

ALMA MATER STUDIORUM A.D. 1088  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

---

---

SCUOLA DI SCIENZE

Corso di Laurea Magistrale in Geologia e Territorio

Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche ed Ambientali

Tesi di Laurea Magistrale

Analisi del rischio idraulico in ambiente  
urbano: il caso del torrente Ravone a  
Bologna

Candidato:

Amedeo Bracaloni

Relatore:

Prof. Mario Martina

Correlatore:

Francesco Dottori

---

---

Sessione Marzo 2016  
Anno Accademico 2014-2015

## PREMESSA

Il seguente elaborato si basa su un precedente studio, “Nubifragi e rischio idraulico nella collina bolognese: il caso studio del torrente Ravone”, realizzato nell’ottobre 2013 da Arpa Emilia-Romagna, Servizio IdroMeteoClima. Con la premessa che eventi di pioggia improvvisi ed intensi possano sempre verificarsi, non è da sottovalutare il comportamento e il potenziale rischio idraulico annesso dei corsi d’acqua minori che attraversano zone antropizzate. Nello specifico il torrente Ravone, che scorre dalle colline a sud-ovest di Bologna giungendo sino al quartiere Saragozza e così via fino ad immettersi nel fiume Reno, è stato scelto come bacino campione sul quale applicare la modellistica idrologica, per verificare la risposta in termini di deflusso del bacino, naturale ed artificiale, ad eventi piovosi di eccezionale entità ma già accaduti e che hanno creato diverse criticità, come riportano fonti storiche e dati pluviometrici. E’ stato svolto quindi uno studio preliminare sulla pericolosità idraulica, dove si mettevano in relazione precipitazione e portata di deflusso risultante, indentificando la portata massima entrante nella sezione tombata.

Da questi concetti si è deciso di approfondire in questo progetto l’argomento del potenziale rischio idraulico, perché per definizione, una zona esposta a pericolosità anche elevata non è soggetta a rischio se non vi sono persone e/o beni esposti a tale pericolo. Di conseguenza è stato svolto un lavoro di ridefinizione dei valori di precipitazione e dei tempi di ritorno, ricalcolando tramite l’ambiente di calcolo “R” le linee segnalatrici di probabilità pluviometrica riferite ai valori massimi annuali di precipitazione dall’osservatorio di Bologna San Luca; in seguito sono state create le mappe di pericolosità come previsto dalla normativa vigente [D.Lgs. 49/2010] indicando le probabilità di accadimento [P1,P2,P3].

Segue un’attenta analisi degli edifici esposti nell’area del torrente Ravone, sia dove scorre naturalmente sia dove è sotto il livello stradale: si tratta di edifici residenziali e scolastici valutati in termini strutturali ed economici, definendo ogni costruzione con i valori di area di area di base, perimetro, quota terreno, altezza e numero di piani, valutando le caratteristiche generali e strutturali dell’edificio.

Anche in questo caso è stato utilizzato il modello di calcolo INSYDE che calcola il danno economico per ogni edificio, per ogni componente di danno che lo costituisce, sull’intera area potenzialmente a rischio e per ogni tempo di ritorno, inglobando in esso il parametro della vulnerabilità, ovvero la percentuale del bene esposto che in caso di evento è soggetto a subire un danno.

Segue la mappatura del danno potenziale nei quattro livelli [D4,D3,D2,D1] e infine quella finale del rischio idraulico [R4,R3,R2,R1], ricavata dalla matrice prevista della legge che mette in relazione pericolosità e danno potenziale.

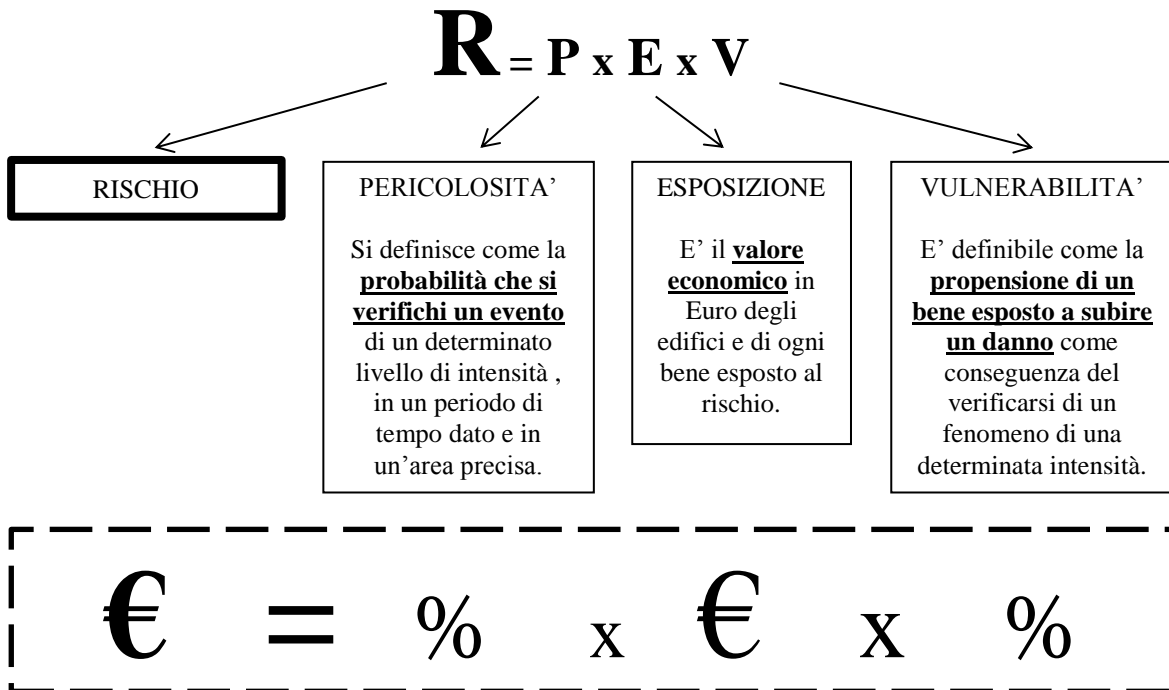
Vengono spiegati i risultati ottenuti in termini di danno potenziale e le possibili strategie d’intervento strutturali e non strutturali, secondo il concetto di perdita medio annuale [A.A.L.], ipotizzando un’ipotesi di copertura assicurativa e uno scolmatore per incanalare l’acqua in eccesso durante gli eventi di piana, fornendo una prima ipotesi su una possibile area di esecuzione. Infine vi è da sottolineare che nella zona sono in progetto interventi di riqualificazione dell’area, come l’ampliamento della Scuola Carracci, e quindi avere una mappatura del potenziale rischio idraulico può essere un valido strumento di supporto per le decisioni progettuali.

# INDICE

<b>Premessa</b>	<b>pag.1</b>
<b>1 - Generalità sul rischio idraulico</b>	<b>pag.3</b>
<b>2 - La scelta del torrente campione: il Ravone</b>	<b>pag.4</b>
2.1 - Inquadramento del bacino idrografico	pag.5
2.2 - Inquadramento geologico	pag.5
2.3 - Inquadramento geomorfologico e dissesto	pag.7
<b>3 - La modellistica idraulica per simulare uno scenario</b>	<b>pag.8</b>
3.1 - Assunzioni e parametri utilizzati per la simulazione	pag.8
3.2 - Analisi pluviometrica	pag.10
3.3 - Concetti di frequenza, probabilità e tempi di ritorno	pag.12
3.4 - Definizione dell'altezza di precipitazione per ogni tempo di ritorno	pag.13
3.5 - Risultati delle simulazioni degli scenari	pag.15
3.6 - Scenari con Tr 5,10,20,50,100,200,500 anni	pag.16
3.7 - Confronto con la precedente simulazione del 2013	pag.23
<b>4 - Modello INSYDE</b>	<b>pag.25</b>
4.1 - Caratterizzazione degli edifici esposti al rischio	pag.27
4.2 - Assegnazione della pericolosità ad ogni edificio	pag.34
<b>5 - Risultati: il danno per ogni tempo di ritorno</b>	<b>pag.36</b>
<b>6 - Elaborazione mappe</b>	<b>pag.40</b>
6.1 - Normativa	pag.40
6.2 - Mappatura della pericolosità idraulica	pag.41
6.3 - Mappatura del danno potenziale	pag.46
6.4 - Mappatura del rischio idraulico	pag.48
<b>7 - Curva di rischio e Annual Average Loss</b>	<b>pag.51</b>
<b>8 - Protezione Infrastrutturale e non Infrastrutturale</b>	<b>pag.53</b>
8.1 - Ipotesi scolmatore	pag.54
8.2 - Ipotesi assicurativa	pag.57
<b>9 - Conclusioni</b>	<b>pag.58</b>
<b>10 - Bibliografia e Sitografia</b>	<b>pag.60</b>

## 1 - GENERALITA' SUL RISCHIO IDRAULICO

Il concetto di rischio [R] si definisce come le perdite potenziali, vite umane, perdite economiche dirette o indirette, danni ad edifici, dovute al verificarsi di un determinato pericolo naturale. La valutazione del rischio è complessa data la complessità della valutazione dei termini che lo definiscono; può essere calcolato a partire dall'espressione:



Per definire la pericolosità, "hazard", bisogna studiare il fenomeno e produrne una corretta rappresentazione fisica e probabilistica di esso. La vulnerabilità dipende dalle caratteristiche dell'elemento considerato esposto al pericolo e dall'intensità del fenomeno ma non dal suo valore economico; può variare tra 0% [nessun danno] e 100% [perdita totale].

Un pericolo naturale è un evento che minaccia l'incolumità delle vite umane e delle proprietà. In una zona a pericolosità elevata, il rischio sarà nullo se non vi sono elementi esposti o se la vulnerabilità degli stessi è nulla.

Al giorno d'oggi in generale l'impatto del rischio sulla società è notevolmente aumentato, a dispetto di un'invariata frequenza degli eventi naturali estremi, per diversi motivi tra cui: la crescita demografica ed economica, l'urbanizzazione e una continua pressione economica per sviluppare aree marginali, il mancato riconoscimento dei potenziali pericoli e l'incapacità di gestire le emergenze [ IDNDR, "International Decade for Natural Disaster Reduction].

## 2 - LA SCELTA DEL TORRENTE CAMPIONE: IL RAVONE

Le caratteristiche di questo torrente, che ha fatto sì che venisse scelto per gli studi condotti da Arpa-Simc come progetto pilota utilizzabile poi anche per tutti gli altri torrenti o fiumi della zona, sono che si tratta di un bacino di limitate dimensioni, sul quale esistono numerose informazioni storiche che descrivono gli eventi meteorologici più intensi avvenuti in tale area, inoltre è ben coperto in termini di stazione pluviometriche utili per la raccolta di dati.

E' di fondamentale importanza che, nel tratto di monte, il Ravone scorre verso valle liberamente lungo il suo alveo naturale mentre più avanti, all'altezza del civico n. 20 di via Ravone, è stato intombato artificialmente dopo gli anni '60, per permettere l'espansione urbanistica verso le colline del quartiere Saragozza. Dai rilievi eseguiti negli anni scorsi la sezione dell'alveo tombato risulta pari a 2.3 x 2.2 metri come riportato in figura [Relazione Arpa-Simc]. Da questo punto in avanti il Ravone scorre sotto il piano stradale attraversando i quartieri Saragozza e Porto fino ad immettersi nel fiume Reno.

In caso di piogge brevi ma intense potrebbero verificarsi problemi di esondazione nel punto di tombatura. Vi è da sottolineare che, come riportato nella relazione Arpa-SIMC, in caso di forti piene il torrente Ravone può scaricare l'acqua in eccesso nel Canale di Reno: "il Ravone sfocia direttamente nel fiume Reno senza immettersi nel canale di Reno, che incrocia perpendicolarmente scavalcandolo sull'antico Ponte degli Stecchi, tutt'ora presente sotto il piano stradale di via Sabotino. In caso di piene eccezionali il ponte funziona come sfioratore dell'acqua in eccesso, permettendo quindi una potenziale interazione con il sottostante canale di Reno."

Il Quadro conoscitivo del Comune di Bologna indica che l'area in esame è soggetta ad un elevato dissesto idrogeologico, infatti il 20% del bacino è interessato da frane di cui 46 attive e 25 quiescenti [PSC 2008].

Inoltre negli ultimi anni si sono alternate annate molto secche, 2011-2012, a stagioni con precipitazioni abbondanti, 2012-2013, in cui si sono verificate nei mesi invernali anche copiose nevicate, e ciò ha ulteriormente peggiorato la situazione del dissesto [Relazione Arpa-Simc]. Nel mese di marzo 2013 a seguito delle abbondanti precipitazioni si sono registrati danni ad antiche opere di contenimento e marcate erosioni spondali. Fino a pochi anni fa la manutenzione e la pulizia dell'alveo da possibili elementi che potrebbero ostruire il deflusso dell'acqua, come alberi caduti e materiali da costruzione abbandonati dall'uomo, non veniva eseguita periodicamente: questo fattore, se sottovalutato, potrebbe provocare inattese esondazioni nella parte a monte del bacino e/o ostruzioni all'imbocco della tombatura aggravando pesantemente la situazione a valle.

## 2.1 - INQUADRAMENTO DEL BACINO IDROGRAFICO

Il torrente Ravone nasce alle pendici del monte Paderno (350 m s.l.m.), situato a sud-est rispetto alla città di Bologna; il bacino idrografico è esteso, si sviluppa longitudinalmente e ha forma allungata, con un'area di 6,97 km<sup>2</sup> ed una lunghezza totale di 18,01 km. La lunghezza del corso d'acqua principale è di 5,74 km da monte fino alla tombatura. Il torrente Ravone come in precedenza detto all'altezza del civico di via Ravone n.20 continua a scorrere in un canale sottoterra, passando sotto il quartiere Saragozza prima e Porto dopo, incrociando sul suo percorso il Canale di Reno con il quale non interagisce se non durante grandi piene in cui l'acqua in eccesso del Ravone ha la possibilità di riversarsi; proseguendo si immette direttamente nel fiume Reno pochi chilometri più avanti.

## 2.2 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Di seguito viene riportata una breve descrizione, procedendo da valle (NE) verso monte (SW), delle principali unità geologiche presenti nell'area del bacino del torrente Ravone:

### *SUCCESSIONE POST-EVAPORITICA DEL MARGINE APPENNINICO-PADANO*

#### - ARGILLE E MARNE DI RIOLO TERME (RIL)

Argille marnose fossilifere parzialmente siltose, talora sabbiose, grigie, grigio-azzurre e talora grigio plumbeo, spesso a stratificazione poco o nulla evidente per bioturbazione e per scarsa differenziazione granulometrica. Localmente affiorano sottili livelli discontinui di biocalcareni fini o siltiti color giallo o ocre per alterazione. La parte alta della formazione è interessata da "slumps" non cartografabili. Potenza di oltre 250 metri. Contatto trasgressivo netto in discontinuità su diverse formazioni. [Pliocene inf. - Pleistocene]

### *SUCCESSIONE EPILIGURE*

#### - FORMAZIONE DI CIGARELLO (CIG)

Marne siltoso - sabbiose, talora argillose, grigie o beige se alterate, bioturbate e fossilifere; presenti bioclasti e biosomi. La stratificazione è mal percepibile per bioturbazione e assenza di livelli grossolani; verso l'alto stratigrafico affiorano pacchi di strati arenacea - pelitici con rapporto inferiore ad uno e stratificazione tabulare, con locali disturbi sinsedimentari; Potenza compresa tra 40 e 100 metri. Contatto inferiore graduale su ABI. [Serravalliano]

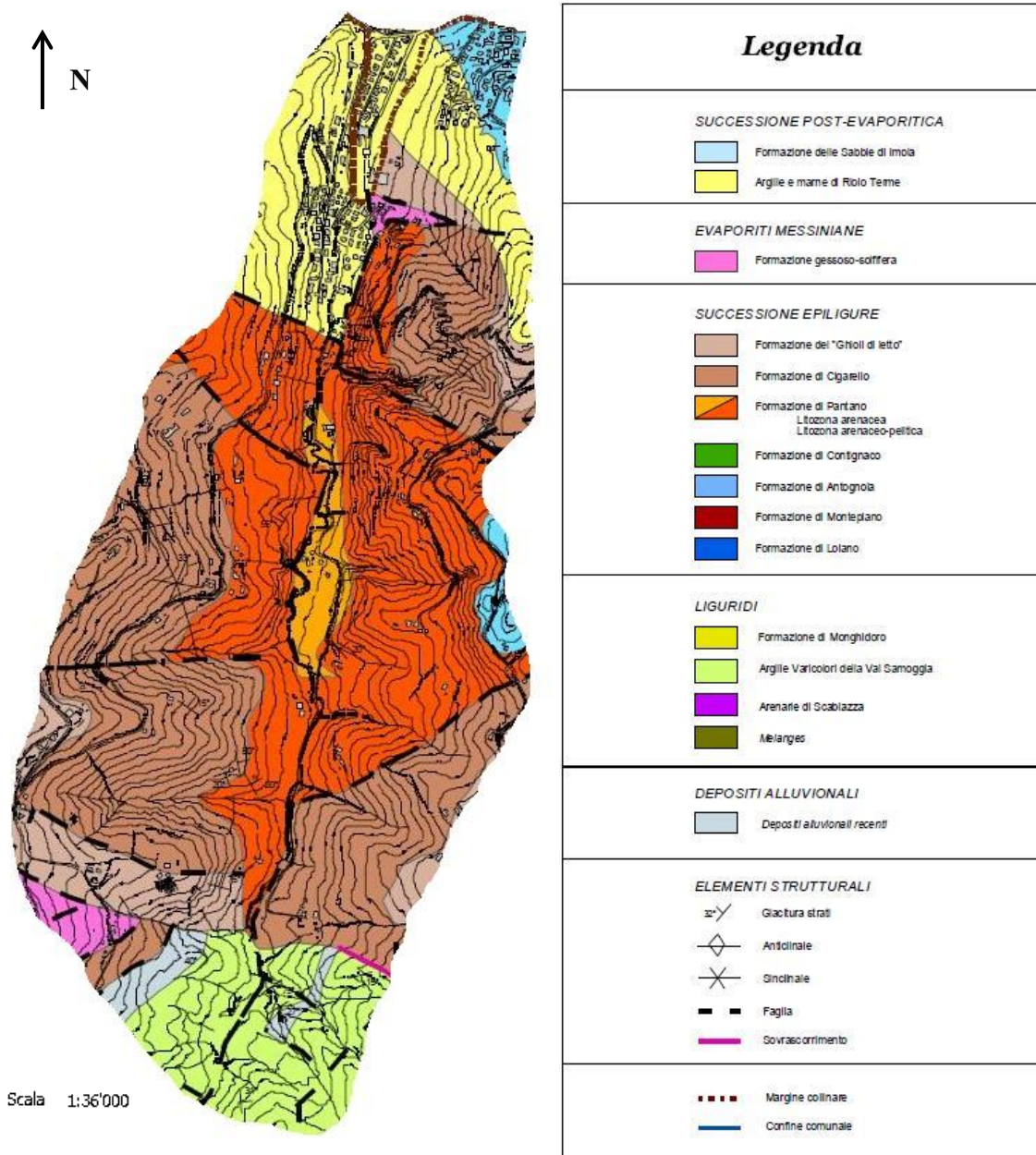
#### - FORMAZIONE DI PANTANO (PAT)

Areniti siltose, fini e finissime, grigie (beige se alterate), e peliti marnose grigio-chiare; la stratificazione è poco marcata o mal percepibile per bioturbazione. Alla base talora affiorano areniti glauconitiche. Sono stati distinti 2 membri ed una litofacies. Presenti abbondanti bioclasti. Potenza di circa 500 metri. Contatto netto in discontinuità su CTG.

LIGURIDI

- ARGILLE VARICOLORI DELLA VAL SAMOGGIA (VAS)

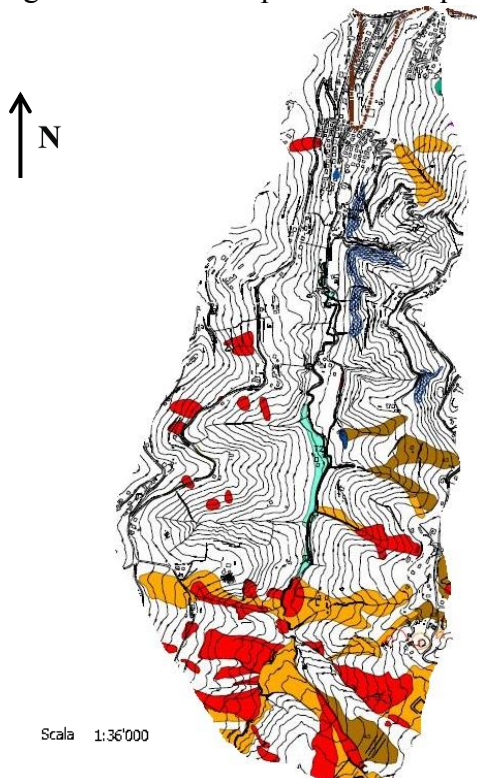
Argille e argille siltose grigio scure e nere con bande di argilliti rosse o verde-scuro, con sottili strati di arenarie e siltiti brune alterate; presenti marne verdi e grigie in blocchi. Frequenti i blocchi di calcilutiti grigio chiare silicee o biancastre in strati da sottili a spessi; talvolta presenti strati medi di marne biancastre. Potenza geometrica di circa 250 metri. Formazione estremamente tettonizzata fino a perdere alla mesoscala l'originario ordine stratigrafico. Contatti tettonici o incerti con le altre formazioni.



[Carta Geologica del bacino del torrente Ravone - fonte: Quadro conoscitivo del Comune di Bologna]

## 2.3 - INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E DISSESTO

Il bacino è caratterizzato da una morfologia collinare, con alternanza soprattutto di suoli argillosi e/o marnosi, talora sabbiosi; la zona nord prossima al centro città sorge su una conoide alluvionale ed è densamente abitata; la quota minima del terreno a valle è 60 m s.l.m., mentre a sud il punto più elevato è la cima del monte Paderno, 350 m. s.l.m.; i versanti sono in alcuni tratti anche ripidi e boscosi; si registra un marcato cambiamento dei fenomeni di dissesto procedendo da Nord a Sud: l'indice di franosità della zona a nord risulta pari a 2.89% contro il 32.61% della zona Sud. Non sono presenti zone calanchive. Vi sono in totale 46 frane attive\* e 25 frane quiescenti\*\*. Come già accennato l'indice di dissesto medio dell'intero bacino è pari a 19.37% (8% frane attive, 11% frane quiescenti). Nella relazione dello studio Arpa-SIMC si segnalano movimenti franosi, anche di vaste proporzioni, dovuti anche al collasso di tratti boschivi, come successo in via del Genio; questa colata di fango ha provocato l'ostruzione di un piccolo affluente di destra del Ravone. Inoltre si segnalano movimenti franosi anche sul rio Paradisi, il ripido affluente di destra più prossimo alla tombatura del Ravone, che potrebbero rappresentare un serio pericolo di ostruzione dell'asta principale e della tombatura stessa. Un sopralluogo effettuato sul bacino di questo piccolo affluente nel giugno 2013 ha evidenziato infatti un forte degrado del bosco, un rimboschimento di cipressi in rapido declino, e una diffusa situazione di dissesto con molte fratture e rigonfiamenti del terreno a monte delle nicchie di frana già scaricate nella primavera di quest'anno.



[Carta Geomorfologica del bacino del torrente Ravone -  
fonte: Quadro conoscitivo del Comune di Bologna]

\**Frana attiva*: corpo di frana attualmente in movimento o in fase di assestamento, conseguente alle condizioni morfologiche e climatiche ora presenti. Si presentano con forme e dimensioni articolate.

\*\**Frana quiescente*: fenomeno che appare in condizioni di apparente stabilità, avvenuto in condizioni morfologiche e climatiche molto simili alle attuali, che non avendo esaurito la loro evoluzione hanno possibilità di riattivarsi.

Legenda	
<b>1) FORME, PROCESSI E DEPOSITI GRAVITATIVI DI VERSANTE</b>	
	ORLO DI SCARPATA DI DEGRADAZIONE E/O DI FRANA
	AREA INTERESSATA DA CREEP
	SUPERFICIE RELITTE
	CORPO DI FRANA ATTIVA PER COLAMENTO E/O SCIVOLAMENTO
	CORPO DI FRANA QUIESCENTE PER COLAMENTO E/O SCIVOLAMENTO
	DEPOSITI DI VERSANTE
	DEPOSITI ELUVIO-COLLUVIALI
<b>2) FORME, PROCESSI E DEPOSITI PER ACQUE CORRENTI SUPERFICIALI</b>	
	ORLO DI SCARPATA DI EROSIONE FLUVIALE (ORLO SUPERIORE)
	TERRAZZO FLUVIALE E RELATIVO NUMERO D'ORDINE (11, 12, ...31)
	TERRAZZO FLUVIALE ANTICO
	DEPOSITI DI CONOIDE ALLUVIONALE
	AREA CALANCHIVA
	CONOIDE ALLUVIONALE
<b>3) FORME E DEPOSITI CARSICI</b>	
	ORLO DI SCARPATA DI EROSIONE FLUVIALE (ORLO SUPERIORE)
	GROTTA
	PERCORSO IPOGEO
	INGHIOTTITOIO
	SORGENTI MINERALI: Bj - bromodidiche; So - solforose
<b>4) FORME, PROCESSI E DEPOSITI ANTROPICI</b>	
	CAVE DIMESSE
	OPERE PRINCIPALI DI SBARRAMENTO FLUVIALE
	ARGINI
	GABBIONATE
	PARATIE METALLICHE DI SOSTEGNO
	MURI IN MATTONI
	MURI IN CEMENTO ARMATO
	STRADE DEFORMATE
	PARTICOLARI GEOLOGICI
	LOCALITA' FOSSILIFERE
	RITROVAMENTI PREISTORICI
	MARGINE COLLINARE
	CONFINI COMUNALE
	Paleolitico Etneo Ferro Eneolitico



### 3 - LA MODELLISTICA IDRAULICA PER SIMULARE UNO SCENARIO

Il modello matematico bidimensionale utilizzato per simulare i vari scenari idraulici, già in precedenza testato e consolidato, è il CA2D<sup>12</sup> \*, sviluppato dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Bologna, il quale permette di stimare e modellare il deflusso superficiale a scala di bacino e nella rete di drenaggio. Dalla relazione Arpa-SIMC si apprende che il modello pur non simulando esplicitamente l'infiltrazione di acqua nel terreno, che d'altra parte per eventi intensi di breve durata si ritiene era ritenuta abbastanza marginale, considera l'effetto medio dell'infiltrazione, del ristagno superficiale, e intercettazione della precipitazione da parte della vegetazione in un unico parametro di invaso superficiale, fissato volta per volta in relazione al tipo di simulazione. Innanzitutto è stato acquisito un accurato DEM del bacino del torrente, cioè modello digitale del terreno con 4 metri di risoluzione, integrato con le misure in campo per una definizione più precisa dell'inciso dell'alveo; inoltre si sono prese le esatte geometrie dell'alveo naturale e della sezione di imbocco della tombatura. I rilievi hanno permesso di evidenziare il notevole restringimento della larghezza dell'alveo all'imbocco della tombatura, che passa da circa 4 metri subito prima dell'imbocco a di circa 2.3 metri. [Arpa-SIMC]. In condizioni di deflusso moderato questo restringimento non comporta alcun problema ma può risultare pericoloso nel caso in cui si verificassero piene importanti e soprattutto in caso di ostruzione dell'imbocco della tombatura a causa di materiale trasportato dalla corrente come rami e tronchi. Il modello è stato più volte ricalibrato in alcuni dei suoi parametri per ottenere un miglior match fra i livelli d'acqua simulati e quelli effettivamente osservati.

#### 3.1 - ASSUNZIONI E PARAMETRI UTILIZZATI PER LA SIMULAZIONE:

Come evento di pioggia si è ipotizzato un temporale estivo perché storicamente, come riporta il report Arpa-SIMC, gli eventi alluvionali più intensi e pericolosi si verificano in questo periodo; a partire da marzo 2014 è iniziato il monitoraggio delle precipitazioni e dell'altezza dell'acqua all'imbocco della tombatura: dai dati registrati si è osservato che nel periodo estivo il bacino ha una fortissima capacità di assorbimento, ipotesi diversa dalla quella inizialmente ipotizzata; la ritenzione, dovuta all'infiltrazione nel terreno secco, alla formazione di pozzanghere e per intercettazione delle piante, è supposta pari a 27 mm . Dai dati osservati di una precipitazione estiva di 35 mm in un'ora nel 2014, paragonabile ad un tempo di ritorno di 10 anni, si è dedotto che il bacino ha elevatissima capacità di assorbimento dato che il picco di deflusso prodotto in alveo è stato di poco superiore a  $1\text{m}^3/\text{s}$ . L'ipotesi attuale è che questo sia dovuto in parte alla copertura vegetale, e in parte al tipo di formazioni geologiche molto fratturate presenti nel bacino, che in condizioni di suolo insaturo sembrano determinare una forte infiltrazione in falda. A confermare ciò si legge che, nella relazione del Quadro Conoscitivo del Comune di Bologna, nel bacino del torrente Ravone vi è la presenza di terreni in gran parte permeabili e infatti si hanno valori bassi di densità di drenaggio\*\* pari a  $2,58\text{ km}^{-1}$ .

\**Dottori F., 2012: Development of parallelizable flood inundation models for large scale analysis.* Tesi di dottorato di ricerca in Modellistica Fisica per la Protezione dell'Ambiente, Università di Bologna

\*\**Densità di drenaggio (D):* è uno dei parametri morfometrici più significativi ed è inversamente proporzionale alla permeabilità dei terreni affioranti e direttamente proporzionale all'erosività degli stessi, su terreni impermeabili ha quindi valori generalmente molto alti poiché su essi il reticolo idrografico si presenta molto ramificato e, viceversa molto contenuti per le aree in cui ricadono terreni permeabili. La densità di drenaggio diminuisce poi all'aumentare del grado di copertura vegetale del bacino idrografico, perché il processo di infiltrazione nel suolo risulta favorevole rispetto al deflusso superficiale ed il reticolo idrografico si presenta meno ramificato.

Quindi si assume che la pioggia cada su un terreno asciutto e in grado di intrappolare una grande parte della precipitazione nella formazione di ristagni superficiali. Inoltre i coefficienti di scabrezza di Manning, ricavati da vari manuali di idraulica, sono stati fissati a  $0.1 \text{ m}^{1/3}\text{s}$  per l'alveo e gli impluvi e  $0.2 \text{ m}^{1/3}\text{s}$  per i versanti.

Per questi motivi le simulazioni si basano anche sulle seguenti assunzioni\*:

- la precipitazione totale [pioggia stimata dagli annali] è stata suddivisa in 2/3 nei primi 30 minuti e 1/3 nei secondi 30' [ietogramma osservato di solito negli eventi di breve durata].
- la pioggia efficace [ossia quella non trattenuta dal bacino e che produce deflusso] è ottenuta sottraendo complessivamente 27 mm dalla pioggia stimata, suddivisi in 18 mm nei primi 30 minuti e 9 mm nei secondi 30'.

Inoltre vi è da sottolineare che nelle simulazioni degli scenari non si considera la rete fognaria, che avrebbe il compito di smaltire le acque di ruscellamento superficiale ma al tempo stesso potrebbero verificarsi problemi di rigurgito del torrente stesso, cioè incapacità di convogliare tutta l'acqua raccolta dalla rete fognaria perché il torrente ha già portate elevate in ingresso; questa ipotesi quindi sarebbe da approfondire in tempi futuri, in caso si disponga della localizzazione precisa puntuale dei chiusini, più popolarmente chiamati tombini stradali, e si abbiano misure della loro capacità di immagazzinamento e smaltimento dell'acqua raccolta, sapendo anche dove viene incanalata questa acqua. Si potrebbe ipotizzare che ogni chiusino drena l'acqua di più celle, e si assuma che ogni cella abbia una portata da smaltire data dalla pioggia caduta [mm/h] moltiplicata per l'area della cella [ $\text{m}^2$ ], il tutto diviso per l'arco temporale in cui la pioggia è caduta [s], ottenendo la portata da smaltire per ogni cella [l/s]. Conoscendo la distribuzione dei tombini è possibile capire se la capacità di smaltimento è sufficiente o meno.

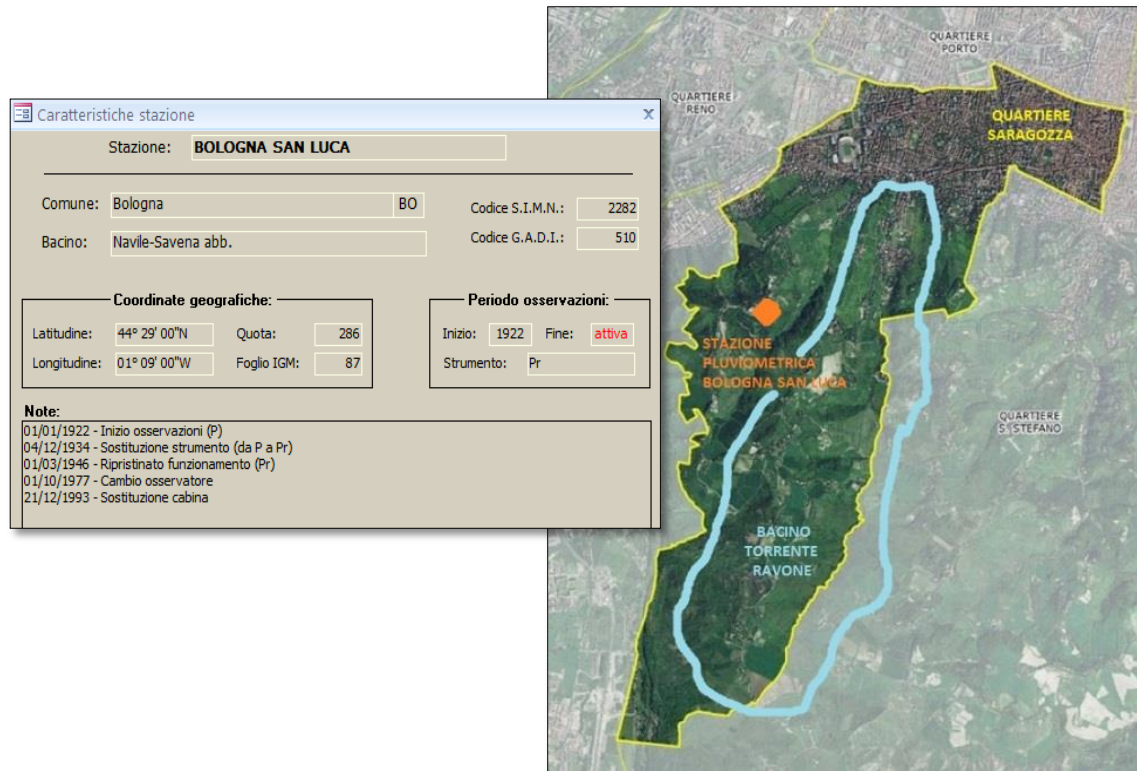
Queste ultime ipotesi naturalmente sono delle approssimazioni, ma in mancanza di simulazioni più dettagliate dovrebbero essere sufficientemente realistiche.

Assunzioni*
<b>TEMPORALE ESTIVO BREVE MA INTENSO</b>
<b>BACINO DI LIMITATE DIMENSIONI</b>
<b>PIOGGIA UNIFORME SU TUTTO IL BACINO</b>
<b>TERRENO SECCO, ELEVATA CAPACITA' DI ASSORBIMENTO</b>
<b>PIOGGIA TOTALE DIVISA IN 2/3 NEI PRIMI 30' E 1/3 NEI SECONDI 30'</b>
<b>PIOGGIA TOTALE MENO 27 mm PER AVERE LA PIOGGIA EFFICACE CHE PRODUCE DEFLUSSO</b>
<b>NON SI CONSIDERA LA RETE FOGNARIA PER MANCANZA DI DATI</b>

\*Si ringrazia Francesco Dottori per le assunzioni elaborate in questo progetto [francesco.dottori@jrc.ec.europa.eu]

### 3.2 - ANALISI PLUVIOMETRICA

Per definire i vari scenari è stato necessario analizzare nuovamente i dati pluviometrici orari registrati dalla stazione di rilevamento più vicina e rappresentativa del bacino del torrente Ravone, la stazione di Bologna San Luca.



La stazione ha registrato le precipitazioni di pioggia in mm per determinati intervalli orari, da 1 ora a 24 ore consecutive, dal 1935 al 2013, con una lacuna di dati negli anni 1945, 1954, 1966, una lunga interruzione dal 1973 al 1989, e negli 2009-2010. A questo punto occorre fare una precisazione: dato che il bacino del torrente Ravone è di limitate dimensioni, è noto che un bacino piccolo risponda a precipitazioni brevi ma intense mentre un bacino di grandi dimensioni a periodi di precipitazione maggiori in tempi più lunghi; essendo l'asse fluviale lungo l'alveo naturale di circa 7 km di lunghezza, il tempo di corrivazione, che per definizione è il tempo che impiega una gocciolina d'acqua caduta nel punto idraulicamente più distante del bacino idrografico rispetto alla sezione di chiusura, defluendo in superficie, a raggiungere il punto di misurazione prossimo alla sezione di chiusura di tale bacino, è circa intorno all'ora esatta [60 minuti]. Per definizione ad ogni punto del bacino corrisponde un particolare valore del tempo di corrivazione. Le linee che uniscono i punti del bacino con uguale tempo di corrivazione sono dette linee isocorrive. La conoscenza delle linee isocorrive consente di costruire la curva area-tempi del bacino, che è la curva che fa corrispondere ad un dato valore del tempo di corrivazione l'area totale di tutte le parti di bacino caratterizzate da tempi di corrivazione inferiori. Quindi secondo gli studi riportati nel report Arpa-SIMC, essendo il tempo di corrivazione stimato intorno a 60 minuti, vuol dire che dopo un'ora di precipitazione tutto il bacino è diventato contribuente; l'evento di precipitazione risulta critico quando la durata dell'evento è pari al tempo di corrivazione, in quanto alla sezione di chiusura arriveranno contemporaneamente gli afflussi da tutto il bacino. Per questo motivo si è deciso di considerare solo i record annuali di precipitazioni avvenuti nell'intervallo temporale di 1 ora.

Stazione	Anno	1 Ora	3 Ore	6 Ore	12 Ore	24 Ore
BOLOGNA SAN LUCA	1935	30.4	30.4	33.0	49.0	56.2
	1936	25.8	28.0	34.4	40.6	75.0
	1937	22.0	40.6	44.6	45.2	71.6
	1938	16.0	17.6	19.2	38.2	47.6
	1939	13.0	19.6	36.8	55.8	75.8
	1940	32.6	36.8	46.4	83.6	120.8
	1941	36.6	41.2	41.2	41.2	57.2
	1942	26.6	27.2	27.4	29.8	36.2
	1943	22.2	29.4	31.4	49.2	66.0
1945	1944	22.2	26.4	28.2	31.2	41.0
	1946	20.6	26.8	40.8	51.6	53.8
	1947	24.0	24.0	36.4	57.4	69.0
	1948	15.0	32.0	57.2	78.0	115.8
	1949	13.2	21.4	31.6	53.0	77.4
	1950	10.6	15.4	22.4	28.0	40.4
	1951	25.2	25.8	31.0	43.6	84.0
	1952	40.0	46.4	48.4	60.8	60.8
1954	1953	31.6	31.6	31.6	38.8	55.8
	1955	53.8	57.8	57.8	57.8	57.8
	1956	11.0	22.6	44.0	63.2	81.0
	1957	17.0	19.6	30.0	45.4	65.4
	1958	24.2	29.0	49.4	74.0	116.8
	1959	23.2	31.8	39.2	62.6	86.6
	1960	37.2	44.0	63.0	67.4	67.4
	1961	32.4	58.4	65.4	65.6	69.4
	1962	15.4	25.8	36.2	50.4	71.4
	1963	20.4	36.0	60.0	87.6	97.0
	1964	22.0	28.2	31.2	46.2	64.6
1966	1965	32.4	32.6	39.4	39.6	43.2
	1967	15.0	30.0	41.0	52.0	52.0
	1968	20.0	25.0	29.6	47.6	61.2
	1969	16.4	28.6	40.0	44.4	44.8
	1970	16.6	16.6	17.0	26.8	36.4
1973	1971	12.0	16.4	30.8	40.0	42.4
-----	1972	19.0	40.0	59.4	87.4	108.2
1989	1990	39.8	41.4	51.0	73.4	90.8
	1991	23.6	25.6	30.2	54.4	72.0
	1992	27.8	36.4	39.2	56.4	78.4
	1993	34.8	42.6	42.6	42.6	51.6
	1994	16.0	35.4	49.4	51.8	79.4
	1995	21.8	39.2	59.2	81.4	116.6
	1996	12.4	24.2	31.4	52.2	85.6
	1997	11.8	21.2	26.0	31.4	49.6
	1998	12.8	22.8	32.8	43.0	43.2
	1999	16.2	33.8	47.0	57.2	63.0
	2000	24.2	32.4	60.4	98.2	102.4
	2001	30.2	39.4	41.2	42.4	53.4
	2002	30.0	33.0	35.8	55.8	69.6
	2003	20.2	43.6	45.0	46.4	59.2
	2004	29.6	45.4	46.2	56.0	56.6
	2005	19.6	43.2	70.4	108.4	117.6
	2006	23.4	32.2	43.0	58.8	68.2
2009	2007	30.0	38.0	39.6	60.2	87.6
-----	2008	18.6	28.6	30.6	52.2	70.2
2010	2011	14.4	14.6	20.6	32.0	36.8
	2012	32.6	35.8	36.2	39.6	64.8
	2013	27.2	33.4	38.4	48.2	60.6

Il **16/07/1955** il pluviometro di S. Luca registrò **53.8 mm in 1 ora**, massimo storico di pioggia oraria della serie pluviometrica di questa stazione fra il 1935-2013. La precipitazione fu causata da un forte temporale a cui si accompagnarono molti disagi, riportati dalle cronache del Resto del Carlino, con colate di fango su numerose strade e interruzioni del traffico. Per alcune ore via Saragozza risultò bloccata all'altezza del Meloncello per colate di fango e piccole frane. Testimonianze dirette riportarono esondazioni localizzate del Ravone fra via Saragozza e via Turati.

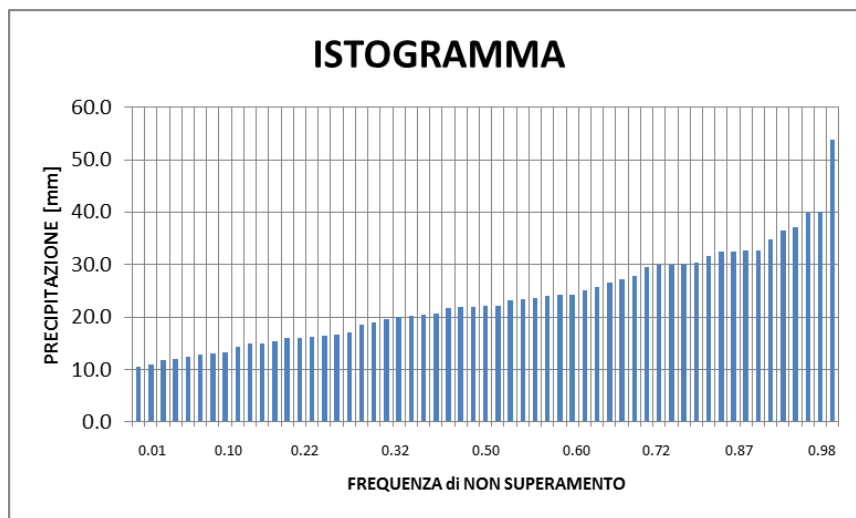
La stazione pluviometrica di Bologna San Luca purtroppo mostra alcune lacune nella registrazione dei dati; questo potrebbe causare una sottostima dei valori massimi annuali di precipitazione, rendendo probabilmente le simulazioni meno critiche. Per avere dati più precisi si dovrebbero considerare le registrazioni orarie di più stazioni, come Bologna Ufficio Idrografico, Bologna Canonica e Bologna San Ruffillo e Sasso Marconi.

### 3.3 - CONCETTI DI FREQUENZA, PROBABILITA' E TEMPI DI RITORNO

Possediamo quindi 57 anni di registrazioni delle precipitazioni massime orarie che coprono un periodo di 78 anni: la serie che costituisce il campione di dati è abbastanza lunga per ritenere che sia statisticamente rappresentativa dell'andamento delle piogge massime orarie in un periodo molto più ampio, comprendente passato e futuro. Ordinando i valori di precipitazione in senso crescente si nota che i valori più grandi vengono superati poche volte nel periodo di osservazione ed hanno quindi una bassa frequenza di superamento e, come diretta conseguenza, una elevata frequenza di non superamento. Il concetto risulta più chiaro visualizzando la formula per cui:

$$F \text{ non superamento} = \frac{n1}{N+1} \quad (A)$$

$$F \text{ superamento} = 1 - F \text{ non superamento} \quad (B)$$



Nell'asse delle ascisse vi è riportata la funzione di frequenza (A), che si ricava dalla posizione di ciascun valore delle serie di dati ordinati:  $n1$ , è la posizione dell'elemento considerato,  $N$ , è il numero totale di elementi che equivale a 57. Dato che la serie è crescente, tale grafico mostra la frequenza di non superamento di un certo valore. Ad esempio, l'evento che ha provocato una precipitazione oraria di 53.8 mm, ha frequenza di non superamento pari a 0.98, dato che si è verificato una sola volta in 57 anni e quindi la frequenza di superamento che tale valore venga eguagliato o superato è pari allo 0.02. Per estrapolare i dati futuri bisogna affidarsi a funzioni matematiche che descrivano adeguatamente il campione e che si estenda oltre i valori disponibili. In termini tecnici si passa dalla frequenza alla probabilità di superamento o di non superamento. Il range della probabilità varia da 0 (nessuna possibilità che si verifichi tale evento) a 1 (certezza che tale evento accadrà in un preciso istante temporale). Il tempo di ritorno di un evento di nota intensità, è il numero di anni che in media intercorrono tra il verificarsi di due eventi di intensità uguale o superiore ad una data soglia; è definito come l'inverso della probabilità di superamento:

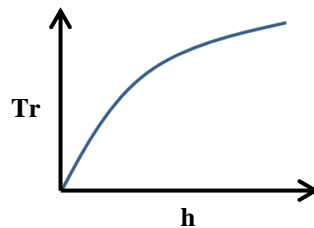
$$\text{Tempo di ritorno} = \frac{1}{1-F}$$

$$F = \frac{1}{1-Tr}$$

Il tempo di ritorno non è il numero di anni esatto che separa due eventi di intensità uguale o superiore ad una determinata soglia; la probabilità di superamento che un tale evento si verifichi è pari a  $1/Tr$  ed è fissa ogni anno, indipendentemente che si verifichi un evento simile gli anni precedenti. Facendo un esempio, se  $Tr = 50$  anni, vuol dire che in media l'evento si verifica 1 volta ogni 50 anni, con una probabilità che accada dello 0.02% ogni anno; questo non vuol dire però che non possa verificarsi due volte in un arco temporale diverso. Come si può intuire, al crescere del tempo di ritorno cresce la rarità dell'evento e aumenta notevolmente anche la sua intensità creando un numero sempre maggiore di danni.

### 3.4 - DEFINIZIONE DELL'ALTEZZA DI PRECIPITAZIONE PER OGNI TEMPO DI RITORNO

La pericolosità, "hazard", cioè il primo parametro nella formula del Rischio, è definibile come la magnitudo dell'evento, rappresentata dall'altezza idrometrica [h], in funzione del tempo di ritorno [Tr].



I valori di precipitazione di durata di un'ora, ricavati dagli annali idrologici, sono stati immessi in R\*, che è un "ambiente" basato sul linguaggio S per la gestione e l'analisi statistica di dati e la produzione di grafici, e che tramite le sue funzioni disponibili in pacchetti, come i due utilizzati in questo caso "isnev" e "extRemes" \*\*, ci ha restituito automaticamente come output un dato valore di precipitazione, in mm, per ogni tempo di ritorno. Brevemente vengono riportati i passaggi: inizialmente sono stati salvati i dati su un foglio excel che poi verrà richiamato da R, poi vengono caricati i pacchetti isnev e extRemes che offre il programma, all'interno dei quali ci sono delle funzioni base come il calcolo dell'altezza di precipitazione [rl] a seconda dei tempi di ritorno da noi impostati [RP].

\* R: R version 3.2.2., copyright (C) 2015 The R foundation for Statistical Computing

\*\* isnev: "Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values", isnev includes functions to support the computations carried out in Coles (2001). The functions may be divided into the following groups; maxima/minima, order statistics, peaks over thresholds and point processes; Coles, Stuart (2001) An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values, London, UK: Springer, ISBN: 1852334592, 208 pp.

\*\* extRemes: Weather and Climate Applications of Extreme Value Analysis (EVA); extRemes is a suite of functions for carrying out analyses on the extreme values of a process of interest; be they block maxima over long blocks or excesses over a high threshold. Coles, S. (2001) An introduction to statistical modeling of extreme values, London, U.K.: Springer-Verlag, 208 pp.; Ferro, C. A. T. and Segers, J. (2003). Inference for clusters of extreme values. Journal of the Royal Statistical Society B, 65, 545–556. Gilleland, E. and Katz, R. W. (2011). New software to analyze how extremes change over time. Eos, 11 January, 92, (2), 13–14.

```

library(ismev)
library(extRemes)
filename = "C:/Users/Amedeo/Desktop/Insyde/INSYDE/dati.csv"
dati = read.table(filename, sep=";", header=TRUE)
RP = c(2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500)

gf=gev.fit(dati[, 2])
gev.diag(gf)
ff =fevd(dati[, 2])
rl=return.level(ff, return.period=RP)

plot(RP, rl)

```

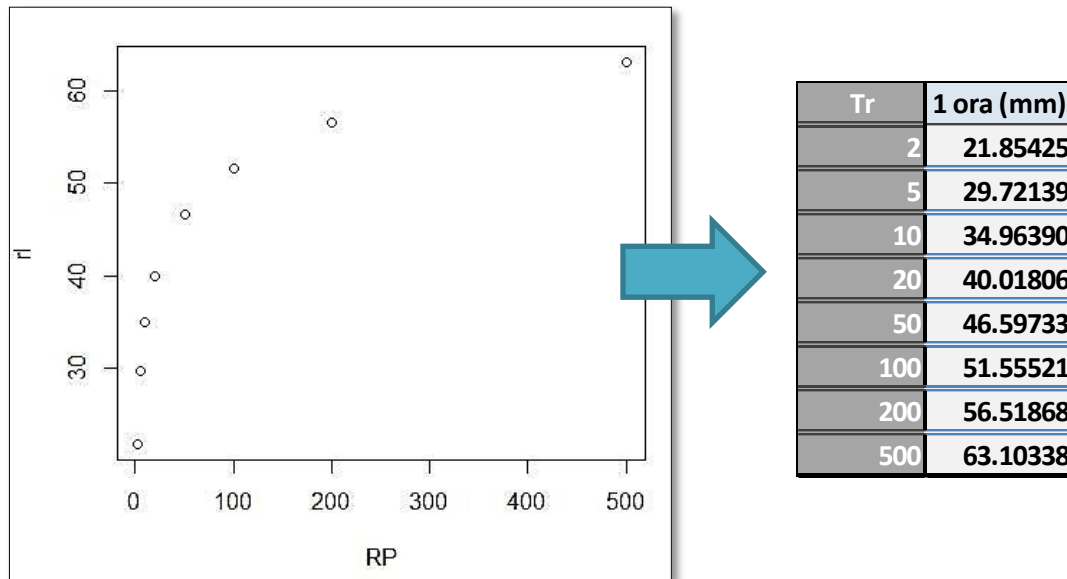
Il modello restituisce come output i valori di precipitazione di durata un'ora per ogni Tr:

```

GEV model fitted to dati[, 2]
Data are assumed to be stationary
[1] "Return Levels for period units in years"
 2-year level  5-year level 10-year level 20-year level 50-year level
 21.85425     29.72139    34.96390     40.01806     46.59733
100-year level 200-year level 500-year level
 51.55521     56.51868     63.10338
> |

```

Inoltre permette di visualizzare anche dei grafici con la funzione “plot”:



In questo modo si sono calcolate velocemente le altezze di precipitazione massime di durata un'ora per ogni tempo di ritorno per il bacino in questione.

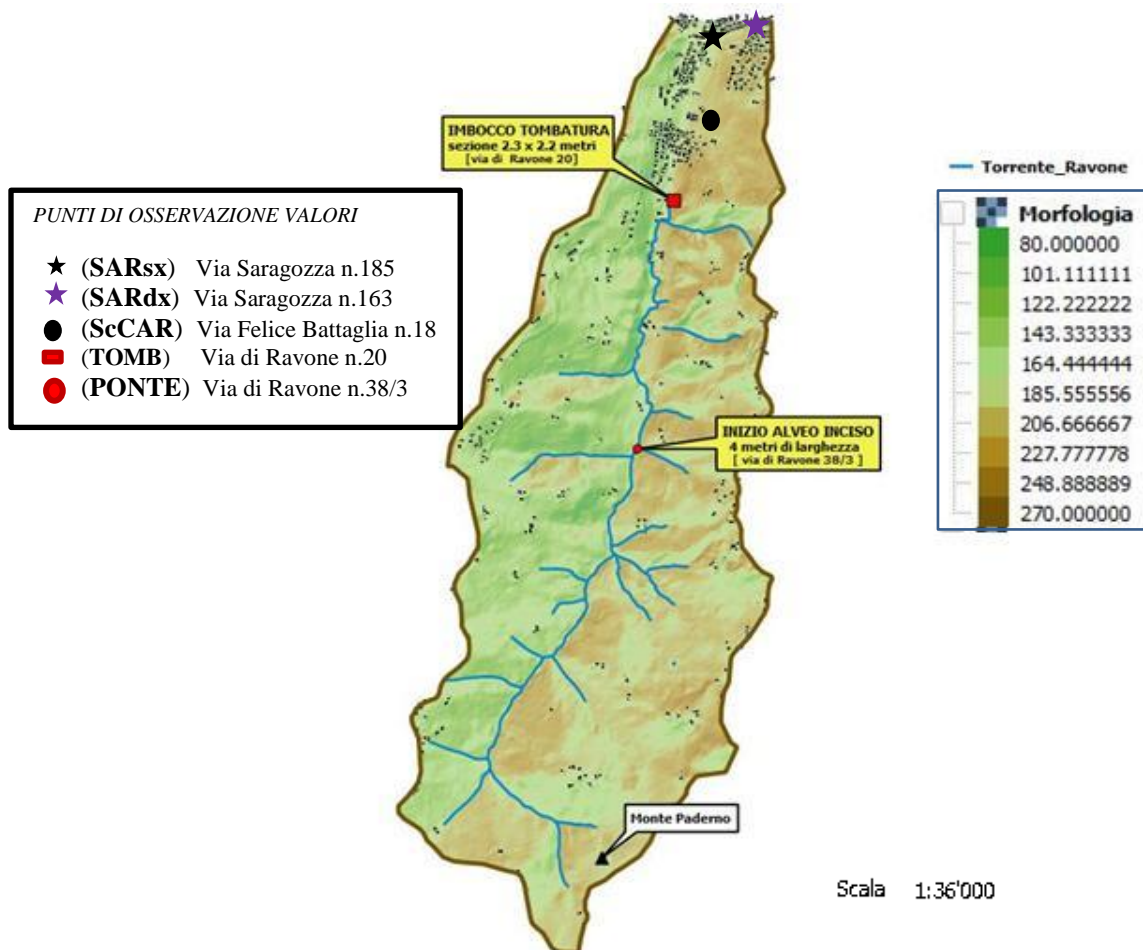
I dati pluviometrici sono stati poi elaborati nella modellazione idraulica, che simula il deflusso superficiale per ogni tempo di ritorno e lo riproduce sul DEM\* del bacino idrografico del torrente Ravone.

\* *DEM* : acronimo di Digital Elevation Model, è la rappresentazione della distribuzione delle quote di un territorio, in formato digitale. Il modello digitale di elevazione viene in genere prodotto in formato raster associando a ciascun pixel l'attributo relativo alla quota assoluta; il DEM tiene conto di tutti gli oggetti insistenti sul terreno (vegetazione, edifici ed altri manufatti).

### 3.5 - RISULTATI DELLE SIMULAZIONI DEGLI SCENARI

Dopo aver inviato a Francesco Dottori\* i valori di precipitazione di un'ora per ogni tempo di ritorno da inserire nel modello, e sulla base delle assunzioni sopra considerate, ci sono stati forniti i raster\*\* indicanti i valori specifici della pericolosità, cioè l'altezza del tirante idrico in metri ["h\_max"] e la velocità dell'acqua in metri al secondo ["v\_max"] in ogni punto del modello per ogni tempo di ritorno.

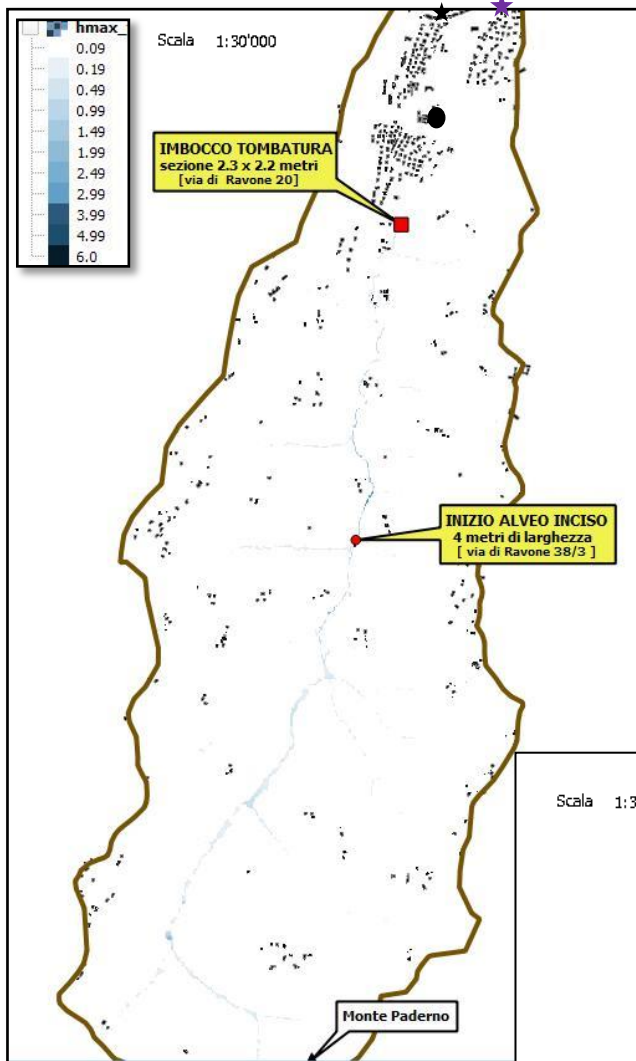
Dato che le simulazioni sono state girate su un DEM, digital elevation model, la propagazione dell'acqua tiene conto della reale presenza degli edifici che incontra lungo il suo percorso, quindi si può dire che la simulazione eseguita è sufficientemente realistica. Il fondovalle dopo la tombatura artificiale, cioè l'area più densamente popolata, viene allagato solo per eventi di precipitazione con tempi di ritorno uguali o superiori a 100 anni: si può notare infatti che solo in questi eventi si ha l'esondazione del torrente in prossimità di via Ravone n.20; per tempi di ritorno inferiori si hanno allagamenti del fondovalle dovuti all'accumulo di pioggia dai versanti per deflusso superficiale, dato che nel modello non è prevista la rete fognaria.



\*Si ringrazia Francesco Dottori per le simulazioni girate al JRC, European Commission, Directorate-General Joint Research Centre, Climate Risk Management Unit.

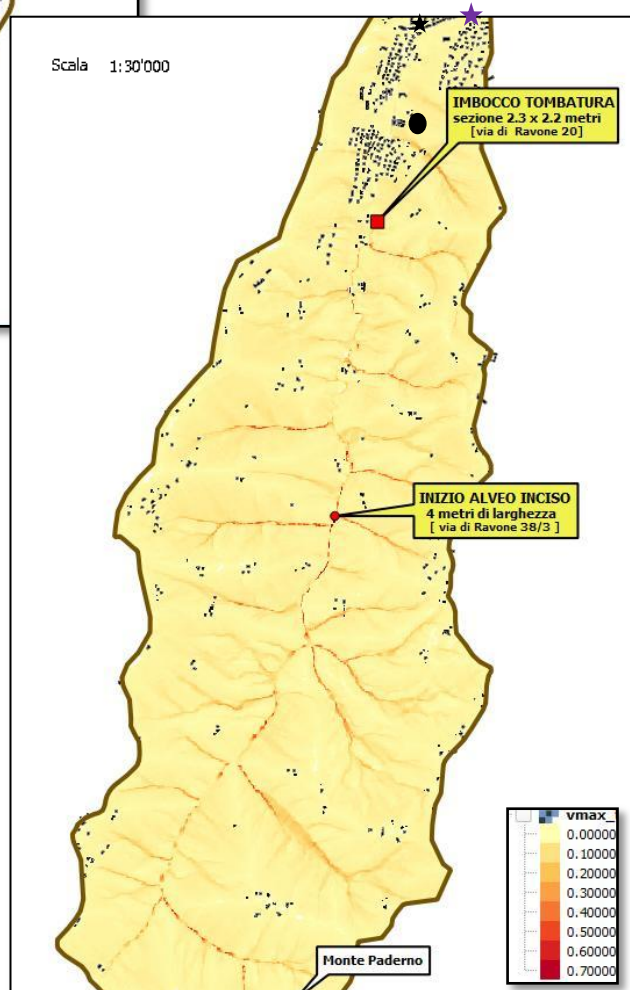
\*\**Raster*: I raster sono composti da matrici di pixel (chiamati anche celle), ciascuna contenente un valore che rappresenta le condizioni e le informazioni dell'area coperta dalla cella. I dati raster vengono usati nelle applicazioni GIS quando si vogliono visualizzare delle informazioni che sono continue lungo un'area e che non sono facilmente divisibili in oggetti vettoriali. A titolo informativo i dati sono nella proiezione WGS\_1984\_UTM\_Zone\_32N, e la risoluzione delle simulazioni è di 4 metri.





TIRANTE IDRICO [metri] : h\_max\_tr5

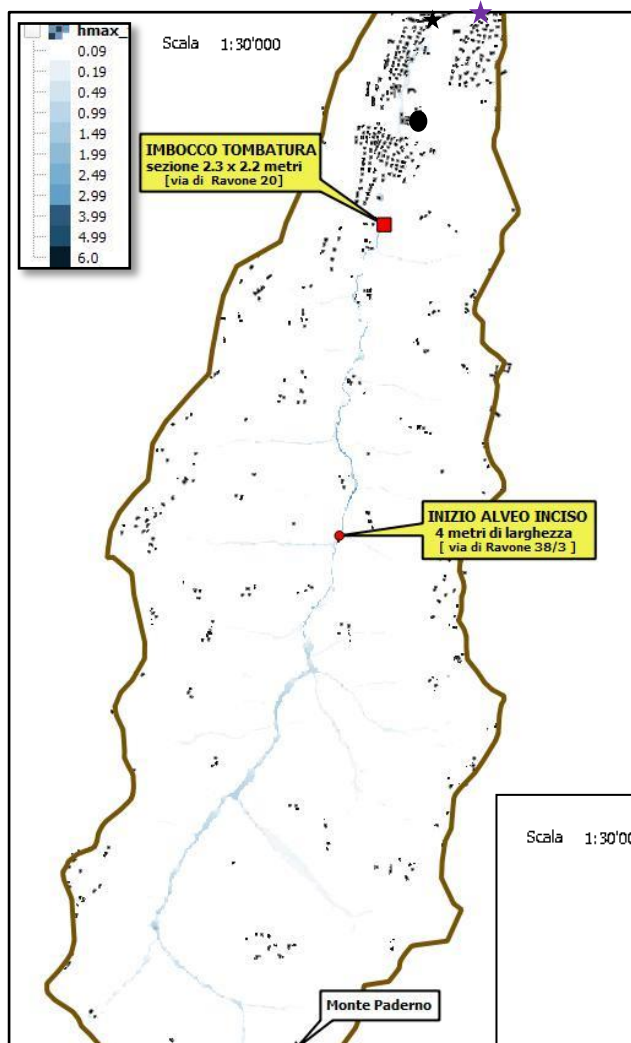
★	(SARsx)	0
★	(SARdx)	0.28
●	(ScCAR)	0.20
■	(TOMB)	0.35
●	(PONTE)	0.51



VELOCITA' [m/s] : vel max tr5

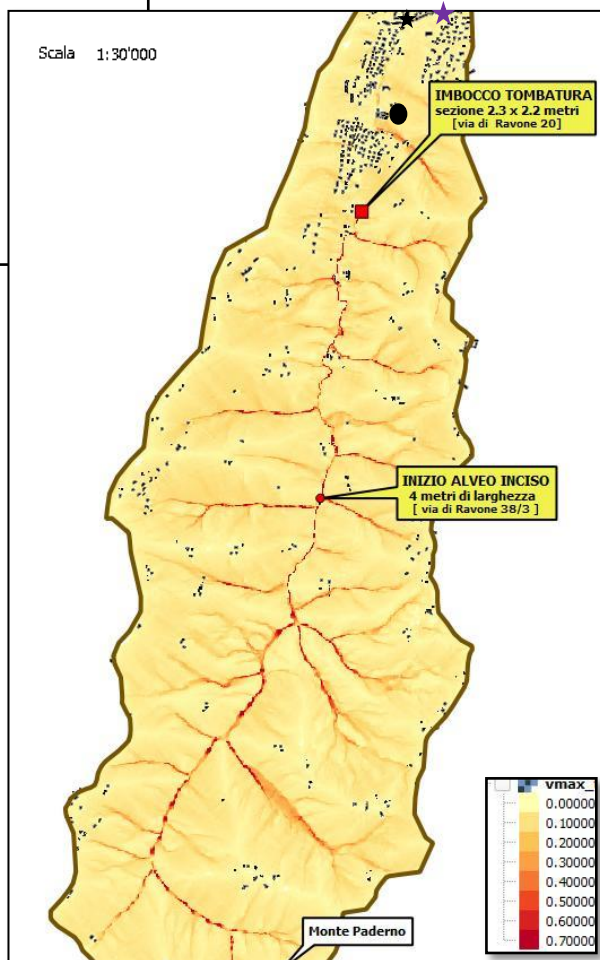
★	(SARsx)	0
★	(SARdx)	0.03
●	(ScCAR)	0.10
■	(TOMB)	0.43
●	(PONTE)	0.30

## SCENARIO CON TEMPO DI RITORNO 10 ANNI



*TIRANTE IDRICO [metri] : h\_max\_tr10*

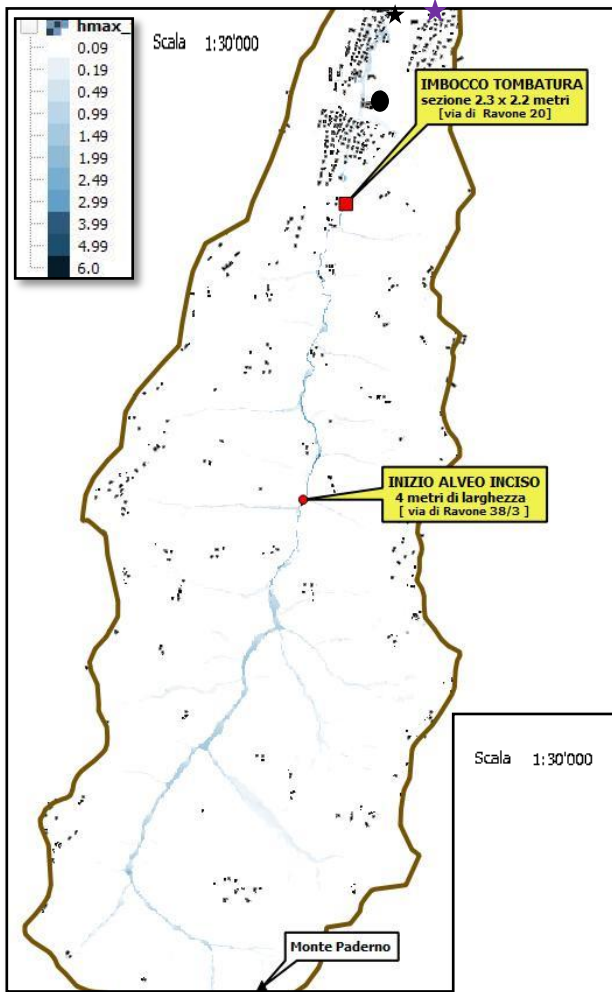
★	(SARsx)	0
☆	(SARdx)	0.74
●	(ScCAR)	0.43
■	(TOMB)	1.25
●	(PONTE)	1.04



*VELOCITA' [m/s] : vel max tr10*

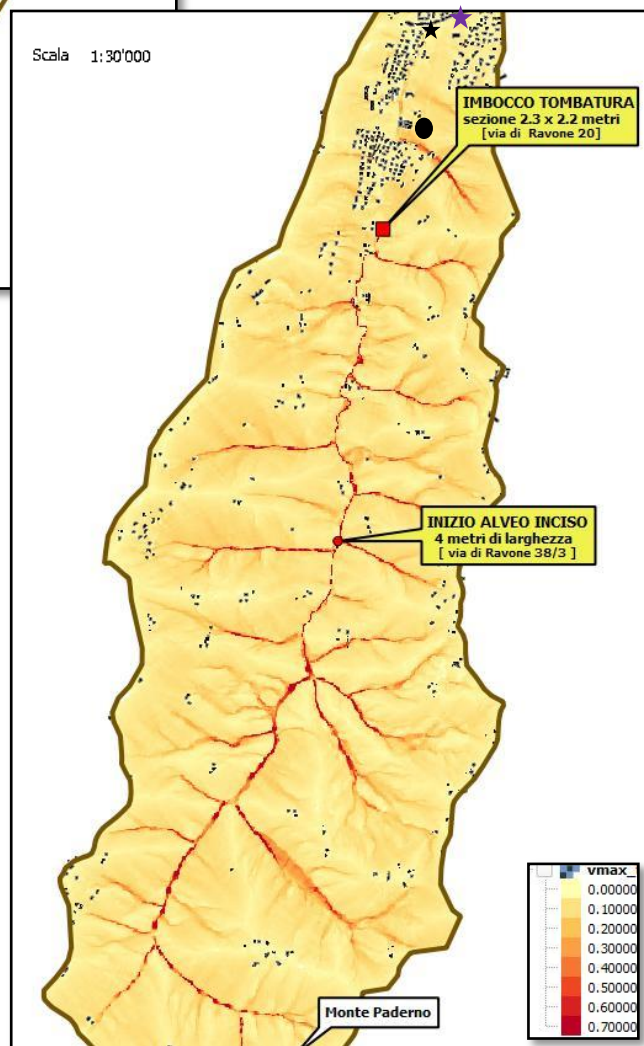
★	(SARsx)	0
☆	(SARdx)	0.03
●	(ScCAR)	0.15
■	(TOMB)	1.32
●	(PONTE)	0.71

## SCENARIO CON TEMPO DI RITORNO 20 ANNI



*TIRANTE IDRICO [metri] : h\_max\_tr20*

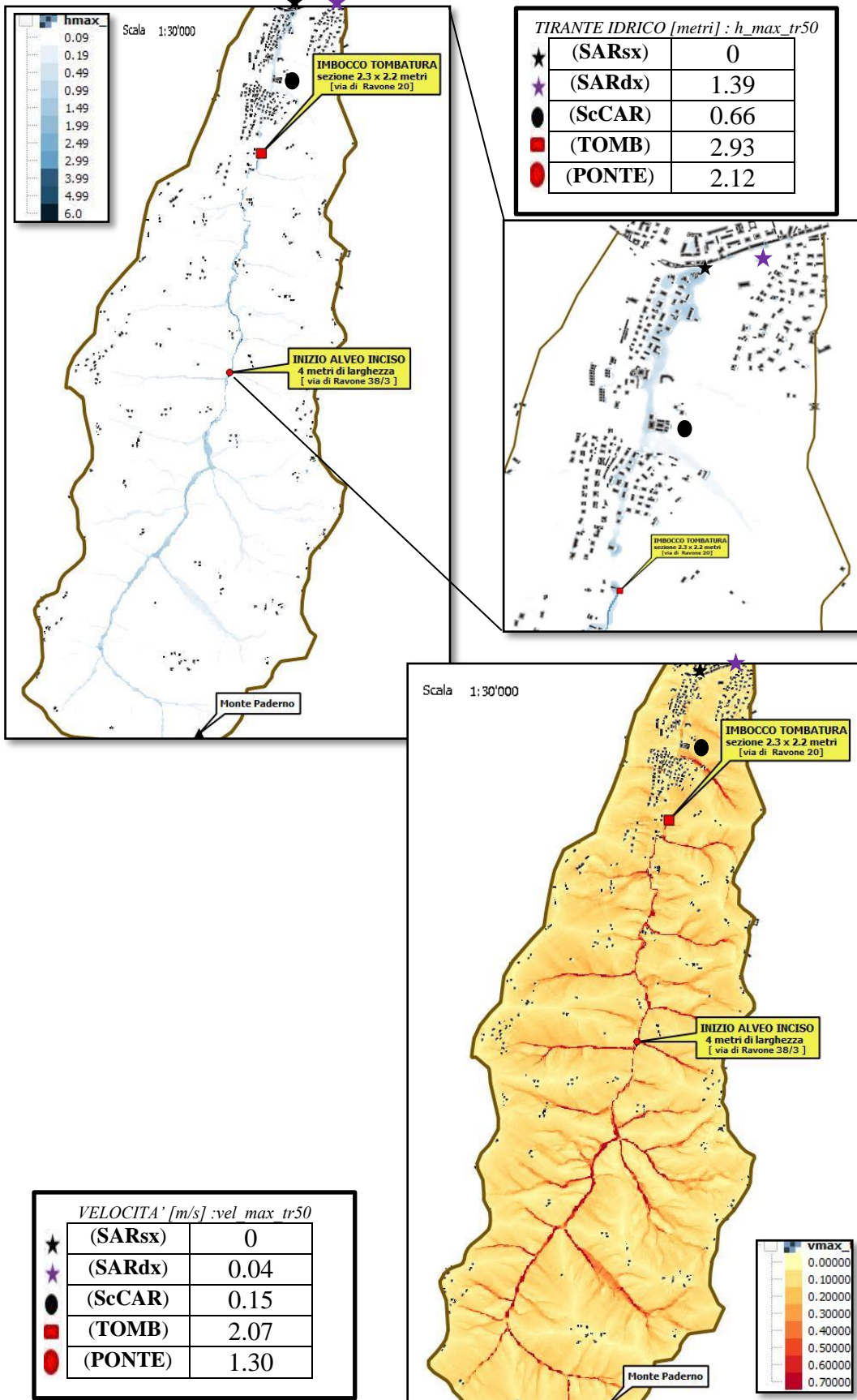
★ (SARsx)	0
☆ (SARdx)	0.94
● (ScCAR)	0.53
■ (TOMB)	1.94
● (PONTE)	1.50



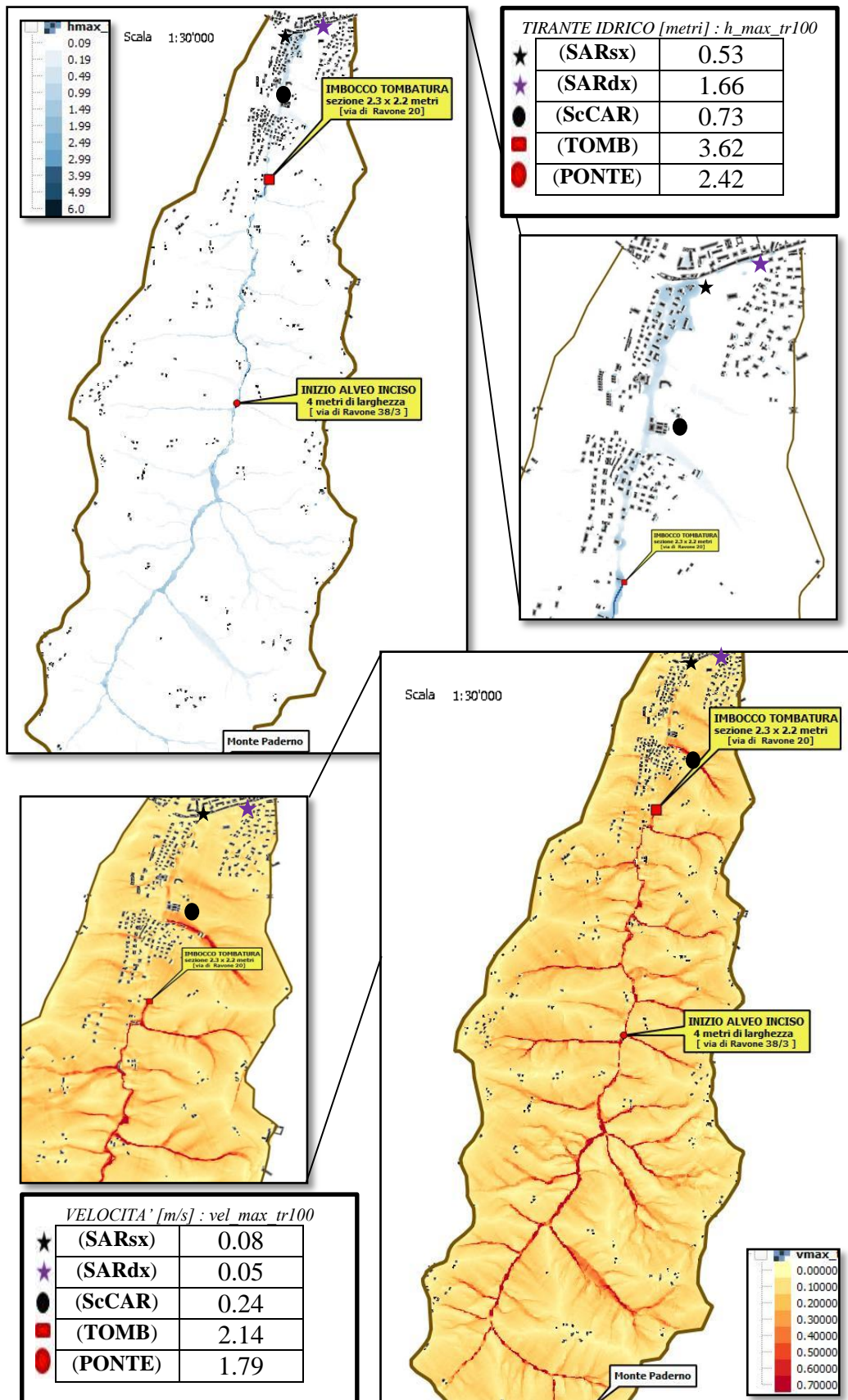
*VELOCITA' [m/s] : vel\_max\_tr20*

★ (SARsx)	0
☆ (SARdx)	0.03
● (ScCAR)	0.15
■ (TOMB)	1.62
● (PONTE)	1.05

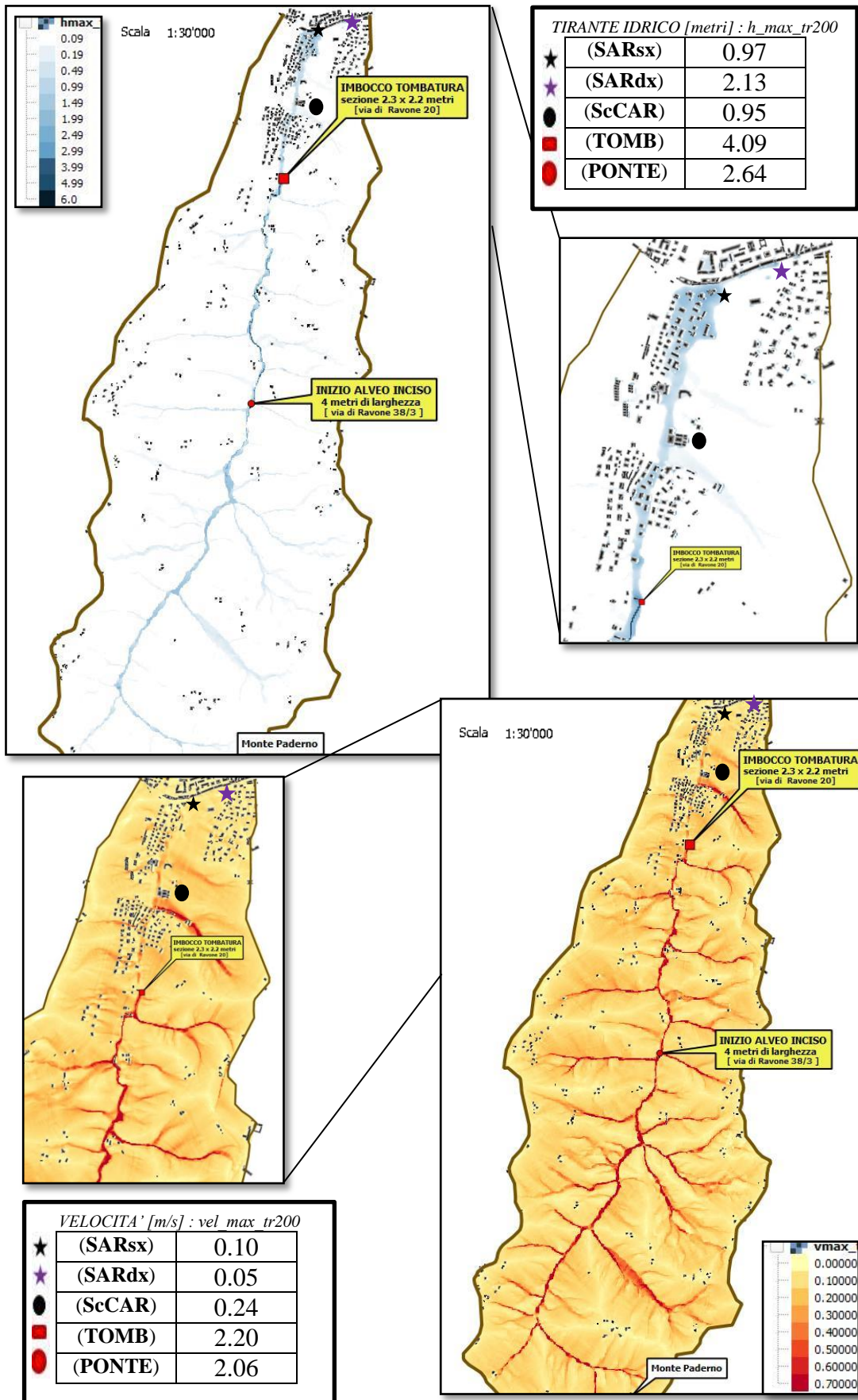
## SCENARIO CON TEMPO DI RITORNO 50 ANNI



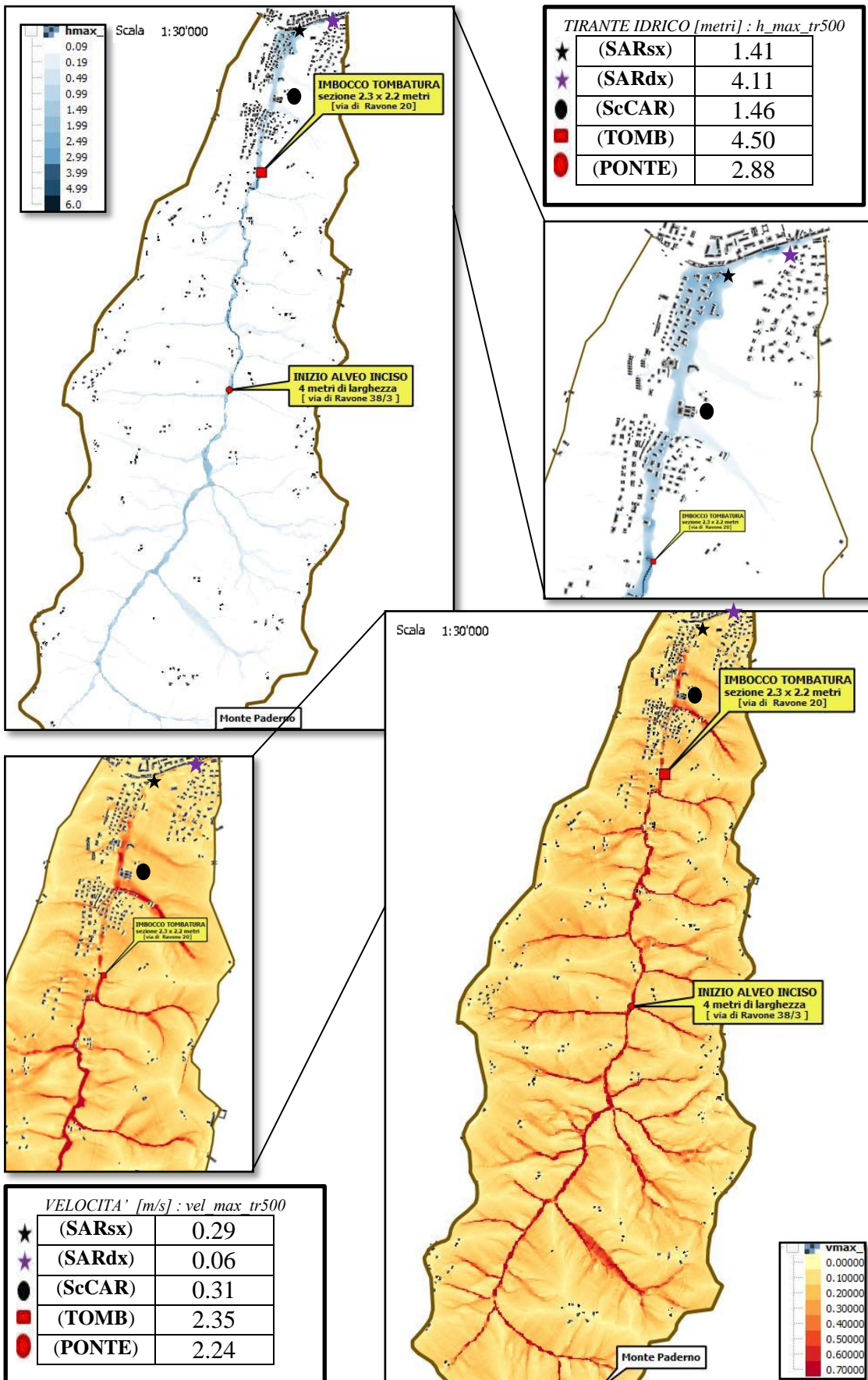
## SCENARIO CON TEMPO DI RITORNO 100 ANNI



## SCENARIO CON TEMPO DI RITORNO 200 ANNI



## SCENARIO CON TEMPO DI RITORNO 500 ANNI



Dopo aver visto queste mappe della pericolosità si può affermare che sembra essere elevata la criticità dello smaltimento dell'acqua da parte del tratto artificiale in occasione di precipitazioni molto intense e di breve durata, con un pericoloso accumulo d'acqua proprio all'imbocco della tombatura.

La simulazione propaga l'acqua in eccesso al di fuori dell'alveo allagando le aree a valle della tombatura e le numerose abitazioni lungo via di Ravone. Secondo le simulazioni del modello idraulico per 500 anni di tempo di ritorno, l'acqua potrebbe raggiungere altezze fino a 4.50 m nei pressi della tombatura, via Ravone n.20, con un tirante idrico di circa 3.10 metri intorno all'edificio soprastante il condotto artificiale. Successivamente l'acqua invaderebbe anche tutta l'area compresa fra via Felice Battaglia e via di Casaglia: in quest'ultima zona, oltre alle abitazioni, sono presenti edifici scolastici comprendenti una scuola media (in fase di demolizione e ricostruzione), una scuola materna e un asilo nido. Nelle zone di maggior depressione del terreno più a valle si ha un'altezza dell'acqua in genere di circa 2 metri, con un apice di 4 metri in prossimità di via Saragozza n.163.

### **3.7 - CONFRONTO CON LA PRECEDENTE SIMULAZIONE DEL 2013**

Un breve confronto con lo scenario simulato utilizzato nella relazione Arpa-SIMC per dimostrare quanto siano importanti le assunzioni scelte e una raccolta di dati osservati sempre più dettagliati.

In precedenza era stato definito un evento straordinario raro ma pur sempre possibile e sostanzialmente dovuto alla persistenza su tutto il bacino per circa un'ora di scrosci di pioggia legati a fenomeni temporaleschi.

La quantità di pioggia dell'evento straordinario è stata fissata a 70 mm in 2 ore con un picco d'intensità di 40mm/0.5h. Il tempo di ritorno compreso fra 50 e 100 anni, stimato dalle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica ricavate dagli annali idrologici di Bologna Ufficio Idrografico.

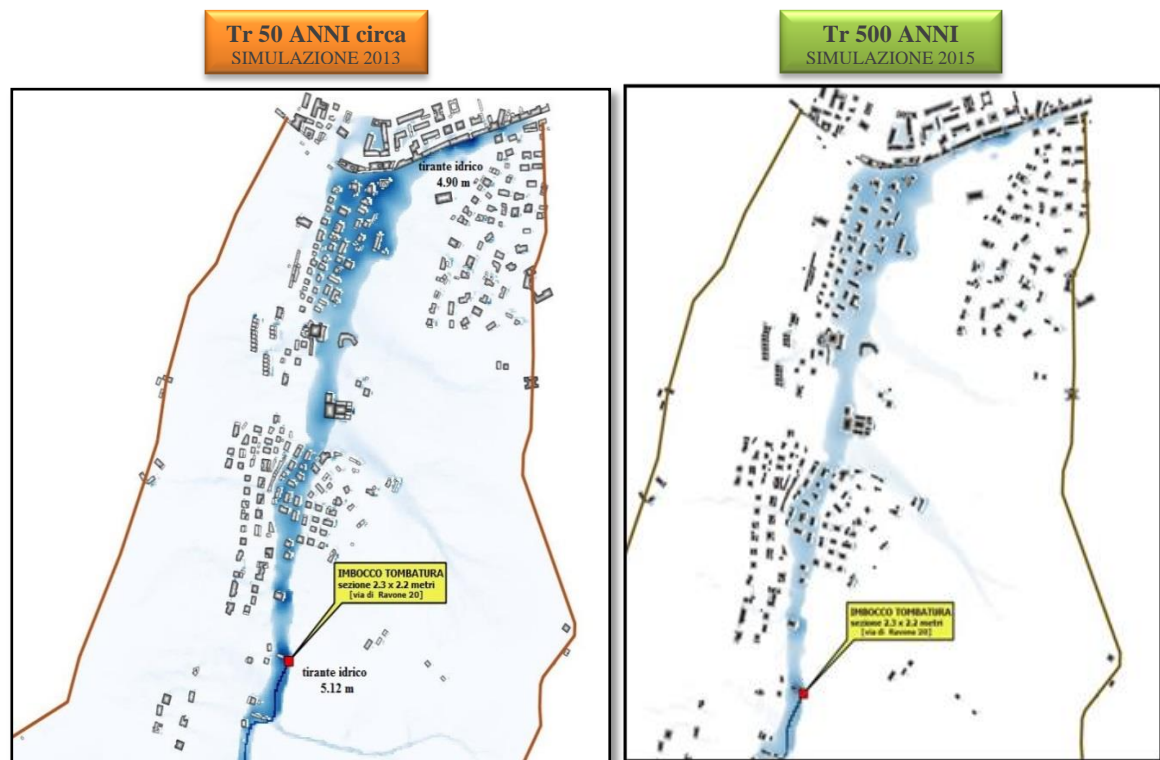
E' evidente come gli scenari siano completamente diversi: prima, con un evento con Tr poco superiore ai 50 anni si aveva allagamento del fondovalle per esondazione del Ravone in prossimità del tratto tombato. Ora la possibile esondazione avviene del torrente avviene in caso di eventi con Tr maggiore di cento anni. In ogni caso, l'area allagata con la precedente simulazione con Tr di circa 50 anni è maggiore dell'area allagata della nuova simulazione con Tr 500 anni. [Si vedano le immagini di confronto nella pagina successiva]



Il motivi di tali differenze tra le simulazioni è che l'evento straordinario descritto nel report 2013, Arpa-SIMC, ha una durata di due ore, con la precipitazione complessiva [70mm] maggiore anche di quella nuova con Tr 500 a un'ora [63 mm].

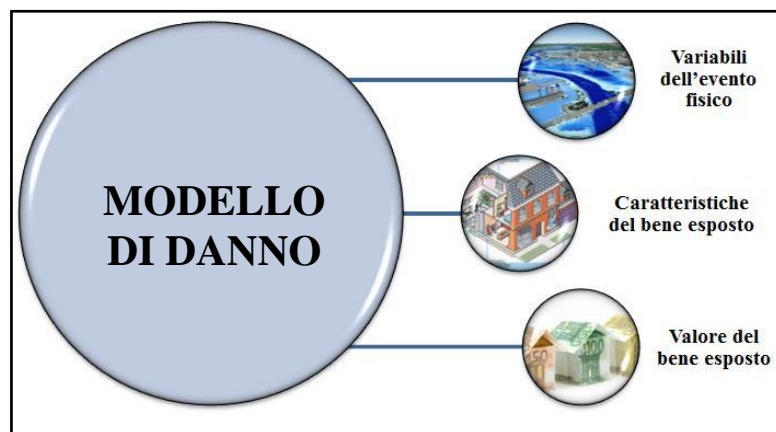
Questo perché si è deciso di analizzare solo le precipitazioni massime annuali di durata pari al tempo di corrvazione, quindi un'ora. Inoltre i tempi di ritorno della nuova simulazione sono attribuibili alla sola Stazione di San Luca, mentre la precedente analisi sui massimi annuali comprendeva Bologna Ufficio Idrografico, Bologna Canonica e Bologna San Ruffillo e Sasso Marconi.


Inoltre è cambiata la diversa capacità di assorbimento del suolo: precedentemente si era ipotizzato un assorbimento pari a 20 mm, di conseguenza la capacità del bacino di trattenere acqua durante il picco di intensità era più limitata e ciò determinava portate e tiranti idrici molto elevati; per le nuove simulazioni invece è stata supposta una capacità di assorbimento pari a 27 mm, e come risultato il picco di intensità ora è molto più attenuato, il che determina tiranti idrici ridotti. Una capacità di 27mm è in linea con i dati osservati, mentre i 20mm ipotizzati per la simulazione descritta nel report probabilmente sottostimavano la capacità di laminazione del bacino (ma al tempo non si avevano ancora dati osservati a cui riferirsi).



## 4 - MODELLO INSYDE

L'acronimo INSYDE significa "IN depth SYntethic model for Damage Estimation"; questo è un nuovo modello di danno\* per la definizione di curve di vulnerabilità da alluvione, progettato per migliorare l'attendibilità della stima del rischio che dipende ovviamente da stime attendibili di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione in egual misura. Molto spesso le stime di vulnerabilità ed esposizione sono affette da un alto grado di incertezza che si riflette sulla stima del rischio [Mario Martina]. La vulnerabilità complessiva di un edificio dipende fortemente dai parametri che descrivono l'evento fisico a cui è soggetto, come l'altezza idrometrica o la velocità, però sarebbe più necessario poter fare un'analisi per ogni componente specifica di danno e non in senso lato. La metodologia proposta per tale modello è quella di adottare i criteri di stima oggettivi e regolamentati; si basa su tre passaggi: scomposizione del danno in partite ["coverages"], stimare il valore di ricostruzione a nuovo dei beni facendo riferimento a studi esistenti [CRESME-ANIA-CINEAS], infine stimare i danni facendo riferimento a prezziari ufficiali.



**Metodologia proposta** 

- Il danno è la somma dei danni delle singole componenti

$$D = \sum_i C_i$$

- Il danno alle singole componenti è funzione di variabili che:
  - Dipendono dall'evento fisico (H)
  - Dipendono dal bene esposto (F)
  - Dipendono dal valore del bene (E)

$$C_i = f(H, F, E)$$

---

Ania Mario Martina - Rischio e Vulnerabilità Milano, 25/05/2015 51

\*E' in corso un piano ampio di ricerca sul tema della vulnerabilità e lo studio dei danni da alluvione in collaborazione Mario Martina [Ricercatore Senior, IUSS], Francesco Dottori [JRC – EU], Daniela Molinari [Politecnico di Milano], Anna Rita Scorzini [Università dell'Aquila]. Convenzione di ricerca ANIA-IUSS.

Il modello INSYDE è eseguibile nell'ambiente di calcolo "R": la sua struttura permette di calcolare il danno in due modalità, per ogni edificio oppure per un insieme di edifici, mediante un ordine di scrittura dei comandi ben preciso.

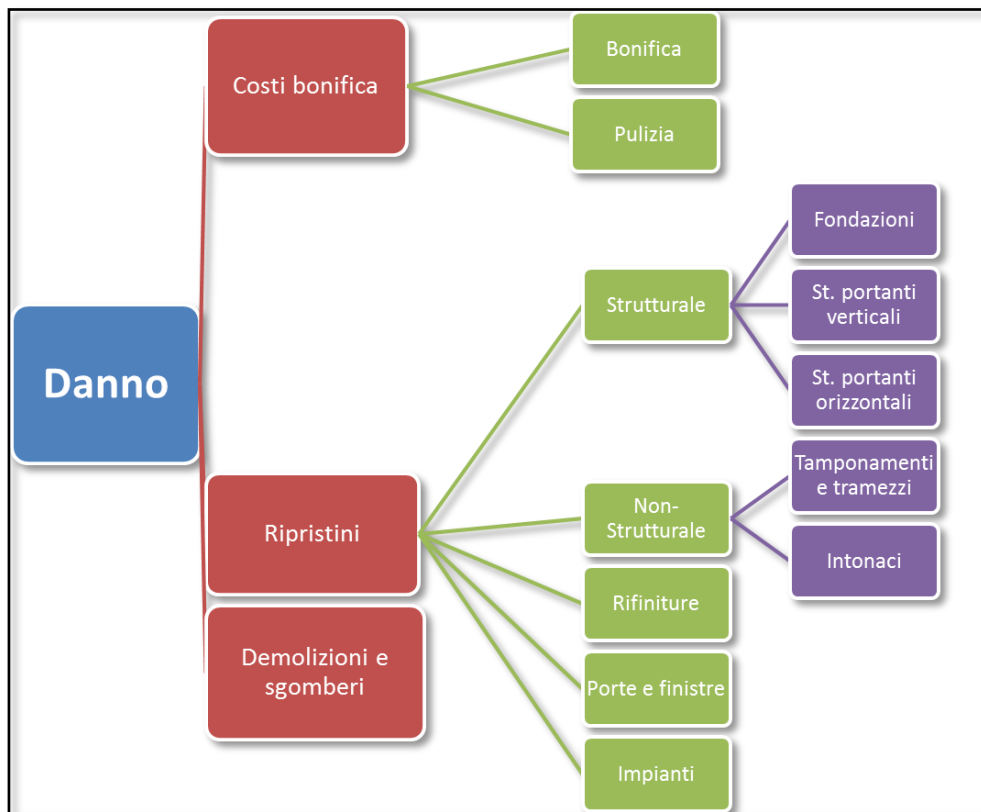
I parametri richiesti dal modello per calcolare il danno di ogni componente sono suddivisi nelle tre categorie che rappresentano ognuna di esse una variabile del rischio:

<i>Variabili dell'evento fisico [H]</i>	<i>Descrizione</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Range di Valori</i>
<b>he</b>	ALTEZZA DELL'ACQUA FUORI DALL'EDIFICIO	m	≥ 0
<b>v</b>	MASSIMA VELOCITA' DELL'ACQUA PERPENDICOLARMENTE ALL'EDIFICIO	m/s	≥ 0
<b>s</b>	CARICO DI SEDIMENTI	% su volume acqua	0-100
<b>d</b>	DURATA DELL'EVENTO ALLUVIONALE	ore	> 0
<b>q</b>	CARICO DI CONTAMINANTI	% su volume acqua	0-100

<i>Caratteristiche del fabbricato [F]</i>	<i>Descrizione</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Range di Valori</i>
<b>FA</b>	AREA DI INGOMBRO	m <sup>2</sup>	> 0
<b>NF</b>	NUMERO DI PIANI	-	≥ 1
<b>EP</b>	PERIMETRO ESTERNO	m	> 0
<b>IP</b>	PERIMETRO INTERNO	m	> 0
<b>BA</b>	AREA DI BASE	m <sup>2</sup>	≥ 0
<b>OA</b>	ALTRE AREE AL PIANO TERRA	m <sup>2</sup>	≥ 0
<b>BT</b>	TIPOLOGIA DI EDIFICIO	-	1- DISTACCATO 2- SEMI DISTACCATO 3- APPARTAMENTO
<b>BS</b>	STRUTTURA EDIFICIO	-	1- CEMENTO ARMATO 2- MURATURA RINFORZATA 3- MURATURA NON RINFORZATA 4- LEGNO
<b>PD</b>	DISTRIBUZIONE IMPIANTO DI RISCALDAMENTO	-	1- CENTRALIZZATO [SE < 1980] 2- DISTRIBUITO
<b>PT</b>	TIPOLOGIA IMPIANTO DI RISCALDAMENTO	-	1- PAVIAMENTO 2- TERMOSIFONE [SE > 2000]
<b>FL</b>	LIVELLO DI FINITURE	-	0.8 "BASSO" 1.0 "MEDIO" 1.2 "ALTO"
<b>YY</b>	ANNO DI COSTRUZIONE / ANNO LAVORI	-	≥ 0
<b>LM</b>	LIVELLO DI MANUTENZIONE	-	0.9 "BASSO" 1.0 "MEDIO" 1.1 "ALTO"
<b>GL</b>	LIVELLO PIANO TERRA	m	> 0
<b>IH</b>	ALTEZZA PIANO INTERNO	m	> 0

<i>Valori per la stima dell'edificio [E]</i>			
TIPO →	<i>DISTACCATO</i>	<i>SEMI DISTACCATO</i>	<i>APPARTAMENTO</i>
↓ STRUTTURA			
<b>CEMENTO ARMATO</b>	1400 €/ m <sup>2</sup>	1400 €/ m <sup>2</sup>	1200 €/ m <sup>2</sup>
<b>MURATURA RINFORZATA</b>	1200 €/ m <sup>2</sup>	1200 €/ m <sup>2</sup>	1000 €/ m <sup>2</sup>
<b>MURATURA NON RINFORZATA</b>	1000 €/ m <sup>2</sup>	1000 €/ m <sup>2</sup>	800 €/ m <sup>2</sup>
<b>LEGNO</b>	1200 €/ m <sup>2</sup>	1200 €/ m <sup>2</sup>	1200 €/ m <sup>2</sup>

Le componenti del danno sono così suddivise nel modello:



Ad ogni componente è attribuito un valore economico [€/m<sup>2</sup>] derivato dalla pubblicazione del fascicolo «Prezzi informativi delle opere edili in Bologna», edita dalla Camera di Commercio di Bologna, anno 2014.

#### 4.1 - CARATTERIZZAZIONE DEGLI EDIFICI ESPOSTI AL RISCHIO

L'esposizione è il secondo parametro nella formula del Rischio, ed è definibile come il valore complessivo di popolazione, proprietà e attività economiche, esposto ad un pericolo in una data area. In questo progetto è stata svolta un'analisi dettagliata di tutti gli edifici della zona, civili o privati che siano. L'unità di misura dell'esposizione è il valore economico, quindi in Euro [€].

Il lavoro è stato eseguito mediante l'uso del software QGIS\*, il quale ha permesso di utilizzare diversi file scaricati in formato raster o vettoriale dal Geoportale della Regione Emilia-Romagna\*\*.

\**QGIS*: è un Sistema di Informazione Geografica Open Source, rilasciato sotto la GNU General Public License. QGIS è un progetto ufficiale della Open Source Geospatial Foundation (OSGeo). QGIS permette di far confluire dati provenienti da diverse fonti in un unico progetto di analisi territoriale.

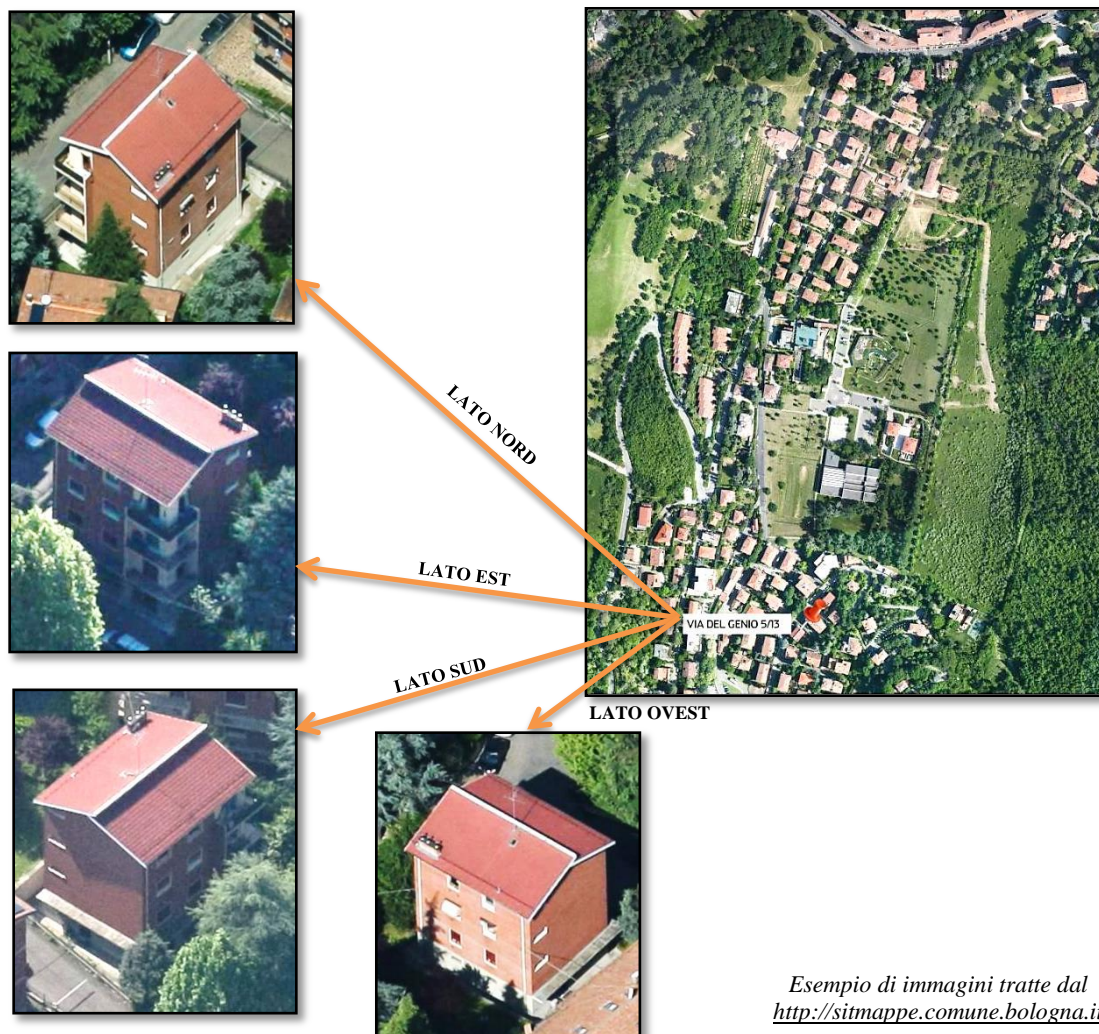
\*\*<https://geoportale.regione.emilia-romagna.it>: il Geoportale è un progetto realizzato nel 2011 come canale di diffusione delle informazioni geografiche prodotte dalla Regione Emilia-Romagna.

Per caratterizzare gli edifici sono stati scaricati dei file vettoriali dal sito <https://geoportale.regione.emilia-romagna.it/it/download/databasetopografico>

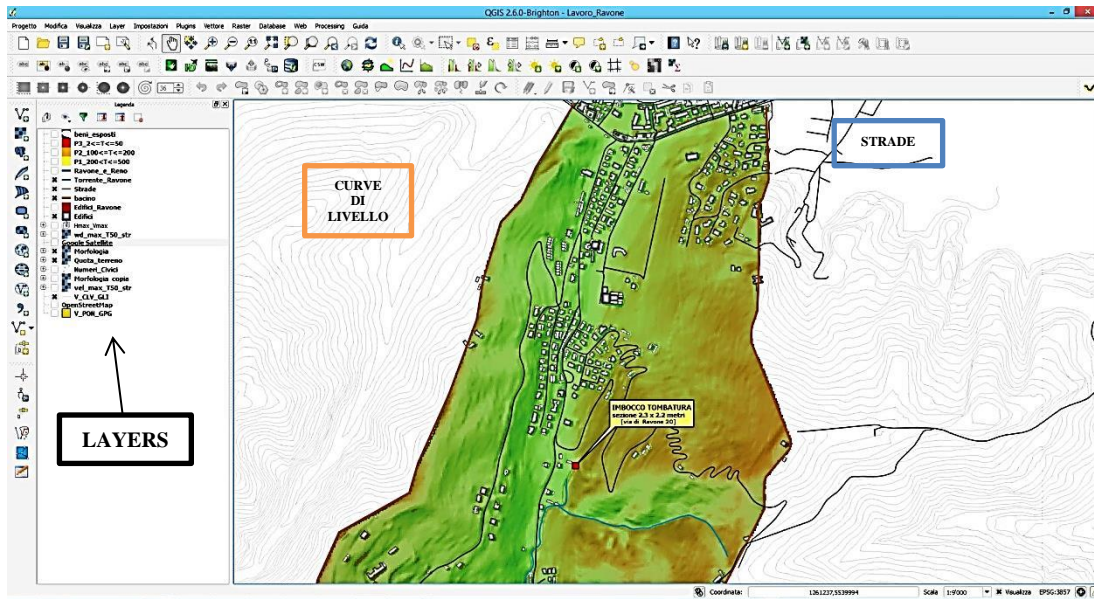
- DBTR2013 - Cassone edilizio - (FAB\_GPG)
- DBTR2013 - Edificio - (EDI\_GPG)
- DBTR2013 - Falda - (FDA\_GPG)
- DBTR2013 - Unità volumetrica - (UVL\_GPG)
- DBTR2013 - Toponimo stradale comunale - (TPS\_GLI)

Ogni file scaricato contiene sotto la voce attributi delle informazioni, come l'altezza di un edificio o il perimetro, e unendo i vari elaborati si può ottenere un valido database, anche se per il modello qui utilizzato è stato necessario rivedere e aggiungere un numero consistente di informazioni in più, assolutamente necessarie ai fini di una stima il più possibile realistica del rischio idraulico e del danno annesso.

Nell'area oggetto di studio ricadono circa 900 edifici, di ognuno è stato verificato manualmente l'altezza in metri, il perimetro esterno, l'area di base e il numero di piani; inoltre si è cercato di controllare se l'edificio avesse un piano interrato. Queste valutazioni sono state realizzate mediante l'utilizzo del sito <http://sitmappe.comune.bologna.it> che ha permesso di verificare i valori sopra citati in modo semplice e veloce, offrendo la possibilità di visualizzare l'edificio da 5 angolazioni differenti, dall'alto e da ogni lato.



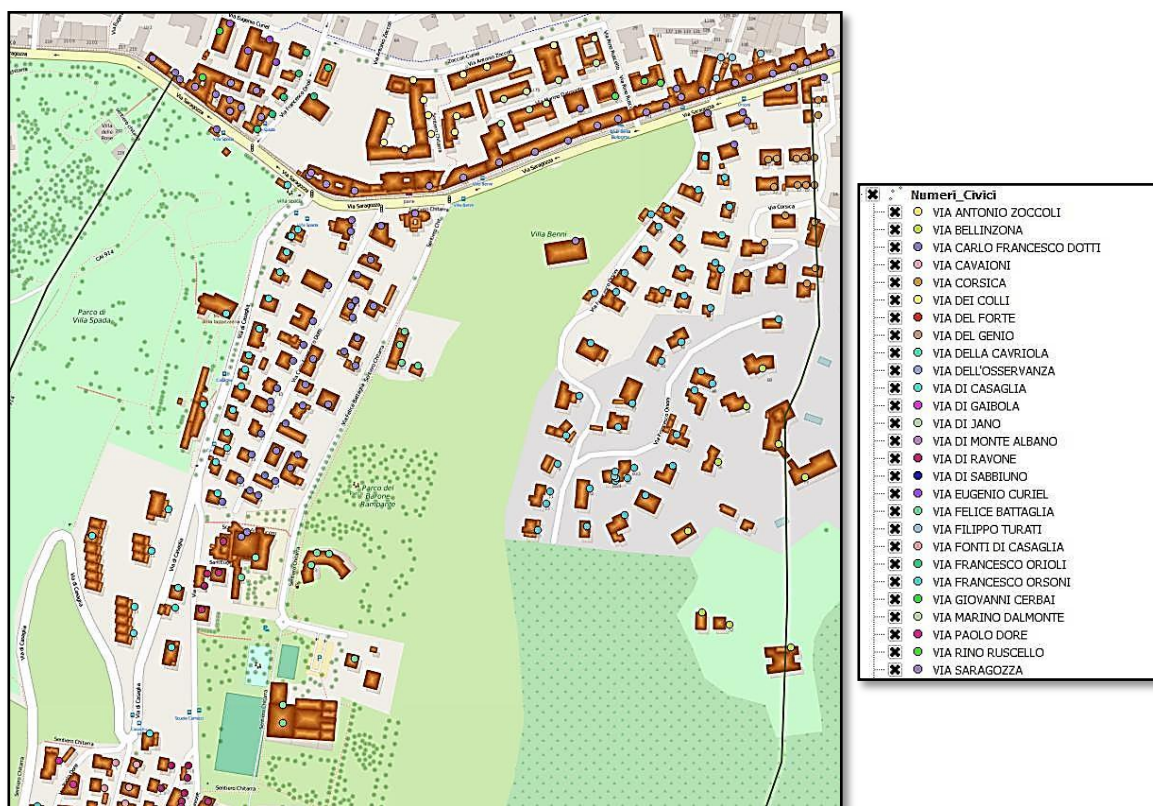
*Esempio di immagini tratte dal  
<http://sitmappe.comune.bologna.it>*



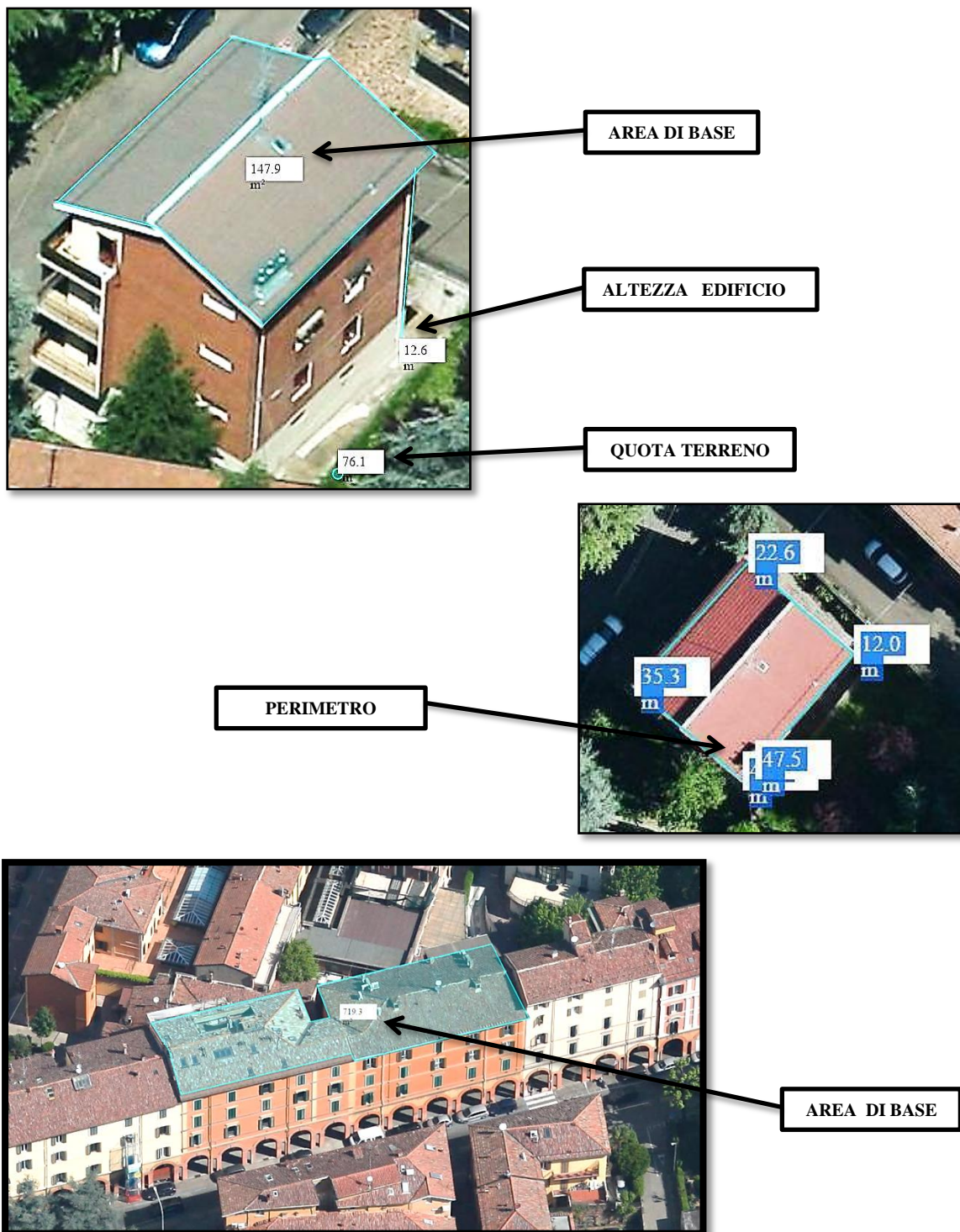
Screenshot dell'applicazione QGIS

Le geometrie degli edifici, definite come poligoni, sono contenute nei vari file vettoriali, per ognuno è stato creato un database di informazioni riassumibile nei seguenti passaggi:

1) ogni edificio viene individuato su QGIS per via e numero civico [pallini colorati]



2) il sito <http://sitmappe.comune.bologna.it> permette di posizionarsi inserendo via e numero civico e inquadrare l'edificio corrispondente; inoltre offre la possibilità di misurare la quota del terreno, l'altezza, il perimetro e l'area di base dell'edificio. Molto spesso le informazioni presenti sui dati vettoriali, come l'area di base e il perimetro, erano errate perché ad esempio due parti diverse dello stesso edificio avevano le stesse misure che però non corrispondevano. Quindi si è proceduto alla verifica e ricalcolo dei dati dei circa 900 edifici presenti nell'area del torrente Ravone, valutando anche la presenza di piani interrati.



3) Per ogni edificio sono state fatte le seguenti osservazioni:

**PER OGNI EDIFICIO SCRIVERE:**

NF [numero di piani]

BT [tipo di edificio]    1 = **Indipendente**  
                                   2 = **Semi Indipendente** [ con un muro in comune]  
                                   3 = **Appartamento** [in condominio]

BS [tipo di struttura]    1 = **RC** [cemento armato]  
                                   2 = **RM** [muratura rinforzata]  
                                   3 = **UM** [muratura non rinforzata]  
                                   4 = **WW** [legno]

YY [anno di costruzione]    1960.....1970...1980 ...1990...2000....2005



**NF = 5**  
**BT = 3**  
**BS = RC**  
**YY = 1970**

**NF = 8 +1 interrato**  
**BT = 3**  
**BS = RC**  
**YY = 1980**

**NF = 4**  
**BT = 3**  
**BS = RC**  
**YY = 1990**

**NF = 4**  
**BT = 2**  
**BS = RM**  
**YY = 1960**

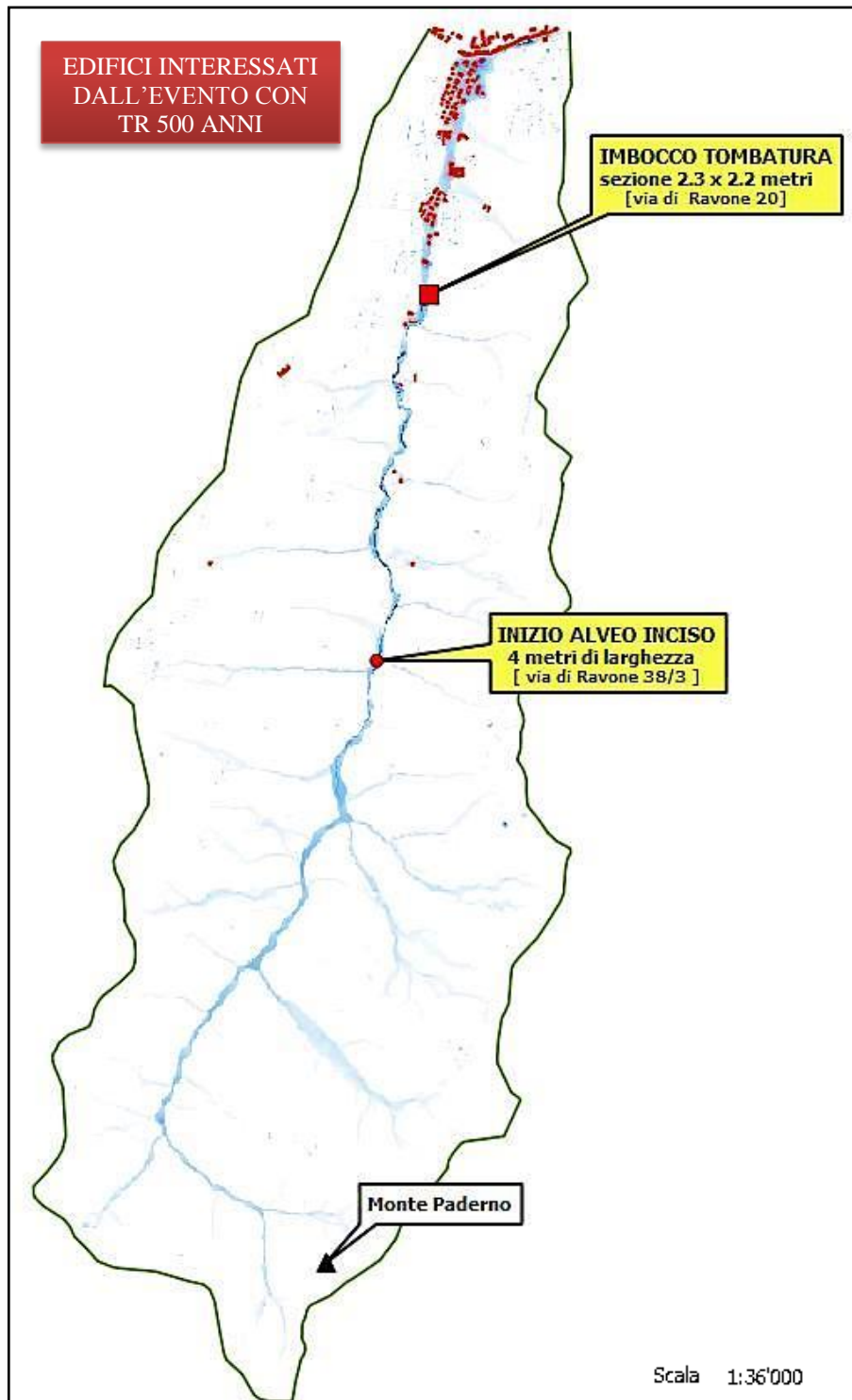


**NF = 1**  
**BT = 1**  
**BS = RC**  
**YY = 2010**





A questo punto sono state immesse tutte le informazioni sugli edifici necessarie per rendere il più affidabile possibile il database su cui il modello INSYDE\* calcolerà i danni per ogni evento fisico con assegnato tempo di ritorno. Di seguito è riportata un breve estratto della tabella riguardante solamente gli edifici che si ritrovano nell'area allagata dalla possibile esondazione con tempo di ritorno di 500 anni, inoltre sono presenti alcuni edifici collinari che perimetralmente non sono circondati dalla rete fognaria.



\*Un ringraziamento speciale a Rui Figueiredo [rui.figueiredo@umeschool.it] per la collaborazione dimostrata nella fase di apprendimento del modello INSYDE.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	ID	VIA	IH	BS	BT	YY	BSMNT	AREA	PERIMETER	FL	LM
2	1	Saragozza	2.4	2	3	1950	1	320	80	1	1
3	2	Saragozza	2.9	2	3	1950	0	270	65	1	1
4	3	Turati	3.2	2	3	1950	0	400	100	1	1
5	4	Saragozza	3	2	3	1950	0	60	37	1	1
6	5	Saragozza	3	2	3	1950	0	265	80	1	1
7	6	del Genio	3	2	1	1980	0	124	48	1	1
8	7	del Genio	4	2	1	1980	0	20	18	1	1
9	8	del Genio	3.3	1	1	1990	0	136	68	1.2	1.1
10	9	Saragozza	2.7	1	3	1999	1	675	150	1.2	1.1
11	10	Saragozza	3	2	3	1960	0	155	49	1	1
12	11	Saragozza	3	2	3	1960	0	80	37	1	1
13	12	Saragozza	2.9	2	3	1960	1	520	97	1	1
14	13	Saragozza	6	2	1	1950	0	477	11	1	1
15	14	Saragozza	2.9	2	3	1960	1	200	64	1	1
16	15	Saragozza	3.2	2	3	1960	0	477	120	1	1
17	16	Saragozza	3	1	3	1960	0	94	47	1.2	1.1
18	17	Saragozza	3	2	3	1950	0	370	90	1	1
19	18	Zoccoli	2.5	1	3	1990	1	360	90	1.2	1.1
20	19	Zoccoli	2.8	1	3	1990	1	260	69	1.2	1.1
21	20	Saragozza	8	2	1	1950	0	700	156	1	1
22	21	Zoccoli	2.4	1	3	1990	1	380	87	1.2	1.1
23	22	Zoccoli	3	1	3	1980	1	100	68	1.2	1.1
24	23	Zoccoli	2.7	1	3	1990	0	160	50	1.2	1.1
25	24	Zoccoli	3	1	3	1980	1	100	68	1.2	1.1
26	25	Dalmonte	2.7	1	3	1970	1	60	32	1.2	1.1
27	26	Zoccoli	2.3	1	3	1990	1	460	95	1.2	1.1
28	27	Orioli	2.9	2	3	1980	0	360	70	1	1
29	28	Dalmonte	2.8	1	3	1970	1	430	100	1.2	1.1
30	29	Dalmonte	3.2	1	3	1970	1	60	32	1.2	1.1
31	30	Zoccoli	2	1	1	1990	1	130	60	1.2	1.1
32	31	Felice Battaglia	2.7	2	3	1999	0	317	80	1	1
33	32	Dotti	2.2	2	1	1999	1	22	20	1	1
34	33	Dotti	2.5	2	3	1980	1	145	48	1	1
35	34	Felice Battaglia	4	2	3	1999	0	37	29	1	1

Tabella illustrativa del lavoro di analisi eseguito per caratterizzare al meglio i 168 edifici dell'area del Bacino del Ravone.





## 5 - RISULTATI: IL DANNO PER OGNI TEMPO DI RITORNO

Dopo aver inserito nel modello i vari dati relativi all'esposizione e vulnerabilità dell'edificio e alla pericolosità del fenomeno fisico per i vari tempi di ritorno, il modello è stato fatto girare e ha restituito un valore economico preciso in € Euro per ogni scenario.

I passaggi finali possono essere così riassunti:

```
RepVal <- RepValData[BS, BT]
RVN[i] <- RepVal * IA * NF
rd[i] <- fun_reldam(he, v, d, s, q,
                  FA, IA, BA, EP, IH, BH, GL, NF, BT, BS, PD, PT, FL, YY, LM, RepVal)
```

- per "RepVal" si intende il valore di sostituzione delle componenti dell'edificio a seconda della tipologia di edificio [BT: indipendente, semi-indipendente, appartamento] e della struttura dell'edificio [BS: cemento armato, muratura rinforzata, muratura non rinforzata, legno].

- per "RVN" si intende il valore di sostituzione sopra calcolato moltiplicato per l'area interna [IA] e per il numero di piani [NF].

- "rd" sta per danno relativo ed è espresso in funzione di tutti i parametri inseriti nel modello INSYDE.

Infine ogni valore di danno assoluto di un edificio [Data\$Dmg], per ogni tempo di ritorno, deriva dal valore di costruzione a nuovo dell'edificio [RVN] moltiplicato per il danno relativo [rd] :

```
Data$Dmglin500 = > RVN X rd
[1] 78426.875 [1] 1280000 [1] 0.061270996
```

ID	VIA	Dmg1in5	Dmg1in10	Dmg1in20	Dmg1in50	Dmg1in100	Dmg1in200	Dmg1in500
1	Saragozza				32'431	33'790	35'884	78'427
2	Saragozza						6'080	21'025
3	Turati				29'434	33'066	34'500	94'610
4	Saragozza					3'477	3'486	7'247
5	Saragozza				7'643	7'660	7'678	16'957
6	del Genio	16'573	17'068	17'366	18'171	18'419	18'568	18'815
7	del Genio	4'268	4'449	4'558	4'771	4'923	5'146	5'297
8	del Genio	20'399	26'537	31'821	38'521	40'226	40'785	41'200
9	Saragozza						27'860	38'059
10	Saragozza						7'500	11'780
11	Saragozza						6'031	9'606
12	Saragozza					22'800	37'753	49'787
13	Saragozza					1'570	4'907	21'575
14	Saragozza				11'342	15'396	22'292	26'243
15	Saragozza				11'595	11'622	19'387	31'553
16	Saragozza							5'187
17	Saragozza				33'185	37'068	38'119	91'146
18	Zoccoli				20'308	20'446	25'016	25'625
19	Zoccoli				15'338	15'426	19'303	19'703
20	Saragozza				61'842	63'002	85'164	299'288
21	Zoccoli				20'465	20'599	24'870	25'461
22	Zoccoli					14'615	14'810	14'810
23	Zoccoli				8'304	8'592	9'351	12'678
24	Zoccoli				10'770	14'489	15'062	15'871
25	Dalmonte				5'385	5'409	5'426	5'450
26	Zoccoli				29'108	29'569	31'427	41'393
27	Orioli				10'855	10'915	10'915	10'975
28	Dalmonte				23'661	23'713	23'790	29'213
29	Dalmonte				5'429	5'446	5'470	5'495
30	Zoccoli				12'864	15'604	16'166	20'360
31	Felice Battaglia				25'381	25'989	31'849	61'912
32	Dotti				4'725	5'036	6'161	7'319
33	Dotti				13'765	14'529	18'115	21'356
34	Felice Battaglia				7'434	7'647	8'742	12'418
35	Dotti				1'776	2'034	2'653	3'089
36	Dotti				10'991	13'248	17'695	20'247
37	Dotti				12'555	12'930	17'321	20'685
38	Dotti				4'599	5'194	6'349	7'383
39	Dotti				18'536	29'934	33'062	38'099
40	Dotti				19'252	20'471	24'900	47'303
41	Dotti				42'365	43'794	51'276	76'179
42	Dotti				5'793	6'263	9'315	14'474
43	Dotti				22'359	25'130	48'389	61'175
44	Dotti				3'945	4'299	5'879	9'470
45	Saragozza				2'902	3'156	4'179	6'362
46	Saragozza				29'582	32'225	39'686	56'051
47	Saragozza				39'532	42'179	48'165	78'533
48	Saragozza				2'668	2'931	3'994	6'386
49	Saragozza				35'256	41'616	51'878	61'036
50	Dotti				4'850	4'883	4'940	10'481
51	di Casaglia				5'265	5'277	5'301	5'337
52	Dotti						4'480	9'802
53	Dotti				10'038	10'615	13'200	18'279
54	di Casaglia						6'545	10'068
55	di Casaglia						7'607	12'748
56	Dotti						951	1'792
57	Dotti				4'923	4'970	10'832	15'413
58	Dotti				12'522	13'043	19'533	22'728
59	Dotti				15'067	15'653	15'949	21'892
60	di Casaglia				2'293	2'381	3'381	4'008

ID	VIA	Dmg1in5	Dmg1in10	Dmg1in20	Dmg1in50	Dmg1in100	Dmg1in200	Dmg1in500
61	di Casaglia				5'325	9'338	15'242	17'750
62	Dotti				27'090	29'481	39'766	69'192
63	Dotti				15'379	15'783	56'705	62'308
64	Dotti				4'131	4'616	6'056	7'073
65	di Casaglia				3'879	5'200	6'554	7'800
66	Dotti				13'586	13'819	14'170	16'973
67	Dotti				8'608	10'257	10'629	14'517
68	Dotti				6'470	6'669	17'024	23'362
69	Dotti				4'285	4'374	4'614	5'358
70	Dotti				14'964	15'049	24'724	32'450
71	Dotti				3'700	3'772	3'881	4'489
72	Dotti				26'559	26'883	27'369	31'991
73	Dotti				5'841	7'636	8'894	10'785
74	Dotti				11'520	15'653	22'127	26'999
75	Dotti				3'674	7'362	13'692	15'826
76	di Casaglia				7'919	8'325	10'263	12'128
77	Dotti							4'734
78	di Casaglia				4'155	4'164	4'174	7'137
79	di Casaglia							4'607
80	Dotti							7'659
81	di Casaglia				3'985	3'994	3'994	6'776
82	Dotti						4'007	4'016
83	di Casaglia				8'312	8'334	10'677	13'734
84	Dotti							17'163
85	Dotti				4'843	4'886	7'882	10'830
86	Dotti				5'400	5'449	8'726	12'200
87	Felice Battaglia				6'045	6'065	7'987	17'672
88	Dotti				12'578	14'124	16'257	19'340
89	Dotti				4'992	5'268	6'713	8'078
90	Felice Battaglia				4'831	5'101	6'293	7'432
91	Dotti				7'365	7'569	8'936	12'932
92	Felice Battaglia				2'170	2'250	2'783	3'305
93	Felice Battaglia		7'957	11'601	15'702	33'328	36'029	36'235
94	Felice Battaglia				8'815	8'827	8'827	8'839
95	Felice Battaglia				16'751	17'210	20'982	27'207
96	Felice Battaglia				17'002	17'402	22'918	26'568
97	Felice Battaglia					2'459	2'465	2'465
98	Felice Battaglia				48'436	49'347	54'642	67'436
99	Felice Battaglia				43'938	44'082	44'371	77'598
100	Dotti				26'526	35'025	57'011	81'855
101	Ravone				32'942	33'313	36'712	44'415
102	Ravone						7'395	16'085
103	Ravone						2'140	2'160
104	Ravone				5'649	5'708	6'915	13'055
105	Ravone							2'237
106	Ravone				4'368	4'423	4'793	5'839
107	del Genio				39'436	39'681	40'536	46'103
108	Ravone				4'105	4'138	6'376	8'288
109	del Genio				9'284	9'621	11'596	14'978
110	del Genio				9'855	12'642	16'037	19'080
111	Ravone				9'638	9'938	13'291	18'229
112	del Genio				11'751	11'818	18'948	25'298
113	Ravone				5'514	6'053	7'226	8'202
114	del Genio				5'727	5'792	10'086	15'556
115	del Genio				15'101	17'431	21'038	23'682
116	Ravone				9'939	12'136	16'676	20'886
117	Ravone				6'803	6'825	8'636	12'788
118	Ravone				11'064	11'777	13'249	16'046
119	Ravone				14'549	16'750	18'695	22'751
120	del Genio				4'143	4'427	7'487	8'414

ID	VIA	Dmg lin5	Dmg lin10	Dmg lin20	Dmg lin50	Dmg lin100	Dmg lin200	Dmg lin500
121	del Genio					12'659	16'464	23'602
122	Felice Battaglia				2'719	2'725	2'761	5'919
123	Felice Battaglia				39'407	48'451	53'149	67'378
124	Felice Battaglia				23'882	25'137	26'026	26'915
125	Felice Battaglia	31'636	52'973	105'994	134'828	142'059	158'350	159'021
126	Felice Battaglia				8'768	8'780	8'780	8'792
127	Ravone		9'567	14'753	18'648	32'514	37'141	37'313
128	Ravone					1'362	1'365	1'399
129	Ravone	5'030	9'628	10'283	16'500	38'235	40'166	41'841
130	del Genio				28'772	29'075	63'165	71'832
131	del Genio				17'173	19'398	44'887	52'622
132	del Genio				16'152	16'929	21'014	24'628
133	del Genio				11'154	11'168	11'208	18'116
134	del Genio				12'752	13'103	18'154	22'059
135	Ravone				6'291	9'802	14'553	20'532
136	Ravone				10'990	13'759	16'377	21'233
137	Ravone	1'751	2'877	2'905	3'753	4'388	4'825	5'923
138	Ravone	5'364	8'396	8'542	12'579	15'380	17'074	19'274
139	Ravone	8'748	8'782	8'793	8'826	8'837	8'848	8'859
140	Ravone		2'999	2'999	3'004	3'004	3'030	4'489
141	Ravone	3'518	3'543	3'551	3'576	3'584	3'592	3'600
142	Ravone	4'460	6'464	9'421	11'763	12'218	12'623	13'061
143	Ravone	8'551	12'810	16'678	21'689	23'040	25'106	26'923
144	di Casaglia	11'507	13'559	13'732	14'078	14'194	14'367	14'484
145	Ravone		49'957	71'555	89'419	91'324	92'830	94'410
146	di Casaglia		4'988	6'716	8'874	15'338	16'566	17'289
147	di Casaglia	6'855	10'152	10'271	10'449	10'567	10'626	11'069
148	Ravone	22'863	23'269	23'404	23'675	23'810	23'945	24'148
149	Ravone	7'488	7'593	7'645	7'732	11'421	11'552	11'829
150	Ravone		6'879	6'927	6'991	10'134	10'255	10'376
151	Ravone	4'099	6'386	6'643	7'020	8'314	8'420	8'562
152	Orioli				2'972	2'979	2'979	2'986
153	Saragozza				4'564	4'575	4'575	4'586
154	Orioli				13'024	13'191	13'405	13'655
155	Saragozza				19'233	19'293	19'373	24'446
156	Saragozza				63'948	65'933	69'738	76'490
157	Orioli				4'756	4'767	4'778	4'799
158	Saragozza				9'224	9'247	9'269	12'039
159	Saragozza				6'822	11'250	11'612	12'093
160	Saragozza				3'949	4'394	4'475	4'590
161	Saragozza				60'142	65'420	124'466	166'316
162	Saragozza				4'723	5'254	6'322	16'730
163	Rino Ruscello				25'080	33'064	33'458	34'163
164	Saragozza						9'165	39'359
165	Ravone						5'421	8'111
166	Ravone						4'769	7'256
167	Ravone							3'245
168	Ravone			1'649	3'321	3'978	4'358	4'863
		<b>Σ Dmg lin5</b>	<b>Σ Dmg lin10</b>	<b>Σ Dmg lin20</b>	<b>Σ Dmg lin50</b>	<b>Σ Dmg lin100</b>	<b>Σ Dmg lin200</b>	<b>Σ Dmg lin500</b>
		<b>163'111</b>	<b>296'835</b>	<b>397'807</b>	<b>2'177'661</b>	<b>2'468'899</b>	<b>3'135'672</b>	<b>4'338'995</b>

Sopra è indicata la sommatoria dei danni agli edifici per ogni tempo di ritorno; questi dati serviranno poi per le successive valutazioni legate al rischio idraulico.



## 6 - ELABORAZIONE MAPPE

Le mappe del rischio di alluvioni (di cui al comm.5 – art.6 del D.Lgs. 49/2010) dovranno indicare le potenziali conseguenze negative per la salute umana, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche derivanti da fenomeni di inondazione così come definiti attraverso le mappe della pericolosità. Si ricorda che il rischio si esprime come prodotto della pericolosità, vulnerabilità ed esposizione o come prodotto della pericolosità e del danno potenziale in corrispondenza di un determinato evento:

$$R = P \times E \times V = P \times Dp$$

dove:

- **P (pericolosità):**

probabilità di accadimento, all'interno di una certa area e in un certo intervallo di tempo, di un fenomeno naturale di assegnata intensità;

- **E (elementi esposti):**

persone e/o beni (abitazioni, strutture, infrastrutture, ecc.) e/o attività (economiche, sociali, ecc.) esposte ad un evento naturale;

- **V (vulnerabilità):**

grado di capacità (o incapacità) di un sistema/elemento a resistere all'evento naturale;

- **Dp (danno potenziale):**

grado di perdita prevedibile a seguito di un fenomeno naturale di data intensità, funzione sia del valore che della vulnerabilità dell'elemento esposto;

- **R (rischio):**

numero atteso di vittime, persone ferite, danni a proprietà, beni culturali e ambientali, distruzione o interruzione di attività economiche, in conseguenza di un fenomeno naturale di assegnata intensità.

### 6.1 - NORMATIVA

Facendo riferimento al documento propositivo di sintesi sulla Direttiva Alluvioni del MATTM [Ministero dell'Ambiente, della Tutela del Territorio e del Mare] - DG TTRI [Direzione Generale per la Tutela del Territorio e delle Risorse Idriche], nello specifico al "DOCUMENTO CONCLUSIVO DEL TAVOLO TECNICO STATO-REGIONI INDIRIZZI OPERATIVI PER L' ATTUAZIONE DELLA DIRETTIVA 2007/60/CE RELATIVA ALLA VALUTAZIONE ED ALLA GESTIONE DEI RISCHI DA ALLUVIONI CON RIFERIMENTO ALLA PREDISPOSIZIONE DELLE MAPPE DELLA PERICOLOSITÀ E DEL RISCHIO DI ALLUVIONI" (Decreto Legislativo n. 49/2010), viene richiamata la Direttiva Europea n. 2007/60/CE del 23 ottobre 2007, che intende istituire "un quadro per la valutazione e la gestione dei rischi di alluvioni, volto a ridurre le conseguenze negative per la salute umana, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche ... " (art.1); ora il presente documento di sintesi, redatto con il contributo di ISPRA, ha lo scopo di fornire una proposta metodologica e operativa per affrontare alcune problematiche e/o criticità connesse alla realizzazione delle mappe di pericolosità e di rischio inondazione previste dalla Direttiva 2007/60/CE e dal relativo decreto attuativo, il D.Lgs. 49/2010.

CLASSI DI RISCHIO		CLASSI DI PERICOLOSITA				
		P3	P2		P1	
CLASSI DI DANNO	D4	R4	R4	R3	R2	
	D3	R4	R3	R3	R2	R1
	D2	R3	R2	R2	R1	
	D1	R1		R1	R1	

Matrice del rischio generale (Indirizzi Operativi MATTM)

## 6.2 - MAPPATURA DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA

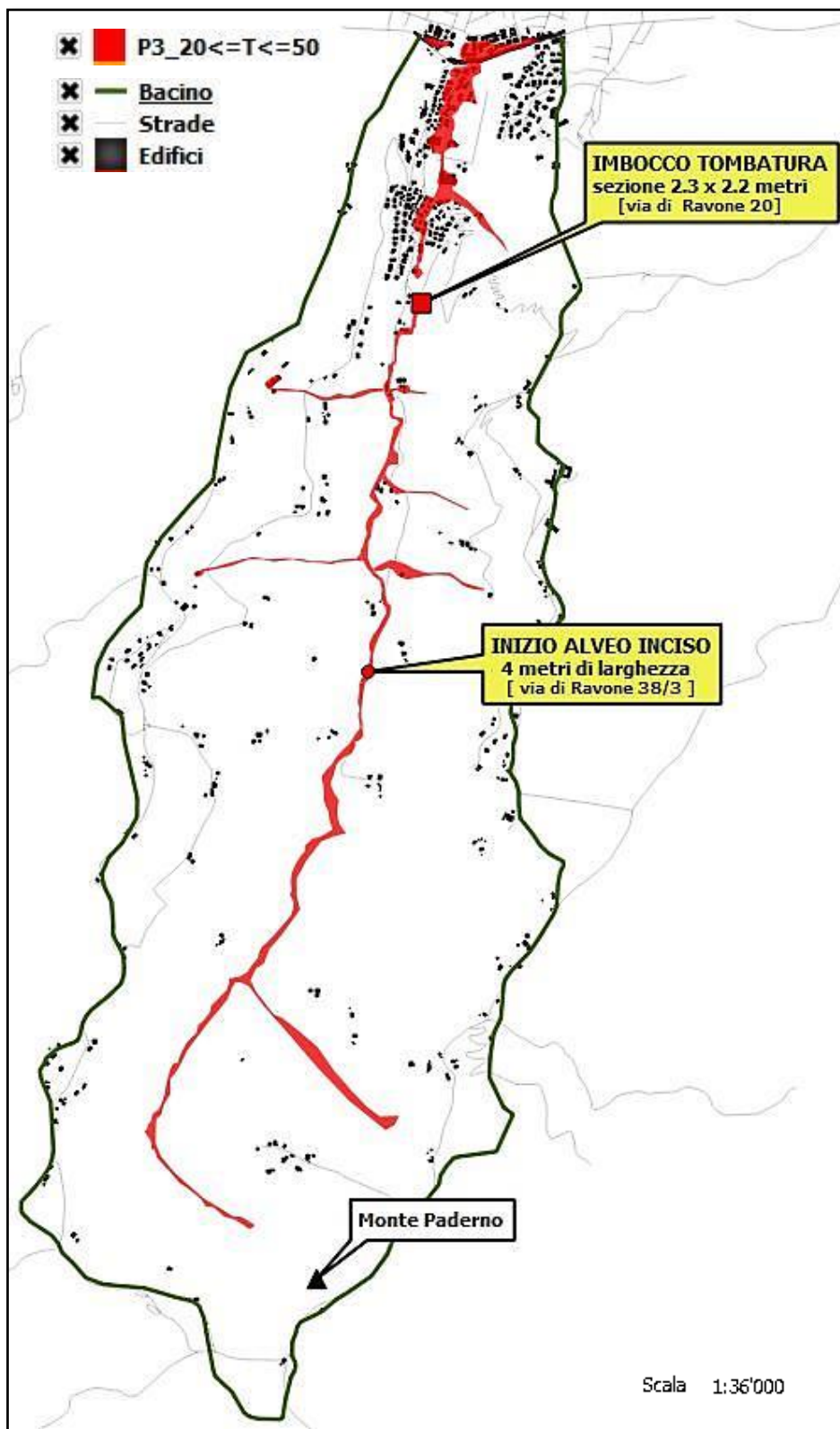
In linea generale l'obiettivo di questa attività è rappresentare le aree potenzialmente interessate da alluvioni secondo scenari prestabiliti (D.Lgs. 49/2010) indicando, laddove possibile ed in relazione al livello sviluppato a questo stato, le informazioni relative alla portata di piena, tiranti idrici e velocità di deflusso delle correnti. Al fine di giungere alla definizione di criteri omogenei, cui riferirsi per la rappresentazione delle classi di pericolosità, occorre ricordare che la stessa è funzione principalmente delle seguenti grandezze:

- tempo di ritorno ovvero il tempo medio tra due eventi calamitosi (cioè di intensità maggiore di un valore prefissato);
- tirante idrico (h espresso in m) e velocità (v espresso in m/s).

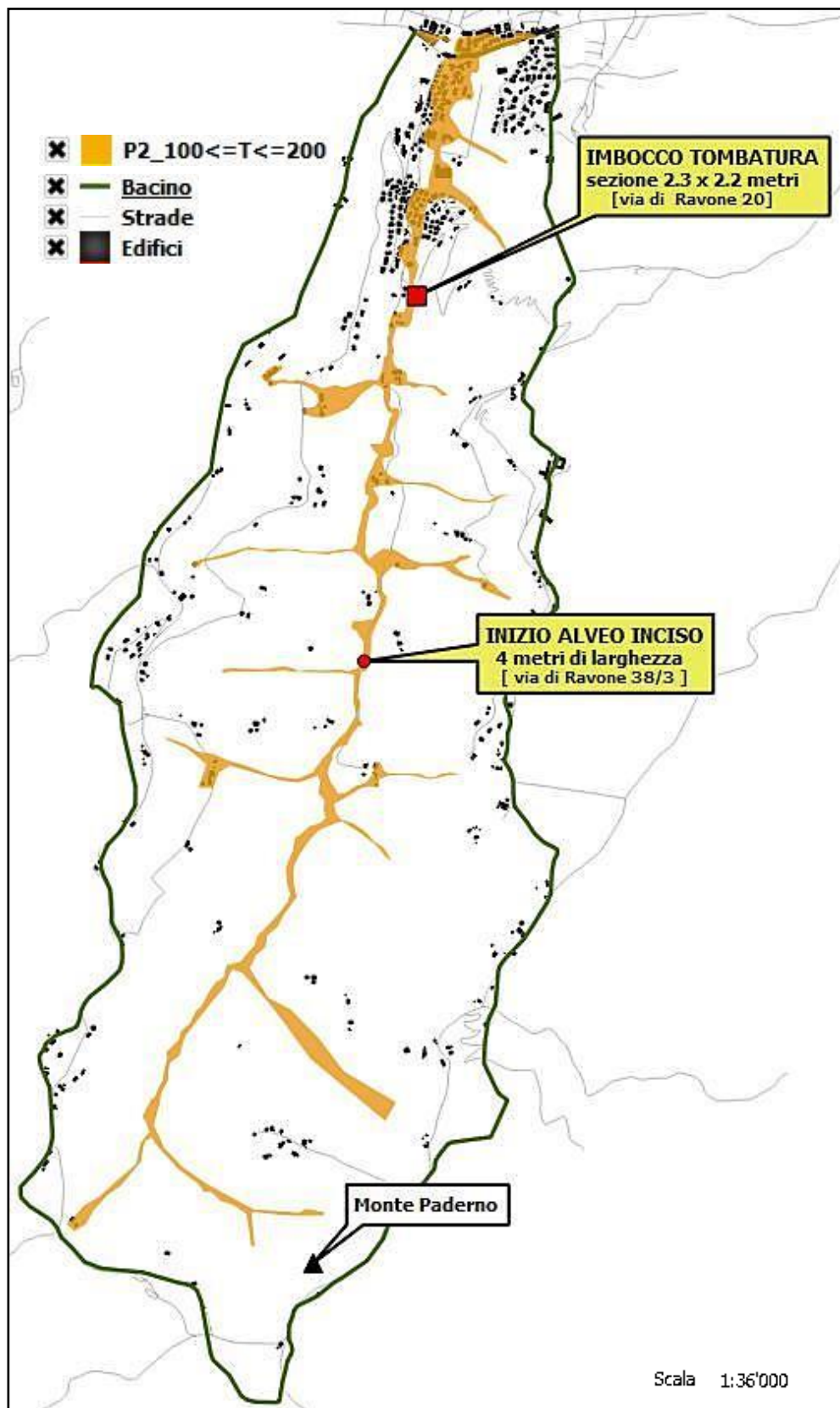
Rispetto al Tempo di ritorno come è noto, il D.Lgs. 49/2010 considera tre classi di pericolosità:

- ❖ **20 ≤ T ≤ 50 anni**  
(alluvioni FREQUENTI – elevata probabilità di accadimento, **P3**);
- ❖ **100 ≤ T ≤ 200 anni**  
(alluvioni POCO FREQUENTI – media probabilità di accadimento, **P2**);
- ❖ **200 < T ≤ 500 anni**  
(alluvioni RARE DI ESTREMA INTENSITA' – bassa probabilità di accadimento, **P1**).

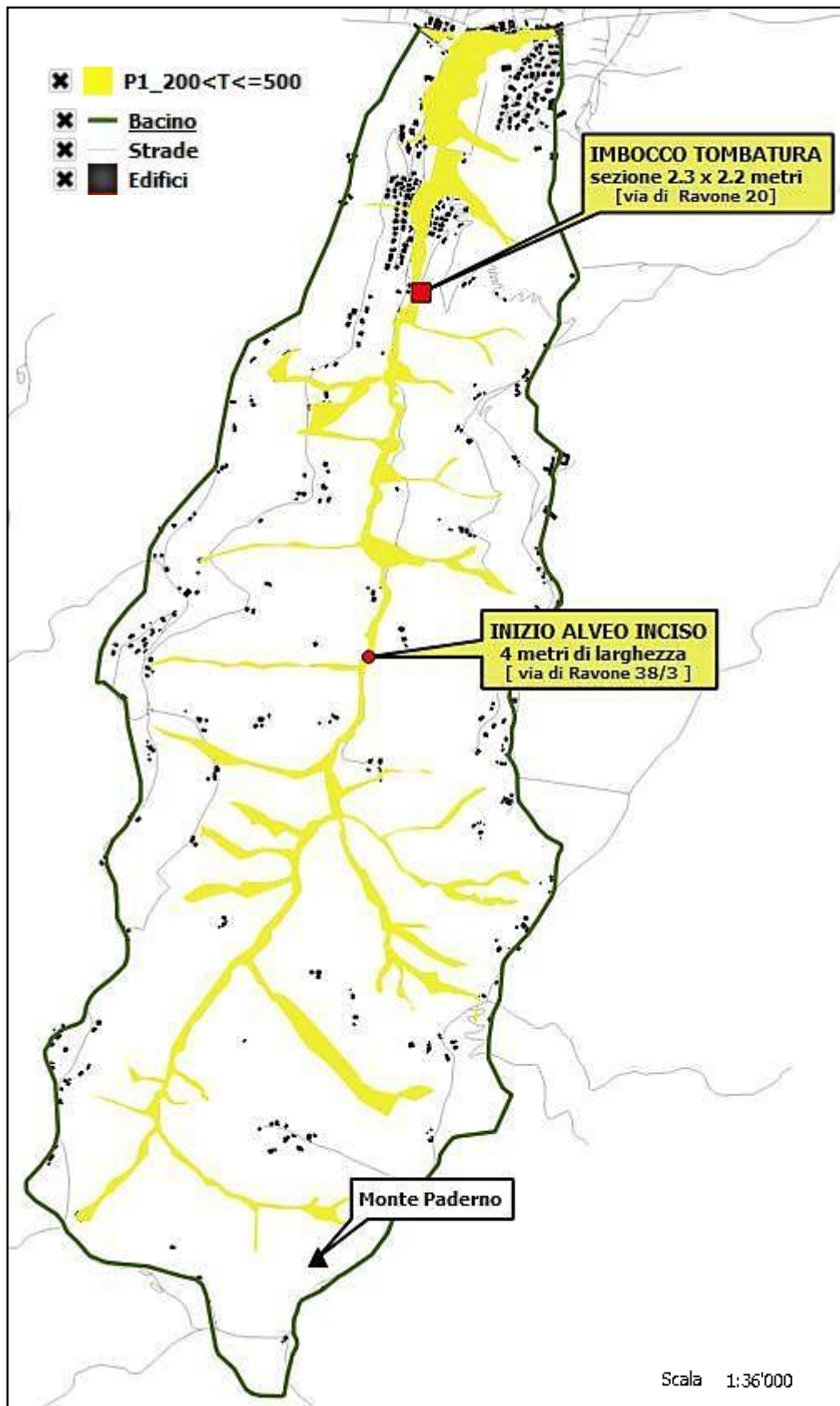
**MAPPA DELLA PERICOLOSITA' per  $20 \leq T \leq 50$  anni**  
[alluvioni FREQUENTI – elevata probabilità di accadimento, P3]



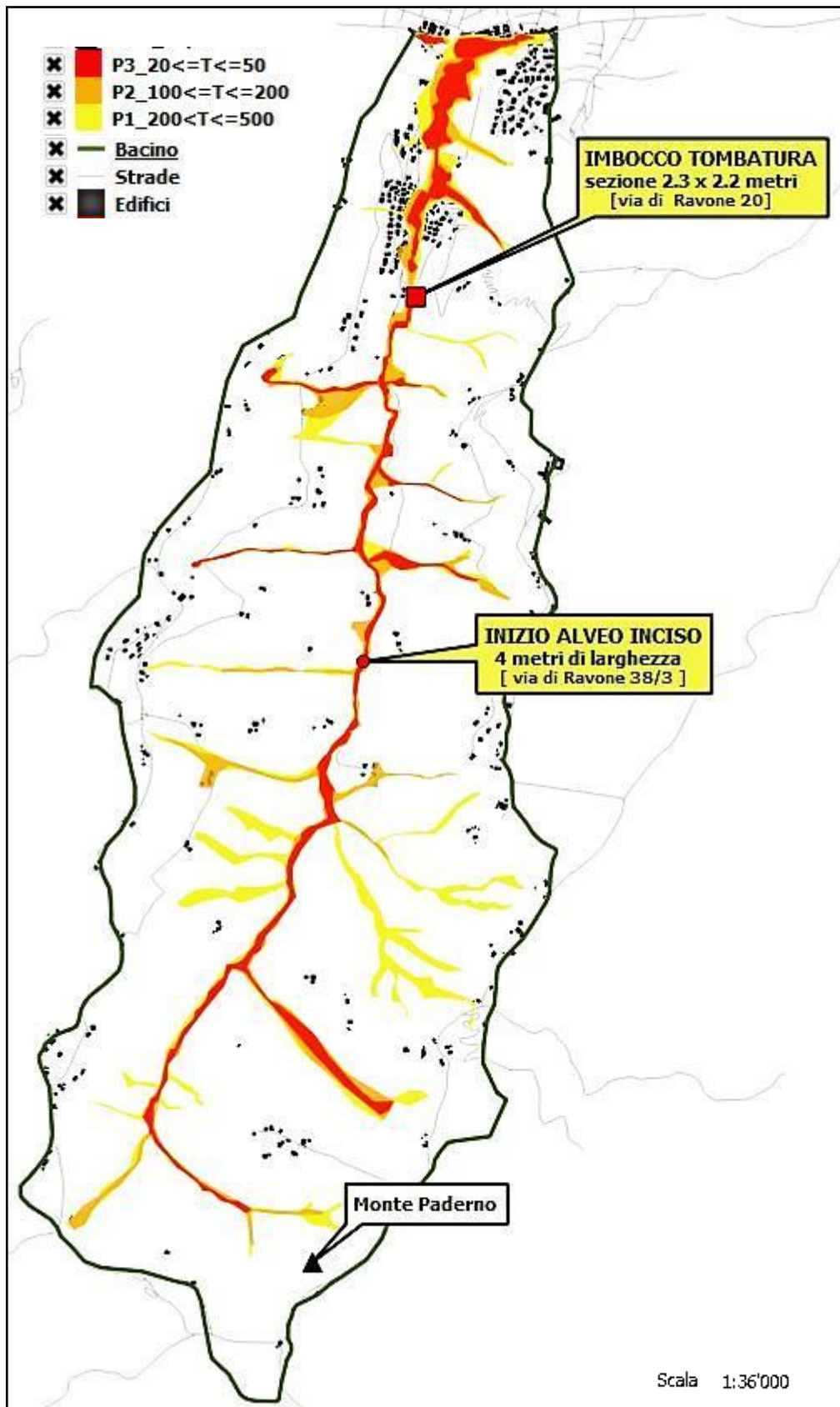
**MAPPA DELLA PERICOLOSITA' per  $100 \leq T \leq 200$  anni**  
[alluvioni POCO FREQUENTI – media probabilità di accadimento, P2]



**MAPPA DELLA PERICOLOSITA' per  $200 < T \leq 500$  anni**  
[alluvioni RARE DI ESTREMA INTENSITA' – bassa probabilità di accadimento, P1]



**MAPPA PERICOLOSITA' FINALE**  
[SOVRAPPOSIZIONE DI P3-P2-P1]



### 6.3 - MAPPATURA DEL DANNO POTENZIALE

Si ricorda che l'acquisizione dei dati degli elementi esposti è stata realizzata mediante l'utilizzo di mappe contenute negli strumenti di pianificazione [es. DBTR\_2013, <https://geoportale.regione.emilia-romagna.it/it/download/databasetopografico>] e dalle immagini aeree [dal sito <http://sitmappe.comune.bologna.it>]. Inoltre, il valore dei beni esposti e la loro vulnerabilità sono stati calcolati mediante l'utilizzo del modello INSYDE, come in precedenza spiegato.

Le classi di Danno Potenziale risulteranno quattro tenendo conto per la loro definizione in primo luogo, del danno alle persone, e poi di quello al tessuto socio-economico. Le quattro classi di danno possono così essere definite:

• **D4 (*Danno potenziale molto elevato*):**

aree in cui si può verificare la perdita di vite umane, ingenti danni ai beni economici, naturali storici e culturali di rilevante interesse, gravi disastri ecologico-ambientali; nello specifico le aree con questo danno sono in prossimità dei centri abitati più rilevanti.

• **D3 (*Danno potenziale elevato*):**

aree con problemi per l'incolumità delle persone e per la funzionalità del sistema economico, aree attraversate da linee di comunicazione e da servizi di rilevante interesse, le aree sedi di importanti attività produttive; nello specifico le aree con questo danno sono quelle dove sorgono complessi abitativi raggruppati attraversati in genere da una strada principale o secondaria di rilievo in quanto collegamenti importanti con le zone limitrofe.

• **D2 (*Danno potenziale medio*):**

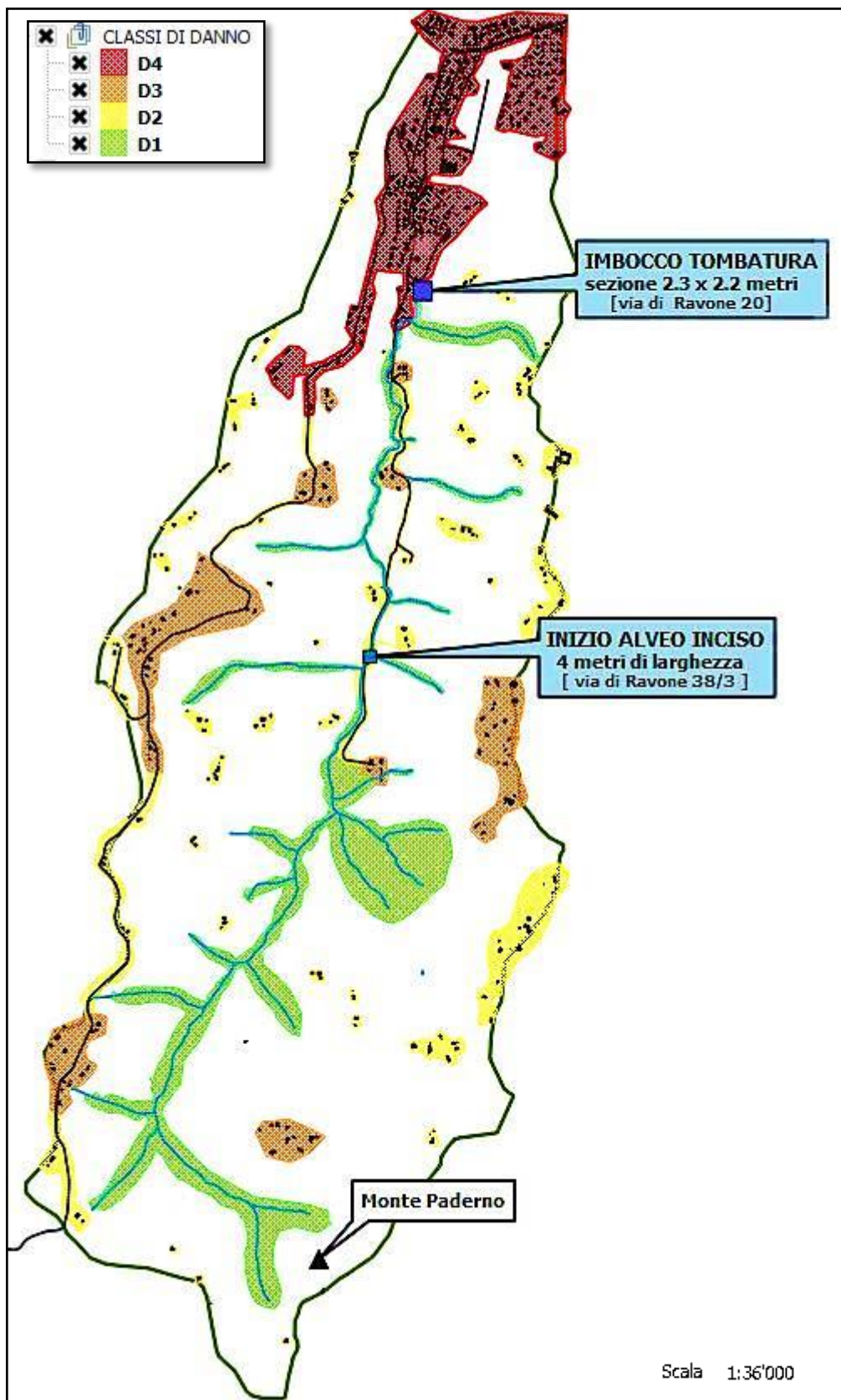
aree con limitati effetti sulle persone e sul tessuto socio-economico. Aree attraversate da infrastrutture secondarie e attività produttive minori, destinate sostanzialmente ad attività agricole o a verde pubblico; nello specifico si evidenziano edifici privati singoli o in piccoli raggruppamenti e tratti stradali secondari.

• **D1 (*Danno potenziale moderato o nullo*):**

comprende le aree libere da insediamenti urbani o produttivi dove risulta possibile il libero deflusso delle piene.

La carta del danno potenziale avrà dunque quattro differenti campiture corrispondenti ai quattro livelli di danno atteso. Dal punto di vista grafico sono stati impiegati dei poligoni, quindi una simbologia areale. Occorre specificare che al momento dell'identificazione di un'area omogenea (es. centro urbano), nel caso in cui al suo interno rientrino ulteriori sotto-categorie, esse non verranno esplicitamente rappresentate, associando il livello di Danno più gravoso a tutti gli elementi presenti (criterio di prevalenza dell'indice di danno massimo, D.Lgs n. 49/2010; MATTM, gennaio 2013).

# MAPPA DI DANNO POTENZIALE





## 6.4 - MAPPATURA DEL RISCHIO IDRAULICO

Una volta definite le varie classi di danno così come riportato al precedente paragrafo, occorre definire il valore del rischio in funzione della pericolosità dell'evento atteso. Pertanto, individuati i 3 livelli di pericolosità (P3, P2, P1) e i 4 di danno potenziale (D4, D3, D2, D1) verranno stabiliti i quattro livelli di Rischio conseguenti R4, R3, R2 ed R1 e quindi redatta la carta del rischio.

Il D.P.C.M. 29.09.98 "Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e del D.L. 11.06.98, n. 180" nel ribadire che i Piani di Bacino, devono tener conto delle disposizioni del D.P.R. 18.07.95, definisce, con riferimento ad esperienze di pianificazione già effettuate quattro classi di rischio:

• **R4 (rischio molto elevato):**

per il quale sono possibili perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture ed al patrimonio ambientale, la distruzione di attività socio-economiche;

• **R3 (rischio elevato):**

per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, l'interruzione di funzionalità delle attività socio-economiche e danni relativi al patrimonio ambientale;

• **R2 (rischio medio):**

per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche;

• **R1 (rischio moderato o nullo):**

per il quale i danni sociali, economici ed al patrimonio ambientale sono trascurabili o nulli.

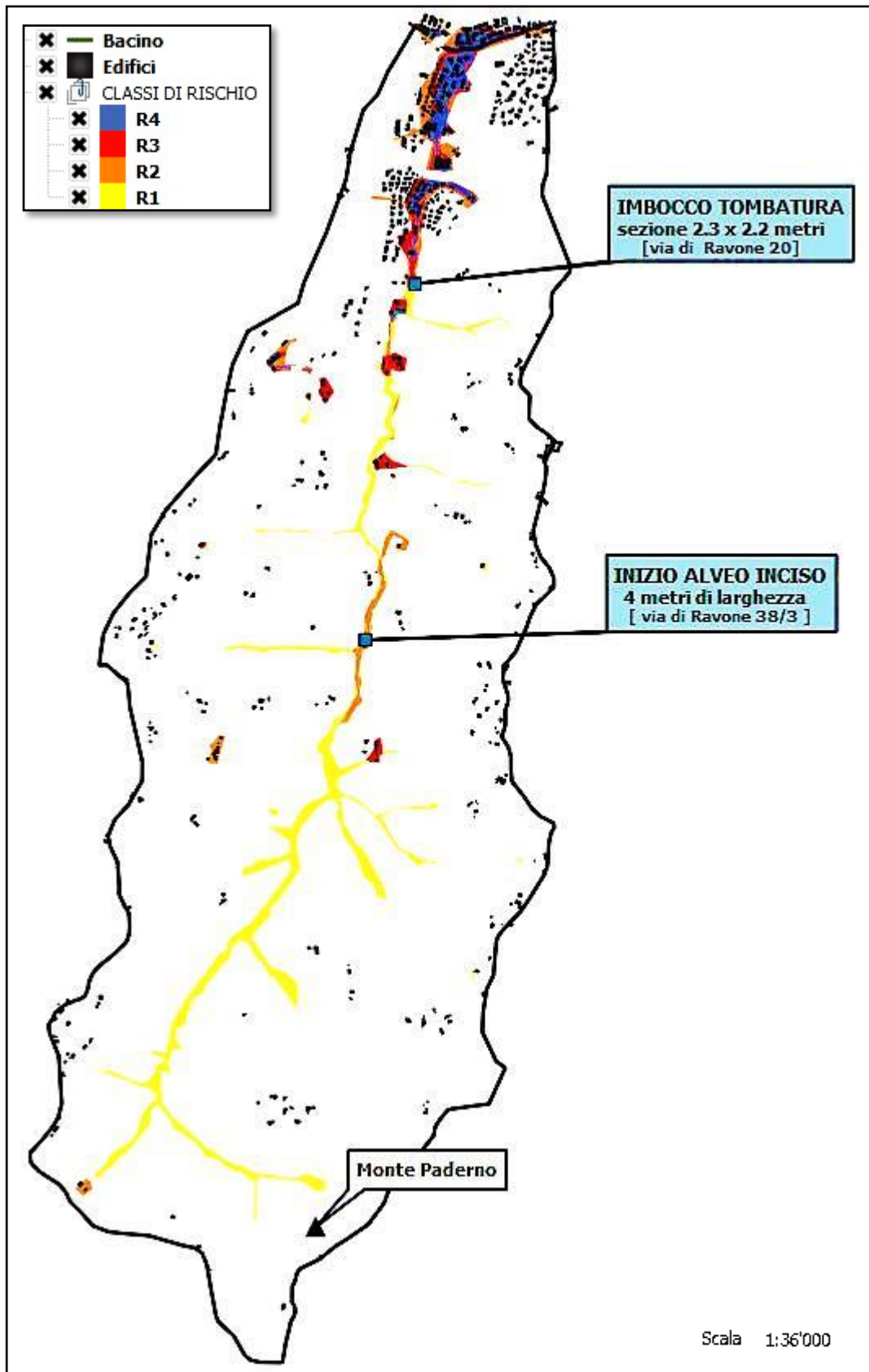
La matrice specifica utilizzata in questo caso è stata acquisita dal "Piano di Gestione del rischio di alluvioni, Autorità di Bacino del fiume Po", dato che il torrente Ravone è considerato un reticolo secondario collinare appenninico.

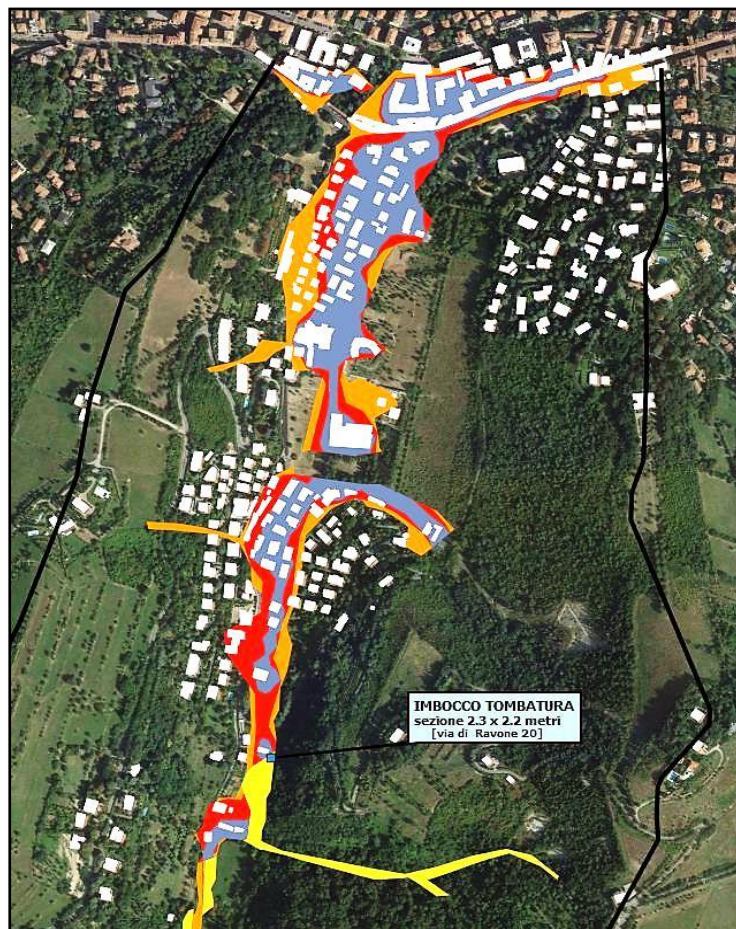
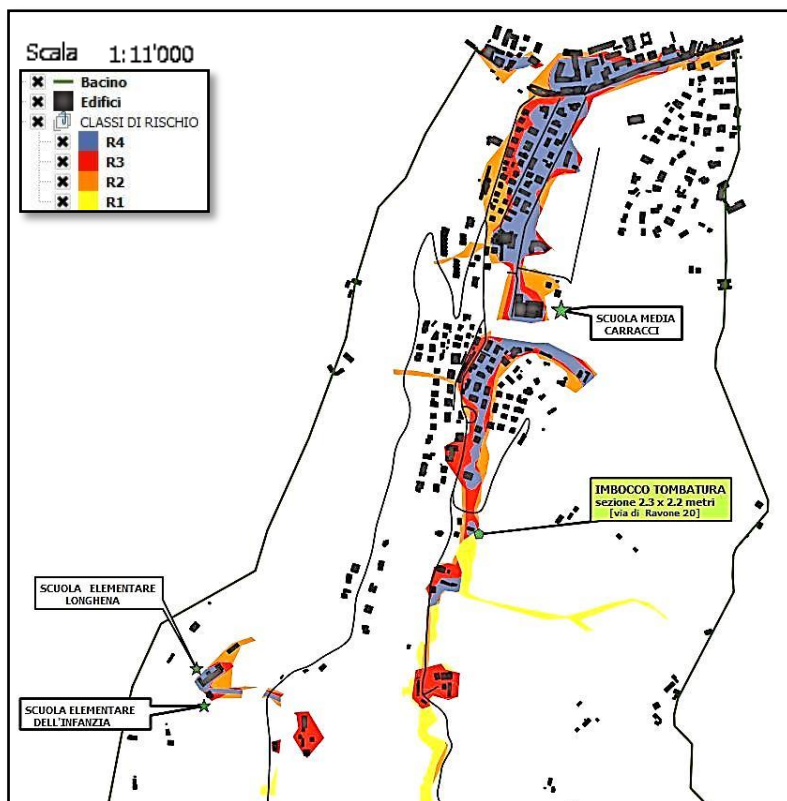
CLASSI DI RISCHIO		CLASSI DI PERICOLOSITA'		
		P3	P2	P1
CLASSI DI DANNO	D4	R4	R3	R2
	D3	R3	R3	R1
	D2	R2	R2	R1
	D1	R1	R1	R1

**Matrice 2**

- Aree costiere lacuali (ACL)
- Aree costiere marine (ACM),  
Reticolo secondario collinare e montano (RSCM appenninico)

## MAPPA DI RISCHIO IDRAULICO

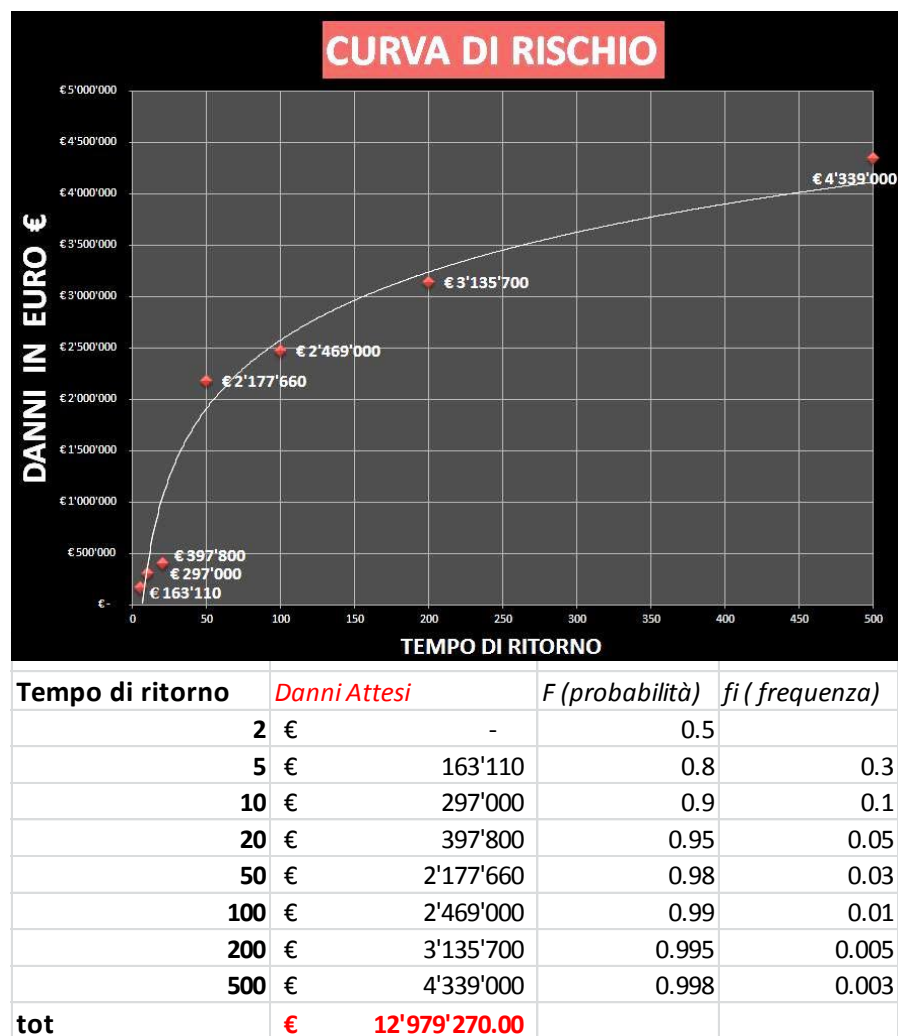




## 7 - CURVA DI RISCHIO E ANNUAL AVERAGE LOSS

Dai risultati ottenuti mediante l'utilizzo del modello INSYDE è possibile estrapolare la curva di rischio, che mette in relazione la valutazione dei danni attesi e il tempo di ritorno.

I danni possono essere suddivisi in “diretti” e “indiretti”: tale distinzione è dovuta al fatto che i beni possano essere a contatto o meno con l'evento naturale che nello specifico è l'acqua. Tali danni possono essere ulteriormente suddivisi in danni “tangibili” e “intangibili” in funzione della possibilità o meno di poter assegnare un valore monetario a tali danni. Alcuni esempi di danni tangibili sono la perdita economica subita, a causa di un evento alluvionale, su edifici, infrastrutture oppure la perdita del raccolto di una superficie coltivata, mentre per quanto riguarda alcuni esempi di danno intangibile si possono citare la perdita di un'area archeologica, di beni artistici di inestimabile valore oppure il danno ad un ecosistema.



Kofi Annan, ex Segretario delle Nazioni Unite, disse nel 2002: “*Strategie di prevenzione più efficaci farebbero non solo risparmiare decine di miliardi di dollari ma salverebbero decine di migliaia di vite; costruire una cultura di prevenzione non è facile. Mentre i costi della prevenzione debbono essere pagati nel presente, i suoi benefici si avvertono solo in un futuro distante. Per di più, i benefici non sono tangibili: sono i disastri non avvenuti*”.

L’ “Annual Average Loss” [AAL], cioè la perdita media annua, è una strategia di prevenzione nei confronti di un possibile danno futuro. Per attività di prevenzione si intendono tutte quelle misure ed azioni, strutturali e non, finalizzate ad evitare o ridurre al minimo gli impatti negativi del rischio a seguito di tali eventi calamitosi. Questa è una strategia di prevenzione utile per definire successivi interventi, strutturali e non strutturali, da attuare nel caso in cui si volesse fare un’analisi costi-benefici.

Questa strategia di danno medio annuale rivolge l’attenzione non tanto ad eventi catastrofici rari, come quello con tempo di ritorno di 500 anni, che pesa relativamente poco rispetto a quegli eventi minori ma più frequenti, che producono un costo annuo invisibile ma reale.

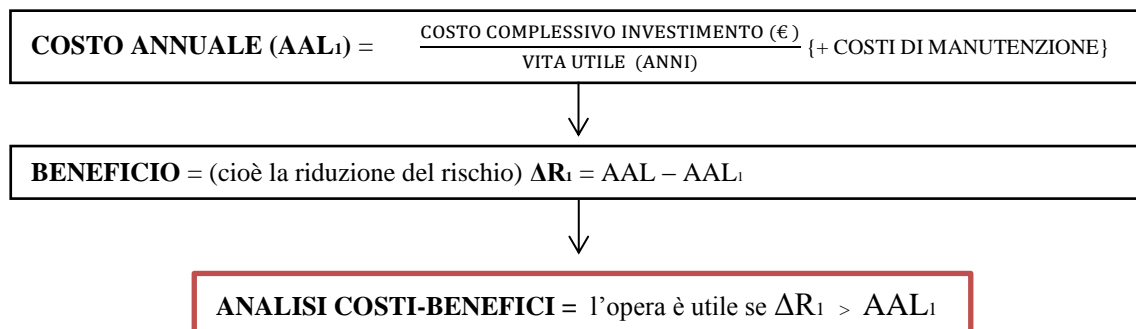
Dai dati si ricava AAL come sommatoria del prodotto tra la frequenza di accadimento di un certo evento (f), ricavabile dalla differenza di probabilità (F) di due tempi di ritorno successivi, e la media del danno atteso tra i due eventi:

$$AAL = \sum \left[ \frac{(D_{i+1} + D_i)}{2} * (F_{i+1} - F_i) \right]$$

Tempo di ritorno	Danni Attesi	F (probabilità)	fi (frequenza)	AAL
				=fi*(Di + Di-1)/2
2	€ -	0.5		€ -
5	€ 163'110	0.8	0.3	€ 24'467
10	€ 297'000	0.9	0.1	€ 23'006
20	€ 397'800	0.95	0.05	€ 17'370
50	€ 2'177'660	0.98	0.03	€ 38'632
100	€ 2'469'000	0.99	0.01	€ 23'233
200	€ 3'135'700	0.995	0.005	€ 14'012
500	€ 4'339'000	0.998	0.003	€ 11'212
<b>tot</b>	<b>€ 12'979'270.00</b>			<b>€ 127'465</b>

Tale valore della perdita media annua [AAL] consente, nell’analisi costi-benefici, la valutazione del beneficio netto relativo ad un intervento progettuale. Infatti tale beneficio è dato dalla differenza tra il valore AAL relativo allo stato di fatto, opzione senza alcun intervento, con il valore AAL relativo alla soluzione progettuale prescelta.

Nel caso in questione, non sono previsti ad oggi interventi strutturali, come argini o modifiche alla sezione tombata, per ridurre la portata di piena del torrente Ravone in ingresso nel tratto artificiale, a seguito di importanti eventi di precipitazione. Ovviamente realizzando un argine con tempo di protezione di 100 anni, tutti i danni per eventi inferiori a tali anni sarebbero pari a zero. Nel momento in cui si decidesse di intraprendere tale strada, bisognerebbe verificare l'intervento migliore da attuare in termini di costi-benefici; il costo annuo è espresso come costo complessivo dell'investimento diviso per gli anni previsti di vita utile, tenendo in considerazione il costo di manutenzione che a volte non viene considerato; il beneficio invece è espresso in termini di riduzione del danno rispetto alla stima del danno atteso senza intervento. Una qualsiasi opera avrebbe senso se il beneficio fosse maggiore del costo annuo.



## 8 - PROTEZIONE INFRASTRUTTURALE E NON INFRASTRUTTURALE

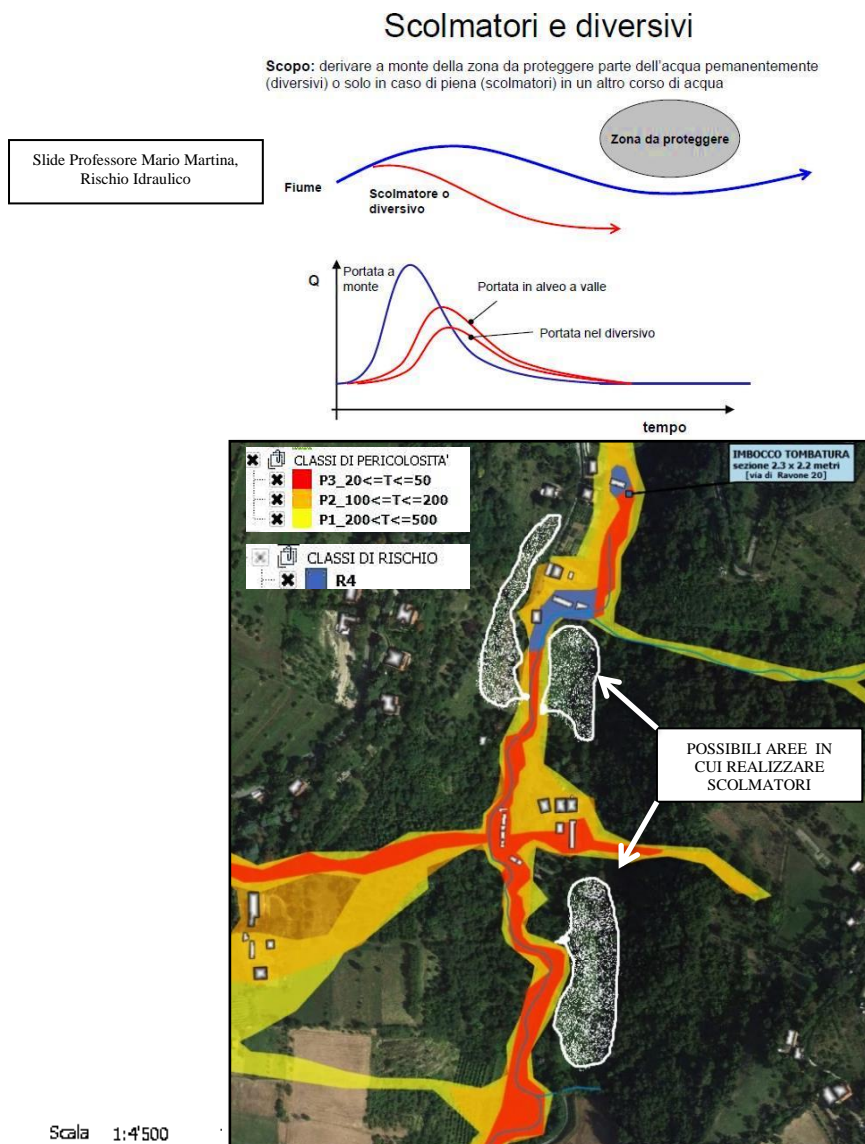
- Protezione Infrastrutturale
- Argini
  - Casse d'espansione
  - Invasi di laminazione
  - **Scolmatori** e diversivi

A fine 2014, Ferdinando Petri, direttore del Servizio tecnico del Bacino Reno e governatore delle acque di Bologna, è intervenuto a riguardo della situazione del torrente Ravone e dopo aver effettuato vari sopralluoghi ha dichiarato che bisognerebbe intervenire sui vari rii collinari intorno la città di Bologna per rimuovere dall'alveo i tronchi, gli alberi pericolanti, gli scarti agricoli e materiali come plastica e altri rifiuti antropici: "questo materiale, in caso di piena, è pericolosissimo; questo cumulo può fare da tappo e portare all'esondazione il torrente". Continua Petri, affermando che bisognerebbe attuare una soluzione piuttosto drastica e irrealizzabile, quella di scoprire tutti i canali; soprattutto, non si può sapere se all'interno della rete tombata ci siano problemi o ostruzioni e il rischio è che la scoperta avvenga troppo tardi: "Se arriva una piena, e si blocca il canale in un punto sotterraneo, la forza dell'acqua può far scoppiare la volta e uscire allagando tutto". Se cedesse la volta di un canale potrebbe essere una tragedia [intervista rilasciata Radiocittàdelcapo, Riccardo Tagliati, @RiTagliati\_rcdc].

In ogni caso sarebbe necessario intervenire periodicamente per rimuovere dall'alveo fluviale i possibili materiali naturali e non, per evitare che si possa accumulare e creare ostruzione al deflusso del torrente in piena, causandone l'esondazione in tratti pericolosi. Inoltre occorre fare manutenzione delle opere di difesa costruite in passato e nel caso sostituirle per evitare che rompendosi invadano l'alveo diminuendone il volume di sezione disponibile; si potrebbe pensare di progettare interventi di riduzione del danno come l'installazione di barriere fisse o mobili, dopo via di Ravone n.20, che in caso di piogge intense si attivino per incanalare l'acqua verso una zona libera da edifici e non lasciarla defluire verso il fondovalle, quindi verso una vasta area esposta ad un elevato rischio idraulico; in pratica si tratterebbe di una gestione controllata del possibile allagamento verso zone a rischio basso o nullo.

## 8.1 - IPOTESI SCOLMATORE

Interessante sarebbe la possibilità di progettare un'opera volta a ridurre la pericolosità, come uno scolmatore, che all'altezza della tombatura, possa riempirsi dell'acqua in eccesso che provocherebbe poi l'esondazione del torrente. Ipotizzando che lo scolmatore abbia un tempo di protezione per eventi con probabilità prossima ai cento anni, si andrebbe a ridurre la stima del rischio come mostrato nella tabella seguente:



Lo scolmatore è concepito per derivare ed allontanare verso opportuni recapiti una parte delle acque di piena; è normalmente privo di acqua e nell'alveo cresce la vegetazione, ma l'alveo stesso è in condizione di ricevere una parte della portata del fiume.

Ad ogni modo nella progettazione di uno scolmatore occorre in ogni caso tenere in conto alcuni aspetti di particolare importanza:

- la sezione assegnata all'opera deve essere adeguata alle caratteristiche del corso d'acqua e soprattutto alla tipologia e quantità di materiale trasportato in piena; in ogni caso andrà valutata l'opportunità di realizzare a monte briglie selettive che ne preservino la corretta funzionalità;

- il dimensionamento dello scolmatore dovrà tenere in conto l'effettiva ripartizione della portata di piena rispetto all'alveo naturale, e valutare, mediante l'utilizzo della modellistica numerica con simulazioni in condizioni di moto vario, gli effetti nel punto di restituzione nell'alveo naturale per confronto con la situazione preesistente;

- la tipologia costruttiva dello scolmatore, dovrà garantire attraverso la normale attività manutentiva la piena funzionalità dell'opera nel tempo [da opere di sistemazione idraulica, adbp].

Ovviamente questa ipotesi non è supportata da alcun dato progettuale ma è stata ipotizzata per spiegare come si ridurrebbe il rischio creando uno o più scolmatori a monte della sezione tombata.

	ipotesi reale				ipotesi scolmatore		
				AAL		AAL1	
Tempo di ritorno	Danni Attesi	F (probabilità)	fi (frequenza)	=fi*(Di + Di-1)/2	Danni	=fi*(Di + Di-1)/2	
2	€ -	0.5		€ -	€ -	€ -	€ -
5	€ 163'110	0.8	0.3	€ 24'467	€ -	€ -	€ -
10	€ 297'000	0.9	0.1	€ 23'006	€ -	€ -	€ -
20	€ 397'800	0.95	0.05	€ 17'370	€ -	€ -	€ -
50	€ 2'177'660	0.98	0.03	€ 38'632	€ -	€ -	€ -
100	€ 2'469'000	0.99	0.01	€ 23'233	€ -	€ -	€ -
200	€ 3'135'700	0.995	0.005	€ 14'012	€ 3'135'700	€ 7'839	
500	€ 4'339'000	0.998	0.003	€ 11'212	€ 4'339'000	€ 11'212	
<b>tot</b>	<b>€ 12'979'270.00</b>			<b>€ 127'465</b>	<b>€ 7'474'700</b>	<b>€ 19'051</b>	
					<b>BENEFICIO ΔR1 = AAL0-AAL1 € 108'413</b>		

Il costo annuo dello scolmatore, dato dal costo dell'investimento diviso gli anni di vita utile dell'opera, deve essere confrontato con il beneficio. In mancanza di dati precisi sui costi si riportano tali operazione solo teoricamente, però potrebbe essere un'ipotesi sostenibile volta a ridurre i danni potenziali.



## Protezione non infrastrutturale



Alcune misure di protezione non infrastrutturale sono:

- sviluppo e mantenimento di sistemi di comunicazione ridondanti (dati, fonia, radio, satellitare) e sistemi di supporto alle decisioni (preferibilmente basati su scenari statici e dinamici visualizzabili su supporti web-GIS);

- sviluppo e mantenimento di azioni di “governo delle piene” (sistemi di monitoraggio strumentale in tempo reale, possibilmente integrati a piattaforme radar, satellitari, ecc., sistemi e procedure per la previsione e l’allertamento, organizzazione e attivazione dei Presidi Territoriali Idraulici per il controllo diretto dei punti critici noti)- mappatura delle aree a pericolosità e rischio alluvionale;

- pianificazione territoriale che, ai vari livelli istituzionali, tenga conto dei livelli di rischio attesi (ad esempio norme PAI vigenti);

- predisposizione di piani di protezione civile ai vari livelli istituzionali (compresi i modelli di intervento per la gestione delle emergenze);

- campagne mirate di informazione e comunicazione per incrementare e/o mantenere una sufficiente consapevolezza collettiva di protezione civile e sviluppo di sistemi di autoprotezione individuale (accrescere la resilienza del sistema territoriale).

Dalle varie relazioni di ANIA, Associazione Nazionale fra le Imprese Assicuratrici, si legge che: “ per superare le problematiche che hanno impedito lo sviluppo autonomo di un ampio e diffuso mercato assicurativo sono state formulate, nel recente passato, alcune proposte con la finalità di creare un sistema assicurativo che veda la collaborazione, come peraltro rilevabile anche dalle migliori esperienze internazionali, tra il settore assicurativo privato e lo Stato. Le proposte nascono dalla consapevolezza che lo status quo non rappresenta una situazione ottimale per il fatto che disincentiva la responsabilizzazione individuale, non fornisce i giusti stimoli alle politiche di prevenzione e alle buone pratiche costruttive per limitare gli eventuali danni. Inoltre, la situazione delle finanze pubbliche non permetterà più costosi interventi ex-post suggerendo un’attenta pianificazione delle risorse”.

## 8.2 - IPOTESI ASSICURATIVA

Si è proposto un semplice scenario di copertura assicurativa, imponendo i valori di:

- **franchigia** → pari al 10 % del danno atteso;  
[si intende in campo assicurativo, quella parte di danno che resta a carico dell'assicurato].

- **limite d'indennizzo** → pari al 70 % della somma assicurata ricavata dal costo di costruzione a nuovo; [si intende il limite oltre il quale la parte di danno in eccesso resta a carico dell'assicurato].

- **premio** → pari al 3 x 10000 del costo di costruzione a nuovo;  
[costo polizza assicurativa all'anno, a carico dell'assicurato].

ipotesi assicurativa					
Tempo di ritorno	<i>Danni Attesi</i>	<i>franchigia</i>	<i>limite indennizzo RVN</i>	<i>spese assicurato</i>	<i>AAL2</i>
2	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -
5	€ 163'110	€ 16'311	€ -	€ 16'311	€ 2'447
10	€ 297'000	€ 29'700	€ -	€ 29'700	€ 2'301
20	€ 397'800	€ 39'780	€ -	€ 39'780	€ 1'737
50	€ 2'177'660	€ 217'766	€ -	€ 217'766	€ 3'863
100	€ 2'469'000	€ 246'900	€ -	€ 246'900	€ 2'323
200	€ 3'135'700	€ 313'570	€ -	€ 313'570	€ 1'401
500	€ 4'339'000	€ 433'900	€ -	€ 433'900	€ 1'121
	€ <b>12'979'270</b>	€ 1'297'927		€ <b>1'297'927</b>	€ <b>15'193</b>
BENEFICIO ΔR2 = AAL0 - AAL2					€ 112'271

## 9 - CONCLUSIONI

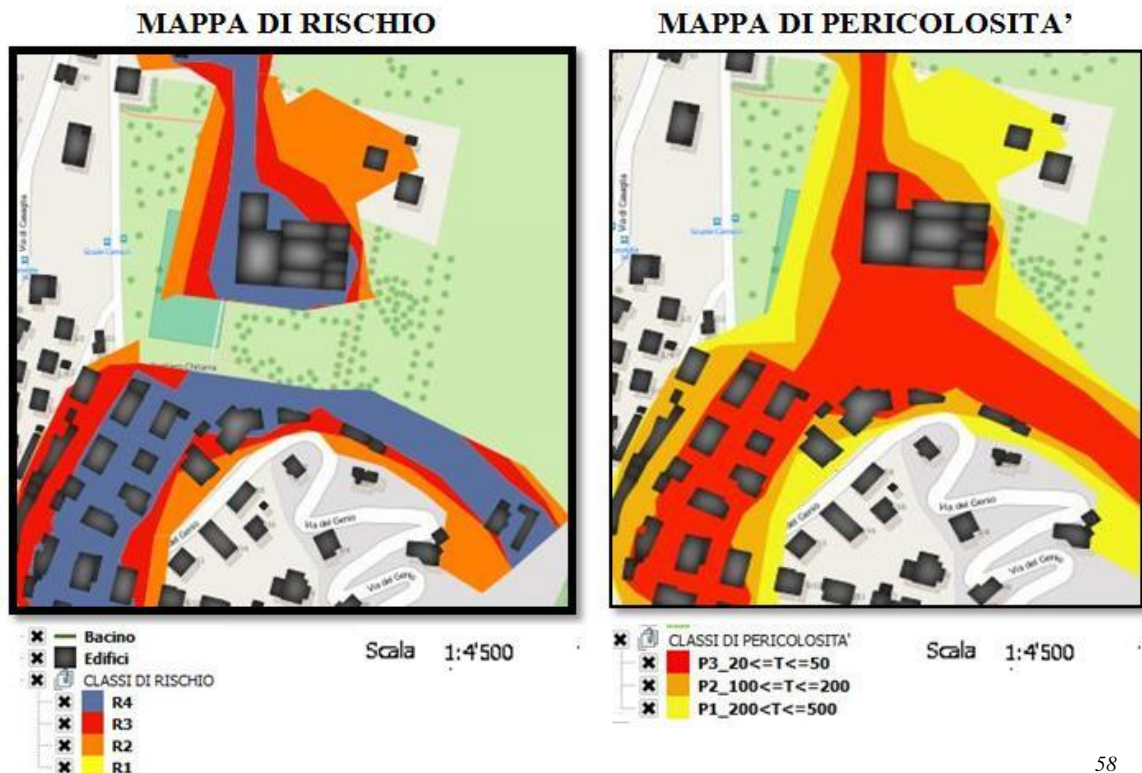
Con il database di informazioni realizzato e mediante l'utilizzo di questo modello INSYDE è stato possibile stimare i danni in seguito al verificarsi di determinati eventi con tempi di ritorno stabiliti, quindi il rischio idraulico dell'area del bacino idrografico del torrente Ravone.

Dal "Piano di Adattamento della città di Bologna" si legge che la città negli ultimi anni ha risentito degli impatti dei cambiamenti climatici, registrando una serie crescente di episodi di danni causati da eventi meteorici particolarmente intensi che provocano siccità, frane e dissesti o piene dei corsi d'acqua.

Non può sfuggire come questi episodi, seppure riconducibili a dinamiche e a cause note, accadano con frequenza ed intensità crescenti: non sembra più possibile far rientrare questi eventi nella categoria delle "calamità" o della "fatalità non prevedibile" ma è necessario avviare una riflessione seria e sistematica su come prevenire gli impatti causati da questi eventi. Su come "adattare" il nostro habitat ad un clima che è cambiato e che è destinato, nei prossimi anni, ad evolvere ulteriormente.

L'obiettivo di questo lavoro è quello di incentivare ad approfondire gli studi per ridurre in modo consistente il rischio idraulico del torrente Ravone e i potenziali danni, agendo sulla prevenzione, previsione, esposizione e vulnerabilità della zona in senso lato, avendo di fatto calcolato la vulnerabilità e l'esposizione degli edifici presenti nell'area.

Necessario sarebbe integrare gli studi idraulici compiuti, cioè le mappe di pericolosità, danno potenziale e rischio idraulico, con le mappe di pericolosità e di rischio da frana legato alle frane attive e quiescenti che interessano il bacino del torrente Ravone, per fare poi considerazioni in termini di rischio idrogeologico.

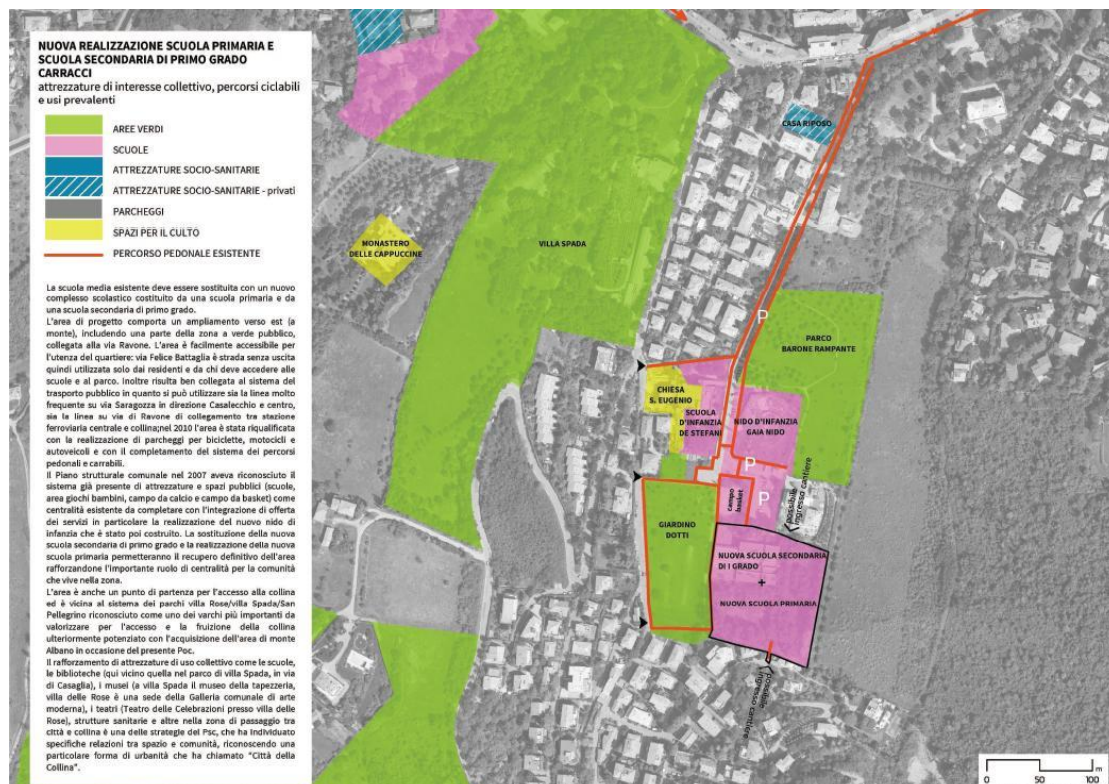
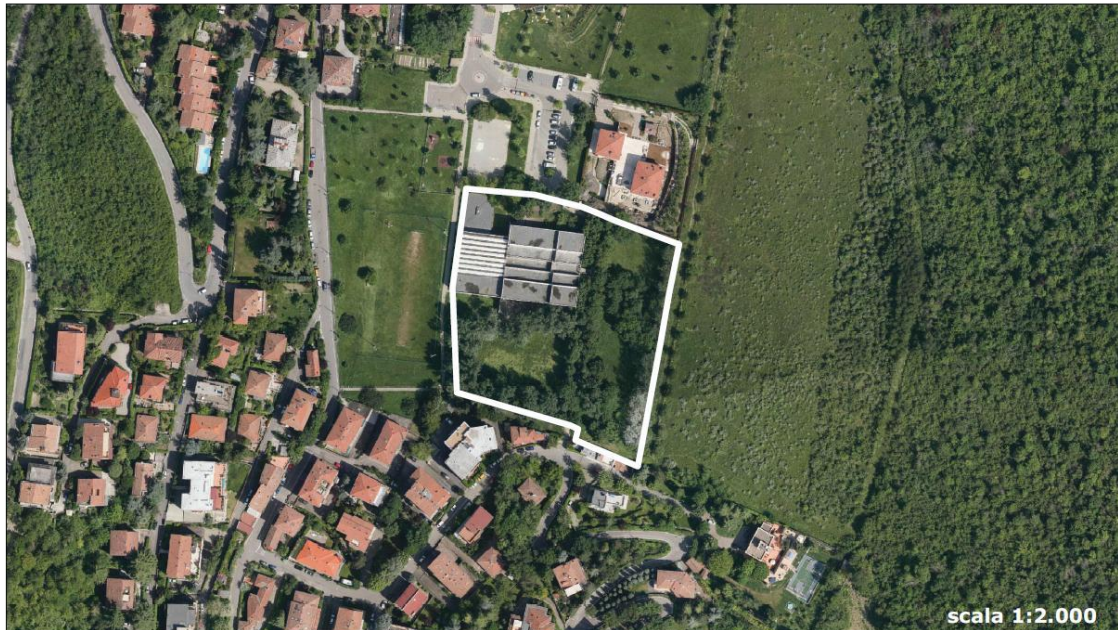


Leggendo il documento del POC di Bologna, Piano Operativo Comunale, si nota nella zona in esame di un intervento di riqualificazione e ampliamento della Scuola Carracci; non essendo in possesso dei piani progettuali dell'ampliamento non è possibile verificare se tali azioni tengono conto della valutazione della pericolosità idraulica dell'area e della classe di rischio associata; anche in questo caso si invita ad approfondire gli argomenti trattati.

**nuova realizzazione  
scuola primaria e secondaria di 1° grado  
carracci  
quartiere saragozza - via felice battaglia 18**

**classi/sezioni  
5 primaria: 135 alunni  
9 secondaria 1° grado: 270 alunni**

**superficie linee guida: 3.900 mq**



## 10 - BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- “Nubifragi e rischio idraulico nella collina bolognese: il caso studio del torrente Ravone”, [Arpa-Simc, BOLOGNA, Ottobre 2013, a cura di F. Grazzini, F. Dottori, M. Di Lorenzo, A. Spisni, F. Tomei];
- ANIA, Mario Martina (Ricercatore Senior, IUSS), “Un nuovo modello di danno per la definizione di curve di vulnerabilità da alluvione” ;
- ANIA, Mario Martina (Ricercatore Senior, IUSS), “Definizione di rischio catastrofale e modelli di vulnerabilità” ;
- Dottori F., Grazzini F. et al., 2012: “Analysis of flash flood hazard in an urbanized small catchment”, [EGU conference 2012, Torino];
- Profilo Climatico Locale, BLUEAP, “Analisi delle vulnerabilità all’impatto dei cambiamenti climatici”, [www.blueap.eu , Bologna adaptation plan for a resilient city];
- “Un nuovo assetto per la collina di Bologna”,  
[[http://informa.comune.bologna.it/iperbole/media/files/nuovo\\_assetto\\_collina.pdf](http://informa.comune.bologna.it/iperbole/media/files/nuovo_assetto_collina.pdf)];
- consultazione del POC della città di Bologna, [Piano Operativo Comunale Bologna, 2011];
- POC, “Rigenerazione di patrimoni pubblici”, [Dipartimento Riqualficazione Urbana Settore Piani e Progetti Urbanistici U.I. Progettazione Urbanistica, 2015];
- “La mitigazione del rischio idraulico”, [Quaderni della Società Geologica Italiana, L. Ubertini, 2009];
- Quadro Conoscitivo, “Il sistema naturale e ambientale”, relazione tecnica a cura del Dott.Geol.A.Flori, committente Comune di Bologna
- Quadro Conoscitivo, Attività – D, “Modelli afflussi-deflussi sul reticolo idrografico naturale principale del territorio regionale”, [Regione Emilia-Romagna, ARPA, 2003];
- Annali Idrologici, [[http://www.arpa.emr.it/sim/?idrologia/annali\\_idrologici](http://www.arpa.emr.it/sim/?idrologia/annali_idrologici)];
- “La Direttiva Alluvioni 2007/60/CE e le attività in corso nel territorio della Regione Emilia-Romagna”, [Piano di Gestione del Rischio Alluvioni, Direzione Generale Ambiente e Difesa del Suolo e della Costa Servizio Difesa del Suolo, della Costa e Bonifica, 2015];
- Documento conclusivo del tavolo tecnico Stato-Regioni, “Indirizzi operativi per l’attuazione della 2007/60/CE relativa alla valutazione ed alla gestione dei rischi da alluvioni con riferimento alla predisposizione delle mappe della pericolosità e del rischio di alluvioni (Decreto Legislativo n. 49/2010), [Ministero dell’Ambiente, della Tutela del Territorio e del Mare, Direzione Generale per la Tutela del Territorio e delle Risorse Idriche];

- Valutazione globale provvisoria dei problemi relativi alla valutazione e gestione del rischio di alluvione nella parte afferente alla Regione Emilia – Romagna del Distretto Idrografico dell'Appennino Settentrionale, [Piano di gestione del rischio di alluvioni, Mappa della pericolosità e del rischio, Relazione Tecnica sugli Aspetti Metodologici, 2013];
- Piano di adattamento Città di Bologna, “strategia di adattamento locale”, [BLUEAP, Sostenibilità E' Bologna, Comune di Bologna];
- Manuale Introduttivo all'uso, [Dr. Filippo Pinzone] ;
- Introduzione all'analisi statistica con R, [riccardo.massari@uniroma1.it] ;
- Interventi di riduzione del rischio idraulico in comune di Renate: Confronto economico - idraulico – ambientale [Prof. Alberto Bianchi, 2011] ;
- La gestione del rischio catastofale e stima dei danni al patrimonio abitativo italiano: Danni da eventi sismici e alluvionali al patrimonio abitativo italiano [Carlo Conforti, ANIA, Romina Ronchi, ANIA] ;
- Danni da eventi sismici e alluvionali al patrimonio abitativo italiano: studio quantitativo e possibili schemi assicurativi, [ANIA e Guy Carpenter, 2011];
- Dispense di Idraulica e Rischio Idraulico, Professore Mario Martina;
- Carta della franosità, TAVOLA 4, Comune di Bologna;
- Litologia superficiale, TAVOLA 2, Comune di Bologna;
- Piano Strutturale Comunale, Quadro Conoscitivo, TAVOLA A, “Inventario del dissesto”, [luglio 2006];
- Piano Strutturale Comunale, Quadro Conoscitivo, TAVOLA F, “Carta del reticolo idrografico”, [luglio 2006];
- Piano Strutturale Comunale, Quadro Conoscitivo, TAVOLA 10, “Rischio idraulico”, [luglio 2006];
- <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/suolo-bacino/sezioni/piano-di-gestione-del-rischio-alluvioni/mappe-peric-rischio-all>
- <http://www.ania.it/it/index.html>
- <http://urp.comune.bologna.it/PortaleTerritorio/portaleterritorio>
- [http://www.mokagis.it/html/applicazioni\\_elenco.asp](http://www.mokagis.it/html/applicazioni_elenco.asp)
- Libro “Geoingegneria”, Gonzalez de Vallejo Luis I.