



Modellazione geospaziale speditiva per la verifica idraulica delle interferenze nelle infrastrutture viarie

Antonio Annis. WARREDOC, Università per Stranieri di Perugia, antonio.annis@unistrapg.it
Fernando Nardi WARREDOC, Università per Stranieri di Perugia, fernando.nardi@unistrapg.it

Parole chiave: rischio idrogeologico; verifica speditiva; infrastrutture

ABSTRACT

L'incontrollata espansione urbana in contesti come quello dell'area romana ha causato una variazione delle condizioni idrologiche di piena che impattano sulle opere di attraversamento della rete viaria che interseca i reticoli idrografici minori. Per queste ragioni, gli enti preposti alla manutenzione stradale o alla pianificazione territoriale necessitano di strumenti per analisi speditive dello stato di fatto o di scenari futuri degli attraversamenti delle infrastrutture viarie principali e secondarie in modo da pianificare le attività e ottimizzare gli investimenti ancor prima di finanziare degli studi specialistici più avanzati. Nel presente contributo viene presentata una procedura in ambiente GIS finalizzata alla verifica e la progettazione degli attraversamenti che interessano una infrastruttura viaria. La procedura automatizzata tramite un toolbox sviluppato in ambiente ArcMap o ArcGIS PRO, è caratterizzata dalle seguenti fasi: a) Determinazione a partire da Modello Digitale del Terreno (DTM) e da immagini satellitari dei reticoli idrografici dei bacini che intersecano l'infrastruttura in esame b) tracciamento dei bacini idrografici e determinazione delle loro caratteristiche morfometriche c) calcolo delle portate di progetto con metodo geomorfologico WFIUH d) verifica delle geometrie esistenti dei tombini o, in mancanza di esse, determinazione delle geometrie minime necessarie a mantenere un certo franco di sicurezza.

1. Introduzione

Buona parte della rete infrastrutturale italiana, caratterizzata da una vita superiore ai 30-40 anni, richiederebbe interventi di manutenzione straordinaria e potenziamento, non solo a causa dell'approssimarsi o del raggiunto termine del loro ciclo di vita, ma anche per le notevoli variazioni delle condizioni al contorno rispetto alle quali le infrastrutture sono state progettate. Nello specifico, l'urbanizzazione che si è verificata nel periodo degli anni 60-'90' attorno alle città medio-grandi, ha causato una notevole variazione della capacità di infiltrazione dei terreni e quindi delle portate di scorrimento superficiali di progetto rispetto alle quali erano state dimensionate le opere di attraversamento ferroviarie e stradali. Un caso eclatante è quello dei piccoli fossi affluenti del fiume Tevere e Aniene nell'area romana, caratterizzati da centinaia di attraversamenti, molti dei quali, a causa dell'intensa urbanizzazione avvenuta negli ultimi decenni, risultano ormai non sufficienti a far defluire le portate di piena in sicurezza (Nardi et al., 2018), tanto che, a cadenza quasi annuale, si verificano eventi meteorici intensi che causano danni a persone e ad edifici talvolta di milioni di euro.

Il presente contributo illustra un toolbox sviluppato in ambiente ArcGIS (utilizzabile su Desktop e Pro) per la verifica speditiva degli attraversamenti di una rete viaria. Il tool è basato su algoritmi di terrain analysis applicati all'idrogeomorfologia per la determinazione delle caratteristiche morfometriche e idrologiche dei bacini per la determinazione delle portate di piena. Sulla base delle caratteristiche idrologiche che caratterizzano i bacini che intersecano una rete viaria, il toolbox fornisce in output le dimensioni minime di un tombino circolare o rettangolare, al variare della pendenza longitudinale, per smaltire le relative portate di piena.

Il paper è strutturato secondo le seguenti fasi: la sezione 2 illustra l'esigenza che ha spinto gli autori a sviluppare il toolbox di verifica speditiva delle infrastrutture viarie, nell'ottica di prioritizzazione delle eventuali attività di intervento a larga scala; la sezione 3, illustra nel dettaglio le componenti che costituiscono il toolbox, definendone la teoria alla loro base e specificando i dati necessari alla loro applicazione; infine, la sezione 4 si discute sulle potenzialità dello strumento presentato evidenziandone i punti di forza e di debolezza nei suoi possibili scenari di applicazione.

2. L'esigenza

Gli enti preposti alla manutenzione stradale e ferroviaria o alla pianificazione territoriale devono spesso fronteggiare difficoltà legate da un lato alla limitata disponibilità finanziaria e dall'altro alla necessità di mantenere e potenziare le reti viarie andando a intervenire in primis sulle zone potenzialmente più critiche da un punto di vista del rischio idraulico e quindi della incolumità delle persone e l'integrità delle infrastrutture. Data la complessità dei fenomeni fisici che caratterizzano i meccanismi di generazione dei deflussi superficiale e di propagazione delle portate, le progettazioni esecutive delle opere idrauliche necessitano di studi approfonditi che richiedono tempi, e quindi costi,





che non sono sostenibili nel breve periodo in un contesto di gestione delle infrastrutture a larga scala. Ad esempio la città di Roma è attraversata da decine di piccoli fossi caratterizzati da centinaia di attraversamenti per interferenze con la rete idrografica, ormai costruiti da diversi decenni e che richiederebbero degli studi ad hoc per la loro verifica a seguito nella notevole variazione degli usi del suolo avvenuta negli ultimi decenni. Lo sviluppo del toolbox presentato nel paper è finalizzato alla verifica speditiva degli attraversamenti viari a partire da un numero limitato dati in input ampiamente e liberamente disponibili (es. Modelli Digitali del Terreno – DTM - , usi del suolo, piogge sintetiche) che permetta una valutazione in larga scala delle principali criticità idrauliche che caratterizzano la rete viaria in modo da pianificare le attività e ottimizzare gli investimenti ancor prima di finanziare degli studi specialistici più avanzati.

3. La soluzione

Di seguito vengono illustrati i tools di:

1. *Hydrobase*, per il preprocessing di DTM finalizzato all'estrazione del reticolo idrografico nell'area di studio
2. *Basins*, per la delineazione dei bacini idrografici che intersecano l'infrastruttura viaria
3. *Hydrology*, per la generazione delle portate di picco e degli idrogrammi di piena di ciascuna intersezione.
4. *Culverts design*, per la verifica/dimensionamento degli attraversamenti sulla base dell'idrologia di piena

I successivi sottoparagrafi descrivono nel dettaglio i tools sopra menzionati.

3.1 Hydrobase

L'hydrobase è un tool di pre-processing che applica algoritmi di terrain analysis su DTM per la rimozione delle depressioni superficiali (*pit filling* - Jenson and Domingue 1988) e la generazione delle mappe cella a cella, delle direzioni di drenaggio e dei contributi d'area (*flow direction* e *flow accumulation* - Tarboton et al. 1991) e la successiva estrazione del reticolo idrografico. Il tool richiede in input:

- Un DTM in formato Esri GRID o ASCII.
- Un valore di area soglia di drenaggio (in km²) per la definizione delle celle considerate canali da distinguere da quelle di versante, caratterizzate da meccanismi di scorrimento superficiale differenti. Tale valore è solitamente stabilito sulla base dell'esperienza del progettista e può variare da pochi chilometri quadri a pochi ettari.

3.2 Basins

Il tool basins è finalizzato alla delineazione dei bacini idrografici che intersecano l'infrastruttura viaria. I bacini sono rappresentati come shapefile poligonale caratterizzati da un codice identificativo riportato nel campo "Code". La geometria e i codici dei bacini possono essere modificati manualmente dall'utente a seconda delle esigenze.

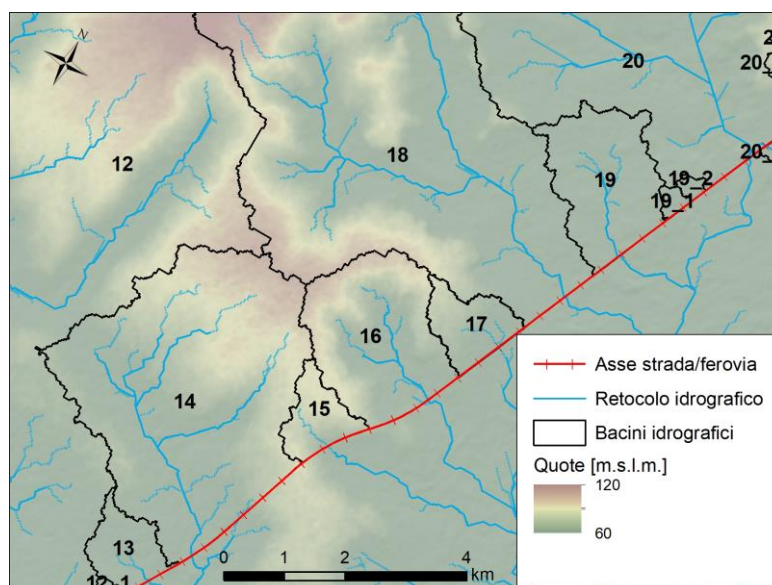


Figura 1. Esempio di Output del tool Basins





Il tool richiede in input:

Il DTM (con il percorso assoluto del file) utilizzato per il modulo Hydrobase

- Il valore di area soglia di drenaggio (in km²)
- La polilinea dell'asse dell'infrastruttura viaria che verrà intersecata con il reticolo idrografico per la delineazione dei bacini idrografici.

3.3 Hydrology

Il tool Hydrology permette di calcolare gli idrogrammi di piena e le portate al colmo per ciascun bacino idrografico delineato con il tool *Basins*. Le portate di piena vengono determinate tramite la formula di convoluzione

$$Q_n = \int_0^n I(t) \cdot IUH(t - \tau) dt \quad [1]$$

Dove Q_n è la portata in funzione del tempo, $I(t)$ è l'intensità netta di precipitazione, $IUH(t - \tau)$ è la funzione unitaria di risposta del bacino, $(t - \tau)$ è il lag time di risposta del bacino rispetto all'input $I(t)$, dt è l'intervallo di tempo.

L'equazione [1] è discretizzata nella seguente forma per ottenere uno ietogramma discreto:

$$Q_n = \sum_{m=1}^n P_m \cdot IUH_{n-m+1} \quad [2]$$

Dove Q_n è la portata al n -time step, P_m è la pioggia al m -time step e IUH_{n-m+1} è funzione di risposta unitaria del bacino al time step $m-n+1$. Lo schema metodologico è illustrato in Figura 2.

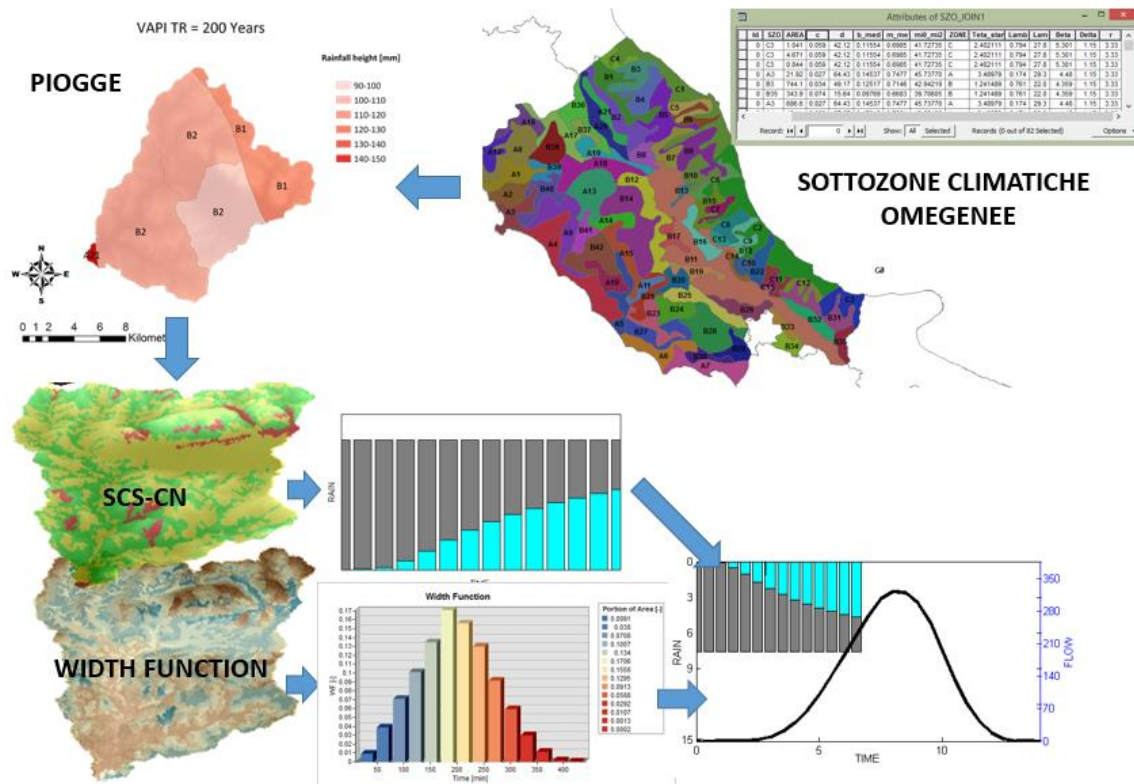




Figura 2. Metodologia di generazione dell'idrogramma di piena: Metodo VAPI per la generazione delle piogge sintetiche, metodo SCS-CN per la stima del tasso di infiltrazione, metodo WFIUH per la determinazione della risposta unitaria del bacino.

L'intensità di pioggia può essere assegnata manualmente dall'utente oppure, se la zona in esame ricade nell'Italia centrale, il tool prende in input i parametri statistici delle Sottozone Climatiche Omogenee del metodo VAPI (Rossi and Villani, 1994).

La funzione di risposta del bacino (IUH) per ciascuna cella del dominio x , determinata con metodo WFIUH (Grimaldi et al., 2012), è espressa con la seguente formula:

$$WFIUH(t) = FT = \frac{L_c(x)}{v_c(x)} + \frac{L_h(x)}{v_h(x)} \quad [3]$$

dove FT è flow time ossia l'istogramma dei contributi d'area che arrivano alla sezione di chiusura per ciascun time step, L_c e L_h sono rispettivamente le distanze idrologiche di canale e di versante, v_c e v_h sono le velocità di canale e di versante. Le distanze idrologiche (L_c e L_h) sono misurate per ciascuna cella del bacino lungo le direzioni di drenaggio determinate con gli algoritmi di *terrain analysis* in ambiente GIS (Jenson and Domingue 1988). Le velocità di canale e di versante sono determinate in funzione della pendenza e dell'uso del suolo (Grimaldi et al. 2010).

L'intensità di pioggia netta è calcolata con metodo SCS-CN sviluppato dall' USDA Natural Resources Conservation Service (Cronshey, 1986).

Il tool necessita dei seguenti dati in input:

- Il DTM (con il percorso assoluto del file) utilizzato per il modulo Hydrobase
- Il valore dell'area soglia di drenaggio (in km²)
- Lo shape dei bacini idrografici generati con il tool *Basins*.
- Il time step della simulazione
- La mappa degli usi del suolo con i rispettivi valori di CN
- I parametri per l'applicazione del metodo SCS-CN (coefficiente di Initial Abstraction e Antecedent Soil Moisture Condition – AMC)
- Valore di intensità di pioggia di progetto o in alternativa la scelta del metodo VAPI valida per l'Italia Centrale.

Oltre ai risultati tabellari degli idrogrammi di piena e delle portate di picco associati a ciascun codice del bacino, il tool restituisce in output lo shapefile dei bacini idrografici e dei relativi nodi di intersezione corredati degli attributi relativi all'idrologia di piena (portata di picco, volume di piena)

3.4 Culverts design

Per ciascuna intersezione del reticolo idrografico con l'asse della rete viaria, il tool Culvert Design:

- Determina le dimensioni minime dei tombini necessarie a smaltire la portata di progetto con coefficiente di sicurezza pari al 90%. Il tool considera tombini a sezione circolare o sezione rettangolare, secondo diverse larghezze della base della sezione (Figura 3).
- Se presenti, verifica le dimensioni attuali dei tombini.

Il tool richiede in input:

- Lo shapefile dei nodi di intersezione del reticolo idrografico con l'asse della rete viaria
- L'eventuale tabella delle dei tombini esistenti (con specificazione di forma della sezione, dimensioni e pendenza longitudinale).

I risultati sono forniti in formato tabellare e grafica (Figura 3)



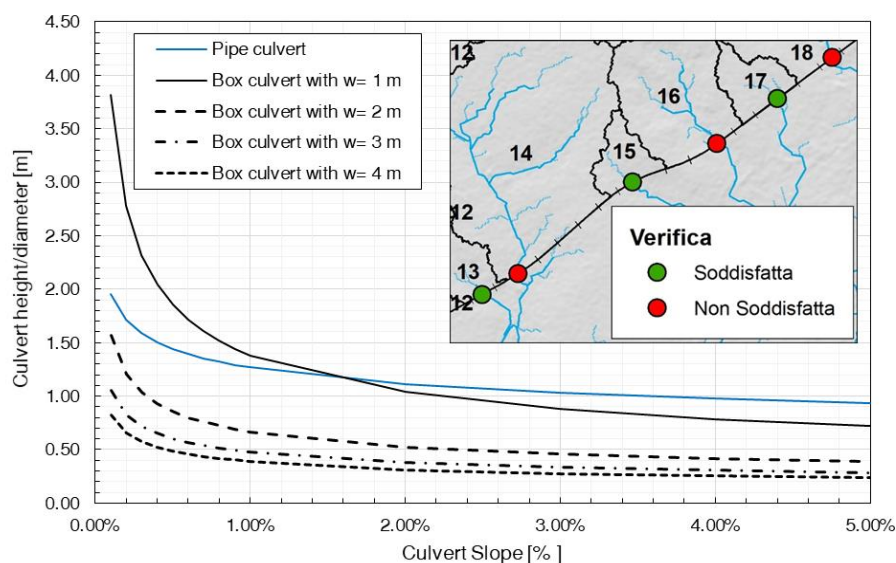


Figura 3. Esempio di grafico in output al tool *Culvert Design* che fornisce le dimensioni minime dei tombini a sezione circolare o rettangolare per differenti pendenze longitudinali.

4. Il cambiamento

Il toolbox illustrato nel presente lavoro costituisce uno strumento innovativo per la verifica o il dimensionamento speditivo degli attraversamenti di una rete stradale o ferroviaria. La rapidità e l'esiguo numero di dati richiesti in input costituiscono un punto di forza in fase di pianificazione di eventuali interventi a larga scala.

Nel caso la zona in esame presenti una morfologia particolarmente pianeggiante, gli algoritmi di *terrain analysis (pit filling e flow direction)* propedeutici all'estrazione del reticolo e il tracciamento dei bacini idrografici potrebbero avere delle forti limitazioni (Nardi et al., 2008). In questi casi, si raccomanda particolare attenzione nell'utilizzo del toolbox, ad esempio ricondizionando il DTM con l'ausilio di un reticolo idrografico disponibile utilizzando il toolbox di ArcHydro <http://downloads.esri.com/archydro/ArcHydro/Setup/10.5/>.

Attualmente il toolbox richiede dati di intensità di pioggia se la zona in esame non appartiene all'Italia Centrale, per la quale sono stati predisposti i parametri statistici delle Sottozone Climatiche Omogenee relative al metodo VAPI. Possibili sviluppi futuri possono riguardare l'estensione della disponibilità di dati statistici delle piogge estreme per l'intero territorio nazionale.

5. Riferimenti

Cronshey, R. (1986). Urban hydrology for small watersheds. US Dept. of Agriculture, Soil Conservation Service, Engineering Division.

Grimaldi, S., Petroselli, A., Alonso, G., & Nardi, F. (2010). Flow time estimation with spatially variable hillslope velocity in ungauged basins, *Advances in Water Resources*, 33(10), 1216-1223.

Grimaldi, S., Petroselli, A., & Nardi, F. (2012). A parsimonious geomorphological unit hydrograph for rainfall-runoff modelling in small ungauged basins, *Hydrological Sciences Journal*, 57(1), 73-83.

Jenson, S. K., & Domingue, J. O. (1988). Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis, *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 54(11), 1593-1600.

Nardi, F., Grimaldi, S., Santini, M., Petroselli, A., & Ubertini, L. (2008). Hydrogeomorphic properties of simulated drainage patterns using digital elevation models: the flat area issue, *Hydrological Sciences Journal*, 53(6), 1176-1193.

Nardi, F., Annis, A. and Biscarini, C., (2018). On the impact of urbanization on flood hydrology of small ungauged basins: The case study of the Tiber river tributary network within the city of Rome, *Journal of Flood Risk Management*, 11: S594-S603.





Rossi, F. and P. Villani (1994). *A project for regional analysis of floods in Italy*. Coping with floods , NATO ASI Series (Series E: Applied Sciences), vol 257. Springer, Dordrecht.

Tarboton, D. G., Bras, R. L., & Rodriguez-Iturbe, I. (1991). On the extraction of channel networks from digital elevation data. *Hydrological processes*, 5(1), 81-100.

