Meno Rischio in Toscana

Nuove soluzioni contro alluvioni e frane

Pubblicazione Scientifica per tecnici

RELAZIONE INTERMEDIA



Regione Toscana

Indice

Prefazione pag. 4
Dott. Ing. Giovanni Massini

Introduzione pag. 5

Nuovi metodi progettuali opere idrauliche pag.8
Prof. Fabio Castelli
Dott. Ing. Mario Di Bacco, Dott. Geol. Fernando Manzella
- Introduzione
- Obiettivi e prodotti

Nuovo approccio per la valutazione del rischio idraulico da collasso arginale pag. 12
Prof. Ing. Enio Paris
Dott. Ing. Michele Catella, Dott. Ing. Vieri Gonnelli,
Dott. Ing. Giovanni Michelazzo, Dott. Ing. Lorenzo Minatti
- Introduzione
- Cenni storici sulle arginature
- Il collasso arginale e i meccanismi di innesco
- Le conoscenze attuali sul rischio da collasso arginale
- Il nuovo approccio per la valutazione del rischio da collasso arginale
- La procedura applicativa
- Casi di studio: il F. Bisenzio e il T. Brana
- Sviluppi futuri
- Bibliografia

Suscettibilità al danno da alluvione nella pianura della Toscana pag. 44
Prof. Ing. Giovanni Menduni
Dott. Francesco Baroni, Dott.ssa Federica Zambrini, Dott. Enrico M. Nava
- Introduzione
- Il tema del danno
- Il sistema dei dati
- Fattori predisponenti
- Costruzione del modello
- Risultati e discussione
- Verifica di performace del modello

Suscettibilità e rischio di frana pag. 59

Prof. Nicola Casagli

Prof.ssa Veronica Tofani, Dott. Pierluigi Confuorto, Dott. Francesco Caleca

- Introduzione
- Inventario delle frane del 2 novembre 2023
- Mappatura della suscettibilità da frana
- Conclusioni
- Bibliografia

Un nuovo approccio per la manutenzione delle opere pag. 85

Dott. Arch. Fabio Zappalorti

Dott.ssa Ing. Valentina Chiarello, Dott. For. Enrico Stefanini

- Introduzione
- Analisi delle due Direttive Europee
- Metodologia operativa
- Opere idrauliche
- Vegetazione riparia
- Animali semi-fossori
- Conclusioni

Il territorio, la pianificazione urbanistica ed i cambiamenti climatici pag. 110

Dott. Geol. Marcello Brugioni

Dott. Ing. Daniele F. Bignami

- Strategie e proposte operative per l'aggiornamento e la revisione della L.R. 41/2018
- Strategie e proposte operative per la revisione della normativa inerente i dissesti di versante
- Bibliografia

Prefazione

L'evento alluvionale del 2 novembre 2023 in Toscana ha rappresentato un punto di svolta nella consapevolezza collettiva rispetto alla gestione del rischio idraulico e idrogeologico. In poche ore, un sistema di conoscenze, strumenti e procedure costruito in anni di lavoro si è trovato di fronte a un evento di intensità e scala tali da mettere in discussione certezze consolidate e modelli operativi fino a quel momento ritenuti adeguati.

Quella notte, mentre il sistema regionale di protezione civile era impegnato nella gestione dell'emergenza più grave degli ultimi decenni, è emersa con forza l'esigenza di un salto di qualità: un'evoluzione profonda e strutturale nel modo di affrontare il rischio, capace di integrare con rigore scientifico le nuove evidenze legate ai cambiamenti climatici, all'estremizzazione dei fenomeni meteo-idrologici e alla crescente vulnerabilità del territorio.

Non si è trattato di un caso isolato. L'alluvione dell'Emilia-Romagna del maggio 2023 e quella delle Marche del settembre 2022 avevano già lanciato, da territori confinanti, segnali preoccupanti anche per la Toscana.

Da questa presa d'atto è nata la decisione di costituire un **Comitato Scientifico,** composta da esperti di diversa estrazione disciplinare, con il compito di supportare un processo di revisione critica, elaborazione di proposte e individuazione di azioni concrete. Un percorso che ha preso il nome di "**Meno Rischio in Toscana"**, con l'ambizione di rappresentare non solo una risposta all'emergenza, ma un progetto di medio-lungo periodo orientato alla prevenzione, alla resilienza e a una nuova cultura del rischio.

Questa pubblicazione raccoglie il senso, le tappe e le **prime elaborazioni** di quel percorso.

Dott. Ing. Giovanni Massini
Coordinatore del Comitato Scientifico
a supporto del Commissario Delegato

Introduzione

A seguito degli eventi meteorologici che hanno colpito il territorio regionale toscano nella giornata del 2 novembre 2023 è stata emanata l'Ordinanza del Capo del Dipartimento della Protezione Civile (OCDPC) n. 1037 del 5 novembre 2023, pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n. 264 dell'11 novembre 2023, recante *"Primi interventi urgenti di protezione civile in conseguenza degli eccezionali eventi meteorologici verificatisi a partire dal giorno 2 novembre 2023 nel territorio delle province di Firenze, Livorno, Pisa, Pistoia e Prato"*, la quale nomina il Presidente della Regione Toscana quale Commissario Delegato per fronteggiare l'emergenza derivante da tali eventi.

In data 17 novembre è stata emanata una seconda OCDPC, la numero 1041 del 2023, pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale Serie Generale n.276 del 25/11/2023, recante *"Ulteriori interventi urgenti di protezione civile in conseguenza degli eccezionali eventi meteorologici verificatisi a partire dal giorno 2 novembre 2023 nel territorio delle province di Firenze, Livorno, Pisa, Pistoia e Prato"*, che "dispone la possibilità per il Commissario Delegato di stipulare convenzioni con Enti, Centri, istituti di ricerca e università muniti di particolari conoscenze ed esperienze, finalizzate allo studio dell'evento e all'individuazione degli interventi più urgenti di messa in sicurezza idraulica e idrogeologica per la tutela della pubblica e privata incolumità".

Al fine di approfondire le tematiche sopra indicate sia dal punto di vista applicativo che scientifico, e di avere il supporto necessario nell'individuazione delle azioni e interventi più opportuni nell'ambito della mitigazione del rischio idraulico e idrogeologico, il Commissario Straordinario, in base all'ordinanza n°62/2024, ha sottoscritto tre distinti accordi di collaborazione con i seguenti enti in forza delle loro elevate competenze sia in campo scientifico che applicativo:

- **Il Centro per la Protezione Civile dell'Università degli Studi di Firenze** (CPC-UNIFI);
- **La Fondazione Politecnico di Milano;**
- **ANBI TOSCANA** Associazione nazionale Consorzi di Gestione e Tutela del territorio e Acque Irrigue.

È stato quindi istituito un un comitato scientifico a supporto del commissario delegato a cui hanno partecipato:

- **Dott. Ing.Giovanni Massini,** Regione Toscana - Coordinatore del Comitato Scientifico
- **Dott. Ing. Daniele F. Bignami,** Fondazione Politecnico di Milano
- **Dott. Geol. Marcello Brugioni,** Fondazione Politecnico di Milano
- **Prof. Nicola Casagli,** Centro per la Protezione Civile Università degli Studi di Firenze
- **Prof. Fabio Castelli,** Centro per la Protezione Civile Università degli Studi di Firenze
- **Dott. Bernardo Gozzini,** Consorzio LaMMA
- **Ing. Bernardo Mazzanti,** Dirigente Regione Toscana
- **Prof. Ing. Giovanni Menduni,** Fondazione Politecnico di Milano
- **Prof. Ing. Enio Paris,** ANBI Toscana
- **Dott. Arch. Fabio Zappalorti,** ANBI Toscana

Gli eventi meteorologici calamitosi che hanno interessato il territorio toscano, sono stati caratterizzati da eccezionalità non solo in termini di cumulati di pioggia, ma anche di vastità delle zone colpite e impatto sociale ed economico dei danni subiti.

La ricorrenza di questi eventi eccezionali, caratterizzati da valori estremi di cumulate di pioggia, vastità dei territori, e difficile prevedibilità, ha imposto necessariamente una riflessione sull'approccio sin qui impiegato per la mitigazione del rischio idraulico ed idrogeologico che necessita di essere valutato in relazione ai cambiamenti climatici.

È stato prima di tutto necessario attualizzare le metodologie nella progettazione delle opere di difesa e mitigazione. Una forte innovazione nei metodi generali di progettazione delle opere idrauliche è fondamentale perché le piogge registrate nell'evento del novembre 2023, mai osservate prima, sono caratterizzate da valori largamente superiori a quelli che vengono normalmente impiegati per la progettazione delle opere idrauliche.

Si è ritenuto dunque necessario introdurre in maniera sistematica la valutazione del rischio associato ad un evento superiore a quello di progetto, consapevoli che l'evento di progetto è un evento teorico che rappresenta lo scenario rispetto al quale decidiamo come comunità di essere preparati. Si parla quindi di gestione del così detto rischio residuo, ovvero interrogarsi su cosa succede al sistema quando si verificano eventi superiori a quelli ipotizzati per le opere idrauliche. Tali valutazioni, oggi sono demandate alla pianificazione in fase di evento, essenzialmente di protezione civile, mentre è necessario che siano effettuate in maniera organica e coordinata già nella fase di progettazione.

Per avere un sistema di difesa e mitigazione efficiente, è necessario introdurre il tema della potenziale fragilità del sistema di difesa unitamente a tutti quei fenomeni che possono colpire il sistema in maniera scarsamente prevedibile (collasso di opere, …).

Sono stati sviluppati metodi modellistici innovativi di suscettibilità per dissesti franosi e alluvionali per poter quantificare la propensione del territorio a subire i fenomeni classificandoli anche in base al danno economico ad essi associato. Il valore espresso in termini economici dei potenziali danni potrà essere un elemento fondamentale per stabilire le priorità di intervento per orientare scelte di prevenzione sia per quanto riguarda l'azione strutturale che quella non strutturale, con particolare riferimento alla pianificazione urbanistica e di protezione civile.

È stata inoltre effettuata una valutazione sul tema della manutenzione dei corsi d'acqua e delle opere, valutando e attualizzando i criteri operativi per consentire un più adeguato approccio che tenga conto del cambiamento climatico, potenziando l'efficacia delle operazioni effettuate ed aumentandone l'efficienza.

Un focus importante è stato dedicato al tema del rischio associato al potenziale collasso arginale: l'attenzione deve essere posta sugli elementi potenzialmente esposti al

rischio e sui meccanismi che a questi possono arrecare danni, col fine di salvaguardare sempre di più e sempre meglio, vite umane e beni esposti.

A seguito dell'aggiornamento delle metodologie di progettazione e della disponibilità di nuovi quadri conoscitivi, dal punto di vista urbanistico, sono state elaborate proposte di adeguamento della normativa per poter arrivare ad una pianificazione territoriale e ad una gestione dei beni esistenti che possa essere sostenibile nei confronti dei possibili scenari di pericolosità e rischio idrogeologico connessi al cambiamento climatico.

La difesa dal rischio di alluvioni è un compito complesso cui è chiamata a contribuire tutta la comunità, dagli enti pubblici con compiti istituzionali fino al singolo cittadino che con i suoi comportamenti e la sua percezione può incidere sulla gravità dei danni derivanti da un evento alluvionale.

In ragione di ciò comunicazione, formazione e partecipazione sono un aspetto fondamentale che necessità di essere potenziato per la mitigazione dei danni connessi al rischio idraulico idrogeologico.

Per questo è stato realizzato un percorso formativo per tecnici con webinar di approfondimento per ogni tematica trattata dal comitato scientifico e sono sono state redatte pubblicazioni sia rivolte ai tecnici del settore sia per la cittadinanza.

La presente pubblicazione è rivolta ai tecnici del settore alluvioni e frane, è un primo stato di avanzamento del lavori del comitato scientifico, che è stato illustrato nei relativi webinar che possono essere rivisti ai seguenti indirizzi web

https://www.menorischiointoscana.it/webinar

Il documento sarà aggiornato in maniera progressiva durante i lavori del Comitato, che si concluderanno a dicembre 2025.

https://www.menorischiointoscana.it/documenti

Nuovi metodi progettuali opere idrauliche

Prof. Fabio Castelli[1]
Dott. Ing. Mario Di Bacco[2]
Dott. Geol. Fernando Manzella[3]

[1] *Università degli Studi di Firenze e membro del Centro per la Protezione Civile dell'Università di Firenze*
[2] *Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambierntale*
[3] *Regione Toscana*

Introduzione

Sempre più spesso ci troviamo di fronte a eventi naturali che superano quelli che erano stati considerati molto rari al momento della progettazione delle opere idrauliche di difesa dalle alluvioni. In questi casi l'opera, anche se è stata costruita a regola d'arte secondo le normative vigenti potrebbe subire dei danni o addirittura crollare, o comunque non svolgere in maniera idonea la sua funzione, perché la forza dell'evento è stata superiore a quella utilizzata per la progettazione. Se nella progettazione questa possibilità era comunque considerata, quello che sta accadendo in maniera sempre più evidente è che la probabilità di eventi di magnitudo superiore a quella di progetto sta crescendo a causa del cambiamento climatico, aumentando così la generale fragilità delle opere di difesa dalle alluvioni.

Una sostanziale innovazione nei metodi di progettazione delle opere idrauliche è quindi fondamentale per risolvere il problema della crescente fragilità delle opere. Tale innovazione deve partire dal superamento di due paradigmi che stanno alla base delle attuali metodologie di progettazione:

- il riferimento ad eventi di progetto di tipo sintetico e caratterizzati da un tempo di ritorno stimato su ipotesi di stazionarietà;

- il demandare totalmente la gestione del cosiddetto rischio residuo (rischio per eventi di magnitudo superiore a quella di progetto) ad altre opere o sistemi non strutturali.

Alla necessità di superare tali paradigmi, si affianca poi la ulteriore necessità, già sancita ai sensi della Direttiva Alluvioni e ulteriormente messa in primo piano dalle limitate risorse economiche a disposizione per la mitigazione del rischio idraulico, di una attenta e predittiva analisi costi/benefici.

La tradizionale pratica della progettazione 'per tempi di ritorno' segue il paradigma secondo cui, per ciascuna tipologia di opera, esiste un tempo di ritorno ottimale come compromesso fra onerosità della realizzazione e rilevanza del rischio residuo. Tale paradigma, laddove gli impatti attesi non sono solo sui beni ma anche sulla sicurezza delle persone, porta a definire tempi di ritorno per la progettazione sufficientemente alti da considerare il rischio residuo come un problema da risolvere 'a valle' della progettazione (tipicamente tramite i sistemi di allertamento), e quindi di fatto non affrontato nella progettazione stessa. Tale paradigma entra in crisi prima di tutto per la larga imprevedibilità del cambiamento climatico, cioè della non stazionarietà delle distribuzioni di probabilità delle piogge e delle piene. Questa difficoltà di stima si amplifica poi nell'analisi di costi/benefici, che deve anche considerare la crescente esposizione al rischio alluvionale di beni e persone. In molto paesi dell'UE la risposta a problematiche analoghe è stata quella di non abbandonare l'approccio tradizionale per tempi di ritorno, ma rivederne la definizione: innanzitutto alzarli per compensare le maggiori incertezze di stima, e poi meglio differenziarli (con valori che possono superare le migliaia o addirittura decine di migliaia

di anni) anche in funzione della tipologia di possibili impatti. Anche in tale contesto si riconosce ormai però che adeguare i tempi di ritorno di progetto sia una risposta insufficiente ad un problema che origina prima di tutto 'dall'incertezza climatica' ma anche da una esposizione 'dinamica' sul territorio. Pur dovendo come minimo intervenire sulla revisione e adeguamento, più o meno periodico, dei tempi di ritorno, è comunque necessario che il tema del rischio residuo venga comunque affrontato esplicitamente nella progettazione di nuove opere, ed anche nell'eventuale adeguamento delle principali opere esistenti.

Obiettivi e prodotti

L'obiettivo dell'attività è quindi la predisposizione di linee guida per la progettazione e l'adeguamento di opere per la mitigazione del rischio Idraulico in Toscana, tenendo conto dei possibili effetti del cambiamento climatico e degli assetti del territorio sugli scenari di progettazione, e consentendo una migliore ed efficace integrazione fra interventi di tipo strutturale e non strutturale nella gestione del rischio idraulico. Per motivi di snellezza e necessità di raccordo con le normative esistenti, le linee guida non intendono essere un nuovo intero compendio delle fasi e delle metodologie della progettazione idraulica, ma forniscono degli indirizzi e delle guide tecniche, accompagnate da strumenti operativi, per i soli aspetti di innovazione ritenuti più importanti. Le linee guida sono articolate in quattro argomenti principali:

1. **Analisi di probabilità, tempo di ritorno e pericolosità in condizioni non stazionarie.** Base teorica e indicazioni operative per il calcolo delle probabilità di valori estremi in regime non stazionario.

2. **Eventi pluviometrici di progetto su base storico-fenomenologica e proiezioni di cambiamento climatico.** Base teorica e indicazioni operative per la determinazione delle piogge di progetto con un nuovo approccio denominato *statistical what if.*

3. **Il rischio residuo nella progettazione delle opere**. Definizioni di base e indicazioni operative per includere nella progettazione la valutazione del comportamento dell'opera e la riduzione del pericolo anche per eventi superiori a quello nominale di progetto.

4. **Analisi costi-benefici e di sostenibilità sociale**. Base teorica e indirizzi per la valutazione della riduzione del rischio rispetto a diverse tipologie di esposto, oltre a valutazioni aggiuntive sugli impatti sociali.

L'insieme dei prodotti dell'attività comprende, oltre alle Linee Guida, un folto database di eventi pluviometrici utilizzabili per la progettazione sull'intero territorio Toscano, ed una libreria di codici in linguaggio Python per le analisi statistiche degli estremi in regime sia stazionario che non stazionario.
I prodotti sono reperibili al seguente link, dove saranno progressivamente resi disponibili con tutti i progressivi aggiornamenti derivanti dal lavoro che si concluderà a dicembre 2025.

https://www.sir.toscana.it/meno-rischio

Nuovo approccio per la valutazione del rischio idraulico da collasso arginale

Prof. Ing. Enio Paris[1]
Dott. Ing. Michele Catella[2], Dott. Ing. Vieri Gonnelli[2],
Dott. Ing. Giovanni Michelazzo[3], Dott. Ing. Lorenzo Minatti

[1] *Università degli Studi di Firenze*
[2] *Ufficio del Genio Civile, Regione Toscana*
[3] *Autorità Distretto Appennino Centrale*

Sommario

Gli argini, con la loro vetustà, la rilevante estensione lineare, le continue modifiche cui sono soggetti sotto l'azione dell'attività antropica, del clima, della tettonica, degli animali, sono strutture complesse che pervadono il territorio urbanizzato proteggendolo dai fenomeni di piena dei corsi d'acqua ma causando catastrofiche inondazioni quando si rompono. Purtroppo il fenomeno della rottura arginale è praticamente impossibile da prevedere sia per l'aleatorietà dei fattori di innesco sia per le scarse conoscenze disponibili sulle caratteristiche geotecniche e strutturali dei rilevati arginali. Per questi motivi le attuali mappe del rischio idraulico sono redatte sotto l'ipotesi, poco realistica ma inevitabile, di argine non collassabile, pervenendo così livelli di rischio sottostimati e a un'errata percezione di sicurezza. Nell'ambito dei lavori del Comitato Tecnico Scientifico della Regione Toscana è stato affrontato il problema del rischio da collasso arginale proponendo un nuovo approccio basato sulla rottura equiprobabile che consente l'individuazione dei tratti arginali maggiormente responsabili dei danni sul territorio in caso di collasso. L'approccio non è pertanto finalizzato alla simulazione alla scala locale di un singolo evento di collasso arginale, bensì alla valutazione dei danni che, alla scala spaziale ampia, ipotetiche rotture arginali sono grado di produrre, ognuna in relazione alle altre. Nel presente articolo si riporta la descrizione dell'approccio proposto, la metodologia applicativa e i primi risultati ottenuti per due casi di studio.

Introduzione

La difesa dal rischio di alluvioni è un'attività complessa cui è chiamata a contribuire tutta la comunità, dagli enti pubblici con compiti istituzionali fino al singolo cittadino che con i suoi comportamenti e la sua percezione può incidere sull'entità dei danni derivanti da un evento alluvionale.

Nell'articolato quadro che definisce il rischio idraulico, l'attenzione deve essere posta sugli elementi potenzialmente esposti al rischio e sui meccanismi che possono arrecare danni, col fine di salvaguardare, sempre di più e sempre meglio, vite umane e beni esposti.
Tra tutti i fenomeni da prendere in considerazione nella catena fonte-percorso-recettore del rischio, i collassi dei rilevati arginali possono risultare particolarmente catastrofici da non potere essere trascurati nella definizione degli scenari di pericolosità e di rischio idraulico.

Negli ultimi quindici anni il territorio toscano è stato colpito con particolare frequenza da fenomeni alluvionali in massima parte connessi al collasso di strutture arginali.
Gli attuali strumenti conoscitivi e previsionali del rischio idraulico, pur basati su sofisticati modelli interpretativi idrologici e idraulici, non appaiono ancora in grado di fornire una riposta esauriente al problema del collasso arginale, soprattutto a causa della complessità e della molteplicità dei fenomeni in esso coinvolti.

Tuttavia, tenuto conto dei gravi danni e delle pesanti implicazioni socio-economiche che possono scaturire dalle rotture arginali, appare sempre più urgente affrontare il problema nei suoi diversi aspetti, scientifico, tecnico, del monitoraggio e della manutenzione, così da avviare il percorso che dovrebbe portare ad una maggiore conoscenza di tali fenomeni, al miglioramento delle tecniche di progettazione e realizzazione, nonché alla rimozione del presupposto di "argini non collassabili " che sta alla base della attuale mappatura del rischio.

Dal punto di vista scientifico, il problema del collasso di rilevati in terra destinati al contenimento di acqua è stato affrontato sin a partire dagli anni 70 essenzialmente con riferimento al collasso di dighe in materiali sciolti. Johnson e Illes (1976) descrivono la dinamica di formazione della rottura della diga secondo un processo erosivo indotto dall'acqua di tracimazione.

Altri autori hanno proposto modelli e schemi interpretativi del fenomeno attraverso l'utilizzo delle equazioni del moto della corrente liquida e del trasporto solido (es.: Ponce e Tsivoglou, 1981, Benoist e Nicollet, 1983, Scarlatos e Singh , 1986, Giuseppetti e Molinaro, 1989). Analisi di tipo bidimensionale sono state proposte da Fennema e Chaudhry (1989) e da Valiani e Montefusco (1990). Una raccolta di dati storici su collassi di sbarramenti di ritenuta è stata effettuata da Macdonald e Langridge-Monopolis (1984), mentre un'ampia rassegna dello stato dell'arte è stata svolta dal Gruppo Nazionale Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche del CNR (1995).

La maggior parte di tali studi tratta il caso della rottura della diga (*dam break*) a seguito della quale si possono generare estesi allagamenti e conseguenze catastrofiche per il territorio interessato.
A differenza del fenomeno *dam break*, che è potenzialmente devastante ma localizzabile ai soli siti degli sbarramenti, la rottura arginale ha un impatto in generale meno catastrofico ma sicuramente molto più presente sul territorio e soprattutto molto più difficile da localizzare in via preventiva. Rispetto alle dighe ci sono poi altre importanti differenze: la conoscenza della struttura, che nel caso delle dighe è enormemente superiore a quella degli argini; i fenomeni di interazione tra acqua e struttura che, in ambiente fluviale, hanno una complessità maggiore.

Sulle rotture arginali esistono diversi studi finalizzati alla analisi e alla simulazione di singoli eventi alla scala locale, basati su modelli più o meno complessi (*Vorogushyn, 2008*). Non esistono viceversa metodologie comprovate per la valutazione del rischio idraulico conseguente al collasso arginale che siano implementabili a scala di bacino (*Solari et Al., 2014*).

La definizione di scenari di collasso arginale, che dovrebbe in maniera lungimirante disporre di un inquadramento normativo in modo analogo a quanto previsto per il caso delle dighe (scenari *dam break* per fini di protezione civile), dovrà dunque focalizzarsi sui potenziali effetti arrivando a mappare le aree esondabili per collasso e gli elementi esposti coinvolti. I risultati potranno fornire utili indicazioni sulle priorità di interventi, siano essi di natura strutturale (es., interventi di consolidamento) che non strutturale (monitoraggi, manutenzioni rafforzate, …).

In base a questi presupposti generali, la attività di ricerca sviluppata nell'ambito del Comitato Tecnico Scientifico della Regione Toscana è stata finalizzata a fornire un possibile percorso metodologico applicabile su larga scala spaziale per la valutazione del rischio da collasso arginale.

Cenni storici sulle arginature

Le strutture arginali che osserviamo oggi sono state in gran parte costruite in tempi anche remoti, e sono il risultato delle continue trasformazioni territoriali e dei cambiamenti climatici subiti nel corso del tempo.

Sin dall'antichità, le civiltà hanno costruito sistemi arginali per prevenire le inondazioni, tutelare le vite umane, le attività agricole lungo i corsi d'acqua. Sin da diversi millenni fa, le prime civiltà dell'Egitto, della Mesopotamia, della Cina hanno iniziato a svilupparsi in prossimità dei grandi fiumi come il Nilo, l'Eufrate, il Tigri, il Fiume Giallo.

In Europa ci sono testimonianze di canalizzazioni e dei primi sistemi arginali realizzate dagli antichi Romani per favorire la regimazione dei corsi d'acqua, il trasporto fluviale e lo sviluppo dell'agricoltura.

Con l'aumento della popolazione e dell'urbanizzazione crescono i rischi legati alle inondazioni, con la necessità di sviluppare sistemi di difesa e di monitoraggio sempre più efficaci e sicuri al fine di garantire la stabilità degli insediamenti lungo i fiumi.

La rivoluzione industriale porta allo sviluppo di nuova strumentazione per la misura dei livelli idrometrici e per il rilievo topografico, avviando così le prime attività di rilevamento lungo i corsi d'acqua. Nel 1872, l'Inghilterra istituì le prime reti di monitoraggio idrometrico per prevedere le inondazioni.

Dopo le disastrose alluvioni tra la fine ottocento e l'inizio del novecento, il Congresso degli Stati Uniti approvò la legge *Flood Control Act* del 1917 con la quale si autorizzava la costruzione di argini imponendo alle comunità locali di contribuire al costo di costruzione e di manutenzione.

Grazie al suo ruolo nella costruzione di dighe e argini a livello nazionale, l'US Army Corps of Engineers ha stabilito i primi criteri di progettazione e costruzione per gli argini, basati principalmente sull'esperienza maturata nella costruzione dei sistemi di argini lungo il fiume Mississippi.

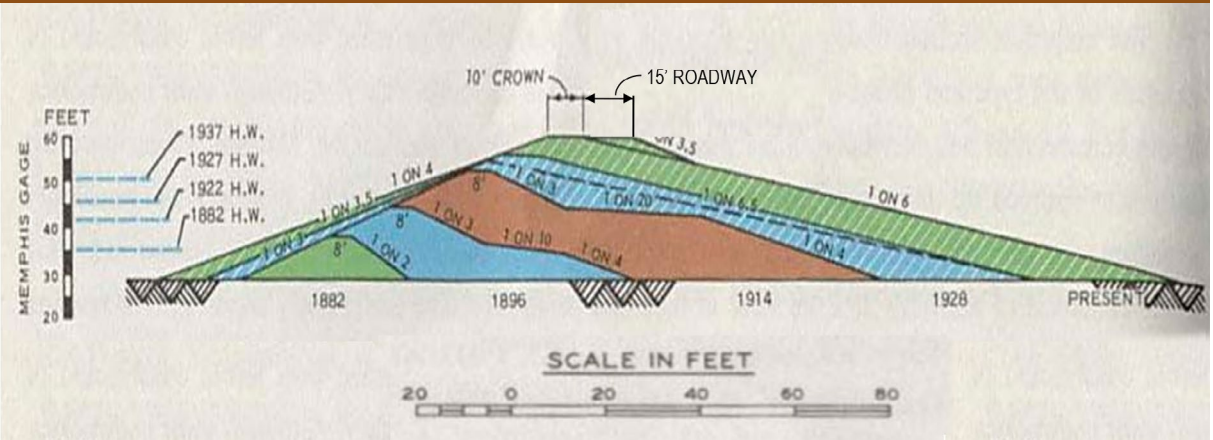
La Figura 2.1 mostra l'evoluzione storica dell'argine del Fiume Mississippi nel periodo 1882-1974, durante il quale l'argine è stato progressivamente rialzato di 6. 53 m.

La storia degli argini fluviali in Italia riflette un lungo percorso di evoluzione tecnica e gestionale, a partire dalla semplice costruzione di opere di contenimento sui fiumi Po, Tevere, Arno fino alla complessa rete dei sistemi arginali che oggi caratterizza il territorio densamente urbanizzato.

Per quanto riguarda la Toscana, Girolamo di Pace da Prato, ingegnere al servizio (1550-1562) del duca Cosimo I de' Medici presso la Magistratura dei Capitani di

Parte Guelfa si occupò dei problemi idraulici causati dai corsi d'acqua della piana tra Pistoia e Firenze. Di Pace fu tra i primi che cercò di capire le cause dei sempre più frequenti fenomeni alluvionali che già nel XVI secolo si manifestavano in quest'area e che lui identificò nella cattiva manutenzione degli alvei (che si andavano riempiendo), delle sponde, nel degrado della montagna e nell'incremento ciclico della piovosità (Vestri, 2018).

Fig. 2.1



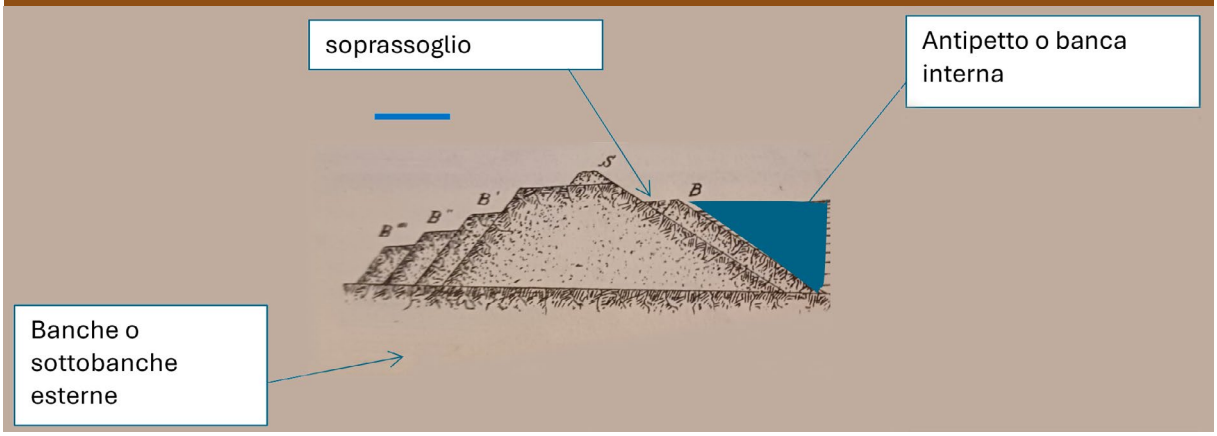
L'Accademia dei Georgofili aveva bandito nel 1776 un concorso per l'arginatura dei fiumi. Il premio fu vinto da Antonio Belloni il cui studio nella prima parte sosteneva *"quanto gli argini non fossero utili e che anzi «un fiume arginato che di tempo in tempo rialza il livello dell'alveo, è rovinoso e micidiale alle pianure aggiacenti»*; nella seconda parte dedicata all'applicazione delle teorie espresse nella prima, metteva in evidenza la necessità, se si volevano evitare inondazioni rovinose, di togliere ogni argine al fiume e di prevedere *«colmate a tutto fiume aperto»*.

Nel 1777 Leonardo Ximenes presentava all'Accademia dei Georgofili il lavoro: *Dell'utilità o inutilità delle arginature de' fiumi e de' laghi* (Atti, 1, 1791, p. 196-302), ove illustrava le ragioni sia dei difensori che degli oppositori degli argini, dimostrando comunque la bontà del metodo di colmare i terreni per rendere fertili i campi altrimenti destinati ad «infrigidirsi».

L'esigenza di una regolamentazione sulle arginature dei corsi d'acqua portò all'emanazione del R.D. 25 luglio 1904, n. 523 Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie che disciplina, tra l'altro, le competenze sui corsi d'acqua, gli interventi sugli argini e la loro manutenzione.

Dal testo di *Costruzioni Idrauliche* del Prof. Vittorio Baggi del Politecnico di Torino (1915), si riporta in Figura 2.2 una sezione tipo della struttura arginale costruita in terra.

Fig. 2.2



Secondo Baggi, il materiale da costruzione per gli argini si prende nelle adiacenze, in particolare: per gli argini in froldo le materie si prendono in alveo, per gli argini in golena si prendono nella zona compresa tra argine e golena. Il materiale più adatto è costituito da terre argillose mescolate con una percentuale di sabbia del 15-20%. Altri testi riportano percentuali diverse (1/3 argilla e 2/3 sabbia secondo Da *Deppo L., Datei C., Saladin P., "Sistemazione dei corsi d'acqua" Edizioni Libreria Cortina Padova 1995*).

Nella Figura 2.3 sono mostrati i lavori durante la costruzione di un argine.

Per le strutture arginali attuali il rilevato si realizza con terra omogenea limosa e argillosa, facendo riferimento a materiale del tipo A-6 e A-4 della classificazione CNR-UNI 10006, con contenuto di sabbia variabile tra il 15% e il 50%.

Fig. 2.3

Operai "scariolanti" durante la costruzione di un argine



Il collasso arginale e i meccanismi di innesco

In generale, il fenomeno del collasso di una struttura implica la perdita della capacità della struttura di contrastare le azioni esterne per le quali è stata costruita. Nel caso dell'argine fluviale, ciò avviene quando questo non è più in grado di contenere la corrente fluviale all'interno del corso d'acqua a causa sia di un sormonto, sia di un'erosione interna, sia di instabilità di massa, come meglio illustrato in seguito.

Esistono tuttavia vari livelli di "collasso" che possono essere classificati in funzione dei danni che ne conseguono sul territorio protetto dall'argine.
Si può ad esempio definire il "collasso locale" quando l'argine mantiene in gran parte la sua integrità strutturale, mentre si ha il "collasso globale" quando si verifica la rottura del rilevato con la creazione di una breccia, cioè di una interruzione della continuità del sistema arginale.

Esempi di collasso locale si hanno quando l'argine è tracimato senza rompersi, oppure quando si ha la sola fuoriuscita di acqua (limpida) dal paramento di valle, o ancora per fenomeni di instabilità di massa circoscritte (crolli o scoscendimenti localizzati).

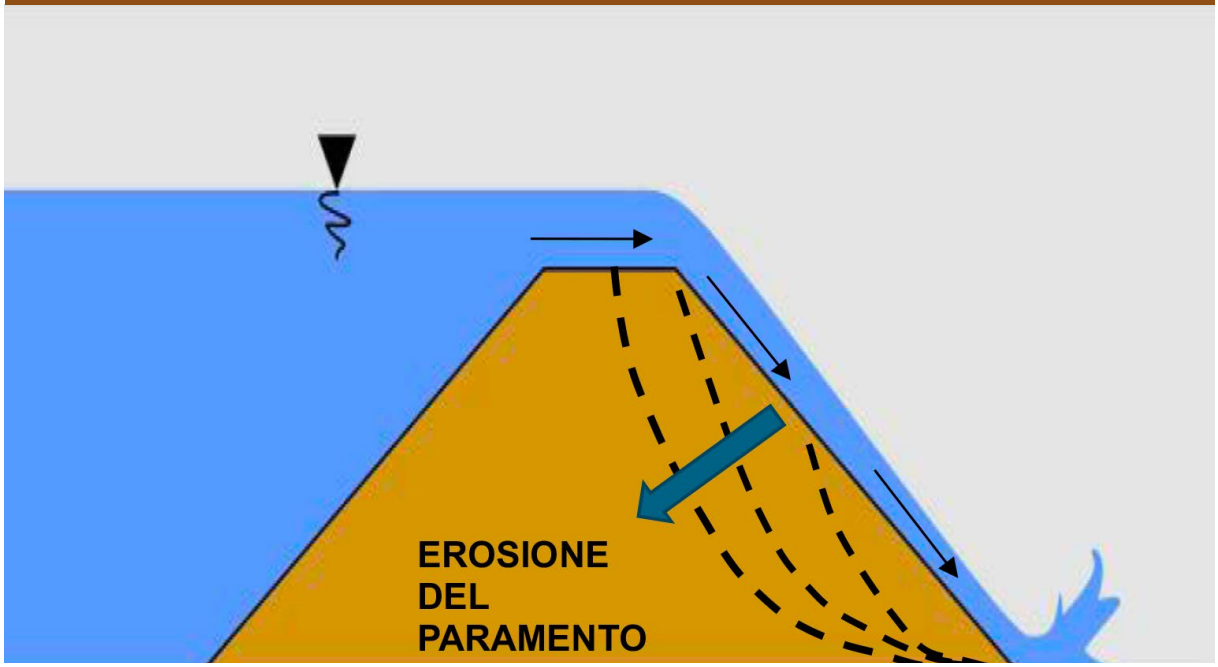
Conviene osservare che il passaggio tra lo stato di collasso locale e quello di collasso globale è praticamente impossibile da prevedere, e in molti casi anche da prevenire.

In ogni caso, il collasso arginale si origina dalla instabilità del materiale che costituisce la struttura. Per argini in materiali sciolti, cui faremo sempre riferimento in seguito, la perdita di stabilità deriva in generale dalle azioni di erosione, di trascinamento e gravitative cui sono sottoposte le particelle solide, sia individualmente sia come ammasso.

Tali azioni destabilizzanti, di norma sempre presenti, possono eccedere le azioni stabilizzanti e portare al collasso parziale o totale della struttura arginale. Le circostanze nelle quali ciò può accadere sono le seguenti:

Sormonto della sommità arginale: il meccanismo prevalente è in questo caso l'azione erosiva che la lama d'acqua tracimante esercita sul materiale del paramento arginale di valle. Durante la fase di sormonto la lama d'acqua scorre sul manto erboso che ricopre il paramento dell'argine. L'argine si mantiene integro finché il manto erboso resiste alla erosione dell'acqua. La resistenza del manto erboso è comunque "a tempo": se la piena persiste oltre il limite di resistenza, il manto erboso viene eroso e con esso il terreno sottostante, provocando un'erosione regressiva che inizia dal piede del rilevato (erosione esterna, Fig. 3.1) per propagarsi poi verso l'interno fino a provocare la distruzione dell'argine.

Fig. 3.1

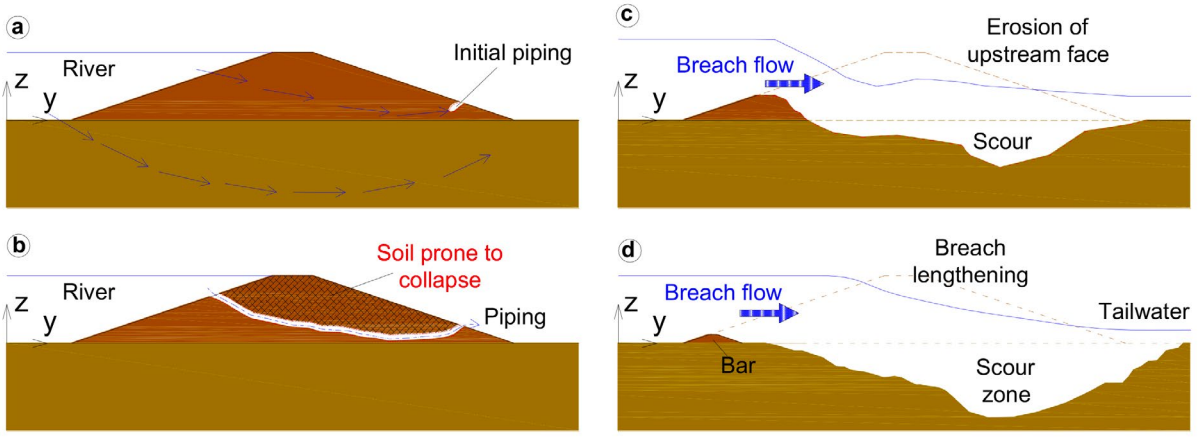


Ai fini della valutazione del rischio da sormonto è pertanto necessario conoscere sia la probabilità che l'altezza d'acqua superi la sommità arginale sia il corrispondente tempo di persistenza.

La conoscenza della probabilità congiunta dei tempi di persistenza con i livelli idrici è fondamentale per una corretta valutazione del rischio di collasso di strutture arginali in relazione anche al fenomeno dell' EROSIONE INTERNA dovuta alla filtrazione (piping).

Con riferimento alla Figura 3.2 si possono individuare 4 fasi che portano al collasso: a) il flusso di filtrazione ha raggiunto il paramento di valle e inizia a fuoriuscire; b) lungo il percorso di filtrazione le particelle solide del rilevato arginale vengono erose creando una cavità assimilabile ad un condotto (pipe) ove l'attività erosiva aumenta portando al cedimento del terreno sovrastante e creando le condizioni per il collasso del paramento di valle e c) del paramento lato fiume fino alla creazione di una breccia arginale d).

Fig. 3.2



Nell'immagine della Figura 3.3 è riportato un argine nella fase b) di collasso per erosione interna.

Fig. 3.3



Il collasso arginale può avvenire anche per il fenomeno di instabilità di massa che consiste nella movimentazione di significative porzioni del rilevato arginale dovute alla componente destabilizzante della gravità lungo la pendenza dei paramenti (Fig. 3.4).

La condizione di stabilità del paramento dipende dalla mutua interazione tra le caratteristiche geomeccaniche del terreno e la componente destabilizzante della forza peso.

Fig. 3.4

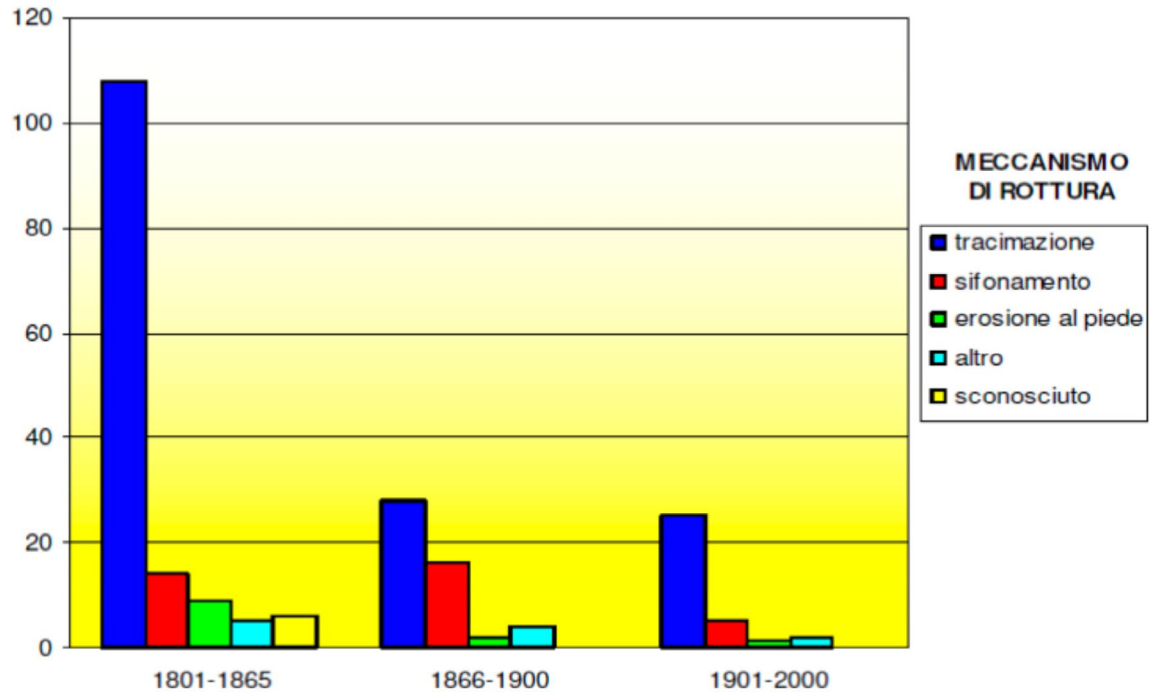


Le cause più frequenti di instabilità di massa sono dovute alle forze di filtrazione che si generano nel corpo arginale per la rapida diminuzione del livello di piena (eccesso di pressioni interstiziali), oppure per fenomeni di erosione al piede arginale.

Nella Figura 3sono riportati alcuni dati relativi alle rotture lungo gli argini del Fiume Po su un periodo di 200 anni, classificate in base al tipo di meccanismo che ha generato la rottura.

Fig. 3.5

Evoluzione dei principali meccanismi di rottura della arginature del fiume Po nel tempo (AdbPo: Autorità di bacino del fiume Po, 2005)



Le conoscenze attuali sul rischio da collasso arginale

Le attuali mappe del rischio idraulico sono redatte quasi sempre ipotizzando lo SCENARIO Tipo 1, cioè in base al solo fenomeno del sormonto arginale nel presupposto di argini non collassabili anche durante la tracimazione.

Questo approccio, pur avendo l'innegabile vantaggio della semplicità, porta ad un duplice aspetto negativo: la evidente sottostima dei livelli di rischio sul territorio e la percezione errata nella collettività che la struttura arginale sia non collassabile e quindi costituisca una protezione sicura.

Le attuali mappature della pericolosità idraulica e del rischio redatte dalle Autorità Competenti fanno riferimento allo SCENARIO TIPO 1. Allo scopo di rimuovere l'ipotesi scarsamente realistica dell'argine non collassabile, sono stati proposti diversi contributi empirici e semi-empirici per la simulazione della rottura arginale alla scala di singolo evento (Vorogushyn, 2008). Viceversa, sono scarsi gli approcci che affrontano il problema alla scala regionale.

Ranzi et Al. (2013) propongono un approccio su grande scala finalizzato a mappare la pericolosità residua strutturale per un tratto del Fiume Po a valle di Cremona. Gli Autori assumono come «pericolosità residua strutturale» di collasso arginale la probabilità da attribuire ai meccanismi di sifonamento, erosione interna, instabilità di massa, che si aggiunge alla «pericolosità residua progettuale» dovuta al solo meccanismo di sormonto, ed evidenziano la complessità del problema e le notevoli incertezze presenti nell'approccio proposto.

Il livello di incertezza è ulteriormente aggravato dalla incapacità di prevedere dove può avvenire la rottura arginale (Mazzoleni et Al., 2012).

Solari et Al. (2014) propongono una metodologia speditiva utile ad individuare la propensione al collasso dei tratti arginati in terra sulla base di indicatori sintetici, ed a fornire criteri per la valutazione dei potenziali volumi di esondazione in caso di formazione di brecce.

Il rischio da collasso arginale è dunque analizzato sulla base di un approccio in cui i rilevati arginati sono analizzati mediante un modello interpretativo della propensione al collasso basato sull'interazione tra proprietà geometriche e geotecniche dell'argine e le caratteristiche idrauliche delle onde di piena.

Nello studio URBAT 2015 viene sviluppato un software di verifica della sezione arginale in relazione ai fenomeni di instabilità di massa, filtrazione e sifonamento (modello completo) oppure per la sola instabilità di massa (modello semplificato). I dati di input sono archiviati in un data base che si interfaccia con QGIS e riguardano le caratteristiche geometriche di tratti arginati dei maggiori corsi d'acqua della Toscana. Le caratteristiche geotecniche sono ricavate dagli strati informativi della Regione (pedologia, uso del suolo, geologia...).

Ferrari et Al. (2020) hanno ipotizzato una serie di scenari di inondazione ottenuti dal posizionamento di brecce potenziali lungo due corsi d'acqua del Nord Italia. Utilizzando idrogrammi di inondazione con diversi tempi di ritorno e determinando le corrispondenti aree inondate mediante modellazione bidimensionale, gli Autori hanno realizzato un data base di scenari di allagamento utili per azioni in fase di emergenza e di protezione civile.

In ogni caso, le caratteristiche evolutive della breccia, che rivestono un ruolo fondamentale nella modellazione del fenomeno, non appaiono ancora oggi adeguatamente interpretate, se non adottando formulazioni empiriche, legando ad esempio la larghezza della breccia alla portata in transito, come ipotizzato da Ponce e Tsivoglou, (1981), oppure individuando una relazione tra altezza d'acqua e larghezza di breccia, come proposto da Fread (1985), o infine imponendo una geometria che evolve secondo parametri prefissati (Macchione e Sirangelo,1990).

Formulazioni più fisicamente basate sono ottenibili da analisi bidimensionali del fenomeno, anche se tuttora permangono alcune problematiche connesse con la stima del trasporto solido e le condizioni di stabilità sul contorno della breccia (Valiani e Montefusco, 1990).

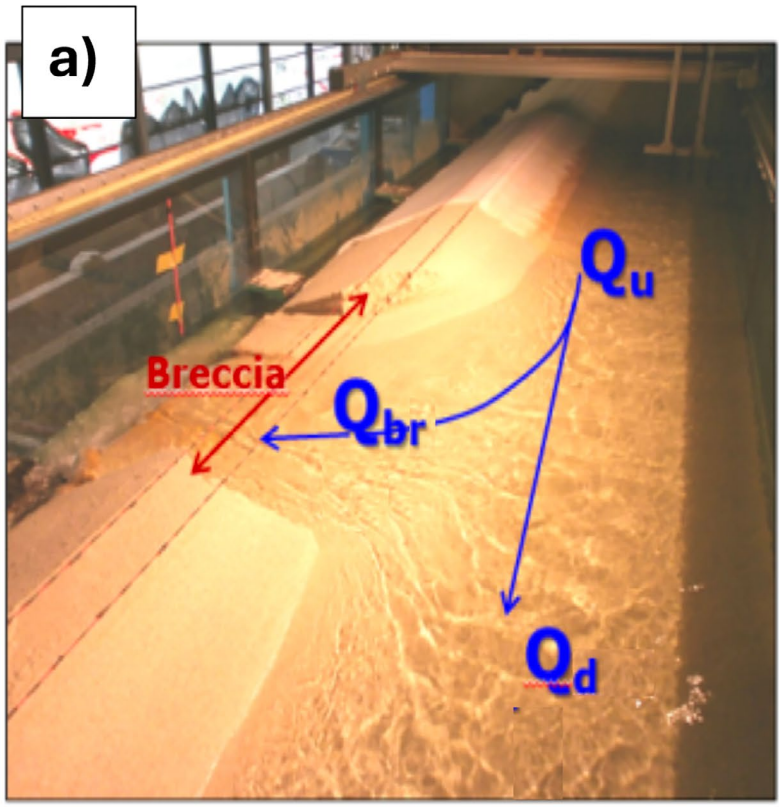
Un'analisi sperimentale sulla dinamica di formazione della breccia in una arginatura costituita da materiale sabbioso è stata condotta da Michelazzo (2013).

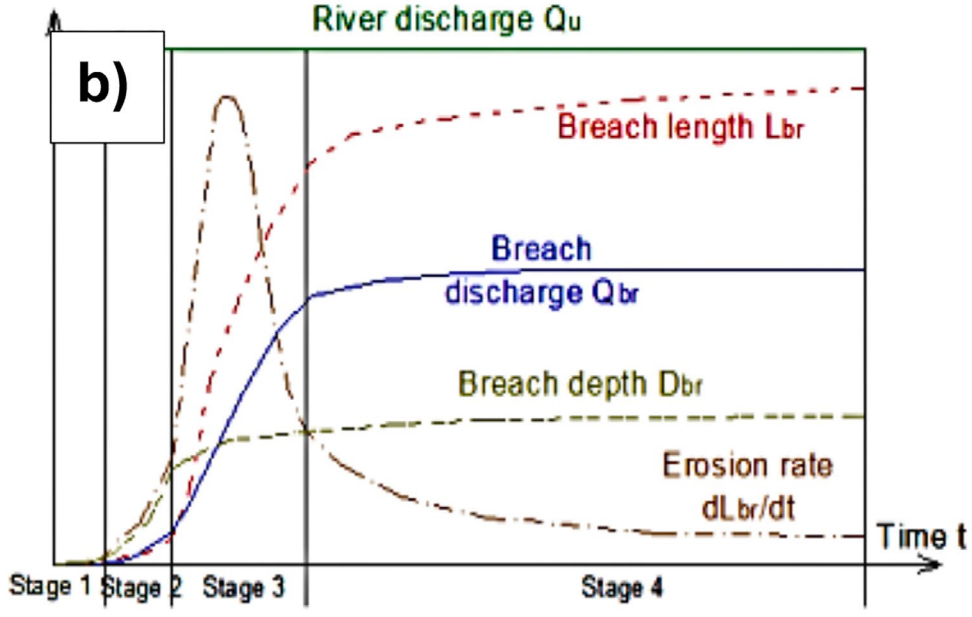
I risultati ottenuti da una serie di esperienze su canaletta di laboratorio (Fig, 4.1 a) mostrano che la breccia, dallo stato iniziale di innesco, evolve progressivamente attraverso le quattro fasi già richiamate in precedenza (Fig. 3.2) tendendo ad una condizione di equilibrio con geometria assimilabile a forma rettangolare, la cui lunghezza e altezza (breach length, breach depth, Fig. 4.1b) tendono ad assumere un valore approssimativamente costante nel tempo.

Con riferimento a tali valori di equilibrio, è stata individuata una correlazione tra la lunghezza della breccia, Lbr, e la larghezza media dell'alveo, B (Fig. 4.2).

Fig. 4.1

Indagine di laboratorio su brecce arginali: a) vista verso monte del canale sperimentale con fondo in sabbia e rilevato arginale sulla sinistra ove si è formata la breccia (Qu = portata a monte della breccia; Qbr = portata attraverso la breccia; Qd = portata a valle della breccia); b) andamento nel tempo delle caratteristiche di breccia: (lunghezza, altezza, portata e tasso di erosione (Michelazzo, 2013)

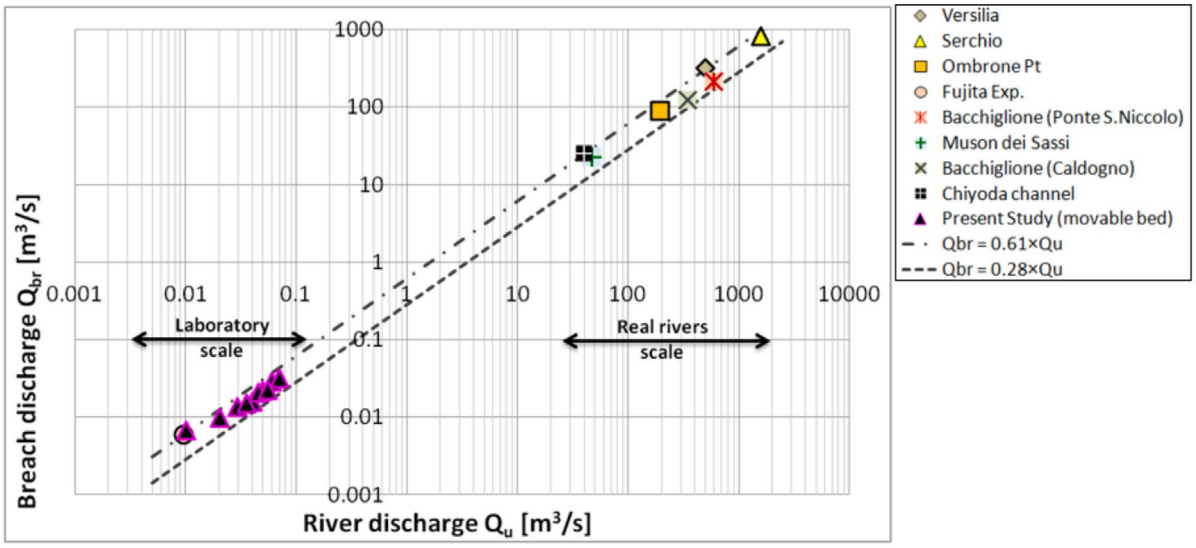




Per valutare la portata che esonda dalla breccia arginale, Q_{br}, si fa sempre riferimento ai citati studi sperimentali. Questi hanno evidenziato che, in condizioni di equilibrio quasi-stazionario, la portata che fuoriesce dall'alveo a seguito di una breccia arginale risulta nell'ordine di una frazione di quella transitante nel corso d'acqua. Nei casi indagati, tale frazione è prevalentemente dell'ordine del 60% (Figura 4.3).

Fig. 4.2

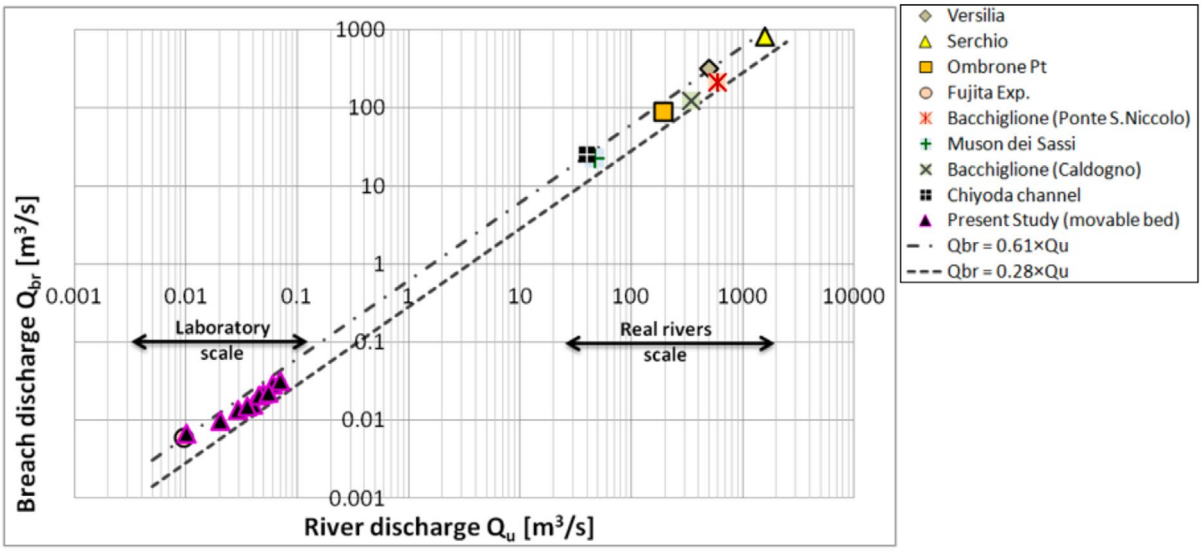
Correlazione tra larghezza di breccia e larghezza media alveo



Lunghezza di breccia Lbr vs Larghezza alveo fluviale B

Fig. 4.3

Q_{br} in funzione di Q. La portata che esonda durante una breccia arginale è circa 0.6 volte la portata Q transitante in alveo. Tale valore è stato osservato sia per dati sperimentali ottenuti in laboratorio sia per misure relative a collassi arginali su corsi d'acqua reali (Michelazzo, 2013)



Tali risultati trovano conferma in approcci analitici di studio delle condizioni di equilibrio idrodinamico, per cui è possibile ricavare relazioni di inviluppo delle variabili di breccia (lunghezza e portata) in funzione della portata in alveo (Michelazzo et Al. , 2018).

Il nuovo approccio per la valutazione del rischio da collasso arginale

Sulla base di quanto esposto in precedenza, la valutazione del rischio da collasso arginale può essere condotta facendo riferimento ai seguenti scenari:

SCENARIO TIPO 1: Collasso per sormonto (tracimazione) della sommità arginale
SCENARIO TIPO 2: Collasso per sormonto e rottura della struttura arginale
SCENARIO TIPO 3: Collasso per rottura senza sormonto

Purtroppo non esiste ancora una metodologia che permetta di valutare con ragionevole attendibilità il rischio associato alla rottura arginale per i seguenti motivi:

- l'impossibilità di prevedere quando, dove, e con quali modalità può avvenire una breccia arginale;
- le scarse, spesso nulle, conoscenze sulle caratteristiche costruttive e geotecniche degli argini;
- la scarsa affidabilità dei modelli di simulazione della dinamica evolutiva della breccia; la presenza di singolarità strutturali occulte (cavità, relitti murari inglobati nel rilevato, tane di animali).

Considerati i gravi danni a persone e cose che possono scaturire dalle rotture arginali, appare sempre più urgente pervenire ad una valutazione delle conseguenze negative indotte dai collassi arginali non considerati nelle mappature del rischio e relativi agli scenari Tipo 2 e 3.

Nel presente lavoro è stato proposto un nuovo approccio la cui ipotesi di base è la equiprobabilità della rottura arginale**:** *considerata l'impossibilità di prevedere con attendibilità l'ubicazione della breccia arginale si assume equiprobabile il verificarsi della breccia in qualunque sezione del sistema arginale considerato.*

Le altre ipotesi alla base del nuovo approccio sono le seguenti:

1. La geometria della breccia prescinde dalla causa che l'ha generata, dalle caratteristiche geotecniche del rilevato, ed è simulata in condizioni stazionarie, ignorandone il transitorio evolutivo e assumendo una condizione finale di equilibrio derivante dai risultati sperimentali.

2. Le caratteristiche della breccia si deducono dai risultati sperimentali e dall'analisi dei dati idrologici-idraulici del corso d'acqua.

3. L'idrogramma di esondazione è determinato sulla base della metodologia di seguito descritta

4. Alla condizione di equi-probabilità di rottura della breccia possono essere associati gli indicatori alla propensione al collasso di tipo locale (singolarità geometriche, disomogeneità strutturali, ….) e/o di tipo distribuito (forma, dimensioni, pensilità, esposizione a fenomeni geologici, antropici, animali….) provenienti da altre indagini.

Conviene osservare che il metodo proposto non vuol essere un modello per la simulazione di un singolo evento di collasso arginale, bensì uno strumento applicabile a scala ampia che permetta la individuazione di quei tratti arginali responsabili, in caso di rottura, dei maggiori danni sul territorio.

Nel presente lavoro si trascurano le prime tre fasi di cui alla Figura 3.2 e si considera la sola quarta fase di equilibrio, ipotizzando quindi che questa venga raggiunta istantaneamente (stage 4 di Fig. 4,1). Tale ipotesi si basa sull'osservazione degli eventi occorsi per i quali il tempo di innesco e di evoluzione della breccia può essere ritenuto trascurabile rispetto al tempo di persistenza della portata fuoriuscita dalla breccia.

La geometria della breccia è assunta rettangolare con altezza H da definire in funzione della morfologia fluviale (pensile, incassato) e in generale è pari all'altezza tra sommità arginale e il piano campagna. La lunghezza della breccia L, dai dati sperimentali di cui alla Figura 4.2, è definita pari alla larghezza media dell'alveo B_m nel tratto considerato, $L = B_m$

Con la metodologia proposta è possibile individuare le posizioni di quelle brecce arginali che maggiormente determinano danni per consentire la definizione delle tipologie e delle priorità di intervento di consolidamento arginale laddove il possibile collasso sarebbe in grado di causare danni elevati rispetto alle altre porzioni del rilevato arginale.

Allo scopo di rendere applicabile la metodologia proposta alla scala territoriale, e quindi di contenere i tempi e i costi computazionali, è necessario rinunciare alla modellistica più o meno sofisticata (che comunque è sempre affetta da notevoli incertezze), a favore di una modellistica semplificata in grado però di essere applicata su scala vasta e fornire risultati comunque significativi almeno in termini comparativi tra le diverse porzioni di territorio.

La procedura applicativa

IL POSIZONAMENTO DELLE BRECCE ARGINALI

Il sistema arginale soggetto alla valutazione del rischio da collasso dovrà preventivamente essere analizzato per evidenziare eventuali tratti con caratteristiche di spiccata non omogeneità di tipo strutturale, geometrica, idraulica, ricorrendo anche all'utilizzo di indicatori della propensione al collasso (Solari et Al. 2014, URBAT 2015, Michelazzo et Al., 2018).

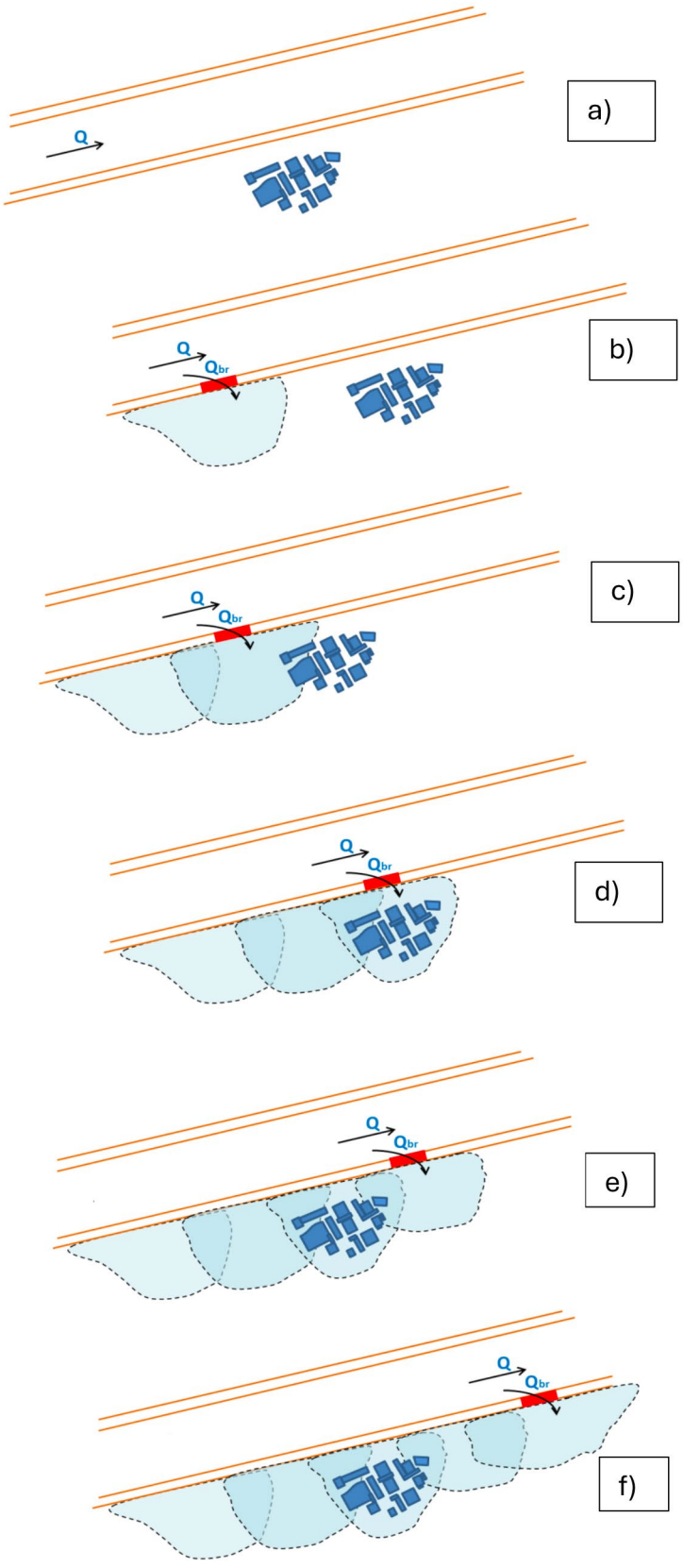
Da tale analisi potrà quindi scaturire una suddivisione del sistema arginale in tratti significativi per ognuno dei quali si procede secondo la metodologia di seguito descritta.

Si consideri la Figura 6.1 ove è schematicamente rappresentato il tratto significativo di un corso d'acqua rettilineo, con un centro abitato in destra idrografica (Fig. 6.1 a).

Ogni porzione di argine all'interno di questo tratto ha la stessa probabilità di collassare di tutte le altre porzioni, cioè la stessa probabilità di generare una breccia. Si assume la lunghezza della breccia uguale alla larghezza media del corso d'acqua e, considerando l'argine destro, si posiziona la prima breccia all'inizio del tratto (Fig. 6.1 b) e si traccia la mappa di allagamento conseguente alla fuoriuscita della portata di esondazione Qbr con idonea modellazione 2D. Nel paragrafo successivo sarà descritta la metodologia per la definizione dell'idrogramma di esondazione.
Si procede con la chiusura della prima breccia e l'apertura di una seconda breccia, posizionata a valle della prima ad una distanza da definire principalmente in base alle caratteristiche morfologiche del terreno soggetto a inondazione. Questa seconda breccia genera una nuova superficie inondata come mostrato nella Figura 6.1 c. In modo analogo, si procede con la chiusura di questa seconda breccia, il posizionamento di una terza breccia e la mappatura della relativa area inondata, fino al completamento del tratto (Figure 6.1 d,e,f).

I risultati ottenuti mostrano che una rottura arginale che avviene nel tratto di cui alle Figure 6.1 c,d,e produce l'allagamento del centro abitato con danni sicuramente superiori a quelli prodotti dalle altre rotture. Con tale procedura sono pertanto individuabili i tratti arginali la cui rottura può produrre i danni maggiori sul territorio e pertanto possono essere messe in atto con predefiniti livelli di priorità, le attività di monitoraggio, di manutenzione e di consolidamento al fine di ridurre le condizioni di rischio da collasso.

Fig. 6.1



L'IDROGRAMMA DI ESONDAZIONE

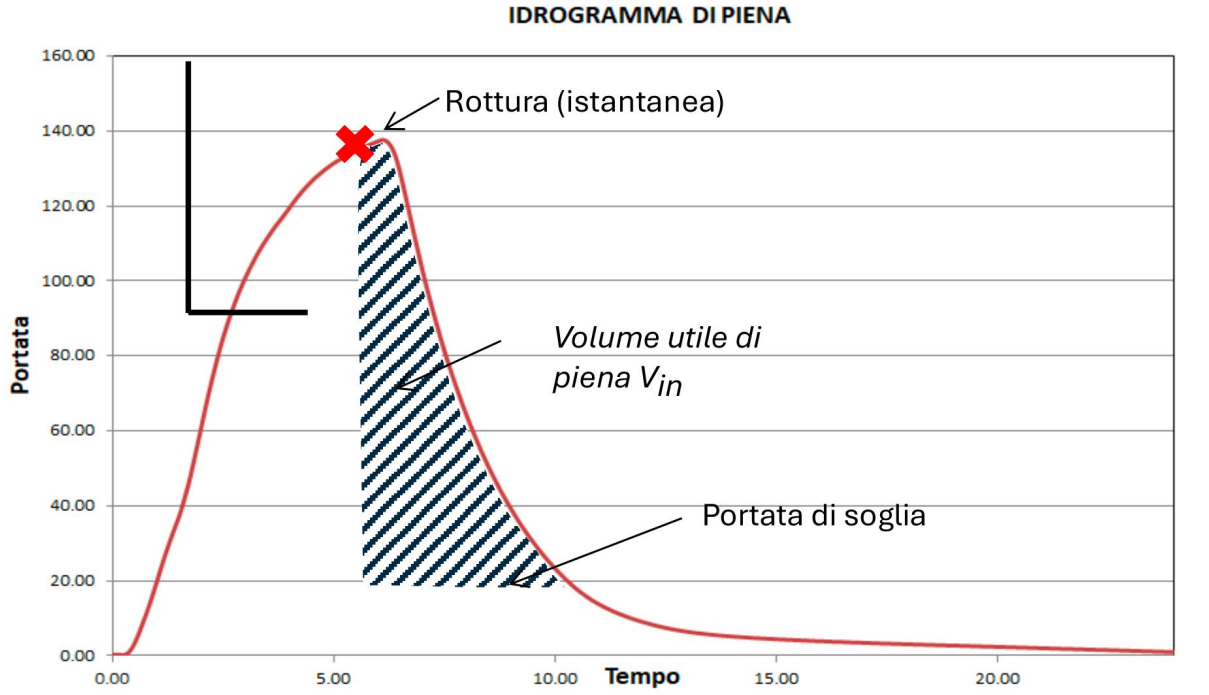
L'osservazione sperimentale fa ritenere ragionevole assumere che il volume di esondazione, cioè il volume che transita attraverso la rottura arginale (breccia), sia correlato al volume della piena che defluisce in alveo negli istanti successivi alla rottura stessa.

È infatti solo una frazione del volume complessivo dell'idrogramma di piena che è responsabile della quantità di acqua che si riversa sul territorio.

Con riferimento alla Figura 6.2, tale frazione è denotata come Volume utile di Piena (Vin) ed è rappresentato dall'area a tratteggio in figura, inferiormente delimitata dalla portata di soglia che rappresenta la portata che continua a defluire in alveo durante il fenomeno esondativo attraverso la breccia.

Ovviamente il volume utile di piena così definito non rappresenta il volume effettivamente esondato in quanto si assume una rottura istantanea e una immediata fuoriuscita di una portata che istante per istante è sempre uguale alla differenza tra la portata in alveo in arrivo da monte e la portata di soglia.

Fig. 6.2

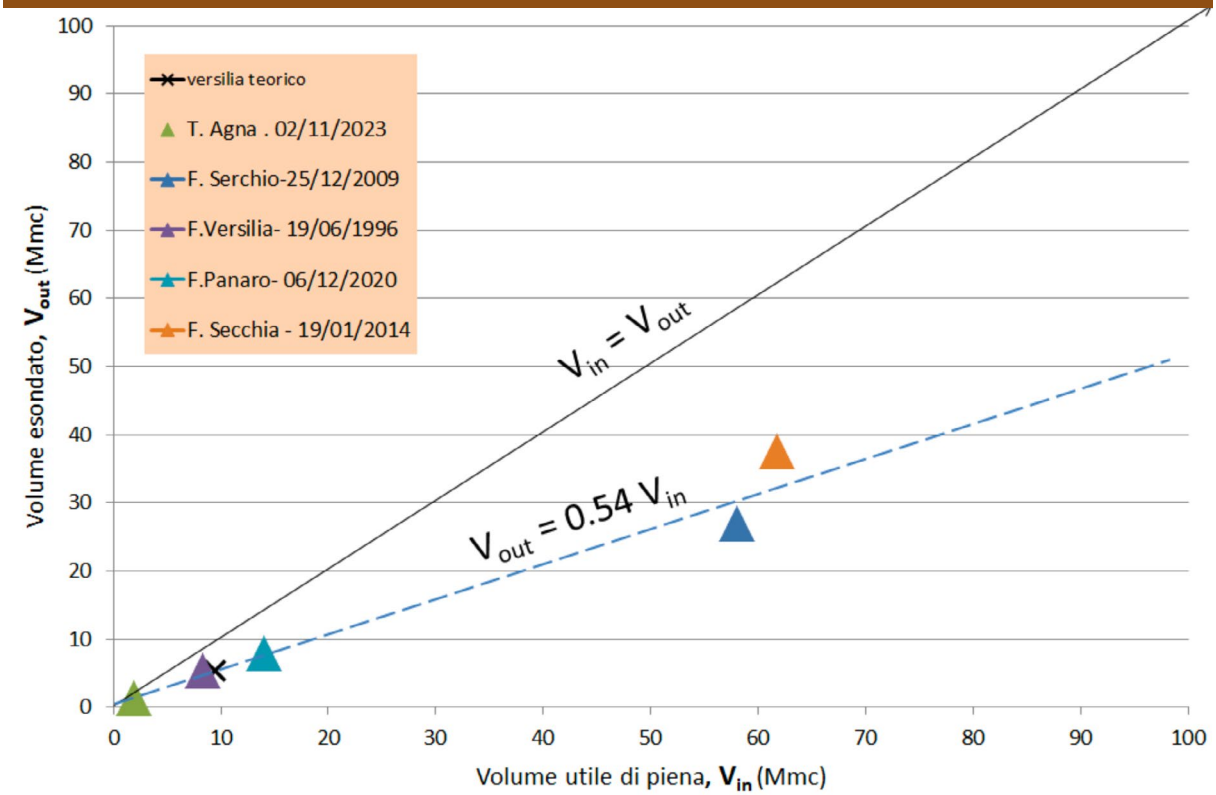


Assumendo che debba comunque esistere una correlazione tra il volume utile di piena Vin e il volume effettivamente esondato Vout, è stata condotta un'indagine su una serie di cinque eventi reali per i quali è stato possibile calcolare Vin e Vout.

I dati raccolti sono riportati nella Figura 6.3, dalla quale si può osservare una buona correlazione tra le variabili considerate.

Da notare inoltre che i dati sperimentali si collocano tutti al di sotto della retta a 45° che rappresenta il caso limite il cui tutto il volume utile Vin fuoriesce dalla breccia.

Fig. 6.3



Occorre pertanto definire dapprima l'idrogramma di piena.

L'idrogramma di inondazione (in uscita dalla breccia) è in prima battuta schematizzabile mediante valori di portata Q e di altezza d'acqua Y mantenuti stazionari per la durata T.

Per determinare il Volume Utile di Piena, Vin, è necessario definire l'idrogramma di piena di riferimento, cioè l'idrogramma che deve essere utilizzato per la valutazione del rischio da collasso arginale.

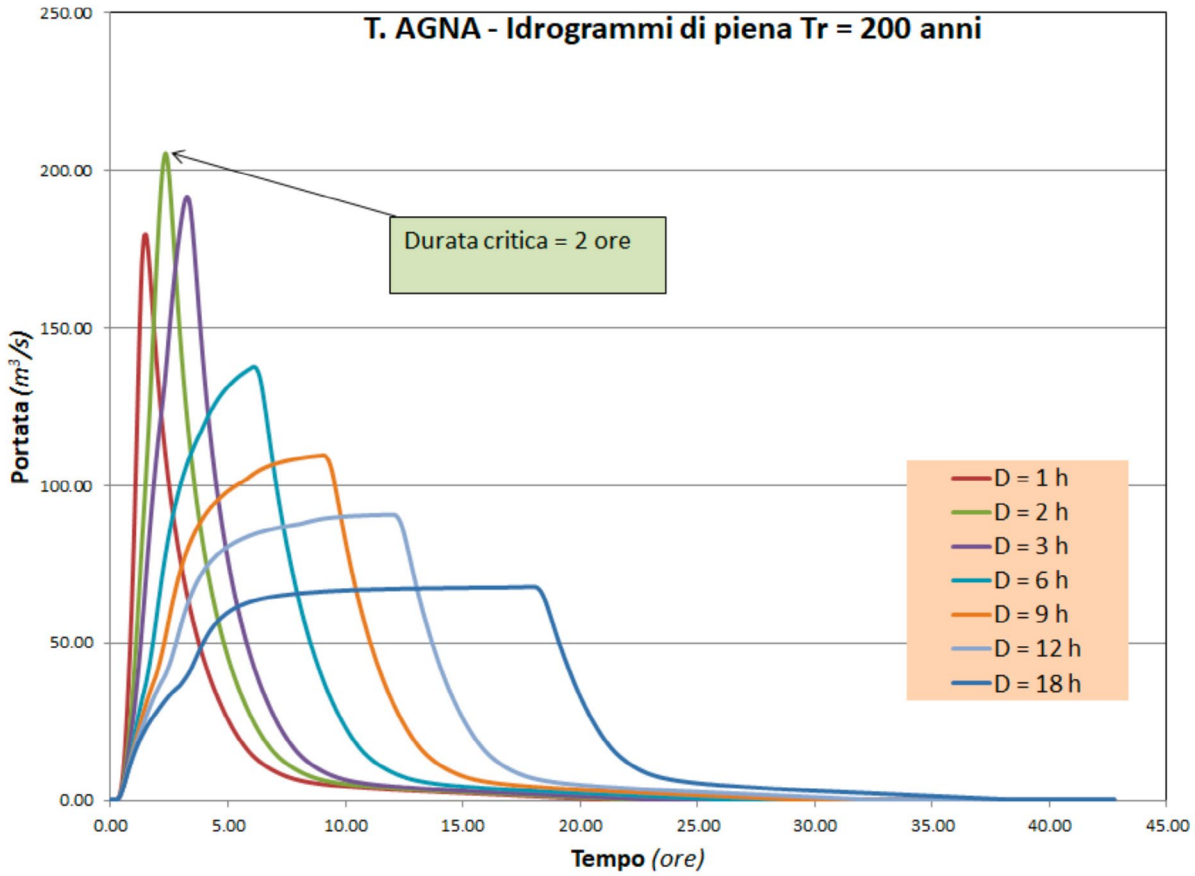
A questo fine va ricercato l'idrogramma di piena che maggiormente crea le condizioni di pericolosità per il collasso arginale.

A parità di durata di pioggia e di tempo di ritorno, l'idrogramma di riferimento dovrà essere caratterizzato da livelli idrici che persistono per tempi elevati nell'intorno della sommità arginale.

Per definire tali caratteristiche è stata svolta un'analisi di diversi idrogrammi di piena in funzione del tempo di ritorno e della durata di pioggia. Come caso di studio è stato considerato il bacino del T. Agna.

Nella Figura 6.4 sono riportati gli idrogrammi di piena ricostruiti con modello idrologico per il tempo di ritorno duecentennale.

Fig. 6.4



Per determinare l'idrogramma di riferimento avente le caratteristiche richieste tali da fornire condizioni gravose per le arginature, è stato introdotto l'Indice di Persistenza IP che tiene conto in forma sintetica delle caratteristiche di altezza d'acqua e di persistenza nel tempo dell'idrogramma di piena, attraverso il prodotto:

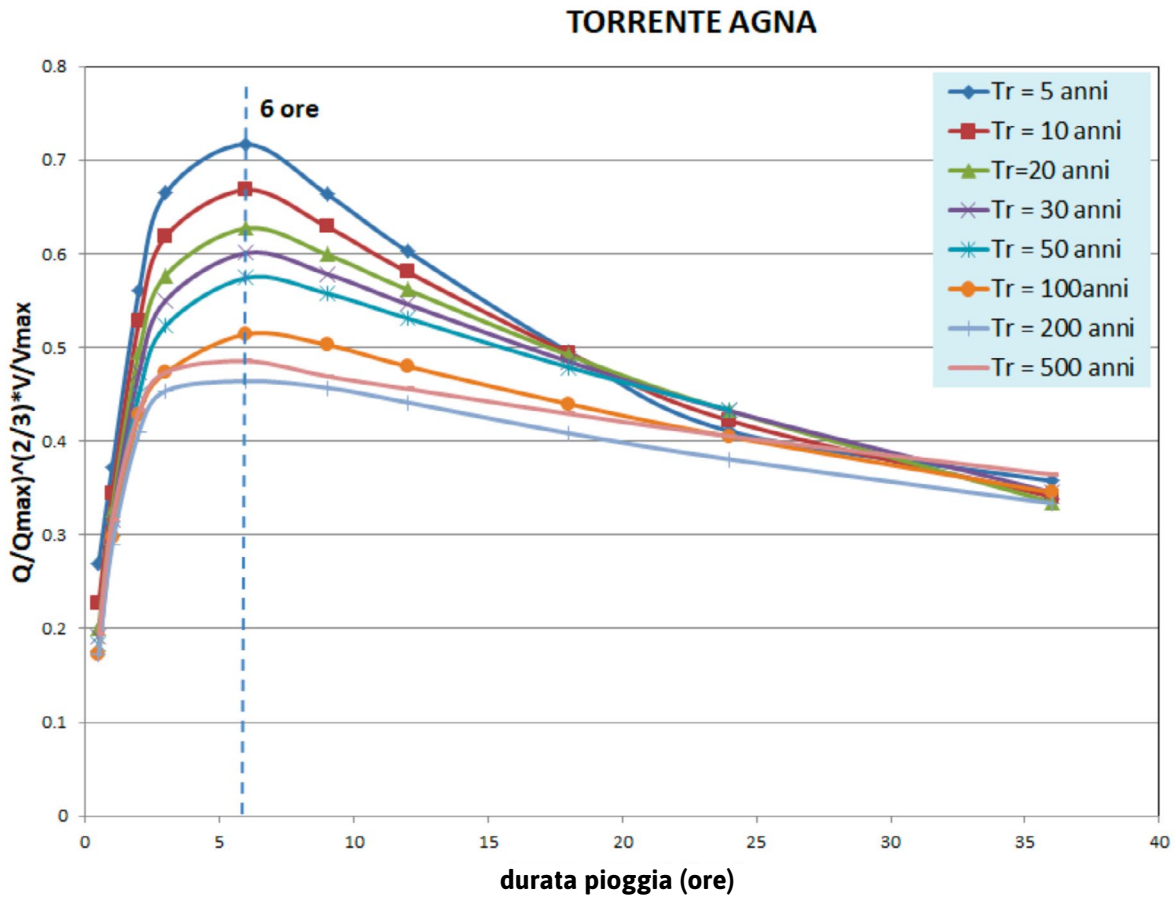
$$IP=Q^{2/3}V[m^5/s^{2/3}]$$

dove con il fattore $Q^{2/3}$ (Q = portata al colmo), proporzionale all'altezza d'acqua, si tiene conto del livello idrico, mentre il fattore V (V = volume sotteso dall'idrogramma di piena) tiene in qualche modo conto della persistenza dei livelli.

Normalizzando IP con il valore massimo di Q e V su tutti gli idrogrammi considerati, e riportandolo in funzione della durata di pioggia, si osserva che per tutti gli idrogrammi di piena si verifica una condizione di massimo di IP che si manifesta sempre in corrispondenza della stessa durata.

In Figura 6.5 sono riportati i risultati per il caso di studio, ove risulta che l'evento di piena che maggiormente dovrebbe cimentare l'argine corrisponde ad una durata di pioggia pari a sei ore.

Fig. 6.5



L'idrogramma di riferimento di cui alla Figura 6.4 sarà pertanto quello con durata critica pari a 6 ore.

Per quanto riguarda il tempo di ritorno, si ritiene cautelativo fare riferimento a Tr = 200 anni.

Una volta determinato l'idrogramma di riferimento è possibile determinare l'idrogramma di esondazione. Riferendosi sempre al caso di studio si procede nel seguente modo:

1. Dall'idrogramma di riferimento si calcola Vin stabilendo in funzione della morfologia del corso d'acqua il valore della portata di soglia. Per il caso di studio si assume:

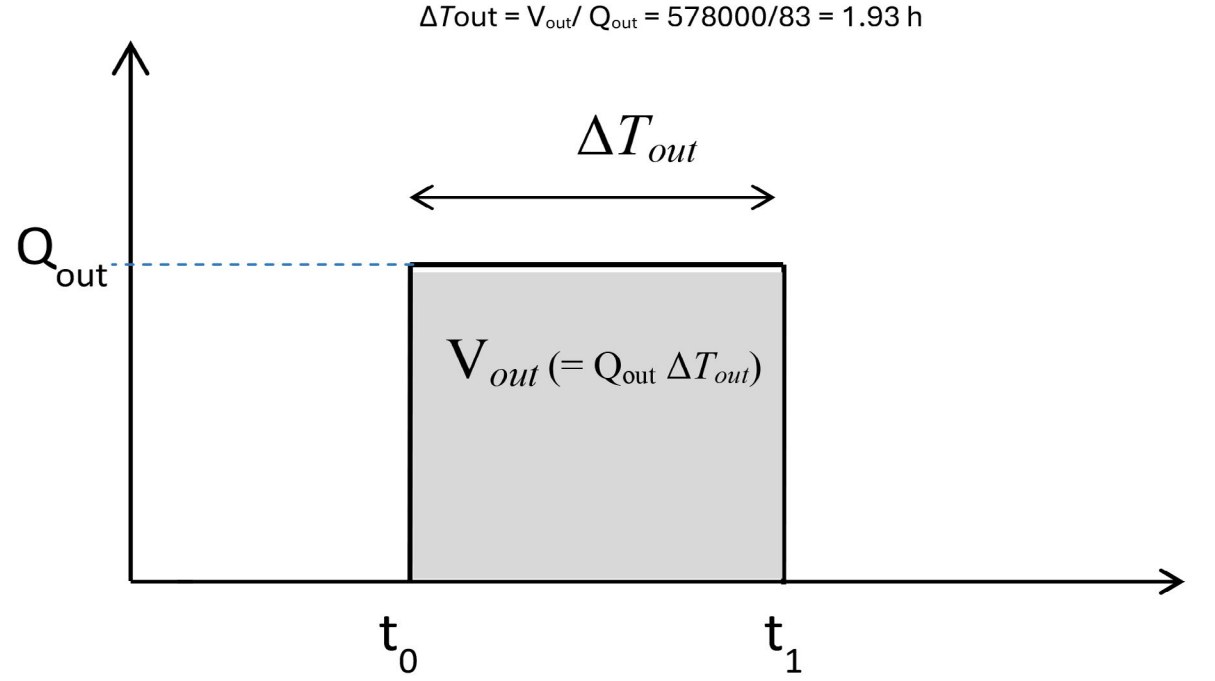
Qsoglia = 10 m^3/s. Sotto queste ipotesi il volume utile di piena risulta:
V_{in} = 1.070.000 m^3

2. Dai risultati mostrati in Figura 6.3 si calcola il volume i V_{out} = 0,54 * 1070000=
V_{out} = 578.000 m^3

3. Dai risultati sperimentali di cui alla Figura 4.3 si calcola la portata fuoriuscita Q_{out} che risulta pari al 60% della portata massima in alveo:
Q_{out} = 0.6 Q_{max} = 0.6x 138 = 83 m^3/s

4. Si calcola il tempo di permanenza di tale portata, ΔTout, assumendo un idrogramma rettangolare avente il volume pari a Vout (Fig. 6.6):
$\Delta Tout = V_{out} / Q_{out}$ = 578000/83 = 1.93 h

Fig. 6.6

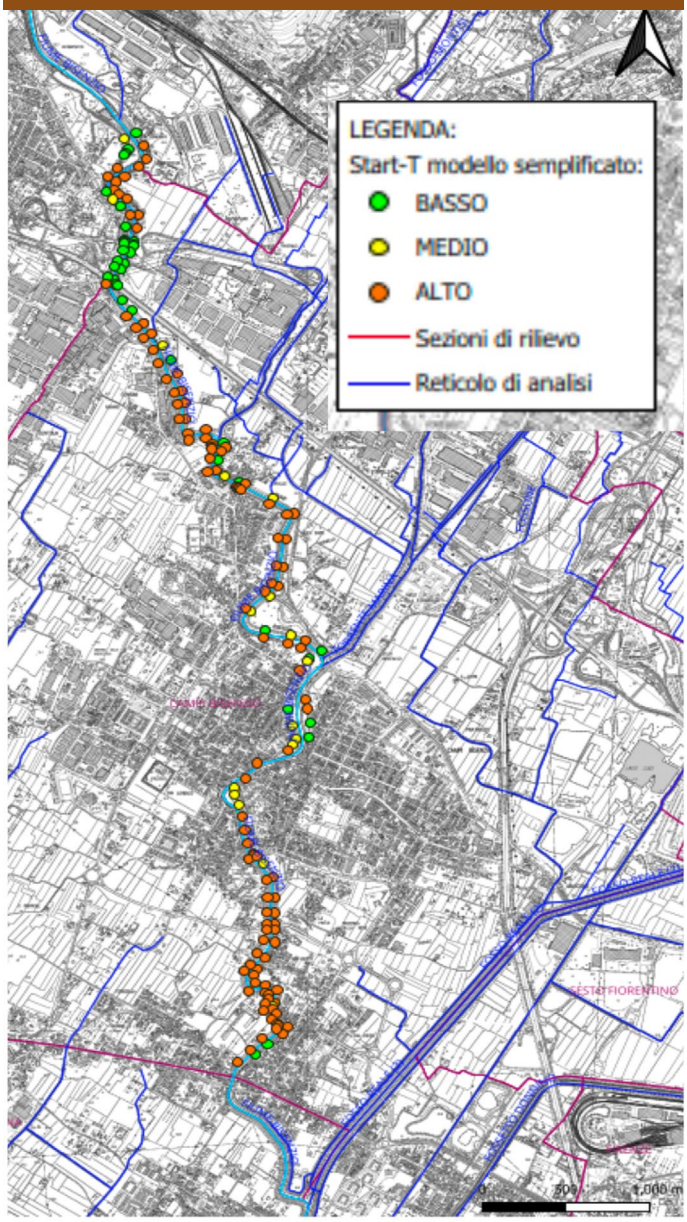


Pertanto, riassumendo, tale idrogramma rettangolare, che transita attraverso la breccia di larghezza L (pari alla larghezza media dell'alveo) per un tempo uguale a 1.93 ore, rappresenta l'input per il modello 2D di inondazione.
Si evidenzia che la metodologia proposta ha al suo interno inevitabili semplificazioni finalizzate al raggiungimento dell'obiettivo, cioè individuare quelle porzioni del sistema arginale che maggiormente sono in grado di produrre danni sul territorio in caso di un loro collasso.
Pertanto non è qui rilevante effettuare modellazioni particolarmente accurate (moto vario, modello evolutivo di breccia) in quanto i risultati sono da analizzare in termini relativi per individuare quali sono i tratti arginali «più pericolosi» all'interno del sistema arginale considerato.
Su questi occorre concentrare le risorse per ridurre i potenziali danni derivanti da una loro rottura, anche attraverso un'analisi costi-benefici.

Casi di studio: il F. Bisenzio e il T. Brana

Nell'ambito dei lavori del Comitato Tecnico Scientifico sono in corso le fasi applicative del nuovo approccio ai corsi d'acqua Bisenzio e Brana, in particolare: il F. Bisenzio per il tratto compreso tra Prato-Gonfienti e Campi Bisenzio –San Mauro, per una lunghezza di 8.4 Km lungo la quale sono disponibili 112 sezioni fluviali; T. Brana per il tratto Pistoia – Confluenza Bure, per una lunghezza di 11.5 Km e con 132 sezioni.
Per entrambi i corsi d'acqua è stato calcolato l'indice di propensione al collasso sulla base della procedura URBAT 2015 che permette in forma automatica la definizione degli indicatori della propensione al collasso per ogni sezione del sistema arginale considerato, come riportato nelle Figure 7.1 e 7.2.

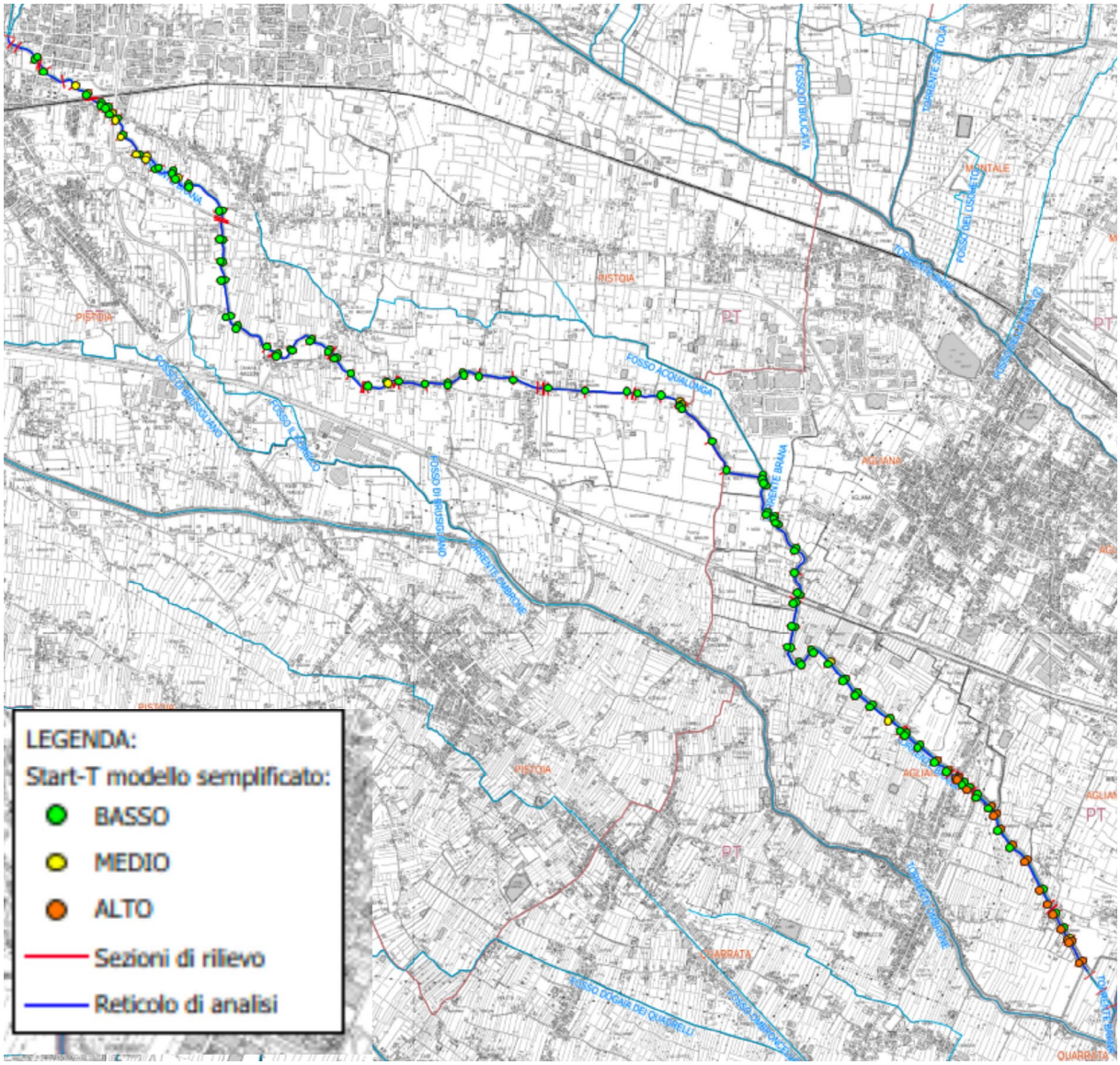
Fig. 7.1



Tratto di studio del F. Bisenzio con la mappa della propensione al collasso

Fig. 7.2

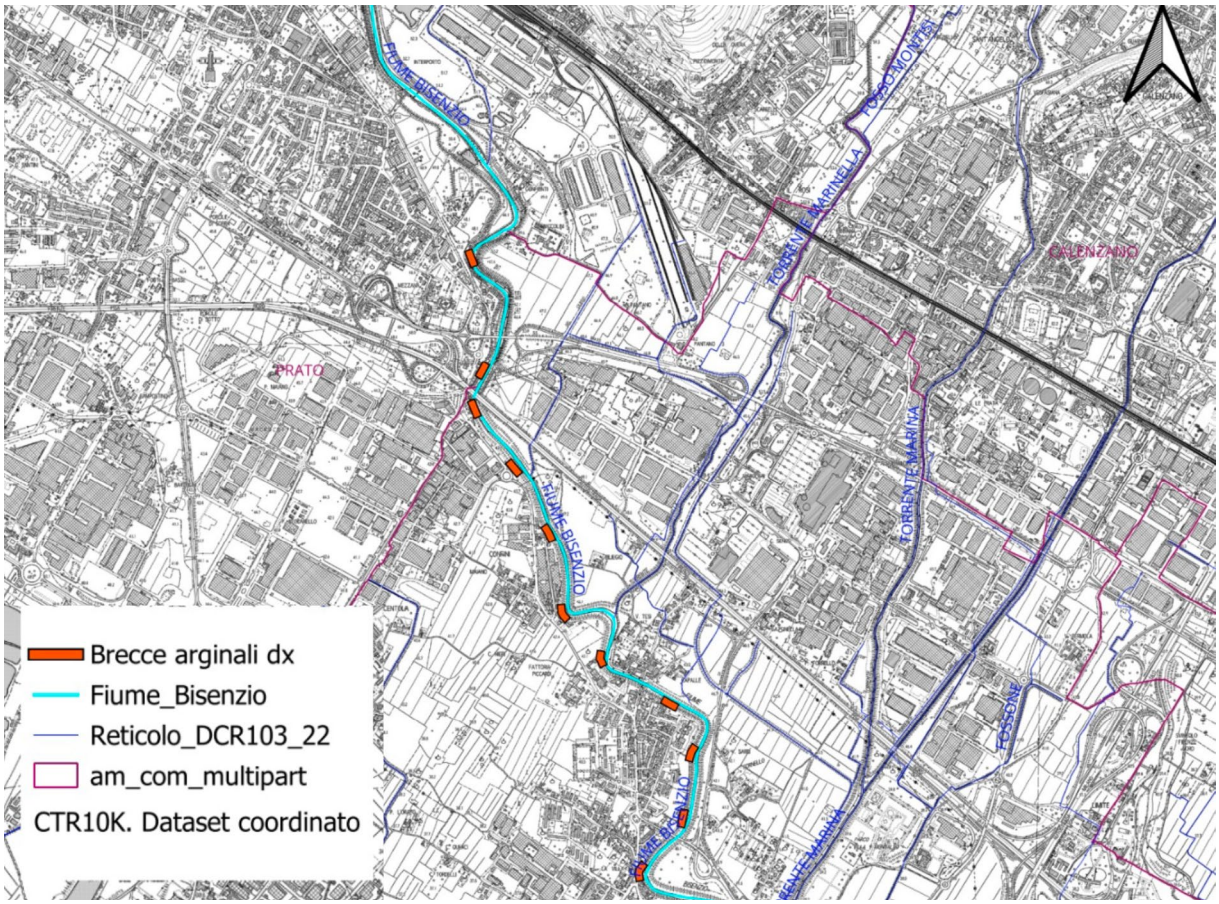
Tratto di studio del F. Bisenzio con la mappa della propensione al collasso



Nella Figura 7.3 è riportate la mappa delle brecce equiprobabili per l'argine destro del F, Bisenzio, finalizzata allo studio del rischio da collasso arginale secondo quanto esposto nel paragrafo precedente.

Fig. 7.3

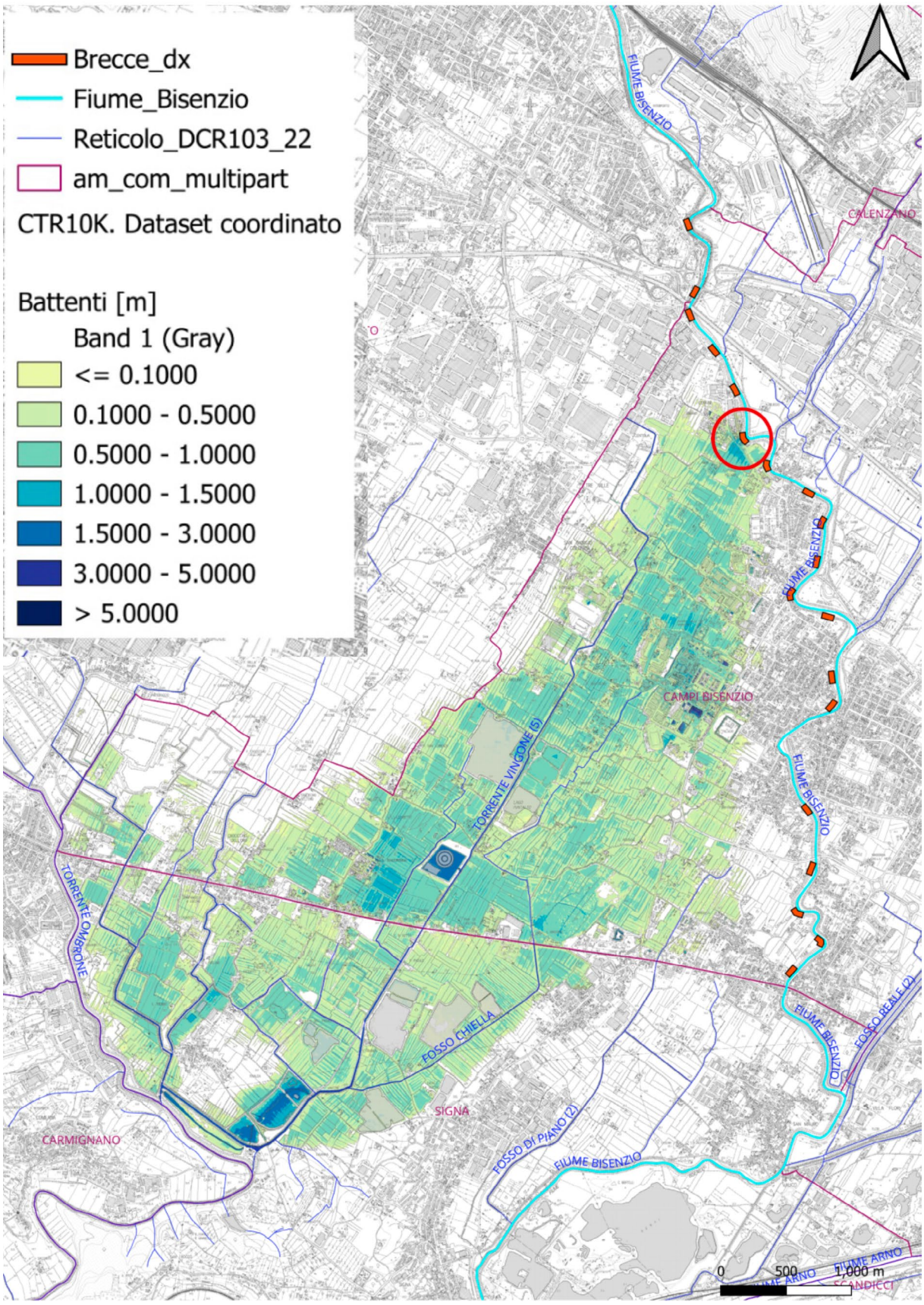
Ubicazione delle brecce equiprobabili per lo studio del rischio da collasso arginale del F. Bisenzio



Infine, nella Figura 7.4 è riportata la mappa dell'area inondata a seguito della rottura arginale evidenziata con cerchio rosso. Ripetendo la stessa analisi per tutte le altre brecce, si perviene al quadro delle aree allagate generate dalle singole brecce, in base alle quali è possibile valutare i danni sul territorio, e quindi il rischio, connesso alla rottura arginale. Le brecce che producono maggiori danni sul territorio saranno quelle che definiranno gli interventi prioritari sui relativi tratti arginali del F. Bisenzio.

Fig. 7.4

Mappa dell'allagamento conseguente alla breccia cerchiata in rosso sull'argine destro del F. Bisenzio



Sviluppi futuri

I primi risultati ottenuti dall'applicazione dell''approccio proposto per la valutazione del rischio da collasso arginale si sono rivelati promettenti e di un certo interesse anche dal punto di vista tecnico-scientifico. Tuttavia, questa fase preliminare non deve essere considerata esaustiva. Ulteriori attività di approfondimento e sviluppo dell'approccio proposto dovranno essere svolte con particolare riferimento a:

- La verifica del criterio proposto per la definizione dell'evento di riferimento e eventualmente l'individuazione di criteri correttivi/alternativi;
- La verifica delle relazioni empiriche, con particolare riferimento alla correlazione esistente tra volume utile di piena e volume esondato;
- L'individuazione di criteri per la definizione della portata di soglia che tengano conto delle caratteristiche morfologiche dell'alveo (inciso, pensile);
- L'elaborazione di linee guida per la determinazione della spaziatura delle brecce equipotenziali in relazione alla morfologia del territorio e agli indicatori per la propensione al collasso;
- La valutazione dell'affidabilità dei modelli di inondazione 2D in aree urbanizzate.

Bibliografia

- A Bellos C.V., Sakkas J.G., 1987, *1-D dam-break flood-wave propagation on dry bed,* ASCE, Journal of Hyadraulic Engineering, Vol. 113, No. 12, pp. 1510-1524.

- Balistrocchi, M., Moretti, G., Ranzi, R., & Orlandini, S. (2021). F*ailure probability analysis of levees affected by mammal bioerosion.* Water Resources Research, 57, e2021WR030559, doi: 10.1029/2021WR030559.

- Benoist G., Nicollet G., 1983, Rupture progressive des barrages en terre, Proceedings ogf the XX IAHR Congress, Mosca, pag. 464-470.

- Consiglio Nazionale delle Ricerche, Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi *Idrogeologiche, Valutazione delle onde di piena da rottura di dighe*, 1995.

- Costa J.E., 1985, *Floods from dam failures,* U.S. Geological Survey, Denver, Colorado, Open-File Report 85-560.

- Fenaroli P.G., Molinaro P., 1989, *Metodologie utilizzate in diversi paesi per lo studio del crollo delle dighe di ritenuta e suggerimenti per la definizione di una metodologia applicabile in Italia*, Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (CNR-GNDCI), Rapporto 1989

- Fennema R.J., Chaudhry M.H., 1987, *Simulation of one-dimensional dam-break flows*, IAHR, Journal of Hyadraulic Research, Vol. 25, No.1, pp. 41-51.

- Ferrari A., Dazzi S., Vacondio R., Mignosa P., (2020), *Enhancing the resilience to flooding induced by levee breaches in lowland areas: a methodology based on numerical modelling* Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 20, 59–72, 2020, https://doi.org/10.5194/nhess-20-59-2020

- Fread D.L., 1985, *BREACH: an erosion model for earthen dam failures*, U.S. National Weather Service, Office of Hydrology, Silverr Spring, Maryland, 1985.

- G. Michelazzo, E. Paris e L. Solari, *Una nuova metodologia di analisi della vulnerabilità arginale*, Atti XXXIV Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Bari, 8-10 settembre 2014.

- Giuseppetti G., Molinaro P., 1989, *A mathematical model of the erosion of an embankment dam by overtopping*, International Symposium on Analytical Evaluation of Dam Related to Safety Problems, Copenaghen.

- Han K.Y, Lee J.T., Park J.H, 1998, *Flood inundation analysis resulting from Levee-break, Journal of Hydraulic Research*, vol. 36, no. 5 pp. 747-759.

- Johnson F.A., Illes P., 1976, *A classification of dam failures,* Water Power and Dam Construction, vol. 28, n. 12.

- Macchione F., Sirangelo B., 1990, *Ricostruzione dell'onda di piena per sei casi storici di rottura di dighe in terra*, XXII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Cosenza, pp. 427-440.

- MacConald T.C., Langridge-Monopolis J., 1984, *Breaching characteristics of dam failures*, ASCE, Journal of Hyadraulic Division, Vol. 110, No.5, May

- Mazzoleni M., Barontini S., Ranzi R. (2012), *Reliability levee model to support flooding hazard mapping*, XXXIII Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Brescia, 10—15 settembre 2012

- Michelazzo G., Paris E., and Solari L., "On the vulnerability of river levees induced by seepage". Journal of Flood Risk Management, 11, 2018, pp. S677-S686

- Michelazzo, G., Oumeraci, H., & Paris, E. (2018). New hypothesis for the final equilibrium stage of a river levee breach due to overflow. Water Resources Research., 54(7), 4277–4293. https://doi.org/10.1029/2017WR021378

- Paris E., 2010, Meccanismi di collasso arginale e valutazione del rischio idraulico sul territorio, *"Strutture arginali: vulnerabilità, monitoraggio, sicurezza" - la certificazione degli argini*, giornata di studio ordine ingegneri provincia di firenze

- Paris E., Preti F., Settesoldi D., 1996, Evento alluvionale del 19 giugno 1996 in Versilia-Garfagnana, Convegno sul Trenntennale dell'Alluvione di Firenze, Firenze, novembre.

- Paris E., Settesoldi D., 1999, *Sulla rotta del f. Versilia del 19 giugno 1996*, Giornata di Studio su LA DIFESA IDRAULICA DEL TERRITORIO, Trieste, 23-24 settembre 1999

- Ponce V.M., Tsivoglou A.J., 1981, *Modeling gradual dam breaches*, ASCE, Journal of Hyadraulic Division, Vol. 107, No HY7, pp. 829-838

- Ranzi R., Bacchi B., Barontini S., Ferri M., Mazzoleni M., 2013, Levee Breaches Statistics, *"Geotechnical Uncertainty", Residual Risk in Flood Hazard Mapping,* Proceedings of 2013 IAHR World Congress, Chengdu, China.

- Sanders B.F., Schubert J.E., Gallegos H.A., 2008, *Integral formulation of shallow-water equations with anisotropic porosity for urban flood modelling*, Journal of Hydrology 362, 19– 38

- Sandra Soares-Frazão, Julien Lhomme, Vincent Guinot & Yves Zech (2008), *Two-dimensional shallow-water model with porosity for urban flood modelling*, Journal of Hydraulic Research, 46:1, 45-64

- Scarlatos P.D., Singh V.P., 1986, *Mud flows and sedimentation problems associated with a dam-break event*, III International Symposium on River Sedimentation, Mississippi, pp. 1063-1068

- Schamber D.R., Katopodes N.D., 1984, *One-dimensional models for partially breached dams*, ASCE, Journal of Hyadrulic Engineering, Vol. 110, No. 8, pp. 1096-1102.

- Solari, L., Paris, E, Michelazzo, G., 2014. *Studi teorici e sperimentali per la valutazione della vulnerabilità arginale*, Firenze

- Staiano T., Rinaldi M., Paris E., "*Seepage and stability analysis of embankments during flood events*", Proceedings of XXIX IAHR Congress, 16-21 september 2001, Beijing, Chine. *The International Levee Handbook* -CIRIA C731 © CIRIA 2013 RP957 ISBN: 978-0-86017-734-0

- Valiani A., Montefusco L., 1990, *Modello bidimensionale del deflusso per traimazione di uno sbarramento inmateriali sciolti,* XXII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Cosenza, pp. 203-217

- Vestri Veronica, chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.fondazionecrprato.it/attachments/article/155/Fond_Prato111_06.pdf

Suscettività al danno da alluvione nella pianura della Toscana

Prof. Ing. Giovanni Menduni[2]
Dott. Francesco Baroni[1], Dott.ssa Federica Zambrini [2],
Dott. Enrico M. Nava[2]

[1] Regione Toscana
[2] Fondazione Politecnico Milano

Introduzione

Nel dare conto del nostro lavoro nell'ambito del Comitato Tecnico Scientifico, vorremmo iniziare con una osservazione preliminare che riguarda la LR 41/2018.

Il provvedimento costituisce un fatto senz'altro significativo nel panorama nazionale della regolazione dei temi relativi al dissesto. Contiene difatti diversi elementi di novità. Tra questi, l'introduzione della "magnitudo idraulica", concetto integrato per la prima volta (e verosimilmente l'unica) nell'Ordinamento per quanto attiene alle norme emanate a seguito della "Direttiva alluvioni".

La legge recepisce in pieno gli aspetti originali della Direttiva europea. Scorrendola tuttavia appare che, a fronte di un sostanziale cambio di paradigma rispetto alla cultura del secolo scorso, l'analisi delle conseguenze negative delle alluvioni sia affidata ai dettati del DPCM 29 settembre 1998. Occorre subito ricordare che il legislatore regionale ha recepito quanto disposto dall'articolo 6, comma 5, del D.Lgs 49/2010 e che dunque tale richiamo era pressoché obbligato.

Resta il fatto che si tratta di un provvedimento nato dal contesto emergenziale del "dopo Sarno" e dunque adottato in un ambito di legislazione d'urgenza e di impellente *committment* da parte del Parlamento e dell'opinione pubblica. Si può dunque convenire sul fatto che, nel corso del tempo (quasi trent'anni), sarebbe stato opportuno quantomeno una revisione generale dei criteri.

Stupisce invece che tale provvedimento sia sopravvissuto, tanto all'azione di riordino data dall'emanazione del Codice del 2006, che al successivo "terremoto" indotto dalla produzione della Direttiva europea.

È bene sottolineare soprattutto il secondo dei due fatti, dato che la riduzione delle "conseguenze negative delle alluvioni" costituisce la colonna portante dell'intera azione comunitaria in tema di rischio idraulico.

È altresì indubbio che la nostra Regione, pur nel suo percorso alle volte travagliato, si è sempre collocata tra quelle che maggiormente hanno inciso nel dibattito nazionale, portando elementi di novità nell'ambito della cultura tecnica del Paese. L'azione del Comitato Tecnico Scientifico con cui ci è stato riservato l'onore di collaborare, ne è una ulteriore prova.

In questo senso, innanzi ad una generale volontà di revisione della LR 41/2018, portiamo il nostro contributo proprio su questo tema. Quella che, in ambito scientifico, viene chiamata la "*research question*", ovvero la domanda reale, pratica, alla quale si vuole rispondere con il nostro lavoro, è proprio nell'ambito delle "conseguenze negative" e potremmo formularla nel modo seguente: **"rispetto al DPCM del 1998, sussiste un metodo alternativo per prevedere localmente le conseguenze attese delle alluvioni, in modo da orientare in maniera più efficace le politiche di prevenzione?"**

Occorre subito contestualizzare l'attitudine che ci ha guidato nel rispondere a questa domanda. È chiaro che il D.Lgs. 49/2010, diciamo, "si arrangia" per colmare una lacuna sfuggita al Legislatore all'atto della produzione del Codice dell'ambiente. Questo perché verosimilmente, pur ai primi anni 2000, il sistema delle Autorità di bacino non aveva saputo o potuto produrre alcun significativo contributo originale rispetto alle scarne indicazioni di quell'atto. È anche vero il dettato di cui all'articolo 6, direttamente indirizzato alle stesse Autorità, adesso distrettuali, secondo quanto disposto al comma 1 dello stesso articolo.

Tra gli elementi di novità più significativi scaturiti dall'attività del Comitato Tenico Scientifico, è certamente la proposta di Dott. Marcello Brugioni di introdurre il concetto di "aree a pericolosità non nulla". Si tratta, come ampiamente discusso, di un ulteriore elemento guida nella nuova visione urbanistica della Regione (si veda capitolo a pag. 110) .

Si tratta di un ragionamento molto sensato che si affianca al lavoro dell'Autorità di bacino senza minarne i contenuti ma, al contrario, offrendo al decisore politico un potenziale, ulteriore elemento di supporto alle decisioni da valutare ed eventualmente introdurre nella nuova norma.

Vogliamo sottolineare che tale perimetrazione viene sostanzialmente a prescindere dal concetto di probabilità, o di "area a pericolosità", per avvicinarsi di più all'idea di "scenario d'evento". In questo senso, lo ripetiamo, si distacca dalla "griglia" dettata dal "Decreto 49" per offrire un supporto di tipo sostanzialmente diverso.

Ora, ponendo la questione in estrema sintesi, ci chiediamo se questo approccio offerto dalle APNN , se dovesse poi effettivamente contribuire all'azione del Legislatore regionale, non offra l'occasione per sviluppare un tema parallelo anche per la valutazione delle potenziali conseguenze negative delle alluvioni.

Il tema del danno

Si è già detto come il tema delle "conseguenze negative", alla luce della Direttiva, sia al centro dell'azione di governo. La L.R.41/2018 riporta questa locuzione, "conseguenze negative" 5 volte, e la parola "rischio" (assai prossima per significato) ben 72!

Noi pensiamo in sostanza che la identificazione delle aree PNN possa essere l'occasione per introdurre ulteriore metodologia che venga a colmare, tra le altre cose, la valutazione del rischio, sulla quale grava la formulazione "alla Varnes", su perimetri, come appunto le APNN, non dettati da valutazioni di probabilità.

La soluzione che pare più adatta, secondo la visione che ha accompagnato tutto il nostro progetto, è l'uso della carte di suscettività al danno.

Ricordiamo preliminarmente che si tratta di una procedura, come nel caso della suscettività da alluvione, fortemente supervisionata e controllabile nei suoi fattori predisponenti. Questo approccio "salta a piè pari" la "faticosa" catena di Varnes (probabilità, vulenerabilità ed esposto), per approdare a un "razionale" basato sui dati osservati e pure, attraverso i fattori predisponenti, su tutti quegli elementi che costituiscono la sostanza del rischio "classico" (densità di edifici, di popolazione esposta, di infrastrutture ed altro ancora).

Questa mappatura, in sostanza, tiene conto (in maniera "quasi deterministica") di tutti i componenti usualmente utilizzati per caratterizzare l'esposto, aggiungendovi la preziosa componente del dato osservato e spazializzandola sul territorio in maniera razionale e supervisionata.

Con questo metodo, tra le altre cose e in maniera analoga alla suscettività da alluvione, viene meno ogni "pericolosa" contaminazione con i metodi del Distretto, confermando la specificità e la prospettiva autonoma della quale si diceva al punto precedente.

Il prodotto del gruppo di lavoro del Politecnico riguarda la mappa di suscettività per i danni diretti ai beni privati. Tale mappatura andrebbe integrata con quella relativa alle attività produttive per la quale sussiste un eccellente insieme di dati.

Su questo tessuto, si innesterebbero ulteriori elementi secondo lo schema già utilizzato nella L.R.41/2018, con la sovrapposizione di specifici esposti quali ospedali, infrastrutture puntuali o lineari, edifici strategici, spazi per la gestione dell'emergenza.

I dati risultanti svolgerebbero, in definitiva e *mutatis mutandis*, la funzione di "carta del rischio" nel contesto delle APNN.

Il sistema dei dati

Il punto di partenza per un modello *data-driven* come il nostro è la costruzione della base di dati, in questo caso dei dati raccolti a seguito della compilazione dei cittadini coinvolti nell'evento della "scheda B" per la dichiarazione dei fabbisogni per il ripristino dai danni subiti durante gli eventi di emergenza nazionale.

Pe quanto riguarda la Toscana, nel periodo 2013/2023 questi eventi sono stati 16, dei quali 14 riconducibili a fenomeni alluvionali e franosi, e due (OCDPC 756 del 2020 e OCDPC 909 del 2022) a neve e siccità, rispettivamente.

Tra le restanti ordinanze si è deciso di non considerare la 255 del 2015, in quanto la Versilia era stata colpita da eventi meteorologici avversi e vento forte, e i relativi allagamenti non sono stati ritenuti utili al fine della modellazione.

Sulla base di questa prima analisi, sono state isolate 16.046 schede provenienti dai 13 eventi associati alle OCDPC delle quali si è detto, per un valore dichiarato complessivo superiore a 321 milioni di euro.

Per elaborare correttamente tali dati in ambiente GIS, gli indirizzi sono stati trasformati in coordinate utilizzando l'API Geocoding, un servizio automatizzato fornito da Google Maps Platform che restituisce, oltre alle coordinate, il corrispondente livello di accuratezza su 4 categorie. La classificazione di accuratezza è servita come base per valutare la precisione delle coordinate trasformate che sono state riviste manualmente dove necessario.

Questo lavoro ha consentito di generare una primissima "mappa dei danni" puntuali sul territorio della regione che, di per sé, costituisce già un elemento utile per inquadrare il problema.

In analogia con altri studi di suscettività, in particolare con quello che riguarda le instabilità di versante condotto dall'autorità di bacino dell'Arno nel 2005, si è deciso di lavorare per ambiti omogenei. In questo contesto si è riscontrato che l'ambito di pianura (identificato sulla base della carta natura di ISPRA), pur coprendo soltanto il 15% del territorio regionale (la media nazionale è di poco inferiore al 30%) ha generato nel decennio circa i tre quarti del danno osservato, tanto per quanto attiene il numero di schede che per il valore complessivo.

Visto il carattere sperimentale del lavoro, si è dunque optato per limitare l'analisi a questo ambito senz'altro prioritario rinviando la parte restante ad una fase successiva.

Il dataset disponibile per l'addestramento del modello consiste dunque di 11234 schede di danno. A questi dati sono state aggiunte 6746 schede "con un danno nullo " generate artificialmente, e posizionate nelle aree che, sulla base dell'uso del suolo, sono state considerate *a priori* come superfici "a danno residuale".

I punti così ottenuti sono stati associati in ambiente GIS ai relativi valori di un insieme di 15 fattori predisponenti, afferenti alle tematiche della morfologia, dell'ambiente naturale e dell'ambiente antropico.

Fig. 1

Eventi di riferimento sulla linea del tempo



Fattori predisponenti

Tra i diversi approcci che la letteratura offre per la gestione dei modelli di suscettività, si è optato per un approccio tipo "*machine learning*". È stato dunque necessario identificare una serie di fattori predisponenti, ovvero di caratteristiche del territorio che saranno usate dal modello per apprendere quali zone producano danno e con quale intensità.

In particolare, i fattori selezionati sono i seguenti:

- Fattori ricavati dal dem regionale: quota media, slope, geomorfoni (con l'algoritmo di Jasiewicz & Stepinski ma calcolati qui a piccola scala per identificare le variazioni locali), distanza verticale e orizzontale dal reticolo;

- Altri fattori inerenti l'ambiente naturale: valutazione della suscettività a flash floods, calcolata da Regione Toscana e selezionata per tener conto della componente meterologica, geologia;

- Fattori calcolati sulle sezioni ISTAT: indice di dipendenza (ratio popolazione under 14 e over 65 sulla popolazione 14-65), incidenza popolazione straniera, incidenza popolazione senza titolo di studio, incidenza popolazione con titolo di studio terziario, densità di popolazione e densità degli edifici, uso del suolo tratto dal grigliato ISTAT delle sezioni censuarie tramite l'attributo COD_TIPO_S derivato da fotointerpretazione e sostanzialmente omogeneo su ciascuna sezione;

- Altri fattori dell'ambiente antropico: valore mercato immobiliare (valore medio registrato sulle transazioni di vendita, al m^2) sugli appositi perimetri OMI dell'Agenzia delle Entrate.

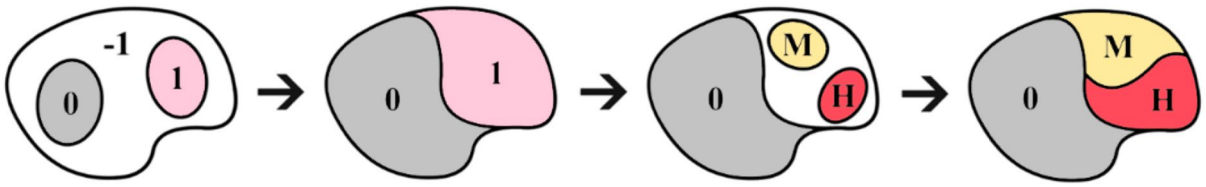
La tabella risultante dall'associazione dei fattori appena esposti con i punti di danno osservati, è stata utilizzata sia per l'addestramento che per la validazione del modello. In particolare, per la validazione sono state selezionate casualmente il 10% delle schede (1.780 punti).

Costruzione del modello

Si è scelto di implementare un modello gerarchico a due livelli, schematizzato in Figura 2.

Fig. 2

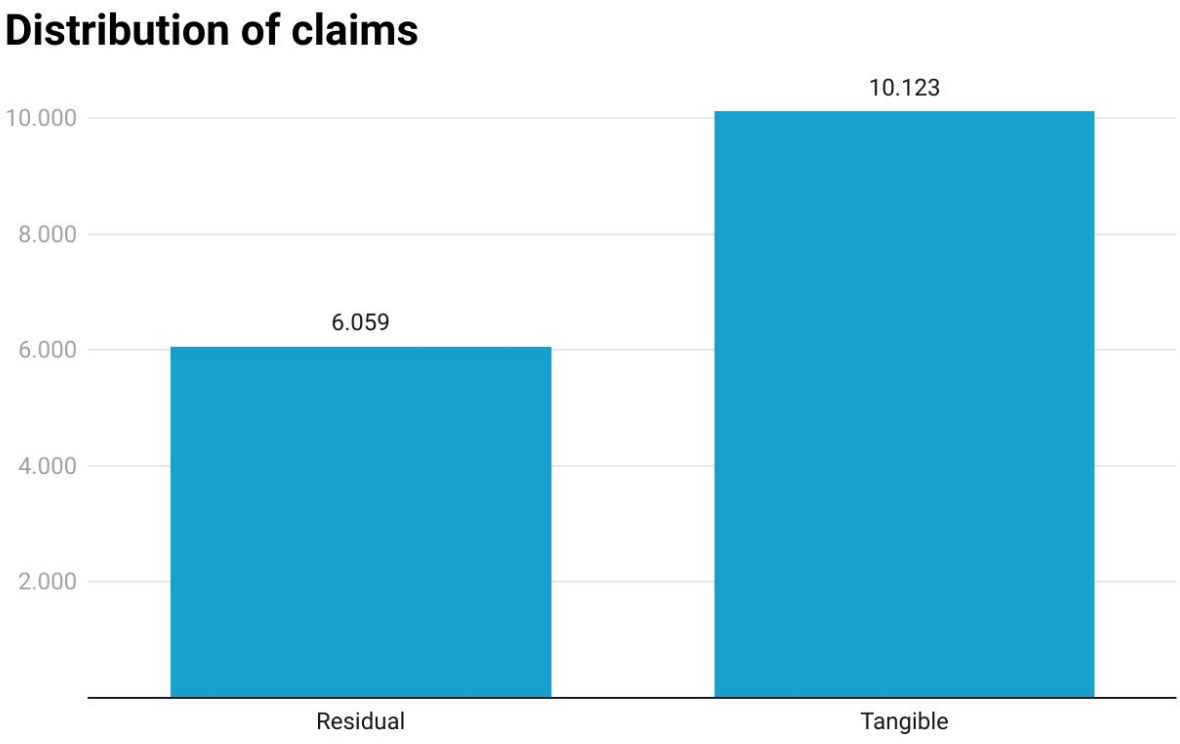
Schema descrittivo del modello gerarchico



Nella costruzione del primo livello, è stato utilizzato un approccio di addestramento altamente supervisionato. Il modello assegna un valore pari a 0 alle aree in cui la probabilità di osservare danni tangibili risulta residuale e il valore 1 alle località suscettibili di generare danno, facilitando il processo di successiva classificazione. La seguente Figura 3 mostra la distribuzione dei punti di danno per l'addestramento del modello tra danni residui e tangibili.

Fig. 3

Distribuzione dei punti di danno per l'addestramento



Sulla base di tale set di addestramento il modello ha spazializzato il dato, generando il valore binario della propensione a generare danno sulle totale della superficie di pianura.

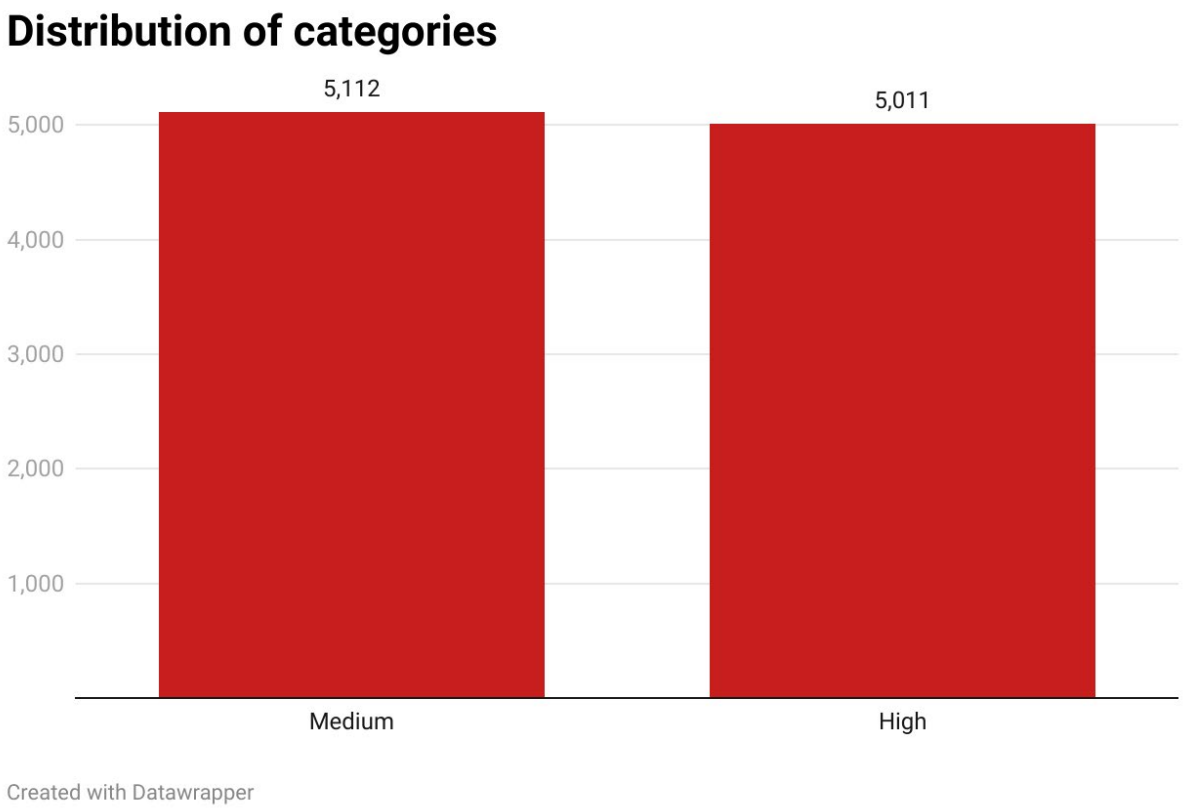
Il successivo livello di applicazione del modello affina tale classificazione distinguendo tra danni medi ("classe M") e alti ("classe H"). Per l'addestramento di questo secondo segmento di analisi, sono stati utilizzati solo dati relativi alle schede nativamente con danno non nullo, al fine di prevenire problemi di classificazione errati derivanti dai dati sintetici.

Le due classi sono state suddivise sulla base del quantile 0,5 che si è rivelato corrispondere a una soglia pari a 9.000 €. Come illustrato nella prossima Figura 4, questo approccio garantisce classi bilanciate, prevenendo distorsioni di tipo numerico sui risultati e migliorando, in generale, le prestazioni del modello.

Se la separazione tra le due classi fosse basata su un valore arbitrario (ad esempio, una soglia di danno fissa), si rischierebbe infatti di creare gruppi sbilanciati, con la conseguenza che il modello tenderebbe a predire la classe maggioritaria.

Fig. 4

Distribuzione delle classi per l'addestramento del secondo livello del modello



Il problema di classificazione dei punti nelle diverse classi è stato analizzato inizialmente con il modulo *classification learner* di Matlab, strumento versatile che permette di confrontare i diversi modelli di machine learning e di compararne i risultati e le performance.

Si è scelto di applicare una tecnica cosiddetta di "*cross fold validation*" per integrare la validazione con ulteriori punti selezionati *ad hoc*, bilanciando quindi la riduzione del campione in addestramento e l'affidabilità del processo di validazione.

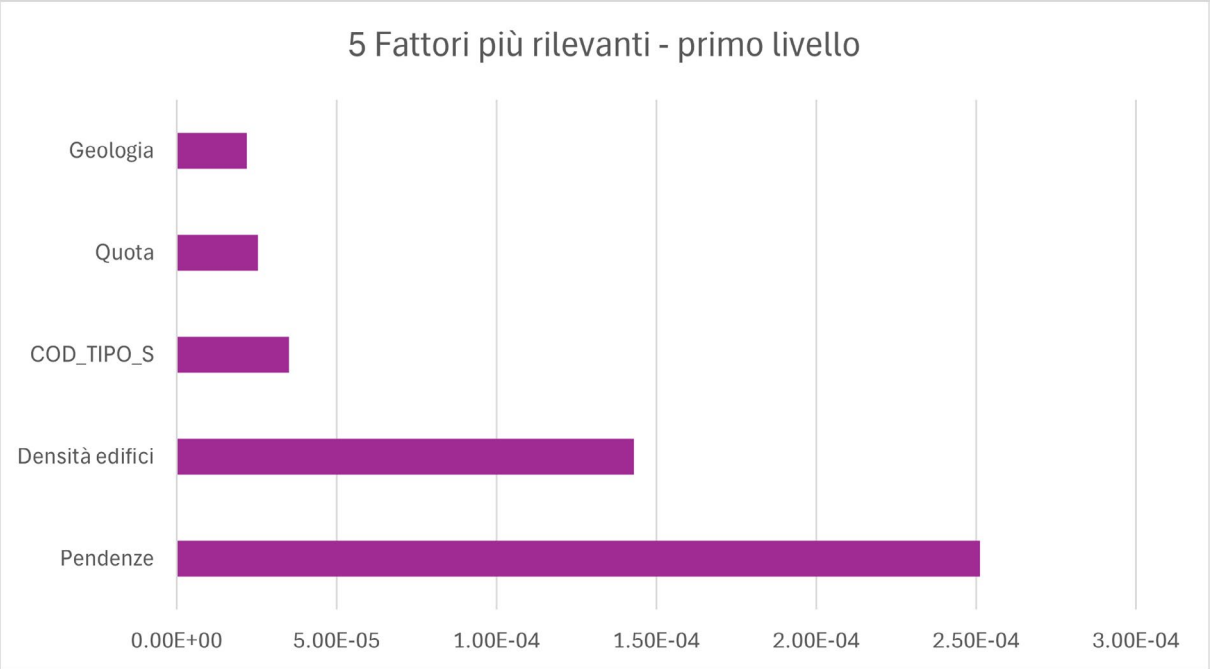
A valle di una prima fase esplorativa, dove si sono testati alcuni algoritmi confrontandone l'accuratezza di validazione e le curve ROC, si è scelto di applicare un classificatore tipo "*random forest*", ed in particolare il tipo *Ensemble of Bagged decision Trees*, per entrambi i livelli del modello gerarchico. Si tratta di un algoritmo che sfrutta la moltitudine di alberi decisionali per ovviare al principale problema del singolo albero, ovvero il faticare a generalizzare le previsioni. La foresta casuale invece, combinando diversi alberi riduce progressivamente l'errore di generalizzazione, fornendo risultati più precisi. Il risultato finale è dato dalla classificazione proposta dalla maggioranza degli alberi.

La classificazione dell'importanza dei fattori predisponenti per il primo livello evidenzia come i fattori più importanti ai fini della classificazione siano quelli inerenti le caratteristiche fisiche e di uso del suolo, in particolare la pendenza, che influenza il deflusso, e la densità edilizia, che influenza l'esposizione e la vulnerabilità nelle aree urbane.

L'altitudine e la geologia perfezionano ulteriormente la classificazione modellando le dinamiche delle alluvioni. Al contrario, i fattori sociali e demografici, come la dipendenza strutturale, la presenza di stranieri e la densità di popolazione, mostrano scarsa importanza, suggerendo che le caratteristiche strutturali e ambientali siano i driver essenziali a questo livello.

Fig. 6

Importanza relativa dei fattori predisponenti nel modello di primo livello

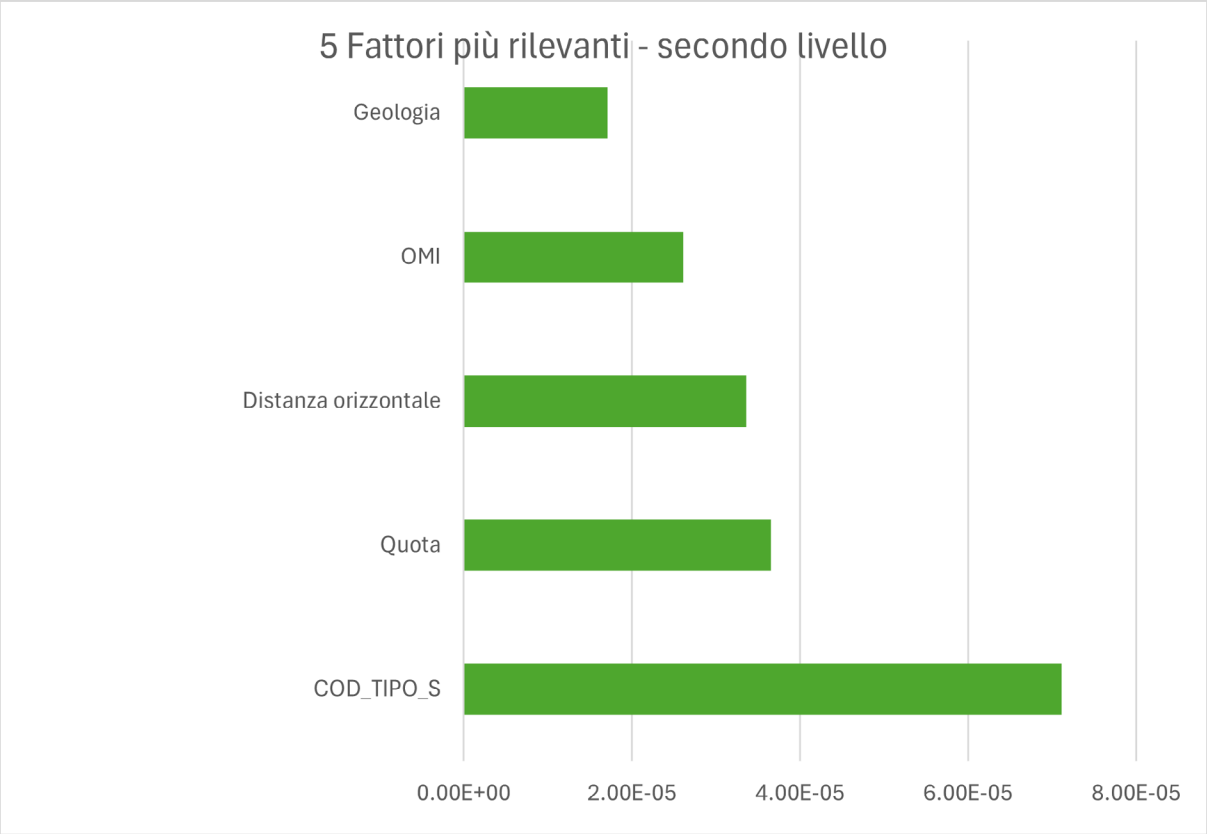


Per il secondo livello i fattori fisici e di uso del suolo svolgono il ruolo più significativo nel distinguere tra danni da alluvione elevati e medi, mentre quelli sociali e demografici sono meno influenti. Il fattore dominante è il parametro di uso del suolo COD_TIPO_S del quale si è detto, che evidenzia l'impatto cruciale del tipo di sezione censuaria sulla gravità dei danni da alluvione. Seguono l'altitudine e la distanza euclidea dal reticolo idrografico, in linea con le aspettative secondo cui le aree a quote più basse e adiacenti all'acqua sono più soggette a gravi inondazioni. La presenza dei valori del mercato immobiliare suggerisce differenze nella qualità degli edifici o nelle misure di resilienza in grado di indirizzare l'impatto dei danni.

I fattori sociali e demografici, come la presenza di stranieri e i livelli di istruzione terziaria, hanno una certa importanza, probabilmente legata alla capacità di compilare le schede. Al contempo, fattori come pendenza, geomorfologia e dipendenza strutturale mostrano un'influenza minima, indicando un ruolo minore nel determinare la gravità dei danni da alluvione in questa configurazione del modello.

Fig. 7

Importanza relativa dei fattori predisponenti nel modello di secondo livello

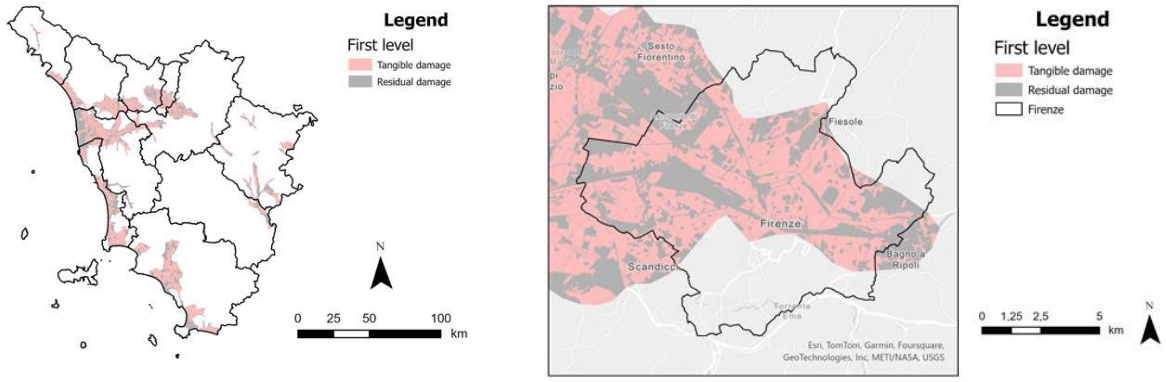


Risultati e discussione

Il modello gerarchico, addestrato come più sopra descritto, ha raggiunto un'accuratezza di validazione del 78,08%. È una performance senz'altro soddisfacente. Sono possibili ulteriori affinamenti che costituiranno gli sviluppi del lavoro attuale.

Fig. 8

Mappa dei risultati del primo livello (a) e relativo dettaglio sull'area del comune di Firenze (b)

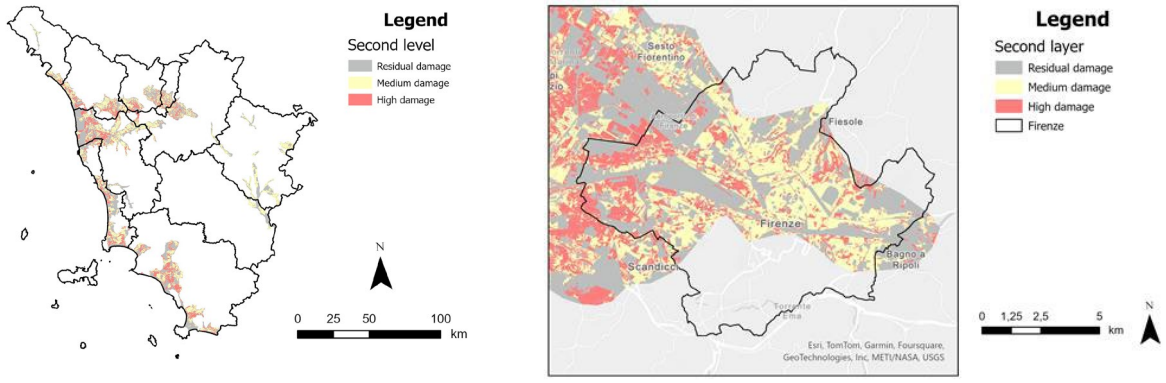


A B

Le due immagini di Figura 8 mostrano i risultati del modello di primo livello per l'intera regione (a sinistra) e il relativo dettaglio per l'area del Comune di Firenze (a destra).

Fig. 9

Mappa dei risultati del secondo livello (a) e relativo dettaglio sull'area del comune di Firenze (b)



A B

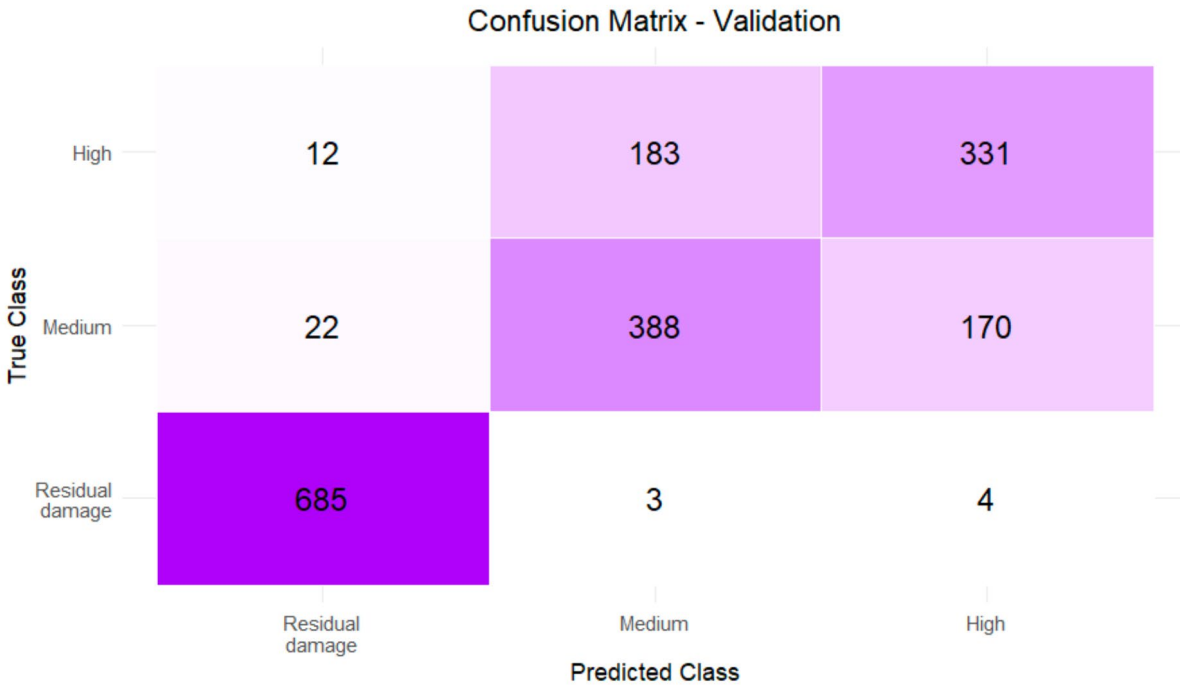
Analogamente in Figura 9 sono riportati i dati relativi al secondo livello di analisi. In questa sede, visto il carattere speditivo del rapporto, ci limitiamo a questa rappresentazione. Sarà nostra cura trasmettere i dati originali nei diversi formati di interesse al momento della consegna definitiva del lavoro.

Verifica di performance del modello

Uno strumento utile per valutare la performance del modello è la cosiddetta "matrice di confusione", qui di seguito riportata.

Fig. 10

Matrice di confusione per la valutazione delle performance del modello



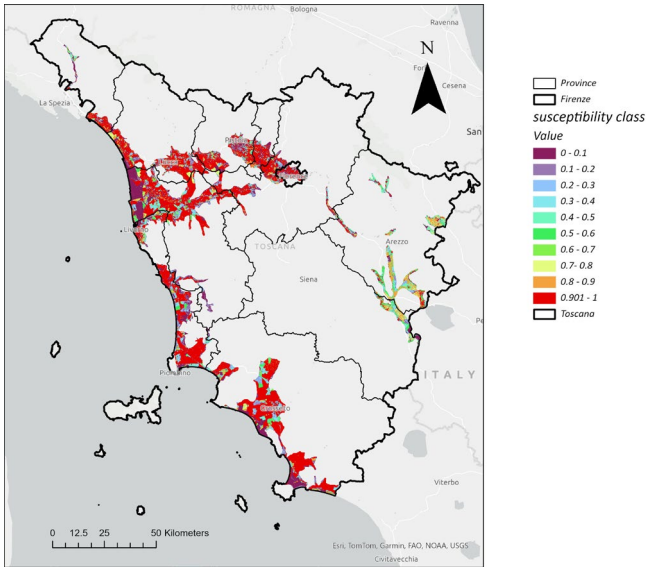
Dai dati riportati in Figura 10, si può evidenziare come il modello identifichi molto bene le aree caratterizzate da danno residuale, classificando correttamente 685 su 692 casi. Tuttavia, le prestazioni nella distinzione tra danno medio e alto si rivelano meno soddisfacenti: ciò è evidentemente dovuto al forte rumore che caratterizza l'informazione puntuale dei danni, e richiede certamente un ulteriore approfondimento.

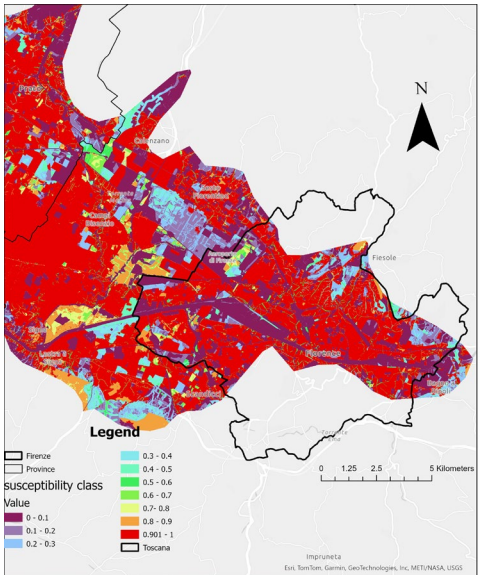
Un ulteriore strumento, basato sulla modellazione del primo livello, è la mappa di suscettività al danno tipica, prescindente cioè dalla valutazione di intensità. Tale mappa può essere costruita utilizzando i punteggi che servono all'algoritmo per effettuare la sua classificazione, e permette di ottenere più classi di suscettività, distinguendo la posizione del singolo punto sullo spettro danno-no danno.

Un esempio di visualizzazione in dieci classi è riportato di seguito. La visualizzazione può naturalmente essere riprodotta con il numero di classi più idoneo alle diverse applicazioni.

Fig. 11

Esempio di analisi per classi di suscettività di danno binario





Suscettibilità e rischio di frana

Prof. Nicola Casagli
Prof.ssa Veronica Tofani, Dott. Pierluigi Confuorto, Dott. Francesco Caleca

Centro per la Protezione Civile, Università degli Studi di Firenze

Introduzione

Le attività descritte in questo capitolo riguardano la redazione dell'inventario dei fenomeni franosi avvenuti il 2 novembre 2023 e la realizzazione di una carta di suscettibilità da frana del territorio regionale.

In particolare, sono state realizzate tre carte di suscettibilità per le seguenti tre tipologie di frane (Cruden and Varnes, 1996; Hungr et al., 2014):

- Frane lente: movimenti graduali con possibile progressiva accelerazione e con velocità da pochi mm/anno ad alcune decine di m/anno, come scivolamenti di terra e roccia, colate di terra, espansioni;

- Frane rapide: movimenti con velocità molto elevata, da pochi m/h a diversi m/s, come colate detritiche, scivolamenti di detrito, valanghe di roccia e di detrito;

- Frane di crollo: movimenti improvvisi di masse rocciose che si staccano da pareti ripide con velocità anche di diverse decine di m/s, come crolli e ribaltamenti.

Tali mappe di suscettibilità sono propedeutiche alla redazione delle carte del rischio da frana relative alle tre tipologie suddette, che saranno finalizzate nella fase successiva del progetto.

Inventario delle frane del 2 novembre 2023

Al fine di redigere un inventario dei fenomeni franosi post-evento sono state acquisite immagini satellitari ottiche multispettrali ad altissima risoluzione, sia pre-evento, con l'obiettivo di impostare uno scenario di base, che post-evento, per verificare le mutate condizioni del territorio a seguito dell'evento di pioggia di novembre 2023. Le immagini ottiche satellitari rappresentano uno strumento fondamentale per la mappatura delle frane innescate da eventi di pioggia intensa, grazie alla loro capacità di coprire vaste aree in tempi rapidi e con elevata risoluzione spaziale. Contestualmente sono stati utilizzati rilievi di campo e database puntuali di segnalazioni di eventi di dissesto idrogeologico, per validare e per completare l'inventario finale.

DATI

Per la mappatura delle frane innescatesi a seguito dell'evento di novembre 2023, sono state acquisite due basi di dati satellitari ottici multispettrali: in dettaglio, 4 immagini Planetscope e 23 immagini GeoEye-1 acquisite rispettivamente il 25 e il 23 novembre 2023. Come dato di base, per avere informazioni sullo scenario del territorio analizzato pre-evento sono state utilizzate le immagini rese disponibili da Google Earth e dalla *basemap* di ESRI, risalenti al periodo di maggio-giugno 2023 e marzo 2023, rispettivamente. In Tabella 1 sono mostrate le caratteristiche principali delle basi di dati utilizzate.

Tabella 1: Caratteristiche principali delle immagini ottiche satellitari utilizzate per la mappatura delle frane

Nome immagine	Data acquisizione	Numero immagini	Risoluzione al suolo
Planetscope	25/11/2023	4	3m
GeoEye-1	23/11/2023	23	0,4 m

METODOLOGIA

L'approccio adottato per l'individuazione e la mappatura delle frane innescate dall'evento del 2 novembre 2023 si basa su:

1. l'integrazione di metodi di segmentazione delle immagini;

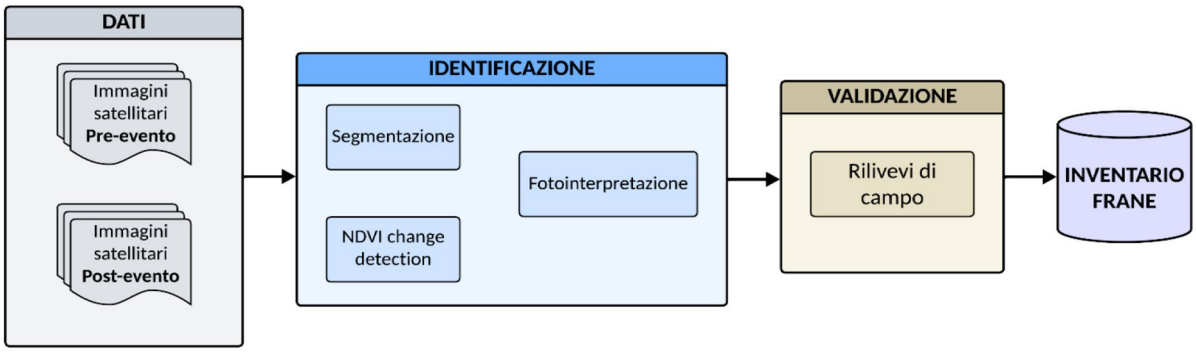
2. l'uso dell'indice di variazione NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*);

3. l'ispezione visiva e l'interpretazione delle immagini precedenti e successive all'evento.

In Figura 1 vi è il flusso di lavoro che sintetizza la procedura appena menzionata. Inoltre, le indagini sul campo sono state completate nei mesi successivi all'evento pluviometrico, con il duplice obiettivo di validare le frane identificate da remoto e con le basi di dati puntuali fornite, e di identificare fenomeni non riconosciuti precedentemente.

Fig. 1

Flusso di lavoro per la redazione dell'inventario delle frane d'evento



La segmentazione delle immagini è un prerequisito essenziale per la classificazione/estrazione delle caratteristiche e per l'ulteriore analisi con i sistemi informativi geografici (GIS) (Tavakkoli Piralilou et al., 2019). Essa consiste nel processo di assegnazione di *pixel* omogenei in segmenti di immagine spettralmente simili, modificando così le caratteristiche dell'immagine in *cluster* più rilevanti, basati su oggetti. Per quanto riguarda l'NDVI, gli indici di vegetazione sono spesso utilizzati come strumento di rilevamento delle aree vegetate e possono fornire informazioni utili nel caso in cui si verifichi un evento distruttivo, come le frane (Mondini et al., 2011; Gomes et al., 2020). Infatti, quando si verifica una frana, la vegetazione sul pendio viene rimossa o parzialmente distrutta, portando a una diminuzione del valore NDVI.

L'identificazione delle frane è stata finalizzata all'interpretazione geomorfologica in ambiente GIS, utilizzando le immagini ottiche ad alta risoluzione pre e post evento, assistite da un DEM (*Digital Elevation Model*) di 10 m per avere una rappresentazione 3D del territorio.

BANCHE DATI DELLE SEGNALAZIONI

Oltre al dato satellitare, per la mappatura finale sono stati utilizzati diversi archivi delle frane avvenute in seguito ad eventi estremi, incluso quello del novembre 2023, resi disponibili dalla Regione Toscana, quali:

1. **IFFI** (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia);

2. **DODS** (Documento Operativo per la Difesa del Suolo);

3. **PORTALE SOPRALLUOGHI** (non pubblicato);

4. **PROTEZIONE CIVILE: SOUP RT** (Sistema della Sala Operativa Unificata di Protezione Civile della Regione Toscana);

5. **DIFESA DEL SUOLO** (non pubblicato).

Tali dati sono stati quindi analizzati e omogeneizzati, filtrando le informazioni e le segnalazioni effettivamente riferite agli eventi meteorologici di novembre 2023.

RILIEVI DI CAMPO

Dal 1° luglio al 21 ottobre 2024 sono stati condotti dei rilievi di campo volti a validare e verificare lo stato dei luoghi. Il lavoro è consistito nell'acquisizione di punti foto relativi alle segnalazioni ritenute utilizzabili a seguito della prima scrematura e nella successiva mappatura in ambiente GIS. In Figura 2 è riportata la carta con i punti foto acquisiti in campo e con i punti delle segnalazioni di frana ottenuti a seguito dell'omogeneizzazione dei vari database di partenza. Come si evince dall'immagine, tutte le aree della Val di Bisenzio e del Montalbano sono state supervisionate *in situ*. In Figura 3 sono riportate alcune foto acquisite durante i rilievi di campo mostranti alcuni dissesti nella Val di Bisenzio.

INVENTARIO

In totale nell'area analizzata sono state individuate 411 frane, 137 mappate come poligoni e 274 come punti, poiché di dimensioni tali da non poter essere cartografati alla scala di restituzione (1: 10.000) o in quanto derivanti dalla banca dati delle segnalazioni dell'ente regionale (Figura 4).

Per quanto riguarda la tipologia dei fenomeni osservati e catalogati, essi possono essere complessivamente classificati come frane superficiali rapide. Tutte le frane mappate sono riportate in una banca dati in ambiente GIS riportante l'ID (codice identificativo) della frana, comune di appartenenza, corrispondenza eventuale con le segnalazioni, corrispondenza eventuale con foto scattate durante i sopralluoghi e alcune delle caratteristiche geometriche principali, quali perimetro e area.

Fig. 2

Mappa con i punti foto acquisiti in campo e con le segnalazioni di frana relativi all'evento di novembre 2023

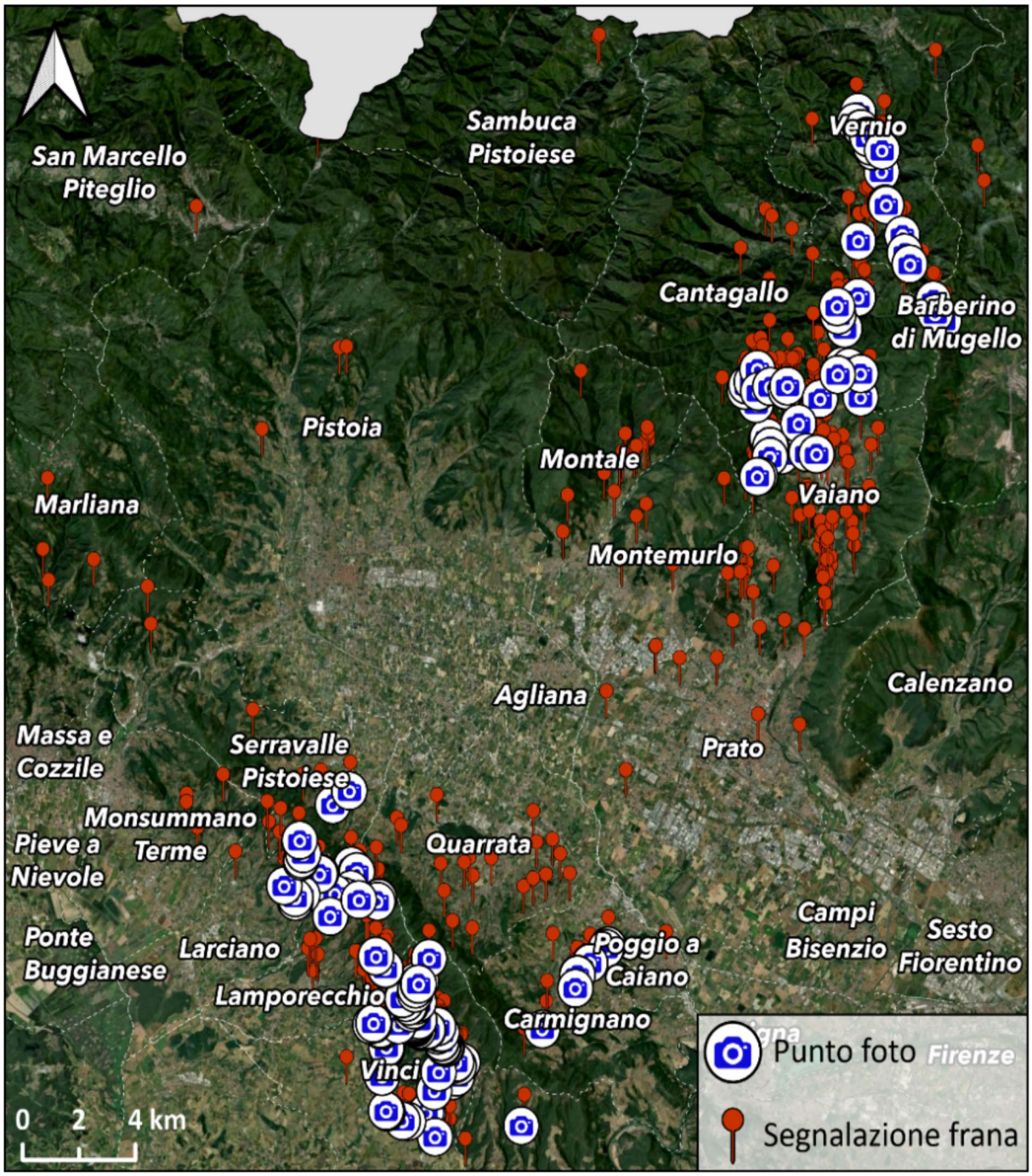


Fig. 3

Foto dei rilievi di campo effettuati nelle aree colpite dall'evento del 2 novembre 2023. A) e B) Frane nell'abitato di Schignano (Vaiano, PO); C) e D) frane nell'area di Migliana (Cantagallo, PO)









I fenomeni franosi poligonali, nel complesso, ricoprono una superficie di 48.265 m^2 con una dimensione media delle frane di 352 m^2.

Dal grafico in Figura 5 si può notare che 83% di frane inventariate ha un'estensione areale inferiore a 500 m^2. Questo dato assume una ulteriore significatività confrontando l'inventario realizzato in questo progetto con le frane identificate come colamenti rapidi nell'ambito del Database Geomorfologico in Toscana. Queste ultime, infatti, coprono un'area totale di 25,7 km^2 con una media di 16.000 m^2 per frana.

Si può pertanto osservare come l'evento pluviometrico del novembre 2023 abbia innescato numerose frane rapide di neoformazione di dimensione estremamente piccola.

Fig. 4

Inventario delle frane d'evento:
A) riquadro relativo alla Val di Bisenzio; B) riquadro relativo al Montalbano

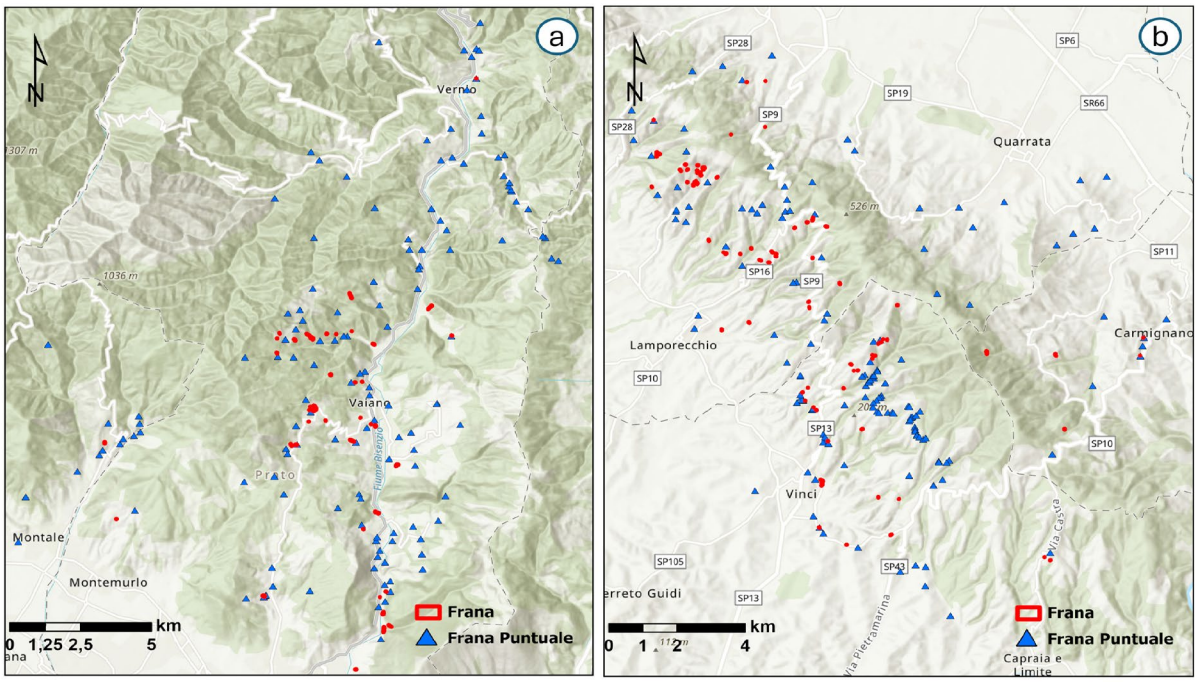
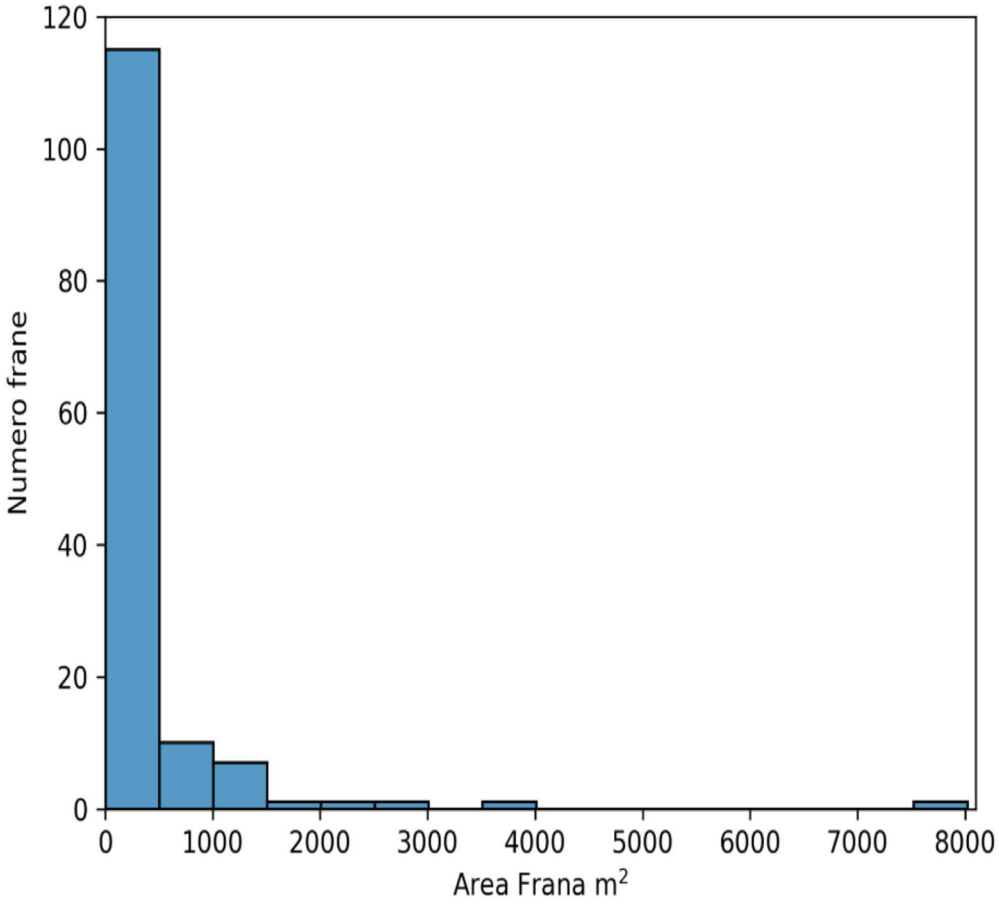


Fig. 5

Distribuzione delle frane secondo l'estensione areale



ANALISI DELL'INVENTARIO

Le frane sono state mappate in 20 comuni, distribuiti tra le province di Firenze, Prato e Pistoia (Figura 6). Dalla mappa si può avere un'ulteriore conferma dell'impatto della perturbazione e dei conseguenti effetti al suolo nelle aree della Val di Bisenzio e del Montalbano. Infatti, i comuni con più frane cartografate sono Vinci, Vaiano, Lamporecchio e Cantagallo, con 117, 65, 56 e 54 frane, rispettivamente (Figura 7A). Per quanto riguarda invece l'estensione areale, i comuni con più superficie in frana sono Vaiano e Cantagallo, con un totale di 18.000 m^2 e 9.700 m^2, rispettivamente (Figura 7B).

Fig. 6

Mappa dei comuni classificati per numero di frana, con sovrapposte le frane poligonali e puntuali mappate

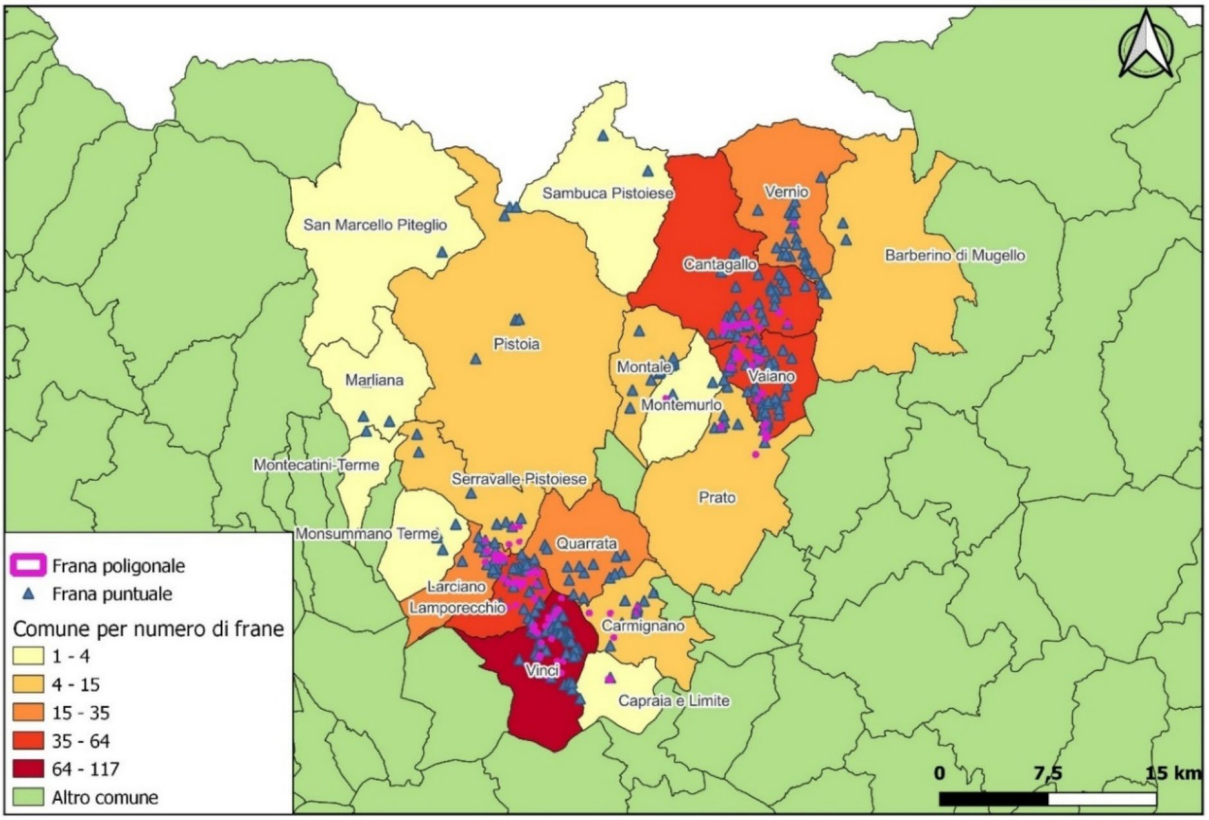
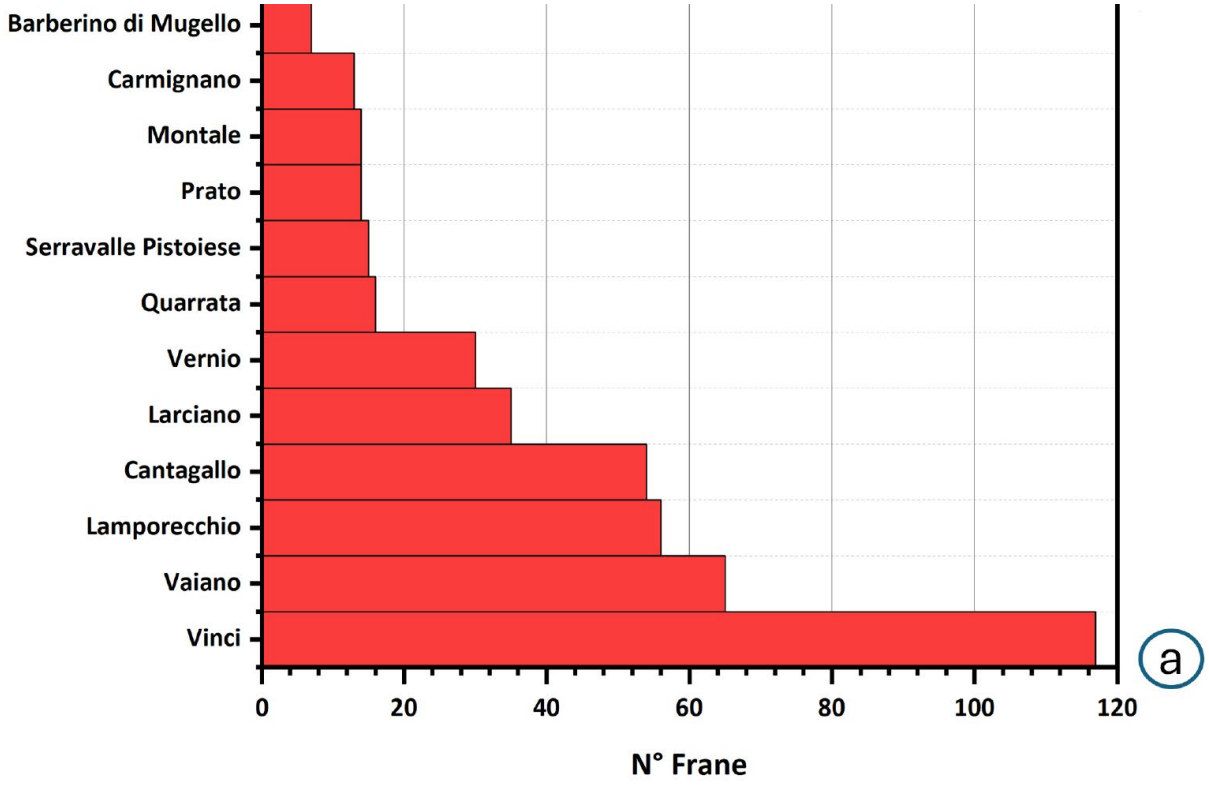
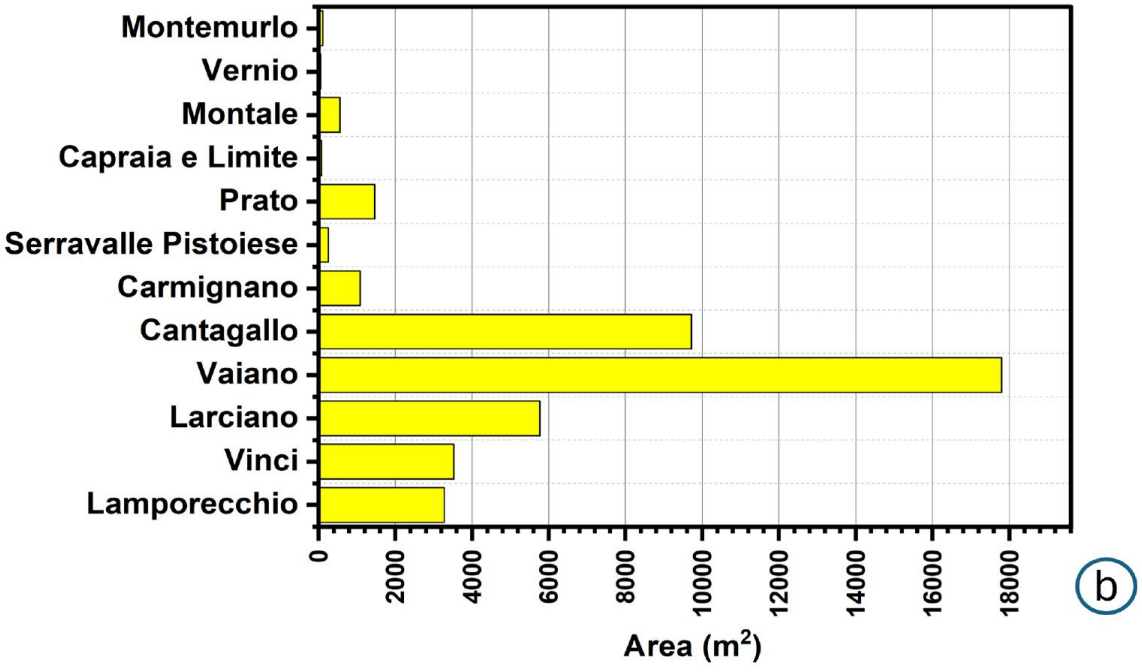


Fig. 7

Distribuzione statistica delle frane a scala comunale nelle aree coinvolte:
A) numero di frane per comune;
B) estensione areale totale per comune





Al fine di valutare l'impatto delle frane di neoformazione con le aree urbane, sono stati effettuati degli incroci tra i poligoni di frana e le strutture e le infrastrutture presenti, i cui livelli informativi sono presenti nel database regionale della Toscana. È stato applicato un *buffer* di 50 m alle frane per meglio valutare i possibili areali di influenza. Dal grafico di Figura 8A si evidenzia come le frane abbiano interessato un totale di 120 edifici, fra cui 61 edifici classificati come "altro" (baracche agricole, capanni, fienili, stalle, magazzini, box auto etc.) e 49 edifici residenziali. Dall'incrocio dei poligoni di frana con la rete della viabilità risulta un totale di 21.600 m di strade impattate, in maggioranza comunali e, in subordine, provinciali (Figura 8B).

Fig. 8a

Numero di edifici coinvolti dalle frane d'evento

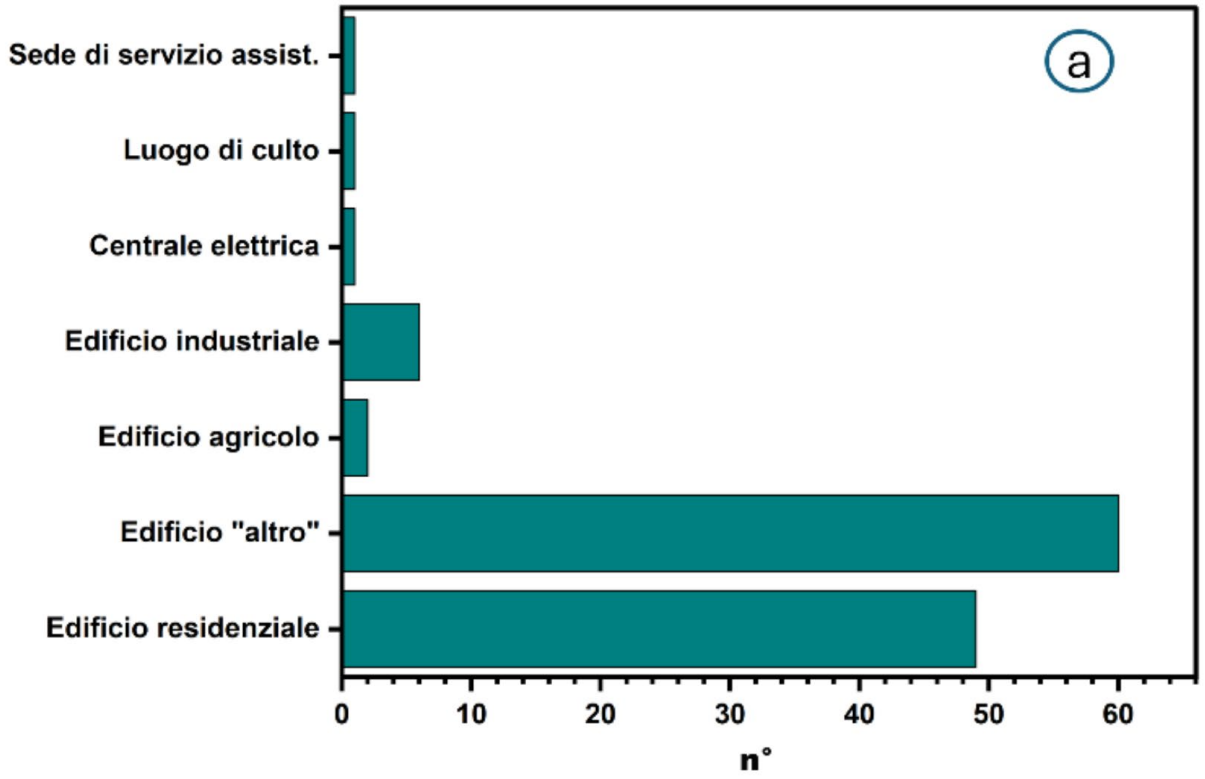
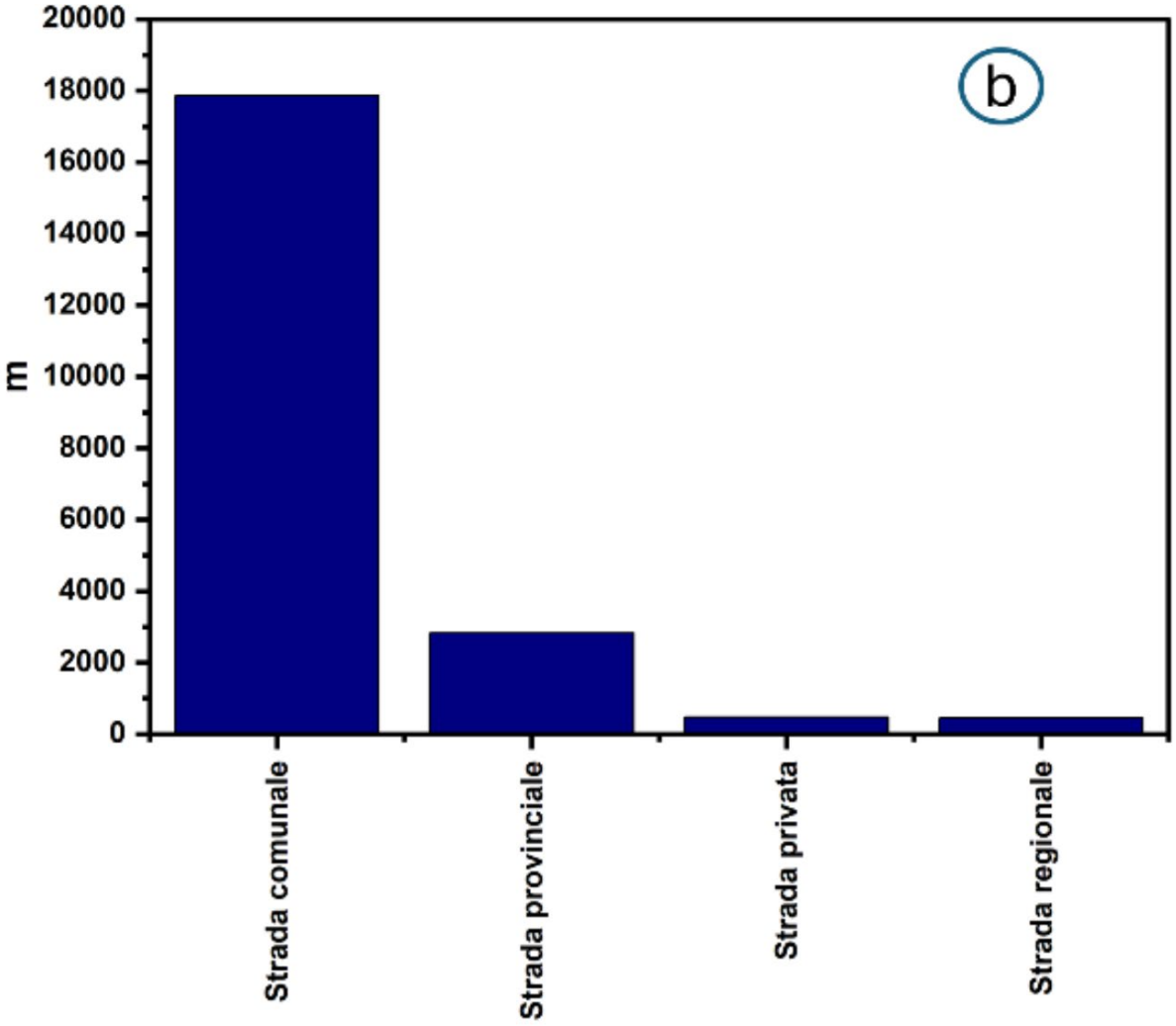


Fig. 8b

Metri di strada coinvolti dalle frane d'evento

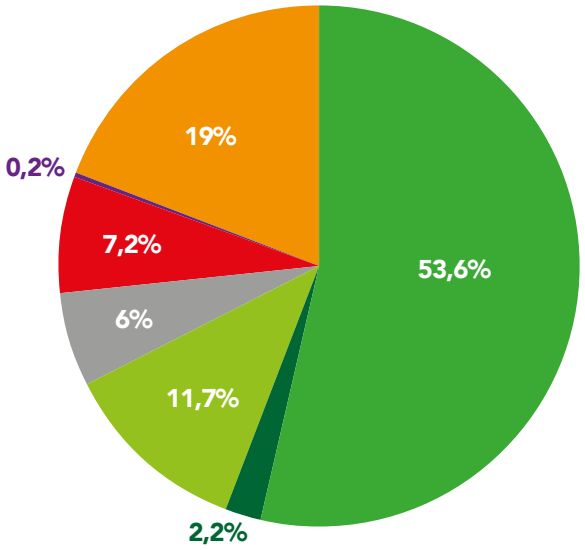


In Figura 9 le nuove frane inventariate sono state confrontate con le aree a pericolosità da frana del PAI (Piano Assetto Idrogeologico) dell'Autorità Distrettuale di Bacino Appennino Settentrionale. Da questo incrocio, si evince che solo il 26,2% interessano aree precedentemente interessate da fenomeni franosi attivi o quiescenti, classificate come a pericolosità elevata (P3a) o molto elevata (P4). La stragrande maggioranza delle nuove frane (73,6%) interessa invece aree stabilizzate (P2a) o con condizioni suscettibità ai dissesti classificate come moderate (P1 o P2b) o addirittura non classificate.

Tali dati confermano come la maggior parte delle frane innescate dall'evento del 2023 siano di neoformazione, cioè formatesi per nuove rotture in versanti non precedentemente interessati da movimenti franosi.

Fig. 9

Distribuzione delle frane all'interno degli areali a pericolosità del PAI vigente



	No intersezione con PAI.	
	P1	Pericolosità moderata: aree stabili con suscettibilità da dissesti di natura geomorfica moderata.
	P2a	Pericolosità media: aree stabili interessate da dissesti di natura geomorfologica che risultano stabilizzate naturalmente o artificialmente.
	P2b	Pericolosità media: aree stabili interessate da suscettibilità di natura geomorfologica media.
	P3a	Pericolosità elevata: aree potenzialmente instabili interessate da dissesti di natura geomorfologica.
	P3b	Pericolosità elevata: aree potenzialmente instabili interessate da siscettibilità da dissesti di natura geomorfologica elevata.
	P3b	Pericolosità molto elevata: aree interessate da dissesti di natura geomorfologica attiva.

Mappatura della suscettibilità da frana

La suscettibilità da frana è definita come la probabilità di occorrenza spaziale di una frana (Brabb, 1984). Storicamente, il termine suscettibilità è stato confuso con pericolosità da frana (Reichenbach et al., 2018; Corominas et al., 2023), tuttavia quest'ultima coinvolge oltre alla probabilità spaziale, anche quella temporale e dimensionale. Pertanto, la suscettibilità da frana rappresenta una sola componente, quella spaziale, della pericolosità da frana (Guzzetti et al., 2005; Corominas et al., 2014; Caleca et al., 2025).

Negli ultimi anni la letteratura scientifica riguardante la modellazione e la mappatura della suscettibilità prevede l'utilizzo di moderne tecniche di apprendimento statistico e automatico (Reichenbach et al., 2018; Merghadi et al., 2020).

In dettaglio, questi metodi analizzano da un punto di vista statistico le relazioni tra una variabile dipendente e un insieme di variabili indipendenti. Quella dipendente rappresenta la presenza o meno di frane passate per ogni unità di mappatura. Le variabili indipendenti costituiscono tutti i fattori predisponenti (ad esempio, geomorfologici, geologici, uso del suolo, etc.) delle frane in esame. In sintesi, questi metodi utilizzano gli inventari dei fenomeni passati per prevedere da un punto di vista statistico le relazioni tra l'occorrenza delle frane passate e i loro fattori predisponenti. Sulla base di ciò, il modello che ha appreso tali relazioni è impiegato per prevedere quali versanti o unità di mappatura possono essere instabili o meno.

Negli ultimi decenni, la comunità scientifica ha concentrato le sue attività nello sviluppo di algoritmi di intelligenza artificiale che appartengono al ramo dell'apprendimento automatico e sono comunemente indicati come approcci di *machine* e *deep learning*. Tale direzione è principalmente legata all'elevata accuratezza delle previsioni di questi modelli.

La mappatura della suscettibilità da frana della Regione Toscana è stata realizzata adottando un modello di *machine learning* che associa elevate prestazioni previsionali a una chiara interpretabilità. Nello specifico, la mappatura è stata realizzata separatamente per tre tipologie di fenomeni: frane lente, frane rapide e frane di crollo. Questa differenziazione è stata ottenuta implementando tre diversi modelli e tre diverse selezioni degli insiemi dei fattori predisponenti ed innescanti.

UNITÀ DI MAPPATURA

Il territorio della Regione Toscana è stato suddiviso in unità di versante. Esse possono rappresentare versanti singoli o gruppi di questi con caratteristiche omogenee. Le unità di versante sono state ottenute impiegando lo strumento *r.slopeunits* (Alvioli et al., 2016) nell'ambiente *GRASS GIS*, che le genera utilizzando come unico dato di ingresso un modello digitale del terreno. Tramite questo dato, lo strumento delinea le unità di versante attraverso criteri idrologici e sulla base dell'esposizione del versante. In queste attività è stato impiegato come dato di ingresso un modello digitale del terreno con risoluzione spaziale a 10 m (Tarquini et al., 2023).

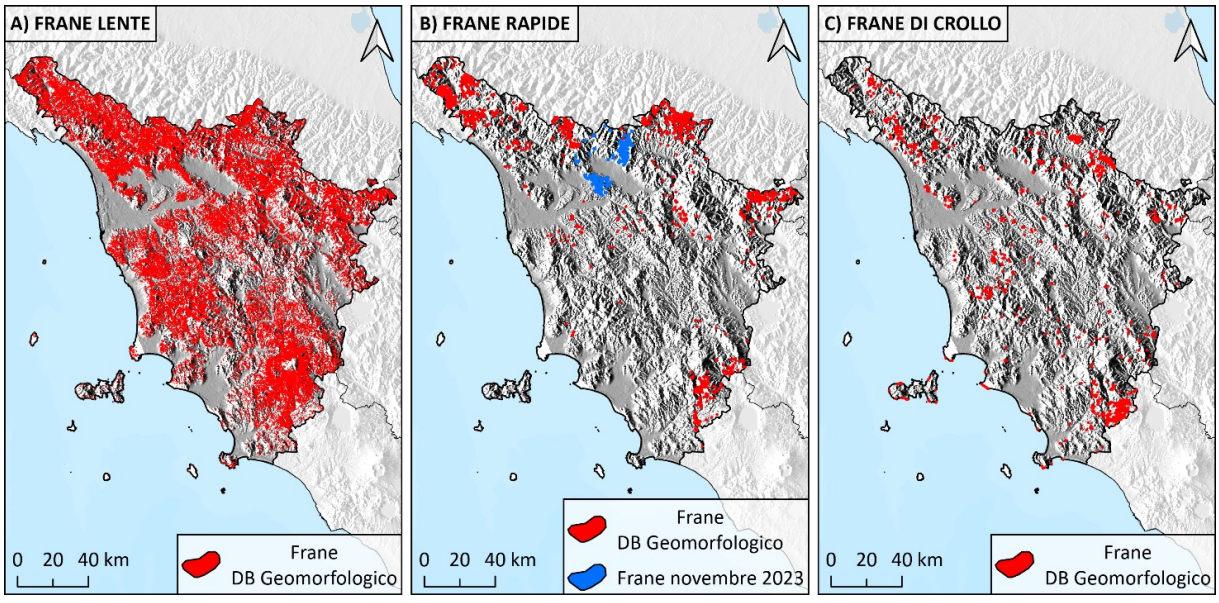
La Regione Toscana è stata quindi suddivisa in 37.756 unità di versante caratterizzate da una superficie media di circa 0,48 km^2.

VARIABILI DIPENDENTI E INDIPENDENTI

Nel contesto della mappatura della suscettibilità da frana, la variabile dipendente è espressa per ogni unità di mappatura tramite una struttura binaria (presenza o assenza di frane passate). Tale informazione è stata acquisita, per tutte e tre le tipologie di frane, dal Database Geomorfologico (strato informativo Frane IFFI-FI) della Regione Toscana. Per quanto riguarda le frane lente, la distribuzione spaziale è stata ricavata dai poligoni di frana corrispondenti alle seguenti tipologie di movimento: indeterminato, scivolamento rotazionale e traslativo, colamento lento e complesso. La selezione di queste tipologie ha evidenziato 91.379 poligoni di frana (Figura 10A), i quali occupano 18.300 unità di versante, ovvero circa il 49% delle unità in cui è stato diviso il territorio regionale.

Fig. 10

Distribuzione spaziale delle tre tipologie di frane per la Regione Toscana.
A) inventario delle frane lente;
B) inventario delle frane rapide;
C) inventario delle frane di crollo



Nel caso delle frane rapide, l'informazione derivante dal Database Geomorfologico, che sottorappresenta largamente la frequenza di questo tipo di fenomeni, è stata arricchita con l'inventario delle frane di novembre 2023. Nello specifico dal Database regionale sono stati selezionati i poligoni di frana appartenenti alla categoria dei colamenti rapidi. Tale procedura ha portato alla selezione di 1.600 frane le quali, sommate all'inventario del novembre 2023, ha condotto a un totale di 1.737 poligoni di frana e 274 punti in frana (Figura 10B). Nello specifico, la distribuzione spaziale di questi dati ha evidenziato che 1.002 unità di versante, circa il 3% del totale, è stato interessata da questa tipologia. Tale dato conferma come le frane rapide siano scarsamente rappresentate nelle banche dati ufficiali della Regione, in quanto di piccole dimensioni e facilmente obliterate in tempi molto brevi dopo gli eventi. In assenza di una mappatura sistematica e immediata post-evento, tali frane sono destinate a essere notevolmente sottorappresentate negli inventari ufficiali.

Per le frane di crollo dal Database Geomorfologico sono stati selezionati quei poligoni di frana appartenenti alla categoria crollo/ribaltamento. Attraverso questo criterio sono stati selezionati 1.347 poligoni di frana (Figura 10C), i quali interessano 891 unità di versante, circa il 2,4% del totale. Anche in questo caso si applicano le considerazioni sopra espresse per le frane rapide, confermando una marcata sottorappresentazione della reale distribuzione dei crolli e dei ribaltamenti negli inventari ufficiali.

Al fine di realizzare una mappatura della suscettibilità differenziata, sono state selezionate variabili indipendenti, ovvero fattori predisponenti, diverse per ogni tipologia di frana (Tabella 1).

Per le frane lente, sono state selezionate 17 variabili indipendenti, così come per le frane rapide. Per quelle di crollo ne sono state scelte 8.

I parametri geomorfologici sono stati derivati dallo stesso modello digitale del terreno con cui sono state definite le unità di versante, quindi con risoluzione di 10 m.

I parametri che esprimono le caratteristiche pedologiche del territorio sono stati estratti dal Database Pedologico della Regione. La componente litologica è stata espressa mediante la Banca dati Litotecnica regionale. Infine, sono state inserite variabili riferite all'assetto idrogeologico e alla relazione tra suolo e precipitazione: il *Curve Number* (USDA-SCS, 1986) ed il *Normalized Difference Moisture Index* (NDMI). Il *Curve Number* è un parametro empirico adimensionale che stima il deflusso superficiale, dove valori alti indicano suoli impermeabili, mentre valori bassi suoli estremamente permeabili. Il NDMI descrive il livello di stress idrico nelle colture ed è un ottimo indicatore dell'umidità dei suoli.

Ciascuna variabile è stata determinata per ogni unità di versante. Nel caso delle variabili continue ciò è stato effettuato calcolando il valore medio e la deviazione standard. Tutte le variabili selezionate per ogni tipologia di frana sono riportate in Tabella 2.

Tabella 2: Lista delle variabili indipendenti impiegate per ogni tipologia di frana

Tipologia frana	Variabile	Attributo
Frane lente	Pendenza	Media e deviazione standard
	Curvatura generale, curvatura di profilo, curvatura planare	Media
	Eastness e northness	Media
	Topographic Wetness Index (TWI)	Media
	Area drenante a monte	Media
	Contenuto di sabbia	Media
	Contenuto di argilla	Media
	Contenuto di limo	Media
	Contenuto di sostanza organica	Media
	Conducibilità idraulica intero suolo	Media
	Classi litotecniche	Classe con la maggior distribuzione areale (classe dominante)
	Curve Number	Classe con la maggior distribuzione areale (classe dominante)
	Normalized Difference Moisture Index (NDMI)	Media
Frane rapide	Pendenza	Media e deviazione standard
	Curvatura generale, curvatura di profilo, curvatura planare	Media
	Eastness e northness	Media
	Topographic Wetness Index (TWI)	Media
	Area drenante a monte	Media
	Inclinazione media dell'area drenante a monte	Media
	Contenuto di sabbia	Media
	Contenuto di argilla	Media
	Contenuto di limo	Media
	Contenuto di sostanza organica	Media
	Conducibilità idraulica intero suolo	Media
	Classi di drenaggio interno	Classe con la maggior distribuzione areale (classe dominante)
	Classi litotecniche	Classe con la maggior distribuzione areale (classe dominante)
Frane di crollo	Pendenza	Media e deviazione standard
	Curvatura generale, curvatura di profilo, curvatura planare	Media
	Eastness e northness	Media
	Classi litotecniche	Percentuale di area occupata da ogni classe all'interno dell'unità di versante. Ogni percentuale rappresenta una variabile

MODELLO - EXPLAINABLE BOOSTING MACHINES

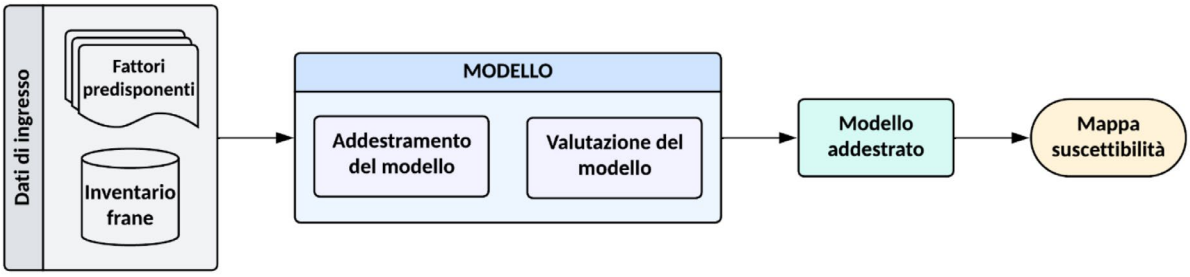
I modelli di apprendimento automatico utilizzati per la mappatura della suscettibilità appartengono agli *Explainable Boosting Machines* (EBMs) (Nori et al., 2019). Gli EBMs sono una recente generazione dei modelli statistici denominati *Generalized Additive Models* (GAMs) (Hastie and Tibshirani, 1987) e rientrano nella categoria dei modelli di *machine learning* trasparenti (*glass-box*), poiché oltre che a elevate abilità predittive associano la possibilità di poter comprendere e analizzare in modo diretto il contributo di ogni singola variabile indipendente sul risultato finale.

Tali caratteristiche rendono gli EBMs particolarmente adatti per la mappatura della suscettibilità da frana (Maxwell et al., 2021; Caleca et al., 2024). In Figura 11 è riportato il flusso di lavoro che è stato adottato. In particolare, ogni modello EBM è stato addestrato sui dati di ingresso per riconoscere le condizioni statistiche che hanno favorito l'innesco di una frana in passato. Successivamente, ogni modello è stato valutato tramite metriche statistiche per verificarne l'affidabilità e la capacità di previsione.

Nello specifico, non tutte le frane presenti negli inventari sono state utilizzate per addestrare il rispettivo modello: il 30% di esse è stato riservato alla fase di valutazione, secondo un approccio tipico dei modelli di *machine learning*, che prevede una suddivisione dei dati in due insiemi distinti, uno per l'addestramento e uno per la valutazione. Infine, il modello addestrato è stato impiegato per generare mappe di suscettibilità.

Fig. 11

Flusso di lavoro per la modellazione e mappatura della suscettibilità da frana



RISULTATI

Mappe di suscettibilità

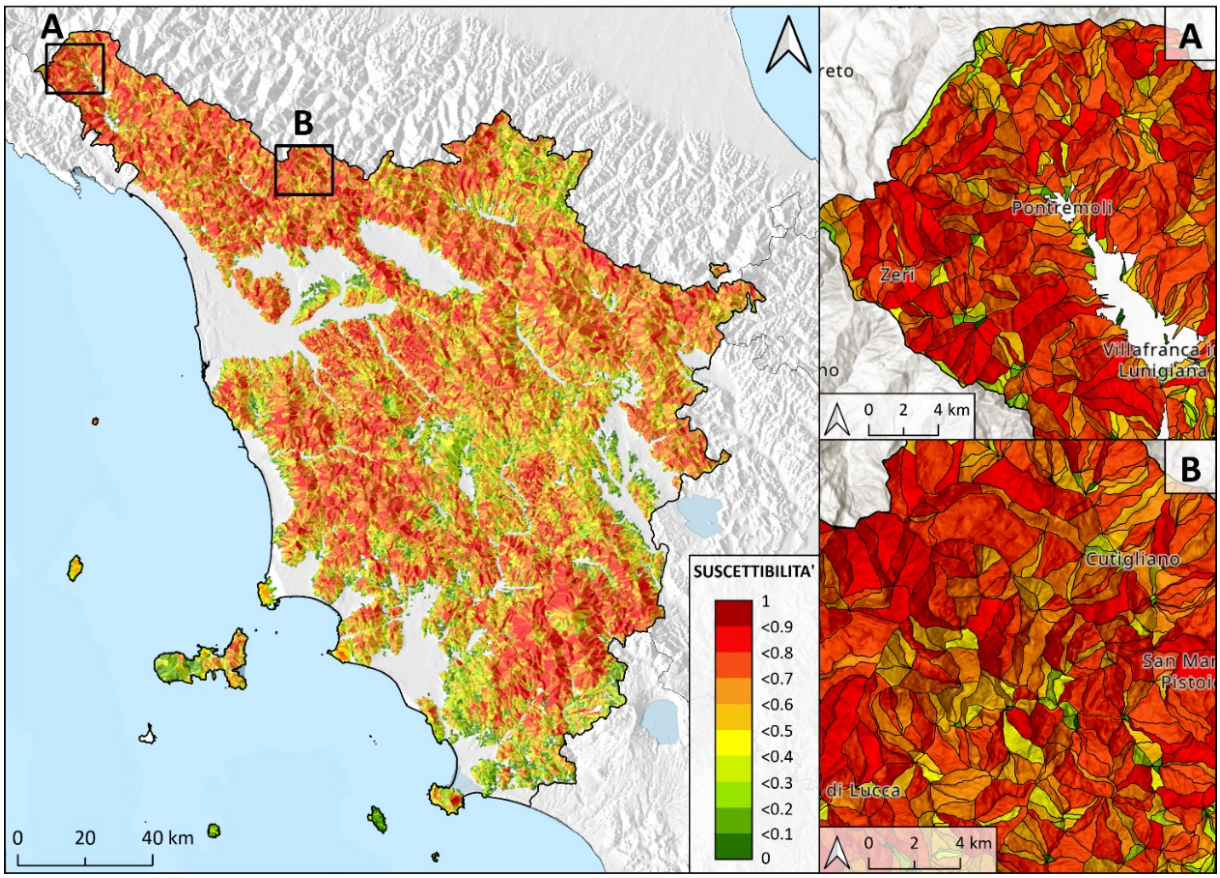
In Figura 12 è riportata la mappa di suscettibilità delle frane lente. L'intero settore Appenninico, in particolare nei rilievi settentrionali (Lunigiana, Garfagnana, Appennino pistoiese e pratese) mostra valori di suscettibilità molto elevati, come mostrato in dettaglio in Figura 12A e Figura 12B, relative a Lunigiana e Appennino pistoiese rispettivamente. Anche il Chianti ed i settori sud-orientali della Regione presentano elevati valori di suscettibilità.

In generale 19.873 unità di versante riportano una suscettibilità maggiore di 0,5, le quali ammontano a circa il 53% delle unità totali e a un'estensione pari a 14.300 km^2. Al contrario, solo l'8% delle unità di mappatura registra valori di suscettibilità inferiori a 0,1.

In Figura 13 è riportata la mappa di suscettibilità delle frane rapide. Le aree che mostrano una suscettibilità più elevata si concentrano nel settore settentrionale della Regione Toscana. Nel dettaglio, la fascia appenninica settentrionale e nord-orientale, che comprende aree come la Lunigiana, la Garfagnana e l'Alto Mugello, presenta estese zone con suscettibilità elevate. In particolare, i valori di suscettibilità più alti si concentrano in corrispondenza degli affioramenti di rocce arenacee. Tali rocce a causa della degradazione meteorica si disgregano in sabbie e detriti a elevata permeabilità, che hanno una risposta immediata a piogge brevi ed intense, favorendo l'innesco di frane superficiali rapide.

Fig. 12

Mappa della suscettibilità da frane lente della Regione Toscana



In Figura 13A è riportato un dettaglio dell'area della Val di Bisenzio comprendente i comuni di Prato, Montemurlo (PO), Montale (PT), e più a nord fino a Vernio (PO). Come descritto nelle sezioni precedenti, queste aree sono state soggette a numerose frane superficiali rapide innescate dall'evento pluviometrico di novembre 2023, a conferma della loro elevata suscettibilità.
In Figura 13B è riportato un dettaglio dell'area lungo un tratto collinare del Montalbano, anch'esso soggetta a numerosi dissesti a seguito dell'evento di novembre 2023. Le zone attorno a Carmignano (PO) e Quarrata (PT) mostrano valori di suscettibilità elevati (suscettibilità maggiore di 0,7).
In linea generale, le unità di mappatura a cui il modello ha assegnato una suscettibilità maggiore di 0,5 ammontano a 9.675, corrispondenti a circa il 26% del totale e a un'estensione areale di 7400 km^2.
La distribuzione spaziale della suscettibilità da frana di crollo è riportata in Figura 14. Le zone che mostrano valori di suscettibilità più alti sono l'Appennino nord-occidentale e le Alpi Apuane. Più in generale è evidente come le frane di crollo siano frequenti nelle zone di affioramento di rocce lapidee.
Anche i settori sud-orientali della provincia di Grosseto presentano un'alta suscettibilità per frane di crollo, in corrispondenza di litologie vulcaniche (rocce piroclastiche) fortemente fratturate e alterate, così come il settore occidentale dell'Isola d'Elba (Figura 14B) dove affiorano rocce magmatiche intrusive (granitoidi).

Fig. 13

Mappa della suscettibilità da frane rapide della Regione Toscana

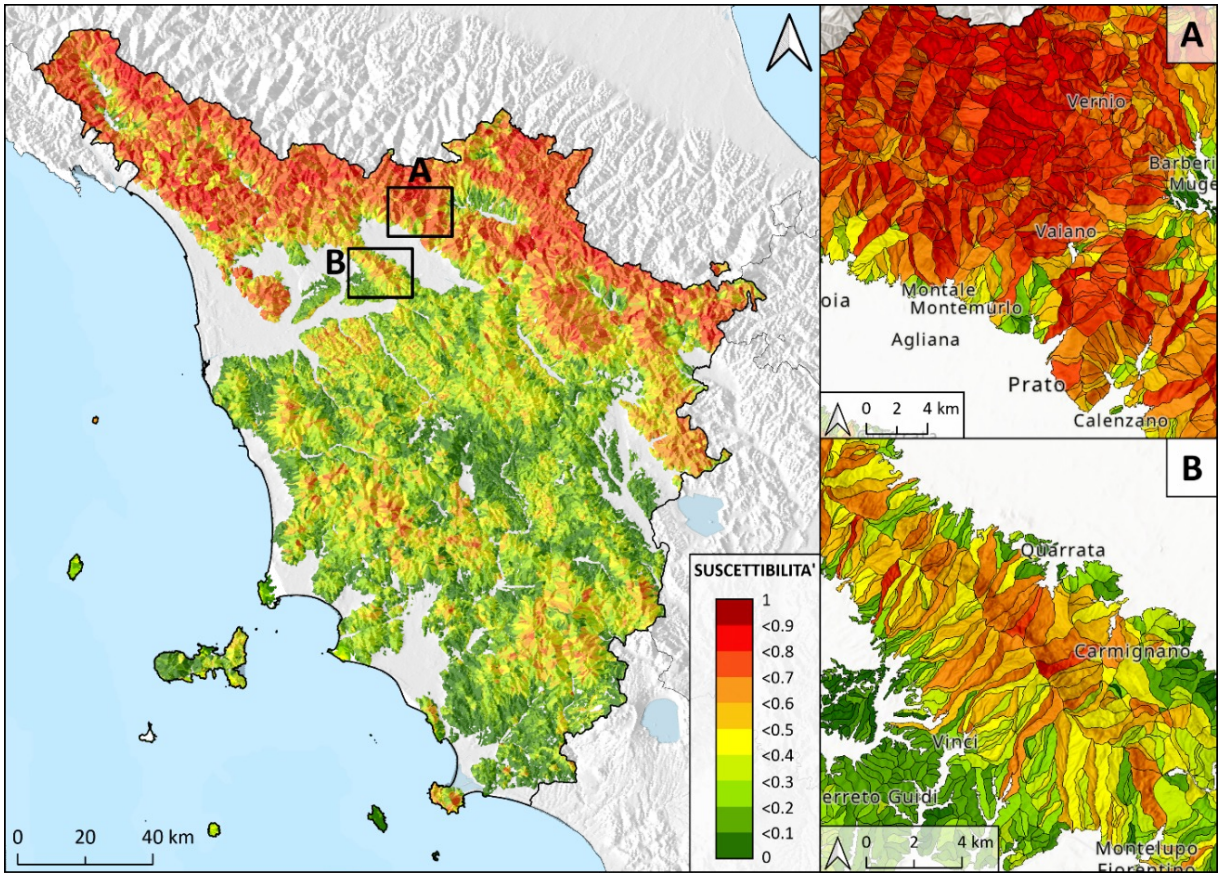
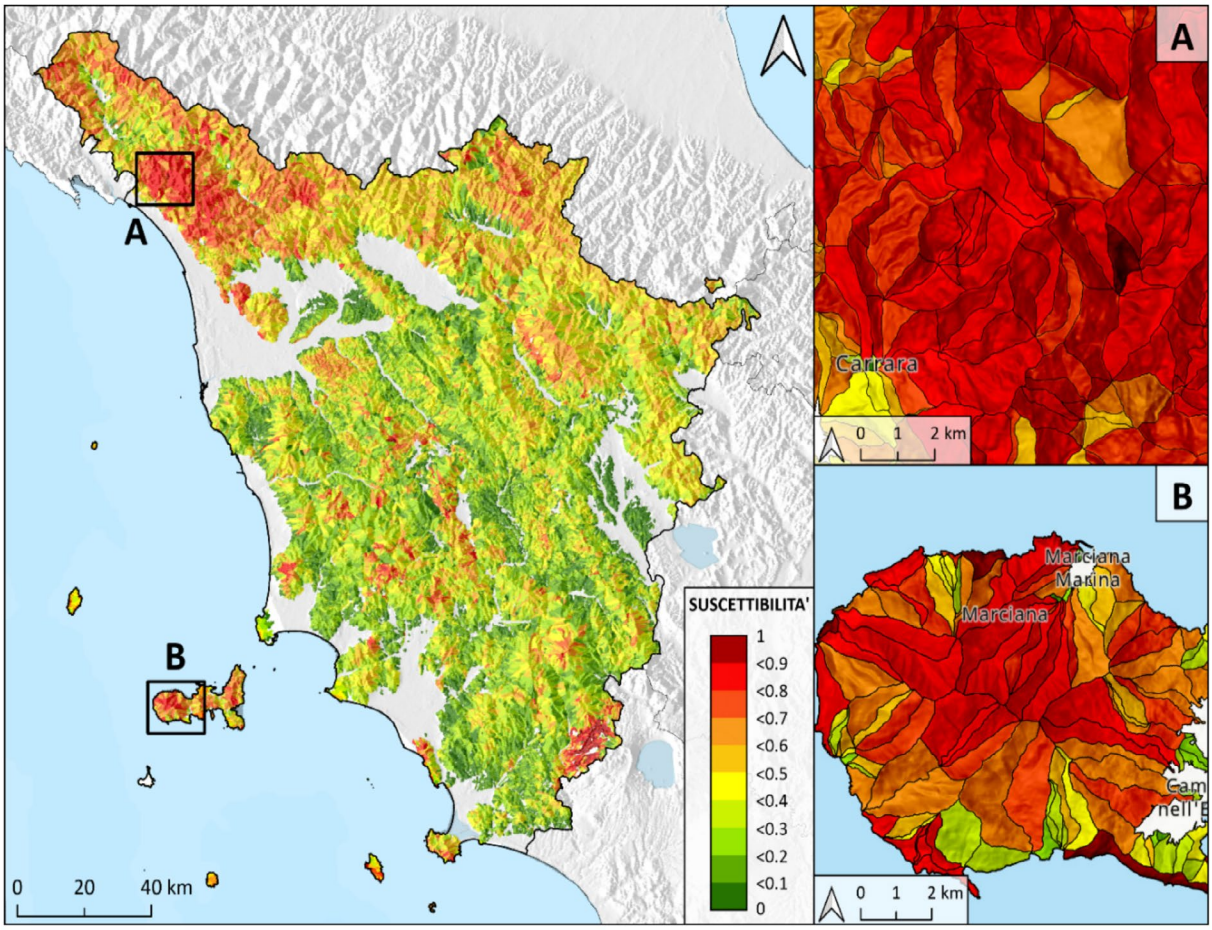


Fig. 14

Mappa della suscettibilità da crolli della Regione Toscana



STATISTICHE A LIVELLO COMUNALE

Le informazioni mostrate in Figura 12, Figura 13 e Figura 14 sono state aggregate a livello comunale nella Figura 15.

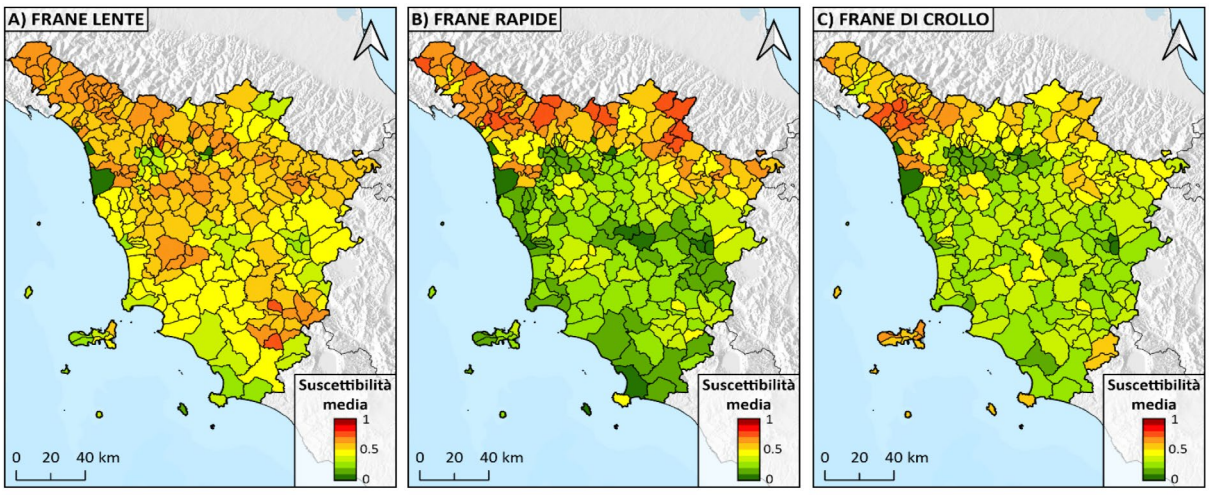
In particolare, la Figura 15A mostra l'aggregazione per le frane lente, che evidenzia una netta prevalenza di comuni con valori medio-alti (suscettibilità medie maggiori di 0,6) nei settori nord-ovest della Regione, in particolare, nelle province di Massa-Carrara, Lucca e parte di Pistoia. Anche alcuni comuni del centro-sud della regione, come l'area del Monte Amiata, presentano livelli di suscettibilità elevati. I comuni che presentano i valori maggiori sono: Montecatini-Terme (PT) con 0,78; Pieve a Nievole (PT) con 0,77; Seggiano (GR) con 0,74; Semproniano (GR) con 0,72 e Certaldo (FI) con 0,70.

La Figura 15B evidenzia l'aggregazione per le frane rapide, dalla quale risulta che i comuni con i valori medi più elevati risultano essere concentrati nella parte settentrionale della Regione, in particolare nelle province di Massa-Carrara, Lucca, e Pistoia, così come parte di Prato e Firenze. I comuni che presentano i valori più alti sono Cantagallo (PO) con 0,75; Dicomano (FI) e Fosciandora (LU) con 0,74; Marradi (FI) e Palazzuolo sul Senio (FI) con 0,73.

La Figura 15C riporta l'aggregazione per le frane di crollo, evidenziando come i comuni con i valori più elevati si trovano nel nord-ovest, in particolare nella zona delle Alpi Apuane e in alcuni comuni della Lunigiana, oltreché nell'Arcipelago Toscano. I comuni con suscettibilità più alta sono: Stazzema (LU) con 0,76; Fabbriche di Vergemoli (LU) con 0,74; Vagli Sotto (LU) con 0,73; Careggine (LU) con 0,71 e Massa con 0,70.

Fig. 15

Aggregazione delle mappe di suscettibilità da frana a livello comunale.
A) frane lente;
B) frane rapide;
C) frane di crollo



Conclusioni

Il lavoro finora svolto nel quadro del progetto Meno Rischio ha permesso di documentare in modo sistematico l'estensione, le caratteristiche e l'impatto delle frane innescate dall'evento pluviometrico del 2 novembre 2023, nonché di realizzare una prima mappatura della suscettibilità da frana su scala regionale per la Toscana, articolata per tipologia di fenomeno.

L'inventario delle frane ha permesso di identificare 411 eventi classificabili con frane superficiali rapide, delle quali l'83% di dimensioni estremamente ridotte (area < 500 m^2). L'analisi ha evidenziato una significativa sottorappresentazione di questi fenomeni nei database ufficiali, colmata grazie all'impiego integrato di dati satellitari ad altissima risoluzione, rilievi di campo e fonti istituzionali. L'area più colpita è risultata la Val di Bisenzio, seguita dal Montalbano, con impatti rilevanti su edifici (120) e infrastrutture stradali (oltre 21 km coinvolti).

La modellazione della suscettibilità è stata realizzata attraverso l'impiego di modelli di *machine learning* trasparenti (*Explainable Boosting Machines*), distinti per ciascuna delle tre principali tipologie di frana: frane lente, frane rapide e frane di crollo. L'intera Regione Toscana è stata suddivisa in 37.756 unità di versante, utilizzate come base per l'analisi statistica. I modelli, calibrati su inventari storici e sull'evento del 2023, hanno restituito mappe di suscettibilità che coprono in modo coerente le aree storicamente esposte, ma che rivelano anche nuove zone a rischio potenziale.

Tra i risultati più rilevanti si segnala che oltre metà del territorio regionale presenta un'elevata suscettibilità alle frane lente, mentre le frane rapide si concentrano in aree con litologie facilmente degradabili (rocce arenacee) e risposta rapida alle precipitazioni intense. Le frane di crollo risultano invece associate ad affioramenti rocciosi fratturati, in particolare nelle Alpi Apuane, nella Lunigiana e nei settori vulcanici e granitici dell'Arcipelago Toscano.

Il lavoro svolto rappresenta un passaggio essenziale verso la costruzione di mappe di rischio complete, che richiederanno nella prossima fase del progetto l'integrazione delle informazioni di suscettibilità con quelle relative all'esposizione e alla vulnerabilità. Tali mappe potranno costituire una base operativa per la pianificazione territoriale e la gestione delle emergenze, in linea con gli obiettivi del progetto e con le esigenze della Protezione Civile regionale.

Bibliografia

- Alvioli, M., Marchesini, I., Reichenbach, P., Rossi, M., Ardizzone, F., Fiorucci, F., et al. (2016). Automatic delineation of geomorphological slope units with r. slopeunits v1. 0 and their optimization for landslide susceptibility modeling. *Geosci. Model Dev.* 9, 3975–3991.

- Brabb, E. E. (1984). Innovative approaches to landslide hazard and risk mapping., in *International Landslide Symposium Proceedings, Toronto, Canada*, 17–22.

- Caleca, F., Confuorto, P., Raspini, F., Segoni, S., Tofani, V., Casagli, N., et al. (2024). Shifting from traditional landslide occurrence modeling to scenario estimation with a "glass-box" machine learning. *Sci. Total Environ.* 950, 175277.

- Caleca, F., Lombardo, L., Steger, S., Tanyas, H., Raspini, F., Dahal, A., et al. (2025). Pan-European landslide risk assessment: From theory to practice. *Rev. Geophys.* 63, e2023RG000825.

- Corominas, J., Guzzetti, F., Lan, H., Macciotta, R., Marunteranu, C., McDougall, S., et al. (2023). Revisiting landslide risk terms: IAEG commission C-37 working group on landslide risk nomenclature. *Bull. Eng. Geol. Environ.* 82, 450.

- Corominas, J., van Westen, C., Frattini, P., Cascini, L., Malet, J.-P., Fotopoulou, S., et al. (2014). Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. *Bull. Eng. Geol. Environ.* 73, 209–263.

- Cruden, D. M., and Varnes, D. J. (1996). *Landslide types and processes In: Turner, KA; Schuster, RL, eds. Landslides-investigation and mitigation. National Research Council Transportation Research Board Special Report 247*. Washington, DC: National Academy Press.

- Gomes, P. I., Aththanayake, U., Deng, W., Li, A., Zhao, W., and Jayathilaka, T. (2020). Ecological fragmentation two years after a major landslide: Correlations between vegetation indices and geo-environmental factors. *Ecol. Eng.* 153, 105914.

- Guzzetti, F., Reichenbach, P., Cardinali, M., Galli, M., and Ardizzone, F. (2005). Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale. *Geomorphology* 72, 272–299. doi: https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.06.002

- Hastie, T., and Tibshirani, R. (1987). Generalized additive models: some applications. *J. Am. Stat. Assoc.* 82, 371–386.

- Hungr, O., Leroueil, S., and Picarelli, L. (2014). The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides* 11, 167–194.

- Maxwell, A. E., Sharma, M., and Donaldson, K. A. (2021). Explainable boosting machines for slope failure spatial predictive modeling. *Remote Sens.* 13, 4991.

- Merghadi, A., Yunus, A. P., Dou, J., Whiteley, J., ThaiPham, B., Bui, D. T., et al. (2020). Machine learning methods for landslide susceptibility studies: A comparative overview of algorithm performance. *Earth-Sci. Rev.* 207, 103225.

- Mondini, A. C., Chang, K.-T., and Yin, H.-Y. (2011). Combining multiple change detection indices for mapping landslides triggered by typhoons. *Geomorphology* 134, 440–451.

- Nori, H., Jenkins, S., Koch, P., and Caruana, R. (2019). Interpretml: A unified framework for machine learning interpretability. *ArXiv Prepr. ArXiv190909223*.

- Reichenbach, P., Rossi, M., Malamud, B. D., Mihir, M., and Guzzetti, F. (2018). A review of statistically-based landslide susceptibility models. *Earth-Sci. Rev.* 180, 60–91.

- Tarquini, S., Isola, I., Favalli, M., Battistini, A., and Dotta, G. T. (2023). a Digital Elevation Model of Italy with a 10 Meters Cell Size (Version 1.1). *Ist. Naz. Geofis. E Vulcanol. INGV Roma Italy* 1, 1–2.

- Tavakkoli Piralilou, S., Shahabi, H., Jarihani, B., Ghorbanzadeh, O., Blaschke, T., Gholamnia, K., et al. (2019). Landslide detection using multi-scale image segmentation and different machine learning models in the higher himalayas. *Remote Sens.* 11, 2575.

- USDA-SCS (1986). *Urban hydrology for small watersheds*. United States Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Engineering Division.

Un nuovo approccio per la manutenzione delle opere

Dott. Arch. Fabio Zappalorti
Dott.ssa Ing. Valentina Chiarello, Dott. For. Enrico Stefanini

ANBI Toscana

Introduzione

Alla luce degli eventi estremi che si stanno verificando negli ultimi anni e che hanno colpito a novembre la Toscana, aumenta la consapevolezza della necessità di ampliare la visione della gestione del rischio di alluvione, superando la convinzione dell'assoluta messa in sicurezza idraulica dei nostri territori e promuovendo la cultura della prevenzione.

La comunità scientifica è concorde sugli effetti dei cambiamenti climatici (CC) sul dissesto idrogeologico: gli eventi meteorologici estremi saranno sempre più frequenti ed intensi.

Per affrontare la sfida dell'adattamento ai cambiamenti climatici per la salvaguardia di vite umane e dei beni esposti del rilevante patrimonio culturale, naturale e socio-economico toscano, è necessario rafforzare il concetto che il "rischio zero" non è mai raggiungibile e non lasciare alla popolazione la sola speranza che l'evento "non più eccezionale", quello meno probabile e meno frequente, non si verifichi nuovamente in tempi brevi sulla nostra regione.

Gli addetti ai lavori sanno bene che un'efficace e sostenibile strategia di mitigazione del rischio prevede interventi integrati di riduzione dei fattori di pericolosità e di vulnerabilità, ma la cittadinanza non ha percezione della differenza tra interventi strutturali e non strutturali né tantomeno consapevolezza del costo economico, ambientale, paesaggistico e sociale che la realizzazione di interventi strutturali possa implicare.

Pertanto, se da un lato dobbiamo prepararci a questi episodi, mettendo in atto misure per la riduzione dei danni conseguenti alle alluvioni, dall'altro occorre conservare e manutenere, ottimizzando l'attività di manutenzione dei corsi d'acqua per rendere l'ecosistema fluviale più resiliente e meno vulnerabile agli eventi alluvionali.

Analisi delle due Direttive Europee

Direttiva 2007/60/CE (cd. 'Direttiva Alluvioni') e la Direttiva 2000/60/CE (cd. 'Direttiva Acque')

Il Piano di gestione del rischio di alluvioni (PGRA), strumento sostanziale per la pianificazione in materia di rischio idraulico, prevede una serie di misure, con particolare riguardo a quelle non strutturali, riconducibili alle azioni indicate anche nel Piano Nazionale di Adattamento al Cambiamento Climatico (PNACC) e finalizzate a:

- migliorare la conoscenza delle criticità geologiche e idrauliche del territorio e dei rischi ad essi associati;
- migliorare il monitoraggio del territorio per la produzione di basi dati aggiornate;
- migliorare la gestione delle emergenze da parte delle amministrazioni a tutti i livelli e aumento della partecipazione della popolazione;
- migliorare la gestione e la manutenzione del territorio;
- migliorare la conoscenza dello stato dei manufatti e delle infrastrutture per aumentarne la resilienza.

In riferimento al vigente PGRA, tra le misure di prevenzione e protezione che concorrono maggiormente all'integrazione tra la 'Direttiva Alluvioni' e la 'Direttiva Acque', rientra a pieno titolo l'attività di manutenzione ordinaria e di riqualificazione del territorio.

Inoltre, in riferimento al vigente Piano di gestione delle acque (PGA), negli indirizzi per la gestione delle aree di contesto fluviale sono da preferire, ovunque possibile, soluzioni win-win, infrastrutture verdi, soluzioni basate sulla natura (NBS natural based solution).

In concreto, le misure win-win promuovono l'adattamento ai cambiamenti climatici, rappresentando interventi integrati e multifunzionali non diretti esclusivamente alla difesa del suolo ma alla tutela e recupero degli ecosistemi e della biodiversità.

In questo contesto, come reale misura di adattamento al cambiamento climatico, avanza il nuovo approccio integrato e multidisciplinare per la manutenzione: dovendo conciliare l'attività di manutenzione con le finalità imposte dalle norme europee, a livello operativo l'attuazione delle direttive comporta di ripensare la manutenzione del territorio alla luce delle mutate condizioni climatiche.

Metodologia operativa

In attuazione della legge regionale 79/2012 e s.m.i. e successivamente all'approvazione della DGRT 1315/2019 *Direttive Regionali per la manutenzione dei corsi d'acqua e per la protezione e conservazione dell'ecosistema toscano*, la comprovata esperienza e conoscenza maturata dai sei Consorzi di Bonifica della Regione Toscana negli ultimi anni rende possibile la definizione di un nuovo approccio per le attività di manutenzione del reticolo idrografico e delle opere idrauliche assegnate in gestione, in relazione ai cambiamenti climatici.

Relativamente ai criteri di esecuzione dell'attività di manutenzione nel complesso ecosistema fluviale, grazie altresì alle specifiche attività di ricerca e competenze del mondo accademico e scientifico, è stata effettuata una valutazione integrata e multidisciplinare degli aspetti idraulici con gli aspetti ecologici, tenendo conto delle mutate condizioni climatiche, volta ad individuare le azioni gestionali più adatte ad ogni contesto di intervento, combinando le diverse esigenze di natura idraulica, ecosistemica e paesaggistica.

È stata condotta un'analisi degli aspetti temporali e operativi dell'attività manutentiva e sono stati individuati 3 macro – temi (opere idrauliche, vegetazione riparia e animali semi-fossori) con rispettive proposte di azioni. Per i 3 macro temi, sono state trattate sia le tecniche di manutenzione sia gli interventi di riqualificazione "integrati" (approccio ecosistemico, misure win-win, NBS, infrastrutture verdi), approfondendo come tali interventi possano mitigare gli effetti dei cambiamenti climatici.

Nel corso delle attività, è emersa la necessità di diversificare le tecniche di manutenzione fluviale dalle tecniche di manutenzione dei versanti, che prevedono interventi più di carattere selvicolturale e la sistemazione ed il consolidamento delle pendici e dei versanti dissestati da fenomeni idrogeologici grazie al mantenimento di quelle opere finalizzate alla corretta regimazione del reticolo idrografico.

Opere idrauliche

Con riferimento alle opere idrauliche classificate in cinque categorie ai sensi del R.D. 523/1904, è sostanziale dividerle in 2 tipologie in funzione della loro finalità:

TIPO A) finalità di mitigazione delle piene e di difesa dalle inondazioni, rappresentate tipicamente da arginature, dighe, casse di espansione, scolmatori e diversivi;

TIPO B) finalità di controllo dei fenomeni erosivi e del trasporto solido, quali tipicamente rivestimenti, difese spondali, soglie, briglie, traverse.

Con riferimento alle attività tipiche dei Consorzi di manutenzione del corso d'acqua e ripristino delle opere esistenti, è indispensabile richiamare la loro finalità di garantire il regolare deflusso delle acque e l'efficienza strutturale e funzionale delle opere:

- netta, trinciatura della vegetazione, taglio selettivo di vegetazione nelle pertinenze idrauliche, taglio di vegetazione in alveo;
- espurgo di fossi e canali di bonifica senza rimozione di materiale d'alveo dalla sezione idraulica;
- movimentazione di sedimenti in alveo trasportato ed accumulato in tratti di alveo senza/con loro rimozione;
- rimozione di rifiuti ed altro materiale in alveo;
- ripristino parziale o totale di opere esistenti;
- realizzazione di nuove opere di quarta e quinta categoria e di bonifica quali: soglie di fondo, traverse, briglie ed opere accessorie, bacini/piazze di deposito, difese e rivestimenti spondali (muri, gabbionate, pennelli, scogliere, ecc..), stabilizzazione e rivestimenti d'alveo.

PROPOSTE DI AZIONI

1. Al fine di garantire l'efficienza delle opere di difesa dalle alluvioni (TIPO A), finalizzate a modificare il regime delle portate di piena dei corsi d'acqua ed a prevenire fenomeni alluvionali per la conseguente riduzione del rischio idraulico, prevedere una frequenza di manutenzione ordinaria senza limitazioni temporali (12 mesi l'anno);

2. al fine di garantire la funzionalità delle opere per la stabilizzazione dell'alveo e delle sponde (TIPO B), prevedere di effettuare gli opportuni controlli di stabilità con una frequenza non limitata in periodi specifici dell'anno, in particolare nei corsi d'acqua in aree urbanizzate che devono considerare anche gli obiettivi di fruibilità delle aree di pertinenza fluviale.

Fig. 1

Rilevati arginali a scarso interesse conservazionistico.
Si sottolinea l'importanza delle praterie per incentivare il ripopolamento di alcune specie di apoidei e insetti



Vegetazione riparia

Il tema dell'interazione tra la vegetazione in alveo e la corrente è tutt'oggi oggetto di ampia ricerca scientifica, tanto più da quando ha assunto importanza il concetto di "manutenzione gentile", dove l'approccio di gestione dell'ambiente ripariale è condiviso e concordato tra difesa del suolo e tutela della biodiversità.

Le attività di manutenzione ordinaria messe in campo dai Consorzi di Bonifica pongono sempre più attenzione all'ecosistema ambientale, alla conservazione, alla valorizzazione e fruizione dello stesso, pur mantenendo elevato il livello di protezione idraulica del territorio.

A questo punto, è ben delineata la necessità di integrare gli aspetti idraulici (variazione della scabrezza e della resistenza al moto ed effetti sulla scala di deflusso, ostruzione degli attraversamenti e delle sezioni a causa di detriti arborei flottanti) con gli aspetti ecologici (*vegetazione acquatica*: favorire la conservazione della biodiversità con creazione di canali sinuosi, sfalcio alternato delle sponde, *vegetazione sulle sponde*: conservare una discreta copertura di arbusti bassi allo scopo di impedire l'attecchimento di specie arboree indesiderate e permettere il consolidamento della sponda, ombreggiamento).

Per eseguire le attività manutentive, i criteri operativi dei Consorzi riflettono gli obiettivi ambientali e paesaggistici e indirizzano la scelta degli interventi di taglio e diradamento selettivo ponendo la massima attenzione alla funzione di corridoio ecologico del corso d'acqua, valutando l'effetto positivo di ombreggiamento alternato lungo le sponde e introducendo fasce tampone lungo i corsi d'acqua. In linea di massima, nei corsi d'acqua toscani si riscontrano tipologie vegetazionali riconducibili a:

- bosco ripariale a prevalenza di Pioppo, Salice, con inserimenti importanti di Robinia;
- bosco ripariale a prevalenza di Pioppo, Ontano e specie sporadiche;
- canneti e vegetazione arbustiva ad alta intensità;
- vegetazione arbustiva a medio-bassa intensità.

Gli interventi di manutenzione sulle piante sono volti a lasciare libero da materiali e vegetazione il letto dei corsi d'acqua per non compromettere il regolare deflusso delle acque e contenere l'eccessiva diffusione di popolamenti monospecifici, garantendo allo stesso tempo i benefici che la presenza della vegetazione porta al corso d'acqua:

- proteggere il piede della sponda evitando il cedimento e l'erosione;

- arricchire di ossigeno le acque (ombreggiamento) ed i sedimenti di fondo (attraverso la rizosfera);

- costituire habitat per un'ampia varietà di vertebrati ed invertebrati e prevenire fioriture algali.

Finalità differente la gestione della vegetazione sulle opere idrauliche, si ricorda che le indicazioni operative riportate nelle Direttive regionali di cui alla DGRT 1315/2019 prevedono che sulle arginature sia presente il solo manto erboso, tagliato con una cadenza almeno annuale e anche con frequenze maggiori, sottolineando che tale azione è essenziale per la verifica dell'integrità del corpo arginale ed è opportuno che l'attività manutentiva sia disposta prima dell'arrivo della stagione autunnale.
Inoltre, l'esperienza operativa dei Consorzi ha rafforzato gli indirizzi per le attività volte a salvaguardare la vegetazione al piede di sponda, confermando che un unico sfalcio annuale, eseguito preferibilmente in autunno per conservare le fioriture delle specie erbacee, è sufficiente a contrastare la crescita della vegetazione arbustiva.
Per la manutenzione della vegetazione arborea ripariale, si cerca di attuare un taglio che permetta di mantenere un popolamento disetaneo cui si possa attuare un governo a ceduo con mantenimento di matricine, ed eseguire dei diradamenti selettivi agendo al massimo sul 25-30% del numero di piante.

Per le attività di gestione dei canneti, si potrebbe regolare la frequenza di taglio in funzione delle esigenze specifiche:

- un taglio annuale per limitare l'accumulo di lettiera ed il rallentamento dei deflussi (preservando alcune aree o adottando precauzioni per la salvaguardia delle specie selvatiche);

- un taglio ogni due anni, quando le condizioni di rischio idraulico lo permettono, per preservare l'habitat: se eseguito da novembre a marzo porta ad avere popolamenti meno densi ma più vigorosi, grazie all'effetto protettivo svolto dagli steli dell'anno precedente nei confronti dei nuovi getti;

- un taglio ogni 3 anni o più, quando, non essendo a rischio l'efficienza idraulica del corso d'acqua, si vuole evitare che la vegetazione arbustiva spontanea prenda il sopravvento su quella erbacea;

- i turni pluriennali permettono di preservare habitat di grande valore naturalistico. Si ricorda che turni superiori ai 5-6 anni comportano una riduzione della vitalità dei popolamenti, che si presentano meno densi e vigorosi, a causa del maggior accumulo di lettiera. Pertanto, per inibire lo sviluppo del canneto, si possono tagliare le piante al di sotto del livello dell'acqua, in quanto la sommersione prolungata delle stoppie priva i rizomi di ossigeno ed inibisce lo sviluppo del popolamento.

Nel caso in cui gli interventi fossero svolti in aree a vocazione tartufigena, sarebbe opportuno applicare le seguenti pratiche:

- nelle tartufaie evitare assolutamente i movimenti terra di qualsiasi genere (livellamenti, scavi, riporti di terra o di altro materiale), al fine di non danneggiare gli apparati radicali delle piante simbionti;

- evitare il transito con mezzi meccanici pesanti che possono compattare eccessivamente il suolo soprattutto con terreno umido, raccomandando l'utilizzo di piccoli mezzi cingolati con cingoli gommati di massa non superiore ai 50 q.li. L'utilizzo di mezzi a ruote è sconsigliato in quanto possono creare affossamenti del terreno e contribuire alla deviazione dei corsi d'acqua;

- a tutela del tartufo che fruttifica negli ambienti di fondovalle aperto e nelle formazioni boschive tartufigene, occorre rilasciare un diaframma incolto di 3-4 metri tra la tartufaia censita e la coltivazione;

- eseguire il trattamento selvicolturale delle formazioni vegetali che ospitano una tartufaia con la finalità di preservare il più possibile le principali piante simbionti autoctone per le diverse specie di tartufo: Populus Alba, Populus Nigra, Populus Canescens (Gattero), Pioppo cipressino, Quercus Robur (farnia), Quercus Petraea (rovere), Quercus Cerris (cerro), Quercus Pubescens (roverella), Quercus Ilex (leccio), Salix alba, Salix viminalis, Salix caprea (salicone), Corylus avellana (nocciolo), Tilia platyphyllos (tiglio), Pinus Pinea, Pinus Nigra e le piante comari di tipo arbustivo: corniolo, sanguinello, evonimo, rosa canina, biancospino, prugnolo, viburno, ginepro;

- prevedere la rimozione della ramaglia e dei residui del taglio dall'alveo del corso d'acqua e dalla zona di taglio (rimozione o riduzione della medesima);

- prediligere le buone pratiche per i diradamenti, evitando l'ingresso con mezzi forestali all'interno dell'alveo, tagliando le piante da rimuovere con motosega e trasportarle esternamente al corso d'acqua con l'ausilio di verricello. Qualora la massa legnosa dovesse essere lasciata in sito, prescrivere il taglio in piccoli pezzi facilmente amovibili ed accatastati in piccoli cumuli;

- valutare l'opportunità di lasciare in alveo le piante non secche che non siano di ostacolo al regolare deflusso dell'acqua, possono essere rimosse le piante pericolanti fortemente inclinate, con apparato radicale scoperto e suscettibili di cadere facilmente;

- in caso di roveti che impediscono il passaggio dei mezzi verso il corso d'acqua, prevedere la sola formazione di tagli per l'accesso e non una trinciatura andante, i roveti costituiscono un ambiente idoneo alla riproduzione del tartufo, in quanto sono in grado di mantenere l'umidità ed il microclima necessario.

PROPOSTE DI AZIONI

1. Individuare i criteri gestionali della vegetazione più adatti ad ogni contesto di intervento, mediante valutazione degli effetti sia di natura idraulica che di natura ecologica;

2. Definire quali interventi sono caratterizzati da una strutturale semplicità esecutiva (a mero titolo esemplificativo sfalcio della vegetazione erbacea eseguita con trinciaerba) di modo che le modalità operative non risultino complicate e di difficile esecuzione;

3. Determinare in un'analisi costi – benefici quali interventi possono essere più o meno convenienti o oggetto di valutazione;

4. Approfondire la necessità di eseguire in manutenzione attività volte a salvaguardare o a contrastare la vegetazione arbustiva al piede di sponda, scegliendo se ricomprendere nell'elenco degli interventi di manutenzione tipiche tipologie di interventi di ingegneria naturalistica come la piantumazione di talee e/o piantine di specie autoctone o eseguire sfalci;

5. Valutare preventivamente le necessità ecosistemiche dei tratti di intervento, supportati da personale qualificato o considerare la possibilità di eseguire i lavori coordinati da figure professionali specifiche;

6. Gli interventi selvicolturali, in particolare il taglio, devono essere sviluppati da maestranze altamente specializzate: per il mantenimento del bosco ripario sarebbe opportuno non utilizzare macchine abbattitrici (a disco, a cesoia, a motosega idraulica, ecc) in quanto, come è noto, queste ultime provocano danni importanti alle ceppaie delle piante abbattute, ai fusti delle piante che devono restare a dote del bosco ripario ed al novellame;

7. Considerare azioni compensative o l'applicazione delle barre di involo per determinati contesti;

8. Poter sviluppare i lavori urgenti sia per sicurezza idraulica che per pubblica incolumità anche nel periodo tra il 1° marzo e il 30 giugno di ogni anno.

FOCUS SUL MATERIALE VEGETALE RESIDUO PRODOTTO DALLE ATTIVITÀ DI SFALCIO

Le attività di sfalcio e decespugliamento meccanico della vegetazione erbacea ed arbustiva, vengono eseguite mediante l'utilizzo di escavatore provvisto di benna falciante o un escavatore o trattore provvisto di trincia. Questo tipo di lavorazioni programmate nei piani delle attività di bonifica annuali (PAB), dette comunemente *sfalci*, producono materiale residuo vegetale di pezzatura variabile, di dimensione medio-piccola.

I Consorzi provvedono alla rimozione del materiale tagliato in presenza di idrovore e a monte di impianti di sollevamento, ma accertata la mancanza di una sistematicità necessaria in concomitanza di allerte meteo e/o in corrispondenza di tratti tombati e/o limitrofi ai centri abitati, si propongono le seguenti modalità in considerazione del rischio che i residui vegetali possano contribuire ad intasare tombamenti o luci di piccoli ponti e attraversamenti.

AREE NON URBANIZZATE: l'allontanamento del materiale in aree di pertinenza demaniale, ovvero l'allontanamento meccanico mediante benna e successivo stendimento dei residui vegetali (almeno 2.5 m dal ciglio di sponda o in una zona ritenuta adeguata, sufficientemente lontana dall'alveo attivo).

Si propone un secondo passaggio per ridurre il più possibile la dimensione dei residui vegetali e facilitare la loro decomposizione e il loro assorbimento nel terreno circostante (spesso di natura agricola o boschiva).

Si incentiva il taglio a sponde alterne con l'allontanamento del residuo vegetale, senza lasciare sulla sponda tagliata la *zona buffer* a contatto con l'acqua, ovvero quella zona che dà riparo all'avifauna e ad altre specie riparie e garantisce l'ombreggiamento in alveo.

Qualora non sia possibile tagliare la *zona buffer* per motivi ecologici nel periodo programmato, è consigliato valutare un secondo intervento per poterla rimuovere, prima dell'avvento delle piogge autunnali, poiché a fine stagione si presenta secca e deperente e per questo motivo viene facilmente divelta e sradicata dai primi eventi piovosi più intensi, accumulandosi sotto le luci di attraversamenti o tombini.

AREE URBANE: la rimozione completa del materiale residuo vegetale, ovvero l'asportazione del materiale al di fuori dell'area di competenza demaniale e l'eventuale trasporto a discarica.

Nei casi in cui l'allontanamento del residuo con mezzi meccanici sia difficilmente attuabile, si raccomanda una seconda trinciatura per ridurre ulteriormente la pezzatura.

Si consiglia di riprogrammare gli interventi qualora le previsioni meteo prevedano eventi piovosi intensi.

Si consiglia di tener conto della vegetazione riparia attuando un controllo sulle specie di pregio presenti e mantenere la sicurezza con una serie di potature evitando, ove non sussista pericolosità idraulica.

L'attività di sfalcio integrata con la rimozione del materiale residuo vegetale, comporta una variazione dei costi di manutenzione, in fase preventiva è stata stimata:

- Attività di sfalcio e trinciatura meccanica 3657,18 €/ha;
- Attività di sfalcio e trinciatura meccanica con asporto 6972,00 €/ha.

L'art. 20 della Legge n. 37/2019, ha sostituito il testo dell'art. 185, comma 1, lettera f) del D. Lgs. N.152/2006 (Testo Unico Ambiente - TUA), disponendo l'esclusione dal campo di applicazione della disciplina sui rifiuti per "*le materie fecali, se non contemplate dal comma 2, lettera b), del presente articolo, la paglia e altro materiale agricolo o forestale naturale non pericoloso quali, a titolo esemplificativo e non esaustivo, gli sfalci e le potature effettuati nell'ambito delle buone pratiche colturali, nonché gli sfalci e le potature derivanti dalla manutenzione del verde pubblico dei comuni, utilizzati in agricoltura, nella silvicoltura o per la produzione di energia da tale biomassa, anche al di fuori del luogo di produzione ovvero con cessione a terzi, mediante processi o metodi che non danneggiano l'ambiente né mettono in pericolo la salute umana*".

Con l'entrata in vigore della L. 37/2019, gli sfalci effettuati nell'ambito delle normali pratiche colturali legate alle attività agricolo-forestali, non sono considerati rifiuti, tanto più se utilizzati in agricoltura, nella silvicoltura o per la produzione di energia da biomassa, anche al di fuori del luogo di produzione.

Considerato che i Consorzi sono equiparabili ad aziende agricole, se si volesse sostenere dal punto di vista normativo questa interpretazione dei residui vegetali prodotti nell'ambito delle attività agricole, non troverebbe applicazione la normativa sui rifiuti e, conseguentemente, la gestione, la raccolta, il trasporto e il riutilizzo dei residui degli sfalci.

FOCUS SULLA FASCIA TAMPONE TRA CAMPI COLTIVATI E CORSO D'ACQUA

In particolare nelle proprietà ricadenti all'interno di aree naturali protette o in zone ad elevato valore conservazionistico, la zona interessata dalle fasce di vegetazione arborea e/o arbustiva, che separano i corpi idrici superficiali dal territorio circostante (minimo 4 metri di buffer), avrebbe la molteplice funzione di consolidamento delle sponde, di riparo per la fauna, di filtro per il materiale vegetale, per le sostanze inquinanti o per i rifiuti che potrebbero finire nel corso d'acqua.

Le fasce tampone devono comunque garantire l'accesso alla sponda del corso d'acqua per realizzare le operazioni di manutenzione.

Fig. 2

Zone agricole prive di fascia tampone



Fig. 2

Zone agricole prive di fascia tampone



FOCUS SULL'OMBREGGIAMENTO

Fermo restando che in alcuni tratti l'ombreggiamento è imprescindibile per il benessere della fauna e flora presenti in ambiente ripario, vi sono alcuni tratti di corsi d'acqua che ai fini della mitigazione del rischio idraulico potrebbero essere gestiti diversamente nell'ottica di una distribuzione spazio temporale più equa delle lavorazioni previste, in contesti fortemente antropizzati o in contesti con bassa importanza conservazionistica o in corsi d'acqua che in estate diventano totalmente asciutti.

SCENARI

- **canali NON ARGINATI che sfociano a mare (caratterizzati da sezioni con pendenza molto bassa), canali A SEZIONE STRETTA** privi di specie di particolare valore conservazionistico (ove vi è impossibilità da parte dei mezzi meccanici di eseguire lavorazioni alternate o lasciare la vegetazione al piede di sponda).

  INDICAZIONE: Durante il periodo estivo, lasciare la presenza della vegetazione (trattasi prevalentemente di canneto) di modo da ombreggiare il corso d'acqua durante i mesi più caldi. All'inizio della stagione autunnale, quando le temperature non saranno più elevate, eseguire lo sfalcio su entrambe le sponde.

Fig. 3

Sfalcio totale eseguito in periodo autunnale quando ormai la vegetazione riparia è secca



- **corsi d'acqua IN AREA EXTRA URBANA con sezione larga e nelle zone di pianura**

INDICAZIONE: prevedere criteri di gestione della vegetazione erbacea ed arbustiva presente per favorire l'ombreggiamento ed il riparo alla fauna minore eseguendo sfalci in modo alternato nel tempo e nello spazio lungo le sponde o lasciando la vegetazione al piede di sponda.

Fig. 4

Esempi di diverse tipologie di canali con differenti caratteristiche



Fosso di Bolgheri, Comune di Castagneto Carducci (LI)
Eseguito sfalcio vegetazionale della banchina e della sponda in sx idraulica, lasciando vegetato l'alveo attivo e la rimanente sponda in dx idraulica



Fosso Fabbrello, Comune di Portoferraio (LI)
Eseguito sfalcio vegetazionale della sponda in dx idraulica, lasciando vegetata la rimanente sponda in sx idraulica



Botro di Bucignano, Comune di Castelnuovo di Val di Cecina (PI)
Eseguito sfalcio vegetazionale della sponda in dx idraulica e dell'alveo attivo, lasciando vegetata la rimanente sponda in sx idraulica, finalizzato alla verifica del corretto funzionamento delle opere idrauliche di ingegneria naturalistica esistenti



Fosso Cervia, Comune di Piombino (LI)
Eseguito sfalcio vegetazionale di entrambe le sponde,
lasciando vegetato l'alveo attivo

- **corsi d'acqua IN AREA URBANA**

INDICAZIONE: controllo e rimozione della vegetazione in alveo e sulle sponde per garantire la protezione idraulica e rendere o mantenere fruibili e accessibili le pubbliche pertinenze idrauliche. Qualora la sezione del corso d'acqua sia sufficientemente ampia, si potrebbero eseguire sfalci alternati.

Fig. 5

Corsi d'acqua ricadenti in ambito urbano





- **canali artificiali**

INDICAZIONE: controllo e rimozione della vegetazione in alveo e sulle sponde e risagomatura alle sezioni di progetto al fine di non compromettere la loro capacità di smaltire la portata idraulica.

Animali semi-fossori

Le opere idrauliche quali i rilevati arginali sono strutture antropiche volte al contenimento dei livelli di piena e non zona di ripopolamento ed una frequenza maggiore di taglio raso funziona anche come ottimo deterrente per l'insediamento degli animali semi-fossori.

Dagli studi condotti dal Dipartimento di Veterinaria dell'Università di Pisa, l'utilizzo di reti o qualsiasi altra struttura installata sugli argini al fine di limitare l'insediamento di tane da parte degli animali semi-fossori (mammiferi scavatori quali tasso e istrice) è da escludere: sia per gli ingenti costi di realizzazione e gestione dell'opera sia perché suddetti animali sono in grado di tagliare con la loro dentatura alcune tipologie di reti metalliche, vanificando gli sforzi per installarle.

Si evince che l'attività ad oggi più sostenibile a livello ambientale ed economico per dissuadere gli animali a colonizzare i rilevati arginali sia mantenere sulle arginature il solo manto erboso con interventi di taglio raso.

PROPOSTE DI AZIONI

1. Prevedere la realizzazione di minimo 2 tagli raso/anno da effettuare uno in tarda primavera e uno in autunno. Si può valutare la possibilità di effettuare fino a 3 tagli raso/anno, eventualmente concentrando il terzo taglio solamente in prossimità di tratti particolarmente critici (es. grandi patch di piante aliene quali *Arundo donax* e/o rovo in prossimità di centri abitati, aree industriali, etc.);

2. Pianificare i tagli della vegetazione in base all'andamento delle temperature stagionali al fine di ottenere una massimizzazione dell'effetto sinergico del taglio e della temperatura sulla crescita della vegetazione garantendo così la persistenza di una copertura vegetale bassa;

3. Non realizzare alcun habitat alternativo, attività di traslocazione o abbattimento, metodi ritenuti troppo dispendiosi e inefficaci sul lungo periodo.

- **SCENARIO corsi d'acqua ARGINATI con presenza insediamenti di tana**

  INDICAZIONE: procedere alla rimozione degli insediamenti mediante l'esecuzione di interventi di chiusura dei siti di tana e ripristino delle strutture arginali. Gli interventi di ripristino delle strutture arginali dovranno inoltre essere supportati da una successiva idonea gestione della copertura vegetazionale presente.

Fig. 5

Esempio di intervento di chiusura di tana in rilevato arginale









Modalità di attuazione degli interventi di chiusura dei sistemi tana: gli interventi di chiusura dei sistemi tana rilevati devono prevedere la distruzione completa di tutto il complesso sotterraneo di camere e tunnel mediante utilizzo di escavatori, prestando attenzione a non arrecare danni ad eventuali animali presenti in tana.
Gli interventi devono essere eseguiti previa verifica dello status abitativo del sistema tana così da mettere preventivamente in evidenza la presenza o meno di animali al suo interno. La verifica dello status abitativo del sistema tana dovrebbe prevedere una valutazione preliminare mediante osservazione di indicatori di utilizzo quali presenza di sterro fresco di fronte alle buche di ingresso, assenza di sporco (es. foglie e rami) e ragnatele all'ingresso della buca nonché rilevamento di segni di presenza come impronte o aculei. Tuttavia, per accertare l'effettiva assenza di animali all'interno della tana sarebbe auspicabile effettuare un monitoraggio delle buche di ingresso alla tana mediante fototrappolaggio almeno 1-2 giorni prima dell'esecuzione dell'intervento di chiusura. Qualora l'attività di fototrappolaggio evidenzi la presenza di animali abitanti il sito di tana, la scelta più opportuna sarebbe quella di procedere con un monitoraggio più intensivo del sito di tana per almeno 5 giorni consecutivi così da verificare se gli animali hanno occupato la tana solo come rifugio temporaneo o vi abitino stabilmente. Qualora l'attività di fototrappolaggio evidenzi solamente un uso temporaneo con assenza di frequentazioni successive sarà possibile procedere con le operazioni di distruzione e ripristino in assenza di particolari accorgimenti. Contrariamente, qualora la tana risulti stabilmente abitata da animali, si dovrà procedere con le operazioni di chiusura mettendo in atto alcuni accorgimenti nelle fasi di movimento terra per evitare/limitare di arrecare danno agli animali e favorirne l'allontanamento. Nello specifico, le operazioni di movimento terra devono prevedere la rimozione di ridotte porzioni di terreno alla volta così da permettere una valutazione dell'andamento di sviluppo del sistema tana sulla base della quale definire la successiva azione di rimozione terra e limitando la possibilità di intaccare camere e tunnel esposte durante la fase di rimozione precedente e permettere l'eventuale fuga degli animali. Nel caso di sistemi tana caratterizzati da più buche di ingresso controllare il verificarsi di fughe di animali da altre buche non ancora distrutte durante le singole fasi di rimozione terra.

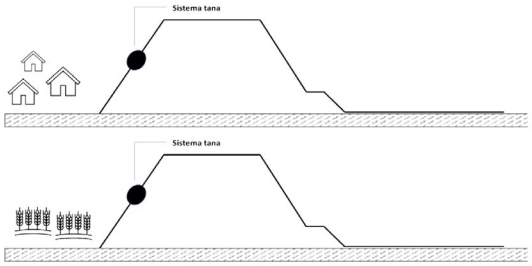
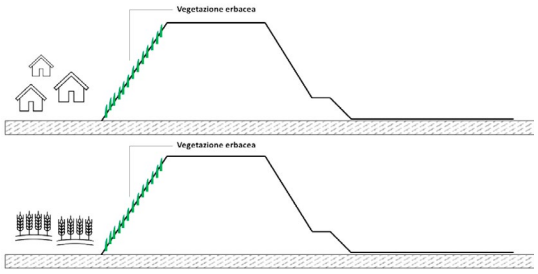
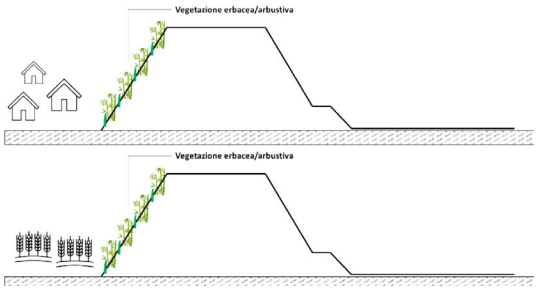
Tipologia di manutenzione della vegetazione non arginale: mantenimento di aree buffer con presenza di copertura vegetazionale erbacea e/o arbustiva naturalmente presenti nei dintorni delle arginature come controfosse, marginature di campi, piccole aree declivi e boscate etc. non andando ad alterare in alcun modo quello che l'ambiente circostante mediante la realizzazione di apposite aree. In queste aree la gestione della vegetazione dovrebbe essere limitata ad un unico taglio annuale così da non arrecare disturbo ad animali potenzialmente presenti mantenendo un ambiente favorevole alla loro persistenza o insediamento.
In generale, valido trasversalmente per le attività riguardanti i 3 macro-temi, l'esecuzione di attività di manutenzione ordinaria devono sempre prevedere la sicurezza dell'operatore. Pertanto, qualora siano necessari determinati apprestamenti, questi verranno realizzati e saranno di tipo reversibile, con il minimo impatto e per il tempo strettamente necessario per l'esecuzione dei lavori.

Conclusioni e sviluppi futuri

Nell'ambito dell'Accordo di collaborazione scientifica stipulato tra il Commissario Delegato OCDPC 1037/2023 e ANBI Toscana, man mano che l'attività di ricognizione, analisi dati e confronto procedeva, è emersa la necessità di affrontare anche il tema della manutenzione dei versanti.

Inoltre, verificando l'attuale percezione da parte dell'opinione pubblica delle attività di manutenzione nell'ambito complessivo delle tematiche riguardanti il Rischio Idraulico, è emerso come la definizione delle nuove strategie di gestione per le attività di manutenzione dei corsi d'acqua e delle opere abbia necessità di una raccolta continua delle esperienze innovative e di studio effettuate dalle Università. Grazie ai risultati dell'analisi che stanno conducendo i Consorzi con gli Enti di ricerca, si arriverà alla stesura della relazione tecnico scientifica finale, a valle della quale formulare apposite direttive o linee guida in materia.
Nella parte finale delle attività, tenendo conto dell'eventuale apporto delle altre linee di azione della Commissione, sarà fondamentale approfondire come comunicare e informare a diversi livelli sui benefici che le nuove tecniche di manutenzione e gli interventi integrati apportano ai cambiamenti climatici.

Stante quanto premesso, al momento per la casistica di corsi d'acqua arginati con presenza o assenza di tane di animali semi-fossori, sono state individuate 3 sezioni tipologiche di riferimento a cui riferire le proposte di intervento.

Caso	Sezione Tipologica		Intervento
Caso 1	Tratto arginato in area agricola o urbana **con presenza di tane**		Chiusura sistema tana Gestione vegetazione
Caso 2	Tratto arginato in area agricola o urbana con copertura vegetazionale erbacea **in assenza di tane**		2 tagli rasi/anno Limitare presenza *Arundo donax* (o altre infestanti) e vegetazione arbustivo/arborea
Caso 3	Tratto arginato in area agricola o urbana con copertura vegetazionale erbacea/arbustlva **in assenza di tane**		2-3 tagli rasi/anno Limitare presenza *Arundo donax* (o altre infestanti) e vegetazione arbustivo/arborea

Il territorio, la pianificazione urbanistica ed i cambiamenti climatici

Dott. Geol. Marcello Brugioni
Dott. Ing. Daniele F. Bignami

Fondazione Politecnico di Milano

Strategie e proposte operative per l'aggiornamento e la revisione della L.R. 41/2018

I CRITERI GENERALI, L'INSIEME DELLE REGOLE IN CUI CI MUOVIAMO E GLI OBBIETTIVI DA RAGGIUNGERE

La pianificazione urbanistica è quell'insieme di interventi con i quali è determinato l'assetto delle città, la rete dei servizi e l'utilizzo del territorio ai fini di una corretta gestione dello spazio entro cui viviamo ed esercitiamo le nostre attività. Lo scopo della pianificazione urbanistica è quello di consentire che le attività umane siano armonizzate con l'ambiente in cui esse si esplicano e che tali attività siano sostenibili sia per l'ambiente che per loro stesse. La conoscenza della pericolosità da alluvione e da dissesti di natura geomorfologica del territorio in cui operiamo, è quindi una condizione indispensabile per far sì che eventuali previsioni non vadano ad insediarsi in aree in cui le nuove attività sarebbero sottoposte ad un rischio più o meno elevato. La determinazione della pericolosità peraltro serve anche per comprendere a quale grado di rischio sono sottoposti gli ambiti urbanizzati già esistenti.

Per quanto riguarda il pericolo di alluvioni, utilizzando i dati e le elaborazioni derivanti dai PGRA e dai dispositivi indicati nella L.R. 41/2018, la Toscana ha sviluppato un insieme di regole che definisce le condizioni che devono essere verificate per poter procedere a pianificare, e quindi a realizzare, eventuali nuove attività umane nelle aree di fondovalle e di pianura interessate dal reticolo idraulico sia naturale che artificiale. Questo insieme di regole si basa in prima analisi sulla classificazione della pericolosità da alluvione che, seguendo quanto indicato dalla direttiva 2007/60/CE, suddivide il territorio in tre fasce a pericolosità crescente:

- **P1 (bassa pericolosità)**, ovvero scarsa probabilità di alluvioni collegata al verificarsi di eventi estremi, (in genere si considera un tempo di ritorno di 500 anni);

- **P2 (media probabilità),** ovvero con una probabilità di alluvioni con tempo di ritorno uguale o maggiore di 100 anni, (in genere si prende come riferimento un Tr di 200 anni);

- **P3 (alta pericolosità),** ovvero con una probabilità di allagamento frequente, connessa con un tempo di ritorno fino a 50 anni (in Toscana sono utilizzati Tr 30 anni e Tr 50 anni a seconda del distretto idrografico di riferimento).

Come è evidente, la direttiva imposta le regole basandosi sulla frequenza di accadimento dell'evento alluvionale, indicando, ma non imponendo, anche la necessità di conoscere anche portate, velocità e battenti attesi. La maggior parte delle mappe

redatte dalle Autorità distrettuali ai sensi della direttiva – ma anche quelle precedentemente elaborate per i Piani di Assetto Idrogeologico PAI – contengono solo in parte informazioni relative a battenti e velocità delle acque nelle aree allagabili; di conseguenza non è insolito che, utilizzando queste mappe per la pianificazione urbanistica, si vadano a porre vincoli severi in aree caratterizzate da alluvioni frequenti ma con battenti e velocità molto ridotti, ed indicazioni molto blande per aree in cui la frequenza non è elevata ma i battenti attesi, ad esempio, sono anche superiori ai due metri. La L.R. 41/2018, al fine di superare tale possibile incongruità, entra nel dettaglio del campo di moto delle aree allagabili e, sulla base di battenti e velocità, indica le condizioni per la pianificazione urbanistica. Tutto ciò sempre ponendo come condizione iniziale la classificazione della pericolosità da alluvione nelle tre fasce sopra indicate. In base quindi a tempi di ritorno, battenti attesi e velocità della corrente otteniamo una lettura della pericolosità del territorio che stabilisce per la pianificazione regole severe per le aree che si possono allagare con frequenza elevata e media (P3 eP2) e che presentano battenti/velocità elevati, regole meno vincolanti per le aree che presentano battenti/velocità ridotti e nessuna prescrizione per le aree soggette a pericolosità P1 ovvero bassa. Questa impostazione, anche se molto raffinata dalla magnitudo[1], mantiene sostanzialmente come fondamento la convinzione, in taluni casi non propriamente corretta, che un evento che si presenta molto raramente (di regola con tempi di ritorno superiori alla duecentennale) non sia pericoloso e pertanto le aree che sono soggette a tale eventualità non presentano limitazioni di tipo urbanistico[2].

Inoltre la mappatura della pericolosità viene realizzata tramite modellazioni idrologico-idrauliche che possono solo parzialmente rappresentare ciò che può accadere in realtà: in sostanza una mappa della pericolosità da alluvione ottenuta mediante modellazione, anche se estremamente raffinata e con dati e metodi particolarmente avanzati, non potrà mai rappresentare le casualità connesse con la rottura di uno o più argini, l'occlusione accidentale di ponti ed attraversamenti ed in generale ogni evento singolare che invece può accadere nella realtà.

Facendo per un momento un passo indietro, bisogna tenere presente che la direttiva - e, per alcuni aspetti, anche i decreti "Sarno", "Soverato" e il DPCM 29 settembre 1998, anche se questi ultimi si limitano alla *"messa in sicurezza"* delle aree allagabili attraverso la sola realizzazione di opere ingegneristiche - ha lo scopo di indirizzare gli stati membri verso la gestione degli eventi alluvionali, gestione che deve avvenire attraverso l'applicazione delle quattro azioni fondamentali: la prevenzione (che non è come si intende in genere la realizzazione delle opere ma riguarda la pianificazione e

[1] La "magnitudo idraulica" è la combinazione del battente e della velocità della corrente in una determinata area e viene distinta in severa, elevata o moderata attraverso soglie specifiche indicate nella legge.

[2] Ciò è connesso, impropriamente, al fatto che in genere gli interventi di difesa idraulica fanno riferimento ad eventi fino a Tr200, che viene considerato come un opportuno riferimento per un equilibrio tra efficacia, costi e dimensionamento delle opere; da questo la convinzione errata che il valore Tr200 rappresenti anche il raggiungimento della "sicurezza".

le regole di governo dell'ambiente e del territorio), la protezione (le opere), la fase di evento (la gestione dell'evento attraverso il preannuncio, le misure di protezione civile, etc.) e la fase di rianalisi in cui si verifica come il sistema ha risposto all'emergenza, si indaga su cosa ha funzionato e cosa no, e si pianificano le ulteriori azioni correttive se necessarie. In termini strettamente analitici, l'applicazione delle azioni indicate ha l'obiettivo teorico di raggiungere un livello di rischio definito in maniera qualitativa come moderato (R2) e basso (R1)[3] per i beni che ad oggi sono presenti nelle aree allagabili, e, in seconda battuta, un livello di pericolosità bassa (P1) o nulla per tutte le aree che adesso si trovano in P3 e/o P2. Questo ultimo risultato è, sempre negli scopi della direttiva, secondario[4], tuttavia diventa importante ai fini della pianificazione urbanistica in quanto terreni a bassa o nulla pericolosità, nei limiti imposti dalla necessità di ridurre fortemente il consumo di suolo, possono essere potenzialmente edificabili.

Se ci concentriamo sulle opere è chiaro che l'obiettivo generale, disponendo di risorse illimitate, degli interventi strutturali deve essere quello di riportare l'intero territorio (con priorità assoluta per quello urbanizzato, dove il rischio è elevato in quanto lo è anche il pericolo) adesso mappato in P2 o P3 alla classe di minor pericolo P1[5].
In un certo senso quindi, sempre ponendo una lettura strettamente analitica ed anche implicitamente teorica, le zone urbane classificate come P2 o P3 sono da considerarsi come in uno stato transitorio che, con la realizzazione delle opere, passerà ad uno stato definitivo di pericolosità bassa (P1) od anche nulla[6].

Quindi, anche ipotizzando che tutte le aree P3 e P2 siano "eliminate" attraverso le opere, ci sarà pur sempre un vasto territorio in cui permangono almeno condizioni di pericolosità P1 per effetto di eventi con Tr maggiore di 200 anni, ma anche e comunque aree allagabili per cause diverse quali le rotture arginali, i fatti accidentali quali le occlusioni, gli eventi particolarmente intensi e concentrati, e quant'altro: questi fatti non possono essere del tutto esclusi in quanto legati ad una imponderabilità difficilmente determinabile. Questa condizione di "pericolosità non nulla", come sarà definita con più dettaglio in seguito, non può essere tralasciata sia in termini di pianificazione urbanistica che in termini di gestione in fase di evento delle aree già urbanizzate. Pertanto eventuali nuovi indirizzi per una pianificazione urbanistica che tenga conto sia delle istanze legate ai cambiamenti climatici, che di quelle legate alla crescente richiesta di sicurezza sia delle aree già urbanizzate, che di quelle oggetto di possibili previsioni, devono porre attenzione, oltre a disciplinare le aree P3 e P2 come già accade adesso, anche a ciò che può succedere nelle aree in cui non si può escludere in assoluto la possibilità che si verifichi un fenomeno di allagamento.

[3] Benché sia auspicata la determinazione del rischio in termini economici, le analisi svolte in tale senso sono rare ed indirizzate solo a particolari categorie di beni e per porzioni ridotte di territorio. In ambito italiano si ricorre in genere alle definizioni del D.P.C.M. 29 settembre 1998.
[4] la lettura rigorosa della direttiva impone che la condizione di rischio ridotto per attività e beni sia raggiunta attraverso azioni sostenibili in termini ambientali, con una se possibile minima realizzazione di opere ingegneristiche ed una concreta restituzione al fiume dei suoi spazi.
[5] E' bene tenere presente che gli interventi strutturali agiscono proprio sulla pericolosità e quindi devono essere indirizzati al fine di massimizzare la loro efficacia per le aree urbanizzate, ma questa efficacia si esplica anche nei territori aperti e non occupati da insediamenti o infrastrutture.
[6] Questo nel caso, raro, in cui l'intervento annulli completamente la possibilità di allagamento in un'area.

Il tema dei cambiamenti climatici, però, richiede anche una ulteriore riflessione che investe l'attuale metodologia di mappatura delle classi di pericolo per tempi di ritorno. Il ripetersi ed il susseguirsi di eventi critici, in un certo senso, hanno messo in crisi l'affidabilità dei risultati delle analisi statistiche e probabilistiche, anche se queste si basano su serie di dati importanti, con la conseguenza che i risultati delle modellazioni e le pericolosità che si ottengono non sono più così "precisi" e "stabili" nel tempo come si supponeva fosse possibile fino a poco tempo fa. I periodici aggiornamenti che vengono svolti, in una impostazione perlopiù stazionaria, delle mappe di pericolosità avevano lo scopo di "raffinare" le stime, per migliori strumenti e dati, in un ideale processo di convergenza verso una unica "sempre migliore" stima possibile[7], ma questo concetto è messo in crisi dai cambiamenti climatici in quanto i fenomeni si manifestano in queste ultime decadi con caratteri diversi. In altri termini, *"se l'avanzamento della ricerca e delle tecniche applicative porta alla diminuzione dell'incertezza epistemica, i cambiamenti climatici fanno aumentare quella aleatoria" (cit. Prof. Fabio Castelli).*

Cercando di interpretare quanto sopra, le attuali metodologie utilizzate per la mappatura della pericolosità rispondono ai requisiti richiesti e rappresentano sicuramente la miglior descrizione delle aree allagabili[8], ma non si può dire che esse riproducono quello che può realmente accadere. Inoltre i fatti singolari richiamati prima, accentuati in frequenza e probabilità dal *climate change,* si possono verificare non solo in aree mappate come P3 o P2 ma anche nelle P1, ovvero in quelle aree in cui la *duecentennale* scorre tra gli argini od in alveo e dove, urbanisticamente parlando, ai sensi delle norme europee, nazionali e regionali si può pianificare senza alcuna prescrizione.

Allo stato attuale, i disposti normativi, come abbiamo visto, non prevedono, in sostanza, la possibilità di una impostazione metodologica per la definizione della pericolosità che si allontani dalle consuete mappature per tempi di ritorno ed eventualmente, vedi L.R. 41/2018, per altezze d'acqua e velocità. Introdurre una metodologia di mappatura che tenga conto dell'aleatorietà introdotta dai cambiamenti climatici se non condivisa a scala distrettuale, porterebbe ad un contrasto evidente con la pericolosità sovraordinata, con conseguenti implicazioni e problematiche sia tecniche che giuridiche. Si può tuttavia, pur mantenendo l'attuale impostazione per la mappatura della pericolosità da alluvione, provare a dare, ai fini dell'utilizzo delle mappe per fini urbanistici ed anche di protezione civile, una interpretazione in parte diversa, ma non discordante, da quella che attualmente viene fatta, che tenga conto per quanto possibile di quell'incertezza dovuta alle variabili aleatorie che sono pur sempre esistite e che oggi sono maggiormente evidenti per effetto dai cambiamenti climatici. In conseguenza di questo, si deve valutare quali correttivi apportare all'attuale impostazione normativa, in particolare alla L.R. 41/2018, per far sì che questa riesca a dare indirizzi efficaci per una pianificazione urbanistica in tempi di *climate change.*

[7] L'approccio attuale sia per la mappatura della pericolosità che per il dimensionamento delle opere idrauliche ipotizza una idrologia stazionaria.

[8] Questo naturalmente se con tempi ragionevolmente frequenti vengono aggiornati i dati di base ed in particolare le LL.PP.

É opportuno ricordare una volta di più che l'attuale impostazione della L.R.41/2018 è in linea con le direttive europee e distrettuali, introduce concetti innovativi quali la magnitudo ed ha una risposta molto efficace nei confronti della maggior parte degli eventi; pertanto si tratta di introdurre quei correttivi che si ritiene siano opportuni per migliorare sia il quadro delle conoscenze che il quadro normativo, alla luce degli eventi tipo novembre 2023 ed anche marzo 2025.

Parafrasando quanto detto, nel rispetto dei disposti normativi europei e nazionali, l'obbiettivo che si deve porre una revisione ed un aggiornamento della legge regionale 41/2018 alla luce del cambiamento climatico e della sempre più pressante richiesta di una maggiore tutela sia dei territori già urbanizzati che di quelli oggetto di possibili previsioni, può essere riassunto così:

"definire un insieme di regole ed indirizzi che consenta alle amministrazioni comunali di identificare per quanto possibile le aree che possono essere oggetto di qualsivoglia evento alluvionale, consentire di conoscerne e comprenderne le cause, accertare quale è il rischio a cui può essere sottoposta la comunità e le eventuali nuove scelte di pianificazione, stabilire le regole per uno sviluppo territoriale che sia in equilibrio con le problematiche idrogeologiche, individuare le possibili soluzioni che sia vecchi che nuovi insediamenti devono attuare per far sì che in caso di evento alluvionale i danni siano minimizzati e sostenibili".

Partendo dal presupposto che l'impostazione della legge regionale 41/2018 è sostanzialmente corretta e consente di definire un quadro di pericolosità e di regole atte a rispondere, in termini "urbanistici", ad una buona parte degli scenari di criticità che si possono verificare, si tratta di approfondire e sviluppare quegli aspetti peculiari che sono collegati al quadro di eventi che si ripetono in questi anni - peraltro già in embrione contenuti nella legge regionale stessa - ed inserirli in maniera oculata nel contesto normativo esistente. In particolare si tratta di:

- attraverso l'analisi delle cause che possono portare al verificarsi di eventi alluvionali, giungere all'identificazione di "aree a pericolosità di alluvione non nulla" *(APNN)* - che non dipendano solo dai risultati ottenuti attraverso modellazione idrologico/idraulica ma che comprendano anche sia le possibili aree inondabili per cause non modellabili a priori, quali rotture arginali, occlusioni, eventi particolarmente intensi e concentrati, particolari contesti geomorfologici in ambiti collinari e di versante, eventi rari, etc. – per le quali stabilire ulteriori principi da affiancare a quelli attualmente esistenti, al fine sia di una più consapevole pianificazione urbanistica, sia di una maggiore tutela del patrimonio urbanizzato esistente;

- in base al quadro di pericolosità che si verrà a definire in funzione del punto precedente ed alla sua interpretazione, giungere ad identificare quali scenari di evento si possono determinare in quel particolare contesto, quale possa essere il rischio a cui è soggetta l'area, quali sono le azioni di prevenzione e di protezione (strutturali) che ai vari livelli di competenza gli enti, le associazioni e le comunità possono rea-

lizzare, quale è il rischio residuo che permane anche dopo la realizzazione di opere, quale è il livello di rischio "accettabile" che la comunità può sostenere e che si dovrà raggiungere sia attraverso ulteriori interventi strutturali, se possibili, sia con azioni non strutturali (difese locali, *proofing* e *retrofitting* di edificazioni esistenti e nuove) e sia attraverso una gestione della fase di evento ottimizzata su tutti gli scenari possibili; l'obiettivo finale è riuscire a definire alla scala locale (comunale/intercomunale) una sorta di piano di gestione del rischio da alluvioni connesso con il cambiamento climatico;

- in base ai punti precedenti, analizzare l'impianto normativo esistente ed in particolare i criteri e le prescrizioni per le nuove edificazioni e per la ristrutturazione dell'esistente, allo scopo di verificarne l'efficacia alla luce dei recenti eventi meteo-climatici e di individuare ulteriori indirizzi e prescrizioni.

Si tratta di ottenere un quadro normativo integrato con l'esistente, che consenta una pianificazione maggiormente consapevole di quali sono gli scenari che si possono verificare e le aree interessate, i rischi che possono in ogni caso incidere sulla comunità, e quindi di stabilire in programmi e piani specifici le azioni necessarie ed opportune per minimizzare i danni per esistente e nuovo; tutto ciò anche al fine di sviluppare in amministratori, tecnici e cittadini la consapevolezza che, benché sia doveroso cercare di conoscere e comprendere in maniera sempre migliore gli scenari di evento che possono accadere, resterà sempre un margine di incertezza nella nostra conoscenza a cui possiamo supplire solo con la cautela, anche nei casi in cui questa ci pare eccessiva.

LE "AREE A PERICOLOSITÀ NON NULLA", GLI SCENARI DI EVENTO POSSIBILI E LE STRATEGIE

Giungere a determinare le aree a pericolosità non nulla serve per stabilire il quadro su cui non è possibile escludere la possibilità di un evento alluvionale e valutare se tali aree sono già considerate negli schemi esistenti, o se è necessario sviluppare ulteriore conoscenza e quindi porre delle particolari attenzioni e disposizioni. I P.G.R.A (Piani di Gestione del Rischio Alluvioni) distrettuali definiscono le loro norme sulla base delle mappe di pericolosità P3, P2 e P1 ottenute in genere attraverso modellazione. La L.R. 41/2018 affina tale concetto con la magnitudo, quindi sulla base di questa stabilisce le norme, affidandosi tuttavia sempre a mappe ottenute da modellazione le quali, anche se molto dettagliate, trattano uno scenario "classico" (stazionario) di allagamento. Gli eventi recenti ci insegnano che, sebbene le mappe di pericolosità siano un elemento molto importante e rappresentativo di quello che può accadere[9], è anche vero che i fatti si sono verificati anche in zone classificate come soggette ad alluvioni rare (P1). Identificare le "aree a pericolosità non nulla" vuol dire aumentare la consapevolezza della complessità di quello che stiamo trattando e vuol anche far comprendere che affidarsi solo a quanto si ricava dalla modellazione può portarci a non percepire nella sua completezza quello che può accadere.

Gli scenari di evento da considerare, ad esempio, possono essere:

- esondazioni eccezionali dei corsi d'acqua principali a seguito di eventi meteo di media-grande scala;
- esondazioni localizzate del reticolo secondario a seguito di eventi meteo estremamente intensi;
- insufficienza del reticolo idrografico secondario per eventi meteo di varia natura;
- allagamenti in aree urbane sia per insufficienza fognaria a seguito di eventi temporaleschi localizzati, sia per cattivo deflusso delle acque, che per altre cause;
- cedimenti arginali durante eventi di piena anche non rilevanti;
- possibilità di occlusione di tratti tombati in aree urbanizzate e non;
- occlusione di luci di ponti dovute al trasporto di materiale flottante, etc.

[9] Le aree allagate nell'evento del 2/3 novembre 2023 ricadono per più dell'80% nelle aree P3 e P2 indicate nel PGRA, tuttavia se in termini di aree allagate la corrispondenza è abbastanza elevata, lo stesso non si può dire per le modalità e le grandezze (cedimenti del sistema arginale, punti di sormonto, vie d'acqua, battenti e volumi in gioco, etc.) con cui l'allagamento si è manifestato, peraltro anche in aree P1 (vedi "Relazione Intermedia", Brugioni, 2024).

Analizzare gli scenari ci porta a capire quale è l'intera area su cui dobbiamo porre attenzione sia per mitigare i danni all'esistente, sia per pianificare il nuovo. Per ciascuno degli scenari si possono indicare le azioni più efficaci e rispondenti.

Si può quindi definire come area a pericolosità non nulla quella porzione di territorio per la quale non si può escludere in assoluto il suo allagamento per effetto di un qualsivoglia evento alluvionale. L'area a pericolosità non nulla è il risultato dell'inviluppo delle aree a pericolosità derivanti dalla modellazione (aree P3, P2 ed anche P1), delle aree potenzialmente soggette ad allagamenti per effetto di rotture arginali, occlusioni accidentali delle sezioni idrauliche ed eventi particolarmente intensi che determinano allagamenti localizzati o generalizzati e quant'altro possa accadere, anche osservando con attenzione ciò che è accaduto in passato.

In termini pratici e di prima analisi, l'inviluppo delle aree P3, P2 e P1 dei P.G.R.A. in genere contempla la quasi totalità degli eventi alluvionali che possono accadere. In particolare nelle aree di pianura è abbastanza ragionevole supporre che in tale inviluppo siano compresi buona parte degli eventi non modellabili possibili. In molti distretti europei ed anche nazionali oltretutto la pericolosità P1 viene definita anche con un criterio storico-geologico, considerando come soggette ad eventi rari tutte le aree pianeggianti dei fondivalle alluvionali che, per loro stessa definizione, si sono generate per effetto della dinamica evolutiva dei corsi d'acqua nel tempo[10].

Considerare in prima istanza l'inviluppo delle aree P3, P2 e P1 - sia che queste ultime siano derivate da modellazione con Tr500 o da criteri di carattere geologico - come area a pericolosità non nulla, appare plausibile e condivisibile, anche se in alcuni casi può non essere sufficiente. In ogni caso pur partendo per semplicità dall'insieme P3/P2/P1 è possibile ed anche necessario affinare la mappatura con ulteriori elaborazioni che tengano in considerazione ad esempio:

- la morfologia e gli aspetti plano-altimetrici delle aree di fondovalle rispetto al reticolo idraulico;

- la suscettibilità alle alluvioni determinata attraverso la modellazione di fattori predisponenti e determinanti (studio che viene svolto nell'ambito dei lavori del Comitato Tecnico Scientifico, Prof. Menduni);

[10] Quando si dispone di serie storiche non sufficientemente lunghe, i margini di incertezza dei risultati sono abbastanza elevati, ciò a maggior ragione se la modellazione riguarda tempi di ritorno elevati e pertanto si può ricorrere a criteri geologico-geomorfologico.

- la modellazione di possibili allagamenti connessi con la possibilità di cedimenti arginali e di occlusioni nel reticolo (vedi approfondimenti del Comitato Tecnico Scientifico, Prof. Paris);

- le analisi tese a determinare il rischio residuo per le aree dove sono state realizzate opere di mitigazione;

- la propensione di particolari bacini, sottobacini o tratti di reticolo a tramutare gli effetti di particolari eventi intensi e concentrati in piene ed alluvioni repentine;

- etc.

Un contributo importante per definire le aree a pericolosità non nulla può venire anche dal lavoro svolto dalle Autorità distrettuali per i P.G.R.A., laddove definiscono le "aree a potenziale rischio significativo di alluvioni" *(Areas of Potential Significant Flood Risk – APSFR)* che sono appunto le aree per le quali si ritiene che esista un rischio potenziale significativo di alluvioni o per le quali tale rischio è probabile che si generi. Le *APSFR* sono determinate racchiudendo in un unico insieme:

- l'inviluppo delle aree mappate come P3, P2 e P1;

- le aree interessate da eventi del passato *(past flood)*, non ricomprese all'interno dell'inviluppo di cui al punto precedente;

- le aree interessate da possibili eventi futuri, non ricomprese all'interno dell'inviluppo P3,P2 e P1.

Le *APSFR* rappresentano un dato di partenza, peraltro ufficiale ed aggiornato ogni sette anni, utile ed importante per definire la pericolosità non nulla. Tuttavia anche questa informazione ha bisogno di essere ulteriormente affinata, cercando di indagare soprattutto sulle eventualità di quei fatti singolari di cui abbiamo diffusamente parlato.

LE "AREE A PERICOLOSITÀ NON NULLA" NEI TERRITORI PIANEGGIANTI E DI FONDOVALLE E LE AZIONI POSSIBILI

Per aree pianeggianti e di fondovalle vanno intese tutte le porzioni del territorio solitamente formate da depositi alluvionali di origine fluviale, con dislivelli poco sensibili e la cui genesi è riferibile alle azioni ripetute di esondazione del reticolo fluviale, allagamento e deposizione. Come abbiamo visto, allo stato attuale, sia a livello europeo che nazionale, le condizioni con le quali si stabilisce la possibilità o meno di andare ad edificare nelle aree a pericolosità da alluvione sono attribuite in funzione della frequenza di accadimento dell'evento "di progetto": più l'evento è frequente e maggiori sono le prescrizioni. Là dove si sia operato con modellazione bidimensionale, e quindi abbiamo indicazioni relative a battente e velocità, le prescrizioni sono ulteriormente dettagliate in funzione di questi parametri, come nel caso della Toscana. Questa impostazione, essenzialmente corretta ed in linea con leggi nazionali ed europee, si presta tuttavia ad alcune osservazioni:

- la prima è che, come detto più volte, si fa pieno affidamento ai dati derivanti dalla modellazione (portate esondate, battenti, velocità, etc.) che sono in linea di principio corretti per lo scenario modellato ma che nella realtà si possono verificare, data la complessità del sistema, con grandezze diverse, oltre a non tenere conto di rotture arginali e quant'altro;

- da quanto sopra deriva che le aree mappate rappresentano certamente una buona se non ottima indicazione di quello che può accadere, ma, in particolare le aree di confine tra due diverse pericolosità, sono soggette ad un grado di aleatorietà ed incertezza anche elevato; anche battenti e velocità sono, di conseguenza, dati da considerare con attenzione in quanto connessi solo allo scenario ideale modellato;

- le prescrizioni sono maggiormente vincolanti in funzione della frequenza e del battente/velocità attesi: ne deriva che le aree che possono essere allagate per eventi anche molto impattanti ma meno frequenti (le cosiddette aree P1 ma anche le P2) hanno vincoli ridotti od anche assenti (vedi le P1).

Come abbiamo visto in precedenza, anche ipotizzando che le opere di mitigazione portino ad eliminare tutte le aree P3 e P2, ci sarà pur sempre un vasto territorio in cui permangono condizioni di pericolosità non nulle sia per effetto di eventi con Tr maggiore di 200 anni, sia per il rischio residuo a cui le opere non possono ovviare, sia per cause diverse quali le rotture arginali, gli eventi particolarmente intensi e concentrati, etc. Questa condizione di pericolosità non nulla deve necessariamente essere presa in considerazione in quanto eventuali nuove previsioni urbanistiche, anche se rispondenti alle prescrizioni per le aree P3 e P2, possono essere soggette ad eventi che, oltre a verificarsi in aree non mappate, si possono sommare (vedi rotture arginali) anche come grandezze fisiche a quelle già mappate. Ne consegue che nuovi indirizzi urbanistici, che tengano conto sia delle istanze legate ai cambiamenti climatici, che di quelle legate alla crescente richiesta di sicurezza delle aree già urbanizzate e di quelle

oggetto di possibili previsioni, devono porre attenzione, oltre a disciplinare le aree P3 e P2 come già accade adesso, anche a ciò che può succedere alle aree in cui non si può escludere in assoluto la possibilità che si verifichi un fenomeno di allagamento.

Per le aree pianeggianti, le pianure alluvionali e di fondovalle, le aree *APSFR* definite dalle Autorità distrettuali si prestano come dato di base su cui, alla scala comunale ed intercomunale, possono/devono essere svolte ulteriori indagini ed approfondimenti di dettaglio al fine di includere ulteriori aree o di escludere eventuali zone in cui è verificata l'impossibilità che si riscontrino fenomeni[11].

Una volta individuata l'area a cui riferirsi, la seconda questione è individuare quali possono essere le opzioni e le strategie da attuare per una pianificazione urbanistica ed una gestione che tenga conto delle problematiche idrogeologiche e del cambiamento climatico. Nelle aree a pericolosità non nulla non si può escludere la possibilità che un evento accada ma, d'altra parte, non possiamo neanche affermare che avvenga. Pertanto non appare proporzionato, a meno che non si tratti anche di un'area P3 e/o P2 o soggetta ad altre problematiche conclamate, porre dei criteri particolarmente restrittivi. Tuttavia è pur sempre possibile indicare quali requisiti devono avere eventuali nuovi insediamenti allo scopo che questi, nel caso che si verifichi un evento, siano nelle condizioni di fronteggiarlo e subire meno danni possibili. Si tratta in sostanza di individuare a quali prescrizioni (in sostanza semplici parametri ed attenzioni costruttive) le nuove costruzioni devono attenersi come condizione di base se ricadono nell'area a pericolosità non nulla. Prendendo ad esempio quanto è stato fatto per le costruzioni in zona sismica, che devono soddisfare opportuni criteri costruttivi per essere realizzate, le nuove edificazioni in aree a pericolosità non nulla dovranno soddisfare dei criteri che consentano loro di sopportare ed "accettare" l'eventualità di un evento alluvionale con minimi danni, così come appunto avviene per le nuove edificazioni in area sismica *(Bignami et al., "Flood Proofing in Urban Areas", Springer, 2019).* Tale opportunità naturalmente è attuabile anche per gli edifici ed i complessi edilizi esistenti, al fine di mitigare gli effetti di un possibile allagamento. Si tratta in sostanza di sistemi di difesa locale e/o autoprotezione di cui le costruzioni dovranno essere dotate per affrontare il possibile avvenimento, differenziando tali sistemi, se possibile, a seconda del tipo di scenario che si può verificare in quella particolare area.

[11] Il lavoro del Comitato Scientifico è anche quello di fornire indicazioni e linee guida per poter svolgere gli eventuali approfondimenti alla scala locale se ritenuti necessari.

I parametri costruttivi per le nuove edificazioni saranno tesi ad impedire l'eventuale allagamento degli spazi abitati e la loro agibilità in sicurezza caso di evento; pertanto dovranno prendere in considerazione azioni che consentano alle strutture di resistere all'evento ed essere a questo impermeabili, quindi con parametri costruttivi adeguati, opportune protezioni e paratie per gli accessi, valvole di non ritorno per le reti, sistemi di approvvigionamento e stoccaggio locale per i servizi, posizionamento in aree impermeabili o a quote adeguate degli impianti, etc. Questi accorgimenti possono essere elencati nell'adeguamento dei disposti normativi vigenti e delle linee guida correlate. In fase di pianificazione urbanistica potranno essere successivamente applicati, alla scala della previsione, sia in base agli ulteriori dettagli che potranno scaturire da approfondimenti locali, sia in base ai parametri di rischio accettabile che sono stati stabiliti in funzione della pericolosità accertata.

È bene ribadire che qualsiasi nuova edificazione che, a prescindere da pericolosità modellata e dalla magnitudo, ricada in un'area a pericolosità non nulla, ai fini della sua realizzazione, anche a fronte di altre prescrizioni come vedremo in seguito, si ritiene debba avere quei parametri costruttivi e quelle difese locali che mitighino i danni di un qualsivoglia evento alluvionale anche estremamente raro, improbabile o eccezionale. Questa condizione si reputa sia non procrastinabile se non quando è dimostrato in maniera inequivocabile che l'area non può essere oggetto di allagamenti di alcun tipo.

LE "AREE A PERICOLOSITÀ NON NULLA" NEI FONDIVALLE INCASSATI DEL RETICOLO SECONDARIO

Anche esulando dal cambiamento climatico, la determinazione della pericolosità nei fondovalle incassati del reticolo secondario, ovvero prima che questo si immetta nelle aree di pianura vere e proprie, presenta sempre dei livelli di incertezza elevati e la perimetrazione delle aree allagabili che si ricava attraverso la modellazione idraulica deve essere attentamente analizzata in dettaglio perché possa fornire dei contributi importanti sia per la valutazione del rischio a cui sono soggette le urbanizzazioni presenti, sia come parametro di riferimento per la pianificazione. Peraltro in numerosi casi la pericolosità viene individuata con criteri geomorfologici, tralasciando la modellazione. Tutto ciò è ulteriormente complicato dal *climate change* ed in particolare dai fenomeni estremamente intensi e concentrati che nei rilievi si tramutano in piene estremamente repentine e virulente nei corsi d'acqua incassati e che in alcuni tratti possono risultare anche molto superiori a tempi di ritorno *duecentennali*. Ne sono un esempio le recenti piene del 2023 nell'alta valle del Bisenzio per non parlare di quello che ha colpito Cardoso per effetto delle piene repentine dei torrenti Serra e Vezza nell'alta Versilia nel 1996.

Fig. 1

Confronto tra pericolosità e morfologia



Poter individuare le aree che potenzialmente possono essere oggetto di una pericolosità non nulla di alluvione risulta pertanto molto complicato. In questi casi appare opportuno fare riferimento a criteri geomorfologici ed anche geometrici al fine di rappresentare le aree che potenzialmente possono essere oggetto di alluvioni. L'esempio in fig. 1 mostra chiaramente come affidarsi alla sola mappatura per tempi di ritorno porti ad interpretazioni non del tutto corrette. Anche in queste situazioni, tutte le nuove edificazioni ricadenti nel perimetro in cui si ritiene possibile un qualsivoglia fenomeno di alluvione, fermo restando le condizioni ulteriori per pericolosità, magnitudo e tipo di scenario, dovranno contemplare, oltre a quanto detto per le aree di pianura, anche parametri costruttivi che le rendano capaci di resistere ad una spinta idrodinamica oltre che ad una azione erosiva importante. In ogni caso si ritiene che nuove edificazioni anche in aree a pericolosità rara ma in ambiti fluviali complessi come quelli di cui si tratta, siano in genere difficilmente attuabili.

IL RISCHIO RESIDUO ED IL RISCHIO ACCETTABILE

Per rischio residuo si intende generalmente il rischio che permane per persone e cose dopo che sono state attuate misure di prevenzione e protezione. Ad esempio nel caso di una cassa di espansione il rischio residuo è quello che rimane per quelli eventi che non sono ricompresi nell'intervallo di efficacia dell'opera e/o che sono soltanto parzialmente mitigati. Il rischio residuo dovrebbe essere sempre stimato in quanto la sua conoscenza è necessaria al fine di valutare se risulta accettabile per la comunità o se devono essere attuate ulteriori misure per renderlo sostenibile. Il rischio accettabile invece è, in sintesi, il livello di rischio che un insediamento e quindi un sistema sociale può ritenere di sopportare; è un concetto importante che peraltro, almeno in forma embrionale, è contenuto nella legge regionale 41/2018. La gestione del rischio introdotto dalla direttiva 2007/60 implica che, poiché la pericolosità non può essere completamente eliminata, permane un livello di rischio per persone e cose che va gestito. Attraverso le misure di mitigazione strutturali e non strutturali e le pratiche di protezione civile, quindi, l'obbiettivo è quello di arrivare ad un livello di rischio che si può definire "socialmente ed economicamente accettabile"[12].

Il rischio accettabile viene spesso in maniera semplicistica associato a quello del D.P.C.M. 29 settembre 1998 dove si indica come rischio medio (considerato nel dpcm in termini puramente qualitativi) quello "…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…". Questa è una definizione generica, che ha una sua validità per inquadrare una classe di rischio espressa appunto in termini qualitativi, ma che non può essere del tutto associata a quello che è il rischio accettabile da una comunità. Per fare un esempio banale, si può accettare l'allagabilità di una strada ma non si può accettare lo stesso fatto, anche se minimo, per una struttura sanitaria od una scuola. Il rischio accettabile dipende da molti fattori la cui analisi porta ad identificare dei livelli di rischio che possono essere diversi a seconda del tipo e della classe di pericolosità, della tipologia di elemento a rischio e degli aspetti sociali che un possibile evento rappresenta per la comunità. Si deve inoltre considerare che la possibile accettazione di un evento o di una perdita dipende anche dalla percezione del rischio a cui ci si sottopone o si viene sottoposti, ovvero l'opinione e la considerazione che un individuo e/o la società hanno nei confronti di un rischio.

La percezione del rischio è influenzata da molti fattori, tra cui le esperienze passate, le attitudini, le prospettive sociali e culturali: una comunità può accettare un eventuale livello di rischio per un possibile allagamento o per un dissesto franoso solo in determinate condizioni tra cui quella appunto che tale rischio sia compreso e percepito. Un'altra importante considerazione è quella che l'opinione pubblica in genere accetta anche elevati livelli di rischio quando è esposta in modo volontario (ad esempio incidenti stradali, infortuni nello sport, etc.) e livelli molto più bassi quando si trova sottoposta

[12] Da non confondere con il rischio residuo che è quello che permane ad esempio dopo la realizzazione di un'opera strutturale: non è detto che tale rischio residuo sia anche accettabile.

involontariamente (ad esempio calamità naturali, incidenti industriali, ecc.), ovvero su quei fatti per i quali non abbiamo un controllo diretto. Inoltre solitamente corriamo un rischio più elevato quando da esso possiamo trarre un beneficio e più è alto il beneficio, più siamo disposti ad accettare il rischio.
In genere si possono individuare due livelli di accettabilità del rischio: un limite superiore, oltre il quale il rischio non è assolutamente accettabile, ed un livello inferiore (che rappresenta l'obiettivo da raggiungere) sotto al quale il rischio si ritiene in ogni caso accettabile: nella fascia compresa tra i due livelli si può e si deve operare per abbassare quanto più possibile il rischio in maniera tale da avvicinare ed anche raggiungere il livello obiettivo.

Questa fascia di mezzo viene definita *ALARP ("as low as reasonably practicable"),* ovvero la zona nella quale è necessario operare strategie di riduzione atte a ridurre il rischio il più possibile, ove ragionevolmente praticabile. Attraverso le misure strutturali e non strutturali si può agire per ridurre il livello di pericolosità ma è sempre possibile che permanga una pericolosità residua (e quindi un rischio residuo) in quanto i costi per abbatterla del tutto risultano sproporzionati rispetto ai miglioramenti conseguibili. La valutazione del rischio residuo e di quanto questo rischio può essere ulteriormente mitigato attraverso ulteriori misure a scala locale fino a giungere ad un livello che possa risultare accettabile, risulta fondamentale sia nella pianificazione urbanistica che nella pianificazione di protezione civile.

Il rischio accettabile pertanto è un parametro di riferimento che, come abbiamo visto, può variare in funzione dell'area in considerazione, della tipologia di evento, della tipologia di bene esposto, delle opere di difesa presenti e di quelle in previsione, delle azioni di ulteriore mitigazione del danno che possono essere attuate sia alla scala locale che tramite le misure di protezione civile attuabili in fase di evento, oltre che dell'impatto socio-economico che può avere sulla comunità. La sua definizione è indubbiamente difficoltosa ma di grande aiuto sia per la pianificazione urbanistica che per la gestione dei territori già urbanizzati in aree a rischio.

Per arrivare a definire un livello di rischio accettabile per un territorio ed una comunità si deve passare attraverso una esplicitazione ed una comunicazione estremamente chiara e trasparente di quale può essere il danno che, nonostante le azioni messe in opera, ancora ci aspettiamo e quali sono le ulteriori possibilità. Ad esempio se si prevede una nuova localizzazione in un'area P1 a breve distanza da un corso d'acqua arginato, non si può affermare in assoluto che quell'area è non pericolosa, tuttavia attraverso adeguate analisi ed opportune indicazioni si può far sì che l'edificio sia realizzato in maniera tale che nel caso di evento il suo danneggiamento risulti minimo e quindi accettabile dalla comunità.[13]

[13] In ogni caso il rischio residuo che permane deve essere conosciuto e valutato dalla comunità per far sì che questa lo ritenga accettabile.

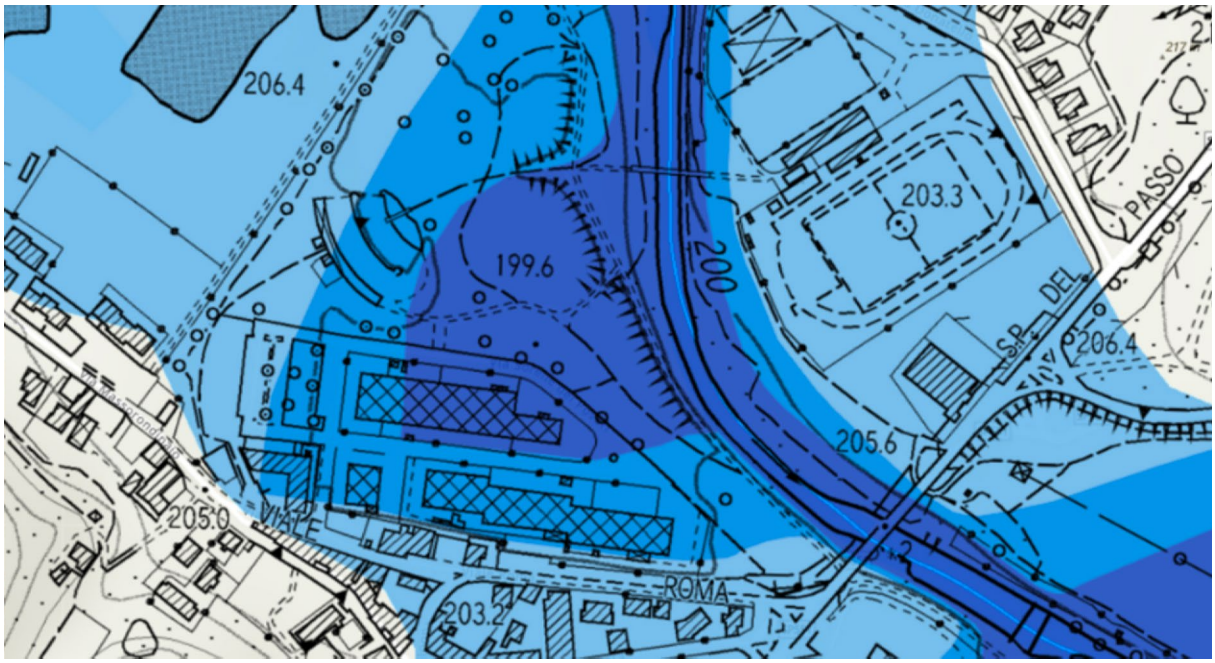
L'INTERPRETAZIONE DELLE MAPPE DI PERICOLOSITÀ, MAGNITUDO E RISCHIO: IL LIVELLO DI INCERTEZZA

Tutto quanto abbiamo indicato in precedenza si basa sulla restituzione in mappe (areali di pericolosità e magnitudo) e *database* (battenti e velocità) ricavati attraverso modelli, elaborazioni ed applicazione di criteri oggettivi. Indubbiamente questo è quanto deve essere fatto e risponde al criterio scientifico. Tuttavia l'applicazione diretta e senza interpretazione delle cartografie e dei dati porta a risposte che possono essere anche molto divergenti da quello che si potrebbe verificare. Per tutto quanto detto in precedenza se ci si affida direttamente alle carte di pericolosità e magnitudo si dà per scontato che il dettaglio dei dati utilizzati nel modello siano adeguati alla scala di restituzione e che non si verifichino fatti diversi da quelli considerati. Come abbiamo visto, questo non è così scontato.

Nella fig. 1 abbiamo già osservato come le mappe in ambienti di fondovalle abbastanza stretti ed incassati abbiano dei limiti se confrontati con lo stato dei luoghi, ma anche nelle aree di pianura ci possono essere situazioni che ad una lettura attenta non possono essere prese *tout court*.

Fig. 2

Pericolosità e morfologia



Vediamo ad esempio la figura 2 dove l'area P3 in azzurro scuro indica quale sarebbe l'area soggetta ad alluvioni frequenti: è evidente che una sua lettura diretta ci porta a desumere che il fabbricato attraversato dal limite P3/P2 viene parzialmente allagato, oppure che è realizzato non in piano, etc. Ciò non vuol dire che la mappatura non è corretta[14], ma che deve essere interpretata al fine di non giungere a conclusioni errate. Ciò è oltremodo necessario quando utilizziamo le cartografie per scopi urbanistici, per la definizione del rischio generale, o di quello residuo e di quello accettabile e, non ultimo, per la pianificazione degli interventi strutturali, di quelli non strutturali e di protezione civile. Benché sia indubbiamente possibile ed auspicabile approfondire sempre di più il livello di conoscenza della pericolosità, poiché rimarrà sempre un margine di incertezza difficilmente abbattibile, una mappa di pericolosità e/o magnitudo va intesa pertanto come un dato di base molto affidabile ma che in taluni casi necessita di un ulteriore livello di interpretazione ed una ulteriore elaborazione e restituzione.

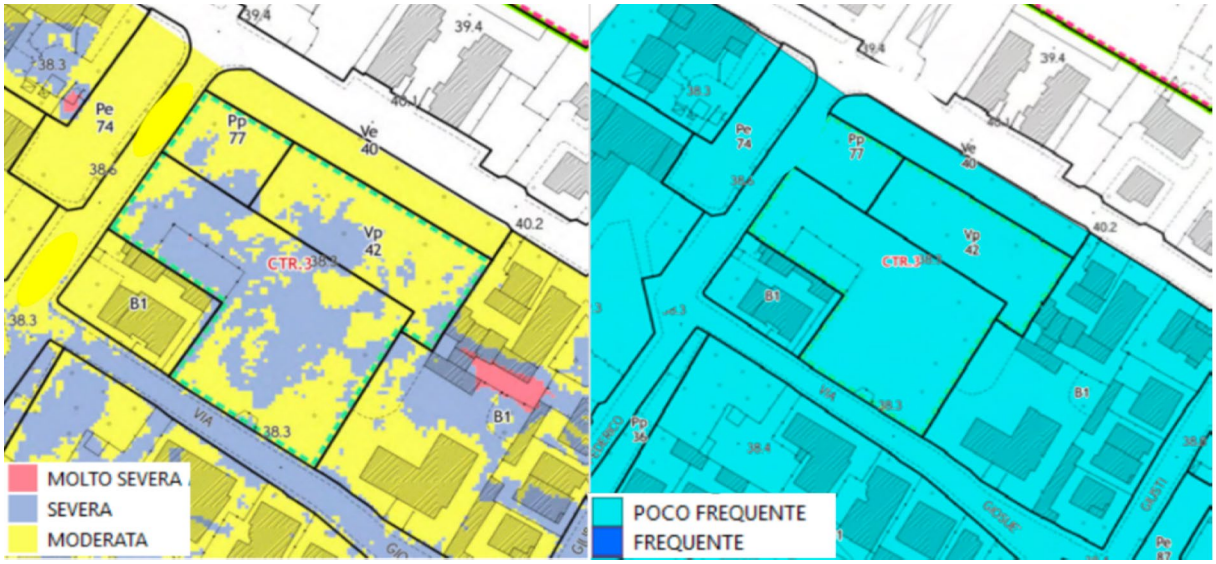
Nelle costruzioni idrauliche è ben noto il concetto del franco idraulico che ha lo scopo di stabilire un margine di "sicurezza" tra il livello della piena di progetto e la sommità arginale o l'intradosso di un ponte; il franco viene utilizzato anche nella applicazione della L.R. 41/2018 come ulteriore margine (di prassi non inferiore a 30 cm) su cui impostare il piano di calpestio di nuove edificazioni rispetto al battente atteso. Il franco ha lo scopo di introdurre un margine di sicurezza sulla stima delle altezze idriche che possono essere differenti da quelle di progetto, per quei fenomeni non riprodotti nella modellazione di dimensionamento e anche per tener conto della presenza di oscillazioni nella corrente. Si può affermare che il franco idraulico è una forma di cautela nei confronti delle incertezze che non possono essere del tutto esplicitate. Applicando lo stesso concetto, si tratta di definire un franco anche per gli areali di pericolosità e magnitudo ma, a differenza delle costruzioni idrauliche, questo non può essere stabilito a priori, non può essere un numero od un *buffer* codificato, ma deve derivare dalla lettura, dalla comprensione e dall'interpretazione degli elementi e dei fatti che possono concorrere a modificare, in positivo o negativo, il quadro risultante dalle analisi modellistiche nel contesto del sistema fisico reale in cui operano. In particolare per la pianificazione urbanistica ciò appare più che una necessità.

Lo stesso ragionamento fatto per la pericolosità, ed ovvero la necessità di interpretare gli areali che derivano dalla modellazione alla luce di quelle che sono le reali condizioni morfologiche, geometriche e plano-altimetriche del territorio, si deve fare per le mappe di magnitudo. Le cartografie che rappresentano la magnitudo sono il risultato (come del resto buona parte di quelle di pericolosità) di un modello bidimensionale in moto vario che determina, per ogni cella di calcolo, il valore di velocità dell'acqua e del battente; i dati topografici utilizzati derivano comunemente da informazioni LiDAR ad alta risoluzione che poi vengono aggregati abitualmente in celle di dimensioni 10 m per 10 m.

[14] La rappresentazione in mappa è connessa, oltre che con l'affidabilità della trasformazione afflussi/deflussi e il suo livello di approfondimento, alla base cartografica utilizzata, con il suo stato di aggiornamento, con il dettaglio utilizzato e con la scala a cui i dati sono rispondenti.

Fig. 3

Magnitudo e pericolosità



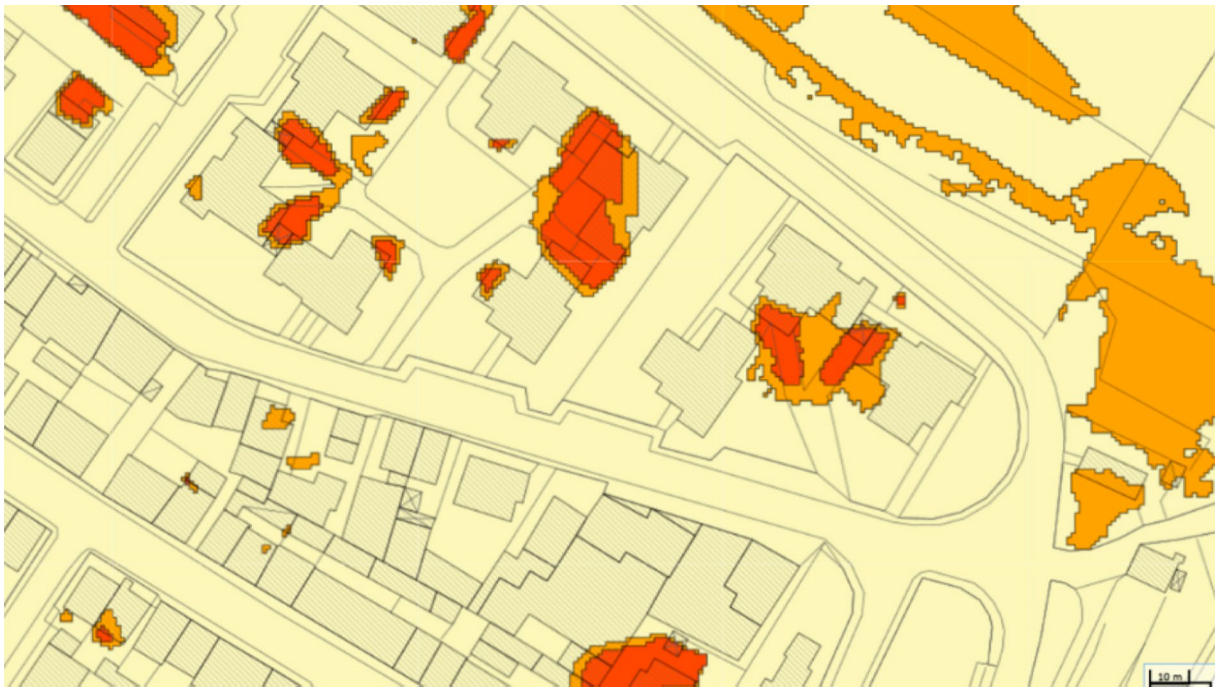
Il risultato è una mappa a maglia quadrata del tipo dell'immagine in Fig. 3. Poiché la L.R.41/2018 assegna alla magnitudo funzioni importanti quali lo stabilire se una nuova edificazione o una ristrutturazione sono possibili o meno, dall'esempio è ben chiaro che una sua applicazione diretta è molto complicata, in particolare nei casi in cui un edificio o un quartiere viene attraversato da un confine tra maglie diverse[15].

Ne deriva che in particolare per tutte le pratiche che sono diretta competenza degli uffici comunali (ad esempio autorizzazioni o concessioni per ampliamenti di fabbricati esistenti o ricostruzioni con parziale demolizione, etc.) non può essere usata direttamente la cartografia in celle derivata dalla modellazione, ma c'è bisogno di un passaggio in cui questa mappa viene interpretata sulla base della realtà dei luoghi e viene quindi prodotta una cartografia che può essere letta senza difficoltà dagli operatori. La figura 4 fornisce un ulteriore esempio della difficoltà di applicazione diretta della magnitudo alla scala del singolo edificio.

[15] I dati utilizzati per la modellazione sono in genere quelli DTM (Digital Terrain Model) ovvero la quota del terreno senza edifici e strutture antropiche.

Fig. 4

Magnitudo



L'interpretazione delle mappe, e la loro trasposizione in un contesto quanto più possibile corrispondente alla reale fisicità dei luoghi è necessaria per far sì che si possa affidare a quella mappa un "valore" che poi sia utilizzabile sia nella pianificazione, sia nell'utilizzo giornaliero per autorizzazioni o concessioni. Tutto quanto sopra contribuisce a definire, insieme alla valutazione dei fatti singolari quali rotture arginali, occlusioni e quant'altro, l'area a pericolosità non nulla nella sua interezza e, di conseguenza, su questa poter realizzare un impianto normativo scalato secondo la gravità degli scenari che si possono verificare.

L'IMPIANTO NORMATIVO DELLA L.R. 41/2018 E LE PROPOSTE

Cerchiamo ora di trasporre e sintetizzare quanto sopra indicato in un contesto di proposte di regole. La legge regionale attuale stabilisce le regole a cui le nuove edificazioni e le modifiche del patrimonio esistente si devono assoggettare per essere realizzate. Si basa, come richiamato più volte, sulla definizione di un quadro fortemente analitico e sul rispetto di determinati presupposti (areali, battenti, velocità) alle cui grandezze fisiche ci si deve relazionare per realizzare o meno gli insediamenti. In particolare la realizzazione di nuovi insediamenti è legata al raggiungimento di livelli di magnitudo differenziati in funzione della classe di pericolosità dell'area dove vengono collocati. L'impostazione della legge segue le indicazioni e lo schema delle norme sovraregionali (nazionali e comunitarie) stabilendone peraltro un maggior approfondimento. La normativa regionale, per molti aspetti efficace, ha il difetto – comune a tutto l'impianto sovraordinato – di fornire indicazioni rispetto a scenari di evento che possiamo definire "statici", ovvero basati su una schematizzazione concettualmente stazionaria come richiamato più volte in precedenza. Se da un lato il quadro di pericolosità che viene richiesto dalla L.R. 41/2018 è sostanzialmente robusto e rispondente a quello che abbiamo definito *uno scenario di allagamento di tipo classico,* dall'altro lato tale quadro non comprende – e non può comprendere – le singolarità che possono accadere nei contesti antropizzati attuali, in cui il reticolo idrografico è stato, e per certi aspetti è tutt'ora, oggetto di modificazioni anche importanti con realizzazione di argini, sottoattraversamenti, tratti interrati e strutture quali ponti e traverse il cui dimensionamento è stato effettuato in ambiti ben diversi dal presente.

Tutto questo viene maggiormente amplificato dal cambiamento climatico, la cui caratteristica saliente in ambito mediterraneo è quella di aumentare la frequenza di eventi estremamente intensi e concentrati e quella di renderli anche stazionari per più ore in ambiti arealmente localizzati. Se da un lato sono forse meno probabili, ma pur sempre possibili, eventi con piogge persistenti per più giorni e distribuite a scala di bacino[16], si presentano con maggiore probabilità quelli eventi di pioggia che mettono in crisi porzioni di reticolo e pongono in seria difficoltà la stabilità arginale e la capacità di deflusso delle sezioni fluviali. A questi nuovi scenari la L.R. 41/2018 appare solo parzialmente offrire delle risposte, in particolare per quello che riguarda le indicazioni per le nuove edificazioni.

[16] Eventi tipo '66 che per molti aspetti sono equiparati a quello che nelle mappe di pericolosità viene identificato con Tr200 anni.

In questa situazione si pone la necessità di introdurre nell'impianto normativo quelle che abbiamo definito aree a pericolosità non nulla *(APNN)*, come aree da cui partire per compiere le successive analisi di dettaglio tese ad indentificare quelle porzioni di territorio che possono subire allagamenti per rotture arginali, o per altri eventi particolari. Appare necessario inoltre indicare con chiarezza, attraverso linee guida o quant'altro, come poter leggere in maniera corretta le mappe che si producono e quindi decifrare comprensibilmente sia i risultati delle modellazioni che i risultati delle analisi di dettaglio; questo al fine che si possa giungere ad una definizione sufficientemente valida degli scenari di rischio possibili e ad una interpretazione dei risultati che sia maggiormente corrispondente a ciò che può accadere.

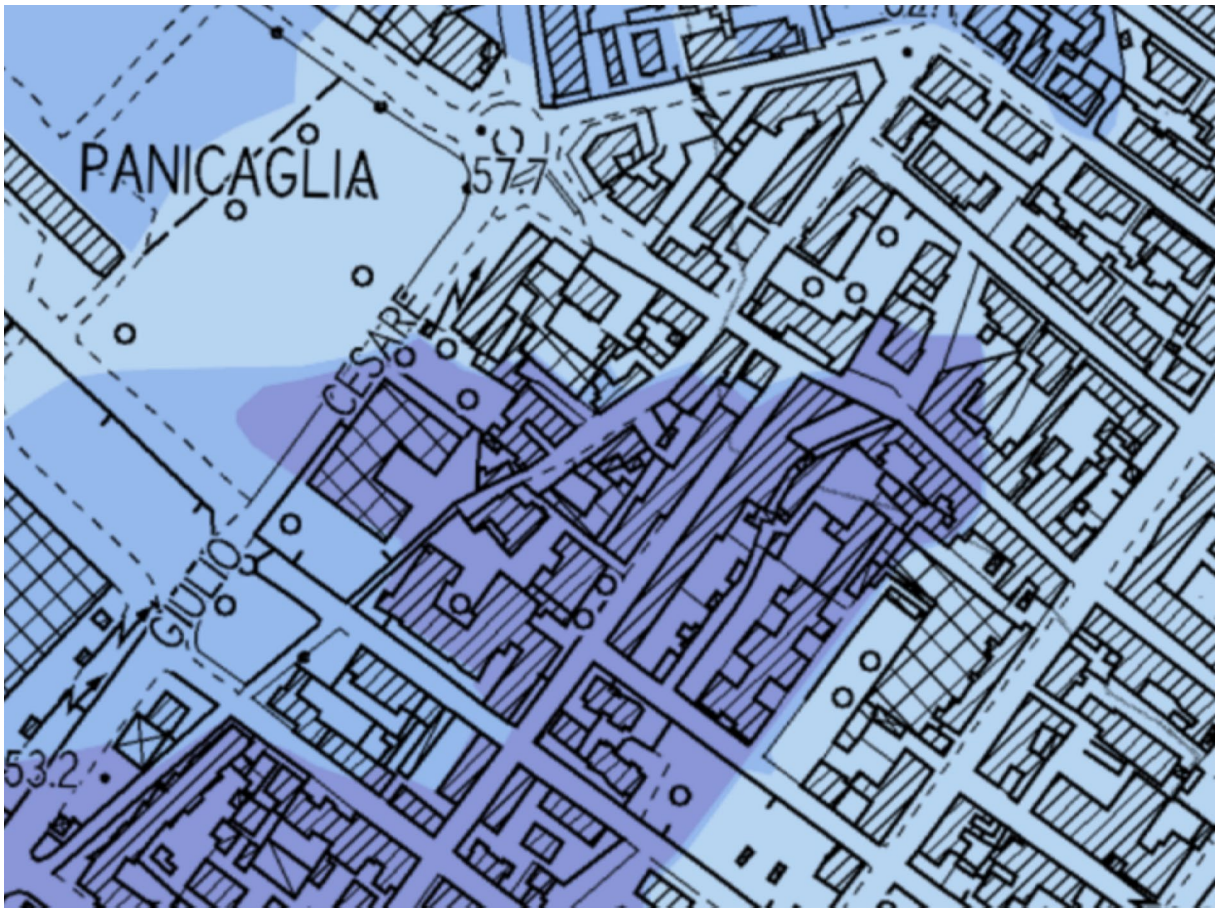
Di seguito vengono suggerite alcune strategie e proposte operative che si ritiene debbano essere valutate per un adeguamento della normativa esistente. Un adeguamento che non solo è rivolto ad indirizzare le possibili nuove edificazioni con l'obbiettivo che siano in grado di sostenere contesti di allagamento complessi, ma che possa anche consentire di inquadrare preventivamente nel contesto comunale od intercomunale gli scenari di evento possibili, con lo scopo di orientare in maniera efficace sia la pianificazione di protezione civile, sia la pianificazione urbanistica, contestualizzandole verso soluzioni efficaci per contrastare e mitigare tali scenari.

GLI SCENARI DI EVENTO, IL RISCHIO CONNESSO ED IL RISCHIO ACCETTABILE

Nella legge regionale 41/2018 lo scenario di evento che viene analizzato e di conseguenza normato è quello connesso con le pericolosità per tempi di ritorno, che nella maggior parte della Toscana viene definito in fasce Tr30 anni (P3), fasce tra Tr30 e Tr200 anni (P2) e fasce sopra Tr200 (P1). A tali contesti viene associata la magnitudo che, come abbiamo visto, viene classificata secondo intervalli velocità/battente. Questo scenario nella maggior parte dei casi, ai fini della pianificazione urbanistica, viene utilizzato senza una ulteriore interpretazione, considerandolo pertanto come unico scenario possibile.

Fig. 5

Allagamento Tr30 in area urbanizzata



Abbiamo visto che ciò non corrisponde a quello che può realmente accadere, si possono verificare dei crolli arginali, dei cedimenti di strutture rigide quali muri di contenimento o simili, possono collassare ponti o ne possono essere ostruite le luci da materiale flottante, possono essere ostruiti tratti interrati dei corsi d'acqua in particolare nei tratti cittadini, etc. Abbiamo visto che una mappa di pericolosità e/o magnitudo, in particolare per un suo utilizzo ai fini del rilascio di permessi, ha bisogno di una preventiva interpretazione e trasposizione. Peraltro la mappa ci fornisce indicazioni in ogni caso molto importanti e utili. Prendiamo ad esempio la figura 5: siamo in ambito cittadino e, se non ci si sofferma solo a vedere cosa rientra o non rientra in P3, è abbastanza chiaro constatare che il corso d'acqua presenta una sezione non sufficiente al transito di eventi frequenti (Tr30 anni), e quindi i conseguenti allagamenti, importanti in tutto il quartiere, sono dovuti probabilmente a questo. E ci dice anche che è un fatto che può accadere abbastanza frequentemente. Questa è una informazione semplice ma strategica per la gestione in fase di evento, per il controllo della manutenzione, per la programmazione di interventi ed anche per la pianificazione urbanistica. In ambiti complessi, ad esempio quelli della pianura Pistoia-prato-Firenze, dove abbiamo sistemi arginati e concomitante presenza di aree P3 si può desumere che la sezione, anche se arginata, non contiene un evento frequente: in questi casi sappiamo bene che un argine in terra sormontato è molto probabile che collassi e quindi questa mappa ci fornisce già due scenari di evento possibili, anche se con ogni probabilità i dati di battente e velocità della modellazione "classica" possono essere molto errati. Quindi l'interpretazione della mappa di pericolosità della L.R. 41/2018, che in ogni caso ci fornisce una buona indicazione di quello che è lo scenario "classico" di allagamento, può dare anche ulteriori informazioni almeno qualitative anche per scenari non modellabili quali il cedimento delle strutture arginali od altri eventi di tipo locale.

L'interpretazione della mappa di pericolosità è importante sia per una sua applicazione diciamo "amministrativa", sia per una lettura per scopi urbanistici, sia come supporto per la definizione di massima degli scenari di evento possibili che, tuttavia, devono essere avvalorati da altri approfondimenti. Tutto concorre ad evidenziare l'area a pericolosità non nulla che è quella in cui non si può escludere la possibilità che si verifichi una alluvione.

Approfondiamo la questione relativa alla possibilità di rottura arginale. Lo scenario, o gli scenari, derivante da questa ipotesi può essere definito attraverso due possibili strade:

- la prima è quella suggerita nell'ambito dei lavori del Comitato (Prof. Enio Paris) in cui gli scenari di allagamento per rottura arginale sono definiti attraverso il metodo proposto, con identificazione su mappa in scala identica a quella utilizzata per la pericolosità e per la magnitudo e relativi possibili battenti;

- la seconda è quella che scaturisce da supporre le aree P1 o le *APSFR* di pianura come scenario possibile comprensivo degli eventi che si possono verificare nell'ambito analizzato, eventualmente raffinato con criteri di tipo morfologico/geomorfologico.[17]

[17] Ad esempio alti morfologici superiori alla quota TR30 e/o Tr200 in alveo e/o superiori alla quota di sommità arginale.

Altri scenari frequenti in caso di eventi intensi e concentrati – che peraltro possono anche non provocare fenomeni di allagamento nel reticolo naturale - sono quelli connessi con i tratti tombati nei contesti urbani, le occlusioni parziali o totali delle sezioni, od anche le cosiddette *pluvial,* ovvero i fenomeni di pioggia particolarmente violenti in ambito cittadino che possono causare allagamenti anche gravi per insufficienza e rigurgito del sistema fognario. Anche questi, nei limiti del possibile ed analizzando se tali fatti sono accaduti con frequenza in passato e quindi esiste la possibilità che si possano riverificare, è opportuno che siano inquadrati come scenario di evento al fine di valutare possibili rimedi.

Fermo restando che gli scenari sopra elencati sono quelli che possiamo indicare come principali è prioritaria l'analisi dei loro possibili effetti, ci possono essere altri fenomeni che si possono verificare in particolari contesti quali ad esempio il trasporto di materiale flottante e/o solido che in particolari situazioni può generare problematiche localizzate molto impattanti, oppure nel reticolo in ambito pede-collinare e collinare allorquando abbiamo una elevata suscettività al verificarsi di fenomeni franosi di neoformazione – che abbiamo visto particolarmente connessi con gli eventi meteoclimatici degli ultimi anni e che sono oggetto di un ulteriore approfondimento da parte del Comitato (vedi lavoro Prof. Casagli) – od altri ancora.

La definizione degli scenari di evento peraltro consente di svolgere con ancora più dettaglio quel passaggio interpretativo delle mappe ricavate dalla modellazione di cui si parlava in precedenza. Inoltre una lettura delle mappe di magnitudo che non si soffermi solo sulla divisione in aree distinte per classi diverse, può essere di notevole aiuto. Se ad esempio torniamo alla figura 3 vista in precedenza si può notare come maggiori velocità e/o battenti per l'evento modellato (alluvione con Tr200 anni) si hanno lungo la strada posta a sud: questa è una informazione che può risultare preziosa sia per lo scenario di evento, che per la protezione civile.

Il poter definire con un certo dettaglio quali sono gli scenari di pericolosità e conseguente rischio, anche se si tratta pur sempre di valutazioni in cui non si può evitare una lettura su base qualitativa e soggettiva e che presentano pur sempre un margine di incertezza, aumenta in primo luogo la consapevolezza di quello che può accadere ed indirizza le azioni di protezione civile, che in tale maniera possono essere già preventivamente pianificate in protocolli operativi.

Inoltre fornisce alla pianificazione urbanistica un contesto che non solo dà indicazioni per la pianificazione del nuovo, ma si presta anche per indirizzare scelte nei sistemi urbanizzati esistenti per interventi di qualificazione e riqualificazione urbana che comprendano anche soluzioni tese a mitigare gli effetti degli eventi possibili; in tale direzione sono molteplici gli esempi sia a scala europea[18], sia a scala nazionale, tra i quali, ad esempio, il quartiere della Darsena di San Paolo a Ferrara[19]. Le valutazioni di scenario devono comprendere, per quanto possibile, la determinazione del possibile danno atteso (vedi l'approfondimento in tal senso del Comitato nell'ambito del lavoro svolto dal Prof. Menduni) poiché quantificare in termini economici le possibili perdite aiuta a comprendere e ad incentivare l'adozione di soluzioni sia alla scala locale, sia in ambiti più ampi (quartiere, agglomerato urbano, etc.) che in molti casi risultano estremamente efficaci per la mitigazione dei danni. In ultimo la conoscenza del danno possibile e la consapevolezza del livello di rischio consentono di poter stabilire quale può essere il rischio accettabile dalla comunità in quel determinato contesto, così da indirizzare gli interventi strutturali, non strutturali e di protezione civile e la pianificazione urbanistica nel suo complesso.

Seguendo l'impostazione della L.R. 41/2018, l'interpretazione delle mappe di pericolosità e magnitudo e la definizione degli scenari di evento potrebbe essere inquadrata nell'impianto degli strumenti conoscitivi richiesti a livello di Piano Strutturale, mentre la definizione del rischio, del danno atteso e del rischio accettabile è un dettaglio che si ritiene si inquadri in maniera efficace nel contesto del Piano Operativo.

[18] Il più conosciuto è quello della municipalità di Copenaghen https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/metadata/case-studies/the-economics-of-managing-heavy-rains-and-stormwater-in-copenhagen-2013-the-cloudburst-management-plan , ma importanti sono anche il Killsberg Park a Stoccarda, la Zollhallen Plaza a Friburgo dove la piazza è stata riprogettata e realizzata al fine di gestire eventi meteorici anche con Tr100, o l'area de La Confluence a Lione.

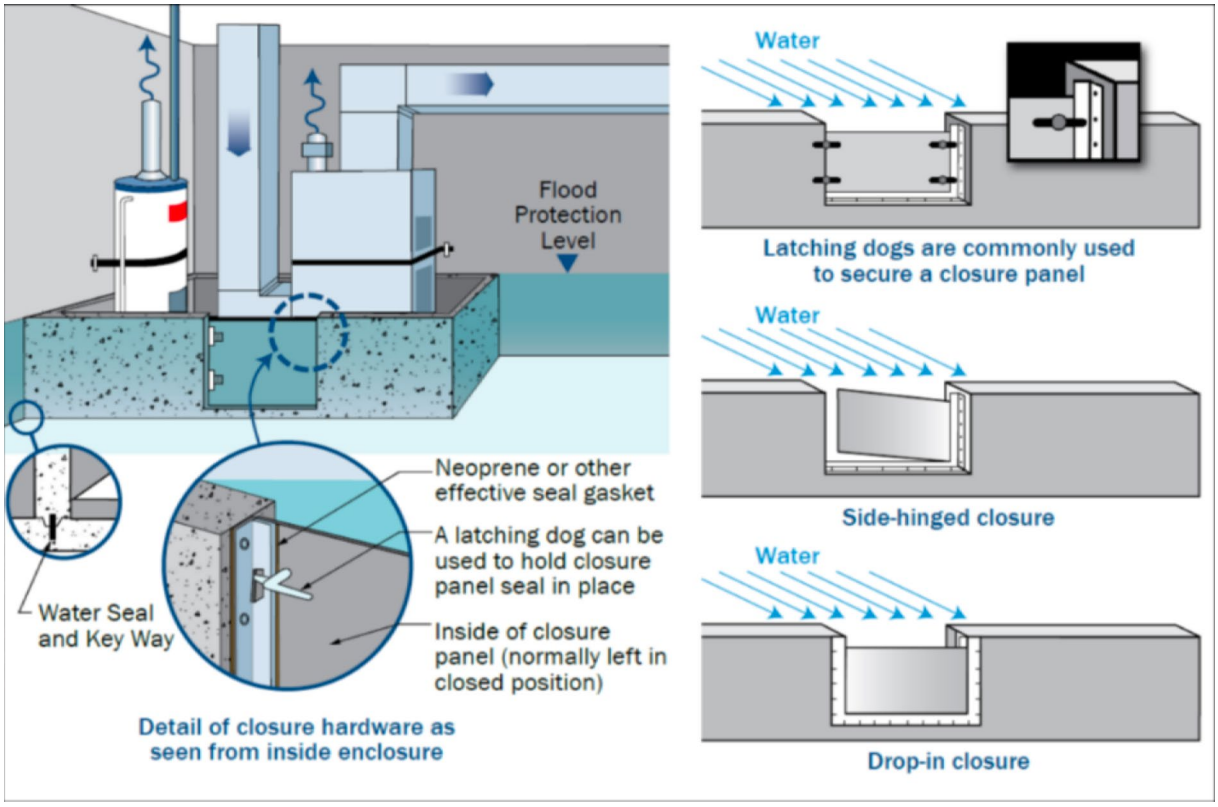
[19] Darsena di San Paolo https://territorio.regione.emilia-romagna.it/urbanistica/pubblicazioni/rigenerare-la-citta-con-la-natura/rebus_ferrara_progetti.pdf/@@download/file

I SISTEMI DI DIFESA LOCALE

Come è possibile con opportuni accorgimenti realizzare edifici in grado di resistere in aree ad alto o altissimo rischio sismico, o, analogamente, considerato che le case possono essere migliorate per renderle resistenti al fuoco in caso di incendi, possiamo costruire anche edifici a prova di inondazione od anche, se possibile, ristrutturare o proteggere edifici o complessi edilizi esistenti allo scopo che possano mitigare in maniera efficace gli effetti di un evento alluvionale (cit. Bignami et al., Springer, 2019).

Fig. 6

Sistemi di floodproofing (FEMA, 2022)



I sistemi di difesa locale, anche estesi in ambiti areali più vasti quali l'agglomerato ed il quartiere, hanno proprio questo obbiettivo e consistono, in estrema sintesi, in tutti quegli accorgimenti e quei particolari costruttivi o di adeguamento degli edificati esistenti, che rendono quest'ultimi in condizioni di sopportare adeguatamente lo scenario o gli scenari di evento stimati ed abbattere di conseguenza in maniera sostanziale il rischio[20]. In questi sistemi si includono le strutture temporanee o semi-temporanee quali paratie mobili, barriere ed altro da porre a difesa di strutture singole o aree più complesse in caso di preannuncio di evento, allorquando si deve proteggere abitati in aree particolarmente a rischio sia per livello di pericolosità che per valore dei beni, ed i sistemi di difesa più propriamente connessi all'edificio, tesi a far sì che sia in grado di sopportare un evento (particolari costruttivi, impermeabilizzazioni, valvole di non ritorno, impianti adeguati e sopra battente, paratie stagne, etc.). Per quanto concerne la pianificazione urbanistica, i nuovi insediamenti o gli insediamenti esistenti, sono proprio questi ultimi sistemi di difesa locale che rivestono una notevole importanza ed efficacia in caso di evento anche estremo. Essi sono di relativamente semplice realizzazione per le nuove edificazioni in quanto la loro previsione nella fase di progetto non comporta costi rilevanti e sicuramente molto meno impattanti di quelli per strutture antisismiche (si parla anche di due ordini di grandezza inferiori). Inoltre tali sistemi sono anche di semplice realizzazione per adeguare gli edifici esistenti in aree a rischio, con abbattimento sostanziale dei possibili danni che, come abbiamo tristemente verificato, sono molto rilevanti. Nella figura n. 6 è riportata, a titolo di esempio, un'immagine tratta dal manuale *"Hurricane and Flood Mitigation Handbook for Public Facilities"* pubblicato dalla FEMA (Federal Emergency Management Agency) nel marzo 2022 che, insieme all'opera precedentemente citata di Bignami et al., fornisce ottime indicazioni in tema di sistemi di difesa dalle alluvioni per gli edifici.

Il ricorrere a queste azioni è una pratica che le nuove disposizioni della L.R. 41/2018 dovranno in ogni caso contenere per le nuove edificazioni e le ristrutturazioni; si ritiene che tali sistemi dovrebbero essere previsti, così come avviene in zone sismiche, per tutte le nuove edificazioni in aree a pericolosità da alluvione a prescindere dal livello di pericolosità o magnitudo e quindi per tutti i territori individuati come a pericolosità non nulla.

Oltre a costituire un indubbio risultato in termini di mitigazione del rischio di alluvione, mettere in opera le difese locali aumenta il valore dell'edificio e consente condizioni più vantaggiose per eventuali assicurazioni. Per la loro realizzazione le amministrazioni locali possono anche valutare delle forme incentivanti che vadano dallo sconto di oneri, a favorevoli condizioni per aumenti di volumetrie, a facilitazioni delle pratiche autorizzative, ad incentivi economici veri e propri in quanto, ad esempio, con la diffusione dei sistemi di difesa locale si andrebbero a diminuire i danni ed i relativi rimborsi a carico degli Enti.

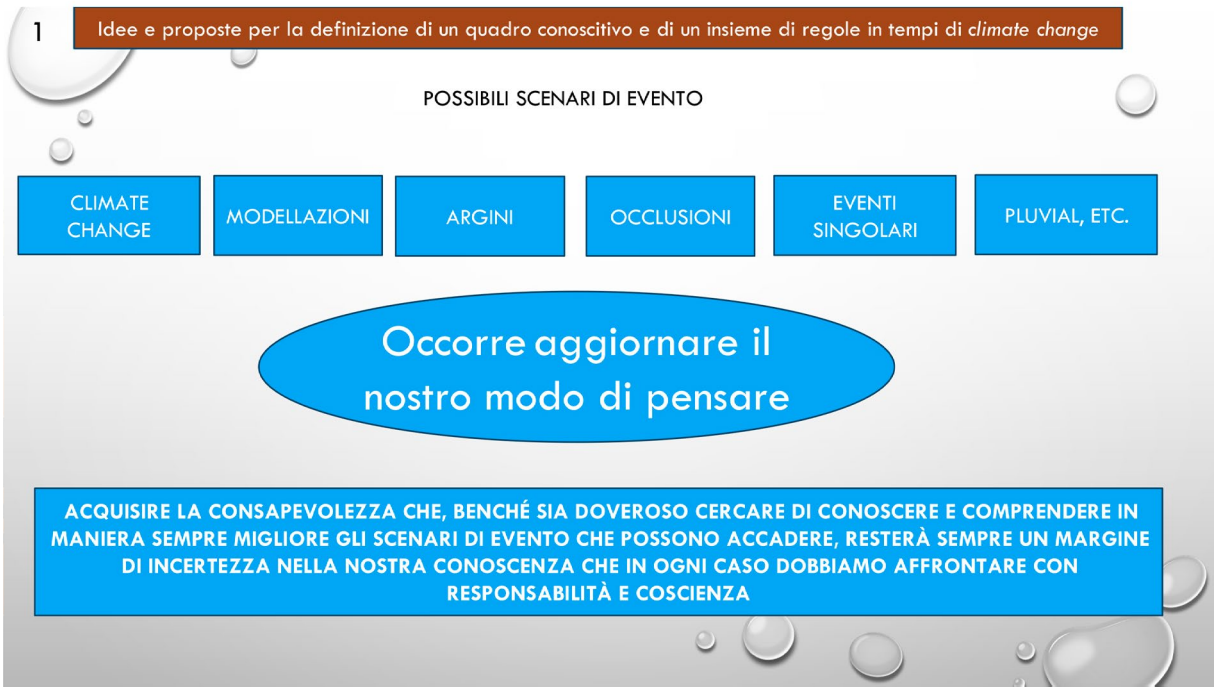
[20] Si stima che per ogni euro investito in tali difese si abbia un rendimento pari a 5,2 euro salvati in caso di evento (European Commission, "Adapting to rising river flood risk in EU under climate change", JRC PESETA IV project – Task 5, 2020)

LA PIANIFICAZIONE DI PROTEZIONE CIVILE

Come accennato poco sopra, conoscere gli scenari che si possono verificare permette di predisporre strategie di azione in fase di evento pianificate preventivamente a tavolino, con indubbi vantaggi in termini di efficacia e di efficienza del sistema. Inoltre consente anche di impostare azioni, quali la predisposizione ex-ante di sistemi di allagamento controllato, la posa di barriere impermeabili preventivamente acquisite ed altro, alla scala non solo locale ma che possono avere efficacia a scale di quartiere o di agglomerato urbano. Inoltre conoscere i punti sensibili permette di poterli presidiare e di poter di conseguenza rapidamente attivare azioni di mitigazione. Sviluppare ulteriormente l'applicazione di protocolli operativi alla scala di quartiere, contestualizzandoli con lo scenario che si può verificare e coinvolgendo in maniera efficace la popolazione, aumenterebbe la consapevolezza comune su quello che può succedere e porterebbe ad acquisire una maggiore responsabilità da parte di cittadini ed enti.

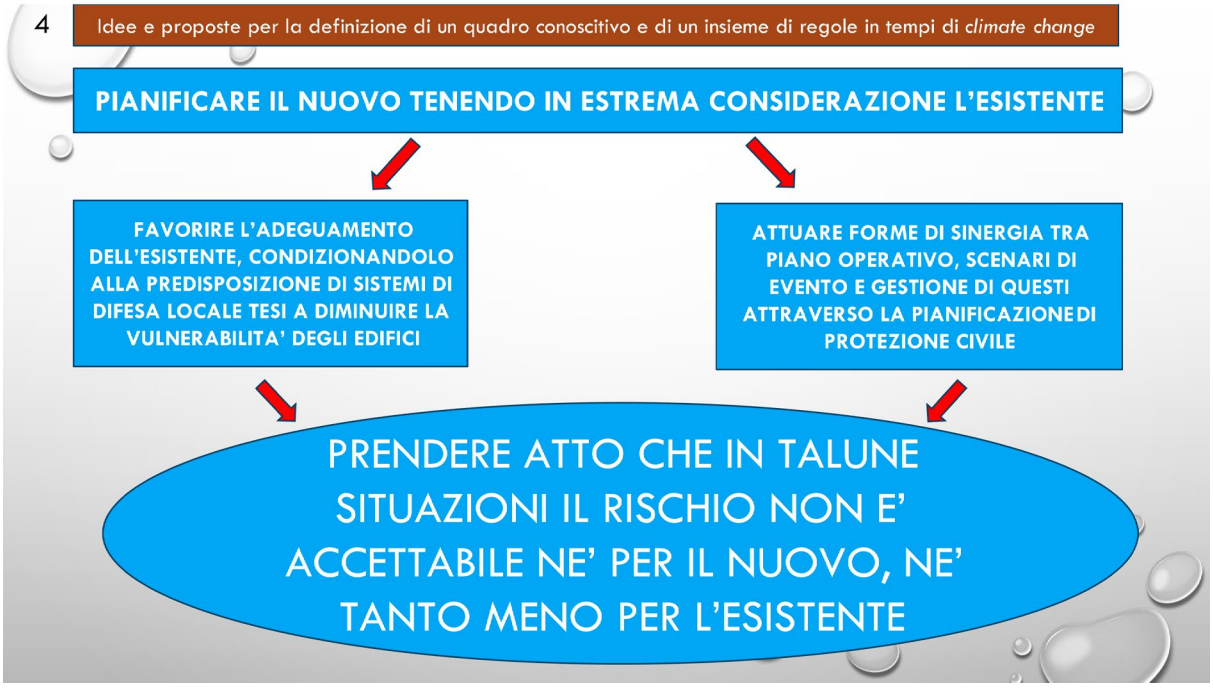
IDEE E PROPOSTE PER UN ADEGUAMENTO DELL'IMPIANTO NORMATIVO

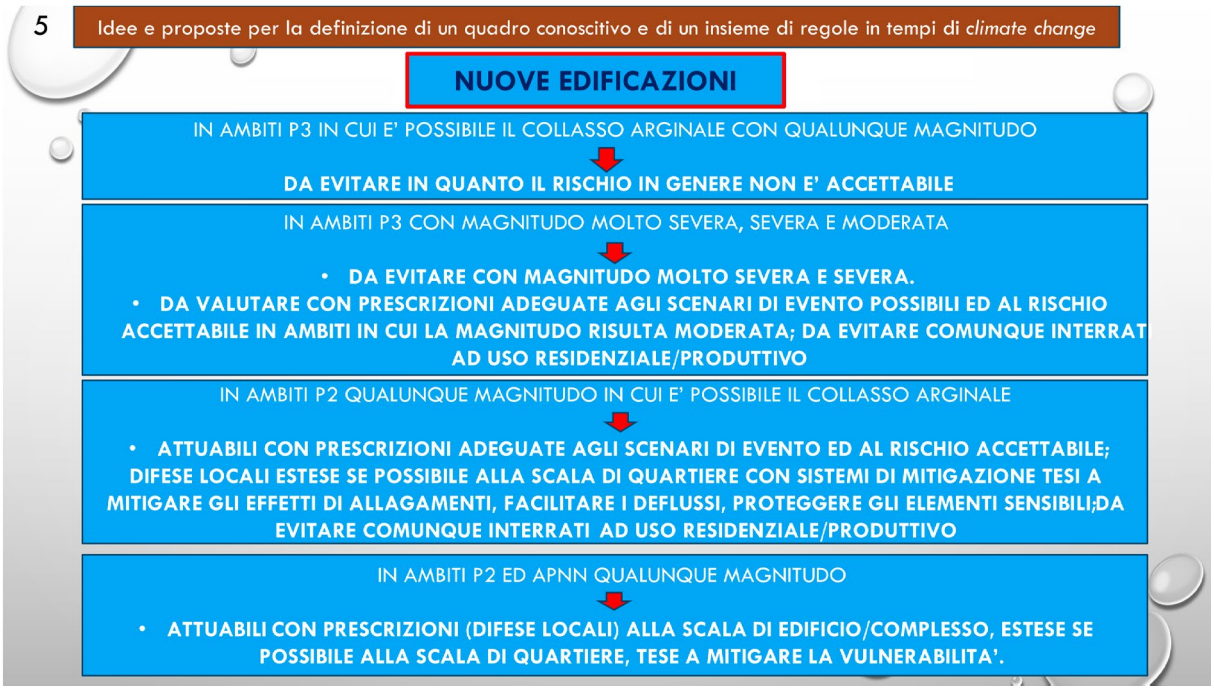
Cercando di sintetizzare tutto quanto detto in precedenza, negli schemi seguenti sono riassunti sia i presupposti che sono scaturiti dal lavoro della Commissione Scientifica, che le possibili proposte che si ritengono debbano essere prese in considerazione per l'adeguamento della normativa esistente, in particolare per quel che riguarda la problematica della pericolosità e del rischio alluvionale.

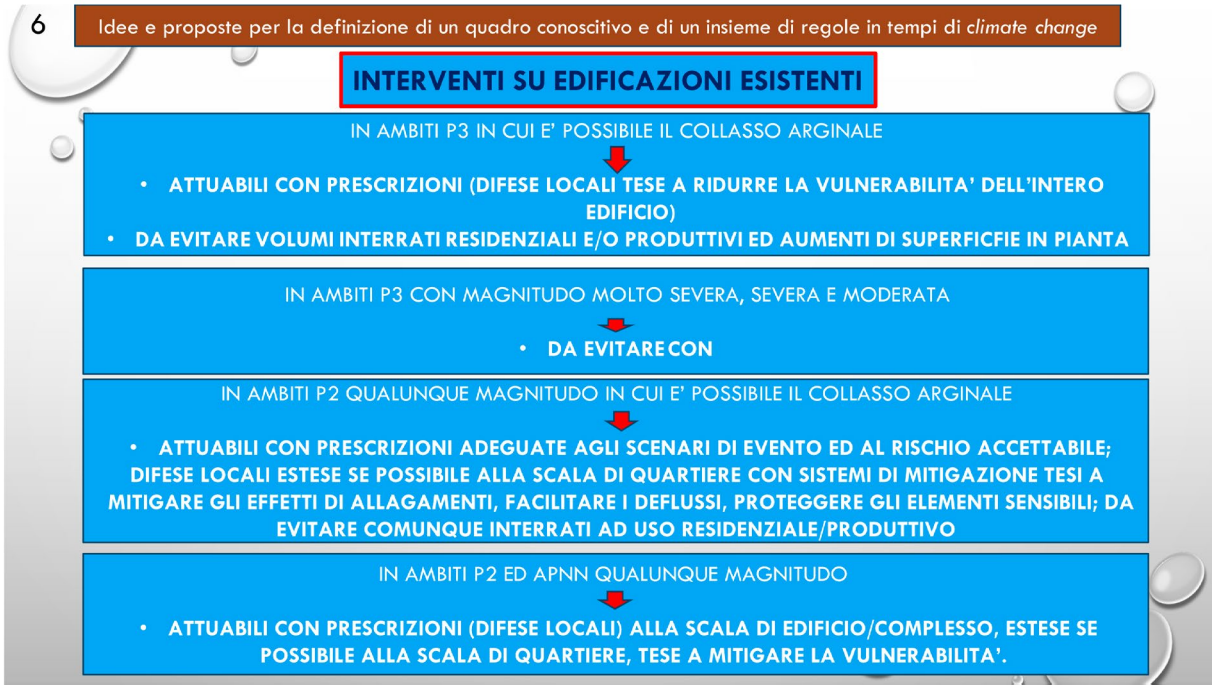



2
Idee e proposte per la definizione di un quadro conoscitivo e di un insieme di regole in tempi di *climate change*
INTERPRETARE LE MAPPE E RAGIONARE PER SCENARI DI EVENTO
• COMPRENDERE IL RISCHIO
• CONOSCERE IL RISCHIO RESIDUO
• DETERMINARE PER QUANTO POSSIBILE IL DANNO ATTESO
• VALUTARE IL RISCHIO CHE PUO' ESSERE RITENUTO ACCETTABILE


3
Idee e proposte per la definizione di un quadro conoscitivo e di un insieme di regole in tempi di *climate change*
IDENTIFICARE LE AZIONI DI MITIGAZIONE PER NUOVO ED ESISTENTE
• AZIONI DI MITIGAZIONE DELLA PERICOLOSITA'
• AZIONI DI DIFESA LOCALE
• PENSARE ALLA SCALA DI AMBITO/QUARTIERE/AREA
• AZIONI TESE AD ADEGUARE LE NOSTRE CITTA'
• PROTEZIONE CIVILE


4
Idee e proposte per la definizione di un quadro conoscitivo e di un insieme di regole in tempi di *climate change*
PIANIFICARE IL NUOVO TENENDO IN ESTREMA CONSIDERAZIONE L'ESISTENTE
FAVORIRE L'ADEGUAMENTO DELL'ESISTENTE, CONDIZIONANDOLO ALLA PREDISPOSIZIONE DI SISTEMI DI DIFESA LOCALE TESI A DIMINUIRE LA VULNERABILITA' DEGLI EDIFICI
ATTUARE FORME DI SINERGIA TRA PIANO OPERATIVO, SCENARI DI EVENTO E GESTIONE DI QUESTI ATTRAVERSO LA PIANIFICAZIONEDI PROTEZIONE CIVILE
PRENDERE ATTO CHE IN TALUNE SITUAZIONI IL RISCHIO NON E' ACCETTABILE NE' PER IL NUOVO, NE' TANTO MENO PER L'ESISTENTE


5
Idee e proposte per la definizione di un quadro conoscitivo e di un insieme di regole in tempi di *climate change*
NUOVE EDIFICAZIONI
IN AMBITI P3 IN CUI E' POSSIBILE IL COLLASSO ARGINALE CON QUALUNQUE MAGNITUDO
DA EVITARE IN QUANTO IL RISCHIO IN GENERE NON E' ACCETTABILE
IN AMBITI P3 CON MAGNITUDO MOLTO SEVERA, SEVERA E MODERATA
• DA EVITARE CON MAGNITUDO MOLTO SEVERA E SEVERA.
• DA VALUTARE CON PRESCRIZIONI ADEGUATE AGLI SCENARI DI EVENTO POSSIBILI ED AL RISCHIO ACCETTABILE IN AMBITI IN CUI LA MAGNITUDO RISULTA MODERATA; DA EVITARE COMUNQUE INTERRAT AD USO RESIDENZIALE/PRODUTTIVO
IN AMBITI P2 QUALUNQUE MAGNITUDO IN CUI E' POSSIBILE IL COLLASSO ARGINALE
• ATTUABILI CON PRESCRIZIONI ADEGUATE AGLI SCENARI DI EVENTO ED AL RISCHIO ACCETTABILE; DIFESE LOCALI ESTESE SE POSSIBILE ALLA SCALA DI QUARTIERE CON SISTEMI DI MITIGAZIONE TESI A MITIGARE GLI EFFETTI DI ALLAGAMENTI, FACILITARE I DEFLUSSI, PROTEGGERE GLI ELEMENTI SENSIBILI;DA EVITARE COMUNQUE INTERRATI AD USO RESIDENZIALE/PRODUTTIVO
IN AMBITI P2 ED APNN QUALUNQUE MAGNITUDO
• ATTUABILI CON PRESCRIZIONI (DIFESE LOCALI) ALLA SCALA DI EDIFICIO/COMPLESSO, ESTESE SE POSSIBILE ALLA SCALA DI QUARTIERE, TESE A MITIGARE LA VULNERABILITA'.


6
Idee e proposte per la definizione di un quadro conoscitivo e di un insieme di regole in tempi di *climate change*
INTERVENTI SU EDIFICAZIONI ESISTENTI
IN AMBITI P3 IN CUI E' POSSIBILE IL COLLASSO ARGINALE
• ATTUABILI CON PRESCRIZIONI (DIFESE LOCALI TESE A RIDURRE LA VULNERABILITA' DELL'INTERO EDIFICIO)
• DA EVITARE VOLUMI INTERRATI RESIDENZIALI E/O PRODUTTIVI ED AUMENTI DI SUPERFICFIE IN PIANTA
IN AMBITI P3 CON MAGNITUDO MOLTO SEVERA, SEVERA E MODERATA
• DA EVITARE CON
IN AMBITI P2 QUALUNQUE MAGNITUDO IN CUI E' POSSIBILE IL COLLASSO ARGINALE
• ATTUABILI CON PRESCRIZIONI ADEGUATE AGLI SCENARI DI EVENTO ED AL RISCHIO ACCETTABILE; DIFESE LOCALI ESTESE SE POSSIBILE ALLA SCALA DI QUARTIERE CON SISTEMI DI MITIGAZIONE TESI A MITIGARE GLI EFFETTI DI ALLAGAMENTI, FACILITARE I DEFLUSSI, PROTEGGERE GLI ELEMENTI SENSIBILI; DA EVITARE COMUNQUE INTERRATI AD USO RESIDENZIALE/PRODUTTIVO
IN AMBITI P2 ED APNN QUALUNQUE MAGNITUDO
• ATTUABILI CON PRESCRIZIONI (DIFESE LOCALI) ALLA SCALA DI EDIFICIO/COMPLESSO, ESTESE SE POSSIBILE ALLA SCALA DI QUARTIERE, TESE A MITIGARE LA VULNERABILITA'.

Strategie e proposte operative per la revisione della normativa inerente i dissesti di versante

Il regolamento regionale a cui si fa attualmente riferimento per determinare la pericolosità da dissesti geomorfologici (pericolosità geologica nel regolamento) è il "Regolamento 5R", approvato appunto con Decreto del Presidente della Giunta Regionale del 30 gennaio 2020, N. 5 /R, in attuazione dell'art. 104 della L.R. 65/2014 "Norme per il governo del territorio". Il regolamento rappresenta la più recente evoluzione del percorso svolto dalla Regione al fine di consentire un governo del territorio ed una pianificazione urbanistica in armonia con le dinamiche fisiche del territorio regionale e con le problematiche che questo presenta sotto l'aspetto idrogeologico. Il regolamento, per gli aspetti connessi con le dinamiche geomorfologiche, rappresenta il doveroso passaggio tra le mappe e le regole a scala distrettuale - che hanno una natura comprendente giocoforza più regioni ed una scala di dettaglio che non può raggiungere la scala comunale – e l'utilizzo che di queste si può fare per indirizzare la pianificazione urbanistica ed il governo del territorio a scala regionale.

Come è noto, la Regione Toscana è compresa in tre distretti idrografici, con circa il 90% del territorio compreso nel distretto dell'Appennino Settentrionale. I Piani di Assetto Idrogeologico (PAI) sono lo strumento di pianificazione in cui le autorità distrettuali individuano la pericolosità da dissesti di natura geomorfologica. La pericolosità viene solitamente rappresentata in quattro classi, da molto elevata a bassa, basandosi in linea di massima sullo stato di attività dei dissesti rilevati; tuttavia, non avendo indicazioni precise a livello nazionale, i vari distretti adottano criteri per la classificazione della pericolosità che possono differire da distretto a distretto ed anche, vedi il caso dell'Appennino Centrale, da Regione a Regione.

Ai fini della pianificazione urbanistica, per la definizione della pericolosità da "frana", le direttive allegate al Regolamento 5R indicano che gli strumenti a cui fare riferimento come supporto di base sono i piani di bacino/distretto (oltre alle informazioni delle banche dati regionali e ai dati di bibliografia esistenti); su tali informazioni di base vengono svolte analisi ed approfondimenti che, secondo le norme distrettuali e la prassi comunemente e proficuamente utilizzata dalle amministrazioni comunali e gli Uffici del Genio Civile, vengono condivise con il distretto. Da questo scaturisce una cartografia della pericolosità "geologica" ai sensi del 5R, espressa in quattro classi in maniera analoga alla pericolosità distrettuale, che costituisce la mappa di riferimento per la pianificazione comunale.

Nell'ambito delle problematiche di versante connesse con il *climate change*, il lavoro del Comitato Tecnico Scientifico si è orientato nel cercare di rappresentare scenari di suscettibilità da frana, con particolare attenzione al verificarsi di fenomeni di neo-formazione connessi con gli eventi intensi e concentrati che sono rappresentativi di questa fase meteo-climatica, oltre che cercare di definire il danno ed il rischio a questi connesso. In tal senso la suscettibilità da frana[21] non deve essere considerata una mappa in cui viene rilevata la presenza/assenza di un'area in dissesto, sia questa in stato attivo o potenzialmente instabile, ma come una cartografia in cui vengono definite le aree che presentano un insieme di fattori fisici che risultano predisponenti al verificarsi di frane lente, rapide e di crolli e ribaltamenti.

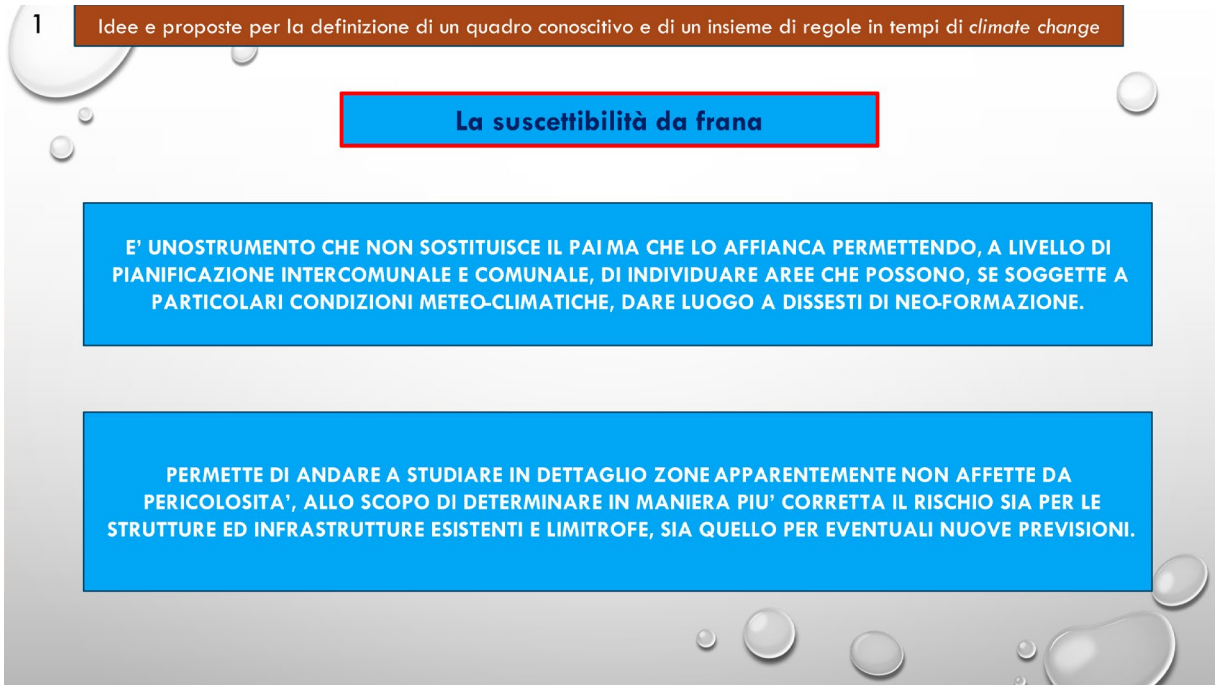
Questo strumento si rileva particolarmente utile per i dissesti di neo-formazione che appunto si verificano in versanti apparentemente stabili, ma che, se sollecitati da particolari forzanti meteo-climatiche (eventi intensi e concentrati strettamente connessi con il *climate change*), possono dare luogo in particolare a frane rapide e crolli.

La suscettibilità, pur contenendo in sé un certo grado di incertezza, ci consente di porre attenzione proprio su queste porzioni di territorio che possono essere oggetto di dissesti e che tuttavia sfuggono ad una analisi di tipo classico, come quella che viene svolta nei PAI e nei piani operativi ai sensi del 5R/2020. Pertanto la suscettibilità da frana, che il gruppo di lavoro guidato dal Prof. Casagli e dalla Prof.ssa Tofani sta predisponendo, rappresenta un ottimo ulteriore strumento di base a cui fare riferimento sia per le previsioni urbanistiche[22] ed anche per andare ad individuare il possibile rischio a cui sono soggette in particolare le infrastrutture viarie che spesso sono ubicate in questi versanti predisponenti.

[21] La suscettibilità è stata rappresentata, in maniera molto opportuna, secondo una suddivisone in tre tipologie ed ovvero frane lente, frane rapide e crolli/ribaltamenti.

[22] Si deve in ogni caso tenere presente che le aree che possono dare luogo a fenomeni di neo-formazione non presentano in genere condizioni fisiche che consentano in maniera agevole la realizzazione di insediamenti, tuttavia questi possono essere ubicati in prossimità di tali zone e quindi il dettaglio sul loro stato di equilibrio appare in ogni caso necessario.

In maniera analoga a quanto fatto per le alluvioni, lo schema seguente riassume quanto sopra esposto.



Bibliografia

- Agenzia Europea dell'Ambiente, *"Cambiamento climatico ed alluvioni in Europa"*, EEA Briefing 01 2005

- Astrologo Federica, Tesi di Laurea, *"Il danno da dissesto idrogeologico in Italia: analisi dei fattori predisponenti"*, Politecnico di Milano - Scuola di Ingegneria Civile, Ambientale e Territoriale, Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio – Anno Accademico 2020/2021

- Bignami et al., *"Flood Proofing in Urban Areas"*, Springer, 2019

- Commissione Europea, *"Relazione della commissione al parlamento europeo e al consiglio sull'attuazione della strategia dell'UE di adattamento ai cambiamenti climatici - COM/2018/738 final"*, EUR-Lex - 52018DC0738, 2018

- Comune di Modena, VT1, Limitazioni alle trasformazioni – *"Vincoli, rispetti e tutele derivanti dalla pianificazione sovraordinata e di settore"*, Delibera CC n. 46 del 22/06/2023

- Comune di Modena, PUG Piano Urbanistico Generale, *"DU1 Norme"*, Delibera CC n. 46 del 22/06/2023

- Europeam Commission, *"Adapting to rising river flood risk in the EU under climate change"*, JRC PESETA IV project – Task 5, 2020

- European Commission, *"Impact of climate change on floods: Survey findings and possible next steps to close the knowledge and implementation gap"*, October 2021

- European Environment Agency, *"Climate change adaptation and disaster risk reduction in Europe"*, EEA Report No 15/2017

- European Environment Agency, *"The European environment state and outlook 2020 Chapter 05_SOER2020. Land and soil"*,

- European Environment Agency, *"The European environment state and outlook 2020 – Chapter 07. Climate change"*

- European Environment Agency, *"Floodplains: a natural system to preserve and restore"*, EEA Report No 24/2019

- FEMA (Federal Emergency Management Agency, United States), *"Hurricane and Flood Mitigation Handbook for Public Facilities"*, marzo 2022

- International Commission for the Protection of the Rhin (ICPR)," *Assessment Rhine 2020"*, IKSR CIPR ICBR

- International Commission for the Protection of the Rhin (ICPR), *"Non Structural Flood Plain Management"*, 2002

- International Commission for the Protection of the Rhin (ICPR), *"International flood risk management plan for the International River Basin District "Rhine"*, Second cycle of the FD (period 2022-2027) - Final version: December 2021

- International Commission for the Protection of the Rhin (ICPR), *"Rhine 2040 - The Rhine and its Catchment: Sustainably Managed and Climate-resilient"* 16th Rhine Ministerial Conference February 13, 2020, Amsterdam

- ISPRA, *"Dissesto idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio - Edizione 2021",* Rapporti 356/2021, ISBN: 978-88-448-1085-6

- Ministere de l'Amenagement du Territoire et de l'Environnement, *"Plans de prevention des risques naturels – Risques d'inondation"*, 1999

- Ministere de la Transition Ecologique , de l'Energie, du Climat et de le Prevention des Risques, *"Guida methodologique pour l'elaboration des plans de prevention des risques d'inondation par debordement de cours d'eau"*, Edition septembre 2024

- D. Molinari, S. Menoni, G. T. Aronica, F. Ballio, N. Berni, C. Pandolfo, M. Stelluti, and G. Minucci, *"Ex post damage assessment: an Italian experience"*, EGU Europena Geoscince Union

- Pogliani, A., Bertulessi, M., Bignami, D. F., Boschini, I., Vecchio, M. Del, Menduni, G., Molinari, D., & Zambrini, F." *A Zero-Order Flood Damage Model for Regional-Scale Quick Assessments"*,. Water, 1–17(2021)

- Prando Elena, Tesi di Laurea, *"Analisi della suscettività da alluvione tramite ensemble of bagged decision trees. Il caso della Regione Lombardia"*, Politecnico di Milano - Scuola di Ingegneria Civile, Ambientale e Territoriale, Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio – Anno Accademico 2022/2023

- Regione Campania, "Modifiche alla legge regionale 22 dicembre 2004, n. 16 recante Norme sul Governo del territorio", Legge Regionale 29 aprile 2024, n. 5.

- Regione Campania, Regolamento del 4 agosto 2011, n. 5 *"Regolamento di attuazione per il governo del territorio"*

- Regione Emilia-Romagna, *"Liberare il suolo - 20 casi studio per la resilienza urbana - Progetti e processi di adattamento negli interventi di rigenerazione"*, SOS4 Life, 2019

- Regione Emilia-Romagna, *"Disciplina regionale sulla tutela e l'uso del territorio"*, Legge Regionale 21 dicembre 2017, n. 24

- Regione Emilia-Romagna, *"Deliberazione di Giunta regionale n. 1300 del 1/08/2016 - Prime disposizioni regionali concernenti l'attuazione del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni nel settore urbanistico, ai sensi dell'art. 58 dell'elaborato n. 7 (Norme di attuazione) e dell'art. 22 elaborato n. 5 (Norme di attuazione) del Progetto di Variante al PAI e al PAI Delta adottato dal Comitato Istituzionale Autorita' di Bacino del fiume Po con deliberazioni n. 5/2015"*, Delibera di Giunta Regionale n. 1300 del 1 agosto 2016

- Regione Lombardia, *"Modifiche ai criteri e indirizzi per la definizione della componente geologica idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell'art. 57 della l.r. 11 marzo 2005, n. 12 approvati con d.g.r. 2616/2011 e integrati con d.g.r. 6738/2017"* D.g.r. 26 aprile 2022 - n. XI/6314, B.U. Serie Ordinaria n. 19 - Martedì 10 maggio 2022

- Regione Lombardia, *"Legge per il governo del territorio"* L.R. 11 marzo 2005, n. 12

- Regione Lombardia, *"Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell'art. 57 della l.r. 11 marzo 2005, n. 12"*, DGR 30 novembre 2011 n. IX/2016

- Regione Veneto, *"Norme per il governo del territorio e in materia di paesaggio"* L.R. 23 aprile 2004, n.11

- Regione Veneto, *"Valutazione di compatibilità idraulica per la redazione degli strumenti urbanistici"*, Dgr n. 2948 del 6 ottobre 2009

Il Comitato Tecnico Scientifico è stato affiancato da una segreteria tecnica-operativa composta dai seguenti dipendenti regionali:

- **Dott.ssa Ing. Beatrice Mengoni**, coordinamento
- **Dott. Geol. Pierluigi Ballerini,** supporto all'attività "Mappatura della suscettibilità e la valutazione del rischio da frana" del Prof. Nicola Casagli
- **Dott. Ing. Francesco Baroni,** supporto all'attività "Metodologia per la valutazione degli scenari di rischio e danno connessi ad eventi meteorologici" del Prof. Giovanni Menduni
- **Dott.ssa Ing. Giulia Bellesi,** supporto all'attività "Progettazione di opere per la mitigazione del rischio idraulico nell'adattamento ai cambiamenti climatici" del Prof. Fabio Castelli
- **Dott. Ing. Michele Catella,** supporto all'attività "Un nuovo approccio per la valutazione del rischio da collasso arginale" del Prof. Enio Paris
- **Dott. Ing. Vieri Gonnelli,** supporto all'attività "Un nuovo approccio per la valutazione del rischio da collasso arginale" del Prof. Enio Paris
- **Dott. Geol. Fernando Manzella,** supporto all'attività "Progettazione di opere per la mitigazione del rischio idraulico nell'adattamento ai cambiamenti climatici" del Prof. Fabio Castelli
- **Dott.ssa Rosaria Montani,** supporto all'attività "Un nuovo approccio per la manutenzione delle opere" del Dott. Arch. Fabio Zappalorti
- **Dott.ssa Laura Nistri,** supporto all'attività "Indirizzi connessi all'urbanistica ai fini dell'adattamento al cambiamento climatico" del Dott. Geol. Marcello Brugioni
- **Dott. Geol. Vania Pellegrineschi,** supporto all'attività "Mappatura della suscettibilità e la valutazione del rischio da frana" del Prof. Nicola Casagli
- **Dott.ssa Valentina Luccini,** supporto tecnico-amministrativo delle attività del Comitato
- **Dott.ssa Elisa Perini,** supporto tecnico-amministrativo delle attività del Comitato

Regione Toscana



Meno Rischio in Toscana

Nuove soluzioni contro alluvioni e frane

www.menorischiointoscana.it