

## 3.2 Gli indicatori di pericolosità pluviometrica

### 3.2.1 Introduzione

La Direttiva del P.C.M. del 27/02/2004 (G.U. n. 59 del 11 marzo 2004) per la gestione organizzativa e funzionale del sistema di allertamento nazionale e regionale per il rischio idrogeologico ed idraulico ai fini di protezione civile, prevede che ciascuna Regione identifichi, sul proprio territorio, adeguate grandezze e relativi valori, quali precursori ed indicatori del probabile manifestarsi di prefigurati scenari d'evento.

La Regione deve definire, per ogni tipologia di rischio, un insieme di soglie articolate almeno su due livelli di moderata ed elevata criticità, oltre ad un livello base di situazione ordinaria, in cui le criticità possibili sono ritenute comunemente ed usualmente accettabili dalla popolazione.

Ad ogni livello di criticità, la Regione deve poi far corrispondere i livelli di allerta del sistema della protezione civile ovvero le azioni previste nei Piani di Emergenza che devono essere attivate progressivamente ai vari livelli territoriali (nazionale, regionale, provinciale e comunale).

### 3.2.2 Il significato delle soglie pluviometriche a supporto delle allerte

Le precipitazioni rappresentano un indicatore fondamentale nell'insorgenza del rischio idrogeologico ed idraulico. Pertanto le soglie pluviometriche (*SP*) costituiscono una componente importante nel sistema di allerta; in un piano cartesiano ( $P$  vs  $d$ ), in cui  $P$  rappresenta la precipitazione cumulata e  $d$  la durata progressiva dell'evento meteorico, le soglie pluviometriche si rappresentano come una curva che delimita i possibili stati: al di sopra la precipitazione determina una situazione che si può considerare potenzialmente critica, al di sotto invece l'evento meteorico non ha le caratteristiche di intensità tali da innescare uno stato di allerta. Teoricamente è possibile individuare una famiglia di curve le quali definiscono una serie di stati a pericolosità crescente, ma nella pratica ci si limi-

ta ad un numero ridotto di livelli di pericolosità, anche per semplificare l'organizzazione dei piani operativi di Protezione Civile (Cipolla & Sebastiani, 2000). Per il Piemonte, sono previsti due livelli, moderata ed elevata criticità, cui corrispondono le due relative soglie pluviometriche.

Nella **figura 3.2.1** si riporta a titolo di esempio, una soglia pluviometrica con delimitazione di due stati di criticità.

Un approccio per la determinazione delle *SP*, associate specificamente all'innescio dei movimenti franosi, consiste nell'identificazione di relazioni tra le variabili precipitazione-durata che dividono il campo di stabilità rispetto a quello di instabilità a partire da eventi franosi in cui sia nota la precipitazione e l'ora di innescio.

La definizione di soglie pluviometriche viene essenzialmente affrontata utilizzando due tipologie di modelli:

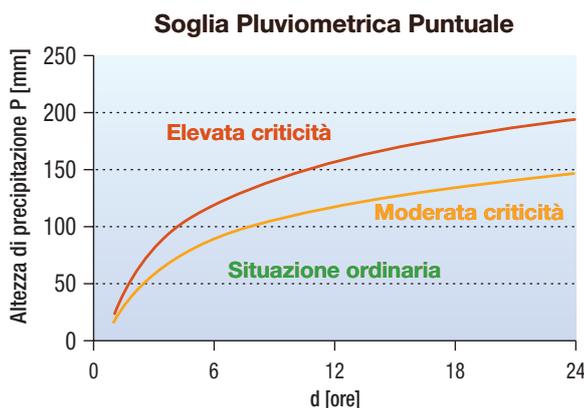
- modelli empirici*, basati su elaborazioni di tipo statistico volte all'individuazione di rapporti diretti tra le precipitazioni e gli inneschi dei fenomeni franosi, avvalendosi solo di valutazioni di tipo statistico e qualitativo per quanto riguarda le variabili ambientali sopra citate;
- modelli deterministici*, basati sull'utilizzo di modelli numerici in grado di fornire una valutazione delle condizioni di stabilità di un versante tramite l'analisi quantitativa delle variabili in gioco quali il bilancio idrologico, le altezze piezometriche e la ricarica delle falde, i dati geotecnici e morfometrici del versante.

L'approccio empirico vede come parametro fondamentale la precipitazione cumulata (solitamente espressa in millimetri), in un dato intervallo di tempo (solitamente espresso in ore o giorni). Il passo successivo consiste nell'associare una funzione del tipo:

$$y(t) = f[x(t)] \quad (3.2.1)$$

che dipende dalle piogge cadute prima dell'istante  $t$ , dalla probabilità  $P$  di innescio di un fenomeno franoso  $E$  all'istante  $t$ .

In letteratura esistono molti esempi a riguardo, in particolare si individuano due famiglie di soglie:



**Figura 3.2.1**  
Soglie pluviometriche puntuali associate a moderata ed elevata criticità

- 1) *soglie di 1° ordine*, definite tramite l'involuppo o l'interpolazione delle quantità minime di pioggia necessarie per l'attivazione di fenomeni franosi;
- 2) *soglie di 2° ordine*, analoghe alle precedenti, ma distinte da queste poiché vengono considerati anche aspetti riguardanti la geologia, la geomorfologia, i regimi pluviometrici e il contributo delle piogge pregresse.

L'approccio deterministico tenta di individuare le condizioni per cui un versante è o non è in equilibrio tramite la definizione del *Fattore di Sicurezza*, che definisce appunto l'equilibrio limite, dato dal rapporto tra i fattori stabilizzanti e destabilizzanti. Per ricavare il *Fattore di Sicurezza* vengono utilizzati modelli completi di versante basati sulla modellazione fisica dei fenomeni franosi, per i quali si rende necessaria una dettagliata caratterizzazione geotecnica e geomeccanica del versante oggetto della modellazione. L'impiego di tali modelli è quindi da ritenersi, al contrario dei modelli empirici, non applicabile su scala regionale ma solamente a ristretti ambiti territoriali ben definiti (scala del sito interessato dai movimenti franosi o del singolo versante). Esistono comunque approcci numerici molto più complessi basati non sull'equilibrio delle forze come nel caso del Metodo dell'Equilibrio Limite, ma in cui sono considerate tensioni e deformazioni che consentono di seguire l'evoluzione di un versante anche in condizioni di post rottura.

Per la determinazione delle *SP* associate ai fenomeni di esondazione dei corsi d'acqua si può ricorrere a simulazioni numeriche: si parte da un modello idrologico del suolo che simula i processi fisici che determinano la risposta del bacino preso in considerazione; successivamente tale modello viene tarato e validato sulla base delle informazioni idrometriche e pluviometriche disponibili in sezioni di controllo è utilizzato per risolvere il *problema idrologico inverso*, ovvero la valutazione delle precipitazioni in grado di generare la portata al colmo critica (Rosso, 2002).

### 3.2.3

#### La metodologia per la definizione delle soglie pluviometriche

Le soglie pluviometriche utilizzate per il sistema di allerta della regione Piemonte sono state ricavate utilizzando un metodo semplificato rispetto a quelli sopra elencati, in cui *SP* è funzione di un numero limitato di parametri:

$$SP = f(d, TR_H, A, I) \quad (3.2.2)$$

dove *d* è la durata della precipitazione, *TR<sub>H</sub>* è il tempo di ritorno relativo a ciascun livello di pericolosità *H*, *A* è l'estensione areale dei processi attesi e infine *I* è l'indicatore dello stato idrologico.

Il modello adottato per la determinazione delle *SP* è un modello concettuale all'interno del quale il tempo di ritorno *TR* rappresenta il parametro di taratura. Esso deve essere ricavato in modo da minimizzare il numero dei mancati allarmi e dei falsi allarmi tenendo conto che un aumento del *TR*, con corrispondente aumento della soglia, si traduce in un aumento dei mancati allarmi a fronte della riduzione dei falsi allarmi e viceversa. Nel presente lavoro è stato definito *mancato allarme (MA)* la situazione in cui a fronte di un danno, la precipitazione associata non supera la soglia pluviometrica mentre è stato definito *falso allarme (FA)* il verificarsi del superamento della soglia senza alcun effetto sul territorio.

Il tempo di ritorno ottimale risulta essere quello per il quale la funzione obiettivo  $\Phi$ , definita dalla seguente relazione:

$$\Phi = p_1 \cdot MA_{(TR)} + p_2 \cdot FA_{(TR)} \quad (3.2.3)$$

assume il valore minimo.

La scelta dei pesi  $p_1$  e  $p_2$  della funzione obiettivo rappresenta un aspetto particolarmente delicato in quanto legata a valutazioni non propriamente di natura tecnica ma piuttosto socio-economiche; infatti un mancato allarme determina un ritardo nell'attivazione delle procedure di emergenza e quindi una riduzione dell'efficacia delle azioni di salvaguardia per i beni e soprattutto per la pubblica incolumità (Becchi & Castelli, 1998). Un falso allarme al contrario non comporta un danno diretto, ma un costo sociale legato all'attivazione di livelli di operatività delle strutture di protezione civile e contribuisce a diminuire l'efficacia dell'allertamento.

Con riferimento all'estensione areale *A*, le soglie vengono suddivise rispetto alla valenza spaziale:

- 1) *soglie pluviometriche puntuali (SPp)* da riferirsi al punto/stazione e come tali rappresentative dei fenomeni quali frane, attività torrentizia e piene limitatamente al reticolo idrografico minore;
- 2) *soglie pluviometriche areali (SPa)* da intendersi come precipitazioni ragguagliate all'area alla quale si riferiscono e che rappresentano i fenomeni di piena del corso d'acqua che sottende il bacino considerato.

Infine l'indicatore dello stato idrologico *I*, che viene introdotto per tenere conto della dipendenza dei processi idrologici e idrogeologici dallo stato del sistema ovvero dal grado di saturazione dei suoli, fa riferimento alla precipitazione caduta nei giorni precedenti l'evento. Vengono qui considerati due valori dell'indicatore: stato secco o stato umido. Per valutare l'indicatore in caso di processi di tipo puntuale si è fatto ricorso alla formulazione di Moser (Honensinn & Moser, 1983) ricavata per le Alpi austriache e ripresa da Cancelli e Nova nelle Alpi Valtellinesi (1985) estendendola all'area

in studio attraverso l'applicazione di un fattore di normalizzazione:

$$I = \left( 44.66D^{(-0.78)} \right) N \quad (3.2.4)$$

dove  $I$  è l'intensità di pioggia espressa in mm/h,  $D$  la durata espressa in ore ed  $N$  il fattore di normalizzazione pari al rapporto tra la pioggia media annua dell'area in esame e quella dell'area in cui è stata ottenuta la relazione.

Tale formulazione di natura empirica, che ha una validità generale e separa il campo di stabilità da quello dove è alta la probabilità dei fenomeni franososi, in questo studio viene utilizzata esclusivamente per assegnare il valore dell'indicatore dello stato idrologico per le  $SPp$ .

Quale indicatore dello stato idrologico per le  $SPa$  è stata utilizzata la pioggia cumulata nei giorni precedenti ragguagliata all'area considerata e normalizzata rispetto alla pioggia media annua.

### 3.2.3.1

#### Le zone di allerta

Ai fini delle attività di allerta ogni Regione, tramite il proprio Centro Funzionale, provvede ad aggregare i bacini idrografici o parti di essi, in ambiti territoriali significativamente omogenei per l'atteso manifestarsi nel tempo reale della tipologia e della severità degli eventi meteoidrologici intensi e dei relativi effetti. Tali ambiti territoriali sono denominati zone di allerta.

Il processo di definizione delle zone di allerta, si svolge attraverso più fasi di affinamento nelle quali giocano un ruolo fondamentale criteri di natura idrografica, meteorologica ed orografica, tenendo conto della risposta del territorio agli effetti meteorologici e dei limiti amministrativi.

Le zone di allerta sono individuate in base alle scale spaziali caratteristiche delle previsioni meteorologiche tenendo conto delle caratteristiche plu-

viometriche e climatiche; tale criterio può rendere necessario introdurre una perimetrazione che tenga conto dell'orografia separando aree montuose da quelle di pianura laddove l'orografia gioca un importante ruolo nella distribuzione delle precipitazioni intense.

In generale, la perimetrazione avviene seguendo i limiti dei bacini idrografici: il criterio idrografico consente di individuare aree omogenee dal punto di vista dell'evoluzione dei processi di piena, in quanto la pioggia caduta all'interno di un bacino idrografico genera effetti sul territorio del bacino stesso. In altre parole gli effetti al suolo di piogge cadute sulla testata del bacino possono ripercuotersi anche nei settori di pianura, indipendentemente dalla distribuzione delle piogge all'interno del bacino stesso.

Le zone di allerta sono "ritagliate" sui confini amministrativi regionali. La valutazione della pericolosità e del rischio viene poi effettuata sulle "aree di riferimento" ad esse associate che possono anche ricomprendere territori esterni alla regione, facendo così riferimento alle precipitazioni previste/osservate sull'intero bacino idrografico.

Nella **figura 3.2.2** sono riportate le zone di allerta adottate dalla Regione Piemonte.

### 3.2.3.2

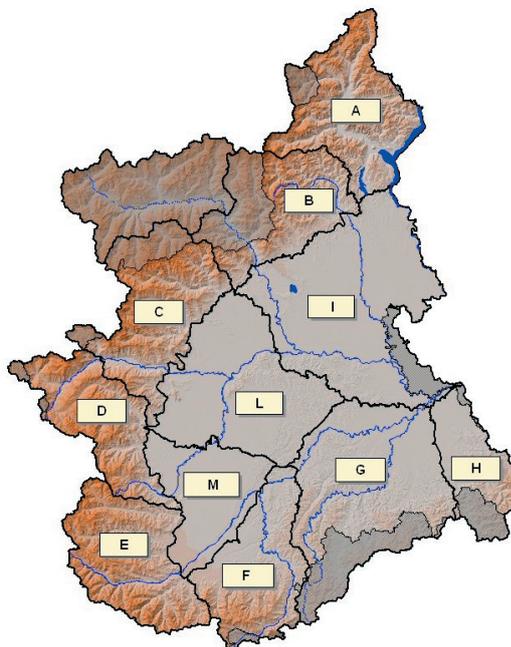
#### Caratterizzazione delle piogge intense

Per la determinazione delle precipitazioni di assegnato periodo di ritorno, ovvero delle *Linee Segnatrici di Probabilità Pluviometriche* (LSPP), sono stati utilizzati i risultati del Progetto *Valutazione delle Piene in Italia* e per il Piemonte *l'Atlante delle Piogge Intense sulle Alpi Occidentali* (Boni et al., 2002).

La procedura *Valutazione delle Piene in Italia* (VAPI) è stata messa a punto dalla Linea di Ricerca sulla Previsione e Prevenzione dagli Eventi Idrologici Estremi (Linea 1) del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del Consiglio Nazionale delle Ricerche.

I rapporti VAPI sono stati sviluppati per tutta l'Italia, seppure con disomogeneità di applicazione, dalle varie Unità Operative del GNDCI e contengono una base statistica che consente l'individuazione dei tempi di ritorno associati alle altezze massime di precipitazione di durata pari a 1, 3, 6, 12 e 24 ore su tutto il territorio nazionale. Per la realizzazione del Rapporto VAPI si è fatto ricorso a due distribuzioni, la *Two Components Extreme Value* (TCEV) e la GEV (Valori Estremi Generalizzata), quest'ultima usata solo per il compartimento di Parma e Genova.

*L'Atlante delle Piogge Intense sulle Alpi Occidentali* è stato prodotto dal Centro di Ricerca Interuniversitario in Monitoraggio Ambientale dell'Università di Genova nell'ambito del Progetto Interreg II *Italia-Confederazione Elvetica*. I dati pluviometrici alla base di tale lavoro sono relativi a tutte le sta-



**Figura 3.2.2**  
Suddivisione del territorio  
della Regione Piemonte  
in zone di allerta

zioni ricadenti in Piemonte e in aggiunta quelle del Canton Ticino e le stazioni francesi poste a nord del massiccio del Pelvoux per un totale di 537; tali stazioni ricoprono l'area considerata con una densità di circa una stazione ogni 100 km<sup>2</sup>. Dopo un'attenta analisi a posteriori sono state scartate le serie il cui unico *outlier* fosse prodotto da un evento già descritto dal dato di un'altra serie in una stazione vicina, arrivando così ad avere una base di 365 stazioni pluviometriche.

L'approccio utilizzato è quello dell'analisi regionale così come già proposto nel Rapporto VAPI perché quest'ultimo è stato ritenuto il più adatto per la stima affidabile dei quantili dei massimi di precipitazione per elevato tempo di ritorno. La distribuzione utilizzata è la TCEV (Rossi *et al.*, 1982) e la sua peculiarità è quella di tradurre in termini statistici la differente provenienza degli estremi idrologici riconducendosi formalmente al prodotto di due funzioni di probabilità di tipo Gumbel: la prima denominata *componente base* assume valori non elevati ma frequenti, mentre la seconda genera eventi più rari ma mediamente più rilevanti (*componente straordinaria*). La TCEV dipende da 4 parametri ( $\Theta_1$ ,  $\Theta_2$ ,  $\Lambda_1$ ,  $\Lambda_2$ ) i quali combinati opportunamente fra loro forniscono il coefficiente di asimmetria (*CS*) e quello di variazione (*CV*). La presenza di quattro parametri conferisce al modello probabilistico caratteristiche di maggior flessibilità, tuttavia vanno tenute in conto le maggiori difficoltà connesse al metodo di stima dei parametri e la notevole variabilità di questa stima con la dimensione della serie storica disponibile. Tali parametri sono stati calcolati per ogni regione omogenea e per ogni durata da 1 a 24 ore.

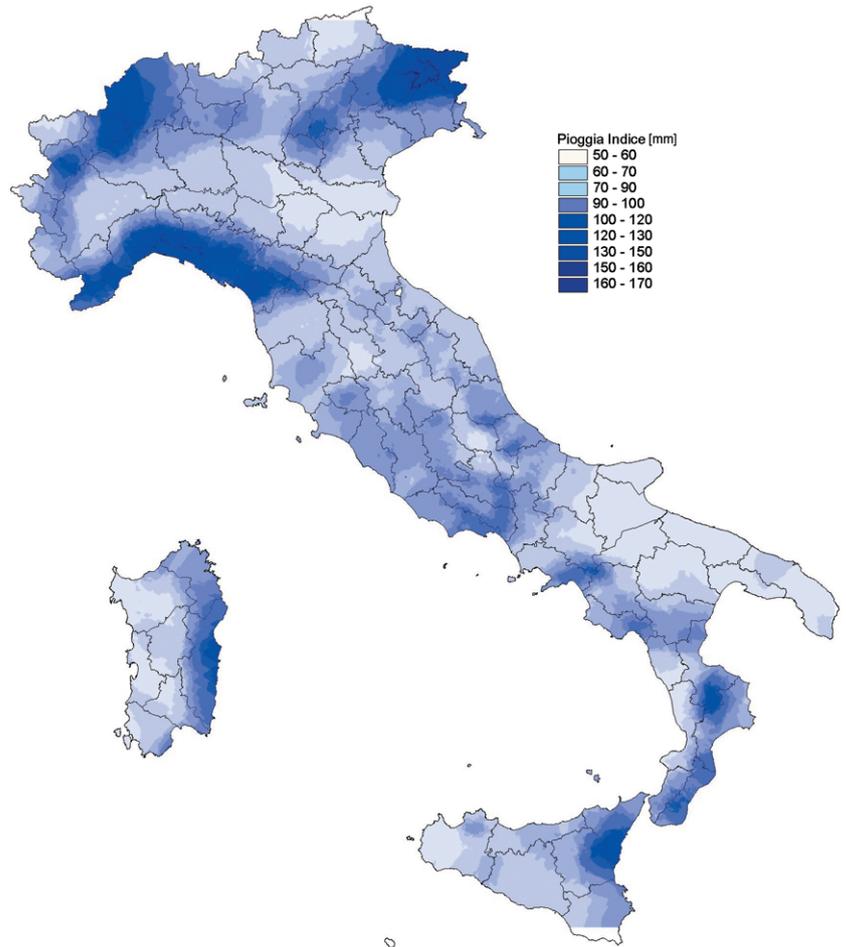
Con un'analisi qualitativa della distribuzione spaziale sul territorio dei parametri che definiscono la forma della TCEV si sono individuate le regioni omogenee (regione padana, tirrenica e Alpi meridionali) all'interno delle quali la distribuzione di probabilità genitrice può essere assunta nella sua forma adimensionale.

L'espressione delle *LSPP* utilizzata è:

$$h(d, TR) = mK(d, TR)d^n \quad (3.2.5)$$

dove  $h(d, TR)$  è l'altezza di precipitazione massima annuale per durata  $d$  e tempo di ritorno  $TR$ ,  $m$  è il valore della pioggia indice da dedurre in funzione della localizzazione geografica del sito,  $K(d, TR)$  è il quantile adimensionale ricavabile facendo riferimento direttamente all'espressione che fornisce la probabilità cumulata in funzione dei parametri della distribuzione TCEV. Infine  $n$  è l'esponente della relazione di scala anch'esso funzione della localizzazione geografica del sito. Nella **figura 3.2.3** è riportato l'andamento della pioggia indice su tutto il territorio italiano.

Per il calcolo dell'altezza di precipitazione areale bisogna considerare che con l'aumentare della superficie diventano non trascurabili le caratteristiche della scala di evoluzione spaziale dell'evento



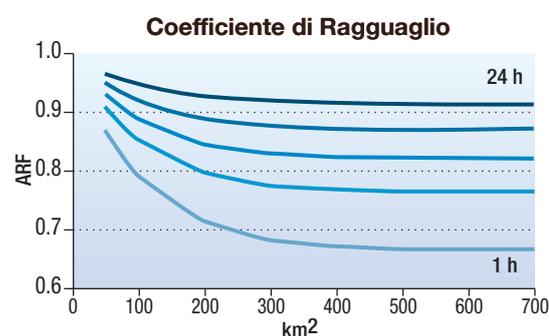
di pioggia ed occorre considerare un fattore di ragguglio areale che trasformi la stima puntuale in areale. Nell'estendere l'analisi della precipitazione misurata dal punto stazione all'area si è utilizzato il metodo proposto da Eagleson del U.S. National Weather Service nel quale il coefficiente di ragguglio  $r$ , anche detto fattore di riduzione areale ARF, è espresso nella forma seguente (Eagleson, 1972):

$$r = 1 - e^{\left(-1.1d^{1/4}\right)} + e^{\left(-1.1d^{1/4} - 0.01A\right)} \quad (3.2.6)$$

dove  $d$  è la durata espressa in ore e  $A$  è l'area espressa in km<sup>2</sup>.

La **figura 3.2.4** mostra, per le diverse durate esaminate, l'andamento del coefficiente di ragguglio con l'area da cui si osserva che, per aree superiori a 500 km<sup>2</sup>,  $r$  è pressoché costante rispetto all'area.

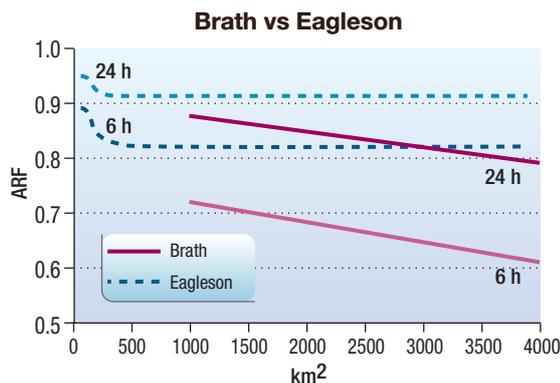
Studi specifici, condotti sui campi di precipitazione in Emilia Romagna (Brath, 2004), hanno consentito di ricavare una espressione del fattore ARF specifica per il bacino del Fiume Reno chiuso a Casa-



**Figura 3.2.3**  
Andamento  
della pioggia indice  $m$

**Figura 3.2.4**  
Andamento del Fattore  
di Ragguglio ARF  
in funzione dell'area  
per le durate di 1, 3, 6,  
12 e 24 ore

**Figura 3.2.5**  
Confronto  
tra l'andamento  
del Fattore  
di Ragguaglio ARF  
di Eagleson  
e quello proposto  
da Brath per il bacino  
del Reno



lecchio (1'051 km<sup>2</sup>). Nella **figura 3.2.5** viene riportato un confronto tra l'ARF proposto da Eagleson e quello di Brath: si evidenziano forti limitazioni del metodo proposto dal primo per le scale spaziali d'indagine. Per ovviare a ciò sono auspicabili specifici studi per la caratterizzazione dei campi di precipitazione spazio-temporali nel contesto italiano. Introducendo la formula di ragguaglio, l'espressione del calcolo dell'altezza di precipitazione massima areale, specificato per le durate da 1 a 24 ore, diventa:

$$ha_T(d) = m(d)K_T(d)r(d) \quad (3.2.7)$$

Mentre per le *SPp* le durate di pioggia rappresentative dei fenomeni che si considerano vanno tipicamente da 1 a 24 ore, per le *Spa* si considerano anche durate di più giorni in funzione della dimensione dell'area considerata; per il presente studio le durate indagate vanno da 6 a 48 ore. L'estensione alle durate superiori alle 24 ore è stata calcolata estrapolando i valori per le durate note attraverso una legge di potenza nella forma:

$$ha_T(d) = ad^n \quad (3.2.8)$$

### 3.2.3.3

#### Eventi storici e precipitazioni caratteristiche

Come già ampiamente descritto, il tempo di ritorno rappresenta il parametro di taratura del modello concettuale in modo da minimizzare il numero dei mancati allarmi e dei falsi allarmi. La funzione obiettivo (3.2.3) può essere ricostruita attraverso l'indagine storica retrospettiva degli eventi e dei danni storici.

Le tipologie dei dati ricercati e poi elaborati sono:

- dati di pioggia alla scala oraria;
- processi di versante;
- processi sui corsi d'acqua.

Una banca dati sugli effetti per rischi idrogeologici disponibile a scala nazionale è il Progetto *Aree Vulnerate Italiane da Frane ed Inondazioni* (AVI) del GNDCI che, nonostante le numerose limitazioni dovute alla disomogeneità delle notizie, risulta essere il più importante archivio di notizie sulle inondazioni e sulle frane in Italia, che può essere utilizzato nelle regioni in cui non è disponibile una banca dati organica ed informatizzata a più piccola scala.

Tutte le notizie censite sono state raccolte in un archivio digitale continuamente aggiornato che è arrivato a contenere fino al 2001 oltre 22'000 informazioni relative a frane con 18'500 località colpite ed oltre 7'500 informazioni relative ad inondazioni con 12'000 località colpite. Le schede di censimento del progetto AVI sono anche disponibili su Internet (<http://avi.gndci.pg.cnr.it/>) con informazioni di vario genere (amministrative e generali sull'evento, cartografiche, cause innescanti, morfologiche, geologiche, geotecniche sui danni).

Esistono poi banche dati a livello regionale come quella di Arpa Piemonte che raccoglie in maniera organica e georiferita le informazioni inerenti i processi di versante (frane), torrentizi e fluviali (piene) che interessano ed hanno interessato il territorio piemontese ed organizzate nel Sistema Informativo Geologico (SIGeo). All'interno del SIGeo, il sottosistema *processi ed effetti*, in particolare, si occupa di strumenti finalizzati alla gestione delle informazioni inerenti i processi di versante, fluviali e torrentizi che interessano o hanno interessato il Piemonte, in termini tipologici e di effetti e danni indotti. I dati sono tratti da varie fonti (pubblicazioni, perizie tecniche, articoli di giornale) e da rilevamento ed osservazioni dirette dei processi di instabilità naturali.

Sebbene si disponga di notizie di danni a partire dall'inizio del secolo scorso, la difficoltà nel reperire i dati di pioggia alla scala oraria per gli eventi storici e il notevole cambiamento della vulnerabilità del territorio avvenuta negli ultimi decenni, ha portato a concentrare l'attenzione sul periodo successivo al 1990. I processi naturali sono stati classificati in due insiemi in funzione della tipologia: puntuali (frane, attività torrentizia, reticolo idrografico secondario) e areali (piene); in funzione dell'entità del danno associato, in due livelli di criticità definiti nel sistema di allertamento. Sono stati considerati di moderata criticità quelli relativi a danneggiamenti modesti alle opere, alle infrastrutture e le occupazioni di aree agricole, e di elevata criticità i casi di consistenti o diffusi danneggiamenti oppure distruzioni di edifici, strade, opere idrauliche, ponti, infrastrutture o ancora casi di perdite di vite umane dovute alla magnitudo dell'evento.

Dopo aver selezionato gli eventi significativi si è proceduto con la caratterizzazione pluviometrica degli stessi. Ad ogni danno sono state abbinate una o più registrazioni pluviometriche con l'obiettivo di individuare i tempi di ritorno caratteristici delle precipitazioni che hanno causato i singoli danni. Dall'insieme di tutte le segnalazioni disponibili per il periodo analizzato, sono poi stati considerati solo i fenomeni direttamente riconducibili alle precipitazioni.

Per quanto riguarda i danni puntuali, la scelta delle stazioni pluviometriche rappresentative per il fenomeno si è basata sulla distanza, sulla quota

planimetrica e sull'assenza di rilievi orografici di separazione. I casi in cui non è stato possibile disporre del dato di pioggia in un intorno significativo dell'area coinvolta, sono stati scartati dalle successive analisi. Per gli eventi di piena sono state utilizzate tutte le stazioni di pioggia presenti in posizione utile per la determinazione del volume di afflusso al bacino idrografico.

### 3.2.4 Applicazione ad alcune regioni italiane

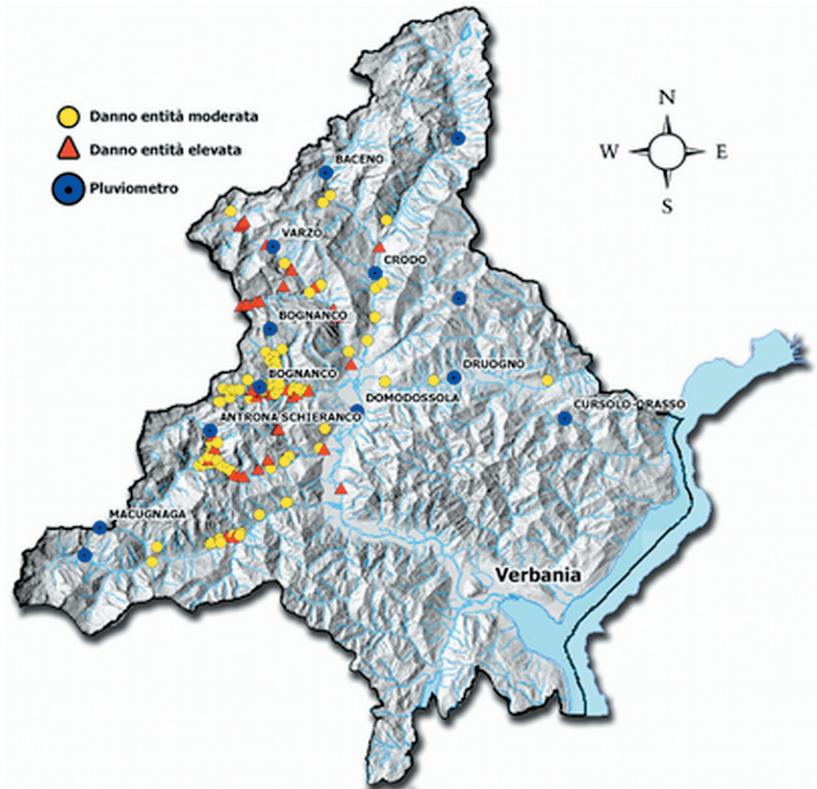
La metodologia descritta è stata applicata ai dissesti idrogeologici avvenuti in Piemonte, in Emilia Romagna e in Calabria. Di seguito vengono esposti i singoli casi ed i risultati ottenuti.

#### 3.2.4.1 Regione Piemonte

L'analisi per il Piemonte è stata condotta utilizzando le informazioni reperite nel SIGeo dal 1990 al 2002 ed i dati pluviometrici della rete meteoroidrografica regionale. Per ciascun evento considerato sono stati ubicati su base cartografica i danni ed i pluviometri di riferimento: nella **figura 3.2.6** si riporta un esempio della cartografia prodotta.

Al fine di individuare la funzione obiettivo (3.2.3) di tutti gli eventi, sono stati conteggiati i mancati e i falsi allarmi per diversi tempi di ritorno. Per valutare i falsi allarmi per le *SPp*, sono stati conteggiati i superamenti registrati da tutte le stazioni pluviometriche raggruppate per aree di allertamento rispetto alle piogge con tempo di ritorno pari a 2, 5, 10 e 20 anni per le durate 1, 3, 6, 12 e 24 ore. Per quanto riguarda le *SPa*, sono state calcolate le piogge ragguagliate ai bacini idrografici dello stesso periodo e conteggiati i superamenti rispetto alle piogge con *TR* pari a 2, 5, 10 e 20 anni per le durate 6, 12 e 24 ore. I superamenti così ottenuti sono poi stati raggruppati per aree di allertamento e per evento e sono stati considerati falsi allarmi quelli per i quali non sono stati rilevati danni.

La scelta dei pesi  $p_1$  e  $p_2$  della funzione obiettivo, come detto, è legata a valutazioni di tipo socio-economiche; in ogni caso è logico ipotizzare  $p_1 > p_2$  in quanto un mancato allarme comporta ripercussioni certamente più pesanti di un falso allarme. È quindi stato calcolato l'andamento della funzione obiettivo per diversi valori del rapporto  $p_2/p_1$ . Nella **tabella 3.2.1** sono riportati i valori della funzione obiettivo, associata a danni di entità moderata ed estensione puntuale. Nella **tabella 3.2.2** sono riportati i valori della funzione obiettivo associata a danni di entità elevata ed estensione puntuale. Nella **tabella 3.2.3** sono riportati i valori della funzione obiettivo, associata a danni di estensione areale e moderata entità. Nella **tabella 3.2.4** sono riportati i valori della funzione obiettivo associata a danni di entità elevata ed estensione areale.



**Figura 3.2.6**  
Evento alluvionale del 13-16 ottobre 2000 provincia del Verbano Cusio Ossola

**TABELLA 3.2.1 VALORI DELLA FUNZIONE OBIETTIVO PER DANNI DI ESTENSIONE PUNTUALE E MODERATA CRITICITÀ**

| TR [ANNI] | MEDIA ANNUA FA | MEDIA ANNUA MA | p <sub>2</sub> /p <sub>1</sub> |     |     |     |
|-----------|----------------|----------------|--------------------------------|-----|-----|-----|
|           |                |                | 0.4                            | 0.3 | 0.2 | 0.1 |
| 2         | 63             | 1.8            | 27                             | 20  | 14  | 8   |
| 5         | 44             | 5.9            | 23                             | 19  | 14  | 10  |
| 10        | 37             | 6.7            | 22                             | 18  | 14  | 10  |
| 20        | 33             | 7.8            | 21                             | 17  | 14  | 11  |

**TABELLA 3.2.2 VALORI DELLA FUNZIONE OBIETTIVO PER DANNI DI ESTENSIONE PUNTUALE ED ELEVATA CRITICITÀ**

| TR [ANNI] | MEDIA ANNUA FA | MEDIA ANNUA MA | p <sub>2</sub> /p <sub>1</sub> |     |     |     |
|-----------|----------------|----------------|--------------------------------|-----|-----|-----|
|           |                |                | 0.4                            | 0.3 | 0.2 | 0.1 |
| 5         | 44             | 0.7            | 18                             | 14  | 10  | 5   |
| 10        | 37             | 0.8            | 16                             | 12  | 8   | 5   |
| 20        | 33             | 0.9            | 14                             | 11  | 8   | 4   |

**TABELLA 3.2.3 VALORI DELLA FUNZIONE OBIETTIVO PER DANNI DI ESTENSIONE AREALE E MODERATA CRITICITÀ**

| TR [ANNI] | MEDIA ANNUA FA | MEDIA ANNUA MA | p <sub>2</sub> /p <sub>1</sub> |     |     |     |
|-----------|----------------|----------------|--------------------------------|-----|-----|-----|
|           |                |                | 0.4                            | 0.3 | 0.2 | 0.1 |
| 2         | 27.5           | 0.5            | 12                             | 9   | 6   | 3   |
| 5         | 14             | 2.4            | 8                              | 7   | 5   | 4   |
| 10        | 9              | 2.9            | 7                              | 6   | 5   | 4   |
| 20        | 6              | 3.8            | 6                              | 6   | 5   | 4   |

**TABELLA 3.2.4 VALORI DELLA FUNZIONE OBIETTIVO PER DANNI DI ESTENSIONE AREALE ED ELEVATA CRITICITÀ**

| TR [ANNI] | MEDIA ANNUA FA | MEDIA ANNUA MA | p <sub>2</sub> /p <sub>1</sub> |     |     |     |
|-----------|----------------|----------------|--------------------------------|-----|-----|-----|
|           |                |                | 0.4                            | 0.3 | 0.2 | 0.1 |
| 5         | 14             | 1.6            | 6                              | 5   | 3   | 2   |
| 10        | 9              | 2.2            | 5                              | 4   | 3   | 3   |
| 20        | 6              | 3.6            | 5                              | 4   | 3   | 3   |

## 3.2.4.2

## Regione Emilia Romagna

Per l'Emilia Romagna l'unico archivio sugli effetti disponibile era il progetto AVI. Sono state estratte le schede di circa 450 frane e circa 40 eventi di piene verificatesi nel periodo compreso tra il 1990 e il 2000. Dall'analisi critica del contenuto di ogni singola scheda, sono state scartate tutte quelle che non presentavano dettagli né risultavano esaurienti sulle cause scatenanti, sul tipo di movimento e di terreno coinvolto, sulla tipologia ed entità dei danni o riferite a riattivazioni di vecchie frane, di crolli in roccia e di fenomeni sismici: ciò ha portato in definitiva all'utilizzo del 60% delle schede inizialmente selezionate.

Sono quindi stati acquisiti i dati pluviometrici di circa 150 stazioni pluviometriche degli ex Uffici Idrografici dei Compartimenti di Parma e di Bologna, ora Arpa Emilia Romagna, dal 1990 al 2000 ma non per tutte le stazioni i dati risultavano completi.

Ad ogni danno segnalato sono state abbinare una o più registrazioni pluviometriche per un totale di 98 pluviometri di cui l'80% significativo per livelli di criticità moderata e il 20% significativo per livelli di criticità elevata.

Di essi sono state calcolate sia le altezze di pioggia per durate pari a 1, 3, 6, 12 e 24 ore registrate durante i giorni dell'evento meteorico, sia le cumulate giornaliere dei giorni precedenti all'inizio dello stesso e calcolato il tempo di ritorno delle precipitazioni associate. Sono quindi stati calcolati i falsi allarmi ed i mancati allarmi a partire dai superamenti puntuali di circa 150 stazioni pluviometriche ubicate sul territorio emiliano riferito alle sole soglie puntuali. Nelle **tabelle 3.2.5 e 3.2.6** si riportano i risultati ottenuti.

## 3.2.4.3

## Regione Calabria

Anche per la Calabria i dati relativi ai dissesti idrogeologici sono stati desunti dal Progetto AVI. Sono state selezionate circa 450 schede di danni di estensione puntuale avvenuti tra il 1990 e il 2001. La validazione ha poi portato a scartare quelle che non presentavano dettagli né risultavano esaurienti sulle cause scatenanti o erano riferite a cause non direttamente correlate alle precipitazioni, contando così 300 schede AVI di cui l'80% rappresenta

**TABELLA 3.2.5 VALORI DELLA FUNZIONE OBIETTIVO PER DANNI DI ESTENSIONE PUNTUALE E MODERATA CRITICITÀ**

| TR [ANNI] | MEDIA ANNUA FA | MEDIA ANNUA MA | p <sub>2</sub> /p <sub>1</sub> |     |     |     |
|-----------|----------------|----------------|--------------------------------|-----|-----|-----|
|           |                |                | 0.4                            | 0.3 | 0.2 | 0.1 |
| 2         | 48.6           | 1.8            | 21                             | 16  | 11  | 7   |
| 5         | 22.1           | 4.6            | 13                             | 11  | 9   | 7   |
| 10        | 11.7           | 5.4            | 10                             | 9   | 8   | 7   |
| 20        | 7.2            | 6              | 9                              | 8   | 7   | 7   |

**TABELLA 3.2.6 VALORI DELLA FUNZIONE OBIETTIVO PER DANNI DI ESTENSIONE PUNTUALE ED ELEVATA CRITICITÀ**

| TR [ANNI] | MEDIA ANNUA FA | MEDIA ANNUA MA | p <sub>2</sub> /p <sub>1</sub> |     |     |     |
|-----------|----------------|----------------|--------------------------------|-----|-----|-----|
|           |                |                | 0.4                            | 0.3 | 0.2 | 0.1 |
| 5         | 22.1           | 1              | 10                             | 8   | 5   | 3   |
| 10        | 11.7           | 1.3            | 6                              | 5   | 4   | 2   |
| 20        | 7.2            | 1.4            | 4                              | 4   | 3   | 2   |

tivo per danni di criticità moderata e il 20% di criticità elevata. Ad ogni dissesto sono state abbinare una o più stazioni pluviometriche e per esse sono stati acquisiti sia i dati di pioggia per durate da 1 a 24 ore che le cumulate giornaliere dei giorni precedenti all'inizio dell'evento meteorico. Tali dati sono stati forniti da Arpa Calabria che ha l'onere di gestire le stazioni pluviometriche dell'ex Ufficio Idrografico di Catanzaro.

È stato possibile stimare il tempo di ritorno della precipitazione di durata da 1 a 24 ore per 82 pluviometri di cui 64 associati a danni di criticità moderata e 18 a dissesti di criticità elevata. Non disporre delle serie continue delle precipitazioni ha limitato l'applicazione della metodologia ai danni avvenuti in Calabria in quanto non è stato possibile calcolare i falsi allarmi. I risultati dei mancati allarmi sono riportati nella **tabella 3.2.7**.

## 3.2.5

## Conclusioni

I risultati ottenuti per gli eventi associati ad uno scenario di moderata criticità per rischio idrogeologico ed idraulico indicano che il numero medio annuo di falsi allarmi è particolarmente elevato per tempo di ritorno pari a 2 anni, mentre al crescere di esso non sono più trascurabili i mancati allarmi (soprattutto per TR > 5 anni). Se il rapporto p<sub>2</sub>/p<sub>1</sub> è pari a 0.1, la funzione Φ è minima per tempo di ritorno uguale a 2 anni, mentre per valori maggiori di tale rapporto si ritiene prudente assumere TR pari a 5 anni.

Per gli eventi associati a scenari di elevata criticità, la funzione Φ assume un minimo per tempo di ritorno pari a 5 anni solamente nell'ipotesi di p<sub>2</sub>/p<sub>1</sub>=0.1, mentre in tutti i restanti casi il minimo corrisponde ad un tempo di ritorno uguale a 20 anni.

I risultati ottenuti dall'analisi completa degli eventi del Piemonte e parziale per quanto riguarda l'Emilia Romagna e la Calabria, suggeriscono di adottare i tempi di ritorno indicati nella matrice di contingenza riportata nella **tabella 3.2.8**.

**TABELLA 3.2.7 MEDIA ANNUA DEI MANCATI ALLARMI PER DANNI DI ESTENSIONE PUNTUALE**

| TR [ANNI] | MODERATA CRITICITÀ | ELEVATA CRITICITÀ |
|-----------|--------------------|-------------------|
| 2         | 1.0                | -                 |
| 5         | 2.5                | 0.8               |
| 10        | 3.5                | 0.9               |
| 20        | 3.7                | 1.1               |
| 50        | -                  | 1.1               |

TABELLA 3.2.8 TEMPI DI RITORNO ASSOCIATI ALLE SOGLIE PLUVIOMETRICHE

| VALIDITÀ DELLA VALUTAZIONE |                     |               | TEMPO DI RITORNO SOGLIE TR <sub>H</sub> [ANNI] |             |                   |             |
|----------------------------|---------------------|---------------|--|-------------|-------------------|-------------|
| SOGLIA                     | AMBITO TERRITORIALE | DURATA [ORE]  | MODERATA CRITICITÀ                             |             | ELEVATA CRITICITÀ |             |
|                            |                     |               | suolo secco                                    | suolo umido | suolo secco       | suolo umido |
| Puntuale                   | Massimo             | 6, 12, 24     | 5  | 2           | 20                | 5           |
| Areale                     | Media areale        | 6, 12, 24, 48 |  |             |                   |             |

Lo studio mette inoltre in evidenza come l'ipotesi di una relazione causale tra forzante meteorica ed effetti al suolo non consenta di spiegare tutti i casi esaminati. Infatti l'osservazione di falsi allarmi e mancati allarmi in corrispondenza della medesima soglia indica i limiti dell'approccio proposto. Ciononostante la metodologia rappresenta un valido strumento speditivo come dimostrato dai risultati della sua applicazione nella Regione Piemonte fin dal 1996.

Il lavoro descritto è il risultato di un'attività svolta da Arpa Piemonte per conto del Dipartimento Nazionale della Protezione Civile quale Centro di Competenza nell'ambito del sistema di allertamento nazionale e regionale per il rischio idrogeologico ed idraulico ai fini di protezione civile con lo scopo di sviluppare strumenti per la valutazione delle criticità che assicurino una unitarietà a scala nazionale. La generalizzazione ad ambiti territoriali diversi da quelli analizzati dovrà essere seguita da un approfondimento puntuale e di verifica con l'ausilio di banche dati di maggiore dettaglio non disponibili al momento dello studio.

### Bibliografia

Becchi I. & Castelli F. (1998), *Sulla gestione economicamente ottimale di misure anti-alluvioni integrate di tipo strutturale e non*. XXVI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Catania.

Boni G., Messori C., Morando M. & Siccardi F. (2002), *L'uso del Vapi in meteoidrologia*. XXVIII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Potenza.

Boni G., Parodi A., Roth G. & Tognetti F. (2002), *Sintesi pluviometrica regionale e realizzazione di un atlante delle piogge intense sulle Alpi occidentali Italo-Svizzere*, Progetto Interreg II Italia-Svizzera 1994-99 Collegamento delle reti di rilevamento e condivisione delle esperienze e delle conoscenze per la gestione del rischio idrogeologico, Torino.

Brath A. (2004), *Sistema regionale di monitoraggio, valutazione speditiva del rischio idraulico e allertamento ai fini di protezione civile – Seconda Fase: perfezionamento del sistema*. Rapporto inedito della Regione Emilia Romagna, aprile 2004.

Cancelli A. & Nova R. (1985), *Landslides in Soil Debris Cover Triggered by Rainstorms in Valtellina (Central Alps- Italy)*. Department of Structural Engineering Technical University of Milano, Italy.

Cipolla F. & Sebastiani C. (2000), *Linee guida per la redazione di un piano di Protezione Civile dal rischio idro-geologico*, Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche.

Arpa Piemonte – Area Previsione e Monitoraggio Ambientale (2004), *Soglie pluviometriche*, Convenzione tra il Dipartimento per la Protezione Civile e Arpa Piemonte per l'assistenza alla gestione delle situazioni di rischio idro-meteorologico sul territorio nazionale, Rapporto ad uso interno, Torino, 2004.

Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri del 27 febbraio 2004, *Indirizzi operativi per la gestione organizzativa e funzionale del sistema di allertamento nazionale e regionale per il rischio idrogeologico e idraulico ai fini di protezione civile*. Gazzetta Ufficiale n. 59 del 11 marzo 2004 – Supplemento Ordinario n. 39 Roma.

De Michele C. & Rosso R. (1999), *La valutazione delle piene nell'Italia Nord-Occidentale: bacino padano e Liguria tirrenica*. CNR-GNDCI.

Eagleson P.S. (1972), *Dynamics of flood frequency*. *Water Resour. Res.* 8, pp. 878-898.

Honensinn F. & Moser M. (1983), *Geotechnical Aspects of soil slips in Alpine Regione*. *Eng.Geol.*, vol. 19, pp. 185-211.

Kottogoda N.T. & Rosso R. (1997), *Statistics, Probability and Reliability for Civil and Environmental Engineers*. McGraw-Hill Publishing Company, New York.

Rosso R. (2002), *Manuale di Protezione Idraulica del Territorio*. Cusl, Milano.

Rossi F. & Versace P. (1982), *Criteri e metodi per l'analisi statistica delle piene*. *Valutazione delle piene*. C.N.R. P.F. conservazione del suolo n. 165.