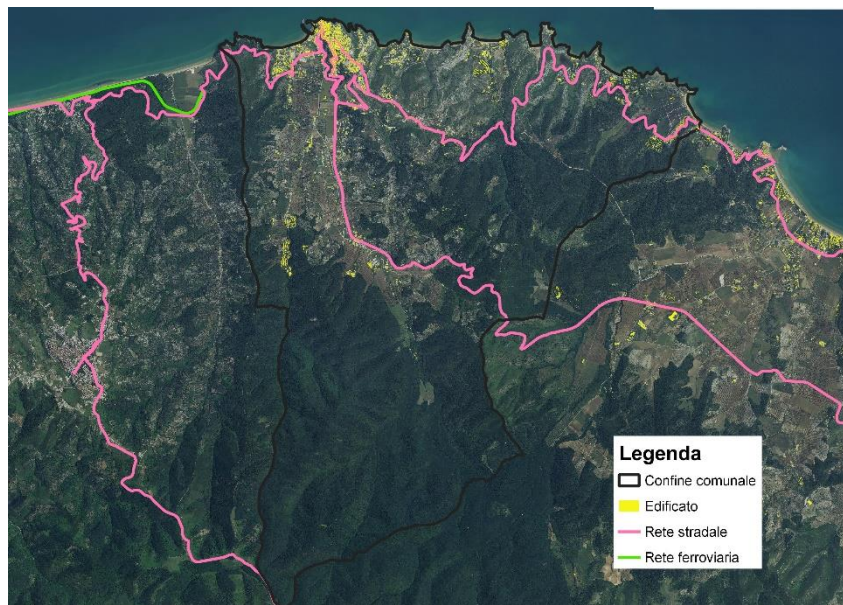


Figura 28- Carta dei caratteri urbanistici principali e dei confini territoriali

2. *Analizzare i caratteri idrografici* e predisporre, laddove non già disponibili, la cartografia riportante il reticolo idrografico, i principali bacini idrografici, gli invasi artificiali, se presenti nel comune o a monte dello stesso, e tutte le formazioni riguardanti le componenti morfologiche che influenzano il comportamento idraulico del territorio.



Figura 29- Carta dei caratteri idraulici

3. *Analizzare le informazioni raccolte* e calcolare la superficie territoriale complessiva del comune, la popolazione residente e definire la percentuale di territorio ricadente entro i 350 m.s.l.m. al fine di conoscere la correlazione, in funzione del rischio idraulico, tra le diverse componenti morfologiche, idrauliche e urbanistiche, e la distribuzione dell'esposto all'interno del territorio e in funzione dell'altimetria.

2. Inquadramento territoriale	Superficie [kmq]	16,06
	Superficie [kmq] quota >350 m.s.l.m.	2,83
	Superficie [kmq] quota <350 m.s.l.m.	13,16
	Altitudine media del Comune [m.s.l.m.]	260,00
	Altitudine media sotto i 350 m.s.l.m. [m.s.l.m.]	166,02
	Altitudine minima sotto i 350 m.s.l.m. [m.s.l.m.]	100,60
	Altitudine media sopra i 350 m.s.l.m. [m.s.l.m.]	493,23
	Altitudine massima sopra i 350 m.s.l.m. [m.s.l.m.]	821,30
	Popolazione totale	1380
	Popolazione sotto i 350 m.s.l.m.	1380
	Popolazione sopra i 350 m.s.l.m.	0

Figura 30- Sezione del Tool Informatico che consente il calcolo automatico delle informazioni utili alla fase 1 con il semplice inserimento del codice ISTAT del comune

Fase 2. Analisi aree storicamente inondate

Come ampiamente descritto, gli allagamenti non sono imputabili esclusivamente a inondazione diretta da fenomeni isofrequenti, pertanto è importante conoscere la storia del territorio indagando gli eventi verificatisi nel tempo, le aree vulnerate e le cause che hanno indotto gli effetti al suolo manifestatisi e le situazioni di potenziale criticità non ricomprese nei PAI/PGRA.

E' importante distinguere le inondazioni in funzione della loro origine⁴ e quindi tra:

- *inondazione fluviale o pluviale*, rispettivamente dovute all'esondazione delle acque del reticolo idrografico (fiumi, torrenti, canali di drenaggio, corsi d'acqua effimeri, laghi e alluvioni causate da fusione nivale) o provocata direttamente dalle acque di pioggia (nubifragi, ruscellamento superficiale o ristagno per superamento delle capacità di drenaggio in ambiente rurale, anche a seguito di scioglimento nivale);
- *inondazione da insufficienza delle infrastrutture di collettamento*, provocate dal malfunzionamento dei sistemi artificiali di drenaggio, canalizzazione, invaso, difesa.

Questa fase oltre ad una approfondita ricerca storico-inventariale e sopralluoghi in loco, dovrebbe prevedere il coinvolgimento diretto, oltre che dei tecnici comunali, della Polizia Locale, degli operatori di Protezione Civile, dei Vigili del Fuoco e dei cittadini in generale, al fine di sfruttarne il sapere locale, in linea con quanto previsto al comma 2 dell'Art.18 dal D.Lgs n.1 del 2018.

Di seguito si elencano le azioni da compiere.

1. *Analizzare l'informazione storica disponibile relativa ad eventi alluvionali pregressi*, sia di tipo areale (poligoni relativi al rilievo di aree alluvionate) che puntuale (targhe, elementi e testimonianze storiche relative a determinati siti, emergenze toponomastiche e quant'altro), producendo un elenco con gli eventi, la forzante meteo che li ha generati e la descrizione degli effetti al suolo.
2. *Ricerca informazioni riguardanti i punti e le aree inondabili per ristagno*, dovuto a scarsa capacità di drenaggio o ricorrente crisi di manufatti, come ad esempio zone "basse", comprensori a drenaggio meccanico, sottopassi stradali e ferroviari, piazzali o strade ove l'acqua tende spesso a ristagnare, producendo appositi strati informativi che riportino su mappa i poligoni delle aree e la georeferenziazione dei punti.

⁴ NOTE sulla compilazione del catalogo degli eventi alluvionali mediante la piattaforma FloodCat conforme agli SCHEMA per il reporting della Dir. 2007/60/CE art. 4: Valutazione preliminare del rischio alluvioni.



Figura 31- A sx immagine di Piazza XX Settembre (Licata, AG) allagata per ristagno, a dx targa con indicazione dei livelli di battente raggiunti durante 3 eventi alluvionali storici a Bari.

3. *Ricerca informazioni riguardanti aree alluvionabili e punti critici per inondazione diretta, concentrandosi soprattutto su aree minacciate da questioni endemiche quali tratti di reticolo tombinati, ponti con pile in alveo oggetto di accumulo di trasporto flottante, altri restringimenti di sezione che determinano rigurgito, tratti ove si registra l'interruzione di difese di sponda quali spallette o arginature, producendo appositi strati informativi che riportino su mappa i poligoni delle aree e la georeferenziazione dei punti.*
4. *Ricostruire la linea cronologica di lavori idraulici finalizzati alla gestione del rischio da alluvione, compararla alla cronologia degli eventi storicamente occorsi e valutarne l'efficienza in base alla funzionalità durante casi alluvionali storici e casi critici. Produrre uno strato cartografico che rappresenti le opere di sistemazione idraulica e gli eventuali punti critici emersi dalla valutazione di efficienza.*

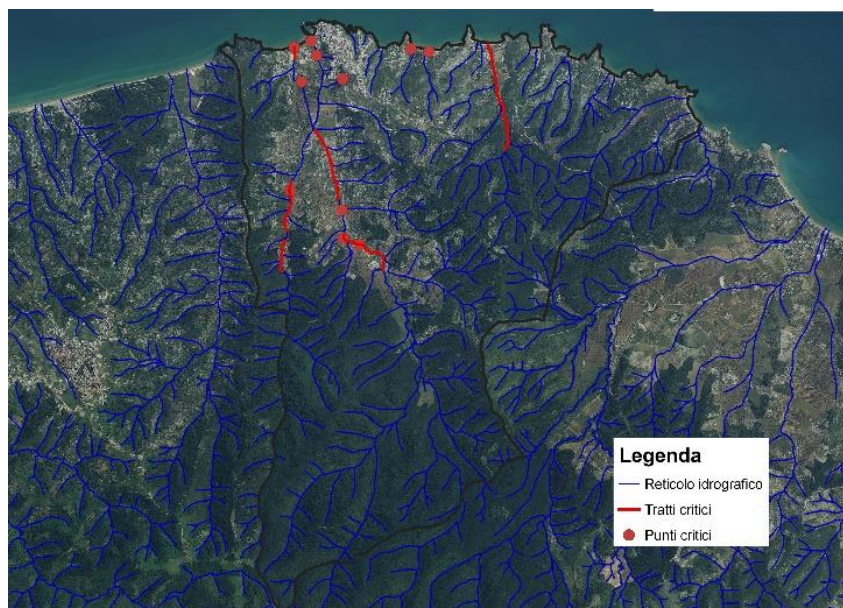


Figura 32- Carta dei punti e dei tratti critici

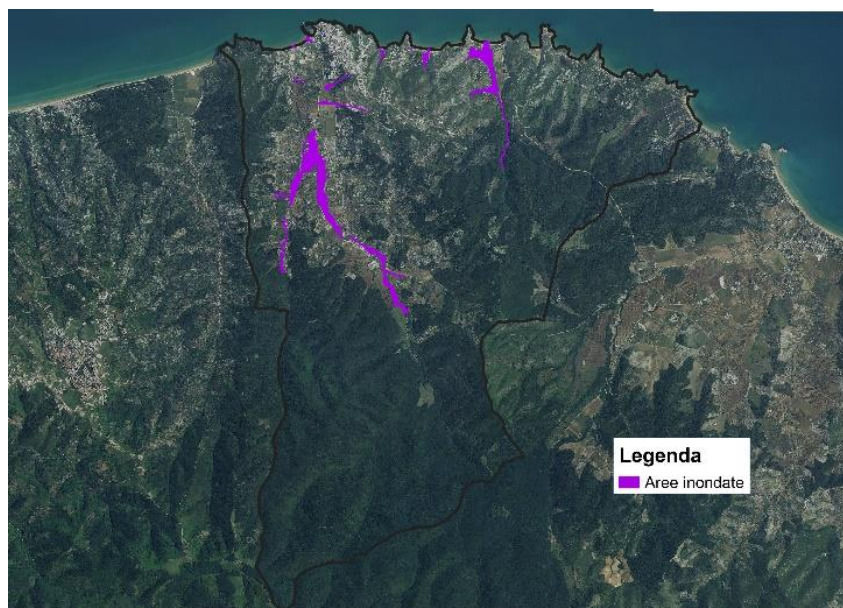


Figura 33- Carta delle aree storicamente inondate.

Fase 3. Analisi di altri piani e studi idraulici

5. *Analizzare i Piani e/o Programmi di gestione e governo del territorio ai vari livelli territoriali, quali piani di coordinamento provinciale, piani regolatori, piani regionali di indirizzo territoriale, al fine di acquisire eventuali altre perimetrazioni e dati riguardanti la pericolosità idraulica. Produrre con le informazioni reperite il relativo strato informativo.*
6. *Ricerca eventuali studi e analisi idrauliche di dettaglio condotte a corredo di progetti per la realizzazione di opere idrauliche, di mitigazione del rischio o altri manufatti per cui siano richiesti studi e analisi di questo tipo. Produrre con le informazioni reperite il relativo strato informativo.*

3. Informazioni di tipo areale riguardanti le aree storicamente inondate raccolte durante il PON Governance Rischio idraulico	Aree inondate per inondazione diretta e per ristagno o difetto di drenaggio	
	3.1. Superficie [kmq]	4,323
	3.2. Superficie con quota <350 m s.l.m.? [kmq]	4,323
	3.3. Superficie con quota >350 m s.l.m.? [kmq]	0,000
4. Informazioni storiche di tipo puntuale riguardanti i punti storicamente inondati raccolti durante il PON Governance Rischio idraulico	Punti critici o di elementi vulnerati	
	4.1. Punti con quota <350 m s.l.m.?	0
	4.2. Punti con quota >350 m s.l.m.?	0
5. Informazioni di tipo areale per inondazione diretta raccolte durante l'analisi	Per inondazione diretta da corsi d'acqua	
	5.1. Superficie [kmq]	
	5.2. Superficie con quota <350 m s.l.m.? [kmq]	
	5.3. Superficie con quota >350 m s.l.m.? [kmq]	
6. Informazioni di tipo areale per inondazione da ristagno raccolte durante l'analisi	Per inondazione dovuta a ristagno o difetto di drenaggio	
	6.1. Estensione delle aree?	
	6.2. Superficie con quota <350 m s.l.m.? [kmq]	
	6.3. Superficie con quota >350 m s.l.m.? [kmq]	
7. Informazioni storiche di tipo puntuale raccolte durante l'analisi	Targhe, testimonianze storiche, emergenze toponomastiche relative ad eventi alluvionali	
	7.1. Punti con quota <350 m s.l.m.?	
	7.2. Punti con quota >350 m s.l.m.?	
8. Informazioni su manufatti critici rispetto al rischio di alluvione raccolte durante l'analisi	Tratti di reticolo tombati, ponti con pile in alveo oggetto di accumulo di trasporto flottante, restringimenti di sezione che determinano rigurgito, interruzione di difese di sponda,...)	
	8.1. Punti con quota <350 m s.l.m.?	
	8.2. Punti con quota >350 m s.l.m.?	
9. Informazioni derivanti da ulteriori strumenti di pianificazione	Piano regolatore, PTC provinciale, piani di indirizzo regionale...?	
	9.1. Estensione delle aree?	
	9.2. Superficie con quota <350 m s.l.m.? [kmq]	
	9.3. Superficie con quota >350 m s.l.m.? [kmq]	
10. Studi a servizio della realizzazione di opere o infrastrutture	Esistono studi e analisi idraulici riguardanti la pericolosità svolti preliminarmente alla realizzazione di opere idrauliche di mitigazione del rischio?	
	10.1. Se sì, qual è l'estensione delle aree inondabili?	
	10.2. Superficie con quota <350 m s.l.m.? [kmq]	
	10.3. Superficie con quota >350 m s.l.m.? [kmq]	

Figura 34- Sezione del Tool Informatico che supporta i calcoli per le fasi 2 e 3 della procedura applicativa

Fase 4. Analisi delle mappe del PAI/PGRA

Dopo aver costruito una buona base di conoscenza del territorio, basata su informazioni prevalentemente di carattere empirico, si può passare all'analisi delle aree a pericolosità idraulica definite da PAI e PGRA.

1. *Comprendere il grado di copertura del territorio* scelto in sede di adozione del Piano (copertura delle aree storicamente inondate, modellazione estesa ai soli corsi principali, a parte del reticolo secondario, limitata sulla base dell'ordine di Horton o della superficie del bacino sotteso) e distinguere tra aree non studiate e aree a rischio assente.
2. *Analizzare le aree perimetrate a pericolosità bassa, media e alta*, quantificarne la superficie e distinguere quelle incluse nella fascia 0-350 m.s.l.m. da quelle oltre.
3. *Analizzare le aree non coperte da perimetrazioni PAI/PGRA*, distinguendo tra aree non studiate e aree non pericolose.

11. Superfici a pericolosità da PAI/PGRA (ISPRA 2017)	11.1. P1 [kmq]	2,19
	11.2. P2 [kmq]	2,00
	11.3. P3 [kmq]	1,60
	11.4. A pericolosità assente o non studiata [kmq]	13,87
	11.5. P1 con quota <350 m s.l.m. [kmq]	2,19
	11.6. P1 con quota >350 m s.l.m. [kmq]	0

Figura 35- Sezione del Tool Informatico che consente il calcolo automatico delle aree a pericolosità PAI/PGRA per la fase 4 con il semplice inserimento del codice ISTAT del comune

PAI/PGRA		
Pericolosità	Superficie [kmq]	%
P1 [kmq]	2,19	13,64%
P2 [kmq]	2,00	12,45%
P3 [kmq]	1,60	9,96%
P assente o non studiata [kmq]	13,87	86,36%
P1<350 m s.l.m. [kmq]	2,19	100,00%
P1>350 m s.l.m. [kmq]	0,00	0,00%
Superficie Comunale [kmq]	16,06	

Figura 36- Sezione del Tool Informatico che fornisce le statistiche sulle aree a pericolosità PAI/PGRA per la fase 4 con il semplice inserimento del codice ISTAT del comune

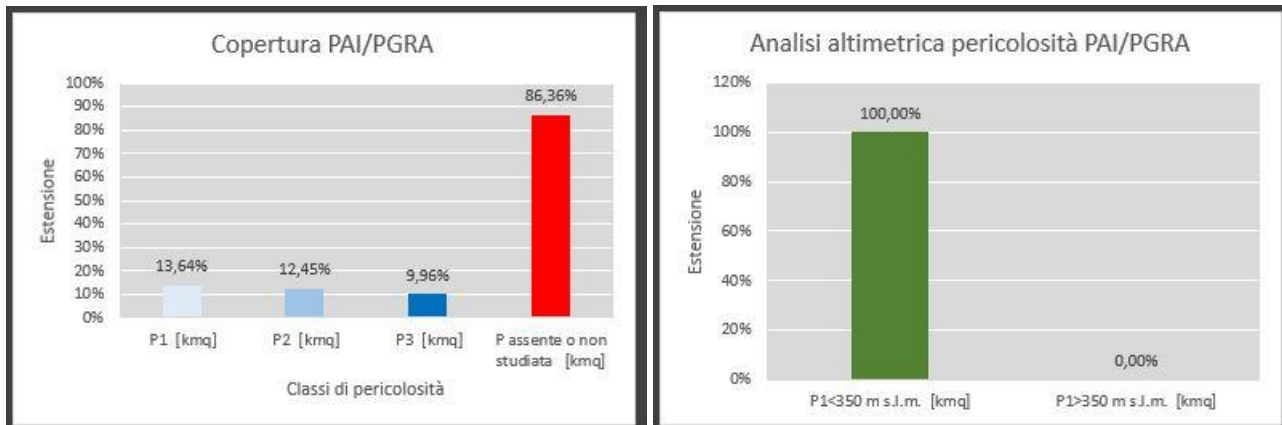


Figura 37- Sezione del Tool Informatico che fornisce gli istogrammi relativi alla percentuale di copertura delle aree a pericolosità PAI/PGRA e la distribuzione altimetrica rispetto alla fascia 0-350 m.s.l.m..

4. Confrontare le pericolosità PAI/PGRA con il dato empirico e le aree derivanti da altri Piani o Studi idraulici, valutando il grado di concordanza tra le aree e i punti critici risultanti dall'analisi degli eventi storici e le perimetrazioni di altri Piani e Studi idraulici e la pericolosità mappata da PAI e PGRA.

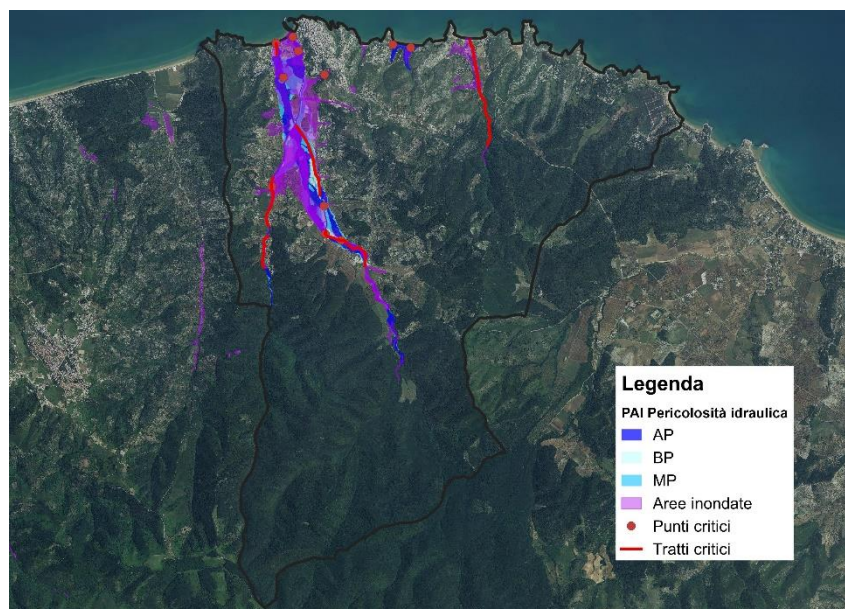


Figura 38- Carta di confronto tra pericolosità PAI/PGRA e aree e punti vulnerati individuati con l'analisi storica

Fase 5. Analisi delle mappe di suscettività da alluvione

Questo step riguarda il contributo che può essere fornito dall'analisi di suscettività per lo studio della propensione ad inondarsi del territorio e in particolare delle aree non mappate da PAI e PGR, che dall'analisi al punto precedente risultano non essere state oggetto di studio.

1. *Analizzare la suscettività del territorio comunale*, mediante la predisposizione della cartografia ottenuta ritagliando la mappa rispetto ai limiti amministrativi del territorio comunale e il dato statistico della distribuzione del territorio tra le quattro classi di suscettività e l'area non studiata.

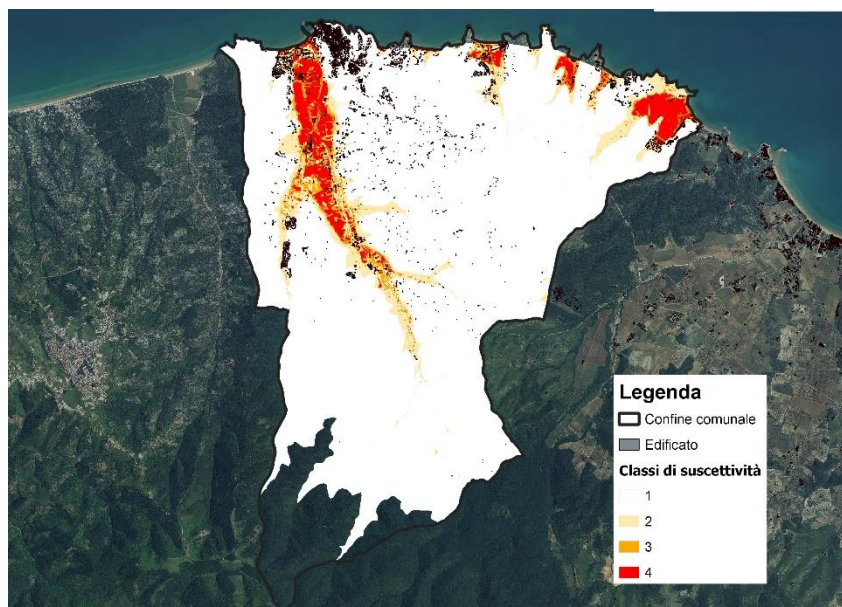


Figura 39- Carta della suscettività

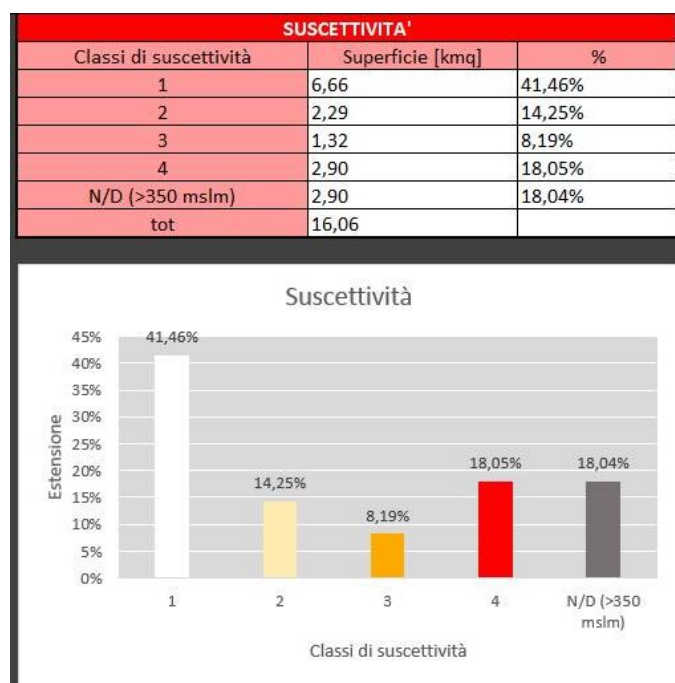


Figura 40- Sezione del Tool Informatico che fornisce le statistiche e gli istogrammi relativi alla distribuzione del territorio tra le varie classi di suscettività mediante l'inserimento del codice ISTAT del comune.

2. Valutare il grado di concordanza tra la mappa di suscettività, la pericolosità mappata da PAI e PGRA, le aree e i punti critici risultanti dall'analisi degli eventi storici e le perimetrazioni di altri Piani e Studi idraulici.

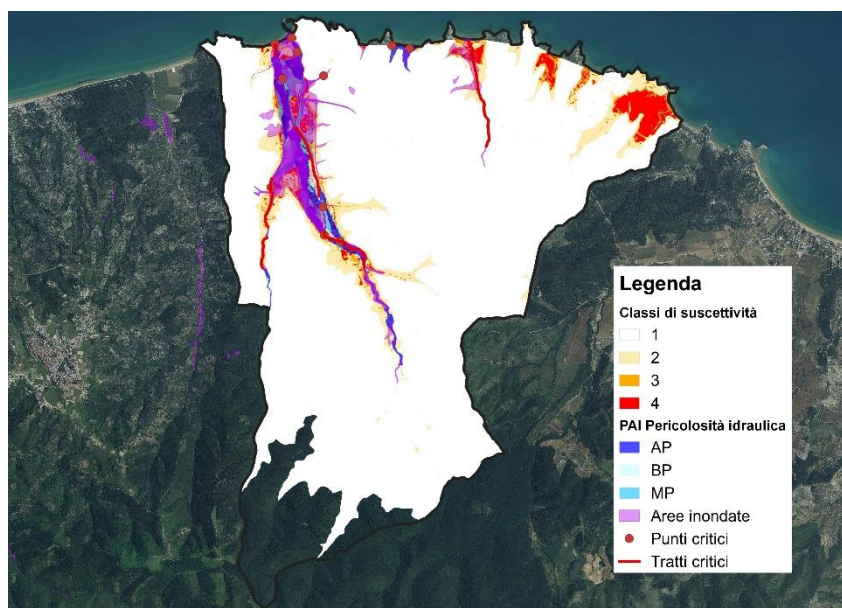


Figura 41- Carta di confronto tra suscettività, pericolosità PAI/PGRA e aree e punti vulnerati individuati con l'analisi storica

Dal momento che in questa fase si ha come obiettivo quello di operare un confronto tra informazioni che fanno riferimento a criteri non omogenei, occorre premettere agli ulteriori passaggi una breve nota esplicativa per rendere più chiaro lo svolgimento di analisi sinottica delle informazioni a disposizione.

Le mappe della pericolosità da alluvione contengono la perimetrazione delle aree alluvionabili secondo scenari funzione delle grandezze di tempo di ritorno, tirante idrico e velocità (D.Lgs. 49/2010). La suscettività, invece, non considera la ricorrenza temporale ma esprime la probabilità d'occorrenza di un evento, dato un insieme di fattori predisponenti.

In tal senso, per rendere i due concetti confrontabili occorre visualizzarli entrambi secondo una classificazione "binaria". Si deve passare cioè, per quanto riguarda la pericolosità, da una perimetrazione suddivisa per scenari a differente intensità (scarsa, media ed elevata) ad una classificazione del territorio più semplificata che individui le aree perimetrate come alluvionabili secondo fonti PAI/PGRA e le differenze da quelle in cui vi è assenza di perimetrazioni a pericolosità (il resto del territorio) (Figura 42). Altrettanto occorre fare per la suscettività: distinguere il territorio analizzato in aree refrattarie al fenomeno alluvionale (classi 1 e 2) e in altre fortemente predisposte al verificarsi di alluvioni (classi 3 e 4) (Figura 43). In tale maniera si va a definire, per entrambi i tipi di mappatura, il territorio in base alla sua predisposizione ad alluvionarsi, a prescindere dall'intensità dello scenario, rendendo confrontabili due concetti diversi come la suscettività e la pericolosità.

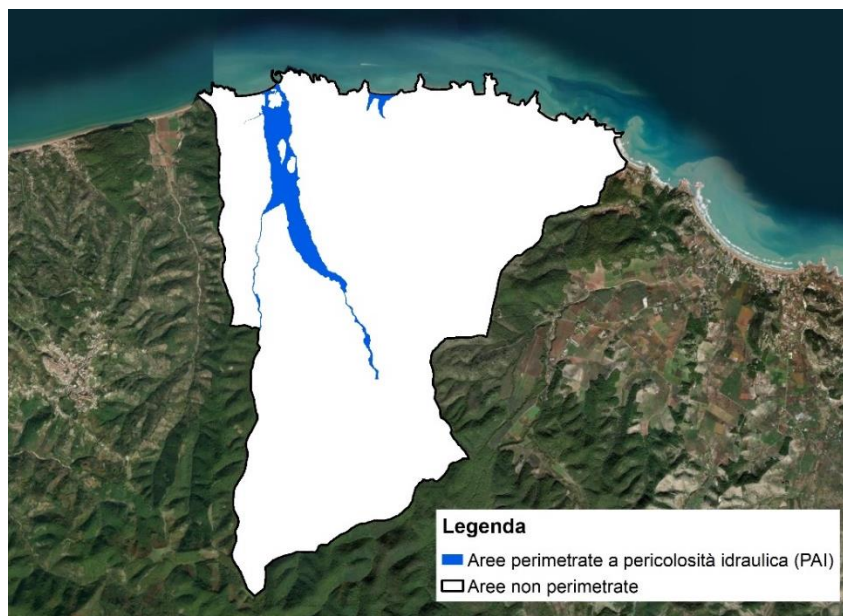


Figura 42- Suddivisione semplificata in base alla pericolosità idraulica: distinzione tra aree perimetrate e aree non perimetrate

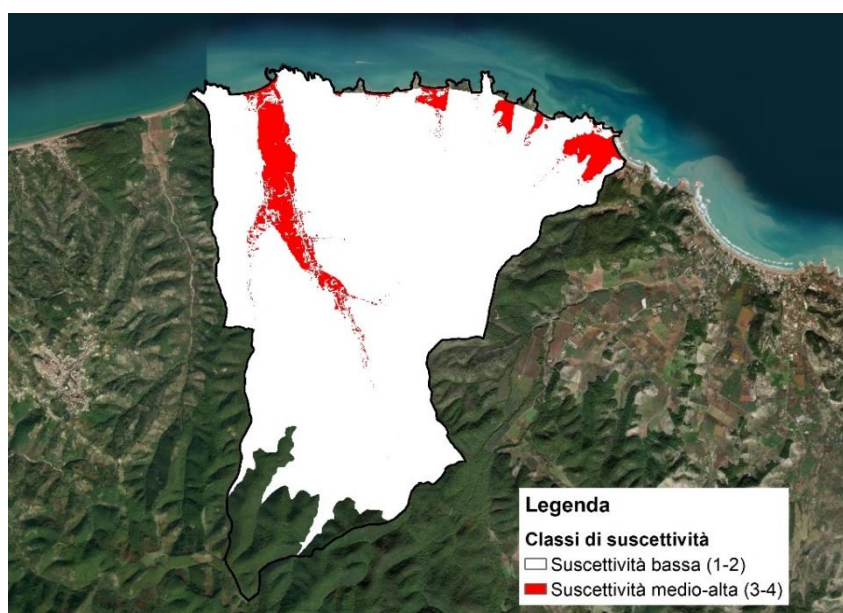


Figura 43- Suddivisione semplificata della suscettività: distinzione tra aree a bassa e alta predisposizione al fenomeno alluvionale

Questa classificazione semplificata delle due tipologie di mappatura permette all'operatore di svolgere così un'analisi completa che vada ad individuare eventuali concordanze o discordanze tra mappa di suscettività e scenari di pericolosità (Figura 44), con un ulteriore riferimento ad eventuali effetti al suolo storicamente registrati da altri studi idraulici.

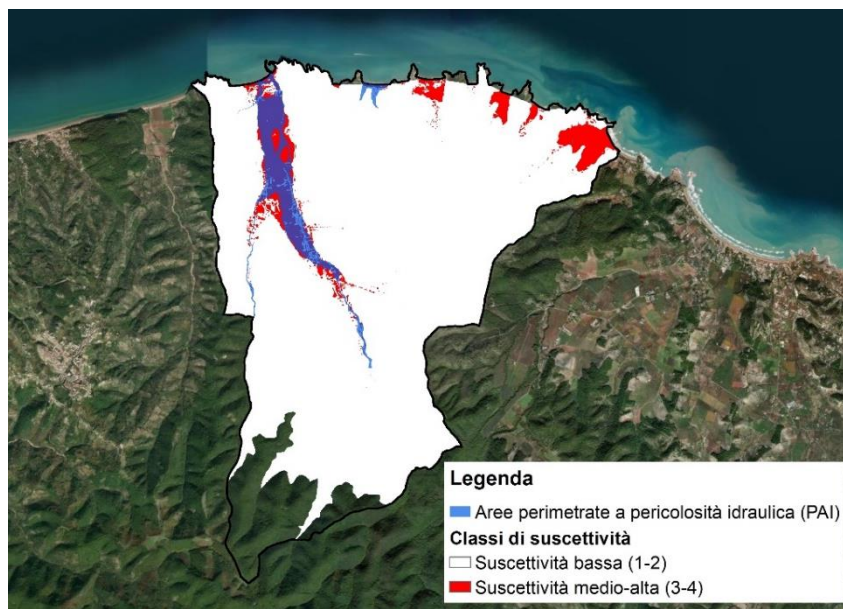


Figura 44 - Visione sinottica pericolosità idraulica e suscettività da alluvione

Con tale modalità di confronto è ulteriormente possibile, secondo le necessità dell'operatore, produrre in ambiente GIS delle statistiche che vadano a popolare una matrice di contingenza con le informazioni relative a concordanze e discordanze per il territorio in esame (Tabella 13), definendo così quattro differenti casistiche per facilitare i passaggi *a* e *b* descritti sopra:

- CONCORDANZA 1 – bassa suscettività e assenza di perimetrazioni di pericolosità;
- CONCORDANZA 2 – alta suscettività e presenza di perimetrazioni di pericolosità idraulica;
- DISCORDANZA 1 – bassa suscettività e presenza di perimetrazioni di pericolosità idraulica;
- DISCORDANZA 2 – alta suscettività e assenza di perimetrazioni di pericolosità.

Tabella 13 Matrice di contingenza pericolosità-suscettività

Comune analizzato:		
% territorio comunale	Suscettività bassa (1-2)	Suscettività medio-alta (3-4)
Assenza di perimetrazioni di pericolosità idraulica	CONCORDANZA 1	DISCORDANZA 2
Presenza di perimetrazioni di pericolosità idraulica	DISCORDANZA 1	CONCORDANZA 2

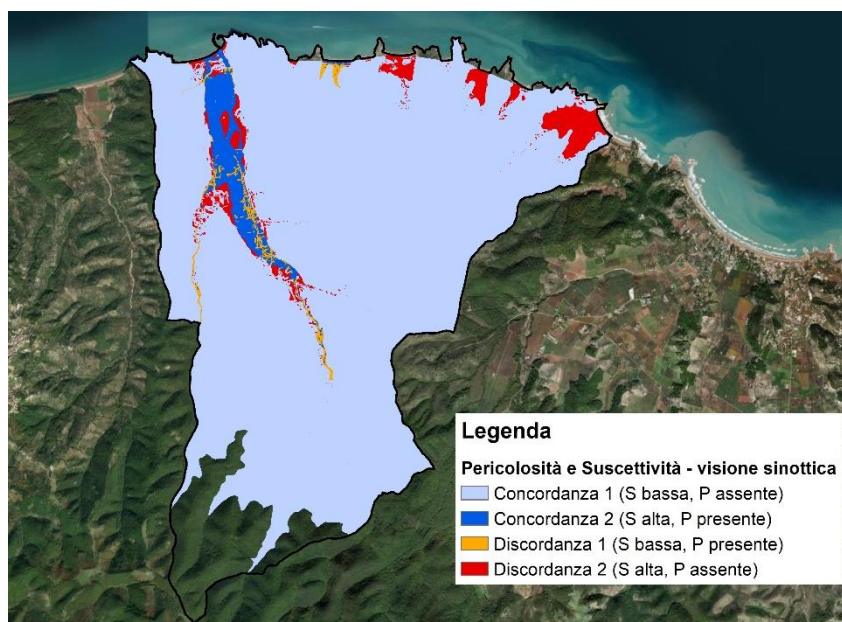


Figura 45 - Pericolosità e suscettività: visione semplificata di concordanze e discordanze delle due mappature

Queste ulteriori visualizzazioni possono servire a semplificare il compito dell'operatore in special modo nella verifica della presenza di aree ove la suscettività risulti superiore al corrispondente livello di pericolosità secondo la fonte PAI/PGRA (passaggio *b*), su cui, come detto, si dovrà operare un'analisi di dettaglio.

Infine, per completare l'analisi, è opportuno verificare la presenza di aree storicamente inondate e/o inondabili derivanti da altri Piani o Studi idraulici, ricadenti in aree non perimetrate dal PAI/PGRA e a suscettività bassa. Anche in questo caso secondo il principio di precauzione deve essere condotta un'analisi di dettaglio.

Fase 6. Considerazioni finali e definizione delle aree per gli scenari di evento

Come sappiamo l'obiettivo del pianificatore è definire gli scenari di evento da rischio idraulico, pertanto terminata la ricerca, la quantificazione e l'analisi delle aree a pericolosità da inondazione, attraverso le diverse fonti di analisi a disposizione, si suggerisce di procedere come segue.

Scendere ad un livello di dettaglio maggiore per le aree a *Discordanza 2*, ovvero per quelle a suscettività media e alta non riscontrate tra le aree a pericolosità PAI/PGRA, né tra le aree storicamente inondate e/o inondabili derivanti da altri Piani o Studi idraulici. In questi casi sarebbe opportuno procedere con lo svolgimento di sopralluoghi, modellazioni e analisi idrauliche dettagliate al fine di confermare la propensione

ad allagarsi di quell'area e definire le potenziali cause dell'evento. In particolare, ove all'interno delle aree appena descritte, fossero presenti:

1. elementi del Sistema Strutturale del Comune per la gestione dell'emergenza, desunti dal Piano di Protezione Civile e/o dall'Analisi della Condizione Limite di Esercizio;
2. punti intersezione/punti critici potenziali verificando se tali punti siano identificabili come punti critici e quindi, eventualmente, da sottoporre al monitoraggio osservativo tramite il presidio territoriale;
3. Centri abitati o parti di essi.

Note applicative

Come anticipato, e ampiamente descritto nel Report di accompagnamento al Tool Informatico A21_TI5 (mappa di suscettività), la mappa non copre la fascia di territorio superiore ai 350 m.s.l.m.. Si ribadisce tuttavia, che tale scelta è avvalorata dal fatto che per le regioni oggetto di PON le aree a pericolosità PAI/PGRA oltre questa fascia altimetrica assumono una percentuale del 5% circa, mentre la popolazione residente si aggira intorno al 20% circa.

Ciò però non esclude la possibilità di ritrovarsi, durante l'analisi, ad avere aree con altimetria superiore a 350 m.s.l.m. non studiate dal PAI/PGRA, in cui ricadono aree inondate o punti critici definiti durante lo studio degli eventi storicamente occorsi, riportate in Piani e Programmi di governo del territorio, o derivanti da studi e analisi idrauliche di progetti. In questo caso, in via cautelativa, queste aree devono essere trattate come al punto 1 della fase 6, ovvero studiate scendendo ad un livello di dettaglio maggiore e svolgendo sopralluoghi e studi ad hoc.

