



REGIONE UMBRIA

DIREZIONE REGIONALE RISORSA UMBRIA. FEDERALISMO,
RISORSE FINANZIARIE, UMANE E STRUMENTALI.



ISTITUTO RICERCA PROTEZIONE IDROGEOLOGICA

CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE



CONSORZIO PER LA BONIFICA

DELLA VAL DI CHIANA ROMANA E DELLA VAL DI PAGLIA

AGGIORNAMENTO DELLE FASCE DI PERICOLOSITÀ IDRAULICA DEL TRATTO TERMINALE DEL FIUME PAGLIA

RELAZIONE METODOLOGICA

Studio idrologico del bacino del Fiume Paglia e aggiornamento delle fasce di pericolosità idraulica del tratto terminale del corso principale

Delibera n.456 del 22 febbraio 2010

**S. BARBETTA, L. BROCCA, S. CAMICI, F. MELONE
T. MORAMARCO, A. TARPANELLI**

GIUGNO 2010

1. Introduzione

Con Deliberazione n°456 datata 22 febbraio 2010, il Consiglio di Amministrazione del Consorzio per la Bonifica della Val di Chiana Romana e Val di Paglia, ha individuato l'Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica (CNR-IRPI), sede di Perugia, per effettuare lo “studio idrologico del bacino del Fiume Paglia e aggiornamento delle fasce di pericolosità idraulica del tratto terminale del corso principale”.

L'Autorità di Bacino del Fiume Tevere, congiuntamente alla Regione Umbria, alla luce dell'accertata sottostima da parte del Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.) delle piene del Fiume Paglia, a seguito della revisione delle scale di deflusso ([Bencivenga et al. 2001](#)), ha ritenuto necessario ridefinire una nuova idrologia rispetto a quella utilizzata per il P.A.I. e procedere, quindi, all'aggiornamento delle fasce di vulnerabilità idraulica del tratto di fiume ricompreso tra il ponte di Allerona, a monte, e la confluenza con il Fiume Tevere, a valle.

Sulla base di quanto innanzi premesso, questo rapporto intende descrivere le fasi della procedura che verrà adottata per la valutazione della pericolosità idraulica del corso d'acqua anzi menzionato.

2. Procedura applicativa per la perimetrazione delle aree inondabili

Nella pratica idrologica, la stima della portata di progetto relativa ad un assegnato tempo di ritorno si basa tipicamente sull'applicazione di una modellistica idrologica che trasforma la pioggia derivata da tecniche di regionalizzazione in idrogramma di portata. Tale stima, tuttavia, ipotizza che il tempo di ritorno della portata di progetto coincida con quello dell'evento meteorico che ha generato la portata stessa. Un altro aspetto critico è legato alla modellistica afflussi-deflussi adottata, dal momento che si possono individuare differenti valori di portata a seconda degli approcci utilizzati nel modello idrologico per la stima delle perdite e dei tempi di risposta del bacino. Anche la valutazione della pericolosità idraulica può essere affetta da incertezza visto che la dinamica di rappresentazione del trasferimento dell'onda di piena lungo l'asta fluviale e dell'inondazione nelle aree perifericali può essere differente. Un'analisi stazionaria è sicuramente più cautelativa rispetto a quella di moto vario, ma di certo porta ad una sovrastima delle portate e dei volumi, che per alcuni ambienti fisiografici possono essere irrealistici.

In tale ambito, l'IRPI ha sviluppato una metodologia per la valutazione della pericolosità idraulica che si basa sull'applicazione di una modellistica integrata di tipo idrologico-idraulico e consta di tre livelli di analisi ([Barbetta et al., 2005; 2006](#)). Il primo è relativo all'identificazione ed all'implementazione di una base informativa territoriale idonea in termini di rappresentazione del reticolo idrografico, delle fasce di pertinenza fluviale e delle caratteristiche orografiche e geolitologiche del bacino di interesse. Il secondo livello riguarda l'analisi della risposta idrologica del bacino ed è finalizzato alla stima degli idrogrammi di portata che contribuiscono alla formazione dell'onda di piena lungo le aste fluviali da investigare. Il terzo livello è finalizzato all'analisi idraulica del fenomeno di propagazione del flusso nei canali e di inondazione delle aree contigue ad essi.

La metodologia è stata applicata su differenti aste fluviali appartenenti al reticolo secondario del Fiume Tevere.

2.1 Base informativa territoriale

La base informativa territoriale raccoglie tutte le informazioni relative alle caratteristiche geomorfologiche del bacino, alle serie storiche di dati idro-meteorologici, alle proprietà geometriche ed idrauliche dell'alveo

e delle aree perifericali nonché alle notizie disponibili sugli eventi storici di inondazione. In tal senso l'acquisizione dei dati viene effettuata nell'ambito di un Sistema Informativo Territoriale capace di elaborare l'informazione per renderla disponibile per le successive analisi idrologiche ed idrauliche.

In tale contesto l'analisi è così articolata:

a) caratterizzazione geomorfologica dei bacini idrografici mediante:

- l'acquisizione delle Carte Geolitologiche delle Regioni Umbria, Toscana e Lazio, in scala 1:100000;

-
- l’acquisizione della Carta dell’Uso del Suolo 1:100000 (Progetto Corine);
 - l’acquisizione del reticolo idrografico da carte IGM 1:25000 e 1:100000;
 - l’acquisizione della Carta Idrogeologica del CNR-IRSA, 1:200000;
 - l’acquisizione del Modello Digitale del Terreno (DTM), 20m x 20m;
 - l’acquisizione del Modello Digitale del Terreno fornito dal Ministero dell’Ambiente alla Regione Umbria.
- b) conoscenza della componente geografica del territorio, oggetto di studio, utilizzando:
- la cartografia IGM 1:25000;
 - la Carta Tecnica Regionale (CTR) 1:5000 e 1:10000, sia in formato cartaceo che digitale fornita dalla Regione Umbria;
- c) acquisizione di eventuali studi esistenti sulla perimetrazione delle aree inondabili nell’area di interesse, nonché l’analisi di eventi storici di inondazione occorsi lungo le aste del reticolo minore del Tevere e loro localizzazione;
- d) definizione della geometria del corso d’acqua interessato dal trasferimento della piena e delle fasce di pertinenza fluviale mediante:
- rilievi topografici delle sezioni fluviali, delle rispettive aree limitrofe e dei manufatti trasversali presenti;

2.2 Analisi Idrologica

L’analisi idrologica è finalizzata alla valutazione delle portate al colmo e dei corrispondenti volumi di piena nelle sezioni fluviali di interesse, per eventi con periodo di ritorno assegnato e pari a 50, 100, 200 e 500 anni. Per la stima dell’idrogramma di progetto, oltre agli approcci empirici tradizionali verrà utilizzata una procedura basata su un modello afflussi-deflussi semi-distribuito a scala di evento (MISD), già testata per diversi bacini dell’Alto e Medio Tevere di differenti dimensioni areali. Considerando che la trasformazione afflussi-deflussi non introduce direttamente trasformazioni nel tempo di ritorno, viene assunto che l’idrogramma di progetto abbia lo stesso tempo di ritorno, T_r , della precipitazione che lo ha generato. L’evento pluviometrico è schematizzato attraverso uno ietogramma sintetico del tipo a blocchi alterni la cui intensità viene stimata a partire dalle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica (LSPP) ricavate con l’adattamento della distribuzione di probabilità del valore estremo a doppia componente (TCEV) ([Fiorentino et al., 1985](#)). Le LSPP puntuali stimate vengono estese all’intero bacino mediante il fattore di riduzione areale proposto da [Raudkivi \(1979\)](#).

Il modello MISD è costituito da varie componenti che rappresentano i principali processi fisici della trasformazione pioggia-portata diretta. In particolare, il modello è strutturato in maniera da consentire:

- la suddivisione del bacino in più sottobacini, che rappresentano un’immissione concentrata lungo il reticolo idrografico principale o un’area direttamente drenante, e per ognuno dei quali le grandezze fisiche rappresentate sono considerate omogenee;
- la stima della pioggia effettiva in ogni sottobacino mediante l’individuazione delle perdite principali quali: infiltrazione, con approccio sia di tipo empirico che concettuale, e ritenzione

superficiale;

- la trasformazione della pioggia effettiva in portata diretta basata sull'idrogramma unitario geomorfologico di ciascun sottobacino;
- il trasferimento lineare diffusivo dell'onda di piena, dal punto di confluenza del sottobacino nel reticolo principale fino all'uscita del bacino stesso.

Per quanto riguarda la stima delle condizioni di umidità del terreno antecedenti l'evento estremo, laddove vi è la disponibilità delle serie temporali di temperatura, pioggia e portata, si prevede di utilizzare un modello idrologico in continuo, MISDc, sviluppato dall'IRPI, con l'obiettivo di ricostruire una serie sintetica di portata relativa ad un elevato numero di anni. A tal fine, verrà inizialmente applicato un modello di generazione stocastica delle precipitazioni, di tipo Neyman-Scott Rectangular Pulse, NSRPM, ([Cowpertwait, 1996](#); [Moretti e Montanari, 2008](#)) che necessita della definizione di alcune caratteristiche dell'evento meteorico, come l'intensità e la durata insieme al tempo che intercorre tra un evento di pioggia e il successivo. Il modello di generazione delle precipitazioni sarà validato sulla base delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica (LSPP) osservate e sarà affiancato da un modello ARIMA con differenziazione frazionaria (FARIMA) per la generazione dei valori sintetici di temperatura. Le serie sintetiche di pioggia e temperatura faranno riferimento ad un periodo di 5000 anni, e rappresenteranno la “sollecitazione” meteorica di ingresso alla modellistica afflussi-deflussi di tipo continuo MISDc, permettendo così di ottenere la serie temporale delle portate defluite alla chiusura del bacino di interesse. MISDc dovrà essere preventivamente calibrato su una serie temporale di portate osservate (di durata non inferiore a 5-10 anni) in modo tale da garantirne la robustezza e l'affidabilità. Una volta stimate le serie sintetiche di portate, verrà individuata la distribuzione delle portate massime annuali (5000 anni) con i rispettivi tempi di ritorno. Dal confronto tra tale distribuzione e le portate stimate secondo la procedura basata sulla modellistica idrologica semi-distribuita a scala di evento, verranno individuate le condizioni iniziali di umidità del terreno da adottarsi per l'evento estremo.

2.3 Analisi Idraulica

L'analisi idraulica sarà finalizzata alla valutazione della capacità di trasferimento del flusso dei diversi tratti d'alveo, nonché all'individuazione dell'estensione delle aree vulnerabili nelle fasce perfluviali soggette ad inondazione. A tal fine la dinamica del trasferimento dell'onda di piena e dell'allagamento nelle aree perfluviali verrà investigata in condizioni di moto vario. Infatti, le specifiche caratteristiche del territorio e delle criticità non garantiscono le ipotesi di base per un'applicazione stazionaria del trasferimento di piena ed, in particolare, l'ipotesi di portata costante lungo l'asta principale. Per questo sarà utilizzato il modello idraulico monodimensionale HEC-RAS, sviluppato dall'Hydrologic Center (HEC), del Corpo degli Ingegneri dell'Esercito degli Stati Uniti d'America. Tale software, non commerciale, è in grado di effettuare l'analisi di più profili contemporaneamente, prevedendo la possibilità di inserire punti singolari (ponti, sottopassi, ecc.) e portate con vari tempi di ritorno.

I risultati ottenuti con l'analisi idraulica appena menzionata, saranno confrontati con il modello idraulico monodimensionale MIKE11 ([DHI, 2003](#)) che tra le altre funzionalità, è in grado di simulare il sormonto degli argini attraverso l'uso di strutture di sfioro e la conseguente attivazione

di canali paralleli a quello inciso. Questa schematizzazione consente di effettuare una modellazione “quasi-bidimensionale” del flusso, considerando implicitamente gli effetti di laminazione della piena che possono generarsi nelle aree limitrofe quando i livelli superano le arginature dell’alveo principale. Per ciascun evento critico di assegnato tempo di ritorno, le condizioni al contorno del modello idraulico relative alle immissioni lungo il tratto fluviale investigato sono determinate dal modello idrologico MISD.

La stima delle caratteristiche idrauliche dei tratti fluviali ed in particolare della scabrezza è effettuata in maniera differente a seconda che a monte della sezione di chiusura del bacino sia presente o meno una stazione idrometrica con scala di deflusso nota. Nel caso in cui si ha monitoraggio idrometrico la scabrezza viene stimata mediante calibrazione degli idrogrammi di livello relativi ad eventi osservati; viceversa, nel caso di bacino non strumentato, la stima è basata su sopralluoghi finalizzati a stabilire le effettive condizioni d’alveo.

Per la perimetrazione delle aree a rischio di inondazione viene utilizzato l’interpolatore di livelli MIKE11-GIS che consente la sovrapposizione dei livelli ottenuti dalle simulazioni idrauliche con la restituzione digitale del terreno ottenuta dal rilievo laser-scanning.

Per le aree perifluviali particolarmente a rischio e dove la modellazione “quasi-bidimensionale” potrebbe essere non accurata a causa del contributo della componente trasversale del flusso, l’analisi sarà integrata mediante l’utilizzo del modello idraulico bidimensionale FLOOD2D ([Molinaro et al., 1994](#)). Il modello, basato sull’ipotesi semplificativa di inerzie convettive trascurabili, consente di studiare la dinamica dell’inondazione in zone a topografia complessa.

3. Conclusioni

La valutazione della pericolosità idraulica lungo il Fiume Paglia, nel tratto individuato dalla Deliberazione n.456 del 22 febbraio 2010, verrà indirizzata mediante la procedura già sviluppata dal CNR-IRPI per alcuni bacini dell’Alto e Medio Tevere. La metodologia sarà integrata con una modellistica idrologica a simulazione continua al fine di individuare in maniera più appropriata le condizioni di umidità del terreno antecedenti l’evento estremo. Per questo, verrà adottata una modellistica stocastica per la generazione di serie sintetiche di pioggia e temperatura ed un modello idrologico in continuo che, avvalendosi in input delle stesse serie stocastiche generate, fornirà la serie sintetica delle portate da cui risalire mediante la loro distribuzione di frequenza ai diversi tempi di ritorno. Dal confronto dei valori massimi di portata forniti dal modello idrologico semi-distribuito a scala di evento per i diversi tempi di ritorno, con quelli derivati dalla distribuzione di frequenza delle portate sintetiche si individueranno le condizioni di umidità antecedente l’evento estremo. Stabilite le condizioni di umidità del bacino, la procedura prevede che per ciascun tempo di ritorno gli idrogrammi di portata individuati dal modello semidistribuito siano trasferiti lungo l’asta dei corsi d’acqua di studio, mediante l’utilizzo di una modellistica idraulica monodimensionale o bidimensionale, a seconda delle complessità orografica delle aree fluviali limitrofe e della presenza di aree urbanizzate.

Va sottolineato che l’attività potrà avere delle variazioni rispetto a quanto innanzi riportato qualora vi siano ritardi nella disponibilità dei dati necessari allo studio.

Bibliografia

Barbetta S., Pandolfo C., Stelluti M., Melone F., Moramarco T., 2005, “*Estimation of flooding-prone areas for ungauged river reaches*”, In: M. Perumal et al. (Ed.) *Hydrological Perspective for sustainable development* (Volume I), Allied Publishers Pvt. Ltd., New Delhi, 78–91.

Barbetta S., Pandolfo C., Stelluti M., Melone F., Moramarco T., 2006, “*Un approccio metodologico per la perimetrazione delle aree inondabili in bacini non strumentati*”, XXX Congresso di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Roma, p. 58.

Bencivenga M., Calenda G., Mancini C. P., 2001, “*Ricostruzione storica delle scale di deflusso delle principali stazioni di misura nel bacino del Fiume Tevere*”, Il Secolo XX. Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma, p. 355.

Cowpertwait, P. S. P., 1996, “*A generalized spatial-temporal model of rainfall based on a clustered point process*”, Proc. of the R. Soc. of London, Series A, 450, 163–175.

DHI Water and Environment, 2003, “*Mike11 - a modelling system for rivers and channels*”, Reference Manual, Horsholm, Denmark: Danish Hydraulic Institute.

Fiorentino M., Rossi F., Versace P., 1985, “*Regional flood frequency estimation using the Two Component Extreme Value distribution*”, Hydrological Sciences Journal, pp. 51-64.

Molinaro P., Di Filippo A., Ferrari F., 1994, “*Modelling of flood wave propagation over flat dry areas of complex topography in presence of different infrastructures*”, in: P. Molinaro and L. Natale (eds), *Modelling of flood propagation over initially dry areas*, ASCE, New York, pp. 209–228.

Moretti G., Montanari A., 2008, “*Inferring the flood frequency distribution for an ungauged basin using a spatially distributed rainfall-runoff model*”, Hydrology and Earth System Sciences, 12, 1141-1152.

Raudkivi A.J., 1979, *Hydrology*, Pergamon Press, Great Britain.