



RISCHIO IDROLOGICO E PROTEZIONE IDRAULICA DEL TERRITORIO

RENZO Rosso
Politecnico di Milano

INDICE

1. Generalità	3
2. L'identificazione del rischio	6
2.1. I dati storico-documentali	6
2.2. Nuove catastrofi	7
2.3. La complessità del contesto territoriale	12
3. La valutazione del rischio	14
3.1. I criteri di valutazione del rischio idrologico-idraulico	14
3.2. Metodi di valutazione della pericolosità idrologica e idraulica	16
Generalità	16
Valutazione delle portate di piena	18
Valutazione del volume di piena	22
Valutazione dell'area inondabile	24
Verifiche di compatibilità idraulica	24
4. Le azioni di mitigazione	28
4.1. Generalità	28
4.2. La progettazione idrologica e idraulica degli interventi strutturali di mitigazione	29
4.2. La progettazione idrologica e idraulica delle azioni non strutturali di mitigazione	30
5. Osservazioni	34
Riferimenti Bibliografici	35

Negli ultimi anni il territorio italiano manifesta una crescente vulnerabilità nei confronti del rischio idrogeologico. Questo capitolo introduttivo fornisce un quadro generale del processo di identificazione e valutazione del rischio idrologico-idraulico, quale combinazione tra pericolosità naturale, esposizione e vulnerabilità dei siti fluviali e ripari. Vengono altresì delineate le metodologie di mitigazione, attuabili sia con metodi strutturali che non strutturali.

1. Generalità

Il rischio idrologico comprende sia il rischio alluvionale, legato alle esondazioni torrentizie e fluviali, sia il rischio di dissesto, vuoi di natura localizzata che di tipo diffuso. Essi sono dovuti agli effetti delle sollecitazioni idrometeorologiche sulla superficie terrestre. Questo capitolo è dedicato a una disamina e a un inquadramento generale dei problemi legati all'analisi e alla mitigazione del primo tipo di rischio, indicato in generale come rischio alluvionale o **rischio idrologico-idraulico**. Nei successivi capitoli verranno trattati in modo più dettagliato i diversi aspetti della problematica qui delineata.

La questione del rischio alluvionale va affrontata a diverse scale spaziali, comprese tra la dimensione caratteristica dei quartieri urbani soggetti ad inondazione per insufficienza delle reti pluviali (pochi ettari) e quella del bacino sotteso dai corsi d'acqua (da pochi a migliaia chilometri quadrati). Le scale temporali sono dettate dalla scala spaziale del problema e, nello stesso tempo, dipendono dalle scale caratteristiche dei fenomeni meteorologici e climatici. Le fenomenologie da studiare sono quindi assai complesse e numerosi aspetti scientifici sono tuttora inesplorati. Per esempio, una corretta valutazione della sollecitazione meteorica richiederebbe una conoscenza dei campi di precipitazione meno approssimativa di quella oggi disponibile; gli effetti delle fluttuazioni spaziali dei processi che controllano la formazione delle piene sono tuttora descrivibili in modo abbastanza rudimentale; e, ancora, l'impatto delle azioni antropiche sull'ambiente fluviale, che viene talvolta evidenziato dagli effetti di risonanza osservati in seguito a eventi apparentemente non eccezionali dal punto di vista idrometeorologico, risente talora di una impostazione dilettantesca del problema scientifico, quando si entra nel merito di metodologie e modelli generalizzabili o, almeno, estendibili ad ambiti più vasti del singolo caso di studio.

Tuttavia, nel corso degli ultimi anni, lo sforzo scientifico nella direzione di una migliore conoscenza dei fenomeni alluvionali è stato massiccio e ha prodotto nuove metodologie e nuovi modelli previsionali, migliorando sì il bagaglio conoscitivo a livello fenomenologico, ma creando anche una certa confusione negli utilizzatori. Se, per esempio, la crescente accessibilità di strumenti informatici avanzati, quali i Sistemi Informativi Geografici o Territoriali, ha reso possibile lo sviluppo di modelli assai più dettagliati e raffinati rispetto al tradizionale approccio idrologico globale, questi stessi strumenti si prestano talvolta a mascherare una certa incapacità di interpretare i complessi fenomeni in gioco; la conseguenza è un'artificiosa e, talvolta, pericolosa sensazione di onnipotenza previsionale, che si rivela, in realtà, del tutto virtuale. Allo stesso modo, l'impiego dei sensori remoti ha dilatato la visione dei sistemi idrografici e dei processi idrometeorologici, aprendo una finestra dall'enorme potenziale di sviluppo conoscitivo e previsionale; ma accade anche che queste belle immagini vengano introdotte disinvoltamente *in ingresso* a "scatole nere", che forniscono *in uscita* sistemi di supporto alle decisioni spesso carenti sotto l'aspetto fenomenologico.

Per comprendere il potenziale, positivo e negativo, delle nuove tecnologie e dei nuovi strumenti di modellazione dei processi idrologici, valga l'esempio dell'ormai consolidato impiego dell'analisi probabilistica e dell'inferenza statistica in campo idrologico. Il concetto di periodo di ritorno viene ormai largamente applicato per valutare la vulnerabilità idrologica e permette di stabilire una relazione fondamentale tra rischio, danno atteso e affidabilità del sistema in esame. In alcuni casi, si dimentica però di validare le ipotesi necessarie a definirne



correttamente la stima e si trascura, soprattutto, l'incertezza con cui tale stima viene determinata, proponendo fini argomentazioni su eventi centennali e millenari valutati in base a campioni ventennali, che a loro volta devono scontare spesso errori di misura non proprio trascurabili (del 20:-50% e più nel caso delle portate di piena); e, ancora, si dimentica talvolta di valutare il rischio che un evento estremo si possa verificare nell'arco dei prossimi dieci anni.

In questo contesto, il valore scientifico e l'efficacia previsionale dei nuovi strumenti conoscitivi e previsionali sono proporzionali allo sforzo con cui si superano gli steccati disciplinari e si ricerca una sintesi tra le diverse angolazioni del problema (climatica, meteorologica, idrologica, geomorfologica, geopedologica e urbanistica) indispensabili a comprendere fenomeni dinamici di natura complessa, quali le piene fluviali; e, soprattutto, a valutarne correttamente il loro impatto. L'ampliamento della base fisica su cui fondare la descrizione e la previsione dei fenomeni idrologici indica infatti l'unica via per un effettivo miglioramento della nostra capacità di comprendere **quando, dove, come e perché** le intemperanze del clima e della meteorologia metteranno alla prova il sistema idrografico e il territorio limitrofo; ed, insieme, di comprendere come il sistema idrografico e il territorio risponderanno nel corso di tale prova.

La **percezione**, la **previsione**, la **prevenzione** e il **preannuncio** sono i quattro fondamentali aspetti del rischio alluvionale. A sua volta, la prevenzione tramite gli interventi di mitigazione vede coesistere due filosofie, apparentemente molto diverse, ma non del tutto inconciliabili. La prima comporta la predisposizione di interventi strutturali, che, sotto il nome storico (e generico) di opere idrauliche, comportano una modifica del reticolo idrografico e dei versanti, tramite sistemazioni di tipo localizzato o distribuito lungo la rete idrografica. Tali interventi comprendono anche la manutenzione straordinaria degli alvei e delle opere esistenti in ambito fluviale, la bonifica dei versanti interessati alla risulta prodotta dalla realizzazione di infrastrutture civili e, più in generale, la bonifica degli asservimenti fluviali; questi sono stati spesso dimensionati, in un passato anche recente, a partire da una scarsa conoscenza (teorica e sperimentale) del rischio idraulico e, talvolta, progettati con una disinvolta valutazione dei problemi idrologici. Una seconda filosofia mira all'intervento di tipo non strutturale, abbracciando un largo ventaglio di opzioni, dagli interventi di manutenzione ordinaria e di polizia fluviale, alla predisposizione di efficaci sistemi di allarme e di protezione civile, alla formulazione di una normativa urbanistica cosciente dei rischi naturali, alla copertura assicurativa di tali rischi.

Per gli ingegneri idraulici del passato, la difesa dalle alluvioni era un problema percepito a scala prevalentemente locale e sovente risolto tramite la realizzazione di opere localizzate nel sito "pericoloso". Questa soluzione invocava talora valutazioni idrologiche compatibili con la configurazione idraulica prevista in fase di progetto, ribaltando la sequenza logica del problema. Il significato di previsione, prevenzione e percezione era quindi limitato nello spazio (alla sponda fluviale presa in esame e all'effetto globale del bacino di monte sui tiranti idrici in corrispondenza di tale sponda) e nel tempo (all'eventuale indicazione di un periodo di ritorno caratteristico, quando anche questo concetto non veniva abbandonato a favore della portata "non superabile", ritenuta, a torto, più cautelativa). Il significato di preannuncio veniva spesso trascurato, anche per la difficoltà di comunicare rapidamente le informazioni, nonché per una scarsamente evoluta organizzazione sociale alla base di un efficace intervento di emergenza.

Una più moderna percezione del rischio idrologico associa alla coscienza del verificarsi ineluttabile dei nubifragi e delle loro conseguenze al suolo la consapevolezza del danno

economico e sociale connesso a tali eventi. Essa pone sullo stesso piano la previsione e il preannuncio nel quadro della prevenzione del rischio e ne combina le potenzialità al fine di mitigarne gli effetti. E, soprattutto, non dimentica la prospettiva "spaziale" del problema, che richiede una visione complessiva della rete idrografica e dei suoi ambiti territoriali.

La previsione del rischio alluvionale tende a valutare la vulnerabilità idrologica del territorio; per esempio, il periodo di ritorno delle eventuali esondazioni, la loro estensione, il danno atteso e l'affidabilità complessiva dei sistemi e delle procedure di mitigazione. Una sua corretta concezione impone una valutazione dinamica del rischio, in grado di fornire indicazioni sulla risposta del sistema agli interventi strutturali, che si possono operare non soltanto sul reticolo locale, ma anche sull'intero complesso della rete idrografica e della superficie drenata; essa tende anche a comprendere la risposta del sistema alle modificazioni di uso del suolo, sia a scala locale che a scala di bacino. I modelli previsionali basati sulla combinazione di conoscenze sulla frequenza e l'intensità dei nubifragi, sulla propensione del terreno a favorire il ruscellamento, sulla morfologia degli alvei effimerici e permanenti sono in grado di fornire una risposta, ancorché rudimentale, ai quesiti posti da tale concezione. Le previsioni puramente statistiche, invece, sono strettamente legate alla validità delle ipotesi di ergodicità e stazionarietà del sistema necessarie a risolvere i problemi inferenziali, senza dimenticare le incertezze indotte dalla relativamente scarsa consistenza dei dati idrometrici generalmente disponibili, soprattutto in Italia.

Soprattutto per le città di fondovalle, il ruolo del preannuncio di piena è almeno paragonabile a quello della previsione. A seconda dell'estensione del bacino sotteso, il problema richiede uno sforzo esponenzialmente crescente con il ridursi del bacino di formazione della piena. Si passa così dai sistemi puramente idrometrici (portate e tiranti idrici valutati a partire dalle portate e dai livelli idrici osservati nelle sezioni di monte) ai sistemi basati sul trasferimento delle piogge osservate in portate alveate. A tal scopo, le metodologie sono ormai assestate e le tecnologie di teletrasmissione sono abbastanza consolidate; quelle di diffusione della comunicazione superano di molto la capacità previsionale degli addetti ai lavori. Al contrario, il margine di prevedibilità dei nubifragi (ovvero il preannuncio dell'evoluzione quantitativa degli eventi di pioggia intensa, a partire dalle osservazioni di precipitazione a terra, dal monitoraggio radar e dalle immagini satellitari) risulta ancora limitato, soprattutto per la grande variabilità delle precipitazioni nel tempo e nello spazio. Poiché l'efficacia dei sistemi di preannuncio delle piene in molte città di fondovalle del nostro paese, spesso soggette all'inondazione improvvisa da parte di corsi d'acqua caratterizzati da bacini di formazione che tendono a produrre piene di tipo impulsivo, dipende dalla capacità di estendere l'orizzonte del preannuncio, appare certamente utile indirizzare gli sforzi verso lo sviluppo di metodologie capaci di fornire affidabili previsioni quantitative delle precipitazioni. Anzi, questa è verosimilmente la frontiera più nuova e ambiziosa nella sfida nei confronti del rischio alluvionale, ancora tutta da conquistare, ma già esplorata nel corso degli ultimi anni con promettenti risultati.

Nel seguito, si illustrano gli aspetti idrologici fondamentali relativi a tre dei principali momenti progettuali legati alla percezione, previsione, alla prevenzione e al preannuncio del rischio idrologico-idraulico: **l'identificazione, la valutazione e le azioni di mitigazione.**



2. L'identificazione del rischio

2.1. I dati storico-documentali

Una delle maggiori fonti di informazione sulla presenza e l'estensione dei rischio idrologico-idraulico è costituita dalla documentazione sugli eventi del passato, dei quali si ha notizia in base alle molteplici fonti storico-documentali, assai ricche in Europa. Anche se l'assimilazione di questo tipo di dati, generalmente non quantitativi, non è un esercizio di facile soluzione, essa comunque fornisce un'indicazione preliminare di fondamentale importanza. Infatti, la documentazione in traccia delle alluvioni storiche può fornire informazioni preziose ai fini della identificazione preliminare delle aree suscettibili al rischio, perché la ripetitività di questi fenomeni è spesso elevata, anche in presenza di interventi di salvaguardia.

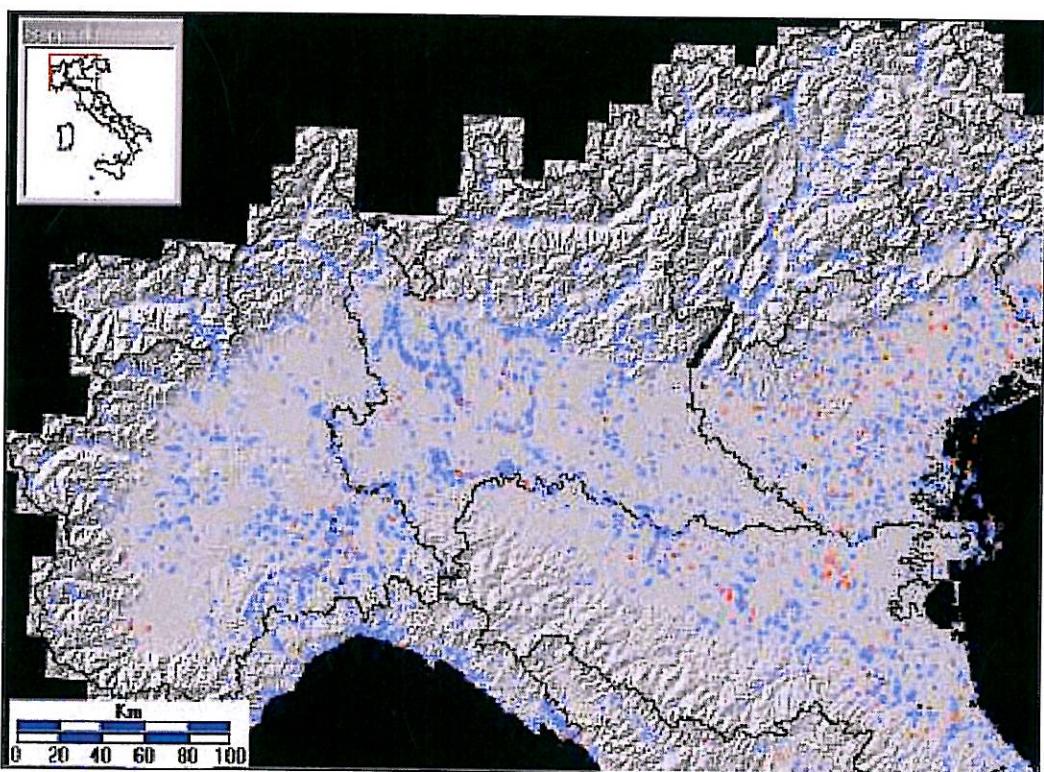


Fig. 2.1a Localizzazione delle piene storiche nell'Italia Settentrionale. I punti azzurri mostrano i siti fluviali con $1 \leq n_t \leq 3$, mentre quelli rossi i siti con $4 \leq n_t \leq 10$, dove n_t indica il numero degli episodi alluvionali registrati nel XX secolo, dal 1900 a 1996 (v. Guzzetti et al., 1994; CNR-GNDCI, 1998).

A questo fine, il catalogo dei dati messi a disposizione nel “Censimento delle aree italiane storicamente colpite da frane e da inondazioni” (CNR-GNDCI, 1998) può costituire una base di partenza assai utile (v. Figura 2.1a). Il procedimento di assimilazione dei dati prevede il censimento delle esondazioni osservate e/o documentate, ossia degli eventi in cui la portata al colmo ha superato un livello di soglia q_s noto o calcolato in base alla capacità idraulica di smaltimento (officiosità) dei tronchi torrentizi e fluviali presi in esame. La regolarità delle inondazioni appare evidente anche in base a semplici considerazioni sull'invarianza di scala



relativa alla frequenza e alla geomorfologia fluviale (v. Figura 2.1b).

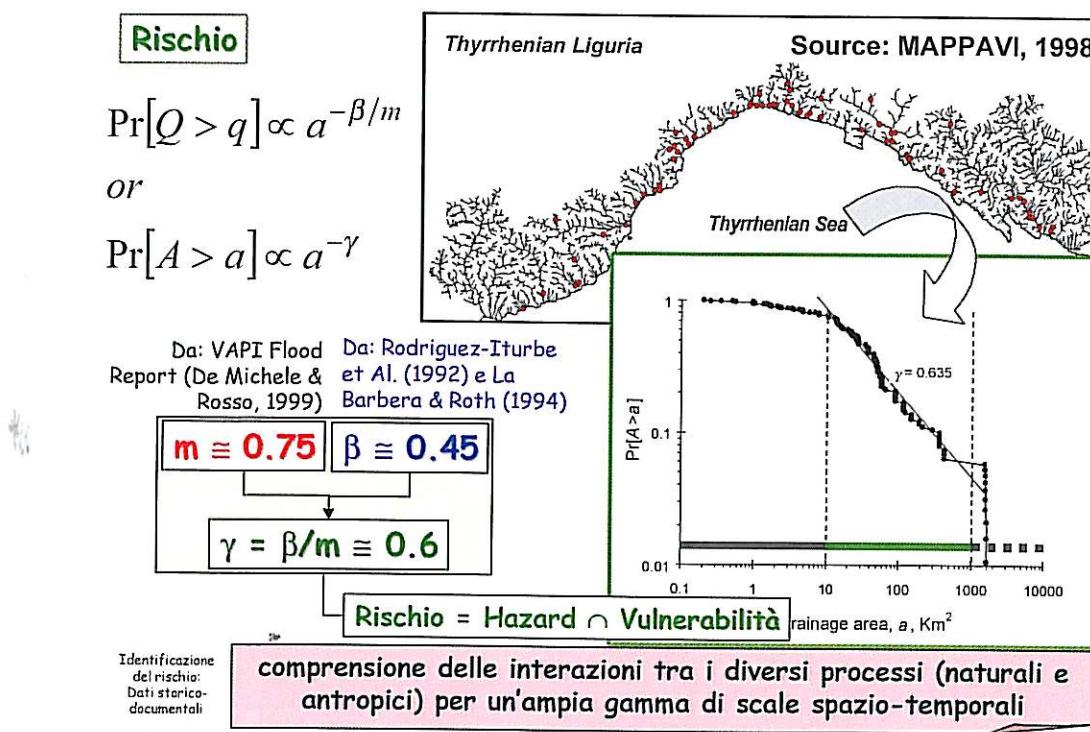


Fig. 2.1b Relazione tra esponenti caratteristici della geomorfologia fluviale e della frequenza delle piene nella Liguria tirrenica (De Michele et al., 2002). La regolarità dei fenomeni alluvionali viene evidenziata dalla sostanziale concordanza tra gli esponenti di scala che caratterizzano l'entità delle portate di piena, la morfologia delle reti idrografiche e l'incidenza delle catastrofi alluvionali che si sono registrate nel corso del secolo XX.

2.2. Nuove catastrofi

Gli eventi catastrofici possono comunque colpire anche zone che, storicamente, non appaiono suscettibili. Questa circostanza, nelle maggior parte dei casi, è legata alle modificazioni di uso del suolo, sia di tipo locale che diffuso, e alla opere di ingegneria, che, nel corso del tempo, hanno asservito la rete idrografica in ragione delle necessità di provvedere alle reti infrastrutturali, all'uso urbano e industriale del territorio e all'utilizzo delle risorse idriche. Per gli eventi idrologici di rarità molto elevata, peraltro, esistono casi in cui eventi siffatti hanno colpito zone apparentemente non suscettibili su base storico-documentale.

In particolare, due sono le principali cause di modifica del rischio naturale, che, nella maggior parte dei casi, producono un incremento del rischio naturale. In primo luogo, il regime delle piene torrentizie e fluviali può essere modificato dalle modalità di uso del suolo, sia per cambiamenti delle pratiche agricole (v. Figura 2.2a), sia per la trasformazione urbana di ampie zone del bacino idrografico (v. Figura 2.2b).

In secondo luogo, gli asservimenti attuati tramite le opere di ingegneria tendono a modificare in modo sostanziale

- talora l'officiosità idraulica degli alvei naturali, sia restringendone la sezione utile di

smaltimento, sia trasformandoli addirittura in canalizzazioni coperte che funzionano “a bocca tassata” (come nel caso esemplare del tronco terminale del torrente Bisagno a Genova di Figura 2.3), sia deviandone il corso (come nel caso di Figura 2.4);

- talora la conduttività della rete idrografica nel suo complesso, riducendo il tempo di concentrazione dell’idrogramma di piena, come nel caso degli interventi di sistemazione montana con arginatura e rettificazione degli alvei naturali;
- talora il regime di piena tramite opere di sbarramento, che “assorbono” quasi totalmente le piene con periodo di ritorno modesto, inducendo negli insediamenti di valle un falso senso di sicurezza, che viene drammaticamente confutato dagli eventi estremi.

Un ruolo particolare hanno le opere di smaltimento delle acque pluviali, in quanto modificano sia la ripartizione tra infiltrazione e ruscellamento, sia il tasso che il volume di ruscellamento delle acque superficiali, sia la distribuzione temporale con cui le acque vengono trasportate ai corpi idrici recipienti. In particolare, accade che nelle aree rurali, dapprima caratterizzate da assorbimento significativo e risposta idrologica “lenta”, l’urbanizzazione e la conseguente dotazione di sistemi di fognatura dinamica aumenti notevolmente l’effetto di rifiuto delle acque pluviali, che vengono convogliate assai più rapidamente al recettore tramite la canalizzazione artificiale. Questo effetto, come nel caso del fiume Seveso a Milano, può incrementare notevolmente la suscettibilità alluvionale delle aree vallive, a loro volta sempre più vulnerabili per la continua intensificazione d’uso del territorio.

Un ultimo aspetto riguarda la manutenzione del bacino idrografico e, in particolare, quella della rete idrografica. Fenomeni come i “woody debris” sono talvolta responsabili di esondazioni altrimenti contenibili, soprattutto per via delle ostruzioni provocate in corrispondenza degli attraversamenti stradali e ferroviari (v. Figura 2.5). Soprattutto, ma non solo in Italia, l’officiosità idraulica di queste strutture è stata spesso determinata con esclusivo riferimento alle necessità progettuali dell’ingegneria strutturale, considerando la presenza del corso d’acqua quale puro accidente. I fenomeni di “woody debris”, che, dal punto di visto ecologico, vanno considerati come un sintomo di buona salute del sistema fluviale, esaltano le carenze progettuali, alimentando così in modo artificiale la suscettibilità al rischio idraulico di larghe aree del nostro paese.

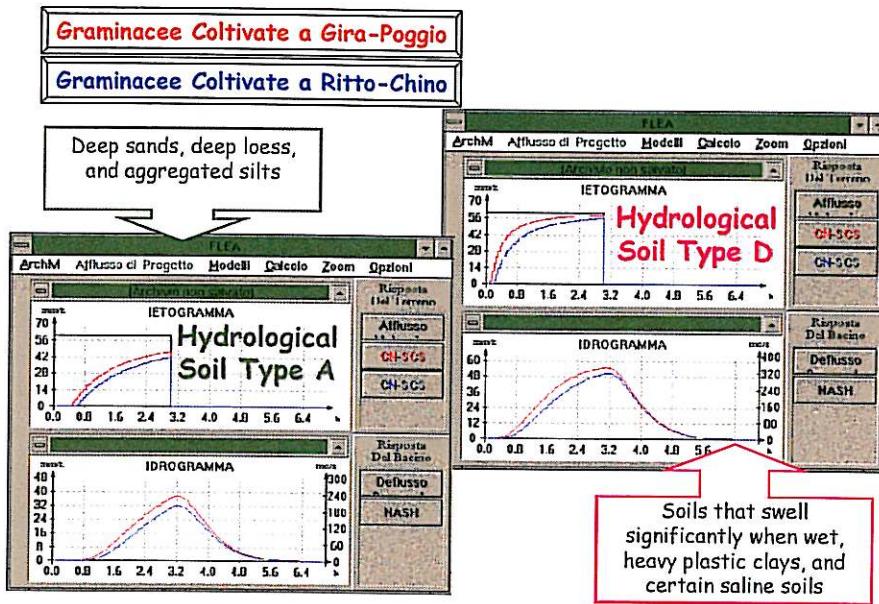


Fig. 2.2a Le modificazioni dell'idrogramma di piena causata dal cambiamento di pratica culturale (da gira-poggio a ritto-chino) dell'intera area di un piccolo bacino idrografico di 22.6 Km² caratterizzato da terreni dalla capacità di ritenzione idrica elevata (idrogrammi di sinistra) e modesta (idrogrammi di destra) e da un tempo di corrispondenza di 1.8 ore.

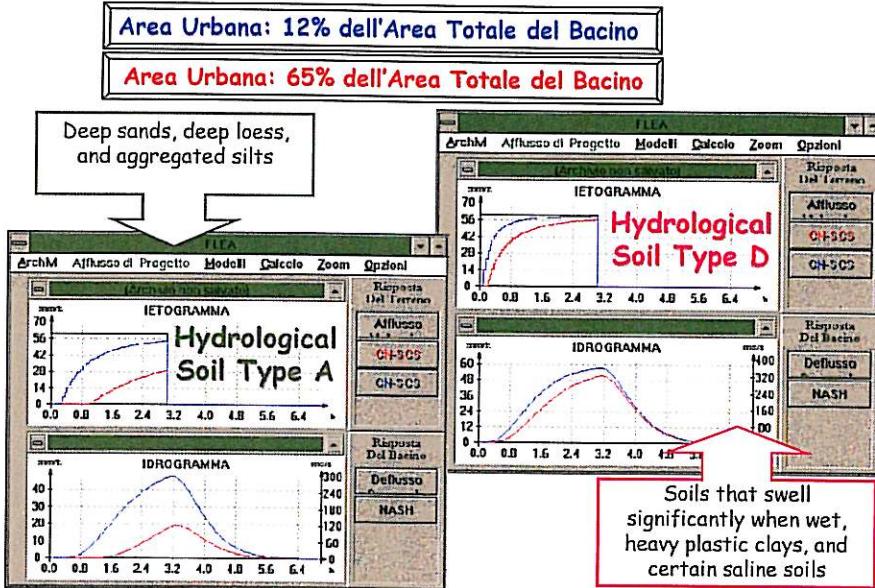


Fig. 2.2b Le modificazioni dell'idrogramma di piena causata dall'urbanizzazione intensiva dell'area del bacino idrografico (dal 12 al 65% dell'area totale) in un piccolo bacino di 22.6 Km² caratterizzato da terreni da capacità di ritenzione idrica elevata (idrogrammi di sinistra) e modesta (idrogrammi di destra) e da un tempo di corrispondenza di 1.8 ore.

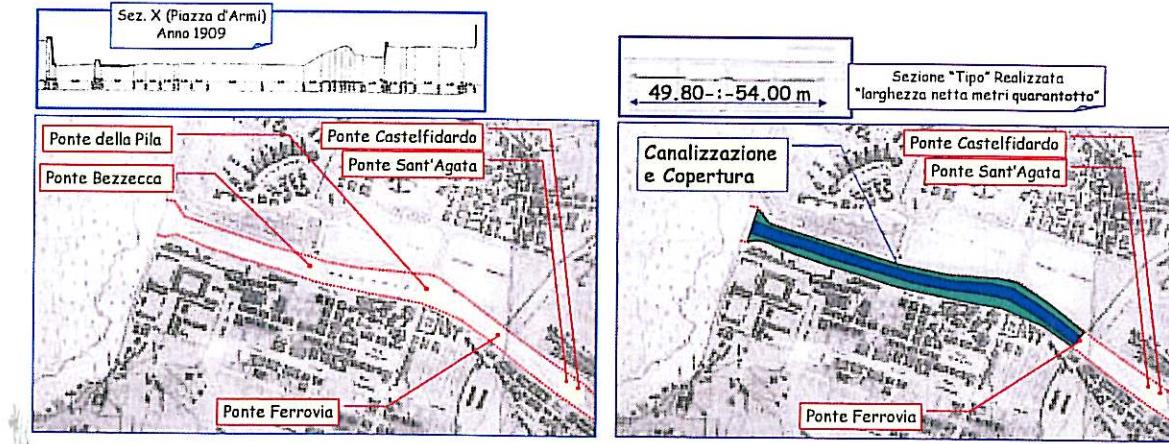


Fig. 2.3 La canalizzazione coperta del Torrente Bisagno a Genova: prima e dopo il 1930.

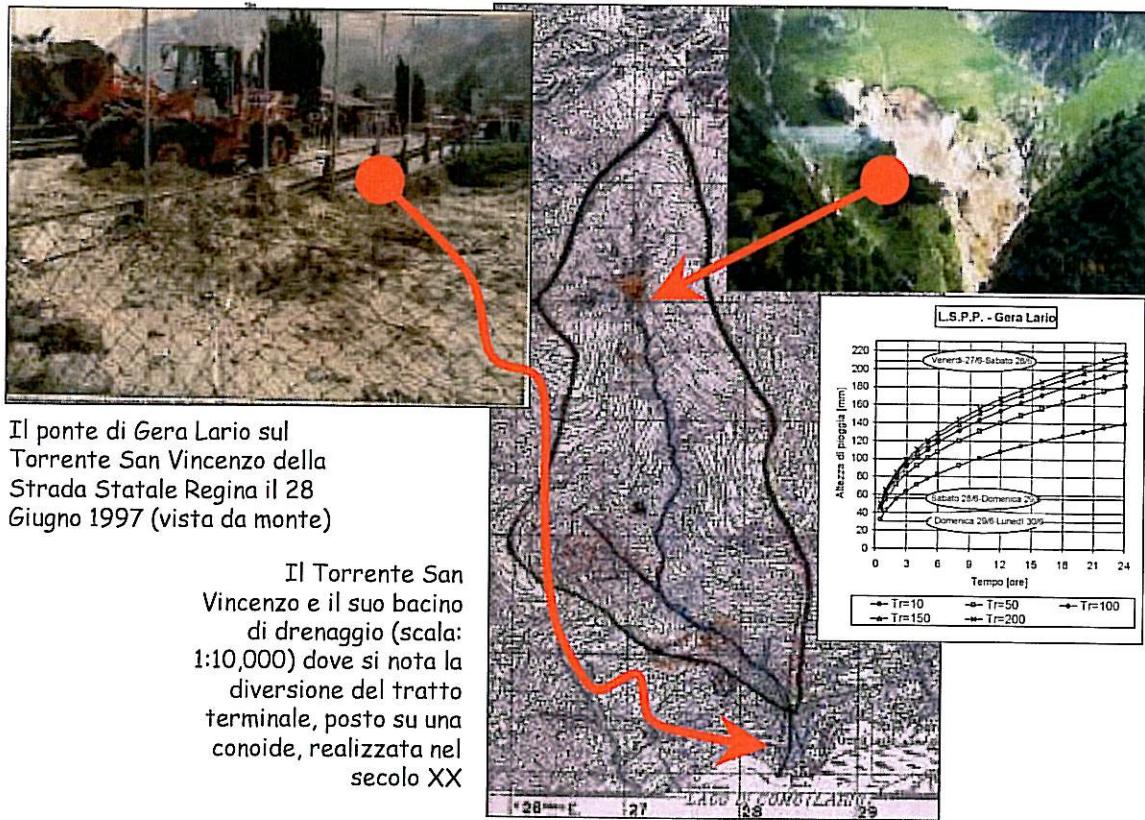


Fig. 2.4 Le modifiche del tratto terminale del Torrente San Vincenzo allo sbocco nel Lago di Como

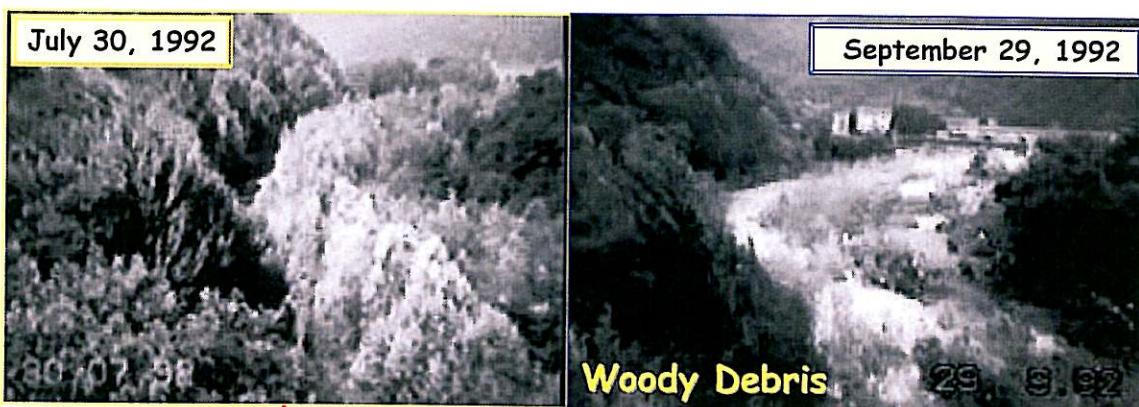
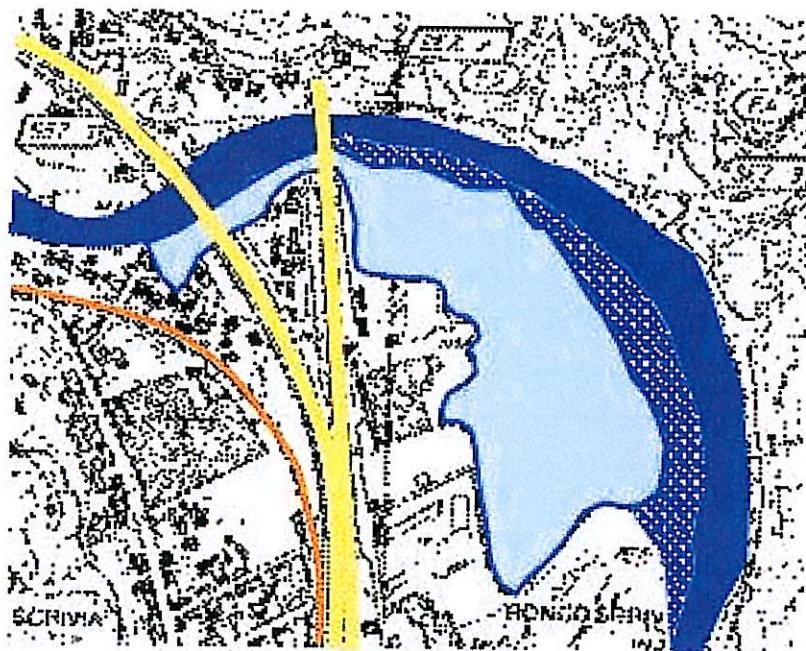


Fig. 2.5 La piena del fiume Scrivia a Ronco Scrivia nel 1992: area allagata (sopra) e vegetazione d'alto fusto in alveo, prima e dopo l'evento (sotto).

2.3. La complessità del contesto territoriale

Il contesto urbano dei siti suscettibili è spesso assai complesso. In molti casi i corsi d'acqua sono stati utilizzati come sede di infrastrutture di trasporto, quali condotte interrate e sospese, e sono stati asserviti ad attraversamenti di ogni tipo ed epoca (come nel caso emblematico del Torrente Quiliano alla foce di Figura 2.6). Gli interventi necessari alla mitigazione del rischio devono fronteggiare in questi casi una molteplicità di aspetti tecnici, operativi e burocratici di non facile approccio. Gli interessi in gioco sono multiformi e sfaccettati e le responsabilità, salvo quelle d'ordine penale, non sono sempre individuabili con chiarezza.

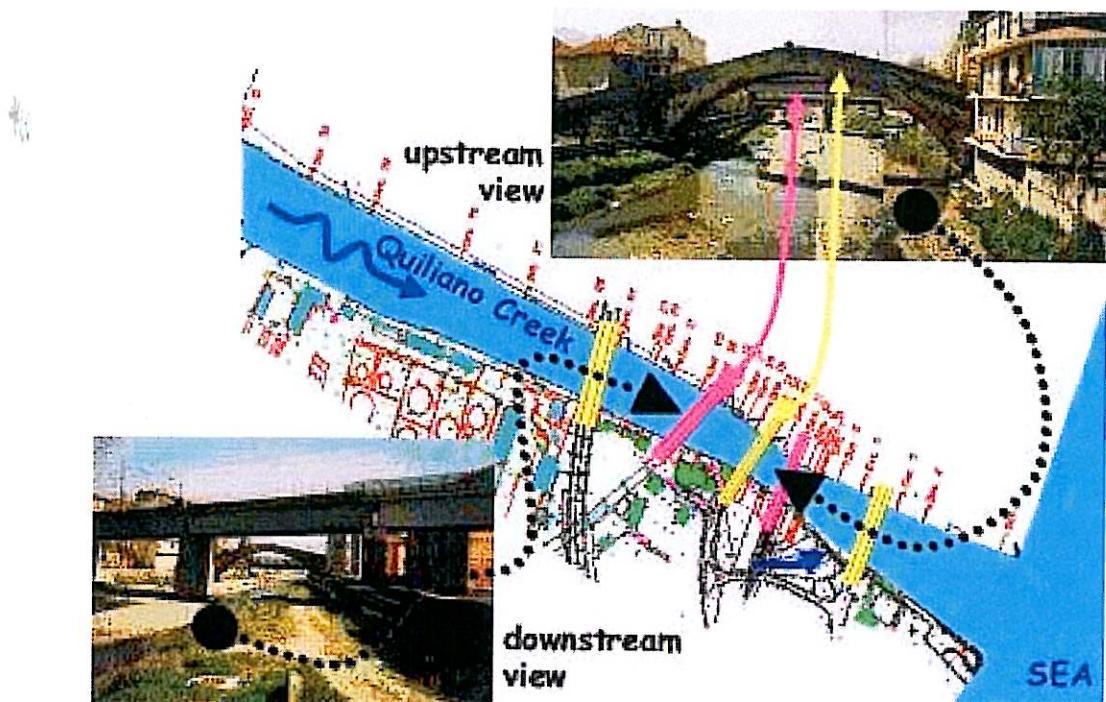


Fig. 2.6 Il tronco terminale del Torrente Quiliano alla foce nel Mar Ligure. Esso è stato asservito da 5 ponti, viene percorso longitudinalmente dalle 2 condotte interrate di grandi dimensioni per il trasporto di prodotti petroliferi (oledotto) e dalla condotta principale di un grande impianto di depurazione consortile, recepisce gli scarichi delle acque di raffreddamento di una grande centrale termoelettrica ed è attraversato da numerose infrastrutture di servizio a rete.

Altre volte il problema del rischio idrologico-idraulico si inserisce in particolari situazioni di rischio ambientale, venendo a gravare su aree industrializzate o adibite a particolari servizi, dove l'alluvione può provocare non solo estesi danni locali, ma innescare processi a catena di catastrofe ambientale (v. Figura 2.7). Molto spesso, nelle aree golenali sono state realizzate industrie chimiche ad alto potenziale di inquinamento fluviale in caso di incidenti o sono stati allocati impianti di depurazione delle acque ad alto contenuto specifico di sostanze inquinanti, quando tali aree non sono sede di discarica abusiva di rifiuti tossici nocivi, come nel caso emblematico scoperto nello Scrivia presso Tortona negli anni ottanta del secolo scorso. In

questi casi, il rischio effettivo risulta dalla composizione del rischio idrologico naturale, del rischio idraulico dovuto alla forzante antropica e del rischio industriale dovuto alla peculiarità degli insediamenti. Se l'identificazione del rischio non è difficile, possono insorgere notevoli difficoltà nella sua valutazione quantitativa e nelle misure che possono essere intraprese per mitigarlo.

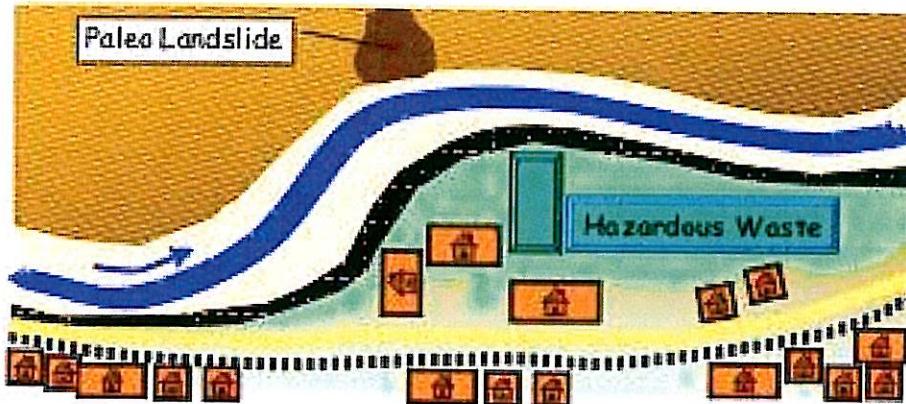


Fig. 2.7 La combinazione dei rischi.

Infine, la complessità dei problemi idrologici, in parte ancora da dipanare con metodo scientifico, rende spesso difficile la identificazione, la valutazione e la mitigazione del rischio. Le relative metodologie devono spesso basarsi su conoscenze empiriche e su metodi euristici, anche perché il bagaglio conoscitivo sui processi idrologici è ancora abbastanza modesto, visto che l'idrologia, come scienza autonoma, nasce nell'ultima parte del secolo XX. Comunque, le metodologie innovative di monitoraggio, analisi e rappresentazione dei fenomeni idrologici, nate proprio in questo periodo, consentono oggi di condurre analisi di dettaglio prima impossibili, permettendo anche di ottenere una visione d'insieme che non era neppure pensabile 30 anni fa.

Tutte queste considerazioni fanno quindi ritenere che le attività intraprese negli ultimi anni in tema di rischio idrologico-idraulico, dalla sua mappatura al superamento della logica degli interventi emergenziali tramite lo sviluppo di politiche coerenti e lungimiranti di mitigazione, possano produrre effetti positivi nel prossimo futuro. Anche se l'identificazione del rischio tramite metodi analitici richiede ancora uno sforzo di ricerca e sviluppo, le attuali iniziative in questa direzione possono fornire una notevole base conoscitiva e, nello stesso tempo, sono il sintomo di una nuova impostazione del problema. L'effettiva applicazione delle Legge 183/1989, che, a più di dieci anni dalla sua entrata in vigore, inizia solo oggi a produrre i suoi effetti, può sensibilmente migliorare l'attitudine con cui il nostro paese ha finora affrontato il problema del rischio idrologico-idraulico.