

RICERCA E PROTEZIONE CIVILE NELLA DIFESA DAL RISCHIO DI INONDAZIONE

di Pasquale Versace

La ricerca idraulica ha raggiunto livelli di eccellenza anche nel settore della difesa dal rischio idrogeologico. Tra i principali risultati conseguiti negli ultimi anni: l'individuazione delle aree storicamente vulnerate (progetto AVI), le tecniche di perimetrazione delle aree inondabili (codice FRESCURE), la valutazione delle portate al colmo (progetto VAPI), la costruzione di modelli di intervento di protezione civile e la previsione in tempo reale delle piene.

IL RISCHIO IDROGEOLOGICO IN ITALIA

La difesa del suolo, con il suo carico crescente di vittime e di danni gravissimi e con gli effetti talora devastanti che produce su gran parte del territorio nazionale, rappresenta una delle grandi questioni nazionali. Inondazioni e frane si susseguono con una frequenza che sembra aumentare di anno in anno, limitando, in modo rilevante, le possibilità di crescita e di sviluppo di significative aree del nostro Paese.

La tragedia di Sarno, l'inondazione della Versilia, il disastro del Tanaro e l'alluvione del Piemonte, le inondazioni di Genova e di Crotone, i danni provocati, negli ultimi anni, da piene fluviali e da frane in altre zone della Liguria e della Calabria, a Niscemi e in molti altri centri della Sicilia, nella penisola sorrentina e in altre zone della Campania, sono ricordi ancora vivi nella mente di tutti.

Ma andando indietro nel tempo, è impossibile dimenticare la Valtellina, la Val di Stava, Ancona, Senise e gli altri centri lucani, Firenze, il Polesine, il Vajont, i cento paesini della Calabria devastati negli anni 50, l'alluvione di Salerno, la frana di Agrigento.

I motivi di questa situazione sono ben noti. Furono messi impietosamente in luce dai lavori della Commissione De Marchi (Commissione Interministeriale, 1974), all'indomani dell'alluvione di Firenze. Sono ancora attuali, anzi si sono progressivamente aggravati.

Ci sono cause strutturali legate alla geologia, alla morfologia, all'idrografia, al clima di tante regioni.

Ma prevalgono certamente le cause antropiche: l'assenza di cultura ambientale, lo sviluppo caotico degli insediamenti urbani e industriali, l'espansione inarrestabile delle vie di comunicazione e delle linee per il

trasferimento delle risorse e dell'energia, l'inadeguatezza della normativa, l'inefficienza degli strumenti di indirizzo e di controllo, l'incapacità di cogliere il nesso intimo e profondo tra sviluppo e tutela delle risorse ambientali, la mancanza del rispetto per la natura e per le sue leggi, la convinzione che le risorse ambientali siano inesauribili e a disposizione di chiunque voglia utilizzarle.

Si è sviluppata in modo sistematico l'occupazione delle aree naturalmente destinate all'espansione delle acque fluviali, all'azione delle onde marine, al movimento dei versanti instabili. Pertanto fenomeni naturali sono diventati catastrofi e si è innescata una perversa spirale che alterna, nelle stesse zone, le opere di ricostruzione e il conteggio delle vittime e dei danni provocati dalla successiva calamità.

La situazione ovunque seria e complessa, diventa terribilmente drammatica quando la speculazione, gli interessi illegali, la delinquenza comune o mafiosa assumono il controllo di parti del territorio, incontrando ostacoli inconsistenti o facilmente eliminabili.

Gli strumenti legislativi, adottati peraltro con colpevole ritardo rispetto alle indicazioni della Commissione De Marchi, non hanno prodotto gli effetti sperati. Ci si riferisce in particolare alla legge 183 del 1989, conosciuta come legge sulla difesa del suolo, che istituisce, tra l'altro, le Autorità di bacino e i piani di bacino. La legge ha un impianto solido e razionale e se fosse stata tempestivamente applicata avrebbe portato sicuri benefici dal punto di vista della sicurezza idraulica e geologica del territorio. Ma in realtà essa è stata attuata con ritardo e in modo diseguale nelle diverse realtà del Paese. Pertanto mentre in alcune aree appare evidente il miglioramento nella efficacia e

nella efficienza degli interventi, in altre permane una sostanziale incapacità di dare risposte organiche e razionali.

Di recente il Parlamento ha condotto attraverso un Comitato di indagine paritetico, composto da senatori e da deputati, un'analisi circa lo stato di attuazione della legge 183 individuando i principali ritardi e indicando le necessarie soluzioni. Le indicazioni del Comitato, presieduto dal senatore Veltri (Senato, 1998), sono state largamente recepite in alcune recenti iniziative legislative, e in particolare nella legge 267 del 1998, che ha convertito in legge il decreto 180, sempre del 1998, emanato dal Governo dopo i tragici fatti di Sarno.

Questo decreto si propone di accelerare, con alcune indicazioni procedurali, l'iter di attuazione della legge 183, cercando di ridurre almeno per questo aspetto i ritardi accumulati.

Qualche passo avanti, lento e faticoso, è stato quindi fatto. E' ora necessario proseguire lungo questa strada senza cali di attenzione, sapendo che il cammino da percorrere è ancora terribilmente lungo.

In questo scenario, un ruolo essenziale è svolto in Italia dalla ricerca scientifica, che occupa, sui temi della difesa del suolo, una posizione di assoluta preminenza a livello internazionale, e ha prodotto negli anni risultati di grande rilevanza, che hanno consentito di affrontare con strategie sempre più adeguate il complesso problema del dissesto idrogeologico.

Nei paragrafi successivi saranno richiamati alcuni dei risultati conseguiti negli ultimi anni, riferiti, per motivi di spazio, solo al rischio di inondazione e agli aspetti idraulici e idrologici ad esso correlati.

IL RUOLO DELLA RICERCA IDRAULICA

La Scuola idraulica italiana, con la sua antichissima tradizione, ha sempre indirizzato la sua attenzione ai problemi della difesa dalle inondazioni, con opere di regimazione delle acque che hanno sfidato i secoli con successo.

Non è un caso che uno dei più prestigiosi rappresentanti di questa Scuola, Giulio De Marchi, abbia presieduto, dopo l'alluvione di Firenze, la Commissione, che da lui prende il nome, incaricata di analizzare il problema del rischio idrogeologico nel nostro Paese e di

proporre le relative soluzioni (Commissione Interministeriale, 1974). Soluzioni che mantengono la loro validità ancora oggi e sono state, come si è detto, in larga parte recepite dalla legge 183.

Un altro grande sforzo collettivo per affrontare in modo organico e sistematico il problema della difesa del suolo è stato condotto, negli anni 70 dal CNR attraverso il progetto finalizzato Conservazione del suolo, che ha affrontato il problema del rischio di inondazione all'interno del sottoprogetto Dinamica fluviale, coordinato da Enrico Marchi. I risultati del progetto hanno consentito di individuare e approfondire tutti quegli aspetti, idraulici, geomorfologici e idrologici, che sono di particolare rilevanza nei fenomeni di formazione delle piene e di evoluzione dinamica dei bacini e dei reticoli idrografici. Molti dei risultati del progetto (Consiglio Nazionale delle Ricerche, 1982) sono stati utilizzati e ulteriormente sviluppati negli anni successivi.

Nel 1985 il Ministro per il coordinamento della protezione civile ha promosso, con altri dicasteri, la nascita del Gruppo nazionale per la difesa dalle catastrofi idrogeologiche (GNDCI) del CNR. Si è avviata in tal modo, anche con la istituzione di Gruppi analoghi per i terremoti e i vulcani e l'investimento di adeguate risorse finanziarie da parte del Ministero, una collaborazione molto proficua che ha interessato, in modo progressivo, il mondo della ricerca ai temi della protezione civile.

In particolare il GNDCI, coordinato da Lucio Ubertini, ha subito individuato tra gli obiettivi strategici la riduzione del rischio di inondazione e ha deciso di perseguire tale obiettivo attraverso un ampio coinvolgimento della comunità scientifica nazionale e internazionale.

L'impegno conseguente di centinaia di ricercatori delle Università e di alcuni Istituti specializzati del CNR, e il confronto costante con le più avanzate strutture di ricerca di altri Paesi, hanno permesso di raggiungere nel corso degli anni risultati di grande rilievo che, su queste tematiche, confermano l'assoluta preminenza dell'Italia in campo internazionale.

L'analisi anche sommaria di tutti gli argomenti sviluppati dal GNDCI nel settore del rischio di inondazione non appare compatibile con gli obiettivi e le dimensioni di questa breve nota. Ci si limiterà pertanto a ricordare quelli più strettamente legati alle azioni di

previsione e prevenzione, seguendo un itinerario che tiene conto dei vari fattori che concorrono alla definizione del rischio.

IL RISCHIO DI INONDAZIONE

Per inquadrare in uno schema logico le attività del Gruppo, può essere utile puntualizzare il significato attribuito ai termini usati nello studio del rischio di inondazione.

Si definisce:

- evento, qualsiasi fenomeno di inondazione che si è verificato nel passato o può verificarsi nel futuro;
- area inondabile, un'area che può essere interessata da un evento;
- elementi a rischio, le persone, i beni monetizzabili (fabbricati, infrastrutture, insediamenti civili e industriali, ecc.), i beni non monetizzabili (architettonici, ambientali, archeologici, culturali, storici, ecc.) che si trovano nell'area inondabile e possono essere interessati dall'evento;
- esposizione, E , dell'elemento a rischio, la misura della quantità di elementi a rischio presenti. Nel caso di persone l'esposizione è data dal numero, nel caso di beni monetizzabili dal loro valore economico, nel caso di beni non monetizzabili dalla loro puntuale individuazione;
- vulnerabilità, V , dell'elemento a rischio, l'aliquota che subisce danno in caso di evento. La vulnerabilità oscilla tra 0 (nessun danno) e 1 (perdita totale). La vulnerabilità dipende dalle caratteristiche intrinseche dell'elemento a rischio e della intensità del fenomeno, espressa, nel caso di inondazione dall'altezza del tirante idrico e dalla velocità della corrente di sommersione;
- danno, D , relativo ad un evento, il prodotto dell'esposizione per la vulnerabilità. Si esprime nella stessa unità di misura utilizzata per l'esposizione. Pertanto il danno sarà rappresentato dal numero di persone colpite nella loro incolumità, dalla perdita economica subita dai beni monetizzabili, dall'aliquota di ogni singolo bene non monetizzabile che ha subito effetti negativi in occasione dell'evento;
- danno totale in t anni, D_t , danno complessivo che può verificarsi nel corso di t anni in un'area a rischio.

Corrisponde alla somma dei danni di tutti gli n eventi che potrebbero aversi nel periodo t . Il valore di D_t , non è costante ma cambia da un periodo all'altro; pertanto può essere considerato come una variabile casuale

- periodo di ritorno, T , intervallo medio tra due eventi consecutivi. T si esprime in anni;
- rischio in t anni, R_t , valore medio che può essere assunto da D_t . Almeno in prima approssimazione si può assumere (Natale e Versace 1995)

$$R_t = EV \frac{t}{T} \quad (1)$$

- pericolosità in t anni, H_t , probabilità di avere nel corso di t anni almeno un evento.

Se T è grande e il rapporto t/T è piccolo si può scrivere:

$$R_t = EVH_t \quad (2)$$

La (2) rappresenta l'equazione del rischio di inondazione ed indica che il rischio in t anni è dato dal prodotto dell'esposizione degli elementi a rischio, per la vulnerabilità, per la pericolosità nello stesso intervallo di tempo. La identificazione delle aree a rischio e la successiva determinazione del valore assunto dal rischio caratterizzano quella che si indica come la fase di analisi o di previsione del rischio.

La (2) inoltre consente di capire l'effetto che gli interventi di prevenzione possono avere sulla riduzione del rischio. Infatti gli interventi di tipo strutturale, come ad esempio le arginature o le vasche di laminazione, incidono sul rischio riducendo la pericolosità dell'evento dal momento che rendono meno probabile il verificarsi di un fenomeno di esondazione. Interventi di tipo non strutturale, come le limitazioni d'uso del territorio, producono una riduzione dell'esposizione degli elementi a rischio e/o della loro vulnerabilità. Basti pensare agli interventi di delocalizzazione degli insediamenti o all'imposizione di particolari tipologie costruttive. Effetto analogo possono produrre altri interventi di tipo non strutturale, come i sistemi di monitoraggio e i piani di emergenza, che riducono l'esposizione e la vulnerabilità degli elementi a rischio, mettendoli in condizioni di sicurezza prima che l'evento accada.

Gran parte dell'attività del GNDCI può essere ricondotta allo schema fin qui

delineato, inquadrando le azioni di ricerca nei diversi momenti che caratterizzano l'analisi del rischio e la definizione degli interventi di prevenzione. Nel seguito l'attenzione sarà dedicata in particolare alla:

- individuazione delle aree vulnerate, interessate cioè da eventi alluvionali nel passato;
- individuazione delle aree vulnerabili;
- stima della pericolosità, della probabilità cioè che si verifichi nel periodo di riferimento assunto pari a t anni, almeno un evento alluvionale;
- interventi non strutturali legati alla previsione in tempo reale dei fenomeni di piena.

INDIVIDUAZIONE DELLE AREE VULNERATE. IL PROGETTO AVI

I fenomeni di inondazione interessano molto spesso aree già colpite nel passato, più o meno recente, da analoghi fenomeni. Pertanto la individuazione puntuale delle aree storicamente inondate riveste una grande rilevanza nell'analisi del rischio di inondazione, perché consente di identificare aree potenzialmente inondabili, sulle quali sviluppare le indagini e gli approfondimenti necessari. Una indagine di questo tipo è stata avviata dal GNDICI nel 1990 (Natale e Versace, 1993) con il progetto AVI (Aree Vulnerate in Italia) e ha portato a risultati di grande interesse (Guzzetti, 1998; Reichenbach *et al.*, 1998). Essa ha riguardato anche le aree interessate da movimenti franosi.

Lo studio è stato basato sull'analisi di:

- elaborati tecnico scientifici, come gli studi e le ricerche del CNR e dell'Università,
- fonti storiche e cronachistiche, come libri di storia, giornali e riviste nazionali,
- interviste a referenti privilegiati, quali ricercatori, funzionari di servizi tecnici e di uffici tecnici di enti territoriali,
- rilievo dei fenomeni in atto, soprattutto attraverso l'analisi di foto aeree.

Un recentissimo aggiornamento del progetto (Cardinali *et al.*, 1998) indica che sono stati analizzati 22 quotidiani nel periodo 1918-1990 per un totale di oltre 350000 copie consultate, 55 quotidiani nel periodo 1991-1994 per oltre 70000 copie. Sono state inoltre effettuate 150 interviste a referenti privilegiati e si sono esaminate circa 1000 pubblicazioni scientifiche.

Nel totale sono state censite notizie relative a oltre 7000 piene fluviali e 17000 frane che hanno provocato danni rilevanti e spesso anche vittime. Si tratta di un quadro che descrive per difetto la realtà del nostro Paese, perché gli eventi censiti sono solo quelli che hanno provocato danni ingenti, e non comprendono quindi gli eventi con conseguenze più modeste.

I dati sono riportati su un CD edito dal gruppo, dal titolo MAPPAVI, che permette di ricostruire a varie scale territoriali (nazionale, regionale, provinciale, comunale) il quadro degli eventi accaduti nel periodo di riferimento. MAPPAVI permette inoltre attraverso un collegamento in rete con il sito INTERNET del GNDICI di accedere ai progressivi aggiornamenti della banca dati.

PERIMETRAZIONE DELLE AREE INONDABILI. IL CODICE FRESCURE

Nell'analisi del rischio è necessario delimitare in modo preciso le aree che, con assegnato periodo di ritorno, possono essere inondate, valutando nel contempo l'intensità con la quale l'evento potrà colpire l'elemento a rischio.

Escludendo i casi eccezionali (inondazione di centri urbani molto estesi, sommersione di vaste piane alluvionali causata da una rottura arginale oppure di alluvionamento di aree di conoide da parte di correnti di detrito o di fango) nei quali deve essere simulata l'evoluzione dell'evento di inondazione con modello dinamico bidimensionale, eventualmente di fluido non-newtoniano, è opportuno nella perimetrazione delle aree a rischio seguire la procedura standard suggerita dal GNDICI e ripresa nelle Linee guida (Natale e Versace, 1994), predisposte dal Dipartimento della Protezione Civile.

Questa procedura riprende criteri di calcolo e di valutazione ingegneristica già adottati, negli Stati Uniti, dal U.S. Army Corps of Engineers e dal Federal Emergency Management Agency e, in Europa, da vari organismi governativi.

La procedura di perimetrazione passa attraverso vari livelli di approfondimento.

Il primo livello, che consiste nella ricognizione delle aree colpite da eventi calamitosi condotta su fonti storiche o cronachistiche, permette di acquisire gli elementi per valutare la convenienza di approfondimento dell'analisi.

Qualora la situazione allo studio non giustifichi tale approfondimento, la

perimetrazione delle aree a rischio viene fatta con procedimento (di secondo livello) molto semplice:

- a) si definisce il valore della portata di progetto, corrispondente ad un assegnato periodo di ritorno T , in tutte le sezioni di interesse del corso d'acqua,
- b) considerato l'alveo prismatico lungo i tronchi posti a cavaliere di ciascuna delle sezioni di interesse, si calcola con tale portata il tirante d'acqua di moto uniforme, eventualmente maggiorato, con apposite formule, a monte dei ponti o delle ostruzioni d'alveo ove il moto è localmente variato,
- c) si posiziona sul terreno la traccia del pelo libero nelle diverse sezioni, ottenendo le informazioni necessarie per la perimetrazione dell'area inondabile.

La procedura standard completa, o di terzo livello, si fonda sulla considerazione che il profilo di pelo libero della corrente con portata variabile lungo il percorso e ovunque pari al periodo di ritorno di progetto, T , approssima statisticamente l'involuppo atteso di tutti i profili di piena aventi tempo di ritorno T .

Di conseguenza le quote di piena di progetto vengono determinate lungo l'asta fluviale tracciando un profilo di moto permanente. A tal fine, il GNDCI ha predisposto il codice di calcolo FRESCURE (Natale e Savi, 1998) che, facilitando l'acquisizione e la manipolazione dei dati topografici riproducenti la geometria dell'alveo e la rappresentazione sulla carta topografica dei risultati del calcolo, ben si presta per le applicazioni pratiche.

Il codice FRESCURE, che localizza in maniera automatica le sezioni di controllo e di risalito:

- a) consente di trattare il deflusso nelle sezioni composte inserendo correttamente nella equazione del moto della corrente il coefficiente di ragguaglio di Boussinesq, il cui effetto può non essere trascurabile nei casi pratici, e rappresentando la non complanarità del profilo nella sezione trasversale,
- b) rappresenta in maniera dettagliata le singolarità idrauliche: confluenze, ponti, briglie e salti di fondo, tratti tombati in pressione, sormonti arginali, ecc.,
- c) simula approssimativamente, con le più comuni leggi del trasporto solido, le deformazioni indotte nella geometria dell'alveo dal passaggio della piena.

L'applicazione guidata del codice FRESCURE (Natale e Savi, 1999) consente di simulare il deflusso, in moto permanente ma con portata variabile lungo il percorso, in reti idrauliche dendritiche e attorno a isole. A quest'ultimo caso è assimilabile la rappresentazione del movimento di una corrente che aggira un allineamento arginale.

Il calcolo fornisce un insieme di risultati che consentono anche di stimare l'impatto della corrente sugli elementi a rischio.

VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITA'. IL PROGETTO VAPI

La valutazione delle piene corrispondenti ad adeguati periodi di ritorno è uno dei problemi classici dell'idrologia e riveste una importanza rilevante sia per l'analisi del rischio di inondazione sia per il dimensionamento delle opere di difesa idraulica. Il tema è stato affrontato nell'ambito della Commissione De Marchi e, in modo più approfondito, nel progetto finalizzato conservazione suolo che ha raccolto i contributi più significativi in un interessante volume (Marchi *et al.* 1982).

Questi risultati sono stati sviluppati in modo sistematico dal GNDCI che ha scelto la valutazione delle piene in Italia (progetto VAPI) come uno degli obiettivi prioritari.

Lo scopo è quello di individuare una procedura standard per la stima, in qualsiasi sezione di un corso d'acqua, della piena di progetto, e in particolare della portata di picco Q_T che può verificarsi con un periodo di ritorno T , fissato.

Per l'analisi del rischio la individuazione del legame tra Q_T e T è di grande interesse perché consente di valutare la pericolosità H_t da associare ad un determinato evento. Più precisamente se si è in grado di individuare le aree che possono essere inondate in occasione di una piena con portata di picco Q_T , la pericolosità H_t , sarà data dalla relazione (Rossi e Versace, 1982):

$$H_t = 1 - \left(1 - \frac{t}{T}\right)^t \quad (3)$$

dove H_t , come si ricorderà rappresenta la probabilità di avere, in t anni, almeno un evento.

Nel caso di T grande e t/T piccolo, si è detto, vale la relazione approssimata:

$$H_t \cong \frac{t}{T} \quad (4)$$

Il progetto VAPI (Versace *et al.* 1989) indica per le varie Regioni, eventualmente raggruppate in compartimenti idrografici, le procedure da seguire per la stima di Q_T .

La procedura è basata su un modello probabilistico che può essere sintetizzato dalla relazione:

$$Q_T = K_T Q_0 \quad (5)$$

dove: Q_T ha il significato noto, K_T è un "fattore di crescita", Q_0 è la "portata indice".

Il progetto VAPI ha suddiviso il territorio nazionale in zone omogenee in ciascuna delle quali è stata identificata la legge di variazione di K_T al variare di T (legge di crescita), che si mantiene costante almeno per i corsi d'acqua che non abbiano a monte invasi di laminazione o tratti soggetti a esondazioni.

Tali leggi sono riconducibili ad una funzione probabilistica denominata TCEV, proposta già nell'ambito del progetto Conservazione Suolo (Rossi e Versace, 1982). L'andamento della TCEV è riportato sulla carta probabilistica di figura 1.

La portata indice, invece, è strettamente legata alle caratteristiche morfologiche, geologiche, climatiche e all'uso del suolo nel bacino idrografico. Il progetto VAPI ha individuato per ciascuna regione relazioni che consentono la stima di Q anche nelle sezioni prive di dati misurati.

I risultati del progetto sono sintetizzati in una serie di rapporti regionali (Versace *et al.*, 1989; Cao *et al.*, 1991; Cannarozzo *et al.*, 1993; Copertino e Fiorentino, 1994; Rossi e Villani, 1994; Villi, 1995).

LA PREVISIONE IN TEMPO REALE DEI FENOMENI DI PIENA

Le azioni di tipo non strutturale hanno acquisito negli ultimi anni un ruolo sempre più rilevante tra le strategie di intervento per la riduzione del rischio di inondazione. Ragioni economiche, logistiche e ambientali rendono infatti improponibile il ricorso sistematico agli interventi di tipo strutturale.

In particolare il preannuncio, o previsione in tempo reale, delle piene fluviali, accompagnato da un efficace piano di gestione dell'emergenza, consente di ridurre in misura rilevante i danni prodotti dalle inondazione. Disponendo, infatti, di un modello di

previsione in tempo reale è possibile precludere tempestivamente l'accesso alle aree inondabili e mettere in sicurezza le persone e i beni maggiormente esposti che in tali aree si trovano.

La letteratura tecnica propone un gran numero di modelli da utilizzare, a seconda della tipologia di dati disponibili, della dimensione del bacino idrografico e della rapidità ("tempo di ritardo") con la quale esso risponde alle precipitazioni meteoriche. In particolare nei bacini con tempi di ritardo dell'ordine del giorno, il preannuncio si basa quasi sempre sui dati pluviometrici e sui modelli di trasformazione afflussi-deflussi, mentre per quelli più estesi, può essere effettuato più semplicemente con modelli di propagazione delle piene, utilizzando i soli dati idrometrici.

Nei bacini piccoli, invece, quando il tempo di ritardo è al massimo di poche ore, la previsione basata sui soli dati pluviometrici e sulla modellistica afflussi-deflussi risulta poca efficace, perché il tempo di preannuncio è troppo breve e non è sufficiente per sviluppare in modo adeguato l'intervento di protezione civile.

L'aumento del tempo di preannuncio può essere ottenuto attraverso la previsione delle piogge future che, inserite nel modello di trasformazione afflussi-deflussi, permettono di valutare le portate su un orizzonte temporale più esteso, a prezzo beninteso di un aumento dell'incertezza della stima.

La previsione delle piogge può avvenire con procedure diverse, riconducibili quasi sempre all'una o all'altra di due tipologie principali: modelli meteorologici e modelli stocastici.

Questi temi sono stati sviluppati ampiamente dal GNDICI, che non solo ha affrontato gli aspetti teorici, ma ha curato anche la realizzazione di alcuni sistemi di preannuncio, nonché la predisposizione dei piani di emergenza ad essi collegati.

Uno di questi modelli è stato costruito per la previsione in tempo reale delle piene del fiume Esaro che, nell'ottobre '96, aveva provocato nel corso di una repentina e violentissima piena vittime e danni nella città di Crotone. L'interesse di questo modello sta appunto nel fatto che per la brevità del tempo di ritardo con il quale si manifestano le piene, si è reso necessario inserire nell'ambito del modello di preannuncio anche un modulo di previsione delle piogge, basato sulla simulazione stocastica di tale fenomeno.

Più precisamente il sistema di preannuncio (Mendicino *et al.*, 1998) è composto da una rete di telemisura con quattro telepluviometri e due teleidrometri e da un modello di simulazione composto da quattro moduli:

- modulo di acquisizione, che preleva i dati trasmessi dalla rete di misura, ne cura la validazione, confronta i valori correnti con quelli del passato;
- modulo di taratura, dedicato alla stima dei parametri del modello e a simulare la trasformazione afflussi-deflussi, sulla base dei dati osservati;
- modulo di previsione delle piogge, dedicato alla simulazione delle precipitazioni in un periodo successivo all'istante corrente;
- modulo di trasformazione afflussi - deflussi, che simula il comportamento futuro del bacino in risposta le piogge osservate e a quelle simulate. Lo schema di questo modulo è riportato in figura 2.

E' importante sottolineare che anche con la simulazione delle piogge future, il tempo di preannuncio, cioè l'anticipo con il quale può essere prevista una piena imminente è molto breve, dell'ordine di due o tre ore. Pertanto l'azione di protezione civile può risultare efficace solo se si sviluppa in modo efficiente seguendo uno schema operativo (modello di intervento) ben definito.

Nel caso di Crotone si è fatto riferimento allo schema proposto da Becchi *e al.* (1996) che prevede le seguenti fasi:

- preallerta, che si attiva su segnalazione della Protezione Civile e richiede il presidio permanente del sistema di preannuncio delle piene. In questa fase la sorveglianza è solo strumentale;
- allerta, che si attiva quando viene superato un fissato valore di soglia in qualcuno dei sensori pluviometrici o idrometrici installati sul bacino e prevede, accanto alla vigilanza strumentale, anche la vigilanza diretta dei punti di possibile crisi, dei punti cioè dove è più verosimile l'inizio dell'inondazione. In questa fase la popolazione non è coinvolta;

- allarme, che si attiva quando l'osservazione diretta e quella strumentale indicano che l'evento ha elevate probabilità di verificarsi e quindi occorre attivare tutte le necessarie misure di salvaguardia preventiva della popolazione;
- emergenza, che si attiva al verificarsi dell'evento e richiede il soccorso, tempestivo ed organizzato, alla popolazione colpita.

Il sistema di preannuncio e il relativo piano di emergenza per la città di Crotone hanno già operato nel corso del 1998, fornendo una risposta adeguata (Mendicino *et al.*, 1998).

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La felice intuizione di costruire un saldo legame di collaborazione tra mondo scientifico e protezione civile, investendo risorse economiche significative per la istituzione e il funzionamento dei Gruppi Nazionali di ricerca ha portato a risultati di grande rilevanza.

Ci si è limitati, in questa nota, a descrivere solo una parte dell'attività svolta nel settore del rischio di inondazione. Risultati di livello non inferiore sono stati conseguiti anche nel settore del rischio di frana e in quello della vulnerabilità degli acquiferi per quanto riguarda il GNDCl, e nel settore sismico e vulcanico per quanto riguarda gli altri Gruppi di ricerca attivati dal Dipartimento della Protezione Civile.

Caratteristica comune a tutte queste attività di ricerca è stata la capacità di ancorare il rigore scientifico e metodologico e l'esigenza di promuovere lo sviluppo più complessivo della ricerca, a temi di grande rilevanza sociale ed economica per il nostro Paese, quali sono la modellazione dei fenomeni naturali potenzialmente a rischio e lo sviluppo di tecniche e di metodologie per mitigarne gli effetti negativi.

Figura 1 Andamento della funzione di probabilità cumulata $F_X(x)$ del modello TCEV.

Figura 2 Schema del modello di trasformazione afflussi-deflussi utilizzato per simulare le piene dell'Esaro di Crotone.

BIBLIOGRAFIA

CANNAROZZO M., D'ASARO F. & FERRO V. - *"Valutazione delle piene in Sicilia"*. CNR-GNDCI, Palermo, 1993.

CAO C., PIGA E. & SECHI G.M. - *"Valutazione delle piene in Sardegna"*. CNR-GNDCI, Cagliari, 1991.

COPERTINO V.A. & FIORENTINO M. - *"Valutazione delle piene in Puglia"*. CNR-GNDCI, Potenza, 1994.

CARDINALI M., CARRARA A., DONZELLINI G., GIOVETTI S., GUZZETTI F., MENEGATTI P., REICHENBACH P. & TONELLI G. - *"MAPPAVI. Software per la visualizzazione del Catalogo delle informazioni storiche sulle località colpite da frane ed inondazioni censite dal progetto AVI"*. Versione 1.2. CNR-IRPI, Perugia, 1998.

COMMISSIONE INTERMINISTERIALE PER LO STUDIO DELLA SISTEMAZIONE IDRAULICA E DELLA DIFESA DEL SUOLO - *"Atti della Commissione"*. Roma, 1974.

CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE - *"Progetto finalizzato Conservazione del Suolo"*. Atti del Convegno Conclusivo, Roma, 9-10 giugno 1982.

GUZZETTI F. (Editor) - *"Special Issue: Hydrological triggers of diffused landsliding. Environmental Geology"*. Vol. 35: 2-3, August 1998. Selected papers from the symposium "Hydrological Triggers of Diffused Landsliding" held at the 1996 European Geophysical Society General Assembly, l'Aia, Olanda, 240 p., 1998.

MARCHI E., CARONI E., D'ALPAOS L., FATTORELLI S., ROSSI F., UBERTINI L. & VERSACE P. - *"Valutazione delle piene"*. CNR, P.F. Conservazione del Suolo. Dinamica Fluviale. Pubblicazione n°165, maggio 1982.

MENDICINO G., IIRITANO G. & VERSACE P. - *"Il preannuncio delle piene nei piccoli bacini. Il caso dell'Esaro di Crotone"*. XXVI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Vol. II, pp. 121-130, Catania, 1998.

NATALE L. & SAVI F. - *"Codice di calcolo FRESCURE, manuale d'uso, Centro Studi di Ingegneria Ambientale"*. Pavia, 1998

NATALE L. & SAVI F. - *"Short Course La delimitazione delle aree inondabili con il codice di calcolo FRESCURE"*. Appunti delle lezioni, Marzo, Pavia, 1999

NATALE L. & VERSACE P. - *"Aree vulnerate e piani di prevenzione civile. Il Progetto AVI"*. In: Previsione e prevenzione degli eventi idrologici estremi e loro controllo, Linea 1, Rapporto 90-91, GNDCI, Dip. Prot. Civ., Roma, 1993.

NATALE L. & VERSACE P. - *"Linea guida per la previsione del rischio idrogeologico. Una ipotesi di lavoro"*. In: Previsione e prevenzione degli eventi idrogeologici estremi e loro controllo, Linea 1, Rapporto 90-91, GNDCI, Dip. Prot. Civ., Roma, 1994

REICHENBACH P., GUZZETTI F. & CARDINALI M. - *"Carta delle aree colpite da movimenti franosi e da inondazioni"*. Progetto AVI, 2^a edizione. GNDCI pub. n°1786, Scala 1:200.000. 1998.

ROSSI F. & VERSACE P. - *"Criteri e metodi per l'analisi statistica delle piene"*. In *"Valutazione delle piene"*. CNR, P.F. Conservazione del Suolo. Dinamica Fluviale. Pubblicazione n° 165, maggio 1982.

ROSSI F. & VILLANI P. - *"Valutazione delle piene in Campania"*. CNR-GNDCI, Salerno, 1994.

SENATO DELLA REPUBBLICA - *"Indagine conoscitiva sulla difesa del suolo"*. Raccolta di atti e documenti, Roma, 1998.

VERSACE P., FERRARI E., GABRIELE S. & ROSSI F. - *"Valutazione delle piene in Calabria"*. CNR-GNDCI, Cosenza, 1989.

VILLI V. - *"Valutazione delle piene nel Triveneto"*. CNR-GNDCI, Padova, 1995.

PASQUALE VERSACE

Ordinario di Bonifiche e sistemazioni Idrauliche presso l'Università della Calabria. Presidente del Corso di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio, presso la stessa Università. Fa parte della Commissione Grandi Rischi del Dipartimento della protezione civile e della segreteria tecnica per la Difesa del Suolo del Ministero dell'Ambiente. E' stato dal 1983 al 1991 Direttore del CNR-IRPI di Cosenza. E' autore di oltre 100 pubblicazioni nei settori dell'Idrologia, dell'Idraulica fluviale, della Protezione idrogeologica.

Contatti:

*Dipartimento di Difesa del Suolo "V. Marone" - Contrada S. Antonello - 87046 - Montalto Uffugo
Scalo (CS) - Italy*

Tel. 0984934316

Fax 0984934245

E-mail versace@ddserver.dds.unical.it