

CARATTERIZZAZIONE DI UN TRONCO FLUVIALE DEL FIUME CRATI E SPERIMENTAZIONE CON MODELLAZIONE IDRAULICA MONODIMENSIONALE

Eleonora Spada¹, Daniela Biondi², Francesco Cruscomagno², Marco Sinagra¹

Tullio Tucciarelli¹ & Pasquale Versace²

(1) Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, Aerospaziale, dei Materiali dell'Università degli Studi di Palermo;

(2) Dipartimento di Ingegneria Informatica, Modellistica, Elettronica e Sistemistica dell'Università della Calabria.

ASPETTI CHIAVE: modello diffusivo, stima di portata, leggi di resistenza in alvei fluviali

- *Stima della portata mediante metodologia indiretta basata su misure sincrone di livelli in due sole sezioni strumentate;*
- *Caratterizzazione idraulica ed idrologia di un tronco fluviale: fiume Crati;*
- *Installazione di sonde piezoresistive ad alta frequenza per il monitoraggio del deflusso fluviale.*

1 INTRODUZIONE

Obiettivo della ricerca è l'acquisizione delle informazioni idrologiche e idrauliche deducibili dall'analisi di idrogrammi di livelli sincroni misurati in due diverse sezioni del fiume Crati mediante l'utilizzo di un modello idraulico di propagazione. La ricerca è stata sviluppata anche grazie al contributo del progetto SILA (Sistema Integrato di Laboratori per l'Ambiente - PONa3_00341) finanziato nell'ambito del PON "Ricerca e Competitività 2007/2013". Quando la portata di morbida di un fiume è molto inferiore a quella di piena, come avviene nei corsi d'acqua a regime torrentizio, quale quello considerato in questo studio, è preferibile fare riferimento ad una procedura no-contact per la stima della portata. La metodologia di riferimento si basa sull'utilizzo di un modello di propagazione idraulica (Nasello e Tucciarelli, 2004) che consente di ricostruire numericamente la propagazione della piena in un tratto d'alveo compreso fra due sezioni strumentate con misuratori di livello ad alta frequenza. Al contrario di quanto accade usualmente nell'applicazione dei modelli idraulici, la condizione al contorno assegnata alla sezione di monte è costituita dall'andamento temporale dei livelli misurati, e non dalla portata. La portata nella sezione di monte viene, quindi, calcolata come incognita del problema di propagazione. Il tratto d'alveo da modellare viene esteso a valle della seconda sezione strumentata per una lunghezza di poche centinaia di metri, onde rendere il calcolo dei livelli nella seconda sezione strumentata poco sensibile alla particolare condizione assegnata al contorno di valle. Le misure di livello registrate nella seconda sezione vengono poi utilizzate per la calibrazione del modello, in particolare per la selezione di un coefficiente di scabrezza medio che massimizzi la performance del modello rispetto alle misure suddette. La metodologia è già stata applicata a partire dal 2006 su corsi d'acqua con significative portate di magra e di morbida come il Tevere e l'Arno, ma viene per la prima volta applicata ad un corso d'acqua, come il Crati, con regime fortemente torrentizio. L'analisi dei dati registrati in due sonde piezoresistive poste a pochi chilometri di distanza in eventi anche di modesta intensità porta a stimare valori del coefficiente di Manning e di portata al picco del tutto coerenti con le condizioni geomorfologiche del corso d'acqua. L'utilizzo di una terza sonda consentirà nel prossimo futuro anche una validazione in sito della metodologia proposta.

2 MATERIALI E METODI

La procedura del doppio livello è particolarmente conveniente nel caso si voglia stimare l'idrogramma di piena, in quanto non necessita di misure dirette di velocità da parte di personale tecnico, con il conseguente rischio e la necessità di programmare con sufficiente anticipo l'attività di pieno campo. Nella sua versione originale la procedura suddetta richiede che la distanza fra le due sezioni di misura sia da una parte sufficientemente ampia da rendere apprezzabile lo sfasamento temporale fra i due fronti, dall'altra sufficientemente piccola da evitare la presenza di significative confluenze fra le due sezioni. La metodologia assume valida la relazione fra tiranti e portata rappresentata dalle equazioni di Saint Venant:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} + gA(S_f - S_0) = 0 \quad (1), \quad \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = p \quad (2), \quad S_f = \frac{q^2}{Q^2(h)} \quad (3),$$

dove A è l'area della sezione trasversale, q la portata, h il tirante idrico, g l'accelerazione di gravità, S_f e S_0 sono la cadente piezometrica e la pendenza dell'alveo, x la direzione del flusso, t il tempo e p un termine che tiene conto di afflussi laterali per unità di lunghezza (in questo caso pari a 0), e $Q(h)$ la portata specifica nel canale principale stimata in condizioni di moto uniforme e pendenza unitaria del canale. Nei fenomeni di piena naturale possono trascurarsi i termini inerziali e quindi le eq.1 e 3 si riducono all'eq. 4, che unita all'eq.2 restituisce l'eq.5:

$$\frac{\partial(h+z)}{\partial x} = -\frac{q^2}{Q^2(h)} \quad (4), \quad \frac{\partial H}{\partial t} - \frac{1}{B} \frac{\partial}{\partial x} \left(Q(h) \frac{\partial H}{\partial x} \left| \frac{\partial H}{\partial x} \right|^{-\frac{1}{2}} \right) = p \quad (5),$$

dove B è la larghezza della sezione, e l'unica incognita è la quota piezometrica $H=(h+z)$.
 Le condizioni al contorno assegnate per la risoluzione dell' eq. 5 sono le quote piezometriche misurate nella sezione di monte e la condizione di diffusione nulla ($\partial^2 H / \partial x^2 = 0$) nella sezione di valle, posta a breve distanza dalla seconda sezione strumentata. Una lunghezza di poche centinaia di metri, in assenza di significativi cambiamenti morfologici immediatamente a valle della sezione finale (come improvvisi restringimenti dell'alveo o confluenze) è sufficiente a garantire la stabilità dei risultati rispetto all'incertezza della condizione di valle. Ovviamente, affinché la stima della portata sia attendibile, occorre che siano soddisfatte le seguenti condizioni: i) non vi siano afflussi laterali significativi incogniti fra le due sezioni di misura; ii) sia nota la morfologia dell'alveo nel tratto simulato; iii) la distanza fra le due sezioni di misura si sufficiente a misurare lo sfasamento temporale fra le due onde misurate. L'incertezza nella conoscenza dello stato iniziale del sistema è del tutto trascurabile, in quanto la simulazione può facilmente protrarsi per un arco temporale sufficientemente lungo da rendere lo stato iniziale ininfluenza al risultato finale.
 Il caso studio in esame corrisponde al tratto iniziale del Fiume Crati. Sulla base della cartografia tecnica regionale in scala 1:5000 relativa all'area in esame, si è provveduto: i) ad individuare due sezioni in un tronco lungo circa 4 km: la sezione di monte, denominata "Ponte Europa" situata in corrispondenza del ponte omonimo, e la sezione di valle, denominata "Ponte Crati", situata in prossimità dell'attraversamento della strada Statale SS107 Silana Crotonese (vedi Fig.1); ii) ad estrapolare per il medesimo tratto 26 sezioni utilizzando i dati LIDAR con risoluzione 1m acquisiti dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.

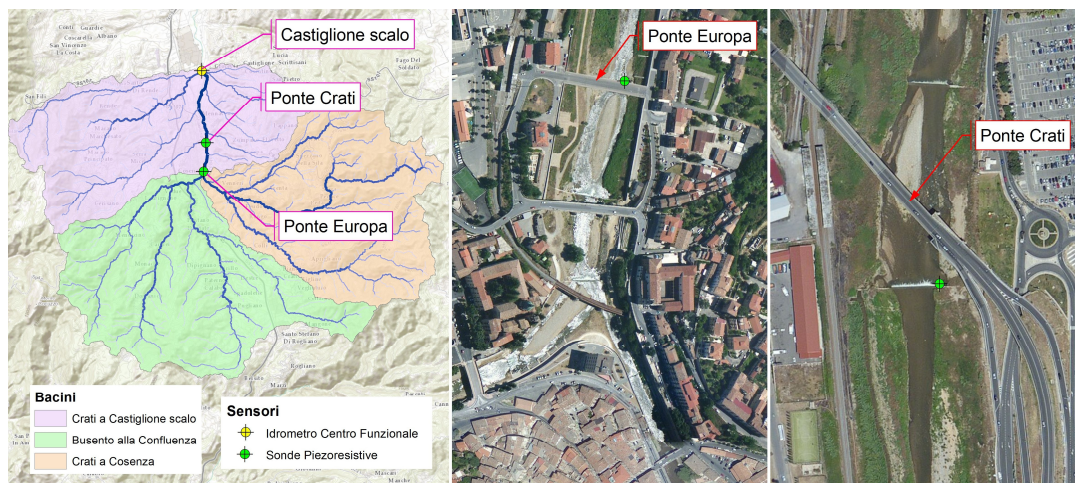


Figura 1. Identificazione del bacino oggetto di studio e collocazione dei sensori a Ponte Europa e Ponte Crati

Il Fiume Crati, corso d'acqua principale della Calabria, ha origine dalle pendici occidentali della Sila intorno ai 1650 m di quota e defluisce rapidamente in direzione nord, bagnando la città di Cosenza dove il bacino idrografico raddoppia di dimensioni grazie alla confluenza da sinistra del Fiume Busento. La sezione di "Ponte Europa" è situata immediatamente a valle di tale confluenza e sottende un bacino di superficie pari

a circa 270 km²; la sezione "Ponte Crati", è situata a circa 3 km di distanza, percorrendo un tratto privo di affluenti significativi con un incremento di area contribuente pari a 10 km², in larga parte costituita da superficie urbanizzata. Il corso d'acqua nel tratto analizzato presenta un regime torrentizio, alternando lunghi periodi di magra nella stagione estiva a innalzamenti repentini dei livelli in stretta relazione con gli eventi pluviometrici, in grado di causare improvvise ed impetuose piene nel periodo autunnale ed invernale (es. 1951, 1953, 1959 e più recentemente nel 2008). A circa 5 km a valle dalla sezione Ponte Crati è attiva dal 1999 la stazione idrometrica di "Crati a Castiglione Scalo" (area drenante pari a 405 km²) gestita dal Centro Funzionale Multirischi della Calabria (ARPACAL): i dati idrometrici disponibili, non validati e, quindi, affetti da notevole incertezza, seppur insufficienti per una caratterizzazione statistica dei deflussi superficiali confermano, come nell'esempio riportato in Fig. 2 per l'anno 2001, l'andamento sopra descritto, con portata massima (80.7 m³/s) molto elevata rispetto alla portata media (3.2 m³/s).

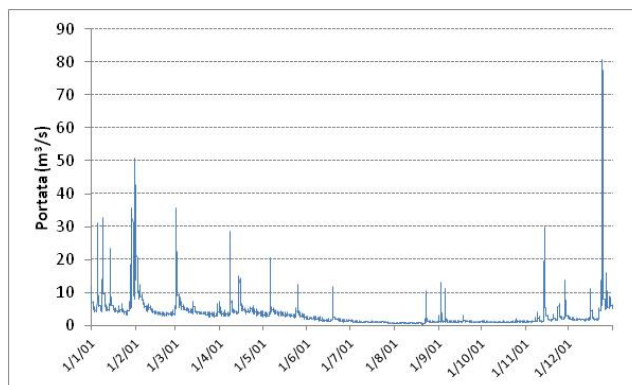


Figura 2. Regime torrentizio del Fiume Crati a Castiglione Scalo (anno 2001).

Nelle sezioni individuate, sono stati installati due sistemi di monitoraggio dei livelli in continuo del tipo Dipper-3 della SEBA Hydrometrie basati su sonda piezoresistiva, con un range di funzionamento di 10 m, una precisione di $\pm 0.05\%$ e una risoluzione di 0.3 mm. La sezione "Ponte Europa" è stata strumentata nel 2010, allocando la sonda all'interno di un tubo di acciaio di 1.5" ancorato ad una delle pile del ponte, mentre quella di "Ponte Crati", posizionata nel maggio 2015, è posta in corrispondenza della briglia a monte del ponte della Strada Statale SS107 Silana Crotonese. Nella stessa data i due strumenti sono stati sincronizzati per acquisire dati ogni 5 minuti. I dati registrati dal datalogger vengono, quindi, inseriti nel modello di propagazione idraulica denominato WEC-Flood. Il modello, che implementa l'approssimazione diffusiva dell'equazione del moto, utilizza come dati di input l'idrogramma dei tiranti nella sezione di monte, la morfologia dell'alveo ed un solo parametro di scabrezza media rappresentato dal coefficiente n di Manning. Qualora la stima del suddetto coefficiente di Manning si basi su una valutazione soggettiva, l'incertezza insita nella sua valutazione si traduce in un errore che può arrivare facilmente al 30-40% della portata stimata. Risultati molto più precisi si possono ottenere mediante la calibrazione del parametro n , effettuata utilizzando i dati piezometrici misurati dalla sonda posta nella sezione di valle. Viene quindi scelto quel particolare valore del parametro n che consente di minimizzare un residuo che rappresenti la differenza fra l'idrogramma "misurato" a valle e quello calcolato. Tale residuo può essere rappresentato dall'errore quadratico medio delle misure di livello (RMSE) valutato fra i picchi dei due idrogrammi. Un ulteriore indice di performance che può essere impiegato in fase di calibrazione è l'errore del tempo di picco valutato tra portata storica e portate simulate. Alla luce di quanto detto, per l'evento investigato verificatosi nel mese di ottobre 2015 si sono eseguite tre calibrazioni con un coefficiente di Manning variabile nel range di 0.02-0.06: la prima, detta " RUN_0 ", è stata eseguita con i dati reali registrati nelle due sezioni strumentate, le altre due, " RUN_1 " e " RUN_2 " rielaborando il dato registrato secondo una procedura descritta nel paragrafo successivo. Poiché i risultati della calibrazione in termini di sfasamento temporale del picco sono analoghi a quelli ottenuti con RMSE, si decide di mostrare il residuo della calibrazione in termini di RMSE adimensionalizzato, per poterne apprezzare il confronto nei tre RUN .

3 RISULTATI E DISCUSSIONE

La metodologia del doppio livello per la misura delle portate si basa sull'analisi del transitorio dei livelli idrici misurati nelle due diverse sezioni del fiume. La verifica in situ della funzionalità della metodologia proposta può quindi avvenire solo in corrispondenza di un evento meteorico significativo, con un picco dello stesso ordine di grandezza di quello per il quale si sia selezionata la distanza fra le due sezioni di misura. Nell'anno 2015, un evento significativo è stato registrato nel mese di ottobre e la finestra temporale di maggiore interesse ricade nei giorni 21 e 22 (Fig.3 (a)) con livelli idrici nella sezione di valle che sfiorano 1.5 m di altezza. La calibrazione del parametro n restituisce per l'evento in questione un coefficiente di Manning ottimo pari a 0.0437 (RUN_0). Al fine di mostrare la robustezza della metodologia, si è deciso di procedere con due ulteriori calibrazioni, RUN_1 e RUN_2 , introducendo degli errori al dato registrato nelle due sezioni di monte e valle (Fig.3 (b)). La procedura RUN_1 è consistita nell'aver perturbato entrambi gli idrogrammi dei tiranti registrati nelle sezioni di monte e valle con un errore costante del 5% (deviazione standard nulla) rispetto al dato registrato, calibrando quindi il modello con il nuovo campione di dati. La calibrazione in questo caso restituisce un coefficiente di Manning ottimo pari a 0.0424. Nel RUN_2 invece, l'evento viene calibrato introducendo un errore casuale con distribuzione gaussiana nei due idrogrammi registrati utilizzando una deviazione standard di 10 cm ed un indice di covarianza pari 0.02. Il parametro di scabrezza ottimale in questo caso è risultato essere prossimo al RUN_0 e pari a 0.0434. Infine, sono stati confrontati, in termini di RMSE, i risultati ottenuti dai tre RUN e stimata la portata nella sezione di monte (in Fig.3 (c)) si mostrano gli idrogrammi di portata simulata nei tre RUN nella finestra di osservazione in cui ricade il picco di piena).

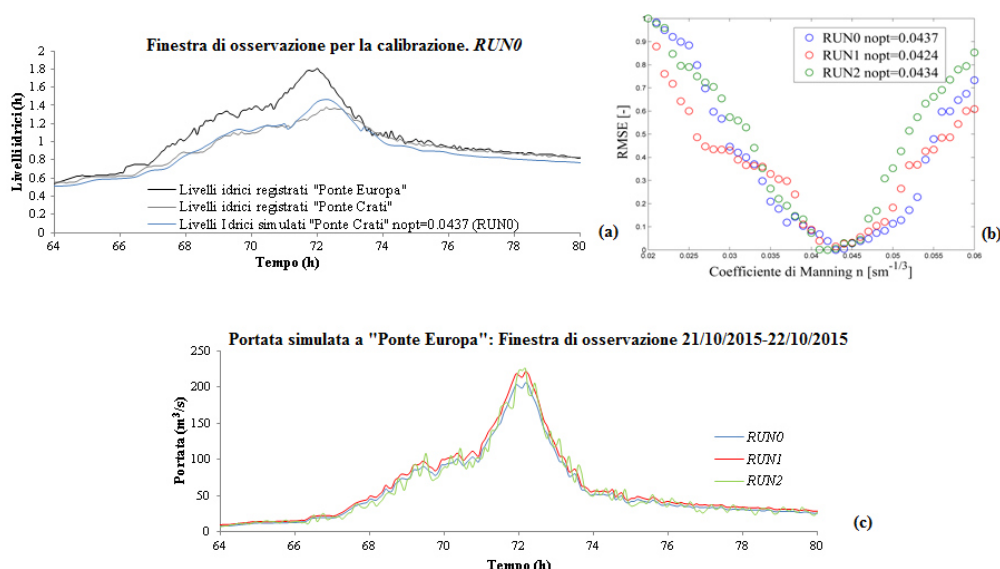


Figura 3. Andamento dei tiranti registrati e simulati (RUN_0) nelle sezioni di monte e valle del tronco fluviale modellato (a); confronto dei residui di calibrazione per i tre casi analizzati RUN_1 , RUN_2 , RUN_3 (b); andamento degli idrogrammi simulati nei tre RUN nella sezione di monte (c).

Tale confronto ha permesso di apprezzare l'accuratezza della metodologia restituendo un coefficiente di Manning ottimo pari a 0.043. In conclusione il metodo della doppia misura di livello risulta essere un efficace tool per la stima della portata (vedi Fig.3c) considerato il regime torrentizio del fiume Crati, e quindi l'elevata difficoltà di misure di portata durante eventi di piena significativi.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Aricò, C., Nasello, C. & Tucciarelli, T. Using unsteady water level data to estimate channel roughness and discharge hydrograph, *Advances in Water Resources*, 2009, 32(8),1223-1240.
 Spada, E., Sinagra, M., Tucciarelli, T., Sammartano, V. & Corato, G. Computation of vertically averaged velocities in irregular sections of straight channels, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 2014, 19, 3857-3873.