

**DEFINIZIONE DI SOGLIE PLUVIOMETRICHE DI PIENA PER
LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA DI ALLERTAMENTO
IN TEMPO REALE PER IL BACINO DELL'ARNO A MONTE DI FIRENZE**

*M. Mancini¹, P. Mazzetti², S. Nativi², D. Rabuffetti¹, G. Ravazzani¹, P. Amadio¹,
R. Rosso¹*

(1) Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Ambientale e del Rilevamento, Piazza L. da Vinci, 32 - 20133 Milano, Italia

(2) Università di Firenze - Sede di Prato, Piazza Ciardi, 25 - 59100 Prato, Italia

SOMMARIO

Le soglie pluviometriche di allarme di piena costituiscono uno strumento che permette di discriminare se la precipitazione meteorica prevista da modelli meteorologici ad area limitata o in atto determini, in sezione critiche del reticolo idrografico, portate di piena tali da destare stato di allerta negli organismi preposti alle funzioni di protezione civile. Fissata la sezione fluviale esse individuano l'altezza di precipitazione lorda ragguagliata che per diverse durate genera la portata di guardia. La loro determinazione è stata ottenuta risolvendo il classico problema inverso dell'idrologia tramite un modello di trasformazione afflussi deflussi di tipo distribuito (FEST98), che ha permesso di costruire le soglie pluviometriche condizionate alla portata di guardia alla forma dello ietogramma e all'umidità del suolo. Ciò riduce l'elevata incertezza che deriva dalla analisi storica degli eventi di esondazione (Pin 1997).

Nel caso di studio del bacino dell'Arno si sono considerate dieci sezioni fluviali rappresentative dei tronchi più critici ai fini di fenomeni di esondazione a monte di Firenze. Il sistema di allerta è implementato in un codice di calcolo dedicato (MIMI - Modello Integrato Meteo-Idrologico), che acquisisce i dati di precipitazione sia in previsione che in tempo reale trasmessi all'Autorità di Bacino dell'Arno e discrimina quindi lo stato di allerta o meno sulla base del valore di pioggia ragguagliato. Il ragguaglio all'area della precipitazione viene condotto in fase di esercizio utilizzando l'approccio qui denominato dei 'pesi geomorfologici', che correggono i classici pesi di Thiessen con gli effetti della variabilità della capacità di assorbimento e di geomorfologia del bacino.

1 INTRODUZIONE

Un efficace servizio di allarme di piena richiede, quale indispensabile supporto tecnico, una successione di previsioni idrometeorologiche, caratterizzate da precisione crescente al diminuire dell'orizzonte temporale delle previsioni stesse.

La scala spaziale del problema riveste una importanza fondamentale ai fini della previsione statistica e del preannuncio delle piene (Rosso, 1996). Dal momento che le sezioni fluviali analizzate generalmente drenano bacini con area inferiore a 1.000 Km²

la sola modellazione idrologica non è sufficiente, per via della rapidità della trasformazione delle precipitazioni in ruscellamento e deflusso alveato, a rispondere con sufficiente anticipo alle necessità operative. In questi casi, bisogna giocoforza introdurre in ingresso al modello idrologico le previsioni quantitative di precipitazione, che si possono ottenere con l'ausilio di modelli di previsione meteorologica alla mesoscala (*Brath et al.*, 1988). Le previsioni meteorologiche quantitative su aree limitate, soprattutto se supportate da modelli di disaggregazione spaziale fisicamente basati (*Meneguzzo et al.*, 1997), sono in grado di fornire dati significativi ai fini della modellazione al suolo degli scenari idrologici di piena con un anticipo di 24-48 ore.

In questo contesto possono rivelarsi utili alcune conoscenze 'a priori' sulla pericolosità di un campo di precipitazione atteso o osservato per la sezione fluviale presa in considerazione. Una sintesi di queste conoscenze è rappresentata dalle linee segnalatrici di precipitazione critica cumulata a scala di bacino, le quali definiscono i valori critici di pioggia in grado di innescare verosimilmente fenomeni di esondazione nella sezione di interesse del bacino colpito da un nubifragio. Per una specifica sezione fluviale, tale linea, indicata brevemente come 'soglia pluviometrica', identifica una curva nel piano (P,d) che consente di stabilire il possibile superamento di un prestabilito valore critico di portata idrica nella sezione di riferimento (P indica l'altezza di pioggia cumulata a scala di bacino a partire dall'inizio di un nubifragio e d la durata progressiva del nubifragio stesso). Così utilizzate, le soglie pluviometriche possono costituire il primo anello di una catena previsionale più articolata e complessa, consentendo di condurre preliminari valutazioni di massima sulla pericolosità e il rischio associati al verificarsi di un evento meteorico sulla base del solo assetto meteorologico. L'accoppiamento delle soglie pluviometriche con i precursori meteorologici forniti da modelli atmosferici ad area limitata (LAM) può fornire un utile contributo alla messa a punto di efficaci misure non strutturali di difesa dalle inondazioni.

In sintesi, lo studio presenta:

- una metodologia operativa per la valutazione di soglie pluviometriche utili all'impiego quale precursore a fini di preallarme di piena a scala di bacino in ragione di prefissate soglie di rischio alluvionale, identificate in base alla capacità di smaltimento delle sezioni critiche esaminate.
- una valutazione sperimentale dei suddetti livelli di soglia per alcune sezioni critiche della rete idrografica del bacino del Fiume Arno;
- una verifica dell'affidabilità del sistema sulla base sia delle osservazioni disponibili di eventi storici sia di serie pluviometriche sintetiche rappresentative del regime climatico locale.

2 VALUTAZIONE DELLE SOGLIE PLUVIOMETRICHE QUALI PRECURSORI DI PIENA

Il calcolo delle soglie pluviometriche potrebbe essere basato sulle informazioni storiche relative alle esondazioni nei tronchi fluviali esaminati e l'individuazione dei relativi ietogrammi di pioggia: le soglie vengono individuate come involucro inferiore delle piogge cumulate che hanno determinato l'esondazione nelle sezioni critiche. Questo metodo di natura empirica presenta sostanzialmente due limiti. Il primo, intrinseco, è dovuto al fatto che i risultati ottenibili sono legati alla esondabilità nelle sezioni critiche relativa agli eventi storici, anche assai lontani nel tempo; la soglia pluviometrica così determinata può quindi fare riferimento a una capacità idraulica di smaltimento nelle

sezioni critiche che può risultare assai diversa dall'attuale. Il secondo, specifico al caso in esame, deriva dalla esiguità dei campioni disponibili. Ciò comporta una notevole indeterminazione della soglia pluviometrica stessa che porta ad un sistema non affidabile a causa dell'eccessivo numero di falsi allarmi (*Mancini, 2000*).

Per questa ragione si è optato per la costruzione numerica delle soglie pluviometrica attraverso l'impiego di modellistica idrologica con l'approccio di seguito illustrato.

2.1 Il modello idrologico

La soluzione del problema idrologico inverso, cioè la determinazione della precipitazione lorda in grado di provocare una assegnata portata nella sezione critica è stata condotta numericamente tramite il modello idrologico distribuito FEST98 (*Mancini, 1990; Mancini et al., 2000*). Tale scelta è stata dettata da due principali fattori: la differenza tra sezione di taratura e sezioni critiche, la variabilità spaziale delle caratteristiche di assorbimento del suolo. Il modello distribuito infatti è uno strumento in grado di ricostruire le portate in sezioni diverse da quelle di osservazione, mantenendo inalterata la rappresentazione della variabilità spaziale delle diverse componenti che formano la piena (*Rosso, 1994*). FEST98 è essenzialmente formato da due moduli: il primo calcola la formazione del deflusso superficiale attraverso il metodo SCS-CN applicato alla singola cella di calcolo, il secondo propaga tale deflusso sul versante e lungo il reticolo attraverso il modello di Muskingum-Cunge. La semplicità del modello consente di avere un approccio ai fenomeni fisicamente basato e di evitarne una eccessiva parametrizzazione. In Tabella I sono elencate le sezioni critiche considerate.

Fiume	Sezione	Area bacino sotteso [Km ²]	Portata critica [m ³ /s]
Arno	Rassina	600	495
	Subbiano	738	600
	S. Giovanni Valdarno	2750	855
	Rignano	3095	900
	Nave di Rosano	3900	1500
Sieve	Sagginale	395	450
	Vicchio	498	450
	Contea	748	460
	Rufina	765	500
	Pontassieve	831	550

Tabella I. Le sezioni critiche esaminate, l'area del bacino idrografico sotteso e la portata critica.

In Figura 1 e in Figura 2 si mostrano i risultati delle validazione del modello idrologico sia rispetto ai volumi che alle portate di piena

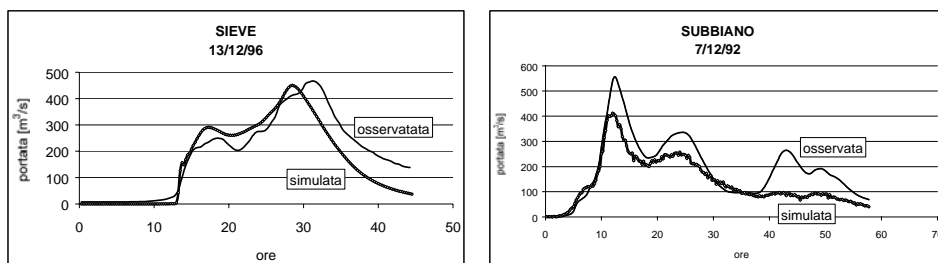


Figura 1. Validazione del modello: confronto tra idrogrammi di piena osservati e simulati.

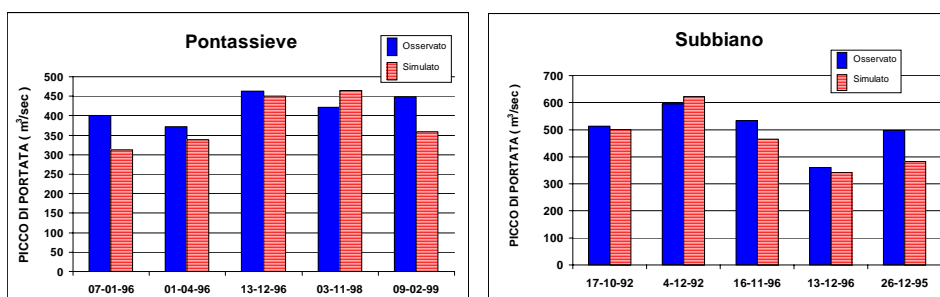


Figura 2. Validazione del modello: confronto tra picchi di piena di piena osservati e simulati.

2.2 Procedura di calcolo delle soglie

L'impiego della simulazione idrologica per la valutazione delle linee segnalatrici di precipitazione cumulata critica o soglie pluviometriche comporta l'esecuzione di esperimenti di simulazione in grado di enucleare, in base ai diversi scenari di precipitazione che si possono potenzialmente verificare su un bacino idrografico, la configurazione critica del campo di precipitazione che corrisponde al superamento della prefissata portata critica di riferimento nella sezione di chiusura del bacino stesso, posta in corrispondenza di una sezione critica del corso d'acqua preso in esame in relazione alla sua capacità di smaltimento dei deflussi di piena.

Per la posizione del problema inverso sopra delineata, bisogna schematizzare il sistema esaminato in forma assai semplificata, considerando un sistema a singolo ingresso (rappresentato dalla precipitazione meteorica che viene progressivamente cumulata sul bacino chiuso dalla sezione di interesse) e singola uscita (rappresentata dalla portata al colmo nella sezione di chiusura). Infatti, qualora l'ingresso del sistema non sia definito in modo univoco, il grado di indeterminazione della soluzione del problema inverso condurrebbe a una molteplicità di soluzioni di complessa interpretazione. Di conseguenza, l'ingresso di pioggia deve essere rappresentato considerando le piogge ragguagliate uniformi nello spazio. Dal punto di vista pratico questa semplificazione può comportare un aumento del numero delle fallanze gravi in quanto le soglie così calcolate potrebbero sovrastimare le piogge necessarie al superamento della portata massima smaltibile. Raramente, infatti, una precipitazione ha intensità uniforme, quindi, specialmente per i nubifragi di origine convettiva, possono verificarsi precipitazioni che, pur essendo modeste in termini globali, se concentrate su aree ristrette con alta impermeabilità e/o

bassi tempi di risposta del bacino, potrebbero rivelarsi assai critiche. D'altro canto, l'ipotesi semplificativa sulla configurazione spaziale dell'evento di pioggia rende trattabile il problema e risulta indispensabile per addivenire a una soluzione tecnicamente praticabile per l'impiego della soglia pluviometrica quale precursore.

La limitazione sopra evidenziata viene bilanciata nella fase operativa dall'introduzione dei 'pesi geomorfologici', che correggono la sola interpolazione geometrica dei pesi di Thiessen. Le modalità della loro determinazione viene dettagliatamente descritta nel seguito e il loro ruolo gioca a favore di sicurezza.

Per quanto riguarda l'andamento temporale della precipitazione si sono enucleati gli andamenti tipici degli eventi di pioggia che si verificano nei climi temperati, rappresentati sotto forma di ietotipi standard con intensità: costante, linearmente crescente e linearmente decrescente.

Un ulteriore fattore di variabilità riguarda lo stato iniziale del sistema, rappresentato dalle condizioni di imbibimento dei terreni del bacino idrografico. L'umidità del terreno presenta una dinamica spazio-temporale assai complessa e la sua valutazione richiede modelli matematici sofisticati e identificabili soltanto in base a un fitto controllo di campo tramite misure specifiche. Lo scopo applicativo del lavoro in oggetto richiede, d'altro canto, criteri di valutazione di uso semplice e immediato. Di qui la necessità di implementare un indice sintetico di semplice e immediata valutazione, seppure grossolano, quale l'indice AMC del Soil Conservation Service (*USDA*, 1986). Tale indice, sulla base della sola precipitazione antecedente l'evento meteorico preso in esame, rappresenta lo stato di imbibimento in tre classi: stato o tipo I, per bacino complessivamente asciutto; tipi II e III rispettivamente per bacino mediamente e fortemente imbibito.

In definitiva, la soluzione adottata per la conduzione degli esperimenti numerici di simulazione di scenario si basa sulla generazione di piogge uniformi nello spazio e con assegnato andamento nel tempo. La simulazione della trasformazione afflussi-deflussi viene quindi condotta a partire da una prefissata condizione iniziale di imbibimento, secondo i tre tipi AMC I, II e III. Per via iterativa, viene quindi ricercata la minima altezza di pioggia cumulata, ragguagliata sul bacino in esame, in grado di provocare il superamento della prefissata soglia di portata al colmo nella sezione di chiusura del bacino stesso. Questo procedimento va ripetuto per durate progressivamente crescenti a partire dall'origine dell'asse temporale, identificando in tal modo la richiesta curva sul piano (P, d). Il procedimento viene iterato indipendentemente per i tre tipi AMC, determinando così le tre curve associate a stato iniziale asciutto, mediamente e fortemente imbibito, e per i tre ietotipi presi in esame (Figura 3).

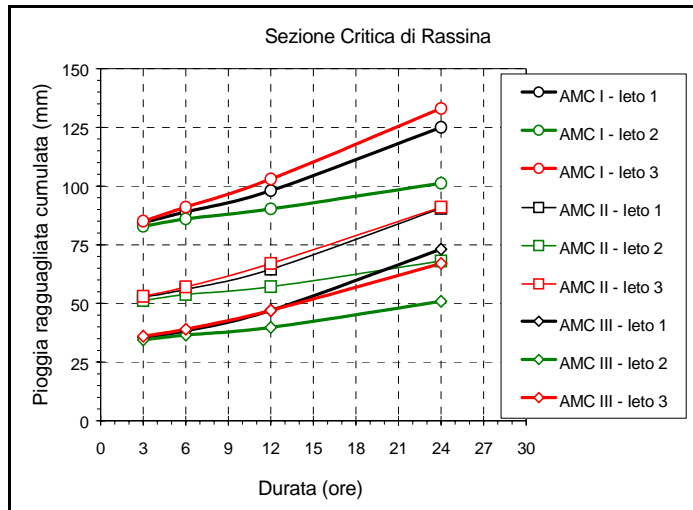


Figura 3. Esempio di soglie pluviometriche per la sezione di Rassina (AR) a diversi valori di AMC. Ietotipi: 1.uniforme, 2.triangolare crescente, 3.triangolare decrescente.

3 MODALITÀ' DI FUNZIONAMENTO DEL SISTEMA DI ALLERTAMENTO

L'utilizzo pratico delle soglie richiede, in primo luogo, la scelta della curva di riferimento in base alle stimate condizioni di imbibimento iniziale del terreno in termini di indice AMC e alla prevista evoluzione temporale del campo di precipitazioni in termini di ietotipo. Successivamente si entrerà nel grafico coi dati di altezza raggiunta cumulata (H_{ragg}) e di durata (d) della precipitazione prevista o osservata in tempo reale, identificando così un 'punto' di previsione sul piano (H_{ragg}, d). La valutazione sulla pericolosità dell'evento in questione viene quindi condotta in base all'appartenenza o meno del punto alla regione critica (Figura 4).

Le operazioni appena elencate e successivamente descritte sono automatizzate in un codice di calcolo dedicato (MIMI' - Modello Integrato Meteo-Idrologico) funzionante in tempo reale presso L'Autorità di Bacino del Fiume Arno e consultabile via Internet.

MIMI' è costituito da tre sottosistemi interoperanti: il Data Server, l'Hydro Server e il Client. Il Data Server ha il compito di acquisire i dati delle osservazioni e delle previsioni ed effettuare una pre-elaborazione utile per l'implementazione del modello idrologico. L'Hydro Server è il modulo centrale che implementa il modello idrologico e genera i dati relativi alla situazione osservata o prevista. Il Client si occupa della visualizzazione dei dati e della segnalazione delle situazioni di preallerta. MIMI si inserisce nel più ampio sistema di preallerta predisposto dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno (ARTU).

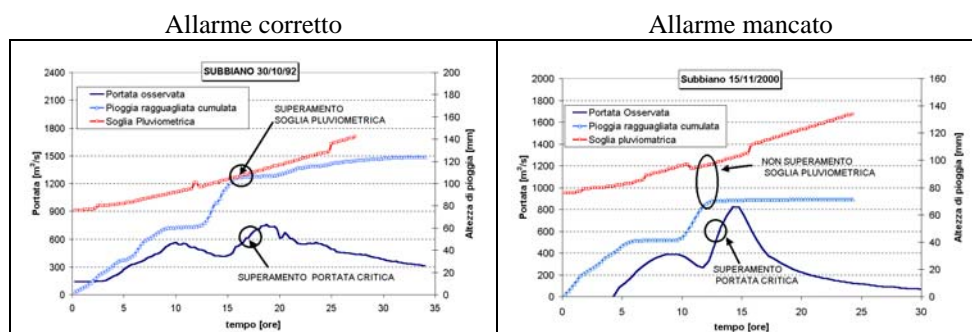


Figura 4. Esempio dell'impiego delle soglie pluviometriche con pioggia osservata ai pluviometri per la sezione di Subbiano (AR).

3.1 Riconoscimento dell'inizio evento

Lavorare sulla precipitazione cumulata in tempo reale ed in continuo impone la necessità di distinguere eventi meteorici successivi per stabilire l'effettivo istante in cui inizia l'evento e quindi il computo della pioggia cumulata e la misurazione della durata/orizzonte di precipitazione. Tale problema è stato affrontato imponendo quale tempo minimo di interarrivo tra due eventi di pioggia quello di corrivazione e come precipitazione significativa per l'inizio evento quella d'intensità maggiore di 0.5 mm/ora.

3.2 La scelta dello ietotipo per l'utilizzo delle soglie

Una volta considerata la funzione di soglia relativa a certo stato di imbibimento del terreno, bisogna stabilire la forma dello ietogramma o ietotipi. La scelta della forma cui riferirsi per l'utilizzo di campo sarà regolata dall'effettivo andamento (osservato o previsto) del dato di pioggia in esame. Quasi mai, tuttavia, si osservano, per le piogge reali, forme dello ietogramma identiche a quelle schematiche sopra considerate. La scelta della funzione di soglia cui riferirsi si baserà, allora, sulla valutazione della maggior 'somiglianza' tra i dati reali e le forme schematiche considerate. Si sottolinea anche che la scelta della migliore approssimazione della forma di pioggia deve essere aggiornata durante l'evoluzione temporale della stessa, cioè a mano a mano che sono noti nuovi dati osservati o nuove previsioni quantitative di pioggia.

3.3 Il ragguglio all'area della precipitazione

Per poter utilizzare le soglie resta aperto il problema della corretta definizione del dato di precipitazione spaziale $H(t)$, che deve essere rappresentativo dell'intero sottobacino di interesse. Il ragguglio all'area è di immediata computazione per la precipitazione prevista con modelli ad area limitata che, per loro natura, stimano un valore di precipitazione media su aree elementari (generalmente celle quadre da 25-50 km²). Quando invece il ragguglio all'area deve essere ricavato dalle misure locali ottenute in tempo reale ai pluviografi, si è scelto il tradizionale metodo di ragguglio basato sui topoiplanari di Thiessen. Tuttavia, in entrambi i casi, il ragguglio è calcolato solo in base a considerazioni di natura geometrica. Per tale motivo questa impostazione è stata modificata e, per tenere in conto dell'influenza della geomorfologia del bacino, si sono introdotti degli ulteriori pesi (g_i), qui definiti 'geomorfologici', in grado di pesare l'effettiva

importanza, che alcune aree possono avere rispetto ad altre nei riguardi del contributo offerto alla formazione delle piene. La procedura qui di seguito illustrata mira alla realizzazione di mappe di peso locale, con cui eseguire il ragguaglio areale delle precipitazioni sul bacino idrografico sotteso dalla sezione critica in modo da pesare ulteriormente quanto ottenibile dalla sola suddivisione geometrica delle aree d'influenza secondo lo schema di Thiessen. I pesi introdotti quantificano il contributo offerto da ogni area elementare, per praticità assunte coincidenti alle celle di calcolo del LAM, alla formazione delle piene nella sezione di chiusura del bacino:

$$H_{ragg,bacino}(t) = \sum_{i=1, n\text{ celle}} g_i \left(\sum_{k=1}^{n\text{ pluviografi}} w_{ki} h_k(t) \right) \quad (1a)$$

$$H_{ragg,bacino}(t) = \sum_{i=1, n\text{ celle}} g_i H_{ragg,i}(t) \quad (1b)$$

L'eq. (1b) viene utilizzata per ragguagliare le piogge registrate nel k-esimo pluviometro (h_k) e ragguagliate sulla cella i-esima tramite il classico metodo dei pesi (w_{ki}) di Thiessen.

L'eq. (1b) viene utilizzata per ragguagliare le piogge previste sulla cella i-esima ($H_{ragg,i}$) del modello di previsione quantitativa delle precipitazioni.

Il valore di pioggia ragguagliata così ottenuto, non sarà più un'approssimazione del volume complessivo di pioggia, ma sarà, piuttosto, rappresentativo della criticità dell'evento di precipitazione, in quanto si pone maggior rilievo alle aree più significative per la formazione dei deflussi stessi. Si tiene a precisare che i pesi geomorfologici, per come vengono valutati, sono funzione della durata dell'evento di pioggia cui ci si riferisce. Ogni area del bacino infatti, caratterizzata da un proprio tempo di corrivazione, assumerà importanza diversa in relazione alla durata dell'evento di precipitazione. I pesi geomorfologici vengono calcolati dal confronto tra gli idrogrammi ricavati dalle simulazioni *locali* effettuate 'facendo piovere' sulle singole aree elementari, $L(t)$, e quello ottenuto dalla simulazione *globale*, $G(t)$, in cui lo stesso segnale di pioggia viene applicato all'intero bacino. Tale confronto, condotto in modo quantitativo, si basa sulla valutazione del rapporto tra i massimi assoluti dei due idrogrammi, locale e globale:

$$pP_i = \frac{\max_t L(t)}{\max_t G(t)} \quad (2)$$

normalizzando quindi i pesi pP_i si ricava il peso geomorfologico:

$$g_i = \frac{pP_i}{\sum pP_i} \quad (3)$$

4 VALIDAZIONE DEL SISTEMA

Per completare la realizzazione del sistema è necessario valutarne l'affidabilità attesa. Per questo si è proceduto in due modi. Da una parte si sono utilizzate le serie di dati osservati di piogge e portate nel periodo 1992-2000, per alcune sezioni di controllo (Rassina, Subbiano, Pontassieve), individuando gli eventi più significativi e valutando

la risposta che MIMI' avrebbe fornito se fosse stato operativo. Dall'altra, al fine di avere un campione più significativo, si sono analizzati gli eventi sintetici ottenuti generando serie pluviometriche sintetiche di 500 anni con un modello stocastico Neumann-Scott Rectangular Pulses (Burlando, 1989)

Uno strumento efficace per valutare l'affidabilità del sistema d'allertamento è costituito dalle tabelle di contingenza (Murphy et al., 1987), che evidenziano il numero di falsi e di mancati allarmi ottenuti:

	allarme non previsto	Allarme previsto
criticità non osservata	12	0 (falso allarme)
criticità osservata	1 (mancato allarme)	5

Tabella II. Contingenza per la sezione di Pontassieve: analisi degli eventi osservati nel periodo 1992-2000

	allarme non previsto	Allarme previsto
criticità non osservata	304	88 (falso allarme)
criticità osservata	14 (mancato allarme)	221

Tabella III. Contingenza per la sezione di Pontassieve: analisi degli eventi sintetici

La validazione del sistema così condotta ha evidenziato (Tabella II e Tabella III) un buona affidabilità del sistema. Si nota un ridotto numero di falsi allarmi e ad una bassa, seppure non trascurabile, presenza di mancati allarmi. Ciò indica una sovrastima delle soglie pluviometriche utilizzate dovuta ad una non corretta stima dello stato di imbibimento iniziale e quindi della definizione della classe AMC del metodo del CN. Il ben noto problema, di cui esiste un'ampia testimonianza in letteratura, impone una verifica dei valori di pioggia cumulata nel riconoscimento dell'AMC a scala di bacino.

5 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE E FUTURI SVILUPPI

Il modello descritto, operativo presso l'Autorità di Bacino del F. Arno ha confermato la semplicità del suo utilizzo operativo. L'affidabilità del modello è stata verificata attraverso sia la simulazione degli eventi storici disponibili sia utilizzando 500 anni di eventi di pioggia sintetica generati con un modello stocastico Neumann-Scott Rectangular Pulses. Tale processo di validazione ha evidenziato come la costruzione numerica delle soglie porti ad un comportamento affidabile del sistema caratterizzato da un accettabile numero di falsi allarmi ed un ridotto numero di mancati allarmi. Quest'ultimo risultato suggerisce di proseguire le attività di sviluppo del sistema con la revisione della procedura di definizione dello stato iniziale del sistema e dell'individuazione del corrispondente valore del CN. Questo ad ulteriore conferma della necessità che sistemi operativi di allertamento e di preannuncio di piena vengano mantenuti continuamente aggiornati.

Ringraziamenti. Gli autori, il cui contributo è stato paritetico, ringraziano l'Autorità di bacino dell'Arno e l'ufficio idrografico sezione di Pisa per i dati messi a disposizione. Il lavoro è stato svolto con il contributo dell'Autorità di bacino dell'Arno, del CNR-GNDICI e del progetto COFIN 2000 "Predicibilità degli eventi idrometeorologici".

logici estremi e delle inondazioni nei piccoli bacini idrografici”

BIBLIOGRAFIA

- Brath, A., Burlando, P. & R. Rosso, Sensitivity analysis of real-time flood forecasting to on-line rainfall predictions, *Selected Papers from the Workshop on “Natural Disasters in European Mediterranean Countries”*, edited by F. Siccardi & R.L. Bras, Perugia, Italy, 1988.
- Burlando, P., Modelli stocastici per la previsione e la simulazione della precipitazione nel tempo, *Tesi di dottorato*, Politecnico di Milano, 1989.
- Mancini M., La modellazione della risposta idrologica: effetti della variabilità spaziale e della scala di rappresentazione del fenomeno dell'assorbimento, *Tesi di dottorato*, Politecnico di Milano, 1990.
- Mancini M., Montaldo N. e Rosso R., Effetti di Laminazione di un sistema di invasi artificiali nel bacino del fiume toce, *L'Acqua*, vol IV 2000
- Mancini, M., Rosso, R., Valutazione delle Soglie Idrometeorologiche di Preallarme delle Piene Fluviali nel Bacino dell'Arno, *Autorità di Bacino del Fiume Arno*, 2000
- Meneguzzo F., Giarola S., Grippa G., Gozzini B., Mesoscale operational rainfall forecast in North Western Tuscany, *Bollettino Geofisico*, 1997.
- Murpy, A. H., Winkler, R. L., A general framework for forecast verification, *Montly Weather Review*, 115, 1330-1338, 1997
- PIN, Centro studi ingegneria, *Studio per la definizione di un progetto piano relativo ad un sistema di gestione degli allarmi anti-alluvionali*, Prato, 1997.
- Rosso, R., Peano, A., Becchi, I. & G. Bemporad, eds., *Advances in Distributed Hydrology, Water Resources Publications*, Highlands Ranch, Colorado, 1994.
- Rosso, R., La previsione del rischio alluvionale: regime di piena e portate temibili, *La sistemazione dei corsi d'acqua naturali*, a cura di U. Maione e A. Brath, ed. BIOS, 1996.
- Todini, E.,
- U.S. Department of Agriculture, *Soil Conservation Service, National Engineering Handbook, section 4, Hydrology*, Rev. ed., U.S. Department of Agriculture, 1972 e 1986.