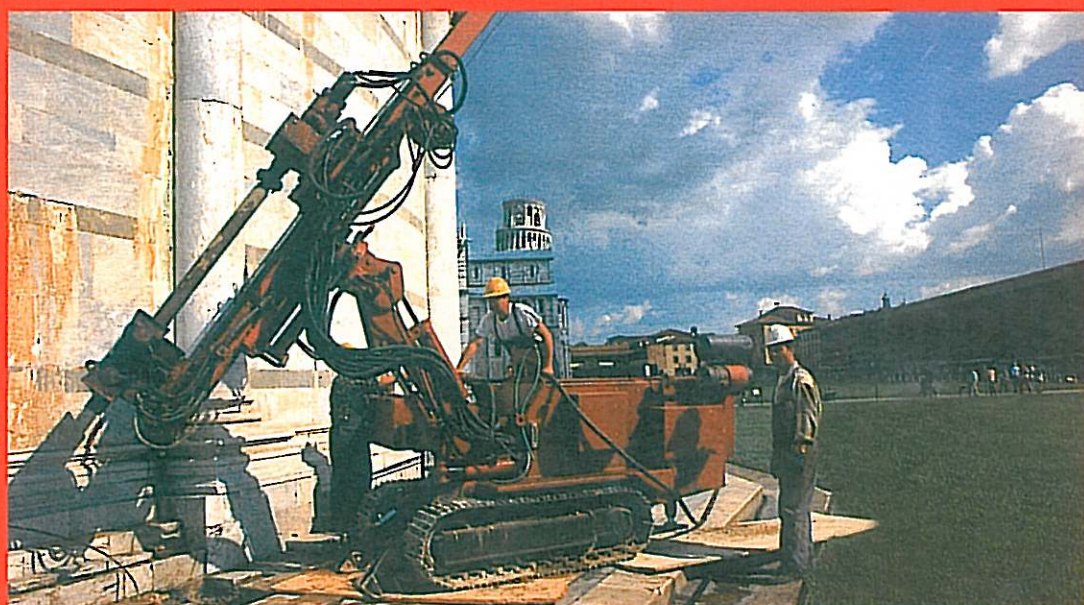


# GEOTECNICA PISANA

PERFORAZIONI • FONDAZIONI SPECIALI

AZIENDA CERTIFICATA S.O.A.



GEOTECNICA PISANA di G. Karayannis - Via del Marmicciolo, 19 - 56121 OSPEDALETTO (PI)  
Tel. +39 50.981212 - Fax +39 50.981403 - SITO INTERNET: [www.geotecnicapisana.com](http://www.geotecnicapisana.com) - E-mail: [info@geotecnicapisana.com](mailto:info@geotecnicapisana.com)  
P.I. 0098155 050 2 - S.O.A. 807-6/00 - Camera di Commercio 128909

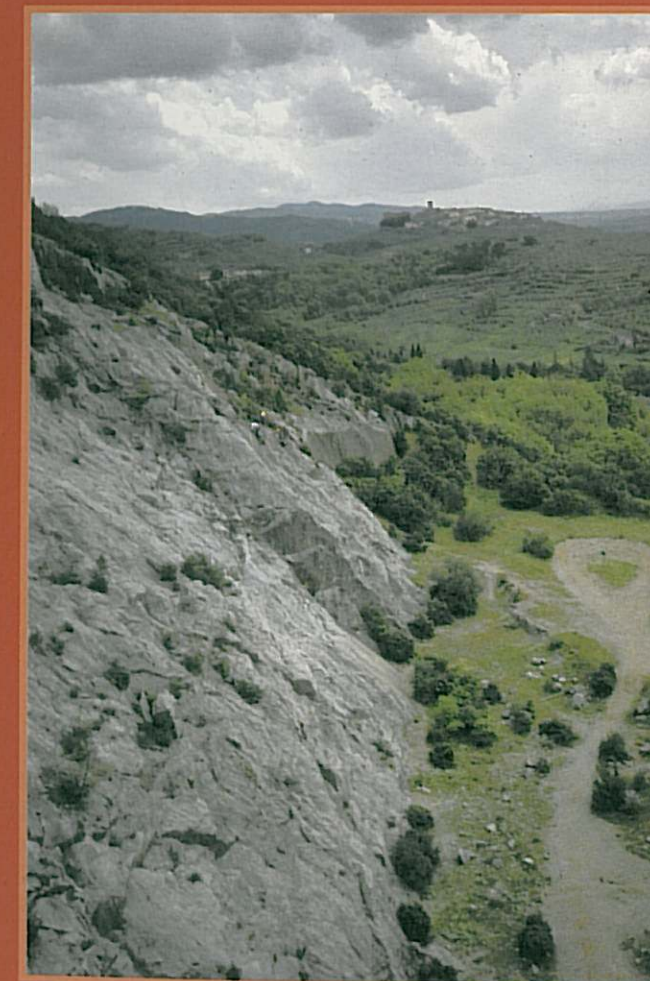


*Autorità di Bacino  
del Fiume Arno*



Realizzato con la collaborazione ed il contributo della  
**Autorità di Bacino del Fiume Arno**

## Il Piano per l'Assetto Idrogeologico del Bacino dell'Arno



Supplemento al n° 49 (Anno XII sett. 2002) de "Il Geologo" periodico trimestrale dell'Ordine dei Geologi della Toscana  
Sped. abb. post. 45% - Art. 2 Comma 20/b - Legge 662/96 - Filiale di Lucca - Novembre 2002





## Il geologo

Periodico d'informazione  
dell'Ordine dei Geologi della Toscana

ANNO XIII- SUPPLEMENTO AL N. 3 SETTEMBRE 2002

Spedizione in abbonamento postale 45%  
Art. 2 comma 20/b 662/96 - Filiale di Lucca  
Autorizzazione del Tribunale di Lucca  
N. 531 del 17/09/90

**Direttore responsabile:**  
VITTORIO D'ORIANO

**Segreteria di redazione:**  
Mauro Chessa, Rossano Ciampalini,  
Antonio Esposito, Fabio Martellini,  
Benedetta Polverosi, Emanuele Sirgiovanni.

**Comitato di redazione:**  
Pietro Accolti Gil, Pietro Barsanti,  
Silvano Becattelli, Mauro Chessa,  
Vittorio D'Oriano, Maria Teresa Fagioli,  
Fabio Martellini, Claudio Nencini, Michele Sani.

**Direzione, redazione centrale:**  
Via Francesco De Sanctis, 72 - 50136 FIRENZE  
Tel. 055/679605 - Fax 055/669628  
E-mail: oginfo@tin.it - geotosc@tin.it -  
xpreside@tin.it

**Stampa:**  
Tipografia TOMMASI - Lucca

**Concessionaria esclusiva pubblicità**

**PEGASO**  
Pubblicità & Marketing

via San Paolino, 9 - 55100 LUCCA  
Tel. 0583419688 Fax 058353489

**Impaginazione:**  
Roger Farnesi, Valeria Fenudi - Start snc

**Foto di copertina:**  
Panorama di Montevettolini dalla cava di Monsummano.  
Foto di Stefano Cambi

E' espressamente vietata la riproduzione di testi  
e foto ai sensi e per gli effetti dell'art. 65  
della legge n. 633 - 22.4.1941

## Sommario

Editoriale di Mauro Chessa	3
Protocollo d'intesa tra Autorità di Bacino del fiume Arno e Ordine dei Geologi del- la Toscana	4
Il P.A.I. ed i geologi di Vittorio D'Oriano	6
Un passo importante di Giovanni Menduni	7
Cosa c'è sul sito dell'Autorità di Bacino... di Benedetta Polverosi	8
Cosa c'è nel P.A.I.: lista degli elaborati e loro contenuto di Benedetta Polverosi	10
Adozione del Progetto di Piano - Stralcio per l'Assetto Idrogeologico ex D.L. 180/98 e successive fonti normative di modifica e in- tegrazione. I piani per l'assetto idrogeolo- gico	13
Metodologia operativa per la perimetrazio- ne delle aree a pericolosità	28
Criticità emerse dall'analisi delle aree a ri- schio idraulico e di frana	50
Perimetrazione delle aree a rischio idraulico sugli affluenti del fiume Arno	60
Applicazione della Metodologia Minamb al Torrente Virginio	83
Indice di esposizione al dissesto per la fra- na del territorio comunale	91
La procedura di approvazione del Piano per l'Assetto Idrogeologico	101
Progetto di Piano stralcio per l'assetto idro- geologico (P.A.I.) - Norme di attuazione	102
Nota per la redazione delle proposte di mo- difica ed integrazione alla perimetrazione delle aree a pericolosità	112
L'evoluzione del P.A.I. di Marcello Brugioni	114





## EDITORIALE

Questa edizione straordinaria de Il Geologo è stata realizzata grazie alla determinante collaborazione ed al contributo economico della Autorità di Bacino del Fiume Arno.

Comprende gli elementi del Piano per l'Assetto Idrogeologico che ci sono parsi più interessanti, con alcuni commenti, ed è il frutto dell'impegno congiunto del personale della Autorità di Bacino e della Redazione del periodico dell'Ordine.

Lo scopo di questa monografia non è quello di fare l'elogio o l'icona del P.A.I. il quale nel breve periodo, per l'incidenza sul territorio dei vincoli posti in essere, rappresenta un tributo da pagare in favore dello sviluppo sostenibile. Non è quindi realistico pretendere che il P.A.I. 'piaccia', così come non piacciono le tasse. È invece auspicabile che il maggior numero possibile di persone ne comprenda la rilevante utilità sociale e quindi lo accetti coscientemente, oppure - a ragion veduta - ne proponga gli adeguamenti.

Affinché ciò avvenga è necessario fornire gli strumenti conoscitivi sia per valutarne la sostenibilità tecnica e giuridica sia per parteci-

pare attivamente agli sviluppi, che il P.A.I. stesso prevede.

Questo è lo scopo della pubblicazione, che ci auguriamo possa inaugurare un ciclo di monografie analoghe.

Il Geologo ha una diffusione che non interessa esclusivamente gli iscritti all'Ordine dei Geologi della Toscana ma anche numerosi Enti, organizzazioni e operatori attivi nel campo del territorio e dell'ambiente; ne risulta un vettore che può essere utilizzato, come in questo caso con una tiratura di 2.000 copie, per dare rilievo e diffusione a contenuti informativi di carattere istituzionale legati alla attività professionale dei geologi, ma con un *target* più vasto.

Questa iniziativa - con altre intraprese per intensificare i rapporti tra Ordine ed Enti e con il Protocollo d'Intesa riportato in queste pagine - ci pare rappresenti un adeguato riscontro alla funzione pubblica che oggi è attesa nell'operato degli organismi di rappresentanza delle categorie professionali.

*Mauro Chessa*

## PROTOCOLLO D'INTESA TRA Autorità di Bacino del fiume Arno e Ordine dei Geologi della Toscana

*Per l'aggiornamento ad indirizzo geomorfologico dei geologi, per la raccolta, la condivisione dei dati e delle informazioni relative ai fenomeni morfologici di versante*

### PREMESSO

- la legge 18 maggio 1989, n. 183, recante "Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo" e successive modifiche ed integrazioni;
- l'art. 1, comma 2, della citata legge n. 183 del 1989, che per il conseguimento della finalità della difesa del suolo individua quali strumenti essenziali le attività conoscitive di supporto alle azioni di pianificazione, programmazione ed esecuzione degli interventi;
- l'art. 2 della legge n. 183 del 1989, che definisce l'attività conoscitiva, stabilendo che la stessa si svolge secondo criteri, metodi e *standards* di raccolta, elaborazione e consultazione, nonché modalità di coordinamento e collaborazione tra i soggetti pubblici comunque operanti nel settore;
- il decreto - legge 11 giugno 1998, n. 180, convertito, con modificazioni, dalla legge n. 267 del 3 agosto 1998 e in particolare l'art. 1 che, al comma 1, demanda alle Autorità di bacino l'adozione di piani stralcio di bacino per l'assetto idrogeologico;
- il decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri, 29 settembre 1998 (pubblicato nella G.U. n. 3 del 5 gennaio 1999) "Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e 2, del decreto - legge 11 giugno 1998, n. 180", punto 2.3. "Aree a rischio di frana e valanga";
- che con decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 10 agosto 1989 (pubblicato nella G.U. n. 203 del 31 agosto 1989) è stata costituita l'Autorità di Bacino del Fiume Arno;
- che l'Autorità di Bacino del Fiume Arno per i suoi compiti istituzionali deve continuamente aggiornare e sviluppare lo stato delle conoscenze relative ai processi geomorfologici di versante;
- che l'Autorità di Bacino del Fiume Arno possiede i necessari mezzi tecnologici e le occorrenti conoscenze per una corretta ed efficace archiviazione dei dati;
- che l'insieme dei geologi iscritti all'Ordine Regionale è depositario di una considerevole mole di dati ed informazioni relative ai fenomeni geomorfologici di versante, di notevole dettaglio e qualità, pur tuttavia talvolta disomogenei per tipologia di acquisizione ed archiviazione;
- che l'insieme dei geologi iscritti all'Ordine Regionale ha le necessarie conoscenze per valutare correttamente e nel loro insieme i dati in possesso di tutti gli iscritti;
- che l'Autorità di Bacino del Fiume Arno ha dato inizio ad un programma di ricerca triennale finalizzato all'aggiornamento ed all'integrazione della cartografia da frana del Piano di bacino e che, funzionale a tale programma, è l'acquisizione dei dati e delle informazioni di cui sono depositari i geologici professionisti;
- che si è ritenuto opportuno pertanto definire le modalità di collaborazione fra l'Autorità di Bacino del Fiume Arno e l'Ordine dei Geologi della Toscana per le attività d'interesse comune nell'ambito della raccolta ed archiviazione dei dati e delle informazioni relative ai processi geomorfologici, con particolare riguardo alla valutazione della qualità del dato e all'aggiornamento dei geologi interessati operanti in ambito regionale;

### TUTTO CIO' PREMESSO

Si conviene e si stipula l'anno duemiladue il giorno 25 del mese di giugno 2002, il seguente

### PROTOCOLLO D'INTESA tra

**l'Autorità di Bacino del Fiume Arno**, di seguito denominata **Autorità di Bacino**, rappresentata dal Prof. Giovanni Menduni, nella sua qualità di Segre-

tario Generale

e

**l'Ordine dei Geologi della Toscana**, di seguito denominato **l'Ordine dei Geologi**, rappresentato dal Dott. Geol. Vittorio d'Oriano, nella sua qualità di Presidente in forza del quale assumono i seguenti impegni:

### 1. RECEPIMENTO DELLA PREMESSA

Tutto quanto in premessa costituisce parte integrante del presente protocollo.

### 2. OBIETTIVI DEL PROTOCOLLO

I soggetti contraenti concordano sui seguenti obiettivi da raggiungere:

- a) promozione/realizzazione dell'aggiornamento ad indirizzo geomorfologico dei geologi;
- b) collaborazione e coordinamento nelle attività di raccolta dei dati e delle informazioni relative ai processi geomorfologici e nella valutazione della qualità degli stessi;
- c) realizzazione/identificazione di una legenda geomorfologica di riferimento comune;
- d) sviluppo di un archivio informatizzato dei dati raccolti improntato a criteri di trasparenza ed usufruibilità, redatto/strutturato/realizzato sulla base di *standards* informatici riconosciuti.

### 3. IMPEGNI DEGLI ENTI

I soggetti contraenti, con appositi atti successivi al presente protocollo, si impegnano alla realizzazione delle attività di seguito indicate.

L'Autorità di Bacino e l'Ordine dei Geologi si impegnano congiuntamente ad approntare corsi di aggiornamento permanenti relativi ai processi geomorfologici negli aspetti inerenti alla foto interpretazione, al rilevamento e alla restituzione dei dati.

L'Autorità di Bacino si impegna a creare un archivio informatico per la consultazione dei dati relativi ai processi geomorfologici. Per coloro che hanno contribuito alla formazione e all'aggiornamento dell'archivio, sarà possibile, tramite opportune procedure codificate, consultare, verificare ed acquisire i dati. L'archivio informatico sarà strutturato secondo modalità tali da favorire l'utilizzabilità e l'aggiornamento dei dati e dei documenti in esso contenuti; si impegna inoltre a sviluppare un prototipo di banca dati geografica, secondo *standards* riconosciuti e di larga diffusione, finalizzato all'archiviazione dei dati vettoriali ed alfanumerici relativi ai fenomeni di dissesto gravitativi.

L'Ordine dei Geologi si impegna a coinvolgere gli iscritti affinché rendano disponibili i dati e le informazioni relativi ai processi geomorfologici in loro possesso.

L'Autorità di Bacino e l'Ordine dei Geologi si impegnano a procedere congiuntamente alla valutazione della qualità e della modalità di acquisizione dei dati e delle informazioni, definendo uno *standard* comune di riferimento per la descrizione dei fenomeni geomorfologici di versante.

### 4. MODALITA' DI COORDINAMENTO E DI COLLABORAZIONE

I soggetti contraenti, al fine di garantire il pieno svolgimento del presente accordo, si impegnano ad istituire un apposito Gruppo di lavoro tecnico finalizzato alla verifica periodica dell'attività, con cadenza temporale almeno trimestrale.

Al suddetto Gruppo di lavoro fanno parte di diritto un responsabile tematico dell'Autorità di Bacino, indicato nelle persone del Dott. Lorenzo Sulli e del Dott. Geol. Giovanni Montini, un responsabile informatico, indicato nella persona del Dott. Geol. Marco Redini e un responsabile tematico dell'Ordine dei Geologi, indicato nelle persone del Dott. Geol. Maria Teresa Fagioli, Dott. Geol. Alessandro Ercoli e Dott. Geol. Eros Aiello.

### 5. RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Sono individuati come responsabili del procedimento il Dott. Lorenzo Sulli, per l'Autorità di Bacino, e il Dott. Geol. Maria Teresa Fagioli per l'Ordine dei Geologi.

Letto, approvato e sottoscritto

Per l'AUTORITÀ DI BACINO  
**IL SEGRETARIO GENERALE**  
(Prof. Giovanni Menduni)

Per l' ORDINE DEI GEOLOGI  
**IL PRESIDENTE**  
(Dott. Geol. Vittorio d'Oriano)



## Il PAI ed i geologi

La pubblicazione del Piano stralcio per l'assetto idrogeologico per il bacino del fiume Arno (PAI) chiude una prima fase di collaborazione fra Ordine dei Geologi della Toscana ed Autorità di Bacino del Fiume Arno, collaborazione che, come si ricorderà, ebbe inizio con la presentazione del Piano stralcio nel marzo scorso al Convitto della Calza di Firenze ed è proseguito con la sottoscrizione di un protocollo di intesa fra i due Enti nel giugno successivo.

Il PAI come si sa discende da precise norme e "corona", come giustamente evidenziato nella Premessa al Piano, "la nuova stagione della difesa del suolo introdotta dalla legislazione susseguente ai tragici fatti di Sarno e Soverato".

L'assetto idrogeologico è indubbiamente questione complessa e, certamente, non è un aspetto (ma meglio sarebbe dire un insieme di aspetti) immutabile del territorio. Anzi, i molteplici processi naturali che sono riassunti in questa allocuzione sono in perenne evoluzione. Talvolta questa evoluzione è così repentina ed estesa da "tradursi" in eventi disastrosi.

Basterebbe da sola questa considerazione, contenuta sotto altra forma già nella presentazione degli Obiettivi del PAI, per farci affermare che il PAI, ma sarebbe più giusto dire i PAI, non possono, né dovrebbero, considerarsi strumenti immutabili. Ciò non solo per la naturale evoluzione dei versanti e, se vogliamo, delle terre emerse in genere, quanto anche per la scala alla quale questi processi ed i relativi vincoli sono sintetizzati. Già perché, con le sue classi di rischio, il PAI individua un ulteriore vincolo oltre a quelli di varia e molteplice natura individuati in altri piani. Un vincolo sovraordinato che condiziona pesantemente gli strumenti urbanistici dei nostri comuni. Non

solo, dobbiamo tener di conto che su molti fenomeni morfologici il dibattito tecnico e scientifico è aperto.

Di qui l'idea di considerare in qualche modo il PAI uno strumento dinamico in continuo aggiornamento.

E quale migliore aggiornamento se non quello che gli stessi professionisti del settore sono in grado di dare attingendo alla loro esperienza passata e allo stesso loro lavoro quotidiano che li porta ad essere profondi conoscitori del territorio su cui operano in prevalenza.

L'idea è quella di fornire ad essi una legenda geomorfologica di riferimento alla quale attenersi sia nei lavori di programmazione urbanistica che negli altri interventi che sono chiamati ad effettuare: Ad essi si chiede di mettere a disposizione dell'Autorità di Bacino queste informazioni che andranno ad implementare e talora a modificare il quadro di conoscenza alla base della valutazione del rischio. Per essi sarà individuato un canale di consultazione diretta dell'archivio dati e saranno organizzati giornate di approfondimento e di studio tematico sulle questioni afferenti l'assetto idrogeologico nella vasta accezione del termine.

Come ho detto all'inizio questa pubblicazione è sì la chiusura di una prima fase di collaborazione ma, contemporaneamente, è l'inizio della fase più squisitamente operativa nella quale la categoria è chiamata ad essere parte sostanziale.

*Dott. Vittorio D'Oriano,  
Presidente dell'Ordine dei Geologi  
della Toscana*

## Un passo importante

Il progetto di Piano per l'Assetto Idrogeologico è stato adottato dal nostro Comitato Istituzionale lo scorso 1 agosto. Scrivere oggi queste righe per il periodico dell'Ordine dei Geologi Toscani assume un significato particolare, che va oltre la mera presentazione di un lavoro che, pure, ha coinvolto l'Ufficio per quasi due anni.

Il Piano illustrato nelle pagine che seguono, è un atto di profonda importanza per chi si occupa per compito istituzionale, per attività professionale o per semplice amore per il nostro territorio, di difesa del suolo e rischio idrogeologico. Si tratta forse del più rilevante tra gli strumenti di pianificazione prodotti dall'Autorità di bacino. È un atto che trae difatti origine da una legislazione recente e innovativa che lo rende, sotto diversi aspetti, più significativo dello stesso Piano stralcio per il rischio idraulico che ha visto la luce il 5 novembre 1999.

I contenuti del PAI non sono difatti orientati soltanto verso il mondo squisitamente tecnico. Individuando e perimetrando le aree a pericolosità idrogeologica, quantificandone il grado di rischio e apponendo conseguenti misure di salvaguardia, il Piano assume un valore specifico per le attività che quotidianamente si svolgono lungo il fiume e sulle nostre colline. Per queste attività, spesso motore dello sviluppo, viene evidenziata la vulnerabilità innanzi alla dinamica del territorio. Il piano stesso le pone tuttavia al centro di un forte processo politico e tecnico volto a garantirne la sicurezza nell'ambito di un quadro organico di pianificazione e programmazione.

La legge 183 stabilisce che un piano di bacino è atto superiore, sovraordinato a qualsiasi pianificazione locale o regionale. La responsabilità è dunque forte. Il PAI dovrebbe pertanto essere un piano competente, *perfetto*, inattaccabile, proprio per non generare perplessità o dubbi sulla propria valenza. Chi opera nel campo dei rischi naturali sa bene che tale perfezione non è raggiungibile. Troppe sono le va-

riabili e molteplici i processi che concorrono al verificarsi di un evento calamitoso. Qualsiasi modello sarà sempre un'approssimazione della realtà e, pur nella più esasperata raffinatezza, fornirà sempre una risposta con margini di incertezza forzosamente elevati.

Il PAI non può dunque essere il piano *perfetto* che vorremmo. È tuttavia il primo strumento che affronta le questioni legate ai processi idraulici e di versante, analizzandoli, attraverso uno sforzo scientifico imponente, alla scala dell'intero bacino idrografico e ponendo sullo stesso piano la più sperduta frazione montana con l'importante città del fondovalle. È un atto dinamico, in continua evoluzione, pronto a recepire tutti i contributi che ne accrescano il quadro tecnico e conoscitivo.

Risale all'inizio dell'estate la firma del protocollo di intesa col quale l'Ordine e l'Autorità di Bacino hanno deciso di mettere in comune le reciproche esperienze, i dati e molteplici forme di attività. È un fatto importante che segna anche un modo nuovo e diverso di lavorare. L'Autorità di Bacino è Amministrazione che opera sul territorio e che ha il compito di conoscere il territorio. L'esigenza del passaggio continuo tra la scala locale e quella sinottica, caratteristica eminente della nostra attività, ha bisogno di sinergie, di mutua collaborazione, di occhi attenti sul territorio. Questo nostro intervento sul periodico dell'Ordine segue l'accordo di giugno e costituisce l'elemento di un dialogo, molti di voi conoscono bene i nostri uffici, che è da tempo in corso. Si tratta di andare avanti, passo dopo passo, per la progressiva valorizzazione di un'intesa che, stando a quanto vediamo, pare straordinariamente promettente e nella quale riponiamo grande fiducia.

*Prof. Giovanni Menduni,  
Segretario Generale  
Autorità di Bacino del Fiume Arno*



## Cosa c'è sul sito dell'Autorità di Bacino: <http://www.arno.autoritadibacino.it>

**BENEDETTA POLVEROSI**

I documenti che compongono il PAI sono testi (relazioni, norme, specifiche etc.) e cartografia (carte della pericolosità idraulica e da fenomeni geomorfologici). Tutti questi documenti sono attualmente disponibili dalla data di adozione sul sito dell'Ente, secondo le modalità descritte di seguito. E' possibile consultare la documentazione disponibile, con particolare riferimento a quella cartografica, con diverse modalità a seconda del prodotto che si desidera ottenere.

Il percorso indicato di seguito, che si attiva sele-

zionando il **Progetto di Piano Stralcio "Assetto Idrogeologico"**, consente la visualizzazione il prelievo e la stampa, in formato PDF, dei documenti scritti e cartografici, questi ultimi suddivisi nei classici stralci in formato A3.

Si tratta di una informazione di rapida visualizzazione e affidabile, in cui la completezza dei documenti visualizzati, comprensivi di base topografica e di legenda fa da contrappunto all'unico svantaggio della staticità dell'informazione.

### Piani Stralcio

- ➔ **Piano Stralcio "Qualità delle Acque"**
- ➔ **Piano Stralcio "Attività estrattive"**
- ➔ **Piano Stralcio "Riduzione del Rischio Idraulico"**
- ➔ **Piano Straordinario per la rimozione delle situazioni a rischio idrogeologico più alto nel bacino del Fiume Arno**
- ➔ **Progetto di Piano Stralcio "Assetto idrogeologico" (P.A.I.)**

### Contenuti ed elaborati di Piano.

- a. Relazione di piano
  - Copertina
  - Sommario
  - Parte I
  - Parte II
  - Parte III
  - Parte IV
  - Parte V
  - Parte VI
  - Parte VII
  - Allegati
- b. Normativa di piano
- c. **Elaborati cartografici**

Nella schermata successiva tramite i punti sensibili compresi tra 'a' e 'b' si può accedere ai vari capitoli della relazione, agli allegati e alla normativa, i cui contenuti sono dettagliati nell'indice riportato in seguito.

Selezionando il punto 'c' si ottiene la visualizzazione delle cartografie, scegliendo nelle due schermate successive in sequenza il comune desiderato, il tipo di cartografia e lo stralcio.

E' possibile salvare sul proprio PC i singoli stralci o legende.

E' consigliabile una stampa preliminare degli inquadramenti alle due scale disponibili per una migliore identificazione dello stralcio desiderato.

POSIZIONE: Home / PAI / Selezione Comune

#### Seleziona il comune

Apri elenco comuni >>>

Elenco carte richieste

Per i comuni che ricadono all'interno del territorio di competenza dell'Autorità di bacino del fiume Arno è possibile scaricare le cartografie in formato PDF.

Carte sinottiche Scala 1:200.000 (Formato A0)

(1) La pericolosità è individuata in modo complementare sulle cartografie di dettaglio in scala 1:10.000 e di sintesi in scala 1:25.000

#### Servizio distribuzione telematica degli elaborati cartografici del Progetto di Piano Stralcio: "Assetto Idrogeologico"

- Perimetrazione delle aree con pericolosità<sup>(1)</sup> idraulica livello di sintesi (Scala 1:25.000)
- Perimetrazione delle aree con pericolosità<sup>(1)</sup> idraulica livello di dettaglio (Scala 1:10.000)
- Perimetrazione delle aree con pericolosità<sup>(1)</sup> da fenomeni geomorfologici di versante livello di sintesi (Scala 1:25.000)
- Perimetrazione delle aree con pericolosità<sup>(1)</sup> da frana derivate dall'inventario fenomeni franosi livello di dettaglio (Scala 1:10.000)

### Servizio distribuzione degli elaborati cartografici del Piano Stralcio: "Assetto Idrogeologico" (P.A.I.) (Legge 10 maggio 1989, n. 183 - Legge 4 dicembre 1993, n. 493)

Perimetrazione delle aree con pericolosità idraulica livello di sintesi  
Scala 1:25.000

Area non interessata dagli elaborati cartografici del (P.A.I.)

Perimetrazione delle aree con pericolosità idraulica livello di dettaglio  
Scala 1:10.000

Area non interessata dagli elaborati cartografici del (P.A.I.)

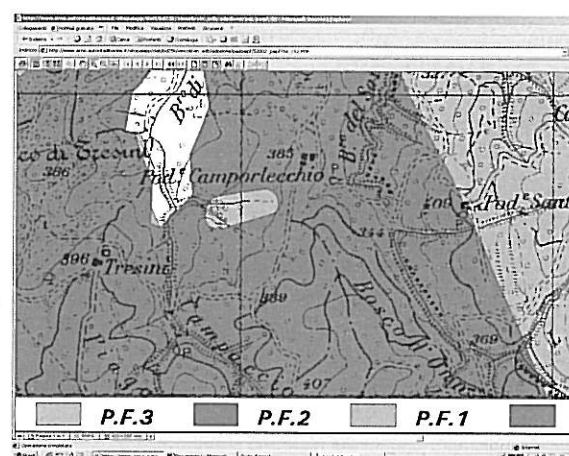
Perimetrazione delle aree con pericolosità da fenomeni geomorfologici di versante livello di sintesi  
Scala 1:25.000

- **Legenda**
- **Inquadramento**
- **Stralcio n. 152**
- **Stralcio n. 157**

Perimetrazione delle aree con pericolosità da frana derivate dall'inventario fenomeni franosi livello di dettaglio  
Scala 1:10.000

Area non interessata dagli elaborati cartografici del (P.A.I.)

Qui sotto è riportato un esempio di visualizzazione finale della carta.



L'Ente mette a disposizione *on line* anche un gran numero di dati geografici in formato GIS.

A questo scopo si possono seguire le due strade di seguito indicate.

Il **GEODATA SERVER**, è un servizio di distribuzione di una grande quantità di dati geografici, che fornisce informazioni complete in forma di files scaricabili. Vi si accede dalla schermata iniziale del sito.

Non consente la visualizzazione preliminare dei dati. Le carte in formato E00 e DXF sono inoltre sprovviste della base topografica.

E' possibile anche scaricare la guida per l'utilizzo, non sempre immediato, nella sezione **prelievo documenti**.

I files zippati vengono preparati *ad hoc* e resi disponibili una volta pronti, solitamente in pochi secondi.

**registrazione**

- **Strati informativi e cartografie: Selezione e prelievo dati**
- **Strati informativi e cartografie: Visione dati e metadati**
- **Sezioni idrografiche: Selezione e prelievo dati e visione metadati**
- **Franosità e frane: Visione carte**
- **Foto aeree: Identificazione volo e foto**

Il sistema Internet Map Server, o **IMS**, anch'esso raggiungibile dalla schermata iniziale del sito, è uno strumento di distribuzione dati innovativo e di recente inserimento, verso il quale si stanno orientando anche altri enti pubblici.

Consente la visualizzazione, l'interrogazione, il prelievo e la stampa di un'ampia gamma di dati GIS. E' possibile visualizzare carte interattive con cui è possibile dialogare con sistema simile ad ArcView. Non necessita di alcun programma di supporto da installare sul PC. Unica pecca è attualmente la lentezza di interrogazione, che lo destina a sistemi informatici dotati di connessione veloce (ISDN), parzialmente risolvibile per gli utenti con collegamento standard utilizzando basse risoluzioni di visualizzazione. E' possibile visualizzare le carte alla scala di interesse, eseguire interrogazioni sugli elementi visualizzati, visualizzarne la legenda.

E' possibile anche scaricare i dati visualizzati in formato GIS. E' disponibile una guida on line che ne facilita l'utilizzo.

**Scala**

**Vai**

**Ricerca Testo**

**OK**

**Tem**

Pericolosità da frana scala 1:10.000 ☐

Pericolosità da frana Scala 1:25.000 ☐

☒ Perimetrazione delle aree con pericolosità da frana

☒ Inventario dei fenomeni franosi

☒ Cartografia scala 1:25.000

☒ Comuni ricadenti nel bacino dell'Arno

☒ File ZIP dei dati formato SHAPE

Pericolosità Idraulica Scala 1:10.000 ☐

Pericolosità Idraulica Scala 1:25.000 ☐

**Opzioni**

☐ Mostrare Info e Links in altra finestra

**Risoluzione Mappa**

☐ 300x200

☐ 450x300

☐ 600x400





## Cosa c'è nel P.A.I.: lista degli elaborati e loro contenuto

BENEDETTA POLVEROSI

### RELAZIONE

### Sommario

<b>PARTE I</b>	<b>7</b>	<b>Reti Neurali Artificiali</b>	<b>54</b>
<b>IL PIANO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO</b>	<b>7</b>	<b>Metodi deterministici</b>	<b>55</b>
<b>E LA PIANIFICAZIONE DI BACINO</b>	<b>7</b>	<b>Metodologia Enea-minamb</b>	<b>56</b>
<b>PREMESSA</b>	<b>9</b>	<b>Pericolosità da colate rapide in coltri detritiche superficiali</b>	<b>58</b>
<b>INTRODUZIONE</b>	<b>11</b>		
<b>IL PAI NEL CONTESTO DELLA PIANIFICAZIONE DI BACINO</b>	<b>11</b>		
<b>OBIETTIVI DEL PAI</b>	<b>11</b>		
<b>ORGANIZZAZIONE DEL PIANO</b>	<b>12</b>		
<b>ELABORATI DEL PAI</b>	<b>12</b>		
<b>L'ASSETTO IDROGEOLOGICO: ASPETTI GIURIDICI</b>	<b>13</b>		
<b>LA DIFESA DEL SUOLO</b>	<b>13</b>		
<b>Prima della 183</b>	<b>13</b>		
<b>L'avvento della legge quadro</b>	<b>13</b>		
<b>La scala spaziale della pianificazione</b>	<b>14</b>		
<b>L'Autorità di Bacino</b>	<b>16</b>		
<b>Il Piano di Bacino</b>	<b>17</b>		
<b>IL CONCETTO GIURIDICO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO</b>	<b>19</b>		
<b>Introduzione</b>	<b>19</b>		
<b>Il carattere del DL 180 e della legislazione di conver-</b>			
<b>sione, integrazione e modifica</b>	<b>19</b>		
<b>L'Atto di indirizzo e coordinamento</b>	<b>20</b>		
<b>I PRINCIPALI ADEMPIMENTI DEL 180 NELLE DIVERSE FONTI NORMATIVE SUSSEGUENTI</b>	<b>22</b>		
<b>La prima fase e la stagione dei piani straordinari</b>	<b>22</b>		
<b>La seconda fase: il decreto "Soverato"</b>	<b>23</b>		
<b>L'assetto idrogeologico</b>	<b>25</b>		
<b>IL CONCETTO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO: ASPETTI TECNICI</b>	<b>27</b>		
<b>CONSIDERAZIONI GENERALI</b>	<b>27</b>		
<b>IL PIANO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO IN RAPPORTO CON IL PIANO STRALCIO</b>	<b>27</b>		
<b>RISCHIO IDRAULICO</b>	<b>27</b>		
<b>PARTE II</b>	<b>29</b>		
<b>PERICOLOSITA' E RISCHIO IDROGEOLOGICO</b>	<b>29</b>		
<b>PERICOLOSITA' E RISCHIO IDROGEOLOGICO</b>	<b>31</b>		
<b>GENERALITÀ</b>	<b>31</b>		
<b>DEFINIZIONI OPERATIVE</b>	<b>31</b>		
<b>LA DETERMINAZIONE DEL RISCHIO SECONDO L'ATTO DI</b>			
<b>INDIRIZZO E COORDINAMENTO</b>	<b>33</b>		
<b>L'INDIVIDUAZIONE E PERIMETRAZIONE DELLE AREE A PERICOLOSITÀ</b>	<b>33</b>		
<b>Generalità</b>	<b>33</b>		
<b>Significato della cartografia</b>	<b>34</b>		
<b>PERICOLOSITA' E RISCHIO IDRAULICO</b>	<b>35</b>		
<b>Generalità</b>	<b>35</b>		
<b>Quattro parole fondamentali</b>	<b>36</b>		
<b>PERIMETRAZIONE DELLE AREE A PERICOLOSITÀ</b>	<b>38</b>		
<b>Generalità</b>	<b>38</b>		
<b>Il rischio da esondazione</b>	<b>39</b>		
<b>Il rischio da dinamica d'alveo</b>	<b>40</b>		
<b>ALCUNI CENNI AL RIFERIMENTO INTERNAZIONALE</b>	<b>41</b>		
<b>La situazione americana</b>	<b>41</b>		
<b>La situazione francese</b>	<b>42</b>		
<b>METODI ANALITICI</b>	<b>45</b>		
<b>Generalità</b>	<b>45</b>		
<b>I codici in moto stazionario</b>	<b>46</b>		
<b>La modellistica di tipo bidimensionale</b>	<b>47</b>		
<b>Ulteriori modelli</b>	<b>48</b>		
<b>Lo studio idraulico per il Piano Straordinario ex DL 180/98</b>	<b>48</b>		
<b>PERICOLOSITÀ DA FENOMENI FRANOSI</b>	<b>49</b>		
<b>Generalità</b>	<b>49</b>		
<b>METODOLOGIE PER LA DETERMINAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ E DELLA</b>			
<b>SUSCETTIBILITÀ DA FRANA</b>	<b>51</b>		
<b>Introduzione</b>	<b>51</b>		
<b>Metodi qualitativi</b>	<b>52</b>		
<b>Metodi quantitativi</b>	<b>53</b>		
<b>Metodi statistici</b>	<b>53</b>		
		<b>PARTE III</b>	<b>61</b>
		<b>QUADRO CONOSCITIVO</b>	<b>61</b>
		<b>IL QUADRO CONOSCITIVO</b>	<b>63</b>
		<b>GENERALITÀ</b>	<b>63</b>
		<b>QUADRO GEOLOGICO - STRUTTURALE</b>	<b>69</b>
		<b>LINEAMENTI TETTONICI</b>	<b>69</b>
		<b>Introduzione</b>	<b>69</b>
		<b>Le Successioni</b>	<b>70</b>
		<b>EVOLUZIONE TETTONICA</b>	<b>74</b>
		<b>LINEAMENTI GEOLOGICI E LITOLGICI</b>	<b>79</b>
		<b>Successione Toscana metamorfica (MMP: Formazioni metamorfiche</b>	
		<b>del M. Pisano, MTS: Gruppo Metamorfico</b>	
		<b>della Montagnola Senese)</b>	<b>81</b>
		<b>Serie Toscana - Successione Toscana non metamorfica (STS)</b>	<b>81</b>
		<b>Unità di Monte Modino- Monte Cervarola (MCR)</b>	<b>81</b>
		<b>Serie umbro-romagnola (UMR)</b>	<b>82</b>
		<b>Gruppo dell'Alberese / Pietraforte - Unità di Monte Morello (APM)</b>	<b>82</b>
		<b>Unità del Flysch ad Elmintoidi (FLE)</b>	<b>82</b>
		<b>Unità del Bracco (UBR)</b>	<b>83</b>
		<b>Complessi Tosco-Emiliani (SMS: Serie di M. Senario;</b>	
		<b>SVR: Serie della Verna.)</b>	<b>83</b>
		<b>Successione lacustre basale del Miocene superiore</b>	
		<b>(BMS): Successione marina e salmastra del Miocene superiore</b>	
		<b>(MMS): Serie lacustre dell'Elsa del Miocene superiore (EMS)</b>	<b>83</b>
		<b>Successione marina del Pliocene inferiore-medio (MPI)</b>	
		<b>e Successione marina del Pliocene Superiore (MPS)</b>	<b>84</b>
		<b>Successione marina del Pleistocene (MPL)</b>	<b>84</b>
		<b>Depositi lacustri e fluvio-lacustri di Lucca - Mon-tecarlo -</b>	
		<b>Lamporecchio (DGL)</b>	<b>84</b>
		<b>Depositi lacustri e fluvio-lacustri di Firenze - Prato - Pistoia, Valdarno</b>	
		<b>superiore, Mugello, Casentino (DLV); Depositi lacustri di Castelnuovo</b>	
		<b>dei Sabbioni (DCS)</b>	<b>84</b>
		<b>Depositi fluviali di Altopascio - Cerbaie (DAC)</b>	<b>85</b>
		<b>Depositi del 2° ciclo fluvio-lacustre di Lucca</b>	<b>85</b>
		<b>Corpi magmatici post-orogeni</b>	<b>85</b>
		<b>Depositi del Pleistocene superiore (DPS)</b>	<b>85</b>
		<b>Depositi olocenici (DOL)</b>	<b>85</b>
		<b>- Depositi alluvionali</b>	<b>86</b>
		<b>- Depositi sabbiosi costieri</b>	<b>86</b>
		<b>- Depositi palustri e torbosi</b>	<b>86</b>
		<b>- Conoidi</b>	<b>86</b>
		<b>- Detriti</b>	<b>86</b>
		<b>- Travertini Olocenici</b>	<b>86</b>
		<b>MORFOLOGIA ED EVOLUZIONE RECENTE DEL BACINO DEL FIUME ARNO</b>	<b>90</b>
		<b>Introduzione</b>	<b>90</b>
		<b>Lineamenti morfostrutturali</b>	<b>90</b>
		<b>Le dorsali</b>	<b>92</b>
		<b>I bacini</b>	<b>94</b>
		<b>L'EVOLUZIONE PALEOGEOGRAFICA</b>	<b>95</b>
		<b>PROCESSI GEOMORFOLOGICI ATTUALI</b>	<b>99</b>
		<b>LINEAMENTI FISIOGRAFICI</b>	<b>103</b>
		<b>IDROGRAFIA</b>	<b>117</b>
		<b>L'Asta principale</b>	<b>117</b>
		<b>Gli affluenti</b>	<b>117</b>
		<b>LINEAMENTI DI IDROGEOLOGIA</b>	<b>122</b>
		<b>Introduzione</b>	<b>122</b>
		<b>Caratteristiche degli acquiferi</b>	<b>123</b>
		<b>Acquiferi permeabili per porosità</b>	<b>124</b>
		<b>acquiferi permeabili per fratture</b>	<b>124</b>
		<b>Gli acquiferi montani</b>	<b>125</b>
		<b>Gli acquiferi di pianura</b>	<b>127</b>



<b>Il Casentino</b>	<b>127</b>	<b>PARTE VI</b>	<b>229</b>
<b>La Valdichiana</b>	<b>127</b>	<b>PROGRAMMA DEGLI INTERVENTI E FABBISOGNI FINANZIARI</b>	<b>229</b>
<b>Valdarno Superiore</b>	<b>128</b>	<b>GENERALITÀ</b>	<b>231</b>
<b>Mugello</b>	<b>129</b>	<b>INTERVENTI TIPO PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO</b>	<b>232</b>
<b>Il Medio Valdarno</b>	<b>129</b>	<b>INTERVENTI TIPO PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO LEGATO AI</b>	
<b>La falda di Firenze</b>	<b>129</b>	<b>DISSESTI DA FENOMENI FRANOSI</b>	<b>237</b>
<b>La falda di Prato</b>	<b>129</b>	<b>QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO PER LA REALIZZAZIONE</b>	
<b>La falda della pianura di Pistoia</b>	<b>131</b>	<b>DEL PROGRAMMI DI INTERVENTO</b>	<b>238</b>
<b>Il Valdarno inferiore</b>	<b>132</b>	<b>Legge 18 maggio 1989, n. 183</b>	<b>238</b>
<b>La Val di Pesa</b>	<b>132</b>	<b>LEGGE 3 AGOSTO 1998, N. 267 E SUCCESSIVE LEGGI DI INTEGRA-</b>	
<b>La pianura dell'Arno fra Montelupo e Fucecchio</b>	<b>132</b>	<b>ZIONE E MODIFICA</b>	<b>240</b>
<b>La Valdinievole</b>	<b>132</b>	<b>LA PIANIFICAZIONE VIGENTE DI SETTORE E I PROGRAMMI DI INTER-</b>	
<b>La Val d'Elsa</b>	<b>133</b>	<b>VENTO RELATIVI</b>	<b>241</b>
<b>La pianura dell'Arno tra Fucecchio e Santa Croce</b>	<b>133</b>	<b>Generalità</b>	<b>241</b>
<b>La pianura di Pisa</b>	<b>133</b>	<b>IL PIANO STRALCIO "RISCHIO IDRAULICO" (D.P.C.M. 5/11/1999)</b>	<b>241</b>
<b>L'ANDAMENTO COSTIERO</b>	<b>134</b>	<b>La cartografia Di Piano</b>	<b>244</b>
<b>CARATTERI GENERALI DEL PAESAGGIO NATURALE ED ANTROPIZZATO</b>		<b>Carta guida delle aree allagate</b>	<b>245</b>
<b>E SUA EVOLUZIONE NEL TEMPO</b>	<b>136</b>	<b>Carta degli interventi strutturali per la riduzione del</b>	
<b>Sistema 'Appennino'</b>	<b>137</b>	<b>rischio idraulico nel bacino dell'Arno</b>	<b>253</b>
<b>Sistema 'Alpi Apuane'</b>	<b>137</b>	<b>Interventi prioritari del piano</b>	<b>255</b>
<b>Sistema 'Rilievi dell'Antiappennino'</b>	<b>138</b>	<b>LE PRINCIPALI CASSE DI ESPANSIONE LUNGO L'ARNO</b>	<b>258</b>
<b>Sistema 'Colline Plioceniche'</b>	<b>138</b>	<b>INTERVENTI SULLE DIGHE DI LA PENNA E LEVANE</b>	<b>263</b>
<b>Sistema 'Conche Intermontane'</b>	<b>138</b>	<b>Le dighe di La Penna e Levane</b>	<b>263</b>
<b>Sistema 'Pianure Alluvionali'</b>	<b>139</b>	<b>Il Canale Battagli</b>	<b>265</b>
<b>Sistema 'Pianure Costiere'</b>	<b>139</b>	<b>L'uso multiplo delle opere</b>	<b>265</b>
<b>EVOLUZIONE DEL PAESAGGIO NEL TEMPO</b>	<b>141</b>	<b>Considerazioni conclusive</b>	<b>268</b>
<b>USO DEL SUOLO</b>	<b>145</b>	<b>PIANO STRAORDINARIO DIRETTO A RIMUOVERE LE SITUAZIONI</b>	
<b>CLIMATOLOGIA</b>	<b>157</b>	<b>A RISCHIO IDROGEOLOGICO PIÙ ALTO</b>	<b>268</b>
<b>REGIME TERMICO</b>	<b>157</b>	<b>Impostazioni generali e metodologie</b>	<b>269</b>
<b>REGIME PLUVIOMETRICO</b>	<b>157</b>	<b>Adozione di misure di salvaguardia</b>	<b>270</b>
<b>SICCITÀ</b>	<b>159</b>	<b>Perimetrazione delle aree con pericolosità e rischio - Atlanti</b>	
<b>Regime epico</b>	<b>166</b>	<b>cartografici</b>	<b>271</b>
<b>CONTESTO SOCIO ECONOMICO E STRUTTURALE</b>	<b>166</b>	<b>Pericolosità e rischio idraulico</b>	<b>271</b>
<b>Aspetti demografici</b>	<b>168</b>	<b>PERIMETRAZIONE DELLE AREE CON PERICOLOSITÀ E RISCHIO DI</b>	
<b>Dinamica a medio e lungo termine</b>	<b>171</b>	<b>FRANA RIPORTATE NEL PIANO STRAORDINARIO</b>	<b>284</b>
<b>ASPETTI ECONOMICI-PRODUTTIVI</b>	<b>176</b>	<b>Programma di interventi urgenti atti a rimuovere o</b>	
		<b>mitigare le aree a rischio più alto</b>	<b>286</b>
<b>PARTE IV</b>	<b>183</b>	<b>QUADRO DEI FINANZIAMENTI STANZIATI IN MATERIA DI DIFESA</b>	
<b>METODOLOGIA OPERATIVA</b>	<b>183</b>	<b>DEL SUOLO DAL 1989 AL 2001</b>	<b>287</b>
<b>METODOLOGIA OPERATIVA PER LA PERIME-TRAZIONE DELLE</b>		<b>STATO DI ATTUAZIONE DEGLI INTERVENTI FINANZIATI CON LA</b>	
<b>AREE A PERICOLOSITA'</b>	<b>185</b>	<b>LEGGE 183/89</b>	<b>287</b>
<b>PERICOLOSITA' IDRAULICA</b>	<b>185</b>	<b>QUADRO RIASSUNTIVO DAL 1989 AL 1999</b>	<b>300</b>
<b>IL LIVELLO DI DETTAGLIO</b>	<b>187</b>	<b>TRIENNIO 2001/2003</b>	<b>303</b>
<b>Generalità</b>	<b>187</b>	<b>Riduzione del rischio idraulico</b>	<b>303</b>
<b>Il quadro conoscitivo di base</b>	<b>188</b>	<b>Sistemazione movimenti franosi</b>	<b>304</b>
<b>La modellistica idrologica</b>	<b>188</b>	<b>Miglioramento della depurazione</b>	<b>304</b>
<b>LA MODELLISTICA IDRAULICA</b>	<b>195</b>	<b>Sviluppo e gestione del monitoraggio delle acque</b>	<b>304</b>
<b>Generalità</b>	<b>195</b>	<b>Installazione di centraline di monitoraggio idropluvio-metrico</b>	
<b>Modello quasi bidimensionale di moto vario</b>	<b>196</b>	<b>e apparecchiature per la valutazione della subsidenza</b>	<b>304</b>
<b>La modellazione idraulica delle aree inondabili</b>	<b>198</b>	<b>Fondi per la realizzazione di interventi inerenti il ri-</b>	
<b>ANALISI DEL BATTENTI IDRICI</b>	<b>199</b>	<b>schio idrogeologico (progetti preliminari)</b>	<b>304</b>
<b>Definizione dell'area di studio</b>	<b>199</b>	<b>Attività sperimentali e di pianificazione</b>	<b>304</b>
<b>Criteri operativi</b>	<b>200</b>	<b>FINANZIAMENTI RICHIESTI PER PROGETTI STRATEGICI AI SENSI</b>	
<b>PERICOLOSITA' DA FRANA</b>	<b>207</b>	<b>DEL D.P.R. 9 MAGGIO 2001, N. 331</b>	<b>307</b>
<b>Introduzione</b>	<b>207</b>	<b>FINANZIAMENTI EROGATI CON ULTERIORI FONDI PER L'ESECU-</b>	
<b>Il livello di sintesi</b>	<b>207</b>	<b>ZIONE DI INTERVENTI DI CUI ALLE FINALITÀ DELLA L. 183/89</b>	<b>310</b>
<b>La metodologia per il livello di dettaglio</b>	<b>209</b>	<b>FINANZIAMENTI EROGATI AI SENSI DELL'ART. 21, L. 183/89</b>	
<b>L'indicizzazione sul territorio del bacino</b>	<b>211</b>	<b>"I PROGRAMMI DI INTERVENTI"</b>	<b>310</b>
		<b>FINANZIAMENTI EROGATI AI SENSI DELL'ART. 1, COMMA 2,</b>	
<b>PARTE V</b>	<b>213</b>	<b>D.L. 180/98</b>	<b>311</b>
<b>CRITICITÀ</b>	<b>213</b>	<b>QUADRO GLOBALE DEI FABBISOGNI</b>	<b>315</b>
<b>CRITICITÀ EMERSE DALL'ANALISI DELLE AREE A RISCHIO IDRAULICO</b>		<b>QUADRO GLOBALE DEI FABBISOGNI</b>	<b>316</b>
<b>E DI FRANA</b>	<b>215</b>	<b>ELENCO INTERVENTI PREVISTI DAL PIANO STRALCIO RISCHIO</b>	
<b>Generalità</b>	<b>215</b>	<b>IDRAULICO</b>	<b>318</b>
<b>APPROCCIO METODOLOGICO</b>	<b>215</b>	<b>CRITERI PER LA DEFINIZIONE DELLE PRIORITÀ PER IL FINAN-</b>	
<b>Il problema della identificazione del rischio</b>	<b>215</b>	<b>ZIAMENTO DEGLI INTERVENTI</b>	<b>319</b>
<b>DESCRIZIONE DELLE CRITICITÀ</b>	<b>218</b>	<b>Interventi di natura idraulica</b>	<b>319</b>
<b>Generalità</b>	<b>218</b>	<b>INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DEI VERSANTI</b>	<b>320</b>
<b>AREE SOGGETTE A RISCHIO IDRAULICO</b>	<b>218</b>	<b>CONTROLLO DELL'ATTUAZIONE DEL PIANO: ATTIVITÀ DI</b>	
<b>Generalità</b>	<b>219</b>	<b>MONITORAGGIO</b>	<b>321</b>
<b>L'analisi del PAI</b>	<b>221</b>	<b>DESCRIZIONE DEL DATABASE "BANCA DATI MONITORAGGIO INTERVENTI"</b>	<b>322</b>
<b>Alcune osservazioni di ordine metodologico</b>	<b>221</b>		
<b>Pericolosità a livello di dettaglio</b>	<b>222</b>	<b>PARTE VII</b>	<b>331</b>
<b>Pericolosità a livello di sintesi</b>	<b>223</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>331</b>
<b>AREE SOGGETTE A RISCHIO DA FRANA</b>	<b>225</b>		
<b>Generalità</b>	<b>225</b>		
<b>L'analisi del PAI</b>	<b>225</b>		
<b>Pericolosità a livello di dettaglio</b>	<b>227</b>		
<b>Pericolosità a livello di sintesi</b>	<b>228</b>		



**ALLEGATI ALLA RELAZIONE**

<b>Allegato 1</b>	
Applicazione della Metodologia per la valutazione della suscettibilità da frana nel bacino del Virginio	
<b>Allegato 2</b>	
Modulo di elaborazione idrologica e idraulica "Idramo"	
<b>Allegato 3</b>	
Glossario Internazionale delle Frane	
<b>Allegato 4</b>	
Perimetrazione delle aree a rischio idraulico sugli affluenti del fiume Arno	
<b>Allegato 5</b>	
Inventario dei movimenti franosi ricadenti nel bacino dell'Arno	
<b>Allegato 6</b>	
Indice di esposizione al dissesto per frana del territorio comunale	

**NORME DI ATTUAZIONE**

<b>TITOLO I</b>	
<b>Aree a pericolosità idrogeologica</b>	
Art. 1 - Finalità generali del Piano	5
Art. 2 - Definizioni	5
Art. 3 - Ambito di applicazione	6
Art. 4 - Contenuti ed elaborati di Piano	6
<b>TITOLO II</b>	
<b>Aree a pericolosità idrogeologica</b>	
<b>CAPO I</b>	
<b>Pericolosità idraulica</b>	
Art. 5 - Elaborati di Piano	6
Art. 6 - Aree a pericolosità idraulica molto elevata (P.I.4)	7
Art. 7 - Aree a pericolosità idraulica elevata (P.I.3)	8
Art. 8 - Aree a pericolosità idraulica media e moderata (P.I.2 e P.I.1)	8
<b>CAPO II</b>	
<b>Pericolosità da processi geomorfologici di versante</b>	
Art. 9 - Elaborati di Piano	8
Art. 10 - Aree a pericolosità molto elevata da processi geomorfologici di versante e da frana	9
Art. 11 - Aree a pericolosità elevata da processi geomorfologici di versante e da frana	9
Art. 12 - Aree a pericolosità media e moderata da processi geomorfologici di versante e da frana	10
Art. 13 - Riordino del vincolo idrogeologico	10
Art. 14 - Boschi in situazioni speciali	10
<b>CAPO III</b>	
<b>Disposizioni generali</b>	
Art. 15 - Piani di Protezione Civile	10
Art. 16 - Misure di tutela per le aree vulnerabili alla desertificazione	11
Art. 17 - Aree di interesse archeologico, storico - artistico e paesaggistico	11
Art. 18 - Compatibilità delle attività estrattive nelle aree a pericolosità idraulica molto elevata ed elevata e nelle aree a pericolosità da processi geomorfologici di versante	11
Art. 19 - Concorso di livelli di pericolosità	11
<b>TITOLO III</b>	
<b>Programmazione e attuazione degli interventi</b>	
Art. 20 - Finalità	12
Art. 21 - Criteri di intervento	12

Art. 22 - Criteri generali per l'accesso ai finanziamenti	12
Art. 23 - Indirizzi per la progettazione delle opere di Piano	12
Art. 24 - Interventi di manutenzione idraulica e geomorfologica	12
Art. 25 - Interventi nell'agricoltura	13
Art. 26 - Impianti specializzati di vivaio e serre ad uso ortoflorovivaistico e contenimento degli effetti di impermeabilizzazione dei suoli	13
Art. 27 - Adeguamento degli strumenti urbanistici	13
Art. 28 - Protezione civile	14
Art. 29 - Polizia idraulica e servizio di piena	14

**TITOLO IV**  
**Modalità di formazione, revisione, verifica ed attualizzazione del Piano**

Art. 30 - Quadro conoscitivo del bacino del fiume Arno	14
Art. 31 - Acquisizione dello strato informativo "pedologia" per il bacino del fiume Arno	14
Art. 32 - Procedura di integrazione e modifica del PAI	14

**TITOLO V**  
**Disposizioni finali**

Art. 33 - Rapporti con la pianificazione a scala di bacino nel suo complesso	15
Art. 34 - Attività di supporto tecnico ad enti pubblici e a privati	15
Art. 35 - Norma transitoria	15

<b>Allegato 1</b>	
Comuni ricadenti nel bacino dell'Arno	17
<b>Allegato 2</b>	
Impianti specializzati di vivaio e serre ad uso ortoflorovivaistico	19
<b>Allegato 3</b>	
Contenimento degli effetti di impermeabilizzazione dei suoli	21
<b>Allegato 4</b>	
Redazione delle proposte di modifica ed integrazione alla perimetrazione delle aree a pericolosità	23

**ELABORATI CARTOGRAFICI**

<b>CARTE A LIVELLO DI SINTESI</b>	<b>1:25.000</b>
Perimetrazione delle aree con pericolosità idraulica a livello di sintesi	
Perimetrazione delle aree con pericolosità da fenomeni geomorfologici a livello di sintesi	
<b>CARTE A LIVELLO DI DETTAGLIO</b>	<b>1:10.000</b>
Perimetrazione delle aree con pericolosità idraulica a livello di dettaglio	
Perimetrazione delle aree con pericolosità da fenomeni geomorfologici a livello di dettaglio	

**CAPITOLATI TECNICI**

- Capitolato tecnico per il rilievo di sezioni trasversali d'alveo con uso integrato di strumentazione tradizionale e sistema navstar-g.p.s. sul fiume Arno
- Schema di capitolato d'oneri
- I capitolati di cui sopra sono attualmente disponibili solo presso la sede dell'ente. Saranno prossimamente resi disponibili sul sito dello stesso.

**Adozione del Progetto di Piano**

*Stralcio per l'Assetto Idrogeologico ex D.L. 180/98 e successive fonti normative di modifica e integrazione. I piani per l'assetto idrogeologico.*

**Introduzione**

Il termine *assetto idrogeologico* è relativamente recente e, in qualche misura, prefigura un significato nuovo e forse anomalo dell'aggettivo, da sempre deputato a connotare i processi dell'*idrogeologia*, la materia che studia il rapporto tra l'acqua e la matrice rocciosa che la racchiude. Le due parole, nel caso in esame, indicano invece il *buon ordine del territorio e delle acque*, conseguito naturalmente o perseguito attraverso la pianificazione di opportune strategie di intervento. La carenza di *assetto idrogeologico*, si manifesta sul territorio attraverso quegli indici di disordine che vanno sotto il nome generico di *dissesto*. Le frane, le colate di fango e di detrito, le alluvioni, i processi di erosione localizzata e diffusa, la crisi, insomma, del territorio e la perdita conseguente di vite umane, beni, infrastrutture ma anche di valori ambientali, naturalistici, del paesaggio.

La locuzione *assetto idrogeologico*, introdotta nella nostro ordinamento dal D.L. 180/98, richiama in maniera forte e diretta il concetto giuridico di *difesa del suolo*, precisato dalla legge quadro 183/89. C'è da chiedersi quale sia il rapporto tra i due termini e, soprattutto, perché l'*assetto* non trovi spazio in una legge così ampia, articolata e completa come, appunto, la 183. E perché, ancora, questo concetto nuovo abbia trovato invece forza e vigore in una lunga sequela di recenti fonti normative a condizionare, in modo così determinante, la pianificazione di bacino.

La risposta è forse nell'iter di attuazione della legge, lungo, difficile e disomogeneo sul territorio del nostro Paese. È impressionante constatare come ancora oggi, ad oltre dieci anni dall'approvazione del testo, vi siano intere regioni ove la pianificazione di bacino sia ancora, nei fatti, allo stato embrionale. Al contrario vi sono state realtà, si parla soprattutto di alcune Autorità di rilievo nazionale, ove i processi di pianificazione e programmazione

si sono svolti, pur attraverso molte incertezze e qualche ingenuità, con una accettabile scansione temporale e si sono sviluppati con il conseguimento di obiettivi sostanzialmente positivi.

La vulnerabilità, l'intrinseca fragilità del nostro territorio nei confronti delle alluvioni e del dissesto di tipo franoso, è davvero eclatante. È significativo, a questo proposito, constatare la frequenza di eventi calamitosi che colpiscono il territorio, soprattutto in rapporto alla contestuale carenza di difesa, intesa quest'ultima, nell'accezione più ampia del termine. Il documento approvato dalla XIII Commissione permanente del Senato della Repubblica, a conclusione dell'indagine conoscitiva sulla difesa del suolo, è stato, sotto questo punto di vista, emblematico. Il testo, presentato dall'Onorevole Veltri il 18 marzo 1998, pur segnalando tra l'altro i risultati positivi conseguiti nelle zone ove più efficace e solerte è stata l'applicazione della legge, ribadisce come la difesa del suolo resti *uno dei problemi più rilevanti nel nostro paese* e come la normativa si stata applicata in modo *parziale e non omogeneo su tutto il territorio nazionale, talché a otto anni dalla sua entrata in vigore i risultati conseguiti appaiono inferiori a quelli previsti*.

**Il DL 180/98 ed il rapporto con il piano stralcio Rischio Idraulico**

Su questo substrato si inserisce la tragedia di Sarno, occorsa il 5 maggio 1998. A fronte del quadro devastante delle vittime e dei danni, si ritenne imprescindibile, a livello nazionale, una grande presa di coscienza collettiva sullo stato effettivo della pericolosità e del rischio idrogeologico sul territorio. Il decreto che prende il nome da quella calamità, è difatti incentrato sulla individuazione degli *squilibri* territoriali e delle relative soluzioni di intervento in riferimento, appunto, alla pericolosità e al rischio. Il testo, del quale è eclatante il carattere emergenziale, prevede la redazione di uno specifico stralcio del Piano di Bacino, che contenga



l'individuazione e la perimetrazione delle aree a rischio idrogeologico e la conseguente apposizione di adeguate misure di salvaguardia. Tale concezione riconosce al piano un approccio sistematico e multidisciplinare. Si tratta di un forte disegno programmatico che suggerisce la messa a sistema della pianificazione della pericolosità e del rischio, entro la valutazione dell'assetto territoriale nel suo complesso. Il Piano di bacino trova così ribadita la sua funzione di strumento di governo del territorio e collante tecnico e giuridico tra le diverse funzioni riconducibili all'assetto idraulico ed idrogeologico.

È da osservare che il disegno del Decreto Sarno è andato a sovrapporsi su di una attività delle Autorità di Bacino che, come si è dianzi ricordato, era fortemente disomogenea per impostazione e stato di attuazione. In particolare la nostra Autorità, prima ed unica in Italia, aveva già adottato il progetto di piano stralcio *per la riduzione del rischio idraulico*, poi approvato con DPCM 5 novembre 1999. Presupposto essenziale del documento era, come doveroso, la identificazione degli squilibri nell'ambito dell'acquisizione del più generale quadro conoscitivo. Questa fase è stata fortemente condizionata, nella sua impostazione, dalla estrema e peculiare vulnerabilità complessiva del territorio del bacino che viene sistematicamente inondato per estensioni dell'ordine del 10-15% della sua superficie, in occasione di eventi a ricorrenza di ordine centennale, e del 3-5% in occasione eventi con tempi di ritorno dell'ordine di 20 anni. Vale la pena sottolineare *ad abundantiam* che il territorio colpito è situato nelle aree di fondovalle intrinsecamente pianeggianti e dunque pregiate, è sede dei centri urbani maggiori ed è attraversato da tutte le infrastrutture strategiche. Costituisce dunque un patrimonio il cui valore va ben oltre la quantificazione, pur relevantissima, della sua estensione. È tra l'altro da ricordare che la ferita provocata dall'evento del 1966, con le sue tragiche conseguenze estese praticamente all'intero bacino, era ed è tuttora aperta nella coscienza del territorio.

Il piano fu dunque orientato ad una strategia, organizzata alla scala sinottica del bacino, che portasse in quindici anni alla rimozione complessiva di tale criticità diffusa. La soluzione perseguita fu

il contenimento nell'ambito del reticolo di drenaggio, di portate con frequenza di ordine tra cento e duecento anni. Fu all'uopo ricostruito, con l'ausilio della modellazione matematica, l'andamento temporale dell'evento di piena nelle diverse sezioni e furono individuate le soluzioni tecniche necessarie alla laminazione delle portate in eccesso. Nella impostazione del Piano fu prevista, tra l'altro, una tappa intermedia che, articolata su un orizzonte quinquennale, fu specificamente orientata alla complessiva tutela del territorio dalle inondazioni ricorrenti. All'atto dell'adozione fu instaurato un sistema vincolistico sulle porzioni di territorio, sedi degli interventi strutturali e da preservare dunque alla naturale espansione delle acque di piena durante gli eventi maggiori. Per la realizzazione del piano furono, come ovvio, individuati i tempi e i costi di attuazione. Alcuni degli interventi sono già realizzati o sono in corso di realizzazione. Per diverse opere è già definito compiutamente il piano finanziario. Per tutti gli interventi sono già disponibili le risorse per completare le indagini residue e l'iter della progettazione preliminare.

Si è detto che i contenuti del PAI non sono limitati alle sole problematiche della mitigazione del rischio idraulico. È tuttavia da rilevare che tale sfera di interesse costituisce un pilastro fondamentale dell'assetto idrogeologico del territorio. È dunque accaduto che l'attività di pianificazione diligentemente svolta dall'Autorità del Fiume Arno durante il primo quinquennio degli anni '90, si sia trovata non perfettamente allineata con le indicazioni metodologiche contenute nel decreto Sarno e nel successivo atto di indirizzo e coordinamento. Il territorio nazionale, d'altro canto, è così variegato dal punto di vista fisiografico, urbanistico ed amministrativo che ogni situazione acquista caratteristiche di peculiarità e deve essere esaminata ad hoc.

La nostra Autorità, una volta emanato il Piano Straordinario, ha così dovuto operare un adeguamento del lavoro svolto per portarlo in sintonia con il mutato quadro normativo. In ciò è stato profuso il massimo impegno nell'obiettivo di recepire per intero i contenuti innovativi del PAI pur conservando le indicazioni di un quadro conoscitivo e programmatico faticosamente con-

quistato.

## **L'individuazione e la perimetrazione delle aree a pericolosità idraulica**

### **Introduzione**

La definizione delle aree soggette a pericolosità idrogeologica risulta essere una operazione estremamente delicata e che comporta effetti normativi di grande rilevanza sul territorio interessato. I criteri informativi che hanno diretto lo studio in questione sono stati, oltre alla correttezza metodologica, la riproducibilità, l'omogeneità e la trasparenza delle procedure adottate. L'obiettivo perseguito è stato quello di rendere noti all'utente finale, tanto i presupposti scientifici che la sequenza tecnica seguita per le operazioni di individuazione e perimetrazione delle aree a pericolosità.

Il raggiungimento di tale risultato, soprattutto per quanto attiene all'idraulica, è stato finalizzato alla possibilità, da parte dell'utente, di ricostruire il percorso seguito durante le operazioni di mappatura e determinare, attraverso le stesse metodologie, l'efficacia di interventi eventualmente previsti per la mitigazione del rischio o la verifica di eventuali integrazioni o modifiche dei perimetri. La stessa impostazione è stata finalizzata a preservare il carattere intrinsecamente dinamico del quadro conoscitivo e, dunque, la necessaria possibilità di realizzare gli studi per fasi successive e la costante la revisione dei risultati.

Occorre difatti tenere presente che l'attività di individuazione e perimetrazione delle aree a pericolosità idrogeologica può essere condotta con diversi livelli di approfondimento, in funzione della tecnologia e del quadro conoscitivo al momento disponibili. Quest'ultimo, inoltre, risente di circostanze locali e complessive che ne comportano una sostanziale disomogeneità sul territorio del bacino dovuta, tra l'altro, al diverso stato di attuazione degli strumenti urbanistici, al livello di antropizzazione del territorio, alla disomogeneità nella vulnerabilità e pericolosità delle diverse aree. I dati disponibili, assai spesso, tendono difatti ad addensarsi laddove il rischio sul territorio venga a indicare la necessità di indagini specifiche mentre vaste aree, magari egualmente pericolose ma al momento meno vulnerabili, restano con un livello co-

noscitivo carente.

Un progetto di aggiornamento ed omogeneizzazione del quadro conoscitivo, svolto alla scala sinottica del bacino, richiede l'allocazione di tempi ed energie tale da negarne la possibilità nelle more dell'elaborazione del presente Piano stralcio. È dunque imprescindibile il fatto che tale lavoro debba essere condotto per fasi successive a seguire lo spirito dinamico della pianificazione di bacino.

Nel caso in esame si è proceduto con l'individuazione e la perimetrazione delle aree a pericolosità su due distinti livelli di approssimazione e si sono rappresentati i risultati ad altrettante scale cartografiche. Il primo livello, per quanto attiene la pericolosità idraulica, è basato su criteri geomorfologici e storico inventariali. Il secondo, invece, si fonda sull'applicazione di modelli idrologici e idraulici impostati su rilievi di dettaglio delle sezioni fluviali e del territorio.

### **Significato della cartografia**

La cartografia delle *aree a pericolosità* costituisce in effetti la ricaduta operativa più importante per quanto attiene alla attività connessa alla elaborazione del PAI. Sulla base della perimetrazione delle diverse fasce, si è detto dianzi, vengono apposti vincoli e emanate normative che interagiscono in maniera profonda con la vita del territorio. Occorre chiarire bene il carattere di queste mappe, al fine di comprendere appieno il significato dell'attività svolta e programmarne gli sviluppi futuri.

L'inondazione del territorio è un fatto caratterizzato da una forte componente aleatoria, determinata da una complessa catena di processi fisici. Questi, a partire dalla formazione dell'afflusso meteorico, ne determinano la trasformazione in deflussi nel reticolo di drenaggio prima, in livelli idrometrici lungo le aste, portate tracimanti e ancora livelli idrometrici e velocità di deflusso sulle aree allagate, poi. È facile quindi comprendere come la componente stocastica, nel fenomeno complessivo, possa risultare significativa e, alle volte, persino dominante rispetto a quella deterministica.

L'approccio allo studio di questi fenomeni può essere di ordine storico, sulla base della memoria



degli eventi passati, o analitico, attraverso l'impiego di modelli matematici a diverso livello di complessità. I limiti raggiunti da un evento di inondazione, oltre ai livelli idrici e le velocità, sono in effetti la realizzazione di un processo stocastico che, in termini generali, ha probabilità relativamente modesta di ripetersi negli stessi aspetti di dettaglio. La mappatura su base storica, stante anche la natura intrinsecamente dinamica dell'assetto del territorio alle diverse scale di interesse, ha dunque un valore che va debitamente valutato.

La modellistica numerica, a sua volta, risente della drastica concettualizzazione alla quale i processi fisici di base sono inquadrati e descritti. A tale aspetto si aggiunge l'informazione disponibile sul territorio che risulta limitata, stante anche la complessità, la non stazionarietà e l'estensione dell'ambiente fisico considerato. È pure noto dall'esperienza che il grado di incertezza sulla previsione viene soltanto in parte mitigato dall'incremento nella qualità e quantità dei dati disponibili e dalle risorse di calcolo impiegate. Lo stato vegetativo delle colture e della vegetazione riparia, la dinamica della meteora nello spazio e nel tempo, la presenza variabile di ostacoli sul terreno quali, ad esempio, le automobili, il determinarsi occasionale di elementi di criticità nelle difese di sponda, sono solo alcuni degli elementi che vengono ad influire, in maniera a volte rilevante, sull'effettiva estensione delle aree soggette all'inondazione.

Queste considerazioni, naturalmente, non devono scoraggiare rispetto allo sforzo, peraltro indispensabile, teso verso livelli sempre più elevati nella raccolta e organizzazione dei dati, nell'analisi e nella simulazione dei processi in esame. È tuttavia evidente che i risultati degli studi, tradotti nella cartografia di piano, hanno una valenza forzatamente approssimata testimoniata, in prima istanza, dal carattere puramente deterministico della rappresentazione cartografica delle aree a rischio per assegnata frequenza. Il limite delle aree a pericolosità, da noi indicato attraverso una linea sulla carta topografica, dovrebbe in effetti essere sostituito da una fascia corrispondente a diversi livelli di probabilità. È d'altro canto ovvia la considerazione che la formulazione in probabilità delle aree sottoposte a vincolo determinerebbe proble-

mi insuperabili in fase di emanazione ed applicazione delle normative.

Nessuno strumento analitico ne' alcuna, seppur perfetta, memoria storica potrà dunque garantire risultati in termini di certezza dell'estensione e degli effetti prodotti dai fenomeni naturali. Il carattere della perimetrazione deve essere pertanto inteso in senso sostanzialmente convenzionale seppur basato su solide basi tecniche e scientifiche. Il lavoro di svolto costituisce uno strumento dinamico, soggetto a periodiche revisioni dettate dall'incremento del quadro conoscitivo, dallo sviluppo della tecnologia disponibile e dalla generale dinamica del territorio e del clima.

### Articolazione della metodologia

L'indagine per l'individuazione e la perimetrazione delle aree a pericolosità idraulica è stata svolta, come già detto, con riferimento a due livelli, generale e di dettaglio e rappresentata a altrettante scale cartografiche. Il livello generale, rappresentato in scala 1:25.000, raccoglie sostanzialmente le informazioni di ordine geomorfologico e la memoria storica del territorio filtrata criticamente, almeno per quanto attiene le fasce a pericolosità più elevata, da quasi due anni di vaglio severissimo, dato dalla applicazione del piano straordinario. Tale livello è destinato a ridurre la propria importanza nel tempo. La procedura per gli aggiornamenti prevede difatti che ogni modifica venga attuata già a *livello di dettaglio*. Questo, costituito dal mosaico di stralci in scala 1:10.000, presenta invece i risultati dell'applicazione di specifici modelli idrologici e idraulici. Il Piano, in questo caso, fissa lo standard metodologico di base attraverso il quale si operano stime affidabili sull'estensione delle aree inondate per diversi tempi di ritorno. Ambedue i quadri, storico e analitico, possono essere migliorati, integrati, affinati nel tempo, seguendo le esigenze della corretta pianificazione e gestione del territorio. In questo contesto va rivendicato, ancora una volta, il carattere dinamico, in continua evoluzione, della pianificazione di bacino.

### Il livello sinottico

Riguarda la individuazione e perimetrazione di aree riferite a quattro classi di pericolosità idraulica, ed è esteso all'intero territorio del bacino non

coperto dagli stralci del mosaico di dettaglio. I criteri per la perimetrazione sono, come si è detto, di ordine geomorfologico e storico-inventariale.

Per le aree a pericolosità molto elevata o *P.I.4*, è stata adottata la perimetrazione già individuata per il Piano straordinario ex D.L. 180/98. Questa, con l'eccezione delle aree idraulicamente connesse all'asta principale, fu ai tempi effettuata su criteri esclusivamente storici. In particolare furono prese in considerazione le aree già individuate nella *Carta guida delle aree allagate*, facendo riferimento alle inondazioni storiche successive al 1966. È da osservare come tale perimetrazione, nel periodo intercorso tra la adozione del Piano straordinario e la redazione del *PAI* ha subito il filtro dato da due anni di vigenza che, attraverso le osservazioni presentate dagli Enti territoriali interessati, ha corretto alcuni errori materiali e ha modificato l'estensione di quelle aree ove, nel periodo considerato, fossero intercorsi interventi tesi alla riduzione della pericolosità e dell'esposizione al rischio.

Le aree a pericolosità *elevata* o *P.I.3* sono state anch'esse perimetrate con riferimento al Piano straordinario. In particolare sono state ascritte a tale classe le aree indicate nel piano con la sigla *B.I.* Si tratta di aree soggette anch'esse a inondazioni con frequenza relativamente elevata, in cui è stato applicato il regime normativo previsto dalla Delibera CRT 230/94, adesso recepita nel *PIT*, per gli ambiti di tipo B.

Le aree a pericolosità *media* o *P.I.2* sono state individuate nella fascia compresa tra le aree a *Pericolosità idraulica 3 e 4* ed l'involuppo delle massime alluvioni storiche risultante dalla *Carta Guida delle aree allagate*. Nella sostanza si tratta di aree inondate in occasione dell'evento del 1966 e non soggette ad inondazioni ricorrenti.

Le aree a pericolosità *bassa* o *P.I.1* sono comprese tra l'involuppo delle massime alluvioni storiche di cui sopra e il limite delle *alluvioni di fondovalle*. Tale limite è stato tracciato con criteri geomorfologici sulla base della revisione e aggiornamento del dato in possesso dell'Autorità alla scala 1:100.000, tramite fotointerpretazione tematica delle riprese aerofotogrammetriche in scala 1:50.000, eseguite sull'Arno e sui principali affluenti tra il maggio 1993 e l'Agosto 1995.

### Il livello di dettaglio

È basato sulla modellazione idrologica e idraulica di eventi di piena di frequenza pari a 30, 100, 200 e 500 anni e dei relativi processi di inondazione. È stato svolto su tutti i tronchi dell'asta principale e degli affluenti per i quali fossero disponibili dati qualitativamente e quantitativamente sufficienti per complessivi 500 Km Circa. La metodologia può essere schematicamente suddivisa in una fase idrologica, atta a determinare gli idrogrammi di riferimento nelle diverse sezioni, ed in una idraulica, tesa alla individuazione dei livelli in alveo e sul territorio. Per ambedue le fasi si optato per metodologie e strumenti informatici accessibili e di ampia diffusione.

L'analisi idrologica è stata sviluppata utilizzando il modello *ALTO*, messo a punto dalla Regione Toscana per la regionalizzazione delle portate di piena sul territorio. Il modello, disponibile al pubblico su supporto ottico, consente di stimare gli idrogrammi di piena per circa 3200 tronchi del reticolo su circa 70000 complessivamente individuati alla scala 1:25'000. L'informazione idrologica è così disponibile su 2000 Km di reticolo pari a circa il 9% dei 22000 Km totali. È da osservare che i tronchi *elaborabili* sono quelli a valenza strategica quali, ad esempio, quelli immediatamente precedenti e successivi alle confluenze. La procedura si basa sulla regionalizzazione delle precipitazioni che, nella sostanza, rende disponibile per ciascun tronco elaborabile, una espressione della linea segnalatrice di possibilità pluviometrica in funzione del tempo di ritorno. I dati della litologia e dell'uso dei suoli, derivati da studi generali a scala regionale, consentono di calibrare il modello di assorbimento a due parametri deputato alla depurazione dell'afflusso efficace. L'onda di pioggia considerata ai fini del modello di piena, è di tipo rettangolare. La durata è stimata in maniera da massimizzare la portata al colmo. La trasformazione afflussi-deflussi è basata sulla teoria dell'idrogramma unitario istantaneo geomorfologico tipo Nash calibrato, per ciascun tronco, sull'analisi degli indici geomorfologici del sottobacino di dominio. I risultati del modello sono stati confrontati in termini statistici con i dati di portata disponibili alle stazioni idrometriche del Servizio Idrografico.



Il problema della simulazione idraulica dei processi di propagazione della piena in alveo, della tracimazione in quei tronchi ove la capacità di smaltimento risulti insufficiente e della conseguente trasformazione in livelli e velocità sul territorio, è oggetto di un intenso dibattito in ambito tecnico e scientifico. In estrema sintesi si possono individuare due filoni culturali. Il primo si basa sull'uso di modelli indipendenti per la descrizione dell'idraulica dei processi in alveo e sulle aree inondate, connessi da uno schema analitico che descriva il trasferimento dei volumi tracimati. Il secondo filone utilizza un unico schema idraulico per la descrizione del transito delle portate in alveo e, successivamente alla esondazione, sulle aree adiacenti. Nella sostanza si fa riferimento, in quest'ultimo caso, ad una sorta di macroalveo, composto dal letto del corso d'acqua e dalle relative fasce perfluviali nel quale si simula un unico processo di moto stazionario nell'ipotesi che lo schema di corrente monodimensionale sia sostanzialmente conservato.

I due schemi concettuali possono fornire risultati affidabili purché sia correttamente definito il campo di applicabilità. In particolare il primo schema ha una validità più generale in quanto riproduce nel dominio spazio temporale la dinamica di propagazione e laminazione degli idrogrammi di piena, tenendo conseguentemente conto degli effettivi scambi di massa tra l'alveo e le aree inondate.

Il secondo schema, di tipo stazionario, presenta una innegabile semplicità concettuale e operativa, grazie anche alla disponibilità di strumenti di calcolo collaudati e di ampia diffusione. Resta tuttavia da osservare che, considerata l'inadegua-

tezza del modello alla descrizione del fenomeno della laminazione, la sua applicabilità è limitata a quei casi in cui non intervengano, o siano comunque trascurabili, gli effetti non stazionari del problema.

Nel caso in esame, salvo situazioni particolari, lo schema adottato è quello non stazionario. La procedura si basa sull'impiego di un codice di calcolo sviluppato *ad hoc* dall'Autorità di Bacino e denominato *Idrarno*. L'utente, ai fini del calcolo, deve disporre dei dati territoriali, geomorfologici e idrologici contenuti nel sistema *ALTO*, e della caratterizzazione geometrica del corso d'acqua e del modello digitale del terreno relativo alle aree inondabili. Tanto il *software* che i dati necessari sono resi disponibili agli utenti sul sito dell'Autorità di Bacino.

Il lavoro ha richiesto, inizialmente, la definizione dell'ambito fisico oggetto di studio che include l'asta considerata e i suoi affluenti. Questa operazione ha consentito, tra l'altro, di individuare le sezioni nelle quali valutare gli idrogrammi di piena attraverso il modulo idrologico di *Idrarno*. Il sistema fluviale considerato, a parità di tempo di ritorno, è stato sollecitato con eventi pluviometrici di durata variabile in modo da individuare le condizioni critiche ai fini dell'estensione delle aree inondabili.

La propagazione degli idrogrammi di piena così derivati è stata simulata attraverso il modulo idraulico di *Idrarno*, basato su di un modello non stazionario appositamente studiato per garantire robustezza e semplicità di applicazione, pur assicurando affidabilità dei risultati e prestazioni confrontabili con modelli analoghi ma di maggiore complessità computazionale.

**Tabella 1:** attribuzione delle classi di pericolosità in funzione del tempo di ritorno  $T_r$  [anni], del tipo di area (di accumulo o di trasferimento) e del battente idrico  $h$  [m] sul piano di campagna.

	aree trasferimento	Aree di accumulo	
		$h < 0,30$	$h > 0,30$
Tempo di ritorno			
$0 < T_r \leq 30$	P.I. 3	P.I. 3	P.I. 4
$30 < T_r \leq 100$	P.I. 2	P.I. 2	P.I. 3
$100 < T_r \leq 200$	P.I. 2	P.I. 2	P.I. 2
$200 < T_r \leq 500$	P.I. 1	P.I. 1	P.I. 1

La simulazione consente la quantificazione dei volumi che si riversano nelle aree potenzialmente inondabili attraverso una adeguata schematizzazione delle connessioni idrauliche tra l'alveo e le fasce perfluviali.

La delimitazione delle effettive aree inondate viene condotta sulla base della schematizzazione morfologica data dal modello digitale del terreno e integrata indispensabili considerazioni relative alla presenza di singolarità sul territorio quali infrastrutture, vie preferenziali di deflusso, caratteristiche del territorio urbanizzato. Su quest'ultimo aspetto vale la pena sottolineare la necessità di una conoscenza diretta del territorio e degli effetti degli eventi storici che lo hanno interessato per una verifica puntuale delle stime ottenute attraverso la simulazione numerica.

Il modello fornisce, per le aree inondate con tempi di ritorno inferiori al secolo, anche la stima delle porzioni di territorio soggette al solo transi-

to delle acque durante il trasferimento verso le aree di accumulo oltreché dei livelli idrici sul territorio inondato. Sulla base di tali previsioni è possibile stimare la pericolosità in maniera più accurata, limitando la penalizzazione del territorio ove non necessario.

Il criterio di attribuzione della pericolosità è dunque strutturato tanto sulla base del tempo di ritorno dell'inondazione che della tipologia del fenomeno. In particolare si è distinto tra aree di trasferimento e di accumulo e stima del livello  $h$  sul piano di campagna, rispetto a una soglia che è stata fissata a 30 centimetri, sulla base di indicazioni di letteratura.

### Il problema della identificazione del rischio

La stima della pericolosità costituisce il presupposto essenziale per la valutazione del rischio sul territorio. Questo, difatti, è dato dalla combinazione della probabilità di accadimento del

**Tabella 2:** caratterizzazione degli elementi a rischio nella cartografia di piano

Classe	DPCM 29 settembre 1998	Cartografia di piano
E1	Aree disabitate o improduttive	
E2	Edifici Isolati, aree agricole	Edifici isolati
E3	Agglomerati urbani, insediamenti produttivi, commerciali minori	Agglomerati urbani, insediamenti produttivi, commerciali minori
E4	Agglomerati urbani, aree sede di servizi pubblici ed privati, insediamenti produttivi, impianti tecnologici di rilievo impianti sportivi e ricreativi strutture ricettive di infrastrutture primarie, vie di comunicazione di rilevanza strategica, anche a livello locale.	Agglomerati urbani, aree sede di servizi pubblici ed privati, insediamenti produttivi, impianti tecnologici di rilievo impianti sportivi e ricreativi strutture ricettive di infrastrutture primarie, vie di comunicazione di rilevanza strategica, anche a livello locale.

**Tabella 3:** Individuazione delle classi di rischio in funzione della tipologia degli elementi e della classe di pericolosità

		Classe di pericolosità			
		P1	P2	P3	P4
Tipologia degli Elementi a rischio	E1	R1	R1	R2	R2
	E2	R1	R2	R3	R4
	E3	R1	R3	R4	R4
	E4	R1	R3	R4	R4

prefissato evento calamitoso, appunto la *pericolosità*, e il danno che subiscono gli elementi esposti all'evento stesso.

La valutazione quantitativa del danno richiede, oltre ad una conoscenza dettagliata degli elementi esposti al rischio sul territorio, la stima della *vulnerabilità*, caratterizzata quest'ultima da molteplici elementi di aleatorietà, in parte connessi con la dinamica stessa dell'evento. Le valutazioni relative ad entrambe i fattori appena ricordati, implicano analisi territoriali, sociali e economiche da svolgersi a un livello di dettaglio che trascende le sca-



le proprie della pianificazione di bacino.

Si è dunque optato, come verrà più avanti specificato, per una normazione riferita essenzialmente alla *pericolosità*, derivata quest'ultima in base a criteri oggettivi. L'individuazione delle aree a rischio, svolta in via speditiva alla scala propria della pianificazione di bacino, è stata invece tesa a finalità legate all'individuazione di priorità degli interventi di messa in sicurezza.

Le classi di rischio sono dunque determinate dalla sovrapposizione della cartografia della pericolosità, con elementi cartografici risultanti dalla *Carta tecnica regionale* in scala 1:10.000, o da altre cartografie o rilievi di maggior dettaglio. Le relative cartografie sono raccolte negli atlanti degli elementi a rischio costituenti parte integrante del progetto del PAI. Gli elementi a rischio individuati, mappati direttamente sulle aree a pericolosità idrogeologica, sono riportati nella tabella 2.

In particolare sono state considerate, tra le tipologie di elementi a rischio, le classi *E1* - aree disabitate o improduttive non comprese negli elaborati grafici, *E2* - edifici isolati, aree agricole, *E3* - nuclei urbani, insediamenti industriali e commerciali minori, comprese le zone di espansione urbanistica, *E4* - centri urbani, grandi insediamenti industriali e commerciali, le infrastrutture e servizi di rilevanza strategica anche a livello locale.

2 Per tutti gli elementi è stato considerato un coefficiente di vulnerabilità pari ad uno, corrispondente al danno massimo. Il valore degli elementi, e quindi il danno conseguente, è in definitiva assunto, in via convenzionale e qualitativa, crescente con l'indice della classe di appartenenza. Ne consegue che parimenti la valutazione del rischio non può che essere condotta su criteri qualitativi che, nell'ambito del presente lavoro, hanno condotto alla matrice riportata nel seguito.

Le diverse condizioni di rischio sono aggregate in quattro classi a gravosità crescente alle quali sono attribuite le seguenti definizioni, così anche come indicato nell'atto di indirizzo e coordinamento al D.L. n. 180/98:

3 *R.I.1*, rischio *moderato*, per il quale i danni sociali e economici sono marginali;

4 *R.I.2*, rischio *medio*, per il quale sono possibili danni minori agli edifici e alle infrastrutture che non pregiudicano l'incolumità delle persone,

l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche;

5 *R.I.3*, rischio *elevato*, per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione di funzionalità delle attività socio-economiche;

6 *R.I.4*, rischio *molto elevato*, per il quale sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici e alle infrastrutture, la distruzione di attività socio-economiche.

### **Criteri di revisione e aggiornamento della perimetrazione**

L'introduzione dei vincoli relativi alle aree a pericolosità, perimetrate a seguito del PAI, si sovrappone alla vincolistica, per così dire, strategica tesa a preservare le aree sede di interventi strutturali finalizzati alla mitigazione del rischio idraulico.

Conviene ricordare i criteri informativi di tali interventi, perlopiù casse di espansione. Si tratta, in sostanza, di ottimizzare la sporadica, temporanea inondazione di alcune fasce periferiche, ove la periodica e regolata sommersione è compatibile con l'assetto del territorio, per preservare altre aree ove l'inondazione determina circostanze quali la perdita della vita umana, dei beni, di infrastrutture strategiche che non risultano sostenibili. I vincoli su tali aree devono pertanto considerarsi condizioni irrinunciabili nell'ottica della pianificazione territoriale già portata avanti dalla Autorità di Bacino, concertata con gli enti territoriali ed approvata dal Presidente del Consiglio dei Ministri dopo l'adozione da parte del Comitato Istituzionale.

Ben diverso è il carattere della vincolistica introdotta attraverso il PAI che è finalizzata alla tutela del territorio agli attuali livelli di rischio. L'abbattimento di questi livelli è proprio il compito dell'attività programmata dalla Autorità di Bacino che, a fronte della progressiva attuazione degli interventi di mitigazione e ove non sussistano ulteriori ragioni ostative al momento non note, andrà a ridurre di pari passo l'estensione delle aree a diversa pericolosità. È altresì possibile che aggior-

namenti o integrazioni del quadro delle conoscenze possano determinare modificazioni nell'estensione delle aree medesime. È dunque necessario provvedere a una revisione periodica della mappatura della pericolosità, peraltro richiamata anche nella normativa, che tenga conto della mutato quadro del rischio.

Stante tuttavia l'importanza della materia trattata, è indispensabile definire accuratamente le metodologie e le procedure che governano tale attività di revisione acciocché il Piano nel suo complesso, conservi i criteri di omogeneità e affidabilità tecnica che ne hanno caratterizzato l'elaborazione.

Va sottolineato, a questo proposito, lo sforzo dell'Autorità di Bacino della disseminazione della propria base conoscitiva, anche via *Internet* attraverso il sistema *geodata server*. Questo anche ai fini prescritti dalla Art. 2 della legge quadro. A tale attività, già perfettamente operante, si aggiungerà una specifica politica tesa a diffondere capillarmente i dettagli delle procedure utilizzate ed i necessari strumenti tecnici. In tale ottica, in tempi brevissimi, saranno predisposte apposite *linee guida* di riferimento e supporto alle attività di revisione e aggiornamento. Uno schema di riferimento per la modifica dei perimetri delle aree a pericolosità è comunque allegato alle norme.

### **Le aree a pericolosità da dissesto franoso - Introduzione**

Il concetto di individuazione e perimetrazione delle aree a pericolosità da dissesto franoso, è intrinsecamente diverso da quello relativo alla pericolosità idraulica. Le stesse definizioni di *pericolosità idraulica* e *pericolosità da frana*, seguono difatti criteri e percorsi concettuali diversi e, in qualche misura, alternativi. La sollecitazione meteoroclimatica è fortemente connessa con l'occorrere di frane e alluvioni. E sia le frane che le alluvioni hanno effetti sulla dinamica morfologica del contesto territoriale; basti ad esempio ricordare, che l'evoluzione plano altimetrica degli alvei fluviali è legata soprattutto all'occorrenza delle piene più importanti. La pericolosità idraulica è tuttavia legata ai processi del ciclo naturale del clima e tende a presentare una certa periodicità, almeno in senso statistico. L'occorrenza del disse-

sto di tipo franoso è invece connessa a meccanismi più complessi e, sotto certi aspetti, aleatori.

Le porzioni di territorio colpite da dissesto franoso e alluvionale sono generalmente complementari. Le *alluvioni di fondovalle*, intese nel senso di formazione geologica, vanno generalmente a delimitare l'inviluppo delle inondazioni succedutesi nel tempo e sono sostanzialmente indenni dai fenomeni dissesto geomorfologico di tipo franoso. La dinamica morfologica è assai diversa nei due tipi di dissesto. E questo per entità, modalità con le quali si esplica e soprattutto per via dell'effetto di retroazione che le variazioni morfologiche stesse implicano sull'evolversi della pericolosità nel tempo. La probabilità di alluvione in un determinato sito resta sostanzialmente stazionaria a parità di altre condizioni, mentre quella di frana è in certa misura condizionata dall'evolvere della frana stessa.

Le frane rappresentano uno dei fenomeni naturali più calamitosi, attivi sul territorio nazionale, essendo ogni anno causa di danni gravissimi per persone e beni. Secondo quanto riportato dal Catalogo *AVI*, realizzato a cura del *CNR-GNDCI*, sono almeno 17'000 gli eventi franosi che hanno interessato il territorio nazionale nel periodo intercorrente fra il 1918 e il 1998. Di questi, 2'620 hanno prodotto la compromissione totale del bene oggetto del danno, mentre 1'352 hanno provocato vittime o feriti. È per questo motivo che gli organi amministrativi centrali e locali si stanno sempre più dotando di strumenti normativi che, a partire dalla L. 183/89, sono volti ad ottenere un più razionale utilizzo del territorio. Il Bacino del Fiume Arno non è certo immune da questo tipo di fenomeni come evidenziato anche dagli eventi occorsi durante l'autunno del 2000 e che testimoniano gli elevati livelli di rischio a cui sono soggette molte porzioni del territorio.

I processi di instabilità dei versanti, sono caratterizzati attraverso parametri di intensità e probabilità di occorrenza. Una esauriente analisi delle tecniche di valutazione della pericolosità presenti in letteratura affermano come una rigorosa e completa valutazione della pericolosità non può prescindere dalla formulazione di un valore di probabilità, risultato della combinazione di una serie di elementi parziali di previsione. Si tratta di



elementi relativi alla previsione del luogo e dell'istante di occorrenza del dissesto, del tipo di frana, della sua intensità, della sua evoluzione e della pericolosità indotta su altri elementi naturali e artificiali.

### **Tecniche di individuazione e perimetrazione delle aree a pericolosità**

Da questo panorama si può intuire come la valutazione e perimetrazione della pericolosità da frana, siano materie complesse anche se avvicinate sul semplice piano teorico. Laddove si passi al piano applicativo, trovano ancor più ostacoli dovuti alla carenza di qualità dei dati e, più in generale, allo stato delle conoscenze di base sul territorio. Un forte vincolo, a questo proposito, è imposto dalla risoluzione e dalla scala delle carte geologiche e dei modelli digitali del terreno che devono essere compatibili sia con la scala del fenomeno da indagare, sia con il grado di dettaglio della perimetrazione della pericolosità che si intende perseguire.

Per questi motivi i primi esempi di carte di pericolosità, pubblicate dalla comunità scientifica e dai pubblici uffici preposti alla difesa del suolo, erano in realtà carte-inventario dei fenomeni franosi, arricchite di alcuni elementi derivanti dall'incrocio con carte tematiche; spesso ottimi elaborati dal punto di vista del rilevamento geomorfologico di dettaglio, che tuttavia venivano trasformati in carte di pericolosità attraverso il contributo espresso in termini di valutazioni soggettive basate sull'esperienza del singolo rilevatore.

Alcuni miglioramenti rispetto al precedente tipo di trattazione sono stati compiuti mediante la produzione di cartografie di sintesi, derivate dall'adozione di schematizzazioni che, con vari livelli di approfondimento, hanno privilegiato, di volta in volta, singole parti del processo metodologico che conduce ad una completa definizione della pericolosità. In questo filone di indagine si inseriscono anche gli studi sulla valutazione della suscettibilità da frana, definibile come la propensione al dissesto franoso di un territorio, risultante dalla presenza di fattori predisponenti legati essenzialmente alle condizioni geologiche, geotecniche, di uso del suolo e geomorfologiche.

Rimanendo coerenti con la classica definizio-

ne di pericolosità dianzi ricordata, la suscettibilità da frana corrisponde ad una valutazione previsionale della potenzialità di un'area al dissesto, conducendo quindi ad una previsione esclusivamente spaziale. In realtà la valutazione della suscettibilità può essere effettuata con riferimento alle singole tipologie di frana effettivamente riconosciute sul territorio e può essere intesa come una sintesi fra previsione spaziale e previsione tipologica.

Vengono dunque tralasciati gli aspetti relativi alla previsione temporale, previsione dell'intensità, previsione dell'evoluzione e alla previsione della pericolosità indotta. Per quanto attiene alla previsione temporale vale la pena di accennare ai movimenti gravitativi indotti dalle precipitazioni intense. In questo senso è possibile, almeno in linea di principio, correlare l'occorrere dei fenomeni di dissesto con predeterminate soglie pluviometriche di innesco.

Le indicazioni della letteratura portano verso una iniziale indicizzazione delle cause della franosità insistenti su di un dato territorio. Questa fase permette di individuare alcuni parametri utili per la discretizzazione del territorio in porzioni aventi elementi tipologici a comune. All'interno di queste porzioni o *macroaree* vengono successivamente svolte indagini più approfondite che conducono alla indicizzazione degli altri parametri predisponenti la franosità. Tra questi tutte le evidenze geomorfologiche classificabili come effetti della franosità non considerati nella fase di prima approssimazione. La sintesi consiste, in generale, nella determinazione di una funzione di *suscettibilità* che risulta tipica del contesto geologico, geomorfologico e climatico indagato.

Conviene fare un breve richiamo all'impiego dei sistemi informativi territoriali che permettono di effettuare l'incrocio fra i diversi tematismi relativi ai fattori di franosità, in modo semiautomatico e con notevole diminuzione dei tempi in cui viene svolta l'analisi. Come valutazione generale, appare abbastanza improbabile l'esistenza di una relazione lineare fra i fattori considerati, esprimibile mediante una semplice somma algebrica di valori discreti. Nella sostanza non vige un criterio di sovrapposizione degli effetti. Tuttavia i vari metodi non escludono la possibilità di introdurre altri fattori o di modificarne

i pesi, così come possono essere assunte relazioni diverse fra i vari parametri. Nel caso in cui tali relazioni risultino particolarmente complesse, come sembra emergere dagli studi fin qui condotti, l'utilizzo di un *sistema informativo territoriale* risulta ancora più efficace se non praticamente indispensabile per ottenere elaborati attendibili.

### **La metodologia adottata alla scala sinottica**

Le carte di pericolosità geomorfologica alla scala di sintesi sono state dunque redatte avvalendosi degli studi già in possesso dell'Autorità, nonché nelle elaborazioni contenute nei *Piani di Coordinamento Provinciali (PTC)*, peraltro in conformità a quanto previsto nel DPCM 29/09/98, che precisa la necessità di tenere conto degli strumenti di pianificazione di area vasta previgenti. La scala di lavoro sinottica è 1:25.000.

La pericolosità da dissesto, nella documentazione disponibile, è definita come funzione dei caratteri del dissesto stesso e dei caratteri fisici del contesto territoriale. Tra questi la geologia, la litologia, l'idrogeologia, l'uso del suolo, la geomorfologia, con particolare riferimento alla pendenza dei versanti.

L'ambito spaziale per il quale è stata definita la pericolosità coincide, almeno in generale, con la porzione del bacino idrografico a monte del limite della pianura definito con apposito studio geomorfologico dall'Autorità. In alcuni casi, relativi a frane con livello conoscitivo più approfondito, sono state perimetrate aree di fondovalle soggette a pericolosità indotta dai fenomeni di dissesto presenti sui versanti.

La documentazione utilizzata per la perimetrazione delle aree a pericolosità geomorfologica, come si è detto, è sostanzialmente composta da quella prodotta o disponibile presso l'Autorità di Bacino e quella reperibile presso le province, oltre alla banca dati vettoriale geologica disponibile per il bacino dell'Arno.

Un'ulteriore fonte di informazione ai fini della individuazione e perimetrazione deriva, nella sostanza, dai Piani Territoriali di Coordinamento redatti dalle Province o al relativo quadro conoscitivo appositamente predisposto ove essi non risultassero approvati. Tali strumenti contengono, di norma, la carta geomorfologica sulla quale sono rappresentate le frane e gli altri fenomeni

geomorfologici di versante, come le forme di intensa erosione, e la carta della pericolosità idrogeologica. Ove disponibile è stata considerata la carta della pericolosità.

Le carte della pericolosità geomorfologia contenute nei *PTC*, generalmente suddividono i versanti in quattro classi di pericolosità, indicate con i termini *elevata*, *media*, *bassa* e *irrilevante*. Il livello del quadro conoscitivo, la scala di lavoro e i contenuti dei diversi *PTC* del Bacino dell'Arno sono piuttosto eterogenei e hanno richiesto un cospicuo lavoro di validazione, integrazione ed omogeneizzazione.

In particolare le cartografie relative alle Province di Arezzo, Firenze, Perugia, Pisa e Pistoia sono state ritenute sostanzialmente rispondenti ai criteri prefissati per la Carta della pericolosità del *PAI* ed hanno richiesto modesti approfondimenti. Per le Province di Lucca e di Prato è stata invece necessaria la fotointerpretazione a completamento dell'informazione. La cartografia della Provincia di Livorno e Siena non è stata utilizzata, perché non omogeneizzabile: la pericolosità è stata ottenuta direttamente da fotointerpretazione e da dati di bibliografia.

Sono state effettuate verifiche a campione su tutto il territorio, attraverso tecniche di fotointerpretazione e sopralluoghi, per controllare la qualità complessiva del dato. In particolare è stata svolta una verifica specifica per quanto attiene alle aree presenti nell'inventario dei fenomeni franosi dell'Autorità di Bacino per assicurare, tra l'altro, la compatibilità tra i diversi strati informativi.

Alla scala sinottica sono state individuate tre classi di pericolosità in quanto la più elevata è integralmente riportata alla sola scala di dettaglio. Le classi così caratterizzate:

Classe *P.F.3* a pericolosità *elevata*, comprende le frane già definite a *pericolosità elevata* contenute nell'inventario dei fenomeni franosi dell'Autorità di Bacino, tutte le altre frane attive e non attive rilevate, situazioni geomorfologicamente molto precarie, come calanchi, scarpate rocciose ecc., aree rappresentate nei *PTC* come appartenenti alla IV classe di pericolosità. Si tratta quindi di aree interessate da frane e altri fenomeni di dissesto, attivi o quiescenti, e da condizioni geomorfologiche marcatamente sfavorevoli, causa di rischio reale o potenziale elevato. La super-



ficie totale interessata è di 458.40 kmq pari al 6,4% della superficie totale dei versanti e al 5.1% della superficie totale del bacino.

Classe *P.F.2* a pericolosità *media*, comprende le frane definite a *pericolosità media* contenute nell'inventario dei fenomeni franosi dell'Autorità di Bacino, le aree apparentemente stabili ma interessate da litologia con caratteristiche litotecniche sfavorevoli.

Classe *P.F.1* a pericolosità *bassa*, comprende aree apparentemente stabili, interessate da litologia con interessate da litologia con caratteristiche litotecniche generalmente favorevoli, che talora possono essere causa di rischio reale o potenziale moderato.

Le due classi inferiori di pericolosità, *P.F.1* e *P.F.2* interessano, nel loro insieme, una superficie di 6728 Km<sup>2</sup>, pari al 93,5% della superficie dei versanti e al 73,7% della superficie totale del bacino.

### La metodologia per il livello di dettaglio

La cartografia allegata al *PAI*, per quanto attiene la individuazione e perimetrazione delle aree a pericolosità da dissesto geomorfologico è, in sostanza, la risultanza dei due lavori di inventario e censimento di dettaglio dei dissesti.

Il primo è la banca dati che andrà a confluire nell'*inventario dei fenomeni franosi italiani*, che contiene la cartografia geomorfologica e la caratterizzazione delle frane con classi di pericolosità elevata *P.F.3* (n. 109 frane), molto elevata *P.F.4* (n. 52 frane), nonché alcune frane classificate di classe di pericolosità media *P.F.2* (n. 43 frane). Contiene inoltre l'identificazione, tramite punto rappresentativo coincidente con la quota superiore della nicchia di distacco, di 634 frane di cui non è nota l'effettiva estensione areale.

L'Autorità ha inoltre redatto, attraverso l'integrazione di tale inventario, il *censimento e perimetrazione delle frane a rischio del bacino del fiume Arno* che contiene la caratterizzazione geomorfologica delle aree in frana e la definizione del livello di rischio stabilito attraverso uno studio specifico condotto dalle Università di Siena, Pisa e Firenze sotto la guida del prof. Carmignani. Nello studio sono indicate 40 aree a pericolosità e rischio *molto elevati* (*P.F.4/R.F.4*), 80 aree a pericolosità e rischio *elevato* (*P.F.3/R.F.3*), 43 aree a

pericolosità e rischio *moderati* (*P.F.2/R.F.2*). Sulla base di tale documentazione si è sviluppato il *Piano straordinario, diretto a rimuovere le situazioni a rischio idrogeologico più alto* ai sensi della L. 226/99.

La cartografia a livello di dettaglio presenta dunque tre livelli di pericolosità così caratterizzati:

Classe *P.F.4*, a pericolosità *molto elevata*, comprende le aree a pericolosità e rischio molto elevato già indicate nel Piano Straordinario. Sostanzialmente sono aree interessate da frane attive, causa di rischio molto elevato. La superficie totale interessata è di 9.87 km<sup>2</sup> pari allo 0.14% della superficie totale dei versanti e allo 0.11% della superficie totale del bacino.

Classe *P.F.3* a pericolosità *elevata*, comprende le frane quiescenti o frane attive causa potenziale di rischio *elevato*.

Classe *P.F.2* a pericolosità *media*, comprende le frane quiescenti causa potenziale di rischio medio.

Tale criterio, di ordine prettamente storico-inventariale, ha tuttavia carattere temporaneo e riflette la carenza di dati disponibili sul bacino, sufficienti per una valutazione del rischio basata su tecniche di analisi geografica. Il quadro conoscitivo tuttavia, ad opera di una serie di iniziative avviate dall'Autorità, sta rapidamente evolvendo. Si segnala a tale proposito:

1. la realizzazione di un nuovo inventario dei dissesti alla scala 1:10000 sull'intero territorio del bacino, svolto in collaborazione con il Dipartimento di Scienze della Terra di Firenze specificamente finalizzato all'aggiornamento della cartografia da rischio da frana ai fini della pianificazione di bacino;

2. la realizzazione di un modello digitale del terreno con passo 10 metri, basato sulle primitive della CTR, opportunamente elaborato ai fini dei calcoli geomorfologici e idraulici, sviluppato in collaborazione con la Provincia di Siena;

3. l'acquisizione in formato vettoriale degli originali d'autore alla scala 1:25000 che hanno portato alla redazione della seconda serie della Carta Geologica d'Italia, svolta in collaborazione con il Dipartimento di Scienze della Terra di Siena. È in corso l'integrazione dello strumento con i primi risultati del rilevamento geologico CARG;

4. aggiornamento della banca dati della copertura del suolo *CORINE - Land cover* secondo le informazioni e il dettaglio del satellite Landsat 7 TM;

5. realizzazione della banca dati degli elementi a rischio, estratta dalle primitive della CTR aggiornata al 2000 e integrata con l'ausilio di foto aeree alla scala 1:2000 ortorectificate.

La metodologia di aggiornamento ed integrazione del livello di dettaglio trae le basi da quella elaborata nell'ambito dell'Accordo di Programma tra Enea e Ministero per l'Ambiente e la tutela del territorio, linea *Il risanamento del territorio, delle aree urbane e delle acque*, illustrato nel dettaglio in precedenti paragrafi, che prevede la stesura di linee guida per la zonazione del rischio da frana. Viene proposto, nella sostanza, un approccio integrato tra rilevamenti geomorfologico, geologico, litotecnico, idrogeologico e di uso del suolo, relativamente a distinte tipologie di frana. Partendo dall'analisi dei fenomeni si procede alla valutazione della suscettibilità anche di quelle aree non interessate in passato da dissesti franosi. In tal modo si tiene determinata anche la pericolosità associata ai processi di neoformazione.

Si tratta di una valutazione della suscettibilità e può essere intesa come una sintesi fra previsione *spaziale* e previsione *tipologica*. Tale metodologia è applicabile alla scala 1:10.000 e costituisce una fase propedeutica alle successive fasi di valutazione della pericolosità e del rischio.

Il carattere della metodologia è sostanzialmente innovativo e il coordinamento e l'omogeneizzazione dei dati disponibili in un contesto geografico così ampio e variegato, hanno imposto, in questa fase, di individuare un bacino pilota, ragionevolmente rappresentativo della dinamica di versante che caratterizza tutto il restante ambito territoriale di competenza.

Il bacino del Torrente Virginio è stato scelto come bacino pilota sulla base di valutazioni sia di carattere geomorfologico che di disponibilità di dati pregressi indispensabili per la valutazione della suscettibilità da frana. La situazione del Torrente Virginio è infatti, dal punto di vista della dinamica di versante, abbastanza rappresentativa di molti contesti geomorfologici presenti nella porzione inferiore del bacino dell'Arno, che, essendo in gran parte incisa nei termini formazionali

terrigeni appartenenti alle Successioni marine neogeniche, presenta un certo livello di omogeneità anche dal punto di vista geologico.

L'area, inoltre, è stata oggetto, nel corso degli ultimi anni, di ricerche svolte presso il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Firenze, per cui presenta una buona copertura per quanto concerne dati digitali di natura geomorfologica e geologica, indispensabili per la messa a punto del modello di valutazione della suscettibilità da frana.

La ricerca si è realizzata nelle seguenti fasi:

1. Acquisizione di dati pregressi di natura geologica, geomorfologica e geotecnica specifici del Bacino del Torrente Virginio;

2. Integrazione dei dati pregressi mediante analisi aerofotogrammetrica e rilevamento di campagna;

3. Applicazione al contesto del Bacino del Torrente Virginio della metodologia per la valutazione della suscettibilità da frana e individuazione di una specifica funzione di suscettibilità.

In estrema sintesi sulla superficie del bacino, pari a 60,3 Km<sup>2</sup>, sono state inventariate e caratterizzate 285 frane, per una superficie pari al 5,7 % del bacino, sulla base di un'area ritenuta significativa è stata quindi eseguita l'*analisi di sito* finalizzata all'individuazione dei parametri *discriminanti* e *predisponenti* (precedentemente rilevati sull'intero bacino o a livello di sito).

La successiva *analisi di macroarea* ha portato alla verifica e spazializzazione dei suddetti parametri, la valutazione incrociata dei dati spaziali e delle informazioni raccolte nell'analisi di sito a permesso l'applicazione di una funzione di suscettibilità al dissesto, che ha portato alla definizione delle seguenti 4 classi:

- Suscettibilità alta (S3) Presenza di frane attive o quiescenti o presenza di almeno 3 elementi precursori;

- Suscettibilità media (S2) Presenza di almeno 1 elemento precursore o concomitanza di almeno 3 parametri predisponenti;

- Suscettibilità bassa (S1) Presenza di almeno 1 parametro predisponente;

- Suscettibilità nulla (S0) Assenza di parametri predisponenti e elementi precursori.

I risultati sono presentati in allegato I agli elaborati del *PAI*.



### **L'indicizzazione sul territorio del bacino**

Nell'ambito dell'elaborazione del PAI, la segreteria tecnica-operativa dell'Autorità di Bacino ha formulato un'ipotesi di lavoro, con l'obiettivo di elaborare una zonazione della pericolosità da frana del bacino alla scala sinottica (non superiore al valore 1:100.000), basata sull'indicizzazione di alcuni parametri predisponenti individuati come fondamentali.

La prima fase del lavoro ha portato all'individuazione dei parametri predisponenti all'instabilità dei versanti nella pendenza, nelle caratteristiche litotecniche delle formazioni geologiche affioranti nel bacino e nell'uso del suolo prevalente. L'attributo indipendente necessario per l'indicizzazione, e quindi per la zonazione, è stato invece individuato nell'insieme dei valori dell'attuale banca dati relativa all'inventario dei fenomeni franosi nel bacino dell'Arno.

Nella valutazione dei limiti e dell'applicabilità del processo ipotizzato è stato messo in evidenza che i parametri pendenza dei versanti, litotecnica e uso del suolo non sono in grado, se analizzati separatamente, di descrivere la distribuzione dei dissesti all'interno del bacino; al contrario, analizzando l'associazione spaziale di questi tre vettori, si ottiene una discriminazione degli elementi territoriali, definibili come Unità Territoriali Omogenee UTO, la cui distribuzione risulta, in prima approssimazione, coerente con quella delle aree in dissesto effettivamente rilevate.

Per ovviare alla proliferazione di tipologie diverse di UTO, legata al dettaglio delle banche dati utilizzate, è stato necessario effettuare un'analisi della classazione delle singole banche dati geografiche finalizzata all'individuazione degli intervalli o degli insiemi effettivamente significativi. Questo processo si è avvalso sia di esperienze riportate in letteratura sia di opportune analisi statistiche. Si deve comunque tener presente che il processo di classazione è stato in qualche misura soggettivo e ha comportato una notevole approssimazione nella definizione delle classi in cui suddividere i tre temi considerati. Le semplificazioni introdotte non hanno comunque compromesso il fine sperimentale del metodo e la sua impostazione procedurale.

La scelta della metodologia di indicizzazione basata sulla distribuzione e frequenza dei dissesti rispetto alle UTO, è stata dettata dalla seguente

ipotesi di base: se per una data combinazione di parametri predisponenti, in una ben definita realtà geografica, si registra una certa densità di dissesti, è verosimile che, se i caratteri predisponenti sono realmente tali, si possa verificare una situazione di dissesto anche in altre aree geografiche caratterizzate dalla medesima combinazione di parametri. Si ritiene che tale proprietà transitiva sia valida solo nell'ambito di realtà geografiche in cui i parametri predisponenti abbiano una variabilità limitata, dove il numero dei dissesti registrati sia sufficientemente ampio e la distribuzione di campionamento sufficientemente omogenea, condizioni che si considerano verificate nel bacino dell'Arno.

### **Le norme di attuazione**

Le norme di attuazione costituiscono la traduzione in termini normativi della cartografia elaborata ai fini della individuazione delle aree a pericolosità idraulica.

Il testo è suddiviso in cinque titoli:

a) il primo illustra le finalità, l'oggetto e l'ambito di applicazione del Piano;

b) il secondo titolo, rappresentando la parte centrale del Piano con l'individuazione delle aree a pericolosità, è suddiviso in tre capi al fine di avere una chiara individuazione dei settori regolamentati;

Il capo primo infatti riunisce le norme specifiche riferite alle aree individuate a pericolosità idraulica.

Il capo secondo è relativo alle aree individuate a pericolosità da processi geomorfologici di versante e da frana.

Il capo terzo detta infine disposizioni generali relativamente alle aree individuate a pericolosità idrogeologica, quindi a pericolosità sia idraulica che da processi geomorfologici.

c) il titolo terzo contiene le norme relative agli interventi (criteri e finalità relativi alla loro programmazione ed attuazione), nonché disposizioni per gli indirizzi alla pianificazione urbanistica;

d) il titolo quarto dispone in ordine alle modalità di formazione, revisione, verifica ed attuazione del Piano;

e) il titolo quinto infine detta le disposizioni finali e di coordinamento con la pianificazione a scala di bacino nel suo complesso.

Per una trattazione specifica della normativa si

rimanda al testo integrale della stessa, allegato alla presente, ponendo l'attenzione solo su alcuni aspetti in parte originali rispetto agli indirizzi del DPCM.

Le norme sono sostanzialmente volte ad apporre vincoli e limitazioni d'uso su aree interessate da pericolosità, ritenendo questo approccio più oggettivo rispetto ad una normazione del rischio. La determinazione del rischio infatti, funzione della pericolosità e del danno che subiscono gli elementi esposti all'evento, richiede una conoscenza dettagliata degli elementi (non solo esistenti, ma anche oggetto di previsioni urbanistiche e quindi non immediatamente ricavabili da una cartografia di uso del suolo), nonché una stima della vulnerabilità, a sua volta funzione di una serie di variabili aleatorie e difficilmente individuabili.

La vincolistica fa riferimento alle aree a pericolosità molto elevata ed elevata: su tali aree è permessa sostanzialmente la conservazione del patrimonio edilizio ed urbanistico esistente e la possibilità di marginali interventi di completamento, purché ciò avvenga nel rispetto della sicurezza idraulica.

All'art. 32 in considerazione della particolarità del PAI, il cui quadro conoscitivo di base è soggetto a continui cambiamenti in funzione sia del completamento del quadro conoscitivo stesso che della realizzazione di interventi mirati a ridurre il grado di pericolosità sul territorio, si è ritenuto opportuno introdurre il concetto di *variante non sostanziale al Piano*, variante deliberata con atto del Segretario Generale previo parere favorevole del Comitato Tecnico. Le varianti devono essere articolate secondo le indicazioni contenute in appositi allegati alla normativa di Piano.

Altro aspetto originale, motivato sia dalla pianificazione pregressa già vigente sul territorio del bacino (Piano stralcio relativo alla riduzione del "Rischio idraulico", "Piano Straordinario per la rimozione delle situazioni a rischio idrogeologico più alto") sia dal procedimento di adozione del PAI, che, oltre all'osservanza della normale procedura di adozione dei Piani, di cui all'art. 18 della legge n. 183/89, è soggetto a termini ristretti di adozione sanciti dall'art. 1 bis, della legge n. 365 del 2000, non è stato ritenuto necessario adottare alcuna misura di salvaguardia sul progetto di Piano, in quanto essendo già vigenti le misure di salvaguardia adottate per le aree individuate nel Piano straordinario suddetto, tali misure restano in vi-

gore fino all'approvazione definitiva del Piano.

### **Modalità di rappresentazione dei dati cartografici**

L'atto di indirizzo e coordinamento di cui al DPCM 29 settembre 1998, nonché l'art.2, comma 4, del DPCM 12 gennaio 1999, prevedono che le aree individuate nel Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico di cui all'articolo 1, comma 1, del D.L. n.180/98 siano riportate su un supporto informatico compatibile con il Sistema cartografico di riferimento, di cui all'intesa Stato-Regioni-Enti locali sui sistemi informativi geografici (approvata dalla conferenza Stato-Regioni il 26 settembre 1996). A seguito dell'accordo per l'integrazione dell'Intesa sul sistema cartografico di riferimento ed accelerazione delle procedure attuative dello stesso, approvato dalla Conferenza Stato-Regioni il 12 ottobre 2000, è stato possibile utilizzare come base cartografica di riferimento l'ortofoto digitale a scala 1:10.000.

Vista la complessità dei fenomeni da analizzare ed il livello di conoscenze di cui l'Autorità dispone attualmente, è stato necessario individuare e perimetrare le aree a pericolosità su due livelli di approfondimento: livello di sintesi in scala 1:25.000 e livello di dettaglio in scala 1:10.000.

La base cartografica adottata per il 1:25.000 è la carta allestita dalla Regione Toscana sui tipi dell'IGM, con aggiornamenti effettuati sulla base di un volo del 1978, integrata con la carta in scala 1:25.000 allestita dalla Regione Umbria sui tipi dell'IGM, con aggiornamenti effettuati sulla base di un volo del 1977. La carta è organizzata in quadranti. Questa cartografia copre in modo omogeneo tutto il territorio che ricade nelle competenze dell'Autorità di Bacino dell'Arno.

La base cartografica adottata per il 1:10.000 è la Carta Tecnica Regionale con sezioni aggiornate al 98. La carta è organizzata in sezioni. Questa cartografia copre in modo omogeneo tutto il territorio che ricade nelle competenze dell'Autorità di Bacino dell'Arno, ed è perfettamente coerente con l'ortofoto digitale utilizzata dal SINA.



## Metodologia Operativa per la perimetrazione delle aree a pericolosità

### PERICOLOSITA IDRAULICA

#### Criteri generali

L'indagine per l'individuazione e la perimetrazione delle aree a pericolosità idraulica è stata svolta, come già detto, con riferimento a due livelli, di sintesi e di dettaglio e rappresentata a altrettante scale cartografiche. Il livello di sintesi, rappresentato in scala 1:25000, raccoglie sostanzialmente le informazioni di ordine geomorfologico e la memoria storica del territorio filtrata criticamente, almeno per quanto attiene le fasce a pericolosità più elevata, da quasi due anni di vaglio, dato dalla applicazione del piano straordinario. Il livello di dettaglio, costituito dal mosaico di stralci in scala 1:10000, presenta invece i risultati dell'applicazione di specifici modelli idrologici e idraulici. Il Piano, in questo caso, fissa lo standard metodologico di base attraverso il quale si operano stime affidabili sull'estensione delle aree inondate per diversi tempi di ritorno. Ambedue i quadri, storico e analitico, possono essere migliorati, integrati, affinati nel tempo, seguendo le esigenze della corretta pianificazione e gestione del territorio. In questo contesto va rivendicato, ancora una volta, il carattere dinamico, in continua evoluzione, della pianificazione di bacino.

#### Il livello di sintesi

Riguarda la individuazione e perimetrazione di aree riferite a quattro classi di pericolosità idraulica, ed è esteso all'intero territorio del bacino non coperto dagli stralci del mosaico di dettaglio. I criteri per la perimetrazione sono, come si è detto, di ordine geomorfologico e storico-inventariale. La sua consistenza, nel corso degli aggiornamenti del piano, tenderà a ridursi per giungere all'obiettivo finale di un'unica perimetrazione alla scala 1:10000.

La documentazione disponibile presso l'Autorità di Bacino, e utilizzata a supporto dell'indagine comprende:

1. la cartografia allegata al Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 5 novembre 1999, *Approvazione del Piano Stralcio relativo alla riduzione del Rischio Idraulico del bacino del fiume Arno*, che individua le aree soggette ad inondazioni ricorrenti od eccezionali sulla base degli eventi significativi verificatisi nel periodo 1966-1999. In tale cartografia risultano distinguibili in particolare:

- aree soggette ad inondazione eccezionale;
- aree soggette ad inondazione ricorrente;
- aree interessate da inondazioni durante gli eventi alluvionali degli anni 1991, 1992, 1993,

2. la documentazione relativa all'adozione delle misure di salvaguardia per le aree a pericolosità idraulica molto elevata individuate e perimetrare nel Piano straordinario per la rimozione delle situazioni a rischio idrogeologico più alto nel bacino del fiume Arno. In particolare vengono distinte:

- aree a pericolosità idraulica molto elevata (P.I.4);
- aree a rischio idraulico per le quali è stato dichiarato lo stato di emergenza ai sensi dell'art.5 L. 24/2/92 n.225 (P.I.4);
- aree investite dagli eventi del 1998 e del 1999 (P.I.4);
- aree alle quali è esteso quanto previsto dalla delibera del Consiglio Regionale della Toscana n. 230/94 per l'ambito definito "B" della stessa (B.I.);
- aree di ristagno.

Su base geomorfologica risultano invece disponibili le elaborazioni svolte dall'Autorità di bacino relativamente alla perimetrazione di aree inondabili alla scala 1:25.000 e estesa a tutto il bacino del fiume Arno. A tale perimetrazione viene assegnato convenzionalmente un tempo di ritorno pari a 500 anni.

Per le aree a pericolosità molto elevata o P.I.4, è stata dunque adottata, nella sostanza, la perimetrazione già individuata per il Piano straordinario ex D.L. 180/98. Questa, con l'eccezione delle aree

idraulicamente connesse all'asta principale, fu ai tempi effettuata su criteri esclusivamente storici. In particolare furono prese in considerazione le aree già individuate nella *Carta guida delle aree allagate*, facendo riferimento alle inondazioni storiche successive al 1966. È da osservare come tale perimetrazione, nel periodo intercorso tra la adozione del Piano straordinario e la redazione del PAI ha subito il filtro dato da due anni di vigenza che, attraverso le osservazioni presentate dagli Enti territoriali interessati, ha corretto alcuni errori materiali e ha modificato l'estensione di quelle aree ove, nel periodo considerato, fossero intercorsi interventi tesi alla riduzione della pericolosità e dell'esposizione al rischio.

Le aree a pericolosità elevata o P.I.3 sono state anch'esse perimetrare con riferimento al Piano straordinario. In particolare sono state ascritte a tale classe le aree indicate nel piano con la sigla B.I. Si tratta di aree soggette anch'esse a inondazioni con frequenza relativamente elevata ma per le quali era vigente il regime normativo previsto dalla Delibera CRT 230/94, adesso recepita nel PIT, per gli ambiti "B".

Le aree a pericolosità media o P.I.2 sono state individuate nella fascia compresa tra le aree a Pericolosità idraulica 3 e 4 ed l'involuppo delle massime alluvioni storiche risultante dalla Carta Guida delle aree allagate. Nella sostanza si tratta di aree inondate in occasione dell'evento del 1966 e non soggette ad inondazioni ricorrenti.

Le aree a pericolosità bassa o P.I.1 sono comprese tra l'involuppo delle massime alluvioni stori-

che di cui sopra e il limite delle alluvioni di fondovalle. Tale limite è stato tracciato con criteri geomorfologici sulla base della revisione e aggiornamento del dato in possesso dell'Autorità alla scala 1:100.000, tramite fotointerpretazione tematica delle riprese aerofotogrammetriche in scala 1:50.000, eseguite sull'Arno e sui principali affluenti tra il maggio 1993 l'Agosto 1995.

#### Il livello di dettaglio

##### Generalità

La perimetrazione e individuazione delle aree a rischio, per quanto attiene al livello di dettaglio, si articola in quattro fasi.

1. *Individuazione e caratterizzazione dell'ambito fisico oggetto di studio*: Comprende i criteri per la definizione del reticolo idrografico, il bacino principale e i sottobacini oggetti di studio, nonché per la predisposizione del quadro conoscitivo necessario alle elaborazioni previste nelle fasi successive;

2. *Analisi idrologica*: è finalizzata alla determinazione degli eventi di piena, caratterizzati dall'andamento temporale della portata per assegnata frequenza per ciascuna sezione significativa del tronco fluviale considerato. La metodologia di valutazione degli idrogrammi di piena, omogenea per tutti i bacini idrografici oggetto di studio, si basa essenzialmente sulla regionalizzazione delle portate di piena;

3. *Modellazione idraulica in alveo e nelle aree inondate*: consente, per ciascuna sezione, la deter-

Tabella 1: Classificazione della pericolosità idraulica per le aree inondabili ricavate su base geomorfologica e su base storico-inventariale

Tipologia	Fonte	P.I.4	P.I.3	P.I.2	P.I.1
Geomorfologica	Autorità di Bacino				Studio geomorfologico
Storico-inventariali (1966-1999)	DPCM 5/11/99 (Piano stralcio)	Eventi alluvionali 1991, 92 e 93	Eventi ricorrenti	Eventi eccezionali	
Storico-inventariali (1966-1999)	Delibera Comitato Istituzionale n. 135 del 27/10/99 e seguenti	Aree dichiarate in stato di emergenza (art.5 L. 24/2/92 n.225)	Aree ricadenti in ambito "B" (DCR 230/94)		
Aree alle quali è estesa la norma dell'ambito "B" ex DCR 230/94		Aree investite dagli eventi 1998-99	Aree di ristagno		



minazione dei livelli idrici associati agli eventi di piena definiti nella fase precedente nonché, in caso di insufficiente capacità di smaltimento, la stima dei volumi d'acqua tracimati;

4. *Perimetrazione delle aree inondabili*: comprende le attività inerenti la delimitazione delle aree inondate in forma automatica e/o manuale utilizzando eventualmente un modello digitale del terreno la cartografia disponibile;

Si descrivono nel seguito i degli operativi per le diverse fasi.

### Il quadro conoscitivo di base

Comprende i criteri per la definizione del reticolo idrografico, i bacini oggetto di studio, nonché per la predisposizione del quadro conoscitivo necessario alle elaborazioni previste nelle fasi successive, in particolare:

a. acquisizione degli studi esistenti sulla perimetrazione delle aree a pericolosità e rischio idraulico disponibili presso l'Autorità di Bacino e gli altri enti territoriali, anche per quanto concerne il supporto alla redazione degli strumenti urbanistici;

b. raccolta, disamina e valutazione dei dati disponibili, specialmente per quanto attiene al rilievo delle sezioni trasversali, e individuazione dei tronchi su quali è possibile procedere all'indagine numerica;

c. programmazione di eventuali indagini integrative sulla base dei capitolati e delle linee guida prodotti dall'Autorità e loro integrazione nel Sistema Informativo Territoriale dell'Amministrazione;

d. delimitazione del bacino idrografico drenante nei tronchi di interesse con particolare attenzione alle zone di pianura, alle aree di irrigazione e bonifica ove le infrastrutture idrauliche e viarie e ferroviarie possono determinare il perimetro delle aree contribuenti. Sono in questo caso da prevedere sopralluoghi e indagini specifiche presso gli Enti competenti;

e. definizione della rete idrografica attraverso l'acquisizione della cartografia disponibile alle diverse scale di interesse, individuazione dei tronchi in istudio, classificazione in funzione delle normative nazionali e regionali vigenti, eventuale gerarchizzazione;

f. caratterizzazione geometrica dei tronchi di in-

teresse mediante l'analisi e la validazione delle sezioni trasversali e l'attribuzione dei coefficienti di scabrezza.

### La modellistica idrologica

Ha la finalità di generare, per tutte le sezioni di interesse del reticolo idrografico considerato, gli idrogrammi di piena per assegnati tempi di ritorno. L'obiettivo è quello di riprodurre andamenti temporali della portata caratteristici delle diverse aree, ricollegati a diverse forzanti meteorologiche che provocano la risposta critica di bacini e sottobacini di diversi ordini di grandezza.

È noto che il meccanismo di formazione della piena, nella realtà, è sicuramente influenzato dall'evoluzione dinamica dei campi di precipitazione e cioè da come il nucleo principale della precipitazione si sposta all'interno del bacino, coinvolgendo in tempi differenti porzioni diverse del bacino, e influenzando così l'effettiva sovrapposizione dei contributi dei diversi bacini in termini di idrogramma di piena.

Ciò potrebbe essere riprodotto in fase di verifica solo impostando una generazione casuale di eventi di precipitazione, di diversa intensità, durata ed evoluzione temporale. Al di là dell'onere dei calcoli e della non riproducibilità delle condizioni di verifica, tale scenario di analisi, seppur idrologicamente molto sensato, non permetterebbe un'agevole caratterizzazione in termini di tempo di ritorno degli eventi. È, ancora una volta, da ribadire il carattere dello studio in esame che tende a fornire eventi di riferimento sui quali, in fasi di eventuale, successivo approfondimento, è possibile andare ad effettuare analisi con maggiori livelli di approssimazione.

Questo ragionamento riconduce, nella sostanza, ad una ipotesi di apparente *isofrequenza* tra la forzante meteorica, ritenuta uniforme sull'intero bacino, e la portata in alveo. Di tale argomento sarà tuttavia discusso più avanti, nell'ambito della discussione del modello. Si considerano ietogrammi di durata tale da rendere massime le portate di piena nella parte alta, nella parte intermedia e nella parte finale del bacino.

La modellistica idrologica è stata affidata al codice di calcolo ALTO (*ALLuvioni in TOscana*), sviluppato nel 1997 dal PIN, Centro Studi Ingegneria

dell'Università di Firenze, per conto della Regione Toscana, nell'ambito di un lavoro più ampio finalizzato allo svolgimento di studi e all'individuazione di procedure per la regionalizzazione delle portate di piena nel territorio toscano (Regione Toscana, 1998).

Il modello si basa sulla trasformazione afflussi-deflussi ottenuta tramite la teoria dell'*Idrogramma Istantaneo Unitario* o *IUH*. I parametri dell'*IUH* possono essere determinati in base alle caratteristiche geomorfologiche del bacino (in particolare la struttura del reticolo idrografico ordinato) ottenendo un cosiddetto *idrogramma unitario geomorfologico* o *GIUH*.

La depurazione dell'afflusso lordo a pioggia netta è basata sul la stima dei due parametri relativi alle perdite iniziali e alle perdite per infiltrazione. La perdita iniziale è schematizzata introducendo un volume unitario per unità di area *Ia* che assorbe completamente la precipitazione durante i primi momenti dell'evento, mentre la perdita durante l'evento viene schematizzata con una con un coefficiente di infiltrazione costante a saturazione *Ks*.

La forzante data dall'evento meteorico è schematizzata attraverso uno ietogramma sintetico la cui frequenza viene stimata a partire dalle curve di possibilità pluviometrica ricavate con l'adattamento della distribuzione *TCEV* (*Two Components Extreme Value*). Il modello, come si è detto, è strutturato in modo tale da ricercare, per un dato tempo di ritorno, il valore critico della durata di pioggia che massimizza la portata di piena. La struttura di dettaglio del modello, insieme ad una breve descrizione dei dati utilizzati, è riportata di seguito.

I dati idrologici, idrometrici e territoriali raccolti ed elaborati per la messa a punto del modello *ALTO* comprendono gli archivi cartacei e informatici del Servizio Idrografico e Mareografico, la documentazione disponibile presso la Regione Toscana, i dati rilevati presso gli Uffici del Genio Civile. Tutti i dati raccolti sono stati archiviati in una base-dati su supporto informatico e su tabulati cartacei e, insieme ad una relazione tecnica sulla validazione e consistenza dell'archivio sono ora a disposizione della Regione Toscana.

In particolare, i dati pluviometrici si riferiscono alle precipitazioni massime annue con durata inferiore ad 1 ora; tra 1 e 24 ore, tra 1 e 5 giorni, le

precipitazioni giornaliere, le precipitazioni ad alta risoluzione (serie disponibili ed eventi significativi utilizzati per le fasi di taratura del modello). Le principali elaborazioni relative alla pluviometria hanno riguardato: l'analisi per l'applicazione della distribuzione a doppia componente *TCEV* la stima delle curve di possibilità pluviometrica (annuali e stagionali) sia con distribuzione di Gumbel che mediante la *TCEV* regionale al primo livello per durate inferiori e superiori all'ora; l'analisi della distribuzione spazio-temporale delle precipitazioni in eventi reali e delle piogge giornaliere.

I dati *idrometrici* raccolti sono relativi alle portate al colmo, agli idrogrammi di piena in termini di portate per alcuni eventi in cui erano disponibili anche le precipitazioni ad alta risoluzione, agli idrogrammi di piena in termini di livelli idrometrici delle tre piene più significative per le stazioni idrometriche del Servizio Idrografico di Pisa.

Si sono raccolte le portate massime annuali al colmo, registrate nelle 72 stazioni del Servizio Idrografico interne ed esterne alla Regione Toscana, per tutti gli anni disponibili. Inoltre per alcune stazioni di cui erano disponibili le precipitazioni ad alta risoluzione temporale sono stati acquisiti gli idrogrammi di portata significativi. Tali idrogrammi in parte derivano dall'archivio informatico del Servizio Idrografico e Mareografico e in parte sono stati acquisiti dagli Annali Idrologici, Parte seconda, per digitalizzazione dei diagrammi riportati nella sezione dedicata alla monografia dei principali eventi di piena verificatisi durante l'anno. Sono stati inoltre, acquisiti i livelli al colmo e alcuni idrogrammi di piena significativi in alcune sezioni per cui è previsto il servizio di piena dagli Uffici del Genio Civile della Toscana di Arezzo, Firenze, Grosseto e Lucca.

Le principali elaborazioni relative all'idrometria hanno riguardato l'adattamento della distribuzione di Gumbel alle singole serie storiche di portata al colmo, l'adattamento della distribuzione *TCEV* al primo livello in sei zone del territorio regionale (Magra, Serchio, Appennino, Chianti, Costa, Maremma), l'analisi statistica di alcune serie storiche di livello idrometrico, l'analisi degli idrogrammi di piena acquisiti;

Il reticolo idrografico è stato digitalizzato dalla cartografia scala 1:25.000. Le aree pianeggianti e di bonifica, scolanti mediante sistemi di drenaggio



tipo *acque basse*, sono state separate dal reticolo idrografico naturale in quanto non assoggettabili alle procedure di regionalizzazione previste per le *acque alte*. Tali aree sono state individuate sulla base dei comprensori di bonifica esistenti nonché mediante analisi morfologica dei sistemi drenanti e degli elementi arginali di delimitazione.

Il reticolo idrografico costituisce la base informativa della procedura di regionalizzazione che prevede, per ciascun asta del reticolo, la caratterizzazione del bacino a monte e la valutazione della portata al colmo per i diversi tempi di ritorno. A tal fine il reticolo è stato gerarchizzato secondo Strahler e sono stati ricavati i principali parametri geomorfologici (Petrucchi, Preti, Valanzano et al., 1996).

Sono state acquisite le curve di livello in forma vettoriale prodotte dalla Regione Toscana a partire dalla cartografia scala 1:5.000 e i punti quotati utilizzati per la redazione delle ortofotocarte. Inoltre è stato acquisito il modello digitale del terreno *pixel* 400x400m della Regione Toscana, l'uso del suolo 400x400m, i limiti di bacino del progetto regionale IFT93 (Inventario Forestale Toscano) e la carta geolitologica scala 1:250.000 in formato vettoriale. Il modello digitale del terreno e lo strato informativo dell'uso del suolo sono stati acquisiti tramite il modulo GRID ARC/INFO. Dalla carta geolitologica in forma vettoriale si è ricavato, sempre con lo stesso modulo GRID, un modello matriciale con passo pari a 400 metri. Sulla base del modello digitale del terreno sono state elaborate la carta delle pendenze e la carta delle esposizioni.

Le stazioni di misura delle precipitazioni con strumento registratore hanno una densità media di circa 1 stazione ogni 75 kmq; la risoluzione spaziale è pertanto dell'ordine di 8.5 Km. La densità sale a circa 1 stazione ogni 40 kmq se si considerano anche le stazioni con pluviometro semplice.

L'uso del suolo e le caratteristiche litologiche dei suoli sono state acquisite con una risoluzione di 400 m da dati in scala 1:250.000. Il modello di piena adottato è stato tarato su una serie di 66 eventi significativi relativi a 16 bacini della Toscana per i quali sono stati acquisiti o elaborati gli ietogrammi delle piogge ragguagliate e le relative portate defluenti.

Il modello di trasferimento adottato è quello

dell'idrogramma unitario di tipo  $G(n, k)$  introdotto da Nash (1959) e caratterizzato dal parametro di forma  $n$  e da quello di scala  $k$ .

La taratura del modello è stata condotta in modalità automatica utilizzando un algoritmo di minimizzazione dello scarto fra le portate calcolate e quelle registrate, basato sul metodo del semplice (Castelli, 1985).

I parametri tarati per ciascun evento risultano quindi i seguenti:

- $I_a$  volume unitario di perdita iniziale [mm];
- $K_s$  velocità di infiltrazione a saturazione [mm/h];
- $n$  parametro di forma dell'idrogramma di Nash [-];
- $k$  parametro di scala dell'idrogramma di Nash [h].

In particolare, dai risultati ottenuti, emergono le seguenti considerazioni:

- i valori del parametro  $I_a$  risultano compresi tra 10 mm e 30 mm, in accordo con quanto previsto, ad esempio, dal modello del *Curve Number* che stima la perdita iniziale nel 20% della capacità di assorbimento del suolo (cfr. Busoni et al., 1995);
- i valori del parametro  $K_s$ , velocità di infiltrazione a saturazione, sono nella maggior parte dei casi inferiori ad 1 mm/h e possono raggiungere valori di 3.5 mm/h;
- i parametri  $n$  e  $k$  presentano una certa variabilità, mentre il loro prodotto risulta assai più stabile, al variare dell'evento, per un dato bacino.

Nel seguito si fa cenno alle procedure di regionalizzazione. Per quanto attiene alle precipitazioni si fa riferimento a uno ietogramma sintetico la cui frequenza viene stimata a partire dalle curve di possibilità climatica ricavate con l'adattamento della *TCEV*.

Il codice si basa su un approccio di tipo indiretto-morfologico in grado di schematizzare le principali dinamiche idrologiche del bacino idrografico utilizzano il reticolo idrografico e, sulla base di idonee procedure di regionalizzazione delle informazioni idrologiche e territoriali, consente le seguenti operazioni:

- calcolo delle caratteristiche geomorfologiche e territoriali del bacino considerato;
- calcolo dei parametri della trasformazione afflussi-deflussi;
- valutazione della precipitazione sul bacino;

- calcolo dell'idrogramma di piena per vari tempi di ritorno.

Per quanto riguarda il coefficiente di ragguaglio areale  $K_r$  si è fatto riferimento, in accordo con quanto riportato in Settesoldi et al. (1996) ad un'espressione del tipo seguente (Eagleson, 1970):

$$K_r = 1 - \exp(\alpha t^b) + \exp(\alpha t^b - \gamma A)$$

dove  $a$ ,  $b$  e  $g$  sono i parametri della formula,  $t$  [h] la durata della precipitazione e  $A$  [km<sup>2</sup>] l'area del bacino.

L'introduzione della dipendenza del parametro  $a$  dal coefficiente  $a$  della curva di possibilità pluviometrica (nella formulazione originaria  $a$  era pari a 1.1, mentre nel presente caso varia da 0.7 a 1.2 al variare di  $a$ ) e quindi dalle caratteristiche delle precipitazioni è in accordo con Eagleson (1970). Il parametro  $b$  rimane invariato, mentre il parametro  $g$  è stato stimato pari a 0.01 anziché 0.004 rispetto alla formula classica. Tali adattamenti sono stati ottenuti sulla base di un confronto fra l'andamento del fattore di riduzione areale così stimato e quelli ricavabili dall'analisi condotta della correlazione spaziale dei dati pluviometrici o dedotti da note formule tecniche (Puppini, Columbo), nonché sulla base delle verifiche dei risultati del modello *ALTO* descritte nel seguito.

Sulla base dei risultati della taratura del modello afflussi-deflussi descritta nel capitolo precedente si è proceduto alla regionalizzazione dei parametri dell'*IUH* di Nash, a partire dallo studio del prodotto  $nk$  che rappresenta la media dell'idrogramma di Nash ovvero il tempo di ritardo del bacino idrografico ( $T_r$ ). È noto che il tempo di ritardo idrologico in un bacino rappresenta la distanza temporale tra il baricentro dell'idrogramma di piena, depurato della portata di base che sarebbe defluita nel corso d'acqua anche in assenza dell'evento, e quello del pluviogramma netto. Si definisce  $T_r$  caratteristico di un bacino idrografico il valore medio dei tempi di ritardo relativi, per ogni bacino, ad eventi di piena osservati con periodo di ritorno superiore a 20 anni (Copertino e Fiorentino, 1992). Risultano interessanti, ai fini di ottenere una regionalizzazione, le espressioni, ricavate da vari autori (Ferrari et al., 1992), che legano il tempo di ritardo alle caratteristiche del bacino e del reticolo idrografico, basate sui parametri geomorfici

come i noti rapporti di biforcazione  $R_b$ , lunghezza  $R_l$  e area  $R_a$ . Fattore comune di queste espressioni è la presenza di un parametro cinematico da tarare, la cui determinazione è ancora oggi oggetto di approfondimento scientifico (Copertino e Fiorentino, 1992).

Considerando, nel caso della Toscana, i dati elaborati per i 42 bacini strumentati dal Servizio Idrografico, la migliore relazione fra i valori di  $T_r$  derivati dalla taratura del modello sopra descritto ed i parametri geomorfici, si è ottenuta con la formulazione

$$T_r = 0.42 \left( \frac{R_b}{R_a} \right)^{0.3} R_l^{-0.41} \frac{Lmc}{A^{0.075}}$$

dove  $A$  è l'area del bacino espressa in km<sup>2</sup> e  $Lmc$  la lunghezza del reticolo, in km calcolata come cumulata delle lunghezze medie per i vari ordini gerarchici in accordo con Agnese et al. (1988).

L'equazione ancora vista, caratterizzata da coefficiente di regressione pari a 0.9, fornisce una maggiore varianza spiegata rispetto alla analoga nota espressione di Rosso, (1982 e 1983). Inoltre, a differenza di una semplice relazione lineare di  $T_r$  con un unico parametro geomorfico legato alla dimensione del bacino idrografico, essa consente una migliore regionalizzazione dei parametri del *GIUH* necessaria per l'implementazione del modello di piena.

Tale espressione del tempo di ritardo, ricavata solo con procedimenti di regressione, risulta di un certo interesse in quanto sembra tenere conto, in modo semplice, oltre che dell'effetto del reticolo idrografico sul trasferimento del deflusso secondo la teoria di Rodriguez-Iturbe e Valdes (1979), anche dell'effetto dell'alveo sullo smaltimento della piena, come viene mostrato in uno studio di approfondimento sull'argomento (Preti, 1996) basandosi sulla teoria del regime e precedenti indagini regionali (White, Paris et al., 1981; Canuti e Moisello, 1980).

I parametri  $I_a$  e  $K_s$  ottenuti dalle tarature del modello sono stati regionalizzati, come già accennato, in funzione dell'uso del suolo e dalla geologia dei bacini, resi indipendenti dalle dimensioni del bacino idrografico. La regionalizzazione di  $K_s$  sulla base dell'analisi di 22 classi della carta geolitologica (scala 1:250.000) a cui sono stati attribuiti i valori



di permeabilità a saturazione corrispondenti, sviluppando studi precedenti (Caporali e Petrucci, 1992; Mazzanti, 1993) e una metodologia basata sui nuovi dati elaborati in questo studio. In Figura 3 si riportano a confronto i valori di  $K_s$  stimati dalla taratura del modello e quelli ricavati rispettivamente con i valori massimo e minimo dei  $K_s$  stimati per ciascun bacino.

Per quanto riguarda il parametro  $I_a$ , esso è stato correlato alla percentuale di superficie boscata del bacino idrografico. In Fig. 4 si riportano i valori della taratura e quelli della regressione adottata. Si può osservare l'elevata variabilità del parametro  $I_a$  solo parzialmente spiegata dalla regressione, che, peraltro, può essere ritenuta sufficiente per gli scopi dello studio in questione. In realtà, disponendo di maggiori informazioni, potrebbero essere tentati degli approfondimenti circa gli effetti sui fenomeni di intercettazione indotti dall'interazione fra uso del suolo e litologia in mancanza, peraltro, di estese indagini pedologiche.

È noto come l'incertezza nella valutazione delle funzioni di probabilità delle portate al colmo mediante i metodi indiretti di stima dipenda, oltre che dalla schematizzazione delle condizioni di umidità del suolo e della variabilità spazio-temporale delle precipitazioni, anche da distorsioni derivanti da alcune incongruenze teoriche della metodologia dell'evento critico (Bacchi et al., 1993). In tale ottica sono state condotte varie verifiche che, nell'ambito dei limiti dello studio, permettono di valutare il grado di affidabilità dei risultati ottenuti e la robustezza del modello.

A tale scopo sono stati effettuati confronti fra le distribuzioni di probabilità dei colmi di piena derivate dall'analisi statistica e quelle generate dal modello. Ulteriori verifiche sono state condotte comparando alcuni idrogrammi di piena calcolati e registrati, analizzando i dati idrometrici del Genio Civile, e confrontando i risultati del modello con le curve inviluppo. È stata infine condotta un'analisi di sensitività volta a quantificare l'importanza dei parametri del modello sui valori di portata.

La prima verifica dei risultati ottenuti con il modello di piena ALTO è consistita nel confronto fra le funzioni di distribuzione delle portate al colmo calcolate con quelle derivate dalle procedure di inferenza statistica sulle serie di dati delle stazioni

idrometriche (in 44 sezioni corrispondenti alle 42 del Servizio Idrografico più 2 sezioni del Genio Civile per cui erano disponibili serie storiche di portate al colmo).

I risultati ottenuti mostrano in generale un soddisfacente accordo con le statistiche puntuali. Risulta interessante osservare l'andamento della distribuzione statistica delle portate fornita dal modello di piena ALTO caratterizzato da una spiccata asimmetria analoga a quella della distribuzione TCEV.

La robustezza del modello è stata confermata dalla verifica effettuata su alcuni bacini non utilizzati nella fase di regionalizzazione dei parametri e validazione. Gli scostamenti maggiori fra i valori delle distribuzioni e quelli del modello sono relativi alle stazioni con serie storiche disponibili limitate (in genere bacini di ridotte dimensioni) e caratterizzate da apparenti anomalie nella serie storica oppure ai bacini in cui sono presenti notevoli capacità di invaso.

La sensitività del modello è stata indagata studiando due bacini campione di aree sensibilmente diverse (Sieve a Fornacina di 863 km<sup>2</sup> e il Terzolle alle Masse di 13 km<sup>2</sup>). La valutazione della sensitività si è basata sull'analisi della variazione della portata con tempo di ritorno 100 anni al variare dei seguenti parametri ( $\pm 50\%$  rispetto al valore di taratura): perdita iniziale  $I_a$ , velocità di infiltrazione  $K_s$  e parametri del fattore di riduzione areale  $a$ ,  $b$  e  $g$ .

Si possono trarre alcune osservazioni preliminari. La perdita iniziale,  $I_a$ , appare significativa per il bacino di ridotte dimensioni (10% di variazione della portata calcolata) mentre perde di importanza per la valutazione delle piene nei bacini maggiori, il che risulta giustificato dal fatto che i bacini grandi sono maggiormente cimentati da piogge di lunga durata rispetto alle quali la perdita iniziale risulta trascurabile. Viceversa il parametro di infiltrazione  $K_s$  risulta più significativo per il bacino maggiore (15% di variazione della portata calcolata) mentre è praticamente influente per i piccoli bacini ove le intensità di precipitazione degli eventi critici risultano assai maggiori della velocità di infiltrazione. Per quanto riguarda i parametri connessi al fattore di riduzione areale, si ha che essi sono influenti solo per i bacini di grande estensione ove

la variabilità spaziale è significativa (fino al 35% di variazione della portata calcolata).

Infine, un'analisi comparativa è stata condotta osservando che i valori del modello, per tempo di ritorno uguale a 100 anni, tendono ad essere inferiori a quelli delle curve inviluppo per bacini fino a 1000 kmq della Toscana (da Bendini, 1969).

Per i problemi idrologici ove sia necessaria la conoscenza della distribuzione dei contributi di piena laterali prodotti dagli affluenti, in funzione di preassegnati eventi meteorici, occorre stimare l'idrogramma di piena per ciascun affluente imponendo una durata di pioggia pari a quella considerata per l'asta principale. La procedura ALTO non consente tale applicazione poiché, come già descritto, valuta l'evento critico che, per un determinato tempo di ritorno, massimizza la portata nella sezione considerata del reticolo idrografico.

A tale scopo è stata messa a punto nell'ambito del presente studio una procedura che, utilizzando la base informativa e operativa di ALTO, permette il calcolo dei contributi laterali per assegnati valori del tempo di ritorno e della durata di pioggia.

In particolare, per i contributi laterali per i corsi d'acqua non processabili con ALTO si assumono gli stessi parametri geomorfici disponibili per i bacini limitrofi. Se non sono disponibili i parametri dei bacini limitrofi si può assumere per  $N$  (parametro di Nash) il valore medio di 2.5 (Rossi e Villani, 1994; Bacchi, 1998), e provvedendo alla stima del parametro  $K$  tramite la relazione (Bacchi et al. 1989)

$$K = \frac{(N-1)^{N-1} e^{-(N-1)}}{2\Gamma(N)} T_c$$

dove  $G(N)$  è la funzione gamma generalizzata,  $T_c$  è il tempo di corrivazione del bacino stimabile con la formula di Giandotti, oppure per via indiretta tramite la stima del tempo di ritardo  $T_i$  [ore] in funzione dell'area  $A$  espressa in chilometri quadrati Regione Toscana, 1997

$$T_i = 0.32A^{0.5}$$

Tenendo presente la relazione:

$$T_i = nk$$

$k$ , il secondo parametro di Nash può essere ricavato di conseguenza.

Nel caso di aree non urbanizzate di pianura o di bonifica, ove ALTO non dispone del reticolo

idrografico, si può fare riferimento a risultati sperimentali che conducono a valori indicativi (Bacchi, 1998) dei contributi di piena dell'ordine di 4-6 l/s ha corrispondenti a tempi di ritorno dell'ordine di 20-30 anni. Tuttavia la necessità di disporre di idrogrammi di piena e del corrispondente tempo di ritorno, induce a utilizzare un modello di piena analogo a quello impiegato per le aree di collina e di montagna.

In via speditiva si può ricorrere al modello dell'invaso lineare che corrisponde ad un modello di Nash con  $n$  pari all'unità, mentre il parametro  $k$  può essere stimato dalla relazioni già citate che diventano, per  $n$  pari ad uno

$$k = T_i = 0.32A^{0.5}$$

## La modellistica idraulica

### Generalità

Il problema della simulazione idraulica dei processi di propagazione della piena in alveo, della tracimazione in quei tronchi ove la capacità di smaltimento risulti insufficiente e della conseguente trasformazione in livelli e velocità sul territorio, è oggetto di un intenso dibattito in ambito tecnico e scientifico. In estrema sintesi si possono individuare due filoni culturali. Il primo si basa sull'uso di modelli indipendenti per la descrizione dell'idraulica dei processi in alveo e sulle aree inondate, connessi da uno schema analitico che descriva il trasferimento dei volumi tracimati. Il secondo filone utilizza un unico schema idraulico per la descrizione del transito delle portate in alveo e, successivamente alla esondazione, sulle aree adiacenti. Nella sostanza si fa riferimento, in quest'ultimo caso, ad una sorta di macroalveo, composto dal letto del corso d'acqua e dalle relative fasce perfluviali nel quale si simula un unico processo di moto stazionario nell'ipotesi che lo schema di corrente monodimensionale sia sostanzialmente conservato.

I due schemi concettuali possono fornire risultati affidabili purché sia correttamente definito il campo di applicabilità. In particolare il primo schema ha una validità più generale in quanto riproduce nel dominio dello spazio e del tempo la dinamica di propagazione e laminazione degli idrogrammi di piena, tenendo conseguentemente conto degli effettivi scambi di massa tra l'alveo e le aree inondate.

Il secondo schema, di tipo stazionario, presenta



una innegabile semplicità concettuale e operativa, grazie anche alla disponibilità di strumenti di calcolo collaudati e di ampia diffusione. Resta tuttavia da osservare che, considerata l'inadeguatezza del modello alla descrizione del fenomeno della laminazione, la sua applicabilità è limitata a quei casi in cui non intervengano, o siano comunque trascurabili, gli effetti non stazionari del problema.

Nel caso in esame, salvo situazioni particolari, lo schema adottato è quello non stazionario. La procedura si basa sull'impiego di un codice di calcolo sviluppato *ad hoc* dall'Autorità di Bacino e denominato *Idrarno*. L'utente, ai fini del calcolo, deve disporre dei dati territoriali, geomorfologici e idrologici contenuti nel sistema *ALTO*, e della caratterizzazione geometrica del corso d'acqua e del modello digitale del terreno relativo alle aree inondabili. Tanto il *software* che i dati necessari sono resi disponibili agli utenti sul sito dell'Autorità di Bacino.

Il lavoro ha richiesto, inizialmente, la definizione dell'ambito fisico oggetto di studio che include l'asta considerata e i suoi affluenti. Questa operazione ha consentito, tra l'altro, di individuare le sezioni nelle quali valutare gli idrogrammi di piena attraverso il modulo idrologico di *Idrarno*. Il sistema fluviale considerato, a parità di tempo di ritorno, è stato sollecitato con eventi pluviometrici di durata variabile in modo da individuare le condizioni critiche ai fini dell'estensione delle aree inondabili.

La propagazione degli idrogrammi di piena così derivati è stata simulata attraverso il modulo idraulico di *Idrarno*, basato su di un modello non stazionario appositamente studiato per garantire robustezza e semplicità di applicazione, pur assicurando affidabilità dei risultati e prestazioni confrontabili con modelli analoghi ma di maggiore complessità computazionale.

La simulazione consente la quantificazione dei volumi che si riversano nelle aree potenzialmente inondabili attraverso una adeguata schematizzazione delle connessioni idrauliche tra l'alveo e le fasce perfluviali.

La delimitazione delle effettive aree inondate viene condotta sulla base della schematizzazione morfologica data dal modello digitale del terreno e integrata indispensabili considerazioni relative alla

presenza di singolarità sul territorio quali infrastrutture, vie preferenziali di deflusso, caratteristiche del territorio urbanizzato. Su quest'ultimo aspetto vale la pena sottolineare la necessità di una conoscenza diretta del territorio e degli effetti degli eventi storici che lo hanno interessato per una verifica puntuale delle stime ottenute attraverso la simulazione numerica.

Le stesse operazioni, ripetute per i quattro tempi di ritorno prefissati, conducono alla perimetrazione delle aree inondabili e alla redazione delle relative mappe di pericolosità idraulica.

Modello quasi bidimensionale di moto vario.

Lo schema adottato sulle classiche equazioni del moto e di continuità per una corrente monodimensionale, associate a una opportuna equazione per la stima delle dissipazioni energetiche sia a carattere concentrato sia di tipo distribuito. Le equazioni, nella loro formulazione generale di De Saint Venant, esprimono le caratteristiche idrauliche, portata, carico piezometrico, altezza d'acqua e velocità, in funzione del tempo e dello spazio.

La risoluzione dello schema di moto viene ottenuta per via numerica, discretizzando le equazioni nel dominio spazio-temporale mediante opportuni schemi numerici. La soluzione viene pertanto ottenuta solo nei punti di discretizzazione (e non con continuità su tutto il dominio). Tali punti sono rappresentati dalla sezioni geometriche rilevate (*discretizzazione spaziale*) e dalla scansione temporale utilizzata nella rappresentazione dei fenomeni (*discretizzazione temporale*). Il grado di risoluzione che si ottiene deriva quindi dalla densità delle sezioni rilevate e, per lo schema di moto vario, anche dal passo temporale adottato.

Le equazioni di base risultano quindi:

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

$$\frac{\partial H}{\partial x} = -\frac{1}{g} \frac{\partial U}{\partial t} - J$$

in cui  $A$  è l'area della sezione liquida [ $m^2$ ],  $Q$  la portata [ $m^3/s$ ],  $q(x)$  è la portata laterale (positiva se entrante) [ $m^2/s$ ],  $H$  è il carico totale della corrente [ $m$ ],  $g$  è accelerazione di gravità [ $m/s^2$ ],  $U$  è la velocità media della corrente [ $m/s$ ],  $J$  denota le perdite di carico effettivo per unità di lunghezza [-],  $x$  è

l'ascissa corrente lungo l'alveo [ $m$ ] e  $t$  il tempo [ $s$ ].

La perdita di carico effettivo può essere stimata con un'equazione analoga a quella adottata per il moto uniforme:

$$J = \frac{U|U|}{gC^2R}$$

ove, oltre ai simboli già noti,  $R$  è il raggio idraulico [ $m$ ] e  $C$  il coefficiente di resistenza adimensionale di Chézy esprimibile nella forma

$$C = \frac{K_s R^{1/6}}{\sqrt{g}}$$

ove  $K_s$  è il coefficiente di Gauckler-Strickler [ $m^{1/3}s^{-1}$ ].

Per includere nel modello gli effetti dissipativi indotti da variazioni di sezione, quali allargamenti o restringimenti, si sono valutate le perdite di carico effettivo addizionali,  $DH$ , mediante la formula:

$$\Delta H = \frac{Q^2}{2g} \xi \Delta(\alpha / A^2)$$

ove  $a$  è il coefficiente di ragguaglio della energia cinetica e  $x$  è un parametro geometrico che può assumere valori compresi tra 0.1 e 0.8, maggiori nel caso di allargamento della sezione e minori nel caso di restringimento.

La risoluzione delle equazioni sopra descritte viene svolta per alle differenze finite attraverso la definizione di appropriate condizioni al contorno. Lo schema prescelto è di tipo implicito, approssimando alle differenze finite le derivate e operando una media pesata per gli altri termini.

In particolare sono state utilizzate le seguenti formulazioni:

$$A = p_s p_i A_i^k + p_i (1 - p_i) A_i^{k+1} + (1 - p_i) p_i A_{i+1}^k + (1 - p_i)(1 - p_i) A_{i+1}^{k+1}$$

$$\frac{\partial A}{\partial s} = p_i \frac{A_{i+1}^k - A_i^k}{\Delta s} + (1 - p_i) \frac{A_{i+1}^{k+1} - A_i^{k+1}}{\Delta s}$$

$$\frac{\partial A}{\partial t} = p_s \frac{A_i^{k+1} - A_i^k}{\Delta t} + (1 - p_s) \frac{A_{i+1}^{k+1} - A_{i+1}^k}{\Delta t}$$

dove  $p_s$  è il peso della media spaziale e  $p_i$  il peso della media temporale. L'indice  $k$  è riferito al tempo e l'indice  $i$  allo spazio. I valori utilizzati per  $p_s$  e  $p_i$  sono rispettivamente di 0.5 e 0.45 che dalle prove effettuate risultano essere i più affidabili per la risoluzione del sistema.

Il modello fornisce la risoluzione delle equazioni in corrispondenza dei nodi di una griglia spazio-temporale ove, in corrispondenza delle sezioni fluviali predefinite, al variare del tempo si ricavano i valori delle grandezze idrauliche incognite. A ciascun passo il programma bilancia le equazioni di moto e di continuità in modo iterativo fino al raggiungimento di una correzione su portate e livelli inferiore a una soglia prefissata.

Nell'ipotesi di corrente lenta, le condizioni al contorno da imporre al sistema prima definito possono consistere nella attribuzione di una scala di deflusso nella sezione di chiusura di valle, del tipo:

$$Q = a(h - h_0)^c + q_0$$

dove  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $q_0$  sono i parametri della scala di deflusso della sezione considerata, mentre nella sezione di chiusura di monte si ha la definizione dell'idrogramma di portata. Altrimenti può comprendere l'imposizione di un livello o di una portata in funzione del tempo.

Nel caso di condizioni locali di corrente veloce, la profondità viene fissata sul valore critico. In particolare l'equazione di moto a valle della sezione viene sostituita dalla condizione di corrente critica nella sezione in esame.

### La modellazione idraulica delle aree inondabili

La propagazione dei livelli idrici nelle celle avviene sulla base della conservazione della massa e dunque utilizzando la sola equazione di continuità. A tale scopo è necessario considerare il volume accumulato nella singola cella e le sue variazioni dovute agli scambi di portata con le celle circostanti. Pertanto, ad ogni passo temporale l'equazione di continuità impone il bilancio tra i volumi netti transitati attraverso la cella e la variazione di volume locale, sotto le ipotesi che il volume accumulato in ciascuna cella è univocamente correlato all'altezza idrica nella cella stessa, e le portate scambiate sono funzione dei livelli a monte e a valle delle connessioni idrauliche. In particolare, l'equazione di continuità per la generica area inondabile risulta

$$A_{ck} \frac{\partial h_k}{\partial t} = \sum_i Q_{ki}(h_k, h_i)$$