

Pericolosità idrologica di Torino

Hydrological hazard of Turin

Parole chiave: pericolosità idrologica, rischio di alluvione, città di Torino
Key words: hydrological hazard, flood risk, city of Turin

Battista Taboni

Università degli Studi di Torino -
Vicepresidente SIGEA-APS Piemonte-VdA
E-mail: battista.taboni@unito.it

Annalisa Bove

Geologo, Libero Professionista -
Presidente SIGEA-APS Piemonte-VdA
E-mail: annalisa.bove@geologiapiemonte.it

Gessica Umili

Università degli Studi di Torino -
Segretario SIGEA-APS Piemonte-VdA
E-mail: gessica.umili@unito.it

Luciano Masciocco

Università degli Studi di Torino -
Consigliere nazionale SIGEA-APS
E-mail: luciano.masciocco@unito.it

PREMESSA

Torino è chiamata la città dei quattro fiumi: sorta sulla sponda sinistra del F. Po, in posizione sicura dal punto di vista idrologico, si è via via estesa con l'edificazione occupando spazi di competenza fluviale non solo del Po, estendendosi anche in destra idrografica, ma anche di tre suoi affluenti di sinistra (Fig. 1), da monte verso valle: il Sangone (torrente lungo circa 47 km, con un bacino idrografico di circa 270 km²), la Dora Riparia (fiume con un bacino di 1340 km², il cui percorso si sviluppa quasi interamente nella Val di Susa) e la Stura di Lanzo (torrente lungo 68,8 km e con un bacino idrografico

ampio 836 km²). Nell'articolo si mette in evidenza come, per l'ampiezza del proprio bacino e per l'occupazione delle fasce di esondazione da parte degli edificati, il corso d'acqua più pericoloso per la Città di Torino sia la Dora Riparia.

INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il fiume Dora Riparia si origina sulle Alpi Cozie, dalla confluenza di due rami sorgentizi: la Piccola Dora, che nasce in territorio francese presso il colle del Monginevro, e il torrente Ripa, proveniente dalla Valle Argentera e che a sua volta riceve le acque del torrente Thurax.

Giunto presso Oulx il fiume si ingrossa notevolmente grazie all'apporto da sinistra del suo maggiore affluente d'alto corso, la Dora di Bardonecchia, scorrendo così in un ampio greto ciottoloso per poi restringersi in una stretta gola poco prima di Susa dove riceve il torrente Cenischia, ultimo tributario degno di nota. Attraversata Susa, riceve solo affluenti di scarsa importanza e prende a scorrere in direzione sud-est bagnando la cittadina di Bussoleno e tutta la bassa Valle di Susa. Giunto in pianura attraversa poi i territori dei comuni di Avigliana, Alpignano, Pianezza, Collegno e, per ultima, l'ampia area

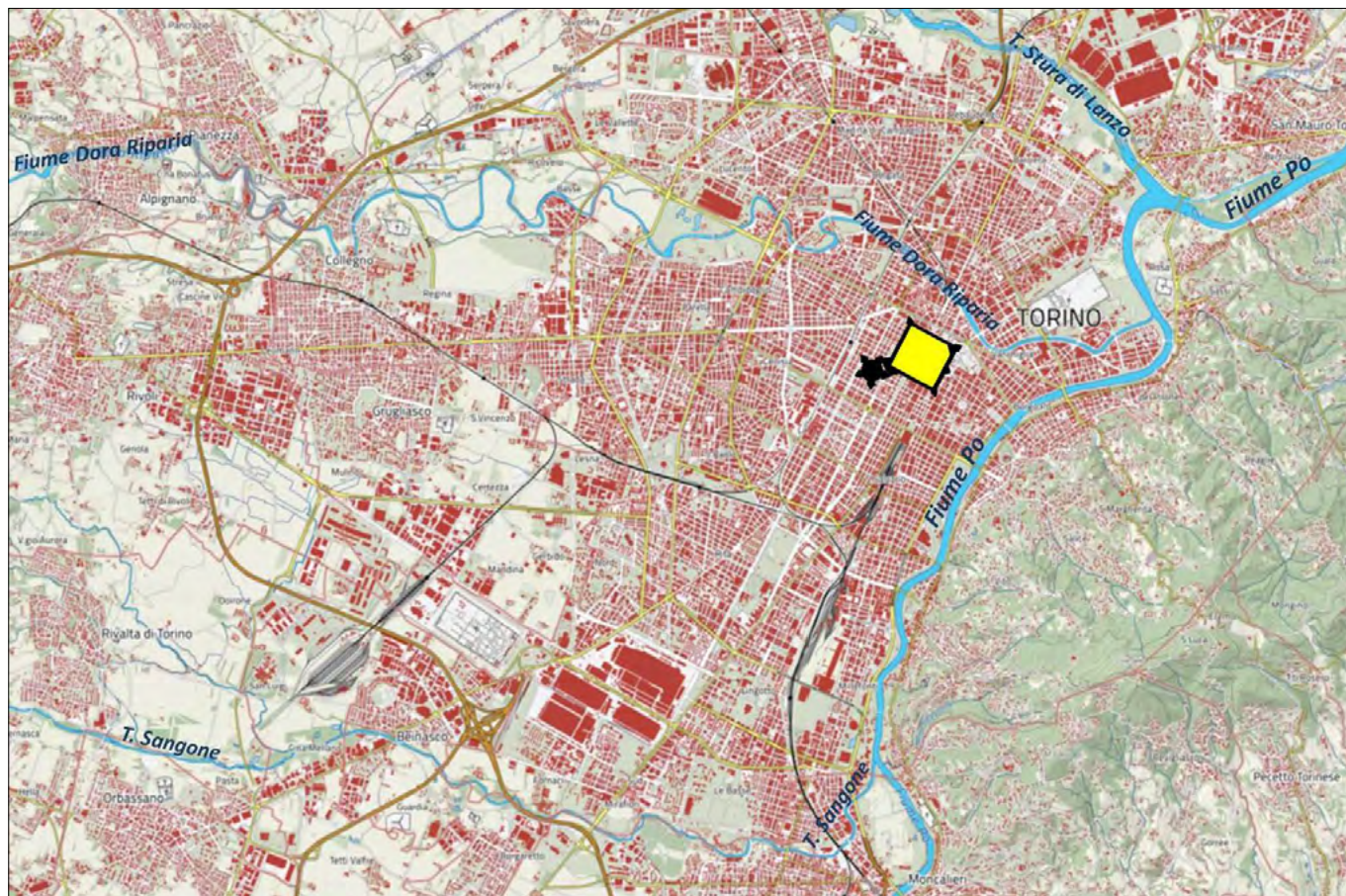


Figura 1. La città di Torino, sorta a distanza di sicurezza dal pericolo idrologico (Augusta Taurinorum in giallo, la città fortezza del sedicesimo secolo in nero) si è sconsideratamente espansa sul F. Po e sui suoi affluenti di sinistra: il T. Sangone, il F. Dora Baltea e il T. Stura di Lanzo

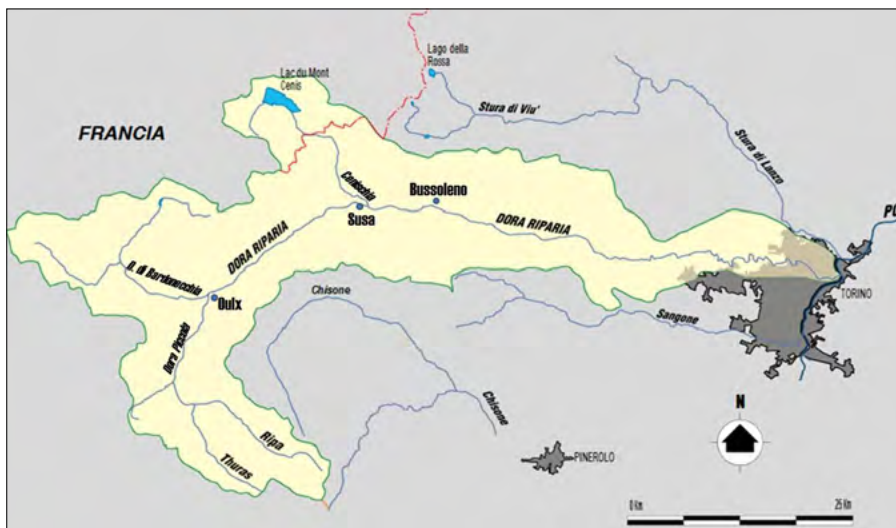


Figura 2. Dalle sorgenti della Ripa alla confluenza nel Po, la Dora Riparia misura circa 125 km. Il suo bacino idrografico si estende per 1340 km²



Figura 3. Una volta entrata in Torino, dopo aver attraversato il parco della Pellerina ed aver contornato su tre lati il perimetro dell'Ospedale "Amedeo di Savoia", la Dora Riparia continua la sua discesa nella parte nord della città, andando poi a confluire nel Po presso il Parco Colletta. I numeri segnalano le due sezioni fluviali prese in considerazione per le verifiche idrauliche. Sul Ponte Washington è ubicata la stazione idrografica "Dora Riparia a Torino"

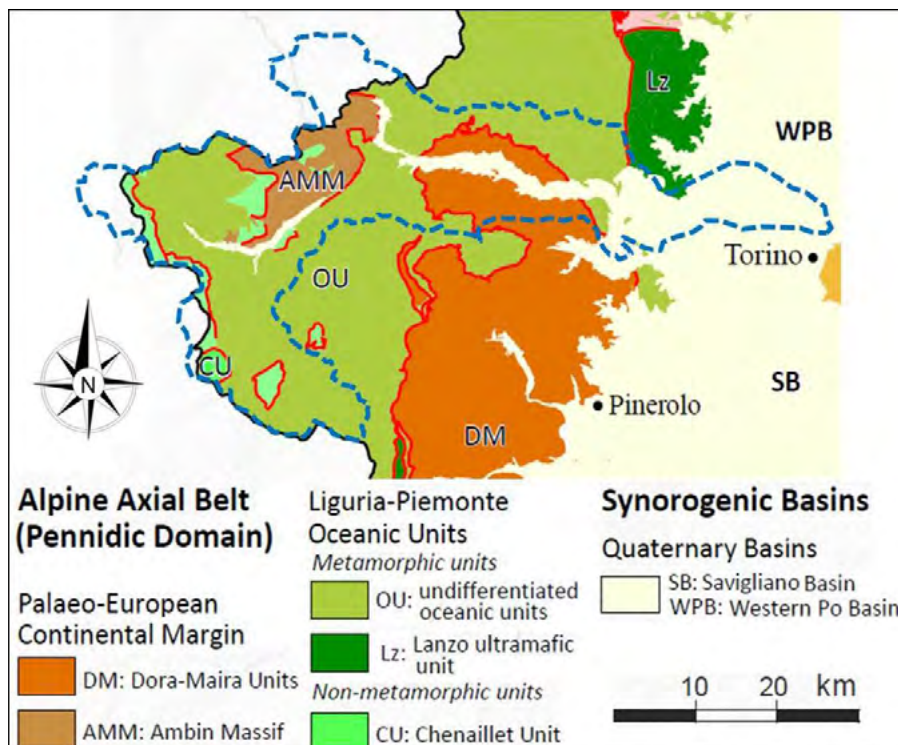


Figura 4. Inquadramento geologico del bacino della Dora Riparia (tratteggiato azzurro). Da Piana et al. (2017) modificato

metropolitana di Torino (Fig. 2). Considerando l'origine alle sorgenti della Ripa, la lunghezza della Dora Riparia è di circa 125 km.

Entrando nella città di Torino, dopo aver attraversato il parco della Pellerina ed aver contornato su tre lati il perimetro dell'Ospedale "Amedeo di Savoia", la Dora Riparia continua la sua discesa nella parte nord della città, andando poi a confluire nel F. Po presso il Parco Colletta (Fig. 3).

INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Come si può osservare dalla figura 4, dal punto di vista geologico, il bacino della Dora Riparia è inserito interamente nella zona assiale della catena alpina (Dominio Pennidico). Vi affiorano rocce del margine continentale paleo-europeo e in particolare le Unità del Dora Maira (DM) e del Massiccio d'Ambin (AMM) e rocce delle Unità Oceaniche Liguri Piemontesi sia metamorfiche (Unità oceaniche indifferenziate - OU e Unità ultrabasiche di Lanzo - Lz) sia non metamorfiche (Unità Chenaillet - CU). Litologicamente sono rappresentate in maggioranza le rocce silicatiche sia acide (gneiss e micascisti) sia basiche e ultrabasiche (pietre verdi delle unità oceaniche), in minor misura le rocce miste (calcescisti) e sporadicamente calcari, dolomie e gessi. Il fondovalle e il settore di pianura sono occupati dai sedimenti quaternari del Bacino sinorogenico del Po occidentale (Piana et al., 2017).

VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ IDROLOGICA

La valutazione della pericolosità idrologica di questa zona ha comportato la verifica idraulica su due sezioni fluviali ritenute critiche: la sezione 1 è stata individuata immediatamente a monte del ponte di C.so Svizzera, tratto da cui il corso d'acqua può esondare inondando il plesso dell'ospedale Amedeo di Savoia (Fig. 5).

La sezione 2 è localizzata in corrispondenza del Parco Dora, ex zona industriale riqualificata a partire da circa venti anni fa, mettendo di nuovo a luce la Dora che in quel tratto viaggiava tombinata per centinaia di metri (Fig. 6).

Data la relativa vicinanza delle due sezioni, per i calcoli idraulici si è considerata uguale l'area A del bacino sotteso dalle due sezioni (pari a 1320 km²).



Figura 5. Ubicazione della sezione 1



Figura 6. Ubicazione della sezione 2

ANALISI PLUVIOMETRICA

I dati delle piogge intense riferiti al bacino del F. Dora Riparia sono stati estratti dal “GeoPortale ARPA Piemonte – Atlante piogge intense in Piemonte” (Rif. WEB n. 1).

Su questo sito, è riportato il territorio regionale suddiviso in celle quadrate, di lato pari a 500 metri, per ciascuna delle quali è possibile estrapolare i parametri delle precipitazioni intense con assegnato tempo di ritorno. Mediando i dati relativi a un numero congruo di celle omogeneamente distribuite del bacino del F. Dora Riparia (n. 300), sono state ricavate le curve di probabilità pluviometrica rappresentative del bacino in esame (Fig. 7).

CALCOLO DELLE PORTATE DI MASSIMA PIENA

La portata di massima piena viene calcolata con il Metodo Razionale attraverso la seguente relazione:

$$Q_{max} = k \cdot C \cdot i \cdot A$$

dove:

- Q_{max} è la portata di massima piena del corso d'acqua espressa in m^3/s ;
- k è un fattore adimensionale che tiene conto della non uniformità delle unità di misura. Se A è espressa in km^2 ed i in mm/h , per ottenere la portata in m^3/s bisogna attribuire a k il valore $1/3,6 = 0,278$;
- C è il coefficiente di deflusso;
- i è l'intensità della precipitazione critica che provoca la piena (mm/ora);
- A è l'area del bacino a monte della sezione presa in esame (km^2)

La precipitazione considerate sono quelle descritte dalle curve di probabilità pluviometrica riportate in Fig. 7.

Per determinare l'intensità critica i , è stato valutato il tempo di corrivazione utilizzando la formula di Giandotti, che viene comunemente usata in Italia per bacini con una superficie maggiore di $20 km^2$ e pertanto idonea allo scopo.

dove:

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,8\sqrt{h_{mr}}}$$

- t_c è il tempo di corrivazione espresso in ore;
- A è l'area del bacino preso in considerazione in km^2 ;
- L è la lunghezza dell'asta fluviale principale fino al punto di misura;
- h_{mr} è l'altezza media del bacino rispetto alla sezione di chiusura.

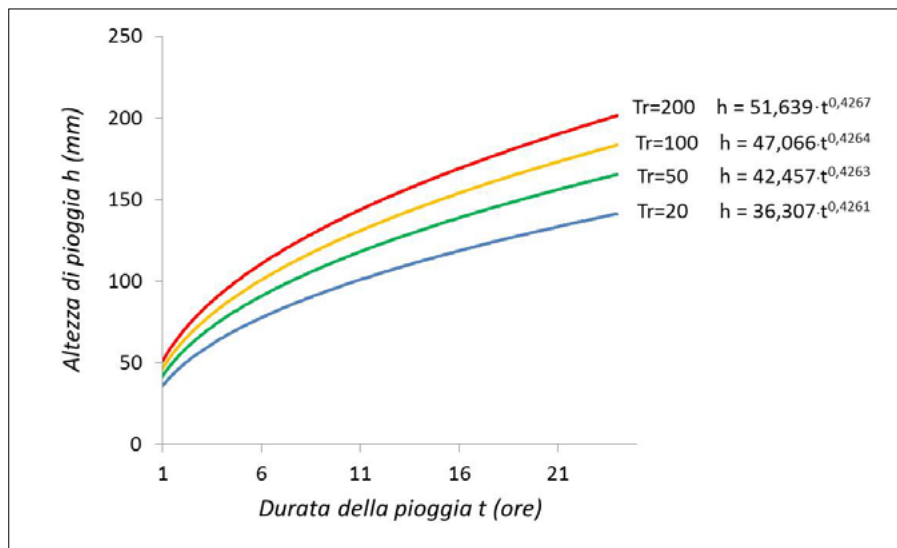


Figura 7. Curve di probabilità pluviometrica rappresentative del bacino

Tabella 1. Parametri fisiografici e tempi di corrivazione del bacino in esame

Area [km ²]	L [km]	h _m [m]	H _{sez} [m]	h _{mr} [m]	t _c [ore]
1320	128,796	1655	230	1425	11,2

Tabella 2. Piogge e intensità critiche ottenute per i diversi tempi di ritorno

Tempo di ritorno [anni]	h _c [mm]	t _c [ore]	i _c [mm/ora]
20	101,676	11,2	9,071
50	118,957	11,2	10,612
100	131,902	11,2	11,767
200	144,823	11,2	12,920

Tabella 3. Uso del suolo nel bacino della Dora Riparia e coefficiente di deflusso medio

Uso del suolo	[km ²]	[%]	C
Zone urbanizzate	50,8	4,3	0,9
Zone industriali, commerciali e reti di comunicazione	7,2	0,6	0,9
Zone estrattive, discariche e cantieri	1,2	0,1	0,9
Zone verdi artificiali non agricole	1,6	0,1	0,6
Seminativi (escluse le risaie)	3,4	0,3	0,7
Prati stabili	24,3	2,0	0,6
Zone agricole eterogenee	137,0	11,5	0,6
Zone boscate	386,9	32,4	0,36
Zone caratterizzate da vegetazione arbustiva e/o erbacea	346,3	29,0	0,62
Zone aperte a vegetazione rada o assente	225,9	18,9	0,7
Corsi d'acqua, canali e idrovie, Bacini d'acqua	1,6	0,1	1
Totali e C medio	1186,1	100,0	0,562

Tabella 4. Portate di massima piena attese alle 2 sezioni di misura per i relativi tempi di ritorno

Tempo di ritorno [anni]	k	i _c [mm/ora]	C	A [km ²]	Q _{max} [m ³ /s]
20	0,278	9,071	0,562	1320	1329,9
50	0,278	10,612	0,562	1320	1331,5
100	0,278	11,767	0,562	1320	1332,6
200	0,278	12,920	0,562	1320	1333,8

In Tab. 1 viene riportato il tempo di corrivazione del bacino, insieme ai parametri fisiografici utilizzati per ricavarlo.

A questo punto, l'intensità critica i_c risulterà dal rapporto tra l'altezza della pioggia di durata pari al tempo di corrivazione h_c (per calcolare la quale basta sostituire t_c nella durata t delle equazioni delle curve di probabilità pluviometrica) e il tempo di corrivazione t_c stesso, e sarà riferita quindi a un determinato tempo di ritorno:

$$i_c = \frac{h_c}{t_c}$$

I dati di pioggia e intensità critica ottenuti per entrambi i bacini sono riportati in Tab. 2.

Un altro parametro nel calcolo della portata di massima piena è rappresentato dal coefficiente di deflusso C che tiene conto della natura dei terreni e del tipo di copertura vegetale e, seppure non venga mai preso in considerazione, dal grado di saturazione del terreno al momento dell'infiltrazione. La copertura vegetale influenza notevolmente la capacità di assorbimento. I boschi tendono ad assorbire maggiormente le precipitazioni e pertanto i valori di C sono minori per i boschi rispetto alle aree a pascolo e a colture agrarie.

In Tab. 3, viene riportato l'uso del suolo nel bacino della Dora Riparia (Rif. WEB n. 2) e i dati utilizzati per il calcolo del coefficiente di deflusso C medio.

Come già detto, l'area A del bacino è di circa 1340 km².

Pertanto, utilizzando i dati ricavati, sono state calcolate le portate di massima piena in corrispondenza delle due sezioni (Tab. 4).

VERIFICHE IDRAULICHE

Una volta calcolate le portate di massima piena attese per i quattro tempi di ritorno in corrispondenza delle sezioni prese in esame, si è verificato se tutte queste portate sarebbero defluite normalmente nell'alveo o se in qualche occasione il fiume avrebbe esondato, inondando le zone abitate circostanti. A tal fine, è stato necessario fare un confronto tra le portate di progetto calcolate precedentemente e la portata massima ammissibile in corrispondenza delle due sezioni, pari al prodotto dell'area A della sezione e la velocità del flusso idrico V :

$$Q_{amm} = A \cdot V$$

Per ricavare l'area A sono stati effettuati sopralluoghi sulle sezioni di interes-

Tabella 5. Valori dell'area, del perimetro bagnato e del raggio idraulico delle due sezioni misurate

Sezione	Area sezione [m ²]	p _b [m]	R [m]
1	234	45,6	5,13
2	248	47,0	5,28

se con battute topografiche per ricavare le quote e misure tramite telemetro per ricavare le lunghezze. Come quota massima della sezione è stato preso il livello base delle abitazioni anche laddove fossero presenti opere di contenimento quali muretti o argini. Questa scelta è dovuta al fatto che l'opera di contenimento può cedere o può comunque essere aggirata a monte del tratto considerato e risultare inutile ai fini della sicurezza degli abitanti. Come quota minima è stata invece presa la quota del fondo del corso d'acqua.

Per determinare la velocità del flusso idrico V delle sezioni, si utilizza la formula di Chézy:

$$V = \chi \cdot \sqrt{R \cdot i}$$

dove:

- V è la velocità media in m/s;
- χ è il coefficiente di Chézy che dipende dalla scabrezza dell'alveo e dal raggio idraulico;
- R è il raggio idraulico in m^{1/2}/s;
- i è la pendenza del fondo espressa in %.

Per raggio idraulico si intende il rapporto tra l'area della sezione e il perimetro bagnato. Per perimetro bagnato si intende la somma tra la lunghezza del fondo dell'alveo e delle sponde.

$$R = \frac{A}{p_b}$$

Con i dati ricavati dalle misure effettuate *in situ*, sono stati ottenuti i raggi idraulici delle due sezioni (Tab. 5).

Per il coefficiente di scabrezza, è stata utilizzata l'equazione di Manning:

$$\chi = \frac{1}{n} * R^{\frac{1}{6}}$$

dove:

- n è il coefficiente di Manning
 - R è il raggio idraulico
- per cui la formula di Chézy diventa:

$$V = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * i^{\frac{1}{2}}$$

Il coefficiente n di Manning è stato calcolato dalla seguente formula (Chow, 1959), rifacendosi ai coefficienti parziali della Tab. 6.

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * m_5$$

I coefficienti parziali utilizzati e i coefficienti n di Manning ricavati nella formula di Chow (1959) sono riportati in Tab. 7.

La pendenza media i dell'asta principale pari al 3% ($i = 0,03$) è stata ricavata come rapporto tra la differenza tra le quote massime e minime dei pixel del DEM e la LLDP, cioè la distanza che intercorre tra la sezione di chiusura e il punto più lontano da essa, posto sul bordo del bacino, misurata seguendo le direzioni di drenaggio (Rif. WEB n. 2).

Coi dati ottenuti, tramite la formula di Chézy sono state calcolate le velocità di deflusso V che, moltiplicate per le aree delle sezioni, forniscono le rispettive portate massime ammissibili per le due sezioni analizzate (Tab. 8).

Tabella 6. Valori da utilizzare per calcolare il coefficiente n di Manning (Chow, 1959)

Condizioni dell'alveo	Valori	
Materiale costituente l'alveo	Terra	0,020
	Roccia	0,025
	Alluvione grossolana	n_0 0,028
	Alluvione fine	0,024
Irregolarità della superficie della sezione	Trascurabile	0,000
	Bassa	n_1 0,005
	Moderata	0,010
	Elevata	0,020
Variazione di forma e dimensione della sezione trasversale	Graduale	0,000
	Occasionale	n_2 0,005
	Frequente	0,010-0,015
Effetto relativo di ostruzioni	Trascurabile	0,000
	Modesto	n_3 0,010-0,015
	Apprezzabile	0,020-0,030
	Elevato	0,040-0,060
Effetto della vegetazione	Basso	0,005-0,010
	Medio	n_4 0,010-0,025
	Alto	0,025-0,050
	Molto alto	0,050-0,100
Grado di sinuosità dell'alveo	Modesto	1,000
	Apprezzabile	m_5 1,150
	Elevato	1,300

Tabella 7 – Valori dei coefficienti parziali utilizzati e relativi coefficienti n di Manning ricavati

	Sezione 1	Sezione 2
n_0	0,024	0,024
n_1	0,01	0,01
n_2	0,01	0,01
n_3	0,06	0,06
n_4	0,05	0,03
m_5	1,2	1,2
n	0,1848	0,1608

Tabella 8. Valori delle velocità di deflusso e portate massime ammissibili nelle due sezioni

Sezione	Area sezione [m ²]	Velocità [m/s]	Q_{amm} [m ³ /s]
1	234	5,20	1216,8
2	248	6,32	1567,36

Tabella 9. Verifica idraulica delle due sezioni prese in esame: in entrambe le sezioni, le portate attese per tempi di ritorno anche solo di 20 anni sono maggiori della portata massima ammissibile con prevedibili allagamenti delle zone edificate circostanti

Tempo di ritorno [anni]	Q_{max} [m ³ /s]	Q_{amm} sezione 1 [m ³ /s]	Q_{amm} sezione 2 [m ³ /s]
20	1329,9	652,5	809,6
50	1331,5	652,5	809,6
100	1332,6	652,5	809,6
200	1333,8	652,5	809,6

CONCLUSIONI

Dal confronto tra le portate massime ammissibili Q_{amm} delle due sezioni e le portate di massima piena (Tab. 9), si rileva che in entrambe le sezioni le portate attese per tempi di ritorno anche solo di 20 anni sono maggiori della portata massima ammissibile, con prevedibili allagamenti delle zone edificate circostanti. Come se non bastasse, bisogna evidenziare che le due sezioni sono state individuate appena a monte di ponti, in corrispondenza dei quali la portata massima ammissibile subisce una ulteriore riduzione.

Al fine di mitigare il rischio geoidrologico della città di Torino, era stato ventilato il progetto di una grandissima cassa di espansione appena a monte di Torino, idea fortemente criticata da alcuni autori del presente lavoro (Bove & Masciocco, 2020) che sconsigliano vivamente le grandi opere a difesa delle città metropolitane, sia per l'impatto sul territorio sia perché lascerebbero comunque indifesi i settori a monte dei rispettivi bacini idrografici; gli interventi (e i conseguenti benefici) dovrebbero infatti essere capillarmente distribuiti sul territorio. Tra l'altro, finanziando i singoli comuni per realizzare piccoli interventi di sistemazione, si favorirebbe la ripresa del lavoro su tutto il territorio nazionale.

BIBLIOGRAFIA

- A. BOVE, L. MASCIOTTO (2020), *Proposte per la mitigazione del rischio di alluvione in Italia*. Geologia dell'Ambiente, Periodico trimestrale della SIGEA - Società Italiana di Geologia Ambientale, N. 4/2020, Anno XXVIII - ottobre-dicembre 2020, 21-25, ISSN 1591-5352.
- V.T. CHOW (1959), *Open Channel Hydraulics*. Mc Graw Hill Company, 680 pp.
- F. PIANA, G. FIORASO, A. IRACE, P. MOSCA, A. D'ATRI, L. BARALE, P. FALLETTI, G. MONEGATO, M. MORELLI, S. TALLONE, G.B. VIGNA (2017), *Geology of Piemonte region (NW Italy, Alps-Apennines interference zone)*, Journal of Maps, 13:2, 395-405, DOI:10.1080/17445647.2017.1316218.

RIFERIMENTI WEB

- http://webgis.arpa.piemonte.it/atlante_pioggia_webapp/
- www.idrologia.polito.it/didattica/PIT/2013/2_AnalisiRegionale/Altro-Materiale/DATI_AtlanteBaciniImbriferi.pdf