

*CNR CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE*

*GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE CATASTOFI  
IDROGEOLOGICHE*

LINEA 1

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

# **RELAZIONE DELL'ATTIVITA' SVOLTA NEL 1998**

Responsabile della Linea di Ricerca:

**Prof. Ing. FABIO ROSSI**

Dipartimento di Ingegneria Civile

Università degli studi di Salerno

Via Ponte don Melillo

84084 - FISCIANO (SA)

## INDICE

Relazione dell'attività svolta nel 1998

Attività di ricerca svolta dalle UU.OO.

- U.O. 1.1 Valutazione delle Piene nell'Italia Nord-Orientale  
VILLI Virgilio
- U.O. 1.2 Informazioni derivabili da cartografia pedologica a varia scala.  
BUSONI Ermanno
- U.O. 1.4 Modellazione statistica regionale degli eventi idrologici estremi.  
Aree a rischio di inondazione.  
GABRIELE Salvatore
- U.O. 1.5 Rischio di alluvione legato a colate detritiche e sovralluvionamento  
DI SILVIO Giampaolo
- U.O. 1.7 Criteri di gestione e verifica del dimensionamento di sistemi idrici in  
presenza di periodi eccezionali di magra.  
LAZZARI Eugenio
- U.O. 1.8 Tecniche geomorfoclimatiche di previsione del rischio idrologico.  
ROSSO Renzo
- U.O. 1.9 Valutazione degli eventi idrologici estremi  
SIRANGELO Beniamino
- U.O. 1.10 Geomorfologia del bacino idrografico e fenomenologia idrologica.  
MELISENDA GIAMBERTONI Ignazio
- U.O. 1.12 Piani di emergenza per l'approvvigionamento idropotabile in  
condizione di siccità. ROSSI Giuseppe
- U.O. 1.15 Modelli idrologici nella difesa dalle catastrofi idrauliche e geologiche.  
VERSACE Pasquale
- U.O. 1.20 Dinamica delle colate di detriti - analisi del rischio e provvedimenti di  
Difesa ARMANINI Aronne
- U.O. 1.21 Analisi regionale degli eventi estremi in Basilicata.  
FIORENTINO Mauro
- U.O. 1.26 Modellistica fisico-matematica di processi idrologici di base negli  
studi a scala di bacino CORRADINI Corrado

- U.O. 1.29 Ricerche sulle colate detritiche torrentizie (debris flow) in ambiente alpino MORTARA Giovanni
- U.O. 1.29 Catalogo bibliografico-cartografico sulle aree inondate dai corsi d'acqua della pianura padano-veneta MORTARA Giovanni e Ornella TURITTO
- U.O. 1.30 Variazione d'alveo conseguenti a fenomeni parossisti e loro influenza sulle possibilità 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.  
BIGGIERO Vittorio
- U.O. 1.32 La simulazione della siccità attraverso modelli statistici MAZZOLA Mario Rosario
- U.O. 1.33 Eventi idrologici estremi e dinamica dei processi di versante e d'alveo in ambiente montano BACCHI Baldassarre
- U.O. 1.34 Analisi regionale degli eventi estremi dell'Italia centrale vulnerabilità dei sistemi di approvvigionamento idropotabile CALENDIA Guido
- U.O. 1.42 Analisi regionale degli eventi estremi dell'Italia centrale vulnerabilità dei sistemi di approvvigionamento idropotabile PALMIERI Sabino
- U.O. 1.43 Metodologie di previsione e preannuncio di piena BRATH Armando
- U.O. 1.44 Indizzi e processi geomorfologici del sistema alveo pianura correlati agli eventi idrologici estremi TACCONI Paolo
- U.O. 1.45 Ricerche sui rischi collegati agli stati meteo-marini BOCCOTTI Paolo
- U.O. 1.46 Modellistica idrologica di bacino per la valutazione del processo erosivo MORETTI Sandro
- U.O. 1.47 Modelli operativi per il preannuncio delle piene e rischio di inondazione MELONE Florisa

## RELAZIONE DELL'ATTIVITA' SVOLTA NEL 1998

### 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;
- 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 Obiettivi generali e Risultati conseguiti

La Linea di ricerca 1 nel 1998 ha sviluppato studi e ricerche principalmente per la previsione e prevenzione del rischio di alluvione. 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. L'attività è stata organizzata in progetti di ricerca coordinati e sviluppati da diverse UU.OO., generalmente in cooperazione con la Linea 3, in un caso, l'ARDI-SIC, in collaborazione con la Linea 4.

I progetti di ricerca nel settore della previsione e valutazione del rischio di alluvione sono:

Aree a rischio di alluvione (ARA) articolato in:

Piene ed Inondazioni (ARA-PIN)

- Aree Vulnerate Italiane (Modulo AVI)

Sicurezza degli SBARamenti (ARA-SBAR)

Colate detritiche (Modulo ARA-COD)

metodologie e tecniche non strutturali (MITIGARA)

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)

Aree a rischio di deficienza idrica per fenomeni di siccità (ARDE-SIC)

Rischi collegati all'azione del mare sui litorali (LIT)

- Aspetti climatologici (Modulo LIT-clima) e fluidodinamici (Modulo LIT-fluido)

I progetti specifici di linea sono:

Modellistica idrologica degli eventi di Piena: preannuncio delle piene (MIEP)

Valutazione delle Piene dei Corsi d'Acqua Italiani (VAPI)

Nel 1998 è continuata a crescere l'attività di consulenza e di ricerca applicata di diretti supporti tecnico-scientifici al Dipartimento della Protezione Civile sia nella predisposizione dei Programmi di Previsione e Prevenzione a livello nazionale e a livelli provinciali, sia per la pianificazione e la gestione dei interventi nelle fasi di emergenza post-evento. In particolare, a seguito del disastro alluvionale del 5-6 maggio, la Linea 1 ha intensamente collaborato con la U.O. 2.38, diretta dal prof. Cascini, per la gestione tecnica-scientifica dell'emergenza. In tale attività è stata impegnata a tempo pieno l'U.O. 1.9 CUGRI, con ritmi di lavoro assolutamente emergenziali, ma anche con il contributo attivo di altre UU.OO. (Siccardi, Canuti, Civita) Natale, Seminara, Armanini.

Nel 1998, con la conclusione delle attività del triennio, è stata data importanza prioritaria al trasferimento e alla diffusione di risultati, prodotti e tecnologie, sviluppati nell'ambito delle attività del GNDCI, ai Servizi tecnici, agli enti pianificatori (Autorità di bacino, Regioni) ed operativi (uffici del Genio civile delle Regioni, uffici tecnici provinciali e uffici periferici al Ministero dei Lavori pubblici).

Per quanto riguarda il primo punto, ed in particolare la Linea 1, è stata data priorità assoluta al trasferimento delle procedure e dei risultati del progetto VAPI ai Servizi tecnici ed alle Autorità di bacino. Il problema che si è presentato aveva un aspetto non solo tecnico ma anche istituzionale: infatti le portate di piena di riferimento, valutate come portate massime corrispondenti ad un assegnato periodo di ritorno, determinano la

definizione delle fasce fluviali e quindi assumono un'importanza non solamente tecnica, ma hanno delle conseguenze anche di carattere economico e sociale.

Si è passato da applicazioni già realizzate nei bacini campione, ad estendere la mappatura delle aree a rischio alle principali aste fluviali del Paese. A tale scopo è stato utile procedere alla definizione di metodi e procedure standard per la parte operativa del progetto.

## **PROGETTI DI RICERCA E STRUTTURA OPERATIVA**

La Linea 1, ha dato, come si è detto sopra, elevata priorità alle attività di ricerca atte a fornire supporto scientifico sia ai programmi nazionali di previsione e prevenzione che sono stati predisposti dal Dipartimento della Protezione Civile, sia alla stesura dei piani di emergenza. Tali attività, di contenuto fortemente interdisciplinare, ha richiesto uno stretto coordinamento operativo fra le diverse linee di ricerca. Pertanto si ritiene opportuno lo sviluppo di progetti di ricerca coordinati tra diverse linee.

Per il 1998 la Linea 1 è stata attiva in:

- progetti di ricerca strettamente coordinati tra le diverse linee di ricerca (Progetti interlinea);
- progetti di ricerca su tematiche specifiche (Progetti specifici di linea), indirizzati al conseguimento ed al miglioramento delle conoscenze nel settore degli eventi idrologici estremi, ed in particolare allo sviluppo di procedure e di tecnologie adeguate, al trasferimento di criteri, procedure, modelli matematici acquisiti dalla comunità scientifica.

Nel settore della previsione e valutazione del rischio di alluvione i progetti principali sono stati:

VALUTAZIONE DELLE PIENE DEI CORSI D'ACQUA ITALIANI (VAPI)

AREE A RISCHIO DI ALLUVIONE (ARA)

Il progetto ARA è articolato in 3 sub-progetti:

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

Nel settore della prevenzione e mitigazione del rischio di alluvione i progetti sono stati:

METODOLOGIE E TECNICHE NON STRUTTURALI (MITIGARA)

SISTEMA INTEGRATO DI PREANNUNCIO DELLE PIENE FLUVIALI

Il secondo progetto è stato articolato nei seguenti sotto progetti:

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)

Modellistica idrologica degli eventi di Piena: preannuncio delle piene (MIEP)

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

AREE A RISCHIO DI DEFICIENZA IDRICA PER FENOMENI DI SICCIÀ (ARDE-SIC) mentre nel settore dei rischi collegati all'azione del mare sui litorali (LIT) si sono sviluppati i sottoprogetti:

ASPETTI CLIMATOLOGICI (MODULO LIT-CLIMA) E FLUIDODINAMICI (MODULO LIT-FLUIDO)

Per ogni progetto sono state costituite Unità di progetto, che comprendono le UU.OO. attive e che sono coordinate da 1 o 2 Unità operative. I responsabili delle UU.OO. di coordinamento sono i coordinatori di progetto.

## **2. STRUTTURA OPERATIVA, RISORSE FINANZIARIE E PUBBLICAZIONI**

Nella tabella 1 sono indicati i progetti di ricerca in cui sono state coordinate le attività delle Unità Operative della Linea 1. Per ogni progetto sono state costituite unità di progetto, che comprendono le UU.OO. attive e sono coordinate da una o due unità operative.

I responsabili delle UU.OO. di coordinamento sono i coordinatori di progetto, che assumono le iniziative ritenute idonee per lo scambio di informazioni all'interno delle unità di progetto, per l'individuazione degli obiettivi e dei prodotti di ricerca, le misure organizzative e le risorse necessarie per il conseguimento di tali obiettivi.

Le UU.OO. della linea 1 che hanno ottenuto finanziamenti nel 1998 sono indicate nella tabella 2: 5 presso Organi CNR, 18 presso Università, per un totale di 23 UU.OO..

Nella tabella 3 sono riportati i finanziamenti ottenuti dalle UU.OO.

**TABELLA 1 PROGETTI DI RICERCA INTERLINEA E SPECIFICI DELLE LINEE 1 E 3 ANNO 1998****RISCHIO DI ALLUVIONE****PREVISIONE E VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI ALLUVIONE***PROGETTI DI RICERCA: AREE A RISCHIO DI ALLUVIONE (ARA)*

- Piene ed Inondazioni (ARA-PIN)  
(coord. prof. Natale)
- Aree Vulnerate Italiane (Modulo AVI)  
(coord. Dott. Guzzetti)
- Sicurezza degli SBARamenti (ARA-SBAR)  
(coord. prof. Sirangelo)
- Colate detritiche (Modulo ARA-COD)  
(coord. prof. Armanini)

*Progetto di ricerca: Valutazione delle Piene dei Corsi d'Acqua Italiani (VAPI)*  
(coord. ing. Gabriele)

**PREVENZIONE E MITIGAZIONE DEL RISCHIO DI ALLUVIONE**

*Progetti di ricerca: metodologie e tecniche non strutturali (MITIGARA)*  
(coord. prof. Becchi)

*Progetto di ricerca: Modellistica idrologica degli eventi di Piena: preannuncio delle piene (MIEP)*  
(coord. prof. Rosso)

*Progetto di ricerca: Osservazioni multisensori dei campi di precipitazione; modelli di simulazione e previsione delle piogge (METEO)*

- (coord. prof. La Barbera)
- 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)  
(coord. prof. Corradini)

**RISCHIO DI DEGRADO DELLE RISORSE IDRICHE**

*Progetto di ricerca: Aree a rischio di deficienza idrica per fenomeni di siccità (ARDE-SIC)*

(coord. prof. G. Rossi)

**RISCHI COLLEGATI ALL'AZIONE DEL MARE SUI LITORALI (LIT)**

- Aspetti climatologici (Modulo LIT-clima) e fluidodinamici (Modulo LIT-fluido)  
(coord. prof. Pugliese Carratelli)

**TABELLA 2: UNITÀ OPERATIVE DELLA LINEA 1 CHE HANNO OTTENUTO FINANZIAMENTI NELL'ANNO 1998**

<b>U.O.</b>	<b>SEDE</b>	<b>RESPONSABILE</b>
<b>Organi CNR</b>		
1.1	IGAPV-CNR Padova	V.Villi
1.2	CSGCS-CNR Firenze	Busoni
1.4	IRPI-CNR Cosenza	S.Gabriele
1.29	IRPI-CNR Torino	Mortara
1.47	IRPI-CNR Perugia	Melone

<b>Contributi: Istituti e Dipartimenti Universitari</b>		
1.5	Università Padova	G.Di Silvio
1.7	Università Cagliari	E.Lazzari
1.8	Politecnico Milano	R.Rosso
1.9	CUGRI Sa-Na1	B.Sirangelo
1.10	Università Palermo	I.Melisenda
1.12	Università Catania	G.Rossi
1.15	Università Calabria	P. Versace
1.20	Università Trento	A.Armanini
1.21	Università Basilicata	M. Fiorentino
1.26	Università Perugia	C. Corradini
1.30	Università Napoli	V. Biggiero
1.32	Università Palermo	Mazzola
1.33	Università Brescia	B.Bacchi
1.34	Università Roma	G.Calenda
1.40	Università Genova	Seminara
1.43	Università Bologna	A. Brath
1.44	Università Perugia	P. Tacconi
1.45	Università R. Calabria	P. Boccotti

**TABELLA 3: LINEA 1: FINANZIAMENTI PER L'ANNO 1998**  
**FINANZIAMENTI IN ML PER LE UNIVERSITÀ ED ALTRI ENTI**

U.O.	SEDE	RESPONSABILE	ASSEGNAZIONI
<b>TITOLO DELLA RICERCA</b>			
<b>Organi CNR</b>			
1.1 IGAPV-CNR	Padova	V.Villi	60
Valutazione delle portate di Piena nei fiumi dell'Italia Nord-Orientale			
1.2 CSGCS-CNR	Firenze	Busoni	25
Informazioni derivabili da cartografia pedologica a varia scala.			
1.4 IRPI-CNR	Cosenza	S.Gabriele	140
Modellazione statistica degli eventi idrologici estremi. Aree a rischio di inondazione.			
1.29 IRPI-CNR	Torino	Mortara	80
Colate detritiche torrentizie delle Alpi: distribuzione spazio-temporale e ricerche sperimentali. Catalogo cartografico aree inondate dai fiumi padano veneti.			
1.47 IRPI-CNR	Perugia	Melone	60
Modelli operativi per il preannuncio delle piene e rischio di inondazione			

**TOTALE CNR                    365**

<b>Contributi: Istituti e Dipartimenti Universitari</b>			
1.5 Università	Padova	G.Di Silvio	25
Rischio di alluvione legato a colate detritiche e sovralluvionamento			
1.7 Università	Cagliari	E.Lazzari	20
Criteri di gestione e verifica del dimensionamento di sistemi idrici in presenza di periodi eccezionali di magra.			
1.8 Politecnico	Milano	R.Rosso	50
Tecniche geomorfoclimatiche di previsione del rischio idrologico. Linee Guida per la previsione statistica dei nubifragi e delle piene nell'Italia Nord-occidentale			
1.9 CUGRI	Sa-Na1	B.Sirangelo	100
Previsione e prevenzione di eventi alluvionali estremi			
1.10 Università	Palermo	I.Melisenda	10
Geomorfologia del bacino idrografico e fenomenologia idrologica.			
1.12 Università	Catania	G.Rossi	45
Piani di emergenza per l'approvvigionamento idropotabile in condizione di siccità.			
1.15 Università	Calabria	P. Versace	50
Modelli idrologici nella difesa dalle catastrofi idrauliche e geologiche.			
1.20 Università	Trento	A.Armanini	40
Dinamica delle colate di detriti - analisi del rischio e provvedimenti di difesa			
1.21 Università	Basilicata	M. Fiorentino	50
Analisi regionale degli eventi estremi in Basilicata.			
1.26 Università	Perugia	C. Corradini	50
Modellistica fisico-matematica di processi idrologici di base negli studi a scala di bacino			

1.30	Università	Napoli	V. Biggiero	40
Evoluzione dei corsi d'acqua conseguente a fenomeni parossistici e sua influenza sulle possibilità di esondazione; Il moto vario negli alvei banchinati ed il trasporto dei soluti; Analisi del comportamento dei sistemi idrici in condizioni di crisi.				
1.32	Università	Palermo	Mazzola	25
Analisi delle magre e cambiamenti climatici				
1.33	Università	Brescia	B. Bacchi	50
Rapporto regionale VAPI Basilicata – Sito Web – Valutazione del rischio di piena e di Deficienza idrica				
1.34	Università	Roma	G. Calenda	20
Analisi regionale degli eventi estremi dell'Italia Centrale. Vulnerabilità dei sistemi di approvvigionamento idropotabile.				
1.40	Università	Genova	Seminara	25
Progetto di fattibilità di un programma di ricerca sulla morfodinamica fluviale				
1.43	Università	Bologna	A. Brath	50
Metodologie di previsione e preannuncio di piena				
1.45	Università	R. Calabria	P. Boccotti	25
Ricerche sui rischi collegati agli stati meteo-marini. Controllo previsioni onde mari italiani con nuovi dati. Predisposizione nuovi algoritmi per il calcolo periodi di ritorno delle mareggiate				
			<b>TOTALE UNIVERSITA'</b>	<b>675</b>

			<b>TOTALE LINEA 1</b>	<b>1040</b>
--	--	--	-----------------------	-------------

## GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE CATASTROFI IDROGEOLOGICHE

### VALUTAZIONE DELLE PIENE NELL'ITALIA NORD-ORIENTALE

# RAPPORTO 1998

U.O. 1.1

Responsabile Dr. Virgilio Villi

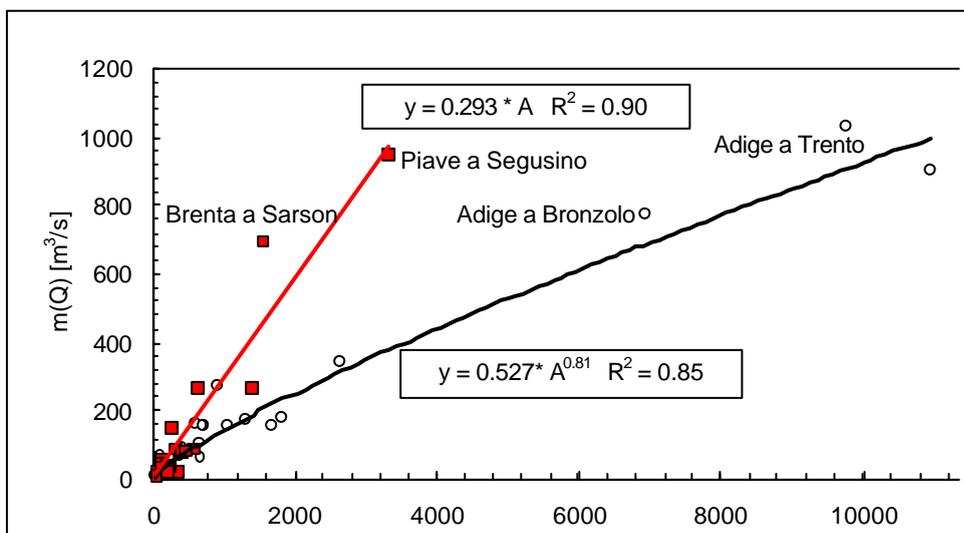
L'attività di ricerca che è stata svolta nell'ultimo anno di attività ha tra dette portate indice e le caratteristiche morfometriche dei bacini e più precisamente delle aree delle stesse. In definitiva è stata ripresa la relazione generale:

$$m(Q) = aA^b$$

che è stata applicata per gradi dapprima utilizzando tutti i dati disponibili e successivamente cercando di individuare la validità a livello di sottozona.

Tale lavoro è sintetizzato nella figura sottoriportata che illustra l'esistenza di due domini fondamentali: uno costituito dal bacino dell'Adige, dai contributi più ridotti, l'altro, dai contributi più elevati, in cui orientativamente rientrano i bacini del Brenta, del Piave e del riguardato in modo particolare il terzo livello di regionalizzazione delle portate al colmo di piena.

Essa, a partire dalla stima della portata indice della massima piena istantanea annuale ( $m(Q)$ ) in determinate sezioni, ha riguardato l'affinamento delle relazioni empiriche Tagliamento. Tale comportamento è in grande parte ascrivibile alle differenti pluviometrie delle due zone, ed è sintetizzabile in due differenti relazioni interpolari, a



scala globale, che assumono rispettivamente forma:

$$m(Q) = 0.527A^{0.81} \quad \text{per la zona occidentale (bacino dell'Adige)}$$

$$m(Q) = 0.293A \quad \text{per la zona orientale (Veneto e Friuli)}$$

mentre i parametri che caratterizzano la relazione tra portata indice ed aree dei bacini in "sottozone omogee" sono riportati nella tabella seguente.

BACINO	Sottobacini	Parametri		Limiti di validità
		A	B	
ADIGE	Alto bacino fino a Tel e Rienza fino alla confluenza	0.104	1	$200 \leq A \leq 2000km^2$
	Affluenti dell'alto Adige e della Rienza	5.5	0.52	$70 \leq A \leq 800km^2$
	Affluenti medio bacino dell'Adige da Merano a Rovereto	10.63	0.40	$70 \leq A \leq 1200km^2$
	Asta principale da Merano a Rovereto	0.444	0.844	
BRENTA e PIAVE	Parte montana	0.561	0.88	$20 \leq A \leq 500km^2$
	Bassa valle di Piave, Brenta e affluenti	1.76	0.79	
TAGLIAMENTO	Valle del Tagliamento-Fella	0.67	1	$50 \leq A \leq 2000km^2$
LIVENZA	Parte montana	10.19	0.45	$40 \leq A \leq 300km^2$
BACCHIGLIONE	Intero bacino	13.58	0.42	$100 \leq A \leq 1400km^2$

## GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE CATASTROFI IDROGEOLOGICHE

### INFORMAZIONI DERIVABILI DA CARTOGRAFIA PEDOLOGICA A VARIA SCALA

(Progetto MIEP)

# RAPPORTO 1998

U.O. 1.2

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

#### Obbiettivi della ricerca

Valutazione delle perdite di 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 di infiltrazione per varie condizioni di stato ed idrologiche del suolo.
- Aggiornamento del Rapporto tematico

## Elenco delle pubblicazioni

BUSONI, E (1997). *Holistic approach to hierarchical modelling in soil landscape analysis*. Convegno della Società Italiana di Scienza del Suolo (SISS), Roma Giugno 1997. In stampa negli Atti.

BUSONI, E., COLICA A., SALVADOR SANCHIS P. (1998). *Integrated landscape analysis of the asso river basin (Siena)*. Documento cartografico unico costituito da una mappa (Colica A. & Busoni E.) "Asso river basin active geomorphological patterns and linears maps". Ambedue le mappe sono a scala 1: 30.000. 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.

## 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.

## GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE CATASTROFI IDROGEOLOGICHE

### MODELLAZIONE STATISTICA REGIONALE DEGLI EVENTI IDROLOGICI ESTREMI. AREE A RISCHIO DI INONDAZIONE

# RAPPORTO 1998

U.O. 1.4

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

## 1. SOMMARIO

La U.O. 1.4 nel corso del 1998 ha svolto la propria attività prevalentemente nell'ambito del progetto di ricerca VAPI, sviluppando i sotto elencati temi di ricerca:

- Revisione "Rapporto Calabria"
- Integrazione Banca Dati Idrologici
- Carta della vegetazione e uso del suolo
- Carta geologica
- Sistema informativo VAPI (SIVAPI)

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 1998 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 Critelli e Le Pera è stata inoltre realizzata una carta geologica della regione Calabria alla scala di 1:500.000 quale studio 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.

Nel corso del 1998 è continuata l'attività di gestione della stazione GPS permanente di Piano Lago (CS) che ha funzionato in continuo 24 ore su 24, senza interruzioni, per tutto il 1998.

## 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.](#)

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:

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

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.

<b>Tabella 2:</b>		
	<b>Esempio I</b>	
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

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

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 di:

- 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.

## 4. BIBLIOGRAFIA

- 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. Caloiro. "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 "Crotona 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: Crotona e l'evento alluvionale dell'ottobre 1996. CNR-GNDCI, Pubb.1891, a cura di S. Gabriele.
- Petrucci O. & Dodaro S. (1998) – Alluvioni a Crotona: per una indagine storica – Sistema Terra: Rivista Internaz. di telerilevamento, 1/3, 48-54.

## 5. Attività e prodotti

- Cartografia uso del suolo a partire da dati SPOT e Landsat TM
- Banca dati eventi alluvionali
- Realizzazione software SIVAPI per la valutazione delle massime portate al colmo di piena in Italia.

## 6. 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

## 7. Realizzazione cartografia:

## 8. 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.

## 9. 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

## GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE CATASTROFI IDROGEOLOGICHE

### RISCHIO ALLUVIONE LEGATO A COLATE DETRITICHE E SOVRALLUVIONAMENTO

# RAPPORTO 1998

U.O. 1.5

Responsabile: Giampaolo Di Silvio

## 1. Progetto ARA-PIN

### 1.1 Attività di consulenza

L'attività di consulenza nel corso del 1998 è stata ancora principalmente rivolta:

- All'Autorità di Bacino del fiume Po, soprattutto per quanto riguarda la redazione del piano di emergenza;
- Al Comitato Provinciale di Protezione Civile di Padova, per l'estensione al territorio dei diversi comuni della Provincia dei criteri seguiti per la redazione del piano provinciale;
- Al Genio Civile di Belluno, per la previsione e il controllo delle colate detritiche in località Cangia;
- All'Autorità di Bacino del fiume Adige, come membro del Comitato tecnico, per vari problemi connessi con tale corso d'acqua.

### 1.2 Attività di ricerca applicata

Sono state portate a compimento numerose indagini di idraulica fluviale, già iniziate nell'ambito del progetto, e se ne sono iniziate di nuove.

Sulle indagini relative alle soluzioni analitiche e numeriche delle equazioni unidimensionali dei sistemi fluviali si è ampiamente riferito nei rapporti annuali precedenti. Nel presente si concentra pertanto l'attenzione sulla ricerca più recente "Effetti morfologici delle sistemazioni d'alveo con soglia a raso", sviluppata particolarmente dall'ing. A. Marion con la partecipazione di collaboratori esterni all' U.O. (vedi allegato)

## 2. Progetto ARA – COD

Nell'ambito del progetto ARA- COD è da tempo in corso una ricerca dedicata al perfezionamento delle conoscenze nel campo delle colate detritiche, in termini sia di "innesco" del fenomeno, sia di "movimento" delle miscele ad alta concentrazione.

### 2.1. Innesco delle colate detritiche

Le condizioni di saturazione di un ammasso detritico a pendenza elevata sono spesso riguardate (Takahashi) come necessarie e sufficienti per l'innesco del fenomeno. L'entità delle colate dipende dalla quantità d'acqua emergente (cioè in esubero rispetto alle condizioni sature), mentre la concentrazione iniziale della miscela è strettamente legata alla pendenza locale (cioè all'inclinazione del pendio ove l'acqua comincia ad emergere). A partire da queste ipotesi è stato sviluppato un modello predittivo in grado di prevedere sia le condizioni di innesco, sia le caratteristiche dell'evento (volume, portata e concentrazione iniziale). È così possibile classificare un sito in termini di rischio colate, utilizzando due parametri: il volume di saturazione (cioè il volume d'acqua mediamente necessario per raggiungere le condizioni di saturazione) e la portata di filtrazione (cioè la portata drenata dal pendio che si oppone al raggiungimento delle condizioni di saturazione). Il modello è stato applicato con buoni risultati alle ripetute colate storiche rilevate in località Cangia (Belluno).

### 2.2. Moto delle colate detritiche

Il movimento delle miscele ad alta concentrazione viene inquadrato in diversi schemi concettuali, in dipendenza soprattutto dal tipo di sedimento trasportato e delle condizioni iniziali del moto. Una categoria di miscele che non ha trovato molta attenzione negli studi teorici o sperimentali è quella che si determina lungo i pendii ad alta pendenza, inizialmente del tutto drenati, interessati dal passaggio di una corrente idrica soggetta a graduale infiltrazione. Il movimento dei sedimenti che si determina prima che la portata liquida sia totalmente infiltrata in profondità può essere in linea di principio assimilato a colate detritiche "sottosature", di cui si è ipotizzata l'esistenza in diverse circostanze.

Esperimenti a piccola scala intesi a ridurre questi particolari tipi di colate sono stati iniziati in laboratorio e verranno proseguiti nel prossimo progetto triennale.

## 3. Coordinamento con altri progetti di ricerca

Anche nel corso del 1998, le ricerche di cui sopra sono state svolte in coordinamento con il progetto nazionale di ricerca cofinanziata MURST 40% "Morfodinamica fluviale e costiera".

## (Allegato 1)

# EFFETTI MORFOLOGICI DELLA SISTEMAZIONE D'ALVEO CON SOGLIE A RASO

## Introduzione

Nel caso dei corsi d'acqua in erosione, per evitare che l'eccessivo approfondimento del fondo possa risultare dannoso per la stabilità delle pendici e delle opere eventualmente presenti in alveo, si può intervenire con una sistemazione "a gradinata" o "a salti in fondo" mediante briglie o soglie. Immediatamente a valle di tali strutture si verifica un fenomeno di erosione localizzata, che si sovrappone al previsto salto di fondo determinato dalla diminuzione della pendenza del letto. L'erosione localizzata a valle di una struttura fissa è stata oggetto di numerosi studi. Per un'ampia rassegna si può fare riferimento a Breusers e Raudkivi (1991).

## Scavo localizzato massimo a valle della soglia

Attraverso indagini sperimentali condotte su una canaletta inclinabile di HR Wallingford nel 1996 e nel 1997, gli autori (Marion et al. , 1998; Gaudio e Marion, 1999) hanno osservato lo sviluppo dello scavo localizzato a valle di soglie a raso, determinandone le dimensioni ed il profilo all'equilibrio. Tali risultati, sono stati poi usati per determinare il legame funzionale che lega alcuni gruppi adimensionali, ottenuti attraverso l'applicazione dell'Analisi dimensionale e del Teorema II (Gaudio et al. , 1998). In questo modo essi sono arrivati ad una relazione molto semplice tra due soli parametri adimensionali. La massima profondità di scavo, rapportata all'energia della corrente sulla soglia, risulta linearmente dipendente dal rapporto tra una nuova grandezza definita "salto morfologico" e il prodotto tra la densità relativa ridotta dei sedimenti e il diametro dei sedimenti stessi. Il salto morfologico è definito come la profondità del fondo rispetto alla sommità della soglia prodotta dalla pura riduzione della pendenza del fondo dal valore iniziale a quello di equilibrio (in questo caso di criticità del moto dei sedimenti), e può essere scritto in funzione dei parametri macroscopici idraulici (portata), sedimentologici (diametro dei sedimenti) e geometrici (pendenza iniziale del fondo, distanza tra le soglie).

## Evoluzione dello scavo nel tempo

Partendo dai risultati dell'esperienza precedente, Marion e Guido (lavoro in corso) hanno investigato lo sviluppo temporale dello scavo. Questo studio riveste una grande rilevanza pratica, in quanto i tempi di durata delle portate liquide maggiori (più gravose per lo scavo) sono nella realtà di gran lunga inferiori ai tempi necessari per il conseguimento dello scavo massimo.

Usando lo scavo massimo come parametro di normalizzazione dello scavo massimo istantaneo, e adimensionalizzando opportunamente la scala dei tempi attraverso la valutazione dei volumi di scavo e di una portata solida di riferimento, si è arrivati alla definizione di una curva adimensionale che, sulla base dei dati sperimentali sin qui raccolti, appare godere di una certa generalità. Tale curva, qualora confermata da ulteriori dati

sperimentali, rappresenta uno strumento progettuale molto utile, in quanto permette la valutazione dell'evento più gravoso per una sistemazione a silti di fondo, combinando l'entità di una piena con la sua duratura.

#### 4. Riferimenti bibliografici

Breusers H.N.C. , e Raudkivi A.J. , (1991) *Scouring*, Hydraulic Structures Design Manual, IAHR, Rotterdam/ Brookfield, A.A. Balkema.

Bovolin, V. Gaudio, R. e Marion, A. *Erosione localizzata a valle di soglie di fondo*. L'Acqua, in stampa, 1999.

Gaudio, R., Marion , A. e Bovolin, V. (1998) *Morphological effects of Bed Sills*. Journal of Hydraulic Research, IAHR, in recensione.

Gaudio, R. e Marion , A. (1999) *Prediction of maximum scour depth at bed sills*. Atti del XXVIII Congresso IAHR, in stampa, Graz (Austria)

Marion, A. , Bovolin, V. e Gaudio, R. (1998) *Scour downstream of bed sills*. HR Wallingford Report TR 70, pp. 43.

## 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 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 nell'anno 1998 l'U. O. ha esteso la modellazione TCEV analizzando più in dettaglio i criteri per la stima della precipitazione indice nella regione. In merito sono stati considerati tre differenti approcci modellistici: 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, le attività dell'U. O. hanno avuto come obiettivo quello di individuare gli interventi che potevano essere presi a riferimento per ridurre gli effetti delle calamità di deficit idrico in ambito regionale. Al riguardo si è operato con riferimento all'intero sistema del Flumendosa-

Campidano- Sulcis. 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'interno 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

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, 1998.

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 Application" Erice, 1998.

Sechi G. M., Zuddas P. , *Multistage Programming Techniques for Optimization Management of Extended Water Resource System*, IHP Scientific Meeting, Perugia, 1998.

## GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE CATASTROFI IDROGEOLOGICHE

### TECNICHE GEOMORFOCLIMATICHE DI PREVISIONE DEL RISCHIO IDROLOGICO

# RAPPORTO 1998

U.O. 1.8

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

## 1. Indice

Introduzione

Progetto VAPI

Previsione statistica dei nubifragi e delle piene nel bacino padano e nella Liguria tirrenica

Effetti antropici sulla frequenza e la severità delle piene

Influenza climatica sulla frequenza e la severità delle piene

Progetto MIEP

Progetto METEO

Conclusioni

Elenco delle pubblicazioni del 1998

## 2. Introduzione

Le ricerche inquadrare nel programma di lavoro sulle tecniche geomorfoclimatiche di previsione del rischio idrologico si propongono la messa a punto di (i) 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; lo sviluppo di (ii) modelli idrometeorologici spazialmente distribuiti, sia con riferimento ai campi di precipitazione, che alla trasformazione afflussi-deflussi (sia finalizzati alla simulazione di eventi di piena, sia al preannuncio di piena) e all'instabilità superficiale dei versanti dovuta ai nubifragi; e la formulazione di (iii) criteri e modalità di impiego di dati telerilevati con sensori remoti a micro-onde attive nel monitoraggio degli eventi alluvionali. L'attività di ricerca svolta nel 1998 viene perciò inquadrata in relazione a queste tre

tematiche progettuali, inquadrabili nei tre progetti VAPI, MIEP e METEO, in relazione ai quali essa viene qui presentata nei tre successivi paragrafi.

## 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 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 lo studio di un caso significativo di bacino idrografico a intensa urbanizzazione (torrente Bisagno, Liguria tirrenica) in coordinamento con il progetto europeo FRAMEWORK. Infine, la ricerca ha analizzato la sensibilità climatica delle valutazioni di piena in relazione a diversi scenari di simulazione climatica prodotti da modelli di circolazione globale, sviluppando lo studio di alcuni casi significativi alla piccola mesoscala.

## Previsione statistica dei nubifragi e delle piene nel bacino padano e nella Liguria tirrenica

In particolare, nel quadro del progetto *VAPI* per la valutazione delle piene (portate massime al colmo) temibili nel bacino padano e nella Liguria tirrenica, è stata conclusa la fase di identificazione delle regioni omogenee in quanto a regime di frequenza delle piene in base alle proprietà di invarianza di scala del campo aleatorio delle portate al colmo di piena massime annuali, parametrizzate sull'area del bacino idrografico. È stata altresì perfezionata (vedi Figura 1) la valutazione delle curve di crescita per tali regioni in base a modello GEV, di cui sono state considerate eventuali migliorie tramite procedure multivariate di stima parametrica (De Michele, 1998).

Infine, si è altresì sviluppata la fase relativa al terzo livello dell'analisi di frequenza, mettendo a punto una metodologia geomorfoclimatica di valutazione della portata, sia per via diretta, sia per via indiretta. 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 stata validata 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 è 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.

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 ed alla rasterizzazione della cartografia 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 significativi, 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 200x230 m (vedi Figura 2).

È stato infine 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., 1998b).

## **Effetti antropici sulla frequenza e la severità delle piene**

Parallelamente, si è affrontato a scala di bacino il problema della valutazione delle piene temibili in presenza di significative modificazioni antropiche, quali le variazioni diffuse di uso del suolo, individuabili in base a fonti storiche. 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, potrà fornire indicazioni di notevole interesse metodologico e tecnico sulla risposta scientifica da dare alla questione, assai importante, dell'effetto antropico sul rischio idrogeologico. Nel 1998 questa attività, svolta anche nell'ambito del progetto europeo FRAMEWORK, si è proceduto alla raccolta delle informazioni storiche quali-quantitative sull'uso del suolo, tramite la disamina della cartografia di quasi duecento anni, nonché alla sua digitalizzazione. 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.

## Influenza climatica sulla frequenza e la severità delle piene

Infine, 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 e al fiume Versilia in Toscana. I risultati di questa analisi, ancorchè 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. In tale ambito, l'analisi dei massimi giornalieri estratti da alcune lunghe serie di dati pluviometrici basati sull'ipotesi di stazionarietà del processo di pioggia sul lungo periodo (De Michele et al., 1998a).

### PROGETTO MIEP

In questo ambito sono stati affrontati problemi di modellazione idrologica di tipo distribuito. L'attività finalizzata alla simulazione di eventi di piena ha affrontato:

- a) la valutazione dei tempi caratteristici di risposta idrologica in relazione alla geometria idraulica della rete idrografica,
- b) la simulazione stocastica multisito del processo temporale di pioggia,
- c) le modalità di valutazione dell'impatto idrologico di modificazioni antropiche e climatiche, in coordinamento con i progetti europei FRAMEWORK e RAPHAEL;
- d) i criteri di modellazione idrologica del rischio di instabilità superficiale dei versanti, sia con l'ausilio di modelli teorici che di dati sperimentali.

L'attività finalizzata al preannuncio in tempo reale ha affrontato

- a) accoppiamento dei modelli idrologici con i modelli atmosferici ad area limitata, in coordinamento con il progetto europeo RAPHAEL,
- b) messa a punto di soluzioni speditive off-line del problema inverso ai fini della determinazione delle soglie di rischio pluviometrico, in coordinamento con l'attività svolta dal DIIAR del Politecnico di Milano per l'Autorità di bacino del Fiume Arno.

In particolare, 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 lo studio del torrente Bisagno nella Liguria Tirrenica, 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

- Il secondo caso di studio affronta la problematica della rappresentazione spaziale distribuita dei serbatoi artificiali, con una significativa applicazione al bacino del fiume Toce in Piemonte (Mancini et al., 1998).

L'attività del 1998 ha anche affrontato, 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 (Rulli et al., 1998).

- La simulazione stocastica "multisito" del processo temporale di pioggia, tramite lo sviluppo e l'applicazione di un modello generalizzato basato sulla "clusterizzazione" di Neyman-Scott, al fine di superare le attuali difficoltà di modellazione dell'afflusso meteorico nei bacini alla piccola mesoscala.
- La valutazione della parametrizzazione della velocità di dispersione idrografica nei modelli distribuiti di piena (Orlandini & Rosso, 1998).

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

- l'applicazione dei modelli idrologici distribuiti, tramite confronti di prestazioni tra tali modelli e i tradizionali modelli concettuali a parametri concentrati;
- la possibile soluzione speditiva del cosiddetto "problema inverso", ossia la valutazione delle soglie pluviali di allarme, sia tramite studi storici che tramite modellazione matematica off-line, e
- i criteri, le modalità e le scale caratteristiche spazio-temporali per l'accoppiamento dei modelli idrologici con i modelli atmosferici ad area limitata.

## PROGETTO METEO

La ricerca ha condotto alla validazione dei criteri di impiego di sensori remoti a micro-onde attive nel monitoraggio e nella modellazione degli eventi alluvionali, sia per

- a) la stima dell'umidità superficiale del suolo vegetato, tramite esperimenti di laboratorio e pieno campo (Mancini & Rosso, 1998), sia per
- b) la mappatura in "tempo reale" delle aree alluvionate, tramite modelli digitali del terreno ad alta risoluzione (Giacomelli et al., 1998),

laddove i risultati indicano l'impiego della metodologia proposta quale strumento operativo per la mappatura di tali aree in fase di emergenza.

## 3. CONCLUSIONI

La ricerca svolta nel 1998 ha condotto a importanti risultati nelle tre tematiche di progetto affrontate, con particolare riguardo alla valutazione statistica delle piene, alla simulazione di 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 antropizzazione del territorio e dalle forzanti climatiche. I risultati sulla mappatura delle aree esondate tramite uso congiunto di sensori remoti a micro-onde attive e modelli digitali del terreno ad alta risoluzione propongono questa metodologia quale efficace strumento operativo per l'impiego in fase di emergenza.

## 4. Elenco delle pubblicazioni del 1998

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.

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 in Ingegneria Idraulica, Politecnico di Milano, Milano, febbraio, 1998.

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.

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-GNDCI no.1862, pp.81-94, 1998.

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.

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 Internazionale su "La prevenzione delle catastrofi idrogeologiche: il contributo della ricerca scientifica", Alba, 5-7 Novembre 1996, Vol.2, pp.43-50, 1998.

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, 1998a.

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, 1998b.

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.

Rulli, M.C., Menduni, G., Brugioni, M., & R. Rosso, Considerazioni sulla stabilità dei pendii ai fini della modellazione distribuita dei movimenti regionali superficiali innescati da eventi meteorologici intensi, Atti XXVI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Catania, 9-12 settembre, Vol.2, pp. 133-144, 1998.

## GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE CATASTROFI IDROGEOLOGICHE

### VALUTAZIONE DEGLI EVENTI IDROLOGICI ESTREMI

# RAPPORTO 1998

U.O. 1.9

Responsabile: Prof. Beniamino Sirangelo

## 1. INTRODUZIONE

L'attività dell'U.O. 1.9 svolta nell'anno 1998 ha riguardato i progetti:

### 1) Progetto ARA-PIN

Per l'anno 1998 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 possibilità di pervenire a criteri di delimitazione di dettaglio delle aree potenzialmente soggette a rischio di inondazione.

### 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).

### 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.

### **3) Progetto ARDI-SIC**

Si è messa 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.

## **SINTESI DELL'ATTIVITÀ SVOLTA**

### **1. Sommario**

Come negli anni precedenti l'attività di ricerca è stata supportata anche da opportuni co-finanziamenti, ed è stato ottenuto dalla Regione Piemonte ed è relativo all'analisi idraulica ed idrologica dell'evento alluvionale che ha recentemente interessato il bacino del fiume Tanaro (la ricerca e la collaborazione oggetto del co-finanziamento è a tutt'oggi conclusa). Inoltre va segnalato che 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**

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 esondazione 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 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 gascinamica, 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, è stata 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 1998**

U.O. 1.10

Responsabile: prof. Ignazio Melisenda Giambertoni

**1. SOMMARIO**

Come si evince dal titolo, obiettivo primario della U.O. 1.10 è quello della deduzione della risposta idrologica impulsiva (IUH) dalle caratteristiche geomorfologiche del bacino e della sua rete idrografica. L'interesse di tale ricerca attiene principalmente alla possibilità di previsione degli eventi estremi di piena in bacini idrografici privi di osservazioni idrometriche; in senso lato tale previsione interessa anche bacini attualmente provvisti di installazioni di misura, ma per i quali la serie di portate disponibili, data la sua esiguità, non possa ritenersi statisticamente significativa. Coerentemente alle attività promosse nell'ambito del M.I.E.P., un secondo obiettivo, non in ordine d'importanza, dell'U.O. è quello della costituzione di un archivio storico degli eventi di piena più significativi registrati alle stazioni idrometrografiche gestite dal Servizio Idrografico della Regione, nonché degli eventi meteorici che li hanno provocati. Tale raccolta, da poco completata, può essere utilizzata per la determinazione delle probabilità di piena su scala regionale.

**2. DEDUZIONE DELLA RISPOSTA IDROLOGICA IMPULSIVA**

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. Le caratteristiche di picco e tempo al picco della risposta possono assai semplicemente essere definiti in funzione di descrittori sintetici della geomorfologia del reticolo: la magnitudine delle rete, che costituisce l'equivalente topologico dell'area di drenaggio e la lunghezza topologica, che a sua volta equivale alla lunghezza dell'asta principale. In tale contesto la lunghezza topologica assume il significato di scala di rappresentazione del reticolo stesso.

E' stata ricavata, per il picco,  $h_p$ , la seguente espressione:

$$h_p = \frac{2v}{L} \lambda^{1-g(\beta)}$$

in cui  $v$  è la velocità di propagazione, assunta costante all'interno del reticolo,  $L$  è la lunghezza dell'asta principale,  $\lambda$  è la lunghezza topologica,  $\beta = \frac{\log(2\mu - 1)}{\log \lambda}$  è un parametro

di forma del bacino, essendo  $\mu$  la magnitudine della rete, e  $g(\beta) = \log_2 \lambda^\beta$ . E' interessante notare che  $\beta$  assume valori compresi tra 1 e 2; in particolare i bacini di forma allungata sono caratterizzati da valori bassi di  $\beta$ , al contrario a valori più elevati corrispondono bacini dalla forma classica a ventaglio. Una seconda osservazione è che il valore del picco scala con la lunghezza topologica (cresce al crescere del dettaglio); lo scaling osservato è in accordo con la rappresentazione della funzione di larghezza attraverso il formalismo delle cascate casuali e può essere spiegato come risultato di una non bilanciata partizione di massa ad ogni stadio del processo.

### 3. DEDUZIONE DI UNA LEGGE DI PROBABILITA' DELLE PIENE SU SCALA REGIONALE

Sono stati acquisiti i dati delle portate di massima piena registrate alle stazioni idrometrografiche del Servizio Idrografico Regionale; la raccolta è estesa all'arco temporale dall'inizio delle attività del Servizio sino al 1997 e comprende, per ogni anno e per ogni stazione funzionante, i tre maggiori valori.

E' attualmente in corso l'analisi statistica dei dati, con l'obiettivo di derivare una legge di probabilità delle piene che sia valida per l'intero territorio regionale. L'analisi è in primo luogo volta all'eventuale aggiornamento dei parametri della legge TCEV sulla base dei nuovi valori di portata acquisiti. In secondo luogo si intende verificare la possibilità di definizione di un'unica legge di probabilità delle piene, in cui le peculiarità del bacino vengano rappresentate da un parametro di scala, quale la dimensione dell'area contribuente, il cui esponente sia a sua volta legato alle modalità con le quali il reticolo idrografico occupa la sede del bacino idrografico. A questo ultimo fine saranno anche utilizzati i risultati già ottenuti al riguardo delle caratteristiche di picco e di tempo di picco dell'idrogramma unitario istantaneo, dedotte in funzione di parametri morfometrici descrittivi della struttura ad albero del reticolo.

### 4. 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.

*GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE  
CATASTROFI IROGEOLOGICHE*

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

**RAPPORTO TRIENNALE  
1996-1998**

U.O. 1.12

Responsabile: Prof. Giuseppe Rossi

**1. SOMMARIO**

NELL'AMBITO DEL PROGETTO "AREE A RISCHIO DI DEFICIENZA IDRICA PER FENOMENI DI SICCAITÀ" (ARDE-SIC) LE RICERCHE SVOLTE HANNO RIGUARDATO DUE TEMI PRINCIPALI:

- I. LO STUDIO DELLE DISTRIBUZIONI DI PROBABILITÀ DELLE CARATTERISTICHE DI SICCAITÀ (DURATA, DEFICIT CUMULATO) IDENTIFICATE SU SERIE IDROLOGICHE A DIVERSE SCALE DI AGGREGAZIONE TEMPORALE;
- II. LA DEFINIZIONE DI UNA PROCEDURA DI VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI DELLE MISURE DI MITIGAZIONE DELLE SICCAITÀ IN UN SISTEMA IDRICO COMPLESSO.

**2. SINTESI DELLE ATTIVITA' SVOLTE**

Il lavoro relativo al primo tema ha riguardato la ricerca delle distribuzioni di probabilità delle caratteristiche di siccità (durata e deficit cumulato), ottenute applicando il concetto di run sulle serie delle variabili idrologiche deflussi e precipitazioni a scala annuale e mensile con fissate soglie di troncamento. Le distribuzioni di probabilità definite sono state applicate a tre serie idrologiche relative al bacino del F.Salso, affluente del F.Simeto, sotteso dalla sezione dove è stato realizzato il serbatoio Pozzillo e precisamente la serie dei deflussi

mensili relativi al periodo 1959-94 e le serie dei corrispondenti afflussi sul bacino relativi al periodo 1959-94 e al periodo 1904-94.

Il lavoro relativo al secondo tema ha riguardato la procedura di confronto tra varie misure alternative di mitigazione delle siccità. Anzitutto si sono studiate convenienza e limiti dell'uso di modelli di simulazione di tipo generalizzato nei confronti dell'uso di un modello specificatamente sviluppato per lo studio delle alternative di mitigazione degli effetti delle siccità in un sistema idrico complesso.

La metodologia di confronto tra le varie misure di mitigazione delle siccità è stata applicata al caso del sistema idrico del palermitano che era stato oggetto di una precedente indagine nell'ambito del Progetto europeo POP Sicilia.

I principali risultati delle indagini sono di seguito sintetizzati.

## Distribuzioni di probabilità delle caratteristiche di siccità

Si è preliminarmente definita una procedura per l'analisi della stazionarietà delle serie idrologiche degli afflussi e dei deflussi e per la verifica dell'esistenza di un trend. In particolare, l'analisi è stata condotta attraverso tre test principali. Per la verifica della significatività del trend lineare adattato alla serie dei dati annui si è applicato il test della  $t$  di Student; per accertare la casualità della successione dei valori della serie si sono adottati il test dei punti di svolta ed il test della  $\tau$  di Kendall.

Inoltre la verifica della indipendenza delle serie esaminate è stata condotta costruendo gli autocorrelogrammi empirici delle serie annue e delle serie mensili (dalle quali era stata rimossa la periodicità nella media e nello s.q.m.) e accertando la presenza di coefficienti di autocorrelazione fuori dei limiti di confidenza di un processo strettamente stazionario e non autocorrelato (rumore bianco).

Come soglie di troncamento per l'individuazione delle siccità col metodo dei run si sono adottati i valori delle variabili che corrispondono alle frequenze di non superamento del 50% e 25%. Una analisi preliminare ha escluso la possibilità di utilizzare frequenze di non superamento inferiori al 25% (ad es. 10%) a causa del numero estremamente limitato di siccità che risultano individuate.

Utilizzando la definizione di siccità basata sulla teoria del run, è stata derivata analiticamente la distribuzione di probabilità della durata di siccità, nel caso generale che la variabile di base segua un processo periodico markoviano. Le distribuzioni relative ad un processo periodico-indipendente e stazionario (dipendente e indipendente) sono state ricavate come casi particolari (distribuzione geometrica).

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 quindi 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.

In mancanza di una distribuzione teorica per il deficit cumulato nel caso periodico, si è verificato e confrontato l'adattamento della distribuzione esponenziale e della distribuzione gamma.

I risultati delle applicazioni alle differenti serie idrologiche (deflussi e precipitazioni mensili e annue) dimostrano un buon adattamento delle distribuzioni proposte nel caso studio

esaminato. Per i deficit cumulati individuati sulle serie mensili, sia la distribuzione esponenziale che quella gamma non presentano un generalizzato adattamento; comunque la distribuzione gamma supera i test in un numero maggiore di casi.

## **Valutazione degli effetti delle misure di mitigazione delle siccità in un sistema idrico complesso**

Per quanto riguarda il secondo tema si è approfondito il confronto tra modelli generalizzati e modelli specifici per la simulazione del comportamento di un sistema idrico complesso in condizioni di emergenza dovuta a siccità, già avviato nell'anno precedente.

I modelli di simulazione generalizzati, scelti tra i numerosi software disponibili, sono stati il modello MODSIM, sviluppato dal Prof. J.W. Labadie della Colorado State University (USA), ed il modello IRIS, sviluppato dal Prof. D.P. Loucks della Cornell University (USA) e dal Dr. K.A. Salewicz dello IIASA (Austria). Tali modelli sono stati messi a confronto con un modello di simulazione specificatamente sviluppato presso l'Università di Catania per la simulazione dell'esercizio di un sistema idrico in condizioni di siccità. Sulla base della capacità dei diversi modelli di simulare le regole di esercizio dei serbatoi di regolazione e le misure di emergenza durante i periodi siccitosi, come anche in relazione alla interattività, semplicità di utilizzo e quantità e qualità degli output forniti dai relativi software è risultato preferibile il modello specifico per le condizioni di siccità.

Una volta scelto il modello di simulazione è stata definita una metodologia di valutazione degli effetti delle misure di mitigazione delle siccità, applicandola al sistema idrico che approvvigiona la città di Palermo ed i comuni costieri ad est ed a ovest di Palermo, nonché diverse aree irrigue e le zone industriali di Termini Imerese e Carini.

L'analisi del comportamento del sistema, già effettuata precedentemente, è stata approfondita considerando sia la serie storica delle disponibilità alle fonti, sia serie generate con un modello multivariato periodico intermittente. I risultati della simulazione tramite il modello specificatamente sviluppato sono stati valutati tramite cinque indici che descrivono il rischio di deficit idrico e gli effetti conseguenti, calcolati con riferimento alle domande totali e a soglie di disagio ammissibili (diverse per ciascun uso). Si è assunta come alternativa di riferimento quella in cui l'esercizio del sistema è simulato con le regole gestionali ordinarie. Si sono poi ripetute le simulazioni applicando una regola di razionamento e quindi differenti misure di emergenza assieme al razionamento. Il confronto delle alternative è stato effettuato analizzando le curve di frequenza degli indici calcolati sulle serie generate. Si è anche analizzato il comportamento del sistema idrico nelle condizioni più gravose di deficienza idrica. Le misure di emergenza preferibili sono risultate l'incremento del riuso di acque reflue depurate per uso irriguo o la destinazione ad uso civile del volume riservato all'uso idroelettrico nel serbatoio di Piana Albanesi.

### **3. RISULTATI CONSEGUITI**

Sulla definizione delle distribuzioni di probabilità delle caratteristiche di siccità (lunghezza e deficit cumulato) e sullo sviluppo di una metodologia di valutazione degli effetti delle misure di mitigazione delle siccità in un sistema idrico complesso sono state presentate due memorie al XXVI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche "Ingegneria dell'acqua e sviluppo sostenibile" tenutosi a Catania il 9-12 settembre 1998.

## 4. COLLABORATORI ALLA RICERCA

Hanno collaborato alla ricerca nel 1998:

- il prof. Bartolomeo Reitano, straordinario di Costruzioni Idrauliche;
- il dott. ing. Alessandro Ancarani, dottorando di ricerca di Ingegneria Economico-Gestionale;
- il dott. Giuseppe Munda, docente di Economia presso la Universitat Autònoma de Barcelona (Spagna);
- l'ing. Santo Leotta e l'ing. Rosario Corvaia liberi professionisti;
- la sig.na Sandra Lazzarini.

## 5. PUBBLICAZIONI

- 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.

## GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE CATASTROFI IDROGEOLOGICHE

# MODELLI IDROLOGICI NELLA DIFESA DALLE CATASTROFI IDRAULICHE E GEOLOGICHE

## RAPPORTO 1998

U.O. 1.15

Responsabile: prof. Pasquale Versace

### 1. Sommario dell'attività svolta

L'attività dell'Unità Operativa 1.15 svolta nel corso del 1998 ha riguardato essenzialmente i progetti di ricerca denominati ARA-PIN, VAPI, MIEP. Per ciascun progetto nel seguito vengono segnalate le ricerche che hanno prodotto i risultati più importanti.

Nel corso dell'anno l'U.O. è stata impegnata anche in una intensa attività di protezione civile a favore della città di Crotona.

### Progetto ARA-PIN

- *Programma di previsione e prevenzione del rischio nella provincia di Cosenza*

Nel corso del 1998 è stato praticamente portato a termine il programma di previsione e prevenzione del rischio nella provincia di Cosenza. Per il rischio di inondazione, dopo il preliminare lavoro di individuazione degli elementi a rischio svolto nel primo semestre basato su cartografia, segnalazioni comunali e banche dati idrologiche relative ad eventi alluvionali disastrosi, nei mesi successivi è stato valutato il grado di rischio di oltre 200 siti a rischio di inondazione, 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;

Per gli altri rischi presi in considerazione dal programma 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.

Parallelamente alla valutazione degli elementi a rischio, è stata valutata la vulnerabilità del territorio, schematizzando tematicamente i diversi comuni della provincia in

funzione delle presenze abitative, delle infrastrutture e dei flussi di comunicazione, dei vincoli idrogeologici e culturali, dell'uso del suolo.

Sono state quindi realizzate le carte tematiche previste per il rischio di inondazione (Punti di possibile crisi e Aree inondabili nel centro abitato di Cosenza), 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 aereali e Dissesti oggetto di studi particolareggiati), il rischio di mareggiata (Mareggiate documentate ed erosione costiera, Opere di difesa esistenti), il rischio sismico (Inviluppo delle isosisme degli eventi storici ed Epicentri degli eventi sismici), il rischio di incendio (Aree percorse dal fuoco nel periodo 1988 – 1997).

Infine si sono redatte 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.

Le relazioni del programma, pur avendo dovuto necessariamente tracciare solo le linee essenziali circa gli aspetti legati alla prevenzione del rischio, che saranno approfonditi in una fase successiva di aggiornamento, consistono in diverse monografie dedicate alle indagini generali di censimento del territorio e poi in particolare ai risultati di dettaglio per il rischio di inondazione, di frana, di mareggiata ed erosione costiera, sismico, di incendio. Inoltre schede di sintesi sono state predisposte per la vulnerabilità del territorio e la documentazione integrativa.

- *Censimento dei punti di possibile crisi idrogeologica nelle province di Catanzaro e Crotona*

Il censimento dei punti di possibile crisi idrogeologica già effettuato per la provincia di Cosenza è stato esteso alle province di Catanzaro e Crotona. L'individuazione degli ulteriori punti di possibile crisi è stata condotta in modo analogo al precedente attraverso un censimento presso i Comuni, le Comunità Montane, i Consorzi, l'AFOR, l'ARSSA, l'Ordine degli Ingegneri, l'Ordine dei Geologi e l'ANAS.

Le indagini d'archivio e l'analisi cartografica del territorio hanno condotto ai seguenti elaborati:

- la scheda base del catalogo generale dei punti di possibile crisi (tronchi stradali extraurbani soggetti ad inondazione, strade urbane soggette ad inondazione, ponti stradali e ferroviari di attraversamento di corsi d'acqua in condizioni di precaria sicurezza, movimenti franosi che potrebbero danneggiare edifici, laghetti collinari in precarie condizioni di stabilità);
- il catalogo dei punti di possibile crisi della provincia di Catanzaro;
- il catalogo dei punti di possibile crisi della provincia di Crotona.

- *Aggiornamento della banca dati ASICAL con gli eventi di inondazione precedenti il 1918*

Sono state inserite nella banca dati altre informazioni storiche relative ad alcuni eventi alluvionali in Calabria occorsi nell'ultimo secolo, procedendo all'aggiornamento fino al 1994 attraverso l'analisi di numerosi documenti tecnici e scientifici.

- *Piano di emergenza per il rischio di inondazione della città di Crotona*

Il modello di previsione dei deflussi di piena del bacino dell'Esaro di Crotona, elemento base del piano di emergenza per il rischio di inondazione nella città di Crotona, basato su un sistema di preannuncio in fase di costante revisione, è stato utilmente

impiegato con gli eventi meteorici dell'inverno 1997-98, risultando di valido aiuto nell'individuazione dell'approssimarsi di condizioni di allerta meteorologica. 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.

## Progetto VAPI

- *Eventi meteorici eccezionali e piene disastrose in Europa*

Come attività svolta per il tema "Portate al colmo di piena" afferente al progetto FRIEND dell'UNESCO (gruppo AMHY), si è 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, i cui atti sono in corso di stampa, 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.

- *Confronto tra i diversi modelli europei di valutazione degli estremi idrologici*

Sempre nell'ambito dell'attività svolta per il progetto FRIEND dell'UNESCO, è in corso di allestimento una banca dati costituita da bacini sperimentali appartenenti alle diverse realtà geografiche europee, ai quali effettuare l'applicazione comparata dei modelli utilizzati in Europa per la valutazione delle portate di piena.

## Progetto MIEP

- *Modelli di piena*

Le prestazioni del sistema di previsione delle piogge basato sui modelli stocastici di precipitazione di tipo Neyman-Scott, implementato nel 1997, sono state verificate nel corso del 1998, ed in particolare, nell'ambito di una collaborazione con i Servizi Tecnici Nazionali, è stata iniziata la realizzazione di un modulo di disaggregazione delle informazioni pluviometriche a partire da dati provenienti da modelli LAM.

Lo scopo di tale ricerca, attualmente in corso, consiste nel verificare i livelli di significatività associati a differenti intervalli di preannuncio di piena (anticipo), al fine di stabilire la massima estensione dell'orizzonte 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.

## Progetto LIT

- *Erosione dei litorali calabresi*

E' 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.

## 2. Elenco delle pubblicazioni

E. Ferrari, "Comparison of flood frequency models based on extreme rainfall analysis", 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", 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", European Geophysical Society, XXIII General Assembly, Aprile 1998, Nizza, Francia.

Iiritano G., Versace P. e Sirangelo B. 1998. "Real-time estimation of hazard for landslides triggered by rainfall". *Environmental Geology*, 35 (2-3) pp.175-183.

Sirangelo B. e Iiritano G., 1998. "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.

Mendicino G., Iiritano G. e P. Versace, 1998. "Il preannuncio delle piene nei piccoli bacini. IL caso dell'Esaro di Crotona", *Atti del XXVI Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche*, Vol. II, pp.273-286, Catania.

## GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE CATASTROFI IDROGEOLOGICHE

# DINAMICA DELLE COLATE DI DETRITI-ANALISI DEL RISCHIO E PROVVEDIMENTI DI RICERCA

## RAPPORTO 1998

U.O. 1.20

Responsabile: prof. Aronne Armanini

### 1. Introduzione

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. Sono state effettuate misure di distribuzioni di velocità e concentrazione relative alle parti 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, vale a dire in condizioni di concentrazione pari alla capacità di trasporto.

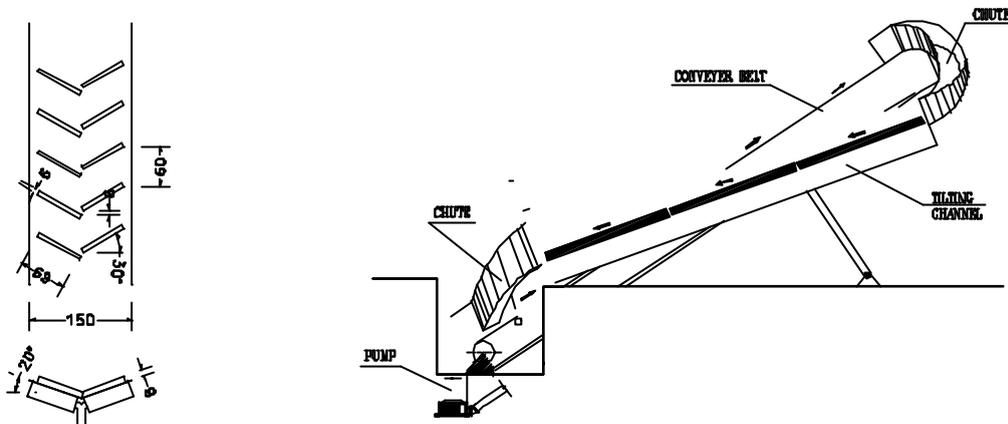
In questa situazione il flusso di materiali tra fondo e corrente è mediamente nullo.

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.

### Installazione sperimentale

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)



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

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 23°.

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 particelle regolari di PVC di forma cilindrica con diametro medio della sezione pari a 3.2 mm ed altezza di 2.8 mm.

Sono stati preventivamente misurati: l'angolo di attrito statico  $\phi$  in condizione di materiale secco e in condizioni completamente immerse, senza mostrare sostanziali differenze; la concentrazione massima a riposo  $c_{max}$ ; il peso specifico  $\gamma_s$ ; e la conducibilità idraulica  $k$ . Nella tabella successiva vengono riassunti i dati salienti del materiale utilizzato.

$\gamma_s$ (N/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (gradi)	k (cm/s)	$C_{max}$
15107	35	2.7	0.69

**Tabella 1** : Caratteristiche del materiale granulare utilizzato.

Il sistema di ricircolo è formato da un nastro trasportatore 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 totali 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.

La misura di concentrazione viene ottenuta contando le particelle solide che appaiono in una certa posizione del fotogramma. La profondità della colata è stata suddivisa in un certo numero di strisce longitudinali includenti un numero statisticamente significativo di particelle. Nell'immagine è possibile distinguere le particelle a diretto contatto della parete da quelle immediatamente posteriori.

La misura delle concentrazioni delle particelle a contatto con la parete è apparsa realistica ed accurata. La velocità rilevata risulta quindi essere la velocità della singola particella. L'andamento delle linee di corrente e dei vettori velocità risulta dall'identificazione della posizione di una singola particella in alcune sequenze di fotogrammi. Con la stessa tecnica si è potuto identificare la posizione della superficie libera; per quanto riguarda la posizione del fondo questa è stata ricavata dalla distribuzione delle velocità come punto di velocità nulla. La pressione del fluido interstiziale è stata rilevata sul fondo della canaletta e sulla parete laterale per mezzo di una cella di pressione. E' stata misurata anche la pressione totale per mezzo di una presa di pressione speciale collegata con un trasduttore piezometrico; questa presa di pressione era coperta da una membrana sottilissima di lattice a contatto con del fluido interno.

La portata solida e quella liquida era rilevata campionando la mistura ricircolante.

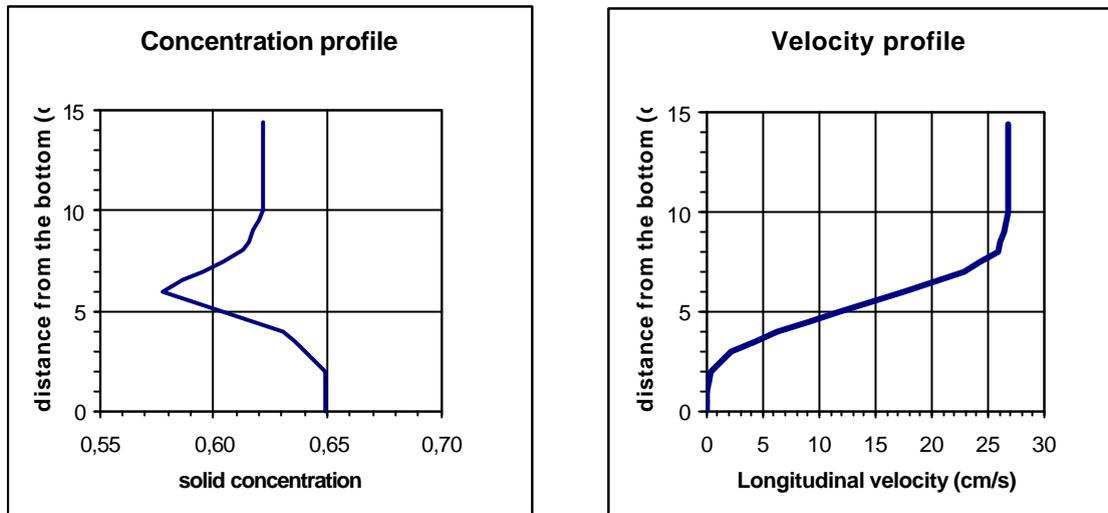
In ogni prova veniva assegnato il volume di materiale, la pendenza del canale e la scabrezza del fondo.

## 2. Risultati

In generale i dati 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 saturo d'acqua, cui corrisponde una distribuzione di velocità a forma di **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. Nella Figura 2 sono mostrati i relativi profili.



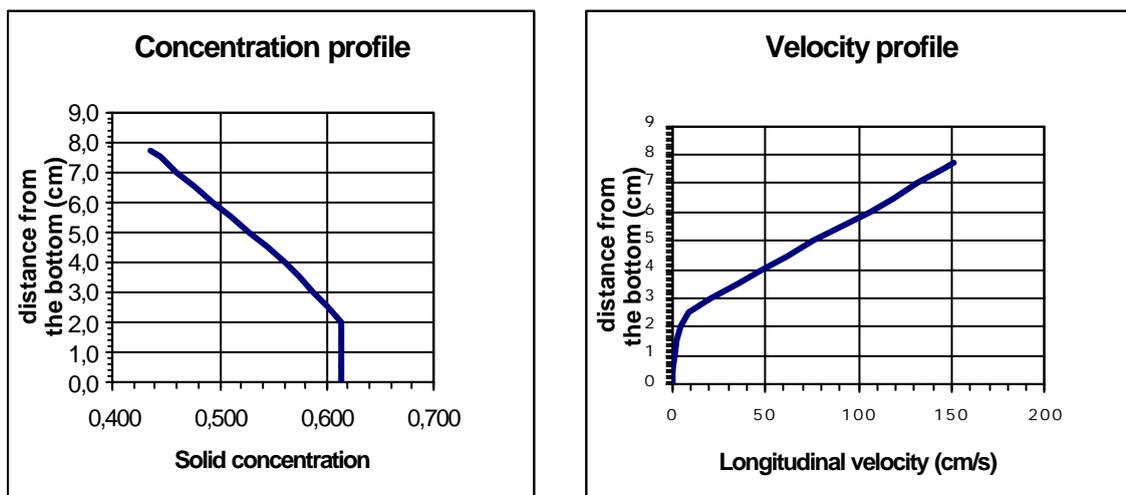
**Fig. 2** - Profili caratteristici di concentrazione e di velocità nel caso di correnti parzialmente sature.

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 cresce monotonicamente verso il basso e tende sul fondo ad una concentrazione costante pari a quella di massimo impaccamento statico.

Nella figura successiva sono riportati due esempi di distribuzione di velocità e di concentrazione.

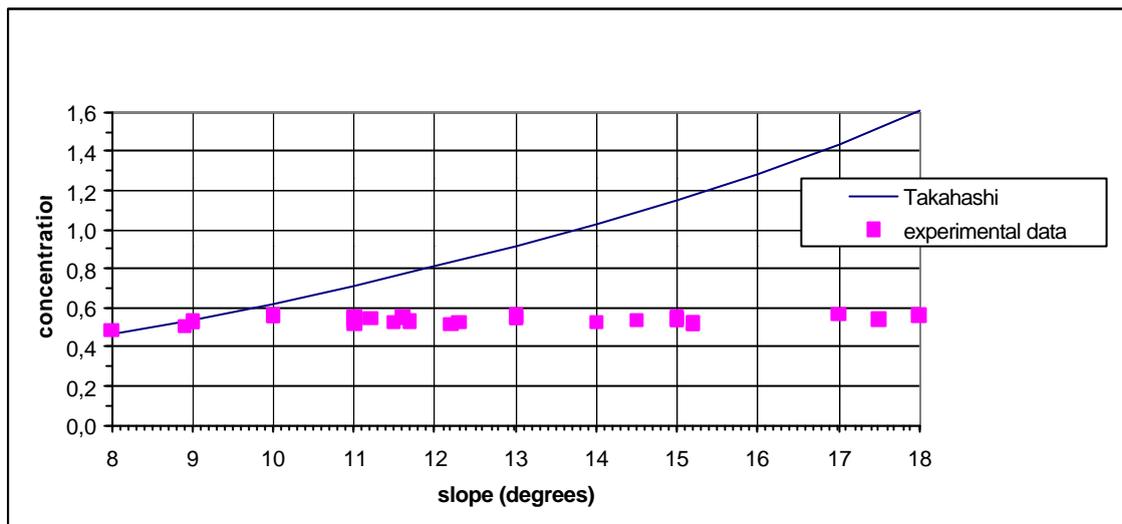
**Fig. 3** - Profili caratteristici di concentrazione e di velocità nel caso di correnti completamente sature.



Nel caso di correnti sature, si è cercato di verificare la validità della relazione Takahashi (1981), che esprime la concentrazione media sulla verticale  $\bar{c}_s$  attraverso l'equilibrio delle forze in direzione normale:

$$\bar{c}_s = \frac{1 \tan J}{D(\tan f - \tan J)} \quad (1)$$

dove  $J$  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.



**Fig 4** – Confronto tra la concentrazione media misurata e quella prevista dalla formula (1) di Takahashi.

Nella figura 4 viene confrontata la concentrazione misurata con quella calcolata attraverso l'espressione (1) di Takahashi, includendovi anche i punti relativi ai casi di corrente non completamente satura. La differenza tra i dati sperimentali e la teoria è notevole quando la concentrazione raggiunge i valori del massimo impaccamento. A questi valori non è più possibile ottenere correnti completamente sature.

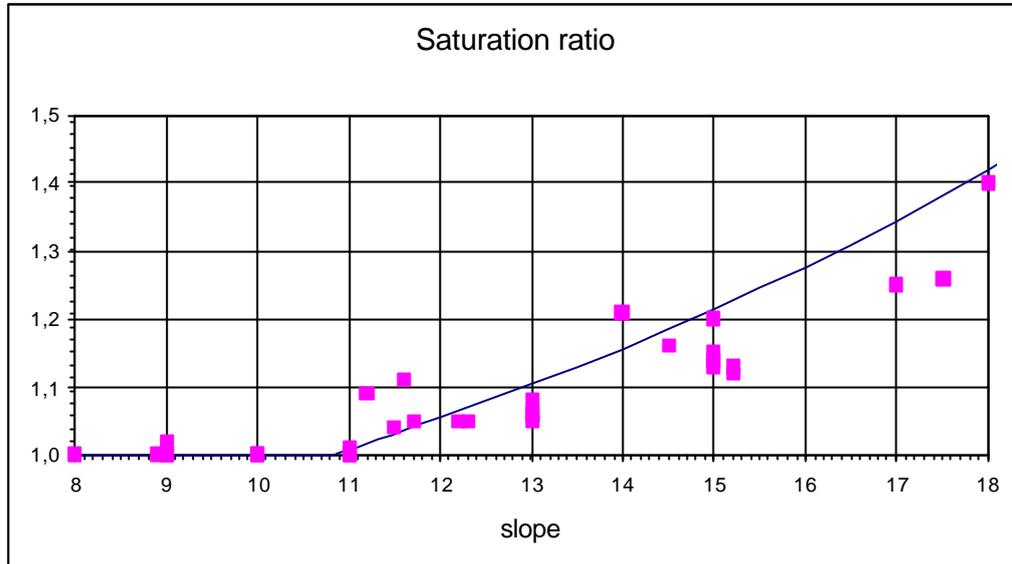
Nelle correnti non sature il bilancio di forze in direzione verticale scritto tenendo conto appunto della non saturazione della fascia superiore  $h_w$ , porge la seguente relazione:

$$\frac{h_d}{h_w} = 1 + \frac{g_m \tan J - (g_s - g_w) \bar{c}_{sw} \tan f}{g_s \bar{c}_{sd} (\tan f - \tan J)} \quad (2)$$

dove i pedici  $w$  e  $d$  si riferiscono rispettivamente alla porzione satura (*wet*) e non satura (*dry*) del tirante della corrente, il pedice  $s$  si riferisce alla frazione solida e  $\bar{c}_s$  è la

concentrazione mediata sulla normale. Il rapporto  $h_a/h_s$  rappresenta il *grado di saturazione*.

Nella figura 5 il grado di saturazione rappresentato dalla eq. (2) è confrontato con i risultati sperimentali.

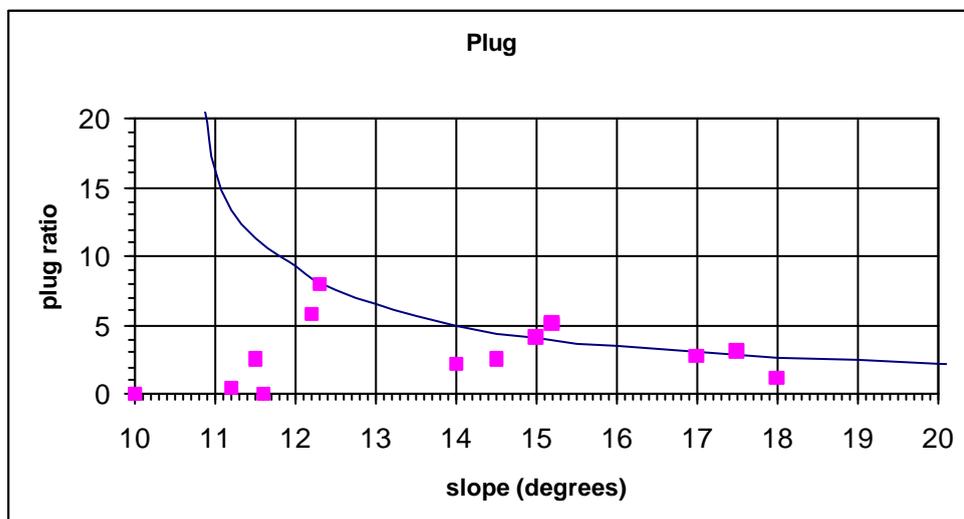


**Fig 5** – Confronto tra il valore teorico del grado di saturazione (eq.2) e i dati sperimentali.

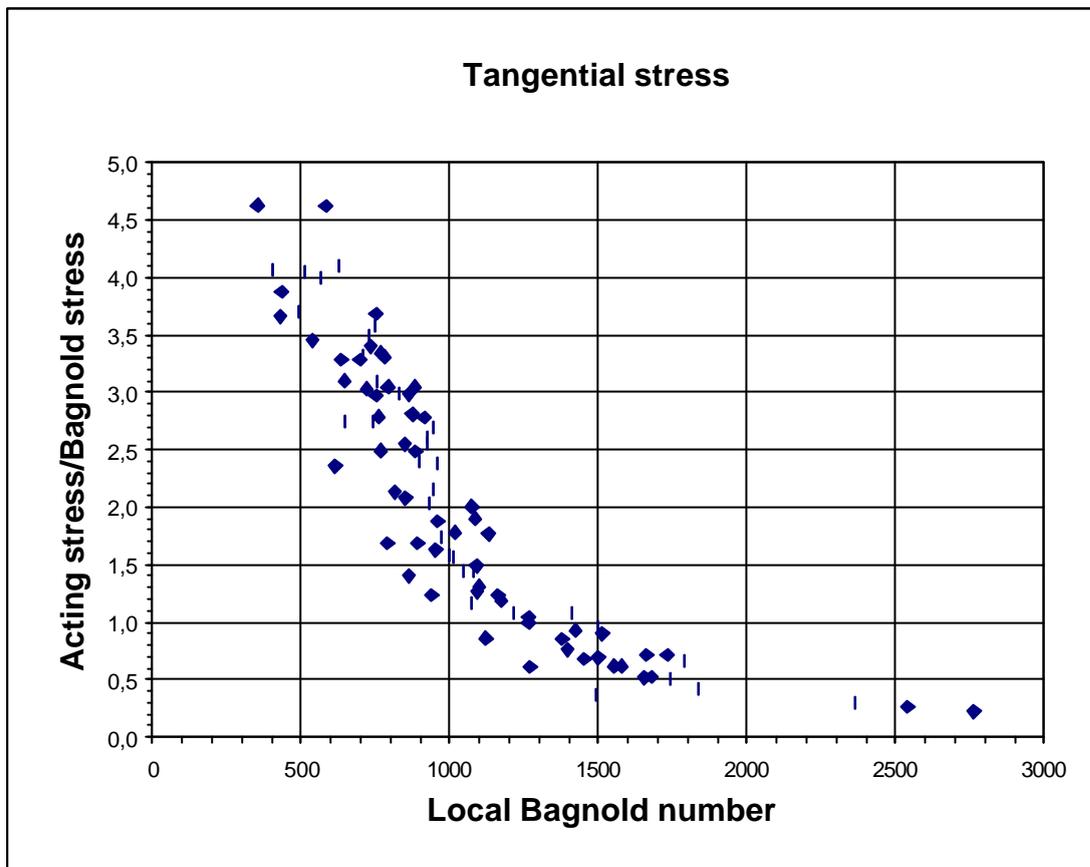
Infine si è anche cercato di valutare, attraverso il bilancio di quantità di moto in direzione longitudinale, lo strato superiore del profilo di velocità che non presenta deformazione (*plug*), adimensionalizzato rispetto agli spessori degli strati secchi e bagnati:

$$\frac{h_p}{hd - h_w} = 1 + \frac{(\tan \mathbf{f} - \tan \mathbf{q})g_s c}{[g_s c + g(1 - c)] \tan \mathbf{q} - c \tan \mathbf{f}(g_s - g)} \quad (3)$$

La relazione (3) è stata quindi confrontata con i valori sperimentali. Il confronto è riportato nella figura 6.



**Fig. 6** – Valori dello spessore teorico adimensionale del plug (eq. 3) a confronto con i dati sperimentali.



**Fig. 7** - Valori del rapporto tra lo sforzo totale misurato attraverso la componente longitudinale delle forze e il valore dello sforzo di Bagnold calcolato nell'ipotesi di regime granulo-inerziale, in funzione del numero di Bagnold locale.

Si è voluto inoltre 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.

Nella figura 7 viene riportato il rapporto tra lo sforzo effettivo e quello calcolato secondo l'ipotesi granulo-inerziale di Bagnold in funzione del valore del numero di Bagnold locale.

Se ne deduce che l'espressione di Bagnold risulta soddisfatta ai valori elevati nel numero di Bagnold, anche se attraverso un coefficiente inferiore all'originale di Bagnold e utilizzando l'angolo di attrito statico al posto di quello dinamico.

## GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE CATASTROFI IDROGEOLOGICHE

### ANALISI REGIONALE DEGLI EVENTI IDROLOGICI ESTREMI IN BASILICATA

# RAPPORTO ANNUALE 1998

U.O. 1.21

Responsabile: Prof. Mauro Fiorentino

## 1. PREMESSA

L'Unità Operativa 1.21 è 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:

- 1) Progetto VAPI: Stesura finale del rapporto regionale VAPI-Basilicata, Sito WEB dei prodotti VAPI dell'U.O.
- 1) Progetto ARDI-SIC: Affidabilità degli schemi idrici - Simulazione multivariata dei deflussi
- 2) 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. RISULTATI CONSEGUITI

### 1) Progetto VAPI:

Le attività svolte nel 1998 sono state rivolte all'applicazione di procedure per il supporto all'analisi statistica delle piene. Tale supporto si è realizzato, in particolare, tramite la valutazione del ruolo giocato da fattori climatici e dall'uso del suolo sui caratteri peculiari della distribuzione di probabilità delle piene. 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-più 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.

E' in fase di stesura finale il testo del rapporto regionale VAPI-Basilicata, ed è stata completata la collazione del rapporto VAPI-PUGLIA che è stato ristampato in formato Adobe Acrobat<sup>®</sup> e collocato sul sito web del DIFA (consultabile tramite <http://www.difa.unibas.it/gndci>).

## **2) Progetto ARDI-SIC:**

Riguardo alle ricerche sull'affidabilità degli schemi idrici, sono stati condotti studi volti alla definizione delle caratteristiche di funzionamento del complesso schema idrico lucano del Basento-Camastra. In particolare sono state simulate differenti ipotesi di gestione dello schema, definendo per ciascuna 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.

E' stata poi definita una modalità di schematizzazione del sistema idrico di adduzione Basento-Camastra che consentisse la creazione di un database di tipo alfanumerico. 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.

## **3) Progetto ARA-PIN:**

Le attività di ricerca nell'ambito del progetto *ARA-PIN* sono finalizzate 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.

Sulla base di quanto detto, dopo un'approfondita fase di censimento delle infrastrutture interessate, con relativi sopralluoghi, si sono adoperate 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.

Più precisamente, l'attività di ricerca è stata soprattutto finalizzata alla messa a punto di strumenti di calcolo in grado di valutare, con buona approssimazione ed in maniera semplice e speditiva, il grado di vulnerabilità idraulica di un attraversamento fluviale. Infatti, la individuazione, su porzioni di territorio di estensione non trascurabile, di quegli attraversamenti fluviali più a rischio rende necessaria la definizione di procedure di semplice applicazione, ma, nel contempo, capaci di consentire una prima suddivisione delle infrastrutture esaminate in più classi in dipendenza dell'entità del danno temuto.

Sulla scorta di quanto appena detto, il lavoro svolto ha riguardato:

- la messa 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;
- la definizione di 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;
- la verifica dell'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

Claps P., M. Fiorentino e G. Silvagni, Studio per la Valorizzazione e la Salvaguardia delle Risorse Idriche in Basilicata, Regione Basilicata, 1998.

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, "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

- 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.
- 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.
- 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, 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 1998

U.O. 1.26

Responsabile Prof. Corrado Corradini

### 1. SOMMARIO

Nell'ambito del progetto MIEP è stato costruito e verificato un modello di infiltrazione puntuale in suoli verticalmente non omogenei di tipo stratificato con diverse disposizioni degli strati rispetto al valore della conduttività idraulica di saturazione, esso inoltre incorpora la trattazione del processo di redistribuzione dell'acqua nel suolo dopo un periodo di pioggia. Il modello, più generale rispetto a quello di una crosta in superficie, anche in questo caso si riconduce alla soluzione di un sistema di equazioni differenziali ordinarie. E' stata inoltre quasi completata una formulazione teorica della varianza dell'infiltrazione areale media che evidenzia la sua dipendenza dal grado di correlazione spaziale della conduttività idraulica di saturazione del suolo considerata come una variabile casuale.

Nell'ambito del progetto METEO è stato ulteriormente sviluppato lo schema di calcolo per la ricostruzione dei campi ascensionali nel modello di tipo diagnostico per lo studio delle precipitazioni a scala meso-locale.

### 2. INTRODUZIONE

L'attività di ricerca è stata rivolta verso lo sviluppo di modellistica di tipo essenzialmente analitico-concettuale per i processi più rilevanti nella formazione delle piene, quali pioggia ed infiltrazione. L'attività relativa alla modellistica dell'infiltrazione ricade nel progetto MIEP (MIEP-LIG), quella delle piogge nel Progetto METEO. Gli obiettivi perseguiti sono:

Nell'ambito del progetto MIEP: a) realizzazione di un modello semi-analitico per la rappresentazione della infiltrazione puntuale, successiva redistribuzione e reinfiltrazione in

suoli stratificati; b) formulazione teorica del legame fra varianza dell'infiltrazione media areale e livello di correlazione spaziale della conduttività idraulica di saturazione.

Nell'ambito del progetto METEO, quantificazione della interazione fra struttura meso-locale dell'orografia e formazione delle piogge.

## PROGETTO MIEP

- a) E' stato realizzato un modello per la descrizione del processo di infiltrazione e successiva 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. E' 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.
- b) 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.

## PROGETTO METEO

Nell'ambito del progetto METEO l'attività svolta ha riguardato soprattutto lo sviluppo del sistema di ricostruzione delle velocità verticali come elemento centrale del modello diagnostico di simulazione della distribuzione spaziale delle piogge sulla scala meso-locale. Il modello utilizza in ingresso i dati forniti dal Centro Europeo di Reading e simula le precipitazioni sulla scala meso-locale anche in presenza di orografia complessa.

## 3. ELENCO DELLE PUBBLICAZIONI

CORRADINI C., MORBIDELLI R., MELONE F., "On the interaction between infiltration and Hortonian runoff" , *Journal of 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, pp. 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, pp. 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, pp. 61-72, 1998.

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

*GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE  
CATASTROFI IDROGEOLOGICHE*

**RICERCHE SULLE COLATE DETRITICHE  
TORRENTIZIE  
(DEBRIS FLOW) IN AMBIENTE ALPINO  
(Progetto ARA-COD)**

**RAPPORTO 1998**

U.O. 1.29

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

Giovanni Mortara e Lorenzo Marchi<sup>2</sup>

## **1. SOMMARIO**

Nel 1998 le attività dell'U.O. 1.29, cui afferisce personale degli IRPI di Torino e di Padova, sono consistite essenzialmente nel proseguimento di indagini conoscitive e sperimentali già avviate negli anni precedenti.

## **2. INTRODUZIONE**

Ricchezza di dati bibliografici, disponibilità di dati sperimentali o motivi occasionali (eventi alluvionali, tesi di laurea) hanno fatto convergere le indagini soprattutto sulla Valle d'Aosta e sulle Alpi Orientali Italiane, aree funzionali alla dislocazione dei due IRPI e diversificate sotto l'aspetto geologico-morfologico e climatico. I risultati delle ricerche consentono da un lato di trarre considerazioni di carattere generale, dall'altro di evidenziare caratteri peculiari di ciascuna delle due aree indagate.

---

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

<sup>2</sup> CNR-Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica nei bacini dell'Italia Nord-orientale (IRPI-PD)

### 3. SINTESI DELL'ATTIVITA' SVOLTA

L'occasione di una tesi di laurea svolta presso l'IRPI-TO e 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. Lo studio ha messo in luce che: 1) i campeggi si collocano di preferenza in prossimità dei corsi d'acqua; sui conoidi alluvionali in particolare; 2) l'afflusso turistico è massimo nell'estate (324.000 presenze nei mesi di luglio e agosto 1997), periodo in cui nell'ambiente alpino è molto elevata la probabilità di innesco 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.

Un intervento di studio è stato condotto nel bacino del T. Pra Sec in Val Ferret Monte Bianco) a seguito di una cospicua colata detritica che ha mobilitato anche blocchi di ghiaccio, con parziale ostruzione della Dora e grave minaccia per alcune abitazioni. Sempre in Valle d'Aosta è stato eseguito il rilevamento topografico della profonda incisione che nel luglio 1996 si aperse improvvisamente in una morena recente dell'alta Valgrisanche dando origine ad un ingentissimo *debris-mud flow*. Il volume dei depositi glaciali rimossi e presi in carico dalla modesta asta torrentizia preesistente (qualche centinaio di metri di lunghezza) è risultato pari a circa 300.000 m<sup>3</sup>.

In relazione al costituendo Catalogo dei torrenti alpini sede di colate detritiche è stata predisposta per la stampa una prima serie di schede monografiche riguardanti la Valtellina e la Valle di Susa; in pari tempo sono state selezionate e commentate le immagini (quasi un centinaio) che correranno un volume dedicato agli eventi alluvionali del periodo 1975-1981, in stampa nei primi mesi del 1999 con finanziamento GNDCI.

Parte dell'attività di ricerca 1998 della sezione di Padova è stata dedicata alla caratterizzazione degli eventi pluviometrici responsabili dell'innesco di colate detritiche. I dati sperimentali, relativi a diversi bacini delle Alpi Orientali Italiane, tra i quali il T. Moscardo appositamente attrezzato per lo studio della colate detritiche, sono stati posti a confronto con soglie pluviometriche proposte da diversi autori per l'innesco delle colate detritiche. Si è notato che, 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'innesco dei *debris flow* individua valori di intensità più elevati di quelli che sono risultati sufficienti a determinare l'innesco 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.

Nel 1998 è stato inoltre completato lo studio di un evento di *debris flow* di grande entità che aveva interessato un bacino delle Dolomiti (Torrente Rudavoi) nel settembre del 1997. Gli studi condotti sono consistiti nell'elaborazione dei dati pluviometrici e di quelli ricavati dai rilievi geomorfologici e sedimentologici effettuati immediatamente dopo l'evento.

## 4. COLLABORATORI

Hanno collaborato: Massimo Arattano, Franco Godone, Pier Giuseppe Trebò, Edoardo Viola, Giovanni Rivelli, Marta Chiarle, Roberta Iemmi, Alessandro Pasuto, Giuseppe Peruzzo, Pia Rosella Tecca.

## 5. PUBBLICAZIONI

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, molte delle quali sono dedicate all’attività torrentizia parossistica.

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 (Progetto ARA-PIN)**

## **RAPPORTO 1998**

U.O. 1.29

Responsabile: Dott. Giovanni Mortara (\*)

Giovanni Mortara e Ornella Turitto (\*)

### **1. SOMMARIO**

L'ampia letteratura e la cartografia sulle inondazioni del passato raccolta dall'U.O. 1.29 negli anni precedenti in previsione della realizzazione del "Catalogo nazionale delle aree esposte a rischio più elevato, sono state occasione, anche, nel 1998, di elaborazioni a scala regionale.

### **2. SINTESI DELL'ATTIVITÀ SVOLTA**

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.

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.

### 4. PUBBLICAZIONI

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.

---

(\*) CNR-Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica nel Bacino Padano (IRPI-TO)

## GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE CATASTROFI IROGEOLOGICHE

# EVOLUZIONE DEI CORSI D'ACQUA CONSEQUENTE A FENOMENI PAROSSISTICI E SUA INFLUENZA SULLA POSSIBILITA' DI ESONDAZIONE. IL MOTO VARIO NEGLI ALVEI BANCHINATI ED IL TRASPORTO DI SOLUTI. ANALISI DEL COMPORTAMENTO DEI SISTEMI IDRICI IN CONDIZIONI DI CRISI.

## RAPPORTO 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 GNDCI 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 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 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'innesco 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 1998 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.

## 2. Bibliografia

[1] 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.

[2] Della Morte, R.: "Tempi di rimozione di depositi granulari incoerenti." Riunione annuale del Gruppo Nazionale MURST: 'Morfodinamica fluviale e costiera'. Trento, luglio 1998.

[3] 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

Nel corso del 1998 la ricerca ha sviluppato, per via numerica, prevalentemente l'aspetto relativo ai fenomeni di esondazione nelle zone golenali.

Attesa l'inadeguatezza dei modelli idrodinamici bidimensionali shallow water a trattare campi di moto propri di sezioni mistilinee a causa di problemi che insorgono per la presenza delle pareti quasi verticali della savanella, si è deciso di sviluppare un nuovo modello nell'ambito dell'U.O.L.. Nel contesto delle simulazioni di piena 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. L'accoppiamento fra i due schemi porta in conto sia gli scambi di volumi idrici sia di quantità di moto.*

*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 per l'avanzamento temporale.*

*I risultati del modello sono stati verificati [6] 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 in uno schematico canale rettangolare fiancheggiato da una falda piana, le isolinee rappresentate in figura 2 mostrano la localizzazione delle aree inondate previste dal modello.*

*Il modello proposto ha fornito risultati in buon accordo con l'evidenza sperimentale, con oneri computazionali non troppo elevati. Una contemporanea indagine, riportata in [3] e [6], ha consentito di verificare come alcuni tipi di modelli semiconcettuali consentano, 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.*

## Bibliografia

- [1.] 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.
- [2.] 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.
- [3.] 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.
- [4.] 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.
- [5.] 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, n. 2, 1999.
- [6.] Greco M., Olivieri E., Leopardi A.: "Computation of flooded areas", presentato al J. Hydraulic Research, IAHR.

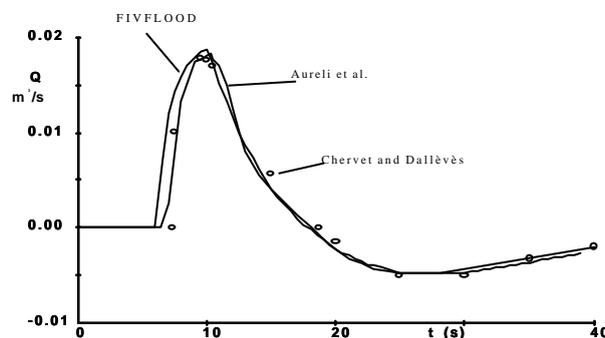


Fig.1: Portate in alveo durante il dam break

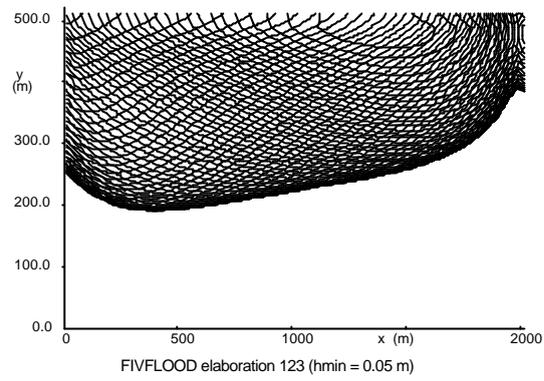


Fig. 2: Estensione dell'area di inondazione

## 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 Taglialatela

#### **1. ATTIVITÀ CHE SI SONO SVILUPPATE NEL 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.

#### **2. Risultati**

Per quanto riguarda il primo aspetto, quantitativo, nel corso del 1998 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.).*

*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].*

### 3. Bibliografia

[1] 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).

[2] 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).

[3] 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).

[4] 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).

[5] 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 SICCAITA' ATTRAVERSO MODELLI STOCASTICI

# RAPPORTO 1998

U.O. 1.32

(Responsabile Prof. Mario Rosario Mazzola)

Claudio Arena, Marcella Cannarozzo, 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 cinquantatré 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 mansile, 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**

**RAPPORTO 1998**

U.O. 1.33

Responsabile: Prof. Baldassare Bacchi

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI BRESCIA

B. Bacchi, M. Pilotti e R. Ranzi

**1. Sommario dell'attività svolta e risultati conseguiti**

Le attività dell'Unità Operativa sono sostanzialmente da ascrivere ai progetti di ricerca denominati VAPI, METEO, MIEP, ARA-SBAR. In ciascuno di questi progetti la ricerca si è circostanziata secondo quanto riassunto nel seguito.

**Progetto di Ricerca VAPI.**

Si è proseguita l'attività di ricerca, già delineata nel corso dell'anno precedente, e mirata alla stima delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica nell'area alpina lombarda. Questa ricerca si sta inquadrando anche in una collaborazione con la Provincia di Brescia per la redazione del relativo *Piano Provinciale di Previsione e Prevenzione di Protezione Civile*. L'analisi delle piogge intense è stata condotta adottando modelli interpretativi e di sintesi di tipo scala-invariante esplorando l'efficacia di diverse distribuzioni dei valori estremi nel riprodurre le statistiche dei massimi annuali delle precipitazioni di durata compresa tra 1 e 24 ore e giornaliere.

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 due bacini dell'area dolomitica, a monte di altrettanti serbatoi idroelettrici [Bacchi et al. 1999].

Una particolare attenzione è stata inoltre dedicata 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 MIEP.**

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 viene condotta congiuntamente all'U.O. 1.8 del Politecnico di Milano. Parallelamente è proseguito il coordinamento delle attività di alcuni centri di ricerca italiani ed europei in seno al progetto internazionale *Mesoscale Alpine Programme-MAP*, avendone concordato l'attività con il Centro di Coordinamento di Zurigo (CIG). Si sono precisati i contorni di una campagna sperimentale nell'area del Ticino-Toce che prevede l'acquisizione, anche in collaborazione con il Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale, di misure di precipitazione e di livelli idrometrici mediante reti in telemetria (Figura 1), mappe di riflettività radar e misure di umidità del terreno precedenti probabili eventi di precipitazione intensa.

Contemporaneamente 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 avvarrà di un centro di coordinamento, denominato POC, in fase di allestimento da parte del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare presso l'aeroporto di Milano Linate (Anfossi et al., 1998; Ranzi, 1999).

In relazione alla stima delle portate di piena mediante modelli di trasformazione afflussi-deflussi si sono raccolti anche i frutti della ricerca pluriennale sulla mappatura delle aree di copertura nivale mediante satellite NOAA-AVHRR [Ranzi et al., 1998, 1999], che si intende proseguire per migliorare la rappresentatività statistica dei risultati finora ottenuti. Il contributo di Ranzi e Bacchi [1998] ha, inoltre, mostrato come nella stima delle diverse componenti del bilancio idrologico vi siano, tuttora, ampi margini di errore, soprattutto quando i bacini in questione sono influenzati dall'orografia. Sono state, allora, proposte alcune metodologie utili alla correzione, almeno parziale, di tali errori.



Figura 1 - Mappa delle stazioni idrometeorologiche in telemetria per cui è prevista la trasmissione dei dati in tempo reale durante l'esperimento MAP-SOP nel periodo settembre- novembre 1999.

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. 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.

### **Progetto di Ricerca METEO.**

Le attività di ricerca si sono concentrate sulla verifica delle potenzialità di semplici schemi di circolazione atmosferica che, tenendo conto delle misure delle proprietà termodinamiche dell'atmosfera fornite dai sondaggi atmosferici, 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. Successivamente è stata esplorata la possibilità di correlare le proprietà statistiche dei campi di precipitazione osservati a differente risoluzione alla struttura tridimensionale dei campi di alcune variabili termodinamiche osservabili mediante radar, satelliti e sondaggi verticali dell'atmosfera. La ricerca si è avvalsa della collaborazione di una ricercatrice colombiana che ha effettuato uno stage di alcuni mesi presso l'Unità Operativa.

## Progetto di Ricerca ARA-SBAR.

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 stiamo 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.

## 2. ELENCO DELLE PUBBLICAZIONI

- 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. DORNINGER, 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. MEYTN, 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., M. FRANCHINI, G. GALEATI E R. RANZI, Time scaling of runoff volumes, *Geophys. Res. Abstracts*, 1(4), p. 767, 1999.
- 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.
- 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., Generation of Realistic Porous Media by Grains Sedimentation, *Transport in Porous Media*, **33**, 257-278, 1998.
- 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., *WG-HYDrology news*, MAP Newsletters, edito da G. Mayr e A. Rossa, Zurich, n° 10, pp. 19-20, Aprile 1999.
- 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.
- RANZI, R., G. GROSSI E B. BACCHI, Ten years of monitoring areal snowpack using NOAA-AVHRR radiometry and ground measurements in the Southern Alps, accettato per la pubblicazione su *Hydrological Processes. Technical Report n. 10, Università degli Studi di Brescia-Dipartimento di Ingegneria Civile*, Brescia, pp. 40, Aprile 1999.

## **GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE CATASTROFI IROGEOLOGICHE**

### **ANALISI REGIONALE DEGLI EVENTI ESTREMI DELL'ITALIA CENENTRALE VULNERABILITÀ DEI SISTEMI DI APPROVIGIONAMENTO IDROPOTABILE (Progetto MIEP)**

# **RAPPORTO 1998**

U.O. 1.34  
Responsabile Prof. Guido Calenda

## **PROGETTO VAPI**

### **Piogge**

È ormai terminata la regionalizzazione delle piogge intense per un 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.

### **Portate**

Nel 1998 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.

## **PROGETTO ARDI-SIC**

### **Vulnerabilità dei sistemi di approvvigionamento idropotabile**

Nel 1998 è stata terminata la determinazione delle portate di magra e i dei 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

# ANALISI REGIONALE DEGLI EVENTI ESTREMI DELL'ITALIA CENTRALE VULNERABILITÀ DEI SISTEMI DI APPROVVIGIONAMENTO IDROPOTABILE

## RAPPORTO 1998

U.O. 1.42

Responsabile: Prof. Sabino Palmieri

Coordinatore: Prof. La Barbera

### 1. Attivita' svolta nell'anno 1998

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.

Si è quindi proposto e discusso un modello concettuale di evento franoso che interpreta il fenomeno come interazione di processi a scale spazio-temporale diverse: le fasi ipotizzate sono:

- (a) precipitazioni al di sotto dei valori normali dai due ai quattro anni precedenti l'evento: l'effetto è quello di incrementare con la conseguente maggiore insolazione e con il regime termico del terreno, la fessurazione, il crepacciamento, la disgregazione in piccole scaglie del suolo ed il degrado della vegetazione (Castiglioni, 1995);

- (b) precipitazioni abbondanti nei due anni immediatamente precedenti i casi franosi: l'acqua piovana infiltrata negli strati profondi del terreno, produce, in questo arco di tempo, un innalzamento della falda fino a permeare la superficie di interfaccia tra le rocce carbonatiche sottostanti e lo strato sovrapposto di piroclastiti e detriti di falda, favorendo così la possibilità di disimpegno e di slittamento di quest'ultimo;
- (c) precipitazioni al di sopra del normale nell'ambito di qualche mese (4-5) prima dell'evento: questo processo serve ad aumentare il contenuto volumetrico di acqua nello strato di circa 2 m prossimo alla superficie;
- (d) precipitazioni abbondanti (ma non necessariamente eccezionali) di durata 24-48 ore: quest'ultimo contributo è necessario per saturare lo strato superiore di materiale incoerente innescando la frana per colamento.

L'attività del Gruppo G-MET ha dato luogo ad una comunicazione al Convegno ai Lincei "Il rischio idrogeologico e la difesa del suolo" (1-2 ottobre 1998).

Rapporto in corso di stampa (Lincei)

"Parametri atmosferici disponibili per la diagnosi della intensità degli eventi meteorologici estremi: studio di alcuni casi con speciale riferimento all'evento Sarno 98"

Autori:

S. Palmieri (\*), A.M. Siani (\*), M. Canu(\*\*), P. Bersani (\*\*\*), A. Pilozzi (\*\*)

(\*) Università di Roma "La Sapienza", Dipartimento di Fisica;

(\*\*) Meteorologo consulente;

(\*\*\*) Geologo consulente

**GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE  
CATASTROFI IDROGEOLOGICHE**

**METODOLOGIE DI PREVISIONE E  
PREANNUNCIO DI PIENA**

**RAPPORTO 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*

Sottoprogetto

**PREVISIONE e PREVENZIONE EVENTI IDROLOGICI  
ESTREMI E LORO CONTROLLO  
(Linea 1)**

## **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, nell'anno 1998 ha sviluppato la propria attività di ricerca sui temi della regionalizzazione degli estremi delle piogge intense e delle portate di piena, della modellistica di formazione dei deflussi di piena e del preannuncio delle piene fluviali in bacini di piccola e media estensione.

Le prime attività, che si inquadrano nell'ambito del Progetto VAPI, hanno riguardato innanzitutto la regionalizzazione degli estremi idrologici di un'ampia regione dell'Italia centro-settentrionale comprendente 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 delle piogge intense e delle portate al colmo di piena scaturite dai vari studi regionali finora espletati in ambito VAPI nella medesima area geografica, studi generalmente condotti a livello di compartimento del

Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale. Nell'anno 1998 è stato definito l'assetto di regionalizzazione dei massimi annuali delle piogge giornaliere e di quelle di durata inferiore al giorno, mentre l'assetto regionale delle portate al colmo di piena è attualmente in corso di studio.

Le analisi condotte, documentate in gran parte nella memoria di *Brath et al. (1998c)*, hanno portato a riconoscere la possibilità di suddividere l'area geografica indagata in sette zone pluviometriche omogenee, disposte nel loro complesso in maniera sensibilmente parallela alle linee costiere adriatica e tirrenica ed alla dorsale appenninica (vedi Figura 1). 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. Per la descrizione delle curve di crescita regionali 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.

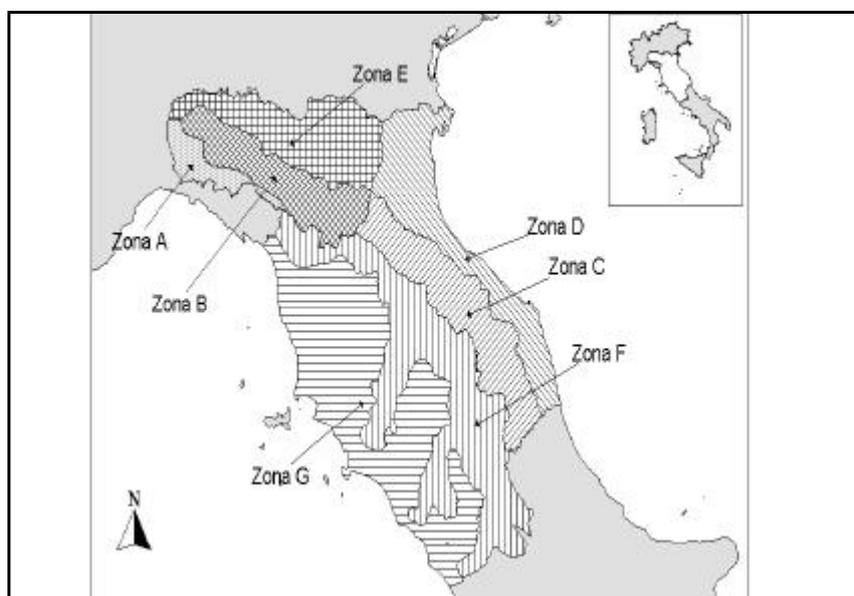


Figura 1 - Area interessata dallo studio di regionalizzazione e zone pluviometriche omogenee individuate

Le attività di ricerca sulla regionalizzazione degli estremi idrologici hanno anche riguardato il problema della stima della portata di piena indice nelle sezioni prive di misure. Al riguardo, sono 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 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 di stima della piena indice, messo a punto nel passato nell'ambito delle ricerche condotte da questa U.O., 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 2).

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 3 e 4 sono riportati i diagrammi di dispersione delle stime fornite rispettivamente dal modello multigrassivo 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*.

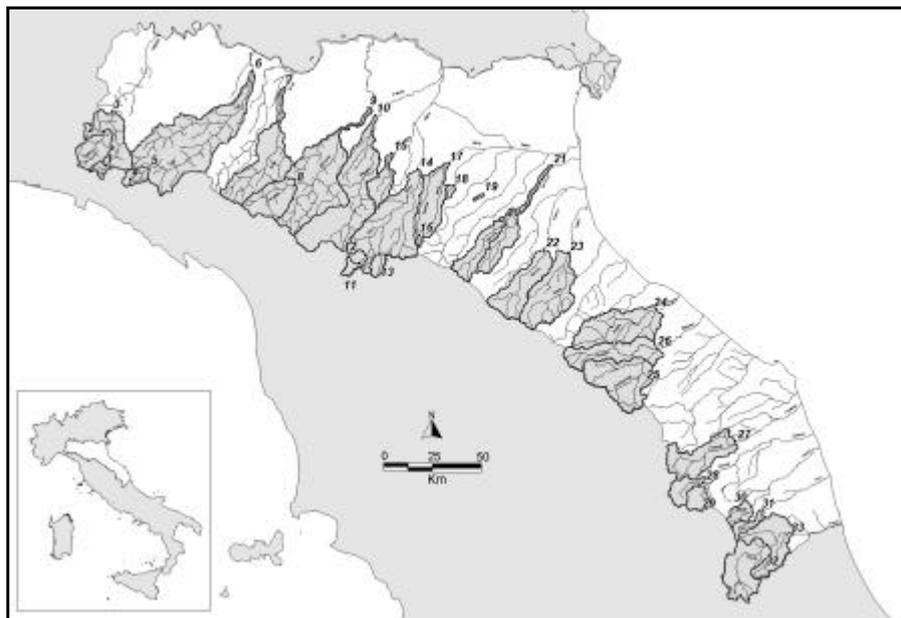


Figura 2 - Area geografica e stazioni idrometriche interessate dallo studio sui modelli di previsione della portata indice

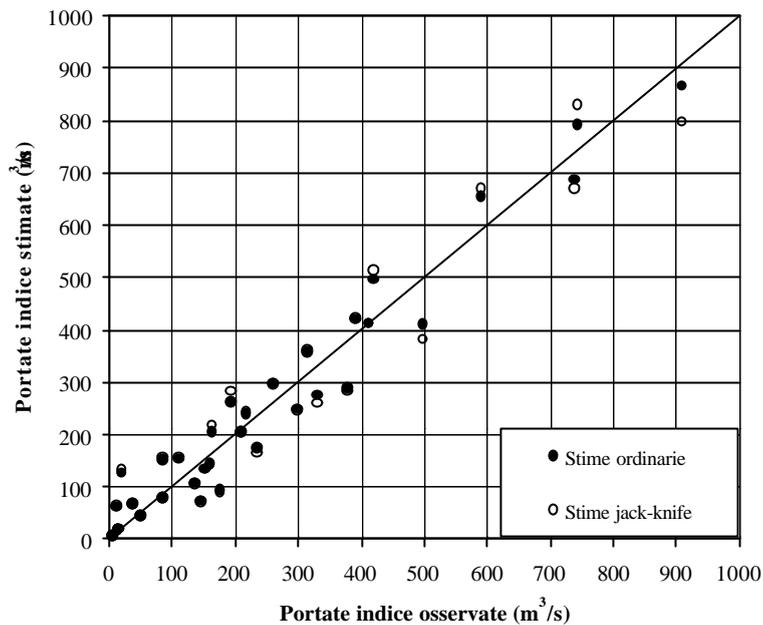


Figura 3 – Diagramma di dispersione delle stime fornite dal modello multiregressivo

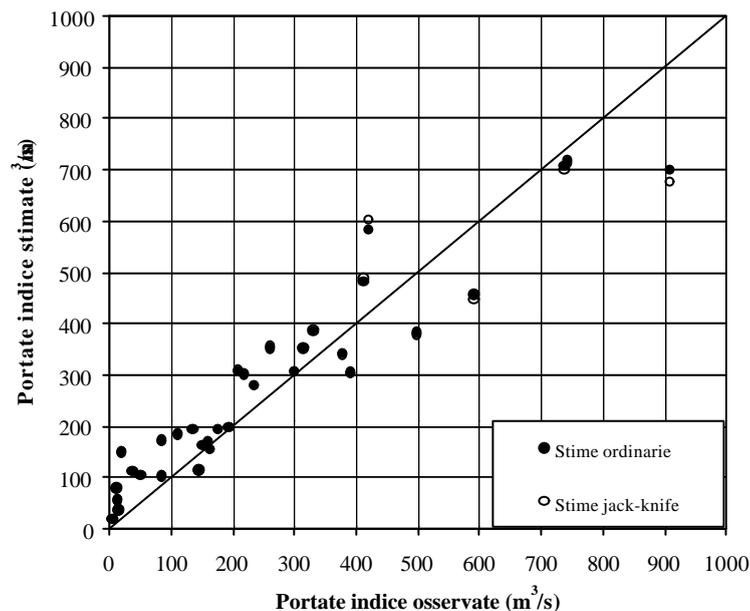


Figura 4 – Diagramma di dispersione delle stime fornite dal modello geomorfoclimatico

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 5, ad esempio, evidenzia come per le due stazioni idrometriche sul Fiume Chienti, identificate in tale Figura e nella Figura 2 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 sovrastimano il dato osservato di oltre il 400%.

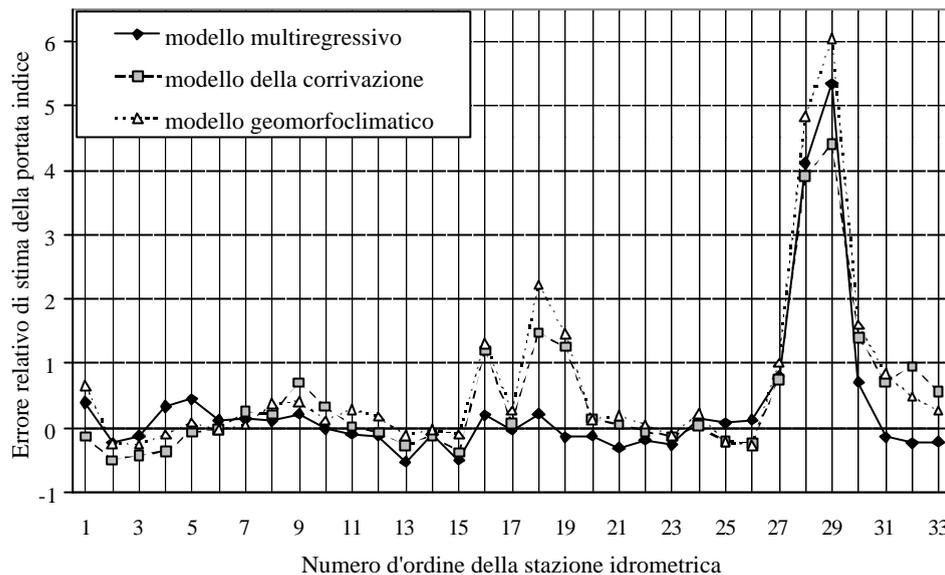


Figura 5 - Confronto tra gli errori relativi di stima della portata indice per i diversi modelli nel caso di procedura *jack-knife*.

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 6, 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).

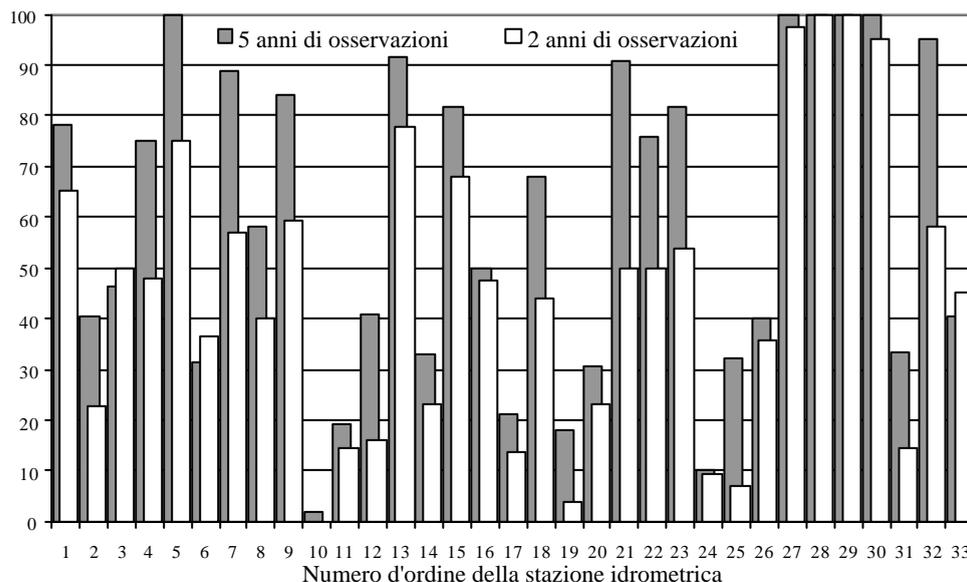


Figura 6 – Percentuale dei casi in cui la stima diretta su base biennale e quinquennale risulta caratterizzata da errori relativi inferiori a quelli della stima indiretta

Si può notare come i bacini caratterizzati da una elevata permeabilità (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.

Nell'anno 1998 sono state inoltre svolte ricerche finalizzate a meglio chiarire l'impatto di interventi antropici di controllo delle piene fluviali sul regime delle piene stesse, analizzando, come caso di studio, l'effetto del serbatoio di Bilancino sulle piene del fiume Sieve (*Brath et al., 1998b*). Allo scopo, è stato messo a punto un modello di tipo distribuito di formazione dell'onda di piena, 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). E' stato così possibile evidenziare le modifiche nel regime di frequenza delle piene indotte dalla realizzazione dell'invaso (v. *Brath et al., 1998b*).

Infine, nell'anno 1998, sono state condotte ricerche finalizzate al perfezionamento dei modelli per la previsione in tempo reale dei deflussi di piena. In tale ambito, visti i risultati di ricerche condotte negli anni precedenti che hanno evidenziato la scarsa capacità dei modelli numerici dell'atmosfera di prevedere la precipitazione futura alle scale spaziali e temporali di interesse per i bacini di piccola e media estensione, è sembrato utile esplorare, con dettaglio maggiore di quanto finora disponibile in letteratura, le possibilità di utilizzazione di semplici schemi di tipo stocastico, sviluppati a scala di bacino, per la previsione della pioggia futura. 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.

Parallelamente, nell'anno di riferimento sono state 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

scientifico. 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., 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 sarà oggetto di indagini future.

## Gruppo di lavoro

Nell'anno 1998 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.

## 2. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- 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., 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., 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., 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.
- Toth, E., A. Brath e A. Montanari – Real-time flood forecasting via combined use of conceptual and stochastic models, sommario della memoria presentata al 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

# INDIZZI E PROCESSI GEOMORFOLOGICI DEL SISTEMA ALVEO PIANURA CORRELATI AGLI EVENTI IDROLOGICI ESTREMI

## RAPPORTO 1998

U.O. 1.44

Responsabile: Prof. Paolo Tacconi

### 1. INTRODUZIONE

Durante il 1998 l'U.O. 1.44 si è occupata, per quanto riguarda la ricerca in corso, 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.

In dettaglio, è stata analizzata la situazione geologica al contorno della frana di Montebestia (Comune di Montone - PG), il cui studio si inquadra nell'ambito generale dell'analisi della tipologia e delle cause più ricorrenti dei movimenti franosi che coinvolgono i sedimenti clastici plio-pleistocenici (conglomerati, sabbie, limi e argille) comunemente attribuiti alla facies fluvio-lacustre di colmamento dell'Antico Lago Tiberino (Villafranchiano Auct.).

L'assetto geologico-strutturale dell'area è caratterizzato dalla presenza di faglie principali a direzione appenninica - che marcano il contatto tra il substrato ("*Marnoso-Arenacea*" miocenica) e i sedimenti continentali plio-quadernari e determinano il graben dell'Alta Valtiberina - e da joints e faglie a direzione antiappenninica. L'evoluzione del rilievo e della rete idrografica è fortemente condizionata da tale assetto litologico e tettonico (erosione selettiva del substrato marnoso-arenaceo e dei conglomerati rispetto alle sabbie e ai sedimenti più fini; asimmetria delle valli; bacini stretti ed allungati in direzione NE-SW impostati su faglie e fratture; fenomeni di cattura fluviale; impostazione ed evoluzione di movimenti franosi lungo direttrici preferenziali etc.).

La frana in esame ricade all'interno del bacino del F.so il Rio, subaffluente del F. Tevere - ed è ubicata a circa 800 metri dall'abitato di Montone (PG). La serie stratigrafica interessata dal movimento comprende, dal basso verso l'alto: limi (da argillosi a sabbiosi) in facies lacustre, grigi, con intercalazioni di sottili lenti e livelli conglomeratici e sabbiosi. I massimi spessori deducibili dalle stratigrafie di sondaggi effettuati nelle vicinanze, per il consolidamento dell'abitato di Montone, si aggirano intorno ai 150 m; conglomerati e sabbie, di ambiente fluvio-deltizio. I clasti, eterometrici e poco arrotondati e il contatto erosivo con i sottostanti limi, denotano una sedimentazione di tipo torrentizio, con meccanismi deposizionali assimilabili a flussi gravitativi (debris flows) in aree molto prossime

alle zone di origine. Lo spessore varia da 10 m a 30 m. La giacitura del complesso clastico presenta un'immersione a SW, a franapoggio, con inclinazione all'incirca coincidente con l'angolo del pendio.

Particolarmente interessante è l'evoluzione morfologica dell'area, che è stata ricostruita sulla base sia di documenti cartografici storici (Catasto Gregoriano e Catasto Storico Italiano), sia delle foto aeree relative ai voli degli anni 1954, 1977, 1983 e 1991. Il movimento franoso è probabilmente già esistente negli ultimi decenni del secolo scorso, come scorrimento traslazionale di una porzione limitata del versante, favorito sia dall'assetto a franapoggio della serie, sia dall'azione di erosione regressiva di uno degli affluenti di sinistra del F.so il Rio. Esso ha avuto un'energica riattivazione solo nel secolo attuale, intorno alla metà degli anni '70 - con il corpo di frana che è arrivato a lambire l'alveo del F.so il Rio - e ancor più negli anni '80 tramite un arretramento, per crolli successivi, di circa 200 metri della nicchia principale (che ha compromesso l'agibilità della strada comunale per M. Cucco). Tale evoluzione recente è stata senza dubbio pilotata da una delle fratture a direzione antiappenninica (N 75): infatti la scarpata strutturale ad essa correlata oggi limita nettamente il fianco orientale della frana stessa. La nicchia è arrivata addirittura ad abbattere il crinale che rappresenta la linea di displuvio con il bacino di un fosso adiacente, la cui porzione di testata è stata, in pratica, "catturata". Attualmente le dimensioni della frana sono di circa 600 m in lunghezza, 100 m come larghezza massima e 20 m come altezza della nicchia principale.

Al di là di cause locali, occasionali e determinanti che hanno prodotto l'innescò del movimento - quali l'intensità delle precipitazioni registrate immediatamente prima dell'evento franoso e la presenza di un vaso artificiale nell'area di coronamento che, seppure di modeste dimensioni, ha senza dubbio contribuito all'infiltrazione di acqua all'interno del versante - va sottolineata l'importanza fondamentale di due fattori predisponenti che recenti studi, condotti dallo stesso gruppo di ricerca, sembrano identificare come elementi ricorrenti che spesso condizionano l'evoluzione del rilievo per fenomeni gravitativi nelle aree di affioramento dei sedimenti villafranchiani: l'assetto stratigrafico, tipico di una serie regressiva ("di chiusura" del bacino tiberino), che mette a contatto frequentemente litotipi a permeabilità estremamente diversa (in genere membri conglomeratici superiori che poggiano su limi o argille inferiori o a questi intervallati); l'assetto geologico-strutturale - caratterizzato dalla presenza di faglie e fratture che spesso mostrano attività tettonica recente, tanto da dislocare i sedimenti plio-pleistocenici stessi - che controlla e pilota l'ubicazione, la geometria e l'evoluzione delle frane riscontrate. I fattori suddetti riescono a determinare anche la tipologia dei movimenti: essi sono identificabili inizialmente come scorrimenti prevalentemente di tipo traslazionale che si evolvono per crolli della parte sommitale (che generalmente interessa i conglomerati superiori, dotati di migliori caratteristiche geomeccaniche, specie quando cementati) e per colamento del corpo di frana a cui i limi di base conferiscono proprietà plastiche.

I primi risultati dello studio sulla frana di Montebestia, qui sinteticamente descritti, sono stati oggetto di una nota presentata come comunicazione orale al 5° Convegno dei Giovani Ricercatori in Geologia applicata, tenutosi a Cagliari dal 7 al 10 ottobre 1996, i cui Atti sono tuttora in fase di stampa.

Il movimento franoso è attualmente in fase di studio. Esso verrà prossimamente integrato da una campagna geognostica per la definizione dei caratteri geologico-stratigrafici locali. E' inoltre in atto una campagna di monitoraggio topografico tramite strumentazione GPS.

Oltre alla frana di Montebestia, sono state individuate durante questo periodo altre situazioni di interesse, sulle quali si è concentrato lo studio, già iniziato nel 1996:

- 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.

Le caratteristiche geologiche e geomorfologiche generali delle due situazioni e la caratterizzazione della tipologia dei movimenti di massa descritti sono stati inquadrati nel problema più generale delle frane che producono sbarramento di alvei fluviali, particolarmente frequenti nell'area appenninica.

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". Possono così essere ricordati alcuni casi di bacini lacustri e/o palustri riconosciuti nei sedimenti villafranchiani dell'Umbria centrale (Pietrafitta, Bastardo, Fabro, Pornello-Frattaguida) la cui impostazione è da attribuirsi ad un confinamento del deflusso indotto da attività tettonica recente.

A scala di dettaglio invece, i fenomeni di occlusione d'alveo sono dovuti principalmente a movimenti di massa che provocano la formazione di "laghi di sbarramento".

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, appena descritto, di Pieve S. Stefano).

Analizzando i fattori predisponenti e le cause che sono alla base dei movimenti di massa attuali che producono sbarramento degli alvei fluviali, si nota come la frequenza maggiore di frane di questo tipo si trovi in condizioni in cui:

- 1) il reticolo idrografico è approfondito e gli alvei sono interessati da una forte tendenza all'incisione lineare e all'erosione laterale; ciò determina la presenza di fianchi vallivi caratterizzati da forte acclività (la cui lunghezza dipende essenzialmente dal litotipo), o addirittura il mantenimento di valli a profilo convesso.
- 2) i sedimenti più frequentemente coinvolti dalle frane di sbarramento sono proprio i sedimenti clastici continentali, deposti nelle conche intermontane appenniniche, in quanto sono più facilmente erodibili (conglomerati, sabbie, limi e argille non costipati) e oppongono quindi minore resistenza all'approfondimento della rete idrografica;
- 3) tali depositi sono spesso costituiti dall'alternanza di livelli incoerenti (ghiaie e sabbie) e di livelli coesivi (limi e argille, a volte anche lignitifere). Questi ultimi, da una parte costituiscono superfici preferenziali di scivolamento lungo le quali possono avvenire i movimenti di massa suddetti; dall'altra rendono possibile l'instaurarsi di acquiferi multifalda o di falde sospese (anche in pressione) che contribuiscono, spesso in maniera determinante, all'aumento delle pressioni interstiziali.

E' evidente come tutte queste situazioni siano in qualche maniera influenzate, in ultima analisi, proprio dalle condizioni geologico-strutturali imposte dalla fase tettonica distensiva che ha interessato (e interessa tuttora) l'area appenninica centrale: da una parte la tettonica "produce" la formazione di bacini lacustri o fluvio-palustri, successivamente riempiti da materiale clastico; dall'altra il sollevamento associato a questa fase determina l'approfondimento della rete idrografica, che comporta fenomeni di erosione e scalzamento al piede dei versanti costituiti da questo tipo di depositi o, quanto meno, la presenza di pendenze incompatibili con situazioni di equilibrio.

In questo quadro si inseriscono anche le due frane di Barattano e di Colle Pizzuto.

## LA FRANA DI COLLE PIZZUTO

La frana in esame ricade all'interno del bacino del F.so Cerreta, subaffluente del F. Nera ed è ubicata immediatamente a valle dell'abitato di Colle Pizzuto nel Comune di Sangemini (PG).

La serie stratigrafica interessata dal movimento fa parte del bacino sedimentario del Lago Tiberino, i cui caratteri sedimentologici e stratigrafici sono già stati oggetto di studi di dettaglio (AMBROSETTI *et alii*, 1994). L'area in particolare è interessata dalla Unità di S. M. di Ciciliano, costituita da argille limose e/o limi argillosi alternati a banchi sabbiosi, di età pleistocenica.

Il rilevamento geologico di superficie ha consentito di distinguere nell'ambito del versante due unità litologiche stratigraficamente sovrapposte: una sabbiosa e limo-sabbiosa superiore, visibile in affioramento lungo la strada per Colle Pizzuto ed interessata da numerose fratture subverticali, l'altra inferiore costituita in prevalenza da argille sabbiose.

La campagna geognostica commissionata dal Comune di Sangemini - n. 20 sondaggi eseguiti nella porzione medio-alta del versante, spinti fino alla profondità di 20 metri e numerose prove di laboratorio su campioni indisturbati - conferma la presenza di livelli sabbiosi a granulometria fine alternati ad argille limose le quali, a profondità variabile tra 10 e 13 metri, tendono ad essere predominanti rispetto alle precedenti.

Per ciò che riguarda le caratteristiche idrogeologiche, va rilevato che il particolare assetto - a lenti e strati di sedimenti con diverso grado di permeabilità - crea le condizioni geologiche per l'instaurarsi di un acquifero multifalda, con falde sospese, più o meno in comunicazione tra loro, che possono venire a giorno lungo il versante. Prima che si manifestasse il movimento franoso infatti era presente nella porzione medio-alta del versante una sorgente perenne al contatto tra l'unità sabbioso-limosa superiore e quella argilloso-sabbiosa inferiore.

Le misure freatiche eseguite nei piezometri installati e le prove di emungimento effettuate, indicano la presenza di una falda idrica di modesta portata entro i termini sabbiosi, la cui superficie piezometrica oscilla ad una profondità compresa tra 6 e 12 metri dal piano di campagna, con andamento circa coincidente con quello del pendio.

Il movimento franoso, che ha attualmente uno sviluppo longitudinale di circa 600 metri e una larghezza media di circa 350 metri, è iniziato a partire dai primi anni '60, coinvolgendo i termini argillosi e argillo-sabbiosi di base. Successivamente il movimento si è sviluppato verso monte con ampi scivolamenti roto-traslazionali, a carattere retrogressivo, che hanno alimentato una grande colata principale il cui fronte ha sbarrato il corso d'acqua sottostante per una lunghezza di un centinaio di metri, dando luogo ad un invaso di circa 150 metri di lunghezza.

Attualmente le misure effettuate su inclinometri posti in corrispondenza della porzione medio-alta del versante indicano la presenza, lungo la stessa verticale, di due movimenti: uno più superficiale (a circa 3 metri di profondità) attribuibile al colamento superficiale; l'altro - tra 6 e 15 metri - riconducibile al movimento di scorrimento roto-traslazionale più profondo.

## **LA FRANA SUL T. PUGLIA DI BARATTANO**

Il movimento franoso si sviluppa nell'area di testata del T. Puglia, presso la frazione di Barattano nel Comune di Gualdo Cattaneo. I terreni presenti sono ricollegabili al ciclo sedimentario di chiusura del "Bacino di Bastardo" (GREGORI, 1988), ancor oggi sede di estrazione mineraria (lignite) da parte dell'E.N.E.L.

In particolare il versante oggetto di studio fa parte di una stretta dorsale al culmine della quale affiora un deposito di travertini terrosi in ammassi mal stratificati e incrostati. Questo poggia su sedimenti limo-argillosi e/o sabbiosi che contengono intercalati, alla base del versante, livelli e lenti di argille nere lignitifere.

Dai dati relativi a prove penetrometriche statiche eseguite nei pressi della corona di frana, fino alla profondità di circa 12 metri, risulta che i depositi travertinosi sono costituiti da fitte alternanze di sabbie calcaree e limi argillosi di bassa consistenza - fino alla profondità di circa 7 metri, a cui fa seguito un complesso di sedimenti di natura prevalentemente argillo-limosa.

Il contatto tra i sedimenti clastici ed il basamento litoide (Formazione marnoso-arenacea, miocenica) è marcato da una faglia diretta ricollegabile, a scala regionale, a quella che borda il lato nord-orientale della struttura dei Monti Martani (GREGORI, 1988).

All'attività di questa faglia, secondo lo stesso Autore, è riconducibile anche la presenza dei depositi travertinosi.

Dalle foto aeree del 1977 l'area attualmente in frana mostra alcuni indizi geomorfologici di franosità latente. E' nel 1996, tuttavia, che il movimento ha avuto una importante attivazione mostrando i caratteri di uno scorrimento-colata, tuttora attivo, che presenta a monte due gradini principali, di forma arcuata, con profondità media di 3 metri e una larghezza totale di 80 metri; a valle, è presente un colamento che, coinvolgendo i terreni argillo-limosi, ha rapidamente invaso l'alveo del T. Puglia, minacciandone l'occlusione totale. Questa non si è ancora verificata completamente, grazie alla particolare erodibilità del litotipo che costituisce l'accumulo e che viene (almeno per ora) rapidamente inciso dal corso d'acqua, garantendo un seppur minimo deflusso a valle del corpo di frana stesso.

Nella porzione sommitale il movimento si sta estendendo - sia lateralmente che a monte - fino ad interessare il banco di travertini superiore.

Questi ultimi, sotto il profilo idrogeologico, sono dotati di elevata permeabilità e pertanto permettono una rapida infiltrazione delle acque meteoriche che va ad alimentare una falda che affiora al di sotto della scarpata principale di frana, creando un'ampia zona di ristagno.

La frana è attualmente in fase di studio. Esso verrà prossimamente integrato da una campagna geognostica per la definizione dei caratteri geologico-stratigrafici locali.

L'importanza che riveste l'analisi di questo movimento franoso deriva dal rischio idraulico connesso alla presenza, a valle del tratto di alveo in via di ostruzione da parte della frana, di ponti e attraversamenti dotati di luce non adeguata a garantire il regolare deflusso delle acque nell'ipotesi di condizioni idrauliche critiche.

Le osservazioni qui riportate sulle cause e le condizioni geologico-strutturali e geomorfologiche al contorno che determinano la presenza di frane di sbarramento d'alveo nell'area appenninica, nonché i primi risultati sulle indagini fino ad ora condotte sulle frane di Colle Pizzuto e di Barattano, sono stati presentati al Convegno Internazionale su: *"La prevenzione delle catastrofi idrogeologiche: il contributo della ricerca scientifica"* tenutosi ad Alba dal 5 al 7 novembre 1996. Il volume contenente i riassunti delle comunicazioni è già a disposizione; la pubblicazione della nota nella sua interezza è invece ancora in fase di stampa.

## GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE CATASTROFI IROGEOLOGICHE

### RICERCHE SUI RISCHI COLLEGATI AGLI STATI METEO-MARINI

# RAPPORTO 1998

U.O. 1.45

Responsabile: Paolo Boccotti

Questa U.O. ha puntualmente completato il programma di lavoro previsto per il 1998.

Innanzitutto si è effettuata una stima della  $P(H_s > h)$  (= probabilità che l'altezza significativa delle onde di una assegnata località superi una qualsiasi assegnata soglia  $h$ ) utilizzando otto anni di registrazione (periodo 1990-1997) operate dalle boe del Servizio Idrografico E Mareografico Nazionale. La stima è stata ripetuta per tutte le località dove operano le boe, le quali coprono tutti i mari italiani. Si tratta sia di stime omnidirezionali (cioè a prescindere dalla direzione di propagazione delle onde) sia di stime direzionali relative ai diversi settori della rosa dei venti.

Complessivamente si è trovata una ottima conferma delle stime da noi già operate sulla base dei primi cinque anni di registrazioni (periodo 1990-1994). Per facilitare le applicazioni dei risultati sono stati predisposti degli abachi che consentono la stima della  $P(H_s > h)$  per settori di ampiezza  $20^\circ$  centrata su qualsiasi direzione di interesse. Tale abaco appare veramente utile per le previsioni dell'energia ondata che si abbatte dai vari settori su un tratto di litorale comunque orientato.

L'analisi delle registrazioni 1995-1997 ha portato anche ad una netta conferma del trend monotono decrescente delle regressioni durate-altezze delle mareggiate. (Si ricorda che tale regressione compare nelle espressioni di tutti i principali periodi di ritorno: periodo di ritorno di una mareggiata in cui l'altezza significativa supera una assegnata soglia, periodo di ritorno di una mareggiata in cui l'altezza dell'onda massima supera una qualsiasi assegnata soglia, etc).

Oltre all'analisi delle registrazioni della rete ondometrica nazionale per il periodo 1995-1997, l'U.O., secondo programma, ha messo a punto e pubblicato nuovi algoritmi per:

- (i) il calcolo del periodo di ritorno di una mareggiata contenente almeno due onde più alte di una qualsiasi assegnata soglia  $H$ ;
- (ii) la stima della probabilità che le due onde più alte nella vita di una struttura si realizzano nel corso della medesima mareggiata;
- (iii) il calcolo del periodo di ritorno di run-up più alti di un'assegnata soglia, su un assegnato tratto di litorale (il run-up rappresenta la quota verticale di spiaggia raggiunta da un frangente).

I risultati (i) e (ii) sono stati applicati per elaborare quadri previsionali, in chiave probabilistica, dei maggiori spostamenti cui le strutture in mare aperto (fisse o galleggianti) possono andare incontro durante la loro vita. Il risultato (iii) è stato applicato per esempi previsionali relativi alle coste calabresi. Obiettivo di tali esempi: individuare le quote di sicurezza delle opere di sostegno delle strade litoranee.

*GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE  
CATASTROFI IDROGEOLOGICHE*

**MODELLISTICA IDROLOGICA DI BACINO PER LA  
VALUTAZIONE  
DEL PROCESSO EROSIVO**

**RAPPORTO 1998**

U.O. 1.46

Responsabile Prof. Sandro Moretti

Dipartimento di Scienze della Terra – Università degli Studi di Firenze

**1. 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.

## 2. 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 inter-rill 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:

$$q = m(\text{Tr}) * \text{Dr} + c(\text{Tr}) * L'$$

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:

$$m(\text{Tr}) = (0.525 * \text{Tr} / 100 + 0.9)$$

$$c(\text{Tr}) = -(0.49 * \text{Tr} / 100 + 7.3) / 100$$

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(Tr) e c(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.

#### 4. 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 1998

U.O. 1.47

Responsabile Dr. Florisa Melone <sup>3</sup>

## 1. SOMMARIO

Nell'ambito del progetto MIEP sono stati analizzati: 1) l'influenza dell'identificazione del reticolo idrografico nella risposta idrologica utilizzando l'approccio dell'onda cinematica nonlineare e per differenti coefficienti di scabrezza di Manning ed intensità di eccesso di pioggia; 2) il campo di applicabilità delle equazioni linearizzate (dinamica, diffusiva, cinematica) per il trasferimento della piena lungo un canale. Poiché l'approssimazione cinematica è risultata avere un campo di validità in cui possono ricadere gran parte dei canali di un bacino, è stata successivamente sviluppata la relativa soluzione analitica per un canale con afflussi laterali uniformemente distribuiti.

Nell'ambito del progetto ARA-PIN sono stati proposti alcuni approcci semplificati per l'individuazione delle aree inondate in tratti meandriformi e la cui affidabilità è stata verificata attraverso modellistica idraulica mono e bidimensionale. Eventi di piena salienti occorsi su un tronco fluviale meandriforme del fiume Tevere sono stati simulati ed un Sistema Informativo Territoriale è stato implementato per la georeferenziazione delle aree inondabili e storicamente vulnerate.

Nell'ambito del progetto ARA-SBAR è stata messa a punto una metodologia per la valutazione della sicurezza idraulica-idrologica delle dighe.

Nell'ambito del progetto METEO è continuata l'attività di supporto riguardante la gestione della rete idrometeorologica di proprietà dell'IRPI e l'aggiornamento dell'archivio relativo alle situazioni di piogge intense.

---

<sup>3</sup> IRPI-CNR, via Madonna Alta 126, 06128 Perugia  
E-mail: [F.Melone@irpi.pg.cnr.it](mailto:F.Melone@irpi.pg.cnr.it)

## 2. INTRODUZIONE

L'attività di ricerca è stata rivolta verso lo sviluppo di modellistica afflussi-deflussi di tipo concettuale e spazialmente semidistribuita e di modellistica di tipo idraulico per lo studio del trasferimento dell'onda di piena con fenomeni di esondazione e di inondazione sul piano. E' stata anche sviluppata una metodologia per la sicurezza idraulica-idrologica delle dighe. L'attività relativa alla modellistica afflussi-deflussi ricade nei progetti MIEP e METEO, il trasferimento delle piene nel progetto ARA-PIN e la tematica delle dighe nel progetto ARA-SBAR. Gli obiettivi perseguiti sono stati:

Nell'ambito del progetto MIEP: 1) la messa a punto di una relazione per la stima del lag di un bacino idrografico attraverso parametri legati sia alla topografia ed alla struttura della rete drenante sia a parametri idraulici; 2) l'individuazione del campo di validità di approcci semplificati per il trasferimento dell'idrogramma di piena lungo una rete di canali naturali. Nell'ambito del progetto METEO, gestione della rete idrometeorologica ed aggiornamento della banca dati relativa agli eventi di pioggia di rilevante entità occorsi nell'anno. Nell'ambito del progetto ARA-PIN, verifica dell'affidabilità di approcci semplificati per la valutazione dell'esondazione in tratti meandriformi del fiume Tevere e sviluppo di un Sistema Informativo Territoriale (SIT). Nell'ambito del progetto ARA-SBAR, sviluppo di una procedura per la definizione della piena di progetto ottimale di una diga.

## 3. ATTIVITA' SVOLTA E RISULTATI

### PROGETTO MIEP

1) E' stata investigata, mediante l'approccio dell'onda cinematica nonlineare, la sensitività dell'idrogramma di deflusso diretto alla rappresentazione geometrica del bacino basata su piani e canali e dedotta da carte topografiche a differenti scale. L'analisi è stata fatta utilizzando eventi sintetici di eccesso di pioggia su 5 bacini reali dell'Italia Centrale e per differenti combinazioni dei coefficienti di scabrezza di Manning per i piani e per i canali. I risultati hanno evidenziato per tutti i 5 bacini analizzati (area <math><60 \text{ Km}^2</math>) una consistente differenza nella risposta del bacino passando dalla scala 1:25000 a 1:100000 e come questa possa essere attribuita alla variazione del ruolo del trasferimento dell'acqua superficiale lungo i piani rispetto a quella lungo i canali. Si sta attualmente cercando di individuare le caratteristiche idrauliche, idrologiche e geomorfologiche che principalmente determinano la variazione del lag alle diverse scale per derivare una stima del lag del bacino reale ottenibile da una rappresentazione alla scala 1:1.

2) Attraverso un'analisi quantitativa di tipo lineare è stato descritto il comportamento dell'onda lungo un canale individuando le condizioni idrauliche e geometriche affinché gli effetti inerziali e di pressione possono ritenersi trascurabili. Sono stati quindi individuati i campi di validità dell'onda dinamica, diffusiva e cinematica in funzione dei parametri geometrici ed idraulici di linearizzazione (Froude e velocità). In particolare è stato trovato che l'onda cinematica ha un ampio campo di applicazione per pendenze superiori a 1%. A tale ragione è stata sviluppata la soluzione analitica dell'equazione dell'onda cinematica lineare con afflussi laterali uniformemente distribuiti lungo il canale. La sua accuratezza è stata verificata attraverso la soluzione numerica dell'equazione cinematica nonlineare sia per un singolo canale sia come componente di un modello eccesso di pioggia-deflusso diretto di tipo semidistribuito. Per quest'ultima analisi

sono stati utilizzati eventi sintetici di eccesso di pioggia con diversa intensità e per alcuni bacini dell'Italia Centrale (area <math><60 \text{ Km}^2</math>).

- E' stato anche realizzato, in collaborazione con l'U.O. 1.26, un modello semi-analitico per la rappresentazione dell'infiltrazione e successiva redistribuzione dell'acqua in suoli stratificati con diverse disposizioni degli strati rispetto al valore di conduttività idraulica di saturazione.

## **PROGETTO ARA-PIN**

Utilizzando la cartografia numerica di dettaglio precedentemente sviluppata, è stato applicato un modello idraulico monodimensionale (MIKE11) per la propagazione di alcuni eventi di piena osservati lungo un tratto di circa 30 km dell'asta del fiume Tevere (Ponte San Giovanni - Deruta) dove è presente la confluenza del fiume Chiascio. E' stato individuato il colmo di portata che il tronco del Tevere in esame è in grado di smaltire senza fenomeni di esondazione. Il parametro di scabrezza è stato stimato con l'ausilio dei livelli osservati nella sezione strumentata di Ponte Nuovo, ubicata circa 2 km a valle della confluenza. (CELIN R., "Determinazione di aree inondabili mediante modellistica idraulica monodimensionale", Tesi di Laurea, Facoltà di Ingegneria, Università degli Studi di Perugia, 202 pp, A.A. 1997/98). Per l'individuazione delle aree inondate ricadenti in tratti fluviali meandriformi è stato anche sviluppato un approccio semplificato per il trasferimento dell'onda di piena. Il metodo, la cui affidabilità è stata verificata mediante modellistica bidimensionale (FLOOD2D), è basato sull'ipotesi che la velocità del flusso sul piano di esondazione è trascurabile ed adotta l'approssimazione cinematica per l'equazione del momento e due relazioni di invaso per la continuità. Dal confronto dei risultati con il modello bidimensionale e la foto-restituzione delle aree allagate di un particolare evento critico occorso nel 1980 si può dedurre che i criteri geometrici ed idraulici adottati per la stima dei tiranti idrici sono abbastanza congruenti alla realtà del fenomeno. Per i differenti eventi di piena le aree inondate sono state georeferenziate e sono stati individuati gli elementi territoriali coinvolti.

## **PROGETTO ARA-SBAR**

E' stata sviluppata, in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria delle Acque del Politecnico di Bari, una metodologia che consente di valutare la piena di progetto ottimale per una diga. La procedura è basata sul bilancio fra i costi legati al verificarsi di un evento estremo e quelli necessari alla mitigazione dello stesso. L'applicazione di modelli idraulici per la propagazione di piena e l'uso di un SIT ha consentito l'analisi di ogni elemento territoriale coinvolto, a valle dell'opera, dall'onda di piena dovuta a manovra ad organi di scarico. Un'applicazione è stata fatta per la diga di Monte Cotugno sul fiume Sinni in Basilicata.

## **PROGETTO METEO**

Nell'ambito del progetto METEO l'attività svolta ha riguardato soprattutto la gestione della rete pluviometrica dell'IRPI e la validazione ed archiviazione dei relativi dati in aggiunta ai dati meteorologici di 5 stazioni ubicate nell'area di studio. Si è anche continuato ad isolare i singoli eventi di pioggia dagli archivi annuali corredandoli con i relativi dati meteorologici ed immagini da satellite (Meteosat).

## 4. PUBBLICAZIONI

CORRADINI C., MORBIDELLI R., MELONE F., "On the interaction between infiltration and Hortonian runoff", *Journal of 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.

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.

SMITH R.E., CORRADINI C., MELONE F., "Infiltration/Redistribution in crusted soils", *Water Resources Research*, in press, 1998.

MORAMARCO T., FAN Y., BRAS R.L. "An analytical solution for channel routing with uniform lateral inflow", *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, in press, 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", In M.H. Hamza (Editor): *Modelling and Simulation*, IASTED ACTA PRESS, Anaheim, pp. 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, pp. 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, pp. 61-72, 1998.

MORAMARCO T., "A note on dissipative interface effects applied to two step Lax Wendroff scheme", In M.H. Hamza (Editor): *Modelling, Identification and Control*, IASTED ACTA PRESS, Zurich, pp. 400-403, 1998.

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).

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*).