

CATTOLICA



# a.f.r.a.i.d.

A flood Risk Analysis for Insurance Damages

## ATTI DEL CONVEGNO/PROCEEDINGS

27 giugno 1995  
presso/at



E-8846

WT. 23.522

R. 18.329

# A.F.R.A.I.D.

## A Flood Risk Analysis for Insurance Damages

### ATTI DEL CONVEGNO/PROCEEDINGS 27 giugno 1995

Copyright © 1995 by NUOVA TELESPAZIO S.P.A.

Tutti i diritti sono riservati. E' vietata qualunque riproduzione.

*All rights reserved. No parts of this publication may be reproduced, in any form or by any means.*

Stampato in proprio.

In copertina/ cover:

Immagine del Po nella zona di Casale Monferrato ripresa dal satellite ERS -1 il 9 Novembre 1994  
*ERS-1 imagery of the Po river in the area of Casale Monferrato - 9 November 1994*  
copyright „, ESA 1994 - Distribuzione Eurimage, Nuova Telespazio per l'Italia



## INDICE INDEX

Presentazione dei Membri del Consorzio <i>Presentation of Consortium Members</i>	pag. 3 pag.31
E.Todini: La Redazione di una Carta di Indici di Rischio di Inondazione su base Provinciale <i>Drafting a Province-Based Flood Risk Index Map</i>	pag.11 pag.39
C.Terpessi, M.Palandri: Valutazione dell'Indice di Rischio di Inondazione su base Provinciale <i>Evaluation of the Province-Based Flood Risk Index</i>	pag.22 pag.49
Figure - <i>Pictures</i> (1- 9)	pag.58

## PRESENTAZIONE DEI MEMBRI DEL CONSORZIO

\*\*\*

### CATTOLICA

Cattolica, una Società assicuratrice che occupa, sul mercato italiano, il 14° posto, per fatturato nei rami danni su 185 compagnie, ed il 17° posto per fatturato nei rami danni e vita su 261 compagnie.

Costituita in forma cooperativa, con circa 8.000 soci a tutt'oggi, orgogliosa di questa unicità, dal 1896 nel comparto assicurativo italiano.

La strategia di Cattolica, centrata sulla qualità e sul servizio al Cliente, è ispirata da precise scelte di mercato, ma anche suggerita dalle origini, dai principi e dalla tradizione che hanno caratterizzato la sua storia centenaria.

Le scelte di mercato sono chiare: con una prevalente attenzione ai bisogni della Persona: la sua salute, la tutela dei suoi beni, la responsabilità civile ad essa riconducibile, le sue necessità previdenziali.

Le esigenze di protezione dell'individuo -in quanto tale o inserito nel suo nucleo familiare- sono garantite da linee di prodotto trasparenti e articolate, per consentire un'immediata comprensione e una reale personalizzazione per il Cliente.

La sicurezza della Persona si estende anche alla tutela dei rischi insiti nell'attività lavorativa: professionale, artigianale, commerciale, agricola, in un vero rapporto da imprenditore ad imprenditore.

In tale ottica, nel segno di una tradizione centenaria, Cattolica affina costantemente il proprio "know-how" anche nell'area della copertura delle medie e grandi Aziende, industriali e commerciali, per le quali con un Servizio Aziende e Grandi Clienti specializzato, propone soluzioni personalizzate sia in ambito specificatamente tecnico, sia in ambito di risk-management.

Il "Sistema Cattolica" prevede inoltre una profonda integrazione con la struttura distributiva.

Cosciente che l'improvvisazione, in un campo così delicato come quello della previdenza e della sicurezza, può riservare spiacevoli sorprese, Cattolica mette a disposizione del Cliente una rete di Agenti di alta professionalità, attenti alla qualità del servizio.

Coerentemente a tali indirizzi opera il Servizio Formazione, mediante il quale il "Sistema Cattolica" può rispondere in tempo reale, con azioni programmate ad ogni criticità, sia a livello di rete di vendita, sia a livello di reparti operativi aziendali.

Esperti garantiscono competenza, consulenza, a assistenza su tutto il territorio nazionale.

La capillarità della rete distributiva di Cattolica consente al Cliente Persona/Azienda, di usufruire in tutta Italia di un valore aggiunto e di un rapporto umano che vanno al di là della tradizionale concezione di assicurato-numero, trovando risposte puntuale ad ogni sua specificità.

N° contratti (Polizze al 7.6.95): 1.135.000, di cui 917.000 Linea Persone, 218.000 Linea Aziende.

Fatturato in L/Miliardi per Esercizio:

Esercizio	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Importo	317	365	420	484	552	636	675	722

## CIAR

CIAR fu creata nel 1975 da quattro compagnie di Assicurazione del settore Mutualistico di diversi Paesi che avevano in comune il desiderio di diversificare la loro attività a livello internazionale.

Da allora la partecipazione nel capitale della Compagnia si è estesa ed oggi l'azionariato si compone di sette Gruppi Assicurativi:

- MAPFRE RE (Spagna)
- SOCIETA' CATTOLICA DI ASSICURAZIONI (Italia)
- VAUDOISE ASSURANCES (Svizzera)
- BUNDESLANDER (Austria)
- SHELTER (U.S.A.)
- MAAF (Francia)
- CENTRAL BEHEER (ACHMEA Group, Olanda)

Queste compagnie, Partner di CIAR, rappresentano insieme un volume premi di circa ECU 9.600 milioni e attivi totali di circa ECU 27.000 milioni.

Il Sistema MAPFRE è dal 1989 l'azionista di maggioranza.

All'interno dell'Unità Riassicurazione MAPFRE, a CIAR è delegata la responsabilità per lo sviluppo in Europa.

Nel 1994 CIAR ha sottoscritto un volume premi lordo di ECU 74 milioni; il Capitale Proprio ammontava al 31.12.94 a ECU 33 milioni.

## ITALRE

La ITALRE S.r.l. è una società di brokeraggio riassicurativo italiana fondata nel 1987 e di proprietà del Management.

Nel corso degli anni la società ha sviluppato, direttamente o tramite la sua controllata ITALRI INTERNATIONAL LTD, un considerevole portafoglio di affari riassicurativi in Italia e all'estero.

Attualmente, la ITALRE presta i suoi servizi in diciotto paesi a circa cento compagnie di assicurazione e riassicurazione.

Alcuni dati sul portafoglio di affari intermediati sono qui di seguito riassunti.

### PORTAFOGLIO PREMI 1995 E 1994 COMPARATI

	<u>1995</u>	<u>1994</u>
TRATTATI	89,43 %	87,44 %
FACOLTATIVI	10,57 %	12,56 %
-----	-----	-----
TOTALE	100,00 %	100,00 %
PROPORZIONALI	78,18 %	83,72 %
NON PROPORZIONALI	21,82 %	16,23 %
-----	-----	-----
TOTALE	100,00 %	100,00 %
RAMI DANNI	55,54 %	45,82 %
RISCHI AGRICOLI	12,94 %	18,20 %
RAMO CAUZIONI	11,72 %	13,84 %
INFORTUNI MALATTIE	13,62 %	17,73 %
ALTRI RAMI	6,18 %	4,41 %
-----	-----	-----
TOTALE	100,00 %	100,00 %

Oltre alla normale attività di consulenza e intermediazione riassicurativa, la società ha ritenuto opportuno destinare una parte importante delle proprie risorse alla ricerca ed all'aggiornamento professionale.

In questa ottica è stato creato nel 1992 un ufficio di Ricerca ed Analisi Dati che si occupa di predisporre studi specifici sui mercati assicurativi e riassicurativi per i clienti dei paesi in cui la società opera.

Tra le iniziative intraprese nel campo della formazione professionale, la ITALRE ha instaurato, nel 1993, un rapporto di collaborazione, sia scientifica sia in qualità di sponsor, con la Scuola di Management dell'Università Luiss Guido Carli ed in particolare,

nell'attuazione del "Corso di Specializzazione Assicurativa", giunto quest'anno alla sua terza edizione.

In campo editoriale, sono dieci anni che la ITALRE collabora con il "Notiziario Assicurativo", unico mensile del settore assicurativo che redige un numero speciale in occasione del tradizionale Rendez-Vous di MonteCarlo, importantissimo incontro annuale del mondo ri-assicurativo.

La presenza della società nel consorzio dei fondatori del progetto "A.F.R.A.I.D." è il naturale sviluppo di una ricerca, iniziata nel 1993, sulla problematica del rischio inondazione in Italia, e vede attuata, per la prima volta, una sinergia tra il campo assicurativo e quello dell'osservazione satellitare che presenta, a nostro avviso, un potenziale di sviluppo molto rilevante.

Per ulteriori informazioni sulle attività della ITALRE, si prega di contattare:

Dott. Corrado Jamnikar, presso la sede sociale di Roma - Via G. Paisiello, 47/C tel 06/8414200 - fax 06/8840415.

## MAPFRE

Il Sistema MAPFRE rappresenta in Spagna il Gruppo Leader in Assicurazione e Riassicurazione.

Le sue attività si estendono anche al settore Bancario e Finanziario, alla promozione Immobiliare e allo sviluppo tecnologico sia per l'informatica assicurativa che per altri servizi.

La MAPFRE Mutualidad, che opera esclusivamente nel campo delle Assicurazioni Automobili con oltre 2.500.000 di veicoli assicurati, è la capogruppo proprietaria ultima di tutte le Società del Sistema.

Il suo carattere di Mutua garantisce l'indipendenza del Gruppo, ed i principi di etica aziendali inclusi nei suoi statuti vengono applicati a tutte le Affiliate.

Il Sistema MAPFRE nel suo sviluppo si è ispirato fin dall'origine a dei precisi principi aziendali quali:

- massimo avvicinamento del servizio al cliente
- specializzazione tecnico/amministrativa
- cura della qualità del servizio
- flessibilità e adattamento permanente delle strutture
- auditing aziendale indipendente
- garanzia dei diritti dei Mutuati attraverso la Commissione di Difesa dell'Assicurato

L'organizzazione funzionale e territoriale del Sistema MAPFRE è basata su Unità Operative.

MAPFRE RE è la Compagnia responsabile della Unità Riassicurazione attiva, attraverso Affiliate e Uffici di Rappresentanza, nel Mondo Intero.

Nel 1994 MAPFRE RE ha sottoscritto un volume premi lordo di Ptas 82.553 milioni; il Capitale Proprio consolidato al 31.12.94 ammontava a Ptas 18.673 milioni.

In linea con la propria connotazione Mutualistica, il Sistema MAPFRE ha anche creato un Gruppo di Fondazioni a cui vengono devoluti parte degli utili per fini sociali o di interesse generale.

## NUOVA TELESPAZIO S.p.A.

Nuova Telespazio, con un capitale sociale pariteticamente diviso tra STET e Telecom Italia, opera sul mercato nazionale e internazionale assicurando il presidio dei business satellitari.

Le dimensioni della nuova azienda consentono una maggiore agilità operativa sui mercati ed una focalizzazione ai servizi specifici avendo mantenuto intatto il know-how tecnologico sistemistico acquisito in campo satellitare dalla ex Telespazio. La nuova società, quindi, realizza e gestisce impianti per collegamenti via satellite, compresa la diffusione e il trasporto di segnali televisivi. Essa sviluppa e commercializza sistemi via satellite per l'osservazione della terra, acquisendo e distribuendo dati telerilevati da ogni satellite disponibile ed elabora ogni tipo di applicazione ai fini ambientali e territoriali. Nuova Telespazio opera anche nel settore del controllo in orbita dei satelliti ed in quello delle comunicazioni.

In particolare, Nuova Telespazio mantiene un portafoglio di aree di business che, pur avendo come comune denominatore il mezzo spaziale, abbraccia settori diversi e complementari quali:

- TELECOMUNICAZIONI
- TV E MEZZI MOBILI
- TELERILEVAMENTO E INFORMAZIONI AMBIENTALI
- SISTEMI SPAZIALI E DI SUPPORTO IN ORBITA
- STUDI E SEGMENTO SPAZIALE

In ognuno dei settori sopraelencati, la società ha raggiunto una posizione di leadership con progetti di grande rilevanza.

Un'applicazione particolare della tecnologia spaziale è quella relativa all'osservazione della terra: anche in questo campo Nuova Telespazio ha assunto una posizione leader in Europa, svolgendo la funzione di Centro Nazionale di Telerilevamento e provvedendo alla ricezione, elaborazione e distribuzione dei dati trasmessi dai satelliti LANDSAT, SPOT, MOS-1 e del recentissimo ERS-1.

Di particolare rilievo è l'impegno di Nuova Telespazio nell'area dell'Informazione Ambientale, per la realizzazione di banche dati aggiornabili da satellite, e nel campo della ricerca per applicazioni future. I dati e le informazioni dei satelliti costituiscono infatti elementi di estrema importanza per definire strategie di previsione e di intervento per la tutela dell'ambiente.

Le attività di Nuova Telespazio nel settore del Telerilevamento e delle Informazioni Ambientali interessano l'intero sviluppo dell'informazione dalla sua ricezione dal satellite

alla realizzazione di sistemi con dati integrati da più fonti per l'osservazione ed il controllo dell'ambiente.

Le attività principali in questo settore, sono rappresentate da:

-la ricezione, l'acquisizione e la preelaborazione dei dati da satellite per telerilevamento;

-la distribuzione dei dati da satellite per telerilevamento;

-le metodologie per l'osservazione e il controllo dell'ambiente;

-applicazioni ambientali;

-la realizzazione di reti di telesorveglianza e monitoraggio ambientale.

Grazie a queste attività, Nuova Telespazio si pone tra le aziende d'avanguardia per ciò che riguarda la tutela e l'osservazione del territorio, rispondendo in pieno all'esigenza di controllo sull'ambiente e la sua evoluzione che è ormai vivissima nel nostro paese ed a livello internazionale.

Il telerilevamento da satellite, infatti, costituisce oggi in questo settore una fonte primaria di informazioni. L'esperienza ha dimostrato che l'utilizzo dei dati da satellite integrati con dati alla superficie, rispetto all'utilizzo di tecniche convenzionali, ove possibile, comporta il duplice vantaggio di fornire informazioni più omogenee nel tempo e nello spazio e che tali informazioni sono, a parità di precisione, economicamente più vantaggiose.

# LA REDAZIONE DI UNA CARTA DI INDICI DI RISCHIO DI INONDAZIONE SU BASE PROVINCIALE

Prof. E. TODINI  
Vice-Presidente  
Associazione Internazionale delle Scienze Idrologiche  
Istituto di Costruzioni Idrauliche  
Università di Bologna

## IL PROBLEMA DELLE INONDAZIONI

Il problema delle piene è antico come il mondo. Ma se in un mondo preistorico le naturali inondazioni di vaste aree non creavano situazioni più pericolose di altre, con l'accrescere dell'attività umana e dell'urbanizzazione, la necessità di evitare i danni conseguenti alle esondazioni o meglio di controllare ai propri fini le esondazioni, come nell'antico Egitto, è sempre stato un problema attuale.

Dalla fine del Settecento poi, con l'avvento dell'era industriale, si è passati da un lato alla realizzazione di opere di sistemazione idraulica del territorio, quali ad esempio le bonifiche, che in molti casi hanno sconvolto la naturale vocazione dei terreni all'esondazione, e dall'altro alla regimazione dei corsi d'acqua, soprattutto nei tratti montani e pedemontani, con la conseguenza di riproporre più a valle, e magari anche in zone originariamente protette, il problema delle piene.

Negli ultimi anni infine la crescita della popolazione ed una urbanizzazione indiscriminata hanno creato situazioni di estrema pericolosità con zone golenali abitate od anche con interi quartieri a ridosso di arginature maestre, poco sicure durante piene prolungate soprattutto nei fiumi pensili, come ad esempio il Po.

Il problema delle piene non è solamente un problema Italiano lo è sicuramente a scala globale ed è un fenomeno che negli ultimi anni ha subito un pauroso crescendo. È sufficiente analizzare i tre grafici sottostanti, in cui sono riportati gli andamenti rispettivamente dei danni (Fig. 1 - in miliardi di dollari) del numero di persone danneggiate (Fig. 2 - in milioni) e dei morti (Fig. 3 - in migliaia) a causa delle piene per rendersi conto della gravità della situazione.

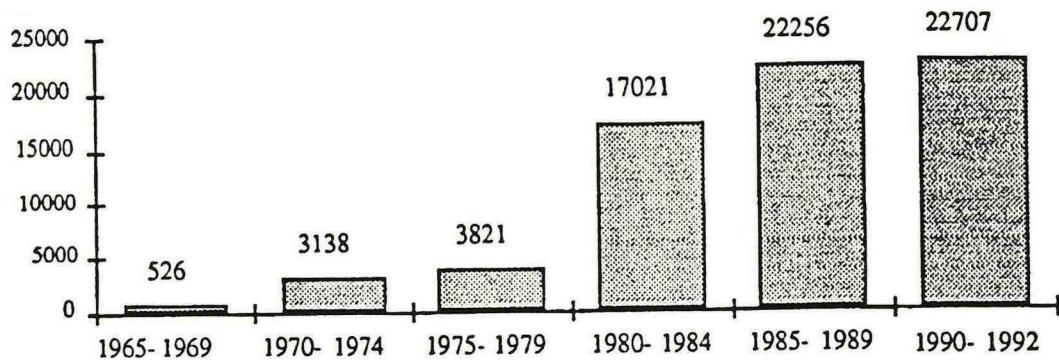


Fig. 1 - Andamento dei danni mondiali causati dalle piene in miliardi di dollari

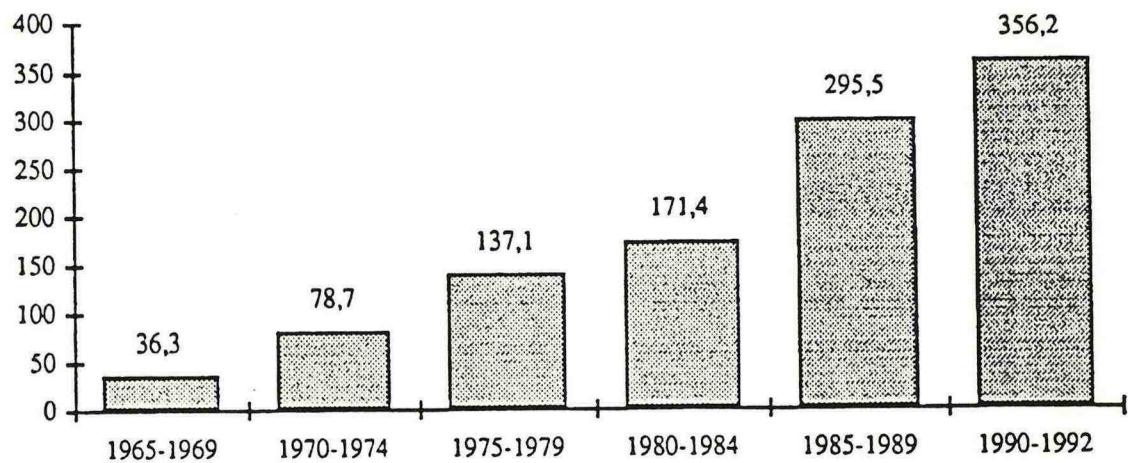


Fig. 2 - Numero di danneggiati a causa delle piene nel mondo in milioni

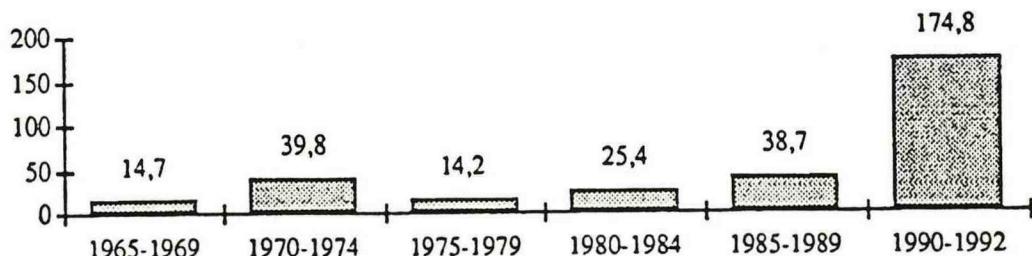


Fig. 3 - Vittime causate dalle piene nel mondo, in migliaia

In Europa la crescita è forse stata ancor più pronunciata con danni subiti molto elevati ed ammontanti a circa un quinto del totale mondiale (Fig. 4 - in miliardi di dollari).

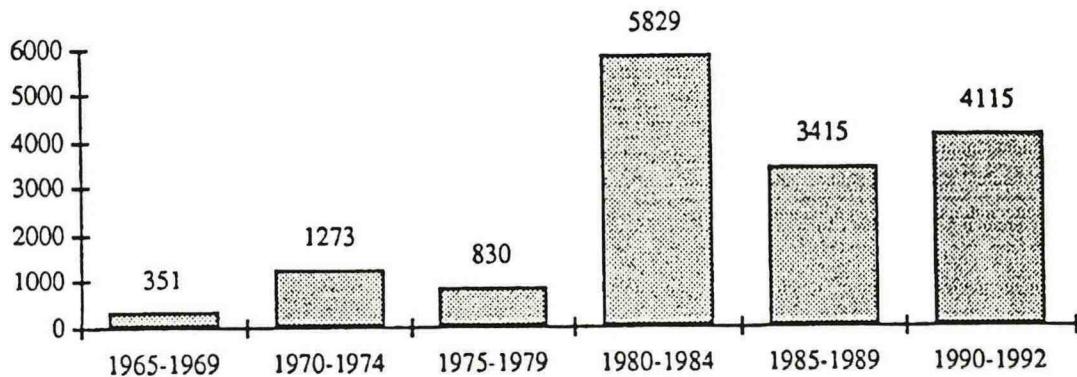


Fig. 4 - Andamento dei danni in Europa causati dalle piene in miliardi di dollari

La tabella 1 mostra infine una stima dei danni diretti subiti in Piemonte, senza tener conto degli ulteriori danni indotti quali perdite di impiego, di servizi, di capacità produttiva, ed ancora dei danni sociali e di natura economica complessiva.

Danni all'Industria	3300 Millions US\$
Danni all'Agricoltura	1300 Millions US\$
Danni al Commercio	2200 Millions US\$
Danni alle Ferrovie	530 Millions US\$
Danni alla rete viaria	100 Millions US\$
Numero di vittime	70
Numero di danneggiati	>2000
Numero di perdite di impiego	12.000

Tabella 1 - Danni subiti in Italia (Piemonte) nel Novembre 1994

### LA VARIABILITÀ DEL CLIMA E DELLA PIOVOSITÀ

La crescita dei danni è inesorabilmente destinata a salire negli anni a venire, in parte a causa dei maggiori rischi conseguenti ad una maggiore estensione delle aree urbanizzate e dall'altra a causa dei cambiamenti climatici in atto.

È noto infatti come le notevoli quantità presenti in atmosfera di anidride carbonica, oggi prodotta in gran parte dalla combustione di idrocarburi, tendano ad accentuare il fenomeno noto come "effetto serra", con la conseguente aumentata capacità della Terra a trattenere le radiazioni ad onda lunga da essa stessa prodotte quale corpo nero sottoposto all'azione della radiazione solare. L'impossibilità di rilasciare queste radiazioni nello spazio modificano il bilancio di energia captata dalla Terra con l'effetto di aumentare la quantità di calore disponibile (Ministero dell'Ambiente, Conferenza Nazionale sul Clima, 1993).

Non volendo entrare nella annosa diatriba sugli effetti indotti da questo aumento di energia e di calore disponibili, una cosa risulta tuttavia di interesse per quanto attiene al problema delle piene. Come succede quando si pone una pentola sul fuoco e si alza la fiamma, si ottiene un aumento dell'evaporazione e della turbolenza, così all'aumentata energia disponibile farà ricontrò un aumento di evaporazione (maggiore quantità di vapor d'acqua disponibile per la pioggia) ed un aumento nella vorticità dell'atmosfera con una aumentata variabilità spazio temporale della frequenza degli eventi piovosi.

In altre parole, se si può dire qualche cosa sugli effetti indotti dall'effetto serra, questi risulteranno sicuramente in una maggiore frequenza e durata di periodi piovosi e/o siccitosi ed in una accentuazione dei valori estremi di pioggia e di portata, con un conseguente aumento di probabilità delle piene, come già può osservarsi dal trend dei dati degli ultimi anni riportati nelle figure 1, 2, 3.

## LE METODOLOGIE PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI INONDAZIONE

Lo studio e la valutazione del rischio di inondazione sono essenzialmente basati su una metodologia in due fasi.

Nella prima fase, generalmente di tipo statistico (Rossi et al., 1992) viene valutata la probabilità di superamento di un valore di portata caratteristico, determinato per via idraulica, del tratto di corso d'acqua in esame e tale da provocarne il superamento degli argini (esondabilità), e dall'altra essenzialmente di natura idraulica viene effettuata la valutazione della maggiore o minore capacità di smaltimento delle acque del territorio circostante (inondabilità).

In altre parole, da un lato si deve valutare il grado di pericolosità del corso d'acqua che è sostanzialmente funzione di tre elementi:

- 1) Il regime piovoso sul bacino di monte;
- 2) Le caratteristiche geomorfologiche e di uso del bacino di monte;
- 3) Le caratteristiche idrauliche del tratto in esame.

Una volta uscita dagli argini l'acqua potrà essere smaltita verso valle e rientrare in alveo senza soverchi danni o spandersi sul territorio circostante senza possibilità di smaltimento, creando dei livelli idrici tali da provocare danni a persone e cose. Questa capacità di smaltimento delle acque viene analizzata mediante modelli matematici di tipo idraulico bi-dimensionale per determinare i tre elementi essenziali alla valutazione dei possibili danni, ovvero il tirante d'acqua raggiunto, la velocità dell'acqua ed il tempo di permanenza (Di Giammarco et al., 1994).

Esempi di valutazione del rischio di esondazione possono essere trovati in gran parte dei piani di bacino, tuttavia la valutazione della inondabilità per via idraulica richiede una mole di lavoro notevole ed in gran parte dei paesi essa viene effettuata limitatamente a particolari zone a rischio e non estesa a tutto il territorio.

Negli USA (US Water Resources Council, 1972) è stata definita una procedura standard per la produzione di carte di rischio. In sintesi gli elementi da considerare sono i seguenti:

- 1) La piena con periodo di ritorno 100 anni è stata assunta come piena di riferimento;
- 2) La zona a rischio è la zona inondata dalla piena di riferimento;
- 3) La via d'acqua è la porzione della zona a rischio che consente lo smaltimento della piena di riferimento con un innalzamento non superiore ad un piede;
- 4) I bordi della via d'acqua sono costituiti invece dalle zone comprese fra la via d'acqua ed i limiti della zona di rischio.

Con alcune modifiche apportate a questi concetti è stata realizzata, da parte delle Compagnie di Asicurazione degli Stati Uniti, la Carta dei Premi Assicurativi per le Alluvioni.

Anche in Inghilterra ed in Nuova Zelanda è stata assunta la portata di piena di periodo di ritorno 100 anni per la definizione del rischio; in Nuova Zelanda ed è stato poi adottato un metodo di calcolo idraulico basato su criteri di profondità e velocità (Bewick, 1988), simile a quello adottato in Svizzera (Jaeggi, 1990).

In Spagna è stata completata una valutazione di massima delle aree a rischio e sono in fase di definizione i criteri per il tracciamento delle mappe, anche qui è stata adottata la piena di periodo di ritorno 100 anni ed un criterio di profondità e velocità (Témez, 1992).

In Francia il Ministero per l'Ambiente ha lanciato il progetto Plans d'Exposition aux Risques Majeurs d'Inondation (PERI) per il tracciamento delle mappe di rischio a scala 1:10.000. In questo paese è stata poi sviluppata una metodologia che prenda in considerazione anche il grado di protezione differenziato che si vuole realizzare a seconda delle zone in esame (ad esempio minore nelle aree rurali e maggiore nelle aree ad alta concentrazione urbana) (Obérlin, 1990).

Infine in Italia, il Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI), dopo aver portato a termine uno studio a scala nazionale sulle metodologie per la valutazione delle piogge e delle piene di prefissato periodo di ritorno (Progetto VAPI), ha completato una indagine storica, attraverso gli articoli reperiti sulla stampa nazionale e locale, sulla frequenza degli eventi di piena (Progetto AVI).

#### LA NATURA E LA CONFORMAZIONE GEOMORFOLOGICA DEI BACINI IDRICI

Viste le finalità del presente studio, per poter determinare degli indicatori di possibilità di formazione piena non avendo la possibilità di utilizzare dei modelli realistici del fenomeno di trasformazione afflussi-deflussi, si è pensato di combinare un indice di piovosità, espresso in termini del massimo di pioggia della durata di 24 ore di tempo di ritorno di 100 anni, con un indice dimensionale dei bacini per ricondurre l'indice di piovosità ad un indice di portata massima al colmo.

La scelta della pioggia massima della durata di 24 ore si è ritenuta la più opportuna sia per le dimensioni della scala provinciale proposta nello studio sia perchè costituisce il dato più facilmente reperibile. Per quanto riguarda invece l'indice di ragguglio alle portate al colmo, si è ritenuto valido un indicatore geomorfologico legato alla dimensione areale dei bacini come si vedrà in seguito.

L'effetto combinato di clima e geologia di un bacino idrografico, ne determinano i processi erosivi, fornendo differenti esempi di caratteristiche della morfologia dei percorsi delle valli e dei corsi d'acqua.

In figura 5 si riportano alcuni esempi osservati, di differenti caratteristiche morfologiche delle reti di scolo delle acque (Howe, 1960), mentre la figura 6

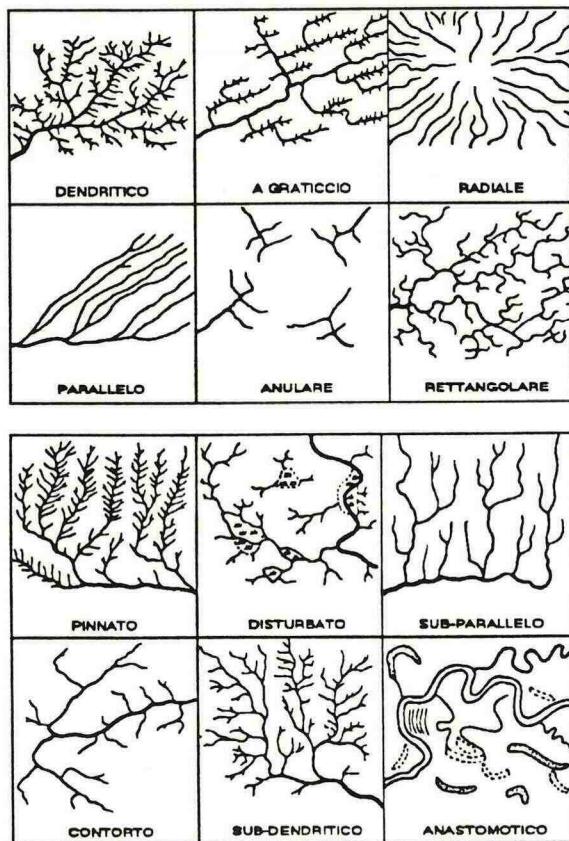


Figura 5 - Esempi di disposizioni del reticolo dei corsi d'acqua

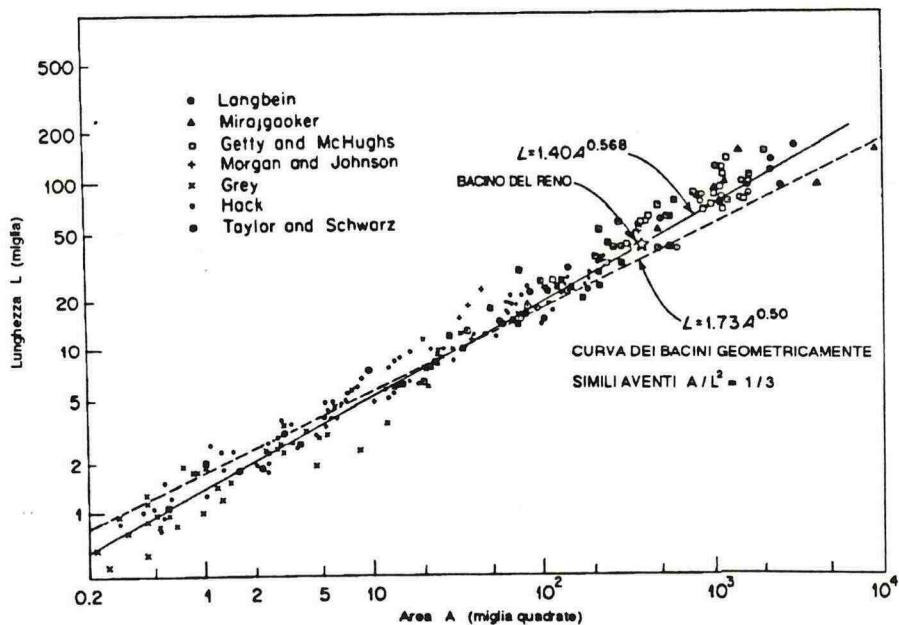


Figura 6 - Relazioni tra area e lunghezza di bacino

mostra la correlazione fra area del bacino e lunghezza dell'asta principale fornita dai più svariati autori nella forma:  $L = 1.40 A^{0.568}$ .

L'indice di lunghezza ora espresso è quello che consente di sintetizzare l'effetto dei bacini sulle portate di piena, come possono dimostrare varie formule empiriche variamente utilizzate che legano la portata al colmo all'intensità della pioggia ed alla superficie del bacino, quest'ultima elevata ad un esponente che poco si discosta da quello dell'indice di lunghezza.

Pertanto, per non scendere ad un dettaglio che avrebbe comportato una analisi approfondita del reticolo idrografico (Salas et al. 1992), o la realizzazione di opportuni modelli piogge-deflussi (Anselmo et al. 1995), l'indice di lunghezza è stato utilizzato quale indicatore di trasformazione dell'indice di piovosità in indice di portata al colmo.

### GLI INDICATORI ADOTTATI NEL PRESENTE STUDIO

Per la derivazione degli indici da utilizzare nel presente studio si è considerato che la metodologia da adottare dovesse rispondere ai seguenti criteri di base:

- 1) Fornire indici di rischio di inondazione a livello Provinciale;
- 2) Essere estremamente semplice ed estendibile a tutto il territorio nazionale;
- 3) Consentire un aggiornamento delle probabilità stimate in base alla frequenza osservata delle inondazioni.

In base a quanto detto in precedenza, e per rispondere alle esigenze metodologiche i fattori che influenzano la frequenza delle esondazioni sono stati sinteticamente ricondotti ai seguenti:

A) La piovosità, ovvero la probabilità che si verifichi una intensità di pioggia di durata confrontabile con un tempo caratteristico dell'area scolante, noto in genere come tempo di concentrazione. Maggiore è l'area scolante e minore è la sua acclività maggiore risulterà il tempo di concentrazione, passando dai pochi minuti per aree urbane alle ore dei sotto-bacini compresi fra i 100 ed i 1000 km<sup>2</sup>, fino a tempi dell'ordine di uno o più giorni per bacini maggiori.

B) La conformazione geo-morfologica del bacino scolante. E' evidente come un bacino più acclive tenda a concentrare più rapidamente le acque; tale fenomeno è ancor più influenzato dalla natura dei suoli e dalla copertura vegetale in quanto una parte non trascurabile della pioggia può essere trattenuta dal suolo e dalla vegetazione, la quale, se di tipo boschivo, produce un ulteriore beneficio creando sul suolo uno strato di humus altamente capace di trattenere e ritardare il defluire verso valle di una quantità aggiuntiva di acqua.

C) L'uso dei suoli, soprattutto la mancanza di vegetazione, può incidere grandemente sulla formazione delle piene, poichè da un lato i terreni privi di vegetazione o addirittura impermeabili, quali quelli del tessuto urbano, tendono a trattenere piccolissime quantità di acqua, ed inoltre la presenza di vegetazione aumenta la quantità di acqua dispersa in atmosfera tramite il fenomeno di evapo-traspirazione, ripristinando la capacità di trattenimento dell'acqua da parte dei terreni.

Ai fini dello studio, al rischio di esondazione è stato poi necessario aggiungere altri indicatori per tenere in conto l'inondabilità di un'area:

D) La natura geologica dei terreni. Questo è un fattore perliminare di rischio, in quanto i fiumi ed i corsi d'acqua in generale depositano sedimenti che col passare dei secoli divengono imponenti serie sedimentarie. E' evidente come le zone maggiormente a rischio di esondazione risultino quelle dove è forte la presenza di depositi di natura sedimentaria recente, tali cioè da fornire indicazioni che forme più o meno incisive di esondazione sono avvenute nei secoli addietro.

E) L'accivitè delle aree soggette ad esondazione: se la pendenza dei suoli è sufficiente allo smaltimento verso valle delle acque il rischio di inondazione si riduce notevolmente in quanto con la formazione di vie d'acqua preferenziali, i tiranti di acqua non raggiungeranno valori di pericolosità in aree molto vaste.

F) Altro fattore indubbiamente di rischio per le inondazioni è la prossimità della rete drenante. L'inondazione tenderà a produrre i maggiori effetti in prossimità dei corsi d'acqua da cui le esondazioni possono provenire ed in genere le acque di esondazione, nel loro eventuale percorso verso valle, tenderanno a seguire le linee drenanti di comopluvio, ovvero quelle appunto descritte dai corsi d'acqua.

Tutti i fattori di rischio precedentemente elencati sono riferiti ad aree scolanti di tipo naturale o debolmente antropizzato. Tale situazione diciamo naturale può essere modificata essenzialmente in due casi. Il primo si riferisce alla presenza di serbatoi ed il secondo è relativo a fenomeni locali di inondazione di tipo urbano. Per quanto riguarda i serbatoi, se è pur vero che essi vengono ad alterare il naturale deflusso delle acque, è anche vero che in Italia grandi serbatoi a scopo di laminazione delle piene non esistono, salvo forse il serbatoio di Corbara sul Tevere (circa 200.000 m<sup>3</sup>), che comunque non viene al momento gestito in tale ottica. Poichè i sebatoi in Italia tendono a far transitare le piene indisturbate, al di là della valutazione della probabilità del collasso dei manufatti, che secondo l'autore esula da questo studio, si ritiene opportuno operare per semplicità come se tali serbatoi non esistessero, riservandosi una verifica a posteriori dei risultati in alcune situazioni quale quella del Tevere.

Tutto quanto precedentemente visto può fornire un quadro della probabilità che può essere sostanzialmente considerata come "a priori", determinata cioè sulla base di

informazioni aprioristiche non legate alle osservazioni disponibili. Le probabilità a priori così stimate verranno poi utilizzate come base di partenza per il calcolo delle probabilità a posteriori in funzione delle osservazioni disponibili.

G) Vista la disponibilità di dati di osservazioni di eventi storici di piena organizzati su base comunale e provinciale dal Progetto AVI del CNR-GNDCI, si terrà conto delle osservazioni di piena del passato andando a localizzare sul territorio nazionale gli eventi di piena riportati dalla stampa in un arco di tempo più ampio possibile e comunque ulteriormente aggiornabile.

## CONCLUSIONI

La realizzazione di una carta di rischio di inondazione a scala nazionale è indubbiamente un fatto di grossa rilevanza, se non altro per l'evidenziazione delle aree a maggiore rischio su cui successivamente sia possibile operare in forma più dettagliata.

Si ritiene che il lavoro sin qui effettuato costituisca una ottima base di partenza per la realizzazione della carta di rischio a scala provinciale, ma soprattutto che la metodologia adottata consenta da un lato un affinamento del lavoro, modificando alcuni dei parametri adottati, e dall'altro un aggiornamento continuo della stima delle probabilità a posteriori, sulla base delle frequenze osservate.

Si tenga tuttavia presente che l'estensione, e soprattutto la scala della carta realizzata, pur consentendo l'analisi comparativa delle situazioni di rischio a scala provinciale, non permettono di fornire indicazioni puntuali come ad esempio esondazioni locali urbane, generalmente dovute a problemi di arginatura e tombatura dei corsi d'acqua od a problemi di natura fognaria.

Le prospettive future del presente studio potranno quindi essere sia quelle di un inserimento di parametri di maggior dettaglio, forniti da studi di esondabilità ed inondabilità locale che inevitabilmente verranno effettuati nell'ambito delle attività delle varie Autorità di Bacino, sia quelle dell'inclusione delle analisi di rischio locale di inondabilità riferito alle medie e grandi città.

## BIBLIOGRAFIA

- Anselmo V., Galeati G., Palmieri S., Rossi U., Todini E. 1995. Flood risk assessment using an integrated hydrological and hydraulic modelling approach. Accepted Jour. of Hydrology, in press.
- Bewick D.J. 1988. Guidelines for floodplain management planning studies, second draft, WS Miscellaneous Publication n. 029, Water and Soil directorate MWD, Wellington New Zealand.
- Di Giammarco, P., Todini, E., Consuegra, D., Joerin, F., Vitalini, F., 1994. Combining a 2-D flood plain model with GIS for flood delineation and damage assessment. In: P. Molinaro and L. Natale (Editors), Modelling of flood propagation over initially dry areas., Proc. of the Specialty Conf. ENEL-DSR-CRIS, Milan, 171-185.
- Howe R. H. L. 1960, The Application of Areal Photographic Interpretation to the Investigation of Hydrological Problems, Photogrammetric Eng., vol. 26 n. 1.
- Jaeggi M.N.R, Zarn B. 1990, A new policy designing flood protection. Schemes as a consequence of the 1987 flood in the Swiss Alps. Int. Conf. on River Hydraulics.
- Ministero dell'Ambiente, 1993. Atti della Conferenza Nazionale sul Clima, Firenze.
- Obérlin G. 1990. Inondabilité: un programme pour l'aménagement rationnel des zones inondables. Informations Techniques du CEMAGREF, Dec, n.80, note 5.
- Rossi F., Villani P. 1992 Regional methods for flood estimation. In "Coping with Floods" a cura di G. Rossi, N. Harmancioglu e V. Yevjevich.
- Salas J.D., Ramirez J.A., Rosso R. 1992 Determination of flood characteristics by physically based methods. In "Coping with Floods" a cura di G. Rossi, N. Harmancioglu e V. Yevjevich.
- Témez J.R. 1991. Planificación Hidrológica-Ordenación de zonas inundables, CEDEX, Madrid.
- US Water Resources Council (1972) Flood Hazard evaluation guidelines for Federal executive agencies, Springfield Va. National Technical Information Service.

# VALUTAZIONE DELL'INDICE DI RISCHIO DI INONDAZIONE SU BASE PROVINCIALE

**Cristina TERPESSI**

Dott. Scienze Statistiche -Responsabile Prog. Afraid

**Monica PALANDRI**

Ing.Idraulico

NUOVA-TELESPAZIO S.p.a.

Via Tiburtina 965- Roma

## INTRODUZIONE

Il progetto AFRAID - A FLOOD RISK ANALYSIS for INSURANCE DAMAGES - nasce in ambito assicurativo ed è teso a soddisfare l'esigenza, sempre più sentita, di informazioni sul grado di rischio di inondazioni del territorio italiano.

Il consorzio che lo ha realizzato comprende la compagnia di assicurazione italiana Cattolica, il broker italiano Italre, la compagnia europea di riassicurazioni e partecipante di Mapfre Re, C.I.A.R., la Mapfre stessa e la società Nuova-TELESPAZIO.

L'obiettivo è stato quello di fornire una carta a livello nazionale delle probabilità del verificarsi di inondazioni per le diverse Province Italiane.

Essendo il problema del rischio idrologico un problema di interesse in molte parti del mondo e sicuramente in Europa, nello scegliere la metodologia da utilizzare si è voluto individuare una procedura di validità generale, estendibile ad altre realtà.

Nel presente lavoro viene presentata la metodologia utilizzata spiegando la logica matematica alla quale ci siamo ispirati nel definirla, i dati utilizzati e i risultati ottenuti, esplicitando quest'ultimi per due sole regioni, prese a modello dell'intero territorio.

## DEFINIZIONE DI RISCHIO

La formalizzazione del concetto di RISCHIO in campo ambientale si è sviluppata abbastanza recentemente.

Rimanendo in termini generali, per l'evento calamitoso che si vuole studiare, la letteratura specialistica prevede una definizione di Rischio Integrato che può essere sintetizzata con la seguente espressione:

$$R = H * D$$

dove:

- R indica il rischio di accadimento dell'evento
- H indica l'hazard o probabilità di accadimento
- D indica il danno prodotto dall'evento.

La probabilità di accadimento o HAZARD è legata sia all'analisi storica del fenomeno sia ai fattori che lo influenzano. Consiste nello studio e nella determinazione della distribuzione di probabilità (semplice o condizionata) dell'evento d'interesse.

Il DANNO è la perdita dovuta al realizzarsi dell'evento estremo. La sua quantificazione può essere scomposta, a sua volta, in fattori economici e fattori di vulnerabilità.

Voler classificare il territorio italiano rispetto al "rischio" di inondazioni, inteso come diverso grado di possibilità dell'evento calamitoso, senza quantificare i danni prodotti, che sono ovviamente legati ai principi assicurativi, equivale a voler realizzare una carta tematica che si riferisca, più propriamente, ai diversi gradi di HAZARD.

### QUANTIFICAZIONE DELL'HAZARD

Per associare a ciascuna Provincia italiana un valore di probabilità dell'evento studiato è stato scelto di procedere secondo una logica Bayesiana. Questa filosofia ha la sua peculiarità nell'introduzione del concetto di probabilità "a priori", che viene così definita poiché è indipendente dagli eventi registrati ma riassume ciò che lo studioso conosce, appunto "a priori" sul fenomeno. Si ha la possibilità di combinare quindi, probabilità derivanti dalle osservazioni con informazioni di diversa natura, anche soggettive sull'evento stesso.

Formalmente questa logica può essere riassunta dalla seguente espressione:

$$\text{Prob. a posteriori} = \text{Prob. a priori} * \text{Prob. derivata da osservazioni}$$

Questa logica, che ben si adatta al nostro problema, ci porta ad ottenere la probabilità cercata come integrazione tra una predisposizione del territorio, dovuta a fattori geomorfologici e meteorologici e le informazioni derivate dalla distribuzione storica degli eventi. Infatti se indichiamo con:

$P(x)$  La carta delle probabilità a priori, che indica il grado di pericolosità del territorio rispetto all'evento estremo secondo i parametri riassuntivi delle caratteristiche climatico-territoriali opportunamente scelti.

$O(x)$  La carta derivata dall'analisi degli eventi storici per le varie province che deriva

da osservazioni rilevate e rappresenta la diversa distribuzione storica del fenomeno nonché una visione della distribuzione spaziale dell'incidenza degli eventi sul territorio.

$H(x)$  La mappa finale delle probabilità a posteriori, obiettivo primario del lavoro, che rappresenta il diverso "Hazard" delle province italiane all'inondazione

possiamo scrivere:

$$H(x) = P(x) * O(x) \quad (\#)$$

$P(x)$  può essere a sua volta scomposta in due componenti, una prettamente fisica  $S(x)$  che chiameremo suscettibilità del territorio e che riassume solo i fattori relativi alle caratteristiche fisiologiche del territorio, ed un'altra più propriamente meteorologica,  $M(x)$  che invece deriva dalla spazializzazione dei dati pluviometrici. Ottenendo in definitiva:

$$H(x) = (S(x) \cup M(x)) \cap O(x) \quad (\#\#)$$

Ogni elemento presente nell'espressione  $(\#)$  o  $(\#\#)$  diventa un obiettivo intermedio del presente lavoro, ed è esso stesso un prodotto finito ed informativo.

## METODOLOGIA OPERATIVA

Essendo già state esposte nel precedente intervento le ragioni teoriche che sono alla base degli indicatori utilizzati nello studio, ci sembra opportuno soffermarci sulle metodologie operative che hanno portato alla costruzione della Flood Hazard Map.

Per dare una panoramica completa del lavoro svolto è bene riassumere i passi principali dell'intera procedura, passando poi al chiarimento di ciascuno.

La realizzazione della Flood Hazard Map può essere sintetizzata secondo i seguenti passi:

- individuazione dei fattori che meglio descrivono la predisposizione del territorio a problemi di inondazioni e scelta dei parametri utili alla loro descrizione;
- classificazione di ciascun parametro secondo il diverso grado di pericolo e attribuzione dei pesi a ciascuna classe;
- elaborazione della carta di suscettibilità del territorio  $S(x)$  mediante somma dei fattori che la determinano
- elaborazione della carta pluviometrica  $M(x)$  mediante spazializzazione del parametro pluviometrico

- elaborazione della carta relativa al rischio climatico-territoriale  $P(x)$  mediante sovrapposizione della carta di suscettibilità del territorio e della carta pluviometrica
- analisi degli eventi storici e costruzione della carta di incidenza storica  $O(x)$
- realizzazione della combinazione finale  $H(x)$

Una volta scelti quindi i parametri che maggiormente determinano il rischio di calamità idrologica, vengono individuate le classi di variazione di ciascun parametro entro cui si può ipotizzare che l'influenza sul rischio finale sia costante. A ciascuna classe viene attribuito, in una scala da 0 a 100, un valore di rischio, o peso, che concorrerà nella determinazione dell'hazard finale.

### INDICATORI UTILIZZATI

Gli strati informativi di maggiore incidenza sugli eventi alluvionali individuati possono essere riassunti nei seguenti:

- RETE IDROGRAFIA
- ALTIMETRIA
- GEOLOGIA
- USO DEL SUOLO
- PLUVIOMETRIA

Per ciascun strato si è scelto un parametro sintetizzante il rischio connesso, prendendo in considerazione la disponibilità dei dati di input. In particolare sono stati utilizzati:

per l'idrografia	la distanza dai fiumi
per l'altimetria	il grado di pendenza
per la geologia	l'indice di alluvium
per lo stato dei terreni	l'uso del suolo
per la pluviometria	i massimi di pioggia con durata 24 ore e tempo di ritorno 100 anni

Per la memorizzazione ed elaborazione dell'intero set di dati è stata utilizzata una stazione SUN con disponibili i software ERDAS, ARC-INFO e GRID di ARC.

### IL MODELLO DIGITALE DEL TERRENO

Parte delle elaborazioni è stata eseguita con l'ausilio del modello digitale del terreno. Il DEM consiste in una immagine o griglia i cui elementi quadrati (PIXEL) oltre a

essere georeferenziati, hanno associato il valore di altimetria reale.

Nel presente progetto è stato utilizzato il modello digitale del terreno ottenuto dalla rasterizzazione (ovvero riporto ad un formato immagine) delle curve di livello estratte dai foglio 1:25.000 del Istituto Geografico Militare. Esso ha una risoluzione spaziale o grandezza del pixel, unità elementare che lo compone, di 250 metri x 250 metri.

Nella Fig. 1 è visualizzato il DEM dell'Italia. I diversi colori delle celle rappresentano i valori altimetrici delle celle.

La disponibilità di un DEM su tutta Italia e la possibilità di processarlo con un sistema informativo territoriale (G.I.S.) ci ha permesso di elaborare altre informazioni tra cui il reticolo idrografico e le curve spartiacque dei relativi bacini imbriferi (Fig. 2).

### L'ACCLIVITA' DEL TERRENO

La pendenza dei versanti è stata ottenuta mediante il confronto del valore altimetrico di celle limitrofe del DEM.

La Fig. 3 presenta l'immagine relativa ai valori di pendenza ottenuti, espressi in percentuale (100% = 45°). Essi si riferiscono ad una risoluzione spaziale uguale a quella del modello digitale del terreno utilizzato (250m x 250m,), la suddivisione in classi è stata eseguita in funzione della diversa predisposizione all'evento oggetto di studio.

La suddivisione in classi e i relativi pesi associati ha tenuto conto che valori di pendenza al disotto del 5% corrispondono a terreni in pianura, che tra il 5% e il 12% le pendenze non influenzano la stabilità dei suoli, che il 22% è il limite di pendenza per le coltivazioni intensive meccanizzate e il 32 % è il limite per l'impiego dei mezzi meccanici.

### DISTANZA DAI FIUMI

Conoscere quanto una parte di territorio dista da un fiume ci permette non solo di sintetizzare un rischio dovuto appunto alla prossimità del pericolo ma anche di inserire delle informazioni sulla densità stessa della rete idrica in quella zona. La quantità di aree vicine al reticolo aumenterà, all'aumentare dei fiumi presenti in quella zona. Considerando che quando un evento di piena porta all'inondazione dei suoli limitrofi ai fiumi interessati, raramente raggiunge distanze maggiori del chilometro, sono state considerate a rischio solo le zone molto vicine al reticolo idrografico.

### L'USO DEL SUOLO

Le modalità di formazione delle piene, la quantità di volume di inondazione ed il comportamento delle acque superficiali nello scorrimento sono influenzati dal tipo di

copertura dei suoli.

Una dettagliata ed esaustiva informazione sul tipo di utilizzo dei suoli dell'intera nazione è stata ricavata mediante utilizzo di tecnologie di Telerilevamento che, tramite algoritmi automatici di classificazione di immagini, permettono l'assegnazione di ciascun elemento territoriale ad una delle classi di uso del suolo di interesse, è stato possibile avere a disposizione una carta tematica aggiornata delle diverse classi di utilizzo del suolo di tutta Italia. Le immagini utilizzate per il riconoscimento automatico delle colture sono state quelle relative al satellite Landsat 5 e si riferiscono ad una risoluzione a terra pari ad un chilometro. Anche per questa carta si sono associati i diversi pesi in funzione del diverso comportamento delle classi rispetto a fenomeni di piena o inondazioni. Nella Fig. 4 è riportata la carta dell'uso del suolo utilizzata.

## GEOLOGIA

Per estrarre informazioni sulle caratteristiche geologiche dei suoli è stata opportunamente interpretata e digitalizzata la carta geologica d'Italia a scala 1: 500.000 del Servizio Geologico Nazionale. Sono state riconosciute tutte quelle zone che storicamente sono state oggetto di depositi alluvionali. In questa fase di studio, era di interesse discriminare solo questo tipo di informazione per cui il rischio massimo derivante dalla geologia è stato assegnato proprio alle zone di alluvium, peso pari a 100, associando alle restanti superficie un peso pari a 10.

## PLUVIOMETRIA

Il parametro utilizzato in questa fase è stato il valore massimo di pioggia di durata 24 ore con tempo medio di ritorno 100 anni. Sono stati utilizzati i dati del progetto VAPI del C.N.R., che forniscono per un numero rilevante di stazione i valori del suddetto parametro. Le informazioni note nei punti a cui corrispondono le stazioni meteorologiche di riferimento sono state spazializzate, ovvero riferite a delle aree e non solo ad alcuni punti, utilizzando il metodo del Kriging che, sulla base dello studio dell'autocorrelazione spaziale del fenomeno, calcola i pesi da attribuire ai valori noti nel ricostruire i dati mancanti sull'intera griglia di interesse.

Nella Fig. 5 viene proposto un esempio del risultato di questa spazializzazione, per un'area che ricopre il Piemonte, la Lombardia, la Val D'Aosta, il Trentino, l'Emilia-Romagna e le Marche e che si riferisce ai dati relativi a 662 stazioni meteorologiche.

La carta così ottenuta ci fornisce un'indicazione sul regime pluviometrico del territorio e ci permette di passare al calcolo degli indici di portata che a loro volta dipendono dall'altezza di pioggia ma anche dalla grandezza del bacino interessato e dal tempo di corrievazione derivante. Per ottenere questi parametri è indispensabile disporre

della carta del reticolo idrografico (Fig. 2) e dei sottobacini ad esso relativi individuati in particolari sezioni di chiusura.

Nelle Fig. 6a e 6b sono riportate le curve spartiacqua dei bacini e dei sottobacini per le due regioni su cui presenteremo anche i risultati finali: Piemonte e Marche. La scelta delle due regioni è stata motivata dalla differente risposta idraulica. Il passaggio alla scala regionale è utile anche per una migliore visualizzazione delle informazioni e ci consente uno zoom visivo delle cartografie presentate a scala nazionale.

Per tener conto del tempo di corrievazione dei bacini ovvero del tempo di arrivo alla rete delle particelle d'acqua, il valore di pioggia medio dei bacini di valle è stato ricavato come l'integrale di tutte le piogge dell'area scolante di monte. Per questo è stata effettuata una gerarchizzazione delle aste fluviali. All'interno di ciascun bacino idrologico è stato attribuito il livello 1 a quei sottobacini che risultavano a monte di tutti gli altri, il livello 2 a quelli in cui confluivano le acque dei sottobacini di livello 1, e così via fino a raggiungere il sottobacino a valle a cui è stato attribuito il livello maggiore.

A tutte le celle appartenenti al bacino di primo livello è stato attribuito il valore di pioggia medio rispetto all'area del sottobacino stesso. A quelle appartenenti ai sottobacini di ordine superiore è stato attribuito il valore di pioggia medio relativo al sottobacino stesso e ai sottobacini che gli confluiscano. Ogni media di pioggia massima così calcolata viene inoltre moltiplicata per un fattore che considera la non contemporaneità dell'evento pioggia sull'intero sottobacino, e che quindi dipende dall'area dei sottobacini a cui si riferisce. La media risultante da questa ricalibrazione si ridurrà tanto più quanto più è grande l'area a cui si riferisce. Il fattore utilizzato infatti è dato dalla seguente espressione:

$$F = 1 / (1 + aA^b), \quad a = 0.007596, \quad b = 0.4639, \quad A = \text{area bacino in } \text{Km}^2$$

Per riportare il valore di pioggia medio del sottobacino ad un indice di portata al colmo è stato considerato il rapporto tra grandezza del sottobacino e lunghezza dell'asta principale ottenendo un fattore di trasformazione pari a :

$$1.40 * A^{0.568}$$

A differenza del valore di pioggia massima, questo indice si riferisce all'intero sottobacino per il quale è stato calcolato. Anche questo fattore informativo è suddiviso in diverse classi di rischio alle quali poi sono stati attribuiti i diversi livelli di peso.

### CARTA DELLA SUSCETTIBILITÀ DEL TERRITORIO

Un primo interessante risultato si ottiene sommando, per ciascuna cella base di 250 metri x 250 metri i primi quattro fattori. La carta ottenuta, che è stata denominata carta di

suscettibilità  $S(x)$ , ci fornisce indicazioni sulle zone che risultano a rischio dal punto di vista prettamente territoriale.

Per avere una visione sintetica della variabilità di questa carta è stata costruita una tabella dove sono riportati tutti gli strati informativi considerati con i relativi pesi. Dall'analisi di tali valori è stata scelta una soglia di suscettibilità pari a 260. Estraendo queste aree è stato eseguito un confronto delle due regioni esaminate rispetto alla diversa suscettibilità del territorio, ottenendo la situazione riportata nella Fig. 7.

### CARTA DELLA PREDISPOSIZIONE DEL TERRITORIO O DELLE PROB. A PRIORI

Con l'aggiunta dello strato relativo al diverso regime pluviometrico si vengono ad individuare le zone realmente pericolose per l'evento inondazione.

I dati sono stati sintetizzati a livello provinciale mediante media ponderata. In Fig.8 è riportata la carta delle probabilità di inondazione che visualizza all'interno di ciascuna provincia, le zone a maggior rischio.

### ANALISI DEGLI EVENTI STORICI

Dall'analisi dei dati relativi al progetto AVI (GNDCI) è stato estratto un indice di incidenza storica per ciascuna provincia interessata, considerando la frequenza relativa degli eventi di inondazione rilevati dal 1918 al 1990.

Questa analisi, oltre a rendere aggiornabile la carta prodotta, serve anche ad inserire nello studio le informazioni locali trascurate sotto forma di effetti provocati, si pensi ad esempio alla cementificazione degli alvei.

La probabilità di occorrenza è riportata nella seguente tabella:

Provincia	Freq.Rel.
ALESSANDRIA	0.350
ASTI	0.061
CUNEO	0.100
NOVARA	0.040
TORINO	0.039
VERCELLI	0.039
ANCONA	0.160
ASCOLI PICENO	0.070
MACERATA	0.057
PESARO	0.069

## CARTA DEL RISCHIO DI INONDAZIONE

Moltiplicando la probabilità a priori per la frequenza degli eventi storici, come abbiamo indicato nell'espressione (\*), otteniamo la Flood Hazard Map desiderata, che per le regioni scelte viene riportata nella Fig. 9.

## BIBLIOGRAFIA

- Tarboton D., Bras R., Iturbe I., (1991), On the extraction of channel networks from digital elevation data, *Hydrological Processes*, vol.5, 81-100.
- Jenson S., Domingue J., (1988), Extracting Topographic Structure from digital elevation data for geographic information system analysis, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol54, No.11, Nov 1988, 1593-1600.
- Richards J.A., (1986), *Remote Sensing Digital Image Analysis*, Springer-Verlag, Berlin.
- Cressie N. A. C. (1991), *Statistics for Spatial Data*, John Wiley & Sons, New York.
- Anderson T.W., (1984), *An Introduction to Multivariate Statistical Analysis*, Advisory Editors, Canada.
- CNR - GNDI (1994), Rapporto di sintesi Progetto AVI: Censimento delle Aree Italiane Vulnerate da Calamità Idrogeologiche

PRESENTATION  
OF THE CONSORTIUM MEMBERS

\* \* \*

CATTOLICA

Cattolica, an Insurance Company that occupies, on the Italian market, for the invoiced, the 14th position in the non life branch on 185 Companies and the 17th position in the life and non life branches on 261 Companies.

She has been founded as a cooperative, with about 8.000 shareholders, just to-day, proud for her unicity, is present since 1896 on the Italian insurance branch.

Cattolica's strategy, pointed on quality and client's service, is inspired from precise marketing selections, but also suggested from origin, tradition and principles which have characterized her hundred-year-old history.

Marketing choises are clear: a prevailing attention to the Person, her health, her good's protection, the liability which may be attributed to her, her providence needs.

The protection demands of the individual -as intended of such or as a member of a family- are guranteed by trasparent and articulated product lines, in order to allow an immediate understanding and a real person's adaption to the client.

The person's security extends to the protection for the job's risk too: professional jobs, artisan activities, business, agriculture, in a true relation "entrepreneur to entrerpeneur".

In such an optics, in the sign of a centenarian tradition, Cattolica sharpes constantly her "know-how" in the branch of cover of medium and big firms too, in the Industry and Mercantile and offers, by a specialized Farm and Big Clients Division, personalized solutions whether in the specifically technical field or in the risk-management's field.

"Cattolica System" is moreover making a provision for a deep integration with the distribution structure.

Conscious that the improvising, in a so delicate field as that of security, can bring disagreeable surprises, Cattolica put at disposition of the Client a net of Agents of high professionalism who always are alert to the quality of service.

In coherence with such trend operates the Professional Training Service, by that "Cattolica System" can answer on actual time, through actions specifically planned in order to meet any criticism, whether at distribution net's level or at level of operative Divisions of the firm.

Experts can guarantee competence, consultation and treatment on all the national territory.

The capillarity of the distribution net of Cattolica consents to the Client Person/Firm

to take advantage in all Italy to an adjunctive value and to a human relation, which go over the traditional concept of insured-number, so finding precise answers to each specificity.

N° of contracts (Policies at 7 June '95): 1.135.000, spread in 917.000 for the Person, 218.000 the Firm Linea Aziende.

Invoiced (Million Lit / year)

Year	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Amount	317,000	365,000	420,000	484,000	552,000	636,000	675,000	722,000

## CIAR

CIAR was set-up in 1975 by four mutual insurance companies from different countries, wishing to diversify their activities at an international level. Since then participation in the company's capital has been extended and to date its shareholding is made up of seven insurance groups:

- MAPFRE RE (Spain)
- SOCIETA' CATTOLICA DI ASSICURAZIONI (Italy)
- VAUDOISE ASSURANCES (Switzerland)
- BUNDESLANDER (Austria)
- SHELTER (U.S.A.)
- MAAF (France)
- CENTRAL BEHEER (ACHMEA Group, The Netherlands)

These companies, Partners of CIAR, represent together a premium volume of about 9,6 billion ECU and total assets of nearly 27 billion ECU.

MAPFRE System is since 1989 CIAR's majority shareholder and within MAPFRE's Reinsurance Unit CIAR is the company responsible for the development in Europe.

In 1994 CIAR wrote gross premium of BEF 2,903 million and realized pre-tax profits of BEF 61,200 million. Shareholder's funds amounted at 31.12.94 to BEF 1,290 million.

## ITALRE

ITALRE S.r.l. is an italian reinsurance broker. It was set up in 1987 and is entirely owned by the Management.

During these years the company built up a considerable portfolio in reinsurance business in Italy and abroad, both directly and through the fully controlled subsidiary ITALRI INTERNATIONAL LTD.

Currently, ITALRE's activity spreads through eighteen countries with almost one hundred insurance and reinsurance companies.

Hereinafter are summarized the main data about the premiums negotiated for the past two years.

### PREMIUM PORTFOLIO (1995 vs 1994)

	<u>1995</u>	<u>1994</u>
TREATY	89,43 %	87,44 %
FACULTATIVE	10,57 %	12,56 %
<hr/>		
TOTAL	100,00 %	100,00 %
<hr/>		
PROPORTIONAL	78,18 %	83,72 %
NON PROPORTIONAL	21,82 %	16,23 %
<hr/>		
TOTAL	100,00 %	100,00 %
<hr/>		
PROPERTY	55,54 %	45,82 %
AGRICULTURAL RISKS	12,94 %	18,20 %
BONDS	11,72 %	13,84 %
PERSONAL ACCIDENT-SICKNESS	13,62 %	17,73 %
OTHERS	6,18 %	4,41 %
<hr/>		
TOTAL	100,00 %	100,00 %

Beside Reinsurance and Reinsurance consultancy, the activity of ITALRE has been widened and with a major part of the resources of the firm assigned to research and professional updating.

As a matter of fact, a Research and Data Analysis Office is operative since 1992. It is in charge of specific reports on the insurance and reinsurance markets for the clients of the countries where ITALRE operates.

In 1993 ITALRE started to co-operate with the School of Management of Luiss Guido Carli University both scientifically and as a sponsor and particularly for the "General Insurance Specializing Course", whose third edition is currently taking place.

ITALRE has been contributing to the "Notiziario Assicurativo" for ten years, in particular for the preparation of the special issue in occasion of the Rendez-Vous of MonteCarlo, the most important annual meeting in the re-insurance world.

The presence of ITALRE in the Consortium of the "A.F.R.A.I.D." project is the natural development of a research about floo risk in Italy which started in 1993. This is the first time that a sinergy is carried out between the insurance field and the satellite data processing industry. In our opinion this synergy has a considerable potential of development in the next future.

For further information, please contact:

Dr Corrado Jamnikar ITALRE SRL - Via G. Paisiello, 47/C tel 06/8414200 - fax 06/8840415.

## MAPFRE

The MAPFRE System is Spain's leading Insurance and Reinsurance Group. It is also active in banking and finance, real estate development, technology and other services.

The ultimate company is MAPFRE MUTUALIDAD, a mutual motor insurance company with over 2,5 million policyholders. Its mutual character guarantees the Group's independence and the principles of business ethics included in its statutes apply to all subsidiary companies.

Some of the basic principles on which the development of the MAPFRE System has been based are the following:

- Bringing the services as close as possible to the client
- Complete service of high quality
- Technical and administrative specialisation
- Permanent flexibility and structural adjustment
- Independent audit, consolidation and transparency throughout the System

The various Entities composing the MAPFRE System are grouped into Operating Units. MAPFRE RE is the company responsible of the Reinsurance Unit which operates through subsidiary and Branches on worldwide basis.

In 1994 MAPFRE's Reinsurance Unit has realized pre-tax profit of ESP 3,103 million, while gross written premiums reached ESP 82,553 million. Consolidated Shareholder's funds at 31.12.94 were ESP 18,673 million.

In accordance with its mutual connotation, the MAPFRE System has also created a group of Foundations through which part of its profits are employed for purposes of social interest.

## NUOVA TELESPAZIO S.p.A.

Nuova Telespazio, with a share capital divided equally between STET and Telecom Italia, operates on the domestic and international markets, providing the necessary support for satellite businesses. The size of this new company is designed to offer greater operational agility on the markets, allowing it to focus on specific services while maintaining intact the technological and systems expertise acquired in the satellite field by the former Telespazio. The company creates and manages systems for satellite links, including the broadcasting and delivery of television signals. It develops and markets spaceborne earth observation systems, acquiring and distributing remote sensing data from every available satellite, and develops all kinds of applications for territorial and environmental purposes. Nuova Telespazio is also active in the field of command and in-orbit operation of satellites, as well as in the field of communications.

In details, Nuova Telespazio maintains its portfolio of lines of business that, while having the same common denominator of space, embrace sectors with different and complementary lines of development. These are:

- TELECOMMUNICATIONS
- TV AND MOBILE COMMUNICATIONS
- REMOTE SENSING AND ENVIRONMENTAL INFORMATION
- SPACE SYSTEMS AND IN-ORBIT SUPPORT
- STUDIES AND SPACE SEGMENT

In each of the above-mentioned sectors, the company has achieved a position of leaderships with highly important projects.

A special space technology application concerns earth observation. In this field as well, Nuova Telespazio has assumed a role as leader in Europe, carrying out its function as national remote sensing centre, and receiving, processing, and delivering data transmitted by the LANDSAT, SPOT, MOS-1, and the latest ERS-1 satellites.

Of particular importance is Nuova Telespazio's commitment in the field of Environmental Information, for creating databases that can be updated by satellite, and in the field of research into future applications. Satellite data and information are indeed extremely important elements for defining forecasting and intervention strategies for environmental protection.

The activities of Nuova Telespazio S.p.A. in the area of remote sensing and Environmental Information involve information in its entire development, from its reception by the satellite to the creation of systems with integrated data from multiple sources for environmental observation and monitoring.

Nuova Telespazio's major activities in this sector are as follows:

- reception, acquisition, and pre-processing of satellite data for remote sensing;
- delivery of satellite data for remote sensing;
- procedures for environmental observation and monitoring;
- environmental applications
- creation of environmental remote surveillance and monitoring networks.

These activities have placed Nuova Telespazio at the forefront in the area of territorial protection and observation, fully responding to the need to monitor the environment and its changes over time that has come to be felt quite strongly in Italy and by the international community. Indeed, spaceborne remote sensing is a primary source of information in this sector. Experience has shown that using satellite data supplemented by ground data, where possible, has the double advantage over conventional techniques of providing information that is more homogenous in time and space, and of offering the same accuracy at a lower cost.

# DRAFTING A PROVINCE-BASED FLOOD RISK INDEX MAP

by Prof. E. TODINI

Vice-President

Internazional Association of Hydrological Sciences

Istituto di Costruzioni Idrauliche

Università di Bologna

## THE FLOODING PROBLEM

The problem of flooding is as old as time. However, while natural flooding of large areas did not create situations more dangerous than others in a prehistoric world, the expansion of human activity and cities has made preventing damage caused by floods or harnessing overbank flows for one's own purposes as in ancient Egypt a necessity that remains vital to this day.

From the end of the eighteenth century onwards, with the advent of the industrial age, there have been two courses of action: hydraulic works on the territory, such as land reclamation works, which in many cases upset a land's balance dependent on overflow, and the channelling of watercourses, especially in mountain and foothill sections, with the result that the problem of flooding is brought downstream even to areas that were originally protected.

Lastly, recent years have seen booming population and indiscriminate urbanization create extremely dangerous situations, with floodplain areas that are inhabited, or that even house entire neighbourhoods sheltered by levees that are not particularly safe during prolonged periods of flooding, especially in the case of downward sloping rivers like the Po.

The flood problem is by no means limited to Italy. It is a global problem that has been increasing at a worrisome pace in recent years. A brief analysis of the following tables, which respectively show trends in flood-related damage (Fig. 1, in billions of dollars), number of people stricken (Fig. 2, in millions), and number of deaths (Fig. 3, in thousands), provides an idea of how serious the situation is.

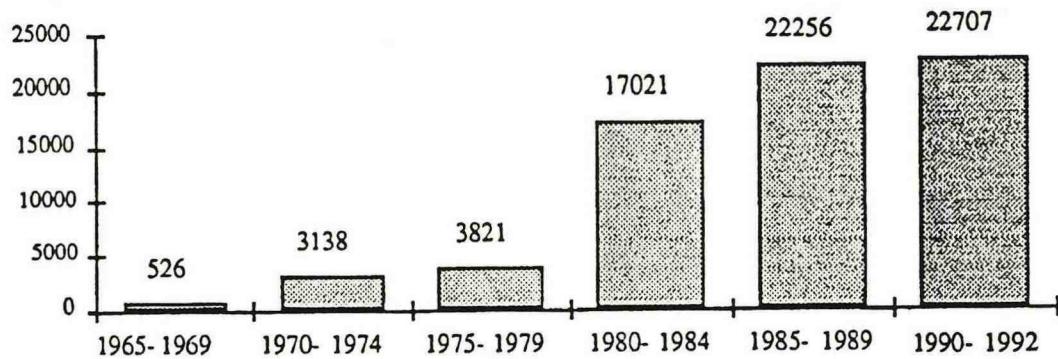


Fig. 1: Flood-related damage worldwide, in billions of dollars.

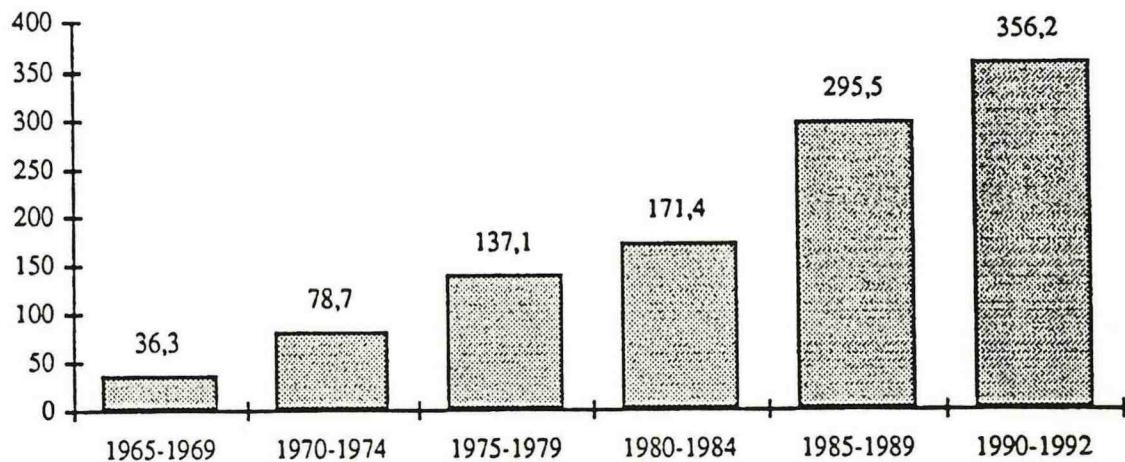


Fig. 2: Number of people stricken by floods worldwide, in millions

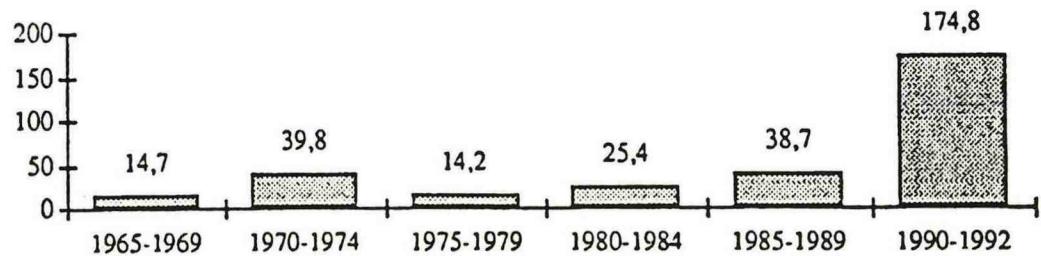


Fig. 3: Flood-related deaths worldwide, in thousands.

This upward trend was if anything more pronounced in Europe, where damage was quite high-amounting to approximately one-fifth of the total (Fig. 4, in billions of dollars).

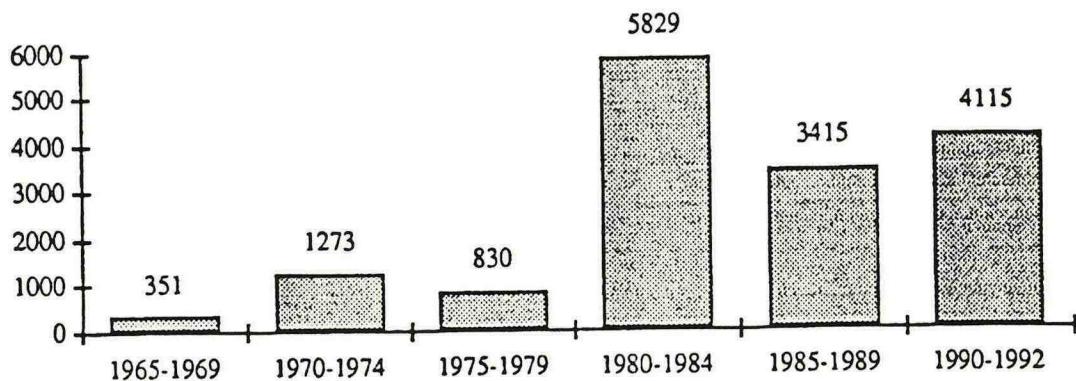


Fig. 4: Flood-related damage in Europe, in billions of dollars.

Lastly, table 1 estimates direct damage in the region of Piemonte, without taking into account indirect damage such as loss of jobs, services, production capacity, as well as damage to society and to the economy as a whole.

Damage to industry	US\$ 3,300 million
Damage to farming	US\$ 1,300 million
Damage to trade	US\$ 2,200 million
Damage to the railways	US\$ 530 million
Damage to the road network	US\$ 100 million
Number of deaths	70
Number of people stricken	>2,000
Number of jobs lost	12,000

Table 1: Damage in Italy (Piemonte) in November 1994

#### VARIABILITY OF CLIMATE AND RAINFALL

Damage will rise inexorably in the years to come, partly due to the greater risks posed by larger urbanized areas, and partly due to climatic changes taking place.

The considerable amount of carbon dioxide in the atmosphere, which is produced mainly by the combustion of hydrocarbons, exacerbates the greenhouse effect increasing the Earth's capacity to retain the long-wave radiation that it produces as a black body subjected to solar radiation. This radiation cannot be released into space, thereby upsetting the balance of energy trapped by the Earth and increasing the amount of available heat

the balance of energy trapped by the Earth and increasing the amount of available heat (Italian Ministry of the Environment, *Conferenza Nazionale sul Clima, 1993*).

While we shall not dwell on the long-standing dispute as to the effects of this increased available energy and heat, one issue is nonetheless of interest as regards the flood problem. In the same way as evaporation and turbulence increase when the fire under a pot is turned up, increased available energy leads to greater evaporation (and therefore a greater quantity of water vapour available for rain) and greater atmospheric vorticity-with increased space-time variability of rain frequency.

In other words, the greenhouse effect will result in longer and more frequent rainy and/or drought periods, and rainfall and discharge extremes will be accentuated. Flooding will increase accordingly. This can be already observed by the trend of data in recent years shown in figures 1, 2, and 3.

## METHODS FOR EVALUATING FLOOD RISK

The study and evaluation of flood risk are generally based on a two-stage procedure.

During the first stage (Rossi et al.,), the statistical probabilities are assessed of the hydraulically-determined stage-discharge characteristic of the section of watercourse in question being exceeded, thereby bringing about overbank flow (propensity for overbanking). During the second stage, the surrounding territory's greater or lesser capacity to eliminate water (propensity for flooding) is evaluated based on hydraulics.

In other words, on the one hand, the level of danger of the watercourse must be evaluated, and this depends essentially on three elements:

- 1) Rainfall in the upstream basin;
- 2) The geomorphological features and use of the upstream basin;
- 3) The hydraulic features of the section in question.

Once it has overflowed its embankments, the water may be discharged downstream and reenter the riverbed without causing excessive damage, or it may spill into the surrounding territory with no possibility of draining away, thereby rising to levels capable of causing damage to people and property. This drainage capacity is analyzed using hydraulic parameter-based two-dimensional mathematical models to identify the three elements essential to evaluating possible damage: the maximum water level reached, the velocity of the water, and the amount of time it remains in a given area (Di Giammarco et al. 1994).

Examples of overflow risk evaluation can be found in most basin maps, but evaluation of a territory's being flooded by a waterway requires a considerable amount of work, and in most countries is only carried out for particular risk areas and not throughout the territory.

In the United States (US Water Resources Council, 1972), a standard procedure was outlined to produce risk maps. In short, the elements to be considered are as follows:

- 1) The 100-year flood was taken as reference discharge;
- 2) The risk area is the area flooded by the reference discharge;
- 3) The waterway is the portion of the risk area that allows the elimination of the reference discharge, with the waters rising no more than one foot;
- 4) The borders of the waterway on the other hand consist of those areas comprised between the waterway and the boundaries of the risk area.

With some modifications to these concepts, United States insurance companies have produced the Insurance Premia Flood Map.

England and New Zealand have also taken the 100 year flood for their definition of risk. New Zealand subsequently adopted a depth and velocity-based hydraulic calculation method (Bewick, 1988) similar to the one adopted in Switzerland (Jaeggi, 1990).

Spain has completed a general evaluation of risk areas, and is defining mapmaking criteria. Here as well, the flood with a 100-year return period and a depth and velocity-based criterion have been adopted (Témez.,1992).

In France, the Ministry of the environment has launched the project Plans d'Exposition aux Risques Majeurs d'Inondation (PERI) to produce risk maps on the scale of 1:10,000. France subsequently developed a method that also takes into consideration the differentiated level of protection to be ensured in accordance with the areas in question (for example, lower protection in the rural areas, and higher protection in the areas of high urban concentration) (Obérlin, 1990).

Lastly, Italy's Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI), after having completed a nation-wide study on the methods for evaluating rainfall and swelling over a given cycle (Project VAPI), has completed a historical study using articles found in the national and local press, on the frequency of flood events (Project AVI).

## THE NATURE AND GEOMORPHOLOGICAL CONFIGURATION OF WATERSHEDS

Given the aims of this study, to identify the possibility indicators of flood formation, considering the fact that we cannot use realistic rainfall/rainoff models, a rain index expressed in terms of maximum rainfall in 24 hours over a 100-year cycle was combined with a basin size index, thereby turning the rain index into an index of maximum peak discharge.

The choice was made for maximum 24 hours rainfall taking into account both the size of the scale proposed in the study and the fact that it was the most easily-found piece of information. As regards the index for conversion into the maximum peak discharge, a geomorphological indicator connected with the size of the watershed, as will be seen below, was considered valid.

The combined effects of a watershed's climate and geology determine erosional processes, thus giving rise to the different morphological features of valleys and

Figure 5 illustrates some observed examples of different morphological features in water drainage networks (R.H.L. Howe, 1960), while figure 6 shows the correlation between the area of the basin and the length of the main axis provided by numerous authors in the form:  $L = 1.40 A^{0.568}$ .

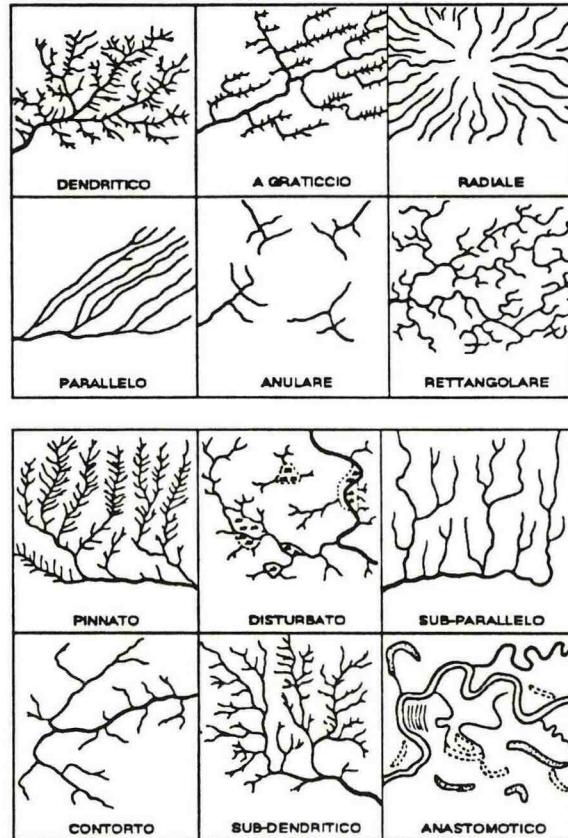


Fig. 5: Examples of different watercourse network layouts

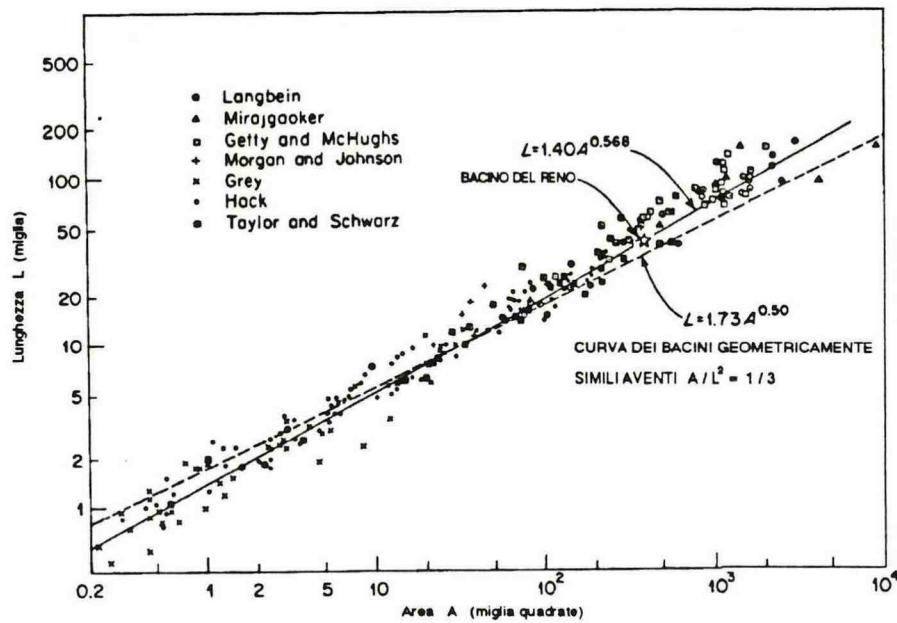


Figure 6: Relationship between area and length of basin

The length index now expressed was the one that makes it possible to synthesize the watershed layout's effect on peak capacities, as shown by a variety of variously-used empirical formulas that connect discharge at peak capacity with the intensity of rainfall and the surface of the watershed, the latter being raised to an exponent that is little different from that of the length index.

Therefore, while we shall not go into a level of detail requiring an in-depth analysis of the hydrographic network (Salas et al. 1992) or appropriate rainfall/rainoff models (Anselmo et al. 1995), the length index was used as an indicator to transform the rain index into the index of discharge at flood peak capacity.

#### INDICATORS ADOPTED IN THIS STUDY

To derive the indices to be used in this study, it was assumed that a method should be adopted meeting the following basic criteria:

- 1) it must provide province-level flood risk indices;
- 2) it must be extremely simple and extendible throughout national territory;
- 3) it must make it possible to update the probabilities estimated on the basis of the observed flood frequency.

Based on the foregoing, and to respond to procedural necessities, the factors that influence flood frequency can be summed up as follows:

A) Rainfall, or the probability that there will be intense rain of a duration comparable to a given period of time characteristic of the drainage area-generally referred to as "lag time." The greater the drainage area, and the lesser the acclivity, the longer the lag time will be, ranging from a few minutes in urban areas to hours in sub-basins from 100 to 1,000 square kilometres, to one or two days for larger drainage basins.

B) The geomorphological configuration of the drainage basin. Clearly, a steeper basin tends to concentrate water more rapidly. This phenomenon is even more influenced by the nature of the soil and the vegetation cover since a considerable portion of the rainfall can be trapped by soil and vegetation. The latter, particularly in the case of wooded areas, offers the further advantage of creating a layer of humus on the soil that is highly capable of holding back and delaying the downstream flow of an additional quantity of water.

C) Soil use, particularly where there is no vegetation, can have a great effect on flood development, since lands that are without vegetation-or even waterproof, such as in the urban fabric-tend to retain very small quantities of water, not to mention the fact that the presence of vegetation increases the quantity of water that escapes into the atmosphere through evapotranspiration, restoring the land's ability to retain water.

For this study, it was necessary to add other indicators to that of flood risk in order to examine an area's propensity for flooding:

D) The geological nature of the land. This is a preliminary risk factor, since rivers and water courses in general deposit sediment that over the centuries become imposing sedimentary sequences. Clearly, higher-risk areas are those where there is a strong presence of recent sedimentary deposit, that is, of a kind indicating that more or less severe flooding occurred in past centuries.

E) The acclivity of areas subject to flooding: if the slope of the soils is sufficient to drain water downstream, the flood risk is considerably reduced, because when preferential waterways form, water will not reach danger levels in very large areas.

F) Another undoubtable flood risk factor is the proximity of the drainage network. Flooding will tend to produce greater effects near watercourses that can give rise to overflows, and in general, flood waters travelling downstream will tend to follow the compluvium drainage lines, or those defined by the watercourses.

All the above factors refer to natural or slightly man-affected drainage areas. This "natural" situation can be modified basically in two cases. The first regards the presence of reservoirs and the second concerns local urban-type flooding phenomena. As regards reservoirs, although they alter the natural outflow of the water, Italy has no large reservoirs for flood reduction, except perhaps for the reservoir of Corbara on the Tever (approximately 200,000 m<sup>3</sup>), which at the present is not being used for this purpose. Since Italy's reservoirs tend to let flood waters pass undisturbed, aside from evaluating the probability of the collapse of manufactured works-which this author believes lies outside the scope of this project-it would be appropriate for our purposes to act simply as if these reservoirs did not exist at all, and to examine the outcome of certain situations, such as the

Tiber, on an *a posteriori* basis.

The foregoing can provide what is basically an *a priori* framework of probability, that is, determined on the basis of *a priori* information unconnected with available observations. *A priori* probabilities estimated in this way will then be used as a point of departure to calculate *a posteriori* probabilities based on available observations.

G) Considering the availability of data on observations of historical flood events organized on a municipal and provincial basis by the CNR-GNDCI AVI Project, observations of past floods will be taken into account, pinpointing on national territory the flood events reported on in the press over as long as possible-and at any rate extendible-a period of time.

## CONCLUSIONS

Without a doubt, it is highly important to produce a nation-wide flood risk map, if only to highlight the higher-risk areas on which to operate in a more detailed manner at a later time.

Work carried out to date should make an optimal starting point for producing a provincial-scale risk map. Above all, the methods adopted will make it possible to refine the work by modifying some of the parameters adopted, and to continuously update the estimation of probabilities *a posteriori* on the basis of the frequencies observed.

It should however be kept in mind that the extent-and above all the scale-of the map, although permitting comparative analysis of risk situations on the provincial level, do not make it possible to produce point-specific indications, such as local urban overflows, that are generally due to problems of embanking and dyking watercourses, or to drainage problems.

The future outlook for this study can therefore be that of introducing more detailed parameters provided by local overflow and flood propensity studies that will inevitably be carried out as part of the activities of the various River Authorities, and of including flood risk analyses for medium-sized and large cities.

## REFERENCES

- Anselmo V., Galeati G., Palmieri S., Rossi U., Todini E. 1995. Flood risk assessment using an integrated hydrological and hydraulic modelling approach. Accepted Jour. of Hydrology, in press.
- Bewick D.J. 1988. Guidelines for floodplains management planning studies, second draft, WS Miscellaneous Publication n. 029, Water and Soil directorate MWD, Wellington New Zealand.
- Di Giammarco, P., Todini, E., Consuegra, D., Joerin, F., Vitalini, F., 1994. Combining a 2-

- D flood plain model with GIS for flood delineation and damage assessment. In: P. Molinaro and L. Natale (Editors), Modellingn of flood propagation over initially dry areas., Proc. of the Specialty Conf. ENEL-DSR-CRIS, Milan, 171-185.
- Howe R. H. L. 1960, The Application of Areal Photographic Interpretation to the Investigation of Hydrological Problems, Photogrammetric Eng., vol. 26 n. 1.
- Jaeggi M.N.R, Zarn B. 1990, A new policy designing flood protection. Schemes as a consequence of the 1987 flood in the Swiss Alps. Int. Conf. on River Hydraulics.
- Ministero dell'Ambiente, 1993. Atti della Conferenza Nazionale sul Clima, Firenze.
- Obérlin G. 1990. Inondabilité: un programme pour l'aménagement rationnel des zones inondables. Informations Techniques du CEMAGREF, Dec, n.80, note 5.
- Rossi F., Villani P. 1992 Regional methods for flood estimation. In "Coping with Floods" a cura di G. Rossi, N. Harmancioglu e V. Yevjevich.
- Salas J.D., Ramirez J.A., Rosso R. 1992 Determination of flood characteristics by physically based methods. In "Coping with Floods" a cura di G. Rossi, N. Harmancioglu e V. Yevjevich.
- Témez J.R. 1991. Planificaciòn Hidrològica-Ordenaciòn de zonas inundables, CEDEX, Madrid.
- US Water Resources Council (1972) Flood Hazard evaluation guidelines for Federal executive agencies, Springfield Va. National Technical Information Service.

# EVALUATION OF THE PROVINCE-BASED FLOOD RISK INDEX

Cristina TERPESSI  
Statistician - Project Manager  
Monica PALANDRI  
Hydrological Engineer  
Nuova Telespazio S.p.A.  
Via Tiburtina 965 - Roma

## INTRODUCTION

The AFRAID (A FLOOD RISK ANALYSIS for INSURANCE DAMAGES) Project was developed by the insurance industry, and was created to satisfy the increasingly felt need for information on the level of flood risk on Italian territory.

The consortium that developed it includes the Italian insurance company Cattolica, the Italian broker Italre, the European reinsurance company and stakeholder in Mapfre Re, C.I.A.R., Mapfre itself, and Nuova Telespazio S.p.a.

The aim was to provide a nation-wide map of the probabilities of floods occurring for various Italian provinces.

Since the problem of hydrological risk is of interest to many parts of the world and most assuredly in Europe, in choosing the procedures to be adopted, we considered it appropriate to define a procedure of general validity that can be extended to other situations.

This work presents the procedure used by explaining the mathematical logic we used to define it, the data used, and the results obtained, explaining the latter for only two regions taken as a model for the entire territory.

## DEFINITION OF RISK

The concept of RISK in the field of the environment was formally defined only rather recently.

In general terms, for the calamitous event that we wish to examine, the specialist literature provides a definition of Integrated Risk that can be summed up in the following equation:

$$R = H * D$$

where:

R indicates the risk that the event will occur

H indicates the hazard or probability of occurrence

D indicates the damage produced by the event.

The probability of occurrence, or HAZARD, is connected with historical analysis of the phenomenon as well as with the factors influencing it. It consists of studying and determining the distribution of probability (simple or conditioned) of the event in question.

The DAMAGE is the loss caused by the occurrence of the extreme event. Its quantification can in turn be broken down into economic factors and vulnerability factors.

By classifying Italian territory with respect to flood risk-understood as the differing level of possibility of a calamitous event-without classifying the damage produced, which is clearly a question to be solved on the basis of insurance principles, we produce a thematic map that focuses on the differing levels of HAZARD.

### QUANTIFICATION OF HAZARD

To associate each of Italy's provinces with a level of probability of the event in question, we chose to proceed in accordance with Bayesian logic, a philosophy that has the specific feature of introducing the concept of "*a priori*" probability, which is so defined because it is independent of the events recorded but it sums up that which the scholar knows *a priori* about the phenomenon. Therefore, it is possible to combine the probabilities deriving from the observations with other-including subjective-information on the event itself.

Formally, this reasoning can be summarized with the following expression:

$$a \text{ posteriori} \text{ prob.} = a \text{ priori} \text{ prob.} * \text{prob. derived from observations}$$

With this reasoning, which easily lends itself to our problem, we can obtain the probability sought as a combination between the propensity of the land due to geomorphological and meteorological factors and information derived from the historical distribution of events. In fact, if we assume the following definitions:

**P(x)** The *a priori* probability map, which indicates the degree of danger of the territory with respect to the extreme event according to the parameters that identify the climatic and territorial features chosen;

**O(x)** The map derived from the analysis of historical events for the various provinces, produced by observations and representing the phenomenon's varying historical distribution

as well as a vision of spatial distribution of the incidence of the events on the territory;

$H(x)$  The final *a posteriori* probability map, the work's main goal, which represents Italy's provinces' various degrees of flood Hazard;

we can formulate the following equation:

$$H(x) = P(x) * O(x) \quad (\#)$$

$P(x)$  can in turn be broken down into two components: the strictly physical  $S(x)$  which we will refer to as the territory's susceptibility and which takes on only factors related to the territory's physiological features, and the meteorological component,  $M(x)$ , which derives from the spatialization of pluviometric data, thereby obtaining the following equation:

$$H(x) = (S(x) \cup M(x)) \cap O(x) \quad (\#\#)$$

Each element present in expression (#) or (##) becomes an intermediate objective of this work, and is itself a final and informative deliverable.

## OPERATING METHODS

Since the theoretical reasons underlying the indicators used in this study have already been treated in the previous paper, it would be appropriate to devote some attention to the operating methods that have led to the construction of the Flood Hazard Map.

To provide a complete overview of the work carried out, the major steps of the entire procedure should first be summarized, and then discussed in greater detail afterwards.

The development of the Flood Hazard Map can be summarized in the following steps:

- identification of factors that best describe the land's propensity for flood problems, and choice of parameters useful for their description;
- classification of each parameter according to the varying degree of danger, and attribution of weights to each class;
- development of territory susceptibility map  $S(x)$  by adding together the determining factors;
- development of pluviometric map  $M(x)$  through spatialization of the pluviometric parameter;
- development of the map regarding climatic and territorial risk  $P(x)$  by overlaying the territory susceptibility map and the pluviometric map;

- analysis of the historical events and construction of the historical incidence map  $O(x)$ ;
- Final combination  $H(x)$ .

Once the parameters that are most important for determining the risk of hydrological calamity have been chosen, the variation classes of each parameter are identified within which the influence on the final risk may be assumed to be constant. Each class is attributed a risk value, or weight, on the scale of 1 to 100, which will help determine the final hazard.

### INDICATORS USED

The layers of information that most influence the flood events identified can be summarized as follows:

- HYDROGRAPHIC NETWORK
- ALTIMETRY
- GEOLOGY
- LAND USE
- PLUVIOMETRY

For each layer, a parameter was chosen to summarize the related risk, taking into consideration the availability of input data. In particular, the following data were used:

hydrography	distance from rivers
altimetry	the degree of slope
geology	alluvium index
land status	land use
pluviometry	maximum 24 hours rainfall over a 100- year return period

To store and process the entire set of data, a SUN station was used, assisted by ERDAS, ARC-INFO and ARC's GRID software.

### THE DIGITAL ELEVATION MODEL

A portion of the calculations was carried out with the assistance of the digital elevation model.

The DEM consists of an image or grid whose squares (PIXELS) are not only georeferenced, but have associated the real altimetry level.

This project made use of the digital earth model obtained by rastering (or conversion into image format) of the contours extracted from *Istituto Geografico Militare*'s 1:25,000 map.

It has a spatial resolution, or pixel size, of 250 metres x 250 metres.

Figure 1 shows the DEM for Italy. The different colours in the cells represent the altimetric levels of the cells.

Once an all-Italy DEM became available, a Geographic Information System was used to process it, allowing us to generate other information, including the hydrographic networks and the divides with their hydrographic basins (fig. 2).

### ACCLIVITY OF TERRAIN

The acclivity of the slopes is obtained by comparing the altimetric value of the DEM's neighbouring cells.

Fig. 3 shows the image concerning the slope measurements obtained, expressed as a percentage (100% = 45%). These make reference to a spatial resolution equal to that of the digital elevation model used (250 metres x 250 metres). Subdivision into classes was carried out based on the varying propensity to the event that is the subject of this study.

The subdivision into classes and the related associated weights considering that slope measurements under 5% correspond to level earth, that those between 5% and 12 % do not influence soil stability, that 22% is the maximum slope permissible for intensive mechanized farming, and that 32% is the limit for using mechanical means.

### DISTANCE FROM RIVERS

When we know how far a way a given territory is from a river, we can not only synthesize a risk due to the proximity of the danger, but we can also introduce information on the very density of the water network in that area. The amount of areas near the network will increase with the number of rivers in that area. Considering that swelling events that lead to flooding of areas bordering on the rivers involved rarely reach distances greater than one kilometre, we considered at risk only areas that are quite close to the hydrographic network.

### LAND USE

The ways in which swelling events form, the volume of the flood, and the way in which surface waters run are influenced by the type of land cover.

Detailed and exhaustive information on the type of land use for the entire nation was

obtained by using remote sensing technologies with automatic image classification algorithms, making it possible to assign each territorial element to one of the soil use classes of interest, and to produce an updated thematic map of the different land use classes for all of Italy. Landsat 5 images were used for automatic crop surveying, with reference to a ground resolution of one kilometre. In this map as well, the various weights were associated based on the different behaviour of the classes with respect to swell or flood phenomena. Fig. 4 shows the land use map used.

## GEOLOGY

To extract information on the geological features of the land, the *Servizio Geologico Nazionale*'s 1:500,000 geologic map of Italy was interpreted and digitalized. All areas that historically were subjected to alluvial deposits were surveyed. This stage of the study focused on discriminating only this kind of information, for which the maximum risk deriving from geology was assigned to the alluvium areas-a weight of 100-associating a weight of 10 to the other surfaces.

## PLUVIOMETRY

The parameter used at this stage was maximum rainfall in 24 hours with an average cycle of 100 years. Data from C.N.R.'s VAPI project were used, providing values for this parameter for a large number of stations. Information known at the points corresponding to the meteorological stations of reference was spatialized, or referred to areas and not simply to points, by using the Kriging method. This method, based on the study of the phenomenon's spatial self-correlation, calculates the weights to be attributed to the known values in reconstructing the data missing on the grid of interest as a whole.

Fig. 5 shows an example of a result of this spatialization for an area that includes the regions of Piemonte, Lombardia, Val D'Aosta, Trentino, Emilia-Romagna and Marche, and refers to data from 662 meteorological stations.

The map obtained in this way provides an indication of the territory's pluviometric situation, making it possible then to calculate discharge indices that in turn depend on the amount of rain, but also on the size of the basin involved and the relative concentration times. To obtain these parameters, it is necessary to have a map of the hydrographic network (Fig. 2) and related sub-basins identified in particular closing sections.

Figs. 6a and 6b show the divides of the basins and sub-basins for the two regions whose final results will be discussed here: Piedmont and the Marches. These regions were chosen on the basis of their differing hydraulic response. Passage to a regional scale is also useful to visualize information better, permitting us to zoom in on the maps presented on a national scale.

To take into account the basins' concentration times, or the time it takes for water particles to reach the network, the average rainfall in the downstream basins is obtained as the integral of all rain in drainage area upstream. Thus, river axes were ranked hierarchically. Within each hydrologic basin, level 1 was attributed to all sub-basins that were upstream from all others, level 2 to those sub-basins into which the waters from level 1 ran, and so on until the downstream basin is reached with the highest level.

Each cell belonging to the basis is assigned the average rainfall measurement with respect to the area of the sub-basin in question. Those belonging to higher-level sub-basins are assigned the average rainfall measurement for the sub-basin in question and the sub-basins that run into it. Each maximum average rainfall calculated in this way is further multiplied by a factor that takes into account the non-contemporariness of the rain event throughout the entire sub-basin, and therefore depends on the area of the sub-basins to which it refers. The average produced by this recalibration is smaller, the greater the area to which it refers. The factor used is given by the following expression:

$$F = 1/(1+\alpha A^\beta) \quad \alpha = 0.007596, \beta = 0.4639, A = \text{area of basin, in } K^2$$

To convert the sub-basin rainfall average to an index of discharge at peak capacity, the relationship was considered between size of the sub-basin and length of the main axis, thereby obtaining a transformation factor equal to:

$$1.40 * A^{0.568}$$

Unlike the maximum rainfall measurement, this index refers to the entire sub-basin for which it was calculated. This information factor is also subdivided into different risk classes which were assigned the differing levels of weight.

### LAND SUSCEPTIBILITY MAP

An initial interesting result is obtained by adding together the first four factors for each basic 250 metre x 250 metre cell. The map obtained in this way, which has been called the susceptibility map  $S(x)$ , provides indications on the areas that are at risk from a strictly territorial standpoint.

To gain an overview of the variability of this map, a table was constructed, reporting all layers of information considered with their relative weights. By analyzing these measurements, a threshold of susceptibility of 260 was chosen. By extracting these areas, a comparison was made of the two regions examined in terms of susceptibility of the territory, thereby obtaining the situation shown in Fig. 7.

## LAND PROPENSITY OR A PRIORI PROBABILITY MAP

Once the layer regarding the different pluviometric regimes is added, the areas that are in actual danger of a flood event are identified.

Data have been synthesized on the provincial level using a weighted mean. Fig. 8 shows the flood probability map, visualizing the areas at greatest risk within each province.

### **ANALYSIS OF HISTORICAL EVENTS**

Taking into consideration the relative frequency of flood events between 1918 and 1990, an index of historical frequency for each province involved was extracted from data from the Project AVI (GNDCI).

This analysis not only makes the map, once produced, updatable, but also serves to introduce into the study previously neglected local information under the form of man-caused consequences, as in the case of river bed canalization.

The probability of occurrence is shown in the following table:

ALESSANDRIA	0.350
ASTI	0.061
CUNEO	0.100
NOVARA	0.040
TORINO	0.039
VERCELLI	0.039
ANCONA	0.160
ASCOLI PICENO	0.070
MACERATA	0.057
PESARO	0.069

## FLOOD RISK MAP

By multiplying the *a priori* probability for the frequency of historical events, as we indicated in expression (♣), we obtain the desired Flood Hazard Map, which for the regions chosen is shown in Fig. 9.

## REFERENCES

- Tarboton D., Bras R., Iturbe I., (1991), On the extraction of channel networks from digital elevation data, *Hydrological Processes*, vol.5, 81-100.
- Jenson S., Domingue J., (1988), Extracting Topographic Structure from digital elevation data for geographic information system analysis, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol54, No.11, Nov 1988, 1593-1600.
- Richards J.A., (1986), *Remote Sensing Digital Image Analysis*, Springer-Verlag, Berlin.
- Cressie N. A. C. (1991), *Statistics for Spatial Data*, John Wiley & Sons, New York.
- Anderson T.W., (1984), *An Introduction to Multivariate Statistical Analysis*, Advisory Editors, Canada.
- CNR - GNDI (1994), Rapporto di sintesi Progetto AVI: Censimento delle Aree Italiane Vulnerate da Calamità Idrogeologiche

FIG. 1

MODELLO DIGITALE DEL TERRENO

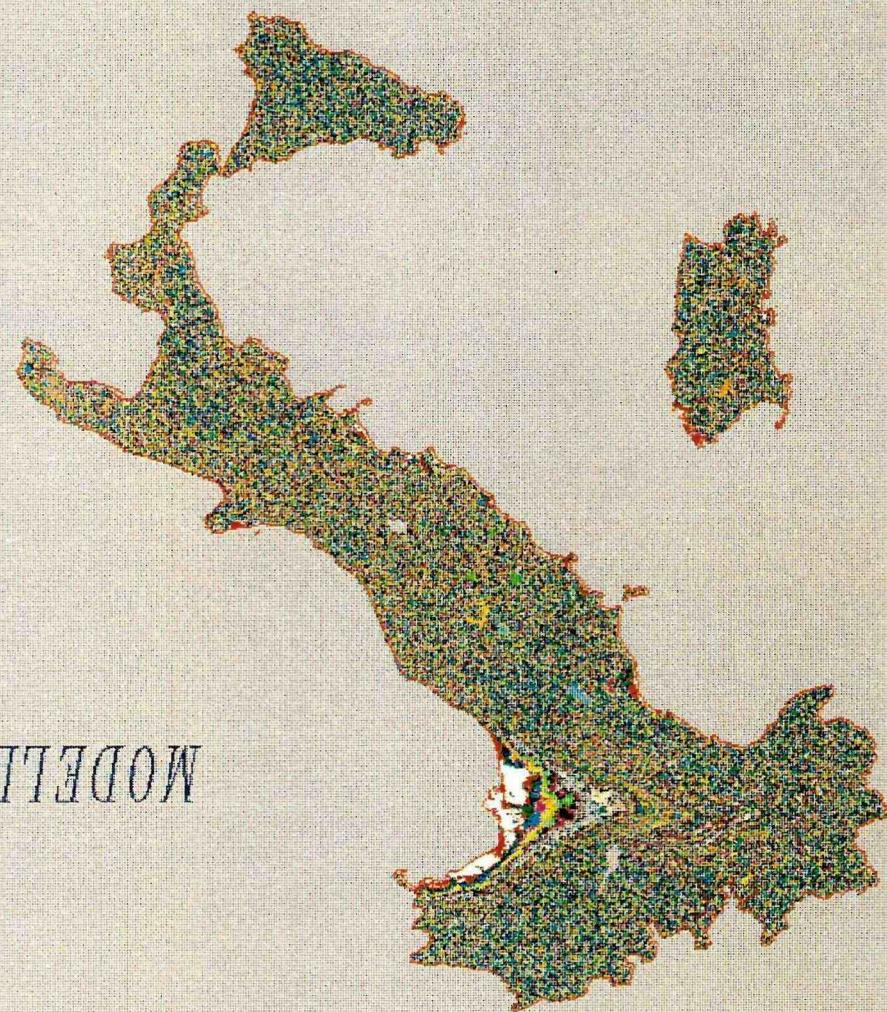


Fig. 2



## CARTA DELLE PENDENZE

0 - 5 %  
5 - 12 %  
12 - 22 %  
22 - 32 %  
> 32 %



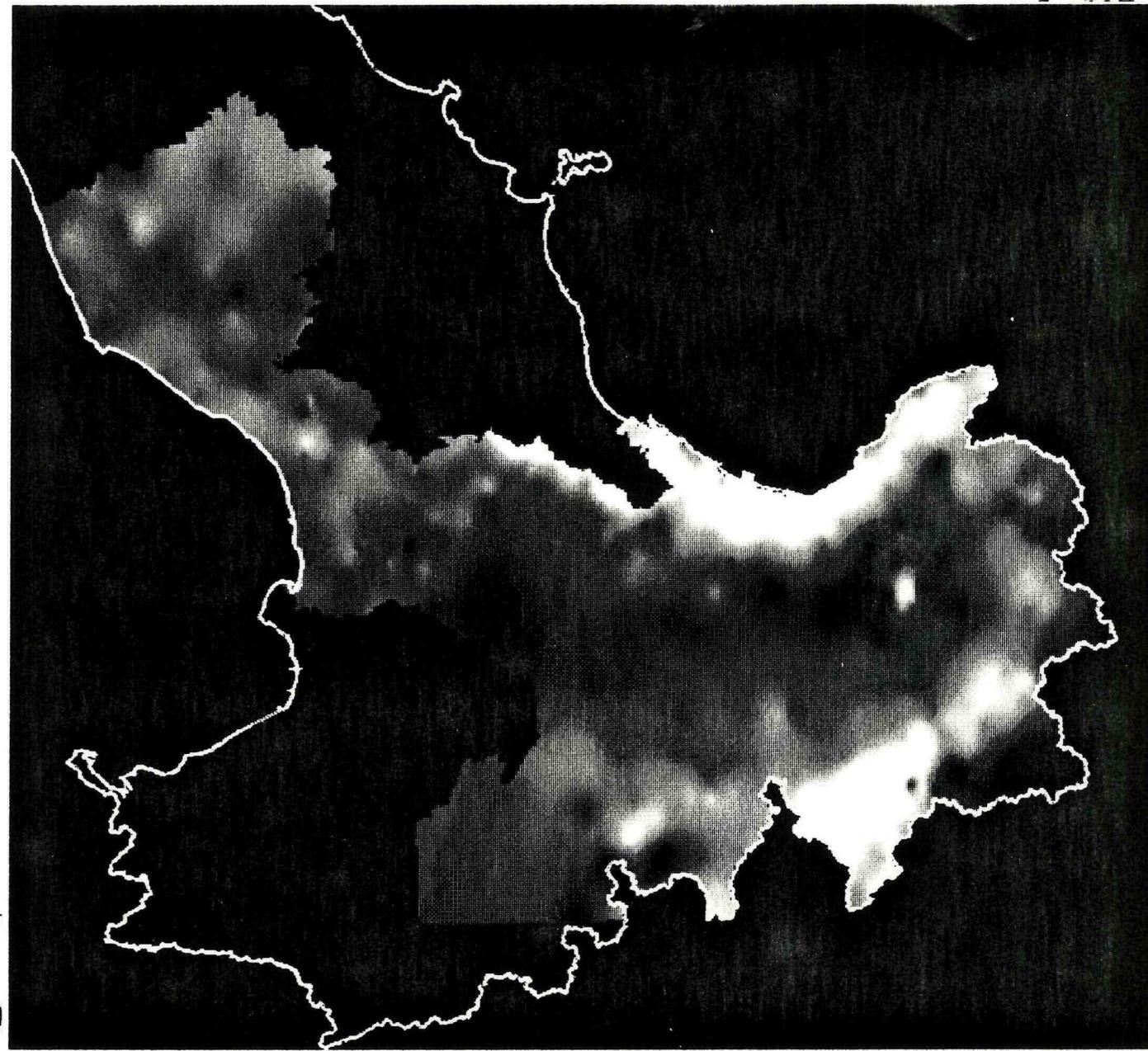
FIG. 3

## CARTA DELL'USO DEL SUOLO



- Seminativo, prati, pascoli
- Aree agricole investite a legnose agrarie
- Aree forestali
- Aree urbane infrastretturali e industriali
- Aree non vegetate e cave
- Acque superficiali
- Prati, prati-pascoli sopra 1000 m.

FIG. 4



*SOTTOBACINI IDROGRAFICI: PIEMONTE - MARCHE*

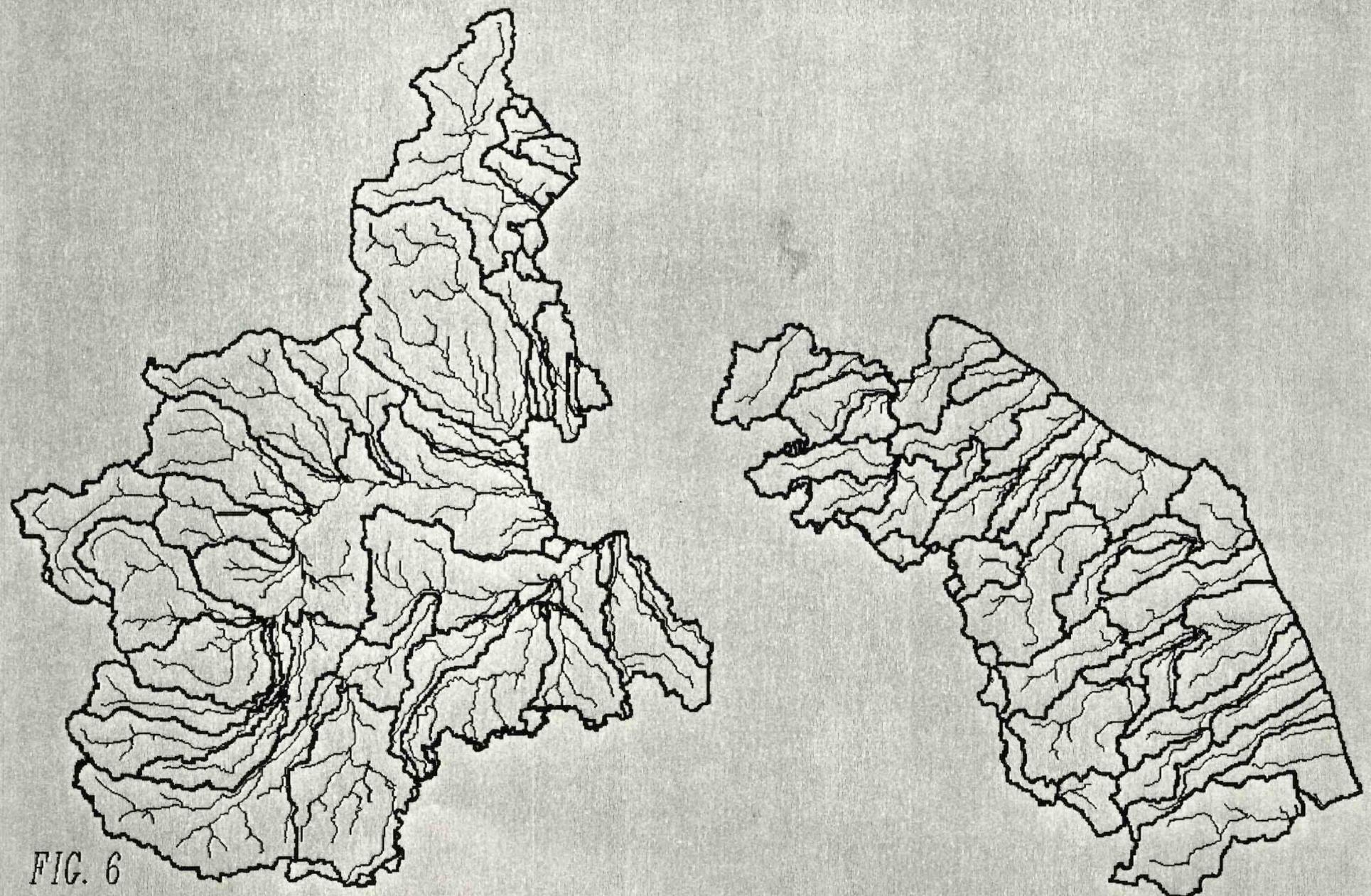
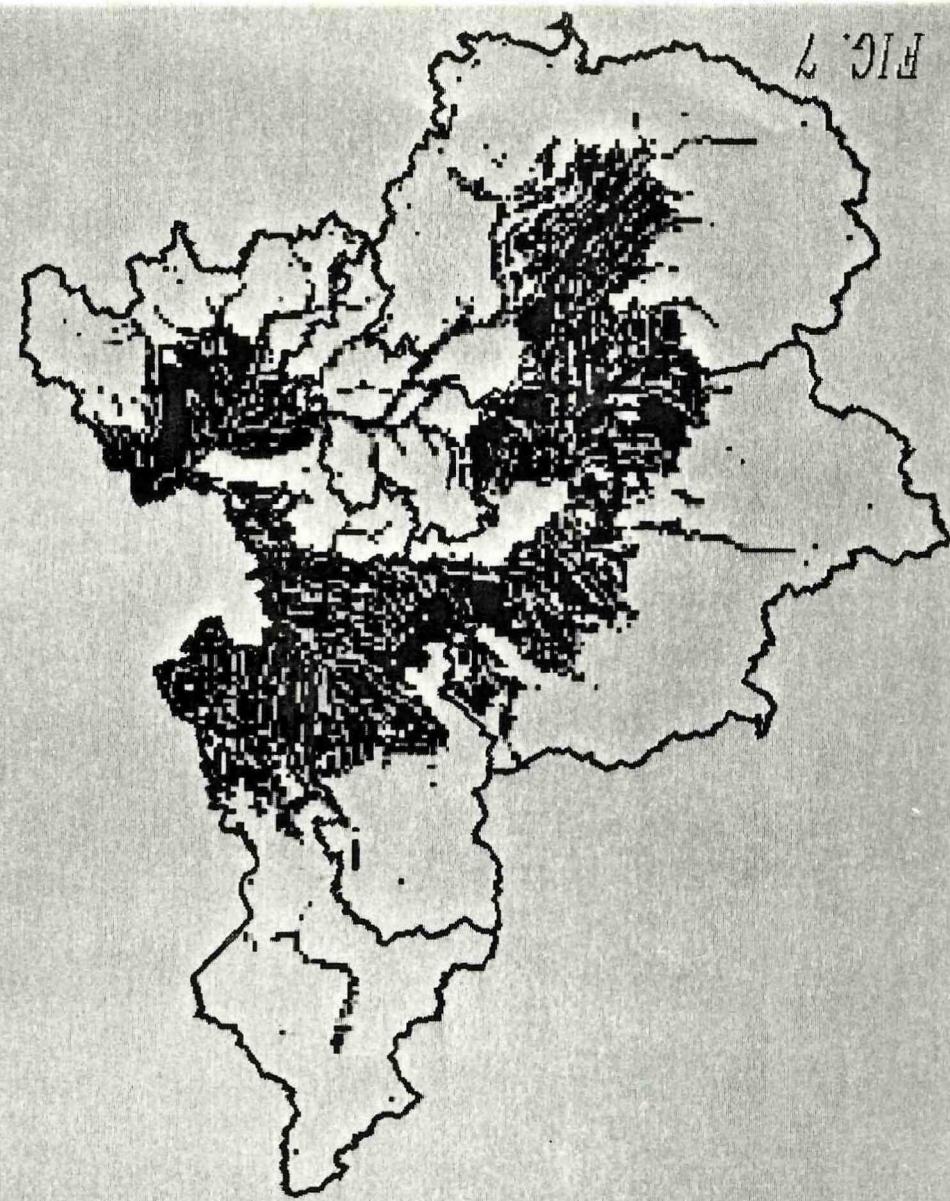
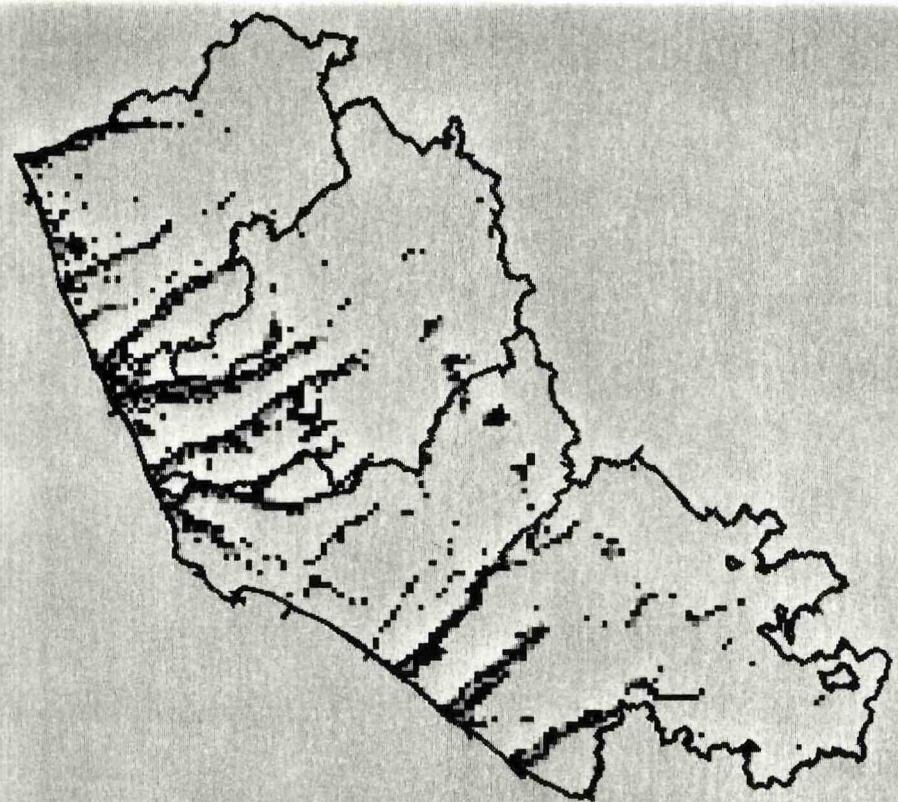


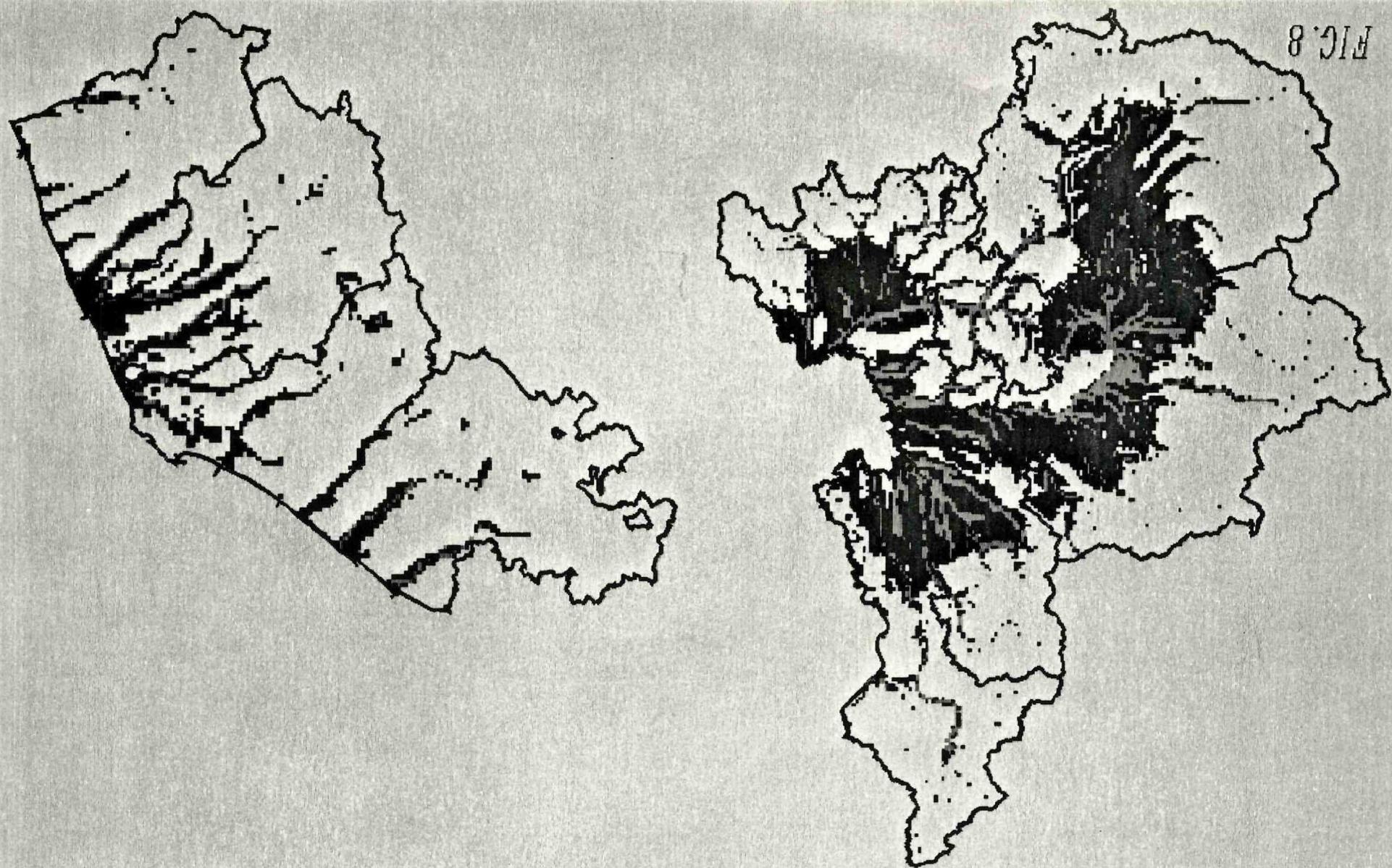
FIG. 6

FIG. 7



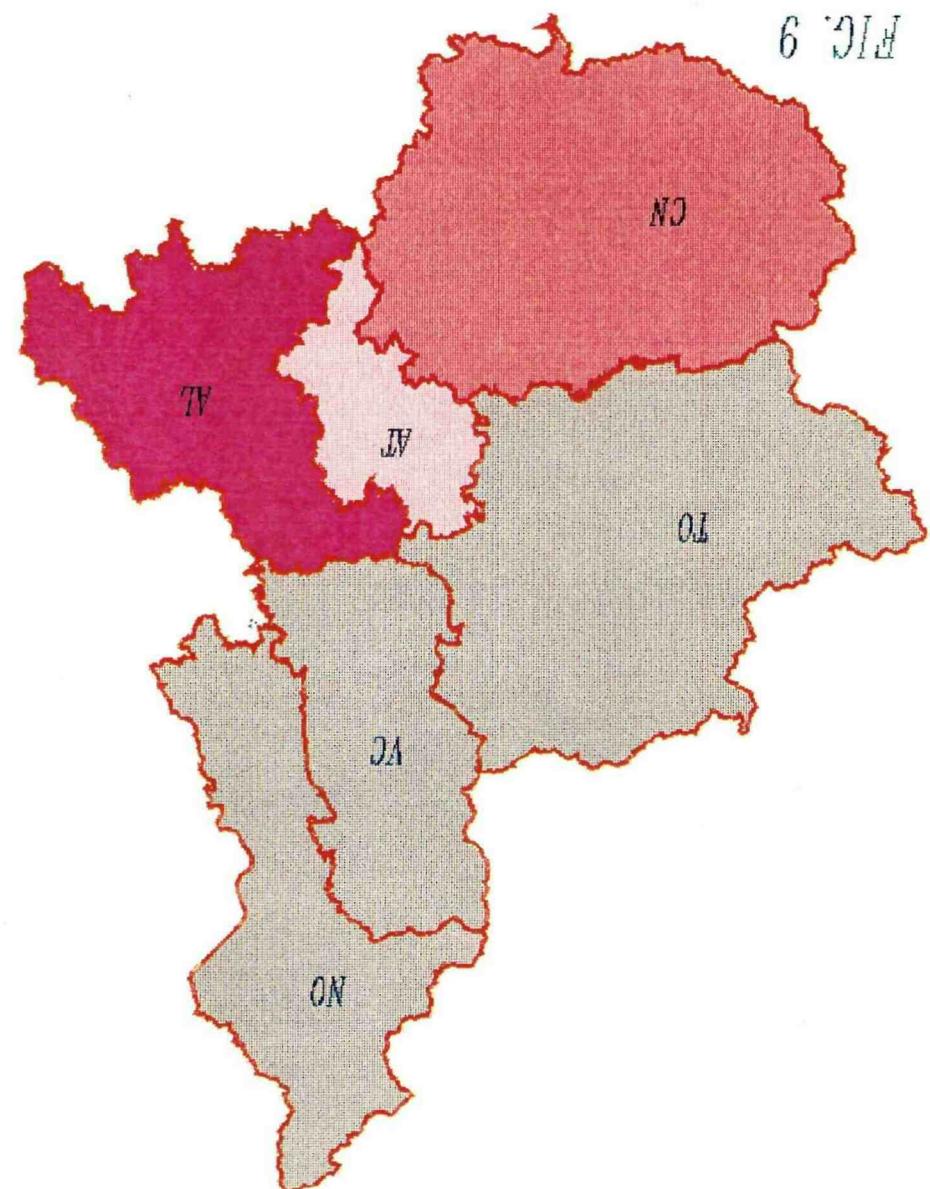
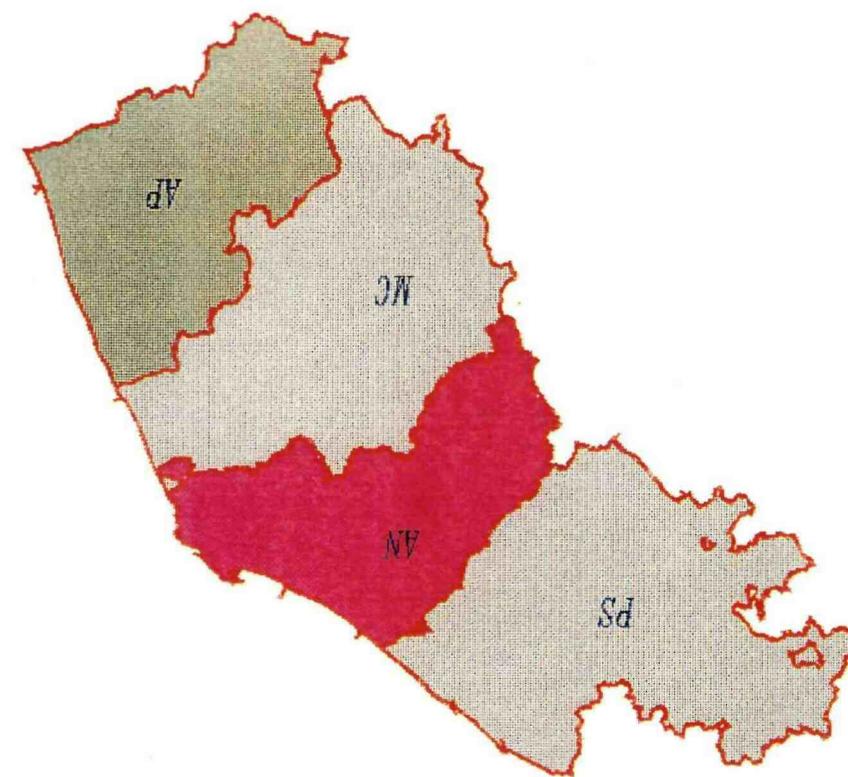
CARTA DELLA SUSCETTIBILITÀ - VALORE SOCIA 260

FIG. 8



CARTA DELLE PROB. A PRIORI DI INONDIZIONE

FIG. 9



FLOOD HAZARD MAP