

*C.N.R.*

*Consiglio Nazionale delle Ricerche*

*GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA  
DALLE CATASTROFI IDROGEOLOGICHE*

LINEA 1

**Previsione e prevenzione degli eventi idrologici  
estremi e loro controllo**

**Rapporto 1996-98**

Presidenza del Consiglio dei Ministri  
Dipartimento della Protezione Civile

*CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE*

*GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE  
CATASTOFI IDROGEOLOGICHE*

*LINEA 1*

**Previsione e prevenzione di eventi idrologici  
estremi e loro controllo**

**RAPPORTO SULL'ATTIVITA'  
SVOLTA  
NEL TRIENNIO 1996-1998**

Responsabile della Linea di Ricerca:

Prof. Ing. FABIO ROSSI  
Dipartimento di Ingegneria Civile  
Università di Salerno  
Via Ponte don Melillo  
84084 - FISCIANO (SA)  
E-mail: Rossi@mbox.diima.unisa.it

**RAPPORTO SULL'ATTIVITA'  
SVOLTA NEL TRIENNIO  
1996-1998  
DALLE UNITA' OPERATIVE DELLA  
LINEA 1**

Prof. Fabio Rossi (\*)

## 1. INTRODUZIONE

### 1.1 I compiti istituzionali del GNDCI e la convenzione con il Dipartimento di Protezione Civile

Il Gruppo nazionale per la difesa delle catastrofi idrogeologiche (G.N.D.C.I.) è stato costituito presso il Consiglio Nazionale delle Ricerche con decreto interministeriale del 12 dicembre 1984.

In base alla Legge 225/92, Istituzione del Servizio Nazionale della Protezione Civile ed al Decreto ministeriale del 10 febbraio 1993, Individuazione e disciplina dei Gruppi nazionali di ricerca scientifica, il GNDCI viene individuato come una struttura operativa nazionale per la protezione civile (art. 2, comma 11, lettera f della legge; art. 1 del decreto) e svolge le seguenti funzioni (art. 1 del decreto):

- i) promuove e sviluppa in forme autonome la ricerca scientifica ed interdisciplinare, indirizzata all'acquisizione e al miglioramento delle conoscenze nel settore del rischio idrogeologico;
- ii) svolge specifiche attività per le finalità di protezione civile in materia di previsione e prevenzione degli eventi calamitosi.

In particolare, per le specifiche finalità di protezione civile, il GNDCI è tenuto a:

- fornire consulenza al Dipartimento della Protezione Civile nella preparazione dei programmi nazionali di previsione e prevenzione\_in relazione al rischio idrogeologico, previsti dall'art. 4 della legge n. 225/92;
- assicurare l'intervento tecnico-scientifico in occasione di emergenze, nel quadro delle azioni di coordinamento del Ministro per il coordinamento della Protezione Civile;

---

(\*) Dipartimento di Ingegneria Civile, Università di Salerno, Via Ponte don Melillo, 84084 Fisciano (SA)

- fornire consulenza scientifica e tecnica nel settore del rischio idrogeologico alle componenti del Servizio Nazionale della Protezione Civile, di cui all'art. 6 della legge n. 225/92, anche attraverso la formulazione di linee guida e la partecipazione alle iniziative di informazione alle popolazioni esposte al rischio idrogeologico.

Per il triennio 1996-98 l'attività del Gruppo è regolata dalla Convenzione stipulata con il Dipartimento della Protezione Civile, il cui allegato tecnico rappresenta il documento di illustrazione del programma scientifico, che prevede attività coordinate, di ricerca, studio, sviluppo, sorveglianza e consulenza tecnico-scientifica.

Tale programma triennale prevede:

- progetti di ricerca strettamente coordinati tra le diverse linee di ricerca (Progetti interlinea), atti a fornire supporto scientifico al Programma nazionale di previsione e prevenzione del rischio idrogeologico ed al Piano nazionale di emergenza, che devono essere predisposti dal Dipartimento della Protezione Civile, secondo l'art. 4 della legge n. 225/92;
- progetti di ricerca su tematiche specifiche (Progetti specifici di linea), indirizzati all'acquisizione e al miglioramento delle conoscenze nel settore delle catastrofi idrogeologiche, ed in particolare allo sviluppo di procedure e di tecnologie adeguate, al trasferimento di criteri, procedure, modelli matematici acquisiti dalla comunità scientifica.

### [1.2 Il programma scientifico del GNDCl nell'ambito di un programma nazionale di mitigazione del rischio idrogeologico.](#)

Il programma scientifico del GNDCl, e in particolare della Linea 1, sia riguardo agli obiettivi da perseguire, sia riguardo alle attività da svolgere e ai prodotti da realizzare, è stato costantemente inquadrato nell'ambito di un programma nazionale di mitigazione del rischio idrogeologico. Tale programma partiva dalla presa d'atto che la degenerazione del sistema tradizionale di difesa dalle alluvioni, di tipo passivo e localistico, aveva innescato un circolo vizioso, a causa della pressione insediativa nelle aree a rischio, con il crescere sia dei costi degli interventi strutturali, sia dei danni provocati dagli eventi critici.

Il GNDCl ha scelto quindi di imboccare decisamente la strada di una politica basata sulla pianificazione di interventi organici di tipo strutturale e soprattutto non strutturale, con un programma nazionale di previsione probabilistica delle portate di piena (Progetto VAPI), con l'individuazione delle aree vulnerate nel secolo in corso (Progetto AVI), con la definizione dei criteri di mappatura delle aree a rischio di inondazione, con la definizione dei criteri per la regolamentazione d'uso delle aree inondabili, e per la predisposizione di adeguati sistemi di gestione operativa della fase di emergenza.

## 2. ATTIVITA' DI DIRETTO SUPPORTO ALLA PROTEZIONE CIVILE

### 2.1 Tipo di attività

Nel triennio 1996-98 le attività del GNDCI di diretto supporto al sistema nazionale della Protezione Civile si sono fortemente incrementate, tanto da rappresentare una vera e propria svolta nel percorso del GNDCI.

Tale svolta è stata dovuta principalmente al rinnovato impegno e alla conseguente crescita del prestigio e del peso politico del Dipartimento di Protezione Civile (DPC) sotto la guida di Franco Barberi.

Di rilievo assolutamente straordinario sono state le attività di intervento tecnico-scientifico per la gestione delle fasi di emergenza successiva a disastri idrogeologici di rilevanza e dimensioni nazionali:

- evento del 19/06/96 in Versilia e Garfagnana (Toscana);
- evento del 16/10/96 con inondazione di Crotona (Calabria) da parte del F. Esaro;
- movimento franoso del 12/04/96 a Ripalimosana (Molise) con sbarramento del F. Biferno;
- eventi di pioggia nell'inverno '96-'97 in Campania (emergenza Pozzano);
- disastro alluvionale del 5-6/5/98 in Campania (emergenza Sarno).

L'intervento del GNDCI post-evento è avvenuta in varie forme:

- coordinamento, sulla base di ordinanza ministeriale, di comitati tecnici-scientifici a supporto della gestione dell'emergenza (es. Calabria, Campania (Pozzano), Lombardia);
- intervento diretto e prolungato per l'intera fase dell'emergenza da parte del GNDCI, attraverso unità operativa, già attiva e potenziata allo scopo (es. Campania (Sarno); U.O. 2.38 coordinata da L. Cascini);
- consulenza al Dipartimento della Protezione Civile e a varie Prefetture in occasione sia di urgenza sia di riunione programmate;
- consulenza tecnica-scientifica per sopralluoghi, d'intesa con il DPC, al fine di accertare situazioni di pericolo incombente.

Infine nel triennio ha acquistato un'importanza crescente l'attività di consulenza e di ricerca applicata:

- sia nella predisposizione dei Programmi di previsione e di prevenzione, dal livello provinciale a quello nazionale,
- sia nella redazione dei Piani d'emergenza per mitigare il rischio idrologico, soprattutto nei termini di perdita di vita umana.

### 2.2 Gestione delle emergenze post-evento

Un rilievo straordinario ha assunto l'attività di gestione della fase di emergenza nei periodi successivi ad eventi che hanno provocato gravi dissesti idrogeologici.

Per tale fase l'attività di consulenza del GNDCI ha riguardato:

- a) il censimento dei danni;
- b) l'accertamento delle situazioni di pericolo imminente per le vite umane;
- c) la definizione rigorose di classi di priorità per gli interventi proposti dagli enti territoriali, sia di tipo strutturale che di natura non strutturale;
- d) la definizione di criteri programmatici per l'individuazione di interventi di riassetto idrogeologico complessivo delle aree danneggiate e più in generale per la previsione del rischio idrogeologico.

### [2.3 Piano di emergenza infrastrutturale di emergenza in Calabria \(ordinanza DPC 19/11/96 n.2478\)](#)

Il piano di interventi infrastrutturali di emergenza è stato predisposto sulla base del censimento dei danni effettuato dai competenti uffici e dalla valutazione preventiva della loro entità. Il piano riguarda 108 comuni e si è avvalso dei fondi assegnati dal D.P.C per circa 100 Mld Lit. e delle risorse finanziarie messe a disposizione dalla Regione e dagli Enti locali.

La Commissione tecnica, coordinata dal prof. Versace, ha predisposto il Piano sulla base dei dati e della documentazione presentate dai competenti uffici della Regione e dai comuni interessati, seguendo alcuni criteri fondamentali:

- eliminazione di situazioni di pericolo imminente;
- ripristino della funzionalità di infrastrutture;
- realizzazione di un parco progetto per la difesa del suolo, favorendo una progettualità basata su accurate ed indispensabili indagini tecniche.

## **3. ATTIVITA' DI RICERCA APPLICATA**

### [3.1 Progetti di ricerca](#)

La Linea di ricerca 1 nel triennio ha sviluppato, come negli anni precedenti, studi e ricerche nell'ambito di diverse tipologie di rischio idrogeologico, in primo luogo, in stretta collaborazione con la Linea 3 le attività sono state rivolte alla previsione e prevenzione del:

- Rischio di alluvione, articolato in:
  - piene ed esondazioni da corsi d'acqua naturali;
  - colate detritiche e sovralluvionamento in torrenti montani e pedemontani;
  - piene di collasso di sbarramenti;

in via secondaria, la linea 1 ha affrontato i problemi idrologici connessi ad eventi estremi nell'ambito di altre tipologie di rischio, di grande importanza per il Paese, ma di minore impatto sul sistema nazionale di Protezione Civile, in particolare del :

- Rischio di degrado delle risorse idriche, con particolare riguardo a:
  - deficienze idriche dovute alla siccità;
  - depauperamento delle sotterranee.

ed in collaborazione con le Linee 2 e 3, ha proseguito l'attività avviata solo nel 1996 su:

- Rischio di mareggiata, articolata negli aspetti:
  - climatologico;
  - geomorfologico e sedimentologico;
  - fluidodinamica.

Maggior peso hanno acquisito anche le attività di ricerca applicate che hanno ottenuto disponibilità di co-finanziamento adeguati da parte dell'Unione Europea, di Enti di ricerca esterni al CNR, dai Servizi Tecnici nazionali, ovvero da amministrazioni territoriali interessate all'utilizzazione dei prodotti della ricerca ed in particolare dalle Autorità di Bacino nazionali ed interregionali, dalle Autorità regionali e provinciali.

Per tali attività è stata rafforzata la politica di co-finanziamento, con lo scopo:

- di assicurare un sostegno significativo a quelle attività scientifiche, di formazione e di cooperazione con gli Enti pubblici, a livello locale o Nazionale, che dimostrino di rivestire una notevole rilevanza operativa;
- di sostenere le attività scientifiche volte a conseguire specifiche conoscenze in settori specialistici con ampie collaborazioni internazionali.

Per quanto riguarda le attività di ricerca nei diversi settori del rischio idrogeologico, i progetti di ricerca in cui è stata coordinata l'attività delle UU.OO. sono state:

nel settore della prevenzione e mitigazione del rischio di alluvione:

1. Il progetto ARA (*AREE A RISCHIO DI ALLUVIONE*) articolato in:

- Piene ed Inondazioni (ARA-PIN)
- Aree Vulnerate Italiane (Modulo AVI)
- Sicurezza degli SBARamenti (ARA-SBAR)
- Colate detritiche (Modulo ARA-COD)

2. Il progetto MITIGARA (*METODOLOGIE E TECNICHE NON STRUTTURALI*),  
*OSSERVAZIONI MULTISENSORI DEI CAMPI DI PRECIPITAZIONE*  
*MODELLI DI SIMULAZIONE E PREVISIONE DELLE PIOGGE* (METEO)

- Il sistema italiano multi-utente e multi-fornitore per l'acquisizione e diffusione dell'informazione idro-meteorologica (ARGO)
- Estremi di precipitazione: dall'osservazione ai processi (Modulo RAIN)
- Influenza dell'orografia sulle precipitazioni a scala meso-locale (Modulo ORO)

nel settore del rischio di degrado delle risorse idriche si è sviluppato il progetto:

1. Il progetto ARDE-SIC (*AREE A RISCHIO DI DEFICIENZA IDRICA PER FENOMENI DI SICCAITÀ*)

nel settore dei rischi collegati all'azione del mare sui litorali (LIT)

1. Il progetto MODULO LIT-CLIMA (ASPETTI CLIMATOLOGICI) e MODULO LIT-FLUIDO (FLUIDODINAMICI)

I progetti di specifici di linea sono i seguenti:

1. MIEP (MODELLISTICA IDROLOGICA DEGLI EVENTI DI PIENA: PREANNUNCIO DELLE PIENE)
2. VAPI (VALUTAZIONE DELLE PIENE DEI CORSI D'ACQUA ITALIANI)

### 3.2 Progetto VAPI

#### *Criteria generali*

Il Progetto VAPI sulla VALutazione delle Piene naturali dei corsi d'acqua italiani è stato il progetto di ricerca sviluppato dalla Linea 1

Il progetto fornisce non solo una guida, a carattere metodologico, ma anche una procedura "quasi standard", che è stata messa a punto ed applicata sull'intero territorio nazionale da unità operative del GNDCI, costituite presso Università ed Organi del CNR. Tali UU.OO. hanno prodotto distinti "Rapporti regionali VAPI", riferiti a regioni idrografiche generalmente coincidenti con i compartimenti secondo cui è organizzato il Servizio Idrografico. Le UU.OO. hanno operato in autonomia, seguendo però una procedura comune nelle parti essenziali degli studi regionali e sviluppando anche metodi alternativi per alcuni aspetti.

Nell'ambito del progetto è stato predisposto un "Sistema informativo VAPI", per favorire la diffusione dei risultati e per facilitare l'applicazione delle procedure di stima.

I criteri fondamentali seguiti per utilizzare al meglio le informazioni disponibili per la realizzazione del Progetto si possono schematizzare nei seguenti tre punti:

- i) utilizzare "l'informazione a priori" riguardo le caratteristiche fisiche dei fenomeni;
- ii) integrare l'informazione fornita dai dati puntuali con dati spaziali ("sostituzione del tempo con lo spazio");
- iii) integrare l'analisi dei dati idrometrici con quelli dei dati pluviometrici.

Per definire e mettere a punto la procedura di valutazione delle piene, si sono messe a confronto procedure alternative che sono state valutate in base:

- alla capacità descrittiva, cioè alla capacità di riprodurre le caratteristiche delle serie storiche idropluviometriche, rese disponibili dal SIMN e da altri enti;
- alla capacità previsionale, cioè di stima efficiente dalla massima portata  $Q_T$  di periodo di ritorno T con il minimo errore quadratico medio e con la massima robustezza.

In base ai criteri su esposti sono state definite le metodologie di stima e le diverse parti della procedura di regionalizzazione.

Il modello probabilistico è stato scelto nell'ambito della famiglia di modelli del massimo annuale di un processo poissoniano di eventi di piena indipendenti. Precisamente è stata scelta la distribuzione dei valori estremi a doppia componente (TCEV), capace di interpretare eventi "straordinari", di intensità estremamente elevata, anche se molto rari in un singolo sito, tipici del clima mediterraneo.

Il modello di regionalizzazione è stato basato sul metodo della piena indice:

- individuando statisticamente zone omogenee, caratterizzate da un'unica curva di crescita delle massime portate di piena con il periodo di ritorno (zone idrometriche);

- definendo le relazioni per la valutazione della portata indice in funzione delle grandezze geomorfoclimatiche.

L'omogeneità delle zone idrometriche dipende essenzialmente da caratteristiche di tipo climatico, in particolare dalla probabilità degli eventi pluviometrici straordinari. Di conseguenza, le zone idrometriche omogenee coincidono con zone climatiche, statisticamente omogenee, caratterizzate a loro volta da un'unica curva di crescita delle massime piogge di assegnata durata con il periodo di ritorno, indipendente cioè oltre che dalla durata, dalla posizione del punto.

L'applicazione di una procedura standard per la valutazione probabilistica delle piene presenta vantaggi evidenti, sia sotto il profilo istituzionale, dove è forte l'esigenza di una valutazione omogenea e autorevole del pericolo di inondazione, sia riguardo agli aspetti tecnico-scientifici, in quanto risulta più facile il confronto tra i diversi bacini, o gruppi di bacini, e tra metodi diversi. Riguardo all'aspetto istituzionale si deve considerare l'effetto della valutazione delle piene sulla delimitazione delle fasce di pertinenza fluviale e sulle conseguenti contestazioni da parte dei residenti nelle aree sottoposte a vincolo. Tali problemi hanno spinto le Autorità di Bacino nazionali ad adottare la procedura e i risultati del Progetto VAPI come riferimento comune, concordando con il GNDCI i criteri di validazione e le modalità di eventuali revisioni dei rapporti regionali. Per la validazione il problema principale è quello di assicurare la massima omogeneità possibile dei rapporti regionali. Le revisioni dovranno tener conto da una parte dei problemi evidenziati dall'applicazione dei risultati dei rapporti regionali, dall'altra dell'avanzamento della conoscenza conseguita sul tema.

### *Principali risultati conseguiti*

- Estremi di precipitazione di "tipo ordinario"

In una parte vasta del Paese vale con buona approssimazione il modello semplice di Gumbel regionalizzato, quasi lineare in campo logaritmico ovvero quasi invariante con le scale temporali e spaziali di aggregazione.

Le piogge estreme di "tipo ordinario" sono generate dalla struttura meteorologica dominante nel Mediterraneo: la ciclogenesi di tipo baroclinico con marcati effetti orografici.

Il parametro di scala caratteristica del modello di Gumbel regionalizzato è il numero medio annuo di eventi indipendenti (numero degli eventi primari per numero medio di scrosci), da cui dipende il coefficiente di variazione del massimo annuale della pioggia di assegnata durata.

- Estremi di precipitazione di "tipo straordinario"

Piogge estreme di intensità straordinaria sono generate da strutture meteorologiche del tipo di:

- Piccoli vortici meso-ciclonici analoghi a cicloni tropicali (uragani) con distribuzione spazio temporale più localizzata (10-20 ore; 10-30 km) e maggiore velocità di avvezione;
- vortici dello stesso tipo, ma generati all'interno dell'evento baroclinico (ciclogenesi ibrida).

Tali piogge straordinarie, anche se molto rare, sono tipiche delle aree costiere del Paese e nel caso di barriere orografiche, delle selle e delle valli che si incuneano nell'interno.

In prima approssimazione anche i massimi annuali di tali piogge sono stati considerati secondo la legge di Gumbel, con parametro di scala (numero medio annuo) molto più piccolo di quello caratteristico degli estremi "ordinari"

- Estremi di precipitazione areale

Il parametro di scala caratteristico degli estremi di precipitazione areale dipende dalla scala spaziale dell'evento precisamente dal valore caratteristico del processo puntuale esso decresce al crescere dell'area.

Quando però l'area del bacino considerato è molto più grande della scala spaziale dell'evento, si potranno verificare nell'area contemporaneamente eventi indipendenti, sicché il tasso poissoniano di occorrenza sarà pari alla somma pesata dei parametri di Poisson.

Gli eventi di pioggia straordinaria sono quindi caratteristici dei piccoli bacini, di area inferiore a  $100 \div 1000 \text{ Km}^2$  (il limite maggiore si riferisce ad eventi ibridi)

#### Le piene estreme di "tipo ordinario"

Le piene estreme (massimi annuali delle portate istantanee) di tipo ordinario sono distribuite secondo il modello di Gumbel regionale, in corrispondenza delle piogge estreme di tipo ordinario.

Il parametro caratteristico di scala, l coefficiente di variazione dei massimi annuali, è strettamente legato al numero medio annuo di piene indipendenti, a sua volta dipendente da numero medio annuo di piogge estreme

$$\Lambda_1(Q) \approx \alpha \Lambda_1(P)$$

La componente ordinaria delle piene annuali può essere facilmente identificata e valutata utilizzando il modello semplice con il parametro di Poisson stimato in base alla (1). Ad esempio per i bacini tirrenici della Campania risulta  $\alpha = 0.23$ .

In generale il parametro  $\alpha$  dipende dal grado di saturazione medio del bacino nella stagione umida.

#### Le piene estreme di "tipo ordinario"

L'altro parametro del modello di Gumbel, la piena media annua  $\bar{Q}$  viene stimato utilizzando:

- un modello empirico di regressione sulle caratteristiche geomorfoclimatiche dei bacini oppure

- un modello concettuale del tipo del metodo razionale

La stima indiretta di  $\bar{Q}$  è generalmente affetta da un'elevata incertezza, sicché conviene ottenere una stima diretta, installando una stazione idrometrografica nella sezione di interesse, anche per pochi anni di osservazione.

#### Le piene estreme di "tipo straordinario"

*Le piene estreme di tipo "straordinario" sono generate:*

- nel caso dei piccoli bacini essenzialmente da piogge estreme di tipo "straordinario";
- nel caso dei bacini di area intermedia essenzialmente per un aumento brusco delle aree contribuenti al crescere della pioggia immagazzinata nel suolo.

Rispetto alla valutazione delle piogge straordinarie, il problema delle piene straordinarie richiede un'analisi accurata degli eventi storici di tale tipo.

#### *Estremi della piogge efficaci*

*AREE CONTRIBUENTI AL DEFLUSSO DI PIENA*

*AREE IMPERMEABILI E AREE SATURATE*

Le aree contribuenti al deflusso di piena hanno caratteristiche diverse in relazione al meccanismo di saturazione degli strati più superficiali del terreno.

Le aree praticamente impermeabili, a meno di una "perdita iniziale" dovuta a fratture, macropori ecc., hanno una capacità d'infiltrazione pressoché nulla o comunque inferiore all'intensità delle piogge estreme.

A causa della forte variabilità spaziale della capacità d'infiltrazione, il processo di formazione del ruscellamento superficiale diventa quasi lineare con l'intensità di pioggia.

L'effetto non lineare dell'intensità di pioggia è comunque localizzata nel tempo e nello spazio.

#### *Estremi delle piogge efficaci*

Può essere invece molto maggiore l'influenza dell'acqua immagazzinata nel suolo, il coefficiente di deflusso può aumentare notevolmente.

In sostanza bisogna procedere a un bilancio idrologico del suolo, che viene schematizzato con uno o più strati omogenei in relazione alle loro caratteristiche idrauliche.

Quando la portata subsuperficiale in uscita è inferiore alla portata rifornita dai bacini a monte e quando il volume in eccesso è superiore alla capacità idrica del suolo, si determina la saturazione del suolo ( area saturata per insufficienza di drenaggio).

Il processo di saturazione del suolo si propaga rapidamente dal piede del versante, a valle, lungo le pendici verso monte, attraverso un processo di tipo cumulativo, che provoca un brusco aumento del coefficiente di deflusso (portate straordinarie).

**Tabella 1: Progetti di ricerca interlinea e specifici delle Linee 1 e 3 nel triennio 1996-98**

<p><u>RISCHIO DI ALLUVIONE</u></p> <p><u>PREVISIONE E VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI ALLUVIONE</u></p> <p><i>PROGETTI DI RICERCA: AREE A RISCHIO DI ALLUVIONE (ARA)</i></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Piene ed Inondazioni (ARA-PIN) (coord. prof. Natale)<ul style="list-style-type: none"><li>• Aree Vulnerate Italiane (Modulo AVI) (coord. Dott. Guzzetti)</li></ul></li><li>- Sicurezza degli SBARamenti (ARA-SBAR) (coord. prof. Sirangelo)</li><li>- Colate detritiche (Modulo ARA-COD) (coord. prof. Armanini)</li></ul> <p><i>Progetto di ricerca: Valutazione delle Piene dei Corsi d'Acqua Italiani (VAPI)</i> (coord. Ing. Gabriele)</p> <p><u>PREVENZIONE E MITIGAZIONE DEL RISCHIO DI ALLUVIONE</u></p> <p><i>Progetti di ricerca: metodologie e tecniche non strutturali (MITIGARA)</i> (coord. Prof. Becchi)</p> <p><i>Progetto di ricerca: Modellistica idrologica degli eventi di Piena: preannuncio delle piene (MIEP)</i> (coord. Prof. Rosso)</p> <p><i>Progetto di ricerca: Osservazioni multisensori dei campi di precipitazione; modelli di simulazione e previsione delle piogge (METEO)</i> (coord. prof. La Barbera)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Il sistema italiano multi-utente e multi-fornitore per l'acquisizione e diffusione dell'informazione idro-meteorologica (ARGO)</li><li>• Estremi di precipitazione: dall'osservazione ai processi (Modulo RAIN)</li> <li>• Influenza dell'orografia sulle precipitazioni a scala meso-locale (Modulo ORO) (coord. prof. Corradini)</li></ul> <p><u>RISCHIO DI DEGRADO DELLE RISORSE IDRICHE</u></p> <p><i>Progetto di ricerca: Aree a rischio di deficienza idrica per fenomeni di siccità (ARDE-SIC)</i> (coord. Prof. G. Rossi)</p> <p><u>RISCHI COLLEGATI ALL'AZIONE DEL MARE SUI LITORALI (LIT)</u></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Aspetti climatologici (Modulo LIT-clima) e fluidodinamici (Modulo LIT-fluido) (coord. Prof. Pugliese Carratelli)</li></ul>
--

TABELLA 2  
ELENCO DELLE UNITA OPERATIVE NEL TRIENNIO 1996-98

<u>U.O.</u>	<u>SEDE</u>	<u>DURATA</u>	<u>RESPONSABILE</u>	<u>OSSERVAZIONI</u>
<u>Organi CNR</u>				
1.1	IGAPV-CNR Padova	1986-98	S.Fattorelli (1986); <u>V.Villi</u>	
1.2	CSGCS-CNR Firenze	1986-98	F.Mancini, <u>Busoni</u>	
1.3	IFA-CNR Roma	1986-89	T.Montefinale 3.2dal 1990	
1.4	IRPI-CNR Cosenza	1986-98	P.Versace (1986-90); <u>S.Gabriele</u>	
1.29	IRPI-CNR Torino	1989-98	M.Govi (1986-91)- <u>Mortara</u>	
<u>Istituti e Dipartimenti Universitari</u>				
1.5	Università Padova	1986-98	<u>G.Di Silvio</u>	
1.6	Università Calabria	1986-89	L.Grandinetti	
1.7	Università Cagliari	1986-98	<u>E.Lazzari</u>	
1.8	Politecnico Milano	1986-98	U.Maione (1986)- <u>R.Rosso</u>	
1.9	Università Salerno	1986-93	V.Marone (1986-90) F. Rossi ('91)- B.Sirangelo	
1.9	C.U.G.RI. Salerno	1995-98	B. Sirangelo	
1.10	Università Palermo	1986-98	<u>I.Melisenda</u>	
1.11	Università L'Aquila	1986-87	U.Messina	
1.12	Università Catania	1986-98	<u>G.Rossi</u>	
1.13	Università Genova	1986	R.Rosso	
1.14	Università Bologna	1986-92-96	<u>E.Todini</u>	
1.15	Università Calabria	1986-98	M.Veltri (1986-93)- <u>P.Versace</u>	
1.19	Università Tuscia	1988-89	V.Anselmo	
1.20	Università Trento	1988-98	<u>A.Armanini</u>	
1.21	Università Basilicata	1988-98	V.A.Copertino (1988-91); <u>M.</u>	
<u>Fiorentino</u>				
1.22	Università Padova	1988-89	S.Fattorelli	
1.23	Università Bari	1988-89	G.Trisorio	
1.25	Università Modena	1989	M.Boni	
1.26	Università Perugia	1989-98	P.Manciola (1989-91); <u>C.</u>	
<u>Corradini</u>				
1.27	Università Perugia	1989, 93	C.Vinti	
1.30	Università Napoli	1990-94, 96-98	M. Ippolito(1994); <u>V. Biggiero</u>	
1.32	Università Palermo	1991-98	<u>G.Benfratello</u>	
1.33	Università Brescia	1991-98	<u>B.Bacchi</u>	
1.34	Università Roma	1991-98	<u>G.Calenda</u>	
1.35	Università Napoli	1991-93	P.B.Celico	
1.36	Università Calabria	1991	P.Versace	
1.39	Università Torino	1992-93	V. Anselmo	
1.40	Università Genova	1992-93;98	<u>G. Seminara</u>	
1.42	Università Roma	1994-98	<u>S. Palmieri</u>	
1.43	Università Bologna	1995-98	<u>A. Brath</u>	
1.44	Università Perugia	1996-98	<u>P. Tacconi</u>	
1.45	Università Reggio C.	1996-98	<u>P. Boccotti</u>	
<u>Altri Enti</u>				

1.16	SIMI	Roma	1986-93	Dall'Oglio-A.Rusconi	a costo zero
1.17	ECOConsult.	Roma	1986-95	R.Clerici.(1987-90); S. Palmieri	
1.18	Uff. Idrograf.	Venezia	1986-91	A.Rusconi	
1.24	ENEL-CRIS	Milano	<u>1988-98</u>	G.Giuseppetti (1989-91); <u>Molinaro</u>	
1.28	ISMES	Bergamo	1989-94	P.Bonaldi (1989)-M.Borsetto(90-93); Clementel	
1.31	ENEL-CRIS	Mestre	1990-98	<u>M.Tomasino</u>	
1.37	Warredoc	Perugia	1991	D. Adom	
1.38	A.D.Suolo	Torino	1992-93	Telesca	a costo zero
1.41	F.P. Mezz.I	Napoli	1992-93	Taglialatela	

TABELLA 3  
STRUTTURA DI COORDINAMENTO PER PROGETTI DI RICERCA  
DELLE UU.OO DELLA LINEA 1 NEL TRIENIO 1996-98

PROGETTI DI RICERCA

<u>U.O.</u>	<u>ARA-</u> <u>-PIN</u>	<u>ARA-</u> <u>-COD</u>	<u>ARA-</u> <u>=</u> <u>SBAR</u>	<u>VAPI</u>	<u>METE</u> <u>O-</u>	<u>MIEP</u>	<u>ARDE-</u> <u>SIC</u>	<u>LIT</u>
<u>n., Resp., Sede</u>								
<u>Organi CNR</u>								
1.1 Villi (PD)	•			•				
1.2 Mancini (FI)						•		
1.4 Gabriele (CS)	•			•	•	•		
1.29 Mortara (TO)	•	•						
1.47 Melone (PR)	•							
<u>Università</u>								
1.5 Di Silvio (PD)	•	•						
1.7 Lazzari (CA)				•			•	
1.8 Rosso (MI)				•	•	•		
1.9 Sirangelo (SA)	•		•	•			•	
1.10 Melisenda (PA)						•		
1.12 Rossi G. (CT)	•						•	
1.14 Todini (BO)				•				
1.15 Versace (CS)	•			•		•		
1.17 Piotti					•			
1.20 Armanini (TN)	•	•						
1.21 Fiorentino (PZ)	•			•			•	
1.26 Corradini (PG)					•	•		
1.30 Biggiero (NA)	•		•				•	
1.32 Benfratello (PA)							•	
1.33 Bacchi (BS)				•	•	•		
1.34 Calenda (RM)				•			•	
1.42 Palmieri (RM)					•			
1.43 Brath (BO)						•		
1.44 Tacconi (PG)		•	•					
1.45 Boccotti (RC)								•
1.46 Moretti (FI)								
<u>Altri Enti</u>								
1.24 De Gerloni (MI)			•					

1.48 Testa (VE)								
1.31 Tomasino (VE)				•		•		
1.X Rusconi (RM)								
1X Petaccia (RM)								

ARA-PIN: Aree a rischio di alluvione; piene ed inondazioni  
 ARA-COD: Aree a rischio di alluvione; colate detritiche  
 ARA-SBAR: Aree a rischio di alluvione; collasso degli SBARramenti  
 VASIIIDE: Valutazione e sicurezza idrologica ed idraulica dighe esistenti  
 VAPI: Valutazione delle Piene dei Corsi d'Acqua Italiani (Progetto VAPI)  
 METEO-ORO: Influenza dell'orografia sulle precipitazioni a scala meso-locale  
 MIEP: Modellistica idrologica degli eventi di piena: preannuncio delle piene  
 ARDE-SIC: Aree a rischio di deficienza idrica per fenomeni di siccità  
 LIT: rischi collegati all'azione del mare sui litorali

TABELLA 4  
NUMERO DELLE UU.OO. DELLA LINEA 1

Anno	Organi CNR	Ist./Dipart. Univ.	Altri Enti	Totali
1986	4	11	3	18
1987	4	10	3	17
1988	4	14	2+2*	20+2*
1989	5	16	4+1*	25+1*
1990	3	12	4+1*	19+1*
1991	4	17	2+4*	23+4*
1992/93	4	18	4+3*	26+3*
1994	4	15	4	23
1995	4	16	3	23
1996	4	19	2	25
1997	4	19	2	25
1998	5	20	5	22+8*

\*a costo zero

TABELLA 5  
FINANZIAMENTI IN MILIONI PER LA LINEA 1 TRIENNIO 1996/98

Anno	Organi CNR			Università ed altri Enti	
	A	B	C	A	B
1986	TOT			TOT	
	85	183	27	64	150
1987	255			214	
	80	158	21	114	471
1988	259			585	
	185	251	36	143	879
1989	472*			1022*	
	155	263	77	155	785
1990	495*			940	
	199	281	30	315	705
1991	510			1020	
	67	77	36	70	500
1992/3	180			570	
	25	112	25	70	393
1994	162			463	
	62.5	207.5	30	50	390
1995	300			440	
	20	140	25	87	558
1996	185			645	
	37.5	240	37.5	35	705
1997	315			740	
	50	214	36	30	645
1998	300			695	
	95	270	-	-	675
	365			675	

TABELLA 6  
NUMERO DI PUBBLICAZIONI DELLA LINEA 1

Anno	A	B1	B2	B3	B4	B5	B	C1	C2	C	TOT
1986	3	5	3	6	1	1	16	4	2	6	52
1987	7	4	8	7	2	2	23	14	14	28	58
1988	8	11	13	12	3	3	42	35	5	40	90
1989	6	9	33	11	2	3	58	16	12	28	92
1990	5	8	23	25	1	5	62	32	14	46	113
1991	9	6	17	9	5	14	51	9	2	11	71
1992/ 3	13	23	28	20	5	8	84	20	3	23	120
1994	9	8	16	13	5	7	49	20	8	28	86
1995	10	20	19	14	2	12	67	13	10	23	100
1996	10	15	14	9	3	9	50	10	9	19	79
1997	4	10	12	10	4	3	39	15	17	32	75
1998	8	17	16	7	2	9	41	19	6	25	74
TOT											

- A Lavori su riviste internazionali
- B1 Lavori su riviste nazionali
- B2 Partecipazione a congressi internazionali
- B3 Partecipazione a congressi nazionali
- B4 Libri o capitoli su libri pubblicati all'estero
- B5 Libri o capitoli su libri nazionali
- C1 Lavori o pubblicazioni GNDCI
- C2 Rapporti Interi

GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE  
CATASTROFI IDROGEOLOGICHE

VALUTAZIONE DELLE PIENE NELL'ITALIA  
NORD-ORIENTALE

RAPPORTO TRIENNALE  
1996-1998

U.O. 1.1  
Responsabile Dr. Virgilio Villi

## 1. Obiettivo

L'attività svolta nel triennio 1996-1998 è stata volta soprattutto all'approfondimento ed al miglioramento dei risultati ottenuti nella realizzazione del progetto VAPI nel territorio dell'Italia nordorientale.

In questo contesto si inseriscono i risultati ottenuti al terzo livello di regionalizzazione dei massimi annuali delle piogge di durata compresa tra 1 ora ed 1 giorno.

L'ipotesi di lavoro era che esistessero delle aree pluviometriche omogenee all'interno delle quali

$\bar{x}_g$  fosse costante o variasse con la quota  $h$  secondo una relazione del tipo:

$$\ln(\bar{x}_g) = ch + d$$

in cui la stima dei parametri avveniva attraverso regressioni lineari.

L'applicazione del metodo ha portato ad identificare quattro sottozone, estese tra la linea di costa ed i primi contrafforti alpini, in cui la relazione era verificata, mentre rimaneva escluso il restante territorio fino alla linea di spartiacque alpino.

Dopo aver operato diversi tentativi adottando criteri di contiguità spaziale ed omogeneità fisiografica, che non hanno però portato a risultati soddisfacenti alla fine, il problema della stima dell'altezza di pioggia media nel territorio si è potuto risolvere sottoponendo i valori noti di tale grandezza, alla tecnica del kriging. Utilizzando in particolare i valori riferentesi alle serie utilizzate al secondo livello di regionalizzazione, caratterizzate da numerosità campionaria non inferiore a 38 dati è stata realizzata una cartografia specifica che permette la stima in qualsivoglia punto o bacino dell'Italia nordorientale di detta grandezza.

Parallelamente a questa attività principale ne è stata svolta una di supporto alla ricerca che ha riguardato l'aggiornamento in continuo della banca dati sui massimi annuali delle piogge registrate nel Triveneto.

Allo stesso modo al fine di migliorare la qualità dei dati relativi alle portate al colmo di piena sono stati effettuati rilievi topografici di sezioni idrometriche delle quali altezze idrometriche e misure di portata anche se limitate a tiranti medio bassi. Impiegando

l'equazione del moto uniforme si sono in tal modo stimare portate massime al colmo che sono state aggiunte alle rispettive serie storiche.

Un ultimo aspetto che è stato oggetto di studio è stata la ricerca di effetti di non linearità nelle serie storiche delle piogge medie giornaliere. Questo tipo di indagine è stato poi trasferito alle serie storiche delle portate al colmo di piena. Esse stanno per concludersi con un lavoro che è pronto per la stampa.

*GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE  
CATASTROFI IDROGEOLOGICHE*

**VALUTAZIONI DELLE PERDITE PER  
INFILTRAZIONE**

**(Progetto MIEP)**

**RAPPORTO TRIENNALE  
1996-1998**

U.O. 1.2  
Responsabile Dr. Ermanno Busoni (\*)

**TITOLO DELLA RICERCA**

Informazioni derivabili da cartografia pedologica a varia scala.

**OBIETTIVO DELLA RICERCA**

Valutazione delle perdite da infiltrazione. Validazione di pedofunzioni di trasferimento previsionali di parametri e relazioni idrauliche del suolo richieste da modelli idrologici di bacino.

## PROGRAMMA

1. Analisi di modelli per la valutazione delle perdite per infiltrazione e storage superficiale. Effetto del sigillamento.
2. Selezione di tabelle di riferimento per la scelta di parametri idraulici.
3. Revisione del precedente Rapporto tematico con speciale riferimento alla applicabilità del S.C.S. Curve Number Method al paesaggio pedologico italiano ed agli shortcomings intrinseci del metodo in analisi.

## RISULTATI ATTESI.

- Metodologia per la definizione delle SFU per la modellistica della valutazione delle perdite da infiltrazione.
- Aggiornamento del Rapporto tematico

### 1 Introduzione

Una delle principali linee di ricerca nella Scienza del Suolo è attualmente localizzata sulla necessità di fornire agli utilizzatori strumenti di interpretazione e di potenziale applicazione delle informazioni derivabili dalla Cartografia del suolo a varia scala. Tale possibilità permette valutazioni quali-quantitative di caratteristiche fisiche, chimiche ed idrologiche del suolo, applicazioni in modelli puntuali e distribuiti di processi di trasporto, diffusione e trasformazione di materia ed energia, valutazione e simulazione di processi complessi quali le espressioni di Qualità fisiche, chimiche, biologiche e dinamiche del suolo.

La conoscenza delle caratteristiche fisiche ed idrologiche del suolo è essenziale per l'uso di modelli di valutazione e di simulazione di processi, sia in visioni puntuali che distribuite.

Per affrontare tali problematiche, la semplice lettura della cartografia pedologica non appare, alla luce delle attuali conoscenze, fornitrice di sufficienti informazioni e, tantomeno, di possibili parametrizzazioni di funzioni caratteristiche del suolo. Tra queste vanno ricordate quelle esplicitanti le relazioni energetiche (funzioni di ritenzione), di flusso (conducibilità idraulica), di geometria del mezzo (frequenze della distribuzione dimensionale dei pori e loro quantificazione in termini volumetrici), delle condizioni limitanti e le driving forces gestenti le espressioni dell'infiltrazione e delle qualità fisiche del suolo.

Dato che tutte le espressioni pedologiche, sia caratteristiche che qualità fisiche e dinamiche, mutano e si interrelazionano nello spazio e nel tempo, appare di ineludibile importanza mettere a disposizione degli utenti strumenti validi e poco costosi per la valutazione o per la parametrizzazione delle loro variabilità spazio-temporali.

### Obiettivi

Obiettivo delle ricerche condotte dalla U.O. 1.2. del GNDCI è lo studio di pedofunzioni di trasferimento (pedotransfer functions) che permettano, da un lato la valutazione e la parametrizzazione di caratteristiche fisiche, idrologiche e qualità fisiche del suolo, e dall'altro la distribuzione ed il trasporto delle informazioni ottenute in termini puntuali.

Un ulteriore passo è dato dalla verifica di possibilità di previsione delle espressioni delle qualità fisiche e dinamiche del suolo.

A lato di tali studi, affinché sia possibile fin da ora fornire ai fruitori qualcosa di concreto, si conducono studi sulla applicazione e validazione di un modello di previsione quantitativa del deflusso idrico da piccoli bacini: il SCS Curve Number Method, usato ed inserito in modelli idrologici globali. In seno a tale ricerca viene testata la possibilità di applicazione di metodologie, quale quella dei *@ sets*, per la determinazione di ambiti di memberships dei gruppi idrologici, delle condizioni di umidità precedenti (Antecedent Moisture Conditions) e dei Curve Numbers.

## Sintesi dell'attività svolta nel periodo 1996 - 98

Nell'ambito degli studi, al fine di migliorare le possibilità di applicazione della procedura SCS-CN sul territorio italiano e per una sua più efficace integrazione nella modellistica idrologica anche di tipo distribuito, si è proceduto seguendo due direzioni distinte. L'attività si è svolta alla luce delle precedenti esperienze, acquisizioni, e critiche costruttive pervenute da altri gruppi di ricerca che lamentavano una scarsa applicabilità pratica delle metodologie che venivano proposte, generalmente utilizzate al di fuori della loro ordinaria modalità di impiego.

Le nuove applicazioni della logica e matematica fuzzy alla procedura SCS-CN sono riviste anche alla luce di una loro più generale e rigorosa definizione nelle sue basi teoriche. Inoltre, si è proceduto a implementare le metodologie proposte in un semplice modello distribuito per la valutazione del rischio di superamento di determinate portate di piena con dato tempo di ritorno.

Il lavoro che si trova in uno stato di elevato avanzamento si è articolato nei punti che sono di seguito descritti.

### 1) Definizione e determinazione di fuzzy CN e applicazioni in relazioni afflussi deflussi.

Una grossa fetta della modellistica idrologica incorpora come variabile dinamica il volume di immagazzinamento idrico nel suolo al fine di valutare le capacità astrattive del terreno e determinare i volumi di precipitazione efficace. A grandi linee e con differenti livelli di complessità ciò viene realizzato sia per precipitazioni con ietogramma complesso sia in modelli di tipo distribuito.

Per la stima della capacità di immagazzinamento idrico del suolo uno dei metodi più ampiamente accettati e sfruttati per la sua semplicità e flessibilità è il modello SCSCN dove per ogni combinazione di caratteristiche tessiture, di permeabilità, di eterogeneità in senso verticale della capacità di infiltrazione, di uso del suolo, di copertura vegetale e di tecniche di lavorazione e sistemazione è possibile ricavare un valore numerico (o curve number - CN) di riferimento che permette di ricavare a sua volta il volume di storage idrico cercato. Una parte delle precedenti attività di questo gruppo di ricerca ha avuto come obiettivo l'analisi di questa metodologia (si rimanda ai precedenti rapporti del GNDICI, Linea 1). Uno degli sviluppi più interessanti risulta l'applicazione delle tecniche matematiche legate alla teoria della logica e aritmetica fuzzy (vedasi rapporto 1991 e Rapporto tematico, 1995). Negli anni 1993, '94 e '95 si è lavorato per dare una definizione più rigorosa e generale del concetto di Fuzzy Curve Number (FCN) e a studiare le possibili

forme di integrazione nella modellistica idrologica esistente che fa uso del modello SCS-CN.

Sorgeva infatti la necessità di definire i vari CN rappresentativi di una certa realtà territoriale in termini non deterministici per consentire di inglobare le possibili fonti di variabilità spaziale e temporale e di incertezza nella stima, così da sostituire questo a uno approccio puramente stocastico.

È stato quindi messo a punto un approccio teorico e pratico che permette di definire ogni FCN partendo o da valutazioni di altri parametri territoriali o direttamente da database contenenti dati da eventi idrologici monitorizzati

Il campo di variabilità di un FCN e quindi della capacità di immagazzinamento idrico superficiale risulta completamente definito in termini di variabile fuzzy e di una sua conseguente distribuzione di possibilità, in accordo alle teorie matematiche anzidette.

Parallelamente allo sviluppo teorico sono stati messi a punto una serie di algoritmi in linguaggio Pascal (OOP) che consenta di effettuare tutte le procedure di calcolo necessarie a ottenere i vari FCN partendo da tabelle o dati misurati nonché l'integrazione dei FCN in vari modelli idrologici.

## 2. Nuova definizione di Unità funzionale pedo-paesaggistica

Per affrontare le tematiche presentate ed inquadrarle in una realtà operativa bisogna analizzare il sistema sequenza dei suoli all'interno di un paesaggio. Le relazioni funzionali dei (e tra) processi si esprimono all'interno di un suolo e di sequenze di suoli condizionate dalle espressioni delle varie coperture che questi presentano. Ciò implica letture dei paesaggi e dei processi che superino la semplice funzione additiva dei risultati ottenuti nei singoli raster o celle, ma che implicino il riconoscimento sul territorio di unità pedo-paesaggistiche funzionali. Con questa definizione si intende esaltare la conoscenza delle relazioni tra processi (e loro dinamiche ed espressioni) in funzione delle variazioni delle condizioni al contorno introdotte dalle variazioni spazio-temporali dei fattori di stato e degli input, nel paesaggio. Tali relazioni non possono essere definite una volta per tutte, ma richiedono un continuo adattamento del modello (ipotesi di funzionamento di un sistema) alla realtà così come si esprime.

In questa ottica le condizioni di realtà dell'ipotesi iniziale (infiltrazione idrica nel suolo) devono essere via via riconsiderate alla luce ed in funzione delle relazioni funzionali tra le condizioni limite ed al contorno presentate da una sequenza pedofunzionale.

La ricerca, che l'Unità 1.2, nell'ambito degli scopi del Sottoprogetto MIEP, ha iniziato, è stata indirizzata in tale senso. Occorrono un'idealizzazione, una costruzione ed una messa a punto di modelli che permettano l'approccio di quanto sopra esposto.

Si è partiti da quello che nella Tassonomia pedologica (USDA, 1975 e seg.) viene considerato il livello ottimale per la soluzione di problematiche pratiche: la Serie di suoli. Tale livello viene preso in considerazione dal SCS Curve Number method per la definizione dei Gruppi idrologici. Abbiamo cercato di rivedere l'originale definizione di Serie in funzione dell'ottica predetta: alla luce delle conoscenze attuali è stato riscontrato che, in termini di modellistica di processi all'interno di una Serie, sono troppe le incertezze, così che diviene impossibile definire univocamente, su un dato territorio, le condizioni al contorno, le relazioni funzionali parametrizzabili ed i loro limiti di applicazione. Si è cercato di superare questa limitazione con l'adottare una nuova unità che descriva il paesaggio e la sequenza pedologica: è questa la *Soilscape functional unit* (Unità funzionale del pattern distributivo in un paesaggio pedologico) (SFU) la cui definizione è: "tipi di suoli, finitimi, la cui

funzionalità risulta dalla espressione di processi fisici, chimici e biologici interrelati spazialmente e temporalmente, ed appartenenti allo stesso paesaggio pedologico". Questa definizione presenta una marcata connotazione ecologica e sulla sua base il bacino idrografico ed il versante trovano la propria collocazione. Operativamente, a livello di modello, tale definizione implica il riconoscimento sul territorio delle SFU che lo compongono e le caratteristiche di ognuna di esse.

All'interno di una SFU è possibile scalarizzare i parametri e le relazioni funzionali, renderli funzionalmente fuzzy, ecc. Se i processi e le loro interrelazioni sono riconosciute, ogni SFU può essere considerata come una singola tessera del paesaggio funzionale (Functional landscape). È questo il caso che si incontra nella descrizione e nella modellizzazione di processi idrologici in bacini, ai vari livelli di scala. La definizione sul territorio delle SFU che lo compongono non sempre può essere derivata da una cartografia pedologica; occorrono un'analisi integrata del paesaggio, il riconoscimento in esso di modelli descrittivi e funzionali ed una trasferibilità delle informazioni.

### 3. Valutazione delle perdite per infiltrazione

La valutazione delle perdite per infiltrazione è di fondamentale importanza per ogni modello idrologico di bacino ed in particolare nella modellistica applicata all'analisi del rischio di esondazione. In particolare è importante la applicazione di un modello di infiltrazione che garantisca la possibilità di operare con eventi di precipitazione con ietogramma complesso ed, a livello di bacino, con una discretizzazione di tipo raster nell'ambito di sistemi GIS (Geographical Information System).

L'infiltrazione effettiva ad ogni istante  $t$  è dipendente da fattori legati alla intensità istantanea della pioggia ed a numerosissimi fattori legati alle proprietà fisiche ed idrauliche superficiali e profonde del suolo: Storage superficiale, rugosità superficiale, Ponding istantaneo, Velocità di infiltrazione massima e minima, tasso di variazione istantaneo della infiltrazione, Storage massimo ed istantaneo del suolo, ecc.

Esistono numerosi modelli fisicamente basati (modello Richards) o empirici (Horton, Philips, Green-Ampt), tuttavia di difficile applicazione pratica poiché i parametri caratteristici sono di difficile, se non impossibile determinazione; derivabili, comunque, solo in condizioni controllate, in laboratorio, o sotto simulazioni di pioggia, in campo.

Risulta chiaro come l'applicazione di questi modelli a livello di bacino, con parametri misurati puntualmente o stimati da tabelle, può portare nella modellistica idrologica una notevole fonte di errore o, quantomeno, di aleatorietà.

È necessario quindi determinare le perdite di infiltrazione in modo indiretto mediante un modello del tipo:

$$F(t) = P_e(t) - Q(t) \quad [1]$$

dove  $F$  è il valore della infiltrazione cumulata al tempo  $t$ ;  $P_e$  è l'eccesso di precipitazione cumulata al tempo  $t$ , ovvero la pioggia cumulata al tempo  $t$  meno la astrazione iniziale;  $Q$  è il valore del deflusso cumulato al tempo  $t$ .

Differenziando poi numericamente rispetto al tempo la [1] si ottiene la curva di infiltrazione desiderata:

$$f(t) = \frac{dF}{dt}$$

[2]

Per applicare la [1] ad ogni elemento discretizzato di un bacino e in caso di precipitazioni con ietogramma complesso si può fare ricorso al modello SCS - CN che consente di parametrizzare entrambi i termini del secondo membro della [1] con dipendenza dalla sola precipitazione e dallo storage del suolo. L'applicazione del modello SCS-CN su elementi di tipo raster è da tempo una pratica consolidata che fornisce interessanti risultati nella determinazione indiretta dei volumi di deflusso; tuttavia la applicazione della [1] richiede alcune modifiche così da renderla più vicina alla fisica della infiltrazione effettiva.

In passato sono stati fatti diversi tentativi di utilizzare il modello SCS-CN per ricavare parametri di infiltrazione (Chen 1982). Aron (1992) ha recentemente proposto modifica alla [1] che nella originale formulazione mediante il modello SCS-CN non fornisce un limite superiore alla infiltrazione e non permette infiltrazione senza pioggia, anche in presenza di ponding superficiale. L'autore propone l'applicazione di un filtro di tipo lineare legato alla conoscenza diretta dell'infiltrazione iniziale e finale del modello Hortoniano, cosa che dal punto di vista teorico è interessante, ma dal punto di vista pratico è poco applicabile poiché i parametri di infiltrazione richiesti presentano i già citati problemi di determinazione ed estrapolazione.

Tuttavia lo sviluppo di un modello di infiltrazione di tipo Hortoniano mediante la [1] e il metodo SCS-CN sembra la strada da seguire (dato che non esiste attualmente un modello migliore che permetta di considerare le diverse condizioni del suolo), anche se con opportune modifiche che evitino di introdurre i parametri di infiltrazione finale e iniziale ma consentano ugualmente di generalizzare la [1] anche in caso di ponding superficiale ed interruzioni negli afflussi.

L'applicazione di modelli idrologici che tengano conto delle caratteristiche fisiche e di uso del suolo distribuite sul territorio si scontra con la natura di questo tipo di informazioni che possiedono un certo grado di incertezza. Nell'analisi del rischio idrologico non si può assolutamente considerare la sola l'incertezza associata ai parametri delle precipitazioni ed a quelli idraulici di scorrimento superficiale. I parametri legati al suolo non possono, in modelli di tipo stocastico o probabilistico, essere considerati in modo deterministico poiché si perde un contenuto di informazione fondamentale.

La natura della incertezza associata ai parametri del modello SCS-CN è già stata trattata da Borselli (1991) e formalizzata con la introduzione di Fuzzy Curve Numbers. La applicazione delle tecniche proposte dall'autore nel rapporto 1991 è già direttamente possibile dato che tutta la parte software è già stata sviluppata e testata per applicazioni numeriche complesse.

In quest'ottica è possibile applicare queste nuove tecniche in modelli del tipo della [1], sopra elementi discretizzati di bacino, in modo da ottenere per un dato ietogramma  $i(t)$  una  $f(t)$  tale che per ogni istante  $t$  è possibile ricavare la percentuale di rischio che la infiltrazione istantanea sia minore di un certo valore prefissato.

In questo modo un modello per la infiltrazione di tipo non deterministico verrebbe ad essere completamente definito ed integrabile con modelli di rischio idraulico esistenti; con tempi di elaborazione estremamente ridotti rispetto a quelli richiesti dalle usuali tecniche di simulazione di tipo Monte-Carlo.

## 4. Programma FLOORISK

In parallelo all'attività illustrata al punto I si è tentata l'applicazione dei Fuzzy Curve Number in un modello di tipo distribuito per la valutazione del rischio di superamento di determinate portate di piena con dato tempo di ritorno, implementato in una versione sperimentale nel programma FLOORISK.

Il modello distribuito utilizzato è applicabile per bacini con superficie inferiore ai 15 KM<sup>2</sup> ed è basato su una versione modificata della formula razionale. Nel modello la maggior parte delle variabili di interesse è definita come variabile Fuzzy. Inoltre sono presenti alcune nuove metodologie per ricavare, per ogni elemento o cella in cui il bacino è suddiviso, la distribuzione dei coefficienti di deflusso e della frazione del tempo di concentrazione totale per concentrare il massimo volume di deflusso dalla cella alla sezione terminale del bacino. Le contribuzioni parziali sono considerate. Le distribuzioni di possibilità per lo storage idrico del suolo rappresentate dagli FCN devono essere fornite per ognuna delle celle o elementi del bacino.

Per l'analisi statistica dei parametri intensità e durata, per dato tempo di ritorno, è stata adottata la procedura classica di Gumbel.

Gli output del modello forniscono la distribuzione di possibilità dei valori di portata massima di piena, la curva di rischio possibilistico relativo al rischio di superamento di un dato valore di portata per dato tempo di ritorno e curva critica intensità durata, e infine, un'analisi del grado di contribuzione parziale di ognuno degli elementi o celle del bacino. Quest'ultimo punto pare estremamente interessante poiché potrebbe rappresentare un nuovo metodo per la pianificazione su piccoli bacini, ovvero fornire dei gradi di pericolosità, in termini di produzione di deflusso critico, per ciascuna delle sottoaree o celle, ed ipotizzare tecniche di intervento idonee, volte alla riduzione dei volumi di deflusso.

Le procedure implementate nel modello, in fase di avanzato stadio di sviluppo, sostituiscono completamente un approccio di tipo stocastico distribuito.

## 5. Elenco delle pubblicazioni

BUSONI E. (1995). *Brevi appunti per una discussione sull'applicazione delle Serie nel rilevamento e nella cartografia del Suolo.*

Atti del Seminario di lavoro "Esperienze sull'uso delle Serie nei progetti di rilevamento e Cartografia dei Suoli". Regione Emilia Romagna - Assessorato Territorio, Programmazione e Ambiente; Associazione Italiana Pedologi; Bologna 3 Maggio 1995. Giunta Regionale E.R. , Bologna.

BORSELLI, L. (1996). *FUSLE.- a computer program for soil loss risk analysis by fuzzy variables and possibility distributions.* Quaderni di Scienza del Suolo, voi. VI (1996).

BUSONI, E (1998). *Holistic approach to hierarchical modelling in soil landscape analysis.* Boll. della Soc. It. Scienza del Suolo, XLVII (3): 347-364

BUSONI E., COLICA A., SALVADOR SANCHIS P. (1998). *Integrated Landscape Analysis of the Asso river Basin (Siena).* Documento Ortografico unico costituito da una mappa (Salvador Sanchis P. & Busoni E.) "Asso river basin Land Units Map" e da una mappa (Colica A. & Busoni E.) "Asso river basin active geomorphological patterns and linears map". Ambedue le mappe sono a scala 1: 30000.

CNR - IGES, Stampato da SELCA, Firenze, 1998

BUSONI, E. (1998). *Problematiche inerenti la progettazione e l'interpretazione delle analisi fisiche del suolo*. I Georgofili. Quaderni 1998-III: "La normalizzazione dei metodi di analisi fisica del suolo"; pp. 143-162

BUSONI, E. (1998). *Soilscape Functional Units (SFU) for vulnerable soil water management*. UNESCO-IHP Scientific Meeting, Perugia, 23-25 Nov. 1998 (in stampa)

## Corsi e Seminari

1998 - Seminario per docenti universitari su "Analysis of soils-landscapes relationships and informations scaling" presso l'università di Sassari, Corso di Scienze Ambientali, Sede Gemmata di Nuoro, 11 - 12 Febbraio 1998

## 6. Riferimenti Bibliografici.

Aron G. (1992). *Adaption of Horton and SCS infiltration equations to complex storms*. J of irrigation and Drainage engineering. Vol 118 No. 2 pp 275-284.

Borselli L. (1991). *Fuzzy Curve Number per la previsione degli eventi idrologici estremi*. CNR-GNDCI. Rapporto attività 1990-1991 Linea di ricerca 1. PP.63-86.

Burlando P., Mancini M., Rosso R. (1994). *FLORA: a distributed flood risk analyzer*. In "Computer support for environmental impact assessment. Guariso G. & Page B. (editors). PP. 91-102.

Chen C.L. (1982). *Infiltration formulas by Curve Number procedure*. J. of Hydraulic Division. ASCE. Vol. 108. pp 823-829.

D'asaro F., Sommella A. (1992). *Considerazioni sulla determinazione indiretta dei volumi di deflusso con il metodo CN del Soil Conservation Service*. Riv. di Ing. Agr. PP 208-218.

White D. (1988). *Grid-Based application of runoff Curve Numbers*. J. Water Resources Planning and management. Vol. 114 No. 6.

*GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE  
CATASTROFI IDROGEOLOGICHE*

**MODELLIZZAZIONE STATISTICA REGIONALE  
DEGLI EVENTI IDROLOGICI ESTREMI.  
AREE A RISCHIO D' INONDAZIONE**

**RAPPORTO TRIENNALE  
1996-1998**

U.O. 1.4

Responsabile: Salvatore Gabriele – CNR IRPI, Rende (CS)

**1. SOMMARIO**

La U.O. 1.4 nel corso del 1996-98 ha svolto la propria attività all'interno dei progetti di ricerca VAPI, ARA-PIN e MIEP sviluppando i sottoelencati temi di ricerca:

**Progetto VAPI**

- Revisione "Rapporto Calabria"  
Integrazione Banca Dati Idrologici  
Carta della vegetazione e uso del suolo  
Carta geologica
- Sistema informativo VAPI (SIVAPI)
- Rete di telerilevamento dati idrologici in tempo reale.

**Progetto ARA-PIN**

- Indagine storica eventi alluvionali 1971-1980
- Caratterizzazione degli eventi alluvionali nella Calabria ionico-meridionale
- Monografia sull'evento alluvionale del 1971-72
- Eventi alluvionali anteriori al 1800.

- Rapporti di eventi attuali: l'evento del marzo 1995 in Calabria meridionale e in Sicilia orientale
- Ricerca di metodologie per la perimetrazione di aree a rischio di inondazione.
- Rapporto di evento relativo all'alluvione di Crotona

## Progetto MIEP

- Effetti delle modificazioni antropiche sulle portate di piena.

## Stazione permanente GPS

Nell'ambito del primo tema di ricerca, oltre alla partecipazione ed al coordinamento del progetto speciale VAPI, sono state svolte una serie di attività finalizzate al miglioramento delle procedure di regionalizzazione del modello TCEV, rielaborando i codici di calcolo in maniera organica ed ottimizzata. L'attività svolta nel triennio 1996-98 per l'aggiornamento del Rapporto Calabria, è stata indirizzata preminentemente alla acquisizione ed elaborazione delle grandezze di interesse per la stima della piena indice. In collaborazione con il Servizio Idrografico di Catanzaro è stato svolto un accurato studio delle caratteristiche morfometriche dei principali bacini idrografici calabresi a partire dalla cartografia in scala 1:25.000. I risultati, che comprendono l'elaborazione dei reticoli idrografici e delle principali grandezze morfometriche dei bacini, sono riportati in sette elaborati cartografici in scala 1:100.000 in corso di stampa. In collaborazione con l'Istituto di Idrologia e Ecologia Forestale del CNR, nel 1998 è stata realizzata una cartografia dell'uso del suolo e della copertura vegetale a partire da immagini Landsat TM e SPOT. In

collaborazione con i geologi

preliminare la definizione dei complessi idrogeologici omogenei. Per rendere facilmente fruibili i risultati del progetto e facilitarne la diffusione, la U.O. 1.4 ha realizzato un apposito sistema informativo integrato che racchiude in un unico ambiente: un archivio dati idrologici, un archivio dati morfologici ed una serie di applicazioni idrologiche.

Nell'ambito del progetto ARA-PIN è stata effettuata una approfondita analisi storica dei principali eventi alluvionali verificatisi in Calabria nel decennio 1971-1980 (Petrucci et al., 1996), ad integrazione di quanto raccolto nell'ambito del progetto AVI. La ricerca è stata accompagnata da un'analisi critica di quanto acquisito, confrontando i dati raccolti e gli eventuali rapporti tecnici con le intensità di pioggia registrate nel corso degli eventi censiti.

Sempre nel corso del 1996 è stato realizzato uno studio inerente l'individuazione delle aree vulnerate dagli eventi alluvionali del 51-52 nella Calabria ionica meridionale. Nel compilare l'atlante si è cercato di realizzare uno strumento tecnico operativo utilizzabile anche da organizzazioni esterne alla ricerca. La cartografia delle aree storicamente inondate, riportata in scala 1:10.000 su una base costituita da foto aeree attuali georeferenziate, risulta di immediata consultazione e facilita il confronto fra la situazione attuale e quanto accaduto in occasione degli eventi alluvionali analizzati.

Un'ulteriore esperienza svolta dalla U.O., nel corso del 1996, è stata la partecipazione ad un esperimento di telerilevamento da piattaforma aerea equipaggiata con una coppia di antenne SAR. Nel corso dell'esperimento la U.O. ha predisposto una serie di esperienze per verificare alcune possibili applicazioni in idrologia del telerilevamento con sensori attivi.

A seguito dell'evento alluvionale del 14-10-1996, che ha interessato il bacino dell'Esaro ed in particolare la città di Crotona, è stata svolta una accurata indagine

finalizzata alla comprensione dei fenomeni che hanno dato luogo, in tale occasione, a portate con periodi di ritorno decisamente superiori a quelli stimati per le piogge. Partendo da tale osservazione, il problema è stato analizzato sotto numerosi punti di vista che hanno indirizzato le indagini oltre la semplice descrizione del fenomeno alluvionale. Tutti i risultati dell'indagine condotta sull'evento alluvionale sono riportati nella monografia "Crotone e l'evento alluvionale del 14-10-1996".

Al fine di quantizzare gli effetti delle modificazioni antropiche nell'assetto generale di un bacino, rispetto ai processi di formazione delle piene e della dinamica di produzione e trasporto solido, nel corso del '97 è stato individuato e parzialmente attrezzato un piccolo bacino di circa due kmq. Il bacino dell'Armaconi, affluente in sinistra della fiumara Amendolea (RC), è stato prescelto per una serie di condizioni favorevoli che consentono un facile monitoraggio quantitativo del trasporto solido. I primi studi hanno consentito di calcolare il tasso di erosione medio nell'ultimo venticinquennio, stimato dell'ordine del mm annuo (Gabriele & Gaudio, 1998), con un picco di circa 6 mm nel 1971. L'attività di ricerca svolta nel bacino in oggetto ha inoltre consentito di realizzare una dettagliata mappa della geolitologia del bacino, comprendente anche l'esame in laboratorio della granulometria di numerosi campioni. Nel corso del 1999-2000 si ha intenzione di mettere in atto prove di erodibilità in situ tramite l'uso di simulatori di pioggia

## 2 Progetto VAPI

### [2.1 Integrazione banca dati e aggiornamento parametri.](#)

A seguito dell'integrazione della banca dati idrologica della regione Calabria, attualmente aggiornata all'anno 1997 (nel "Rapporto Calabria" le serie utilizzate arrivavano all'anno 1971), sono state triplicate le serie storiche con numerosità tale da essere utilizzate nella modellazione regionale. Dalle 51 serie con  $n > 45$  utilizzate nel Rapporto Calabria si è passati oggi a 161 serie con  $n > 45$  rendendo necessario, alla luce della nuova situazione, un ricalcolo dei parametri regionali per tener conto delle maggiori informazioni disponibili. I primi risultati hanno mostrato che una suddivisione della Calabria in due regioni distinte, secondo due fasce parallele alla linea di costa (tirreno-centro, ionio), consente una migliore interpretazione della variabilità spaziale del coefficiente di asimmetria.

### [2.2 Carta della vegetazione e uso del suolo. \(Sergio Cinnirella, S. Gabriele\)](#)

Per quanto riguarda la caratterizzazione della copertura vegetale della Calabria, sono state acquisite tre scene Landsat TM, mediante le quali è stata realizzata una prima cartografia di massima, basata sull'indice NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), sono state quindi realizzate due cartografie relative all'uso del suolo ed alla copertura vegetale facendo uso di opportuni algoritmi per il trattamento delle immagini e la classificazione.

### [Algoritmi per il trattamento delle immagini](#)

Nella modellistica idrologica distribuita, l'uso del telerilevamento permette di determinare parametri che regolano la risposta idrologica sia di breve sia di lungo periodo, come la conformazione morfologica del terreno, le classi di uso del suolo, l'albedo delle superfici, la copertura vegetale e la relativa biomassa, nonché la temperatura superficiale e l'umidità.

Per il trattamento delle immagini è stato utilizzato il programma ER-Mapper Le scene Landsat TM sono state preliminarmente sottoposte a processo di rettificazione per eliminare le distorsioni di tipo casuale e geometrico utilizzando numerosi punti di controllo al suolo e restituite secondo la proiezione UTM (zona 33).

Si è quindi proceduto alla "pulitura" di quei pixel che fornivano segnali ambigui mediante un apposito filtro; questo ha permesso di effettuare una trasformazione della firma attraverso il calcolo della varianza entro una matrice di 3x3 centrata nel pixel stesso.

L'immagine è stata, quindi, sottoposta a classificazione utilizzando il metodo unsupervised definendo preliminarmente 10 classi ed utilizzando le bande 1, 2, 3, 4, 5, 7.

E' noto che detto metodo di classificazione, che si basa sulla cluster analysis, definisce le classi secondo il tipo di firma spettrale di ciascun pixel; tali firme che costituiscono la riflettanza sono controllate dalla presenza o meno della vegetazione e dal contenuto idrico del mezzo.

Per questa ragione la scelta di indici di vegetazione ha permesso di attribuire i diversi pixel classificati ai differenti tipi forestali. In particolare sono stati usati l'indice di vegetazione normalizzato (NDVI):

$$NDVI = (TM4-TM3) / (TM4+TM3)$$

I rapporti tra bande (TM4/TM3, TM4/TM2, TM5/TM4) hanno consentito di evidenziare le condizioni della vegetazione e l'indice LAI:

$$LAI = (41.325*TM2/TM1)-(42.45*TM2/TM6)$$

Un ulteriore aiuto è venuto dall'utilizzazione degli indici biofisici di Kauth:

$$Greenness = -0.2848*TM1-0.2435*TM2-0.5436*TM3+0.7443*TM4+0.0840*TM5-0.1800*TM7$$

indica il vigore delle piante, l'idratazione e la quantità di clorofilla;

$$Brightness=0.3037*TM1+0.2793*TM2+0.4733*TM3+0.5585*TM4+0.5082*TM5+0.1863*TM7$$

rispecchia la quantità di radiazione riflessa da una superficie ed evidenzia la differenza tra i suoli;

$$Wetness = 0.1509*TM1+0.1973*TM2+0.3279*TM3+0.3406*TM4-0.7112*TM5-0.4572*TM7$$

da informazioni sul contenuto d'acqua del suolo.

Al termine sono state riscontrate 8 classi fisiche e tra queste, 3 sono state attribuite a classi di vegetazione arborea.

#### Classificazione della vegetazione

La classificazione della vegetazione è stata eseguita secondo le indicazioni del U.S. Federal Geographic Data Committee.

Tabella 2:		
	Esempio I	
DIVISIONE	Vegetato	Vegetato
ORDINE	Arborea	Erbacea-Non vascolare
CLASSE FISIONOMICA	Copertura chiusa al 60%	Erbacea
SUBCLASSE FISIONOMICA	Decidua	Annuale
GRUPPO FISIONOMICO	Temperata	Temperata
SUBGRUPPO FISIONOMICO	Naturale	Artificiale-coltivata
FORMAZIONE	Zone umide-ripe	Coltivazione a righe
ALLEANZA	Quercion frainetto	Frumento
ASSOCIAZIONE	Asperulo-alnetum cordatae	-

Questa prima fase ha previsto l'individuazione delle aree vegetate. L'analisi sarà proseguita mediante rilievi a terra su forma della vegetazione (arborea, arbustiva, a macchia, erbacea) e la percentuale di copertura del suolo della specie dominante, gli attributi fisionomici (piante sempreverdi, decidue, semidecidue) e il regime idrologico. Ulteriori approfondimenti prenderanno in esame dati riguardanti altezza, posizione, formazione e alleanza vegetazionale come in tabella.

### [2.3 Carta geologica \( Salvatore CRITELLI, Emilia LE PERA\)](#)

Al fine di giungere alla definizione di una carta dei complessi idrogeologici omogenei, nel corso del 1998 è iniziata, nell'ambito del progetto VAPI, una collaborazione con i geologi Critelli e Le Pera. Nel corso del primo anno di attività della collaborazione sono state portate a termine le seguenti azioni:

- stesura della carta geologico-strutturale della Calabria alla scala 1:500.000. Si è compiuto l'assemblaggio finale dei dati geologici su carte a varie scale e si è iniziato l'informatizzazione della carta. La carta è in uno stato avanzato e a metà del 1999 sarà pronta per la stampa definitiva.
- stesura del Capitolo "Lineamenti Geologici della Calabria (S. CRITELLI & E. LE PERA)"; il capitolo è completato e pronto per l'inserimento nel Rapporto Finale.
- Stesura del Capitolo "Lineamenti Geomorfologici della Calabria (E. LE PERA & S. CRITELLI)"; il capitolo è completato e pronto per l'inserimento nel Rapporto Finale.

La carta geologico-strutturale e i capitoli geologico e geomorfologici comprendono (a) una rivisitazione di dati cartografici e pubblicazioni finora compiuti in Calabria, (b) dati inediti e rilevati ex-novo compiuti dagli autori, (c) una consistente reinterpretazione e aggiustamento della cartografia geologica della Calabria; (d) dati inediti di geomorfologia e sedimentologia di sistemi fluviali, costieri e di dinamica dei versanti di molte aree costiere e bacini idrografici della Calabria.

## 2.4 Sistema informativo VAPI (S. Gabriele, E. Voci)

Per rendere facilmente fruibili i risultati del progetto e facilitarne la diffusione, la U.O. 1.4 ha realizzato un apposito sistema informativo integrato che racchiude in un unico ambiente: un archivio dati idrologici, un archivio dati morfologici ed una serie di applicazioni idrologiche. Il sistema informativo del progetto VAPI ( SIVAPI) è uno strumento finalizzato alla valutazione delle massime portate al colmo di piena in una generica sezione di un corso d'acqua italiano. Per raggiungere tale obiettivo si avvale si:

- Un originale Data Base topografico, appositamente sviluppato, capace di gestire dati territoriali in formato raster e vettoriale in forma georeferenziata ed in modo relazionale;
- un archivio dati idrologico nazionali contenente dati di pioggia e portata
- un sistema di base client-server capace di gestire archivi geograficamente distribuiti
- moduli di controllo per l'accesso a qualsiasi DB
- applicativi idrologici

Attualmente, lo stato operativo del SIVAPI consente la valutazione della massima portata al colmo di piena, in una generica sezione di un corso d'acqua italiano, a meno del valore della piena indice.

## 2.5 Rete di telerilevamento dati idrologici in tempo reale.

Nel corso del primo semestre 1997 sono state effettuate tutte le operazioni di mantenimento della rete telepluviometrica. Per facilitare l'accesso ai dati in tempo reale è stato realizzato un sistema per la diffusione in rete di tutti i dati.

## **3. Progetto ARA-PIN (S. Gabriele, O. Petrucci)**

### 3.1 Indagine storica eventi alluvionali 1971-1980

Nel corso del 1996 è stata effettuata una indagine storica sugli eventi alluvionali occorsi in Calabria nel decennio 1971-1980 (Petrucci et al., 1996).

Lo studio si è articolato nelle seguenti fasi:

- individuazione delle fonti di informazione (rappresentate da testate giornalistiche locali) e loro spoglio sistematico;
- consultazione dei rapporti tecnico-scientifici inerenti i fenomeni censiti;
- analisi dei dati di pioggia relativi ai periodi di innesco dei dissesti.

La prima fase del lavoro ha consentito di creare una banca dati, organizzata per bacini idrografici, contenente informazioni relative a tutti i fenomeni di dissesto idrogeologico verificatisi sul territorio calabrese nel decennio analizzato, distinguendo: fenomeni lungo la rete idrografica, fenomeni verificatisi sui versanti e fenomeni di altro tipo (mareggiate e trombe d'aria):

In base alle caratteristiche delle piogge, all'estensione areale della zona colpita, alla tipologia e distribuzione spazio-temporale dei dissesti innescati e dei conseguenti danni è stata effettuata una gerarchizzazione degli eventi in quattro categorie: straordinari, notevoli, moderati e ordinari.

L'analisi dei dati ha evidenziato che i casi più gravosi si configurano come una serie ravvicinata di episodi della durata di qualche giorno che colpiscono ripetutamente alcuni settori territoriali, in corrispondenza dei quali si innescano fenomenologie di dissesto di gravità crescente in funzione del tempo. Danni consistenti sono provocati anche dagli eventi del secondo livello di gravità, rappresentati da singoli episodi di tre -

quattro giorni durante i quali la precipitazione giornaliera raggiunge valori elevati, costituendo in alcuni casi dei massimi storici. Effetti di gravità variabile sono associati alle altre due tipologie individuate.

Studi successivi (Petrucci & Chiodo, 1996) hanno ampliato l'intervallo di osservazione considerando gli eventi alluvionali occorsi in Calabria e descritti in letteratura. Gli ulteriori casi analizzati hanno mostrato le medesime caratteristiche ed hanno pertanto consentito di confermare la gerarchizzazione riscontrata per gli eventi verificatisi nel decennio indagato.

In base alla frequenza di accadimento degli eventi dei primi tre livelli di gravità, è stato inoltre possibile ottenere una zonizzazione del territorio regionale da cui emerge che il versante ionico è l'area più frequentemente colpita dagli eventi straordinari e notevoli.

### [3.2 Caratterizzazione degli eventi alluvionali nella Calabria ionico-meridionale](#)

L'analisi dei dissesti occorsi nel periodo successivo all'inizio della sistematica raccolta dei dati del Servizio Idrografico consente di raggiungere risultati dettagliati nella caratterizzazione degli eventi alluvionali limitatamente a settori territoriali circoscritti per i quali il numero di segnalazioni contenuto nella banca dei dati storici sia sufficientemente ampio.

Uno studio campione, effettuato in un settore del territorio calabro (Petrucci & Polemio, in stampa), ha condotto al riconoscimento di 4 principali tipologie di eventi alluvionali che si differenziano per gli effetti territoriali indotti (rappresentati essenzialmente da frane, piene ed allagamenti), per la distribuzione spazio-temporale delle piogge innescanti e per l'eccezionalità di queste ultime espressa in termini di tempo di ritorno delle piogge innescanti, cumulate per una serie di intervalli di aggregazione.

I dissesti idrogeologici registrati durante ogni evento alluvionale analizzato sono stati suddivisi per tipologia, procedendo ad un'analisi statistica preliminare; successivamente sono stati valutati gli aspetti temporali, sia relativamente alla distribuzione nell'anno che nel periodo di studio. La distribuzione spaziale dei dissesti è stata studiata mediante elaborazioni cartografiche definite operando sulla base di celle ottenute dall'intersezione dei perimetri comunali e dei limiti di bacino. In ciascuno di questi passaggi, le segnalazioni sono state analizzate considerando i tempi di ritorno delle piogge cumulate significative, per il singolo evento e per la singola cella.

### [3.3 Monografia sull'evento alluvionale del 1971-72](#)

Durante il decennio 1971-1980, sono stati registrati due eventi alluvionali a scala regionale che hanno determinato fenomenologie di dissesto diffuse e danni ingenti lungo la rete idrografica e nei centri abitati (Petrucci, 1996). Fra essi il maggiore per estensione dell'area colpita e per i danni provocati risulta l'evento del 1971-72. Su questo evento è stata pubblicata una monografia in cui sono esaminati gli effetti dell'evento e le principali caratteristiche delle piogge innescanti nelle differenti aree regionali colpite da piogge intense e ripetute nel periodo compreso fra dicembre 1971 e marzo 1972.

Un ulteriore approfondimento ha riguardato gli effetti indotti dal suddetto evento sui versanti e lungo il fondovalle nel bacino idrografico del T. Pagliara, localizzato in Calabria settentrionale (Iovine e Petrucci, 1998). In questo studio la suddivisione in settori del sistema versanti-fondovalle, operata su basi geomorfologiche, ha consentito di distinguere porzioni di bacino caratterizzate sia da differenti risposte in corso di evento sia

in termini di efficacia geomorfica, che da diverse tendenze morfoevolutive, anche per quanto concerne la naturale capacità di ripristino delle zone vulnerate.

Infine è stato approfondito lo studio delle caratteristiche delle piogge in grado di innescare, per il settore della Calabria analizzato, fenomenologie di dissesto diffuse sui versanti e lungo la rete idrografica (Ferrari et al., 1998). L'applicazione di un modello idrologico ha consentito di evidenziare le relazioni fra le piogge innescanti e i maggiori eventi franosi registrati nel bacino del T. Pagliara nel periodo 1921-1987. L'analisi condotta ha evidenziato che la maggiore fase di attivazione franosa nel bacino studiato è stata registrata durante l'evento alluvionale del 1971-72. Le mobilitazioni o rimobilizzazioni di corpi franosi hanno fatto seguito ad un periodo piovoso di circa 3 mesi (durante il quale la pioggia cumulata ha raggiunto i 900mm), al termine del quale sono stati registrati 5 giorni di piogge particolarmente intense.

### [3.4 Eventi alluvionali anteriori al 1800](#)

L'ampliamento della finestra temporale di osservazione dei fenomeni di dissesto idrogeologico in Calabria è stato perseguito estendendo le indagini ai secoli antecedenti all'800 (Chiodo & Petrucci, 1996). Tale indagine ha fatto ricorso essenzialmente a fonti memorialistiche ufficiali e le storiografie dei singoli comuni redatte da autori locali. La massima attendibilità è stata attribuita a quelle notizie inerenti fenomeni occorsi nell'arco temporale della vita dell'autore mentre sono state sottoposte a controlli incrociati delle fonti le notizie non coeve, riprese da fonti più antiche.

Ulteriori dati sono stati estratti sia da riviste a contenuto naturalistico o economico-sociale che da monografie di tipo geografico-turistico: tali fonti possono trattare, marginalmente, anche i fenomeni di dissesto idrogeologico ma, essendo caratterizzate da finalità molteplici, il livello di dettaglio nella descrizione dei fenomeni risulta, in genere, piuttosto basso.

Oltre alla cronologia di una serie di eventi a carattere regionale, registrati in vari comuni della regione, è stato possibile individuare settori territoriali più frequentemente colpiti da eventi alluvionali. Tale ricerca attualmente prosegue nell'intento di infittire la serie delle registrazioni di fenomenologie di dissesto, mediante indagini a scala regionale e locale presso gli archivi di Stato, parrocchiali e comunali della regione.

### [3.5 Rapporti di eventi attuali: l'evento del marzo 1995 in Calabria meridionale e in Sicilia orientale](#)

Un evento pluviometrico di notevole intensità ha colpito nei giorni 13 e 14 marzo 1995 la Sicilia nord-orientale e la Calabria sud-orientale, innescando diffusi dissesti per fenomeni di frana ed allagamenti (Caloiero et al., 1996). In un rapporto di evento, redatto a seguito di una serie di sopralluoghi effettuati nell'immediato post-evento, è stato fornito un breve inquadramento geologico-geomorfologico delle aree colpite ed una descrizione dei fenomeni occorsi.

Per entrambe le aree interessate dall'evento è stata effettuata sia una sintesi delle notizie apparse sui quotidiani locali che un confronto con notizie analoghe inerenti gli eventi alluvionali occorsi in passato nelle medesime aree.

E' stata inoltre condotta una analisi dei dati pluviometrici che hanno caratterizzato l'evento in Sicilia stimando i periodi di ritorno delle altezze di pioggia registrate in due stazioni pluviometriche ricadenti nell'area colpita dal nubifragio.

### [3.6 Ricerca di metodologie per la perimetrazione di aree a rischio di inondazione.](#)

E' stato pubblicato uno studio inerente l'individuazione delle aree vulnerate dalle piene del 1951 e 1953 nella Calabria ionica meridionale (Gabriele et al., 1997). La cartografazione di tali aree sviluppa il primo livello dell'approccio gerarchico, organizzato secondo tre livelli, suggerito da Natale & Versace (1994).

Il volume è costituito da una serie di schede monografiche inerenti i bacini del bordo ionico meridionale della Calabria: per ognuno di essi sono state delimitate le aree interessate dall'azione morfodinamica delle acque di piena nel corso degli eventi alluvionali degli anni 1951 e 1953, utilizzando foto aeree riprese nel 1954-55. Successivamente, mediante l'analisi di foto aeree recenti, è stata verificata la presenza di insediamenti o infrastrutture probabilmente soggetti a pericolo di inondazione in quanto localizzati in aree storicamente inondate. Le fasi ancora in attuazione riguardano sia la verifica in situ delle reali condizioni degli insediamenti individuati dall'indagine, sia l'analisi dei dati di pioggia inerenti gli eventi pluviali che hanno determinato le alluvioni studiate.

Un ulteriore approfondimento è rappresentato da uno studio relativo a due dei bacini indagati (Gabriele & Petrucci, 1996). In quest'ambito, oltre ad evidenziare le aree vulnerate dagli eventi degli anni '50 è stata effettuata la valutazione, della densità della copertura vegetale mediante dati telerilevati da satellite.

### [3.7 Rapporto di evento relativo all'alluvione di Crotona](#)

A seguito dell'evento alluvionale del 14-10-1996, che ha interessato il bacino dell'Esaro ed in particolare la città di Crotona, è stata svolta una accurata indagine finalizzata alla comprensione dei fenomeni che hanno dato luogo, in tale occasione, a portate con periodi di ritorno decisamente superiori a quelli stimati per le piogge. Partendo da tale osservazione, il problema è stato analizzato sotto numerosi punti di vista che hanno indirizzato le indagini oltre la semplice descrizione del fenomeno alluvionale.

Per la valutazione delle condizioni iniziali del suolo si è fatto ricorso all'uso di dati telerilevati da sensori a microonde così come, mediante dati NOAA, si è tentato di ricostruire le condizioni precedenti l'evento in termini di acqua precipitabile; l'uso del suolo è stato derivato utilizzando dati telerilevati Landsat TM e Spot.

Caratteristica principale dell'evento è stata la dipendenza di quest'ultimo dallo stato iniziale del bacino fortemente condizionato dalle piogge precedenti. L'evento, che ha causato l'alluvionamento della città, è stato preceduto da altri due eventi accaduti nei giorni 3/10 e 8/10, il primo dei due di intensità superiore a quello registrato giorno 14.

Partendo da tali considerazioni si è tentato di ricostruire, mediante telerilevamento, le condizioni generali del bacino, rispetto al grado di umidità del suolo, prima e dopo i tre eventi. Per rilevare le differenze di umidità del suolo sono stati utilizzati dati rilevati dal radar a bordo del satellite SSM/I. Comparando dati relativi al 29 settembre ed al 14 ottobre, prima dell'evento, è stato possibile individuare una significativa differenza in termini di umidità del suolo.

L'evento del 14-10-1996 è stato inoltre analizzato attraverso numerose immagini NOAA nella banda dell'infrarosso e del visibile. Dalla successione delle immagini, analizzate anche in termini di contenuto in colonna d'acqua, è stato possibile ricostruire la dinamica dell'evento. Si è potuto inoltre osservare che le celle temporalesche hanno interessato il bacino secondo percorsi tali da massimizzare il picco della piena. Tale

comportamento è stato confermato dalle registrazioni di quattro pluviografi che hanno consentito di monitorare, ad intervalli di 10 minuti, le altezze di pioggia.

Dall'analisi complessiva di quanto accaduto giorno 14 ottobre sul bacino dell'Esaro di Crotona sono emersi incoraggianti risultati sulle possibili applicazioni dei sistemi a microonde passive nella valutazione comparativa delle condizioni di umidità del suolo. La ricostruzione della dinamica dell'evento ha inoltre messo in evidenza che, in presenza di piogge a carattere convettivo, la distribuzione spazio-temporale delle piogge può condizionare in maniera determinante la portata di picco, anche in bacini di piccole dimensioni come l'Esaro di Crotona.

Tutti i risultati dell'indagine condotta sull'evento alluvionale sono riportati nella monografia "Crotona e l'evento alluvionale del 14-10-1996". Il volume, che si compone di sette capitoli realizzati da diversi autori, descrive situazioni e fatti accaduti prima, durante e dopo l'alluvione.

Nei primi due capitoli sono descritte le principali caratteristiche geologiche e l'uso del suolo dei bacini in studio, evidenziando in alcuni casi le possibili relazioni tra uso del suolo e vulnerabilità idraulica del territorio.

Il capitolo terzo è una indagine storica sugli eventi alluvionali che in passato hanno interessato i fiumi Esaro, Passovecchio e la città di Crotona finalizzata all'individuazione delle aree storicamente interessate da fenomenologie di dissesto idrogeologico. (Petrucci & Dodaro, 1998).

Il quarto capitolo è dedicato alla ricostruzione dello scenario meteorologico prima e durante l'evento alluvionale. Sono stati analizzati alcuni fattori predisponenti che possono aver facilitato la formazione delle elevate portate di picco registrate in corrispondenza delle aste terminali dei fiumi Esaro e Passovecchio.

Il successivo capitolo affronta il problema della ricostruzione degli effetti causati dall'esonazione del fiume Esaro sulla città di Crotona e sul nucleo industriale, quest'ultimo ulteriormente colpito dalla quasi contemporanea fuoriuscita dagli argini del fiume Passovecchio.

Gli ultimi due capitoli affrontano il problema della ricostruzione dell'onda di piena del fiume Esaro a partire dalla registrazione delle sole piogge, data l'assenza di strumenti di misura di portata. La valutazione in alveo della massima portata al colmo, occorsa la mattina di giorno 14 in corrispondenza del centro abitato di Crotona, ha presentato notevoli difficoltà ed incertezze poiché il fiume ha attraversato la città in gran parte fuori dagli argini. Una valutazione indiretta della massima portata, condotta a partire dai dati di pioggia, conduce ad una stima di circa 1000 mc/sec, quantità decisamente eccezionale per un bacino di 80 kmq.

Un'ulteriore indagine ha avuto per oggetto il confronto informatizzato di rappresentazioni cartografiche e fotografiche di differenti epoche, volto ad individuare le aree storicamente inondate dai fiumi Esaro e Passovecchio (Dodaro e Petrucci, 1998). Sono state analizzate le modificazioni degli alvei dei due corsi d'acqua, fotointerpretando le coperture aeree disponibili dagli anni '50 ad oggi e sono state individuate le principali tappe dello sviluppo urbanistico del centro abitato e dell'adiacente area industriale.

L'analisi di fonti storiche e tecno-scientifiche ha consentito di ottenere informazioni inerenti le modalità di sviluppo di 22 eventi alluvionali pregressi e dei fenomeni di dissesto da questi innescati. Sulla base delle informazioni acquisite è stata effettuata una suddivisione di massima del territorio, in base alla frequenza di accadimento dei fenomeni di dissesto e sono state analizzate le relazioni tra effetti territoriali indotti e le principali caratteristiche pluviometriche degli eventi innescanti.

## 4 Progetto MIEP (Gabriele S., R. Gaudio)

### 4.1 Effetti delle modificazioni antropiche sulle portate di piena.

Al fine di quantizzare gli effetti delle modificazioni antropiche nell'assetto generale di un bacino, rispetto ai processi di formazione delle piene e della dinamica di produzione e trasporto solido, nel corso del '97 è stato individuato e parzialmente attrezzato un piccolo bacino di circa due kmq. Il bacino dell'Armaconi, affluente in sinistra della fiumara Amendolea (RC), è stato prescelto per una serie di condizioni favorevoli che consentono un facile monitoraggio quantitativo del trasporto solido. Infatti, dopo alcuni eventi alluvionali accaduti nel reggino nel 1972, per consolidare il bacino sono state costruite 45 briglie, molte delle quali di notevoli dimensioni e tali da bloccare il materiale solido di dimensioni superiori alle sabbie fini.

Le briglie terminali non ancora colmate, hanno consentito di monitorare il materiale prodotto in occasione di eventi particolarmente intensi capaci di attivare il sistema di drenaggio del bacino. Per ricostruire la storia del bacino sono state realizzate alcune campagne di misure topografiche di precisione, effettuate anche con l'ausilio del GPS, per valutare il volume di materiale solido mobilitato dal bacino, successivamente alla costruzione delle briglie.

Per fissare la situazione morfologica attuale del bacino è stata effettuata una ripresa aerofotogrammetrica a bassa quota. Relativamente al tronco principale è stata fatta redigere una cartografia numerica in scala 1:1000 con tolleranza sull'altimetria di +/- 10 cm. Sempre per lo stesso tronco è stato realizzato un DEM con risoluzione di 0.5 x 0.5 mt ; cartografia e DEM saranno presi come riferimento per la valutazione di scenari futuri, successivi a significativi eventi alluvionali. Le future quantificazioni sulle variazioni morfologiche saranno effettuate mediante confronto tra DEM..

Il bacino dell'Armaconi ha una superficie di 1,856 km<sup>2</sup> ed è compreso tra le quote di 116,4 e 670,0 m s.l.m.m, con altitudine media di 367,3 m. Esso è costituito da scisti filladici e gneiss biotitici e presenta numerose aree fortemente degradate e in frana, che producono una notevole quantità di materiale solido. Dopo l'ultima alluvione verificatasi nel 1971, per limitare il notevole trasporto di sedimenti sono state costruite 43 briglie di contenimento, ancora oggi non tutte colmate.

Precedenti studi hanno mostrato come il tasso erosivo medio nell'ultimo venticinquennio sia stato dell'ordine del mm annuo (Gabriele & Gaudio, 1998), con picco di circa 6 mm nel 1971.

L'attività di ricerca svolta nel bacino in oggetto ha inoltre consentito di realizzare una dettagliata mappa della geolitologia del bacino, comprendente anche l'esame in laboratorio della granulometria di numerosi campioni. Nel corso del 1999-2000 si ha intenzione di mettere in atto prove di erodibilità in situ tramite l'uso di simulatori di pioggia.

Per quanto riguarda invece la presenza di strumenti di misura, oltre alla stazione pluviografica di S. Carlo di Condofuri, prossima al bacino, sono state installate, all'interno del bacino dell'Armaconi un pluviografo ed un idrometrografo in corrispondenza della sezione di chiusura. La presenza di due pozzi, lungo l'asta principale del torrente, renderà possibile il controllo continuo della posizione della falda. Nel corso del 1999 è prevista l'installazione di due idrometrografi all'interno dei pozzi, per monitorare il livello della falda.

Nel bacino è stata già effettuata una prima applicazione distribuita della USLE a scala di bacino con l'utilizzo di tecniche di telerilevamento per la determinazione di alcuni fattori che in essa compaiono. L'impiego di Geographical Information Systems (GIS) ha consentito di valutare speditamente i fattori topografici caratterizzanti le singole unità morfologiche. La copertura vegetale, in special modo in aree soggette a rimboschimento e/o disboscamento, che non può essere efficacemente valutata da cartografie e mappe, a meno che queste non siano di recente realizzazione; è stata ottenuta, in tempi brevi e con costi relativamente bassi a partire da dati telerilevati da satellite. Basandosi su una serie di aree campioni, in cui sia già stata verificata la condizione di 'verità al suolo', ossia la corrispondenza tra vegetazione presunta e realmente presente, attraverso opportuni algoritmi di classificazione è stato possibile produrre carte tematiche di copertura vegetale, quale la mappa del Normalized Difference Vegetation Index (NDVI); tale indice, espresso in funzione della riflettanza dell'infrarosso vicino e del rosso, fornisce indicazioni sulla 'densità' di vegetazione. Nello studio in oggetto l'indice NDVI è ottenuto a partire da una scena Landsat ripresa nel luglio del 1995.

Per l'applicazione distribuita della USLE, sono state considerate le singole celle componenti il Digital Terrain Model (DTM) del bacino. A partire da cartografia in scala 1:10000, risalente al 1954, è stato ricavato un DEM di 60x63 celle quadrate, aventi lato pari a 35 m e area di 1225 m<sup>2</sup>; dal DEM è stato possibile determinare i fattori topografici L e S di ciascuna unità morfologica.

Con la tecnica degli Automi Cellulari, inoltre, sono stati analizzati semplici casi di erosione della superficie del bacino, che hanno fornito risultati paragonabili a quelli della procedura USLE. L'affinamento del modello ad automi potrà consentire una simulazione dei fenomeni di colata, fino alla deposizione nelle conoidi di valle.

- Setacciatrice di campagna per analisi granulometriche in situ
- Pluviografo
- Idrometrografo
- N. 2 pozzi
- Riprese aerofotogrammetriche (1955, 1972, luglio 1997)
- Cartografia 1:1000

#### 5. Realizzazione di una stazione fissa di misure GPS. (Gabriele S.)

Per supportare le misure topografiche di precisione e le elaborazioni cartografiche che richiedono la definizione di punti di controllo a terra, utilizzando parzialmente fondi GNDCI, è stata realizzata una stazione GPS fissa capace di fornire qualificati dati in doppia frequenza. La stazione, dopo accurate indagini con personale dell'ASI e della Telespazio per verificare la corretta ricezione ed assenza di interferenze radio, è stata posizionata a Piano Lago (circa 20 km da Rende) presso un istituto del CNR. La disponibilità di una rete GPS a scala nazionale potrà consentire, non appena realizzata in maniera definitiva, di effettuare misure di precisione GPS differenziali utilizzando un singolo strumento su tutto il territorio.

Il ricevitore, a sua volta, attraverso un cavo seriale è collegato ad un PC Pentium che riceve, ad intervalli di un secondo i dati GPS. Questi sono quindi memorizzati in un data base temporaneo nei formati RINEX e SSF. Ogni giorno, un processo automatico attivo sul server del Laboratorio per il Telerilevamento, preleva via rete i dati dal PC sito in Piano Lago e converte quest'ultimi in intervalli temporali di 5 e 30 secondi. I files, con epoche di 5 secondi sono trasferiti all'archivio del laboratorio secondo una struttura di 24 files di un ora. Questi ultimi possono essere prelevati dal sito WEB ([www.gndci.cs.cnr.it](http://www.gndci.cs.cnr.it)) del laboratorio mediante Internet o modem telefonico. Il secondo gruppo di dati, strutturato in epoche di 30 secondi, è organizzato in un unico file giornaliero in formato CRINEX compresso che è trasmesso all'archivio Geodaf dell'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) presso Matera.

Presso l'ASI di Matera confluiscono inoltre i dati di numerose altre stazioni permanenti distribuite su tutto il territorio italiano.

Vista l'utilità che i sistemi GPS possono svolgere per misurare alcune grandezze di interesse nei modelli di previsione atmosferica, la stazione di Piano Lago sarà utilizzata per realizzare misure di PWV da trasferire a sistemi di previsione meteo a scala locale (LAM).

## 4. BIBLIOGRAFIA

Caloiero D., Gabriele S., Govi M. & Petrucci O. (1996) - Il nubifragio del 13 marzo 1995 in Calabria meridionale ed in Sicilia orientale - GEAM, Geoingegneria Ambientale e Mineraria, Ass. Mineraria Subalpina: Quaderno N. 19.

Chiodo G. & Petrucci O. (1996) - I fenomeni di dissesto idrogeologico in Calabria anteriori al 1800. - CNR-IRPI, Rapp. Int. 487.

Gabriele S., Petrucci O. & Caloiero D. (1996) - Coast line modifications related to basin management practices - IV International Symposium on Natural and Man-made Hazards - Toronto

Gabriele S., Petrucci O., Cinnirella S. - Metodologia informatizzata per la localizzazione delle aree vulnerate da fenomeni alluvionali - GNDCI - Linea 1 Previsione e prevenzione degli eventi idrologici estremi e loro controllo - Salerno 1996

Gabriele S., E. Ferrari, P. Versace - Analisi preliminare delle piogge giornaliere verificatesi nel bacino del Tanaro nei giorni 5-6 novembre 1994 - Linea 1 Previsione e prevenzione degli eventi idrologici estremi e loro controllo - Salerno 1996

- Gabriele S. & Petrucci O. (1996) - Una metodologia per la perimetrazione delle aree a rischio di inondazione nelle aste terminali delle fiumare calabre - XXV Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche: "Idraulica, Ambiente e Protezione Civile". Politecnico di Torino, Settembre 1996.
- Petrucci O., Chiodo G. & Caloiero D. (1996) - Eventi alluvionali in Calabria. Pubblicazione N.1374 del GNDCI, Rubbettino Arti Grafiche, Soveria Mannelli (CZ), 142 pp.
- Petrucci O. (1996) - L'alluvione del 1973 in Calabria, analisi dei dati e ricostruzione dell'evento - GEAM, Geingegneria Ambientale e Mineraria, Ass. Mineraria Subalpina. 2-3, 87-94.
- Gabriele S., S. Nativi, P. Mazzetti, N. Pergola, F. Romano, V. Tramutoli. Satellite and ground based observations for extreme events interpretations: one application on precipitation anomalies and floods in the south of Italy. International Conference on WATER in the MEDITERRANEAN, Istanbul (T), 1997
- Gabriele S., Iiritano G., Maximum likelihood estimator for the hierarchical regional TCEV model. PHI-V, UNESCO, Documents Techniques en Hydrologie n. 11, 1997
- Gabriele S., Rogano N. Procedure per l'utilizzo di dati SAR. Rapporto interno. CNR-IRPI, 1997
- Petrucci O. & Chiodo G. (1997) - Sviluppo dei fenomeni di dissesto durante gli eventi di pioggia in Calabria, Atti Conv. Int. "La prevenzione delle Catastrofi naturali: il contributo della ricerca scientifica", Alba (CN).
- Petrucci O. (1997) – Gli eventi alluvionali in Calabria: utilizzo degli studi esistenti nella gestione del territorio – Ordine dei Geologi della Calabria.
- Petrucci O. (1997) – Le aree paludose in Calabria e le loro relazioni con la diffusione della malaria. – La malaria in Calabria. Comitato per gli studi storici e scientifici della malaria in Calabria. A cura di A. Tagarelli.
- Sorriso-Valvo M., Antronico L., Ferrini G., Gabriele S., Callegari G., Iovino F., Le Pera E., Moretti A., Petrucci O., Tansi C. & Terranova O. (1997)– Guidebook of the excursion of 4<sup>th</sup> International Conference on Geomorphology. Geogr. Fis. e Din. Quat. Supp. III t2, 143-150.
- Cinnirella S., O. Petrucci, S. Gabriele "Il ruolo della copertura forestale nell'evento alluvionale di Crotona", in "Crotona e l'evento alluvionale del 14-10-1996" a cura di S. Gabriele, CNR-GNDCI pubblicazione n. 1891, Cosenza dicembre 1998
- De Bartolo S. G., Gabriele S., R. Gaudio, "Analisi sperimentale sulla natura multifrattale delle reti fluviali". Atti del XXVI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche", Catania, 9-12 settembre 1998
- Dodaro S. & Petrucci O. (1998) – Alluvioni a Crotona: per una indagine storica – Sistema Terra: Rivista Internaz. di telerilevamento, 1/3, 48-54.
- Dodaro S. & Petrucci O. (1998) - Inquadramento geologico della regione del marchesato (Crotona). In: Crotona e l'evento alluvionale dell'ottobre 1996. CNR-GNDCI, Pubb.1891, a cura di S. Gabriele.
- Gabriele S., R. Gaudio, D. Caloiero. "Sediment yield estimation and remote sensing. An application to an experimental watershed". In "River and Sedimentation. Theory and applications", edited by A.W. Jayawardena, A.A Balkema, 1998

- Gabriele S., "Evolution of a regional methodology for flood evaluation in Italy". In *Managing Hydro-Geological disasters in vulnerable environment*. Editor K. Andha, CNR-GNDCI pubblicazione n. 1900, Perugia 1998
- Gabriele S., R. Gaudio, "Utilizzo delle tecniche di telerilevamento per la stima della produzione di sedimenti in un bacino". Atti del XXVI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche", Catania, 9-12 settembre 1998
- Gabriele S., S. Nativi, N. Pergola, V. Tramutoli, "Ricostruzione dell'evento alluvionale del 14-10-1996", in "Crotone e l'evento alluvionale del 14-10-1996" a cura di S. Gabriele, pubblicazione n. 1891 del GNDCI, Cosenza dicembre, 1998
- Gaudio R., S. Gabriele, S.G. De Bartolo, "Descrittori morfologici e natura multifrattale delle reti fluviali". Accademia Nazionale dei Lincei, Atti del convegno "Il rischio idrogeologico e la difesa del suolo", Roma 1-2 ottobre 1998
- Gabriele S. "Il sistema informativo del VAPI. Relazione", Rapporto interno GNDCI. Cosenza 1998
- Gabriele S. "Sistema informativo – Vapi. Scheda Tecnica", Rapporto interno GNDCI, 1998
- Gabriele S., Petrucci O. & Dodaro S. (1998) – Individuazione delle aree vulnerate dalle piene del 1951 e 1953 nella Calabria ionica meridionale – CNR- GNDCI Pubb. N 1821.
- Petrucci O. & Dodaro S. (1998) - Le alluvioni storiche nell'area del crotonese (Calabria). In: *Crotone e l'evento alluvionale dell'ottobre 1996*. CNR-GNDCI, Pubb.1891, a cura di S. Gabriele.
- Iovine G. & Petrucci O. (1998) Effetti sui versanti e nel fondovalle indotti da un evento pluviale eccezionale nel bacino di una fiumara calabra (T. Pagliara) – *Boll. Soc. Geol. It.*, 117: 821-840.
- Petrucci O. & Dodaro S. (1998) – Alluvioni a Crotone: per una indagine storica – *Sistema Terra: Rivista Internaz. di telerilevamento*, 1/3, 48-54.
- Ferrari E., Iovine G. & Petrucci O. (1998) – Geomorphic impact of prolonged rainfall in a Calabrian stream basin. 8th Congress of the IAEG, 21-25 sept., Vancouver. 945-952.
- Antronico L., Petrucci O., Scalzo A. & Sorriso-Valvo M. (in stampa) – Relationships between land degradation forms and historical development of malaria in Calabria – *Int. Jour. of Anthropology*.
- Petrucci O. & Polemio M. (in stampa) - Eventi idrogeologici catastrofici ed il ruolo delle precipitazioni meteoriche in Calabria sud-orientale. Accademia Nazionale dei Lincei, Conv. Il rischio idrogeologico e la difesa del suolo, Roma, 1-2 ott. 98.

## 5. Attività e prodotti

- Perimetrazione aree vulnerate eventi 1951-53 Calabria ionica meridionale - Scala 1:10.000
- Cartografia uso del suolo a partire da dati SPOT e Landsat TM
- Banca dati eventi alluvionali
- Sistema informatizzato (DBW) per la diffusione in rete e su Internet di dati idrologici teletrasmessi in tempo reale.
- Realizzazione software SIVAPI per la valutazione delle massime portate al colmo di piena in Italia.

## Organizzazione Convegni

Convegno nazionale "L'applicazione del GPS nel campo delle Scienze della Terra.", Organizzato da S. Gabriele e C. Reali, Rende 11 dicembre 1998

## Realizzazione cartografia:

### Aggiornamento "Rapporto Calabria"

1. Salvatore Critelli & Emilia Le Pera : "Carta Geologico-Strutturale della Calabria". In corso di stampa.
2. Cinnirella S., "Carta della vegetazione". In corso di stampa.
3. Cinnirella S. "Carta dell'uso del suolo". In corso di stampa.
4. Gabriele S., Niccoli R., Gabriele A., Lavorata P. "Caratteristiche bacini idrografici calabresi". N. 7 carte scala 1:100.000. In corso di stampa.

### Evento Crotone del 14-10-1996

1. S. Gabriele "Carta delle aree storicamente inondate dal fiume Esaro", Laboratorio per il Telerilevamento, CNR-IRPI, Rende 1998
2. S. Gabriele "Carta delle aree storicamente inondate dal fiume Passovecchio", Laboratorio per il Telerilevamento, CNR-IRPI, Rende 1998
3. S. Gabriele "Carta del bacino del fiume Esaro", Laboratorio per il Telerilevamento, CNR-IRPI, Rende 1998

### Bacino sperimentale torrente Armaconi

- Cartografia bacino Armaconi scala 1:1000.

## Stazione Permanente GPS

- Realizzazione stazione fissa GPS c/o Piano Lago. Software integrazione stazione permanente Piano Lago – archivio GEODAF ASI-Matera; sito Internet GPS

*GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE  
CATASTROFI IDROGEOLOGICHE*

**RISCHIO DI ALLUVIONE LEGATO A COLATE  
DETRITICHE E SOVRALLUVIONAMENTO**

**RAPPORTO TRIENNALE  
1996-1998**

U.O. 1.5

Responsabile: Giampaolo Di Silvio

**1. Introduzione**

La stretta correlazione esistente nei bacini idrografici di montagna di terra ed inondazioni, è ben conosciuta dagli abitanti di quelle zone, vittime ricorrenti di eventi catastrofici in cui frane ed alluvioni si presentano quasi sempre associati. È solo però in epoca relativamente recente che tale associazione è stata percepita in modo organico dalla comunità idraulica del nostro paese, contemporaneamente ad altri paesi caratterizzati da simili condizioni morfoclimatiche e socioeconomiche ( Giappone, Stati Uniti occidentali, altri paesi europei dell'area alpina ecc.).

Il rapido sviluppo degli insediamenti residenziali ed industriali, nonché delle grandi infrastrutture di comunicazione, nelle vallate alpine, ha reso queste ultime estremamente più vulnerabili che in passato, talché il problema di prevenire e controllare questo tipo di evento si è posto con grande urgenza proprio a partire da questo tipo di ambiente. In realtà le condizioni perché l'associazione catastrofica di frane ed alluvioni si determini sono praticamente ubiquitarie in montagna, sebbene risultino più frequenti in un ambiente morfologicamente giovane come quello alpino. A partire dagli anni novanta, comunque, è apparso chiaro che le piene dei corsi d'acqua di montagna non possono essere studiate mediante se non trattando contemporaneamente il moto dell'acqua e il trasporto di sedimenti.

In ambito GNDCI, tale percezione si è concretizzata proprio a seguito delle analisi condotte dall'Unità Operativa 1.5 con riferimento all'inondazione della Valtellina del 1987. Il problema delle implicazioni idrauliche dei grandi movimenti di massa ha suscitato subito interesse della direzione tecnica del Gruppo, soprattutto nell'ambito della Linea 1, e in

breve tempo ha mobilitato un numero sempre maggiore di ricercatori all'interno e all'esterno del GNDCI.

L'attività della comunità tecnico -scientifico italiana è testimoniata dal gran numero di incontri, per lo più a livello internazionale, organizzati su questo argomento. I collegamenti internazionali, inoltre, si sono spesso concretizzati in progetti finanziati dall'Unione Europea (p.es. FRIMAR ed EUROSLOPE), nei quali i ricercatori italiani ( e soprattutto i ricercatori facenti capo al GNDCI) hanno sempre dato contributi preminenti.

Nel corso degli ultimi anni, l'argomento ha trovato sempre maggiore spazio nell'attività del GNDCI, soprattutto nell'ambito dei sotto-progetti ARA-PIN ed ARA-COD, con la costante partecipazione della U.O.1.5.

La produzione scientifica dell'U.O.1.5. si è principalmente orientata su tre direzioni: "Modellistica matematica dei corsi d'acqua montani", "Colate detritiche" e "Strutture di controllo dell'erosione e del deposito nei torrenti". Sul piano più strettamente operativo l'U.O.1.5. ha inoltre fornito consulenza tecnico-scientifica a varie amministrazioni interessate alla gestione e previsione del rischio.

## **2. Modelli matematici dei corsi d'acqua montani.**

La necessità di considerare insieme la dinamica dell'acqua e dei sedimenti, ha imposto un'attenta revisione della modellistica fluviale da impegnare nei bacini idrografici di piccole dimensioni (da 1000 km<sup>2</sup> a pochi ettari) e di pendenza elevata (dall'1 al 20%).

L'alimentazione solida e liquida di questi bacini è infatti caratterizzata da:

- variabilità molto spinta nel regime idrologico, non solo a scala stagionale ma anche a scala pluriennale (eventi estremi);
- alimentazione solida dai versanti costituita da frane e colate detritiche localizzate, con quasi totale assenza di erosione superficiale diffusa;
- materiale di alimentazione costituito da granulometria molto differenziata, dalla sabbia sottile ai massi.

Conseguentemente i processi morfodinamici nei corsi d'acqua montani si distinguono per:

- dominanza della condizioni al contorno generalmente, molto lontane da quelle di equilibrio;
- forti variazioni spaziali e temporali con manifestazioni drammatiche di erosione e deposito;
- fondamentale importanza della granulometria non-uniforme nella descrizione dei processi morfologici;
- variabilità delle modalità di trasporto dei sedimenti nel corso dell'anno, dalla "uguale - mobilità" per tutte le frazioni granulometriche (in condizione di piena) fino alla pura "mobilità intrinseca" per ciascuna funzione (in condizione di magra);
- mobilità più elevata del materiale (generalmente sottile) trasportato dal corso d'acqua durante gli eventi estremi, con tendenza al sovralluvionamento e conseguente inondazione dei tratti a minor pendenza.

Allo scopo di simulare adeguatamente questi processi [3] è stato necessario rivedere gran parte degli strumenti di calcolo tradizionali. In particolare si è dovuto incorporare nei modelli di erosione e deposito il trasporto per frazioni granulometriche

separate (modelli a più "strati"), risolvendo in modo adeguato i problemi di interazione fra diametri diversi (coefficienti di "esposizione"). L'introduzione nei modelli di una granulometria non-uniforme, comporta importanti conseguenze sia dal punto di vista concettuale sia dal punto di vista analitico e numerico, che hanno richiesto numerosi approfondimenti sperimentali e teorici [10], [11]. Tali approfondimenti, peraltro, si sono rilevati utili nell'affrontare i vari aspetti non solo di morfodinamica dei torrenti, ma anche di morfodinamica fluviale e costiera.

Nell'applicazione dei modelli, inoltre, si è dovuto valutare il rapporto costi/benefici, soppesando la capacità predittiva e il potere risolutore di un certo modello da una parte, contrapposti alla pesantezza ed ai costi di calcolo dall'altra. L'analisi comparativa di modelli più o meno semplificati è stata condotta mettendo in conto sia la scala spaziale e temporale di interesse, sia il tipo di problema per cui va ricercata la soluzione.

Anche la discussione sul grado di semplificazione dei modelli (per esempio per quanto riguarda il numero degli "strati" da considerare o le diverse forme dell'equazione del moto dell'acqua) ha dato luogo a sviluppi molto interessanti ben al di là del caso particolare dei corsi d'acqua montani e del controllo del rischio [4], [5]. Come già ricordato nei successivi rapporti annuali, infatti, il lavoro svolto da questa unità operativa nell'ambito del GNDCI è stato sempre coordinato con altri progetti (come ad esempio il progetto d'interesse nazionale MURST 40%) aventi obiettivi affini o complementari.

### **3. Colate detritiche**

Le colate detritiche costituiscono un componente molto importante della morfodinamica dei bacini alpini. Esse rappresentano di per sé stesse un grande rischio per gli insediamenti che possono venire investiti durante la loro propagazione. Inoltre le colate detritiche sono, assieme alle frane, una delle sorgenti principali del materiale solido che raggiunge il reticolo idrografico durante gli eventi eccezionali; talché risultano spesso responsabili dei fenomeni di sovralluvionamento anche molto a valle della loro zona di arresto.

L'U.O.1.5. si è dedicata allo studio delle colate, sia per quanto riguarda le condizioni di innesco del fenomeno, sia per quanto riguarda la possibilità di descrivere il comportamento durante la fase di propagazione e deposito.

A tal riguardo sono state condotte in laboratorio numerose prove sperimentali per lo studio dell'erosione progressiva di pendii inizialmente saturi da parte di correnti superficiali [6], [9]. Negli ultimi tempi l'attenzione si è spostata verso lo studio di pendii di pendenza ancora maggiore, ma inizialmente drenati.

I dati sperimentali premettono di valutare le relazioni che intercorrono (in condizioni di moto quasi uniforme) fra velocità, tirante e concentrazione della miscela e l'inclinazione del pendio. L'insieme dei dati raccolti appare molto utile per l'impostazione, la taratura e la verifica dei modelli di propagazione ed arresto delle colate detritiche [8].

### **4. Strutture per il controllo dell'erosione e del deposito**

Nel corso del triennio, l'U.O.1.5. si è anche occupata del comportamento di alcuni tipi di opere utilizzate nei bacini di tipo alpino. Particolare attenzione è stata posta al

funzionamento delle briglie "aperte", aventi la finalità di intercettare parzialmente e selettivamente il materiale trasportato dal corso d'acqua durante i periodi di piena eccezionale, evitando così pericolosi fenomeni di sovralluvionamento a valle [1]

Più recentemente l'attenzione dell'U.O.1.5. si è rivolta al comportamento delle cosiddette "soglie a raso" destinate ad evitare l'eccessivo approfondimento dei corsi d'acqua[12]. Di queste strutture si è esaminato il comportamento in assenza di trasporto e condizioni di moto subcritiche, mentre si stanno estendendo le indagini ad altri casi di interesse progettuale, soprattutto in ambiente montano.

## 5. Attività di consulenza per amministrazioni pubbliche

Una funzione importante esercitata dal GNDCI è quella costruire un tramite fra l'ambiente scientifico e l'ambiente tecnico-amministrativo attraverso le consulenze in materia di rischio idraulico fornite alle Amministrazioni.

L'attività di consulenza consente di trasferire tempestivamente agli operativi i concetti e le metodologie già acquisiti e discussi all'interno del Gruppo, ma in qualche modo filtrati dall'esperienza dell'interlocutore e ri-tarati sul campo. Si tratta di un meccanismo molto efficiente di scambio fra i due ambienti che garantisce il mutuo benefico e minimizza gli errori (di comunicazione, di interpretazione e di estrapolazione).

L'U.O.1.5. è stata coinvolta anche in questa attività, non solo per gli argomenti di interesse diretto per i suoi componenti (quali quelli descritti nei precedenti paragrafi) ma anche per questioni di carattere generale [7].

## 6. Bibliografia

Basile, P.A. and Di Silvio G. "Interception and release of sediments by permeable checkdams", Int. Workshop on Flood and Inundation related to large Earth Movements, Trent, Italy October 4-7, 1994.

Di Silvio G. and Peviani M. "Modelling short and long-term. Evolution of Mountain Rivers: an Application to the Torrent Mallero (Italy)", Int. Workshop on Fluvial Hydraulics of Mountain regions, Trent, Italy October 3-6, 1989.

Di Silvio G. et al. "Hydro-meteorological conditions leading to intense mass movement events". Conf. On Management of Landscape Disturbed by Channel Incision, University of Mississippi, Oxford, Ms, U.S.A., May 19-22, 1997.

Di Silvio G. and Marion A. "Effects on flood and rivers morphology of time-dependent sediment input", 3rd Int. Conf. On River Flood Hydraulics, Stellenbosch, South Africa, 5-7 November 1997.

Di Silvio G. and Marion A. "About delivery ratio: how does it change in time and space?", XXVII Congress of LAHR, San Francisco, California, 4-6 August 1997.

Di Silvio G. and Gregoretti C: "Gradually varied debris-flow along a slope". Int. Conference on Debris Flow Mitigation, A.S.C.E., San Francisco, California, 4-6 August 1997.

Insegni E. "Aspetti idraulici della Protezione civile: una valutazione del rischio per Padova e i comuni della provincia. Tesi di laurea, Università di Padova, a.a. 1996-97.

Gaspari N. "Modellazione a doppio strato delle colate detritiche in condizioni non uniformi", Tesi di laurea, Università di Padova, a.a. 1996-97.

Gregoretti C. "Studio sperimentale di colate detritiche originate dall'erosione progressiva di un pendio", Tesi di laurea, Università di Padova, a.a. 1996-97.

Marion A. e Fraccarollo L. "Ricerca sperimentale sul carazzamento dinamico". Atti del XXV Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Vol. II, p229-309, Torino, 1996.

Marion A. e Fraccarollo L. "Experimental investigation of mobile armouring development". Water Resources Research, Vol. 33, n.6, 1447-1453, Giugno 1997.

Marion A., Bovolenta V. e Gaudio R. "Scour downstream of bed sills". HR Wallingford Report TR 70, pp. 43, Novembre 1998.

*GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE  
CATASTROFI IDROGEOLOGICHE*

**CRITERI DI GESTIONE E VERIFICA DEL  
DIMENSIONAMENTO DI SISTEMI IDRICI IN  
PRESENZA DI PERIODI ECCAZIONALI DI  
MAGRA**

**RAPPORTO TRIENNALE  
1996-1998**

U.O. 1.7  
Responsabile: Eugenio Lazzari  
DIT - Sezione di Ingegneria Idraulica  
Università di Cagliari

L'Unità Operativa 1.7 è principalmente coinvolta nei progetti di ricerca VAPI ed ARDI -SIC.

### **Progetto VAPI**

Relativamente alla prima linea di ricerca, nel triennio 1996-98 l'U.O. ha esteso la modellazione TCEV alle piogge intense di durata inferiore alle 24 ore.

Si ricorda che nel triennio precedente la modellazione TCEV, comparata a quella Lognormale, era stata applicata alle portate di piena ed alle piogge giornaliere. In sintesi, al primo livello di regionalizzazione, l'analisi del coefficiente d'asimmetria campionario ha mostrato, in tutte le stazioni, una regolare crescita della statistica con la durata negli eventi inferiori all'ora ed un andamento sostanzialmente costante e con valore pari a quello giornaliero nelle durate superiori.

Al secondo livello, in ogni SZO e per ogni durata, sono stati assunti tre differenti andamenti di  $\Delta_i$ , uno per ogni sottozona, i cui valori riproducono correttamente sia le curve di crescita che le distribuzioni dei coefficienti di variazione campionari.

Nel triennio sono stati analizzati più in dettaglio i criteri per la stima della precipitazione indice nella regione. In merito sono stati considerati tre differenti approcci modelistici: il primo adotta la tecnica del Kriging, il secondo è fondato sulla identificazione delle regressioni tra la pioggia indice e la quota della stazione mentre il terzo modello utilizza le reti neurali per interpretare la distribuzione spaziale della pioggia indice. I risultati ottenuti evidenziano come la procedura di Kriging fornisca i risultati migliori anche

grazie alla buona copertura della rete degli apparecchi di misura della precipitazione presente nella regione.

L'analisi delle procedure e la illustrazione dei risultati sono presenti in modo esteso in lavori a stampa.

## Progetto ARDI-SIC

Conformemente agli obiettivi del Progetto, nell'ambito della previsione del rischio di deficit, le attività dell'U.O. nel triennio hanno riguardato, preliminarmente, una attività conoscitiva sulla caratterizzazione degli eventi critici pluviometrici ed idrometrici della regione. Sono state pertanto acquisite le serie storiche delle precipitazioni e dei deflussi con particolare riferimento ad alcune stazioni per le quali sono disponibili serie particolarmente estese. In particolare le analisi hanno riguardato 9 stazioni pluviometriche con più di cento anni di osservazione ed i deflussi dei bacini del Tirso e del Flumendosa. Le indagini statistiche hanno avuto come obiettivo la caratterizzazione del livello di criticità degli eventi siccitosi avvenuti nell'ultima decade.

L'analisi delle misure di prevenzione hanno avuto invece l'obiettivo quello di individuare gli interventi che potevano essere presi a riferimento per ridurre gli effetti delle calamità. Al riguardo si è operato con riferimento inizialmente al sistema idropotabile del Sulcis esteso successivamente all'intero sistema del Flumendosa-Campidano. L'obiettivo è stato quello di individuare il dimensionamento ottimale ed i criteri di gestione dell'opera di trasferimento, da utilizzare in condizioni di emergenza idrica, tra l'invaso del Cixerri (sistema Campidano) e l'invaso di Bau-Pressiu (sistema Sulcis). Questo studio è risultato preliminare ad ulteriori estensioni della modellazione all'intero sistema di approvvigionamento della Sardegna meridionale che sono attualmente sviluppati in collaborazione con l'Ente Autonomo del Flumendosa nell'ambito del Progetto WARSYP finanziato dall'UE.

## Elenco delle pubblicazioni

Niedda M., Sechi G.M. *A mixed optimization technique for the design and management of large water resources systems* Journal of Water Resources Planning and Management (ASCE) V. 122 n. 6, 1996.

Deidda R., Piga E., *Studio regionale delle piogge brevi ed intense in Sardegna* Quaderni di ricerca del DIT, n. 11, Cagliari, 1996.

Canè G., De Benedictis S., Lorrain M., Sechi G.M. *Prime valutazioni statistiche su serie estese di precipitazione in Sardegna*, Quaderni di Ricerca del DIT, n. 11, 1996.

Liberatore S., Sechi G.M., Zuddas P., *Computational comparison among some LP codes for large scale water resource optimization problems*, Conference CMWR'97 Computer Methods and Water Resources, Lebanon, 1997.

Cao C, Liberatore S., Sechi G.M., Zuddas P., *Optimization Software comparison for large scale water resource planning models "Water in the Mediterranean"*, Istanbul, 1997.

Deidda R., Piga E., Sechi G.M., *Confronto tra alcuni modelli regionali per la valutazione della pioggia indice*, Quaderni di ricerca del DIT, n. 13, Cagliari, 1997.

Sechi G.M., Zuddas P. *Structure Oriented Approaches for Water System Optimization* "Conference on Coping with Water Scarcity", Hurgada, Egitto, 1998.  
Sechi G.M., Zuddas P., *Non Linear Optimization Models in Water Resources System*, (in collaborazione con P.Zuddas) "Non linear optimization and Applications", Erice, 1998  
Sechi G.M. Zuddas P., *Multistage Programing Techniques for Optimization Management of Extended Water Resource Systems*, IHP Scientific Meeting, Perugia, 1998.

*GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE  
CATASTROFI IDROGEOLOGICHE*

**TECNICHE GEOMORFOCLIMATICHE DI  
PREVISIONE DEL RISCHIO IDROLOGICO**

**RAPPORTO TRIENNALE  
1996-1998**

U.O. 1.8

Responsabile : Prof. Renzo Rosso, DIIAR, Politecnico di Milano

**Indice**

**Sommario**

1. Introduzione
2. Progetto VAPI
  - 2.1. Previsione statistica dei nubifragi e delle piene nel bacino padano e nella Liguria tirrenica
    - 2.1.1. Curve di crescita a scala regionale
    - 2.1.2. Valutazione della portata indice
    - 2.1.3. Validazione dei metodi di valutazioni delle piene
    - 2.1.4. Analisi statistica delle piogge intense a diverse scale di aggregazione temporale
  - 2.2. Effetti antropici sulla frequenza e la severità delle piene
  - 2.3. Influenza climatica sulla frequenza e la severità delle piene
    - 2.3.1. Sensitività alla forzante climatica del metodo geomorfoclimatico
    - 2.3.2. Nonstazionarietà delle serie storiche di lungo periodo
3. Progetto MIEP
4. Progetto METEO
5. Emergenza idraulica del torrente San Vincenzo in località Gera Lario (CO) a seguito del nubifragio del Giugno 1997
  - 5.1. Attività in fase di emergenza

5.2. Attività post-emergenza

6. Conclusioni

7. Elenco delle pubblicazioni del triennio 1996-1998

7.1. Pubblicazioni su Riviste Scientifiche

7.2. Contributi a Volumi Editi

7.3. Pubblicazioni agli Atti di Convegni, Seminari e Incontri di Studio

7.4. Rapporti di Ricerca a Stampa

## Sommario

L'attività di ricerca svolta nel triennio 1996-1998 viene presentata in ordine ai tre progetti di sviluppo cui l'unità operativa ha dedicato la propria attività.

Nell'ambito del progetto VAPI sono state perfezionate sia la fase di regionalizzazione geografica del bacino padano e della Liguria tirrenica, sia quella di valutazione delle curve di crescita nelle regioni omogenee tramite il modello GEV. Inoltre, è stata introdotta una nuova metodologia di valutazione delle proprietà di invarianza di scala delle piogge estreme a scala locale, allo scopo di migliorare la robustezza di stima delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica, con una significativa applicazione all'area sopra menzionata. Sempre in questo ambito, sono stati evidenziati alcuni criteri di valutazione dell'influenza climatica e antropica sul fenomeno delle piene fluviali.

I risultati delle ricerche inquadrati nel progetto MIEP riguardano la messa a punto di nuovi metodi di modellazione dello scorrimento superficiale tramite onda diffusiva, di rappresentazione concettuale del rifiuto del terreno e di analisi frattale del reticolo idrografico. Le ricerche sui modelli distribuiti ne hanno permesso la validazione in situazioni diverse situazioni climatiche e geomorfologiche, indicando anche la via per l'innesto dei componenti antropici nei modelli stessi.

I risultati delle ricerche svolte nell'ambito del progetto METEO hanno fornito metodi innovativi per la valutazione dinamica del contenuto idrico del terreno, sia nudo che vegetato, tramite modelli teorici, prove di laboratorio ed esperimenti di campo sull'impiego dei sensori a micro-onde attive. L'impiego di tali sensori ha fornito una positiva risposta anche per l'identificazione delle aree allagate durante i fenomeni di inondazione, quando il relativo segnale venga trattato su modelli topografia digitali ad alta risoluzione e con idonei algoritmi di prospezione. I risultati ottenuti indicano quindi nell'impiego concreto di questa metodologia uno strumento operativo per la mappatura di tali aree in fase di emergenza.

## 1. Introduzione

Le ricerche inquadrati nel programma triennale di lavoro sulle tecniche geomorfoclimatiche di previsione del rischio idrologico si sono proposte

- (i) la messa a punto di metodologie di previsione statistica delle piene, con riferimento al bacino padano e alla Liguria tirrenica, e di criteri di valutazione dell'influenza climatica e antropica sul fenomeno delle piene fluviali;
- (ii) lo sviluppo di modelli idrometeorologici spazialmente distribuiti dei campi di precipitazione e della trasformazione afflussi-deflussi (sia finalizzati alla simulazione di

eventi di piena, sia al preannuncio di piena) e dell'instabilità superficiale dei versanti dovuta ai nubifragi; e  
(iii) la formulazione di criteri e modalità di impiego di dati telerilevati con sensori remoti a micro-onde attive nel monitoraggio degli eventi alluvionali.

Nei successivi paragrafi, il rapporto sull'attività di ricerca svolta nel triennio presenta perciò gli sviluppi condotti e i risultati conseguiti con riferimento a queste tre tematiche, inquadrabili rispettivamente nei progetti VAPI e MIEP della Linea 1 e nel progetto METEO della Linea 3.

All'attività di ricerca è stata inoltre affiancata un'intensa attività di campo a fini di protezione civile. Tale attività è legata all'emergenza idraulica dell'area alpina circumlacuale della Lombardia occidentale in occasione dell'evento del 29 Giugno 1997. Ad essa è dedicato il quinto paragrafo del presente rapporto.

A testimonianza dell'attività svolta, viene infine riportato un elenco aggiornato delle pubblicazioni prodotte dai ricercatori dell'unità operativa nel triennio 1996-1998.

## 2. Progetto VAPI

In questo ambito, la ricerca ha teso a sintonizzare le metodologie geomorfoclimatiche di previsione regionale della portata di piena rispetto alle anomalie riscontrate dagli studi precedenti nel bacino padano e nella Liguria tirrenica. A tal fine sono state condotte analisi volte a ridurre le incertezze legate al modello stocastico di pioggia utilizzato, alla valutazione del fattore di riduzione areale delle piogge stesse e alla stima della portata indice. In parallelo, la ricerca ha iniziato ad affrontare la valutazione delle piene temibili in presenza di modificazioni dell'uso del suolo, individuabili in base a fonti storiche, sviluppando, in coordinamento con il progetto europeo FRAMEWORK, un caso di studio particolarmente significativo di bacino idrografico soggetto a intensa urbanizzazione nell'ultimo secolo, il torrente Bisagno nella Liguria tirrenica. Infine, la ricerca ha analizzato la sensibilità climatica delle valutazioni di piena, sia considerando sia il contenuto informativo delle lunghe serie di osservazioni pluviometriche, sia utilizzando diversi scenari di simulazione climatica prodotti da modelli di circolazione globale, e ha sviluppato un caso di studio significativo alla piccola mesoscala, il fiume Entella e i suoi affluenti nella Liguria tirrenica

### [2.1. \*Previsione statistica dei nubifragi e delle piene nel bacino padano e nella Liguria tirrenica\*](#)

#### *2.1.1. Curve di crescita a scala regionale*

Nel quadro delle problematiche relative alla valutazione probabilistica delle piene, sono state finalizzate sia la fase di identificazione delle regioni a comportamento omogeneo per regime di frequenza delle piene, sia quella di valutazione delle curve di crescita per tali regioni, con riferimento all'intera area geografica di pertinenza (bacino padano e Liguria tirrenica). Tale attività ha comportato sia l'applicazione di metodologie

tradizionali, sia lo sviluppo di metodologie innovativi. Queste ultime traggono la loro origine dall'analisi delle proprietà di invarianza di scala del campo aleatorio delle portate al colmo di piena massime annuali, parametrizzate sull'area del bacino idrografico (ROSSO et al., 1996). Gli studi condotti hanno permesso di evidenziare le notevoli ricadute applicative di tale impostazione. Queste risultano particolarmente significative per la individuazione delle regioni omogenee, che notoriamente costituisce una delle fasi di più difficile soluzione per le procedure di regionalizzazione delle portate di piena di tipo tradizionale (Brath et al., 1997).

La metodologia di identificazione delle regioni omogenee, basata sull'analisi dell'invarianza di scala, è stata quindi applicata con risultati soddisfacenti alla zona geografica esaminata. A tal fine è stato anche condotto uno sforzo di integrazione delle serie di portata al colmo massima annuale (AFS) rese disponibili dalle pubblicazioni del Servizio Idrografico e Mareografico soltanto fino all'anno 1970. Tale attività è stata coronata da successo per quanto riguarda la Liguria tirrenica, le cui serie AFS sono state integrate fino al 1993 grazie alla fattiva collaborazione dell'Ufficio di Genova del Servizio Idrografico, mentre non è stato assolutamente possibile conseguire lo stesso obiettivo per il bacino padano, per via dell'inerzia dell'Ufficio di Parma del Servizio Idrografico. Le analisi di invarianza di scala hanno mostrato come la Liguria tirrenica possa ragionevolmente considerarsi quale regione omogenea nei confronti del regime di piena. Invece, il bacino del Po ha mostrato un chiaro comportamento multifrattale; in base a tale impostazione, pertanto, il bacino nel suo insieme non può considerarsi un'unica regione omogenea, a differenza di quanto risultava sulla base delle precedenti analisi, fondate sulla verifica di adattamento della distribuzione regionale TCEV in base alle statistiche campionarie. E' risultato invece possibile suddividere il bacino padano in quattro zone che, sulla base della metodologia proposta, presentano comportamento omogeneo. La metodologia basata sull'analisi delle proprietà di invarianza di scala sembra quindi possedere una capacità discriminante superiore a quella delle tecniche tradizionali.

Le analisi condotte (Brath et al., 1997) hanno inoltre mostrato come la distribuzione GEV riproduca in modo soddisfacente la curva di crescita secondo il metodo della portata indice, con la quale si caratterizza il regime di frequenza delle piene in una regione omogenea (vedi Figura 2.1). I risultati non si discostano significativamente da quelli ottenibili con la distribuzione TCEV, ma conviene senz'altro adottare la GEV in quanto tale modello anche a due importanti requisiti: la parametrizzazione più parsimoniosa rispetto alla TCEV (tre parametri anziché quattro) e la possibilità di esprimere analiticamente la distribuzione inversa (ossia il modello previsionale vero e proprio) in modo semplice e diretto, mentre ciò non è strutturalmente possibile per la TCEV. Sono state anche considerate eventuali migliorie del modello GEV tramite procedure multivariate di stima parametrica (De Michele, 1998).

### *2.1.2. Valutazione della portata indice*

E' stata intrapresa un'analisi di dettaglio per la messa a punto di una metodologia geomorfoclimatica di determinazione della portata indice, che consente di derivare una formulazione di tale grandezza congruente con uno schema di regionalizzazione fondato sulla distribuzione GEV. Benché alcune applicazioni preliminari di tale metodologia all'area esaminata abbiano fornito risultati interessanti (Brath et al., 1996), è stata evidenziata la necessità di ulteriori approfondimenti del problema, se si vogliono conseguire metodi

robusti e consistenti di valutazione. A tal fine, è stata anche messa in luce la necessità di ulteriori studi volti a stabilire la confidenza delle stime conseguibili con il complesso delle metodologie proposte.

Tale metodologia, che consente di derivare una formulazione fisicamente basata di tale grandezza, presenta tuttora alcuni fattori di incertezza, soprattutto dovuti alla caratterizzazione probabilistica dell'afflusso meteorico, come risulta anche dalle anomalie riscontrabili dalle prime applicazioni condotte (v. p.es., Brath et al., 1997 e 1998). Per ovviare a tali inconvenienti, è in corso di validazione una diversa procedura di tipo indiretto, basata sulla stima della pioggia temibile attesa tramite il modello scala-invariante e sulla valutazione del fattore di riduzione areale tramite un modello auto-affine. L'obiettivo finale del lavoro, costituito dalla preparazione di "Linee Guida" per la previsione statistica dei nubifragi e per la previsione statistica della portata a colmo di piena nel bacino padano e della Liguria tirrenica, verrà perfezionato tramite la predisposizione di un ventaglio metodologico (vedi Figura 2.2).

Nello stesso tempo, l'altro fondamentale fattore di incertezza nella stima della portata indice è costituito dalla valutazione della massima capacità di ritenzione potenziale del terreno. A tal fine, si è quindi impostato uno studio specifico volto a validare la procedura SCS-CN per l'intera area di studio (bacino padano e Liguria tirrenica). Tale attività prevede l'accoppiamento della Carta Geologica d'Italia (in scala 1:500000) alla Cartografia Tematica di Uso del Suolo recentemente prodotta dal progetto europeo CORINE. Nel 1998 si è proceduto alla digitalizzazione vettoriale della Carta Geologica d'Italia e alla sua successiva rasterizzazione, nonché all'acquisizione della cartografia digitale CORINE, predisponendo altresì le procedure di georeferenziazione e layerizzazione di tale informazione su sistema informativo geografico, al fine di procedere all'accoppiamento di tali informazioni. Nello stesso tempo si è provveduto alla raccolta di dati idrologici (ietogrammi e idrogrammi di piogge e portate) per alcuni eventi di piena salienti, tramite i quali provvedere alla validazione del modello di assorbimento. I primi risultati hanno consentito una preliminare validazione del metodo SCS-CN del Soil Conservation Service per la valutazione della massima capacità di ritenzione potenziale del terreno a scala di bacino, quando l'applicazione a tale scala del metodo venga sviluppata tramite l'aggregazione dei valori ottenuti combinando "geolitologia" e "uso del suolo" a scala locale, caratterizzata da celle di circa 220x230 m (vedi Figura 2.3).

Questo aspetto della ricerca ha anche un significativo riscontro in tema di modellazione matematica degli eventi di piena, più avanti descritta nel successivo paragrafo dedicato alla modellazione della trasformazione afflussi-deflussi..

### *2.1.3. Validazione dei metodi di valutazioni delle piene*

E' stato anche affrontato il problema della validazione dei metodi statistici regionali di stima delle portate di piena con assegnato periodo di ritorno. Le serie storiche ricavabili dalle osservazioni sulle dighe, soggette al controllo del Servizio Nazionale Dighe, possono giocare un ruolo rilevante a tale scopo, poiché forniscono dati sperimentali non adoperati nelle fasi di identificazione e taratura dei modelli regionali, di norma condotte con i dati ufficiali del Servizio Idrografico e Mareografico. A tale fine, la metodologia proposta, che

muove dalle registrazioni di portata agli scarichi di superficie e di fondo e dai corrispondenti livelli sulle dighe, consente di verificare l'intera procedura di regionalizzazione e, in particolare, l'omogeneità del regime idrologico di piena e l'attendibilità della relativa curva di crescita. Il ricorso successivo a un idoneo modello di valutazione dell'errore di stima del quantile di portata permette di valutare anche l'incertezza delle previsioni statistiche della portata al colmo di piena così ricavabili. L'applicazione della metodologia di validazione proposta è stata illustrata alla luce di tre casi di studio salienti nel bacino padano (De Michele et al., 1998).

#### *2.1.4. Analisi statistica delle piogge intense a diverse scale di aggregazione temporale*

Le ricerche svolte sui campi di precipitazione hanno introdotto una metodologia innovativa di valutazione delle proprietà di invarianza di scala delle piogge estreme a scala locale, ossia nel supposto centro di scroscio. Tale metodologia consente senz'altro di migliorare la robustezza di stima delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica (Burlando & ROSSO, 1996) e significativi risultati sono stati ottenuti dall'applicazione del modello al bacino padano e alla Liguria tirrenica (ROSSO et al., 1997). Essa fornisce inoltre i dati fondamentali di ingresso necessari alla messa a punto di una metodologia speditiva per la determinazione della portata indice, alla quale verrà dedicata particolare attenzione nelle ricerche previste per il prossimo triennio di attività.

#### 2.2. Effetti antropici sulla frequenza e la severità delle piene

E' stato parallelamente affrontato il problema della valutazione delle piene temibili in presenza di significative modificazioni antropiche, quali le variazioni diffuse di uso del suolo e le opere di ingegneria, individuabili in base a fonti storiche. In particolare, nel 1998 è stato impostato lo studio del caso relativo al torrente Bisagno, ossia di un bacino idrografico della Liguria tirrenica soggetto a forte urbanizzazione nel corso dell'ultimo secolo (laddove si è evidenziato un aumento dell'area urbanizzata di quasi il 400% in un secolo: dal 3% dell'area del bacino nel 1878, l'area urbanizzata diventa l'11% nel 1980). Tali studi potranno fornire indicazioni di notevole interesse metodologico e tecnico sulla risposta scientifica da dare alla questione, assai importante, dell'effetto antropico sul rischio idrogeologico. Questa attività, svolta anche nell'ambito del progetto europeo FRAMEWORK, ha riguardato l'acquisizione e la raccolta ragionata delle informazioni storiche quali-quantitative sull'uso del suolo, tramite l'analisi della cartografia di un periodo lungo quasi due secoli, nonché alla sua digitalizzazione sistematica e alla relativa georeferenziazione (vedi Figura 2.4).

Figura 2.4.  
Evoluzione  
dell'uso del suolo  
nel bacino del  
Torrente Bisagno.

Si sta altresì procedendo alla ricerca delle informazioni sull'assetto idrografico, quale storicamente si è venuto a modificare nel corso del tempo, in grado di fornire dati sufficientemente dettagliati sull'evoluzione della geometria idraulica del corso d'acqua, progressivamente costretta dal processo di urbanizzazione ad assumere un assetto affatto artificiale.

### [2.3. Influenza climatica sulla frequenza e la severità delle piene](#)

#### [2.3.1. Sensitività alla forzante climatica del metodo geomorfoclimatico](#)

La ricerca ha svolto alcune analisi di sensitività climatica delle valutazioni di piena alla mesoscala. In particolare, sono stati acquisiti diversi scenari di simulazione climatica prodotti da modelli di circolazione globale che, sviluppando le metodologie di disaggregazione dei campi di precipitazione messe a punto nel quadro del progetto europeo POPSICLE, sono state applicate allo studio di due casi significativo alla piccola mesoscala, relativi al fiume Entella nella Liguria tirrenica (Burlando et al., 1997) e al fiume Versilia in Toscana (vedi Figura 2.5).

Figure 2.5. Sensitività delle valutazioni di piena a scenari simulati di cambiamento climatico nel bacino del fiume Entella e nei suoi affluenti.

I risultati di questa analisi, ancorché preliminari, indicano la via per poter dare risposta alle questioni relative alla eventuale "forzante climatica" del rischio alluvionale, ponendo altresì in rilievo l'elevato grado di incertezza legato a tale esercizio.

#### [2.3.2. Nonstazionarietà delle serie storiche di lungo periodo](#)

Sempre in tema di forzanti climatiche sui processi idrometeorologici, è stata condotta un'accurata ricerca in campo nazionale al fine di acquisire lunghe serie continue di dati pluviometrici giornalieri. La ricerca ha prodotto significativi contributi metodologici sull'analisi stocastica di serie idrologiche nonstazionarie. In particolare, le ricerche sulla presenza di fenomeni di persistenza a lungo termine hanno teso a stabilire una metodologia di discriminazione tra le fluttuazioni periodiche e di tendenza, da un lato, la persistenza di lungo periodo, dall'altro, poiché i primi sono indicatori di effetti antropici e climatici, mentre i secondi sono ascrivibili alla variabilità intrinseca della fenomenologia idrologica (Montanari, 1996; Montanari, Burlando & ROSSO, 1996; Montanari, ROSSO & Taqqu, 1996 e 1997).

L'analisi dei massimi giornalieri estratti da alcune lunghe serie di dati pluviometrici (vedi Figura 2.6) ha messo inoltre in evidenza le possibili incongruenze dei tradizionali metodi statistici basati sull'ipotesi di stazionarietà del processo di pioggia sul lungo periodo (De Michele et al., 1998).

Figure 2.6. Previsioni statistiche nonstazionarie della pioggia massima annuale a Genova, quali risultano da analisi a media mobile (sinistra), e da analisi a finestre incrementale (destra).

### 3. Progetto MIEP

In questo ambito, la ricerca ha affrontato problemi di modellazione idrologica secondo una impostazione di processo spazialmente distribuito. L'attività finalizzata alla simulazione di eventi di piena ha affrontato problemi di valutazione dei tempi caratteristici di risposta idrologica in relazione alla geometria idraulica della rete idrografica, di simulazione stocastica multisito del processo temporale di pioggia, nonché la messa a punto di criteri di modellazione idrologica del rischio di instabilità superficiale dei versanti, sia con l'ausilio di modelli teorici che di dati sperimentali, e l'esplorazione delle modalità di valutazione dell'impatto idrologico di modificazioni antropiche e climatiche, in coordinamento con i progetti europei FRAMEWORK e RAPHAEL.

L'attività finalizzata al preannuncio in tempo reale ha esplorato il possibile utilizzo di modelli spazialmente distribuiti a base fisica, ha affrontato problemi di accoppiamento dei modelli idrologici con i modelli atmosferici ad area limitata, in coordinamento con il progetto europeo RAPHAEL; ed ha infine messo a punto metodi speditivi, ancorché approssimati, di soluzione off-line del problema inverso, nell'ottica di determinare le soglie di rischio pluviometrico, in coordinamento con l'attività svolta dal DIAR del Politecnico di Milano per l'autorità di Bacino del Fiume Amo.

La simulazione delle piene in presenza di modificazioni antropiche è stata affrontata mediante lo sviluppo di due casi di studio significativi.

- Il primo caso di studio riguarda il già citato torrente Bisagno nella Liguria Tirrenica, la cui analisi ha condotto all'applicazione di una nuova metodologia di simulazione Monte Carlo di tipo stocastico-deterministica. (vedi Figura 3. 1).
- Il secondo caso di studio affronta la problematica della rappresentazione spazialmente distribuita dei sistemi di serbatoi artificiali, con una significativa applicazione al bacino del fiume Toce in Piemonte (Mancini et al., 1998), dove si evidenzia l'effetto di laminazione dei sistemi di serbatoi lungo il reticolo idrografico in ragione dello stato iniziale di riempimento (vedi Figura 3.2).

Figura 3. 1. Metodo della simulazione ibrida Monte Carlo per la valutazione delle piene nel bacino del Torrente Bisagno.

Figure 3.2. Simulazione di idrogrammi di piena lungo la rete idrografica del fiume Toce in ragione dello stato iniziale di riempimento degli invasi idroelettrici.

L'attività del triennio 1996-1998 ha anche ottenuto risultati scientifici salienti affrontando, nell'ambito della simulazione,

- la valutazione delle soglie di instabilità superficiale dei versanti, integrandola nel contesto della modellazione geomorfoclimatica distribuita del processo di formazione

delle piene, con lo sviluppo di un caso di studio significativo per un bacino campione della Versilia, in coordinamento con l'attività svolta per l'Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (Brugioni et al., 1997; Rulli et al., 1998);

- la valutazione della parametrizzazione della velocità di dispersione idrografica nei modelli distribuiti di piena secondo schemi di onda diffusiva basati sulla geometria idraulica lungo la rete idrografica (Orlandini & ROSSO, 1996, 1997 e 1998);
- la rappresentazione concettuale del rifiuto del terreno (Orlandini et al., 1996).

Per quanto riguarda la modellazione idrologica per il preannuncio in tempo reale, la ricerca

- ha sperimentato le possibilità di applicazione della modellistica distribuita al preannuncio di piena, con una significativa applicazione al bacino della Sieve in Toscana (Cordero, 1996);
- ha proseguito l'attività di ricerca sulla modellazione distribuita dello scioglimento nivale, finalizzata principalmente alla identificazione degli effetti di scala nella modellazione della dinamica del manto nevoso (Grossi, 1996);
- ha affrontato la soluzione speditiva del cosiddetto "problema inverso", ossia la valutazione delle soglie pluviali di allarme, sia tramite studi storici che tramite modellazione matematica off-line, finalizzati al preallarme tramite l'impiego delle previsioni a più giorni dei modelli atmosferici ad area limitata; e
- ha esplorato alcuni criteri, modalità e metodi di identificazione delle scale caratteristiche spazio-temporali per l'accoppiamento dei modelli idrologici con i modelli atmosferici ad area limitata.

L'attività di ricerca in questo settore ha previsto anche la disseminazione di tecniche aggiornate di modellazione della trasformazione afflussi-deflussi con modelli a parametri concentrati (e, in particolare, di tipo concettuale) e spazialmente distribuiti. In questo quadro, è proseguita l'attività di costruzione di una banca dati per la identificazione, la taratura e la validazione dei modelli matematici, raccogliendo, esaminando ed ordinando su supporto informatico i dati di piogge e portate relativi agli eventi salienti riportati dalle pubblicazioni ufficiali del Servizio Idrografico e reperiti da altre fonti. Si è altresì iniziata la validazione dei modelli attualmente disponibili per i bacini e gli eventi sopra menzionati e la valutazione dei tempi di risposta caratteristici a scala di bacino in base a tali eventi e sono state verificate alcune formule di uso corrente. Inoltre, nel quadro del corso di istruzione permanente sui *"La sistemazione dei corsi d'acqua naturali"*, svoltosi sempre presso il Politecnico di Milano, sono stati condotti alcuni interventi sui problemi modellistici relativi alla valutazione delle sistemazioni fluviali finalizzate alla mitigazione del rischio alluvionale, che sono stati raccolti in forma di volume a cura della U.O. 1.43 (ROSSO, 1996; Burlando & ROSSO, 1996). E' infine proseguita una intensa attività di ricerca sugli aspetti geomorfologici della risposta idrologica (Agnese et al., 1996).

## 4. Progetto METEO

L'attività di ricerca ha riguardato la messa a punto di criteri di impiego di sensori remoti a micro-onde attive nel monitoraggio e nella modellazione degli eventi alluvionali. In particolare, sono stati affrontati due diversi aspetti:

- (a) la stima dell'umidità superficiale del suolo, sia a scala locale che di bacino elementare, utile alla valutazione dinamica dello stato di imbibimento del bacino e, quindi, alla caratterizzazione della pericolosità di un evento meteorico intenso; e
- (b) la mappatura in "tempo reale" delle aree alluvionate, con particolare riferimento alle recenti eventi piemontese.

L'attività del punto (a) è stata caratterizzata dalla georeferenziazione delle immagini radar e dei dati di umidità e rugosità del suolo acquisite in campo ed in laboratorio. È stato contemporaneamente implementato un modello teorico di scattering superficiale per la determinazione della costante dielettrica da immagini radar, con il quale elaborare i dati acquisiti. In base a tale modello si è quindi proceduto all'accoppiamento dei dati telerilevati con modelli dinamici del suolo insaturo, onde ottenere stime plausibili dell'umidità del suolo (Altese et al., 1996; Bolognani et al., 1996; Mancini et al., 1996; Giacomelli et al., 1996 e 1997). Lo sviluppo di una metodologia di stima dell'umidità superficiale del suolo vegetato è stata altresì condotta tramite esperimenti di laboratorio e pieno campo (Mancini et al., 1996; Mancini & ROSSO, 1998).

L'attività al punto (b) ha visto lo sviluppo e l'implementazione di una procedura di stima delle aree esondate con riferimento alle immagini ERS-1 acquisite per l'alluvione del Po del 1994. L'algoritmo di prospezione sviluppato a tale scopo, lavorando sulle immagini radar così come vengono rilasciate dall'Agenzia Spaziale Europea, ossia senza ulteriori processamenti, sembra essere in grado di individuare le aree allagate in modo automatico e in tempi sufficientemente rapidi per consentire una efficace gestione dell'emergenza (Giacomelli et al., 1996 e 1998). I risultati ottenuti indicano l'impiego concreto della metodologia quale strumento operativo per la mappatura di tali aree in fase di emergenza.

Infine, è proseguita l'attività di ricerca finalizzata alla messa a punto di metodi multisensore per la previsione dei campi di pioggia, con significativi risultati in relazione all'accoppiamento tra dati radar e osservazioni a terra, da un lato, e modelli stocastici lineari multivariati, dall'altro (Burlando, Montanari & Ranzi, 1996).

## 5. Emergenza idraulica del torrente San Vincenzo in località Gera Lario (CO) a seguito del nubifragio del Giugno 1997

L'unità operativa 1.8 è stata impegnata durante l'alluvione dei giorni 27-30 Giugno 1997 in Lombardia a coordinare, su incarico della prefettura di Como e della Regione Lombardia, l'emergenza di Gera Lario cittadina dell'alta riviera del Lago di Como, posta alla foce del torrente S. Vincenzo. In seguito a un nubifragio di notevole intensità, il torrente ha provocato fenomeni di esondazione in prossimità dell'abitato di Gera Lario, soprattutto a causa dell'interazione della corrente con la sezione del ponte sulla Statale Regina (v. Figura 5. 1).

Tale circostanza ha indotto il Sindaco del paese, già tragicamente alluvionato nel 1951, a ordinare l'evacuazione dell'intero paese.

### 5.1. Attività in fase di emergenza

L'intervento in loco dell'unità operativa 1.8 nei giorni di Lunedì e Martedì si è svolto in due fasi distinte: una prima fase di allerta idrologica nella notte del 30 Giugno, e una successiva fase di valutazione della situazione nel suo complesso, che ha permesso di ridimensionare la fase acuta dell'emergenza e ha consentito il rientro della popolazione nelle abitazioni.

Nella prima fase è stato messo a punto un sistema di allerta idrologico, che, sfruttando le misure di precipitazione del pluviografo sito in prossimità dell'invaso di Livo, trasmesse telefonicamente su interrogazione del comune di Gera Lario, ha permesso di condurre, durante la notte del 30 Giugno, una stima in tempo reale di prima approssimazione delle portate e dei livelli nelle sezioni del torrente, che attraversa l'abitato. La seconda fase ha permesso di poter fare rientrare le persone nelle proprie abitazioni dopo un'attenta analisi delle condizioni del corso d'acqua, della situazione meteorologica generale e della frana occorsa nel bacino di monte, la cui analisi è stata svolta in collaborazione con la Dottoressa Mai, geologo del Genio Civile di Como. Tale analisi è stata poi formalizzata in una relazione inviata al Prefetto di Como, che ha sancito la fine dell'emergenza acuta.

Figura 5.1 - Il ponte sulla strada Statale Regina il 28 Giugno 1997 (vista da monte).

In particolare, i sopralluoghi al bacino del Torrente S. Vincenzo sia nelle giornate del 30 Giugno e del 1 Luglio 1997 avevano mostrato che il corpo frana principale posto in testa al bacino imbrifero non aveva causato apprezzabili rilasci di materiale nell'intervallo tra i due sopralluoghi, che i livelli idrici nelle sezioni fluviali non erano tali da destare preoccupazione, che l'asta fluviale non presentava ostruzioni provocate da smottamenti di versanti, in grado di causare fenomeni di propagazione improvvisa della portata, e che nelle 24 ore non si erano verificate precipitazioni sul bacino; per questi motivi, si poteva quindi ritenere che, allo stato attuale, la fase di emergenza alluvionale lungo l'asta del torrente era da ritenersi superata. Al fine di tutelare la sicurezza dell'abitato, che appariva messa in pericolo soprattutto dall'eventuale rigurgito del ponte sulla Statale Regina, si sono consigliati all'amministrazione comunale e ai superiori organi competenti, sulla base di tali sopralluoghi, i seguenti interventi.

- Mettere al più presto a punto un sistema di allarme per la viabilità, basato sulla definizione di soglie di precipitazione.
- Censire i danni e operare le necessarie riparazioni alle briglie esistenti lungo il corso del torrente San Vincenzo e alla sistemazione dei versanti.
- Rimuovere i depositi sedimentari dal bacino di accumulo a monte della briglia, nota ai locali come selettiva, previo il controllo statico del manufatto (tale bacino poteva, infatti, svolgere funzione di accumulo per le colate detritiche, che potevano attualmente instaurarsi sul torrente a causa sia degli smottamenti dei versanti, sia

dell'accumulo del materiale in alveo a monte delle briglie; le quali, avendo subito danni consistenti alla gaveta, potevano permettere il rilascio improvviso del materiale accumulatosi a monte delle stesse in caso di eventi idrometeorologici intensi).

- Provvedere a una analisi geologica e geomorfologica del piccolo bacino sotteso dall'attraversamento della Statale Regina.
- Organizzare un sistema di pronto intervento in grado di assolvere la funzione di immediata gestione e risoluzione delle emergenze idrauliche, quali si potevano verificare lungo l'asta torrentizia.

## 5.2. Attività post-emergenza

Nella fase di post-emergenza, l'unità operativa 1.8 ha quindi provveduto a condurre una preliminare caratterizzazione idroclimologica dell'evento e del bacino idrografico interessato, di cui si riporta nel seguito una breve sintesi, con particolare riferimento ai fenomeni di dissesto sui versanti e alla valutazione della frequenza stimata dell'evento meteorico.

Figura 5.2 - Il bacino del Torrente San Vincenzo digitalizzato dalla carta tecnica regionale in scala 1: 10000, laddove si osserva la deviazione dell'asta terminale.

Il bacino del torrente San Vincenzo, tributario del lago di Como, ha una superficie di circa 7.5 Km<sup>2</sup> e si sviluppa da una quota di circa 210 m s.m.m., che corrisponde allo sbocco nel lago, a circa 2200 m, con elevate pendenze sia dei versanti che dell'asta drenante principale, la cui parte terminale presenta una pendenza del 15% circa (v. Figura 5.2). L'asta terminale è stata artificialmente deviata nei primi di questo secolo e le sponde della reinalveazione sono state successivamente rinforzate dopo la tragica alluvione del 1951. Il tronco terminale (v. Figura 5.3) è costituito da un cunettone rivestito, che, deviando il corso naturale del torrente, evita l'attraversamento del centro abitato. La rotta della protezione arginale di tale cunettone aveva causato l'alluvionamento di parte del paese nel 1951.

L'evento di piena, che ha causato il sormonto dell'impalcato del ponte sulla stradale Regina, è stato caratterizzato, oltre che da un'elevata portata liquida, anche da una notevolissima portata solida, che ha contribuito in modo determinante all'intasamento del ponte, sebbene la pendenza del canale fosse di circa il 15% e il ponte fosse privo di pile in alveo. Soltanto il pronto impiego di macchine operatrici durante il passaggio dell'onda di piena ha permesso di mantenere sgombra la luce del ponte limitando il fenomeno di sormonto e le conseguenti estensioni delle aree allagate.

Le principali fonti di trasporto solido sono state individuate nei fenomeni di dissesto profondo, essenzialmente costituiti dalla frana principale nella parte di monte del bacino (v. Figura 5.4) e nei fenomeni di dissesto superficiale lungo i versanti drenati dall'asta principale (v. Figura 5.5).

Figura 5.3 - Il tratto terminale del torrente visto da monte. Si noti il canale deviatore, l'attraversamento della Statale Regina e, in sponda sinistra, l'abitato di Gera Lario.

Figura 5.4 - La frana principale nella parte del bacino di monte.

Figura 5.5 - Smottamenti superficiali lungo l'asta del San Vincenzo.

Una prima ricostruzione della frequenza temibile dell'evento è stata ottenuta in base al confronto dei dati di precipitazione cumulata registrati all'invaso di Livo con le linee segnalatrici di probabilità pluviometrica (Ispp) valutate nel punto con una procedura automatica di stima (cfr. Burlando et al., 1997). Da una prima analisi si osserva come la cumulata dell'evento meteorico nelle 24 ore presenti periodi di ritorno compresi tra 150 e 200 anni (v. Figura 5.6).

Figura 5.6 - Caratterizzazione in frequenza dell'evento pluviometrico tramite le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica stimate in base al modello scala invariante (valori dei parametri  $a_1=28.32 \text{ mrn/h}^{0.38}$ ,  $V=0.33$  e  $n=0.38$ , da: *Burlando et al.* 1997)

## 6. Conclusioni

La ricerca svolta nel triennio 1996-1998 ha condotto a importanti risultati nelle tre tematiche di progetto affrontate, con particolare riguardo alla valutazione statistica delle piene, alla simulazione dei fenomeni di piena nei bacini alla piccola e grande mesoscala e all'uso di sensori remoti a micro-onde attive. I risultati ottenuti per il bacino padano e la Liguria tirrenica pongono le basi per un decisivo miglioramento delle procedure di stima delle portate al colmo di piena a frequenza assegnata in tale area. La ricerca svolta ha anche iniziato a porre i fondamenti scientifici per la soluzione dei complessi problemi posti dall'influenza sul regime di piena esercitata dai fenomeni di antropizzazione del territorio e dalle forzanti climatiche.

## 7. Elenco delle pubblicazioni del triennio 1996-1998

### 7.1. Pubblicazioni su Riviste Scientifiche

AGNESE, C., D'ASARO, F., GROSSI, G. & R. ROSSO, Scaling properties of topologically random channel networks, *Journal of Hydrology*, Vol. 187, p. 183 -193, 1996.

ALTESE, E., BOLOGNANI, O., MANCINI M. & P. TROCH, Retrieving soil moisture over bare soil from ERS-1 SAR data: Sensitivity analysis based on a theoretical surface scattering model and field data, *Water Resources Research*, Vol. 32, no. 3, p.653-661, 1996.

BOLOGNANI, O., MANCINI, M. & R. ROSSO, Soil moisture profiles from multifrequency radar data at basin scale, *Meccanica*, Vol. 31, p.59-72, 1996.

BRATH, A., DE MICHELE, C., GALEATI, G. & R. ROSSO, Una metodologia per l'identificazione di regioni omogenee nel regime di piena, *L'Acqua*, no. 1, pp. 17-26, 1997.

BURLANDO, P., MONTANARI, A. & R. RANZI, Forecasting of storm rainfall by combined use of radar, rain gages and linear models, *Atmospheric Research*, Vol. 42, p. 199-216, 1996.

BURLANDO, P., MONTANARI, A. & R. ROSSO, Modelling hydrological data with and without long memory, *Meccanica*, Vol. 31, p.87-101, 1996.

BURLANDO, P. & R. ROSSO, Scaling and multiscaling models of depth-duration-frequency curves of storm precipitation, *Journal of Hydrology*, Vol. 187, p.45-64, 1996.

DE MICHELE, C., MONTANARI, A. & R. ROSSO, R., The effects of non-stationarity on the evaluation of critical design storms, *Wat. Sci. Tech.*, Vol.37, no. 11, pp. 187-193, 1998.

GIACOMELLI, A., MANCINI, M. & R. ROSSO, Assessment of Flooded areas from ERS-1 PRI data, *Physical Chemical Earth*, Vol. 20 N5-6, pp. 469-474, 1996.

MANCINI, M., TROCH, P. & R. ROSSO, Soil moisture retrieval in the NVT experiments at the EMSL, *EMSL Newsletter*, no. 8, p.4-5, 1996.

MONTANARI, A., ROSSO, R. & M. TAQQU, Some long-run properties of rainfall records in Italy, *J Geophysical Research*, Vol. 101, no. D23, pp.29431-29438, 1996.

MONTANARI, A., ROSSO, R. & M. TAQQU, Fractionally differenced ARIMA models applied to hydrologic time series: identification, estimation, and simulation, *Water Resources Research*, Vol. 33, no. 5, pp. 1035-1044, 1997.

ORLANDINI, S., MANCINI, M., PANICONI, C. & R. ROSSO, Local contribution to infiltration excess runoff for a conceptual catchment scale model, *Water Resources Research*, Vol. 32, no. 7, p.2003-2012, 1996.

ORLANDINI, S. & R. ROSSO, Diffusion wave modeling of distributed catchment dynamics, *ASCE Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 1, no. 3, p. 103 -113, 1996.

ORLANDINI, S. & R. ROSSO, Parametrization of stream geometry in distributed modeling of catchment dynamics, *Water Resources Research*, Vol. 34, no. 8, pp. 1971-1985, 1998.

ROSSO, R., Foreword, Special Issue on Fractals, Scaling and Nonlinear Variability in Hydrology, *Journal of Hydrology*, Vol. 187, p. 1, 1996.

ROSSO, R., BRATH, A., BURLANDO, P., DE MICHELE, C. & M. MANCINI, Invarianza di scala del regime di piena, *L'Acqua*, no 5, pp. 15-23, 1996.

## 7.2. Contributi a Volumi Editi

BRATH, A., C. DE MICHELE & R. ROSSO, Combining statistical and conceptual approaches for index flood estimation, in *Regional hydrology: concepts and models for sustainable water resources management*, IAHS Pub. n. 246, pp. 287-295, IAHS Press, Wallingford, UK, 1997.

BRUGIONI, M., MENDUNI, G., ROSSO, R. & M.C. RULLI La modellazione dell'innesco di fenomeni gravitativi superficiali sui versanti in seguito di eventi meteorici di elevata intensità, in: *La difesa idraulica del territorio*, a cura di U. Maione e A. Brath, Editoriale Bios, pp. 317-333, Cosenza, 1997.

BURLANDO, P. & R. ROSSO, Le precipitazioni intense, in: *La sistemazione dei corsi d'acqua naturali*, a cura di U. Maione e A. Brath, Editoriale Bios, Cosenza, pp. 1-32, 1996.

BURLANDO, P., MANCINI, M. & R. ROSSO, Impact of climate change on hydrological modeling and flood risk assessment, in: *River basin Modelling, Management and Flood Mitigation -RIBAMOD Concerted Action*, a cura di R. Casale, K. Havno & P. Samuels, European Commission, Publication EUR 17456 EN, Luxemburg, pp. 7-26, 1997.

ROSSO, R., La previsione del rischio alluvionale: regime di piena e portate temibili, in: *La sistemazione dei corsi d'acqua naturali*, a cura di U. Maione e A. Brath, Editoriale Bios, Cosenza, pp. 195-228, 1996.

ROSSO, R., DE MICHELE, C. & MONTANARI, La previsione statistica delle piogge di forte intensità e breve durata. Applicazione alla Liguria tirrenica e al bacino del Po, in: *La difesa idraulica del territorio*, a cura di U. Maione e A. Brath, Editoriale Bios, pp. 1-30, Cosenza, 1997.

## 7.3. Pubblicazioni agli Atti di Convegni, Seminari e Incontri di Studio

BRATH, A., DE MICHELE, C. & R. ROSSO, Una metodologia indiretta a base concettuale per la valutazione della portata indice, Atti \* XXV Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Torino, 18-20 settembre, Vol. 1, pp. 52-63, 1996.

BRATH, A., DE MICHELE, C. & R. ROSSO, Fractal properties of flood frequency at basin and regional scale, Proc. Int. Conf. on "Regionalization in Hydrology", Braunschweig, March 10-14, 1997.

BRATH, A., DE MICHELE, C., & R. ROSSO, Combining statistical and conceptual approaches for index flood estimation, Proc. Int. Conf. on "Regional Hydrology: concepts and methods for sustainable water resource management", Postojna, 1-4 ottobre, 1997.

BRATH, A., DE MICHELE, C., & R. ROSSO, Studio del regime di piena a diverse scale di aggregazione mediante l'analisi di invarianza di scala, Atti Convegno Internazionale su "La prevenzione delle catastrofi idrogeologiche: il contributo della ricerca scientifica", Alba, 5-7 Novembre 1996, Vol. 2, pp. 301- 312, 1998.

BURLANDO, P., MANCINI, M. & R. ROSSO, Impact of climate change on hydrological modelling and flood risk assessment, RIBAMOD Concemed Action, Expert Meeting, Copenhagen, November 10-11, 1996.

BURLANDO, P., GROSSI, G. & A. SAINO, Hydrological response of an alpine medium size catchment to global change (abstract), Proceedings Intemational Congress on "Envirorunent and Climate", Rome, March 4-8, p.282, 1996.

DE MICHELE, C., PETACCIA, A. & R. ROSSO, La validazione dei modelli regionali di previsione statistica delle piene tramite le osservazioni sulle dighe, Atti XXVI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Catania, 9-12 settembre, Vol. 2, pp. 173 -184, 1998.

GIACOMELLI. A., MANCINI, M. & R. ROSSO, Assessment of flooded areas from ERS-1 PRI data (abstract), Proceedings XXI General Assembly European Geophysical Society, The Hague, May 6-10, *Annales Geophysicae*, Vol. 14, Part II, Supplement II, p. C309, 1996.

GIACOMELLI, A., MANCINI, M., ORLANDINI, S. & G. NESTI, Assessing soil moisture from point to catchment scale using multifrequency radar data (abstract), Proceedings Symposium on "Progress in Electromagnetics Research", Innsbruck, July, p.204, 1996.

GIACOMELLI. A., MANCINI, M. & R. ROSSO, Integration of ERS-1 PRI imagery and digital terrain models for the assessment of flooded areas: the case di Alessandria, Italy, November 1994, Atti Convegno Intemazionale su "La prevenzione delle catastrofi idrogeologiche: il contributo della ricerca scientifica", Alba, 5-7 Novembre 1996, Vol. 2, pp. 43-50, 1998.

MANCINI, M. & R. ROSSO, Esperienze di misura di umidità al suolo con radar multifrequenza, Atti Incontro di Studio "Tempeste Mediterranee: Valutazione e Previsione degli Effetti al Suolo", Savona, 10- 11 Ottobre 1996, Pubbl. CNR-GNDICI no. 1862, pp. 81-94, 1998.

MANCINI, M., MONTALDO, N. & R. ROSSO, Modellistica distribuita degli eventi di piena in presenza di invasi artificiali nel bacino del fiume Toce, Atti XXVI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Catania, 9-12 settembre, Vol. 2, pp. 237-248, 1998.

MONTANARI, A , Simulazione di variabili idrologiche giornaliere mediante modelli srocastici di tipo ARIMA con differenziazione frazionare, Atti XXV Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Torino, 18-20 settembre, Vol. 1, pp. 52-63, 1996.

MONTANARI. A., ROSSO, R. & M. TAQQU, Long rainfall records in Italy: trend or long-range dependence? (abstract), Proceedings Intemational Congress on "Envirorunent and Climate", Rome, March 4-8, p.6,1996.

ORLANDINI, S. & R. ROSSO, Sull'onda di piena diffusiva nei reticoli di drenaggio naturali, Atti XXV Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Torino, 18-20 settembre, Vol. 1, pp. 265-276, 1996.

RULLI, M.C., MENDUNI, G., BRUGIONI, M. & R. ROSSO, Considerazioni sulla stabilità dei pendii ai fini della modellazione distribuita dei movimenti regionali superficiali innesacti da

eventi meteorologici intensi, Atti XXVI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Catania, 9-12 settembre, Vol. 2, pp. 133-144, 1998.

#### 7.4. Rapporti di Ricerca a Stampa

CORDERO, A., *Previsione di piena in tempo reale con un modello distribuito*, Tesi per il conseguimento del dottorato di ricerca in Ingegneria Idraulica, Politecnico di Milano, Febbraio 1996.

DE MICHELE, C., *Invarianza di scala e modelli multivariati di stima per la previsione statistica delle portate al colmo di piena a livello regionale*, Tesi di Dottorato di Ricerca, Biblioteca Nazionale di Roma, Dissertazione n.98/838; Biblioteca Nazionale di Firenze, (TDR. 1998.878), 1998.

GROSSI, G., *Un modello idrologico distribuito della dinamica del manto nevoso: teoria ed applicazioni*, Tesi per il conseguimento del dottorato di ricerca in Ingegneria Idraulica, Politecnico di Milano, Febbraio 1996.

MONTANARI, A., *Modellistica stocastica di variabili idrologiche affetta da persistenza a lungo termine*, Tesi per il conseguimento del dottorato di ricerca in Ingegneria Idraulica, Politecnico di Milano, Febbraio 1996.

*GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE  
CATASTROFI IDROGEOLOGICHE*

**VALUTAZIONE DEGLI EVENTI IDROLOGICI  
ESTREMI**

**RAPPORTO TRIENNALE 1996-98**

U.O. 1.9

Responsabile: Prof. Beniamino Sirangelo (\*)

**1. INTRODUZIONE**

L'attività dell'U.O. 1.9 svolta nel triennio 1996 -1998 ha riguardato i progetti:

- 1) Progetto ARA-PIN
- 2) Progetto ARA-SBAR
- 3) Progetto VAPI
- 4) Progetto ARDI-SIC

**2. SINTESI DELL'ATTIVITÀ SVOLTA**

**Sommario**

L'attività di ricerca è stata supportata da co -finanziamenti, ed è stato ottenuto un finanziamento dalla Regione Piemonte relativo all'analisi idraulica ed idrologica dell'evento alluvionale che ha interessato il bacino del fiume Tanaro (la ricerca e la collaborazione oggetto del co-finanziamento è a tutt'oggi conclusa).

Nel 1998 è stato ottenuto un co-finanziamento dell'attività di ricerca del settore ARA-SBAR da parte dei Servizi Tecnici Nazionali - Servizio Nazionale Dighe (Esame degli studi sulle onde di piena di cui alle circolari del Ministero dei Lavori Pubblici n.1125/86 e 352/87 e circolare PCM n. DSTN 2/22806).

**1) Progetto ARA-PIN**

Per il triennio è stata messa a punto una metodologia di identificazione di dettaglio delle aree ad alto rischio di carattere idrologico. In particolare è stata analizzata la

---

(\*) Dipartimento di Ingegneria Civile, Univ. di Salerno, Via Ponte Don Melillo, 84084 - FISCIANO (Salerno).

possibilità di pervenire a criteri di delimitazione di dettaglio delle aree potenzialmente soggette a rischio di inondazione.

Come già riportato in precedenti documenti, i reali costi del programma di ricerca proposto dall'Unità Operativa 1.9, in relazione al progetto ARA-PIN, sono particolarmente elevati e perciò l'attività è stata frazionata e supportata da altre fonti di finanziamento. Al finanziamento ottenuto dal Dipartimento della Protezione Civile, per tramite del C.N.R. - G.N.D.C.I., fanno capo gli aspetti più prettamente scientifici e metodologici dell'attività svolta.

Può essere utile ricordare che il progetto di ricerca complessivo prevedeva tre distinte fasi:

- 1a. fase: identificazione delle aree vulnerate nel passato;
- 2a. fase: identificazione preliminare delle aree ad alto rischio;
- 3a. fase: identificazione di dettaglio delle aree ad alto rischio.

Le fasi 1 e 2 sono state già portate a compimento e, dunque, è stata completato lo svolgimento della terza ed ultima fase.

In particolare è stata analizzata la possibilità di pervenire ad una delimitazione di dettaglio delle aree potenzialmente soggette a rischio di inondazione. A tal fine, preliminarmente, sono stati analizzati i criteri per l'individuazione delle aree da classificare "ad alto rischio di inondazione".

Sono stati poi individuati sia i modelli di calcolo sia i dati di base necessari per il conseguimento di una perimetrazione particolareggiata dell'inondazione. Le tecniche individuate sono state applicate per l'individuazione di dettaglio delle aree potenzialmente soggette ad inondazione lungo gran parte del corso del fiume Volturno e di alcuni dei suoi principali affluenti.

Nel prosieguo della ricerca verrà valutata l'opportunità e la convenienza di ricorrere a modelli di espansione ed espansione dell'inondazione di tipo bidimensionale, sia in ambito urbano, sia in ambito rurale, con particolare attenzione all'interfacciamento con l'usuale modellistica di propagazione (monodimensionale) delle onde di piena.

## **2) Progetto ARA-SBAR**

L'attività di ricerca che si è svolta con riferimento al progetto ARA-SBAR, è stata indirizzata verso la riproduzione dei fenomeni di espansione delle onde di piena dovute a dam-break mediante l'impiego di modelli idrodinamici bidimensionali (shallow water).

L'attività svolta, con riferimento al progetto ARA-SBAR, ha visto la definizione di una nuova collaborazione con il Servizio Nazionale Dighe, avente per oggetto l'esame degli studi relativi alle onde di piena artificiali dovute a manovre degli organi di scarico o conseguenti ad ipotetico collasso delle dighe.

Nel complesso, saranno analizzati ulteriori 180 studi, che si aggiungeranno ai 304 studi già analizzati negli scorsi anni. Per ognuno di tali studi sarà trasmesso al Servizio Nazionale Dighe un giudizio sintetico ed una dettagliata descrizione delle eventuali richieste di integrazione o revisione. Verrà inoltre fornita al Servizio Nazionale Dighe la versione informatizzata dei dati rilevati durante l'analisi degli studi..

Gli aspetti più prettamente scientifici dell'attività relativa al progetto ARA-SBAR sono stati indirizzati verso la riproduzione dei fenomeni di espansione delle onde di piena dovute a dam-break mediante l'impiego di modelli idrodinamici bidimensionali (shallow water).

In particolare, una prima indagine, relativa ai codici di calcolo già esistenti, ha evidenziato le difficoltà di applicazione dei pacchetti di software disponibili, che, nella maggior parte

dei casi, sono stati sviluppati con riferimento a problematiche diverse da quella qui studiata (problemi di gasdinamica, analisi del moto nelle baie, ecc.).

Ciò ha suggerito la necessità di sviluppare codici di calcolo specifici, al fine di creare un mezzo che possa risultare particolarmente utile per la valutazione di dettaglio degli effetti delle strutture in alveo (quali ponti, argini, ecc.) sulle modalità di propagazione delle piene estreme, con specifica attenzione alle eventuali esondazioni ed inondazioni da esse causabili.

L'attenzione viene rivolta anche alla corretta individuazione dell'interfaccia con la modellistica di propagazione monodimensionale, alla implementazione di efficaci tecniche di discretizzazione della variabilità del contorno della zona inondata, alla ottimizzazione degli algoritmi numerici, alla valutazione della robustezza delle procedure di integrazione in presenza di topografia irregolare e, infine, alla individuazione di eventuali condizioni per le quali le ipotesi delle shallow water si rivelino inadeguate.

Le tecniche individuate sono attualmente in fase di applicazione in un case-study relativo alla ricostruzione del processo di esondazione in corrispondenza della confluenza tra il Rio San Bartolomeo ed il Volturno.

Sempre nell'ambito del progetto ARA-SBAR, in collaborazione con i Servizi Tecnici Nazionali, è stata sviluppata la prima fase, relativa al reperimento dati, della linea di ricerca sulla valutazione della Sicurezza Idraulica ed Idrologica delle Dighe Esistenti in Italia (SIIDE).

### 3) Progetto VAPI

Nell'ambito del progetto VAPI si è provveduto all'adeguamento di alcuni punti suscettibili di miglioramento, nonostante gli innegabili progressi effettuati negli ultimi tempi, rappresentati dalla valutazione della piena media annua, che costituisce l'oggetto dell'analisi al terzo livello di regionalizzazione.

Alcuni studi preliminari sull'influenza che possono avere le caratteristiche di uso del suolo, ed in particolare la presenza di aree coperte da bosco su terreni idrogeologicamente molto permeabili, sono stati già effettuati.

E' stata inoltre portata a termine l'attività di ricerca applicata oggetto del co-finanziamento erogato dalla Regione Piemonte e relativa all'analisi dell'evento alluvionale del novembre 1994 nel bacino del Fiume Tanaro.

In particolare, è stato completato il seguente programma:

- valutazione probabilistica delle portate di piena nei corsi d'acqua naturali in una regione idrologicamente omogenea comprendente l'intero bacino del Fiume Tanaro;
- simulazione idrologica dell'evento alluvionale del novembre 1994, per la valutazione del periodo di ritorno relativo ai diversi idrogrammi di piena.

Nell'ambito di tale attività, cominciata operativamente nel dicembre 1995, sono stati inclusi anche studi relativi a:

- l'analisi statistica dei massimi annuali delle piogge giornaliere e di assegnata durata, su base at-site;
- l'analisi statistica dei massimi annuali delle precipitazioni areali oppure, nel caso non si rendessero disponibili le serie storiche delle precipitazioni giornaliere, per lo meno l'analisi areale delle precipitazioni per alcuni eventi di precipitazione particolarmente intensi;
- l'analisi statistica dei massimi annuali delle portate al colmo di piena e per assegnata durata, facendo riferimento anche alla disponibilità manifestata da parte del compartimento di Parma del Servizio Idrologico e Mareografico Nazionale all'accesso a dati idrometrografici non pubblicati, archiviati presso la sezione distaccata di Torino.

Dalle analisi di cui sopra si è pervenuti alla caratterizzazione idrologica dell'area in oggetto dal punto di vista climatico. Per completare il quadro idrologico della regione, occorrerà fare riferimento anche alla caratterizzazione geomorfologica dell'area, dal punto di vista della litologia, della idrogeologia, dell'uso del suolo e della copertura forestale.

#### **4) Progetto ARDI-SIC**

Nell'ambito del progetto ARDI-SIC è stata ulteriormente sviluppata la modellazione dei deflussi basata su processi stocastici di tipo Shot Noise, che si sono rivelati adatti a descrivere l'andamento dei deflussi aggregati su brevi durate (giornaliera e settimanale), dei quali riproducono soddisfacentemente le caratteristiche anche dei periodi di magra.

E' stato messo a punto un approccio che, basandosi sul confronto tra deflussi osservati e deflussi ricostruiti con metodo inverso, a partire dalle precipitazioni, punta ad evidenziare e quantificare la differenziazione tra periodo piovoso (invernale) e periodo secco (estivo) nei riguardi della legge di trasformazione degli afflussi in deflussi.

L'applicazione di tali tecniche ha fornito risultati di buon interesse per quanto riguarda il bacino del fiume Alento (Campania). I risultati sono stati oggetto di comunicazioni scientifiche in convegni e di pubblicazioni su riviste.

Nella ricerca è stata inoltre testata la possibilità di impiegare il modello suddetto al fine di ricostruire le serie storiche dei deflussi per i periodi in cui è disponibile la sola informazione pluviometrica. Il principale obiettivo conseguito tramite questo ulteriore sviluppo è l'incremento di informazione ottenibile, tramite i dati di precipitazione, ai fini della riduzione dell'incertezza circa la stima degli eventi di piena di assegnata probabilità di superamento. Le analisi preliminari hanno mostrato che tale schema, opportunamente adattato, può fornire una sensibile riduzione della varianza della stima relativa alle portate di piena di assegnato tempo di ritorno.

*GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE  
CATASTROFI IDROGEOLOGICHE*

**GEOMORFOLOGIA DEL BACINO IDROGRAFICO E  
FENOMENOLOGIA IDROLOGICA  
(progetto M.I.E.P.)**

**RAPPORTO TRENNALE  
1996-1998**

U.O. 1.10

Responsabile: prof. Ignazio Melisenda Giambertoni

**1. SINTESI ATTIVITA' SVOLTA E RISULTATI OTTENUTI**

In anni recenti sono stati sviluppati modelli della risposta idrologica dei bacini idrografici che si basano sulle caratteristiche geomorfologiche della rete idrografica e del bacino. Una classe di tali modelli individua tali caratteristiche tra quelle che definiscono la struttura ad albero del reticolo. In essi la funzione di risposta impulsiva nel suo complesso, a meno della distribuzione dei tempi di attesa negli stati (livelli) geomorfologici, può essere identificata nella funzione di larghezza, che descrive il numero di elementi del reticolo in funzione della distanza degli stessi dalla sezione terminale. La problematica connessa alla riconosciuta dipendenza della funzione di larghezza dalla scala di rilevamento, può essere rimossa mediante il riconoscimento di strutture invarianti di scala, sia di natura semplice (scaling), che complessa (multiscaling).

Nell'ipotesi di casualità topologica del reticolo (l postulato di Shreve), che qui si assume, si è già mostrato che è possibile definire una dimensione di similarità del reticolo medesimo che descrive sinteticamente le modalità con cui si attua il processo di biforcazione nello spazio fisico disponibile. Tale dimensione risulta strettamente legata ad un fattore di forma topologico (equivalente topologico dell'esponente di Hack che descrive la relazione tra lunghezza dell'asta principale e superficie del bacino), che da' conto sinteticamente dell'andamento, più o meno allungato, dell'asta principale del reticolo nel suo procedere da monte verso valle; tale fattore può inoltre essere interpretato come un vincolo spaziale al processo di ramificazione.

Un secondo risultato è consistito nel riconoscimento dell'invarianza di scala dei valori del picco della funzione di larghezza normalizzati rispetto alla lunghezza topologica del reticolo; tale invarianza ha senso statistico, cioè si applica alla distribuzione di probabilità della variabile casuale. L'autosomiglianza statistica è mediata da un esponente, direttamente legato alla dimensione di similarità del reticolo.

Un terzo risultato è stato quello di individuare lo spettro delle dimensioni della funzione di larghezza, utilizzando la rappresentazione della funzione stessa come cascata casuale.

## 2. PUBBLICAZIONI E PRODOTTI

Agnese, C., F. D'Asaro, G. Grossi, R. Rosso, Scaling properties of topological random channel networks, *Journal of Hydrol.*, 187, 183-193, 1996.

Agnese, C., V. Bagarello, Describing rate variability of storm events for infiltration prediction, *Trans ASAE*, Vol. 40, 1, 61-70, 1997.

Agnese, C., A. Criminisi, F. D'Asaro, Scale invariance property of the peak of the width function in topologically random networks, *Water Res. Resour.*, Vol. 34, No. 6, 1571-1583, 1998.

Agnese, C., V. Bagarello, G. Baiamonte e C. Corrao, Un modello semplificato di trasferimento dell'eccesso di pioggia lungo un versante, *XXVI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche*, Vol. 2, 3-11, Catania, 9-12 Settembre 1998.

C. Agnese, G. Crescimanno and F. D'Asaro, A drought analysis in South Western Sicily based on daily rainfall series., presented at *International Symposium and Workshop on Desertification in Developed Countries*, Tucson, October 1994.

C. Agnese and A. Criminisi, Multiscaling properties of topologically random channel networks (presented at *IV International Workshop on Scale problems in Hydrology*, June 96).

*GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE  
CATASTROFI IDROGEOLOGICHE*

**PIANI DI EMERGENZA PER  
L'APPROVVIGIONAMENTO  
IDROPOTABILE IN CONDIZIONE DI SICCAITA'**

**RAPPORTO TRENNALE  
1996-1998**

U.O. 1.12

Responsabile: Prof. Giuseppe Rossi

## **1. SOMMARIO**

L'U.O.1.12 ha svolto attività di ricerca su tre principali temi di ricerca:

- I. l'identificazione e caratterizzazione delle siccità e lo studio delle distribuzioni di probabilità delle caratteristiche di siccità (durata, deficit cumulato) identificate su serie idrologiche a diverse scale di aggregazione temporale;
- II. la messa a punto di una procedura per l'analisi del comportamento di sistemi idrici complessi in condizioni di deficit idrico dovuto a siccità;
- III. l'individuazione delle aree a rischio di crisi idrica.

## **2. SINTESI DELLE ATTIVITA'**

Il lavoro relativo al primo tema ha riguardato in primo luogo la definizione di una procedura per l'analisi della stazionarietà delle serie idrologiche degli afflussi e dei deflussi e per la verifica dell'esistenza di un trend. E' stata quindi derivata analiticamente la distribuzione di probabilità della durata di siccità, nel caso generale che la variabile di base segua un processo periodico markoviano (utilizzando la definizione di siccità basata sulla teoria dei run). Le distribuzioni relative ad un processo periodico-indipendente e stazionario (dipendente e indipendente) sono state ricavate come casi particolari. Per il caso stazionario-indipendente si è inoltre derivata la distribuzione bivariata del deficit cumulato e della durata, sotto l'ipotesi che i singoli deficit siano distribuiti esponenzialmente. A partire dalla distribuzione bivariata è stata ricavata in forma chiusa la distribuzione marginale del deficit cumulato, ritrovando una distribuzione esponenziale il cui parametro è funzione del deficit medio e della probabilità di troncamento adottata.

Sono state effettuate alcune indagini per verificare la capacità dell'indice di Palmer (PHDI) di ben descrivere le condizioni di siccità su serie idrologiche, accertando che, nonostante le numerose limitazioni, può essere considerato come un appropriato descrittore di siccità storiche. La possibilità di utilizzare tale indice come predittore di siccità in k mesi successivi non è stata chiarita a sufficienza e l'analisi necessita di ulteriori approfondimenti anche per definire l'effettiva capacità dell'indice di Palmer a fornire utili indicazioni per la gestione dei sistemi idrici

Con riferimento al secondo tema, la procedura proposta per la valutazione degli effetti delle misure di mitigazione delle siccità comprende la determinazione delle serie mensili delle disponibilità alle fonti di approvvigionamento del sistema idrico considerato, l'applicazione di un modello stocastico per la generazione di serie sintetiche delle disponibilità idriche, l'analisi del comportamento del sistema idrico mediante modelli di simulazione, ed infine il confronto delle alternative attraverso l'impiego di indici descrittivi dell'affidabilità e della resilienza del sistema idrico sul lungo periodo, e della vulnerabilità alle deficienze idriche durante i periodi di siccità più gravi.

Per verificare l'applicazione della metodologia è stato analizzato il caso studio del palermitano. Sono state svolte alcune indagini preliminari per la raccolta e la rappresentazione dei dati per la descrizione del sistema di approvvigionamento idrico che è stato quindi implementato su un modello matematico specificatamente costruito. Sono state quindi definite le regole di esercizio in condizioni normali e le alternative effettivamente disponibili in condizioni di ridotta disponibilità idrica.

Si è inoltre valutata la convenienza ed i limiti di applicazione dell'uso di modelli di simulazione di tipo generalizzato nei confronti dell'uso di un modello sviluppato specificatamente per lo studio delle alternative di mitigazione degli effetti delle siccità di un sistema idrico complesso. Il confronto effettuato sul sistema palermitano ha confermato che si hanno notevoli difficoltà per adattare i modelli generali al caso di studio, soprattutto per descrivere con sufficiente dettaglio le regole di esercizio.

Infine, per quanto riguarda il terzo tema, l'indagine svolta ha messo in evidenza la necessità di integrare le direttive di legge, in particolare per quanto riguarda i metodi di analisi delle disponibilità idriche, che devono essere opportunamente adattati alla tipologia delle fonti di approvvigionamento, e per quanto riguarda l'intervallo temporale, che dovrebbe essere mensile. E' anche sembrato opportuno effettuare il confronto della gravità della crisi idrica adottando come indice il rischio specifico dei deficit calcolato sia rispetto al fabbisogno totale sia rispetto ad un fabbisogno ridotto valutato assumendo una opportuna soglia di disagio.

### **3. RISULTATI CONSEGUITI**

Sui tre temi di ricerca sviluppati sono state presentate diverse memorie su congressi internazionali e nazionali e su rivista.

### **4. COLLABORATORI ALLA RICERCA**

Hanno collaborato alla ricerca nel periodo 1996-98:

- il prof. Bartolomeo Reitano, straordinario di Costruzioni Idrauliche;

- il dott. ing. Alessandro Ancarani, dottorando di ricerca di Ingegneria Economico-Gestionale e la dott. ing. Roberta Ragusa, dottoranda di ricerca di Ingegneria Idraulica;
- il dott. Giuseppe Munda, docente di Economia presso la Universitat Autònoma de Barcelona (Spagna);
- l'ing. Ferdinando Arcidiacono, l'ing. Santo Leotta e l'ing. Rosario Corvaia liberi professionisti;
- la sig.na Sandra Lazzarini.

## 5. PUBBLICAZIONI

- Cancelliere, A., Rossi, G., Ancarani, A., Use of Palmer index as a drought indicator in Mediterranean regions, *Proceedings of IAHR-African Division Biennial Congress From Flood to Drought*, Sun City (South Africa), 5-7 agosto 1996.
- Rossi, G., Role of Decision Support Systems for mitigation of drought impacts in the Mediterranean regions, 7<sup>th</sup> Regional Meeting of Arab IHP Committee, Rabat (Morocco), 8-12 settembre 1997.
- Rossi, G., Ancarani, A., Cancelliere, A., Regole di esercizio di sistemi idrici a scopi multipli con particolare riferimento all'approvvigionamento idropotabile, *Relazione finale Modulo A34, Progetto POP Sicilia 90-93*, Catania, 1997, 125 pp.
- Rossi, G., Reitano, B., Ragusa, R., "Criteri per la ricognizione delle opere di acquedotto, fognatura e depurazione", Editoriale BIOS, Cosenza, 1997, 135 pp.
- Cancelliere, A., Ancarani, A., Rossi, G., "Susceptibility of water supply reservoirs to drought conditions". *Journal of Hydrologic Engineering*, ASCE, vol.3, n°2, 1998, pp.140-148.
- Ancarani, A., Cancelliere, A., Rossi, G., Valutazione degli effetti delle misure di mitigazione delle siccità in un sistema idrico complesso, *Atti del XXVI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, "Ingegneria dell'acqua e sviluppo sostenibile"*, vol.IV, CUECM, Catania, 9-12 settembre 1998, pp.141-154.
- Cancelliere, A., Ancarani, A., Rossi, G., Distribuzioni di probabilità delle caratteristiche di siccità, *Atti del XXVI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, "Ingegneria dell'acqua e sviluppo sostenibile"*, vol.II, CUECM, Catania, 9-12 settembre 1998, pp.327-340.
- Munda, G., Parruccini, M., Rossi, G., "Multicriteria evaluation methods in renewable resource management: the case of integrated water management under drought conditions", in: *Multicriteria Analysis for Land-Use Management*, edited by E.Beinat and P.Nijkamp, Kluwer Acad. Publish., Dordrecht, 1998, pp.79-93.
- Rossi, G., Measures for mitigation of drought impacts: a multicriteria approach, European Commission Seminar on *An Integrated Approach for Water Management: Floods, Drought and Sustainability of Water Resources*, Thessaloniki (Greece), 2-3 luglio 1998.

*GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE  
CATASTROFI IDROGEOLOGICHE*

**DISTRIBUZIONE TEORICA DEI MASSIMI DI  
PRECIPITAZIONE  
DA 1 ORA A 24 ORA**

**RAPPORTO TRENNALE 1996**

(ha ottenuto il finanziamento solo per l'anno 1996)

U.O. 1.14

Responsabile: prof. Prof. E. Todini (\*)

**Progetto VAPI**

La presente ricerca si inquadra nell'ambito di uno studio più ampio sulla distribuzione di probabilità dei totali di pioggia per intervalli temporali di campionamento da un'ora a ventiquattro ore, ed ha come obiettivo principale quello di verificare la possibilità di derivare la distribuzione dei valori estremi di pioggia, per le stesse durate, partendo dalla conoscenza della forma delle distribuzioni dei dati originari, cioè partendo dalla conoscenza delle distribuzioni dei totali di pioggia da un'ora a ventiquattro ore.

In un precedente lavoro Artina e Todini (1983) hanno messo in evidenza come la distribuzione dei massimi, quando questi massimi siano estratti da campioni di numerosità finita (nel nostro caso  $n=8760$  per piogge campionate all'ora e  $n=365$  per piogge delle 24 ore), nella coda ovvero nella parte comprendente i quantili superiori di interesse, assomigli, e quindi dipenda, dalla coda della distribuzione originaria.

Seguendo poi lo sviluppo del modello Bayesiano presentato da Todini e Di Bacco (1996) si giunge ad una distribuzione delle piogge alle diverse scale, fornita dalla relazione:

$$\begin{cases} F(0|n) = \Pr\{0|n\} & x = 0 \\ F(x|n) = \Pr\{0|n\} + \sum_{d=1}^n F(x|d) \Pr\{d|n\} & x > 0 \end{cases} \quad (1)$$

dove  $F(0|n) = \Pr\{0|n\}$  è la probabilità di non pioggia in una finestra di  $n$  intervalli temporali (in questo caso  $n=1,2,3,\dots,24$ ), e dove  $F(x|n)$  è la probabilità di  $x$  mm di pioggia

---

(\*) Dip. Scienze della Terra e Geologico Ambientali, Univ. di Bologna, Via Zamboni, 67, BOLOGNA

di una finestra di lunghezza  $n$  che risultata dal valore della probabilità di avere  $x$  mm di pioggia quando in una finestra temporale di  $n$  intervalli abbia piovuto per  $d$  intervalli mediato sulla probabilità di avere  $d$  intervalli piovosi su  $n$ .

Dalla ricerca condotta da Todini e Di Bacco risulta con ottima approssimazione:

$$\left\{ \begin{array}{l} F(0|n) = \frac{\Gamma(r+s) \Gamma(n+r)}{\Gamma(r) \Gamma(n+r+s)} \\ F(x|n) = \frac{\Gamma(r+s) \Gamma(n+r)}{\Gamma(r) \Gamma(n+r+s)} + \sum_{d=1}^n \binom{n}{d} \frac{\Gamma(r+s)}{\Gamma(r) \Gamma(s)} \frac{\Gamma(n-d+r) \Gamma(d+s)}{\Gamma(n+r+s)} \\ \quad \times \left[ 1 - \frac{\Gamma(b+d)}{\Gamma(b)\Gamma(d)} \sum_{i=0}^{d-1} (-1)^i \binom{d-1}{i} \frac{1}{b+i} \left( \frac{d^g a}{d^g a + x} \right)^{b+i} \right] \end{array} \right. \quad (2)$$

dove  $r$ ,  $s$ ,  $a$ ,  $b$  e  $\gamma$  sono degli opportuni parametri che risultano fra loro legati per considerazioni di scala, per cui il modello alla fine richiede la stima di solo 6 parametri validi per tutte le scale.

Partendo da questo modello interpretativo dei totali di pioggia che si è rivelato estremamente attendibile, ed in particolare nella coda delle distribuzioni, si è pensato, nell'ambito di questa ricerca, di verificare l'attendibilità del modello dei valori estremi da esso derivato direttamente.

Nell'ambito della presente ricerca, tale modello è stato formulato come modello multinomiale per esprimere la probabilità che si abbiano, nel rispetto delle probabilità osservate, finestre con 1 ora di pioggia, 2 ore, fino a 24 ore. Nel caso, per l'appunto di finestre di 24 ore, la distribuzione dei massimi annuali risulta pertanto:

$$\begin{aligned} F(X_{\max} | n = 24) &= \frac{365!}{i_0! i_2! i_3! \dots i_{24}!} P_{0|24}^{i_0} \prod_{d=1}^{24} P_{d|24}^{i_d} F_{x|d}^{i_d} \\ &= \left( P_{0|24} + \sum_{d=1}^{24} P_{d|24} F_{x|d} \right)^{365} = (F_{x|n=24})^{365} \end{aligned} \quad (3)$$

e come si vede il modello coincide con quello relativo alla distribuzione del massimo totale di pioggia, su 365 giorni, nell'ipotesi di massimi giornalieri indipendenti fra loro.

E' interessante contare come da tale coincidenza, l'ipotesi di indipendenza possa essere rilassata in quanto sono sicuramente indipendenti i valori di pioggia dei giorni in cui piove un'ora, due ore, tre ore, ecc..

Durante il presente anno sono stati raccolti dati orari per tre anni sul bacino del Reno ed in particolare per le stazioni di Porretta ed i Pracchia.

Come si può notare dalla Figura 1, dove sono riportati i valori dei massimi annuali di pioggia delle 24 ore registrati al pluviometro di Porretta, i dati seguono da vicino una distribuzione di tipo GEV, il cui adattamento, effettuato mediante il metodo dei Probability Weighted Moments, risulta buono restando tutti i valori osservati all'interno di una fascia di confidenza al 95%. Estrapolando a valori elevati di tempo di ritorno si hanno dei valori massimi di pioggia delle 24 ore di circa 230 mm per  $T=1000$  anni e di circa 300 mm per  $T=10.000$  anni.

La Figura 2 mostra invece gli stessi massimi annuali di pioggia delle 24 ore registrati al pluviometro di Porretta assieme alla distribuzione di probabilità dei massimi calcolata mediante l'espressione di cui all'equazione (3), dopo aver calibrato il modello della pioggia descritto dalle equazioni (2) sulla base dei sei anni di dati orari digitalizzati. Si nota immediatamente come anche in questo caso (e senza una calibrazione diretta della distribuzione dei massimi ai 50 anni di dati osservati, vi sia tuttavia un notevole adattamento della curva ai valori registrati; si nota inoltre come al di fuori del campo delle osservazioni l'andamento della distribuzione dei massimi annuali sia ben diverso da quello derivabile da una distribuzione anche molto flessibile quale la GEV. Si osservi infine come il valore della pioggia corrispondente a  $T=1000$  risulti ora di circa 370 mm e come per  $T=10.000$  si abbiano circa 635 mm, valori forse più ragionevoli dei precedenti vista la localizzazione del pluviometro in questione.

I risultati ottenuti consentono quindi, anche se limitatamente ai pochi casi sperimentati, di mettere, se non altro, in dubbio la validità dei procedimenti classici di stima basati sull'adattamento di distribuzioni generiche ai massimi annuali, senza una conoscenza a priori della distribuzione originaria dei dati, nell'ipotesi che i massimi annui siano delle statistiche sufficienti per la determinazione della distribuzione dei massimi. In realtà, dai risultati ottenuti, tale sufficienza parrebbe essere condizionata ad una conoscenza a priori della forma della distribuzione da adattare, forma che può essere derivata esclusivamente partendo dai dati di base orari e/o giornalieri.

## **CONCLUSIONI E PROGRAMMA DI LAVORO FUTURO**

E' ancora troppo presto per trarre delle conclusioni definitive. E' in atto il completamento della raccolta e digitalizzazione dei dati della stazione di Pracchia per cui sono disponibili oltre 70 anni di osservazioni. Sulla base dei risultati ottenuti verranno quindi formulate le considerazioni conclusive sulla metodologia adottata.

## **RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI**

Artina S., Todini E., 1983. Alternative approaches to risk assessment in hydrological processes. IAHS Publ. n. 147.

Todini E., Di Bacco M., 1996. A Bayesian Approach to Rainfall Modelling. UNESCO (in press).

*GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE  
CATASTROFI IDROGEOLOGICHE*

**MODELLI IDROLOGICI NELLA DIFESA DALLE  
CATASTROFI  
IDRAULICHE E GEOLOGICHE**

**RAPPORTO TRENNALE  
1996-1998**

U.O. 1.15

Responsabile: prof. Pasquale Versace

**1. Sommario dell'attività svolta nel triennio 1996-98**

L'attività della U.O. 1.15 si è sviluppata nei progetti di ricerca:

- ARA-PIN
- VAPI
- MIEP
- LIT

e viene nel seguito specificata per ciascuno di essi.

Inoltre grande attenzione è stata dedicata alle attività di protezione civile, in particolare per la difesa dalle inondazioni del bacino dell'Esaro di Crotona.

**ARA-PIN**

L'attività svolta ha riguardato:

- il coordinamento del progetto, in collaborazione con il prof. Luigi Natale;
- la definizione delle procedure per la gestione dell'emergenza nel rischio idrogeologico. In particolare si sono approfonditi alcuni aspetti riguardanti la valutazione del rischio incombente, il modello di intervento e le strutture operative. Sono stati inoltre analizzati i benefici economici ottenibili attraverso interventi di tipo strutturale e non strutturale per la mitigazione del rischio, e le procedure attraverso le quali attivare le diverse fasi dell'emergenza (vigilanza, allerta, allarme) sulla base della informazione pluviometrica ottenuta in tempo reale dalle stazioni di telemisura;

- la realizzazione del programma di previsione e prevenzione del rischio idrogeologico nella Provincia di Cosenza. Tale attività ha complessivamente comportato la creazione di mappe di base digitalizzate in scala 1:50000 della provincia di Cosenza, la raccolta dati e la successiva individuazione di punti di possibile crisi anche mediante informazioni reperite presso archivi storico-amministrativi e un apposito censimento condotto presso Enti territoriali. Parallelamente sono state identificate a livello cartografico come punti di possibile crisi le aste terminali delle fiumare, i tratti di attraversamento dei centri abitati, gli attraversamenti stradali e ferroviari, le confluenze, le aree di deposito fluviale. Dopo il preliminare lavoro di individuazione degli elementi a rischio basato su cartografia, segnalazioni comunali e anche dati idrologiche relative ad eventi alluvionali disastrosi, è stata valutata l'effettiva vulnerabilità degli oltre 200 siti a rischio di inondazione così individuati, per ciascuno dei quali con apposito sopralluogo si è predisposta una scheda di dettaglio con riferimenti fotografici e dettagliato resoconto dello stato dei luoghi e dello scenario prevedibile in caso di accadimento dell'evento disastroso.

Nel contempo si è proceduto alla schematizzazione tematica del territorio in funzione delle presenze abitative, delle infrastrutture, dei vincoli idrogeologici e culturali, dell'uso del suolo. Il danno atteso è stato così suddiviso in classi omogenee che identificano i diversi livelli di danno in base agli effetti causati dall'evento temuto sulle infrastrutture e la comunità (danno basso o nullo, danno moderato, danno alto, danno molto alto).

Per gli altri rischi previsti dal programma di previsione e prevenzione sono state effettuate analisi sulle modificazioni di costa e sulle frequenze di mareggiata, indagini sulla frequenza dei terremoti storici della provincia con particolare riferimento ai danni prodotti nei centri abitati, recupero di sintesi delle cartografie relative ai movimenti franosi e statistiche degli incendi della provincia di Cosenza a partire da un dettagliato censimento delle schede predisposte dal Corpo Forestale dello Stato.

Come prodotti tecnici del programma di previsione e prevenzione, sono state preparate le relazioni sull'analisi dei diversi rischi esistenti nella provincia di Cosenza, a cui sono stati associati livelli di indagine differenziati a seconda delle informazioni che è stato possibile ottenere per le singole tipologie di rischio. Per la parte cartografica sono state realizzate invece le carte tematiche previste per il rischio di inondazione (Punti di possibile crisi e Aree inondabili), il rischio di frana (Aree interessate da indagini a scala areale o da cartografia dettagliata del dissesto, Centri abitati interessati da studi o da segnalazioni relative al dissesto, Dissesti censiti in indagini di tipo aeree e Dissesti oggetto di studi particolareggiati), il rischio di mareggiata (Mareggiate documentate ed erosione costiera, Opere di difesa esistenti), il rischio sismico (Involuppo delle isosisme degli eventi storici ed Epicentri degli eventi sismici), il rischio di incendio (Aree percorse dal fuoco nel periodo 1988 – 1997).

- la raccolta di dati storici relativi alle inondazioni precedenti il 1918 verificatesi in Calabria e non censite dal progetto AVI per la costituzione della banca dati informatizzata (supporto magnetico: CD) sulle aree storicamente inondate in Calabria (ASICAL); l'aggiornamento della stessa banca dati in collaborazione con il SIMN (Ufficio di Catanzaro) e il CNR-IRPI, relativa al periodo successivo al 1918;

- l'identificazione di soglie di innesco pluviale delle frane nel caso di informazione storica molto limitata, per il quale tema di ricerca sono stati effettuati studi di approfondimento sul modello idrologico FlAIR. In particolare è stato messo a punto un metodo di identificazione parametrica che conduce alla identificazione di regioni di ammissibilità dei parametri. I risultati ottenuti dal metodo di stima applicato a 12 frane calabresi hanno mostrato un netto miglioramento delle capacità previsionali del modello anche in presenza di indeterminatezza nei parametri del modello per la limitata informazione

storica.

- la sicurezza idrologica delle dighe in Calabria, in cui si è affrontato il problema attraverso: un censimento delle dighe esistenti ed in corso di realizzazione, con la compilazione di schede dettagliate che contengono informazioni di carattere generale, nonché le caratteristiche dello sbarramento, dell'invaso, del bacino; uno studio dei metodi di stima della piena di progetto per le dighe di sbarramento che consente di valutare il valore della massima portata uscente dal serbatoio, considerando in ingresso idrogrammi rettangolari in accordo con la curva di riduzione dei volumi di piena. L'applicazione di tali metodologie è stata effettuata al caso particolare della diga di Poverella, sul fiume Savuto, allo scopo di verificarne la sicurezza idrologica.

## VAPI

L'attività svolta ha riguardato:

- il coordinamento del progetto, in collaborazione con l'ing. Gabriele del CNR-IRPI di Cosenza;
- l'indagine sulla validità del metodo dei rettangoli di pioggia equivalenti nella stima della portata indice;
- la collaborazione al progetto FRIEND promosso dall'UNESCO (gruppo AMHY), nell'ambito della quale è da qualche tempo in corso di svolgimento una indagine finalizzata al confronto tra le procedure di valutazione delle piene impiegate nei vari paesi europei. In particolare in una prima fase della ricerca si è sviluppata una valutazione comparata dei modelli VAPI e AGREGEE con applicazione ad alcune banche dati italiane e francesi. L'analisi finora svolta ha esaminato i problemi legati alla scelta della stazione pluviometrica rappresentativa del bacino, della variabilità indotta dalla scelta della soglia per l'estrazione di serie POT dai dati idrologici e della possibilità di utilizzo delle piogge areali nella procedura AGREGEE.

Per il coordinamento internazionale del tema "Rare floods", si è inoltre organizzata una giornata di studi su "Heavy rains and flash floods", nel corso del meeting annuale svolto nell'ottobre 1998 ad Istanbul (Turchia). Il convegno, di cui sono stati stampati gli atti, è stato dedicato in modo particolare all'analisi di alcuni casi di studio (Spagna, Italia, Francia, Turchia) relativi ad eventi meteorologici di eccezionale intensità ed alle piene disastrose da essi causati.

## MIEP

L'attività svolta è stata complementare a quella effettuata per il progetto ARA -PIN, ed è stata svolta in collaborazione con il prof. Sirangelo dell'Università di Salerno. In particolare essa è consistita in:

- approfondimenti dei modelli puntuali di precipitazione, concernenti le tecniche di stima dei parametri e l'analisi delle proprietà statistiche dei processi stocastici di precipitazione sulla base di dati registrati a passo di tempo inferiore all'ora. In particolare: si sono

ricavate le espressioni teoriche della scala di fluttuazione e dello spettro di varianza campionari per alcuni modelli ad impulso rettangolare; è stato effettuato uno studio delle proprietà del secondo ordine dei modelli di tipo Neyman-Scott, Bartlett-Lewis e Renewal Cox; sono state proposte alcune tecniche empiriche per l'identificazione dell'inizio, della durata e dell'intensità media dei singoli scrosci. Inoltre è in corso di sviluppo la realizzazione di un modulo di disaggregazione delle informazioni pluviometriche a partire da dati provenienti da modelli LAM, allo scopo di verificare i livelli di significatività associati a differenti intervalli di preannuncio di piena, per stabilire la massima estensione dell'anticipo temporale da utilizzare per la gestione delle attività di protezione civile. All'interno del sistema è presente anche un modulo per la previsione futura delle piogge, basato su un modello stocastico puntuale di precipitazione a base fisica.

- studio delle caratteristiche autocorrelative e dei processi di level-crossing di serie sintetiche generate attraverso modelli stocastici di precipitazione puntuale;
- verifica dell'influenza delle componenti deterministica e stocastica del modello FlaIR, sviluppato per la previsione delle frane ad innesco pluviale;
- analisi dell'applicabilità dei modelli geomorfologici allo studio delle piene, con riferimento ad un bacino sperimentale dell'Italia Meridionale (T. Turbolo) in cui un considerevole numero di eventi piogge-portate sono stati utilizzati con buoni risultati per verificare le prestazioni del GIUH secondo la struttura geomorfologica, attraverso il modello originale di Rodriguez-Iturbe e Valdes, e quella topologica, secondo il modello asintotico di Troutman e Karlinger.

## LIT

Nel corso dell'attività finora svolta per l'analisi dell'erosione dei litorali calabresi, è stata effettuata una prima valutazione dell'apporto solido medio annuo proveniente dalle fiumare calabre con le più note formule del trasporto solido di fondo. Inoltre i vari paraggi costieri sui litorali tirrenico e ionico della provincia di Cosenza sono stati classificati in base a diversi livelli di rischio.

## ULTERIORE ATTIVITA' DI PROTEZIONE CIVILE

Nell'ambito delle attività svolte per il Dipartimento di Protezione Civile, devono inoltre essere segnalate:

- i sopralluoghi di Protezione Civile e il perfezionamento delle linee guida dei programmi regionali di previsione e prevenzione, effettuati come supporto tecnico consistente nella consulenza tecnico scientifica alla Regione Calabria per i problemi del rischio idrogeologico, fornito dalla U.O. alla Commissione mista Dipartimento Protezione Civile - Regione Calabria (costituita con Decreto del Sottosegretario alla Protezione Civile del 21.5.96).
- la predisposizione di un sistema di preannuncio in tempo reale nel bacino dell'Esaro di Crotona, basato sulla gestione dei dati registrati dalla rete di monitoraggio appositamente implementata a seguito dell'inondazione del 14 ottobre 1996, costituita

da 5 stazioni pluviometriche e 2 idrometriche. Il sistema è in grado di valutare immediatamente il superamento di alcune soglie sia pluviometriche, corrispondenti a prefissati periodo di ritorno, sia idrometriche, in funzione delle caratteristiche morfologiche delle sezioni di misura. Il sistema di preannuncio, che effettua una calibrazione on-line dei parametri della trasformazione afflussi-deflussi, utilizza un modulo di previsione stocastica delle precipitazioni che permette di aumentare l'orizzonte temporale di preannuncio del possibile raggiungimento di livelli idrici di allerta. Tale particolarità risulta di decisiva importanza per il bacino dell'Esaro di Crotona, al pari di tutti i piccoli bacini in cui i tempi naturali di formazione della piena a partire dall'evento pluviometrico sono dell'ordine di una o due ore.

- la predisposizione del piano di emergenza per il bacino dell'Esaro di Crotona ed in particolare per il rischio di inondazione nella città di Crotona, strettamente collegato al sistema di monitoraggio, in collaborazione con la Prefettura di Crotona, la Regione Calabria, il SIMN, il Dipartimento di Protezione Civile. Il piano è in fase di costante revisione ed è già stato nei fatti applicato nel corso degli ultimi eventi. Esso prevede l'attivazione di tre fasi consecutive: preallerta, nella quale si procede alla sola osservazione strumentale utilizzando la rete di monitoraggio e i modelli matematici più avanti descritti; allerta nella quale si procede anche alla effettuazione di sopralluoghi nei punti di possibile crisi identificati sulla base di una puntuale analisi dell'evento del 14 ottobre 1996; allarme nella quale si coinvolge la popolazione allontanandola dalle aree inondabili.
- l'intervento di protezione civile in località Mongrassano per fronteggiare l'emergenza determinatasi in data 9.5.96 per la fuoriuscita incontrollata di acqua e sabbia durante lo scavo di un pozzo di elevata profondità. Una commissione tecnico-scientifica, nominata con ordinanza del Ministro degli Interni con il compito di seguire l'intervento di spegnimento del pozzo, ha effettuato numerosi sopralluoghi e misure geotecniche ed idrauliche in sito. L'intervento si è concluso positivamente nel mese di luglio 1996.

## 2. Elenco dei prodotti e delle pubblicazioni

- Programma nazionale di previsione e prevenzione del rischio idrogeologico per la provincia di Cosenza;
- Rapporto "Valutazione dell'idrogramma di progetto e dell'effetto della laminazione per le dighe in Calabria"
- piano di emergenza per il bacino dell'Esaro di Crotona;
- sistema di preannuncio in tempo reale nel bacino dell'Esaro di Crotona.

## 3. Pubblicazioni

Becchi I., Siccardi F. e Versace P., *Specificazione della direttiva sperimentale per il rischio di inondazione*. Protezione Civile, settembre 1996, Roma.

Iiritano G., Versace P. e Sirangelo B., *Real-time estimation of the hazard of landslides triggered by rainfall*. Abstract inviato alla XXI Assemblea Generale EGS, 6-10 maggio 1996, The Hague, Olanda.

- Iiritano G. e Versace P., *Informazione pluviometrica in tempo reale e gestione dell'emergenza*. Convegno "La difesa dalle alluvioni", 4-5 novembre 1996, Firenze.
- Sirangelo B., Iiritano G., Versace P., *Il preannuncio dei movimenti franosi innescati dalle piogge. Valutazione della probabilità di mobilitazione in presenza di indeterminatezza nell'identificazione dei parametri nel modello FLAIR*. XXV Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Vol. 3, Torino 16-18 Settembre 1996.
- Sirangelo B. e Versace P., *A real time forecasting model for landslides triggered by rainfall*. Meccanica, Vol.31, pp.1-13, Kluwer Academic Press, 1996.
- Versace P., *Piccoli e medi bacini idrografici soggetti a rapida erosione*. L'Acqua, 6/1996 Novembre-Dicembre, 1996.
- Versace P., *Aspetti metodologici nella redazione dei piani di bacino in Calabria*. Quaderni di Idrotecnica. Estratto da: Linee di intervento ed aspetti scientifici nella pianificazione di bacino in Calabria. Ed. BIOS, 1996.
- Ferrari E. and Iiritano G., *"Stochastic point models of rainfalls and their extremes"*, in: Heavy rainfalls, FRIEND, Project H-5-5 and 1.1, Third Report 1994-1997, Chapter 5, pp. 291-297, UNESCO, Lyon, 1997.
- P. Versace e E. Ferrari, *"Regional hierarchical approach to flood frequency analysis"*, FRIEND, Project H-5-5 and 1.1, Third Report 1994-1997, Chapter 4, pp. 202-209, UNESCO, Lyon, 1997.
- Ferrari E., *"Comparison of flood frequency models based on extreme rainfall analysis"*(abstract), European Geophysical Society, XXIII General Assembly, Aprile 1998, Nizza, Francia.
- Mendicino G. e P. Versace, *"An integrated system for monitoring and emergency management of floods"* (abstract), European Geophysical Society, XXIII General Assembly, Aprile 1998, Nizza, Francia.
- Versace P., Iiritano G. e B. Sirangelo, *"Return period associated to rainfall threshold for landslide triggering"* (abstract), European Geophysical Society, XXIII General Assembly, Aprile 1998, Nizza, Francia.
- Ferrari E., Iovine G. and Petrucci O., *"Geomorphic impact of prolonged rainfall in a Calabrian stream basin"*, 8<sup>th</sup> Congress of the International Association of Engineering Geology, pp. 945-952, settembre 1998, Vancouver, Canada.
- Ferrari E., Iovine G. and Petrucci O., *"Geomorphology, hydrology and historic records in the hazard evaluation process: a Calabrian example"*(abstract), European Geophysical Society, XXIII General Assembly, Aprile 1999, The Hague, The Netherlands.
- Sirangelo B. e Iiritano G., *"Un modello probabilistico per gli scrosci di pioggia basato su osservazioni a scala sub-oraria"*, Atti del XXVI Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Vol. II, pp. 301-312, Catania, 1998.
- Mendicino G., Iiritano G. e P. Versace, *"Il preannuncio delle piene nei piccoli bacini. Il caso dell'Esaro di Crotona"*, Atti del XXVI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Vol. II, pp.273-285, Catania, 1998.
- Iiritano G., Versace P. e Sirangelo B., *"Real-time estimation of hazard for landslides triggered by rainfall"*. Environmental Geology, 35 (2-3) pp.175-183, 1998.

## Tesi

- Mancuso R., *Il rischio di inondazione nei centri abitati. Il caso della città di Cosenza*. Tesi di laurea non pubblicata, Università della Calabria, Dipartimento di Difesa del Suolo, Cosenza, 1994-95.
- Raddi C., *La piena di progetto per le dighe di sbarramento*. Tesi di laurea non pubblicata, Università della Calabria, Dipartimento di Difesa del Suolo, Cosenza, 1994-95.
- Guerriero A., *Aspetti idraulici ed idrologici nella sistemazione fluviale dei bacini ionici a sud del fiume Crati*. Tesi di laurea non pubblicata, Università della Calabria, Dipartimento di Difesa del Suolo, Cosenza, 1994-95.
- Morello D., *Aspetti idrologici nella pianificazione del bacino del Fiume Lao*. Tesi di laurea non pubblicata, Università della Calabria, Dipartimento di Difesa del Suolo, Cosenza, 1994-95.
- Di Lazzaro S., *Indagini idrologiche e morfologiche alla scala di bacino. Il caso del Fiume Lao*. Tesi di laurea non pubblicata, Università della Calabria, Dipartimento di Difesa del Suolo, Cosenza, 1994-95.
- Ruffolo L.R., I massimi delle piogge puntuali ed areali di diversa durata in una zona della Calabria Centrale. Tesi di laurea non pubblicata, Università della Calabria, Dipartimento di Difesa del Suolo, Cosenza, 1994-95.
- Raffele G., *Sicurezza idrologica ed idraulica del bacino del Fiume Ancinale*. Tesi di laurea non pubblicata, Università della Calabria, Dipartimento di Difesa del Suolo, Cosenza, 1995-96.
- Vitale L., *Aspetti idrologici ed idraulici nella pianificazione a scala di bacino del Fiume Metramo*. Tesi di laurea non pubblicata, Università della Calabria, Dipartimento di Difesa del Suolo, Cosenza, 1995-96.
- Altomare P., *Analisi del rischio di inondazione e sistemazione idraulica nel tratto vallivo del fiume Amato*. Tesi di laurea non pubblicata, Università della Calabria, Dipartimento di Difesa del Suolo, Cosenza, 1995-96.
- Rotundo F., *Il trasporto solido nelle fiumare calabre. Valutazione del contributo al ripascimento dei litorali*. Tesi di laurea non pubblicata, Università della Calabria, Dipartimento di Difesa del Suolo, Cosenza, 1996-97.
- Cogliandro G., *Fenomeni di erosione nella fiumara Amendolea*. Tesi di laurea non pubblicata, Università della Calabria, Dipartimento di Difesa del Suolo, Cosenza, 1996-97.
- Spadafora F., *Analisi probabilistica delle massime piogge areali nella provincia di Crotona*. Tesi di laurea non pubblicata, Università della Calabria, Dipartimento di Difesa del Suolo, Cosenza, 1996-97.
- Bonanno F., *Interventi per la riduzione del rischio di inondazione nell'Esaro di Crotona*. Tesi di laurea non pubblicata, Università della Calabria, Dipartimento di Difesa del Suolo, Cosenza, 1996-97.

## 4. Attività prevista per il 1999

L'attività prevista per il 1999 riguarderà i progetti:

### ARA-PIN:

- Revisione ed aggiornamento degli elaborati prodotti nella prima fase del programma di previsione e prevenzione del rischio idrogeologico nella Provincia di Cosenza con il cofinanziamento della Provincia. Inoltre verranno ulteriormente approfondite le indagini sul:
  - rischio di inondazione (Estensione a tutti i punti di possibile crisi della valutazione diretta dell'effettivo livello di rischio attraverso sopralluoghi; Valutazione numerica con modelli idrologici e idraulici dell'effettivo rischio di inondazione)
  - rischio di frana (Cartografazione dei movimenti franosi lungo le principali strade provinciali, con particolare riferimento a quelle di testata);
  - rischio di mareggiata e di erosione costiera (Censimento delle opere di sistemazione; Valutazione di probabilità delle onde estreme).
  - altre indagini (Valutazione della sicurezza per i principali ponti; Valutazione della vulnerabilità degli acquiferi sotterranei all'inquinamento in siti di particolare interesse della regione).
- Uso dei modelli di trasferimento afflussi-deflussi ai fini del preannuncio, in particolare per quanto riguarda il sistema di preannuncio predisposto per il bacino dell'Esaro di Crotona, utilizzato per ricostruire la disastrosa inondazione dell'ottobre 1996 ed è in esercizio dall'estate 1997. Inoltre si prevede inoltre di predisporre un sistema di preannuncio anche per altri bacini calabresi soggetti ad elevato rischio di inondazione (per esempio il bacino del fiume Ancinale).
- aggiornamento della banca dati ASICAL con gli eventi di inondazione precedenti il 1918;
- definizione delle procedure per la gestione dell'emergenza nel rischio idrogeologico;
- identificazione di soglie di innesco pluviale nel caso di informazione storica molto limitata;

### VAPI:

- Aggiornamento del Rapporto Nazionale.
- Completamento del Rapporto Calabria.
- Terzo livello di analisi regionale delle piene in Calabria e in Italia Meridionale, con cui ci si prefigge di indagare sulla variabilità della portata indice in funzione dei complessi idrogeomorfologici, dell'uso del suolo, della vegetazione, del grado di alterazione dei bacini stessi.
- Conclusione dell'indagine sul confronto tra i modelli VAPI ed AGREGEE con applicazione ai bacini calabresi; Confronto con altri modelli di valutazione delle piene con applicazione ad alcuni bacini europei.

## MIEP:

- Analisi dei processi stocastici di precipitazione sulla base di dati registrati a passo di tempo inferiore all'ora;
- Studio delle caratteristiche autocorrelative e dei processi di level-crossing di serie sintetiche generate attraverso modelli stocastici di precipitazione puntuale.

## METEO:

- Modelli di previsione delle piogge di tipo stocastico;
- Modelli di previsione di tipo meteorologico. In particolare per sviluppare questo punto ci si avvarrà della collaborazione del Dr Pirrone dell'Air Quality Laboratory dell'Università del Michigan, attualmente trasferito presso l'Università della Calabria. In questa prima fase si prevede di analizzare la applicabilità dei modelli RAMS e MMS, sviluppati dall'University of Colorado e dalla Pennsylvania State University, alla previsione delle precipitazioni in Italia Meridionale.

### Prodotti previsti

- Procedura standardizzata per la stima della piena indice
- Messa a punto e aggiornamento del modello di preannuncio delle piene del fiume Esaro di Crotona
- Messa a punto del modello di preannuncio delle piene del fiume Ancinale
- Rapporto VAPI Calabria

GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE  
CATASTROFI IDROGEOLOGICHE

AREE A RISCHIO DI ALLUVIONE: COLATE DI  
DETRITI

**RAPPORTO TRENNALE**  
**1996-1998**

U.O. 1.20

Responsabile: prof. Aronne Armanini

L'attività di ricerca sviluppata relativa alle colate di detriti nel triennio 1996/98 dall'unità operativa di Trento può essere raggruppata nelle seguenti tre linee:

1. Indagini sperimentali di laboratorio
2. Modellistica matematica
3. Applicazioni a casi reali

### **Indagini sperimentali di laboratorio**

La ricerca ha riguardato lo studio del moto a superficie libera di misture di acqua e materiale solido artificiale ad alte concentrazioni. Si sono indagate le condizioni di deflusso al variare della pendenza e delle portate solida e liquida. Misure di distribuzioni di velocità e concentrazione relative alle particelle visibili dall'esterno, ovvero sulle pareti verticali in vetro e sulla superficie libera.

Il sistema di ricircolo della mistura ha consentito l'instaurarsi di condizioni di moto uniforme in equilibrio con il fondo, ossia a dire in condizioni concentrazione pari alla capacità di trasporto.

In questa situazione il flusso di materiali tra fondo e corrente è mediamente nullo.

Si sono analizzate in dettaglio due condizioni: nella prima la superficie libera dell'acqua coincide con la superficie libera (caso di correnti sature); nella seconda la linea freatica si colloca al di sotto della superficie libera della mistura (caso di correnti non sature). Il caso di correnti con uno strato superiore di acqua quasi pulita che scorre al di sopra di uno strato di mistura in movimento (*immature debris flow*) non è stato preso in considerazione.

Lo studio aveva come obiettivo la analisi delle caratteristiche generali del moto in modo da fornire la distribuzione delle proprietà reologiche sulla sezione trasversale.

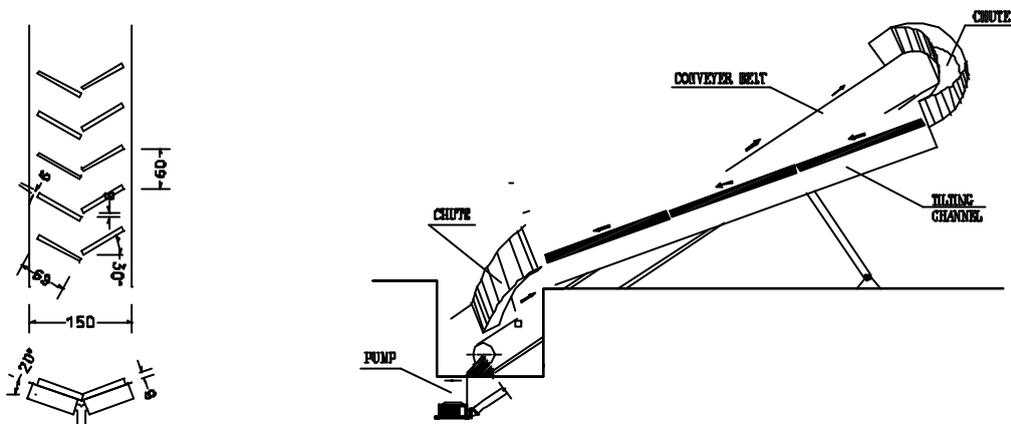


Fig. 1 Schema della canaletta sperimentale per le colate di detriti dell'Università di Trento

Al fine di instaurare condizioni di moto uniforme per alti valori della concentrazione solida nel flusso si è utilizzata una apposita canaletta sperimentale dotata di un sistema di ricircolo costituito da un nastro trasportatore appositamente progettato (fig.1).

La canaletta è dotata di pareti laterali di perspex e vetro completamente trasparenti. La lunghezza del canale è di 6m e la larghezza interna originale era stata ridotta a 20 cm. La canaletta inclinabile attraverso un pistone telescopico oleodinamico consente inclinazioni fino a 22°

Si è potuto verificare, nel corso delle prove sperimentali, il corretto instaurarsi di condizioni di moto uniforme. I parametri di alimentazione, in ogni singola prova, sono rappresentati dal volume di materiale solido e liquido in gioco nel sistema a circuito chiuso e dalla pendenza originale della canaletta. Un ulteriore strumento di controllo delle condizioni di deflusso consiste nel porre, all'estremità di valle, un restringimento di grado variabile della sezione. Le condizioni di moto uniforme sono raggiunte lentamente e gradualmente. Le misure di velocità e concentrazione sono condotte tramite analisi di immagini digitalizzate. Livelli e quota del piano di falda sono ricavati mediante idrometri e celle di pressione.

Gli esperimenti sono stati condotti utilizzando come materiale solido sia particelle regolari di PVC di forma cilindrica con diametro medio della sezione pari a 3.2 mm ed altezza di 2.8 mm, sia materiale ghiaioso e ciottoli di densità pari a quella delle colate naturali.

Il sistema di ricircolo è formato da una cinghia di ricircolo in gomma con una sezione a V, secondo lo schema pure riportato nella figura 1.

Particolare cura è stata messa nella costruzione dei raccordi tra la fine della canaletta e l'immissione sulla cinghia e tra la fine della cinghia e l'ingresso della canaletta al fine di evitare perdite di materiale durante la fase di ricircolo. La velocità della cinghia può essere variata con continuità in modo da ottenere la portata desiderata. Il sistema consente di ricircolare portate totale fino al 20 l/s, senza limitazioni sulla concentrazione della mistura.

Per la misura della concentrazione e delle componenti delle velocità alla parete è stata utilizzata una particolare tecnica ottica completamente automatizzata (PIV). Le misure sono tuttavia relative a particelle collocate nelle immediate vicinanze della parete laterale.

L'indagine sperimentale ha consentito una serie di formulazioni integrate sulla verticale ed una serie di osservazioni puntuali relative alla reologia locale della colata.

Durante le prove del primo tipo sono state calibrate alcune formule di moto uniforme delle colate e alcune formule di capacità di trasporto. Nel primo caso di sono validate formule del tipo:

$$t_o = \text{funct}(U, d, h, C, r_s, r, \dots, u, \sin q)$$

simili alla formula di Takahashi per il regime granulo-inerziale.

Nel secondo caso si sono utilizzate formule del tipo:

$$C = \frac{1}{\Delta} \frac{\tan J}{(\tan f - \tan J)}$$

proposta sempre da Takahashi sulla base del bilancio delle forze in direzione normale.

$J$  e  $f$  sono rispettivamente l'angolo di inclinazione della superficie libera e l'angolo di attrito mentre  $\Delta = (\rho_s - \rho) / \rho$  rappresenta la densità immersa relativa.

Le risultanze dell'indagine sono contenute in un lavoro che verrà presentato al II International Conference on Debris-Flow Hazard Mitigation che si terrà a Taipei nell'Agosto del 2000 organizzato dall'ASCE.

Utilizzando lo stesso apparato sperimentale si sono compiute anche delle indagini sulle caratteristiche reologiche puntuali.

I dati relativi possono essere divisi in due gruppi, corrispondenti a due diverse condizioni generali.

Il primo gruppo è relativo a flussi parzialmente saturi, caratterizzati da uno strato superiore di particelle non riempito d'acqua, cui corrisponde una distribuzione di velocità a forma di  $\underline{S}$ , con la presenza quindi di un punto di flesso.

In questo caso i profili di concentrazione presentano un minimo in corrispondenza circa al flesso della distribuzione di velocità.

Il secondo gruppo di prove è quello relativo al caso di flusso completamente saturo.

I profili di velocità presentano un andamento monotonicamente crescente verso l'alto, tendente rapidamente ad una distribuzione asintoticamente lineare. Il corrispondente profilo delle concentrazioni viceversa decresce monotonicamente verso il basso tendenti sul fondo ad una concentrazione costante pari a quella di massimo impaccamento statico.

La differenza tra i dati sperimentali e la teoria relativa alle correnti sature è notevole quando la concentrazione raggiunge i valori del massimo impaccamento. A questo valori non è più possibile ottenere correnti completamente sature.

Si è cercato inoltre di verificare l'esistenza del regime granulo inerziale di Bagnold (1954). L'analisi dei dati sperimentali mostra che questo regime riesce ad instaurarsi solo nel caso di correnti sature ed è confinato nella parte superiore della corrente. Nella parte inferiore a questo strato si è invece osservato un regime frizionale quasi-statico. Lo stesso regime reologico si instaura in tutta la profondità della corrente nel caso di correnti non sature.

## Modellistica matematica

L'obiettivo della ricerca era rivolto alla messa a punto di modelli matematici in grado di simulare il passaggio e soprattutto l'arresto di una colata di detriti. L'impiego di tali modelli risulta particolarmente utile nella definizione delle aree a rischio idrogeologico da inondazione di colate di detriti nei conoidi e nella relativa individuazione di rimedi strutturali e di vincoli. Sono stati predisposte due tipologie di modelli, basati entrambi sulla integrazione numerica delle equazioni che governano il moto delle colate. Si sono considerati inizialmente modelli di tipo unidimensionale, poiché tuttavia per la simulazione dei fenomeni alluvionali nelle conoidi è spesso necessario fare ricorso a schemi bidimensionali, si è considerata la possibilità di una estensione dei modelli alla seconda dimensione nel piano di propagazione. Da punto di vista espositivo, conviene tuttavia fare riferimento a modelli unidimensionali, integrati lungo la normale al moto. Nello schema più semplice la colata viene tratta come un fluido omogeneo, del quale viene prescritta una particolare legge reologica; in uno schema più elaborato si cerca di trattare separatamente le fasi solida e liquida che compongono la colata.

### Modelli di fluido omogeneo:

In questo caso la colata viene trattata come un fluido omogeneo, la cui densità (costante nello spazio e nel tempo) è la seguente  $\mathbf{r}_m = \mathbf{r}(1 - C) + \mathbf{r}_s C$ . Le equazioni che ne governano il moto sono basate sui bilanci di massa e di quantità di moto in direzione parallela al flusso integrati sulla sezione trasversale al flusso nell'ipotesi di flussi quasi unidirezionali (de Saint Venant)

$$\frac{\partial(A)}{\partial t} + \frac{\partial(UA)}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial(UA)}{\partial t} + \frac{\partial(\mathbf{b}U^2 A)}{\partial x} + g \cos \mathbf{J} A \frac{\partial(h)}{\partial x} = gA (\sin \mathbf{J} - i_E)$$

Questo sistema richiede una formula di chiusura di moto uniforme del tipo di quelle già proposte nel paragrafo precedente.

Particolare cura è stata posta nella parte numerica. È stato a questo proposito proposto uno schema conservativo originale abbastanza robusto da poter essere applicato nella maggior parte delle applicazioni di campagna. Il metodo si basa sulla soluzione del problema di Riemman locale (Fraccarollo e Toro, 1995; Fraccarollo 1996 e Armanini, Fraccarollo, Guarino e Martino, 1998) ottenuta con una valutazione dei flussi di tipo Godunov.

## Schemi di miscele bifase

Trattando il problema più in generale, è necessario scrivere separatamente i bilanci per le due fasi, liquida e solida, oppure, il che è equivalente, i bilanci per la mistura e quelli di una delle due fasi.

In questo caso alle relazioni già scritte precedentemente, che rappresentano il bilancio di massa e quantità di moto della mistura nelle direzioni longitudinale e verticale:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial Uh}{\partial x} + \cos \alpha \frac{\partial z_b}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

2)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\mathbf{r}_m h U) + \frac{\partial}{\partial x}(\mathbf{r}_m h U^2) + g \cos \alpha \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{1}{2} \mathbf{r}_m h^2 \right) + g \mathbf{r}_m h \frac{\partial z_b}{\partial x} = -(\mathbf{t}_{yx} + T''_{yx})_o \quad (1)$$

4)

bisogna aggiungere le equazioni relative ad una delle due fasi, ad esempio della fase solida: conservazione della massa della fase solida :

$$\frac{\partial Ch}{\partial t} + \frac{\partial CUh}{\partial x} + C^* \cos \alpha \frac{\partial z_b}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

3)

$C$  è la concentrazione della mistura mediata sulla normale,  $C^*$  è la concentrazione della fase solida sul fondo.

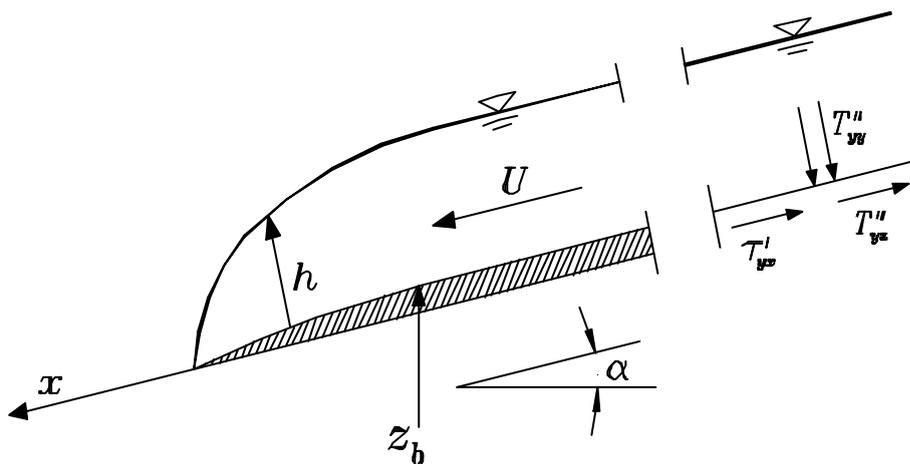


Fig. 2 - Schema del moto e notazioni

$(\mathbf{t}_{yx})_0$  e  $(T''_{yx})_0$  rappresentano b sforzo tangenziale al fondo dovuto rispettivamente alla fase liquida e a quella solida.

La conservazione della quantità di moto della fase solida è già inclusa nella equazione della mistura, che si presenta come somma delle due fasi e per la quale è sempre possibile separare i diversi contributi allo sforzo al fondo della fase liquida  $(\mathbf{t}_{yx})_0$  e quello della fase solida  $(T''_{yx})_0$ .

Il bilancio della quantità di moto in direzione verticale si riduce al bilancio tra la forza di gravità e lo sforzo normale sul fondo della fase solida, atteso che il contributo delle altre forze può essere trascurato.

$$(\mathbf{r}_s - \mathbf{r}) Cgh \cos \mathbf{a} = (T''_{yy})_0$$

Si ottengono così 4 equazioni con 6 variabili. Per chiudere il sistema servono altre 2 relazioni. Queste, come al solito, sono delle opportune formule di moto uniforme: una relazione di tipo moto uniforme relativa allo sforzo tangenziale al fondo:

$$\mathbf{t}_o = (\mathbf{t}_{yx} + T''_{yx})_o = f_r \mathbf{r}_m U^2 \quad f_r = f_r(U, d, h, C, \mathbf{r}, \mathbf{r}_s, v, \dots) \quad (1)$$

6)

una seconda equazione relativa allo sforzo normale al fondo, che può essere data direttamente sullo sforzo normale:

$$(T''_{yy})_o = f_n(U, d, h, C, \mathbf{r}, \mathbf{r}_s, v, \dots) \quad (1)$$

7)

come relazione tra sforzo normale e sforzo tangenziale, relativi alla interazione della fase solida:

$$(T''_{yx})_o = \tan \mathbf{f}_d (T''_{yy})_o \quad (1)$$

8)

$\tan \mathbf{f}_d$  rappresenta il *coefficiente di attrito dinamico*.

Oppure come *formula di trasporto solido*

$$C = f_c(U, d, h, C, \mathbf{r}, \mathbf{r}_s, v, \dots) \quad (1)$$

9)

quest'ultima condizione coincide, da un punto di vista concettuale, con il precedente bilancio della quantità di moto in direzione normale al fondo.

Per esempio Takahashi (1991) propose la seguente relazione, basata sulla teoria di Bagnold (1954) :

$$C = \frac{\tan \alpha}{D \tan f_d - \tan \alpha} \quad (15)$$

Nelle figure successive sono riportate alcuni esempi di impiego dei diversi modelli. Le soluzioni numeriche sono in effetti relative ad una formulazione conservativa delle equazioni originali, ottenuta con una discretizzazione alle differenze finite adatta ad essere risolta con un metodo alla Godunov (Armanini e Fraccarollo, 1997).

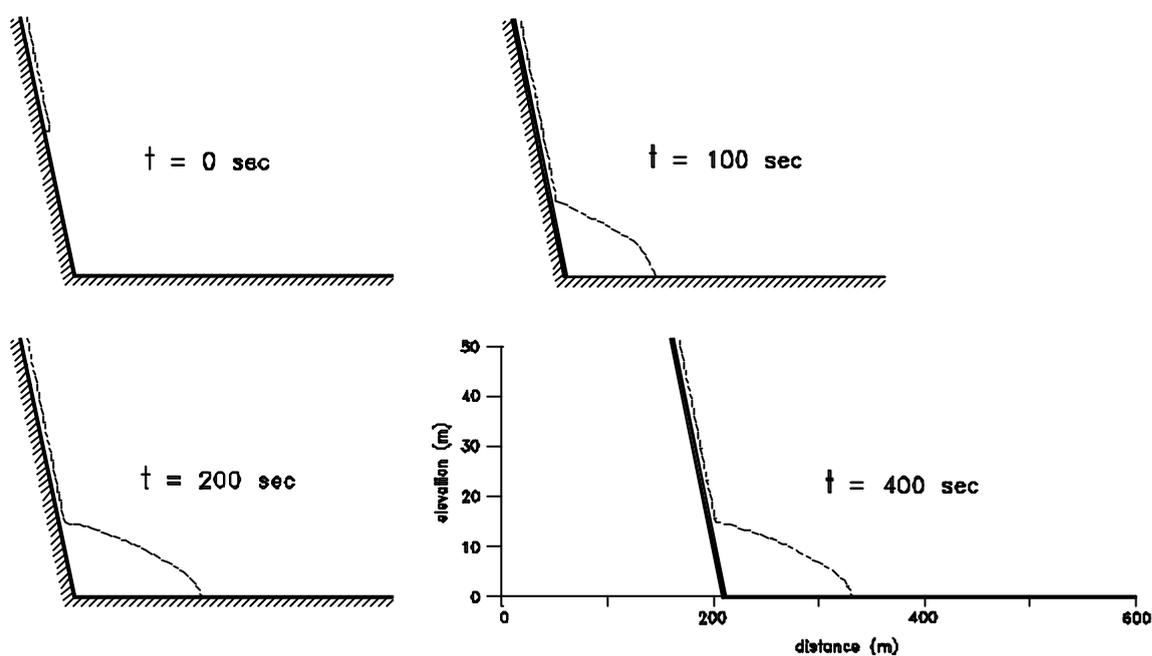


Fig. 4a) - Simulazione di propagazione di colata di detriti, in presenza di una variazione repentina della pendenza, ottenuta con uno schema reologico di fluido omogeneo alla Bingham (Armanini e Fraccarollo, 1997). La colata si arresta nel tratto a pendenza debole, quando lo sforzo al fondo raggiunge lo sforzo critico di soglia di Bingham.

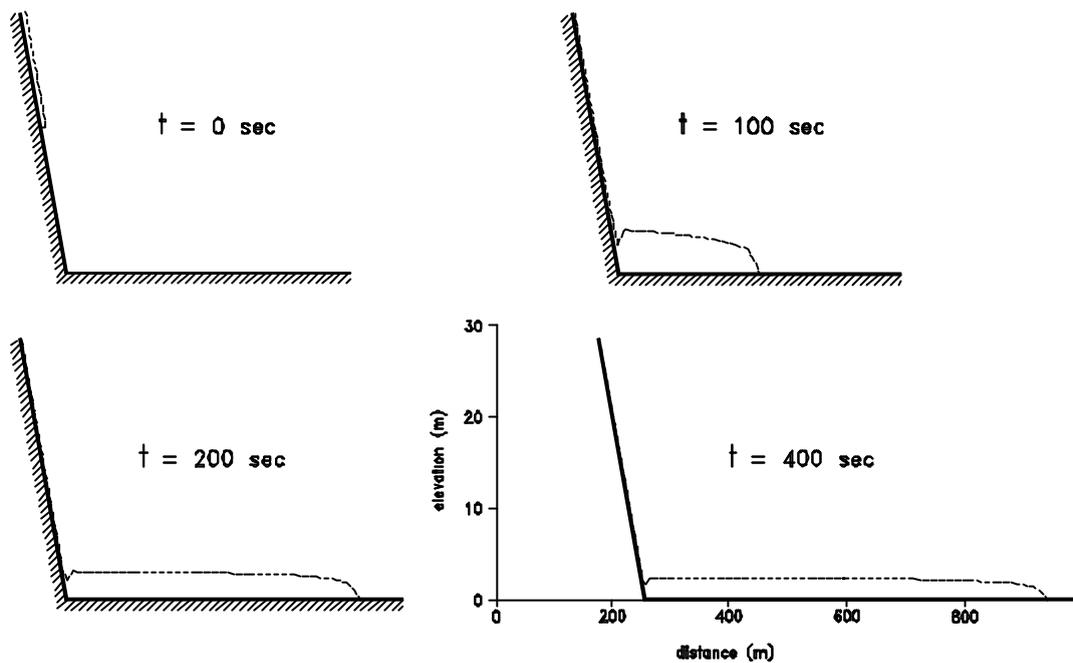


Fig. 4b) - Simulazione di propagazione di colata di detriti, in presenza di una variazione repentina della pendenza, ottenuta con uno schema di fluido bifase dilatante alla Bagnold (Armanini e Fraccarollo, 1997). La colata non si arresta poiché il modello reologico adottato non prevede uno sforzo critico di soglia.

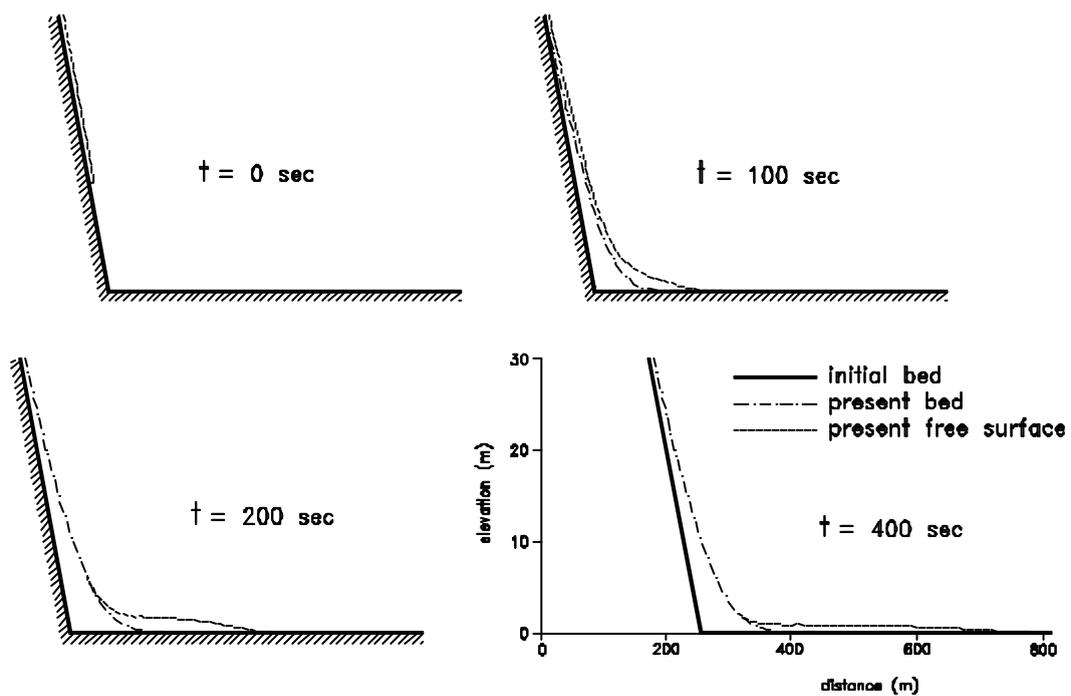


Fig. 4c) - Simulazione di propagazione di colata di detriti, in presenza di una variazione repentina della pendenza, ottenuta con il modello bifase utilizzando la relazione di Takahashi per la capacità di trasporto, (Armanini e Fraccarollo, 1997). La colata si arresta nel tratto a debole pendenza a causa del processo di deposito del materiale solido.

## Applicazioni

### 1. Applicazione al bacino di Acquabona

2.

Il bacino di Acquabona si trova sulla sinistra orografica del torrente Boite, vicino a Cortina D'Ampezzo (BL), dove circa ogni anno si hanno eventi di debris flows.

Lungo il canale è stato installato un sistema di monitoraggio; un sistema doppler ad ultrasuoni permette la misura dell'altezza del moto nel tempo, mentre è possibile avere una stima della velocità media del fronte attraverso l'utilizzo di più geofoni. Sono disponibili le registrazioni di due eventi verificatisi il 12 Giugno 1997 e il 17 Agosto 1998. Dall'analisi delle curve granulometriche ottenute da provini si è riscontrata la presenza della parte fine (limo ed argilla) pari a circa il 10% nella parte alta del canale e pari a circa il 30% nella zona di deposito.

L'entità della frazione fine suggerisce un comportamento reologico globale di tipo viscoplastico (Coussot, 1994, Whipple, 1997).

Le simulazioni sono state realizzate utilizzando i seguenti parametri reologici:

a ) calibrazione per il moto nel canale:  $\frac{m}{t} = 0.1 \text{ s} \quad \frac{t}{r_m} = 0.5 \text{ m}^2/\text{s}^2$

b) calibrazione per le condizioni di arresto:  $\frac{m}{t} = 0.1 \text{ s} \quad \frac{t}{r_m} = 1.3 \text{ m}^2/\text{s}^2$

Il modello numerico è in grado di rappresentare in modo qualitativo le fluttuazioni del moto che sono state osservate nei casi reali. I tempi in cui si hanno i picchi calcolati e le relative lunghezze d'onda non corrispondono a quelli osservati, ma le altezze dei picchi sono ben rappresentate dalla simulazione. La valutazione delle altezze dei picchi è d'altronde l'informazione più importante per scopi pratici, perché permette la stima delle possibili esondazioni.

Usando il set (b) di parametri, la profondità e la forma dei depositi calcolati nelle simulazioni sono in buon accordo con quelle osservate.

In Fig. 5 si può osservare il confronto fra altezze del moto misurate e calcolate.

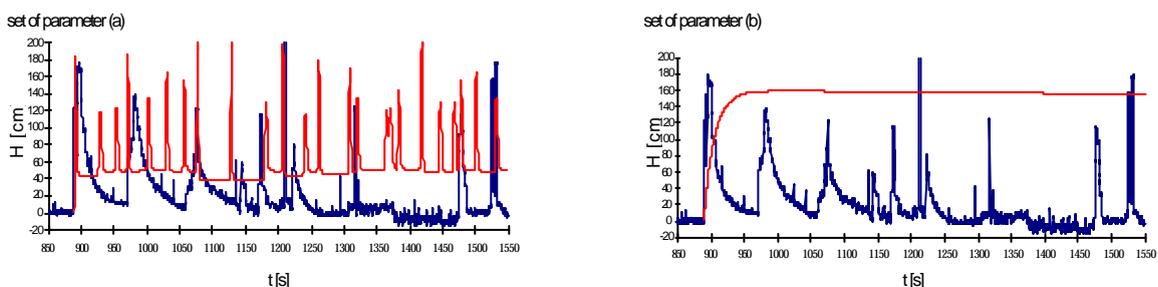


Fig. 5 Confronto fra altezze del moto misurate e calcolate.

In Fig. 6 si può osservare la massima altezza del moto calcolata raggiunta in ogni sezione del canale e le corrispondenti misure ricavate dalle tracce lasciate dal moto nel canale.

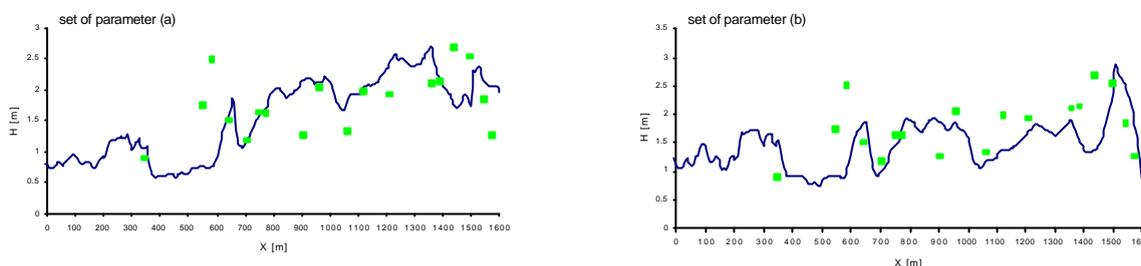


Fig. 6: Confronto fra le massime profondità del moto misurate e calcolate.

La simulazione del moto con l'utilizzo del set b) di parametri porta ad una buona rappresentazione della fase di deposito, ma conduce anche ad una sottostima delle massime altezze del moto nella parte alta del canale.

Al contrario, la simulazione del moto con il set di parametri a) produce risultati più realistici all'interno del canale, dove è possibile simulare le onde impulsive.

I risultati di questo studio mostrano quindi che è possibile rappresentare tutte le fasi dell'evento, ovvero le onde nella parte intermedia del canale ed anche il processo di deposito nella parte finale del bacino, attraverso l'uso separato di diversi set di parametri reologici.

## 2. Applicazione al Rio del Duc (Val di Sole)

Il modello numerico è stato utilizzato anche per simulare il moto di una colata di detriti sul conoide di deiezione del Rio del Duc, nei pressi dell'abitato di Daolasa in Val di Sole, Trentino. Si tratta di un bacino di circa  $3km^2$ , con una pendenza media del 32%. L'asta del torrente presenta una granulometria con diametro medi di 40 cm. La portata liquida di progetto è stata ricavata sulla base di un modello afflussi deflussi di tipo distribuito per un tempo di ritorno pari a 100 anni. Per calcolare la portata della colta è stato applicato all'idrogramma liquido il cosiddetto metodo volumetrico, proposto da Takahashi. Per quanto attiene alla reologia è stato adottato uno schema reologico alla Bingham con un valore di soglia per lo sforzo al fondo  $t_o / r = 2e4 m^2 s^{-2}$ , senza trovare notevoli variazioni nella zona di arresto della colata.

E' stato possibile in tal modo stimare l'estensione dell'area a rischio sul conoide e valutare l'inserimento di una briglia selettiva per ridurre il volume di materiale trasportato a valle.

## 3. Applicazione al Bacino di Cancia (Borca di Cadore)

Il modello numerico è attualmente in fase di applicazione anche al caso di Cancia, dove si sono avuti negli ultimi dieci anni numerosi eventi significativi.

Attraverso la simulazione degli eventi monitorati del passato ed il confronto con le misure effettuate sul campo dopo tali eventi, è stato possibile tarare i parametri reologici che descrivono il comportamento della mistura; sarà in futuro possibile simulare nuovi

eventi in presenza di diverse soluzioni progettuali, per valutare quale sia la soluzione più conveniente da realizzare.

#### 4. Riferimenti bibliografici

- Armanini, A., and Fraccarollo, L., 1997, Critical conditions for debris flow, Debris-Flow Hazard: Mechanics, Prediction, and Assessment, Proc. 1st int. conf., (Cheng-lung Chen Ed.), ASCE, S.Francisco, pp.434,443.
- Bagnold, R.A., 1954, Experiments on a gravity-free dispersion of large solid spheres in a Newtonian fluid under shear, Proc. Roy. Soc. London, Series A, 225, pp.49-63.
- Fraccarollo L., 1996; A simplified approach to debris-flow simulation, Proc. XI International Conference on Computational Methods in Water Resources, Cancun, Mexico.
- Fraccarollo, L., 1997, Discussion on Numerical modeling of Anhui debris flow, J. of Hydr. Res.
- Fraccarollo, L., & Armanini, A., 1998, A Riemann Solution for the Dam-break Problem over Movable Bed (in review).
- Fraccarollo, L., and Toro, E.F., 1995, Experimental and numerical assessment of the shallow water model for two-dimensional dam-break type problems, J. of Hyd. Res., Vol. 33, n.6, 1995.
- Scotton, P, and Deganutti, A., (1997), Phreatic line and dynamic impact in laboratory debris flow experiments, Proceedings of the ASCE's international workshop on Debris-flow hazards mitigation: Mechanics, prediction, and assessment, San Francisco, California, August 4-7, 1997, Cheng-Lung Chen Editor.
- Takahashi T., (1981), Estimation of Potential Debris Flows and their Hazardous Zones; Soft Countermeasures for a Disaster, Journal of Natural Disaster Science, Vol. 3, N° 1, 1981, 57-89.
- Toro, E.F., Riemann problems and the WAF method for solving the two-dimensional shallow water equations, Phil. Trans. R. Soc. Lond., n. 338, 43-68, 1992.
- Whipple, K. X, Open Channel flow of Bingham fluids: application in debris-flow research, J. of Geology, 1997.
- Whipple, K.X., (1992), Predicting debris-flow run-out and deposition on fans: the importance of the flow hydrograph, in Erosion, Debris Flow and Environment in Mountainous Regions, Walling et al. eds. Chengdu, Cina.

*GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE  
CATASTROFI IDROGEOLOGICHE*

**ANALISI REGIONALE DEGLI EVENTI  
IDROLOGICI ESTREMI IN BASILICATA**

**RAPPORTO TRENNALE  
1996-1998**

U.O. 1.21

Responsabile: Prof. Mauro Fiorentino

## **1. Premessa**

L'Unità Operativa 1.21 è stata impegnata nei seguenti progetti di ricerca:

- 1) Progetto VAPI
- 2) Progetto ARDI-SIC
- 3) Progetto ARA-PIN

## **2. OBIETTIVI**

Nello specifico, gli obiettivi da conseguire con riferimento ai progetti di ricerca sono stati:

Progetto VAPI: Redazione del rapporto regionale VAPI-Basilicata, Sito WEB dei prodotti VAPI dell'U.O.

Progetto ARDI-SIC: Affidabilità degli schemi idrici - Simulazione multivariata dei deflussi

Progetto ARA-PIN: Valutazioni su aree a rischio nell'ambito del Programma pilota di previsione e prevenzione del rischio idraulico ed idrologico nella Provincia di Potenza

## **3. Progetto VAPI:**

Le ricerche effettuate nell'ambito del Progetto VAPI sono state finalizzate all'acquisizione di elementi utili alla determinazione di grandezze e parametri compresi nelle procedure di stima regionale delle distribuzioni di probabilità delle piogge intense e delle piene in Basilicata.

Con riferimento al secondo livello di regionalizzazione delle piogge intense, si è effettuata una revisione delle procedure già svolte dall'U.O. dell'IRPI di Cosenza nelle parti che davano luogo ad incongruenze che erano state rilevate in corrispondenza delle linee di

demarcazione delle sottozone omogenee. Le analisi connesse al terzo livello delle piogge hanno prodotto mappe dei parametri  $a$  e  $n$  delle curve di probabilità pluviometriche attualmente in stampa, e tali da consentire una agevole valutazione areale di questi parametri in corrispondenza dei bacini idrografici di interesse.

Nell'ambito delle operazioni per la determinazione delle sottozone omogenee per il II livello di regionalizzazione delle piene, si è introdotto il criterio di tener conto del ruolo giocato da fattori climatici e dall'uso del suolo sui caratteri peculiari della distribuzione di probabilità delle piene. Questo ruolo è stato analizzato da un lato con riferimento specifico ai parametri di variabilità della distribuzione, rispetto alla possibilità di supportare la fase di individuazione delle sottozone omogenee, dall'altro rispetto alle condizioni generali di formazione del deflusso da piena e dei corrispondenti riflessi sulla distribuzione di probabilità. In questo secondo caso, lo schema proposto fa uso di un modello di derivazione teorica della distribuzione costruito sulla base delle caratteristiche stocastiche della precipitazione e della risposta idrologica dei bacini. Tale modello si propone di riprodurre, mediante l'uso di un limitato numero di parametri fisicamente basati, le proprietà della distribuzione dei massimi annuali di portata ad elevato tempo di ritorno, in un ampio range osservato di condizioni climatiche. In tale contesto, si sono inizialmente approfonditi (i) gli effetti del clima sulle caratteristiche della trasformazione piogge intense-piene in termini di numero medio annuo, nonché (ii) i meccanismi relativi all'interazione tra clima e stato di saturazione del suolo, considerata non come variabile di evento ma come valore caratteristico relativo ad eventi estremi, esaminandone l'effetto riguardo all'efficienza delle trasformazioni afflussi-deflussi in termini volumetrici.

In quest'ambito è stata anche testata una tecnica per la valutazione su base geomorfoclimatica della portata indice, la quale viene stimata mediante tecniche statistiche che utilizzano l'informazione meteorologica costituita dalle serie storiche dei massimi annuali delle piogge orarie, i dati relativi a litologia e uso del suolo disponibili per i bacini ed implementati nel metodo Curve Number, ed altri parametri che caratterizzano la risposta idrologica dei bacini (es. fattore di ragguaglio delle piogge all'aria, tempo di ritardo).

Con riferimento al terzo livello di regionalizzazione, si sono eseguite procedure necessarie per approfondire i seguenti aspetti:

Per la determinazione regionalizzata del tempo di ritardo le elaborazioni effettuate sono state finalizzate ad individuare meglio l'effetto esercitato dai fattori di assorbimento del suolo, che hanno in parte spiegato la variabilità del tempo di ritardo riscontrata nei diversi bacini della Basilicata. Queste elaborazioni sono state condotte sulla base di coperture digitali realizzate in proprio, per quanto riguarda la geolitologia, e derivate da mappe da satellite con riferimento all'uso del suolo. In entrambi i casi si è proceduto ad una classificazione per ridurre il numero di elementi con diversa capacità di assorbimento.

Con riguardo alla determinazione delle curve empiriche di riduzione dei colmi di piena dei corsi d'acqua della Basilicata ionica prima si sono digitalizzate le strisce idrometrografiche relative alle piene dei corsi d'acqua lucani e poi si sono eseguite le elaborazioni necessarie per determinare i valori delle portate dai dati di altezza idrometrica digitalizzati (tramite la costruzione una procedura automatica che usa le scale di deflusso precedentemente ricondotte a formulazione analitica).

Il testo del rapporto regionale VAPI-Basilicata è in fase di stesura finale, mentre è stata completata la revisione del testo del rapporto VAPI-PUGLIA che è stato ristampato in formato Adobe Acrobat<sup>®</sup> e collocato sul sito web del DIFA (consultabile a partire dalla pagina <http://www.difa.unibas.it/gndci>).

## Progetto ARDI-SIC

Nell'ambito del progetto "Vulnerabilità dei sistemi di approvvigionamento idrico", l'impegno di questa U.O. è stato rivolto allo studio dell'impatto delle siccità sui sistemi idrici della regione Basilicata ed alla individuazione di criteri per la definizione di aree a rischio di deficienza idrica.

Riguardo al primo tema, per valutare l'idoneità dei sistemi idrici a far fronte ad eventi siccitosi di prefissata probabilità (o tempo di ritorno), si è analizzato il processo dei deflussi alla scala mensile mediante modelli stocastici multivariati, mettendo a punto un modello stocastico a base concettuale per la generazione di deflussi mensili contemporanei (multisite). Caratteristiche peculiari di questo modello sono: la base concettuale, che consente la stima delle serie degli afflussi netti, sui quali viene ricostruita la struttura di correlazione spaziale; l'utilizzo di processi stocastici intermittenti per ricostruire la suddetta struttura di correlazione; l'impiego di tecniche particolari per minimizzare l'errore derivante dalla disponibilità solo parziale di dati realmente contemporanei. A margine di questa ricerca si sono condotti studi sulla valutazione delle disponibilità e della possibilità di utilizzazione delle risorse idriche in Basilicata, con particolare riferimento all'impiego di traverse e canali di derivazione, che richiedono l'analisi di deflussi fluviali alla scala giornaliera.

Con riferimento al secondo tema, si sono intrapresi studi sulle reti di distribuzione al fine di definire aree a rischio di deficienza idrica in funzione di alcuni parametri idraulici significativi. In particolare, si sono condotti studi sugli effetti, in termini di affidabilità del servizio, della variabilità nel tempo delle sollecitazioni idrauliche a cui ciascuna rete è sottoposta e della presenza di eventuali accumuli al suo interno. Per uno dei centri abitati considerati si è potuto simulare il funzionamento della rete di distribuzione riuscendo a caratterizzarne il grado di efficienza e delimitare le aree a rischio di deficit, tenendo conto anche della vulnerabilità di alcune zone particolari dovuta alle condizioni di posa e alla natura specifica dei terreni.

Si è inoltre impostato uno schema informatizzato per la descrizione degli schemi acquedottistici, basato sulla costruzione di un database alfanumerico, mediante il quale si possono effettuare analisi di tipo esplorativo relative alle caratteristiche di vulnerabilità delle utenze. Il database, relativo allo schema acquedottistico Basento-Camastra, è organizzato in maniera tale da costituire un supporto ad operazioni di verifica idraulica, ad esempio tendenti ad evidenziare le zone i cui livelli di servizio risultano maggiormente influenzati da oscillazioni di portata. La base di dati creata per l'occorrenza conserva le caratteristiche di connettività dello schema, per cui si presta ad essere interrogata con modalità facilmente automatizzabili. Un'applicazione di procedure avanzate di interrogazione è, ad esempio, in grado di estrarre percorsi di connessione tra due punti qualsiasi dello schema. Utilizzando queste proprietà si sono proposte modalità di analisi preliminare della configurazione dello schema finalizzata a definirne i livelli di servizio, come aspetto esplorativo per più dettagliate analisi sull'affidabilità idraulica.

Sullo stesso schema sono state simulate differenti ipotesi di gestione, definendo per ciascuna di esse differenti parametri significativi che rappresentassero sinteticamente il grado di prestazione ottenuto e la vulnerabilità idraulica delle diverse zone servite. In tal modo è stato possibile confrontare le differenti alternative di gestione valutandone la compatibilità con prefissati standards di soddisfacimento dell'utenza. Le procedure di valutazione messe a punto consentono inoltre la simulazione di possibili scenari in cui la risorsa disponibile all'utenza risulti inferiore alla domanda, permettendo così la definizione dei gradi di servizio garantibili in condizioni di deficit di risorsa.

## PROGETTO ARA-PIN

L'attività intrapresa da questa U.O. nell'ambito della definizione delle aree a rischio di alluvione si è caratterizzata per l'approfondimento di problematiche proprie dell'ambiente montano e pedemontano. In tale ambito si colloca la ricerca inerente la definizione di procedure "speditive" per la valutazione del rischio di piena per gli attraversamenti di infrastrutture varie, ricerca che trae spunto dal programma pilota di previsione e prevenzione del rischio idraulico e idrologico nella Provincia di Potenza, co-finanziato dall'Amministrazione Provinciale di Potenza.

La finalità di della ricerca sono relative alla messa a punto di metodologie di calcolo speditivo volte alla individuazione del grado di vulnerabilità di attraversamenti fluviali e/o aree in un ambiente montano o pedemontano, allo scopo di individuare degli strumenti di sintesi in grado di distinguere, in base ad un'analisi di primo livello, le infrastrutture ragionevolmente "sicure" da quelle più a rischio per le quali si rende necessaria un'analisi più approfondita.

A questo fine, in una prima fase si è effettuata una ricognizione degli eventi di inondazione avvenuti in passato e si sono ricostruite mappe di massima delle zone storicamente vulnerate. Successivamente si è condotta un'analisi preliminare su cartografia 1:50.000 tendente a catalogare tutti gli attraversamenti (stradali, ferroviari, e di infrastrutture varie di servizio) di rilievo in relazione al bacino idrografico sotteso. Si è così prodotta una cartografia contenente uno strato informativo di punti, che rappresentano le sezioni di interesse, ed altri strati contenenti i tracciati delle infrastrutture di servizio (acquedotti, gasdotti, metanodotti) e di trasporto (strade e ferrovie) presenti nella provincia di Potenza.

In parallelo si è condotta una campagna di rilievi in sito, su oltre 100 sezioni, tendenti a definire criteri per la classificazione rapida delle tipologie di attraversamento, e si sono valutate le portate di piena corrispondenti a diversi valori del periodo di ritorno in corrispondenza di ciascuna delle sezioni di interesse.

Per mettere a punto strumenti di calcolo speditivo in grado di valutare con buona approssimazione l'erosione generalizzata e localizzata intorno alle pile di ponti, si è proceduto come segue:

- Si sono messe a punto di formule sintetiche per un calcolo di prima approssimazione del tirante idrico immediatamente a monte dell'attraversamento fluviale e dell'erosione localizzata in prossimità di questo. In tali formule compaiono pochi parametri, peraltro di semplice determinazione, fra i quali il periodo di ritorno delle portate al colmo di piena;
- Si sono definiti indici di vulnerabilità idraulica e, più in particolare, di un indice di vulnerabilità al sormonto e di un indice di vulnerabilità all'erosione localizzata in corrispondenza di pile e di spalle di ponti;
- Si è verificata l'efficacia delle formule e degli indici di vulnerabilità suddetti sulla base di un campione di circa 50 sezioni. Per ciascuna di tali sezioni sono state altresì effettuate elaborazioni di maggiore accuratezza a mezzo del programma, di larga diffusione, HEC-RAS. L'applicazione degli indici di cui sopra ha condotto, tra l'altro, all'individuazione di sezioni a rischio in buon accordo con quanto rilevato nel corso della campagna di misure in sito.

## 4. Pubblicazioni

- Biggiero, V., M. Cargnelutti, M. Fiorentino e K.W. Olesen, Indagini sperimentali sull'evoluzione d'alveo del Volturno, Atti XXV Conv. Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Torino, Vol. II, 158-169, 1996.
- Claps e E. Straziuso, Analisi regionale delle piogge brevi in Basilicata, Dipartimento di Ingegneria e Fisica dell'Ambiente, Rapporto Interno, 1996.
- Claps P. and M. Fiorentino, Probabilistic Flow Duration Curvers for use in Environmental Planning and Management, in Harmancioglu et al. (eds.) Integrated Approach to Environmental Data Management Systems, NATO-ASI series 2 (31), pp. 255-266, Kluwer, Dordrecht, The Netherlands, 1997.
- Claps P., M. Fiorentino e G. Silvagni, Studio per la Valorizzazione e la Salvaguardia delle Risorse Idriche in Basilicata, Regione Basilicata, 1998.
- Claps, P. and G. Oliveto, Re-examining the determination of the fractal dimension of river networks, Water Resources Research, 32 (10), 3123-3135, 1996.
- Claps, P., M. Fiorentino, G. Oliveto, The most probable hydrologic response of fractal river networks, in Singh and Kumar (Eds.) Proc. of the Int'l Conf. on Hydrol. and Water Resour., New Delhi, India, Dec. 1993, Vol I, 191-204, Kluwer, Dordrecht, The Netherlands, 1996.
- Claps, P., M. Fiorentino e G. Oliveto, Informational entropy of fractal river networks, Journal of Hydrology, 187 (1-2), 145-156, 1996.
- Claps, P., M. Fiorentino e G. Silvagni, Curve probabilistiche di possibilità di derivazione dei deflussi, Atti XXV Conv. Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Torino, Vol. III, 95-106, 1996.
- Copertino V.A., A. De Vincenzo, V. Telesca, R. Viparelli, Il deflusso minimo vitale negli alvei alluvionati larghi, Lavoro presentato alle "Giornate di studio in onore di E. Orabona", Bari , 13-14 Ottobre, 1997.
- Copertino V.A., A. De Vincenzo, V. Telesca, R. Viparelli, The influence of fluvial morphology on the minimum instream flow, XXVII IAHR Congress, S. Francisco, Agosto 1997.
- Ermini, R., G. Silvagni, R. Viparelli. Criteri di analisi e di gestione di un sistema acquedottistico. 3° Simposio Italo-Brasiliano di Ingegneria Sanitaria-Ambientale. Gramado (Brasile) 9-13 giugno, 1996.
- Ermini, R., G. Silvagni, R. Viparelli. Efficienza ed efficacia di una rete acquedottistica in esercizio in periodi di crisi idrica. Accettato per la pubblicazione negli atti del IV SIBESA, Simposio Italo - Brasiliano di Ingegneria Sanitaria - Ambientale, Ravello 1997
- Ermini, R., R. Viparelli, M. Fiorentino, "Una metodologia per la valutazione per l'incidenza della vulnerabilità meccanica sul disservizio nelle reti acquedottistiche", XXVI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Catania, 9-12 settembre 1998
- Fiorentino M. e M.R. Margiotta, La valutazione dei volumi di piena ed il calcolo semplificato dell'effetto di laminazione di grandi invasi, Atti del corso di aggiornamento su "Tecniche per la difesa dall'inquinamento", Guardia Piemontese, giugno 1998 (in stampa).

- Fiorentino M., Oliveto G., Raimondo M. A., "Analisi semplificata della vulnerabilità idraulica degli attraversamenti fluviali" , In: Atti del corso di aggiornamento 1998 "L'ingegneria naturalistica nella sistemazione dei corsi d'acqua" Politecnico di Milano (in stampa).
- Gualtieri, P., G. Pulci Doria; R. Viparelli, "Air entrainment in a dropshaft working in transition between the so-called region I and region II", In fase di stampa negli atti del II International Symposium on two-phase flow modelling and experimentation, Pisa, 23-26 maggio 1999
- Gualtieri, P., G. Pulci Doria; R. Viparelli, "Modello del trascinamento d'aria in un pozzo di caduta in regione I e controllo sperimentale", XXVI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Catania, 9-12 settembre 1998
- Gualtieri, P., R. Viparelli. Impianto per lo studio del trascinamento di aria in presenza di oscillazioni di massa, prime prove sperimentali. XXV Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Torino settembre 1996.
- Heza Y. B. M., Fiorentino M., Soliman a. M., Abu-zied M., "Modellazione numerica bidimensionale del trasporto solido in sospensione" , In: Atti del XXVI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Catania , Volume: I , pp.: 139-150 , (1998) .
- Iacobellis V, Claps P., Fiorentino M. Gioia G. Un'applicazione di analisi regionale delle piene in un'ampia regione climaticamente eterogenea, Lavoro presentato alle "Giornate di studio in onore di E. Orabona", Bari , 13-14 Ottobre, 1997.
- Iacobellis V., P. Claps, M. Fiorentino, Sulla dipendenza dal clima dei parametri della distribuzione di probabilità delle piene, Atti del XXVI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Catania, Vol II, 213-224, 1998. Murrone, F., F. Rossi and P. Claps, Conceptually-based Shot Noise modelling of streamflows at short time interval, Stoch. Hydrol. and Hydraul., 11(6), 483-510, 1997.
- Oliveto G., V. Biggiero, M. Fiorentino e W.Hager, Sul processo d'efflusso da luci di fondo in reti di drenaggio urbano, Lavoro presentato alle "Giornate di studio in onore di E. Orabona", Bari , 13-14 Ottobre, 1997.
- Oliveto G., V. Biggiero e M. Fiorentino, Hydraulic features of supercritical flow along prismatic side weirs, sottoposto per la pubblicazione su Journal of Hydraulic Research, 1998.
- Singh V.P. and Fiorentino M. (eds.) Geographical information Systems in Hydrology, Kluwer, Dordrecht, 1996.
- Singh V.P. e M. Fiorentino, Hydrological Modeling with GIS. In Singh V. P. e M. Fiorentino (a cura di), Geographical Information Systems in Hydrology, pp.1-13, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, The Netherlands, 1996.
- Sole A. and A. Valanzano, Digital terrain modelling, in Singh V.P. and Fiorentino M. Geographical information Systems in Hydrology, 175-194, Kluwer, Dordrecht, 1996.
- Sole A., A. Crisci, Studio della propagazione dell'onda di piena conseguente alla rottura di una diga e mappatura delle aree a rischio di inondazione, XVIII Conferenza Italiana di scienze Regionali, Siracusa 8-10 ottobre 1997
- Sole A., A. Crisci, V. Scuccimarra, Stima del danno conseguente all'ipotetico collasso della diga di S. Giuliano e della traversa di Gannano, Pubbl. interna DIFA, 1997.

- Sole A., A. Crisci, V. Scuccimarra, Studio dell'onda di sommersione conseguente all'ipotetico collasso e a manovre agli organi di scarico della diga di S. Giuliano, Pubbl. interna DIFA, 1997.
- Sole A., A. Crisci, V. Scuccimarra, Studio dell'onda di sommersione conseguente all'ipotetico collasso e a manovre agli organi di scarico della traversa di Gannano, Pubbl. interna DIFA, 1997.
- Sole A., Crisci A. (1997), Dam break flood forecasting and risk zoning, II International DHI Software User Conference , Helsingor (DK)
- Straziuso E., P. Claps, M. Fiorentino, Un modello per la generazione di deflussi fluviali contemporanei a scala mensile, Atti del XXVI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Catania, Vol. II, 365-376, 1998.
- Viparelli, R. S. Santorelli, C. Cocca, A.G. Pizza, "Dynamic response of large diameter pipes laid in seismic areas". Nineteenth International Conference on Boundary Element Method. 9-12 september 1997, Rome, Italy.
- Viparelli, R. V.A.Copertino, B. de Bernardinis, "La pianificazione dei bacini idrografici e la gestione delle risorse idriche non sono separabili: anche in Puglia e Basilicata (Materiali per una riflessione sulla gestione delle risorse idriche)", Incontro nazionale "Un governo democratico delle acque nei territori interessati al bacino dell'E.A.A.P. e dell'Ente Irrigazione Bari", Bari, 19 gennaio 1996
- Viparelli, R., S. Santorelli, A. Pascariello, A.G. Pizza. "Risposta dinamica di condotte di grande diametro in zona sismica: casi particolari", Localized Damage 98, Bologna, 8-10 giugno 1998

*GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE  
CATASTROFI IDROGEOLOGICHE*

**MODELLISTICA FISICO-MATEMATICA DI  
PROCESSI IDROLOGICI DI BASE  
NEGLI STUDI A SCALA DI BACINO**

**RAPPORTO TRENNALE  
1996-1998**

U.O. 1.26

Responsabile: Prof. Corrado Corradini

## **1. SOMMARIO**

E' stata sviluppata modellistica idrologica concettuale di tipo semplificato relativa ai processi di infiltrazione locale e di pioggia frontale sulla scala meso-locale.

Nell'ambito del progetto MIEP è stato messo a punto uno schema accoppiato flusso superficiale-infiltrazione su suolo orizzontalmente eterogeneo che permette di rappresentare correttamente anche il processo di "run-on" tipicamente trascurato nella letteratura scientifica. E' stato inoltre realizzato un modello descrivente i processi di infiltrazione e redistribuzione puntuale in un suolo stratificato che include anche la trattazione di tali processi nei casi di suoli con crosta in superficie e suoli verticalmente omogenei.

All'interno del progetto METEO è stata ulteriormente sviluppata la modellistica diagnostica per la rappresentazione della distribuzione spaziale della pioggia sulla scala meso-locale nei casi di sistemi frontali che interagiscono con l'orografia.

## **2. INTRODUZIONE**

L'attività di ricerca svolta nel triennio '96/'98 è stata rivolta verso lo sviluppo di modellistica idrologica, essenzialmente di tipo concettuale, per la stima dell'infiltrazione e per l'analisi delle piogge al suolo durante eventi di piena. Sono stati raggiunti i seguenti obiettivi:

Nell'ambito del progetto MIEP è stato sviluppato un modello descrivente la formazione del deflusso superficiale su un suolo con variabilità orizzontale e basato sull'accoppiamento dell'onda cinematica non lineare per il flusso superficiale con un approccio concettuale dell'infiltrazione puntuale. E' stato inoltre realizzato un modello concettuale per l'infiltrazione locale in suoli verticalmente non omogenei e caratterizzati da una crosta con conduttività idraulica di saturazione molto più bassa di quella del suolo sottostante. E' stato infine costruito un modello puntuale più generale per infiltrazione e redistribuzione

in suoli caratterizzati da due strati senza vincoli di spessore o di distribuzione verticale della conduttività idraulica.

Nell'ambito del progetto METEO si è proceduto alla realizzazione di modellistica per la quantificazione della interazione sistemi frontali-orografia sulla scala meso-locale, con riferimento anche ad un evento alluvionale reale con marcata influenza dell'orografia sulle precipitazioni di notevole intensità. Sono state inoltre delineate parametrizzazioni semplificate dello strato limite atmosferico su orografia complessa come elementi da introdurre nella modellistica diagnostica delle piogge precedentemente messa a punto.

## Progetto MIEP

E' stata condotta un'attività relativa alla valutazione dell'influenza della variabilità spaziale, attraverso la superficie del suolo, della conduttività idraulica di saturazione,  $K_s$ , sulla formazione del deflusso superficiale di tipo Hortoniano. E' stato realizzato un modello basato sulla soluzione accoppiata dell'equazione dell'onda cinematica non lineare per il deflusso superficiale, e dell'equazione di infiltrazione puntuale, per suolo omogeneo, precedentemente sviluppata. La soluzione sviluppata è di tipo numerico, utilizzando una condizione al contorno superiore che tiene conto del processo di run-on su una superficie caratterizzata da  $K_s$  considerata come una variabile casuale; sono state evidenziate condizioni di intensità di pioggia,  $r$ , sotto cui la risposta idrologica di un periodo è fortemente o scarsamente influenzata dalla eterogeneità di  $K_s$ . E' stato mostrato il legame quantitativo fra risposta idrologica e le quantità adimensionali  $r/K_s$  e  $t_b/t_p$  con  $t_b$  e  $t_p$  che rappresentano la durata della pioggia ed il tempo al ponding. E' stato mostrato che il processo di run-on non può essere trascurato poiché produce una significativa diminuzione del deflusso superficiale sia durante la risalita sia durante la recessione dell'idrogramma di piena. Ulteriormente è stato mostrato che il ruolo del grado di correlazione spaziale della conduttività idraulica di saturazione non è rilevante. Infine, è stato evidenziato che il problema di natura stocastica può essere ricondotto ad un approccio deterministico nei casi di eventi estremi anche se con tempo di ritorno relativamente basso.

- a) E' stato quasi completato lo sviluppo di una formulazione teorica relativa alla infiltrazione areale media e alla sua varianza che evidenzia il loro legame con il grado di correlazione spaziale della conduttività idraulica di saturazione,  $K_s$ . In essa è stato trascurato l'effetto di "run-on" che tende a ridurre gli effetti generati dalla variabilità spaziale di  $K_s$ . Sono state, nel frattempo, effettuate simulazioni numeriche delle due quantità suddette sotto eventi sintetici di pioggia applicati prevalentemente su suoli a tessitura fine. L'infiltrazione era calcolata attraverso soluzione numerica del modello puntuale sviluppato da Corradini et al. (1997) ed usato su un'area con conduttività idraulica di saturazione considerata come variabile casuale. Differenti realizzazioni di  $K_s$  erano generate con approccio Monte Carlo. I risultati ottenuti saranno quindi comparati con quelli forniti dalla formulazione teorica.
- b) E' stato inizialmente realizzato un modello concettuale per la rappresentazione del processo di infiltrazione puntuale in suoli verticalmente non omogenei e caratterizzati da una sottile crosta con conduttività idraulica di saturazione molto più bassa di quella del suolo sottostante (subsuolo). Il modello si basa su un'estensione di quello sviluppato precedentemente per suoli omogenei sotto condizioni di evoluzioni temporali delle piogge anche molto complesse e comprendenti eventuali periodi con redistribuzione dell'acqua nel suolo. Vengono forniti, in aggiunta alla infiltrazione, l'evoluzione temporale del contenuto d'acqua in superficie, nella crosta e nel suolo sottostante. L'estensione è stata realizzata attraverso la continuità del carico capillare e del relativo flusso all'interfaccia crosta-suolo originario, nonché imponendo una

rappresentazione quantitativa del flusso all'interfaccia di tipo concettuale. Il modello ottenuto è stato formulato limitatamente a situazioni di infiltrazione a partire da un profilo verticale di contenuto d'acqua costante e di successiva redistribuzione di acqua nel suolo. Esso si riconduce ad un sistema di equazioni differenziali ordinarie, non lineari, che può essere risolto per via numerica sulla base della tecnica di Runge-Kutta-Verner del quinto ordine e con un passo temporale variabile. La soluzione di questo modello richiede un ridotto sforzo di calcolo sia in termini di grandezza del codice, sia di memoria richiesta, sia di tempo di calcolo. La sua affidabilità, che è stata verificata mediante confronto con soluzioni numeriche dell'equazione di Richards su differenti tipi di crosta, è molto elevata ed è pressoché invariante in un ampio intervallo di spessore della crosta che comprende i valori tipici indicati dalle misure sperimentali. Il modello migliora notevolmente quelli concettuali precedentemente proposti per suoli con crosta in superficie, in quanto descrive la cinetica del profilo di contenuto d'acqua nella fase con superficie insatura ed in periodi di redistribuzione. Successivamente è stato realizzato un modello per la descrizione del processo di infiltrazione e susseguente redistribuzione dell'acqua nel suolo per i suoli di tipo stratificato. Sono rappresentati suoli con lo strato superiore di spessore fino a qualche decina di cm e con conduttività idraulica di saturazione sia molto minore (estensione del caso della crosta) sia maggiore di quella del suolo sottostante. Il modello è stato ottenuto con approccio simile a quello utilizzato per l'estensione ai suoli con crosta dell'approccio puntuale precedentemente sviluppato in un mezzo verticalmente omogeneo. È stata perciò assunta la continuità del carico capillare e del flusso d'acqua all'interfaccia fra i due strati ed è stata adottata una rappresentazione quantitativa di quest'ultimo basata sul concetto di profilo di contenuto d'acqua rettangolare distorto e su forme integrate della legge di Darcy e della equazione di continuità. Nel caso di conduttività idraulica più grande nello strato superiore, il profilo di contenuto d'acqua in esso, in teoria, può anche assumere andamento crescente con la profondità ed il carico capillare può raggiungere anche valori positivi. In ogni caso il modello per questo motivo utilizza due diverse forme per il calcolo del contenuto d'acqua nello strato superiore a seconda che  $\theta$  sia crescente o decrescente con la profondità. In teoria un ulteriore aspetto che caratterizza il comportamento di quest'ultimo tipo di stratificazione rispetto al suolo con crosta, si ritrova nel fatto che il flusso all'interfaccia verso il basso durante la redistribuzione può assumere valori anche più grandi del flusso che produce l'elongazione del profilo di contenuto d'acqua nello strato inferiore. Questo fatto è rappresentato nel modello attraverso una opportuna scelta di un parametro di forma. Il modello è stato verificato mediante confronto con soluzioni numeriche dell'equazione di Richards effettuato su una varietà di stratificazioni e sotto diverse condizioni di evoluzione temporale della pioggia. I risultati prodotti sono molto accurati come evidenziato dal fatto che essi riproducono con elevata precisione sia l'infiltrazione sia il contenuto d'acqua di superficie e all'interfaccia fra i due strati. Il livello di accuratezza non cambia passando da un profilo di suolo con crosta ad un profilo rovesciato con lo strato più permeabile disposto nella parte superiore. Il problema della reinfiltrazione in suoli stratificati è stato analizzato attraverso soluzioni numeriche dell'equazione di Richards che hanno evidenziato le principali caratteristiche di evoluzione dei profili di contenuto d'acqua. Su questa base dovrà essere completato l'approccio analitico-concettuale sopra descritto.

## Progetto METEO

- a) E' stata sviluppata una analisi teorica sull'utilizzo di previsioni quantitative di precipitazione, ottenibili da modelli di previsione meteorologica a scala limitata, nella modellistica idrologica di previsione delle piene. In particolare, è stata studiata la quantificazione dell'incertezza nella previsione del deflusso superficiale in funzione delle diverse possibili parametrizzazioni statistiche delle previsioni di pioggia, normalmente disponibili a scale spaziali e temporali sensibilmente superiori a quelle caratteristiche della risposta idrologica del suolo. Le diverse formulazioni proposte sono state testate su un insieme di eventi pluviometrici descritti sulla base di dati pluviometrici ad alta risoluzione spazio-temporale, provenienti da reti in tempo reale di recente installazione sui bacini della Sieve e del Casentino (Toscana).
- b) E' stato messo a punto di un modello fluidodinamico diagnostico per lo studio dell'effetto orografico sulle precipitazioni. L'attività è stata focalizzata sullo studio di parametrizzazioni semplificate dello strato limite atmosferico su orografia complessa, descritta da modelli digitali del terreno ad elevata risoluzione, da includere nello schema di modello diagnostico già delineato negli anni precedenti. Successivamente è stata condotta un'analisi degli aspetti meteorologici dell'evento alluvionale che ha colpito parte delle Alpi Apuane nel giugno 1996, quale esempio caratteristico di forte influenza orografica su precipitazioni di eccezionale intensità. L'analisi dei dati meteorologici di grande scala, forniti dal Centro Europeo di Reading, ha evidenziato da un lato la dinamica prevalentemente convettiva e locale dell'evento, e dall'altro il fondamentale ruolo dell'orografia nel provocare un improvviso rilascio di energia potenziale accumulata nei bassi strati atmosferici lungo la costa. Data la disponibilità di registrazioni pluviometriche in tele-misura ad alta risoluzione e di alcune misure idrometriche, è stato inoltre possibile analizzare, con l'ausilio di un modello idrologico distribuito, il ruolo della intermittenza e della variabilità su scala locale della precipitazione nella dinamica della formazione della piena. In particolare si è ricorsi ad un algoritmo di generazione di campi spazio-temporali di precipitazione aleatori, vincolati alle osservazioni puntuali, per una simulazione di tipo Montecarlo dell'evento di piena, ipotizzando diverse scale di correlazione spaziale della pioggia. Tali analisi hanno fornito forti indicazioni circa la reale struttura spazio-temporale dell'evento meteorico, evidenziando forti interazioni fra questa e la risposta non-lineare del suolo.

## 3. ELENCO DELLE PUBBLICAZIONI

### Progetto MIEP

MORBIDELLI R., CORRADINI C., MELONE F., "Influenza della struttura spaziale della conduttività idraulica del suolo sullo sviluppo dell'idrogramma prodotto da piogge discontinue", Bollettino Geofisico, anno 19, 3-4, 57-63, 1996.

CORRADINI C., MELONE F., MORAMARCO T., MORBIDELLI R., "Basin representation and direct runoff hydrograph for different basin sizes", In M.H. Hamza (Editor): Modelling and Simulation, IASTED ACTA PRESS, Anaheim, California, 422-425, 1996.

CORRADINI C., MELONE F., MORBIDELLI R., "An investigation of the relationship between spatial variability of soil hydraulic properties and overland flow formation", In M.H. Hamza (Editor): Modelling and Simulation, IASTED ACTA PRESS, Anaheim, California, 417-421, 1996.

CORRADINI C., MELONE F., SMITH R.E. "A unified model for infiltration and redistribution during complex rainfall patterns" J. Hydrology, 192, 104-124, 1997.

CORRADINI C., MELONE F., MORBIDELLI R. "Local infiltration in a crusted soil: simulation by a conceptual approach" In M.H. Hamza (Editor): Modeling and Simulation, IASTED ACTA PRESS, Anaheim, California, 409-412, 1997.

CORRADINI C. "Modellistica fisico-matematica di processi idrologici di base negli studi a scala di bacino". Rapporto 1995. G.N.D.C.I. - C.N.R., 1997.

CORRADINI C., MORBIDELLI R., MELONE F., "On the interaction between infiltration and Hortonian runoff", J. Hydrology, 204, 52-67, 1998.

MELONE F., CORRADINI C., SINGH V.P., "Simulation of the direct runoff hydrograph at basin outlet", Hydrological Processes, 12, 769-779, 1998.

CORRADINI C., MELONE F., MORBIDELLI R., "Flow simulation in ungaged basins for water resources planning" In M.H. Hamza (Editor): Modelling and Simulation, IASTED ACTA PRESS, Anaheim, 168-172, 1998.

CORRADINI C., MELONE F., SALTALIPPI C., "Effect of map scale on the simulation of direct runoff at basin outlet" In M.H. Hamza (Editor): Modelling and Simulation, IASTED ACTA PRESS, Anaheim, 163-167, 1998.

CORRADINI C., MELONE F., MORBIDELLI R., "Modello semplificato per infiltrazione e redistribuzione in suoli stratificati", XXVI Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Catania, 9-12 settembre 1998, volume II, 61-72, 1998.

SMITH R.E., CORRADINI C., MELONE F., "Infiltration/Redistribution in crusted soils" Water Resources Research, in press, 1999.

### Progetto METEO

CASTELLI F., "A simplified stochastic model for infiltration into a heterogeneous soil forced by random precipitation", Adv. Water Resour., 19, 133-144, 1996.

CASTELLI F., RODRIGUEZ-ITURBE I., "On the dynamical coupling of large-scale spatial patterns of rainfall and soil moisture", Tellus, 48A, 290-311, 1996.

ENTEKHABI D., RODRIGUEZ-ITURBE I., CASTELLI F., "Mutual interaction of soil moisture state and atmospheric processes", J. Hydrology, 184, 3-17, 1996.

CASTELLI F., RODRIGUEZ-ITURBE I., ENTEKHABI D., "An analytical framework for the modelling of spatial interaction between the soil moisture and the atmosphere",. J. Hydrology, 184, 19-34, 1996.

CASTELLI F., MAZZANTI B., Sull'utilizzo dei modelli meteorologici ai fini della previsione delle piene, Atti del XXV Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Torino, 16-18 settembre 1996, 112-123, 1996.

CASTELLI F., BECCHI I., CAPORALI E., MAZZANTI B., CASTELLANI L., "Hydro-sedimentological analysis of the '96 Apuanian Alps flash-flood events", (Abstract), Annales Geophysicae, Supplement 1 to Volume 15, C 237, 1997.

MAZZANTI B., CASTELLI F., "Statistical description of rainfall patterns for an unbiased flood forecast using meteorological models", (Abstract) Annales Geophysicae, Supplement II to volume 15, C 318, 1997.

*GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE  
CATASTROFI IDROGEOLOGICHE*

**RICERCHE SULLE COLATE DETRITICHE  
TORRENTIZIE  
(*DEBRIS FLOW*) IN AMBIENTE ALPINO**

**RAPPORTO TRENNALE  
1996-1998**

U.O. 1.29

Responsabile: Dott. Giovanni Mortara<sup>1</sup>

## **1. SOMMARIO**

\_\_\_\_\_L'attività della U.O. 1.29, composta da personale degli IRPI di Torino e di Padova, nel triennio 1996-1998, si è sviluppata prevalentemente secondo i seguenti filoni di ricerca:

- indagini sperimentali;
- approfondimento conoscitivo delle aree esposte a rischio di colata detritica, con particolare riferimento ai conoidi alluvionali;
- interventi di studio in aree colpite da eventi alluvionali.

## **2. INTRODUZIONE**

Un territorio vasto, articolato e complesso come quello alpino risulta di difficile caratterizzazione. Si è ritenuto pertanto opportuno indirizzare le ricerche su aree-campione sufficientemente rappresentative dei principali ambiti geologico-morfologici delle Alpi (es. Valle d'Aosta, Valtellina, Dolomiti), scelta peraltro che è risultata funzionale alla dislocazione dei due Istituti di Torino e di Padova. Di ciò tenuto conto, i risultati ottenuti hanno consentito da un lato di trarre considerazioni di carattere generale, dall'altro di evidenziare aspetti peculiari delle aree indagate.

---

<sup>1</sup> CNR-Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica nel Bacino Padano (IRPI-TO)

### 3. SINTESI DELL'ATTIVITA' SVOLTA

#### Indagini sperimentali

⇒ La scelta del T. Moscardo (Alpi Carniche) quale corso d'acqua in cui studiare sperimentalmente le

colate detritiche, si è rilevata quanto mai valida ed opportuna. In quasi un decennio di funzionamento la strumentazione installata ha potuto registrare una serie pressochè ininterrotta di eventi di grande interesse per la variabilità della *magnitudo* delle colate e degli scrosci piovosi innescanti, delle modalità di propagazione, ecc. E' apparso quindi giustificato il progressivo potenziamento della strumentazione, reso possibile anche con integrazioni finanziarie fornite da progetti dell'Unione Europea.

⇒ La disponibilità di rilevamenti granulometrici eseguiti dagli IRPI di Torino e di Padova in occasione

di eventi di deposizione occorsi sui conoidi di 21 torrenti nel periodo 1977-1996, ha fornito lo spunto per una ricerca volta ad evidenziare analogie o differenze sedimentologiche in riferimento all'ambito geolitologico dei bacini considerati. L'indagine ha portato ad individuare significative differenze, sia nelle dimensioni e sia nella tessitura tra i sedimenti di pertinenza dolomitica e quelli provenienti da bacini costituiti da rocce scistose o cristalline massicce. Peraltro, le caratteristiche dei danni riscontrati in campo di deposizione sono risultati confrontabili.

⇒ Sulla base di dati raccolti sui volumi di sedimento depositati in occasione di circa 45 eventi di

debris flow accaduti in Alpi Orientali a partire dal XIX° secolo, campione che è parso sufficiente a fornire un quadro d'insieme dell'entità di questi processi nell'area studiata, sono state evidenziate alcune relazioni fra la magnitudo delle colate detritiche e le caratteristiche morfometriche dei bacini idrografici e dei conoidi alluvionali delle Alpi Orientali Italiane. Va sottolineato, a questo proposito, come i metodi empirici, basati su parametri morfometrici del bacino, della rete idrografica e del conoide, utilizzabili per la quantificazione della massima magnitudo dei debris flow possano fornire solo indicazioni di prima approssimazione. Tali stime approssimative, peraltro sicuramente utili, necessitano di essere integrate con dettagliati rilievi di campagna finalizzati alla caratterizzazione delle aree sorgenti di sedimento e dei fenomeni di instabilità presenti nei bacini.

Questo studio ha mostrato che i fenomeni di maggiore entità si possono verificare sia in occasione di eventi meteorici di carattere regionale sia durante precipitazioni estive spazialmente limitate. Nella quasi totalità dei casi l'innescò dei fenomeni studiati è stato determinato da piogge di elevata intensità; solo in pochi casi all'attivazione delle colate detritiche hanno concorso altri processi, non immediatamente riconducibili ad uno specifico evento di precipitazione, quali la fluidificazione di grandi frane. I debris flow di magnitudo più elevata si sono verificati solitamente in bacini caratterizzati dall'estesa presenza di depositi quaternari fortemente erodibili quali depositi glaciali e detriti di falda.

⇒ Attenzione è stata dedicata anche agli eventi pluviometrici responsabili dell'innescò di colate detritiche. Allo scopo sono stati raccolti i dati pluviometrici relativi a 25 debris flow avvenuti nelle Alpi Orientali Italiane, la maggior parte dei quali riferiti al bacino del Torrente Moscardo e i rimanenti a bacini dolomitici. Nello studio delle colate detritiche

avviene non di rado che l'assenza di pluviografi in prossimità dei siti interessati impedisca o renda di incerto significato l'analisi delle piogge responsabili dell'innescò dei fenomeni. Tale analisi è invece possibile in bacini appositamente attrezzati per il monitoraggio delle colate detritiche o, comunque, quando uno o più pluviografi siano presenti all'interno dei bacini interessati o nelle immediate vicinanze.

I dati sperimentali utilizzati, posti a confronto con linee soglia per l'innescò delle colate detritiche proposte da diversi autori, hanno portato alle seguenti osservazioni, di carattere preliminare:

- pur nell'accentuata variabilità di intensità e durata, tutti i debris flow sono stati causati da eventi pluviometrici di apprezzabile entità; anche nell'ambito degli eventi con le intensità medie più basse si sono avuti scrosci di notevole intensità.
- la maggior parte delle linee soglia per l'innescò dei debris flow individua valori di intensità più elevati di quelli che sono risultati sufficienti a determinare l'innescò delle colate detritiche nei torrenti esaminati. Si deve rilevare che queste linee si riferiscono spesso all'attivazione di colate detritiche in numerosi torrenti nell'ambito di zone piuttosto ampie e non a singole colate detritiche come nei casi esaminati.

## Indagini conoscitive a carattere regionale

⇒ L'occasione di una tesi di laurea svolta presso l'IRPI-TO avente come argomento l'individuazione dei campeggi valdostani esposti a rischi naturali, ha consentito di focalizzare una problematica cui si è sempre prestata assai scarsa attenzione. Queste le considerazioni che sono derivate da questo studio, per altro estensibili anche agli altri settori alpini: 1) i campeggi si collocano di preferenza in prossimità dei corsi d'acqua; sui conoidi alluvionali in particolare 2) l'afflusso turistico nei campeggi è massimo nell'estate (324.000 presenze nella sola Valle d'Aosta nei mesi di luglio e agosto 1997!), periodo in cui nell'ambiente alpino è molto elevata la probabilità di innescò di colate detritiche; 3) i danni possono essere molto gravi considerata anche la "fragilità" strutturale di questi insediamenti ricettivi; 4) le leggi che disciplinano i campeggi non contemplano la predisposizione di alcun piano di evacuazione ed è totalmente non considerata la necessità di informazione sui possibili rischi ai quale sono esposti gli ospiti. In via sperimentale, per un sito sono stati delineati possibili scenari di rischio e individuate le più idonee vie di fuga.

⇒ Uno studio sui centri abitati a rischio da debris flow nel Veneto\_è stata condotto secondo due filoni paralleli: per mezzo dell'interpretazione di foto aeree e attraverso l'analisi bibliografica e documentaria di eventi di dissesto avvenuti in passato nell'intero territorio della montagna veneta. Lo studio è stato quindi completato con il confronto e la disamina critica dei dati raccolti, al fine di ottenere un esauriente quadro conoscitivo dei fenomeni in esame e di valutare potenzialità e limiti del duplice approccio utilizzato. Questa indagine comparativa di dettaglio ha riguardato in particolare tre bacini dolomiti afferenti al Fiume Piave in provincia di Belluno (Boite, Maè e Cordevole), nei quali si concentrano gli episodi più gravi fra quelli che hanno riguardato il territorio veneto. Lo studio ha portato ai seguenti risultati:

- sono state individuate 36 località e frazioni colpite, ricadenti in 20 comuni;
- danni da debris flow si sono avuti in occasione di 25 eventi alluvionali, di estensione ed entità assai variabili;

- alcune località si distinguono per l'estrema gravità e la frequenza relativamente elevata dei fenomeni di colata (oltre 1000 vittime a Chiapuzza nel 1730, 12 vittime a Cancia nel 1868);
- in oltre il 50% dei centri abitati per i quali la fotointerpretazione ha segnalato condizioni di rischio  
 esistono testimonianze documentarie che confermano come fenomeni di debris flow si siano effettivamente verificati in passato;
- in circa il 30% dei casi l'individuazione di situazioni a rischio mediante la fotointerpretazione, corroborata anche da rilievi di campagna, non ha trovato riscontro in documenti testimonianti eventi di dissesto occorsi in passato. A questo proposito si deve rimarcare che la documentazione disponibile nella regione oggetto di studio, risulta limitata agli ultimi 150 anni: per i secoli precedenti sono segnalati solo gli eventi più catastrofici. Inoltre, anche nei casi in cui la documentazione storica appare più completa, non sono da escludere lacune o incertezze interpretative. Queste ultime riguardano specialmente la tipologia dei fenomeni (frane, colate detritiche, piene con trasporto solido). Questi problemi non sono specifici dell'area oggetto della ricerca ma sono stati evidenziati anche in studi relativi ad altre regioni delle Alpi Italiane;
- nei restanti casi, circa il 20% del totale, esistono informazioni documentarie su eventi di debris flow che hanno interessato centri abitati per i quali l'analisi fotointerpretativa non aveva evidenziato situazioni di rischio. Si tratta solitamente di centri abitati molto piccoli che risultano aver subito danni da corsi d'acqua minori, non di rado a carattere effimero.

Sulla base dell'esperienza condotta, si ritiene che l'osservazione e l'interpretazione di foto aeree costituiscano uno strumento idoneo per uno screening a livello regionale delle situazioni di rischio che le colate detritiche determinano per i centri abitati. L'analisi documentaria, più lenta e costosa, si conferma necessaria per integrare i risultati della fotointerpretazione nel caso di studi di dettaglio aventi finalità pianificatorie a livello locale.

Quanto all'ubicazione delle aree vulnerate, accanto ad insediamenti posti su conoide, solitamente ritenuti i più esposti a rischio, si segnalano numerosi nuclei abitati ubicati lungo i torrenti nelle parti medie e medio-inferiori dei bacini.

In merito alla ripetitività dei fenomeni risulta un chiaro prevalere di abitati per i quali è disponibile una sola segnalazione (42 casi); per cinque siti si hanno due notizie, mentre altri sette risultano essere stati colpiti tre o più volte.

## **Interventi di studio in occasione di eventi alluvionali**

In occasione di due intensi episodi pluviometrici che hanno interessato rispettivamente il contrafforte spartiacque tra Lago d'Orta e Lago Maggiore (7-8 luglio 1996) e alcune vallate laterali del medio e alto bacino della Dora Baltea (24 luglio), si sono prodotte alcune decine di colate detritiche torrentizie con gravi danni e la morte di una persona. Tra i casi osservati la colata del Rio dell'Inferno (Omegna) costituisce quello estremo per dimensioni granulometriche: in corpo di conoide il deposito della colata fuori canale è risultato costituito per il 25% di massi aventi diametro intermedio superiore al metro. In Val di Rhêmes (AO) la propagazione di alcune colate oltre il fronte del rispettivo conoide con sbarramenti parziali o totali dell'alveo del corso d'acqua recipiente e conseguenti, importanti erosioni laterali sul versante opposto.

Nel settembre del 1997 il Torrente Rudavoi (Cortina d'Ampezzo, Dolomiti) è stato interessato da una colata detritica di rilevante entità (circa 100.000 m<sup>3</sup>) che ha determinato l'asportazione del ponte della Strada Statale n. 48 causando anche una vittima. Immediatamente dopo questo evento sono stati effettuati rilievi geomorfologici e sedimentologici nel bacino e lungo l'asta torrentizia al fine di valutare gli aspetti salienti del fenomeno. Sono stati inoltre raccolti ed analizzati i dati pluviometrici registrati dai pluviografi presenti in prossimità del bacino.

A proposito dell'evento del 24 luglio 1996 in Val d'Aosta va osservato che la quota elevata dell'isoterma zero gradi ha fatto sì che anche le porzioni superiori dei bacini ricevessero precipitazioni liquide anziché nevose: per tale ragione i processi torrentizi hanno sovente preso origine in prossimità degli apparati morenici attuali. Di particolare interesse, quale testimonianza di forma d'erosione parossistica, è risultata l'eccezionale approfondimento di un modesto scaricatore del Ghiacciaio di Ormelune che ha comportato una mobilitazione di circa 300.000 m<sup>3</sup> di detriti. Quest'ultimo caso presenta singolari analogie con il grandioso fenomeno avvenuto nel settembre 1993 alla fronte del Ghiacciaio Mulinet in Val di Lanzo (TO), in condizioni meteorologiche confrontabili con quelle del luglio 1996.

La constatazione che anche nel caso della cospicua colata detritica del 31 luglio 1998 originatasi nel bacino glacializzato del T. Pra Sec (Courmayeur) l'isoterma zero si trovava a quota elevata, sembra confermare una tendenza climatica in atto da una decina di anni.

#### 4. COLLABORATORI

Hanno collaborato: Massimo Arattano, Franco Godone, Franca Maraga, Renato Massobrio, Pier Giuseppe Trebò, Domenico Tropeano, Giovanni Rivelli, Edoardo Viola, Marta Chiarle, Andrea Moscardiello, Roberta Iemmi, Ileana Corbi, Andrea Maria Deganutti, Francesco Fermon, Alessandro Pasuto, Giuseppe Peruzzo, Pia Rosella Tecca.

#### 5. PUBBLICAZIONI

Maraga F. e G. Mortara (1996): Fenomeni impulsivi di erosione e sedimentazione dei corsi d'acqua. *Il Quaternario*, 9, 221-226. Pubbl. GNDCI n.1673.

Marchi L e P.R. Tecca (1996): Hill-slope debris flows in the Dolomites: characteristics and associated risk. *Atti Int. Symp. "Interpraevent 1996" (Garmisch Partenkirchen, Deutschland)*, 3, 83-92. Pubbl. GNDCI n.1341.

Marchi L e P.R. Tecca (1996): Magnitudo delle colate detritiche nelle Alpi Orientali. *GEAM*, 33(2-3), 79-86. Pubbl. GNDCI n.1378.

Mercalli L. e G. Mortara (1997): L'alluvione del 24 settembre 1993 nella Val Grande di Lanzo- aspetti meteorologici e rischi geologici nell'ambiente glaciale della conca di Forno Alpi Graie. *Atti Convegno "Rapporto uomo-ambiente: il caso della Val Grande" (Ceres, 18 giugno 1994)*, Soc. Storica Valli di Lanzo, vol. 53, 13-19. Pubbl. GNDCI n.1758.

Maraga F., L. Marchi, G. Mortara e A. Moscariello (1998): Colate detritiche torrentizie: aspetti granulometrici e influenza sul territorio. *Mem. Soc. geol. It.*, 53,75-96. Pubbl. GNDCI n.1871.

*Nel corso del 1998, finanziato dal GNDCI (Pubbl. n. 1897), è stata ristampato anastaticamente il volume:*

“Eventi alluvionali e Frane nell’Italia Settentrionale, periodo 1972-1974”, pubblicato dall’IRPI di Torino nel 1983 e andato rapidamente in esaurimento. Il volume raccoglie unitariamente 18 lavori monografici ospitati nel Bollettino dell’Associazione Mineraria Subalpina tra il 1977 ed il 1982, per un totale di 484 pagine. Una iniziativa editoriale analoga, relativa agli eventi del periodo 1975-1981, sarà disponibile entro la prima metà del 1999, sempre con il sostegno finanziario del GNDCI.

*GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE  
CATASTROFI IDROGEOLOGICHE*

**CATALOGO BIBLIOGRAFICO-CARTOGRAFICO  
SULLE AREE INONDATE DAI CORSI D'ACQUA  
DELLA PIANURA PADANO-VENETA**

**RAPPORTO TRENNALE  
1996-1998**

U.O. 1.29

Responsabile: Dott. Giovanni Mortara (\*)

PROGETTO ARA-PIN

Giovanni Mortara e Ornella Turitto (\*)

## **1. SOMMARIO**

La partecipazione dell'U.O 1.29 all'iniziativa del GNDCI finalizzata alla realizzazione di un "Catalogo nazionale delle aree esposte a rischio più elevato" è stata occasione per ampliare notevolmente le conoscenze sulle grandi piene dei principali corsi d'acqua padano-veneti, grazie all'acquisizione di nuovo materiale bibliografico-cartografico che si è andato ad aggiungere a quello, già cospicuo, custodito presso l'IRPI di Torino. La disponibilità di questi documenti, che da soli potranno far parte integrante del Catalogo, ha inoltre consentito elaborazioni di grande interesse metodologico e applicativo.

## **2. SINTESI DELL'ATTIVITÀ SVOLTA**

Nell'ambito delle attività svolte per la costituzione del "Catalogo" di particolare interesse è stata l'acquisizione di documentazione cartografica sulla grande inondazione del Po del novembre 1801 nelle province di Mantova e Rovigo. Unitamente alla carta sono stati reperiti manoscritti con indicazioni sui luoghi colpiti nelle varie fasi dell'inondazione che, in alcuni casi, consentono di ricostruire i tempi di espansione delle acque sul piano campagna.

Altri documenti cartografici acquisiti per il Catalogo sono rappresentati dalle 70 tavole tematiche alla scala 1:10.000 realizzate dal Servizio Geologico della Regione Piemonte per documentare gli effetti delle piene che interessarono molti dei principali corsi d'acqua piemontesi nel biennio 1993-1994. L'U.O 1.29 dell'IRPI di Torino ha partecipato al lavoro curando , in particolare, la stesura e l'allestimento per la stampa

delle tavole relative alle aree inondate nel novembre 1994 lungo un tronco di circa 30 km del F. Tanaro.

Sulla base delle informazioni contenute in documenti pubblicati e inediti relativi alle più gravi inondazioni del Fiume Po è stata realizzata una sintesi degli studi condotti negli ultimi anni sui tempi di sviluppo dei principali meccanismi di rottura arginale (sormonto, sifonamento, erosione al piede) e dei processi di espansione delle acque sulla pianura.

Infine, in Val di Susa (TO) è stata avviata un'indagine conoscitiva allo scopo di mettere in luce le aree soggette a pericolo di inondazione in caso di piena straordinaria del F. Dora Riparia: dall'analisi comparata delle condizioni morfologiche del fondovalle, delle modificazioni planimetriche (naturali o artificialmente indotte) subite dal corso d'acqua, degli effetti e danni prodotti dall'ultimo grave evento di piena (giugno 1957), nonché dello sviluppo degli insediamenti urbani e della rete viaria, si cercherà di individuare le situazioni di maggiore interferenza tra dinamica fluviale e strutture antropiche.

### 3. COLLABORAZIONI

Hanno collaborato: F. Maraga, E. Viola, M. Govi, De Cristofaro M., Fortis R., A. Gallo (CNR-IRPI To); G. Bellardone, F. Forlati, M. Ramasco; G. Susella (Regione Piemonte)

### 4. PUBBLICAZIONI

Turitto O e F. Luino (1997): Campo di inondazione ed effetti indotti dalla piena del 5/11/1994 Fiume Tanaro-Torrente Belbo\_Fiume Bormida. Fiume Tanaro -tratto C. CSI Piemonte, 11 tavole alla scala 1:10.000.

Govi M. e O. Turitto (1997): Recent and past floods in Northern Italy. *ICSU SC/IDNDR Workshop (Koblenz, 1997)*, 13-32.

Govi M. e O. Turitto (1998): Grandi inondazioni lungo il Fiume Po negli ultimi due secoli: scenari che si ripetono. *Atti Conv. Intern. "La prevenzione delle catastrofi idrogeologiche: il contributo della ricerca scientifica" (Alba, 5-7 nov. 1996)*, v.2, 143-156. Pubbl. GNDCI n. 1824.

Govi M., F. Luino e O. Turitto (1998): Successione di processi evolutivi naturali in concomitanza ad eventi idrologici straordinari. *Atti Conv. Intern. "La prevenzione delle catastrofi idrogeologiche: il contributo della ricerca scientifica" (Alba, 5-7 nov. 1996)*, v.2, 261-278. Pubbl. GNDCI n. 1822.

*Nel corso del 1998, finanziato dal GNDCI (Pubbl. n. 1897), è stata ristampato anastaticamente il volume:*

"Eventi alluvionali e Frane nell'Italia Settentrionale, periodo 1972-1974", pubblicato dall'IRPI di Torino nel 1983 e andato rapidamente in esaurimento. Il volume raccoglie unitariamente 18 lavori monografici ospitati nel Bollettino dell'Associazione Mineraria

Subalpina tra il 1977 ed il 1982, per un totale di 484 pagine, molte delle quali sono dedicate agli effetti delle inondazioni, con cartografie allegate.

Una iniziativa editoriale analoga, relativa agli eventi del periodo 1975-1981, sarà disponibile entro la prima metà del 1999, sempre con il sostegno finanziario del GNDCI.

*GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE  
CATASTROFI IDROGEOLOGICHE*

**VARIAZIONE D'ALVEO CONSEGUENTI A  
FENOMENI PAROSSISTI E LORO INFLUENZA  
SULLE POSSIBILITA' DI ESONDAZIONE  
DEGLI STESSI.**

**IL MOTO VARIO NEGLI ALVEI BANCHINATI ED  
IL TRASPORTO DI SOLUTI.**

**ANALISI DEL COMPORTAMENTO DEI SISTEMI  
DI ADDUZIONE E DI DISTRIBUZIONE IDRICA  
IN CONDIZIONI DI CRISI.**

## **RAPPORTO TRENNALE 1996-1998**

U.O. 1.30

Responsabile: Prof. Ing. Vittorio Biggiero

### **1. Premesse**

L'Unità Operativa 1.30 opera, già da numerosi anni, presso il Dipartimento di Ingegneria Idraulica ed Ambientale "Girolamo Ippolito" dell'Università di Napoli "Federico II", dapprima sotto la responsabilità del compianto prof. Ing. Mario Ippolito e, successivamente, sotto la direzione del Prof. Ing. Vittorio Biggiero. L'attività di ricerca, iniziata con riferimento al solo studio dei fenomeni di esondazione che si potrebbero verificare da alvei banchinati anche a seguito di fenomeni di sovralluvionamento, si è

successivamente suddivisa, a partire dallo scorso triennio, in tre distinti filoni di ricerca, aventi per tema, rispettivamente:

1. l'esondazione dai corsi d'acqua per effetto di fenomeni di sovralluvionamento;
2. la propagazione delle piene nelle zone golenali latitanti il corso d'acqua e processi di dispersione di inquinanti
3. i rischi di deficienza idrica conseguenti a siccità o a fenomeni di inquinamento delle falde acquifere.

Ciò, in particolare, soprattutto al fine di rispondere meglio alle esigenze via via manifestatesi da parte del Dipartimento della Protezione Civile, e all'avvenuto accorpamento delle attività di ricerca svolte dalle diverse unità operative nei progetti di settore denominati ARA-PIN, ARDI-SIC, etc.

Sulla base delle attività già espletate, e dei nuovi obiettivi che il GNDICI intendeva conseguire, la ricerca è stata articolata, ancora, su tre distinte tematiche:

1. Variazioni d'alveo conseguenti a fenomeni parossistici e loro influenza sulle possibilità di esondazione dagli stessi (Responsabile Scientifico: Prof. Ing. Vittorio Biggiero);
2. Il moto vario negli alvei banchinati con pareti fisse ed il trasporto di soluti (Responsabile Scientifico: Prof. Ing. Carlo Montuori)
3. Analisi del comportamento dei sistemi di adduzione e di distribuzione idrica in condizioni di crisi (Responsabile Scientifico: Dott. Ing. Domenico Pianese)

In quanto segue, per ciascuna dei tre temi precedentemente indicati, vengono descritte le attività di ricerca e di analisi che si sono sviluppate nel corso del triennio 1996-1998.

## **RICERCA N.1**

### **TITOLO: VARIAZIONI D'ALVEO CONSEGUENTI A FENOMENI PAROSSISTICI E LORO INFLUENZA SULLE POSSIBILITÀ DI ESONDAZIONE DAGLI STESSI**

Responsabile Scientifico: Prof. Ing. Vittorio Biggiero

Membri: Dott. Ing. Renata Della Morte  
Dott. Ing. Rudy Gargano  
Dott. Ing. Domenico Pianese  
Dott. Ing. Federico Murrone

## 1. ATTIVITÀ CHE SI SONO SVILUPPATE NEL TRIENNIO 1996-1998

Obiettivo specifico della ricerca è l'analisi delle interazioni che si sviluppano tra l'alveo mobile, la corrente idrica e il trasporto di sedimenti in condizioni "parossistiche", quali:

- sovralluvionamento d'alveo per effetto di brusche immissioni di materiale solido (frane e rottura di rilevati in terra);
- esondazione dai corsi d'acqua per il contemporaneo effetto di piene e di fenomeni di sovralluvionamento, eventualmente indotti anche dalla presenza di opere (in particolare: ponti e delimitazioni d'alveo);

A tale scopo, anche in collaborazione con altre unità operative del GNDCI impegnate nei settori ARA-SBAR e ARA-PIN, si sono messi a punto dei criteri volti ad individuare il grado di dettaglio con cui affrontare lo studio dei fenomeni, in modo da distinguere i casi in cui è possibile far riferimento ad una modellazione semplificata delle interazioni alveo-sedimenti-corrente liquida (ad esempio, mediante modelli disaccoppiati, in grado di portare in conto granulometrie uniformi o, anche, disuniformi), dai casi in cui, a causa di elevati valori del numero di Froude, risulta quasi obbligatoria la modellazione mediante modelli accoppiati.

La ricerca, inoltre, è stata rivolta alla implementazione di un modello matematico di tipo numerico ed accoppiato, idoneo a portare in conto granulometrie uniformi ed omogenee, e, seppure con un approccio semplificato, il trasporto di materiale solido in condizioni non stazionarie.

Parallelamente alle attività sopra indicate, è stata avviata una sperimentazione di laboratorio volta, prevalentemente, ad individuare le condizioni che determinano l'innescò e la propagazione dei fenomeni di sovralluvionamento d'alveo e a fornire dei risultati utili alla verifica e alla eventuale taratura dei modelli matematici che saranno successivamente messi a punto.

L'installazione sperimentale è costituita da una canaletta rettangolare in acciaio con fondo e pareti in plexiglas trasparente di dimensioni 18.00 x 0.75 x 0.60 m già disponibile presso il Dipartimento, e attrezzata con un sistema per il rifornimento di materiale solido da monte e per la misura in automatico delle quote di fondo, sebbene lungo una unica direttrice e limitatamente ad un tratto della lunghezza di circa 3.50 m.

Nel corso del 1998, l'installazione è stata completata con il sistema di raccolta della portata solida, realizzato mediante un binario posto a valle della canaletta, a cui è sospeso un cestello di raccolta del materiale solido. La misura della portata solida trasportata a valle è effettuata mediante l'utilizzo di un dinamometro digitale della Chatillon di capacità pari a 150 kg.

Nel corso del triennio sono state condotte alcune prove volte a determinare la capacità di trasporto solido della corrente su fondo fisso, per granulometrie uniformi variabili da 0.2 mm a 5 mm. Inoltre, sono state effettuate un numero notevole di esperienze al fine di analizzare la capacità di rimozione di depositi di sedimenti già presenti sul fondo fisso del canale.

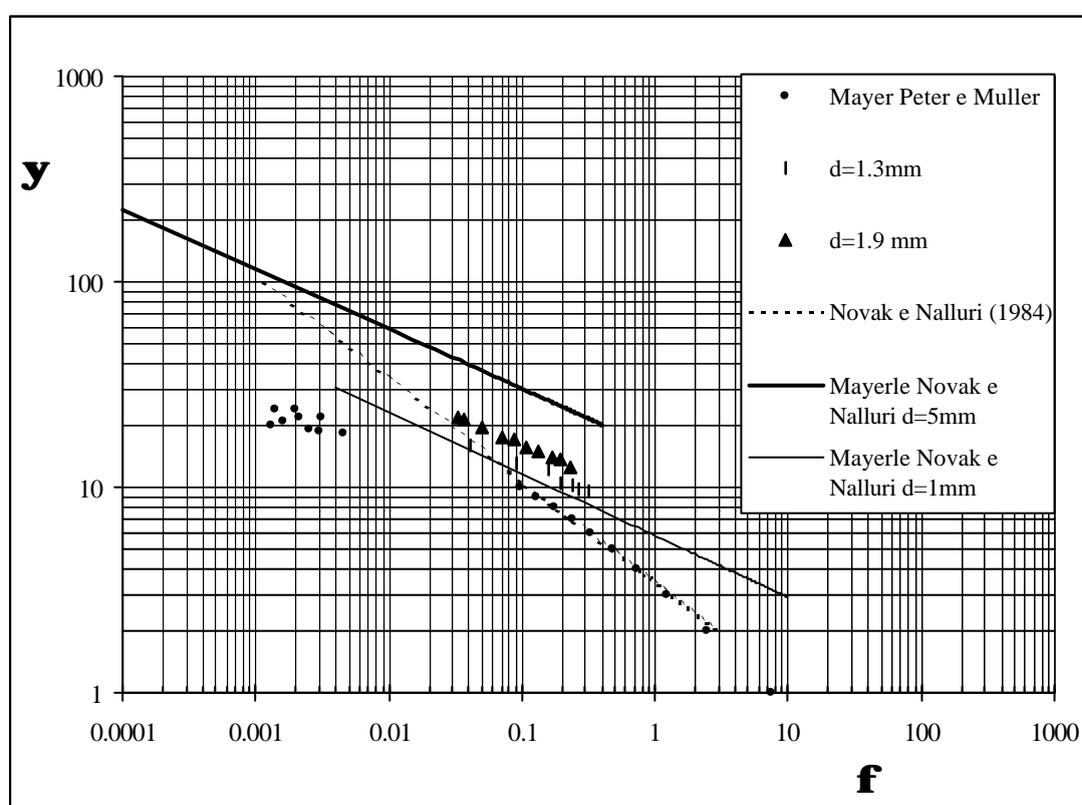
Un ulteriore set di prove è stato, inoltre, disposto al fine di procedere alla taratura del sistema di rifornimento del materiale solido, al variare della granulometria delle particelle e del grado di umidità delle stesse. In particolare, sono state utilizzate tre diverse

granulometrie, comprese tra 0.2 e 2.4 mm, per tre differenti condizioni di umidità del materiale.

Eseguita la taratura del sistema, è stata avviata un'ampia indagine sperimentale mirante a definire la massima capacità di trasporto della corrente su fondo fisso e liscio, al variare delle caratteristiche fisiche e geometriche dei sedimenti, nonché della pendenza di fondo del canale.

Le prove ad oggi eseguite, con materiale solido di diametro  $d_{50}$  pari a 0.5 mm, 1.3 mm e 1.9 mm mostrano che la capacità di trasporto della corrente è fortemente dipendente dalla granulometria dei sedimenti.

I dati sperimentali sono stati opportunamente elaborati in funzione del parametro di trasporto  $\Phi$  e di quello della corrente  $\Psi$ , e riportati, nel piano logaritmico, insieme ai risultati disponibili in letteratura su fondo fisso e liscio (Pedroli, 1963; Novak e Nalluri, 1974, 1984; Mayerle, Novak e Nalluri, 1991), riscontrando un sostanziale accordo con i dati su citati. Si è, infine, proposta una relazione di semplice applicazione per la valutazione della capacità di trasporto della corrente su fondo fisso.



## 2. Bibliografia

Biggiero, V. e Della Morte, R. (1996). "Rimozione di depositi al fondo di tratti rivestiti". Atti del XXV Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Vol. II, p 145, Torino, 16-18 settembre.

Pianese, D. (1998) "Sistemazioni naturalistiche dei corsi d'acqua e fenomeni idraulici connessi." I Corso di Aggiornamento: L'Ingegneria Naturalistica nella Difesa del Suolo. Esperienze in ambito Mediterraneo. Gruppo Promotore AIPIN Campania. Certosa di San Lorenzo - Padula (SA), 12-13 Novembre 1998.

Della Morte, R.: "Tempi di rimozione di depositi granulari incoerenti." Riunione annuale del Gruppo Nazionale MURST: 'Morfodinamica fluviale e costiera'. Trento, luglio 1998.

Pianese, D. (1999) : "Mathematical Modeling of Flow Propagation over a Mobile Bed". Sottomesso per la stampa su Journal of Hydraulic Engineering, ASCE.

## RICERCA N.2

### TITOLO: IL MOTO VARIO NEGLI ALVEI BANCHINATI ED IL TRASPORTO DI SOLUTI

Responsabile Scientifico: Prof. Ing. Carlo Montuori

Membri: Prof. Ing. Massimo Greco

Prof. Ing. Umberto Mario Golia

Ing. Armando Carravetta

Ing. Angelo Leopardi

## 1. ATTIVITÀ CHE SI SONO SVILUPPATE NEL TRIENNIO 1996-1998

La ricerca ha perseguito i due aspetti relativi allo studio delle correnti a superficie libera propri del finanziamento in oggetto:

i fenomeni di esondazione delle piene nelle zone golenali;

la diffusione di inquinanti.

Lo sviluppo di entrambe le tematiche è stato svolto per via numerica attraverso la predisposizione di codici basati su schemi teorici appropriati dei fenomeni in questione, dei quali si dirà in maggior dettaglio.

Di indubbio interesse è stata la disponibilità del programma TELEMAT 2D, sviluppato dalla Electricité de France e acquistato con precedenti finanziamenti del gruppo, basato sulla risoluzione agli elementi finiti delle equazioni shallow water e dell'equazione bidimensionale della diffusione turbolenta. I risultati di tale programma hanno consentito il confronto con quelli ottenuti dai codici di calcolo sviluppati nell'ambito della U.O.L.. Il confronto ha costituito, innanzitutto, una verifica di questi ultimi ed ha consentito di evidenziare alcuni pregi che tali codici presentano rispetto a TELEMAT.

Nell'ambito della prima tematica ci si è presto accorti che TELEMAT difficilmente si prestava a trattare i campi di moto propri di alcuni alvei a sezione mistilinea. In particolare, la presenza di pareti laterali quasi verticali nella savanella determinava instabilità numeriche non controllabili nelle soluzioni offerte da TELEMAT allorché la corrente esondava propagandosi sulle banchine. Certamente, la presenza di variazioni brusche nella forma del canale da luogo, nel corso dei fenomeni di piena, a condizioni idrodinamiche male simulabili per la particolare formulazione shallow water lì adottata.

Si determinava, pertanto, la necessità di sviluppare un codice di calcolo più appropriato, basato su di un diverso schema teorico. Nel contempo, appariva determinante che il nuovo codice offrisse un notevole semplicità di impiego, assolutamente necessaria nella gestione delle emergenze idriche.

Lo schema teorico ha inteso accoppiare ad una descrizione monodimensionale del moto nella savanella una descrizione bidimensionale nelle aree golenali. Sia il modello monodimensionale per la risoluzione delle equazioni del De Saint Venant, che il modello bidimensionale utilizzano uno schema ai volumi finiti. Gli scambi di volumi idrici, dalla savanella alle aree golenali, durante l'inondazione, ed in verso opposto al diminuire della portata di piena, sono regolati mediante una formula tipo stramazzone, ma tenendo conto degli scambi di quantità di moto tra le due correnti

Il codice di calcolo FIVFLOOD, basato su detto modello teorico, risolve il campo di moto mediante uno schema di integrazione numerica che impiega una formulazione predictor-corrector.

I risultati del modello [5] [8] sono stati verificati con risultati sperimentali reperiti in letteratura, relativi alla propagazione di un'onda di rottura di diga in un alveo in pendenza, con fondo fisso e scabro. In figura 1 è mostrato l'andamento temporale delle portate defluenti in alveo durante il fenomeno di dam-break.

L'applicazione del modello a fenomeni di esondazione ha fornito risultati estremamente promettenti. A titolo di esempio, in relazione alla propagazione di un'onda di piena nel canale mostrato in figura 2a, le isolinee rappresentate in figura 2b mostrano la localizzazione delle aree inondate previste dal modello.

Il modello proposto ha fornito, dunque, risultati in accordo con l'evidenza sperimentale, con oneri computazionali non troppo elevati. Una contemporanea indagine, riportata ancora in [5] e [8], ha consentito di verificare come alcuni tipi di modelli semiconcettuali consentono, con significativa riduzione dell'impegno di calcolo, di ottenere dei risultati sufficientemente prossimi a quello ottenuto dal modello completo, almeno nella fase di espansione dell'inondazione alle aree asciutte.

In merito alla seconda tematica, quella relativa al trasporto di soluti, sono stati analizzati due aspetti: la accuratezza relativa degli schemi numerici comunemente utilizzati nella risoluzione della equazione della diffusione turbolenta; l'influenza di alcune ipotesi semplificative usuali nella risoluzione sull'andamento del processo dispersivo.

Premessa indispensabile è stata la ideazione di un criterio obiettivo per il confronto tra le soluzioni dei modelli numerici utilizzati. Il confronto è spesso assai difficile, anche nei casi di studio più semplici che di norma vengono utilizzati come prima verifica in fase di compilazione dei codici di calcolo, per i piccolissimi scarti che in quei casi si realizzano.

Si è pertanto sviluppato un criterio di confronto basato sulla disponibilità in alcuni casi di una soluzione esatta del processo di trasporto di un soluto inerte in una corrente, fornita da Aris in termini di momenti. Si è mostrato [4] che il confronto dei momenti di ordine successivo della soluzione esatta con quelli delle diverse soluzioni numeriche è in grado di evidenziare la diversa accuratezza di tali soluzioni. Particolarmente significativo è anche il confronto tra alcune grandezze parametriche che sono determinabili a partire da tali momenti.

In figura 3 sono mostrate le piccolissime differenze, in termini di concentrazione media nel canale, ottenute con tre diversi schemi di calcolo, up-wind, alla Holly e Preissmann e alla Mc Cormack, implementati in programmi sviluppati nell'ambito della Unità Operativa Locale. In Tabella I sono mostrati i valori della massa, della posizione del centro di massa, dello scarto quadratico medio, dei coefficienti di asimmetria e curtosi, relativi alla soluzione esatta ed alle soluzioni numeriche. Si nota come lo schema alla Holly e Preissmann, che è da ritenersi il più accurato tra i tre, mostri effettivamente gli scarti minori con la soluzione esatta.

Tabella I

	Mac Corm.	Holly Preis.	Upwind	Aris	$\Delta\%$	$\Delta\%$	$\Delta\%$
					Mac Corm.	Holly-Preis.	Upwind
$\delta$	1,0000591	1,0000532	1,000059	1			
X	0,000168	0,000123	0,000151	-0,00009			
$\sigma$	145,0176	145,0247	150,7363	145,0172	0,000	0,005	3,944
$\gamma$	0,000493	-0,001102	0,000505	-0,001127	143,744	2,218	144,809
$\chi$	1,845777	1,845982	2,011147	1,84580	-0,001	0,010	8,958

Successivamente [7] si è voluto analizzare quale influenza avessero le distribuzioni trasversali di velocità e di diffusività sul processo di dispersione di un soluto inerte immesso in alveo larghissimo. A tale scopo si applicato un modello di trasporto bidimensionale con schema di integrazione alla Holly e Preissmann, per il calcolo nella propagazione di un soluto all'interno del canale triangolare larghissimo di figura 4, nel quale si è ipotizzato di poter risolvere il campo di moto con la formulazione shallow water. I calcoli sono stati ripetuti con riferimento alle distribuzioni assegnate nelle figure 5 e 6. Il confronto tra le soluzioni del processo di trasporto mostrate nelle figure 7 e 8, riferite alle diverse distribuzioni assunte a base dei calcoli, hanno mostrato come, almeno nel caso considerato, sia più importante determinare correttamente la distribuzione di velocità che quella di diffusività. Questo risultato dà maggior valore alla scelta di impiegare la formulazione shallow water per la risoluzione del campo di moto nei modelli di qualità; in tale formulazione, infatti, l'assenza di sforzi diversi da quelli al fondo non consente una valutazione accurata dei termini diffusivi trasversali.

## Bibliografia

Golia U.M.: "Su alcune particolarità dei profili di corrente a volume costante e sul loro impiego nella gestione degli alvei", Scritti in onore di Mario Ippolito, Napoli, Maggio 1996.

Greco M., Leopardi A.: "Considerazioni su alcuni schemi numerici semplici per il trasporto convettivo", Quaderno n. 835 del Dipartimento di Ingegneria Idraulica ed Ambientale "Girolamo Ippolito", CUEN Editore, Napoli, 1997.

Greco M., Di Cristo C.: "Un metodo per il calcolo dei processi convettivo - diffusivi stabile e accurato", XI Convegno Italiano di Meccanica Computazionale (GIMC'98), Trento, luglio 1998.

Greco M., Carravetta A., Leopardi A.: "Una metodologia di confronto tra soluzioni numeriche dell'equazione della diffusione turbolenta", Atti del XXVI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Catania, settembre 1998.

Greco M., Oliveri E., Leopardi A.: "La delimitazione delle aree di inondazione", Atti delle Giornate di Studio su "La Difesa Idraulica del Territorio", Trieste, settembre 1999.

Leopardi A.: "Sul tracciamento del profilo di corrente negli alvei di piena", Atti delle Giornate di Studio su "La Difesa Idraulica del Territorio", Trieste, settembre 1999.

Greco M., Carravetta A., Leopardi A., Di Cristo C.: "Dispersione di soluti in alveo largo – Influenza delle distribuzioni trasversali di diffusività e di velocità", *L'Energia Elettrica*, 1999.

Greco M., Olivieri E., Leopardi A.: "Computation of flooded areas", presentato al *J. Hydraulic Research, IAHR*.

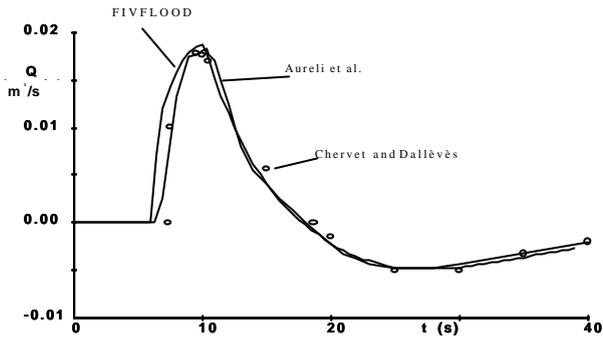


Fig.1: Portate in alveo durante il Dam Break

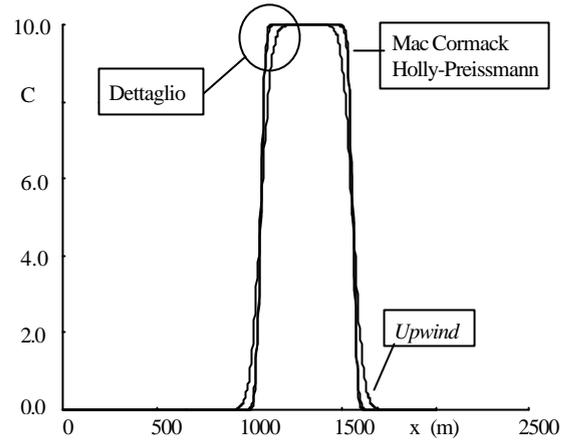


Fig. 3a: Concentrazioni medie calcolate

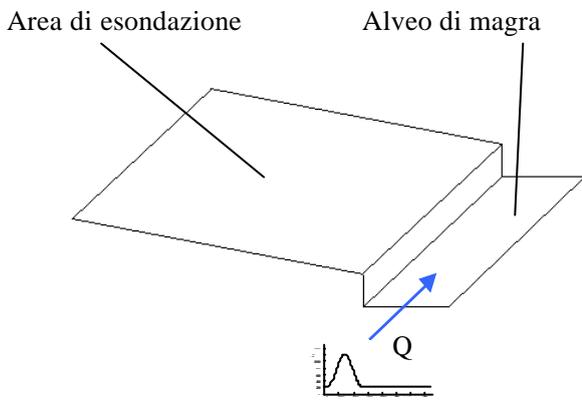


Fig. 2a: Forma del canale

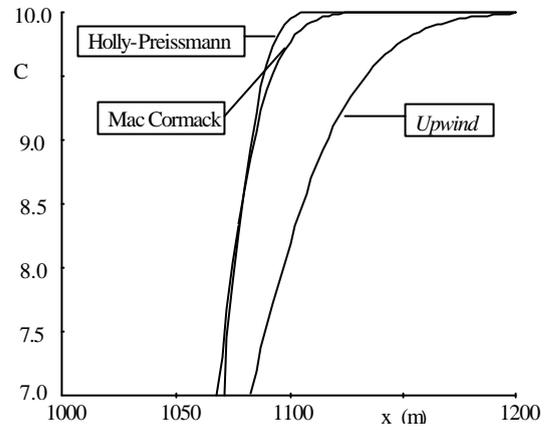


Fig. 3b: Dettaglio di figura 3a

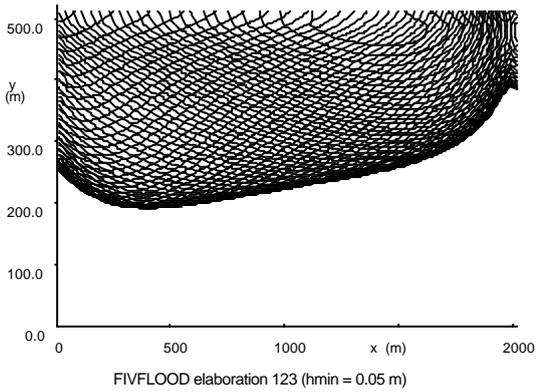


Fig. 2b: Estensione dell'area di inondazione

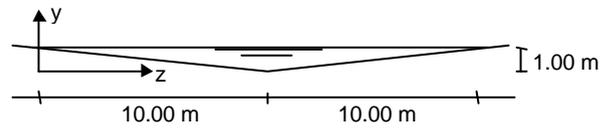
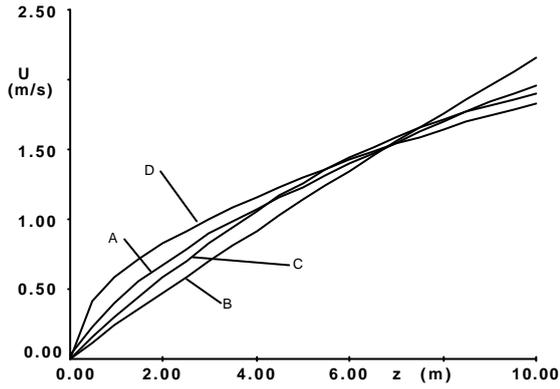
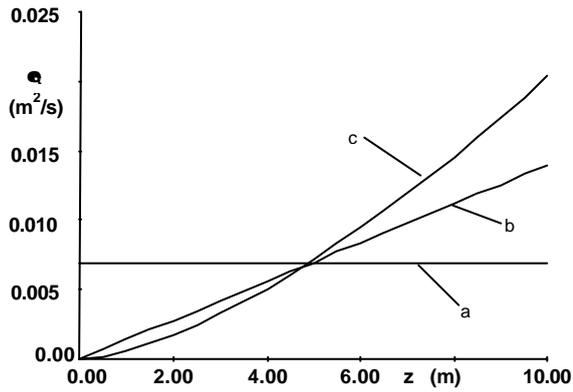


Fig 4: Sezione del canale



A)  $U(z) = 0.215 \cdot K_{St} \cdot \sqrt{S} \cdot z^{2/3}$   
 B)  $U(z) = 0.241357 \cdot z - 0.002636 \cdot z^2$   
 C)  $U(z) = 0.316 \cdot z - 0.0126 \cdot z^2$   
 D)  $U(z) = 0.581487 \cdot \sqrt{z}$

FIG 5: DISTRIBUZIONI TRASVERSALI VELOCITÀ



a)  $e = 0.23 \cdot \sqrt{g \cdot S} \cdot h_m^{3/2} = 0.007 \text{ m}^2 / \text{s}$   
 b)  $e = 0.23 \cdot \sqrt{g \cdot S} \cdot h_m \cdot h(z) = 0.0014 \cdot z$   
 c)  $e = 0.23 \cdot \sqrt{g \cdot S} \cdot h(z) \cdot h(z) = 0.00063 \cdot z^{1.51}$

Fig. 6: Distribuzioni trasversali di diffusività

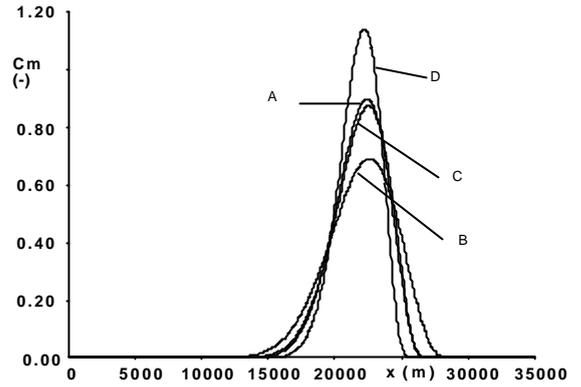


Fig 7: Concentrazioni medie al variare di V(z)

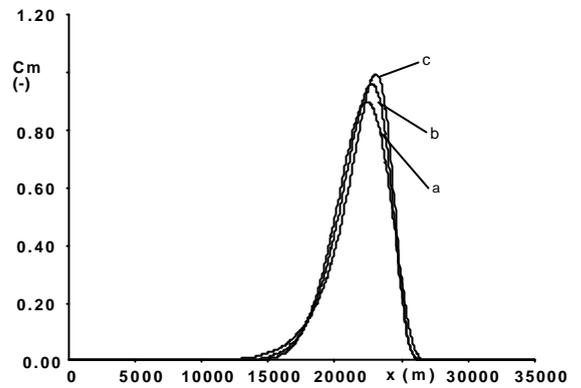


Fig 8: Concentrazioni medie al variare di (z)

## RICERCA N. 3

### TITOLO: ANALISI DEL COMPORTAMENTO DEI SISTEMI DI ADDUZIONE E DI DISTRIBUZIONE IDRICA IN CONDIZIONI DI CRISI

Responsabile Scientifico: Dott. Ing. Domenico Pianese

Membri: Prof. Ing. Vittorio Biggiero  
Dott. Ing. Renata Della Morte  
Dott. Ing. Rudy Gargano  
Dott. Ing. Riccardo Martino  
Dott. Ing. Francesco Pirozzi  
Prof. Ing. Carmine Sabatino  
Prof. Ing. Lucio Tagliatela

## 1. ATTIVITÀ CHE SI SONO SVILUPPATE NEL TRIENNIO 1995-1998

Scopo della ricerca è la individuazione delle condizioni, legate alla topologia dei sistemi acquedottistici, alle richieste dell'utenza e alle caratteristiche di qualità delle acque immesse nelle reti di distribuzione idrica, per cui può verificarsi una crisi nella distribuzione di portate per uso potabile.

Per il conseguimento di tale obiettivo, si è cercato di definire un approccio metodologico per la valutazione dell'affidabilità dei sistemi acquedottistici, da applicare sia nella fase di progettazione dei sistemi di distribuzione idrica in pressione che per la verifica delle prestazioni offerte da opere di adduzione e di distribuzione già realizzate ed in servizio.

A tale proposito, va infatti osservato che la valutazione dell' "affidabilità" del sistema, qui intesa come la capacità, da parte dello stesso, di soddisfare almeno una parte delle esigenze dell'utenza, risultando fondata sulla valutazione di indici di prestazione locali e globali, si presenta come un utile strumento per individuare i punti critici di un sistema acquedottistico, e suggerire gli interventi gestionali e strutturali più opportuni per la riabilitazione dello stesso.

Parallelamente, allo scopo di garantire una distribuzione idrica efficace non solo da un punto di vista quantitativo, ma anche dal punto di vista della qualità delle acque distribuite, si è messa a punto una metodologia per l'individuazione di zone soggette a rischio di contaminazione.

## Risultati

Per quanto riguarda il primo aspetto, quantitativo, nel *triennio* di ricerca si è analizzata l'affidabilità delle reti di distribuzione idrica in relazione ai diversi fattori che possono essere causa di deficienze nel servizio di erogazione per scopi idropotabili. In particolare, lo studio dell'affidabilità è stato volto a definire, in termini oggettivi, la capacità della rete di distribuzione di soddisfare pienamente (in termini di portate e carichi piezometrici) e continuamente nel tempo la richiesta dell'utenza, indipendentemente dalla variabilità della domanda.

A tale fine, è stato proposto un approccio di tipo probabilistico che, partendo dalla conoscenza della struttura stocastica della domanda dell'utenza, consentisse, mediante simulazione diretta del funzionamento del sistema, di individuare l'affidabilità idraulica del sistema sulla base di un'analisi statistica di indici di prestazione, opportunamente definiti, in grado di sintetizzare le "performances" offerte dal sistema nelle diverse situazioni in cui quest'ultimo può venire a ritrovarsi durante il normale esercizio [1]. L'approccio è stato esteso in modo tale da portare in

debito conto anche l'influenza dell'affidabilità meccanica dei diversi componenti (tubazioni, giunti, valvole, etc.).

Procedendo in tal modo, si è potuto evincere che, per i sistemi idraulici pluriconnessi, l'incidenza, sull'affidabilità globale, dell'affidabilità idraulica, è preponderante rispetto a quello dell'affidabilità meccanica.

Per quanto riguarda il secondo aspetto, legato alla qualità delle acque distribuite è stato messo a punto un modello matematico per la valutazione delle variazioni delle caratteristiche di qualità delle acque circolanti all'interno di sistemi idrici in pressione in conseguenza di mescolamenti, reazioni, ecc. [2] [3].

Il modello proposto è idoneo a portare in conto sia contaminanti di tipo conservativo che di tipo non conservativo, quali ad esempio il cloro, e si presenta come uno strumento sufficientemente duttile per le successive applicazioni. La possibilità di applicazione del modello è stata verificata alla luce di risultati di laboratorio disponibili in letteratura.

Infine, allo scopo di individuare lo schema di rete di distribuzione idrica da prendere a riferimento nelle successive applicazioni, si è proposto un approccio multilivello per la progressiva riduzione del grado di complessità delle reti idriche [5].

## Bibliografia

*D. Pianese, F. Pirozzi e L. Tagliatela, "Mathematical modelling of water quality in distribution systems"- XXVII Congresso I.A.H.R. - San Francisco, CA, 10-15 Agosto 1997.*

*D. Pianese, F. Pirozzi e L. Tagliatela, "Influence of distinct processes on the quality of water in distribution systems" - XXVII Congresso I.A.H.R. - San Francisco, CA, 10-15 Agosto 1997*

*Gargano, R., Pianese, D. (1998). 'Influence of Hydraulic and Mechanical Reliability on the overall Reliability of water networks.' Memoria inviata ed accettata per la stampa sui Proceedings of the 28th IAHR Congress - Graz, Austria, 22-27 august, 1999. (edita anche nella Collana del Dipartimento di Ingegneria Idraulica ed Ambientale "Girolamo Ippolito" dell'Università di Napoli "Federico II", Pubbl. n. 867).*

*Gargano, R., Pianese, D. (1998). 'Reliability as a tool for hydraulic networks planning.' Memoria inviata al Journal of Hydraulic Engineering dell'ASCE (American Society of Civil Engineers). Parzialmente accettata per la pubblicazione (edita anche nella Collana del Dipartimento di Ingegneria Idraulica ed Ambientale "Girolamo Ippolito" dell'Università di Napoli "Federico II", Pubbl. n. 865).*

*Pianese, D. (1998). 'Progressive Approach for Hydraulic Network's Complexity Reduction..' Memoria presentata ad Oporto, il 26 giugno 1998, nel corso del meeting conclusivo del gruppo di ricerca europeo "WATERNET" e pubblicata sugli "ACTA" del Convegno stesso depositati presso la Comunità Europea (edita anche nella Collana del Dipartimento di Ingegneria Idraulica ed Ambientale "Girolamo Ippolito" dell'Università di Napoli "Federico II", Pubbl. n. 871).*

*Gargano, R., Pianese, D. (1998). 'Incidenza dell'affidabilità meccanica sull'affidabilità complessiva delle reti di distribuzione idrica.' Memoria inviata ed accettata per la stampa sul Vol. 5 degli Atti del XXVI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche. Catania, 20-22 settembre (edita anche nella Collana del Dipartimento di Ingegneria Idraulica ed Ambientale "Girolamo Ippolito" dell'Università di Napoli "Federico II", Pubbl. n. 866).*

*Pianese, D., Pirozzi, F., e Tagliatela, L. (1998). 'Modellazione matematica dei processi di alterazione delle caratteristiche di qualità delle acque defluenti nei sistemi di adduzione e di*

*distribuzione idrica in pressione" Memoria inviata ed accettata per la stampa sul Vol. 5 degli Atti del XXVI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche. Catania, 20-22 settembre (edita anche nella Collana del Dipartimento di Ingegneria Idraulica ed Ambientale "Girolamo Ippolito" dell'Università di Napoli "Federico II", Pubbl. n. 869).*

# GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE CATASTROFI IDROGEOLOGICHE

## LA SIMULAZIONE DELLA SICCIITA' ATTRVERSO MODELLI STOCASTICI

Claudio Arena, Marcella Cannarozzo, Mario Rosario Mazzola

### RAPPORTO TRENNALE 1996-1998

U.O. 1.32

Responsabile: Prof. Mario Rosario Mazzola

#### 1. Sommario.

Vengono presentati due modelli di generazione di serie sintetiche di deflusso esistenti in letteratura che nella loro formulazione tengono conto in modo esplicito di alcuni aspetti del fenomeno siccitoso. E' stata studiata la loro applicabilità ad un corso d'acqua caratteristico dell'idrologia della Sicilia Occidentale. Uno dei due modelli è stato poi confrontato con altri modelli di generazione di serie sintetiche di deflusso più comunemente utilizzati allo scopo di metterne in evidenza le peculiarità.

#### 2. INTRODUZIONE

L'idrologia "operazionale" ha dedicato, finora, scarsa attenzione alla messa a punto di modelli in grado di riprodurre le caratteristiche delle siccità storiche: questo atteggiamento è sicuramente legato alla convinzione che, se un modello di generazione di serie sintetiche di deflussi è in grado di riprodurre fedelmente le caratteristiche di variabilità temporale di una certa risorsa, esso è automaticamente in grado di incorporare la siccità come espressione di tale variabilità. In effetti, confrontando le più comuni tecniche di generazione di serie sintetiche, è stato dimostrato (Askew *et al.*, 1971) che non è così. Questa questione riveste particolare importanza in aree, come la Sicilia, ove recentemente si sono verificate gravi carenze idriche, di certo non imputabili solamente a insufficienze di tipo infrastrutturale. Sono disponibili in letteratura due modelli di generazione di serie sintetiche di deflusso annuo che incorporano alcuni aspetti di questo complesso fenomeno. nel seguito verrà mostrato quello utilizzabile per un corso d'acqua siciliano e verrà istituito un confronto con altri modelli idrologici.

#### 3. SINTESI DELL'ATTIVITA' SVOLTA

E' stata studiata la possibilità di applicazione di due modelli di generazione di serie sintetiche di deflusso ai corsi d'acqua siciliani. dei due modelli esaminati, il secondo, chiamato Markov mixture model (M.m.m.), costituisce sicuramente quello di più ampia e generale applicabilità. Esso si presenta come un'interessante alternativa ad altri tipi di modelli comunemente utilizzati per il territorio siciliano, data anche la semplicità di applicazione; esso infatti, oltre a conservare in modo soddisfacente la media e lo s.q.m. del campione, che è quanto si richiede comunemente ad un

modello monovariato come quello utilizzato per il confronto, mostra una maggiore, anche se lieve, attitudine a riprodurre le caratteristiche principali delle più gravose siccità storiche.

Questi risultati sono stati ottenuti applicando il M.m.m., un modello regressivo afflussi-deflussi ed un modello multivariato intermittente a scala mensile, (Rossi et al.,1995), alla serie dei deflussi registrati nella stazione di S. Leonardo a Monumentale, lunga cinquantatre anni (1928-1980).

Nelle prime due colonne di Tab.1 sono riportati la media e lo s.q.m. della serie storica e la media dei suddetti statistici delle serie sintetiche generate con i diversi modelli; questi valori mostrano innanzitutto che il M.m.m. è in grado di conservare in modo molto soddisfacente la media e lo scarto quadratico medio del campione. Nelle altre colonne sono riportati i valori della massima durata della siccità ( $d_{max}$ ), della massima severità ( $s_{max}$ ) e della massima intensità ( $i_{max}$ ) per la serie storica e per il modello intermittente e i valori Max ( $d_{max}$ ), Max( $s_{max}$ ) e Max( $i_{max}$ ) tra i valori riscontrati nei 100 gruppi, di 150 serie ciascuno, generate con gli altri modelli esaminati. Dal confronto tra questi valori emerge una particolare attitudine del M.m.m. a riprodurre la severità delle siccità storiche, ciò sia con riferimento al modello intermittente, sia rispetto al modello regressivo. Restrungendo l'attenzione al confronto con quest'ultimo, per il quale l'analisi è stata condotta in modo più approfondito, si può affermare che il M.m.m. è in grado di riprodurre meglio del modello regressivo le caratteristiche di durata e di severità della più grave siccità storica, anche se non riesce a raggiungerle.

Tabella I - Confronto tra le caratteristiche delle serie storiche e generate

	media	s.q.m	max durata	max severità	max intensità
	[Mm3]	[Mm3]	[anni]	[Mm3]	[Mm3/anno]
serie storica 1958-80	87.35	45.61	3.00	112.49	56.25
M.m.m. (a)	85.77	40.61	4.37	157.82	52.67
Modello intermittente	87.05	34.38	4.62	107.83	36.75
Serie storica 1928-80	89.38	40.34	7.00	238.5	69.14
Modello regressivo	90.15	38.70	5.78	207.46	72.77
M.m.m.(b)	89.40	42.15	6.58	223.17	69.88

Possibili sviluppi sono costituiti dall'uso di dati a scala regionale, p.e. l'intera Sicilia Nord-Occidentale, per la taratura del modello, in modo da soddisfare contemporaneamente l'esigenza di disporre di più dati per una rigorosa stima dei parametri e di tener conto della natura regionale e non puntuale dei fenomeni siccitosi. Inoltre, la riduzione della scala temporale del modello, da annuale a mensile, ne consentirebbe l'uso anche in modelli di gestione.

## *GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE CATASTROFI IDROGEOLOGICHE*

### **EVENTI IDROLOGICI ESTREMI E DINAMICA DEI PROCESSI DI VERSANTE**

# E D'ALVEO IN AMBIENTE MONTANO

Baldassare Bacchi, Marco Pilotti e Roberto Ranzi

## RAPPORTO TRENNALE 1996-1998

U.O. 1.33

Responsabile: Prof. Baldassare Bacchi<sup>2</sup>

### SOMMARIO

Le attività svolte dall'Unità Operativa nel corso del triennio 1996 -1998 hanno riguardato quattro progetti di ricerca specifici denominati, rispettivamente, "Progetto VAPI", "Reti di monitoraggio meteorologiche-METEO", "Modellistica Idrologica degli eventi di piena-MIEP" e ARA-SBAR.

Per quanto riguarda il progetto VAPI ha visto le stampe la monografia, edita dal CNR-GNDCI, sullo *Studio dei criteri di progettazione delle reti pluviometriche*, frutto di precedenti anni di studio e lavoro sull'argomento. Il responsabile dell'U.O. ha inoltre attivamente lavorato alla revisione al *Rapporto VAPI del Triveneto*, attualmente in fase di stampa. Lo studio sulla regionalizzazione delle precipitazioni intense nelle province di Brescia, Bergamo e Sondrio, recentemente aggiornato e completato, ed lo studio delle portate di piena nella medesima regione sono stati consegnati all'Amministrazione della Provincia di Brescia ai fini della redazione del *Piano Provinciale di Previsione e Prevenzione di Protezione Civile*. Si è, infine, avviata la ricerca sulla stima delle *curve di riduzione dei volumi di piena di durata assegnata*.

In seno al progetto METEO sono state studiate le proprietà di *organizzazione spaziale dei campi di precipitazione* osservati da radar meteorologico, tecnologia che, anche in Italia, si è mostrata potenzialmente utile a scopi operativi, soprattutto nella previsione a breve termine di eventi temporaleschi localizzati. Inoltre l'U.O. si è presa carico del coordinamento, in sede internazionale, delle attività di interesse idrologico nell'ambito del *Progetto MAP (Mesoscale Alpine Programme)* che nel settembre 1999 ha visto l'inizio di una campagna sperimentale di vasta scala sull'arco alpino.

Nell'ambito del progetto MIEP si è inteso, da un lato, studiare i possibili effetti dell'antropizzazione sulla formazione delle piene, e, dall'altro, si è completato il monitoraggio, su base decennale, tramite immagini del satellite NOAA-AVHRR, delle aree di copertura nivale ai fini della stima dei possibili contributi alle piene da parte dello scioglimento nivale nei bacini alpini. Di interesse comune al progetto METEO è stata l'attività di ricerca sull'utilizzo accoppiato di previsioni meteorologiche numeriche e modelli idrologici, ai fini della previsione di piena in 'tempo-reale'. Questa attività è attualmente in fase di sperimentazione pseudo-operativa.

### SINTESI DELL'ATTIVITA' SVOLTA E DEI RISULTATI

---

<sup>2</sup>Dipartimento di Ingegneria Civile, Università di Brescia, Via Branze 38, CAP 25123 - BRESCIA

## CONSEGUITI

In ciascuno dei progetti menzionati è stata sviluppata dell'attività di ricerca, sia applicata, sia di base, mantenendo una sostanziale coerenza interna del tema di indagine, connessa 'in generale' all'analisi dei campi di precipitazione e dei processi di formazione delle piene, con particolare attenzione ai bacini in ambiente montano. L'attività del gruppo di lavoro, come di seguito illustrato, ha però spaziato su differenti argomenti di ricerca, prestando anche attenzione all'attività di trasferimento dei risultati della ricerca alle potenziali utenze.

### Progetto VAPI

Nel corso del triennio è stata aggiornata la base dei dati e sono state perfezionate le tecniche di stima, a scala locale e regionale, della distribuzione di probabilità delle precipitazioni intense di durata compresa tra 1 ora e 24 ore nelle province di Brescia, Bergamo e Sondrio (Bacchi e Ranzi, 1996a). Questa ricerca si è inquadrata anche in una collaborazione con la Provincia di Brescia per la redazione del *Piano Provinciale di Previsione e Prevenzione di Protezione Civile*. Utilizzando le metodologie suggerite dal progetto VAPI ed esplorandone alcune di esse complementari, o alternative, si è pervenuti alla mappatura, su quell'area, delle altezze di precipitazione al variare della durata e del tempo di ritorno. Da un punto di vista teorico, la ricerca si è concentrata sulla formulazione delle fasce di confidenza dei quantili di altezza di precipitazione di durata e tempo di ritorno assegnati, stimati con un modello di Gumbel scala-invariante. Inoltre è stata soggetta a test statistico l'ipotesi di invarianza di scala semplice (o di uniformità del coefficiente di variazione al variare della durata). I risultati più recenti sembrerebbero far propendere verso la non accettabilità di tale ipotesi. Inoltre non potrebbe essere rifiutata l'ipotesi statistica che nella Lombardia orientale e territori limitrofi si possano distinguere due regioni omogenee, quella di pianura e quella montana, rispetto al coefficiente di variazione medio interdurata, risultato più elevato in pianura (0.38), fino a 250 metri di quota, rispetto alla zona montuosa (0.31). Alla luce delle più recenti analisi dei dati, per una stima speditiva dei parametri delle linee segnalatrici di tipo scala-invariante sono stati stimati i parametri di due relazioni che esprimono la variabilità dei parametri  $m_1$  (media delle precipitazioni orarie) ed  $n_1$  (esponente di scala delle linee segnalatrici) con la quota:

$$m_1 = 13.54 + 15.26 \exp(-0.00085H) \quad (1)$$

$$n_1 = 0.547 - 0.3088 \exp(-0.0011H) \quad (2)$$

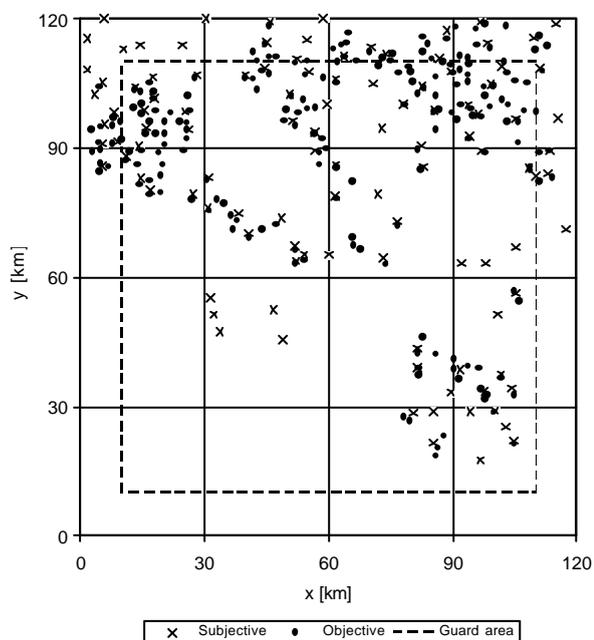
per  $50 \leq H \leq 2500$  m s.l.m.

Riguardo alla stima delle *curve di riduzione dei volumi di piena di durata assegnata* sono state confrontate metodologie basate sull'analisi delle proprietà statistiche del processo degli attraversamenti di soglie di portata elevate, con quelle caratterizzate da un unico fattore di crescita, regionale, della distribuzione di probabilità delle portate massime annuali di assegnata durata, assunto coincidente con quello delle portate massime istantanee. Allo scopo sono state raccolte alcune serie storiche di idrogrammi di piena relativi a sette sezioni idrometriche nell'Appennino Emilano-Romagnolo e nelle Alpi, e alcuni significativi eventi di piena in qualche bacino dell'area alpina, a monte di serbatoi idroelettrici.

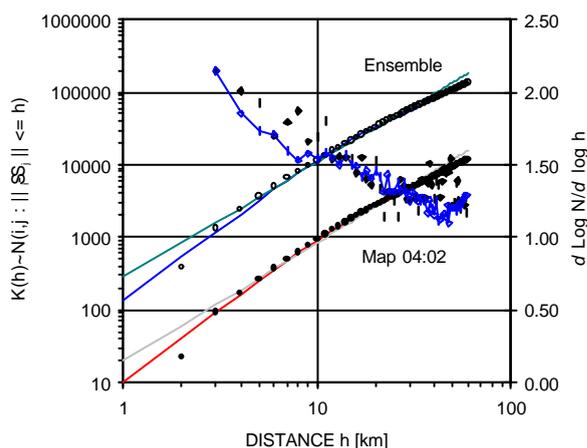
Consegnato alle stampe, all'inizio del triennio, lo *Studio dei criteri di progettazione delle reti pluviometriche*, una particolare attenzione è stata inoltre dedicata, più recentemente, alla revisione ed al perfezionamento del *Rapporto VAPI-Triveneto*, ora in fase di ultimazione, redatto dal dott. V. Villi del CNR-IRPI di Padova (U.O. 1.1).

## Progetto di Ricerca METEO

Nel quadro dello studio degli estremi di precipitazione, si sono analizzate le proprietà del processo degli attraversamenti di soglie di intensità elevate nel dominio spazio-temporale. Queste analisi risultano di particolare interesse ai fini della derivazione della sollecitazione pluviometrica di progetto nel dominio spazio-temporale, a partire dalle precipitazioni nel centro di scroscio. Esse infatti mirano alla derivazione della legge di riduzione areale delle piogge. Particolare attenzione è stata inoltre dedicata allo studio dell'*organizzazione spaziale dei centri di scroscio* studiando in dettaglio le proprietà del processo stocastico dell'occorrenza spaziale dei massimi locali al di sopra di soglie di intensità prefissata. Le proprietà statistiche di distribuzione spaziale di questi punti singolari sono state dedotte dall'analisi di immagini radar relative a due eventi occorsi nell'Ottobre 1992 e Ottobre 1993 (Figura 1a). Ai fini della loro caratterizzazione, sono stati ipotizzati alcuni modelli probabilistici, tra quelli più comunemente suggeriti in letteratura, della distribuzione spaziale delle celle temporalesche, identificate, su mappe radar, sia mediante tecniche oggettive che soggettive. Sulla base di tre eventi di precipitazione monitorati da radar, è stata verificato come, agli usuali livelli di significatività dell'analisi statistica, vada rigettata l'ipotesi che l'organizzazione spaziale dei centri di scroscio sia di tipo uniforme, e non rifiutata, invece, quella di un'organizzazione in aggregazioni di celle. In base a questa constatazione, è stato possibile calibrare i parametri di un modello di distribuzione spaziale dei centri di scroscio 'a cluster', di tipo Neyman-Scott, utilizzando le statistiche della distribuzione  $K(h)$  delle interdistanze tra i centri di scroscio, la cosiddetta 'Reduced second moment measure' (Figura 1b). Questo modello si è rivelato più efficace nell'interpretare la funzione  $K(h)$ , rispetto ad un modello di organizzazione dei centri di scroscio di tipo 'frattale' (Bacchi et al., 1996).



a)



b)

Figura 1 - Distribuzione spaziale dei massimi locali dell'intensità di precipitazione misurata dal radar meteorologico di Teolo (a). Sulla destra (b) l'integrale di correlazione mostra come una geometria della posizione dei centri di scroscio di tipo monofrattale, rappresentata dalle

*rette in scala logaritmica, sintetizzati in modo meno efficiente, rispetto ad un modello di aggregazione di tipo Neyman-Scott, il numero delle loro occorrenze interdistanze assegnate (Bacchi et. al., 1996).*

Il complesso di tutti questi risultati 'sperimentali' è stato utile per la formulazione stocastica di un modello di *riduzione delle precipitazioni all'area* (Bacchi e Ranzi, 1996b). E' necessario procedere all'analisi di una serie di eventi più congrua, prima di considerare il modello sufficientemente affidabile a scopi operativi.

Oltre agli studi precedentemente indicati è stata verificata l'efficacia operativa di semplici modelli di tipo autoregressivo multivariato per *la previsione a breve termine delle precipitazioni intense*. I modelli utilizzano in modo combinato dati pluviometrici ed informazioni sul movimento delle celle temporalesche desunte da radar meteorologico (Burlando et al., 1996).

I risultati conseguiti procedendo nella ricerca, iniziata nel triennio precedente, sulla applicazione delle *'trasformate Wavelet'* all'analisi dei campi di pioggia, indicano l'efficacia di questa tecnica nel sintetizzare il modo di organizzarsi dei campi di pioggia rilevati a differenti scale spaziali, anche quando questi non presentino quelle caratteristiche di omogeneità richieste da metodi di analisi più tradizionali. Si sta studiando la possibilità di utilizzare queste tecniche di analisi ai fini della disaggregazione alle scale 'fini' dei campi di precipitazione misurati da sensori remoti o simulati mediante modelli meteorologici alla mesoscala (Marazzi et al., 1996).

In relazione al progetto METEO le attività di ricerca si sono, inoltre, concentrate sulla verifica delle potenzialità di semplici schemi di circolazione atmosferica che, tenendo conto delle misure delle proprietà termodinamiche dell'atmosfera fornite dai sondaggi meteorologici, di stime della velocità dei fronti temporaleschi fornite da radar e di misure di precipitazione al suolo, consentano di valutare l'errore di stima della precipitazione media areale, in bacini caratterizzati da orografia accentuata, disponendo, come avviene usualmente, delle sole misure pluviometriche. Il lavoro preliminare di Borga et al. (1997) ha permesso di formulare una stima dell'effetto dell'orografia sulla precipitazione che risulta proporzionale al gradiente topografico, alla velocità dei fronti temporaleschi ed al contenuto di umidità dell'atmosfera stimato dai radiosondaggi.

L'U.O. si è assunta l'onere del coordinamento, sia in sede nazionale che internazionale, delle attività scientifiche e sperimentali (Anfossi et al., 1998) di interesse per l'idrologia nell'ambito del *Progetto MAP (Mesoscale Alpine Programme)*. Si tratta di un progetto di ricerca finalizzato, tra l'altro, al perfezionamento della modellistica di simulazione e previsione dei processi atmosferici, principalmente la precipitazione, nell'area alpina, anche al fine della previsione di piena mediante l'accoppiamento di questi modelli con quelli idrologici afflussi-deflussi. Durante la fase sperimentale, iniziata nel settembre 1999 saranno disponibili le previsioni di precipitazione fornite da alcuni modelli meteorologici ad area limitata, risultato dei più recenti sviluppi della ricerca internazionale nel settore. La sperimentazione, prevista per l'estate-autunno del 1999 si appoggia su di un centro di coordinamento, denominato POC, allestito da parte del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare presso l'aeroporto di Milano Linate.

## Progetto MIEP

In relazione al progetto MIEP sono stati studiati i possibili effetti delle urbanizzazioni sulle portate di piena in alcuni bacini della pianura bresciana. Dalla fotointerpretazione delle riprese aeree effettuate nel 1954 e nel 1994 sono state valutate le variazioni, nel tempo, delle aree boscate, di quelle urbanizzate e delle colture seminatrici montane ed in pianura (Ranzi e Bacchi, 1996). A questa analisi è stata associata una indagine di campo sulla frequenza degli allagamenti in pianura, che si è accentuata negli ultimi anni, e sulle portate limiti contenibili nei vari tratti della rete idrografica principale. In base a questi dati è stato costruito un modello idrologico di tipo semi-distribuito che è stato in grado di simulare con accettabile approssimazione alcuni fenomeni di allagamento verificatisi negli ultimi anni (Bacchi, 1998).

E' stato inoltre completato un primo studio teorico-applicativo inerente il dimensionamento di volumi di invaso a servizio di bacini con scarico vincolato dai livelli del ricettore (Bacchi et al.,

1996a). L'indagine si inquadra nelle problematiche connesse al dimensionamento di vasche di laminazione da utilizzarsi sia nei sistemi di drenaggio urbano che per il controllo delle piene nei corsi d'acqua naturali.

Un ulteriore settore di ricerca su cui è proseguita la ricerca è stato quello inerente l'analisi automatica dei reticoli idrografici dedotti dalla cartografia numerica. In questo settore sono stati conseguiti risultati interessanti sia dal punto di vista scientifico che tecnico-operativo a seguito dell'implementazione di un software, di dominio pubblico (Pilotti et al., 1996b), che permette di derivare il reticolo idrografico ed i parametri geomorfologici che lo caratterizzano a partire da modelli digitali delle quote del terreno.

In relazione alla stima delle portate di piena mediante modelli di trasformazione afflussi-deflussi è stato prodotto un lavoro di sintesi dell'attività di ricerca svolta negli ultimi anni, con particolare riguardo ai bacini alpini (Ranzi, 1997). Finalizzato maggiormente alla definizione del bilancio idrologico a scala mensile ed annuale, ma con dei risvolti interessanti anche ai fini della calibrazione di modelli di piena in ambiente montano, è il lavoro di Ranzi e Bacchi (1998) che ha raccolto anche i frutti di una ricerca pluriennale sulla mappatura delle aree di copertura nivale mediante satellite NOAA-AVHRR (Ranzi et al., 1996, 1997, 1998), che ha ora raggiunto il traguardo dell'analisi di dieci stagioni di scioglimento, conferendo una sufficiente rappresentatività statistica ai diagrammi di diminuzione stagionale delle aree di copertura nivale (Figura 2).

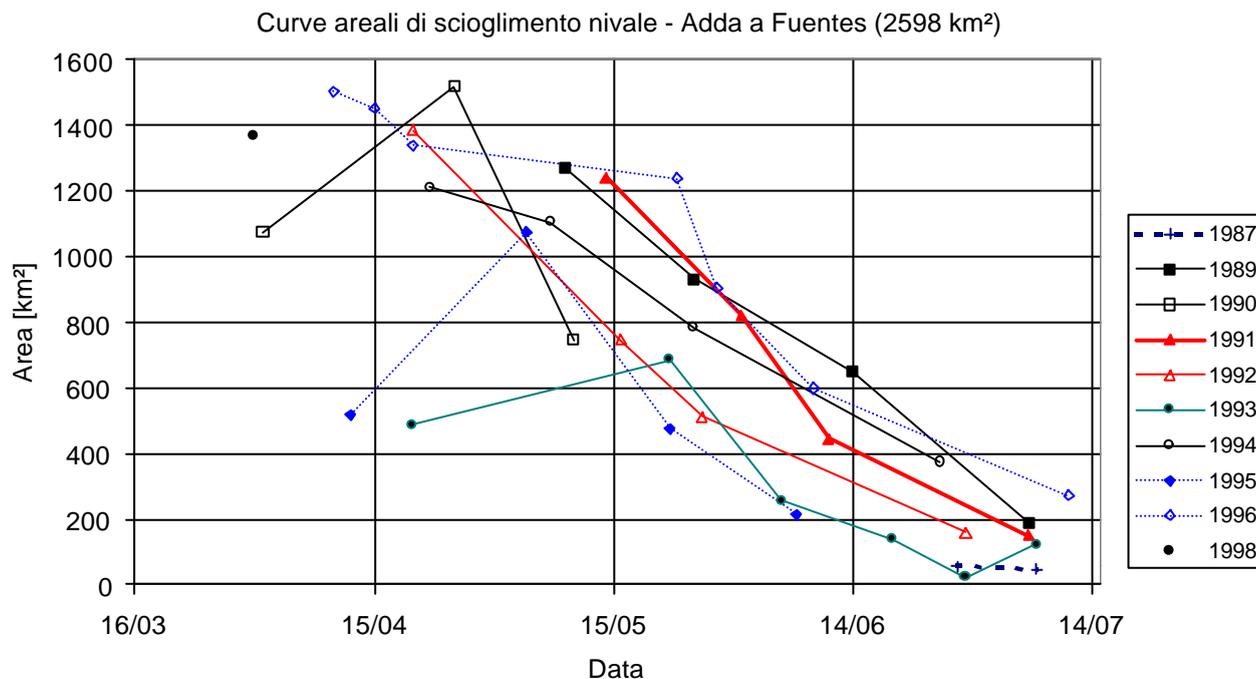


Figura 2 - Curve delle aree di copertura nivale stimate da immagini del satellite NOAA-AVHRR durante dieci stagioni di scioglimento.

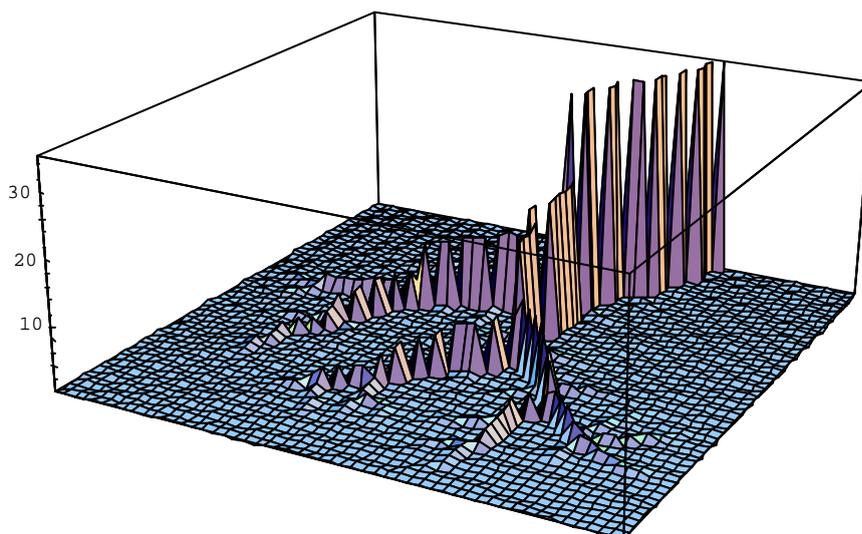
Nello studio dei processi di versante un ruolo di particolare importanza riveste la determinazione dei volumi di sedimento derivante dall'erosione distribuita nel bacino. Al fine di fornire uno strumento utile alla determinazione di tali volumi si è modificata la classica formulazione RUSLE per permetterne una efficace applicazione distribuita in grado di integrare i contributi derivanti da singole parcelle. La formula così modificata viene applicata lungo il reticolo di drenaggio derivato da un modello di elevazione del bacino considerato (Pilotti e Bacchi, 1997). Inoltre, ai fini di permettere una migliore comprensione dei processi di rifiuto del terreno, è stata iniziata una ricerca volta alla modellazione del moto insaturo alla scala del REV (Pilotti e Bacchi, 1998, Pilotti, 1998), che si ritiene potrà condurre ad una quantificazione delle curve di pressione capillare e di permeabilità relativa per suoli costituiti da sedimenti granulari.

Ai fini della previsione delle piene in tempo reale, si è iniziato a verificare l'efficacia dell'uso combinato di modelli idrologici di tipo distribuito con le previsioni dei campi atmosferici (in particolare precipitazione, temperatura e velocità del vento) fornite da modelli atmosferici ad area limitata (Benoit et al., 1998). Questa attività è stata condotta congiuntamente all'U.O. 1.8 del Politecnico di Milano anche nell'ambito di un progetto finanziato dall'Unione Europea.

Infine l'attività di trasferimento alle utenze dei risultati conseguiti nella simulazione di eventi di piena mediante modelli di tipo globale, tenendo anche conto degli effetti della crescita delle aree urbanizzate, si è concretizzata in alcuni contributi al Corso di aggiornamento su "*La difesa idraulica del territorio*" ed a quello su "*La difesa idraulica dei territori fortemente antropizzati*", organizzati dal Politecnico di Milano e dall'Università di Bologna e tenutisi a Milano nell'ottobre del 1996 e del 1997, rispettivamente.

## Progetto di Ricerca ARA-SBAR

Si è attivata una attività di ricerca volta allo studio del processo di dam-breach per sbarramenti di materiale incoerente. La ricerca è partita da una analisi bibliografica che ha consentito anche la raccolta di dati relativi ad alcuni casi reali di crolli di dighe in materiale sciolto di differente granulometria, e relative a differenti meccanismi di crollo. Parallelamente sono stati acquisiti alcuni codici di calcolo, già noti in letteratura, e, in particolare, quello già sviluppato dall'Ing. Molinaro dell'ENEL-CRIS e quello sviluppato da Macchione e Sirangelo nell'ambito delle attività del CNR-GNDCI. Questi codici sono stati applicati comparativamente con riferimento ad una possibile schematizzazione di uno sbarramento derivante da una frana, effettuando una tabulazione opportunamente adimensionalizzata della soluzione numerica così ottenuta (Pilotti e Bacchi, 1996). Le analisi, condotte mediante esplorazione automatizzata delle soluzioni prodotte dalle simulazioni, hanno portato alla individuazione di un abaco che permette di legare le espressioni adimensionali delle variabili di interesse (portate liquide e solide al picco, volumi solidi erosi) al valore assunto da opportuni numeri puri. Connessa allo studio dei fenomeni di erosione e di trasporto solido è anche la pubblicazione di Pilotti e Bacchi (1997), riguardante problematiche di produzione del sedimento fine in un bacino alpino (Figura 3).



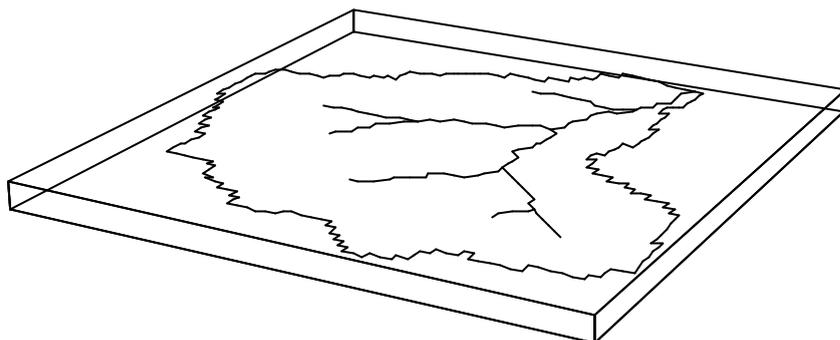


Figura 3. La produzione cumulata media annua di sedimenti fini derivante dall'erosione distribuita del suolo ( $10^3$ kg/anno) visualizzata lungo il reticolo drenante del bacino.

Si è iniziato lo studio dei processi di sifonamento mediante risoluzione del campo di moto di filtrazione all'interno dell'ammasso costituente il rilevato. A tale proposito si sta conducendo una analisi comparativa volta ad individuare, nell'ambito dei grigliatori non cartesiani, la metodologia ottimale per la discretizzazione del dominio di calcolo, discretizzazione sulla quale appoggiare la risoluzione delle equazioni del moto, condotta con tecnica Control Volume. Sono in corso di analisi metodologie basate sul concetto di Voronoi grid, e sulle varianti denominate Perpendicular Bisection grid (PEBI). Quest'ultima tecnica, in particolare, permettendo di discretizzare le equazioni in corrispondenza a volumi di controllo centrati su punti tali per cui la congiungente due punti è normale alla faccia di un volume di controllo di competenza, ed è bisecata dalla stessa, appare ottimale per una uniforme discretizzazione del dominio di calcolo.

## COLLABORATORI ALLA RICERCA

Tra le persone che hanno contribuito alla produzione scientifica dell'Unità Operativa, quelle che, in modi e tempi diversi, hanno svolto la loro attività, oltre al Responsabile scientifico, per conto del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Brescia sono:

- Dott. Barbara Armanelli, libero professionista.
- Dott. Lucia Falappi, dottoranda di Ricerca.
- Dott. Giovanna Grossi, ricercatrice presso il Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Brescia.
- Dott. Marco Pilotti, ricercatore presso il Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Brescia.
- Dott. Roberto Ranzi, ricercatore presso il Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Brescia.
- Dott. Eleonora Rossini, libero professionista.

## ELENCO DELLE PUBBLICAZIONI DEL PERIODO 1996-1998.

Anfossi, D., S. Anquetin, L. Armi, B. Bacchi, R. Banta, B. benech, R. Benoit, P. Binder, P. Bougeault, A. Buzzi, A. Broad, J.L. Caccia, C. Cacciamani, M. Colacino, M. Crespi, A. Dabas, H.C. Davies, C. Davies, J. Doyle, A. Dörnbach, M. Doringner, D. Durran, S. Emeis, R. Fehlman, C. Frei,

D. Fritts, M. Georgelin, V. Grubisic, D. Heimann, P. Héreil, P. Hildebrand, K.P. Hoinka, R. Houze, C. James, A. Jansa, D. Jorgensen, M. Juckes, J. Kuettner, H. Lang, M. Leutbecher, V. Levizzani, A. Massacand, G. Mayr, B. Meytin, F. Mesinger, M. Monai, O. Morgenstern, T. Paccagnella, E. Piervitali, G. Poulos, C. Quadri, R. Ranzi, E. Richard, A. Rossa, M. Rotach, F. Roux, S. Rutledge, B. Schädler, C. Schär, H.H. Schiesser, G. Schutts, R.K. Smith, R.B. Smith, J. Stein, R. Steinacker, M. Steiner, J. Van Baelen, H. Volkert, H. Wanner, J. Wilson, V. Wirth, The MAP Science Plan, edito da P. Bougeault, P. Binder, J. Kuettner, The MAP Programme Office, Zurigo, Giugno 1998, 64 pp., 1998.

BACCHI, B., Un approccio metodologico agli studi idrologici ed idraulici per la difesa idraulica dei territori fortemente antropizzati, in: *La difesa idraulica dei territori fortemente antropizzati*, a cura di U. Maione e A. Brath, Ed. Bios., Cosenza, 59-89, 1998.

BACCHI, B., U. MAIONE E R. RANZI, *Sul dimensionamento di volumi di invaso a servizio di bacini con scarico vincolato dai livelli del ricettore*, Atti del XXV Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Torino, Vol. III, pp. 37-48, 1996.

BACCHI B. E R. RANZI, *Scaling properties of intense precipitation: at-site and regional analysis (abstract)*, Proc. Int. Workshop on "Scale Problems in Hydrology", Krumbach, 17-20 Giugno, p. 6, 1996.

BACCHI, B. E R. RANZI, *On the derivation of the areal reduction of storms*, Atmos. Res., 42, 123-135, 1996.

BACCHI, B., R. RANZI, E M. BORGA, *Recognition of the statistical character of spatial patterns of rainfall cells*, J. Geophys. Res., 101, D21, 26277-26286, 1996.

BENOIT R., N. KOUWEN, E R. RANZI, *A recent survey of the Toce-Ticino area for MAP: physiographic and hydrological aspects*, Proc. MAP Meeting 1998, Chamonix, 17-19 giugno 1998, p. 26, 1998.

BORGA, M., R. RANZI, E B. BACCHI, *Modelling orographic effects for correcting the rainfall input into hydrological flood models*, Proc. MAP Meeting 1997, Belgirate, 11-13 giugno 1997, p. 52, 1997.

BURLANDO, P., MONTANARI, A. E R. RANZI, *Forecasting of storm rainfall by combined use of radar, rain gages and linear models*, Atmos. Res., 42, 199-216, 1996.

MARAZZI A., P. GAMBA E R. RANZI, *Rain pattern detection by means of packet wavelets*, Proc. of the 1996 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS '96), Vol. IV, pp. 2071-2073, Lincoln, Nebraska, USA, Maggio 1996.

PILOTTI M., B. BACCHI, *Distributed evaluation of the contribution of soil erosion to the sediment yield from a Watershed*, Earth Surface processes and Landforms, 22, 1239-1251, 1997.

PILOTTI M., B. BACCHI, *Una metodologia numerica per la ricostruzione di mezzi porosi granulari*, XXVI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Vol. IV, pp. 115-126, Catania, Settembre 1998.

PILOTTI M., BACCHI B., *Analisi modellistica dell'incertezza connessa alla determinazione dell'onda di piena seguente il crollo di sbarramenti naturali*, in atti del convegno *La prevenzione delle catastrofi idrogeologiche: il contributo della ricerca scientifica*, Alba, 5-7 Novembre 1996.

PILOTTI M., C. GANDOLFI, G.B. BISCHETTI E B. BACCHI, *Determinazione distribuita del contributo di versante al trasporto solido in sospensione per un bacino alpino*, Atti del XXV Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Torino, Vol. I, pp. 438-449, 1996.

PILOTTI, M., GANDOLFI C., BISCHETTI G.B. *Identification and Analysis of Natural Channel Networks from Digital Elevation Models*, Earth Surface Processes and Landforms, Vol. 21, 1007-1020, 1996.

PILOTTI, M., *Generation of Realistic Porous Media by Grains Sedimentation*, Transport in Porous Media, 33, 257-278, 1998.

RANZI R., *Valutazione delle portate al colmo di piena in un bacino alpino mediante un modello di trasformazione afflussi-deflussi*, In: *La difesa idraulica del territorio*, a cura di U. Maione e A. Brath, Ed. Bios., Cosenza, 59-98, 1997.

R. RANZI E B. BACCHI, *Assessment of socio-economical factors affecting the hydrological cycle in heavily populated areas (abstract)*, Proc. XXI General Assembly European Geophysical Society, Den Haag, 6-10 Maggio, Annales Geophysicae, Vol. 14, Part II, Supplement II, C340, 1996.

RANZI R., ARRIGAZZI M., B. BACCHI, *Dieci anni di monitoraggio delle curve di deplezione dell'equivalente in acqua del manto nevoso nelle Alpi centrali tramite radiometria NOAA-AVHRR*, Atti 1ª Conferenza ASITA, Parma, 30 settembre - 3 ottobre, 603-608, 1997.

RANZI R., B. BACCHI, G. GROSSI E R. ROSSO, *Multitemporal monitoring of the snowpack in large alpine watersheds using NOAA-AVHRR radiometry and ground measurements*, Technical Report dell'Università di Brescia, n° 9, 1996.

RANZI R., E B. BACCHI, *Il bilancio idrologico nelle aree montane per la stima delle disponibilità idriche: alcuni problemi aperti*. Atti del XXVI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Catania, 9-12 settembre 1998, Vol. III, pp. 347-4358, 1998.

RANZI R., G. GROSSI E B. BACCHI, *Ten years of monitoring areal snowpack using NOAA-AVHRR radiometry and ground measurements in the Southern Alps*, International Conference on Snow Hydrology: The integration of physical, chemical, and biological Systems, edito da J. Hardy, M. Albert and P. Marsh, Cold Regions Research & Engineering Laboratory, Brownsville, Vermont, USA, 6-9 Ottobre 1998, p. 89, 1998, (in stampa su *Hydrological Processes*).

# GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE CATASTROFI IDROGEOLOGICHE

## ANALISI REGIONALE DEGLI EVENTI ESTREMI DELL'ITALIA CENTRALE VULNERABILITA' DEI SISTEMI DI APPROVVIGIONAMENTO IDROPOTABILE

### RAPPORTO TRENNALE 1996-1998

U.O. 1.34

Responsabile: Prof. Giulio Calenda

#### Piogge

Durante il periodo 1996-1998 è stata completamente aggiornata la regionalizzazione delle piogge intense per una zona dell'Italia Centrale, che va dal litorale tra il promontorio di Piombino e la foce del Garigliano sul Tirreno, ai litorali marchigiano e abruzzese sull'Adriatico, e comprende quindi tutti i bacini della Sezione di Roma del Servizio Idrografico.

Nello sviluppo del terzo livello di regionalizzazione, la pioggia indice è stata determinata sia come sottozona omogenea, sia come interpolazione lineare dei valori locali, rappresentata con linee isoparametriche.

Portate

È in corso la regionalizzazione delle piene con un semplice modello afflussi-deflussi, che utilizza come input la regionalizzazione delle piogge. Il modello tiene conto dell'influenza dei volumi di esondazione sulle portate al colmo, fenomeno che rende conto della bassa asimmetria di alcune distribuzioni dei massimi colmi annuali.

È stato svolto il controllo delle scale di deflusso di numerose sezioni idrometrografiche per verificare la bontà del dato relativo alle portate di piena, notoriamente ottenuto con estrapolazioni senza seria giustificazione fisica. A questo scopo sono state utilizzate le numerosissime sezioni d'alveo fatte recentemente rilevare dall'Autorità di Bacino per il Tevere.

Per tenere conto delle esondazioni nella determinazione dei deflussi sono state acquisite in forma informatica le aree inondate fatte tracciare dall'Autorità di Bacino per il Tevere.

È in corso l'elaborazione finale dei dati acquisiti.

#### PROGETTO ARDI-SIC

##### Vulnerabilità dei sistemi di approvvigionamento idropotabile

Sono state determinate le portate di magra e i deflussi minimi vitali di tutti i bacini regionali della Regione Lazio, sulla base di una regionalizzazione delle portate minime di sette giorni e delle curve di durata, basata su tutte le osservazioni di portata disponibili sui bacini dell'Ufficio di Roma del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale, nonché sui dati di portata delle sorgenti. È stata verificata la compatibilità dei prelievi con particolare attenzione a quelli per uso idropotabile.



# *GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE CATASTROFI IDROGEOLOGICHE*

## **STUDIO DELLA CONVENZIONE COME ELEMENTO PRIMARIO NEGLI EVENTI ECCEZIONALI DI PRECIPITAZIONE**

(Coordinatore Prof. La Barbera)

# **RAPPORTO TRENNALE 1996-1998**

U.O. 1.42

Responsabile: Prof. Sabino Palmieri

### **Sommario dell'attività svolta nel triennio 1996-1998**

Sono stati studiati alcuni eventi estremi di precipitazione che sono occorsi nel bacino del Mallorio-Valtellina, fornendone la distribuzione oraria.

Sulla base di analisi a "cluster" degli eventi estremi sono state selezionate tre categorie: 1) le precipitazioni sono molte intense nelle prime 24 ore dall'inizio dell'evento, 2) il culmine dell'intensità di precipitazione oraria viene raggiunto nel secondo giorno, 3) le precipitazioni sono dovute principalmente alla componente convettiva.

E' stato indagato sulla relazione tra l'intensità di pioggia oraria ed alcuni parametri meteorologici quali l'Energia Potenziale Convettiva Disponibile (CAPE), l'acqua precipitabile ed il vento ad 800hPa. Il CAPE e' risultato il fattore che maggiormente puo' influenzare le precipitazioni orarie. Questo risultato ben supporta il contenuto teorico del modello PEHRM (Precipitation Estimate High Resolution Model). In particolare, la relazione CAPE ed intensità oraria e' stata studiata nell'ambito delle perturbazioni meteorologiche intense, nella zona alpina e prealpina a nord di Milano, per la quale si dispone di un'alunga serie di dati orari di precipitazione e di profili verticali di temperatura, pressione, umidità'.

Il passo successivo e' stato quello di considerare come dati d'ingresso quelli di precipitazione oraria forniti dai modelli di simulazione del clima, relativi al clima presente e a quello del prossimo secolo, in modo da determinare possibili scenari futuri.

La sperimentazione effettuata sul bacino del Mallero-Valtellina, ha fornito la caratterizzazione degli eventi estremi occorsi nonché la distribuzione spaziale della pioggia in alcune località del bacino considerato. Sulla base di questi risultati si e' pensato di applicare una metodologia analoga agli eventi estremi nel bacino del Tevere, per il quale e' disponibile una storia meteorologica molto estesa.

Attraverso una indagine retrospettiva di alcuni eventi alluvionali estremi (Firenze 1966, Valtellina 1987, Genova 1993, Sarno 1998) si è condotto uno studio per valutare la utilità di alcuni parametri atmosferici quali indicatori diagnostici della intensità di una perturbazione meteorologica. Si sono offerte alcune considerazioni comparative degli eventi studiati, evidenziando il legame tra shear del vento, energia convettiva disponibile (CAPE) e pioggia oraria di picco. Lo shear del vento e l'energia potenziale convettiva, usati congiuntamente, si prospettano

come parametri atmosferici utili a diagnosticare, da un punto di vista idrometeorologico, l'intensità di una perturbazione.

Si è inoltre sottolineato come l'evento Sarno 98 non si possa considerare estremo sotto il profilo meteorologico, suggerendo che l'erosione superficiale e le frane possano essere in qualche relazione con fenomeni geomorfologici a loro volta legati alla storia climatologica degli ultimi anni.

## Elenco delle pubblicazioni:

Finizio M., Palmieri S., "Non linear modelling of monthly mean vorticity time changes: an application to the western Mediterranean", *Ann. Geophysicae* 16, 116-124 (1998)

Vaccaro I., Bersani P., Pilozi A., Siani A.M., and S. Palmieri, " Data Homogeneity in time series: an application to the Tiber data set", in print on the Procs. "Convegno Giuseppe Toaldo ed il suo tempo ", Padova 10-14 Novembre 1997.

S. Palmieri, P. Bersani, A. Piotti, A.M. Siani " A mesoscale severe storm at Genoa: considerations in reference to the prediction problem" , *Meteorologische Zeitschrift*, N. F. 7, H.4, 147-152, 1998.

Palmieri S., Canu M., Siani A.M., Taliani M. "Atmospheric Stability Behaviour in Italian Storms" *Procs. of Meeting of Alpine Meteorology (ICAM 98)*, Torino 1998.

Vrhovec T., Cegnar T., Costantini D., Castracane P., Siani A.M., Palmieri S., " Modeling urban heat island: the case of a mediterranean town and a continental one", *Procs. of European Conference on Applied Climatology*, Vienna, 19-23 October 1998.

Palmieri S., A.M. Siani, M. Canu, P. Bersani , A. Pilozi "Parametri atmosferici disponibili per la diagnosi della intensita' degli eventi meteorologici estremi: studio di alcuni casi con speciale riferimento all'evento Sarno 98" in print sugli Atti "Il rischio Idrogeologico e la difesa del suolo", Lincei 1-2 ottobre 1998.

*GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE CATASTROFI  
IDROGEOLOGICHE*

**METODOLOGIE DI PREVISIONE E PREANNUNCIO DI  
PIENA**

**RAPPORTO TRENNALE 1996-1998**

U.O. 1.43

Responsabile: Prof. Armando BRATH

Dipartimento di Ingegneria delle Strutture, dei Trasporti, delle Acque,  
del Rilevamento e del Territorio (DISTART)

Università di Bologna

Viale Risorgimento, 2 - 40136 Bologna

## 1. Introduzione

L'Unità Operativa 1.43, operante presso il Dipartimento di Ingegneria delle Strutture, dei Trasporti, delle Acque, del Rilevamento, del Territorio (DISTART) della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna, nel triennio 1996-98 ha sviluppato la propria attività di ricerca sui temi: a) della regionalizzazione delle piogge intense e delle portate di piena e b) della modellistica di formazione dei deflussi di piena, con particolare riferimento al problema del preannuncio delle piene fluviali in bacini di piccola e media estensione.

L'attività a), che si inquadra nell'ambito del Progetto VAPI, ha riguardato innanzitutto la regionalizzazione degli estremi idrologici dell'Italia centrosettentrionale. In tale ambito, si è proceduto ad un riesame delle ipotesi di regionalizzazione scaturite dalle risultanze di vari studi regionali condotti nel passato da varie Unità Operative del Progetto VAPI, studi generalmente riferiti ad ambiti territoriali coincidenti con compartimenti del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale. Considerando un'ampia regione dell'Italia centrosettentrionale, comprendente la parte meridionale del bacino del Po (Emilia), e i compartimenti idrografici di Bologna (territori della Romagna e delle Marche), di Pisa (bacino dell'Arno) e di Roma (bacino del Tevere), si è inteso verificare la possibilità di identificare, ai vari livelli di regionalizzazione, macroregioni a comportamento omogeneo. Nel triennio considerato sono state integralmente espletate le analisi relative al comportamento di frequenza delle piogge intense e sono state avviate analoghe analisi per quanto attiene al regime delle portate al colmo di piena. Le analisi condotte hanno portato a riconoscere la possibilità di identificare sette regioni omogenee, disposte nel loro complesso in maniera sensibilmente parallela alle linee costiere adriatica e tirrenica ed alla dorsale appenninica. Per la descrizione probabilistica delle piogge intense si è fatto riferimento ai modelli TCEV e GEV, che hanno evidenziato buone capacità descrittive delle distribuzioni di frequenza delle osservazioni pluviometriche, con prestazioni sostanzialmente equivalenti fra loro.

L'attività svolta in questo campo per la regionalizzazione dei massimi annuali delle piogge giornaliere e di quelle di durata inferiore al giorno è parzialmente descritta nella memoria di Brath et al. (1998c), mentre nel paragrafo 2 è riportata una sintesi aggiornata dei risultati.

Sempre nell'ambito del progetto VAPI, nel triennio considerato la U.O. 1.43 ha proseguito ricerche già intraprese in collaborazione con la U.O. 1.8, riguardanti l'analisi delle possibilità offerte dall'applicazione dei concetti di invarianza di scala semplice e multipla (mono o multifrattalità) al problema dello studio regionale della frequenza delle piene (Brath et al., 1997b) ed ha collaborato con la U.O. 1.8 alla redazione delle analisi di regionalizzazione delle portate al colmo di piena per il bacino del Po e la Liguria (Brath et al., 1996a e 1997a). I risultati di queste ricerche sono descritti nel paragrafo 3.

Le attività di ricerca di cui al punto a) hanno anche riguardato il problema della stima della portata di piena indice nelle sezioni prive di misure, ed hanno consentito di mettere a punto una metodologia di stima fisicamente basata, fondata sull'applicazione di tecniche di derivazione analitica della distribuzione di probabilità delle portate di piena (Brath et al., 1996b e 1997c). Sono inoltre stati svolti studi finalizzati ad analizzare le possibilità di uso di diverse metodologie indirette di stima della portata indice, sia di tipo statistico che di tipo concettuale, al fine di evidenziarne le capacità prestazionali e gli ambiti di corretta applicazione (Brath et al., 1998a); i risultati ottenuti sono descritti nel paragrafo 4.

Nell'ambito delle attività b), nel triennio sono state svolte ricerche finalizzate a meglio chiarire l'impatto di interventi antropici di controllo delle piene fluviali sul regime delle piene stesse, avvalendosi di schemi di rappresentazione della trasformazione afflussi-deflussi di tipo distribuito (Brath et al., 1998b); di tali ricerche si riferisce nel paragrafo 6. Inoltre, sempre nell'ambito delle attività b), si sono condotte ricerche, di cui si riferisce più estesamente nel paragrafo 7, finalizzate allo sviluppo di modelli concettuali idonei ad essere formulati in un contesto di funzionamento adattativo per scopi di preannuncio di piena. Allo scopo sono state analizzate le problematiche inerenti l'accoppiamento di modelli concettuali a parametri concentrati della trasformazione afflussi-deflussi, del tipo a simulazione continua e funzionanti in modalità off-line, con previsori stocastici dell'errore di calibrazione basati su filtri ARMA e implementati in maniera adattativa (Brath et al., 1997d).

Nei paragrafi seguenti si descrivono con maggior dettaglio le attività di ricerca precedentemente richiamate.

## 2. Valutazione regionale degli indici di rischio pluviometrico nell'Italia centrosettentrionale

Come precedentemente indicato, una significativa parte dell'attività di ricerca svolta nel triennio ha riguardato la possibilità di identificare zone omogenee nel comportamento di frequenza dei massimi annuali delle piogge giornaliere e di quelle di durata inferiore al giorno con riferimento ad un'ampia regione dell'Italia centrosettentrionale (Brath et al., 1998c). La regione indagata, rappresentata in Figura 1, comprende la parte meridionale del bacino del Po (Emilia) ed i compartimenti idrografici di Bologna (territori della Romagna e delle Marche), di Pisa (bacino dell'Arno) e di Roma (bacino del Tevere). L'estensione dell'area esaminata ha consentito un riesame delle ipotesi di regionalizzazione scaturite dalle risultanze dei vari studi regionali finora espletati in ambito VAPI nella medesima area geografica, generalmente condotti a livello di compartimento del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale.

Le analisi condotte hanno portato a riconoscere la possibilità di identificare sette regioni omogenee, disposte nel loro complesso in maniera sensibilmente parallela alle linee costiere adriatica e tirrenica ed alla dorsale appenninica (vedi Figura 1). Per la descrizione probabilistica delle piogge intense si è fatto riferimento ai modelli TCEV e GEV, che hanno evidenziato entrambi buone capacità descrittive delle distribuzioni di frequenza delle osservazioni, con prestazioni fra loro sostanzialmente equivalenti. Per le analisi sono state considerate le stazioni con almeno 30 anni di osservazioni disponibili, ottenendo in tal modo un data base composto da 792 stazioni pluviometriche per i massimi annuali delle piogge giornaliere, per complessivi 37724 dati, e 250

stazioni per le piogge di durata inferiore al giorno, per complessivi 10680 dati. Nella Tabella 1 si riportano le stime dei parametri delle curve di crescita regionali ottenute secondo il modello TCEV.

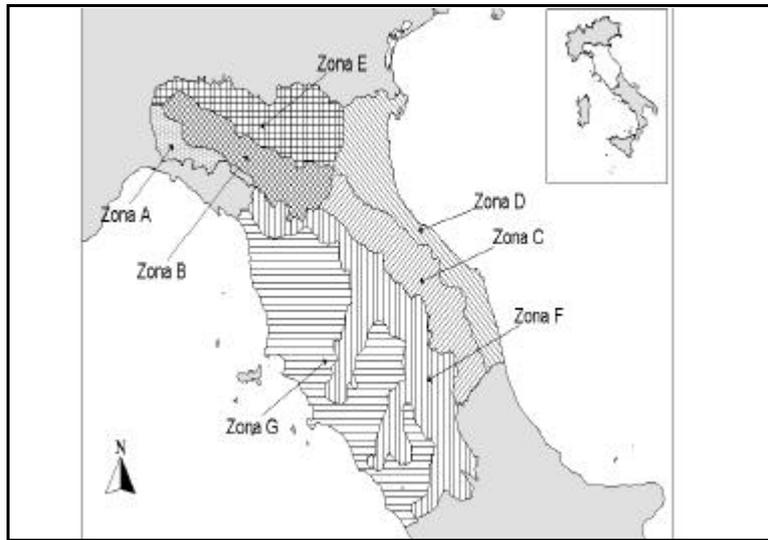


Figura 1 - Area interessata dallo studio e zone pluviometriche omogenee individuate

Per quanto riguarda il terzo livello di regionalizzazione, il calcolo della grandezza indice  $m_d$  (valore medio delle altezze di precipitazione massime annue di assegnata durata  $d$ ) può essere effettuato con l'espressione seguente:

$$m_d = m_1 \cdot d^{\frac{\ln(m_G) - \ln(g) - \ln(m_1)}{\ln(24)}}$$

dove  $m_1$  indica la media dei massimi annuali delle altezze di pioggia di durata 1 ora,  $\gamma = m_G/m_{24}$  indica il rapporto tra la media dei massimi giornalieri  $m_G$  e di quelli di durata pari a 24 ore  $m_{24}$ , che su base regionale assume il valore medio di 0.89. A titolo esemplificativo in Figura 2 si riportano le isolinee della media delle altezze di pioggia massime annuali di durata giornaliera, da impiegare nella valutazione di  $m_G$  per la zona C.

Tabella 1 – Parametri del modello probabilistico TCEV

Zona	$\hat{\Lambda}_*$	$\hat{\Theta}_*$	$\hat{I}_1$	Note
Zona A	0.10 9	2.36 1	24.7 0	Valida per tutte le durate

Zona B	1.52 8	1.55 8	13.6 5 19.3 5 26.2 0 39.2 0	Valida per d = 1 ora Valida per d = 3 ore Valida per d = 6 ore Valida per d ≥ 12 ore ed 1 giorno
Zona C			13.6 5 14.7 0 20.2 5 25.7 0	Valida per d = 1 ora Valida per d = 3 ore Valida per d = 6 ore Valida per d ≥ 12 ore ed 1 giorno
Zona D	0.36 1	2.36 3	29.0 0	Valida per tutte le durate
Zona E	0.04 4	3.60 7	13.6 0 19.8 0 23.6 5 30.4 5	Valida per d = 1 ora Valida per d = 3 ore Valida per d = 6 ore Valida per d ≥ 12 ore ed 1 giorno
Zona F	0.073 0.144	1.406 2.042	21.01 33.03	Valida per d = 1 ora Valida per d ≥ 3 ore ed 1 g
Zona G	0.131 0.770 0.380 0.303 0.221	1.820 2.391 2.592 2.799 3.322	16.28 24.71 26.21 30.01 30.78	Valida per d = 1 ora Valida per d = 3 ore Valida per d = 6 ore Valida per d = 12 ore Valida per d = 24 ore ed 1 g

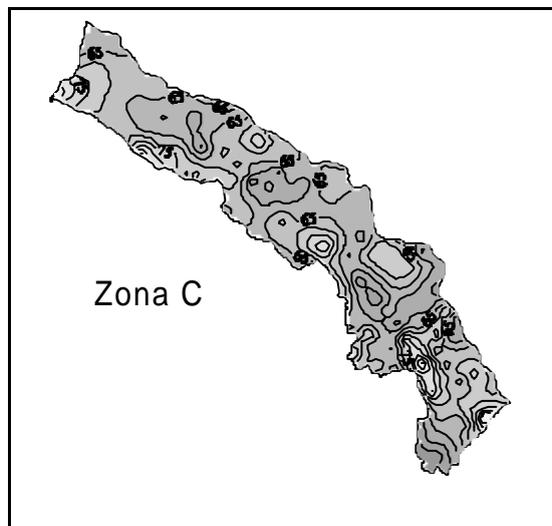


Figura 2 – Mappa delle isolinee della media delle altezze massime annue di precipitazione di durata giornaliera nella zona omogenea C.

### 3. Analisi regionale della frequenza delle piene nel bacino padano: individuazione delle regioni omogenee

Nel triennio considerato la U.O. 1.43 ha, come già ricordato, proseguito ricerche intraprese in collaborazione con la U.O. 1.8 operante presso il Politecnico di Milano, riguardanti l'analisi delle possibilità offerte dall'applicazione dei concetti di invarianza di scala semplice e multipla (mono o multifrattalità) al problema dello studio regionale della frequenza delle piene (Rosso et al. 1996; Brath et al., 1997b). La principale ricaduta applicativa di tale approccio riguarda il processo di identificazione di regioni omogenee per regime di frequenza delle piene, che notoriamente rappresenta una delle fasi più delicate dell'intera procedura di regionalizzazione (Brath et al., 1996a, 1996c e 1997a). L'idea di utilizzare tecniche di questo tipo per il riconoscimento delle regioni omogenee nasce dalla considerazione che raggruppare un insieme di bacini idrografici in zone omogenee idonee all'applicazione del metodo della portata indice corrisponde ad ipotizzare che il campo aleatorio delle portate al colmo di piena (parametrizzato sull'area del bacino idrografico) sia semplicemente scala invariante, ossia monofrattale, all'interno di ciascuna delle zone stesse. Ne discende che il riconoscimento della monofrattalità può risultare un prezioso strumento di guida nell'identificazione di regioni omogenee, consentendo di superare i limiti propri delle tecniche di zonizzazione attualmente in uso. A tale riguardo, i risultati dell'applicazione della tecnica proposta ai corsi d'acqua dell'Italia nord-occidentale (bacino del Po chiuso a Pontelagoscuro e Liguria tirrenica) evidenziano come essa presenti una capacità discriminante piuttosto soddisfacente. Tali risultati (v. Brath ed al., 1996a e 1997a) hanno infatti permesso di mettere in luce come l'intera Liguria tirrenica sia caratterizzata da un comportamento sensibilmente monofrattale e possa quindi essere considerata come un'unica regione omogenea. Per il bacino del Po nel suo complesso è invece emerso un comportamento di tipo chiaramente multifrattale; è stato comunque possibile individuare attraverso la metodologia proposta una partizione del bacino padano in quattro sottoregioni, che risponde ai richiesti criteri di omogeneità nel regime di frequenza delle piene. Le sottoregioni individuate sono rappresentate nella Figura 3.

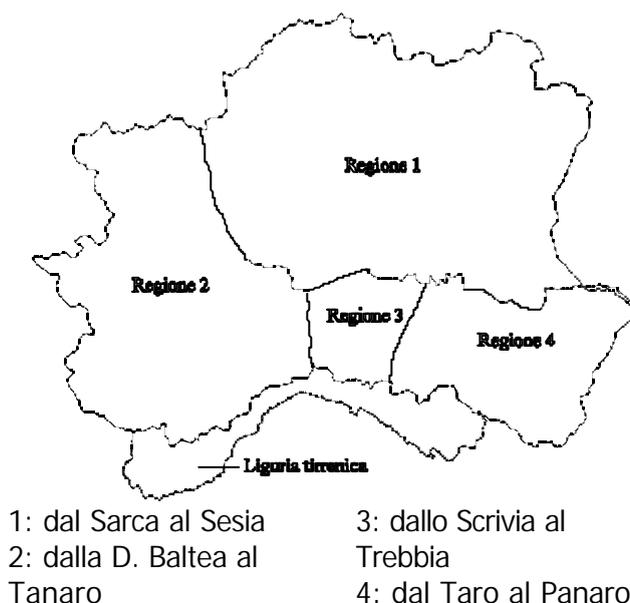


Figura 3 – Delimitazione delle zone idrometriche omogenee nell'Italia nord-occidentale (Bacino del Po e Liguria).

La prima sottoregione comprende tutti gli affluenti in sponda sinistra del Po, dal Sarca al Sesia inclusi; la seconda tutti i rimanenti affluenti in sponda sinistra, dalla Dora Baltea al Chisone

inclusi, l'alto corso del fiume Po (lo studio di regionalizzazione si riferisce ai soli bacini di area inferiore a 2500 km<sup>2</sup>) e, in destra del Po, il bacino del Tanaro con tutti i suoi affluenti (Stura di Demonte, Bormida, Orba). La terza sottoregione, sempre in sponda destra del Po, comprende tutti gli affluenti tra lo Scriva e il Trebbia inclusi, mentre la quarta comprende gli affluenti emiliani del Po, dal Taro al Panaro inclusi. Per la rappresentazione delle curve di crescita si sono prese in considerazione le distribuzioni TCEV e GEV. Per tutte e quattro le sottoregioni, le curve di crescita teoriche sono risultate in grado di descrivere in maniera soddisfacente le corrispondenti distribuzioni di frequenza delle osservazioni. Inoltre, la distribuzione GEV è apparsa complessivamente più adatta a rappresentare la frequenza delle osservazioni nelle varie sottoregioni.

#### 4. Sviluppo di una metodologia a base concettuale per la stima della portata indice

Nel triennio considerato è stata messa a punto una metodologia fisicamente basata per la stima della portata indice, facendo uso delle tecniche di derivazione analitica della distribuzione di probabilità delle portate di piena (Brath et al., 1996b e 1997c). La metodologia messa a punto rappresenta il risultato di un percorso di ricerca da tempo intrapreso, basato sull'uso di una schematizzazione concettuale della trasformazione della sollecitazione meteorica in portata alla sezione di chiusura del bacino idrografico e sulla caratterizzazione stocastica del processo delle precipitazioni che investono il bacino idrografico stesso; tale approccio, applicando opportune tecniche analitiche di derivazione approssimata, permette di desumere la distribuzione di probabilità dei colmi massimi annuali. La metodologia utilizzata ha consentito di derivare una formulazione della piena indice, congruente con uno schema di regionalizzazione fondato sulla distribuzione GEV. Un'analoga metodologia era già stata sviluppata in passato con riferimento a schemi di regionalizzazione fondati sulla distribuzione TCEV. La metodologia proposta ha evidenziato una soddisfacente capacità di riproduzione delle portate di piena indice osservate nei corsi d'acqua del bacino del Po e della Liguria tirrenica. La medesima metodologia è stata oggetto di un'analisi comparativa con altre tecniche di stima della piena indice proposte in letteratura, sia di tipo statistico che di tipo fisicamente basato, nell'ambito delle ricerche descritte nel paragrafo successivo.

#### 5. Analisi della capacità esplicativa delle metodologie indirette di stima della portata indice

Fra le attività di ricerca svolte nel triennio, vanno ricordate quelle relative ad un'analisi comparativa di vari metodi di stima della portata indice, sia di tipo statistico che di tipo concettuale, svolta con l'intento di evidenziarne le capacità predittive e di identificarne, per quanto possibile, gli ambiti di corretta applicazione (Brath et al., 1998a). I modelli statistici considerati nello studio sono quelli di tipo multiregressivo nella classica forma del prodotto di potenze, in cui la scelta delle variabili esplicative è stata effettuata integrando tecniche di regressione stepwise con una procedura di tipo jack-knife (Brath e Franchini, 1998). Per quanto riguarda i modelli a base concettuale, sono stati presi in esame il modello geomorfoclimatico congruente con legge regionale di crescita TCEV, di cui si è detto al paragrafo precedente, e due modelli derivanti dalla logica dell'evento critico, precisamente il modello della corrivazione, impiegato nel Rapporto VAPI della Sicilia, ed il modello estremante proposto da Rossi e Villani. Questi modelli sono stati applicati ad un insieme di 33 stazioni idrometriche dislocate su un'ampia area geografica che include Emilia-Romagna e Marche (Figura 4).

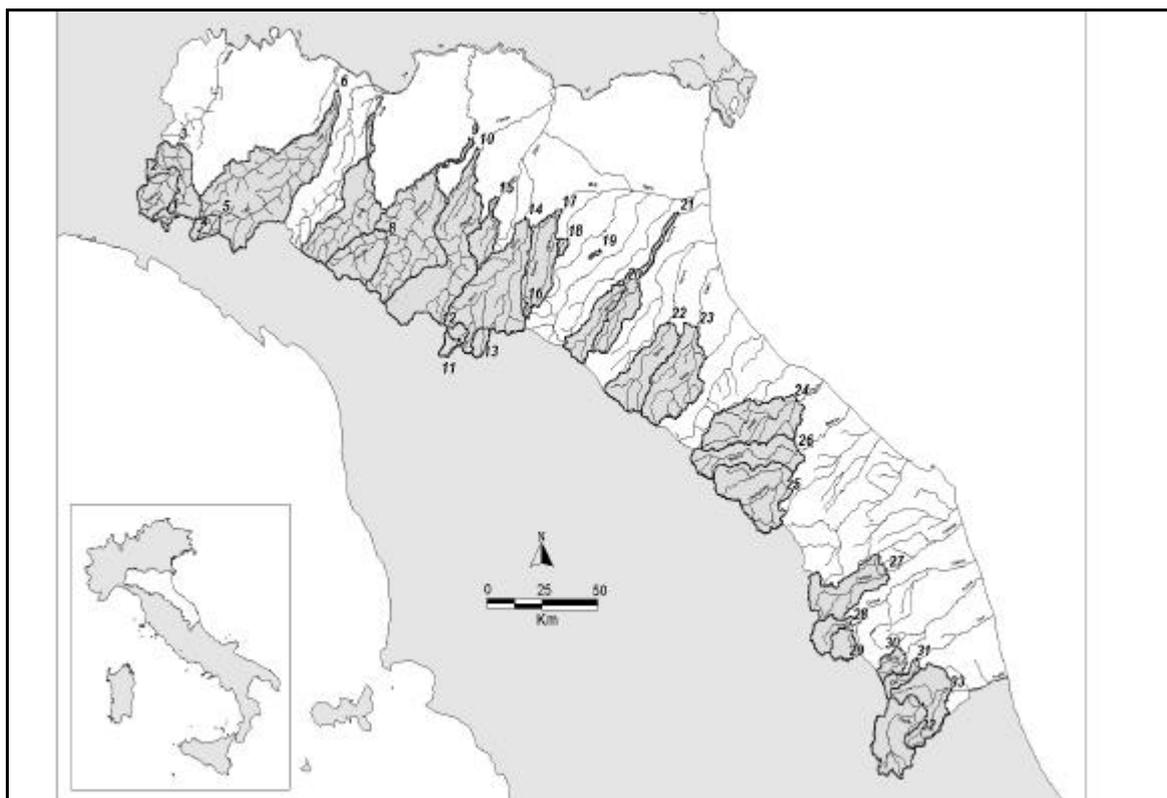


Figura 4 - Area geografica e stazioni idrometriche interessate dallo studio

I risultati hanno mostrato come, a fronte di un miglior comportamento dei modelli statistici, il modello geomorfoclimatico presenti la minore sensibilità alla procedura jack-knife. Detti risultati hanno pertanto evidenziato la superiorità, che in qualche modo ci si poteva intuitivamente attendere, dei modelli a struttura non predefinita, quali quelli statistici, rispetto a modelli di tipo concettuale, caratterizzati da una struttura più rigida, derivante da un qualche tentativo di interpretazione della dinamica della trasformazione afflussi-deflussi. Per contro, la presenza di una concettualizzazione più spinta dei fenomeni naturali, come quella propria del modello geomorfoclimatico, rende il modello meno sensibile alla procedura jack-knife. Quest'ultima procedura è stata applicata durante le fasi di ottimizzazione statistica dei modelli, con l'intento di quantificare l'influenza esercitata sulla stima della portata indice dall'informazione specifica proveniente dalla singola stazione. Nelle Figure 5 e 6 sono riportati i diagrammi di dispersione delle stime fornite rispettivamente dal modello multigradivo e da quello geomorfoclimatico, relative sia al caso in cui i parametri dei modelli siano stimati con le tecniche ordinarie sia al caso di stima con procedura jack-knife.

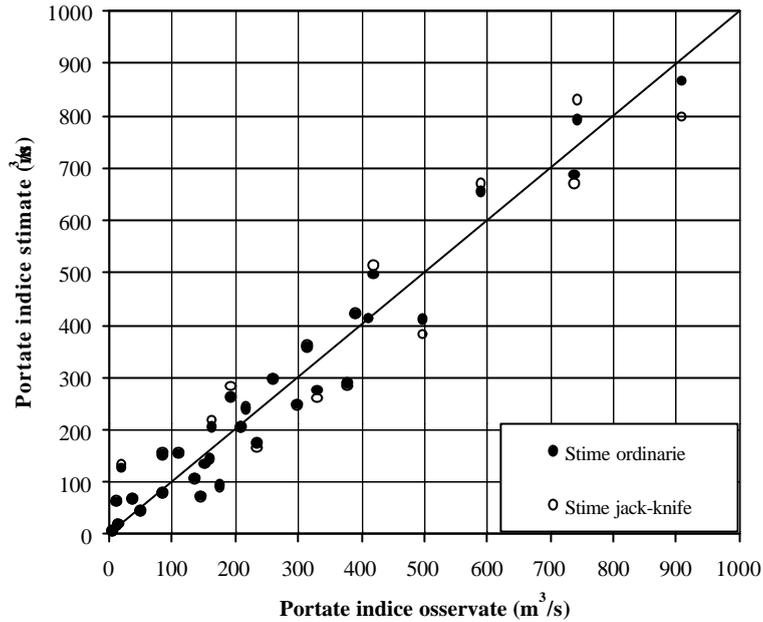


Figura 5 – Diagramma di dispersione delle stime fornite dal modello multiregressivo

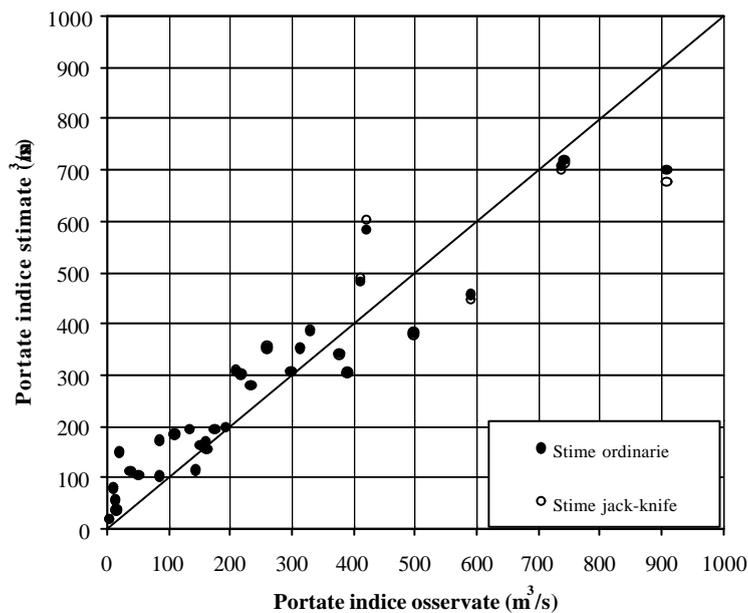


Figura 6 – Diagramma di dispersione delle stime fornite dal modello geomorfoclimatico

L'analisi condotta ha poi mostrato che la stima indiretta della portata indice, sia nel caso dei modelli di tipo statistico che di quelli di tipo concettuale, presenta limitata affidabilità per bacini aventi caratteristiche geomorfoclimatiche fortemente differenti da quelle medie dell'insieme di bacini utilizzati per l'identificazione dei modelli stessi. La Figura 7, ad esempio, evidenzia come per le due stazioni idrometriche sul Fiume Chienti, identificate in tale Figura e nella Figura 4 dai numeri d'ordine 28 e 29 e che risultano caratterizzate da una permeabilità molto più elevata di quella media caratteristica dell'insieme dei bacini considerati, tutti i modelli considerati nello studio sovrastimino il dato osservato di oltre il 400%.

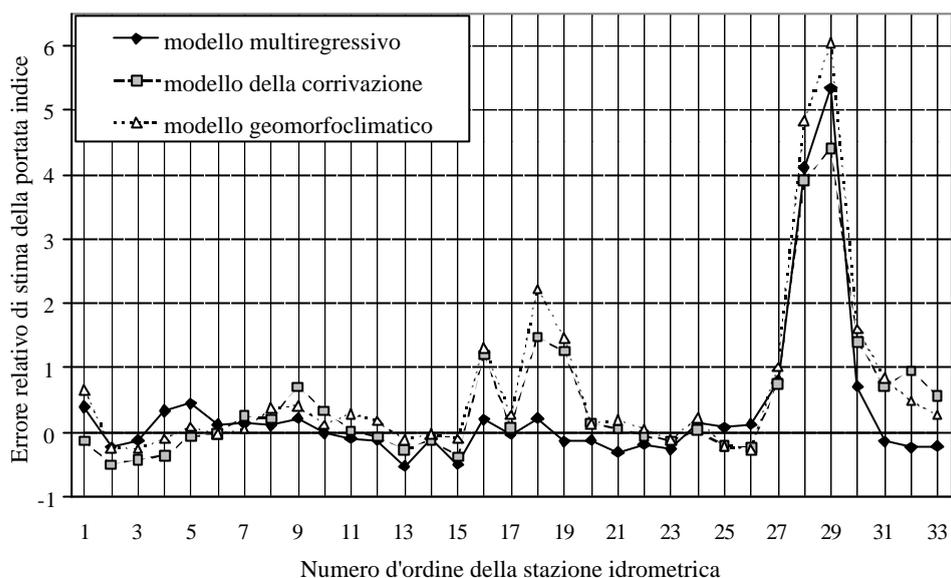


Figura 7 - Confronto tra gli errori relativi di stima della portata indice per i diversi modelli nel caso di procedura jack-knife.

Infine, sempre nella memoria di Brath et al. (1998a), è stato messo in luce come, in situazioni quali quelle precedentemente menzionate, possa risultare preferibile stimare la portata indice per via diretta, anche nel caso in cui la consistenza dell'informazione campionaria disponibile sia molto esigua. Ciò risulta evidente dall'esame della Figura 8, in cui è riportato il confronto tra la stima indiretta ottenuta con il modello mediamente più accurato tra quelli considerati e la stima diretta ottenuta con campioni di soli 2 anni di dati (o di soli 5 anni di dati).

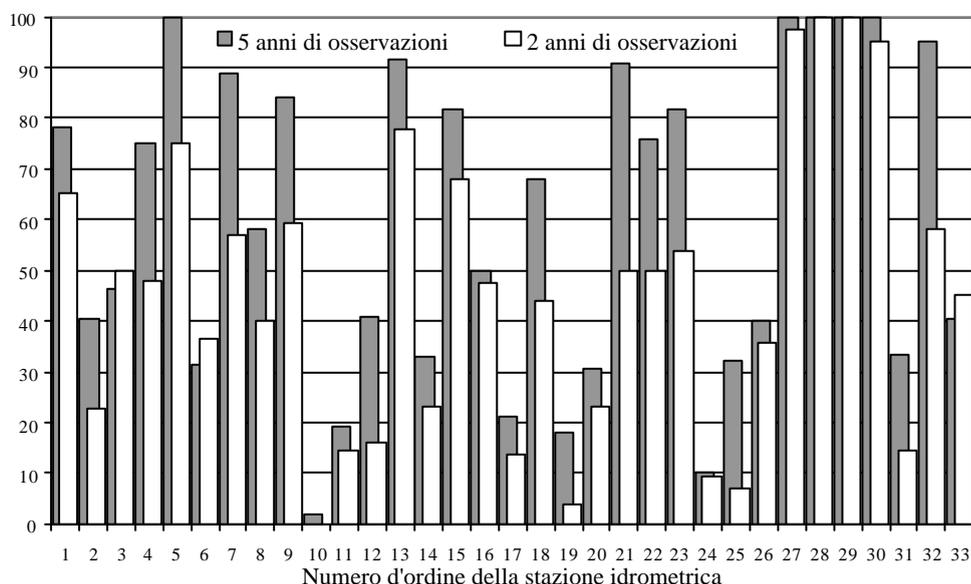


Figura 8 – Percentuale dei casi in cui la stima diretta su base biennale e quinquennale è caratterizzata da errori relativi inferiori a quelli della stima indiretta

Si può notare come per i bacini caratterizzati da una permeabilità elevata (numeri d'ordine 27, 28, 29 e 30), che risulta anomala in quanto assai maggiore di quella media dell'intero insieme di bacini, la stima diretta fornisca prestazioni sensibilmente migliori di quelle della stima indiretta. Nel contempo, può essere opportuno escludere i dati dei bacini anomali dall'insieme di osservazioni utilizzato per l'identificazione del modello di stima indiretta, in quanto la loro presenza potrebbe ridurne la capacità descrittiva nei riguardi dei rimanenti bacini, e sviluppare semmai, qualora il

numero dei bacini anomali lo consenta, un modello indiretto a scala spaziale più ridotta, riferito ad una sotto-regione da loro definita.

## 6. Analisi dell'impatto antropico sul regime delle piene fluviali

Nel triennio sono state anche intraprese ricerche finalizzate a meglio chiarire l'impatto di interventi antropici di controllo delle piene fluviali sul regime di frequenza delle piene stesse (Brath et al., 1998b). In particolare, come caso di studio si è analizzato l'effetto del serbatoio di Bilancino sulle piene del fiume Sieve. Allo scopo, è stato messo a punto un modello di tipo distribuito di formazione dell'onda di piena (v. Brath, 1996), cui è stato accoppiato un codice di calcolo per la simulazione del funzionamento dell'invaso. Il modello idrologico calcola i contributi locali al deflusso superficiale attraverso uno schema di bilancio idrico del suolo basato sulla procedura nota come "time compression approximation" e simula la propagazione di tali contributi nel reticolo di drenaggio attraverso uno schema basato sul metodo Muskingum-Cunge a parametri variabili. La laminazione dell'onda di piena attraverso il serbatoio è studiata discretizzando l'equazione di continuità attraverso uno schema numerico di Runge-Kutta. Il sistema di simulazione così ottenuto, come detto, è stato applicato al bacino del fiume Sieve (con estensione di circa 840 km<sup>2</sup> alla chiusura in Arno) dove il serbatoio di Bilancino controlla un'area di circa 150 km<sup>2</sup>. L'impatto del serbatoio è stato valutato analizzando la risposta del sistema a ietogrammi sintetici di assegnato tempo di ritorno e confrontando le portate al colmo in diverse sezioni lungo l'asta fluviale principale nelle due diverse ipotesi di scenario naturale (bacino senza serbatoio) e di scenario controllato (bacino con serbatoio). È stato così possibile evidenziare le modifiche nel regime di frequenza delle piene indotte dalla realizzazione dell'invaso (v. Brath et al., 1998b).

## 7. Perfezionamento dei modelli di preannuncio delle piene fluviali

Tra le attività di ricerca finalizzate al miglioramento delle prestazioni del preannuncio di piena possono essere innanzitutto menzionate quelle riguardanti l'analisi del contenuto predittivo delle previsioni di pioggia fornite da modelli meteorologici, ricerche intraprese a partire dalle analisi condotte sull'evento alluvionale che ha interessato il Piemonte meridionale nel novembre 1994. Scopo di tali ricerche era la sperimentazione delle possibilità dell'impiego delle previsioni di precipitazione prodotte sia da modelli generali di circolazione dell'atmosfera che da modelli meteorologici ad area limitata ai fini del preannuncio di piena e più in generale per scopi di protezione civile. Le ricerche condotte (Brath, 1997; Brath e Maione, 1996a e 1996b), pur con le limitazioni derivanti dalla casistica presa in considerazione, hanno mostrato come, allo stato attuale, la capacità predittiva dei modelli meteorologici sia alquanto insoddisfacente in vista di una loro possibile utilizzazione per scopi di preannuncio di piena. Per tale ragione, è sembrato utile esplorare, con dettaglio maggiore di quanto finora disponibile in letteratura, le possibilità di utilizzazione per la previsione della pioggia futura di semplici schemi di tipo stocastico, sviluppati a scala di bacino. Le analisi condotte (Brath et al., 1998e) hanno consentito di meglio chiarire i benefici ritraibili dall'uso di tali tecniche, evidenziandone nel contempo le potenzialità applicative ed i limiti di utilizzo.

Sempre nell'ambito del preannuncio delle piene, nel triennio si sono svolte ricerche finalizzate allo sviluppo di modelli concettuali idonei ad essere formulati in un contesto di funzionamento adattativo per scopi di preannuncio di piena. Allo scopo sono state analizzate le problematiche inerenti l'accoppiamento di modelli concettuali a parametri concentrati della trasformazione afflussi-deflussi, del tipo a simulazione continua e funzionanti in modalità off-line, con previsori stocastici dell'errore di calibrazione basati su filtri ARMA e implementati in maniera adattativa. Sebbene l'accoppiamento tra modelli concettuali e modelli stocastici sia non infrequentemente utilizzato nella pratica applicativa, le problematiche connesse non sono state ancora sufficientemente indagate nella letteratura scientifica. Di conseguenza, rimangono tuttora da chiarire parecchi aspetti, al cui esame sono state dedicate alcune ricerche in corso di

svolgimento. L'attività finora svolta (Brath et al., 1997d e 1998d; Toth et al., 1998a, 1998b e 1998c) ha consentito di meglio chiarire la portata dei vantaggi ritraibili dall'accoppiamento fra modelli concettuali e stocastici ed ha fornito alcune indicazioni sulle modalità ottimali di calibrazione adattativa del filtro stocastico. I risultati delle applicazioni, condotte con riferimento al bacino del fiume Sieve a Fornacina, hanno in particolare contribuito a chiarire la dipendenza dei benefici derivanti dalla procedura di correzione su base stocastica delle previsioni dall'ampiezza del lead-time del preannuncio. Tali benefici sono infatti risultati progressivamente decrescenti all'aumentare del lead-time, evidenziando una tendenza ad annullarsi a mano a mano che il valore di quest'ultimo si avvicina ad una determinata soglia, oltre la quale la correzione stocastica delle previsioni comporta un peggioramento delle prestazioni della procedura di preannuncio. Lo studio delle relazioni esistenti tra tale valore di soglia ed il tempo caratteristico della risposta idrologica del bacino è tuttora oggetto di indagine.

## Gruppo di lavoro

Nel triennio, hanno collaborato con continuità alle ricerche condotte dalla U.O. 1.43 il Prof. Armando Brath (responsabile), il Prof. Marco Franchini, associato presso l'Università di Ferrara, l'Ing. Giorgio Galeati dell'ENEL Cris di Mestre, l'Ing. Alberto Montanari, ricercatore presso il Distart dell'Università di Bologna, l'Ing. Attilio Castellarin e l'Ing. Elena Toth, dottorandi di ricerca presso il DISTART Università di Bologna. Le ricerche si sono avvalse anche del contributo di altre collaborazioni occasionali.

## Bibliografia:

- Brath, A. - *Modelli matematici di formazione dei deflussi di piena*, in Maione, U. e A. Brath (eds.) *La sistemazione dei corsi d'acqua naturali, Atti del Corso di aggiornamento, Milano, 9-13 ottobre 1995, Editoriale BIOS, Cosenza, settembre, 1996.*
- Brath, A. - *On the role of numerical weather prediction models in real-time flood forecasting, Proceedings International Ribamod Workshop on Integrated Systems for Real-Time Flood Forecasting and Warning (in stampa), Monselice (Italy), September 25-26, 1997.*
- Brath, A. e M. Franchini - *La valutazione regionale del rischio di piena con il metodo della portata indice*, in Maione, U. e A. Brath (eds.) *La difesa idraulica dei territori fortemente antropizzati, Atti del Corso di aggiornamento, Milano, ottobre 1997, Editoriale BIOS, Cosenza, 1998.*
- Brath, A. e U. Maione - *Caratterizzazione statistica e prevedibilità in tempo reale di alcuni recenti eventi alluvionali, Atti del XXV Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Torino, 16-18 Settembre 1996, Vol.I, 64-76, 1996a.*
- Brath, A. e U. Maione - *Sulla capacità predittiva dei modelli meteorologici ai fini della prevenzione delle catastrofi idrogeologiche, Atti del Convegno internazionale su La prevenzione delle catastrofi idrogeologiche: il contributo della ricerca scientifica, Alba, 5-7 Novembre, 1996b.*
- Brath, A., P. Burlando, C. De Michele, M. Mancini e R. Rosso - *Assetto frattale e multifrattale del regime di piena nell'Italia Nord-Occidentale, Atti del Convegno La difesa dalle alluvioni (in corso di stampa), Firenze, 4-5 Novembre, 1996a.*
- Brath, A., A. Castellarin, M. Franchini e G. Galeati - *La stima della portata indice mediante metodi indiretti, manoscritto accettato per la pubblicazione su L'Acqua, 1998a.*

- Brath, A., C. De Michele e R. Rosso - *Una metodologia indiretta a base concettuale per la valutazione della portata indice*, Atti del XXV Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Torino, 16-18 Settembre 1996, Vol. I, 52-63, 1996b.
- Brath, A., C. De Michele e R. Rosso - *Analisi delle proprietà di scala e regionalizzazione delle piene fluviali*, Atti del Convegno internazionale su La prevenzione delle catastrofi idrogeologiche: il contributo della ricerca scientifica, Alba, 5-7 Novembre, 1996c.
- Brath, A., C. De Michele, G. Galeati e R. Rosso - *Una metodologia per l'identificazione di regioni omogenee nel regime di piena. Applicazione all'Italia nord-occidentale*, L'Acqua, 1, 17-26, 1997a.
- Brath, A., C. De Michele e R. Rosso - *Fractal properties of flood frequency at basin and regional scale*, Proceedings of the International Conference on Regionalization in Hydrology, Braunschweig, Germany, March 10-14, 1997b.
- Brath, A., C. De Michele e R. Rosso - *Combining statistical and conceptual approaches for index flood estimation*, in Regional hydrology: concepts and models for sustainable water resources management, IAHS Pub. n. 246, pp.287-295, IAHS Press, Wallingford, UK, 1997c.
- Brath, A., L. Dall'Agata e S. Orlandini - *On the impact of flood control reservoirs on catchment dynamics during flooding conditions*, Proceedings Second International Ribamod Workshop on Impact of Climate Change on Flooding and Sustainable River Management (in stampa), Wallingford, UK, February 26-27, 1998b.
- Brath, A., M. Franchini e G. Galeati - *Valutazione delle piogge intense nell'Italia centrosettentrionale*, L'Acqua, 4, 15-27, 1998c.
- Brath, A., M. Franchini, A. Montanari e E. Toth - *Coupling deterministic and stochastic models for real-time flood forecasting*, Proceedings International Ribamod Workshop on Integrated Systems for Real-Time Flood Forecasting and Warning (in stampa), Monselice (Italy), September 25-26, 1997d.
- Brath, A., Montanari, A., e Toth, E., *Stochastic Techniques for Improving Real-Time Flood Predictions*, accettato per la pubblicazione sui Proceedings 28th Conference of IAHR, Graz 22-27 agosto 1999, ottobre 1998d.
- Brath, A., A. Montanari e E. Toth - *Su alcune tecniche stocastiche per il miglioramento delle prestazioni del preannuncio di piena*, Atti del XXVI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, vol. II pp.159-172, Catania, settembre 1998e.
- Rosso, R., A. Brath, P. Burlando, C. De Michele e M. Mancini - *Invarianza di scala del regime di piena. Applicazione all'Italia nord-occidentale*, L'Acqua, 5, 15-23, 1996.
- Toth, E., A. Brath e A. Montanari - *Real-time flood forecasting via combined use of conceptual and stochastic models*, sommario della memoria presentata alla XXIII General Assembly dell'European Geophysical Society, Nizza 20-24 aprile 1998, Annales Geophysicae, supplement II to Volume 16, p.C476, 1998a.
- Toth, E., A. Brath e A. Montanari - *Real-time flood forecasting via combined use of conceptual and stochastic models*, memoria accettata per la pubblicazione su Physics and Chemistry of the Heart, 1998b.
- Toth, E., A. Montanari e A. Brath - *Real-time Flood Forecasting: Linear Stochastic Techniques Coupled to Conceptual Rainfall-Runoff Models*, sommario della memoria presentata al 1998 Fall Meeting dell'American Geophysical Union, San Francisco, California, 6-10 Dicembre 1998, Eos Transactions, suppl. Vol. 79(45), p.F279, 1998c.

*GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE CATASTROFI  
IDROGEOLOGICHE*

**INDIZI E PROCESSI GEOMORFOLOGICI DEL  
SISTEMA ALVEO PIANURA CORRELATI AGLI EVENTI  
IDROLOGICI ESTREMI**

**RAPPORTO TRENNALE 1996-1998**

U.O. 1.44

Responsabile: Prof. ing. Paolo Tacconi

Coerentemente con quanto descritto nei programmi annuali relativi al Progetto di ricerca "*Indizi e processi geomorfologici del sistema alveo-pianura correlati agli eventi idrologici estremi*", l'U.O. si è occupata - nel triennio in esame - della valutazione del rischio geologico-idraulico in situazioni particolari, legate soprattutto alla dinamica degli alvei fluviali ed alle sue relazioni con la dinamica dei versanti.

E' proseguito lo studio della frana di Montebestia (Comune di Montone - PG), che s'inquadra nell'ambito generale dell'analisi della tipologia e delle cause più ricorrenti dei movimenti franosi che coinvolgono i sedimenti elastici plio-pleistocenici (conglomerati, sabbie, limi e argille) comunemente attribuiti alla facies fluvio-lacustre di colmamento dell'Antico Lago Tiberino (Villafranchiano Auct.).

Nell'area in frana, che ha mostrato un'evoluzione rapida negli ultimi anni, specie nell'area di testata (figg. 1-2), è stata compiuta una campagna geognostica consistita nell'esecuzione di tre sondaggi a carotaggio continuo, due dei quali sono stati attrezzati con piezometri a tubo aperto e uno con inclinometro, tuttora sotto controllo.

Contemporaneamente è stata istituita una rete di monitoraggio GPS, grazie alla quale possono essere ottenuti dati sui movimenti superficiali del colamento in atto.

I dati raccolti hanno permesso di identificare una situazione stratigrafica relativamente complessa (come era lecito aspettarsi, considerata la natura dei litotipi presenti in tutta l'area di Montone e le modalità della loro messa in posto, assimilabili ad una facies di fan-deltas lacustri) e che comunque permette di individuare la probabile superficie di scivolamento ad una profondità variabile dai 10 ai 13 metri dal p.c.

I risultati della campagna geognostica sono stati presentati al Convegno FIST di Bellaria dell'ottobre 1997.

Si tratta, per altro, di una frana estremamente rappresentativa della tipologia dei movimenti franosi che frequentemente interessano i sedimenti plio-pleistocenici in facies fluvio-lacustre dell'Italia centrale (nell'ambito dei così detti: "bacini intermontani appenninici"). La presentazione

di un lavoro di sintesi finale, che contempra anche questo aspetto non certo secondario, è prevista per il prossimo Congresso dell'EGS di Le Hague, nell'aprile 1999.

Fig. 1 - La frana di Montebestia (in alto, indicata dalla freccia) come si presentava nelle foto aeree del volo 1977 della Regione Umbria. E' evidente l'andamento arcuato della nicchia di distacco con il colamento del corpo di frana che arriva quasi a lambire l'alveo del F.so il Rio (che defluisce dall'alto verso il basso della foto, sulla sinistra). In basso il centro abitato di Montone.

Fig. 2 - La stessa inquadratura della fig. 1. tratta dal volo della Regione Umbria del 1990. La freccia indica il medesimo punto della frana di Montebestia. che mostra una decisa riattivazione dell'area di testata. Si nota un arredamento sensibile della nicchia di distacco che sfrutta una linea di frattura, evidenziata dall'andamento rettilineo del fianco sinistro della frana.

Oltre alla frana di Montebestia, sono state individuate durante questo periodo altre situazioni di interesse, sulle quali si è concentrata l'attività di ricerca:

- la prima è rappresentata dalla frana sul T. Puglia (affluente del F. Tevere) presso Barattano (Comune di Gualdo Cattaneo - PG) il cui accumulo è già arrivato ad occludere l'alveo;
  - la seconda è quella rappresentata dalla frana di Colle Pizzuto, avvenuta negli anni '60 e che ha formato un lago di sbarramento tuttora esistente e sulla quale non è stato finora prodotto alcun intervento. Solo in tempi recenti è stato messo a punto un progetto di sistemazione del versante interessato dal movimento franoso.

La scelta è ricaduta su queste due situazioni, in quanto la prima permette la valutazione del rischio geologico-idraulico conseguente al movimento franoso in tempi "reali", considerato lo stato di attività della frana stessa; la seconda permette invece di valutare le conseguenze dello sbarramento a distanza di oltre trent'anni dall'evento.

L'Italia centrale, nell'area appenninica, è spesso interessata da fenomeni di sbarramento naturale degli alvei fluviali. A scala regionale si sono prodotte, in passato (Plio-Pleistocene), vere e proprie "interruzioni" del deflusso indotte da movimenti tettonici che costituiscono fasi precise nel quadro dell'evoluzione idrografica nell'area appenninica. Queste hanno provocato la formazione di conche lacustri soggette a sedimentazione clastica, successivamente vuotate per tracimazione e/o taglio naturale di "soglie". Nella nota sono così ricordati alcuni casi di formazione di specchi lacustri per "confinamento" del deflusso nell'area umbra. A scala di dettaglio, invece, i fenomeni di occlusione naturale d'alveo sono dovuti a movimenti franosi che provocano la formazione di "laghi di sbarramento". Alcuni elementi ricorrenti caratterizzano, frequentemente, la presenza di tali frane: la tendenza all'erosione lineare e laterale degli alvei fluviali, indotta dall'approfondimento del reticolo idrografico; il tipo di sedimenti coinvolti (clastici continentali); le caratteristiche stratigrafiche dei depositi, in cui livelli incoerenti (ghiaie e sabbie) si alternano a livelli coesivi (limi e argille, spesso lignitifere). La presenza concomitante di tali elementi è, in ultima analisi, condizionata proprio dai fattori geologico-strutturali presenti nell'area appenninica; da una parte la tettonica distensiva "produce" la formazione di bacini endoreici soggetti a sedimentazione clastica; dall'altra il sollevamento associato a questa fase tettonica determina l'approfondimento della rete idrografica, che comporta fenomeni di erosione e scalzamento al piede dei versanti o, quanto meno, il mantenimento di pendenze incompatibili con situazioni di equilibrio.

Frane di questo genere, frequenti nell'area appenninica., interessano - a volte - anche il substrato roccioso pre-pleistocenico (ad esempio le formazioni flyschoidi oligo-mioceniche della serie toscana e di quella umbro-marchigiana).

In alcuni casi esse hanno dato luogo a fenomeni di allagamento degni di nota. per la "spettacolarità" dell'evento e per i danni causati, come è accaduto in tempi storici (1855) per la

frana di Belmonte (CENCETTI & VIGLIONE, 1995) che ha provocato il completo allagamento dell'intera cittadina toscana di Pieve S. Stefano, in provincia di Arezzo.

Le condizioni di rischio geologico-idraulico connesse a situazioni del genere sono evidenti e possono essere sintetizzate in:

- possibilità di tracimazione del bacino lacustre formatosi in seguito all'occlusione e rapido smantellamento dello sbarramento naturale, con conseguente onda di piena che si propaga verso valle;
- possibilità di crollo rapido ed improvviso dello sbarramento naturale, con le stesse conseguenze del caso precedente, magari ancora più accentuate per la rapidità di evoluzione del fenomeno;
- condizioni idrauliche dell'alveo (a valle dell'invaso naturale formatosi) non idonee a garantire il libero deflusso dell'onda di piena;
- opere idrauliche in alveo (ponti, dighe, vie di comunicazione), se non addirittura centri abitati, che possono essere interessati da fenomeni di esondazione al passaggio dell'onda di piena;
- possibilità di allagamento di strutture e/o centri abitati a monte dello sbarramento naturale (vedi il caso di Pieve S. Stefano).

Tra le due, la frana di Barattano (sul versante in sinistra idrografica del T. Puglia, affluente del Tevere) è ancora oggetto di indagini.

La recente evoluzione della frana (fig. 3) ha portato ad una modifica della zona di testata, in cui la nicchia principale, appena accennata fino a qualche mese fa, è decisamente arretrata, evidenziando una scarpata di circa tre metri. Il colamento è così continuamente alimentato ed ha prodotto la formazione di un piccolo lago di sbarramento che tuttavia - almeno fino ad ora - è sormontato dalle acque del T. Puglia.

Sono stati intanto reperiti fondi, messi a disposizione dalla Regione Umbria, che hanno permesso di eseguire un'indagine geognostica, consistita in n.3 sondaggi a carotaggio continuo, attrezzati con 1 piezometro e 2 inclinometri. Un altro sondaggio, a distruzione di nucleo, è stato attrezzato con un ulteriore piezometro.

La serie stratigrafica individuata mostra una tipica sequenza regressiva di tipo lacustre, con argille lignitifere alla base (il cui limite inferiore non è stato raggiunto) su cui poggiano sabbie e conglomerati.

Tale serie è stata attribuita al Pleistocene inferiore - medio da GREGORI (1988 - Il "Bacino di Bastardo": genesi ed evoluzione nel quadro della tettonica recente. Boll. Soc. Geol. It., 107).

Le letture degli inclinometri sono state effettuate dal dicembre 1997; da queste risulta che la superficie di scivolamento giace - con ogni probabilità - o al contatto tra i materiali clastici più grossolani e le argille o addirittura all'interno del membro argilloso.

Una cosa comunque è certa: il sondaggio effettuato pochi metri al di sopra della quota dell'alveo del T. Puglia, in sinistra idrografica, spinto a circa 19 metri, non ha incontrato il basamento marnoso-arenaceo miocenico. Dato che le marne e le arenarie affiorano in destra idrografica al Puglia, quanto rilevato dal sondaggio conferma l'esistenza di una faglia, seguita dal tracciato del Puglia, che mette in contatto tettonico la serie lacustre con il basamento miocenico - come descritto, sulla base di soli elementi geomorfologici, da GREGORI (1988).

Fig. 3 - La frana di Barattano vista dal coronamento. Sullo sfondo la valle del T. Puglia, il cui alveo è stato occluso dal colamenti in atto.

Fraintanto è terminato lo studio preliminare della Quebrada de Humahuaca, in Argentina, sul versante orientale della *Precordillera Andina*.

Lo studio rientra nell'ambito delle ricerche che l'Istituto di Ingegneria Ambientale dell'Università di Perugia sta conducendo sulla dinamica fluviale di alvei ghiaiosi in aree tettonicamente attive.

L'entità dei processi di erosione e di trasporto solido è infatti senza dubbio favorita dall'intensità dei processi di sollevamento che si realizzano nelle aree di catena. Questi sono tali da determinare spesso un alto grado di mobilità degli alvei e gravi eventi alluvionali, associati in particolare al fenomeno del trasporto solido.

La metodologia di indagine, rilevamento e rappresentazione cartografica degli elementi geomorfologici, sedimentari ed antropici degli alvei fluviali presenti in questi ambienti geodinamici (TACCONI, 1990 - *La dinamica fluviale*, Atti del VII Congresso dell'Ordine Nazionale dei Geologi, Roma), già sperimentata su alcuni corsi d'acqua appenninici quali il F. Arno, il F. Tevere ed i loro affluenti, ha indotto ad applicare tali criteri metodologici in condizioni geografiche e morfoclimatiche diverse, verificandone l'attendibilità e consentendo la messa a punto della metodologia stessa.

Il fine ultimo è quello di effettuare utili confronti tra due situazioni - nel caso particolare: quella andina e quella appenninica - che presentano un forte condizionamento da parte dei fattori geologico-strutturali e tettonici sulle forme del rilievo (e, conseguentemente, sui processi legati alla morfogenesi fluviale), ma che subiscono l'influenza di condizioni climatiche diverse e di altrettanto diversi condizionamenti antropici.

La scelta di un corso d'acqua andino come la *Quebrada de Humahuaca* - che corrisponde all'alto bacino del Rio Grande de Jujuy - è stata dettata da una serie di motivi che possono essere così sintetizzati:

1. è presente un forte controllo litologico, strutturale e climatico sul processo morfogenetico fluviale nella sua interezza e sulla dinamica dell'alveo in particolare;
2. i fenomeni osservati sono molto intensi ed estesi arealmente; essi trovano ragion d'essere soprattutto nei processi legati al trasporto solido che diventa, forse in quest'area come in poche altre al mondo, il responsabile primo dell'evoluzione del rilievo;
3. è assente, praticamente in maniera totale, qualsiasi condizionamento antropico - almeno per gran parte del tracciato della Quebrada - il che permette di osservare e seguire da vicino i processi legati alla dinamica fluviale e la naturale tendenza evolutiva del corso d'acqua. Di fatto, questo elemento è estremamente difficile da valutare nei corsi d'acqua della nostra penisola dove i processi che definiscono la dinamica degli alvei fluviali interferiscono con opere idrauliche, con opere di sistemazione d'alveo (arginature, difese spondali opere trasversali etc.), con l'attività estrattiva, con quella agricola etc. Tutto ciò rende praticamente possibile cogliere non tanto le tendenze evolutive naturali del corso d'acqua, quanto piuttosto quelle risultanti dall'interferenza con le varie attività antropiche;
4. sono presenti infrastrutture viarie strategicamente essenziali, di importanza internazionale (*Ruta Panamericana Nacional n. 9 Juan Batista Alberdi e Ferrocarril General Belgrado*, che rappresentano gli unici collegamenti con la Bolivia e - la prima - anche con il Cile); queste, a causa dell'intensità dei processi riscontrati, sono costantemente in crisi in quanto sottoposte a continui alluvionamenti per fenomeni di debris flow.

E' stata preparata una nota, già inviata alla rivista *Geografia fisica e Dinamica Quaternaria*, in cui sono stati riportati i risultati preliminari, relativi all'inquadramento geomorfologico generale del bacino della Quebrada; lo studio è stato condotto in collaborazione con *l'Instituto de Geologia de la Universidad de Salta*, che ha contribuito al supporto logistico delle campagne di studio effettuate in Argentina.

L'aspetto che riguarda invece più specificatamente le problematiche legate ai processi di *debris flow*, ha costituito l'oggetto di un poster presentato al 1° Convegno, già citato, della FIST, tenuto a Bellaria.

Durante le campagne di rilevamento è stata eseguita la fotointerpretazione dell'intera area. a scala di bacino; ciò ha permesso di definire le caratteristiche geomorfologiche generali - che sono state sintetizzate in una carta tematica - e di individuare le attuali tendenze evolutive del sistema alveo - pianura alluvionale.

È stato inoltre effettuato anche il rilevamento di dettaglio dei caratteri morfologico-sedimentari dell'alveo della Quebrada ed il campionamento dei sedimenti del canale e dei corpi sedimentari presenti, studio tuttora in elaborazione e che sarà oggetto di prossima pubblicazione.

Nel gennaio 1997 la zona di Valderchia nel Comune di Gubbio (PG) è stata interessata da un imponente movimento franoso che ha provocato l'occlusione del T. S. Donato (subaffluente del F. Tevere), la formazione di un lago di sbarramento e la distruzione di due fabbricati di civile abitazione ivi presenti.

Il substrato litoide dell'area in frana è rappresentato dalla Formazione marnoso-arenacea (serie umbro - archigiana) qui a contatto stratigrafico con la formazione sottostante dello Schlier, più schiettamente marnosa.

La Formazione marnoso-arenacea è caratterizzata in quest'area dalla presenza del "livello Contessa", bancone calcarenitico di spessore superiore ai 2 metri, che affiora sulla sommità del versante interessato dal movimento, con assetto giaciturale variabile dal verticale al reggipoggio.

La particolare resistenza alla degradazione meteorica del "Contessa" ha determinato, a livello morfologico, il mantenimento di pendenze medie relativamente accentuate (circa il 70%); il versante è inoltre caratterizzato dalla presenza di rotture di pendio che marcano l'affioramento degli strati arenacei e calcarenitici più resistenti rispetto alle marne intercalate. Alla base del pendio, invece, la formazione dello Schlier., costituita essenzialmente da marne argillose e/o siltose, determina la presenza di una vallecola a fondo piatto, orientata all'incirca secondo la direzione della stratificazione, caratterizzata da pendenze più indotte.

Dal rilevamento geologico e geomorfologico sul terreno e dall'esame comparativo di foto aeree precedenti e immediatamente successive all'evento franoso (queste ultime frutto di un volo aereo "ad hoc" commissionato dall'U.O. e finanziato con fondi C.N.R. - G.N.D.C.I.), è emerso che il movimento si è sviluppato su un'area caratterizzata da movimenti progressi e diffusi su tutto il versante, evidenziati dalla dislocazione di grossi blocchi del livello Contessa di interi pacchi di strati della Formazione marnoso-arenacea, che si rinvenivano a diverse quote del versante stesso, con assetto caotico e sicuramente imputabile a crolli e ribaltamenti di estese porzioni di roccia.

La frana attuale ha uno sviluppo longitudinale di circa 480 metri e larghezza, in testata, di circa 120 metri, per un volume complessivo stimato di poco inferiore a 1 milione di m<sup>3</sup> (fig. 4). Si tratta di una frana "composta" (WP/WPLI, UNESCO, 1994), in quanto caratterizzata dalla combinazione di due tipologie di movimenti avvenuti simultaneamente: scivolamenti prevalentemente rotazionali nell'area di testata (che hanno prodotto quattro serie di nicchie parallele, situate a diverse quote, fino ad arrivare alla base del "Contessa") e colamento del corpo di frana che ha provocato l'occlusione totale dell'alveo del sottostante T. S. Donato e si è arrestato contro il ponte della vecchia "Strada della Contessa" che corre entro la valle del S. Donato.

Fig. 4 - La frana di Valderchia, nel comune di Gubbio. In alto è evidente il bancone calcarenitico (livello "Contessa") dalla base del quale si è staccata la frana che ha investito le due abitazioni (in basso, a sinistra) ed ha prodotto l'occlusione totale del T. S. Donato, causando la formazione di un lago di sbarramento (vedi fig. 5).

Il lago formatosi a monte dello sbarramento (fig. 5) è stato prontamente svuotato nei giorni immediatamente successivi all'evento, per le evidenti condizioni di rischio legate alla presenza, a valle della sezione d'alveo occlusa, della zona periferica dell'abitato di Gubbio.

Fig. 5 - Il lago di sbarramento prodotto dalla frana di Valderchia, che ha occluso completamente l'alveo del T. S. Donato.

Fig. 6 - Dettaglio dei danni subiti dalle abitazioni coinvolte nel movimento franoso di Valderchia.

Il regolare deflusso del corso d'acqua è stato, almeno temporaneamente, ripristinato tramite un by pass che supera l'area interessata dal corpo di frana.

Nonostante altri interventi di emergenza effettuati (drenaggi superficiali sulla sommità e sui fianchi dell'area in frana, per altro realizzata con tecniche di dubbia efficacia) il versante è ancora tutt'altro che in condizioni di sicurezza.

La campagna geognostica è stata finalizzata all'elaborazione di un progetto di pronto intervento che farà da "base" ad un progetto di ripristino, tendente ad una definitiva mitigazione del rischio derivante da una possibile - anzi probabile - riattivazione del fenomeno.

Tuttora il corpo franoso, che sembra stabilizzato al piede, dove ha incontrato l'ostacolo rappresentato da un ponte in muratura di una vecchia strada ormai dismessa dall'ANAS, ha assunto una direzione di movimento verso il fronte della ex-miniera —impostata sulla formazione marnosa della Scaglia Cinerea (fronte ben visibile in fig. 4), come risulta dal monitoraggio inclinometrico tuttora in corso.

I primi risultati della ricerca sono stati presentati nell'ottobre 1998 al 8th Congress della IAEG a Vancouver (Canada).

Sempre con riferimento alle frane che producono occlusione dei corsi d'acqua, è stata avviata una ricerca di impostazione metodologica riguardo alla definizione di una procedura per la valutazione dell'incremento di pericolosità di una frana quando questa interferisce - in linea generale - con il sistema alveo-pianura fluviale.

Infatti una frana - che può avere di per sé, una certa pericolosità sul versante in cui si sviluppa - una volta raggiunto un corso d'acqua, provoca un incremento della pericolosità legato principalmente alla possibile onda di piena anomala che può generarsi per collasso o rapida erosione del corpo franato.

Si ha così un sostanziale aumento dell'area interessata dal fenomeno complesso, con un aumento della pericolosità sia a monte (sommersione), sia a valle (alluvionamento).

La valutazione di incremento di pericolosità è stata inquadrata in due momenti fondamentali:

- il primo riguarda la definizione degli scenari di interferenza tra frana e sistema alveo-pianura, rappresentati da un ampio spettro di situazioni che variano da quelle in cui il fenomeno franoso non arriva in alveo, a quelle in cui si produce lo sbarramento totale dell'intero sistema alveo - pianura fluviale;
- il secondo riguarda la definizione degli effetti conseguenti al fenomeno ed alla sua evoluzione, che possono variare sensibilmente caso per caso: per ciò che riguarda l'alveo, da un incremento della sedimentazione a modificazioni morfologiche anche molto rilevanti, a causa dei fenomeni idraulici anomali; per quanto riguarda la pianura fluviale, ove presente, gli effetti possono variare da nessun interessamento, alla possibilità di alluvionamenti fino alla distruzione totale di eventuali infrastrutture.

Essenziale nella procedura di definizione della pericolosità è la determinazione *degli scenari di interferenza caratteristici* tra fenomeno franoso e sistema alveo - pianura fluviale.

Le procedure per arrivare alla definizione degli scenari vengono differenziate per alvei fissi e per alvei mobili.

Gli scenari relativi all'alveo fisso sono:

- sbarramento dell'alveo;

- sbarramento parziale permanente o ad erosione lenta;
- sbarramento parziale ad erosione rapida.

Gli scenari relativi all'alveo mobile sono:

- sbarramento dell'intero sistema alveo-pianura;
- sbarramento dell'alveo;
- sbarramento parziale permanente o ad erosione lenta;
- sbarramento parziale ad erosione rapida;
- nessuna interferenza con l'alveo.

Sono stati dunque schematizzati i due elementi *frana* e *fiume* individuando i *parametri significativi* e necessari alla valutazione dell'incremento di pericolosità, inquadrandoli in campi omogenei e confrontabili: tipologia, geometria., dinamica

Nella seguente tabella vengono riassunti in maniera schematica i principali parametri individuali:

## FRANA SISTEMA ALVEO-PIANURA

**TIPOLOGIA** Si fa riferimento alla classificazione di Cruden & Varnes, 1994 basata sul tipo di movimento (falls, slides, flows) in relazione al materiale di frana distinto in rock, debris, earth.

Sistemi con assenza di pianura: alvei fissi Sistemi con pianura: alvei mobili rettilinei, intrecciati, meandriiformi, anastomizzati, (Leopold et alii, 1964, Miall, 1981) di alta, medio-alta, medio bassa, bassa energia (Nanson & Croke, 1992)

**GEOMETRIA** Larghezza del fronte di frana (A); Altezza media del fronte di frana(H); Distanza massima che potenzialmente può raggiungere il fronte di frana nel sistema alveo pianura(L); Pendenza della superficie (Ss).Larghezza totale del sistema alveo-pianura fluviale (Lap); Larghezza canale (W); Distanza tra il canale e il piede del versante in frana (Di); Distanza tra il canale e il piede opposto a quello in frana (De); Pendenza del pelo libero dell'acqua(Sw).

**DINAMICA** Velocità (V); Portata di massa (Qm); Portata del movimento franoso (Ûs); Portata di energia cinetica della frana (Ps) portata alveo pieno (Qw) Granulometria dei sedimenti d'alveo ( ); Stream power (Ûw); Portata di energia cinetica del corso d'acqua (Pw)

Il primo passo per la costruzione di scenari possibili è quello di correlare i diversi parametri "utili" descritti in precedenza.

In base alle diverse combinazioni possibili si possono ottenere scenari di interferenza, i cui elementi descrittivi saranno espressi da relazioni tra i parametri omologhi, secondo i successivi livelli di lettura prima descritti (geometrico, dinamico).

Per chiarire la procedura percorribile per la definizione degli scenari di interferenza è stato predisposto un diagramma di flusso - tipo, relativo ad una frana (es. di scivolamento rotazionale) che interferisce con un sistema alveo - pianura fluviale (es. un alveo mobile meandriiforme).

Come evidenziato nel diagramma di fig. 7, il primo livello di confronto è di tipo *geometrico*, attraverso il quale si verifica la possibilità ed il grado di interferenza.

Una volta verificata la possibilità geometrica di interferenza, si considera l'aspetto *dinamico* del problema, attraverso il confronto tra i parametri energetici dei due sistemi (alveo e frana).

A tal fine sono state proposte le grandezze fisicamente confrontabili:

<i>portata di energia cinetica della frana (Ps )</i>	—	<i>portata di energia cinetica del corso d'acqua (Pw)</i>
<i>potenza del movimento franoso (___s)</i>	—	<i>stream power (___w)</i>

che rappresentano due gruppi di indicatori, validi assimilando il movimento del corpo di frana a quello di un fluido omogeneo.

In ogni caso, quando il movimento franoso ha un'energia ( ) nettamente superiore a quella del corso d'acqua ( ) gli scenari di interferenza sono condizionati principalmente dalle dimensioni della frana stessa e, in particolare, dalla distanza massima di arrivo della frana entro il sistema alveo-pianura.

Nel caso opposto ( / <<1), gli scenari risultanti sono condizionati dalle dimensioni dei clasti ( ) che arrivano in alveo. Tali clasti, che costituiscono il corpo franoso, potranno essere rimossi totalmente, o in parte, in funzione della "competenza" della corrente del corso d'acqua.

Lo scenario previsto deriverà dal confronto tra la "granulometria" del materiale di frana e la dimensione massima dei sedimenti in alveo.

Il diagramma di flusso riporta, nella parte inferiore, la possibile evoluzione nel tempo degli scenari individuati.

Nei casi di sbarramento la diga naturale può collassare e provocare un'onda di piena e di detriti a valle, con conseguenze più o meno disastrose nel sistema fluviale, oppure può rimanere stabile. In quest'ultimo caso essa può essere tracimata ed erosa lentamente (fenomeno controllabile con interventi adeguati), o tracimata ed erosa velocemente, causando modifiche più o meno rilevanti del sistema fluviale per l'onda di piena e di detriti ed il conseguente alluvionamento della pianura.

Fig. 7 - Diagramma di flusso utilizzabile per la previsione di fenomeni di interferenza tra frane di versante ed alvei fluviali mobili.

## Legenda

L = distanza massima che potenzialmente può raggiungere il fronte di frana

W = larghezza del canale

Lap = larghezza del sistema alveo-pianura

Di = distanza tra il canale ed il piede del versante in frana

De = distanza tra il canale ed il piede del versante opposto a quello in frana

G =  $(L - Di) / W$

= Energia del movimento franoso

= Energia del corso d'acqua

= materiale di frana con dimensione dei clasti molto maggiore della dimensione massima dei sedimenti dell'alveo

Ø = materiale di frana con dimensione dei clasti in parte maggiore della dimensione massima dei sedimenti dell'alveo

ø = materiale di frana con dimensione dei clasti minore o uguale della dimensione massima dei sedimenti dell'alveo

Legenda di fig. 7

I primi risultati della ricerca sono stati presentati al VI Convegno dei Giovani Ricercatori in Geologia Applicata di Chieti.

È in corso una prima applicazione della metodologia su alcune frane oggetto di studi dell'Unità di Ricerca con risultati soddisfacenti.

In tutti i casi in studio il modello definito risulta idoneo a rappresentare lo scenario di interferenza attraverso la valutazione dei parametri scelti; scenario che è il punto di partenza per la valutazione dell'incremento di pericolosità secondo i modelli proposti.

Il futuro programma ricerca prevede:

1. completamento del censimento nell'area appenninica centrale di frane che hanno interferito - o interferiscono tuttora - con la dinamica degli alvei fluviali, finalizzato alla verifica della procedura di definizione di possibili scenari sulla base dei casi avvenuti;
2. definizione dei parametri morfologici e geotecnici del fenomeno franoso, con particolare riferimento alla sua tipologia, alle caratteristiche reologiche del corpo di frana ed alla sua dinamica nella fase di interessamento del sistema alveo - pianura fluviale;
3. definizione della tipologia e dei parametri morfologico-sedimentari ed idraulici del sistema alveo - pianura fluviale, estendendosi a monte e a valle della sezione d'alveo interessata, nonché, degli aspetti geomorfologici ed idrologici del bacino sotteso dalla sezione d'alveo interessata dal fenomeno franoso.

Per quanto riguarda più specificatamente i fenomeni di alluvionamento derivanti da eventi idrologici estremi, sono allo studio altre due aree dell'Umbria meridionale, particolarmente colpite negli ultimi anni da eventi del genere:

- il bacino del T. Caldaro, affluente di destra del F. Nera (quest'ultimo è il più importante tributario del Tevere);
- l'area di confluenza tra il T. Chiani, il F. Paglia e il F. Tevere, nei pressi di Baschi.

Nel bacino del T. Caldaro è iniziato un rilevamento di dettaglio dei caratteri morfologici, sedimentari ed antropici dell'alveo e della pianura alluvionale.

Il bacino è interamente impostato sui sedimenti clastici villafranchiani dell'Umbria meridionale e presenta, pertanto, un forte trasporto solido di fondo. In mancanza di dati specifici in merito è stato effettuato un campionamento sistematico dei sedimenti del canale, in modo da trarre informazioni sul TS di fondo e definire le tendenze evolutive dell'alveo ed i processi che ne regolano la dinamica attuale.

Sono pertanto stati evidenziati i problemi legati al mancato rispetto delle aree di pertinenza fluviale ed alla scarsa manutenzione dell'alveo che si trova in pessime condizioni dal punto di vista idraulico e quindi "propenso" a causare facilmente fenomeni di inondazione della pianura alluvionale (come quello eccezionale del novembre 1996 - fig.8).

Per quanto riguarda invece l'area della confluenza tra Chiani, Paglia e Tevere (fig. 9), il Progetto di studio è appena iniziato; esso prevede l'analisi delle condizioni di rischio da inondazione di un'area che presenta un'importanza strategica come nodo di comunicazioni stradali e ferroviarie (la Al Roma-Firenze - Autostrada del Sole - e la linea ferroviaria Roma-Orte-Ancona) e che appare particolarmente vulnerabile per essere frequentemente interessata da episodi di alluvionamento che mettono a repentaglio la sicurezza delle infrastrutture indicate.

L'obiettivo dello studio è quello di individuare le condizioni di rischio dell'area di interesse e le loro cause (da ricercare senza dubbio nei processi di dinamica fluviale che definiscono l'evoluzione morfologica e sedimentaria dei corsi d'acqua suddetti, specialmente nelle aree di confluenza), nonché, le soluzioni progettuali di intervento sui corsi d'acqua, volte alla mitigazione del rischio geologico-idraulico.

Fig.8 - Gli effetti dell'inondazione del novembre 1996 nella pianura alluvionale del T. Caldaro (bacino del F. Nera, Umbria meridionale).

Fig.9 - L'area di confluenza tra il T. Chiani, il F.Paglia e il F.Tevere, nei pressi di Orvieto (Umbria meridionale) è particolarmente vulnerabile in quanto sede di importanti infrastrutture viarie e frequentemente interessata da episodi di alluvionamento.

## Pubblicazioni:

Cencetti C., Conversini P., Felicioni G. & Ribaldi C. (1996) - *La frana di Montebestia (Umbria settentrionale): un esempio di scorrimento-colata nei sedimenti villafranchiani del Lago Tiberino* Atti del 5° Convegno dei Giovani Ricercatori in Geologia applicata (Cagliari, 7-10 ottobre 1996), in stampa.

Cencetti C., Conversini P., Ribaldi C. & Tacconi P. (1996) - *Fenomeni di sbarramento naturale d'alveo nei corsi d'acqua dell'Italia appenninica*. Atti del Convegno Internazionale "La prevenzione delle catastrofi idrogeologiche: il contributo della ricerca scientifica". (Alba, 5-7 novembre 1996), 397-407.

Cattuto C, Cencetti C. & Gregori L. (1997) - *Un vistoso esempio di controllo strutturale e di morfogenesi fluviale tra Todi e Baschi (Fg. 130 Carta d'Italia)*. Il Quaternario, 10, 2, 181-190.

Cencetti C., Conversini P., Lospennato P. & Ribaldi C. (1997) - *La frana di Montebestia (Umbria settentrionale): indagini in situ e monitoraggio GPS*. 1° Forum FIST GEOITALIA (Bellaria, 5-9 ottobre 1997), Vol. Riassunti, Fasc. 2, 322-323.

Cencetti C., Tacconi P. & Viglione F. (1997) - *I debris flows della "Quebrada de Humahuaca (Argentina nord-occidentale)*. 1° Forum FIST GEOITALIA (Bellaria, 5-9 ottobre 1997), Vol. Riassunti, Fasc. 2, 323-325.

Cencetti C., Conversini P., Ribaldi C. & Tacconi P. (1998) - *Slope Dynamics of Apenninic Chain and related risk conditions: the landslide of Valderchia near Gubbio (Umbria, central Italy)*. Proc. of 8th IAEG Congress (Vancouver, British Columbia, Canada, 21-25 September, 1998) 2 3, 1469-1476.

Cencetti C., Conversini P., Ribaldi C. & Tacconi P. (1998) - *Studio dei sistemi alveo - pianura fluviale in relazione alle interazioni con i fenomeni franosi di versante*. Atti del VI Convegno dei Giovani Ricercatori in Geologia applicata (Chieti, 22-24 ottobre 1998). Boll. Soc. Geol. It., in stampa.

Cencetti C., Conversini P., Radicioni F., Ribaldi C., Selli S. & Tacconi P. (1999) - *The Evolution of Montebestia Landslide (Umbria, Central Italy). Site Investigations, "in situ" tests and GPS monitoring*. Proc. of XXIV General Assembly of EGS (The Hague, Amsterdam, The Netherlands, 19-23 April 1999), in stampa.

# GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE CATASTROFI IDROGEOLOGICHE

## RICERCHE SUI RISCHI COLLEGATI AGLI STATI METEO MARINI

# RAPPORTO TRENNALE 1996-1998

U.O. 1.45

Responsabile: Prof. ing. Paolo Boccotti

L'attività è consistita in

- (i) analisi sistematica delle registrazioni delle boe della rete ondometrica nazionale;
  - (ii) introduzione di nuovi risultati analitici finalizzati alla previsione in tempi lunghi del moto ondoso;
  - (iii) illustrazione di esempi di applicazione delle tecniche previsionali;
  - (iv) analisi dei risultati di esperimenti eseguiti nel mare di Reggio Calabria.
- Una sintesi dei risultati ottenuti è riportata qui di seguito.

### 1. Probabilità $P(H_s > h)$ omnidirezionale

Abbiamo cominciato la nostra attività triennale, con una verifica di congruenza dei dati delle boe ondometriche nazionali. In particolare abbiamo controllato le relazioni tra periodi e altezze (si tratta della forma di controllo più efficace per l'individuazione di eventuali errori di misura).

Abbiamo poi affrontato l'analisi della  $P(H_s > h)$ , la probabilità che l'altezza d'onda significativa ( $H_s$ ) superi una qualsiasi assegnata soglia  $h$  in una data località. Abbiamo verificato che le forme asintotiche delle  $P(H_s > h)$  nei mari italiani sono molto bene interpretate dall'espressione

$$P(H_s > h) = \exp \left[ - \left( \frac{h}{w} \right)^u \right]$$

(1)

con  $w$  e  $u$  ovviamente variabili da località a località. La forma (1) (Weibull) si dimostra efficace per  $P < 0.2$ .

Abbiamo ricavato e tabellato i valori dei parametri  $w$  e  $u$  per tutti i mari italiani.

### 2. Regressione $\bar{b}(a)$

Abbiamo proceduto ad una verifica su larga scala della proprietà fondamentale delle mareggiate triangolari equivalenti (m.t.e.). Due parole per spiegare di cosa si tratta. Ad ogni storia  $H_s(t)$  di una mareggiata vera può essere associata una storia triangolare, fissando altezza  $a$  e base  $b$  del triangolo in modo che  $H_{s\max}$  (l'altezza significativa massima nel corso della mareggiata) e  $\bar{H}_{\max}$  (l'altezza attesa della singola onda più alta) risultino uguale nella mareggiata vera e nella m.t.e. Si

trova poi che anche la  $P(H_{\max} > H)$  (probabilità che l'altezza d'onda massima nel corso della mareggiata superi una qualsiasi assegnata soglia H) è praticamente la stessa nella m.t.e. e nella mareggiata vera. Si tratta di una proprietà non evidente a priori, individuata negli anni '80 attraverso l'analisi di alcune storie di mareggiate. Una proprietà molto utile la quale ha aperto la strada tra l'altro alle soluzioni analitiche per il periodo di ritorno  $R(H_s > h)$  di una mareggiata nella quale la  $H_s$  superi una qualsiasi assegnata soglia h, e il periodo di ritorno R(H) di una mareggiata nella quale l'altezza d'onda massima superi una qualsiasi assegnata soglia H. Dicevamo sopra di una verifica su larga scala di tale proprietà. Precisamente, abbiamo esaminato una ad una tutte le mareggiate registrate dalle varie boe ondametrichi, e, per ciascuna mareggiata, abbiamo ricavato la m.t.e. La proprietà fondamentale è stata confermata in tutti i casi.

Il lavoro di analisi delle singole mareggiate è servito poi per ricavare la regressione  $\bar{b}(a)$ , dove b rappresenta la base del triangolo (durata della m.t.e.) ed a rappresenta l'altezza del triangolo ( $H_{s\max}$  nel corso della mareggiata). La funzione  $\bar{b}(a)$  compare nelle sopracitate espressioni dei periodi di ritorno  $R(H_s > h)$  e R(H).

Abbiamo trovato che la  $\bar{b}(a)$  per i mari italiani ha un andamento monotono decrescente:

$$\bar{b}(a) = b_{10} \left( 1.11 - 0.11 \frac{a}{a_{10}} \right),$$

dove i parametri  $a_{10}$  e  $b_{10}$  sono stati ricavati e tabellati per le varie località.

### 3. Probabilità $P(H_s > h)$ direzionale

Una buona parte del lavoro è stata dedicata alla stima della  $P(H_s > h; settore)$ , vale a dire, della probabilità che la  $H_s$  in una località superi una qualsiasi assegnata soglia h, con direzione di propagazione delle onde entro un'assegnato settore. Allo scopo, abbiamo considerato settori di ampiezza pari ad 1/16 dell'angolo giro.

Abbiamo proposto la seguente forma

$$P(H_s > h; iesimosettore) = \exp \left[ - \left( \frac{h}{w_a} \right)^u \right] - \exp \left[ - \left( \frac{h}{w_b} \right)^u \right],$$

dove l'esponente u è lo stesso che nell'espressione (1) della  $P(H_s > h)$  omnidirezionale, e  $w_a, w_b$  ( $i= 1,16$ ) variano generalmente da settore a settore e da località a località. Si tratta di una proposta nuova. Infatti, finora non erano state introdotte forme analitiche per la  $P(H_s > h)$  direzionale.

Chiaramente abbiamo anche ricavato e tabellato i valori dei parametri  $w_a$  e  $w_b$  per diversi mari italiani. Inoltre abbiamo diffusamente illustrato i criteri per dedurre i valori di tali parametri a partire dai dati delle boe ondametrichi.

Il quadro delle probabilità direzionali per i mari italiani presenta una notevole congruenza d'assieme. Per ogni località emerge con evidenza il settore di provenienza delle onde più alte, e tale settore corrisponde sempre alla traversia più esposta. Inoltre il secondo settore in ordine di intensità risulta sempre contiguo al settore di massima intensità.

## 4. Controllo integrale

L'analisi della  $P(H_s > h)$  e della  $\bar{b}(a)$  è stata effettuata una prima volta con i dati delle boe ondametriche, disponibili all'inizio del triennio di attività. L'analisi è stata poi integralmente controllata utilizzando anche i nuovi dati raccolti dalle boe nel triennio di attività dell' U.O. La seconda analisi ha pienamente confermato le conclusioni della prima.

## 5. Analisi di rischio finalizzate alla difesa delle coste

Come detto, note che siano le funzioni  $P(H_s > h)$  e  $\bar{b}(a)$  è possibile ricavare per via analitica il periodo di ritorno  $R(H_s > h)$ . La soluzione è stata ottenuta dagli anni '80. Nell'ambito della nostra attività triennale abbiamo ricavato la forma esplicita per la funzione inversa, la  $h(R)$  la quale fornisce la soglia di  $H_s$  superata con assegnato periodo di ritorno  $R$ . La  $h(R)$  si ottiene come limite di una successione rapidamente convergente.

Per l'analisi di rischio si entra con  $L$  (la vita di progetto di una struttura o di un intervento sulle coste) e con  $P$  (la probabilità di accadimento). Da  $L$  e  $P$  si ricava il periodo di ritorno  $R$ , e da  $R$  si ricava la soglia  $h$  superata dalla  $H_s$  con tale periodo di ritorno.

La persistenza media della  $H_s$  al di sopra della soglia  $h$  nelle mareggiate in cui tale soglia viene superata può essere facilmente calcolata mediante la relazione esatta

$$\bar{D}(h) = R(H_s > h) P(H_s > h)$$

(5)

Nella tabella si riportano i valori di altezza significativa per  $L= 15$  anni e  $P= 0.5$  e per  $L= 100$  anni e  $P= 0.05$  per le varie località dove operano le boe ondametriche. (Si ricorda che  $L= 15$  anni,  $P= 0.5$  e  $L= 100$  anni,  $P= 0.05$  rappresentano rispettivamente la condizione meno gravosa e la condizione più gravosa, in base alle Istruzioni per la Progettazione delle Opere Marittime, emanate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.)

I valori della tabella sono omnidirezionali, cioè essi esprimono i livelli di altezza significativa a prescindere dalle direzioni di propagazione delle onde. Naturalmente, abbiamo illustrato con diversi esempi anche il calcolo di livelli di altezza significativa per assegnati direzioni di propagazione (assegnati  $L$  e  $P$ ).

I nostri risultati sul rischio di stati di mare con  $H_s$  maggiori di assegnate soglie e assegnate direzioni di propagazione sono necessari tra l'altro per impostare il problema del rischio di run-up di assegnata intensità sui vari tratti di costa. Problema questo affrontato dall' U.O. CUGRI di Salerno.

## 6. Analisi di rischio relative a strutture o attività in mare

Sempre a partire dalle funzioni  $P(H_s > h)$  e  $\bar{b}(a)$  è possibile ricavare il periodo di ritorno  $R(H)$  di una mareggiata la cui onda più alta superi una qualsiasi assegnata soglia  $H$ . Dopodichè si ricava facilmente la probabilità  $P(L,R)$  che almeno una mareggiata siffatta si realizzi durante la vita  $L$  di una struttura. La  $P(L,R)$  a sua volta è uguale alla probabilità  $P[H_{\max}(L) > H]$  che l'altezza d'onda massima nella vita di una struttura superi una qualsiasi assegnata soglia  $H$ .

Dalla  $P[H_{\max}(L) > H]$  si ricava direttamente l'altezza d'onda  $H$  corrispondente al valore di probabilità fissato dalle Istruzioni per la Progettazione. Tale altezza d'onda, che chiameremo  $H(L)$ , è la massima nella vita  $L$  di progetto, al livello di rischio ammesso dalle Istruzioni per la Progettazione. Nota l'altezza d'onda massima  $H(L)$  si può ricavare l'altezza significativa  $H_s(L)$  dello stato di mare entro il quale tale onda massima si andrà a realizzare con massima probabilità. [Precisamente, si ricava la densità di probabilità dell'altezza significativa dello stato di mare entro il

quale l'onda massima di altezza  $H(L)$  si andrà a realizzare. Tale densità di probabilità risulta essere molto stretta e rivela un evidentissimo valore dominante, che è appunto  $H_s(L)$ . Noto infine  $H_s(L)$  si può ricavare con grande affidabilità il periodo  $T(L)$  dell'onda massima  $H(L)$ .

La catena di calcolo

$$P(H_s > h) + \bar{b}(a) \rightarrow R(H) \rightarrow P[H_{\max}(L) > H] \rightarrow H(L) \rightarrow H_s(L) \rightarrow T(L)$$

utilizza le soluzioni analitiche rigorose basate sulla proprietà delle mareggiate triangolari equivalenti.

L'U.O. ha presentato anche illustrazioni dettagliate della predetta catena di calcolo per i diversi mari italiani, a partire dalle espressioni di  $P(H_s > h)$  e  $\bar{b}(a)$  ricavate dalla stessa U.O.

## 7. Nuove soluzioni analitiche per periodi di ritorno speciali

Nel triennio di attività abbiamo anche ricavate le soluzioni analitiche per

- (i) il periodo di ritorno di una mareggiata contenente almeno due onde più alte di un'assegnata soglia  $H$ ,
- (ii) la probabilità che le due onde più alte nella vita di una struttura si realizzino nel corso della medesima mareggiata.

Si tratta anche in questo caso di soluzioni analitiche basate sulla proprietà delle m.t.e. Grazie all'impiego di tali soluzioni è possibile formulare quadri previsionali piuttosto dettagliati. Ad esempio, abbiamo mostrato come sia possibile prevedere, in chiave probabilistica, l'entità dei due maggiori spostamenti orizzontali di una piattaforma offshore, e stimare la probabilità che tali due spostamenti si verifichino nel corso della medesima mareggiata (cioè in un intervallo temporale estremamente ristretto rispetto alla vita della struttura).

## 8. Il problema delle strutture lunghe

Finora non si era mai fatta distinzione tra onda massima attesa in un punto in mare e onda massima attesa lungo un segmento di una retta (intendiamo "onda massima attesa" durante la vita di una struttura). In particolare, l'onda massima attesa su una diga foranea veniva calcolata come uguale all'onda massima attesa in una qualunque assegnata sezione di tale diga. In realtà l'altezza d'onda massima attesa sull'intera estensione della diga è maggiore dell'altezza d'onda massima attesa in una sezione fissata. Quanto maggiore? Per rispondere a questa domanda abbiamo riesaminato i dati dell'esperimento RC1990 nel mare di Reggio Calabria; un esperimento nel quale operava una batteria di strumenti allineati grosso modo parallelamente ai fronti d'onda.

A fronte di tale analisi abbiamo proposto un semplice criterio di calcolo che tiene conto della lunghezza della diga. Indicativamente, per una diga foranea di 5 Km di lunghezza, l'altezza d'onda massima attesa nella vita di progetto risulta un 25% circa più grande dell'altezza d'onda massima attesa in una qualsiasi sezione fissata. Si tratta di una differenza notevole che prospetta una situazione di rischio maggiore di quanto comunemente pensato. Pertanto abbiamo proposto una ulteriore verifica delle dighe marittime a muro (da aggiungersi a quelle tradizionali), una verifica che per la prima volta mette in conto la lunghezza del manufatto in sede di dimensionamento statico.

Le conclusioni del nostro studio sulle strutture lunghe possono essere applicate a tutte le strutture aventi almeno una dimensione planimetrica confrontabile con la lunghezza d'onda. In particolare nel triennio abbiamo proposto un esempio dettagliato di applicazione al caso di un viadotto sottomarino del tipo del Tunnel di Archimede per il collegamento stabile Sicilia-Calabria.

## Pubblicazioni da risultati.

*BOCCOTTI P., Idraulica Marittima, 522 pp., 1997*

*ARENA F. e BARBARO G. Periodo di ritorno di una mareggiata con almeno due onde più alte di un'assegnata soglia: Soluzione analitica, corollari e applicazioni, Atti XXVI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, 167-180, 1998*

*ARENA F. e BARBARO G., Sull'impiego dei dati della rete ondometrica nazionale presentata al Convegno dell'Accademia Nazionale dei Lincei, in corso di stampa, 1-6, Roma, 1998.*

*GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE CATASTROFI  
IDROGEOLOGICHE*

**MODELLISTICA IDROLOGICA DI BACINO  
PER LA VALUTAZIONE DEL PROCESSO EROSIVO**

**RAPPORTO TRENNALE 1996-1998**

U.O. 1.46

Responsabile: Prof. Sandro Moretti  
Dipartimento di Scienze della Terra – Università degli Studi di Firenze

**Premessa:**

Dato che l'U.O. 1.46 è attiva dall'inizio del 1998 la relazione annuale in pratica si identifica con la relazione triennale.

La ricerca ha come obiettivo l'identificazione e la valutazione dei fattori legati al comportamento idraulico dell'acqua di precipitazione meteorica, in relazione alle caratteristiche geopedologiche e morfometriche a livello di versante in un contesto che prende in considerazione l'unità idrografica di riferimento (bacino idrografico).

L'attività che l'U.O. 1.46 sta portando avanti si riferisce all'analisi analitica delle relazioni intercorrenti fra processo erosivo e dinamica morfologica in relazione ai depositi superficiali ed alle precipitazioni meteoriche.

In particolare gli studi sono volti alla identificazione dei rapporti fra elemento omogeneo territoriale e meccanismi di perdita di suolo innescati dalle precipitazioni e dalle successive fasi di infiltrazione e ruscellamento superficiale.

La ricerca è affrontata mediante i seguenti approcci che corrispondono ad altrettanti progetti:

1. caratterizzazione delle condizioni di permeabilità del materiale superficiale (suolo e/o detrito);
2. analisi di dettaglio dei meccanismi che regolano fisicamente e meccanicamente il distacco delle singole particelle dal suolo;
3. definizione dei meccanismi che regolano il processo di trasporto e rideposizione all'interno dei versanti e quindi nella rete idrografica;
4. analisi di bilancio sedimentario fra versanti e rete idrografica.
5. riconoscimento di unità omogenee per la distribuzione delle caratteristiche di risposta idrologico erosiva agli eventi meteorici.

## Sintesi progetto 1

L'attività si indirizza prevalentemente all'acquisizione di dati di infiltrazione delle acque meteoriche mediante simulazioni di pioggia utilizzando un simulatore da campagna con parcella di dimensioni standard (1m<sup>2</sup>). La simulazione di pioggia viene eseguita con intensità diverse e con umidità antecedenti che vanno dalle condizioni naturali (rilevate al momento del test) a condizioni di saturazione. Le analisi tendono a rilevare la risposta all'infiltrazione e di conseguenza allo sviluppo del processo di ruscellamento sulla superficie di vari suoli in varie condizioni di uso del suolo. Per ovvie ragioni operative le simulazioni avvengono in condizioni di copertura non superiore a quella erbacea.

I risultati finora ottenuti hanno mostrato interessanti condizioni per alcuni suoli (soprattutto nell'area sarda meridionale, bacino del Flumendosa) nei quali il processo di infiltrazione sembra sia fortemente condizionato da processi di ruscellamento sub-superficiale che determinano un forte assorbimento idrico da parte degli orizzonti superficiali.

I risultati mostrano infatti che per suoli formati su materiali arenacei il grado di infiltrazione risulta ad esempio del 30% per una precipitazione di 20mm/h, con un valore di erosione estremamente contenuto nell'ordine delle 0.3t/ha; mentre suoli relativi a substrati basaltici hanno mostrato capacità di assorbimento estremamente elevate dell'ordine del 90% ed oltre, in condizioni di basso contenuto di umidità. Il valore di materiale asportato si riferisce ovviamente all'erosione così detta per interrill cioè non considera la distribuzione del processo nella sua complessità lungo tutto il versante. Tale valore risulta quindi solo indicativo per la produzione totale di sedimento sul versante. I valori di precipitazione utilizzati si riferiscono a intensità di 20mm/h, 30mm/h e 40mm/h rispettivamente intensità orarie con tempi di ritorno di 2, 10, 50 anni.

## Sintesi progetto 2

Questa parte della sperimentazione è strettamente collegata al punto 1, infatti mediante simulazioni di pioggia vengono raccolti anche i materiali trasportati mediante il processo erosivo. Il trasporto "solido" relativo a simulatori del tipo precedentemente descritto si riferisce esclusivamente al processo di erosione cosiddetto per inter-rill, del quale non si conoscono lavori o ricerche adeguate ad una sufficiente definizione quantitativa del fenomeno. I dati ottenuti sono ancora in fase di elaborazione.

Sintesi progetto 3 e 4

Per la ricerca collegata a tali progetti, che sostanzialmente possono essere ridotti a uno solo, sono state installate in un bacino sperimentale della Liguria (Provincia di Imperia), due stazioni meteorologiche ed una di misura delle portate liquide e solide automatiche, i cui dati dovranno essere comparati con la modellistica idrologico-erosiva presa in considerazione. In questa ricerca verranno utilizzati prevalentemente due modelli (WEPP e KINEROS) matematici distribuiti; tali modelli verranno modificati e validati per le condizioni locali. Il progetto è attualmente nella fase di reperimento dati di base (cartografia tematica computerizzata e dati meteo e di trasporto solido e liquido).

Per il bacino del Torrente Calabria preso in considerazione per la sperimentazione in questione, è stata eseguita la cartografia tematica relativa a pedologia, uso del suolo, geomorfologia, coperture ecc. con la quale è stato possibile far funzionare il modello KINEROS. A tale riguardo si sono ottenuti i primi risultati di produzione di materiale sui versanti e si sono potute identificare aree a diversa produzione di sedimento tali da poter ricavare indicazioni sui punti di immissione di materiale nella rete idrografica.

Parallelamente per il bacino idrografico del Fiume Greve è stata conclusa una ricerca relativa alle "relazioni fra unità idrogeomorfologiche ed entità del deflusso superficiale". Tale ricerca ha evidenziato l'esistenza di un modello empirico che si presenta come una relazione del tipo:

$$q = m(\text{Tr}) \cdot \text{Dr} + c(\text{Tr}) \cdot L'$$

con q la portata specifica

m() e c() funzioni lineari del tempo di ritorno

Dr la densità di drenaggio a monte della sezione considerata

L' la lunghezza caratteristica del bacino

Per cui le relazioni trovate risultanti dalla regressione sono:

$$m(\text{Tr}) = (0.525 \cdot \text{Tr}/100 + 0.9)$$

$$c(\text{Tr}) = -(0.49 \cdot \text{Tr}/100 + 7.3)/100$$

Per validare e rifinire il modello sarebbe opportuno testare i risultati su altri bacini, e disponendo di valori di portata per più tempi di ritorno tentare di stimare una legge non lineare per relazioni  $m(\text{Tr})$  e  $c(\text{Tr})$ .

## Sintesi progetto 5

Il punto 5 viene svolto mediante sperimentazione di modelli idrologico erosivi a livello più esteso rispetto a quelli presi in considerazione nel punto precedente, sono stati infatti esaminati modelli con distribuzioni spaziali più rilevanti che inoltre considerino le caratteristiche territoriali in ordine di unità omogenee come risposta idrologica, nelle quali inoltre sia possibile definire le modalità di produzione dei sedimenti con procedimenti espandibili a relativamente vaste estensioni territoriali. Fra tali modelli è stato preso in considerazione il modello ACRU (Agricultural Catchment Research Unit) sviluppato dall'Università del Natal (Sud Africa), il quale pur operando a scala di bacino utilizza suddivisioni territoriali omogenee per caratteristiche idrologico erosive.

Questo campo di indagine che l'U.O. 1.46 sta attualmente sviluppando con maggiore determinazione si riferisce alla possibilità di definizione ed individuazione di unità territoriali correlabili, in senso generale, ai processi morfogenetici.

Questa tipologia di "unità fisico territoriale" potrebbe assumere il termine di "Geomorfotipo", intendendo con questo una unità di territorio con caratteristiche idrico-geomorfiche univoche o assimilabili ad un medesimo comportamento, soprattutto come risposta al processo di distacco, trasporto e risedimentazione del materiale sui versanti. A questo riguardo è iniziata una attività di ricerca bibliografica nazionale ed internazionale che ha portato alla identificazione di lavori che possono dare un contributo, oltre che alla definizione anche alla identificazione diffusa di "Geomorfotipi" sul territorio nazionale. Questo tipo di approccio viene anche supportato e sviluppato mediante l'analisi dei sistemi non lineari con la quale questa unità operativa ha iniziato tale attività. La ricerca per il momento viene limitata all'area dell'Italia centrale (Toscana e Liguria); si prevede di estendere tale attività al resto del territorio nazionale sempre che vi sia l'interesse ed il supporto della linea 1 del GNDCI.

L'impiego di tecniche di telerilevamento per l'acquisizione di ulteriori informazioni nel settore dell'analisi dei versanti è un campo in cui l'U.O. 1.46 si sta muovendo, infatti viene portata avanti una tecnica di analisi e produzione di DTM mediante sensori a microonde tali da fornire dati a cui sia possibile applicare la tecnica interferometrica. I dati così ottenuti vengono elaborati in modo da ricavare, mediante l'applicazione dei concetti idrogeomorfologici i parametri che determinano l'evoluzione del reticolo e quindi del paesaggio. Tali parametri verranno quindi inseriti in modelli che possano definire processi quali afflussi-deflussi o per la definizione di unità idrogeomorfologiche omogenee.

## Bibliografia

Canuti P., Catani F., Moretti S., Rinaldi M. (1996) – *Remote sensing and GIS application for fluvial hazard assessment in Tuscany (Italy). Proceeding of the 11<sup>th</sup> Thematic Conference and Workshops on Applied Geological Remote Sensing, Las Vegas, Col. II, pp. 449-458.*

Catani f., Fanti R. (1977) *On the fractal character of landscape in central Italy, 4<sup>th</sup> International Geomorphological Conference, Bologna.*

Catani F., Moretti S. (1977) – *Fractal Analysis of Roughness Profiles in agricultural lands*. 4<sup>th</sup> International Geomorphological Conference, Bologna.

Moretti, S. & Rodolfi, G., 1998. *Calanchi landscape evolution on badlands areas in eastern central Italy*. Catena Verlag.

Catani, F., Fanti, R. & Moretti, S., 1998. *Vulnerability and Geomorphologic Risk Assessment for Architectonic and Archaeological Heritage Conservation*. IV International Conference on Geomorphology, Bologna, 28 Agosto – 3 Settembre 1997.

Moretti S., Spicchi R. & Zanchi C., 1998. *Development of erosion models for improving land management*. Proceedings of 7<sup>th</sup> ICCTA - International Congress for Computer Technology in Agriculture "Computer technology in agricultural management and risk prevention", Firenze, Settembre 1998.

Moretti S., H.T. Verstappen (1998) - *Scope and development of applied geomorphology*. Suppl. Geogr. Fis. Dinam. Quat. III.

*GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA  
DALLE CATASTROFI IDROGEOLOGICHE*

**MODELLI OPERATIVI PER IL PREANNUNCIO DELLE  
PIENE E RISCHIO DI INONDAZIONE**

**RAPPORTO TRENNALE 1996-1998**

U.O. 1.47

Responsabile: Dr. Florisa Melone

**SOMMARIO**

Nell'ambito del progetto MIEP è stata sviluppata una modellistica idrologica spazialmente semidistribuita per l'individuazione della risposta di un bacino basata sul processo di trasferimento del deflusso lungo le aree drenanti e la rete di canali. Utilizzando una schematizzazione del bacino in piani e canali e l'approccio dell'onda cinematica nonlineare, è stato mostrato il ruolo significativo della risposta dei piani e l'affidabilità dell'approssimazione lineare per il routing lungo la rete dei canali. Sulla base di quest'ultimo risultato è stata sviluppata la soluzione analitica delle equazioni di De Saint Venant linearizzate sotto condizioni di afflussi laterali non trascurabili individuando anche i campi di validità delle usuali semplificazioni delle equazioni sopramenzionate in funzione dei parametri idraulici. E' stato anche sviluppato un modello di deflusso superficiale che si basa su una forma assegnata del profilo della superficie liquida di tipo sinusoidale che si riduce alla soluzione di un' equazione differenziale ordinaria. Nell'ambito del progetto ARA-PIN si è analizzata l'affidabilità della modellistica idraulica mono e bidimensionale per il trasferimento dell'onda di piena in un'area campione del fiume Tevere interessata da inondazioni ed è stato sviluppato un approccio semplificato per la stima dei tiranti idrici in sezioni fluviali di un tratto meandriforme. Nell'ambito del progetto ARA-SBAR è stata messa a punto una metodologia per la stima della piena di progetto di una diga basata sull'analisi di diverse alternative progettuali degli sfioratori. Nell'ambito del progetto METEO l'attività ha riguardato principalmente la gestione della rete idrometeorologica e l'aggiornamento della banca dati degli eventi di pioggia di rilevante entità occorsi su un'area del bacino dell'Alto Tevere.

**INTRODUZIONE**

L'attività di ricerca svolta nel triennio ha riguardato principalmente tre diversi ma complementari progetti scientifici: MIEP, METEO ed ARA-PIN con l'approfondimento di alcune tematiche del progetto ARA-SBAR. In particolare gli obiettivi principali perseguiti sono stati:

**1) Progetto MIEP**

Nell'ambito della modellistica idrologica distribuita di eventi di piena, la ricerca si è proposta di analizzare la problematica di identificare una procedura oggettiva, di interesse pratico, sia per la

rappresentazione geometrica del bacino idrografico sia per la rappresentazione del deflusso superficiale attraverso le aree drenanti e la rete dei canali..

## 2) Progetto METEO

Gestione della rete idrometeorologica ed aggiornamento della banca dati relativa alle situazioni di pioggia frontale occorse nell'Alta Valle del Tevere. Tali dati saranno di supporto per lo sviluppo di metodologie fisicamente basate per la stima della pioggia media areale con un numero ridotto di pluviometri, come nel caso di sistemi operanti in tempo reale.

## 3) Progetto ARA-PIN

Analisi e sviluppo di approcci semplificati per il trasferimento della piena con l'individuazione di aree inondabili in tratti meandriformi del fiume Tevere.

## 4) Progetto ARA-SBAR

Analisi sulla sicurezza idraulica idrologica delle dighe.

# ATTIVITA' SVOLTA E RISULTATI

1) L'attività ha riguardato principalmente la modellistica distribuita di eventi di piena da poter essere utilizzata nelle pratica idrologica, con particolare riferimento alla schematizzazione del bacino in unità elementari ed alla descrizione della dinamica del deflusso superficiale. L'astrazione geometrica utilizzata è basata su un insieme di piani e canali derivato da tutti i canali rappresentati sulla mappa del bacino ad una prefissata scala, mentre l'idrogramma calcolato attraverso l'approccio dell'onda cinematica nonlineare è stato utilizzato sia per l'analisi di sensitività di alcune componenti sia per la verifica dell'affidabilità della modellistica semplificata sviluppata. Sono stati utilizzati eventi sintetici di pioggia effettiva di varie intensità e per 10 bacini di dimensione areale variabile tra 2.7 a 58.2 Km<sup>2</sup>, generati dalla rappresentazione a scala 1:100000 e 1:25000 di sottobacini del fiume Niccone nell'Italia Centrale. Vista la difficoltà nella stima del coefficiente di Manning è stata analizzata la sensitività dell'idrogramma a variazioni di tale coefficiente sia per i piani,  $n_p$ , sia per i canali,  $n_c$ . I risultati hanno mostrato che la portata di picco e la durata dell'idrogramma sono molto sensibili a  $n_p$  mentre sono praticamente inalterati per variazioni di  $n_c$  indipendentemente dall'area del bacino. Per quanto riguarda la rappresentazione geometrica è stata trovata una consistente differenza nella risposta del bacino passando dalla scala 1:100000 a 1:25000 dovuta alla variazione del ruolo del trasferimento dell'acqua superficiale lungo i piani rispetto a quella lungo i canali. Poiché la soluzione numerica dell'onda cinematica nonlineare richiede un notevole sforzo di calcolo quando le unità elementari sono in numero consistente, è stato realizzato un modello che si basa su una forma assegnata del profilo della superficie liquida di tipo sinusoidale con l'aggiunta di un termine uniforme lungo la direzione del flusso e variabile nel tempo che tiene conto della condizione al contorno superiore. Tale forma è risultata inappropriata per i piani quando l'eccesso di pioggia ha una durata inferiore al tempo di concentrazione del piano stesso; sono stati così individuati dei criteri per la suddivisione di questi piani in due o più elementi in cascata. L'altro modello sviluppato descrive la dinamica del deflusso superficiale lungo il pendio mediante l'onda cinematica non lineare, mentre lungo i canali è stato usato l'approccio cinematico ma con una formulazione linearizzata in ogni tronco in cui un'asta fluviale viene suddivisa in base alle aste contribuenti; il contributo della regione drenante corrispondente ad ogni tronco è concentrato nel punto medio del tronco stesso. I risultati hanno evidenziato l'affidabilità dell'ipotesi lineare per varie intensità di pioggia effettiva e per variazioni

consistenti del coefficiente di Manning indipendentemente dall'area del bacino. Particolare attenzione è stata quindi posta alla modellistica lineare per il trasferimento dell'onda di piena lungo un canale con apporto laterale non trascurabile. In particolare è stata determinata la risposta di un canale ad un impulso uniformemente distribuito attraverso la soluzione dell'equazione linearizzata di De S. Venant in forma completa. Da un'analisi di sensitività sulla scabrezza e pendenza si è evinto che la soluzione è fondamentale nella stima dell'idrogramma di uscita soprattutto per canali con pendenze inferiori all'1‰. E' stata anche sviluppata una metodologia per la selezione del tipo di onda (dinamica, diffusiva e cinematica) ottimale per ogni singolo canale di una rete in funzione del tipo di flusso stazionario e delle caratteristiche geometriche. Poiché è stato trovato che l'onda cinematica ha un ampio campo di applicabilità è stata anche sviluppata la relativa soluzione analitica sempre sotto condizioni di afflusso laterale non trascurabile ed implementata nel modulo di routing del modello eccesso di pioggia-deflusso diretto inizialmente sviluppato.

L'attività ha anche riguardato la modellistica di tipo concettuale per il processo di infiltrazione. In particolare, è stato realizzato un modello per infiltrazione e redistribuzione in suoli stratificati, con diverse disposizioni degli strati rispetto al valore di conduttività idraulica di saturazione; è stato investigato il ruolo del run-on e della variabilità spaziale delle proprietà idrauliche del suolo nella formazione del deflusso superficiale a scala di versante.

E' continuata inoltre l'attività di acquisizione ed archiviazione di particolari eventi di piena relativi al bacino dell'Alto Tevere. In particolare è stata potenziata la strumentazione idrometrica per il sottobacino del Niccone (137 Km<sup>2</sup>) onde analizzare la risposta idrologica a varie scale e validare la modellistica di tipo distribuita.

2) L'attività ha riguardato inizialmente l'acquisizione di dati territoriali e lo sviluppo di un modello digitale del terreno per un'area campione del fiume Tevere storicamente vulnerata da inondazioni. Successivamente è stato sviluppato un approccio semplificato per la stima dei tiranti idrici in tratti fluviali meandrici. L'accuratezza del metodo, basato sull'ipotesi che il flusso in fase di esondazione agisce come invaso e non contribuisce al trasferimento del momento, è stata verificata mediante modellistica idraulica mono e bidimensionale. Dal confronto dei risultati relativi a simulazione di eventi critici di piena occorsi sull'area campione si può dedurre che i criteri geometrici ed idraulici adottati per la valutazione delle aree inondabili sono congruenti alla realtà del fenomeno. Sono state quindi perimetrate e georeferenziate le aree interessate dalle piene applicate e contemporaneamente sono stati individuati gli elementi territoriali coinvolti. Infine dopo avere analizzato alcune tecniche numeriche per il trasferimento di piena è stato anche sviluppato, per flussi discontinui, un algoritmo basato su uno schema esplicito del II° ordine dotato di interfaccia dissipativa e la cui accuratezza è stata verificata attraverso test numerici e di laboratorio presenti in letteratura.

3) E' continuata la gestione della rete di misura idrometeorologica operante su un'area del bacino dell'Alta Valle del Tevere di circa 2000 Km<sup>2</sup> caratterizzata da una complessa orografia di tipo collinare. La rete di misura pluviometrica, con registrazione su supporto a semiconduttore, ha una densità media di un pluviometro ogni 30 km<sup>2</sup> nelle zone di maggiore interesse per lo studio degli effetti orografici. Si è parzialmente aggiornato l'archivio relativo alle situazioni di pioggia estesa frontale, suddivise in base al tipo di perturbazione meteorologica, corredandole di dati meteorologici a varie quote ed immagini da satellite (METEOSAT) per l'evoluzione temporale del sistema nuvoloso.

4) E' stata completata una metodologia che consente di valutare la piena di progetto di una diga basandosi sul bilancio fra i costi legati al rischio di accadimento di un evento estremo e quelli necessari alla sua mitigazione. L'integrazione della modellistica idraulica di trasferimento della piena con un Sistema Informativo Territoriale ha consentito l'analisi di ogni elemento territoriale di valle coinvolto dalla manovra agli organi di scarico e la stima del danno economico conseguente.

## Pubblicazioni:

MORAMARCO T., SINGH V.P. "A practical method for analysis of river waves and for kinematic wave routing in natural channel networks" (Sottoposto a Hydrological Processes).

MORAMARCO T., FAN Y., BRAS R.L. "An analytical solution for channel routing with uniform lateral inflow", *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, in stampa.

SMITH R.E., CORRADINI C., MELONE F. "A conceptual model for infiltration and redistribution in crusted soils", *Water Resources Research*, in stampa.

MORBIDELLI R., CORRADINI C., MELONE F. "On the simulation of areal average infiltration by simplified approaches" *Proceedings of the IASTED International Conference, Philadelphia, May 5-8 1999, (In Stampa)*.

CORRADINI C., MELONE F., MORBIDELLI R. "Simulation of local infiltration-redistribution-reinfiltration into layered soils" *Proceedings of the IASTED International Conference, Philadelphia, May 5-8 1999, (In Stampa)*.

MORAMARCO T., MELONE F. "A simplified model for flooding evaluation in meandering river reaches" *Proceedings of the IASTED International Conference, Philadelphia, May 5-8 1999, (In Stampa)*.

GOVINDARAJU R.S., MORBIDELLI R., CORRADINI C. "Use of similarity profiles for computing surface runoff over small watersheds" *J. Hydrol. Eng. (ASCE)*, 4(2),100-107, 1999.

CORRADINI C., MELONE F., MORBIDELLI R. "Modello semplificato per infiltrazione e redistribuzione in suoli stratificati" *Atti XXVI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Catania, 9-12 Settembre 1998, 61-72, 1998*.

CASTORANI A., MORAMARCO T. "L'uso dei sistemi informativi idraulico territoriali nella progettazione di un'opera di sbarramento" *L'Acqua*, 6/98, 22-28, 1998.

CORRADINI C., MELONE F., MORBIDELLI R. "Flow simulation in ungaged basins for water resources planning" *Proceedings of the IASTED International Conference, Pittsburgh, May 13-15 1998, 168-172, 1998*.

CORRADINI C., MELONE F., SALTALIPPI C. "Effect of map scale on the simulation of direct runoff at basin outlet" *Proceedings of the IASTED International Conference, Pittsburgh, May 13-15 1998, 163-167, 1998*.

MORAMARCO T. "A note on dissipative interface effects applied to two step lax wendroff scheme" *Proceedings of the IASTED International Conference, Grindelwald, February 18-20 1998, 400-403, 1998*.

CORRADINI C., MORBIDELLI R., MELONE F. "On the interaction between infiltration and Hortonian runoff" *J. Hydrol.*, 204, 52-67, 1998.

MELONE F., CORRADINI C., SINGH V.P. "Simulation of the direct runoff hydrograph at basin outlet" *Hydrol. Proc.*, 12, 769-779, 1998.

CORRADINI C., MELONE F., MORBIDELLI R. "Local infiltration in a crusted soil: simulation by a conceptual approach" *Proceedings of the IASTED International Conference, Pittsburgh, May 15-17 1997*, 409-412, 1997.

CORRADINI C., MELONE F., SMITH R.E. "A unified model for infiltration and redistribution during complex rainfall patterns" *J. Hydrol.*, 192, 104-124, 1997.

MORBIDELLI R., CORRADINI C., MELONE F. "Influenza della struttura spaziale della conduttività idraulica del suolo sullo sviluppo dell'idrogramma prodotto da piogge discontinue" *Boll. Geofisico*, 3-4, 57-63, 1996.

CORRADINI C., MELONE F., MORAMARCO T., MORBIDELLI R. "Basin representation and direct runoff hydrograph for different basin sizes" *Proceedings of the IASTED International Conference, Pittsburgh, April 25-27, 1996*, 422-425, 1996.

CORRADINI C., MELONE F., MORBIDELLI R. "An investigation of the relationship between spatial variability of soil hydraulic properties and overland flow formation" *Proceedings of the IASTED International Conference, Pittsburgh, April 25-27, 1996*, 417-421, 1996.