

Il rischio idraulico in Italia

Maurizio Giugni

Quasi il 10% del territorio nazionale presenta aree ad elevata criticità idrogeologica. Tra le cause amplificanti il rischio il mutamento climatico il cui ruolo è diventato tale da indurre a rivedere le mappe di vulnerabilità idraulica.

Previsione e mitigazione del rischio idraulico rappresentano un problema cruciale per il territorio italiano, colpito dal continuo verificarsi di eventi calamitosi in uno scenario già strutturalmente complesso e ricco di criticità (Figura 1): la naturale fragilità geomorfologica del territorio, la progressiva desertificazione delle aree rurali, la diffusa carenza di manutenzione dei corsi d'acqua e delle aree perifluviali, la frequente inadeguatezza delle opere di attraversamento, la presenza di insediamenti di ogni tipo (non di rado abusivi) in aree inondabili o comunque di pertinenza fluviale.

Secondo i dati del Ministero dell'Ambiente [1], ben 6.663 comuni presentano aree ad elevata criticità idrogeologica, per una superficie complessiva di 29.517 km² (quasi il 10% del territorio nazionale), di cui 12.263 km² (il 4,1%) vulnerabili da alluvioni (Figura 2). In Campania il 19% del territorio è classificato ad alta criticità, e l'11,4% ad alta criticità con beni esposti.

Non vanno trascurati, inoltre, i problemi connessi al cambiamento climatico, con il ripetuto verificarsi di eventi meteorici estremi (le cosiddette "bombe d'acqua") e di eventi franoso-alluvionali ingenerati da piogge intense, come quello di Atrani del settembre 2010. Occorre, quindi, uno sforzo immediato per aggiornare la mappa di vulnerabilità idraulica del territorio italiano, al fine

di identificare le zone maggiormente esposte al rischio di eventi climatici estremi ed adottare le necessarie misure di messa in sicurezza.

È necessario, quindi, il rapido sviluppo di una serie di attività a livello nazionale, articolate nelle fasi di *previsione* e di *prevenzione*. La prima è mirata alla valutazione della vulnerabilità idraulica del territorio, mediante l'applicazione di modelli idrologici ed idraulici basati sull'analisi dei fattori meteorici (frequenza e intensità degli eventi estremi), della geomorfologia, della geologia e dell'uso del suolo. L'altra è basata sulla pianificazione di interventi di mitigazione del rischio, di tipo sia strutturale che non strutturale (tra cui la definizione di sistemi di allerta idrologica e di piani di protezione civile).

Il rischio idraulico

La previsione del rischio idraulico (DPCM 29.09.1998, successivamente convertito nella L. 267/1998) viene effettuata in base alla relazione:

$$R_t = H_t \cdot E \cdot V \quad (1)$$

in cui H_t rappresenta la pericolosità (hazard), cioè la probabilità che nel periodo t si verifichi almeno un evento catastrofico, E definisce l'entità degli elementi a rischio e V la vulnerabilità.

Figura 1. Alluvioni in Italia dal 1951 ad oggi.



Alluvione del Polesine (1951).



Alluvione di Firenze (1966).



Alluvione del Piemonte (1994).



Alluvione di Genova (2011).

La **pericolosità** H_i è strettamente connessa al periodo di ritorno T (intervallo di tempo nel quale l'evento estremo si verifica in media una volta).

L'**esposizione** E viene valutata in modo diverso a seconda della natura degli elementi a rischio: essa può esprimere, ad esempio, il numero di persone a rischio o l'ammontare del valore economico dei beni monetizzabili presenti nell'area vulnerabile. Il valore di E corrisponde ovviamente al danno subito in caso di perdita completa del bene.

Quando si verifica un evento catastrofico, ciascun elemento esposto può riportare un danno maggiore o minore in base alla propria capacità di sopportare tale evento. La **vulnerabilità** V esprime l'attitudine dell'elemento a subire

danni per effetto dell'evento e più precisamente indica l'aliquota dell'elemento che viene danneggiata: essa può essere definita, quindi, come "... *the fraction of the total value at risk that could be lost after a specific adverse event*" (Principles of multi-risk assessment, EU, EUR 23615, 2009). La vulnerabilità, quindi, può variare tra 0 (nessun danno) ed 1 (distruzione, perdita totale).

In corrispondenza di ciascun evento, per il singolo elemento può porsi:

$$D = E \cdot V \quad (2)$$

in cui D rappresenta il **danno** (espresso nelle stesse unità di misura di E).

Nelle applicazioni pratiche l'approccio di tipo "moltiplicativo" espresso dalla

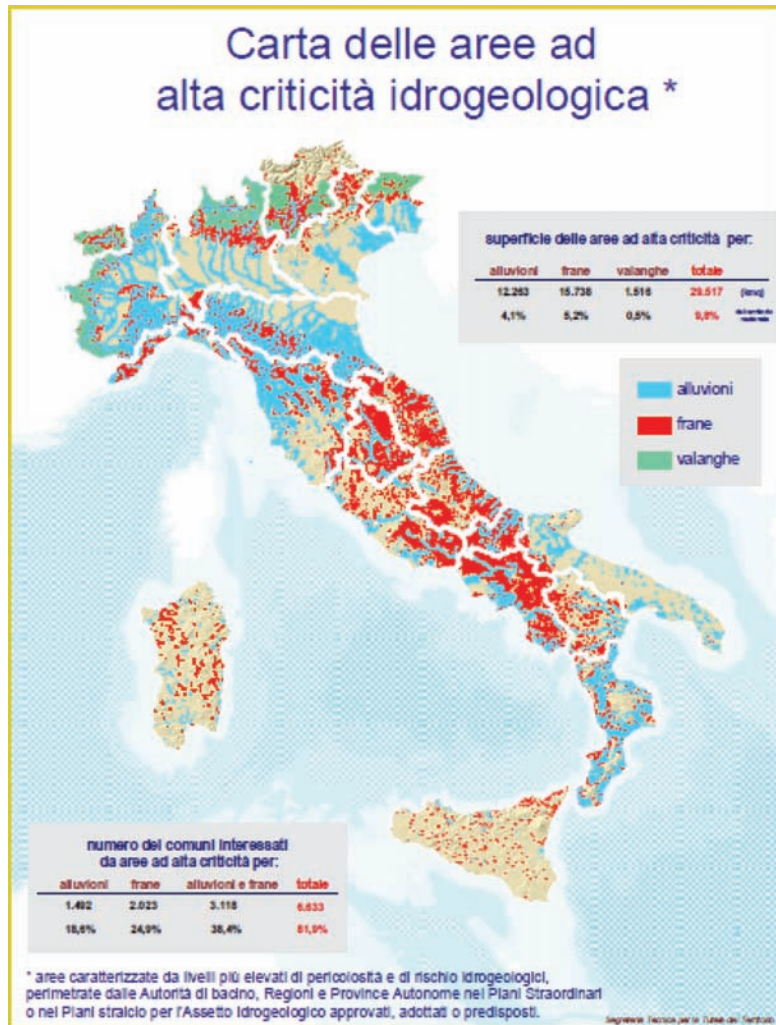


Figura 2. Carta delle aree ad elevata criticità idrogeologica [1].

(1) viene sviluppato secondo la procedura sinteticamente descritta nei seguenti sei punti:

A) Analisi idrologica dei valori estremi delle precipitazioni (o, se disponibili, direttamente delle portate di piena), mediante una metodologia di analisi regionale di tipo gerarchico, basata sull'ipotesi che aree territoriali progressivamente più ampie possano considerarsi omogenee nei confronti dei parametri statistici della distribuzione, man mano che il loro ordine aumenta [2]. In Italia ottimi risultati sono stati ottenuti utilizzando la distribuzione di probabilità del valore estremo a doppia componente

(Two Components Extreme Value – TCEV). In tal modo può ottenersi la “forzante” meteorica, ossia la *curva di probabilità pluviometrica*, che lega l'altezza di pioggia alla durata dell'evento meteorico in funzione del periodo di ritorno assegnato. Ovviamente in questa fase è necessario analizzare l'effetto dei cambiamenti climatici sulla frequenza e intensità degli eventi estremi procedendo all'aggiornamento sia delle serie storiche (piogge intense di breve durata e portate al colmo) che dell'analisi stocastica, alla valutazione degli effetti dell'aggiornamento dell'input meteorico sulle portate di progetto, all'analisi dei trend climatici in atto. A solo titolo d'esempio in Figura 3 è stato riportato l'andamento delle anomalie regionali della piovosità annua rispetto alla media 1961-1990 (National Oceanic and Atmospheric Administration, USA, 2007), che mette in evidenza un significativo incremento delle precipitazioni in alcune aree del globo (tra cui l'Europa).

B) Applicazione di un modello idraulico di trasformazione afflussi-deflussi (*Conceptual Rainfall-Runoff – CRR model*) [3], che, in base all'analisi delle caratteristiche del bacino (topografiche, geologiche, pedologiche, d'uso del suolo), consenta la determinazione dell'idrogramma di piena e, quindi, della portata al colmo Q al variare del periodo di ritorno (Figura 4). Possono a tale scopo utilizzarsi modelli semplici (formula razionale, metodo del Curve Number) o più complessi (distribuiti a scala di bacino). In questa fase occorre considerare con estrema attenzione le caratteristiche del reticolo idrografico principale e secondario del bacino, che possono influenzare in modo significativo l'entità della portata di piena, e prevedere possibili future modifiche dell'uso del suolo:

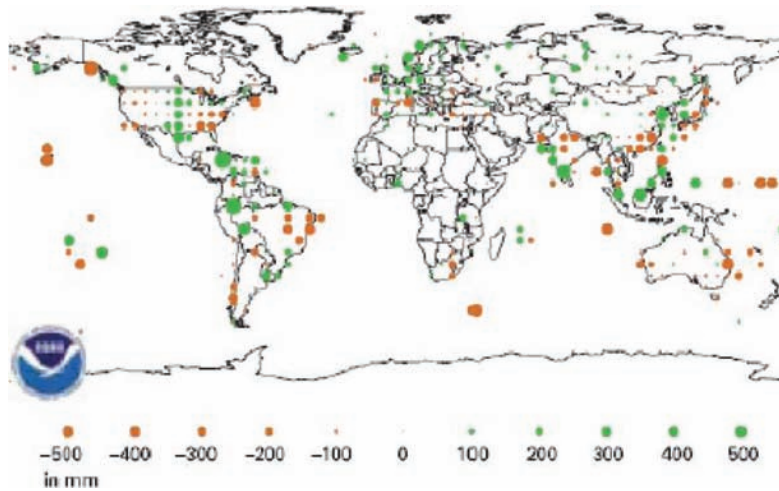


Figura 3. Anomalie regionali della piovosità annua rispetto alla media 1961-1990 (NOAA, 2007). Fonte: <http://lwf.ncdc.noaa.gov/oa/climate/research/2007/ann/global.html>.

il progredire dell'urbanizzazione, infatti, in assenza di misure di adattamento, dà luogo ad una riduzione dei fenomeni di evapotraspirazione e di infiltrazione superficiale (le cosiddette perdite idrologiche), con conseguente incremento delle portate e dei fenomeni di erosione del suolo e trasporto di sedimenti.

C) Applicazione di un modello idraulico d'inondazione, che, a partire dall'idrogramma di piena, e considerando le caratteristiche del bacino (naturale o urbano), consenta l'identificazione delle criticità idrauliche (ossia delle sezioni insufficienti al convogliamento della portata al colmo) e la delimitazione delle aree inondabili al variare del periodo di

ritorno, con conseguente redazione delle **carte di pericolosità idraulica** (Figura 5). Questa fase è notevolmente complessa, e richiede un'accurata conoscenza della topografia del territorio, delle caratteristiche della rete idrografica (naturale o artificiale), delle infrastrutture e delle reti infrastrutturali eventualmente presenti. La più recente modellistica bidimensionale (basata sulle cosiddette *Shallow Water Equations*) consente non solo un'attendibile delimitazione delle aree inondabili ma anche la valutazione dei tiranti idrici e delle velocità d'inondazione, che vengono utilizzati per la caratterizzazione in maniera distribuita dei livelli di pericolosità e di rischio [4]. Particolare attenzione dovrà essere posta nell'analisi delle *urban flash floods*, utilizzando metodologie avanzate d'analisi idraulica, in grado di valutare le interazioni tra alvei, golene ed infrastrutture ed i fenomeni di trasporto solido, e lavorando ad una scala minore di quella normalmente utilizzata per le inondazioni "extraurbane", in modo da tener conto degli effetti prodotti dallo scorrimento di una corrente fluviale lungo le superfici stradali, quali, ad esempio, l'ingresso della corrente all'interno degli edifici, la perdita di stabilità delle persone investite dalla corren-

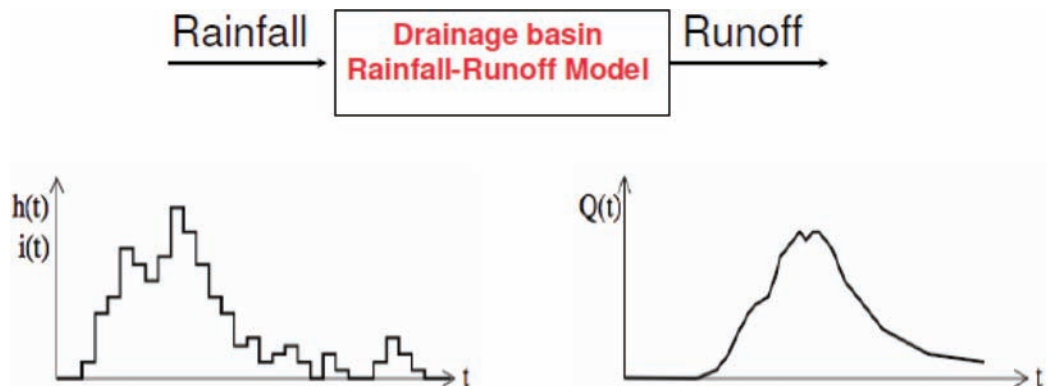


Figura 4a. Modello idraulico di bacino.

Figura 4b.
Caratteristiche
geologiche e d'uso
del suolo.

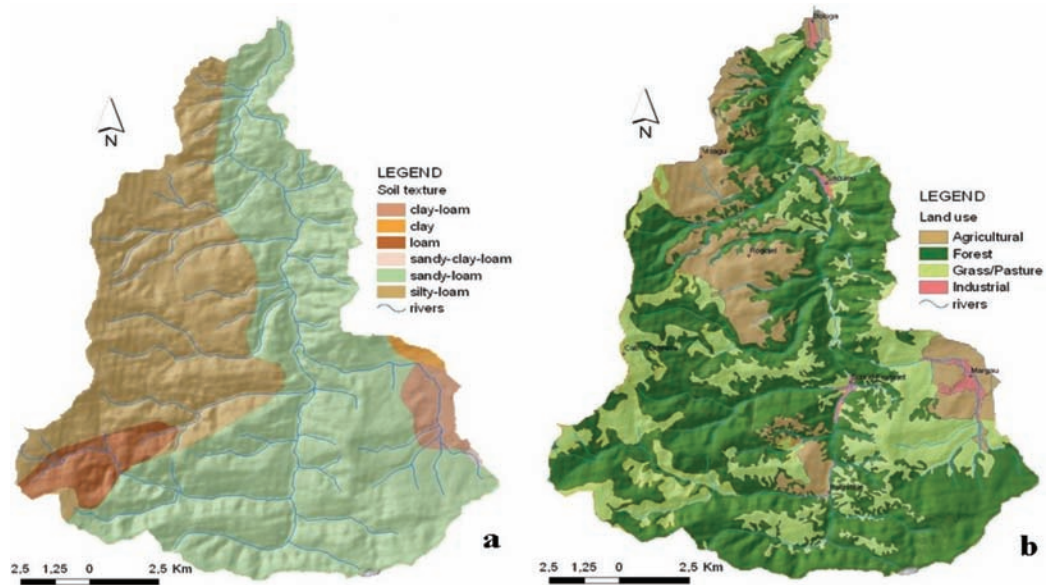
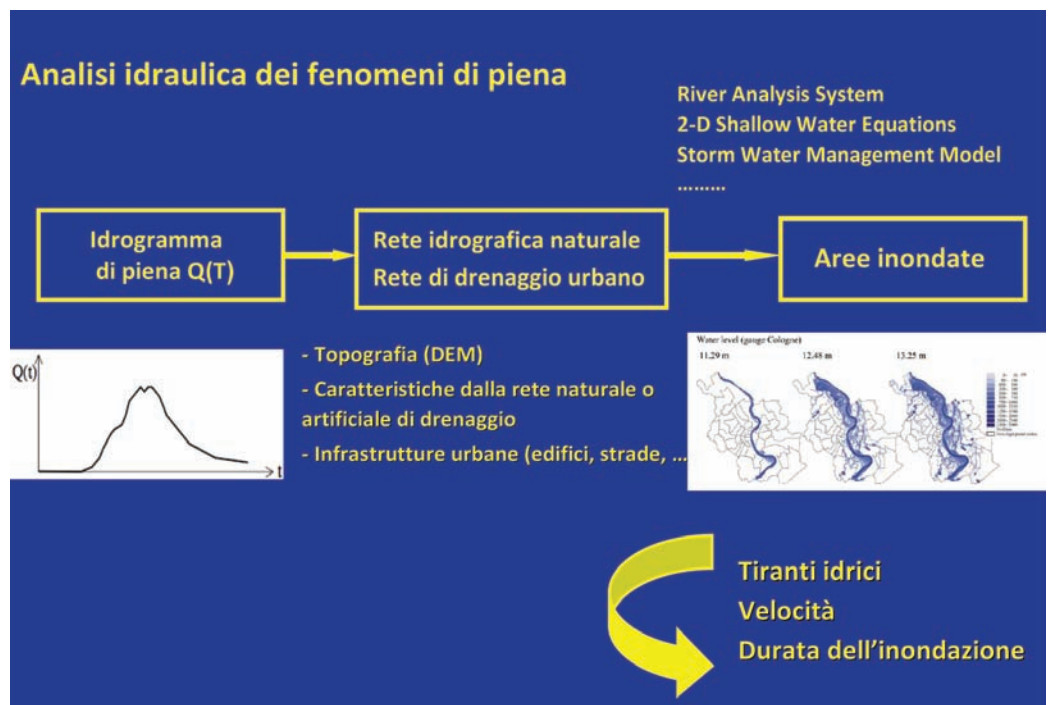


Figura 5. Procedura
per la redazione delle
carte di pericolosità
idraulica.



te, la movimentazione di veicoli ed altri oggetti presenti nell'area.
D) Determinazione del **valore esposto (E)**, mediante identificazione e monetizzazione dei beni e delle risorse. In genere vengono considerati la

densità di popolazione, le abitazioni private, i veicoli, gli elementi legati all'industria, all'agricoltura ed ai servizi ed al mercato, valutando edifici (immobili), equipaggiamento (mobile), scorte e depositi di magazzino.

Si pone, quindi, il non facile problema del reperimento dei suddetti dati e della loro caratterizzazione spaziale.

- E) Determinazione della **vulnerabilità (V)**, mediante l'applicazione di una funzione di danno (*Damage Function*) che fornisca le perdite in percentuale. In genere le funzioni di danno legano la perdita in percentuale al tirante idrico d'inondazione: in tal modo si può procedere ad una distribuzione spaziale della vulnerabilità in termini di suscettibilità al danno per tutti gli elementi esposti.
- F) Determinazione del **rischio (R)** mediante l'equazione (1), ossia dalla sovrapposizione delle carte di pericolosità idraulica e di esposizione e considerando le funzioni di danno (Figura 6).

La procedura descritta, quindi, consente la redazione di **carte del rischio idraulico** al variare del periodo di ritorno [5]. Essa permette, inoltre, la determinazione della cosiddetta **curva del rischio idraulico**, definendo un set di scenari di danno potenziale, correlandoli ad un

certo livello di probabilità, e valutando per ciascuno di essi l'asset esposto e le perdite monetarie dirette dovute all'inondazione: in Figura 7, a titolo d'esempio, è stata riportata la curva del rischio idraulico (insieme a quella del rischio sismico e per uragani) desunta per la città di Colonia [5].

Le incertezze nella previsione del rischio idraulico

Diversi aspetti della procedura di previsione del rischio idraulico sono caratterizzati da incertezze, o comunque meritevoli di ulteriore approfondimento da parte della comunità tecnico-scientifica. Tra essi in particolare:

- le incertezze dei modelli idrologici ed idraulici utilizzati: gli errori nella misura dei dati meteorologici e soprattutto il fatto che gli eventi estremi, proprio per la loro natura, difficilmente sono registrati rendono incerta la caratterizzazione della CDF (Cumulative Distribution Function) per elevati periodi di ritorno; i modelli idraulici di trasformazione afflussi-deflussi e d'inondazione sono soggetti ad incertezze dovute sia alla struttura intrinseca dei modelli (con particolare riguardo al ruolo della pedologia e della tipologia della vegetazione) che alla mancanza di accuratezza dei dati di input (Figura 8);
- la previsione degli effetti indotti dal *climate change* sulla distribuzione spaziale e temporale degli eventi meteorici estremi; in tal senso sembra inevitabile seguire un approccio concettuale che abbandoni il "periodo di ritorno", basato su serie storiche stazionarie non rappresentative delle modificazioni in atto, ed identificare gli eventi attesi in termini di scenari;
- la possibilità che si verifichino eventi estremi di intensità inaspettata (i cosiddetti *black swan events*);

Figura 6. Procedura per la determinazione delle carte del rischio idraulico.

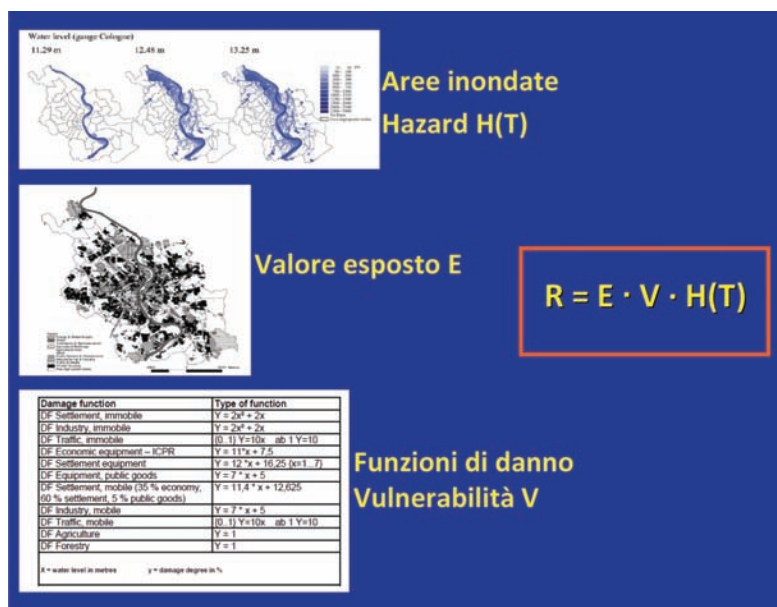
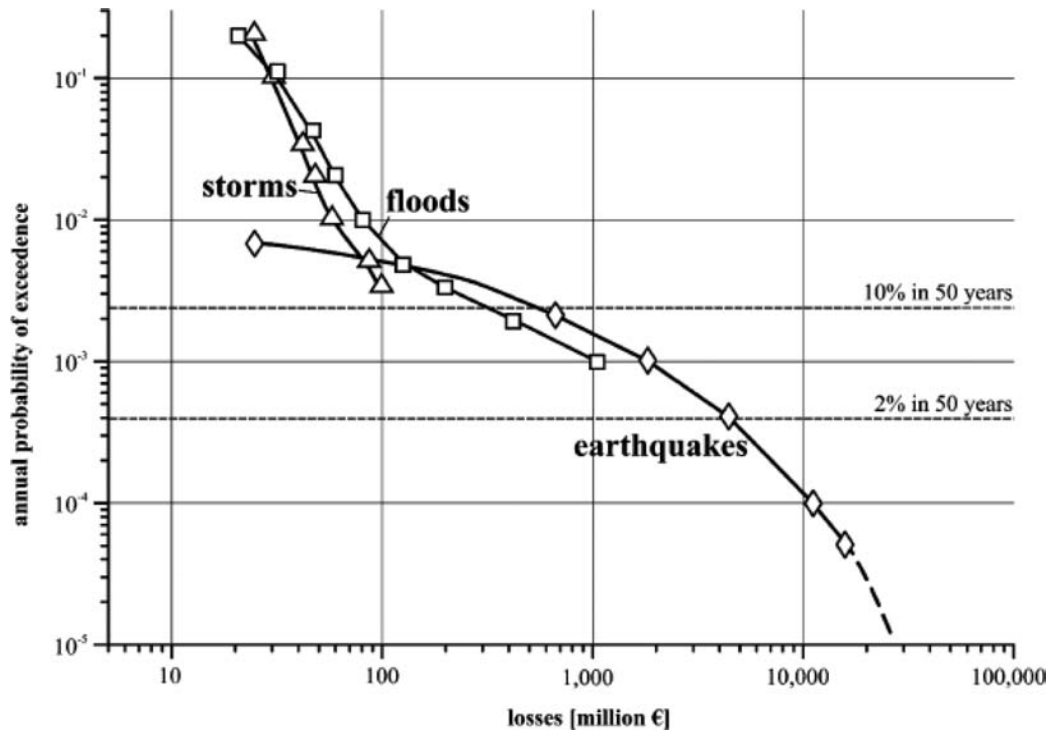


Figura 7. Curva del rischio idraulico, sismico e per uragani della città di Colonia [5].



- le difficoltà connesse alla previsione di eventi in cascata (multi rischio): occorre migliorare i processi ed i modelli di correlazione tra precipitazioni e fenomeni di dissesto geomorfologico, in particolare per ciò che riguarda i fenomeni lenti;

Linking Reality and Models

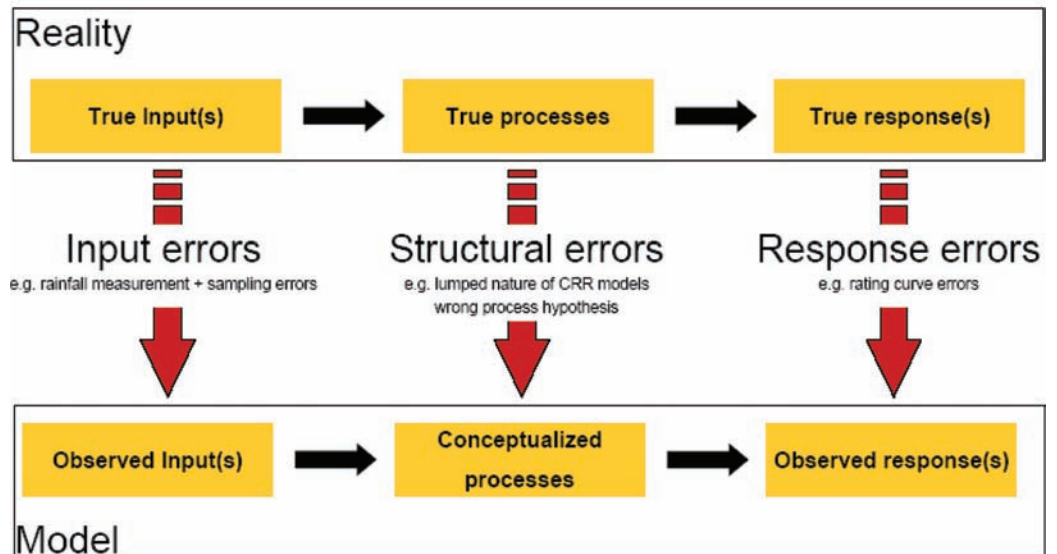


Figura 8. Incertezze nell'applicazione dei modelli idrologici ed idraulici.

- l'analisi del cosiddetto *rischio residuo*, ossia dell'entità del rischio a valle di interventi strutturali e non strutturali di mitigazione;
- la caratterizzazione delle funzioni di danno, che spesso appare alquanto semplificata;
- la definizione e caratterizzazione della vulnerabilità, vagliandone in modo più articolato i diversi fattori.

Se si considera la definizione delle Nazioni Unite: "... a human condition or process resulting from physical, social, economic, and environmental factors which determine the likelihood and scale of damage from the impact of a given hazard" (United Nations Development Programme, 2004), è necessario considerare i diversi aspetti della vulnerabilità in una visione più estesa (Figura 9):

- fisica (cioè tecnica);
- ambientale;
- sociale;
- economica;
- istituzionale;

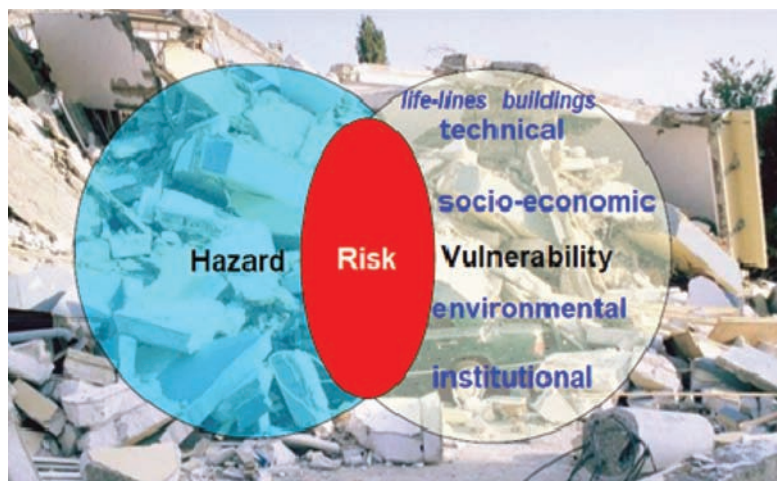
con l'obiettivo di definire un approccio combinato, non più basato su una concezione strettamente ingegneristica ed orientato a considerare anche gli altri aspetti della vulnerabilità, anche se non sempre facilmente monetizzabili. Tale

approccio presenta non poche difficoltà [6, 7]. Si considerino, infatti, i possibili effetti di una piena:

- diretti: mortalità, danni all'asset civile ed industriale, danni ai sistemi infrastrutturali (lifelines), danni all'agricoltura;
- indiretti: ambientali, connessi alla contaminazione dei corpi idrici (di tipo fecale o chimico) o alla distruzione di aree umide; economici, dovuti all'interruzione delle attività produttive conseguente agli effetti diretti dell'evento; sociali, quali perdita di ricovero, spostamenti di massa obbligati, distruzione dei mezzi di sostentamento e delle reti di supporto sociale.

È evidente che la quantificazione economica di alcuni dei suddetti effetti pone complessi problemi, che richiedono la collaborazione di competenze diversificate. Una valutazione più attendibile della vulnerabilità costituirebbe, d'altronde, un significativo progresso nella procedura di valutazione del rischio, di cui costituisce una componente cruciale: ridurre la vulnerabilità è, infatti, una priorità, anche laddove metodi di mitigazione e riduzione della pericolosità possano essere adottati, come nel caso della difesa dalle piene.

Figura 9. I diversi aspetti della vulnerabilità (Birkmann, United Nations University).



Considerazioni conclusive

Da quanto esposto in precedenza, appare evidente in conclusione la necessità di un approccio integrato alla gestione del rischio idraulico (*Integrated Flood Management*), basato:

- su un'accurata analisi degli effetti dei mutamenti climatici sul regime idrologico e delle relative conseguenze sulla previsione degli eventi estremi;
- sulla capacità di prevedere eventi meteorici di grande intensità con

adeguato anticipo, potenziando il sistema di supporto previsionale (reti idro-meteorologiche, sistemi radar, immagini satellitari, centri funzionali);

- sulla consapevolezza della crescente complessità dei centri urbani e dei sistemi socio-economici, considerando da un lato la progressiva espansione e la maggiore densità abitativa delle città, dall'altro la possibilità che l'impatto di un evento a scala locale possa estendersi a scala regionale o addirittura nazionale, a causa dei vincoli imposti dalla gestione della catena di distribuzione (supply chains);
- sull'analisi delle conseguenze in termini di vulnerabilità della crescita incontrollata e priva di vincoli dei centri urbani (*mega-urban areas*, almeno in certe parti del mondo), della realizzazione di insediamenti urbani in aree esposte alle inondazioni, del degrado ambientale, della mancanza di governance, ecc.;
- sull'opportunità di focalizzare l'attenzione anche su misure non strutturali di mitigazione del rischio idraulico, quali la pianificazione dell'uso del suolo, le forme assicurative, l'informazione ai cittadini, l'early warning ed i piani di emergenza;
- su un rapporto costruttivo tra gli enti preposti alla pianificazione idraulica

ed alla pianificazione urbanistica territoriale, in modo che i vincoli e le prescrizioni imposte dall'analisi idraulica vengano effettivamente metabolizzati dal territorio.

Bibliografia

1. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Direzione Generale per la Difesa del Suolo (2008) *Il rischio idrogeologico in Italia*. www.minambiente.it, Sez. Biblioteca/Pubblicazioni/Difesa del Suolo.
2. Moisé U. (1998) *Idrologia tecnica*. La Goliardica Pavese.
3. Biondi D., Sirangelo B., Versace P. (2006) *La modellazione matematica della trasformazione afflussi-deflussi*. Atti del 27° Corso di aggiornamento in Tecniche per la Difesa dall'Inquinamento, Nuova Editoriale Bios.
4. El Kadi Abderrezzak K., Paquier A., Mignot E. (2009) *Modelling flash flood propagation in urban areas using a two-dimensional numerical model*. *Natural Hazards*, 50.
5. Grunthal G., Thieken A.H., Schwarz J., Radtke K.S., Smolka A., Merz B. (2006) Comparative Risk Assessments for the City of Cologne – Storms, Floods, Earthquakes. *Natural Hazards*, 38.
6. Brooks N., Adger W.N., Kelly P.M. (2005) The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. *Global Environmental Change*, 15.
7. Birkmann J. (2007) Risk and Vulnerability Indicators at Different Scales – Applicability, Usefulness and Policy Implications. *Environmental Hazards*, 7 (1).