

Gli Estremi degli Estremi: Eventi eccezionali e piogge di progetto

Pierluigi Claps, Francesco Laio, Paola Allamano

Dipartimento DIATI, Politecnico di Torino

[pierluigi.claps@polito.it]

Sommario

I gravi eventi alluvionali dell'autunno del 2011 relativi alle zone costiere italiane sono stati determinati da precipitazioni di entità ed intensità particolarmente elevate che, ancora una volta e non certo esagerando, sono state definite eccezionali. In Liguria sono stati superati, in due riprese e nell'arco di soli dieci giorni, record italiani di precipitazione che duravano da oltre 40 anni. L'enormità dei volumi di pioggia caduti in poche ore ha determinato effetti parossistici sul territorio, ma ha anche sollevato interrogativi ed ansie nella comunità tecnica e scientifica. In particolare, gli interrogativi riguardano l'adeguatezza degli strumenti statistici di cui disponiamo per determinare la "reale" rarità di queste manifestazioni meteorologiche e per poterne tener conto nella valutazione del rischio alluvionale, specie nelle aree costiere. La questione ha immediata rilevanza tecnica nell'ambito delle misure di adattamento al cambiamento climatico che, nel caso in esame, corrisponderebbe ad una accresciuta frequenza, rispetto al passato, di eventi di elevata intensità. Questo contributo intende richiamare l'attenzione sulle caratteristiche degli estremi pluviometrici eccezionali, rapportandoli agli aspetti più delicati relativi alla stima delle precipitazioni di progetto. Se ne ricavano alcuni spunti per studi sistematici di approfondimento alla scala nazionale.

1. Introduzione.

Gli eventi di nubifragio dell'autunno 2011 hanno toccato l'area vesuviana, Roma, le Cinque Terre, Genova e Milazzo-Barcellona P.G., suscitando molta impressione per le intensità osservate e per l'entità dei volumi di pioggia caduta. Gli effetti che ne sono derivati, purtroppo anche in termini di tributo di vite umane, hanno determinato una prolungata permanenza degli eventi sui media nazionali ed un forte impatto sociale. La comunità tecnica e scientifica italiana si è mobilitata per organizzare una reazione alla percezione, ormai conclamata, di spiccata vulnerabilità del territorio italiano alle alluvioni improvvise causate da grandi nubifragi. La società pone ormai domande chiare alla comunità scientifica ed agli enti preposti alla salvaguardia del territorio dalle alluvioni, e queste riguardano in primo luogo le possibilità di previsione di questi eventi e le possibilità di mettere in atto conseguenti misure di allertamento.

Agli addetti ai lavori non sfuggono le notevoli difficoltà di organizzazione di interventi in tempo reale per i fenomeni a cui ci si riferisce, che accadono su estensioni areali molto limitate ed in tempi dell'ordine delle pochissime ore. A fronte di queste difficoltà, meno evidente ma non meno importante, è la necessità di riesaminare la prevedibilità statistica (prediction) di questi eventi 'eccezionali', allo scopo di rapportarli all'insieme degli eventi di precipitazione intensa utilizzati nei progetti idraulici. In questo contributo vengono solo brevemente richiamati gli aspetti climatologici a cui si riferiscono i grandi nubifragi, mentre viene esaminato più da vicino il tema della prevedibilità statistica delle piogge estreme con riferimento alla tradizionale definizione di "piogge di progetto". In base a queste vengono infatti molto spesso determinate le "portate di progetto", sulla base del concetto di equivalenza delle frequenze statistiche di accadimento di piogge e portate. Sulle portate di progetto viene sostanzialmente basata la funzionalità delle opere idrauliche preposte alla sicurezza del territorio rispetto alle alluvioni, anche se –in aree urbane– queste opere sono spesso classificate nella poco appariscente categoria dei "sistemi di smaltimento delle acque meteoriche" o semplicemente "reti di fognatura per le acque bianche".

Le tempistiche necessarie all'aggiornamento dei dati e delle procedure di definizione delle piogge di progetto, oltre che all'adozione di strumenti normativi che recepiscano i relativi aggiornamenti, sono tipicamente dell'ordine della decina di anni, ragione per cui il contenuto informativo di nuovi eventi di intensità molto elevata accaduti in prossimità dell'area di interesse viene spesso trascurato per tempi molto lunghi, anche laddove dovrebbe invece sorgere un legittimo dubbio sulla validità delle assunzioni fino a quel momento fatte sui valori pluviometrici di progetto. Rivalutare statisticamente gli estremi pluviometrici di progetto a seguito di nuovi eventi eccezionali consentirebbe di collocare tali catastrofi di origine meteorologica in un quadro più organico e meno emotivo, comunque necessario per poter organizzare una risposta scientifica all'altra grande domanda che emerge dalla società: gli eventi estremi si stanno realmente intensificando a causa del riscaldamento globale?

A questi interrogativi, suggeriti dal buonsenso e dalla preoccupazione delle popolazioni esposte al rischio alluvionale, si ritiene necessario provare a rispondere partendo dall'impiego di metodi rigorosi per la determinazione del periodo di ritorno T_o dei nuovi eventi osservati. Dalla stima di T_o si ricavano infatti importanti conferme riguardo alla congruità del livello di protezione del territorio che ne è stato colpito, ma anche informazioni preziose per la sicurezza dei territori limitrofi. I paragrafi successivi chiariranno le modalità con le quali sarebbe necessario procedere a questa valutazione, suggerendo anche possibili azioni da mettere in atto anche qualora si ravvisi l'effettiva eccezionalità degli eventi osservati.

2. Estremi meteorologici straordinari

In una conferenza del 2000 dal titolo "The Extremes of the Extremes" (IAHS, 2002) si richiamava l'utilità di indagare quella limitata popolazione di eventi che presentano intensità elevate anche in confronto ad una popolazione di massimi annui di osservazioni idrologiche. In precedenza, osservazioni del genere erano state definite "outliers" (Grubbs, 1969). La trattazione statistica più esplicita di questa classe di eventi è stata fatta mediante la distribuzione TCEV (Rossi et al, 1984), nella quale si richiamava l'utilità di raccogliere osservazioni di intensità straordinaria in una componente statistica separata, avente la caratteristica che la frequenza degli accadimenti risultasse poco variabile in ampie regioni. Nelle numerosissime applicazioni e nei vari approfondimenti effettuati sulla base di questo approccio ci si è in vario modo scontrati con alcune difficoltà operative, prevalentemente determinate dal dover ricavare informazioni spazialmente significative partendo da pochissimi valori molto elevati (v. es. Boni et al, 2000) per cui il percorso verso l'analisi separata degli eventi straordinari rispetto a quelli ordinari non può dirsi ancora compiuto (v. es., De Luca et al., 2010). Va detto che, rispetto agli anni '80, si può contare oggi su molti elementi oggettivi, di natura climatologica e meteorologica, che possono aiutare a ricostruire la genesi degli estremi pluviometrici ed eventualmente a distinguere eventi ordinari da eventi straordinari. In questo senso, anche soltanto la predisposizione di una base di dati ampia e sistematica non può dirsi cosa fatta, anche perché sarebbe ulteriormente da chiarire l'eventuale differenziazione tra eventi che presentano la massima intensità su durate molto brevi (6 ore o meno) ed altri che sono particolarmente rilevanti per durate di 24-36 ore. I primi, cui appartengono le piogge estreme del 2011, sembrano ben caratterizzati dalla definizione di "meteorological bombs" di Sanders e Gyakum (1980) ampiamente ripresa nei lavori che si riferiscono ai cicloni extra-tropicali (detti anche "Medicanes"). I secondi, hanno più ampie scale spaziali di genesi meteorologica (V. es. Turato et al., 2004, Merz et al, 2012) ma anche effetti al suolo meno improvvisi, e ben si prestano ad analisi su aree di dimensione anche nazionale (v. Gabriele e Villani, 2002). Questi eventi risultano, inoltre, facilmente riconoscibili anche se accaduti in tempi remoti, in quanto possono essere documentati attraverso gli estremi annui della pioggia giornaliera, misurati attraverso i vecchi strumenti non registratori. Il riconoscimento e la corretta ricostruzione di eventi eccezionali anche molto lontani nel tempo è un passaggio di notevole importanza se si vuole esaminare su basi oggettive l'eventuale tendenza all'incremento delle frequenze di accadimento di piogge estreme dovuta al riscaldamento globale.

3. La valutazione del periodo di ritorno di un nubifragio in siti con disponibilità di dati

Quanto detto in precedenza pone la necessità di ricomporre all'interno di un quadro unico le osservazioni storiche relative ai grandi nubifragi, ma richiama anche la necessità di esprimere con concetti concreti e di facile utilizzo indicazioni che chiariscano le relazioni tra questi e le precipitazioni (comunque *estreme*) sulla base delle quali si progettano le opere idrauliche. In questo senso, è molto importante chiarire quale sia l'*effettiva* frequenza di accadimento di un evento catastrofico di precipitazione.

Il periodo di ritorno T_o relativo ad un evento di precipitazione osservato è ricavabile, in modo apparentemente semplice, dalle curve di possibilità climatica costruite per la stazione pluviometrica nella quale sono state registrate le osservazioni. La Figura 1, riportata più avanti, mostra uno schema grafico tipico attraverso il quale è possibile rendersi conto, per ogni evento, di quali durate di precipitazione risultino critiche, cioè più lontane dai valori ordinari. E' inoltre possibile stabilire di quale entità risultino i valori di T_o per le diverse durate in base alla distanza dei punti dalle rette disegnate per alcuni valori caratteristici di T . Negli eventi di nubifragio che vengono qui trattati, facilmente le altezze di pioggia più critiche sembrano presentare, a questo primo esame, periodi di ritorno superiori a 1000 anni. La domanda che è necessario porsi, specie a seguito del ricorrere di questi eventi, è se tale valutazione di rarità "estrema" non sia soltanto frutto di un approccio troppo semplificato alla valutazione di T_o , eventualmente conseguente al fatto che le curve possono essere state costruite senza considerare le osservazioni che si stanno studiando.

Riguardo alla correttezza della valutazione di T_o si può osservare che le curve di possibilità climatica sono tradizionalmente costruite adattando la distribuzione di Gumbel agli estremi annui di precipitazione misurati in più ore consecutive. Non sempre la scelta di questa distribuzione viene sottoposta a verifica statistica. Il risultato che ne consegue è che spesso l'impiego della distribuzione di Gumbel comporta una consistente sovrastima del periodo di ritorno, che induce un falso senso di sicurezza riguardo all'improbabilità di una nuova ricorrenza dell'evento osservato. Inoltre, volendo sottoporre ad opportune verifiche statistiche la distribuzione di probabilità adoperata per gli estremi delle piogge brevi, va considerato che i test usualmente adoperati presentano importanti limitazioni (v. es. Laio, 2004) che possono risultare cruciali quando la scelta della distribuzione dipende da un singolo valore di intensità molto elevata (outlier). Questo aspetto verrà specificatamente discusso nel successivo paragrafo 3.1 richiamando recenti risultati relativi al test del massimo valore. Anche nelle situazioni in cui le distribuzioni di probabilità siano selezionate coerentemente con la verifica del superamento di test statistici, rimangono ampi margini di incertezza nella determinazione di T_o laddove l'evento sia stato osservato in una stazione con pochi dati. In tali condizioni, infatti, le

procedure di stima dei parametri e di verifica delle ipotesi statistiche vengono ad essere caratterizzate da livelli di incertezza molto elevati, che necessariamente si ripercuotono sulla stima di T_0 . Quando la numerosità della serie storica disponibile in loco è inferiore a 20-30 dati, conviene quindi riferirsi a procedure “regionali” di stima delle curve di possibilità climatiche, di cui si riferisce nel successivo paragrafo 4.

3.1 Il Test del Massimo Valore modificato

Volendo verificare l'appartenenza di un singolo valore, pur molto elevato, ad una data distribuzione di probabilità Laio et al. (2010) dimostrano, per una consistente casistica di situazioni, che i test “multipurpose” di adattamento, come ad esempio il test del χ^2 , non sono particolarmente adatti a questo scopo ed esaminano in dettaglio, modificandolo, lo schema di funzionamento del test del massimo valore. Di questo test, poco utilizzato nella pratica e sostanzialmente assente dai libri di statistica idrologica, l'idea iniziale si ritrova nel lavoro di Grubbs (1969) relativo agli outliers, mentre lo sviluppo vero e proprio è dovuto a Rossi et al. (1984) con riferimento alla distribuzione di Gumbel. Laio et al. (2010) procedono ad una generalizzazione e correzione del metodo e ne valutano le caratteristiche di efficienza.

In estrema sintesi, il test del massimo valore stabilisce la possibile appartenenza (a meno della probabilità α , definita *livello di significatività*) della massima osservazione x_n (l'outlier) di una serie di numerosità n , ad una certa distribuzione $F(X)$. Questa valutazione è effettuata giudicando se sia effettivamente improbabile che l'outlier appartenga alla distribuzione $F_n(X)$ del massimo di un campione di numerosità n estratto dalla stessa distribuzione. È improbabile che l'outlier appartenga alla distribuzione $F(x)$ se ricade nella coda di $F_n(X)$ avente probabilità residua α , ovvero se $F_n(x_n) > 1 - \alpha$. Il test, da effettuarsi con particolari modalità di stima dei parametri, precisate in Laio et al. (2010), consente di concludere che se la distribuzione che si usa è inadeguata lo è anche la valutazione di rarità che ne consegue. Più in dettaglio, nella procedura di esecuzione del test occorre prestare attenzione al fatto che lo specifico valore sottoposto a test debba essere (temporaneamente) escluso dal campione usato per la stima dei parametri, per tenere debitamente conto del fatto che la procedura di stima rende artificialmente molto più simili la distribuzione empirica e la distribuzione ipotetica sottoposta a test (D'Agostino and Stephens, 1986). Si propone quindi di stimare i parametri usando come estremo massimo non quello osservato ma la mediana della distribuzione dei massimi in n anni. Questa soluzione consente di rispondere in modo rigoroso al quesito statistico ed anche di ottenere risultati analitici espliciti se si considerano distribuzioni a due parametri. I risultati sono impliciti, ma sempre analitici, considerando distribuzioni a tre parametri.

Assumendo, quindi, per la mediana la condizione $[F(\tilde{x}_n)]^n = 0.5$, in distribuzioni caratterizzate da parametri di posizione (θ_1) scala (θ_2) e forma (θ_3) il valore mediano risulta ottenibile come:

$$\tilde{x}_{(n)} = \theta_1 + \theta_2 \cdot z \left(0.5^{1/n}, \theta_3 \right) = \theta_1 + \theta_2 \cdot D(n, \theta_3),$$

dove z è la variabile standardizzata $z = (x - \theta_1) / (\theta_2)$.

La funzione $D(n, \theta_3)$ dipende da θ_3 solo per distribuzioni a 3 parametri. In particolare, per la Gumbel vale $D(n) = -\ln(\ln(2)/n)$, mentre per la GEV si ha:

$$D(n, \theta_3) = \frac{\left(\frac{\ln[2]}{n} \right)^{-\theta_3} - 1}{\theta_3}$$

Per l'applicazione del test è il caso di ribadire che, nel momento in cui siano noti i parametri della distribuzione di probabilità, l'unica informazione necessaria è la numerosità n della serie dalla quale i parametri sono stati derivati, non essendo necessario disporre dei dati. Ai fini del test non è rilevante se l'outlier è una nuova osservazione oppure no, purché sia certo che non sia mai stato superato in passato. Nel caso in cui il test sia superato, e sia possibile utilizzare la distribuzione scelta, il periodo di ritorno da attribuire all'outlier è valutabile stimando nuovamente i parametri a seguito dell'inserimento del valore osservato nella serie di osservazioni, che –per questo fine– deve quindi essere disponibile.

3.2 Un esempio applicativo

Per esemplificare le conseguenze della scelta della distribuzione di probabilità sulla valutazione di rarità dei nubifragi viene esposto un esempio ritenuto particolarmente significativo: la pioggia del disastro di Molare del 1935. Si tratta dell'evento che determinò il sormonto della diga secondaria (Sella Zerbino) del lago di Ortiglieto-Molare (Alessandria) il 13 agosto 1935, per il quale l'importanza della eventuale attribuzione di eccezionalità appare evidente. Per lo studio di questo nubifragio si sono esaminati i valori registrati alla stazione di Lavagnina Centrale, dei quali sono disponibili sugli annali idrologici gli estremi per durate tra 1 e 24 ore per gli anni dal 1934 al 1986. Non sono state considerate altre fonti né le possibili correlazioni esistenti tra i dati di Lavagnina lago e Lavagnina centrale. L'analisi del caso andrebbe quindi considerata a carattere solo indicativo e non avente valenza "progettuale". Si riportano in Figura 1 i risultati di un'analisi standard sui dati considerati, basata sull'utilizzo della distribuzione di Gumbel e sulla sovrapposizione alle curve di possibilità

climatica dei punti relativi alle precipitazioni di diversa durata misurate nell'evento, che costituiscono per l'appunto i valori massimi riportati sugli annali relativamente all'anno 1935.

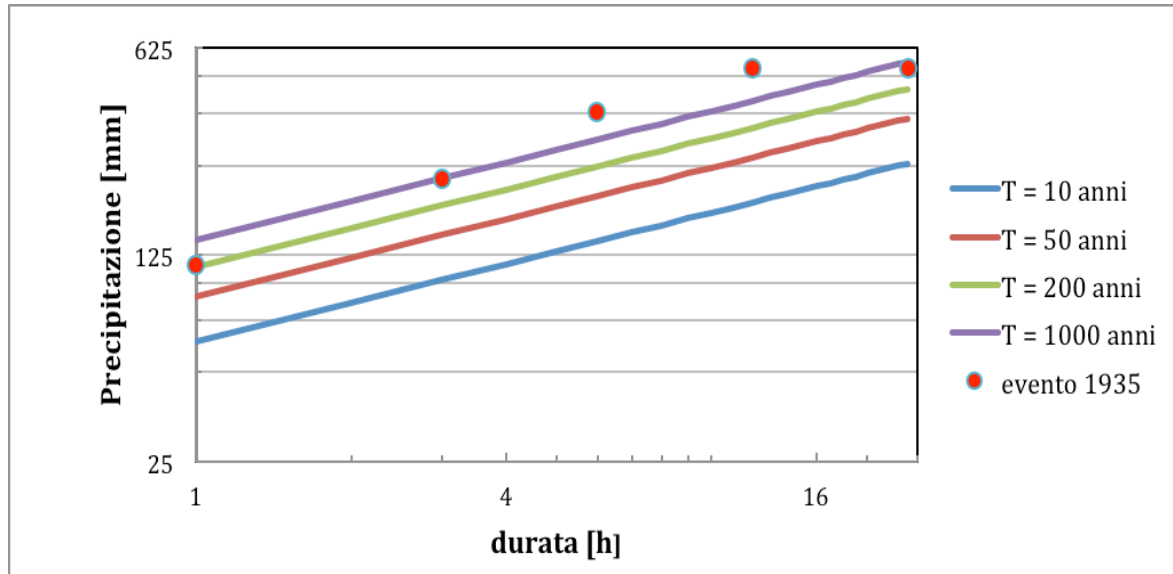


Figura 1. Dati registrati a Lavagnina (Molare) nel 1935 e curve di possibilità climatica costruite in base ai dati di stazione (fino al 1986) nell'ipotesi che i dati seguano una distribuzione di Gumbel.

Esaminando la posizione dei punti rispetto alle curve emerge che la durata di 12 ore appare come la più critica per l'evento in esame e si nota che, per tale durata, all'evento competerebbe un periodo di ritorno di oltre 8000 anni. Tale valutazione è fatta considerando separatamente la stima della distribuzione di Gumbel sull'intera serie dei massimi a 12 ore (retta in tratteggio in Figura 2). L'ipotesi che gli estremi di questa stazione seguano una distribuzione di Gumbel appare pertanto poco verosimile. Sottoponendo a test la distribuzione di Gumbel si dovrebbe avere la conferma del fatto che tale distribuzione non è adatta a rappresentare l'andamento dei dati osservati.

Il test modificato del massimo valore è stato quindi applicato ai dati della stazione di Lavagnina per provare l'ipotesi H_0 di validità della distribuzione di Gumbel. Per la durata di interesse di 12 ore il massimo storico è pari a 534 mm. Il test consente di rigettare l'ipotesi H_0 , come facilmente ipotizzabile dall'esame della Figura 2.

Utilizzando la stessa serie di osservazioni si sono allora stimati, con il metodo degli L-momenti, i parametri della distribuzione GEV (curva continua in Fig. 2). Questa distribuzione supera il test del

massimo valore con significatività $\alpha=5\%$ e fornisce, per il valore di 534 mm in 12 ore, un periodo di ritorno pari a 280 anni.

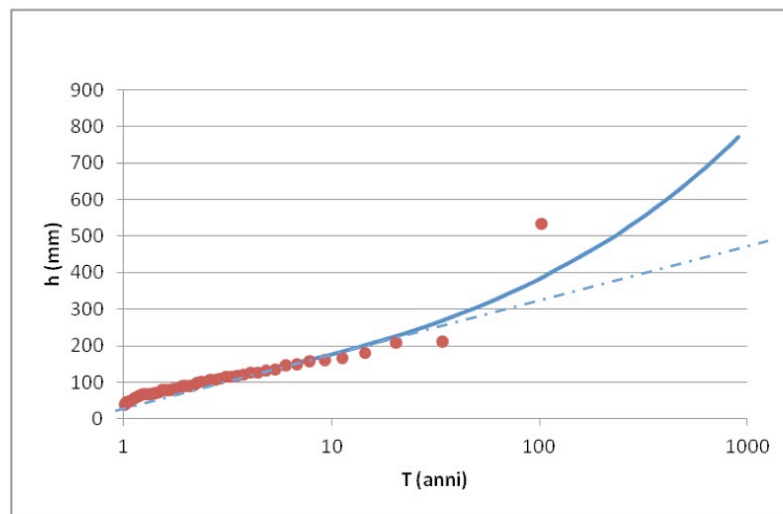


Figura 2. Stazione di Lavagnina. Curva di frequenza degli estremi di durata 12 ore, e distribuzioni di probabilità stimate dalla serie storica: GEV (linea continua); Gumbel (linea a tratteggio).

4. Valutazione del periodo di ritorno di un nubifragio da cartografie delle precipitazioni estreme (stima regionale)

Per la definizione degli interventi di progettazione e verifica di opere di difesa idraulica le cartografie delle precipitazioni intense rappresentano uno strumento di uso corrente in ambito professionale, potendosi con esse rappresentare su ampie regioni il rischio di nubifragio. Nella costruzione delle cartografie gli aspetti metodologici delicati sono quelli relativi alla scelta delle distribuzioni di probabilità ed alla trattazione del problema della correlazione spaziale degli eventi di intensità più elevata. Lo schema esemplificativo che viene qui proposto tende a ripercorrere i passaggi che porterebbero alla valutazione del periodo di ritorno di un (nuovo) evento di precipitazione estremo mediante l'uso delle suddette cartografie. La condizione è del tutto realistica per registrazioni relative ad una stazione pluviometrica di recente installazione, per la quale vi siano quindi pochi dati osservati. In riferimento ad una stazione con una lunga serie di osservazioni, invece, quanto qui descritto si potrebbe riferire ad un approccio speditivo, nel quale non ci si dedica ad una accurata raccolta dei dati storici mediante consultazione degli annali idrologici (ISPRA, 2009) o di più recenti basi di dati, come ad esempio quella messa a disposizione da ARPA Piemonte (ARPA, 2009).

4.1 Metodi di analisi regionale delle precipitazioni in Italia Nord-occidentale

Con riferimento al caso di studio prima descritto vengono qui prese in considerazione quattro diverse cartografie delle precipitazioni estreme, messe a punto negli ultimi anni relativamente all'Italia nord occidentale. Non è secondario discutere anche l'aspetto pratico relativo all'effettiva reperibilità delle cartografie stesse ed alla loro facilità d'uso. E' bene precisare che l'impiego di queste cartografie non viene effettuato per criticare o validare le procedure collegate alle cartografie, ma piuttosto per evidenziare uno stato dell'arte degli strumenti oggi a disposizione dei tecnici per le applicazioni statistiche sulle piogge, e per commentare le modalità con le quali viene presa in considerazione la correlazione spaziale.

Il primo, ed il più diffuso, tra gli strumenti disponibili per la rappresentazione delle curve di possibilità climatica nel nord ovest italiano è la cartografia del Piano di Assetto Idrogeologico del bacino del Po (DPCM, 2001) relativa agli estremi pluviometrici. Tale cartografia è consultabile anche via web (AdB Po, 2008). Nella cartografia delle piogge intense del Po viene adottata in modo generalizzato l'ipotesi che gli estremi di durata compresa tra 1 e 24 ore seguano la distribuzione di Gumbel. L'assunzione di tale ipotesi, non esplicitamente dichiarata, si desume dal fatto che i valori delle stime corrispondenti ad una stessa durata assumono un andamento invariabilmente rettilineo rispetto al logaritmo del periodo di ritorno. Per T non piccolo, tale è, in effetti, l'andamento assunto dalla distribuzione di Gumbel (v. es., Fig. 2). La consultazione della cartografia delle piogge estreme del Po è l'unica che permette, ad oggi, di estrarre i quantili di precipitazione di assegnata durata per una generica cella, di 2 km di lato ed appartenente al bacino del Po, sotto forma di coefficienti a_T ed n_T della funzione di potenza $h_{d,T} = a_T d^{n_T}$. I coefficienti sono riportati in relazione ad alcuni valori del periodo di ritorno T .

Le altre analisi effettuate sul territorio del bacino del Po, o quanto meno relativamente al nord ovest italiano, sono in due casi circa coeve rispetto alla pubblicazione del PAI. Nel primo caso si tratta di una cartografia realizzata dal CUGRI (Villani et al., 2001) già alla fine degli anni '90 per la Regione Piemonte, basata sull'impiego delle distribuzioni di Gumbel e TCEV. Documentazione relativa a queste elaborazioni è disponibile sul sito web della Regione Piemonte (2009) insieme ad una piattaforma informatica costruita però per le stime di piena. Anche in questo caso le informazioni relative alla distribuzione di probabilità delle piogge estreme sono disponibili su un grigliato, avente 1 km di lato, e consistono nei parametri della distribuzione TCEV in forma adimensionale (fattore di crescita delle precipitazioni). Per ottenere la distribuzione relativa agli estremi di durata qualsiasi d si moltiplica il fattore di crescita per il valore medio h_d ottenuto con la curva di potenza $h_d = ad^n$.

Laddove i parametri della componente straordinaria assumano identico valore rispetto a quelli relativi alla componente ordinaria, si assume la validità della distribuzione di Gumbel.

L'altra analisi sviluppata alla fine degli anni '90, sul comparto nord-ovest del bacino del Po, è relativa al rapporto VAPI 'Nazionale' (Rosso e De Michele, 2001). In quel caso viene proposto ovunque un modello probabilistico basato sulla distribuzione GEV, che ha caratteristiche tali da potersi teoricamente ricondurre al caso della distribuzione di Gumbel. Nel rapporto viene proposta una mappa dei parametri della distribuzione GEV, di non agevole consultazione ma che fornisce elementi per la costruzione della distribuzione adimensionalizzata delle piogge orarie in un punto qualsiasi dell'Italia nord-occidentale.

L'ultima cartografia utilizzata si riferisce ad un contributo recente (Bartolini et al., 2011). In esso, per le regioni Piemonte-Valle D'Aosta, sono stati ricavati su griglia di 250 m di lato, mediante kriging, stime di valori di precipitazione massima annua per ognuno degli anni di osservazione disponibili, compresi tra il 1913 ed il 2006. Tale densità è motivata dal fatto che il territorio ha una forte variabilità di quote, per cui risulta possibile effettuare un'accurata correzione delle precipitazioni laddove queste mostrino dipendenza dalla quota stessa. A seguito di questa ricostruzione sono stati determinati in ogni cella i valori locali degli L-momenti campionari, in base ai quali sarebbe possibile procedere alla costruzione delle distribuzioni di probabilità locali per ognuna delle durate disponibili. L'utilità di procedere ad un ricampionamento mediante Kriging "sequenziale" risiede nel combinare il contenuto di informazione dei dati storici del SIMN, disponibili fino ai primi anni '90, con quelli più recenti raccolti da ARPA Piemonte, che ha utilizzato strumenti in buona parte diversi da quelli del SIMN. Ne risultano due classi di informazione prodotte da strumenti di numero differente e disallineati nella posizione, circostanza che ha consigliato la ricostruzione dei valori anno per anno. Costruendo mappe spaziali degli L-momenti, che sono sempre 'campionari', per quanto i dati siano artificialmente derivati dalla procedura sopra descritta, si lascia al progettista l'onere della scelta della distribuzione da adottare. Tale scelta può essere validata mediante riscontro con i dati ricampionati, sempre disponibili per le verifiche del caso.

4.2 Applicazione all'evento di Molare

Ancora con riferimento al caso di studio relativo all'evento del 1935 registrato a Lavagnina si riportano nel seguito i risultati dell'applicazione dei diversi metodi di analisi regionale sopra descritti. La prima valutazione di T_o è fatta utilizzando le curve di possibilità climatica del PAI-Po estratte nel punto griglia relativo alla stazione di Lavagnina. Essendo tale evento occorso all'inizio delle

osservazioni della stazione, l'osservazione di interesse era certamente presente nella serie storica elaborata ai fini della costruzione delle curve. La stima di T_0 è ottenuta con un procedimento di ricostruzione dei parametri delle distribuzioni di Gumbel relative a tutte le durate, descritto in Magro (2007). Per il valore corrispondente alla durata di 12 ore si ottiene una stima del periodo di ritorno di molto superiore a 10000 anni.

Con riferimento alla cartografia prodotta da Rosso e De Michele (2001), nel rapporto sono forniti esplicitamente i parametri della distribuzione adimensionale GEV stimati sin base ai dati della stazione di Lavagnina, oltre ai coefficienti a ed n della curva di possibilità climatica media. Costruendo la curva relativa ai massimi in 12 ore e ricavando il valore di probabilità cumulata relativo al dato di 534 mm si ricava una stima di T_0 pari a 635 anni.

Dalla cartografia VAPI (Regione Piemonte, 2009) risulta molto difficile ricavare i parametri della distribuzione TCEV per la zona in esame. Essendo questi rappresentati in scala di colori ma con intervalli dei parametri piuttosto ampi, per i 4 parametri necessari risultano gradi di libertà delle possibili distribuzioni che non consentono una stima univoca del periodo di ritorno cercato.

In ultimo è stata utilizzata l'informazione ottenibile dalla cartografia degli estremi prodotta da Bartolini et al. (2011), di cui al momento sono disponibili sul rapporto tecnico solo le mappe dei parametri statistici, ma per la quale è in previsione la messa a disposizione completa delle informazioni. Essendo basata sulla ricostruzione anno per anno dei valori estremi delle precipitazioni orarie, con tale cartografia è possibile predisporre un'applicazione completa sia del test che delle fasi di stima del periodo di ritorno di eventuali outliers sul territorio delle regioni Piemonte e Valle D'Aosta. Le modalità di ricostruzione spaziale degli estremi pluviometrici anno per anno consentono di disporre di una dimensione campionaria pari a 79 valori in qualunque cella appartenente al territorio considerato, informazione che può essere utilizzata per effettuare ovunque il test del massimo valore. Per effettuare la valutazione del periodo di ritorno T_0 per l'evento in esame si preleva il massimo di ogni anno nella posizione della stazione, ottenendo la serie storica rappresentata in Figura 3, costituita appunto da 79 dati. Dopo aver adattato una distribuzione GEV ai dati, con parametri stimati mediante gli L-momenti, si è proceduto a verificare che tale distribuzione passi il test modificato del massimo valore con $\alpha=5\%$. Una volta avuta la conferma del positivo risultato del test si è poi ricavato il valore di T_0 , che è risultato pari a 420 anni. Il risultato non appare sorprendente, se confrontato con quello ottenuto tramite analisi della serie storica precedente al 1986, in quanto negli anni successivi al 1986 gli estremi annui estratti dalla cartografia sono tutti risultati decisamente inferiori al massimo storico. È stato infatti superato –di poco– soltanto il secondo più alto valore osservato prima del 1986. L'evento del 1935 assume pertanto caratteristiche

di maggiore rarità rispetto alla prima valutazione diretta, essendo valutato all'interno di una serie più lunga e nella quale non si sono verificati ulteriori notevoli nubifragi. In presenza di dati di stazione ricostruiti è intuibile come il metodo di interpolazione spaziale tenda a smussare gli eventuali picchi locali di precipitazione. I dati ricostruiti potrebbero quindi risultare eventualmente sottostimati. Questa circostanza andrebbe meglio indagata, in quanto ne potrebbe derivare una sovrastima del periodo di ritorno associato ai nubifragi più intensi.

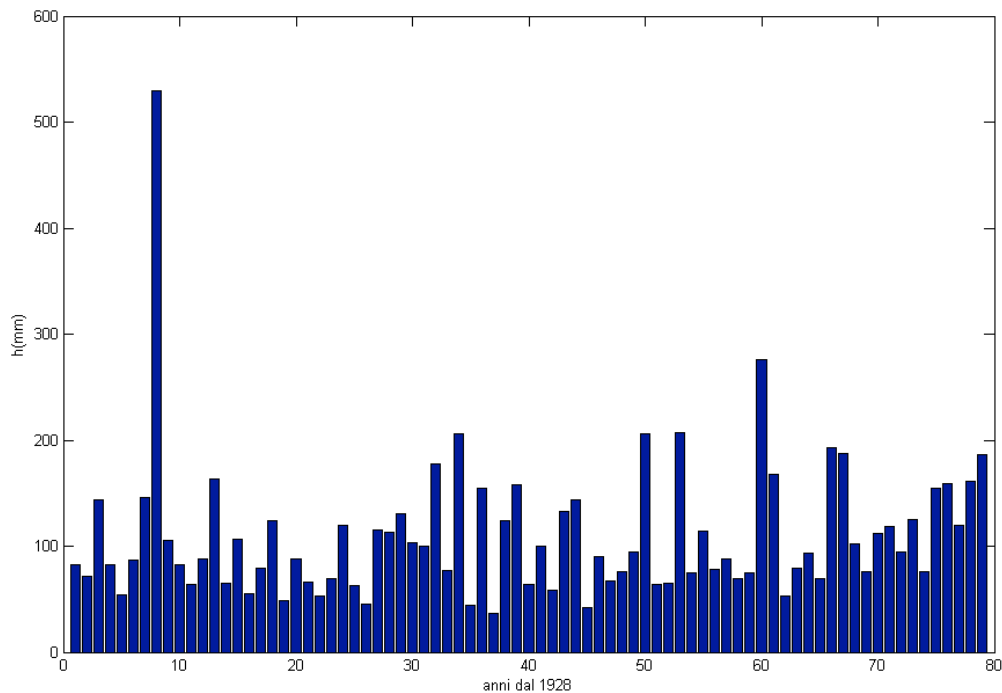


Figura 3. Massimi annui di precipitazione dei durata 12 ore relativi alla posizione di Lavagnina centrale, estratti dal campione ricostruito mediante kriging (procedura Bartolini et al, 2011)

A conclusione di queste valutazioni si può commentare che la rarità dell'evento di Molare resta abbastanza elevata anche a seguito di analisi approfondite, passando però dal novero dei valori "quasi impossibili" ($T > 10.000$ anni) a quello degli eventi "poco probabili" ($T \sim 500$ anni). L'esito della valutazione di T_0 è consistente con il fatto che il valore di precipitazione a 12 ore è stato superato in Italia solo sette volte nell'intero periodo di attività del Servizio Idrografico Italiano.

5. Valutazioni di pericolosità idrologica in situazioni di “prossimità” geografica

Per il caso di studio appena discusso si dispone di una congrua serie storica relativa alla stessa stazione in cui è stato misurato il nubifragio da esaminare, e quindi si riesce a valutare con buona significatività statistica lo scenario di rischio nell’area “di dominio” del pluviometro di interesse. Appare però importante soffermarsi sul possibile approccio alla valutazione del rischio di nubifragio nelle aree circostanti a quella colpita, o in aree morfologicamente simili.

Il problema si può affrontare in termini quantitativi ed oggettivi mediante l’applicazione di criteri per la determinazione della correlazione spaziale delle piogge estreme, ma con le difficoltà determinate dalla rarità degli eventi di interesse. Se si considera un singolo evento, una esemplificazione di quale possa essere l’influenza di un’osservazione puntuale sul territorio circostante è desumibile dalla mappa di Fig. 4, che mostra le precipitazioni massime annue in 12 ore dell’anno 1935, ricostruite mediante *kriging* sulla già citata griglia regolare di maglia pari a 250 m. La mappa è un estratto del campione complessivo di osservazioni “ricostruite” su cui è basata la cartografia di Bartolini et al. (2011) e mostra lo spot molto evidente sul basso Piemonte, con massimo a 530 mm.

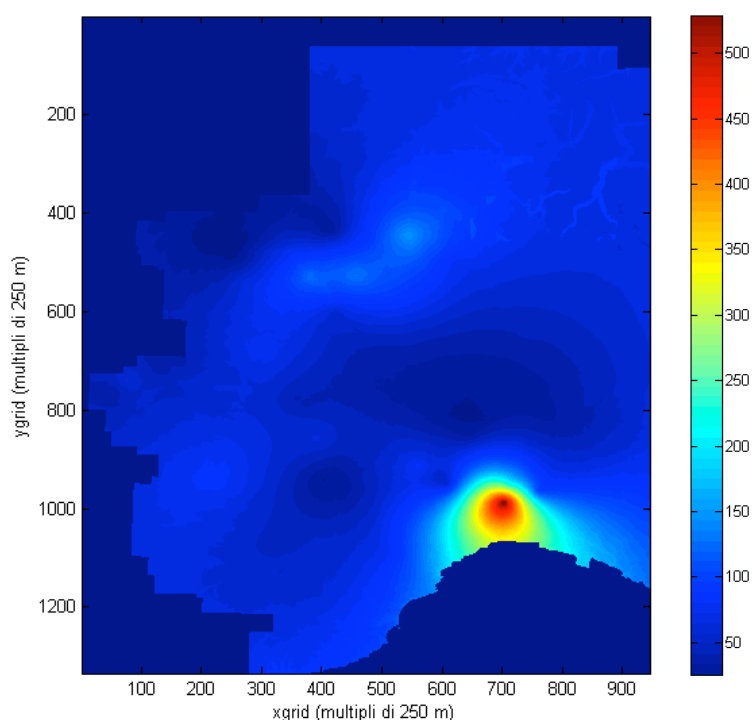


Figura 4. Precipitazioni massime annue di durata 12 ore relative al 1935, distribuite spazialmente mediante kriging sulle aree del Piemonte e Valle d’Aosta (Bartolini et al, 2011).

Considerando invece l'insieme delle misure storiche di precipitazione, al fine di rappresentare la distribuzione di probabilità in aree prive di dati, occorre valutare la correlazione spaziale dei parametri statistici delle serie osservate. Affinché questa rappresentazione sia efficace bisognerebbe poter utilizzare correttamente il contenuto di informazione rappresentato dalla contemporaneità degli eventi estremi osservati in stazioni distinte. Infatti, a parità di valore dei parametri statistici di due stazioni vicine, si osserva che il rischio 'areale' di nubifragio è sicuramente più alto nel caso in cui gli eventuali outliers presenti nelle due stazioni non si siano verificati nel corso dello stesso evento meteorologico. Inoltre, risulta particolarmente importante l'informazione rappresentata dall'effettivo stato di funzionamento di tutte le stazioni considerate in corrispondenza dei principali eventi estremi dell'area in esame.

Da quanto detto deriva che i valori puntuali dei parametri statistici non andrebbero trattati come valori esatti, come invece assunto dalle procedure usuali di kriging. In tal senso va la proposta di Furcolo e Villani (1998) di interpolare gli L-momenti, o i parametri di distribuzioni statistiche, mediante una procedura di kriging iterativo, che rimuove la necessità di rispettare il loro valore esatto nei punti di misura. Tuttavia la procedura si presenta molto complessa e sostanzialmente dipendente dal numero delle osservazioni disponibili, in quanto la stima dei momenti o L-momenti di ordine elevato presenta forte dipendenza dal numero di osservazioni.

In alternativa, partire dalla ricostruzione della correlazione spaziale anno per anno, come proposto da Bartolini et al. (2011) presenta alcuni vantaggi, ovvero: i) la disponibilità dei parametri statistici in qualunque cella del territorio considerato, calcolati su campioni di numerosità costante; iii) la messa a disposizione del contenuto di informazione rappresentato dalla correlazione spaziale in ogni singolo anno. In sostanza, i parametri calcolati con la procedura di Bartolini et al. (2011) risentono già della correlazione spaziale determinata su base annua. Per esemplificare: in una cella intermedia tra due stazioni, il kriging annuale consente di rappresentare la variabilità del processo che consegue all'eventuale verificarsi di due eventi distinti in due stazioni prossime, che sarà diversa rispetto a quella conseguente all'aver misurato lo stesso evento in entrambe. Un simile trasferimento di informazione si ha anche verso la cella di una stazione che in un certo anno non abbia funzionato. I valori dei parametri statistici corrisponderanno quindi a quelli 'esatti' relativi alle celle di stazione solo se non vi siano state interruzioni nella misura.

Sulla base di queste premesse, un effetto equivalente all'approccio di Furcolo e Villani (1998) si potrebbe ottenere applicando alle statistiche ricostruite su griglia un metodo di regolarizzazione (es. basata su splines) che non implichi il sistematico rispetto dei valori campionari di stazione. La regolarizzazione spaziale risponderebbe al principio di ripartizione del rischio di nubifragio su aree

più ampie di quelle relative all'impronta di un evento effettivamente avvenuto, proponendo allo stesso tempo un rischio minore che un certo evento si verifichi di nuovo nello stesso punto un cui è stato misurato in passato.

Ulteriori e consistenti sforzi di indagine sono comunque necessari per poter ottenere rappresentazioni spaziali oggettive dei fattori di rischio che nella percezione comune apparirebbero evidenti in base alla vicinanza geografica con località colpite da nubifragio. Considerato lo stato attuale di disponibilità di cartografie delle precipitazioni estreme, volendo perseguire "misure di salvaguardia" si dovrebbe applicare il principio di precauzione, esaminando i possibili effetti di eventi più rari di quelli di progetto, ma realmente verificatisi in aree limitrofe. Il fine sarebbe quello di verificare l'eventuale insorgere di conseguenze non solo più gravi ma anche aggiuntive –e quindi inaspettate– rispetto a quelle relative alle condizioni "di progetto". Scenari così ricostruiti potrebbero costituire utile elemento di valutazione ai fini di una complessiva revisione, in tempi brevi, dell'esposizione al rischio dei territori limitrofi a quelli colpiti dai nubifragi dell'autunno 2011.

6. Conclusioni

Le considerazioni fin qui svolte provano a tracciare un percorso che parte dall'approccio standard (che si potrebbe definire 'unsupervised') utilizzabile per la progettazione di opere basate sulla valutazione indiretta della piena di progetto, per riconoscere in esso le possibili fonti di sottostima degli estremi pluviometrici. Riguardo a questo approccio sono stati definiti alcuni elementi per la verifica delle ipotesi preliminari e segnalate analisi di maggior dettaglio da utilizzare, soprattutto in presenza di un numero consistente di dati locali.

In base a quanto sopra esposto appare evidente la necessità di uniformare, sul territorio nazionale, la conoscenza 'di base' relativa al rischio di nubifragio. E' necessario garantire piena disponibilità dell'informazione idrologica e ampio accesso ai risultati dell'applicazione di tecniche statistiche e test allo stato dell'arte, in modo che si possa verificare in modo sistematico la qualità delle stime prodotte dalle 'cartografie' delle precipitazioni o da valutazioni specifiche effettuate sulle serie storiche.

Riguardo alla conoscenza avanzata, finalizzata alla rappresentazione su grandi aree della probabilità di accadimento dei nubifragi, sarebbe parimenti necessario promuovere un programma di indagine a scala nazionale dedicato agli outliers pluviometrici. In questo senso si dovrebbero affiancare le indagini idrometeorologiche, già molto avanzate, con metodologie oggettive di analisi statistica,

secondo due direzioni principali: i) l'approfondimento degli aspetti di dipendenza dei nubifragi da caratteri geografici e morfologici, analisi dalla quale ci si attende di derivare elementi utili alla estensione spaziale, su basi di similarità, dei risultati ottenuti con metodi di correlazione spaziale; ii) il riconoscimento, basato sulla significatività statistica, dell'eventuale tendenza all'aumento della frequenza degli eventi di elevatissima intensità; per questo obiettivo è necessario utilizzare l'intero database italiano degli estremi pluviometrici, in quanto un corretto approccio al problema richiede di pesare il numero di osservazioni eccezionali in base al numero di stazioni attive nell'anno considerato, come ad es. proposto in Allamano et al. (2009).

Le finalità sopra richiamate sono quindi sicuramente perseguibili ma dipendenti dalla disponibilità di un **catalogo nazionale degli estremi pluviometrici**, che deriverebbe dalla collaborazione tra gli enti di ricerca e le strutture tecniche dello Stato (Dipartimento di Protezione Civile, ISPRA, enti regionali di monitoraggio). Il catalogo rappresenterebbe uno dei tangibili segni di impegno delle strutture dello Stato nella direzione della salvaguardia dei territori a rischio di piene improvvise.

Bibliografia

ADBPO, 2008, (AUTORITÀ DI BACINO DEL PO) *Cartografia dei parametri delle curve di possibilità climatica del bacino del Po*. [http://www.adbpo.it/maplab_projects/webgis/webgis_app/webgis.phtml?mappa_geo=/usr/local/layers/mapfile/atlante_dei_piani.map&instance=1&idChannel=1&node=null]

ALLAMANO, P., P. CLAPS, F. LAIO, 2009. *Global warming increases flood risk in mountainous areas*, Geophys. Res. Lett., 36, L24404, doi:10.1029/2009GL041395.

ARPA, 2009 (Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale, Regione Piemonte), *Banca dati Meteorologica* [<http://www.regione.piemonte.it/ambiente/aria/rilev/ariaday/annali/meteorologici>]

BARTOLINI, E. P. ALLAMANO, F. LAIO, P. CLAPS, 2011. *Analisi spaziale delle precipitazioni medie ed intense su Piemonte e Valle d'Aosta*, Working-Paper 2011-02, Dipartimento di Idraulica, Trasporti ed Infrastrutture Civili, Politecnico di Torino.

BONI, G., A. PARODI, P. FURCOLO, P. VILLANI (2000). *Un modello regionale per l'analisi statistica dei massimi annuali delle precipitazioni di breve durata*, 27° Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Genova.

D'AGOSTINO R., STEPHENS M. (A cura di), 1986. *Goodness-of-Fit Techniques*. Marcel Dekker Publ, New York.

DE LUCA C., FURCOLO P., ROSSI F., VILLANI P., VITOLO C. (2010), *Extreme rainfall in the Mediterranean*, In: Proceedings of the STAHY Workshop: Advances in Statistical Hydrology, Taormina, Italia 23-25 May 2010. Pag.1-11.

DPCM, 2001, (Decreto Presidente Consiglio Ministri, 24/5/2001) *Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Bacino del Fiume Po*.

FURCOLO, P., VILLANI P., 1998, *Spatial analysis of uncertain data: an application to extreme rainfall*, International Journal of Systems Research Information Science, 8(2-3), 151-181.

GABRIELE, S., VILLANI, P. , 2002, *The estimation of rainfall frequency in a Mediterranean environment due to extraordinary combinations of hydrological and climatic conditions*, in: Snorasson A., et al (eds) *The Extremes of the Extremes: Extraordinary Floods*, IAHS Publ. n.271, ISBN 1-901502-66-X; 394, 45-50.

GRUBBS, F., 1969. *Procedures for detecting outlying observations in samples*, Technometrics, 11, 1–21.

IAHS PUBLICATION no. 271 (2002) Snorasson A., et al (eds) *The Extremes of the Extremes: Extraordinary Floods* ISBN 1-901502-66-X; 394 + xiv pp.;

ISPRA, 2009 (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), *Progetto Annali*, http://www.isprambiente.gov.it/site/it-IT/Progetti/Progetto_Annali/

LAIO, F. 2004. *Cramer-von Mises and Anderson-Darling goodness of fit tests for extreme value distributions with unknown parameters*, Water Resour. Res., 40, W09308, doi:10.1029/2004WR003204.

LAIO, F., ALLAMANO, P., CLAPS, P., 2010. *Exploiting the information content of hydrological "outliers" for goodness-of-fit testing*, Hydrol. Earth Syst. Sci., 14, 1909-1917, doi:10.5194/hess-14-1909-2010.

MAGRO P., 2007. *Gestione informatizzata del rischio di nubifragio nel bacino del Po*, Tesi di Laurea non pubblicata, Politecnico di Torino.

MERZ B., F. CIOFFI, E. RUS PERES, R. PURINI, J. REUSSER, AND U. LALL, *From local to global classification of atmospheric circulation patterns associated with some European floods*, Geophysical Research Abstracts Vol. 14, EGU2012-7721-2, 2012 EGU General Assembly 2012

REGIONE PIEMONTE (2009) *Progetto VAPI*; <http://www.regione.piemonte.it/sit/argomenti/difesa suolo/pianificazione/vapi/index.htm>

ROSSI, F., M. FIORENTINO, P. VERSACE (1984), *Two-Component Extreme Value Distribution for Flood Frequency Analysis*, Water Resour. Res., 20(7), 847–856, doi:10.1029/WR020i007p00847.

ROSSO R., C. DE MICHELE (a cura di), 2001. *Valutazione delle piene in Italia nord occidentale*. [http://www.idrologia.polito.it/gndci/rapportiPdf/Rapporto_VaPi_NO%202001_UO1-8.pdf]

SANDERS, F., GYAKUM, J.: *Synoptic-Dynamic Climatology of the "Bomb"*, Mon. Wea. Rev., 108, 1589–1606, 1980.

TURATO B., O. REALE, F. SICCARDI. (2004) *Water Vapor Sources of the October 2000 Piedmont Flood*. Journal of Hydrometeorology 5:4, 693-71

VILLANI P. et al., 2001, *Il Rapporto sulle Piene in Piemonte*, CUGRI, 40 pp.

ACCADEMIA NAZIONALE DEI LINCEI

ATTI DEI CONVEGNI LINCEI

270

INCONTRO-DIBATTITO

**COSA NON FUNZIONA NELLA DIFESA DAL RISCHIO
IDRO-GEOLOGICO NEL NOSTRO PAESE?
ANALISI E RIMEDI**

(Roma, 23 marzo 2012)



ROMA 2013
SCIENZE E LETTERE
EDITORE COMMERCIALE