

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

RISCHIO IDROGEOLOGICO E IDRAULICO

A32_LG2

Linee guida per la redazione di carte dei punti critici idraulici

25.10.2021

Bozza finale 1.0



CIMA
POLIMI
IRPI
CAMI lab
CiNiD

Azione

A32

Miglioramento della pianificazione di emergenza comunale e intercomunale: predisposizione di scenari di evento e di rischio e individuazione delle aree a minore sostenibilità del rischio

Partner

CAMILAB - Università della Calabria

Autori

Francesco Cruscomagno

Pasquale Versace

Note / Dettagli

Questo rapporto costituisce la bozza finale del prodotto A32_LG2 “Linee guida per la redazione di carte dei punti critici idraulici”, redatta nell’ambito dell’affidamento di servizi per il “Programma per il supporto al rafforzamento della governance in materia di riduzione del rischio idrogeologico e idraulico ai fini di protezione civile” a valere sul PON Governance e Capacità istituzionale 2014-2020.

Le linee guida A32_LG2 sono uno dei prodotti da sviluppare all’interno della Linea A di intervento, Fase generale 3 “Analisi ed eventuale aggiornamento e implementazione dei Piani di emergenza comunali, intercomunali, sovracomunali e regionali”, Azione A32 “Miglioramento della pianificazione di emergenza comunale e intercomunale: predisposizione di scenari di evento e di rischio e individuazione delle aree a minore sostenibilità del rischio”.

Indice

Premessa.....	3
1 Descrizione della metodologia	4
2 Modalità applicativa.....	4
3 Individuazione dei PCP	5
3.1 Punti di intersezione tra reticolo e rete viaria/ferroviaria.....	6
3.1 Tratti tombati noti.....	7
3.1 Tratti che attraversano o fiancheggiano aree antropizzate	8
3.1 Brusche variazioni di pendenza del reticolo.....	9
3.1 Tratti di reticolo potenzialmente interessati da colate e/o da frane	10
3.1 Confluenze a rischio.....	11
4 Restituzione della cartografia tematica	12
5 Considerazioni conclusive	17
6 Bibliografia	18

Premessa

Nell'ambito del prodotto **A32_LG2 Linee guida per la redazione di carte dei punti critici idraulici**, è stata sviluppata una metodologia di analisi per individuare i punti di maggiore criticità presenti sul territorio e relativi al rischio di esondazione.

In particolare l'attenzione è stata indirizzata alla identificazione dei cosiddetti **punti critici possibili (PCP)**, cioè quelli dove potrebbe attivarsi un fenomeno di esondazione, con conseguente inondazione delle aree limitrofe.

L'individuazione dei PCP riguarda sia le aree identificate come vulnerabili nelle analisi condotte per la costruzione degli scenari di evento (vedi rapporto A32_LG4), sia quelle esterne a tali aree, che potrebbero, in parte, risultare non vulnerabili solo perché non indagate. Nel seguito indicheremo come *Aree vulnerabili* quelle identificate dal PAI e da altri documenti ufficiali e come *Altre aree* quelle non appartenenti al primo gruppo ma comprese nel territorio d'interesse (Comune, bacino, ecc)

Per le aree vulnerabili l'identificazione e l'analisi dei punti critici avviene utilizzando numerose fonti informative (vedi rapporto A32_LG4), pertanto i PCP rappresentano solo un elemento che concorre a tale identificazione. Per le altre aree, invece, i PCP sono il dato iniziale utilizzato per identificare i punti critici.

Queste Linee guida, pertanto, hanno lo scopo di:

- indicare le modalità per l'individuazione dei PCP;
- definire un set minimo di strati informativi, di carattere geomorfologico, facilmente reperibili e/o realizzabili, necessari per l'individuazione dei PCP;
- definire le modalità di analisi mirata dei PCP ricadenti nelle altre aree al fine di ricostruire un quadro di riferimento complessivo per l'identificazione delle criticità e degli squilibri idraulici che caratterizzano il territorio di interesse (bacino idrografico, comprensorio amministrativo).

È importante precisare che in queste Linee guida non si considerano i modelli finalizzati alla costruzione di carte di suscettività all'inondazione basate su criteri morfologici, litologici, idraulici e di altra natura (uso del suolo, geotecnica, etc.). La letteratura tecnica propone un gran numero di questi modelli (Lee, S. et al., 2018; Samela C. et al., 2018; Cao, C. et al. 2016; Manfreda, S. et al., 2014; Diakakis, M. 2011, ecc.) e un modello originale di questo tipo è stato sviluppato nell'ambito di questo progetto PON (vedi rapporto A21-LG1) e applicato a tutte le Regioni oggetto dell'intervento. Ma mentre i modelli di suscettività tendono a identificare le aree potenzialmente inondabili, la procedura qui riportata si limita a identificare solo i punti o i tratti in cui ci sono condizioni morfologiche, geologiche e antropiche che potrebbero favorire localmente l'attivazione di un'esondazione, e quindi focalizza l'interesse direttamente sui punti meritevoli di particolare attenzione e non considerano l'estensione e la localizzazione delle aree che potrebbero essere inondate.

Il metodo è di facile applicazione e, come si vedrà, può essere considerato speditivo.

1 Descrizione della metodologia

La metodologia proposta è finalizzata a individuare i PCP lungo un corso d'acqua e, in particolare, i punti o i tratti che saranno indicati nel successivo capitolo 3

Il livello di dettaglio a cui ci si può spingere con questa metodologia rappresenta anche uno dei suoi punti di forza. Difatti nella fase di analisi, in funzione del livello di dettaglio degli strati informativi utilizzati, si può arrivare a censire anche situazioni di possibile criticità non "visibili" con altre metodologie di mappatura della pericolosità idrogeologica e idraulica. Strati informativi quali il reticolo idrografico ed il modello digitale del terreno se disponibili a scala di grande dettaglio consentono la determinazione di criticità puntuali non altrimenti determinabili (come ad esempio sottopassi pedonali o aree urbane depresse e/o confinate).

Come si vedrà meglio nei successivi capitoli 2 e 3, la modalità applicativa della metodologia è costituita prevalentemente da analisi da eseguire in ambiente GIS (con software specifici, ma di facile reperibilità e soprattutto disponibili anche in configurazione Free ed Open Source) che necessitano dell'implementazione di semplici operazioni di geoprocessing sui dati.

I limiti principali di applicazione sono legati alla qualità ed alla disponibilità dei dati. Il metodo, infatti, prevede solo analisi su strati informativi già disponibili e non basati su rilievi ex novo e che riguardano, in particolare: il reticolo idrografico (dal quale desumere, ad esempio, i tratti tombati), la carta tecnica regionale e la rete stradale. Il risultato delle analisi sarà, ovviamente, tanto più affidabile quanto più i layer disponibili risulteranno aggiornati e redatti secondo le direttive di settore.

2 Modalità applicativa

La metodologia consiste nell'effettuare una serie di analisi su un insieme di strati informativi rappresentativi dell'area di cui si vogliono individuare i PCP. I layer necessari per le analisi sono i seguenti:

1. Carta tecnica regionale (solitamente disponibile con un livello di dettaglio in scala 1:5000);
2. Grafo della rete stradale;
3. Grafo della rete ferroviaria;
4. Reticolo idrografico (possibilmente gerarchizzato);
5. Delimitazione delle aree abitate;
6. Modello digitale del terreno (DTM);
7. Perimetrazione delle aree in frana che incombono sull'alveo fluviale.

Tre dei layer sopra elencati (grafo della rete stradale, rete ferroviaria e delimitazione delle aree abitate) in teoria possono essere consideranti ridondanti in quanto le informazioni in essi contenute possono desumersi anche dalla c.t.r. (carta tecnica regionale). Tuttavia, l'operazione di estrazione degli strati informativi dalla c.t.r. di solito non è consigliabile in quanto risulta onerosa e può presentare problemi di discontinuità e carenza di informazioni. Pertanto si preferisce, ove possibile, utilizzare strati informativi appositamente predisposti.

Tutti gli strati informativi elencati devono essere disponibili in formato vettoriale. Di solito la c.t.r. è realizzata in formato vettoriale ma secondo uno standard grafico molto diffuso negli anni scorsi e di prevalente utilizzo negli uffici tecnici della pubblica amministrazione ma anche presso i professionisti, ovvero lo standard CAD. Questa modalità di restituzione è poco compatibile con lo standard GIS per cui è necessario, per un corretto utilizzo della c.t.r. in ambiente GIS, effettuare delle operazioni di trasformazione del dato dallo standard CAD a quello GIS.

Con il diffondersi sul territorio nazionale dei geoportali per la condivisione dei dati territoriali è sempre più frequente la possibilità di reperire la c.t.r. in formato GIS per cui prima di adoperarsi in trasformazioni di dati è bene verificare la disponibilità delle c.t.r. nel formato più adatto.

Per il grafo della rete stradale esiste la possibilità di utilizzare dati frequentemente aggiornati avendo come riferimento i database open-source messi a disposizione dal progetto Open Street Map.

Nella fase applicativa della metodologia le analisi devono essere effettuate attraverso l'ausilio di software GIS. Mediante il software si visionano tutti gli strati informativi raccolti e con opportune operazioni di sovrapposizione (overlay cartografico) si verifica la congruenza degli stessi. Questa operazione risulta di fondamentale importanza visto che quasi tutte le operazioni da eseguire successivamente e che portano all'individuazione dei punti suscettibili di inondazione, sono basate sul concetto dell'intersezione tra due strati informativi per cui se questi non risultano congruenti e sovrapponibili il risultato delle analisi non sarà attendibile.

3 Individuazione dei PCP

L'individuazione dei punti critici possibili, come già anticipato, avviene attraverso analisi GIS, con le quali è possibile identificare:

1. Punti di intersezione tra reticolo e rete viaria/ferroviaria;
2. Tratti tombati noti (derivanti dall'analisi della c.t.r. o del reticolo idrografico);
3. Tratti che attraversano o fiancheggiano aree abitate o, più in generale, antropizzate;
4. Brusche variazioni di pendenza del reticolo;
5. Tratti potenzialmente interessati da colate e/o da frane;
6. Confluenze di particolare rilevanza.

Le funzioni di analisi utilizzate sono quelle proprie dell'analisi spaziale e costituiscono la caratteristica principale di un software GIS. Tali funzioni includono strumenti che consentono di elaborare sia i dati spaziali sia gli attributi ad essi collegati, per rispondere a specifiche domande sulle loro caratteristiche e su ciò che rappresentano.

Attraverso queste elaborazioni è possibile generare e derivare nuove informazioni e ottenere, in questo caso specifico, l'individuazione dei punti critici possibili.

3.1 Punti di intersezione tra reticolo e rete viaria/ferroviaria

Questi punti si ottengono effettuando una operazione di intersezione tra gli strati informativi del reticolo fluviale e dei grafi stradali e ferroviario. L'analisi spaziale consente di selezionare elementi del layer target (strade) che hanno parti in comune (intersecano) elementi del layer di riferimento (reticolo fluviale). Si ottengono così quei punti in cui le strade incrociano il reticolo fluviale e dove possono essere presenti attraversamenti stradali, tombini o semplicemente guadi. Ripetendo l'operazione di intersezione tra reticolo e tracciato ferroviario si ottiene, in modo analogo, la localizzazione di tutti gli attraversamenti ferroviari.

L'operazione di intersezione, tal quale, tra i due layer del reticolo fluviale e della rete viaria fornisce come risultato un layer di punti contenente tutte le possibili intersezioni. Queste ultime possono essere anche molto numerose. In caso di necessità legata ai tempi e ai costi dell'indagine si può ridurre il loro numero considerando solo una parte del reticolo fluviale e/o solo una parte della rete viaria. Tuttavia è sempre auspicabile spingere l'analisi ai livelli di maggior dettaglio. A titolo di esempio, nell'ipotesi che il reticolo fluviale sia gerarchizzato secondo il criterio di Horton, si potrebbero trascurare, almeno in una prima fase, i rami di ordine inferiore ad un determinato valore.

Nelle applicazioni ai casi di studio, sviluppate in ambito PON, è stato considerato solo il reticolo di ordine non inferiore a 4, con l'eccezione delle intersezioni con le principali vie di comunicazione e con le aree interessate da frana, soprattutto se sede di potenziale innesco di colate di fango o di detrito.

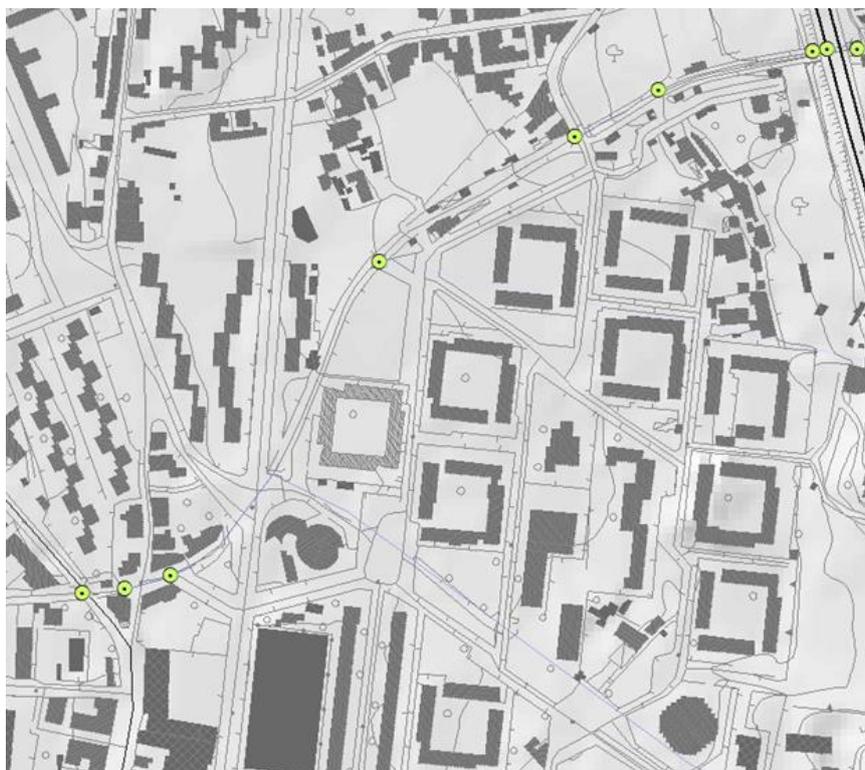


Fig. 1 – Punti (pallini verdi) ottenuti dall'intersezione del reticolo fluviale avente ordine di Horton ≥ 4 e la rete stradale.

A valle delle operazioni di individuazione dei PCP dev'essere attuata una verifica dell'effettiva presenza di criticità. Questa verifica prevede due fasi:

1. verifica preliminare fatta a distanza attraverso un primo screening basato sull'analisi di immagini satellitari (fornite, ad esempio, dalle piattaforme Google Earth o Bing) e avvalendosi di strumenti quali street view o di altri tool similari che consentono di visionare le aree in cui ricade ogni singolo PCP;
2. qualora la verifica eseguita con le modalità del punto precedente non consenta di discriminare adeguatamente i PCP, oppure per i nodi più incerti, si esegue una verifica in campagna della effettiva criticità dei PCP, con compilazione delle relative schede descrittive.

3.2 Tratti tombati noti

Per l'individuazione dei tratti tombati non si effettua alcuna operazione di intersezione degli strati informativi, ma si opera un'interrogazione sugli attributi associati ai layer (query spaziale).

Se gli strati informativi sono stati predisposti secondo le recenti normative di settore e rispettano le specifiche di contenuto valide per i dati geotopografici, si può derivare l'informazione relativa ai tratti tombati semplicemente operando una query sul layer del reticolo idrografico, per il quale, tra gli attributi, sarà presente un campo che identifica le caratteristiche del corso d'acqua. La selezione di tutti i tratti classificati con le specifiche di un tratto non visibile o sotterraneo consente di creare un nuovo strato informativo che appunto rappresenterà i tratti tombati noti.

Qualora lo strato informativo del reticolo non presenti gli attributi necessari per effettuare le operazioni di query appena descritte, si dovrà ricorrere alla carta tecnica regionale, dalla quale desumere, con una procedura visiva e quindi non automatica, i tratti di reticolo dove questo non scorre in superficie.

<i>Componenti spaziali della classe</i>					RC3
040401101	EL_IDR_TRA	Tracciato	GU_CPCurve3D - Composite Curve 3D		P
rappresenta la mezzeria del corso d'acqua.					
<i>Attributi di questa componente spaziale</i>					RC5
04040101	EL_IDR_TY	Tipo di elemento idrico	Enum	aTratti su Tracciato	P
specifica se si tratta di mezzeria, di tracciato virtuale (all'interno di uno specchio d'acqua) o di tracciato fittizio (nel caso ad esempio di percorsi sotterranei o tombinati) introdotto per garantire la connessione del reticolo idrografico					
<i>Dominio (Tipo di elemento idrico)</i>					RC5
01	mezzeria	rappresenta il flusso dell'acqua di un corso d'acqua: ogni tratto di mezzeria può essere contenuto, anche parzialmente in una superficie di alveo inciso			P
02	virtuale	rappresenta il flusso virtuale di un corso d'acqua all'interno di uno specchio d'acqua			P
03	fittizio	rappresenta il flusso di un corso d'acqua non visibile (sotterraneo o tombinato). NOTE: è opportuna una metainformazione che specifichi l'affidabilità del tracciato fittizio: se cioè corrispondente alla realtà o no			P

Fig. 2 – Particolare delle specifiche di contenuto per il reticolo idrografico (Regione Calabria) con evidenziato l'attributo che identifica i tratti tombati.

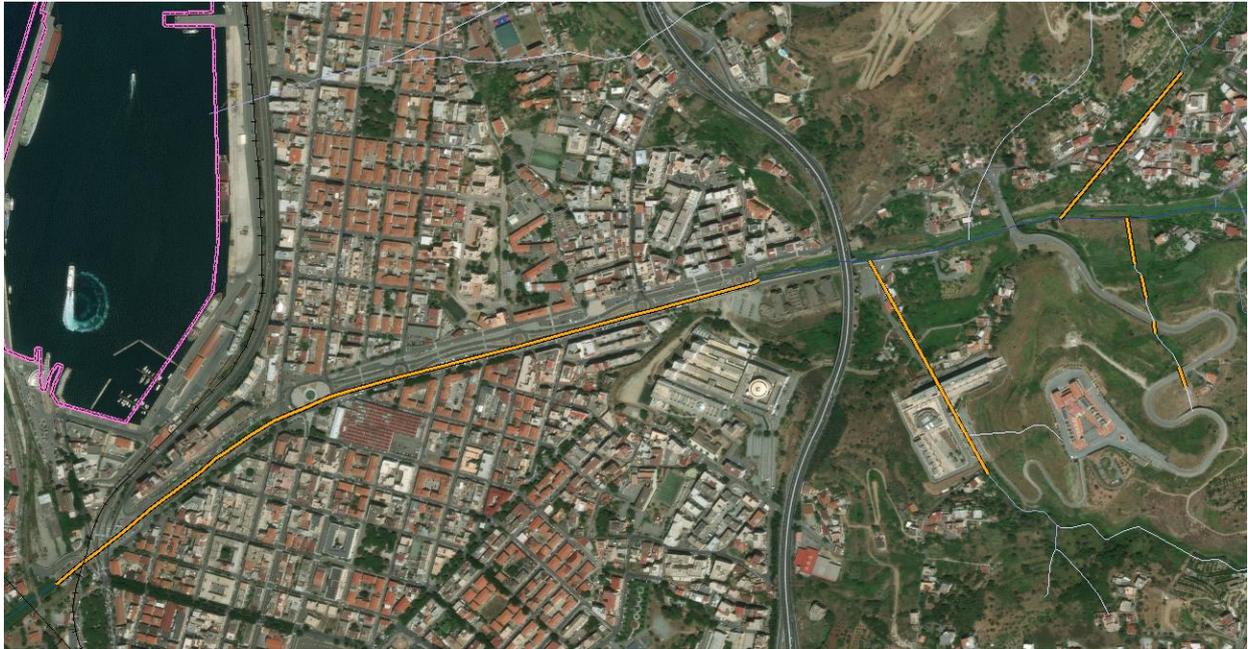


Fig. 3 – Individuazione dei tratti tombati per la città di Reggio Calabria (tratti di colore arancio). Particolare dell’asta terminale della fiumara Annunziata.

3.3 Tratti che attraversano o fiancheggiano aree antropizzate

Per individuare i tratti di reticolo idrografico che interessano le zone antropizzate, si applica una procedura analoga a quella utilizzata per il caso dei punti di intersezione tra reticolo e rete viaria.

Si tratta, in sostanza, di effettuare un’analisi spaziale che, tramite l’operazione di intersezione dei layer del reticolo idrografico e delle aree abitate, individua quei tratti nei quali un’eventuale esondazione potrebbe provocare danni rilevanti. Tra questi tratti possono trovarsi anche i cosiddetti alvei strada la cui pericolosità è ben nota.

A valle di questa prima analisi è necessario confrontare il risultato dell’operazione di intersezione con la carta tecnica regionale per individuare l’esistenza di effettive potenziali criticità, escludendo tutti i tratti in cui:

- sono presenti arginature o il corso d’acqua è chiaramente incassato,
- non ci sono strettoie o brusche variazioni nell’andamento planimetrico,
- non sono presenti ostacoli naturali o artificiali.



Fig. 4 – Classico esempio di alveo strada.

3.4 Brusche variazioni di pendenza del reticolo

Le brusche variazioni di pendenza condizionano localmente lo stato di equilibrio a cui un corso d'acqua tende naturalmente. In particolare le diminuzioni di pendenza inducono una riduzione della sua capacità di trasporto solido. L'effetto più evidente della variazione (diminuzione) della pendenza è l'aumento della sedimentazione con conseguente innalzamento generalizzato della quota di fondo (alluvionamento). Questo processo può portare alla diminuzione o addirittura all'annullamento dell'efficienza idraulica nei tratti in cui si manifesta e di conseguenza aumenta notevolmente la possibilità che in tali tratti si manifestino delle esondazioni in occasione di eventi di piena.

Per l'identificazione dei tratti di alveo in cui si presentano brusche diminuzioni della pendenza longitudinale è necessario operare sugli strati informativi del reticolo fluviale e del modello digitale del terreno. Dal DTM si estrae, con semplici operazioni GIS, l'andamento plano-altimetrico del reticolo. Successivamente si suddivide il reticolo in tratti di eguale lunghezza e poi, per ogni tratto, si valuta la pendenza media nel tratto. La lunghezza dei tratti in cui si suddivide il reticolo è arbitraria e legata alla tipologia di corso d'acqua e anche alla eventuale presenza di opere lungo il tracciato. Infine, analizzando gli attributi (pendenza media nei vari tratti) generati nelle fasi precedenti e confrontando i valori restituiti per due tratti consecutivi, si possono individuare le riduzioni di pendenza. Queste ultime possono essere considerate brusche quando superano un determinato valore che anche in questo caso dipende dalla tipologia di corso d'acqua. Nei casi di studio si è assunta come valore soglia una diminuzione della pendenza del 10%.

Un controllo immediato, per un riscontro sulla corretta individuazione del tratto con brusca diminuzione di pendenza, può essere eseguito analizzando foto aeree recenti dalle quali è facile notare la presenza o meno di un tratto sovralluvionato. Sulla base di questo controllo è possibile ridurre il numero di tratti fluviali da indagare ulteriormente.

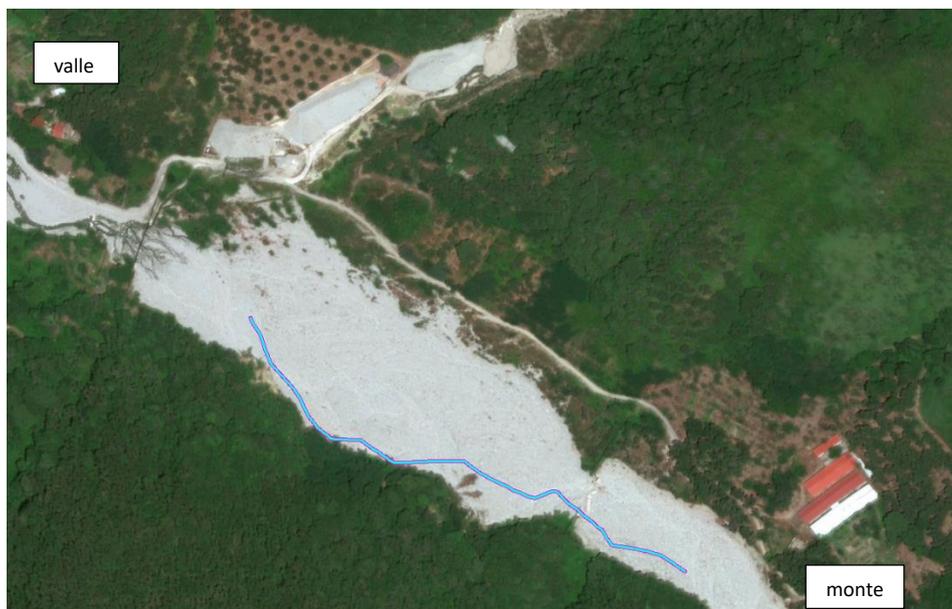


Fig. 5 –Esempio di tratto con brusca diminuzione di pendenza, individuato nella fiumara di Gallico. La linea celeste evidenzia i due tratti (consecutivi) in cui si manifesta la variazione della pendenza.

3.5 Tratti di reticolo potenzialmente interessati da colate e/o da frane

Anche in questo caso l'identificazione avviene effettuando un'analisi spaziale tramite l'operazione di intersezione tra i layer del reticolo idrografico e delle aree cartografate come franose, desunte dalla documentazione disponibile (PAI; IFFI, ecc.) e/o presenti nella cartografia degli scenari di evento da frana, ove disponibile.

L'informazione che si ottiene rispetto alla tipologia di evento atteso è, ovviamente, strettamente correlata al dettaglio di cui si dispone in merito alle frane. Di conseguenza la differenziazione, ad esempio, tra possibili colate e possibili movimenti franosi più lenti, può essere effettuata solo se la caratterizzazione dei movimenti di versante è adeguata. Un controllo speditivo finalizzato a eliminare i tratti che appaiono palesemente non critici può essere eseguito utilizzando foto aeree recenti, che consentano una più dettagliata collocazione spaziale della zona di interesse e una valutazione di massima degli effetti che l'eventuale movimento franoso potrebbe produrre. Inoltre, sempre nell'ottica di limitare il numero delle possibili criticità, nel metodo proposto si suggerisce di considerare almeno tutto il reticolo di ordine 3 e superiore, anche se è auspicabile sviluppare l'indagine anche agli ordini inferiori.

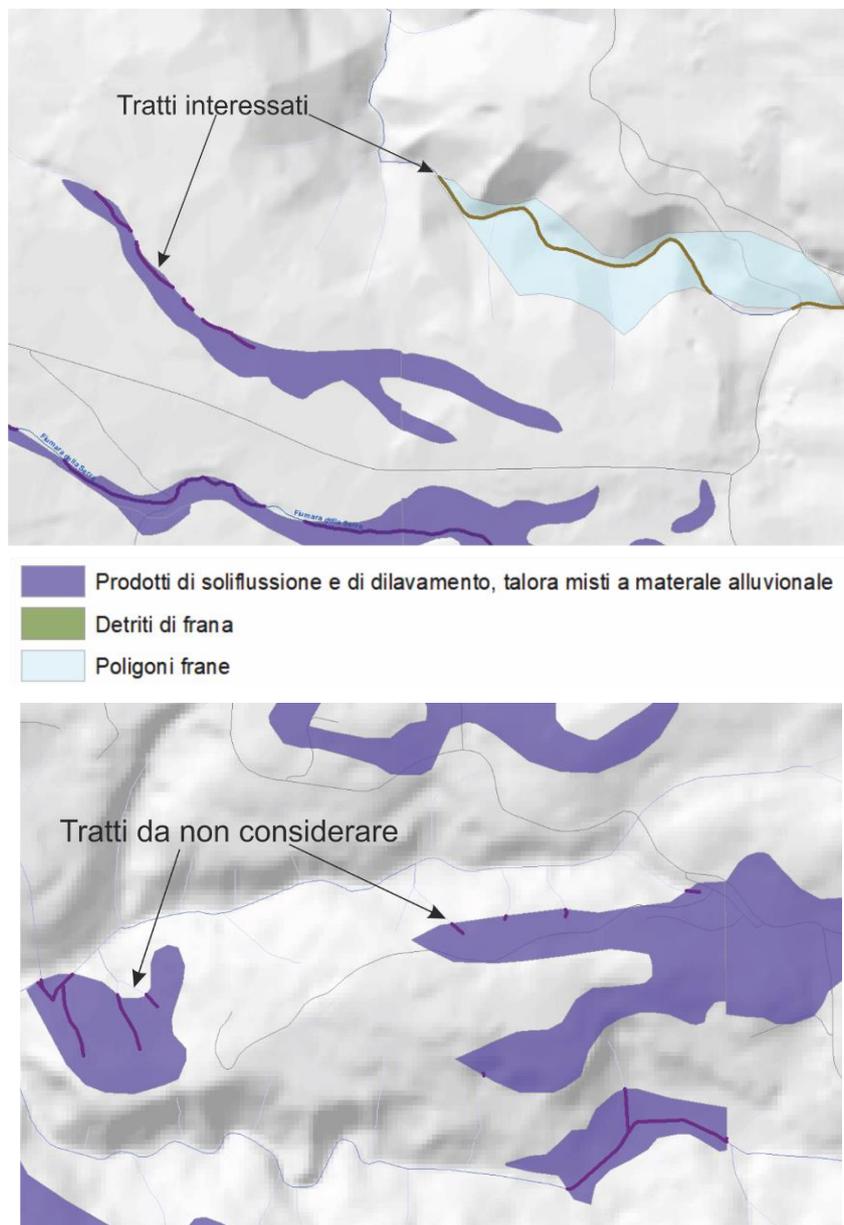


Fig. 6 –Esempio di individuazione di tratti di reticolo interessate da conoidi e/o frane

3.6 Confluenze a rischio

La confluenza di due corsi d'acqua può essere un altro PCP. Infatti, quando un affluente si immette in un corso d'acqua con portate maggiori si può verificare un fenomeno di rigurgito che rende inondabili le aree subito a monte della confluenza. Se, invece, si considera il corso d'acqua principale un analogo problema può porsi all'incrocio con un affluente di rilevanza comparabile.

Per individuare i PCP, che potrebbero aversi a monte del punto di confluenza, la procedura proposta considera:

- le confluenze tra due tronchi dello stesso ordine di Horton o due tronchi che differiscono tra loro di un ordine, a partire dai tratti di reticolo avente ordine gerarchico pari a 4. In tal caso la potenziale criticità è poco più a monte in entrambi i casi;
- per affluenti che confluiscono in un tronco superiore di almeno due ordini, la potenziale criticità è solo nel tratto dell'affluente a monte della confluenza.

La localizzazione di questi punti può essere effettuata in automatico in ambiente GIS implementando un breve algoritmo. La procedura consiste nella creazione, a partire dal grafo del reticolo gerarchizzato, del cosiddetto “geometric network” ossia la rete geometrica che individua le connessioni presenti in una determinata entità grafica (in questo caso le linee costituenti il reticolo) e che generalmente vengono caratterizzate come bordi e giunzioni. A seguito della individuazione delle giunzioni (o nodi) si esegue un’analisi spaziale (spatial join) che consente di individuare per ogni giunzione sia il numero di bordi che in essa convergono sia il livello gerarchico posseduto da ogni bordo. Per ogni giunzione, l’analisi degli attributi così determinati, consente di determinare, secondo i criteri prima esposti, i PCP relativi alle confluenze.

L’applicazione di questa procedura nell’area di Reggio Calabria ha permesso di individuare ben 57 punti, come mostrato nella successiva figura 11.

4 Restituzione della cartografia tematica

Tutte le elaborazioni, effettuate con l’applicazione della metodologia descritta nei precedenti paragrafi, producono come risultato nuovi strati informativi, che concorrono ad identificare i PCP.

I nuovi layer ottenuti, tutti di tipo vettoriale, devono essere sottoposti alla cosiddetta procedura di vestizione con la quale, in fase di rappresentazione, si attribuisce un segno convenzionale ad una determinata geometria (punto, linea o poligono). Tutti i nuovi strati informativi ottenuti presentano una geometria di tipo puntuale o lineare.

Oltre ai nuovi layer generati la cartografia dovrà contenere strati informativi di base che servono per contestualizzare l’informazione e migliorarne la comprensione. Alcuni degli strati informativi appartenenti al cosiddetto set minimo devono sicuramente far parte degli strati di base. È il caso, ad esempio, del reticolo idrografico e della carta tecnica regionale o in alternativa (qualora la scala di rappresentazione lo rendesse necessario) del modello digitale del terreno.

La qualità di una mappa influisce fortemente sulla capacità di trasmettere, nel modo più adeguato, le informazioni e sotto questo aspetto, la vestizione ricopre un ruolo di fondamentale importanza. A titolo di esempio si riportano alcune carte prodotte nell’ambito dei casi di studio.

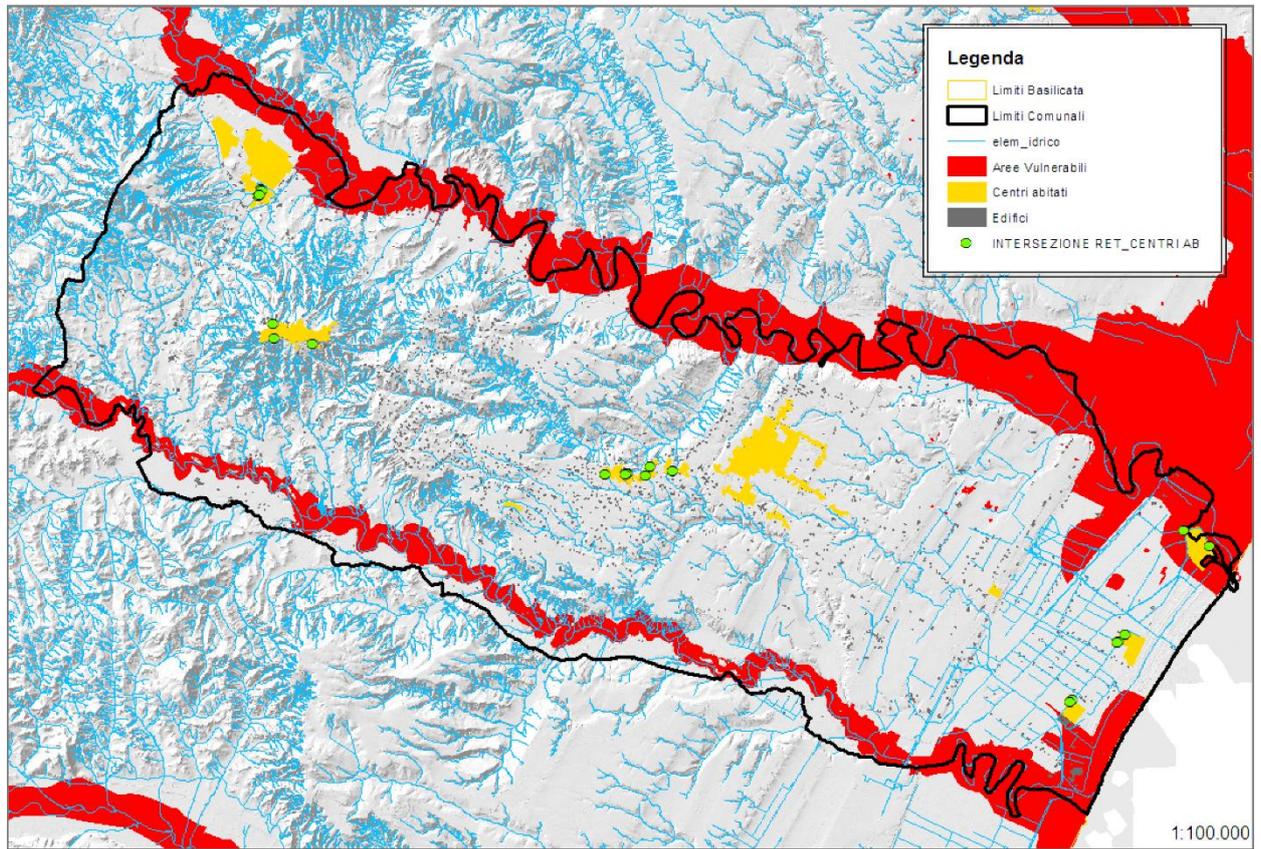


Fig. 7 – Esempio di individuazione di PCP (tratti che attraversano o fiancheggiano aree antropizzate) per il comune di Pisticci

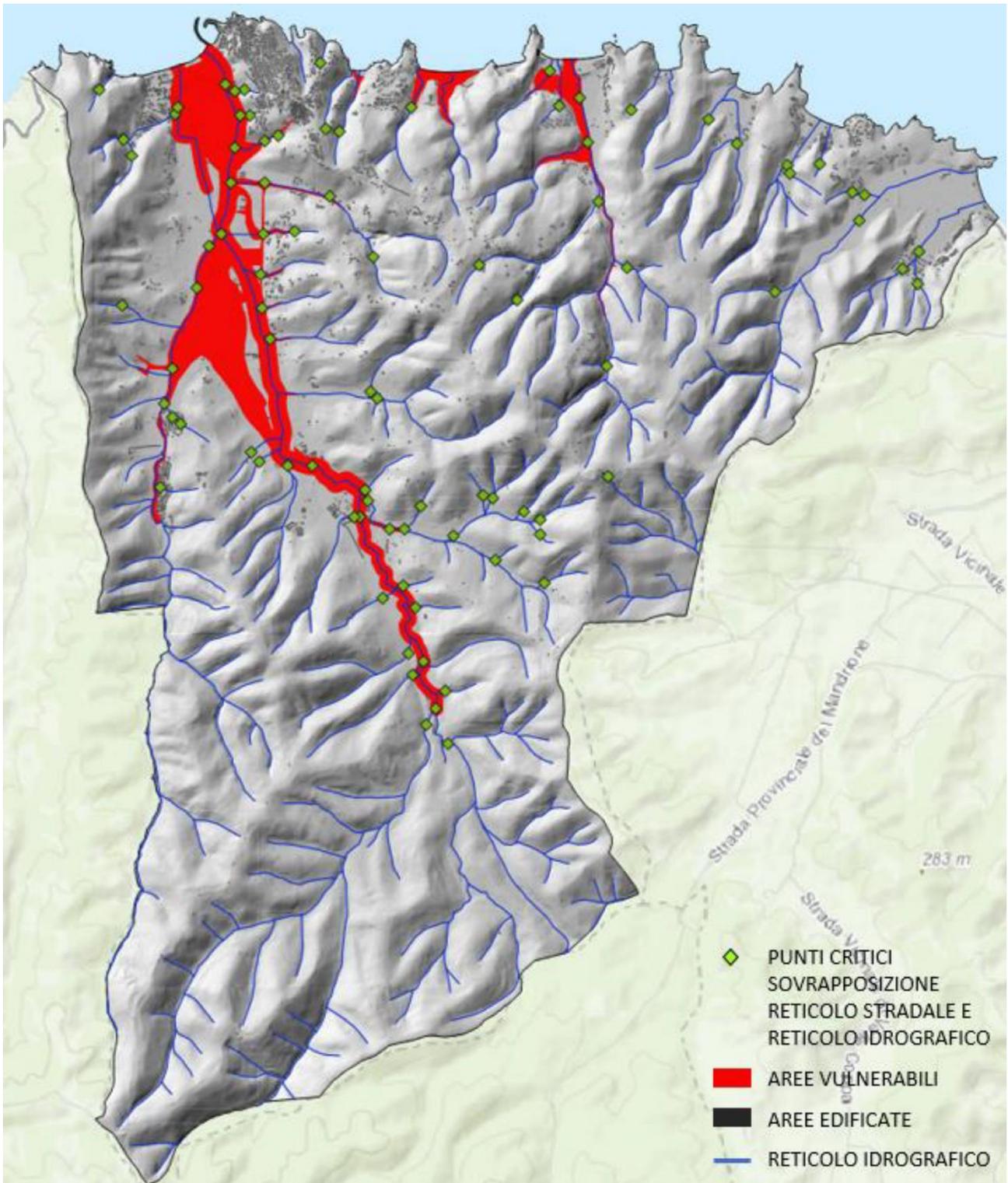


Fig. 8 –Esempio di individuazione di PCP (intersezione tra reticolo e rete viaria/ferroviaria) per il comune di Peschici.

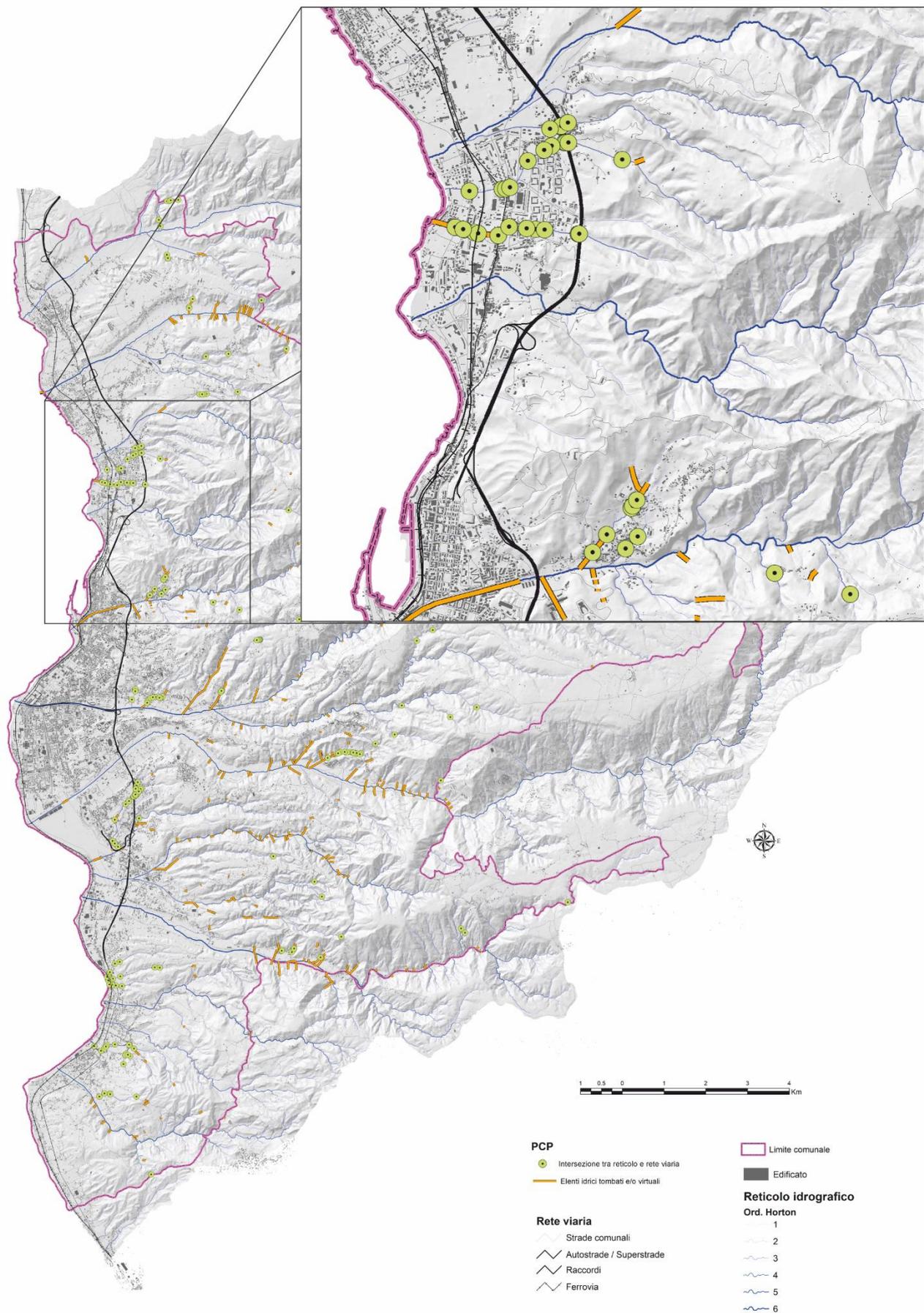


Fig. 9 –Esempio di individuazione di PCP (intersezione tra reticolo e rete viaria; tratti tombati) per il comune di Reggio Calabria.

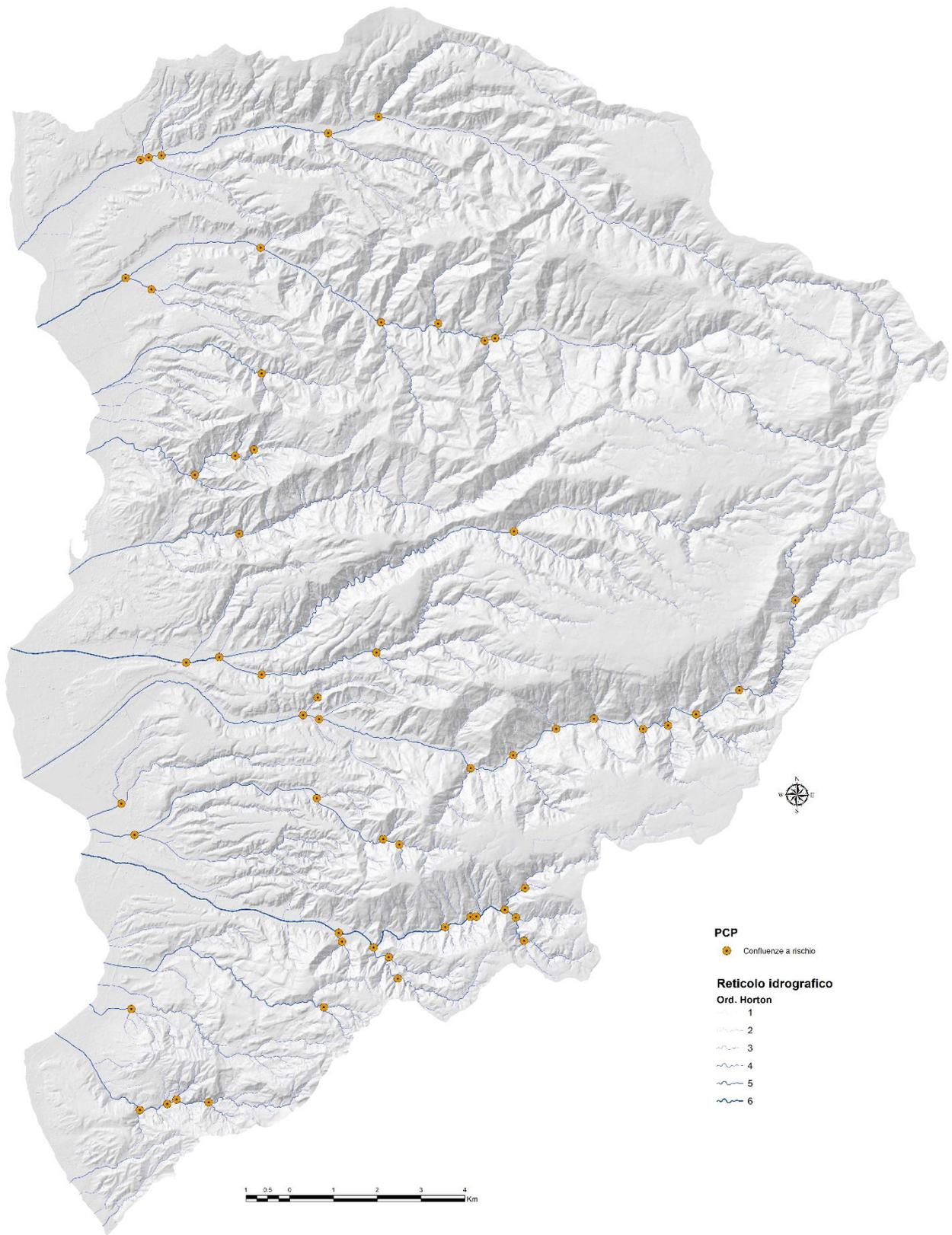


Fig. 10 –Esempio di individuazione di confluenze a rischio

5 Considerazioni conclusive

La metodologia descritta è stata applicata ai casi di studio previsti dal progetto. I risultati sono contenuti negli specifici elaborati. Alcuni esempi sono stati riportati nelle pagine precedenti di queste Linee guida.

Come già accennato in questo rapporto e descritto, con dettaglio molto maggiore, nel rapporto A32_LG4, nelle aree vulnerabili i PCP sono un'informazione preliminare, ma non esclusiva, per individuare i punti effettivamente critici (indicati come PCN-Punti Critici Noti). Nelle altre aree i PCP sono da considerare come l'informazione preliminare da approfondire nelle successive fasi di analisi. In particolare sulle carte degli scenari di evento di livello 1 si riportano per le aree vulnerabili tutti i PCN, debitamente identificati e schedati, mentre per le altre aree si riportano a scopo cautelativo tutti i PCP anche se non ancora completamente indagati. Negli scenari di livello 2, invece, non ci sono più PCP ma solo quelli che a fronte di una più adeguata analisi si sono rivelati essere PCN e sono stati perciò adeguatamente schedati. Ovviamente una parte, anche consistente dei PCP sarà eliminata perché priva del requisito di criticità.

Nelle altre aree la procedura di verifica della criticità dei PCP avviene secondo tre momenti successivi:

- a. individuazione dei PCP con le tecniche indicate in questo rapporto;
- b. verifica preliminare fatta a distanza, con le modalità indicate in questo rapporto;
- c. verifica in campagna della effettiva criticità dei PCP e compilazione delle relative schede descrittive.

Al livello 1 di analisi degli scenari, a seconda dei casi, si potrà pensare di sviluppare oltre alla fase a) anche la fase b), sia pure in modo speditivo e da approfondire successivamente. Nel caso in cui una simile ipotesi risulti troppo onerosa ci si limita alla fase a), rimandando entrambe le fasi b) e c) agli scenari di livello 2.

Altro aspetto importante da mettere in luce è che in alcuni casi di studio il numero dei PCP nelle altre aree è risultato troppo alto, rendendo non più speditiva l'intera procedura.

Ne deriva la necessità di fissare uno o più criteri che consentano, almeno in prima approssimazione, di definire la priorità nello sviluppo della fase b), ferma restando la necessità di estenderla comunque a tutti i PCP. I criteri che possono adottarsi sono diversi e vanno scelti caso per caso. A titolo di esempio, si può dare la priorità in base:

- alla suscettività all'inondazione delle aree in prossimità dei PCP,
- alla presenza di aree antropizzate nelle vicinanze dei PCP,
- all'ordine gerarchico di Horton dei tronchi su cui insistono i PCP,

o anche ad altri criteri similari.

6 Bibliografia

Chen Cao, Peihua Xu, Yihong Wang, Jianping Chen, Lianjing Zheng and Cencen Niu (2016). *Flash Flood Hazard Susceptibility Mapping Using Frequency Ratio and Statistical Index Methods in Coalmine Subsidence Areas*. Sustainability, doi: <https://doi.org/10.3390/su8090948>

Diakakis, M. (2011). *A method for flood hazard mapping based on basin morphometry: application in two catchments in Greece*. Nat Hazards 56, 803–814. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11069-010-9592-8>

Dodov, B.A., and Foufloula-Georgiou, E., 2006. *Floodplain Morphometry Extraction From a High-Resolution Digital Elevation Model: A Simple Algorithm for Regional Analysis Studies*, IEEE Geosci. Remote S, 3(3).

Farhan, M., Mozaam, Ul. Vansarochana, A. & Rahman, AU. (2018). *Analysis of flood susceptibility and zonation for risk management using frequency ratio model in District Charsadda, Pakistan*. International Journal of Environment and Geoinformatics (IJEGEO), Vol. 5(2), 140-153.

Sunmin Lee, Saro Lee, Moungh-Jin Lee and Hyung-Sup Jung (2018). *Spatial Assessment of Urban Flood Susceptibility Using Data Mining and Geographic Information System (GIS) Tools*. Sustainability, doi: <https://doi.org/10.3390/su10030648>

Manfreda, S., Samela, C., Gioia, A. et al. (2015). *Flood-prone areas assessment using linear binary classifiers based on flood maps obtained from 1D and 2D hydraulic models*. Nat Hazards 79, 735–754. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1869-5>

Manfreda, S., Nardi, F., Samela, C., Grimaldi, S., Taramasso, A.C., Roth, G., Sole, A., 2014. *Investigation on the Use of Geomorphic Approaches for the Delineation of Flood Prone Areas*. Journal of Hydrology, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.06.009>

Manfreda, Salvatore & Sole, Aurelia & Di Leo, Margherita. (2011). *Detection of Flood-Prone Areas Using Digital Elevation Models*. Journal of Hydrologic Engineering. 16. 781-790. 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000367.

Omid Rahmati, Hamid Reza Pourghasemi & Hossein Zeinivand (2015): *Flood susceptibility mapping using frequency ratio and weights-of-evidence models in the Golastan Province, Iran*, Geocarto International, DOI: 10.1080/10106049.2015.1041559.

Samela, Caterina & Albano, Raffaele & Sole, Aurelia & Manfreda, Salvatore. (2018). *A GIS tool for cost-effective delineation of flood-prone areas*. Computers, Environment and Urban Systems. 10.1016/j.compenvurbsys.2018.01.013.

Sanda, & Rosca, Sanda & Iacob, I. (2012). *FLOOD SUSCEPTIBILITY ASSESSMENT IN THE NIRAJ BASIN*. Air and Water component of the environment conference. 3. 488-495.

Stathopoulos, Nikos & Kalogeropoulos, Kleomenis & Polykretis, Christos & Skrimizeas, Panagiotis & Louka, Panagiota & Karymbalis, Efthimios & Chalkias, Christos. (2017). *Introducing Flood Susceptibility Index Using Remote-Sensing Data and Geographic Information Systems: Empirical Analysis in Sperchios River Basin, Greece*. in book: Remote Sensing of Hydrometeorological Hazards, Edition: 1, Chapter: 18, Publisher: CRC Press, Editors: George P. Petropoulos, Tanvir Islam . doi: 10.1201/9781315154947-18.

Tehrany, Mahyat & Pradhan, Biswajeet & Mansor, Shattri & Ahmad, Noordin. (2015). *Flood susceptibility assessment using GIS-based support vector machine model with different kernel types*. Catena. 125. 91–101. 10.1016/j.catena.2014.10.017.

Cristiano Pesaresi. Applicazioni GIS. Principi metodologici e linee di ricerca. Esercitazioni ed esemplificazioni guida. UTET, 2017. EAN: 9788860084880

the 1990s, the number of people in the UK who are employed in the public sector has increased from 10.5 million to 12.5 million, and the number of people in the public sector who are employed in health care has increased from 2.5 million to 3.5 million (Department of Health 2000).

There are a number of reasons for the increase in the number of people employed in the public sector. One reason is that the public sector has become a major employer in the UK. Another reason is that the public sector has become a major employer in the health care sector. A third reason is that the public sector has become a major employer in the education sector. A fourth reason is that the public sector has become a major employer in the social care sector.

The increase in the number of people employed in the public sector has led to a number of challenges for the public sector. One challenge is that the public sector has become a major employer in the health care sector, and this has led to a number of challenges for the health care sector. Another challenge is that the public sector has become a major employer in the education sector, and this has led to a number of challenges for the education sector. A third challenge is that the public sector has become a major employer in the social care sector, and this has led to a number of challenges for the social care sector.

One of the challenges for the health care sector is that the public sector has become a major employer in the health care sector, and this has led to a number of challenges for the health care sector. Another challenge is that the public sector has become a major employer in the education sector, and this has led to a number of challenges for the education sector. A third challenge is that the public sector has become a major employer in the social care sector, and this has led to a number of challenges for the social care sector.

One of the challenges for the education sector is that the public sector has become a major employer in the education sector, and this has led to a number of challenges for the education sector. Another challenge is that the public sector has become a major employer in the social care sector, and this has led to a number of challenges for the social care sector. A third challenge is that the public sector has become a major employer in the health care sector, and this has led to a number of challenges for the health care sector.

One of the challenges for the social care sector is that the public sector has become a major employer in the social care sector, and this has led to a number of challenges for the social care sector. Another challenge is that the public sector has become a major employer in the health care sector, and this has led to a number of challenges for the health care sector. A third challenge is that the public sector has become a major employer in the education sector, and this has led to a number of challenges for the education sector.

One of the challenges for the health care sector is that the public sector has become a major employer in the health care sector, and this has led to a number of challenges for the health care sector. Another challenge is that the public sector has become a major employer in the education sector, and this has led to a number of challenges for the education sector. A third challenge is that the public sector has become a major employer in the social care sector, and this has led to a number of challenges for the social care sector.

One of the challenges for the education sector is that the public sector has become a major employer in the education sector, and this has led to a number of challenges for the education sector. Another challenge is that the public sector has become a major employer in the social care sector, and this has led to a number of challenges for the social care sector. A third challenge is that the public sector has become a major employer in the health care sector, and this has led to a number of challenges for the health care sector.