

EFFETTI DELL'URBANIZZAZIONE E DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO SULLA FORMAZIONE DEL DEFLUSSO A BRESCIA

Arianna Dada ^{1*}, Paolo Leoni ¹, Francesca Berteni ¹, Giovanna Grossi ¹

(1) Dipartimento di Ingegneria Civile Ambiente Territorio Architettura e Matematica, Università degli Studi di Brescia (Brescia)

*email: a.dada@unibs.it

ASPETTI CHIAVE

- *Analisi dell'evoluzione dell'area urbana*
- *Stima del coefficiente udometrico*
- *Effetti combinati dell'espansione urbana e del cambiamento climatico sulla stima della portata critica per i collettori fognari*

1 PREMESSA

Le città italiane sono un esempio emblematico delle criticità idraulico-ambientali che derivano dall'intensa impermeabilizzazione del suolo, spesso associata all'inadeguatezza ed obsolescenza delle reti di drenaggio urbano. Il continuo consumo di suolo abbinato ad un incremento dei fenomeni meteorici di forte intensità e di breve durata sta determinando un progressivo aumento del volume di deflusso superficiale generato dal singolo evento meteorico e sta rendendo le città sempre più vulnerabili e soggette a fenomeni alluvionali (Melchiorri et al. 2018, Sriqongsitanon e Taesombat, 2011). Il coefficiente di afflusso ϕ rappresenta uno dei fattori più importanti nella determinazione della risposta idrologica del bacino urbano e della dinamica di formazione del deflusso superficiale. In questo studio, a partire da un evento pluviometrico corrispondente a un tempo di ritorno di 20 anni, è stato utilizzato il metodo dell'invaso per valutare le portate critiche dei collettori fognari e le variazioni del coefficiente udometrico nell'area urbana della città di Brescia. Il coefficiente di afflusso è stato calcolato sulla base della copertura del suolo rilevata da ortofoto degli anni 1954, 1975, 1998 e 2022 tramite software GIS. Successivamente sono stati valutati gli effetti combinati dell'urbanizzazione e del cambiamento climatico sulla formazione di deflusso in uno scenario futuro, corrispondente all'anno 2060 e agli scenari rappresentativi secondo l'IPCC, stimando il coefficiente di afflusso e l'ipotetica area urbanizzata futura tramite regressione quadratica.

2 CASO STUDIO: BRESCIA

2.1 Caratteristiche del bacino urbano

Il territorio comunale di Brescia si estende per 90.3 km² nell'alta Pianura Padana, allo sbocco della Val Trompia, ed è delimitato a nord dalle Prealpi Bresciane. L'area è per la maggior parte pianeggiante, comprende tuttavia parte del Monte Maddalena e per questo presenta un'escursione altimetrica di 770 m, passando da 104 m.s.l.m. a 874 m.s.l.m. Negli ultimi decenni il centro urbano ha registrato uno sviluppo considerevole che ha coinvolto in un primo tempo il centro storico, che si è esteso soprattutto fuori dalle mura occidentali, fino alla sede ferroviaria. Successivamente, le intense attività industriali e commerciali hanno favorito l'allargarsi dell'abitato anche verso nord e verso est, passando da circa 10 km² nell'anno 1954 ai 40 km² attuali. L'intera area urbanizzata può essere quindi suddivisa in due aree principali: una centrale omogenea contenuta all'interno delle mura storiche rimasta invariata negli anni e una parte esterna, tutt'ora in espansione, che negli anni è stata interessata da continue trasformazioni urbane responsabili dell'attuale configurazione di ambiente urbano eterogeneo.

Per gli scopi dell'analisi oggetto di questo lavoro, l'area di studio considerata non ha riguardato l'intera superficie del territorio comunale, ma è stata limitata alla sola superficie urbanizzata nei rispettivi anni considerati.

3 METODI E MODELLI

3.1 Stima del coefficiente di afflusso

L'effetto del cambiamento dell'uso del suolo si manifesta in particolar modo tramite la variazione del coefficiente di afflusso, il quale indica il rapporto tra la pioggia netta P_n (intesa come la parte del volume di pioggia dell'evento meteorico considerato che si trasforma in scorrimento superficiale) e la pioggia lorda P , ovvero il volume totale degli afflussi meteorici durante l'evento (Moisello 2018). Dipende dunque, attraverso la pioggia netta, da tutte le cause che determinano l'entità delle perdite idrologiche per infiltrazione e per evapotraspirazione e può quindi variare tra 0, per perdite che assorbono completamente l'afflusso, e 1, nel caso puramente teorico di perdite nulle.

Per il calcolo del coefficiente è stata utilizzata l'eq. 1 (Rasulo e Gissoni, 1997) che tiene conto del tempo di ritorno dell'evento, e quindi indirettamente dell'altezza di precipitazione.

$$\varphi = \varphi_{IMP} \cdot IMP + \varphi_{PERM} \cdot (1 - IMP) \quad (1)$$

dove φ_{IMP} è il coefficiente di afflusso delle aree impermeabili, φ_{PERM} è il coefficiente di afflusso delle aree permeabili, IMP è la frazione impermeabile (rapporto tra l'area impermeabile e l'area totale del bacino) e φ è il coefficiente di afflusso dell'area considerata. Per quanto riguarda i valori di IMP si è fatto riferimento a valori indicativi per diverse tipologie urbane (Tab. 1), mentre per φ_{IMP} e φ_{PERM} si è scelto di adottare i valori rispettivamente di 0.8 e 0.2 in funzione del tempo di ritorno.

Tipologia urbana	IMP
Commerciale	0.70 – 0.95
Residenziale	
Unità monofamiliari	0.30 – 0.50
Unità plurifamiliari isolate	0.40 – 0.60
Unità plurifamiliari contigue	0.60 – 0.75
Edifici per appartamenti	0.50 – 0.70
Industriale (industria pesante)	0.50 – 0.80
Aree verdi urbane	0.20 – 0.35
Aree verdi agricole	0.00 – 0.30
Aree non urbanizzate	0.00 – 0.30

Tabella 1. Valori del coefficiente di impermeabilità (Becciu e Paoletti, 2020)

Poiché il territorio è stato suddiviso in aree omogenee caratterizzate da diverse tipologie urbanistiche, il coefficiente di afflusso medio è stato calcolato come media pesata dei valori corrispondenti alle diverse tipologie utilizzando la relazione:

$$\varphi = \frac{\sum_i S_i \varphi_i}{\sum_i S_i} \quad (2)$$

dove S_i è l'area della zona omogenea e φ_i è il coefficiente di afflusso relativo alla i -esima zona omogenea.

3.2 Metodo dell'invaso: metodo italiano diretto

Per la stima del coefficiente udometrico e della portata critica è stato adottato il metodo italiano diretto (Puppini, 1932; Supino, 1929), estensione del metodo italiano dell'invaso, che considera come portata critica (massima portata al colmo al variare della durata dell'evento di pioggia a intensità costante) la portata pari a quella di riempimento della rete nella sezione considerata. Il volume invasato nella rete W_r è stato calcolato pari all'80% della somma dei volumi dei collettori costituenti la rete a monte. Per la stima dei piccoli invasi W_o , è stato adottato un valore di w_o pari a 40 m³/ha moltiplicato per l'area considerata. È stato calcolato quindi

il volume d'invaso specifico e successivamente il coefficiente udometrico (eq. 3), ovvero la portata massima che può defluire per unità di superficie, e la portata critica (eq. 4):

$$u = \frac{2168 n' (\varphi a')^{\frac{1}{n'}}}{W^{\frac{1}{n'} - 1}} \quad (3)$$

$$Q_c = S \cdot u \quad (4)$$

dove a' è espressa in m/h^n .

4 RISULTATI E CONCLUSIONI

In questo studio, sono stati analizzati gli effetti della copertura del suolo e del cambiamento climatico sulla formazione dei volumi di deflusso superficiale. Per l'analisi sono state prese in esame cinque condizioni urbane diverse, corrispondenti agli anni 1954, 1975, 1998, 2022 e 2060. Per ognuna di esse è stata suddivisa l'area urbanizzata in zone omogenee, in base alla tipologia urbanistica, alle quali è stato attribuito uno specifico valore di IMP, φ_{IMP} e φ_{PERM} (dipendenti dal tempo di ritorno dell'evento piovoso considerato) al fine di calcolare le variazioni del coefficiente di afflusso avvenute negli ultimi 70 anni (Fig. 1). I valori calcolati sono stati poi utilizzati per stimare il coefficiente udometrico e la portata critica relativa all'intera area urbanizzata. Per i calcoli relativi allo scenario futuro (2060) è stata ricavata la linea interpolante per ciascuna delle variabili considerate (coeff. di afflusso, IMP e superficie urbanizzata) attraverso la quale è stato possibile estrapolare i valori sia per uno scenario di sola espansione urbana che per uno scenario di sviluppo urbano abbinato al cambiamento climatico previsto in termini di incremento massimo dell'intensità di precipitazione per RCP2.6, RCP4.5 e RCP8.5 (Berteni e Grossi, 2020).

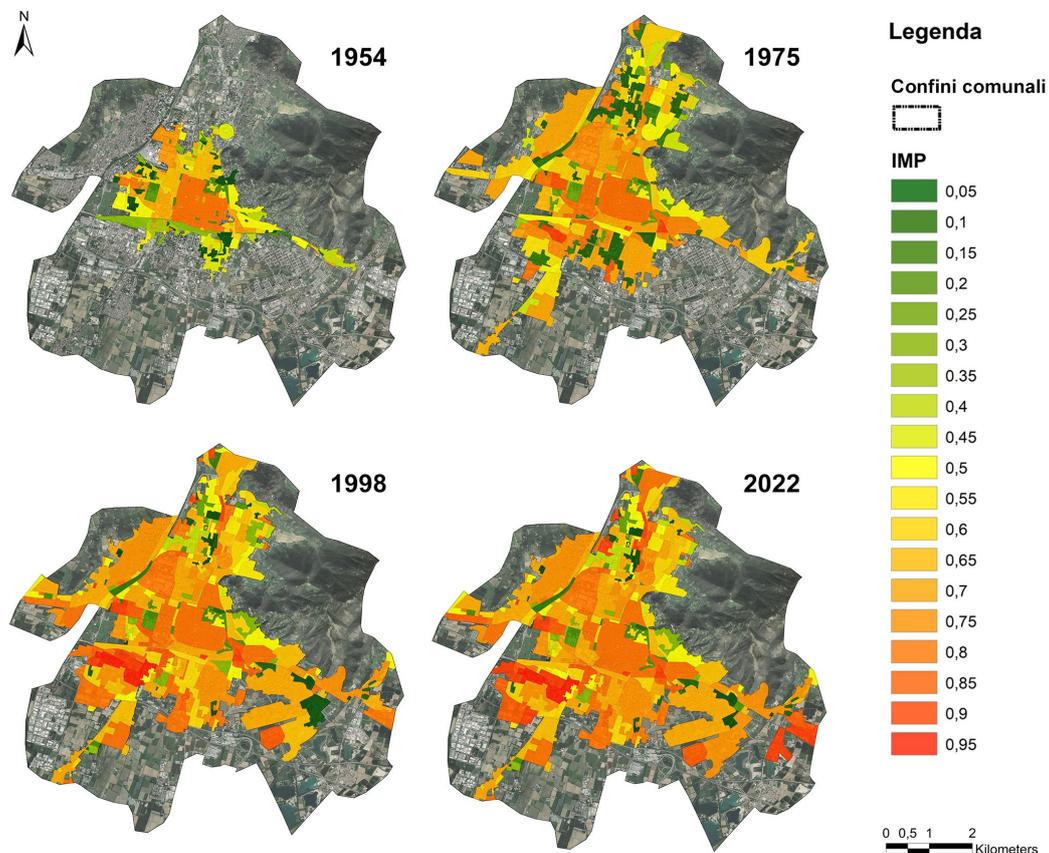


Figura 1. Evoluzione urbana ed incremento di consumo di suolo associato ad un aumento della frazione impermeabile

I risultati ottenuti (tab.2, fig. 2) mostrano un evidente aumento di tutte le variabili analizzate. Per lo scenario futuro relativo al 2060 sono stati stimati il coefficiente udometrico e la portata critica sia nello scenario di sola espansione urbana che nel caso di espansione urbana combinata al cambiamento climatico. Questa seconda condizione evidenzia come le proiezioni climatiche previste per il prossimo futuro comportino un ulteriore aggravamento della condizione di drenaggio urbano.

Anno	IMP (-)	Coefficiente di afflusso (-)	Coefficiente udometrico (l/s ha)	Portata critica (m ³ /s)
1954	0.537	0.469	80.4	93.4
1975	0.575	0.544	89.2	279.8
1998	0.661	0.595	110.4	447.1
2021	0.682	0.609	111.4	461.0
2060	0.729	0.642	130.2	556.4
2060 (con c.c.)	0.729	0.642	182.5	780.0

Tabella 2. Risultati ottenuti relativamente al coefficiente di afflusso (ϕ), al coefficiente udometrico (u) e alla portata critica (Q_c)

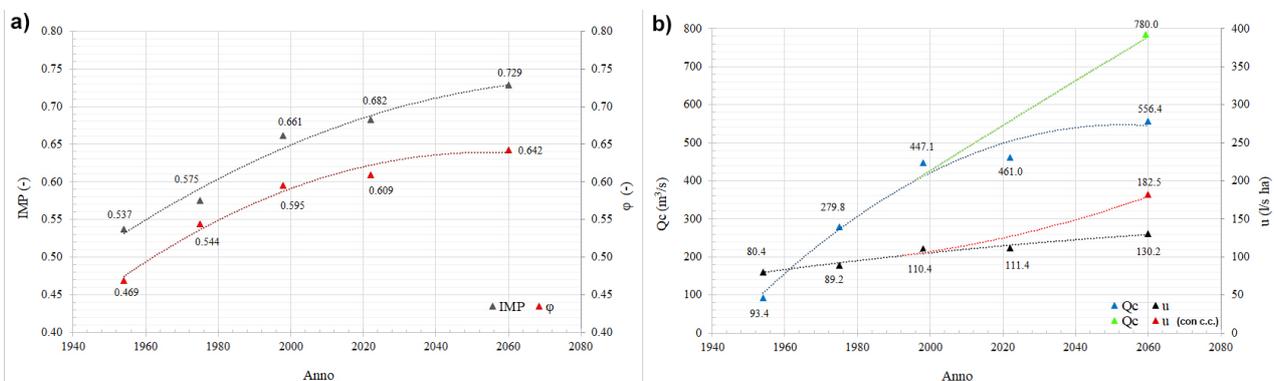


Figura 2. a) Confronto tra l'evoluzione del coefficiente di afflusso e quella della frazione impermeabile b) Confronto tra l'evoluzione della portata critica e quella del coefficiente udometrico con e senza cambiamento climatico

È anche interessante notare come dal 1998 al 2022, seppur sia aumentata la portata critica, l'entrata in vigore della Direttiva 2000/60CE seguita dalla Direttiva 2007/60/CE e l'introduzione delle politiche di invarianza idraulica e idrologica abbiano determinato un rallentamento dei processi di sfruttamento del suolo in favore della sicurezza idraulica. In particolar modo è stato riscontrato che, grazie all'adozione di politiche su un uso più sostenibile del suolo che impongono, per ogni nuova impermeabilizzazione, la realizzazione di opere di mitigazione del rischio idraulico, il coefficiente d'afflusso e la portata critica siano passate da un andamento iniziale strettamente crescente ad un valore quasi stazionario. In questo contesto acquisisce particolare importanza la conoscenza delle condizioni precedenti per fornire linee guida utili per una corretta pianificazione futura.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Becciu, G., Paoletti, A. Fondamenti di costruzioni idrauliche, UTET Scienze Tecniche, Milano, 2020.
- Bollettino Ufficiale Regione Lombardia (2019) Regolamento Regionale 19 aprile 2019, n. 8: "Disposizioni sull'applicazione dei principi di invarianza idraulica ed idrologica. Modifiche al regolamento regionale 23 novembre 2017, n. 7", 17, suppl. del 24 Aprile 2019.
- Berteni F, Grossi G (2020) Water soil erosion evaluation in a small alpine catchment located in Northern Italy: potential effects of climate change. *Geosciences* 10:386. <https://doi.org/10.3390/geosciences10100386>.
- Melchiorri, M., Florczyk, A.J., Freire, S., Schiavina, M., Pesaresi, M., Kemper, T. Unveiling 25 Years of Planetary Urbanization with Remote Sensing: Perspectives from the Global Human Settlement Layer, *Remote Sensing*. 2018; 10(5):768. <https://doi.org/10.3390/rs10050768>
- Moisello, U. *Idrologia tecnica*, Quarte Edizione, MEDEA, Pavia, 2018.
- Sriwongsitanon, N.; Taesombat, W. Effects of land cover on runoff coefficient. *Journal of Hydrology*. 2011, 410, 226–238.