

Commissario:



Contraente:



Progettista:



Project & Construction Management & Quality Assurance: Rina Consulting SpA



VIADOTTO POLCEVERA

EMISSIONE PER ENTI

PROGETTO ESECUTIVO di 1° LIVELLO

RELAZIONE IDROLOGICA

STUDIO IDROLOGICO DEL BACINO DEL TORRENTE POLCEVERA

Contraente	Project & Construction Management & Quality Assurance	Direttore Lavori
Data: _____	Data: _____	Data: _____

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC OPERA/DISCIPLINA PROGR REV

N	G	1	2	0	0	E	1	1	R	I	I	D	0	0	0	1	C	0	1	A
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

PROGETTAZIONE								IL PROGETTISTA
Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	
A	Emissione esecutiva di 1° livello	C. CESALI	25/02/19	F. CABAS	25/02/19	A. PEREGO	25/02/19	A. VITTI
B								
C								

ITALFERR S.p.A.
 O.P. Opere Civili e Gestione delle Varianti
 Dott. Ing. Angelo Vizzari
 Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma
 N° A20783

CONTRAENTE

PERGENOVA

PROGETTISTA



Doc. N.

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 11 RI ID0001 C01

Rev.
A

Foglio
2 di 30

Contraente



Progettista



Doc. N.

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 11 RI ID0001 C01

Rev.
A

Foglio
3 di 30

INDICE

1.	PREMESSA.....	6
2.	INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO.....	7
3.	IL BACINO IDROGRAFICO DEL TORRENTE POLCEVERA.....	8
4.	STUDIO IDROLOGICO.....	11
4.1.	ANALISI SVILUPPATE NELL'AMBITO DELLA REDAZIONE DEL PIANO DI BACINO.....	11
4.2.	ANALISI DELLE PRECIPITAZIONI.....	12
4.2.1.	<i>Elaborazione statistica delle registrazioni pluviometriche.....</i>	<i>12</i>
4.2.2.	<i>VA.PI.: regionalizzazione delle piogge nell'Italia nord occidentale.....</i>	<i>16</i>
4.3.	STIMA DELLE PORTATE AL COLMO.....	19
4.3.1.	<i>Metodo razionale.....</i>	<i>20</i>
4.3.2.	<i>Metodo di Nash.....</i>	<i>22</i>
4.3.3.	<i>Confronto tra le differenti metodologie adottate.....</i>	<i>23</i>
4.4.	DEFINIZIONE DEGLI IDROGRAMMI DI PIENA DI PROGETTO.....	24
4.5.	DEFINIZIONE DELLA PORTATA DI CANTIERE PER IL DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE PROVVISORIALI.....	25
4.5.1.	<i>Metodologia dell'Autorità di Bacino del Fiume Po.....</i>	<i>26</i>
4.5.2.	<i>Metodologia del CSSLPP.....</i>	<i>27</i>
5.	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	30

Contraente



Progettista



Doc. N.

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 11 RI ID0001 C01

Rev.
A

Foglio
4 di 30

INDICE DELLE FIGURE

FIGURA 2.1 – INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO.	7
FIGURA 3.1 – IL BACINO IDROGRAFICO DEL TORRENTE POLCEVERA.	9
FIGURA 3.2 – BACINO IDROGRAFICO DEL TORRENTE POLCEVERA: CURVA IPSOGRAFICA.	10
FIGURA 4.1 - TORRENTE POLCEVERA: STAZIONI PLUVIOMETRICHE E SUDDIVISIONE DEL BACINO SECONDO I RELATIVI POLIGONI DI THIESSEN.	15
FIGURA 4.2 - REGIONALIZZAZIONE VAPI: MAPPA DEL PARAMETRO DI FORMA, K.....	17
FIGURA 4.3 -REGIONALIZZAZIONE VAPI: MAPPA DEL PARAMETRO DI SCALA, α	17
FIGURA 4.4 - REGIONALIZZAZIONE VAPI: MAPPA DEL PARAMETRO DI POSIZIONE, ϵ	17
FIGURA 4.5 - REGIONALIZZAZIONE VAPI: MAPPA DEL PARAMETRO A1 (MM/HN).	18
FIGURA 4.6 - REGIONALIZZAZIONE VAPI: MAPPA DEL PARAMETRO N.....	18
FIGURA 4.7 -TORRENTE POLCEVERA: CONFRONTO TRA I VALORI DI PORTATA AL COLMO OTTENUTI SECONDO DIFFERENTI APPROCCI.	24
FIGURA 4.8–TORRENTE POLCEVERA: IDROGRAMMI DI PIENA DI PROGETTO PER VARI TEMPI DI RITORNO.	25

INDICE DELLE TABELLE

TABELLA 3.1 – BACINO DEL TORRENTE POLCEVERA: DATI MORFOMETRICI.	10
TABELLA 4.1 – TORRENTE POLCEVERA: VALORI DI PORTATA AL COLMO, ALLA FOCE, PER DIFFERENTI TEMPI DI RITORNO - PIANO DI BACINO DELLA REGIONE LIGURIA ((*)VALORI RICAVATI PER INTERPOLAZIONE DEI VALORI RELATIVI AI RIMANENTI TEMPI DI RITORNO).	11
TABELLA 4.2 – STAZIONI PLUVIOMETRICHE RICADENTI NEL BACINO DEL T. POLCEVERA: PARAMETRI A E N PER DIVERSI TEMPI DI RITORNO.	14
TABELLA 4.3 – VA.PI.: VALORI DI K, α , ϵ , A1, N, PER LE STAZIONI PLUVIOMETRICHE RICADENTI NEL BACINO DEL T. POLCEVERA.	19
TABELLA 4.4 – VA.PI.: VALORI MEDI DEI PARAMETRI K, α , ϵ , A1, N,PER IL BACINO DEL T. POLCEVERA.	19
TABELLA 4.5 – VALORI DELL'ALTEZZA DI PIOGGIA, PER VARI TEMPI DI RITORNO, RELATIVI ALLE STAZIONI PLUVIOMETRICHE CONSIDERATE.	21
TABELLA 4.6 – VALORI DELL'ALTEZZA DI PIOGGIA (RAGGUAGLIATA ALL'AREA) PER UNA DURATA PARI A τ_c PER VARI TEMPI DI RITORNO (Tr).	21

Contraente



Progettista



Doc. N.

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 11 RI ID0001 C01

Rev.
A

Foglio
5 di 30

TABELLA 4.7 – VALORI DEL COEFFICIENTE DI DEFLUSSO E DELLA PORTATA AL COLMO, PER I TEMPI DI RITORNO CONSIDERATI, DEDOTTI DALL'ELABORAZIONE DEI DATI DI PIOGGIA. 21

TABELLA 4.8 – VALORI DEL COEFFICIENTE DI DEFLUSSO E DELLA PORTATA AL COLMO, PER I TEMPI DI RITORNO CONSIDERATI, DEDOTTI APPLICANDO LE CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA DERIVANTI DALLA METODOLOGIA VA.PI. 22

TABELLA 4.9 – METODO DI NASH: VALORI DI PORTATA AL COLMO, PER I TEMPI DI RITORNO CONSIDERATI, DEDOTTI APPLICANDO LE CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA DERIVANTI DALLA METODOLOGIA VA.PI. 23

TABELLA 4.10 – VALORI DI PORTATA AL COLMO PER IL DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE PROVVISORIALI DI CANTIERE (R = 63.3%). 27

TABELLA 4.11 – VALORI DI PORTATA AL COLMO PER IL DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE PROVVISORIALI DI CANTIERE (R = 33.0%). 27

TABELLA 4.12 – VALORI DI PORTATA AL COLMO PER IL DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE PROVVISORIALI DI CANTIERE (R = 18.1%). 27

TABELLA 4.13 – VALORI DI PORTATA AL COLMO PER IL DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE PROVVISORIALI DI CANTIERE (R = 9.5%). 27

TABELLA 4.14 – VALORI DI PORTATA AL COLMO PER IL DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE PROVVISORIALI DI CANTIERE, PER DIFFERENTI VALORI DELLA PROBABILITÀ DI DANNEGGIAMENTO E VITA DELL'OPERA PARI A 3 MESI. 29

TABELLA 4.15 – VALORI DI PORTATA AL COLMO PER IL DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE PROVVISORIALI DI CANTIERE, PER DIFFERENTI VALORI DELLA PROBABILITÀ DI DANNEGGIAMENTO E VITA DELL'OPERA PARI A 6 MESI. 29

TABELLA 4.16 – VALORI DI PORTATA AL COLMO PER IL DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE PROVVISORIALI DI CANTIERE, PER DIFFERENTI VALORI DELLA PROBABILITÀ DI DANNEGGIAMENTO E VITA DELL'OPERA PARI A 12 MESI. 29

Contraente



Progettista



Doc. N.

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 11 RI ID0001 C01

Rev.
A

Foglio
6 di 30

1. PREMESSA

Il presente elaborato è parte integrante del Progetto Esecutivo delle opere di costruzione necessarie al ripristino strutturale e funzionale del Viadotto sul Torrente Polcevera, in Genova.

È stato condotto quindi lo studio idrologico del bacino idrografico del T. Polcevera finalizzato alla valutazione delle portate al colmo di progetto e dei relativi idrogrammi di piena da imporre come condizioni al contorno nel modello idraulico sviluppato.

Nello specifico, lo studio idrologico si compone delle seguenti fasi:

- perimetrazione del bacino idrografico e valutazione delle relative caratteristiche morfometriche
- raccolta delle osservazioni/registrazioni disponibili presso le stazioni pluviografiche di interesse
- definizione delle curve di possibilità pluviometrica (CPP) di progetto sulla base dell'elaborazione dei dati pluviometrici e dei risultati della procedura di regionalizzazione sviluppata nell'ambito del progetto VA.PI.
- valutazione delle portate al colmo nella sezione di chiusura considerata, mediante differenti modelli di trasformazione afflussi-deflussi, per vari tempi di ritorno

Le analisi sono state sviluppate nel rispetto della Pianificazione di Bacino attualmente in vigore, in particolare del PIANO DI BACINO STRALCIO PER LA TUTELA DAL RISCHIO IDROGEOLOGICO (ai sensi dell'art. 1, comma1, del D.L. 180/1998 convertito in L. 267/1998), redatto dall'Autorità di Bacino della Regione Liguria, approvato con Delibera del Consiglio Provinciale di Genova n.14 del 02/04/2003 ed entrato in vigore con BURL n. 18 del 03/05/2017 – parte II.

Contraente



Progettista



Doc. N.

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 11 RI ID0001 C01

Rev.
A

Foglio
7 di 30

2. INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO

Il viadotto autostradale "Polcevera" (noto anche come *Ponte Morandi* o *Ponte delle Condotte*) attraversa l'omonimo torrente nei pressi dei quartieri di Sampierdarena e Cornigliano, nella città di Genova.

Il viadotto fa parte del tracciato dell'autostrada italiana A10, a sua volta ricompresa nella strada europea E80. Si tratta di un'infrastruttura strategica per il collegamento viabilistico fra il nord Italia e il sud della Francia, oltre a essere il principale asse stradale fra il centro-levante di Genova, il porto container di Voltri-Pra', l'aeroporto Cristoforo Colombo e le aree industriali della zona genovese (Figura 2.1).



Figura 2.1 – Inquadramento dell'area di studio.

Contraente



Progettista



Doc. N.

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 11 RI ID0001 C01

Rev.
A

Foglio
8 di 30

3. IL BACINO IDROGRAFICO DEL TORRENTE POLCEVERA

Il bacino idrografico del Torrente Polcevera risulta interamente compreso all'interno della provincia di Genova, inglobando parzialmente o completamente i territori comunali di Genova, S. Olcese, Campomorone, Serra Riccò, Mignanego e Ceranesi.

Il bacino si colloca in una zona centrale del versante appenninico ligure, risultando delimitato da una serie di rilievi montuosi che, procedendo in senso orario, vengono qui sinteticamente elencati:

- a Nord s'incontrano in successione il monte Taccone (1110 m), il monte Lecco (1072 m), il monte Poggio (838 m), il Bric Montaldo (651 m) e il monte Cappellino (703 m), che separano il torrente Polcevera dalle confinanti val Lemme e valle Scrivia;
- a Est il monte Carossino (838 m), il monte Capanna (635 m), il monte Carmo (661 m), il monte Alpe (800 m), il monte Mezzano (637 m), il monte Butegna (565 m), il monte Crovo (518 m) il monte Corvo (534 m), il monte Tascee (461 m), il monte Bastia nord (447m) e sud (440m) e il crinale sormontato dai forti Diamante (672 m), Fratello Minore (644m) e Puin (507 m), si ergono a separazione ancora dalla valle Scrivia e dalla valle del torrente Bisagno;
- a Ovest, partendo da sud e risalendo verso nord, lo spartiacque tra il torrente Polcevera e i torrenti Chiaravagna, Varenna, Stura e Gorzente è delimitato dal Bric dei Corvi Sud (582 m), dal Bric Teiolo (660 m), dal Bric dei Corvi Nord (626 m), dal Bric di Pria Scugente (595 m), dal Bric Rondanino (608 m), dal Bric dell'Olmo (638 m), dal monte Proratado (926 m), dal monte Sejeu (958 m), dal monte Orditano (951 m), dal Bric Roncasci (840 m) ed infine dal Bric di Guana (961 m).

Il bacino sottende una superficie complessiva pari a circa 140 kmq, e raggiunge la sua quota massima sul livello del mare in corrispondenza della vetta del monte Taccone (1110 m); la val Polcevera ha andamento preferenziale N-S. L'omonimo torrente trae origine dalla confluenza del torrente Verde con il torrente Riccò, nei pressi del quartiere genovese di Pontedecimo, e l'asta principale, dopo un percorso di circa 19 km, sfocia in mare, in prossimità della delegazione genovese di Cornigliano.

Il bacino complessivo risulta composto dai seguenti sottobacini principali (Figura 3.1):

1. il Torrente Verde che presenta una superficie di 33 kmq e la cui asta principale, ad andamento preferenziale NW-SE, misura circa 10 km;
2. il Torrente Riccò, che trae origine dal Bric Montaldo; il bacino ha uno sviluppo di 21 kmq e la lunghezza dell'asta principale, ad andamento preferenziale NE-SW, raggiunge 8 km;

Contraente



Progettista



Doc. N.

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 11 RI ID0001 C01

Rev.
A

Foglio
9 di 30

3. il Torrente Secca, affluente in sinistra orografica, ad andamento preferenziale NE-SW, che confluisce nel Polcevera in prossimità di Bolzaneto, sottendendo un'area di circa 45 kmq;
4. i Torrenti Burba, Trasta e Fegino sono gli affluenti minori in sponda destra, mentre il Geminiano e il Torbella rappresentano gli affluenti minori in sinistra idraulica.

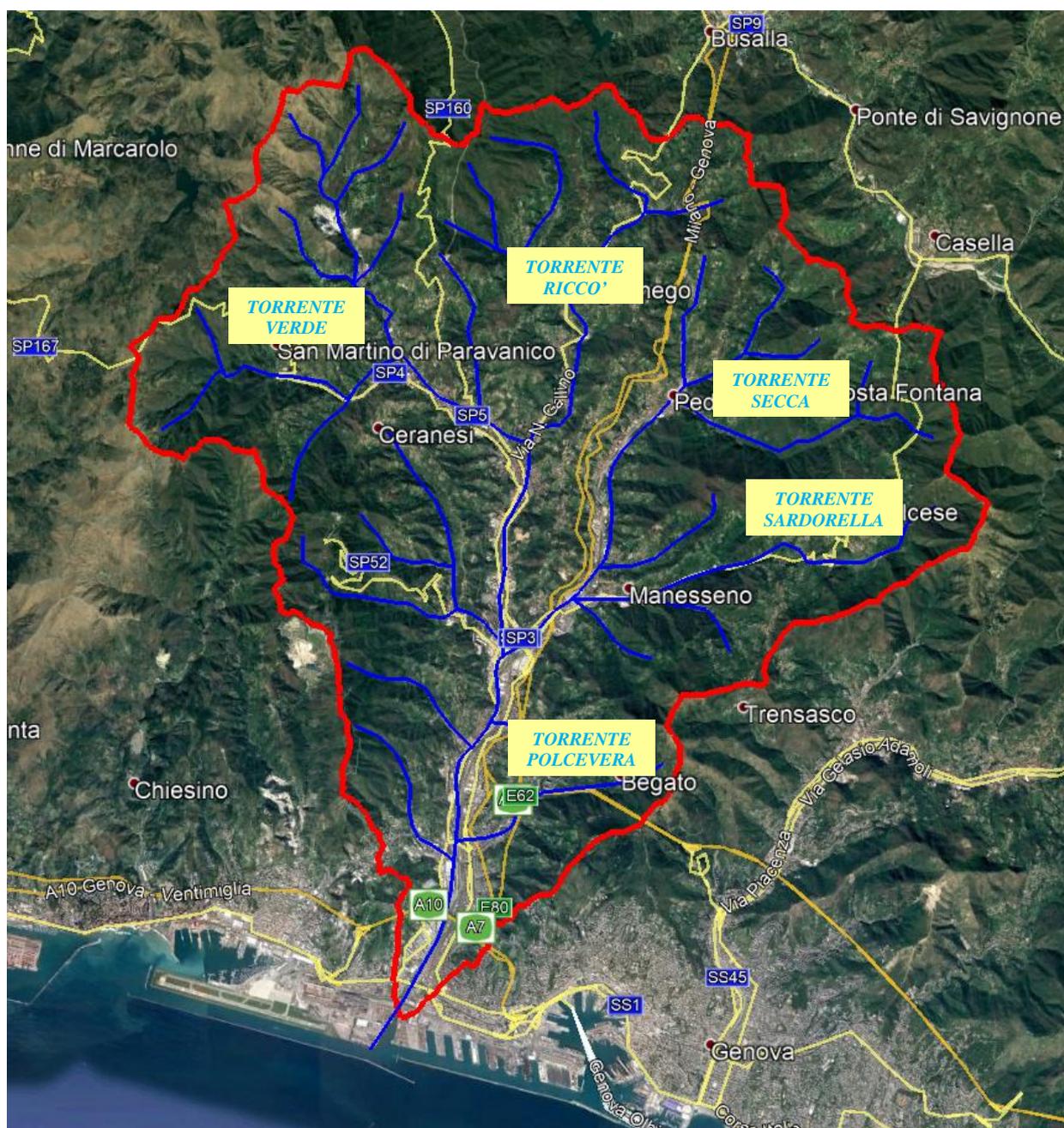


Figura 3.1 – Il bacino idrografico del Torrente Polcevera.

Contraente



Progettista



Doc. N.

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 11 RI ID0001 C01

Rev.
A

Foglio
10 di 30

I relativi dati morfometrici sono riportati in Tabella 3.1.

Superficie (km ²)	Lunghezza asta principale (km)	Quota massima (m slm)	Quota minima (m slm)	Quota media (m slm)
139	19.9	1110	0	337.12

Tabella 3.1 – Bacino del Torrente Polcevera: dati morfometrici.

Nella figura seguente è riportata la curva ipsografica del Bacino del T. Polcevera.

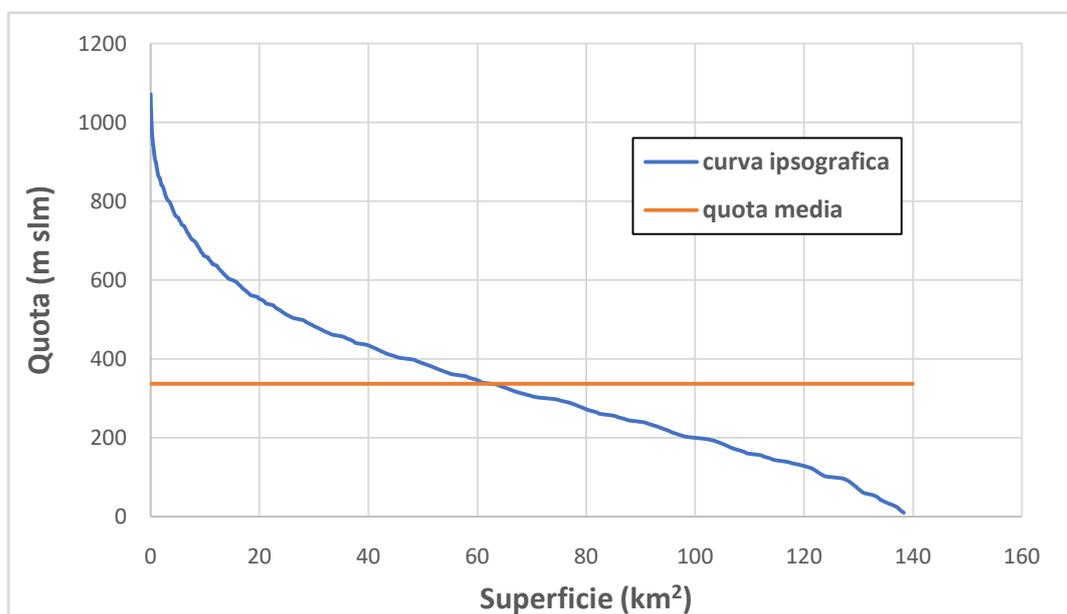


Figura 3.2 – Bacino idrografico del Torrente Polcevera: curva ipsografica.

Contraente



Progettista



Doc. N.

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 11 RI ID0001 C01

Rev.
A

Foglio
11 di 30

4. STUDIO IDROLOGICO

4.1. Analisi sviluppate nell'ambito della redazione del Piano di Bacino

Il quadro conoscitivo di riferimento per la caratterizzazione idrologica del bacino del Torrente Polcevera è attualmente riportato nel PIANO DI BACINO STRALCIO PER LA TUTELA DAL RISCHIO IDROGEOLOGICO (ai sensi dell'art. 1, comma1, del D.L. 180/1998 convertito in L. 267/1998), redatto dall'Autorità di Bacino della Regione Liguria, approvato con Delibera del Consiglio Provinciale di Genova n.14 del 02/04/2003 ed entrato in vigore con BURL n. 18 del 03/05/2017 – parte II.

Con riferimento alla “*Relazione Generale del Torrente Polcevera*” a corredo del suddetto Piano, vista la mancanza di misurazioni dirette sui deflussi naturali, la determinazione delle portate critiche in corrispondenza delle sezioni di interesse è stata effettuata tramite metodi indiretti sulla base dell'elaborazione delle registrazioni pluviometriche, applicando differenti modelli di trasformazione afflussi-deflussi.

In particolare, l'analisi è stata articolata in una preliminare caratterizzazione della zona dal punto di vista pluviometrico, che si è concretizzata nella determinazione delle curve di possibilità pluviometrica ed in una successiva valutazione della risposta del bacino ad eventi pluviometrici particolarmente intensi.

Nello specifico sono stati elaborati statisticamente i valori massimi annuali relativi a piogge di durata pari a 1, 3, 6, 12, 24 ore, registrati presso le stazioni pluviometriche di Genova (Università), Isoverde, Madonna della Guardia, Monte Capellino e Mignanego.

Ai valori di portata così ottenuti sono state assegnate probabilità di accadimento, espresse in termini di tempi di ritorno (T_r), coincidenti con quelle dei fenomeni piovosi che le hanno provocate.

Nella tabella seguente sono riportati i valori di portata al colmo per il bacino del T. Polcevera con sezione di chiusura in corrispondenza della foce.

Tr (anni)	Q (mc/s)
50	1377
200	1763
500	2006
1000	2199 ^(*)
2000	2388 ^(*)

Tabella 4.1 – Torrente Polcevera: valori di portata al colmo, alla foce, per differenti tempi di ritorno - Piano di Bacino della Regione Liguria (*valori ricavati per interpolazione dei valori relativi ai rimanenti tempi di ritorno).

Contraente



Progettista



Doc. N.

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 11 RI ID0001 C01

Rev.
A

Foglio
12 di 30

4.2. Analisi delle precipitazioni

4.2.1. Elaborazione statistica delle registrazioni pluviometriche

Applicando la metodologia riportata nel Piano di Bacino, sono state raccolte le registrazioni pluviometriche (fonte: Annali idrologici) delle stazioni di misura elencate in Tabella 4.2, ricadenti nel bacino idrografico in esame. In particolare, sono state prese in considerazione le stazioni pluviometriche con almeno 20 anni di misurazioni, nel periodo di osservazione 1951-2010.

I dati pluviometrici sono stati quindi elaborati statisticamente ricorrendo al metodo di Gumbel, il quale prevede l'applicazione della distribuzione doppio-esponenziale al campione di dati di precipitazione intesi come variabili indipendenti.

La funzione di probabilità cumulata che la definisce è:

$$F(x) = P(X \leq x) = e^{-e^{-\alpha(x-u)}}$$

Introducendo la variabile ridotta y :

$$y = \alpha(x - u)$$

si ha la forma canonica:

$$F(y) = e^{-e^{-y}}$$

I parametri α e u sono legati alla media e alla varianza della popolazione. Sfruttando le informazioni contenute nel campione a disposizione si procede alla loro stima seguendo diversi metodi. Si otterranno parametri diversi per ogni durata di precipitazione.

Per una data durata di precipitazione, si ordinano le N altezze di precipitazione in ordine crescente e si numerano da 1 ad N . Ad ogni altezza di precipitazione si associa la relativa frequenza cumulata di non superamento, calcolata con la formula di Weibull:

$$F_i = \frac{i}{N+1}$$

A denominatore si ha $N+1$ in luogo di N per evitare che il più grande evento verificatosi sia caratterizzato da una frequenza cumulata di non superamento pari a 1: valore che rappresenta l'evento impossibile da superare. Il metodo di Gumbel per la stima dei parametri della distribuzione si basa sull'ipotesi di confondere la probabilità di non superamento di una certa altezza di precipitazione (relativa ad una popolazione) con la sua frequenza cumulata di non superamento (che si riferisce, invece ad un campione della popolazione suddetta), cioè:

Contraente



Progettista



Doc. N.

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 11 RI ID0001 C01

Rev.
A

Foglio
13 di 30

$$F(h_i) \cong F_i$$

La variabile ridotta da associare ad ogni altezza di precipitazione viene quindi calcolata come:

$$F(h_i) = F_i = F(y) = e^{-e^{-y}} \quad \text{e} \quad F_i = \frac{i}{N+1} \Rightarrow y_i = -\ln \left[-\ln \left(\frac{i}{N+1} \right) \right]$$

Con questa assunzione, la variabile ridotta y dipende soltanto da h (= precipitazione) secondo la relazione lineare:

$$y = \alpha(h - u)$$

La stima dei parametri α e u si ottiene sfruttando il metodo dei momenti, in base al quale i parametri della distribuzione vengono ottenuti eguagliando la media campionaria alla media della distribuzione della popolazione. Si ottengono quindi per α e u le seguenti espressioni:

$$\alpha = \frac{1.283}{S_h} \quad u = m_h - \frac{0.577}{\alpha}$$

Richiamando il concetto di tempo di ritorno, T_r , cioè il tempo che mediamente trascorre tra la realizzazione di un evento e di un altro di entità uguale o superiore, si riesce ad ottenere l'espressione che esprime le altezze di precipitazione in funzione del tempo di ritorno:

$$T_r(h) = \frac{1}{1 - F(h)} \Rightarrow F(h) = \frac{T_r - 1}{T_r}$$

$$e^{-e^{-\alpha(h-u)}} = \frac{T_r - 1}{T_r} \Rightarrow h = u - \frac{1}{\alpha} \ln \left[-\ln \left(\frac{T_r - 1}{T_r} \right) \right]$$

E' stata quindi ricavata l'espressione analitica della funzione $h(T_r, \tau)$ che fornisce il valore di precipitazione (h) in funzione del tempo di ritorno per una prefissata durata di precipitazione.

Si vuole ora trovare un'espressione analitica che, per un dato tempo di ritorno, fornisca l'altezza di precipitazione in funzione della durata.

A questo scopo, si assegna alla funzione $h(T_r, \tau)$ la seguente forma:

$$h(T_r, \tau) = a(T_r) \tau^n$$

Contraente



Progettista



Doc. N.

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 11 RI ID0001 C01

Rev.
A

Foglio
14 di 30

Queste equazioni, una per ogni prefissato tempo di ritorno, sono dette curve di possibilità pluviometrica (o climatica). L'intensità di precipitazione $j(T_r, \tau)$ è definita come l'altezza di precipitazione per unità di tempo ed ha la forma:

$$j(T_r, \tau) = \frac{h(T_r, \tau)}{\tau} = a\tau^{n-1}$$

Passando alla notazione logaritmica, l'equazione della curva di possibilità pluviometrica assume la forma lineare, e viene ottenuta interpolando i valori per regressione lineare ai minimi quadrati. Gli scarti da minimizzare sono quelli verticali, in quanto la misura di h soffre di maggiori incertezze rispetto a quella del tempo di precipitazione.

$$\log h = \log a + n \log \tau$$

Nella tabella seguente, sono riportati anche i valori a e n relativi ad ogni stazione pluviometrica considerata, per diversi tempi di ritorno.

stazione	a_{50}	n_{50}	a_{200}	n_{200}	a_{500}	n_{500}	a_{1000}	n_{1000}	a_{2000}	n_{2000}
Mignanego	79.07	0.418	95.04	0.425	105.55	0.429	113.49	0.432	121.43	0.434
Isoverde	101.18	0.415	123.56	0.416	138.29	0.416	149.42	0.416	160.55	0.417
Genova(università)	109.19	0.334	134.41	0.334	151.02	0.344	165.35	0.344	178.47	0.334
Genova(castellaccio)	107.44	0.341	132.66	0.341	149.27	0.341	163.61	0.341	176.73	0.341
Crocetta di Orero	77.24	0.426	93.54	0.430	104.28	0.432	112.39	0.433	120.50	0.434
Monte Capellino	76.46	0.529	91.38	0.548	101.23	0.557	108.67	0.563	116.11	0.567
Madonna Guardia	100.11	0.478	121.38	0.489	135.39	0.494	145.98	0.497	156.57	0.500
Pontedecimo	95.09	0.537	117.57	0.553	132.37	0.560	143.57	0.564	154.75	0.568
Valleregia	78.01	0.657	95.56	0.679	107.13	0.689	115.88	0.695	124.63	0.700
Bolzaneto	115.08	0.572	145.43	0.586	165.41	0.592	180.52	0.596	195.61	0.599

Tabella 4.2 – Stazioni pluviometriche ricadenti nel bacino del T. Polcevera: parametri a e n per diversi tempi di ritorno.

L'altezza di pioggia, ragguagliata all'area del bacino, può essere dunque valutata mediante l'applicazione del metodo dei poligoni di Thiessen (o dei topoiati). In particolare, il volume di pioggia (V_p) caduto all'interno di un poligono di Thiessen o topoiato (Figura 4.1) è uguale all'altezza di precipitazione misurata nella relativa stazione pluviometrica per l'area del poligono.

Contraente



Progettista



Doc. N.

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 11 RI ID0001 C01

Rev.
A

Foglio
15 di 30

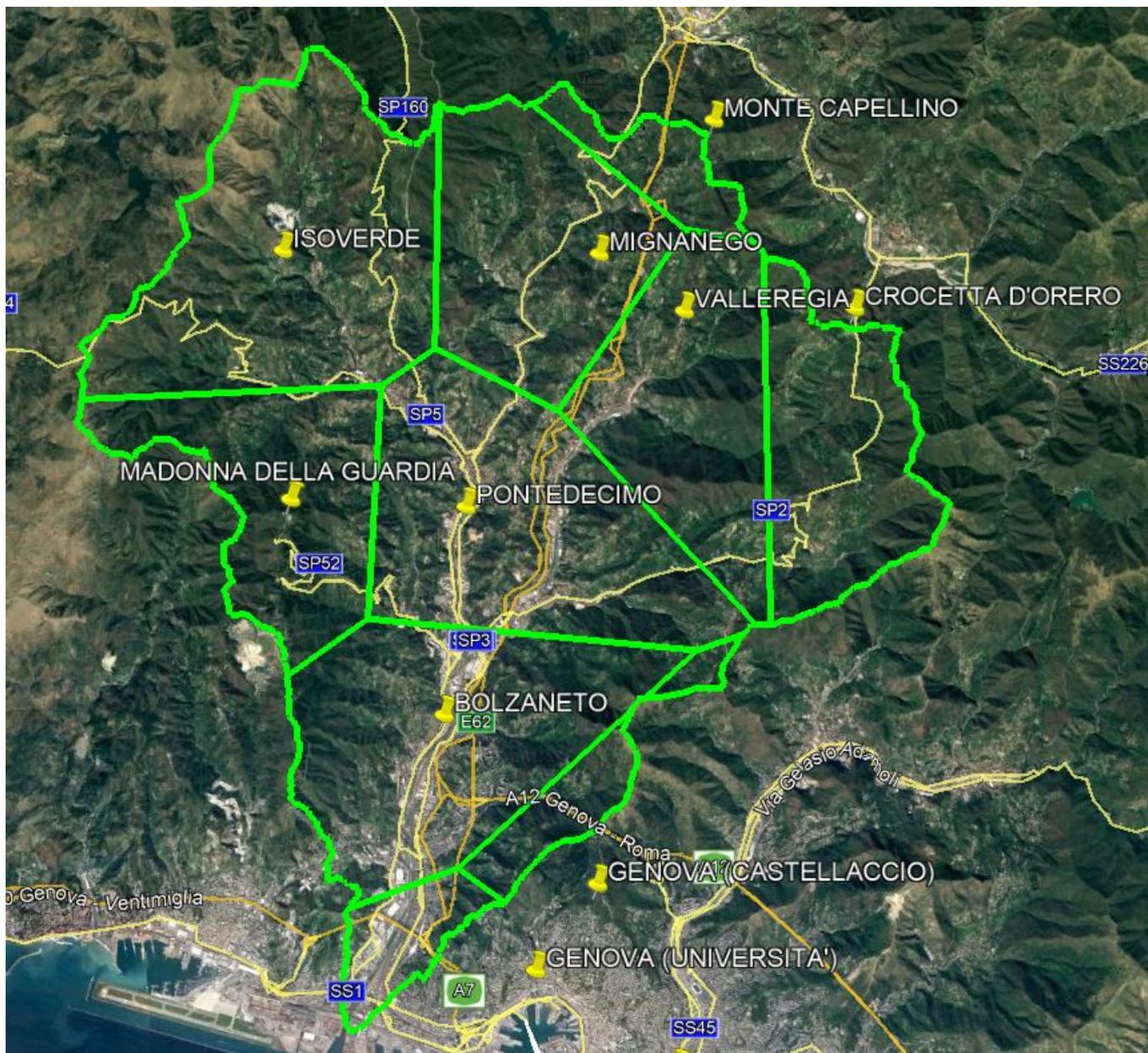


Figura 4.1 - Torrente Polcevera: stazioni pluviometriche e suddivisione del bacino secondo i relativi poligoni di Thiessen.

Il volume di pioggia caduto sull'intero bacino sarà quindi fornito dalla somma dei prodotti di cui prima con l'avvertenza che, per quei topiети che parzialmente ricadono fuori dalla regione in esame, si dovrà considerare solo l'area della porzione del poligono o del topoiето che appartiene al bacino:

$$V_p = \sum_{i=1}^N h_i (\Omega_i \cap S)$$

in cui i è il generico topoiето/poligono di Thiessen; N , il numero dei topiети; h_i , l'altezza di pioggia misurata nella stazione; Ω_i è l'area del topoietano; S , la superficie del bacino. Quindi, l'altezza di pioggia (h) ragguagliata all'area può essere dedotta come $h = V_p/S$.

Contraente



Progettista



Doc. N.

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 11 RI ID0001 C01

Rev.
A

Foglio
16 di 30

4.2.2. VA.PI.: regionalizzazione delle piogge nell'Italia nord occidentale

Nell'ambito del progetto VA.PI. del GNDICI-CNR per la valutazione delle piene nell'Italia nord occidentale (fonte: "Rapporto regionale per i compartimenti di Parma e Genova", 2001), sono stati utilizzati i dati osservati nelle stazioni di misura pluviometriche e pluviografiche del SIMN. Dopo un'analisi di qualità dell'informazione contenuta nelle serie storiche registrate, è stato ottenuto un database comprendente 366 stazioni di misura (270 nel bacino del Fiume Po e 96 in Liguria) con almeno 20 anni di osservazione e numerosità media di 34 anni.

Non sono state identificate sottozone pluviometriche omogenee in relazione alla distribuzione di probabilità cumulata (DPC) delle piogge da 1 a 24 ore consecutive e, in alternativa, si è provveduto alla valutazione della DPC per ogni stazione in base all'ipotesi di invarianza di scala utilizzando la distribuzione generalizzata del valore estremo (GEV). Stimati i parametri di forma, k , di scala, α , e di posizione, ε , della DPC/GEV per le stazioni in esame resta univocamente determinata la relazione fra periodo di ritorno T_r e valore del coefficiente di crescita K :

$$T = \frac{1}{1 - F_K(K)} = \frac{1}{1 - \exp\left\{-\left[1 - \frac{k}{\alpha}(K - \varepsilon)\right]^{1/k}\right\}}$$

valida per piogge massime annuali di durata da 1 a 24 ore consecutive.

Più utile dal punto di vista pratico è la forma inversa della relazione precedente per cui, fissato un valore T_r del periodo di ritorno in anni, si ricava il corrispondente valore del coefficiente di crescita K :

$$K_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} \left(1 - e^{-ky_T}\right)$$

dove y_T indica la variabile ridotta di Gumbel, pari a

$$y_T = -\ln\left(\ln\frac{T}{T-1}\right)$$

e i valori dei parametri k , α e ε sono relativi ai siti dove sono localizzate le stazioni pluviometriche. Per gli altri siti, si riportano nelle figure seguenti le mappe dei parametri k , α e ε per l'intero territorio analizzato, che sono state ricavate per interpolazione con metodi di *kriging*.

Contraente



Progettista



Doc. N.

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 11 RI ID0001 C01

Rev.
A

Foglio
17 di 30

L'altezza di pioggia cumulata con periodo di ritorno T -ennale va quindi valutata come

$$h_T(d) = m(d)K_T$$

dove $m(d)$ è il valore atteso dell'altezza di pioggia massima annuale caduta in d ore consecutive.

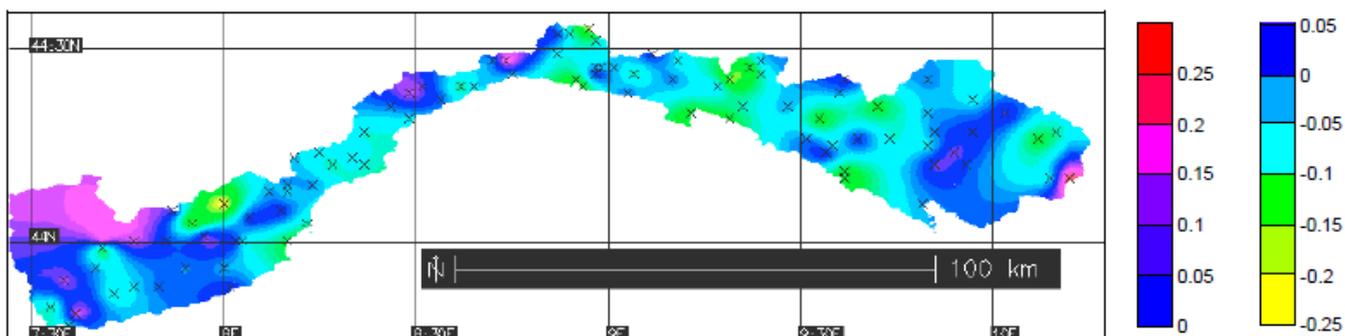


Figura 4.2 - Regionalizzazione VAPI: mappa del parametro di forma, k .

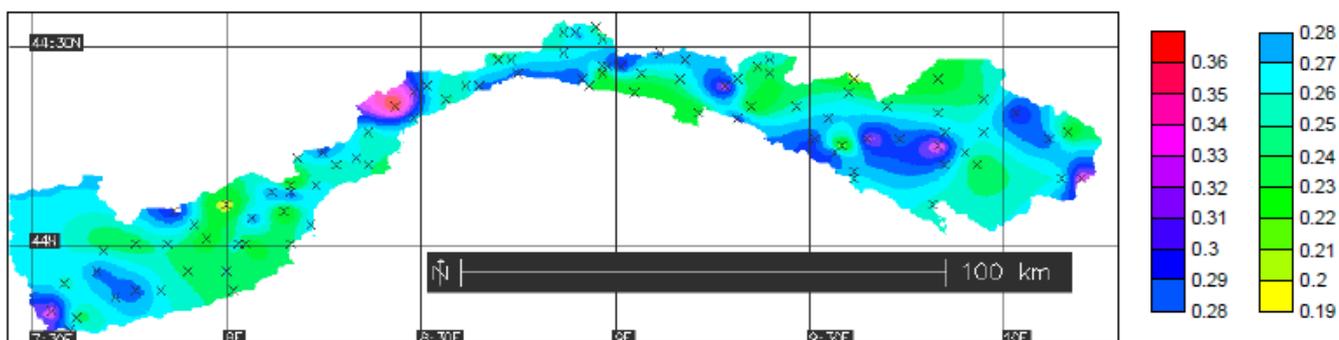


Figura 4.3 -Regionalizzazione VAPI: mappa del parametro di scala, α .

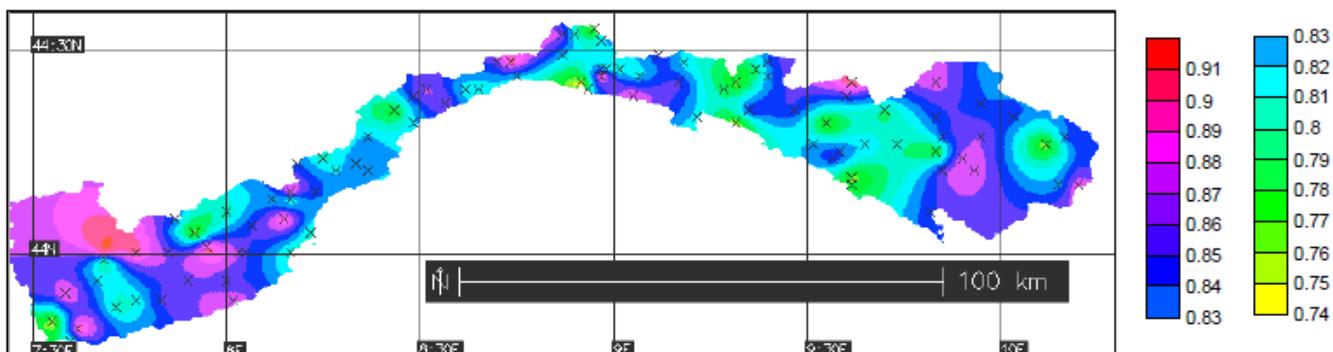


Figura 4.4 - Regionalizzazione VAPI: mappa del parametro di posizione, ϵ .

Contraente



Progettista



Doc. N.

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 11 RI ID0001 C01

Rev.
A

Foglio
18 di 30

Le leggi di probabilità pluviometriche definiscono come varia la media del massimo annuale dell'altezza di pioggia su una fissata durata d , $m[h(d)]$, con la durata stessa. Per la zona in esame è stata adottata la seguente espressione:

$$m[h(d)] = a_1 d^n$$

I parametri a_1 e n sono stati valutati con regressione ai minimi quadrati dei dati pluviometrici presso le stazioni di misura presenti sul territorio esaminato.

I valori osservati variano per a_1 da 10 a 49 mm/ore^n e per n da 0.21 a 0.61; l'ampiezza di questi intervalli richiede un modello di variabilità spaziale dei parametri.

In particolare, si è fatto riferimento ad un modello a variabilità continua: per una pratica applicazione della legge di probabilità pluviometrica sono fornite le mappe iso-parametriche di a_1 e di n per l'intero territorio, riportate nelle figure seguenti.

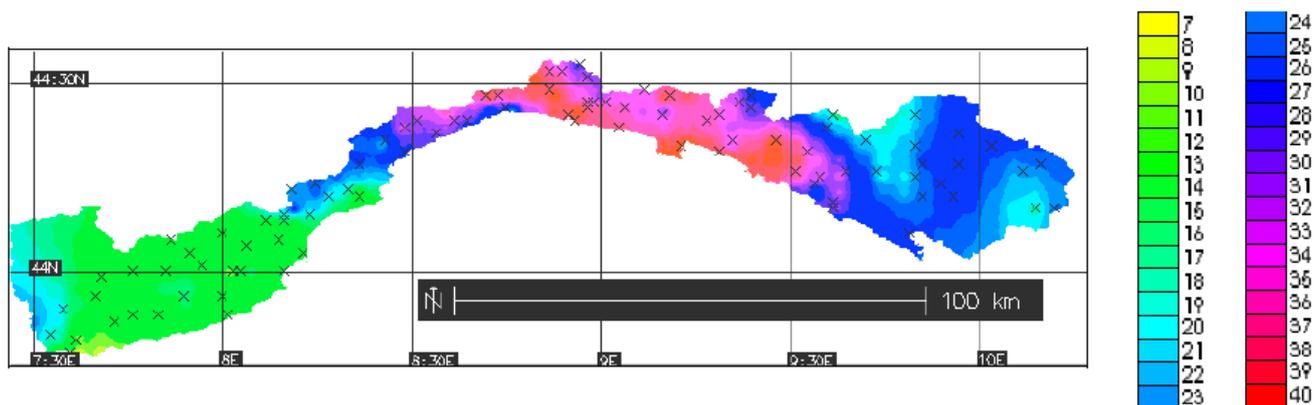


Figura 4.5 - Regionalizzazione VAPI: mappa del parametro a_1 (mm/h^n).

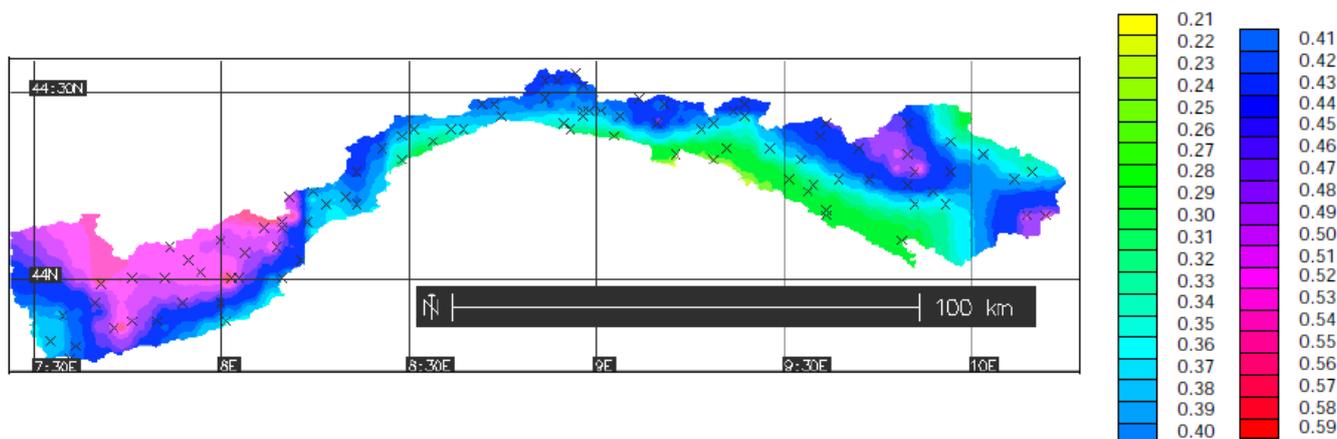


Figura 4.6 - Regionalizzazione VAPI: mappa del parametro n .

Contraente



Progettista



Doc. N.

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 11 RI ID0001 C01

Rev.
A

Foglio
19 di 30

Per le stazioni di misura ricadenti nel bacino del Torrente Polcevera sono stati quindi considerati i corrispondenti valori dei parametri k , α , ε , a_1 , n , ricavati dalla procedura di regionalizzazione sopra descritta (Tabella 4.3).

stazione	ε	α	k	a_1 (mm/ore ⁿ)	n
Mignanego	0.802	0.294	-0.091	40.90	0.352
Isoverde	0.822	0.258	-0.105	45.00	0.414
Genova(università)	0.754	0.310	-0.180	49.50	0.340
Genova(castellaccio)	0.775	0.341	-0.077	47.60	0.341
Crocetta di Orero	0.799	0.301	-0.085	40.30	0.387
Monte Capellino	0.764	0.261	-0.251	39.40	0.434
Madonna della Guardia	0.765	0.292	-0.190	48.70	0.399

Tabella 4.3 – VA.PI.: valori di k , α , ε , a_1 , n , per le stazioni pluviometriche ricadenti nel bacino del T. Polcevera.

Nello specifico, tali valori sono stati “spazializzati” sull’intero territorio del bacino del Torrente Polcevera, con metodo di interpolazione spaziale IDW (distanza inversa ponderata), e “mediati” (Tabella 4.4).

ε	α	k	a_1 (mm/ore ⁿ)	n
0.788	0.291	-0.133	44.47	0.383

Tabella 4.4 – VA.PI.: valori medi dei parametri k , a , e , a_1 , n , per il bacino del T. Polcevera.

4.3. Stima delle portate al colmo

In analogia allo studio condotto dall’Autorità di Bacino della Liguria, il calcolo delle portate al colmo di progetto è stato effettuato secondo i seguenti approcci:

- *Metodo razionale*, sulla base delle curve di possibilità pluviometrica (CPP) derivanti dall’analisi di frequenza regionale (metodologia Va.Pi. Liguria) e dall’elaborazione statistica (secondo Gumbel) dei dati di pioggia registrati presso le stazioni di misura considerate (Tabella 4.2);
- *Metodo di Nash*, sulla base delle curve di possibilità pluviometrica derivanti dall’analisi di frequenza regionale condotta nell’ambito del progetto Va.Pi. Liguria (l’applicazione del metodo di Nash sulla base delle CPP dedotte dall’elaborazione statistica dei dati di pioggia secondo Gumbel è riportata nel Piano di Bacino vigente).

Contraente



Progettista



Doc. N.

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 11 RI ID0001 C01

Rev.
A

Foglio
20 di 30

4.3.1. Metodo razionale

Il metodo razionale o cinematico costituisce uno dei metodi più comuni per il calcolo della portata conseguente ad un'assegnata precipitazione incidente su un determinato bacino. Il metodo si basa sulle seguenti tre ipotesi fondamentali:

1. la pioggia critica ha durata pari al tempo di corrivazione;
2. la precipitazione si suppone di intensità costante per tutta la durata dell'evento;
3. il tempo di ritorno della portata è pari a quello della pioggia critica.

La portata di piena, in funzione del tempo di ritorno, è pari a:

$$Q_{\max} = 278 \frac{\varphi \cdot S \cdot h}{\tau_c}$$

in cui Q_{\max} = portata di piena [m^3/sec]; φ = coefficiente di deflusso; h = pioggia netta [m]; S = area del bacino [km^2]; τ_c = tempo di corrivazione [ore]. La determinazione del tempo di corrivazione può essere effettuata mediante alcune classiche formule empiriche di uso comune; in particolare, per il bacino del T. Polcevera, dall'estensione superiore a 100 km^2 (140 km^2 circa), può essere applicata la ben nota formula di Giandotti:

$$\tau_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5L}{0,8\sqrt{h_m - h_0}}$$

con S = area del bacino [km^2]; L = lunghezza dell'asta principale [km]; h_m = altitudine media del bacino imbrifero sotteso [m s.m.m.]; h_0 = quota della sezione di chiusura del bacino [m s.m.m.]. In particolare, per il bacino in esame, $\tau_c = 5.25$ ore.

Il coefficiente di deflusso φ è stato valutato applicando il metodo del Curve Number CN (SCS method), sulla base della copertura del suolo che caratterizza il bacino in esame; in particolare, si è fatto riferimento allo studio dettagliato condotto nell'ambito della redazione del Piano di Bacino vigente, riportato nell'annessa "Relazione Generale – Torrente Polcevera". Nello specifico, all'intero territorio del bacino del T. Polcevera è stato assegnato un valore medio del CN pari a 90.

Quindi con riferimento al metodo del Soil Conservation Service (SCS), il coefficiente di deflusso (φ) può essere valutato come segue:

$$\varphi = \frac{P_e}{P}$$

con P = altezza di pioggia di progetto corrispondente ad un tempo di ritorno TR e una durata τ_c ; $P_e = (P - 0.2 \cdot S)^2 / (P + 0.8 \cdot S)$; $S = 254 \cdot (100/CN - 1)$.

Contraente



Progettista



Doc. N.

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 11 RI ID0001 C01

Rev.
A

Foglio
21 di 30

Con riferimento invece ai risultati delle analisi statistiche (eseguite con il metodo di Gumbel) delle registrazioni pluviometriche delle stazioni di misura precedentemente descritte, nella tabella seguente sono riportati i valori di altezza di pioggia (di durata pari al tempo di corrivazione), per vari tempi di ritorno, relativi alle stazioni pluviometriche considerate, unitamente all'area del poligono di Thiessen corrispondente.

stazione	area poligono thiessen (km ²)	$h_{T_c,50}$ (mm)	$h_{T_c,200}$ (mm)	$h_{T_c,500}$ (mm)	$h_{T_c,1000}$ (mm)	$h_{T_c,2000}$ (mm)
Mignanego	16.4	157.98	192.35	214.98	232.08	249.17
Isoverde	25.7	201.39	246.19	275.69	297.98	320.26
Genova(università)	3.65	189.93	233.80	267.08	292.43	310.44
Genova(castellaccio)	4.14	189.07	233.45	262.68	287.91	311.00
Crocetta di Orero	13.3	156.54	190.72	213.22	230.23	247.23
Monte Capellino	3.9	183.82	226.65	254.81	276.08	297.33
Madonna Guardia	13.76	221.12	272.87	306.93	332.67	358.39
Pontedecimo	22	231.37	293.80	334.87	365.89	396.90
Valleregia	15.5	231.83	294.30	335.36	366.38	397.37
Bolzaneto	20.55	296.84	383.86	441.12	484.38	527.62

Tabella 4.5 – Valori dell'altezza di pioggia, per vari tempi di ritorno, relativi alle stazioni pluviometriche considerate.

Applicando il metodo dei topoi o dei poligoni di Thiessen, introdotto in precedenza, sono stati quindi ottenuti i seguenti valori di altezza di pioggia (ragguagliata all'area del bacino), per vari tempi di ritorno dell'evento pluviometrico.

$h_{T_c,50}$ (mm)	$h_{T_c,200}$ (mm)	$h_{T_c,500}$ (mm)	$h_{T_c,1000}$ (mm)	$h_{T_c,2000}$ (mm)
215.03	269.19	304.94	332.05	358.90

Tabella 4.6 – Valori dell'altezza di pioggia (ragguagliata all'area) per una durata pari a τ_c per vari tempi di ritorno (T_r).

Sono stati quindi calcolati i valori del coefficiente di deflusso e della portata al colmo di piena, al variare del tempo di ritorno.

TR 50		TR 200		TR 500		TR 1000		TR 2000	
ϕ	Q (mc/s)	ϕ	Q (mc/s)	ϕ	Q (mc/s)	ϕ	Q (mc/s)	ϕ	Q (mc/s)
0.86	1357.1	0.88	1750.9	0.90	2011.7	0.90	2209.8	0.91	2406.0

Tabella 4.7 – Valori del coefficiente di deflusso e della portata al colmo, per i tempi di ritorno considerati, dedotti dall'elaborazione dei dati di pioggia.

Contraente



Progettista



Doc. N.

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 11 RI ID0001 C01

Rev.
A

Foglio
22 di 30

Adottando invece i parametri (Tabella 4.4) delle curve di possibilità pluviometrica derivanti dalla metodologia VA.PI. si ottengono i valori di intensità di pioggia, coefficiente di deflusso (con $CN = 90$) e portata al colmo riportati nella tabella seguente.

<i>TR (anni)</i>	<i>K</i>	<i>P (mm)</i>	<i>i (mm/h)</i>	<i>Pe (mm)</i>	φ	<i>Q (mc/s)</i>
50	2.276	190.9	36.39	160.77	0.842	1182.54
200	3.024	253.7	48.35	222.67	0.878	1637.78
500	3.597	301.8	57.53	270.36	0.896	1988.53
1000	4.080	342.2	65.24	310.54	0.907	2284.07
2000	4.608	386.6	73.69	354.64	0.917	2608.43

Tabella 4.8 – Valori del coefficiente di deflusso e della portata al colmo, per i tempi di ritorno considerati, dedotti applicando le curve di possibilità pluviometrica derivanti dalla metodologia VA.PI.

4.3.2. Metodo di Nash

Il modello di Nash descrive il comportamento di un bacino idrografico mediante un numero n (parametro di forma) di invasi disposti in serie ciascuno dei quali caratterizzato da una stessa costante k (parametro di scala) di invaso. La funzione che descrive l'andamento dell'idrogramma è la seguente:

$$U(t) = \frac{(t/k)^{n-1} e^{-t/k}}{k (n-1)!}$$

Ricorrendo ad una astrazione matematica, il modello di Nash può essere esteso al caso in cui il numero di serbatoi disposti in serie sia un numero reale. In tal caso la funzione fattoriale $(n-1)!$ viene sostituita con la funzione Gamma $\Gamma(\alpha)$ e la funzione $U(t)$ diventa:

$$U(t) = \frac{(t/k)^{\alpha-1} e^{-t/k}}{k \Gamma(\alpha)}$$

Il tempo di ritardo ed il tempo di picco risultano pari a:

$$t_L = \alpha k$$

$$t_p = (\alpha - 1)k$$

Pertanto, ai fini della determinazione della portata al colmo e del relativo idrogramma unitario adimensionale, l'applicazione del modello di Nash richiede la conoscenza dei due parametri α (parametro di forma) e k (parametro di scala) legati al tempo di ritardo.

Contraente



Progettista



Doc. N.

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 11 RI ID0001 C01

Rev.
A

Foglio
23 di 30

Per la stima di questi parametri è possibile procedere con diversi metodi, sfruttando i numerosi modelli geomorfologici disponibili in letteratura (Rodriguez et al. 1979, Rosso 1984), che sfruttano le caratteristiche del reticolo idrografico opportunamente analizzato secondo varie regole di classificazione (Strahler 1952), o più semplicemente ricorrendo alle espressioni che li correlano al più noto parametro idrologico ovvero il tempo di corrivazione del bacino.

Nella maggior parte dei casi, il parametro di forma n risulta compreso tra 2 e 3, mentre il valore del parametro di scala può essere valutato come $k = \tau_d/5$.

Nel caso in esame, in analogia alle analisi sviluppate nell'ambito della redazione del Piano di Bacino, sono stati adottati i seguenti parametri: $n = 3$, $k = 0.5 \cdot \tau_d / (n-1)$ (=1.312 ore). Inoltre, si è assunto quale pioggia di progetto uno ietogramma di tipo Chigago con durata pari a circa 3 volte il tempo di corrivazione diffuso uniformemente sul bacino; la depurazione delle piogge lorde è avvenuta con il metodo CN-SCS, ossia assumendo $CN = 90$ (come precedentemente definito).

Adottando le curve di possibilità pluviometrica derivanti dalla procedura di regionalizzazione VA.PI., si ottengono in definitiva i seguenti valori di portata al colmo:

Tr (anni)	Q [mc/s]
50	1321.594
200	1790.118
500	2148.081
1000	2448.315
2000	2776.627

Tabella 4.9 – Metodo di Nash: valori di portata al colmo, per i tempi di ritorno considerati, dedotti applicando le curve di possibilità pluviometrica derivanti dalla metodologia VA.PI..

4.3.3. Confronto tra le differenti metodologie adottate

Di seguito, si riporta il confronto tra i valori di portata ricavati mediante le differenti metodologie sopra descritte (Figura 4.7).

Le CPP ricavate dall'elaborazione statistica secondo Gumbel applicate al metodo razionale forniscono valori di portata al colmo coincidenti con quelli indicati nel Piano di Bacino, per tutti i tempi di ritorno considerati.

Per $T_r > 200$ anni, le CPP dedotte dalla procedura di regionalizzazione VAPI applicate al metodo di Nash forniscono valori di portata al colmo superiori a quelli ottenuti con le altre metodologie; mentre, se applicate al metodo razionale, forniscono valori di portata al colmo inferiori rispetto ai rimanenti approcci, per $T_r < 500$ anni.

Contraente



Progettista



Doc. N.

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 11 RI ID0001 C01

Rev.
A

Foglio
24 di 30

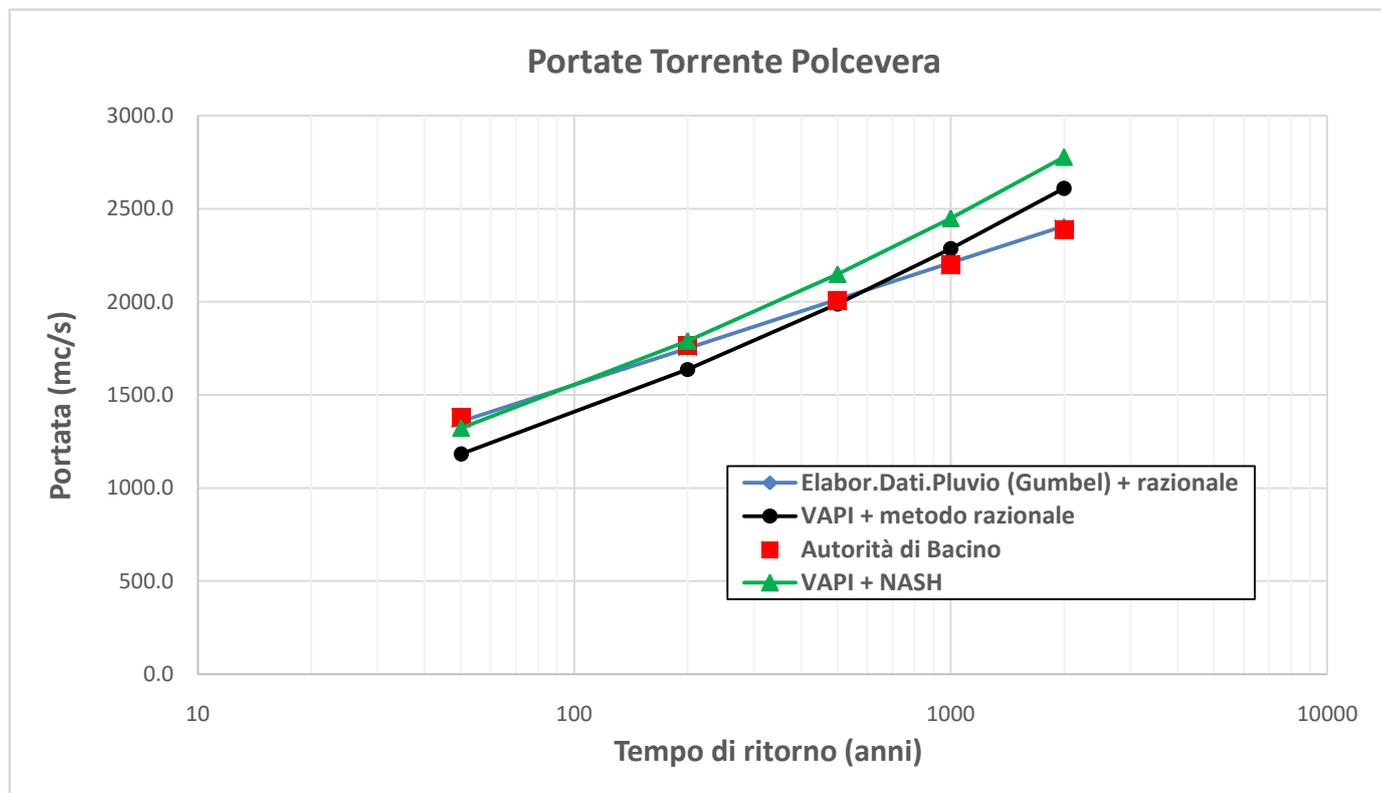


Figura 4.7 -Torrente Polcevera: confronto tra i valori di portata al colmo ottenuti secondo differenti approcci.

4.4. Definizione degli idrogrammi di piena di progetto

Sulla base delle considerazioni precedenti, si è proceduto alla determinazione (tramite il software URBIS) degli idrogrammi di piena (per i tempi di ritorno considerati), da imporre come condizione al contorno nel modello idraulico bidimensionale del Torrente Polcevera, assumendo i seguenti dati di input:

- LEGGE DI PIOGGIA: Metodologia VA.PI. Liguria
- IETOGRAMMA NETTO: tipo Chicago con durata pari a circa 3 volte il tempo di corrivazione e picco $r = 0.5$, CN (curve number) = 90
- MODELLLO IDROGRAMMA: metodo di Nash con $n = 3$; $k = 0.5 \cdot t_c / (n-1) = 1.312$ ore

Nella figura seguente si riportano gli idrogrammi di piena di progetto così determinati.

Contraente



Progettista



Doc. N.

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 11 RI ID0001 C01

Rev.
A

Foglio
25 di 30

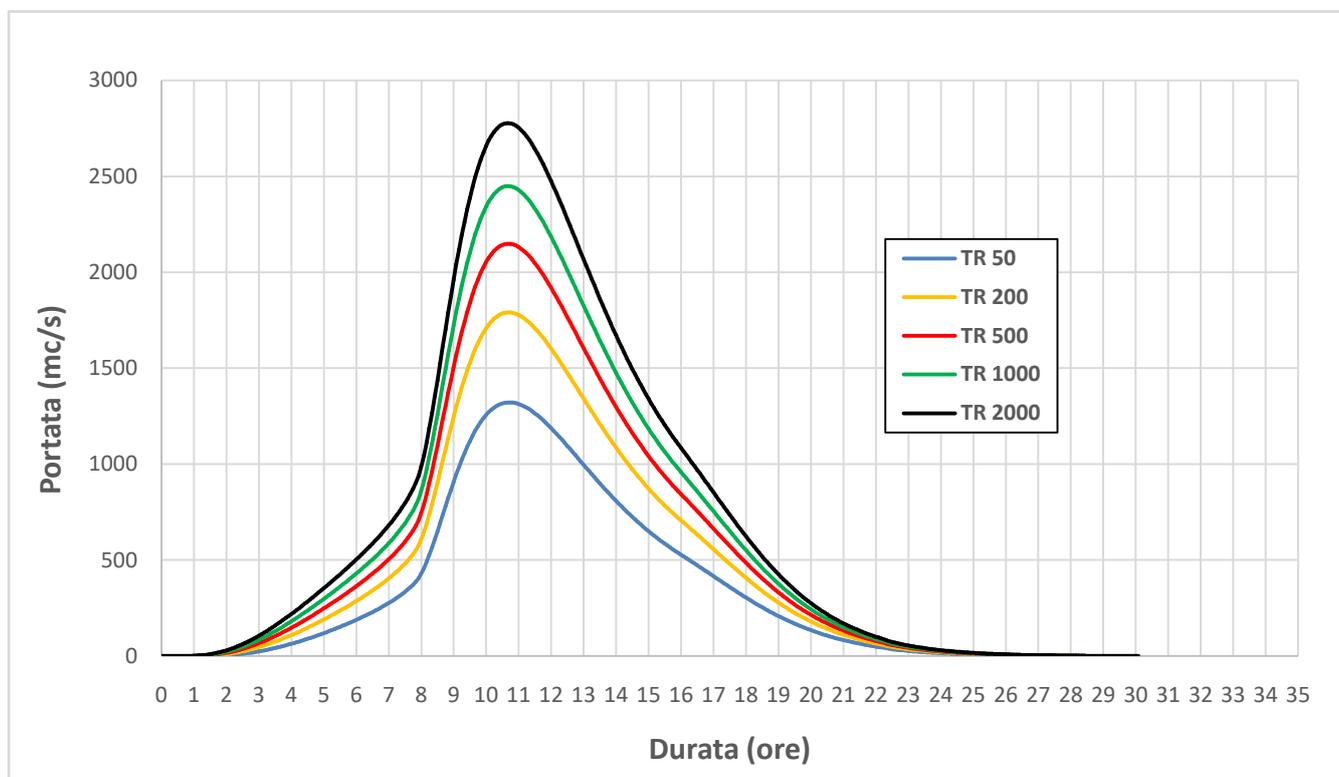


Figura 4.8–Torrente Polcevera: idrogrammi di piena di progetto per vari tempi di ritorno.

4.5. Definizione della portata di cantiere per il dimensionamento delle opere provvisionali

Durante la costruzione delle opere, cioè prima che le stesse abbiano raggiunto il loro assetto definitivo, si pone il problema della definizione del periodo di ritorno al quale fare riferimento, per il dimensionamento delle eventuali opere provvisionali del periodo transitorio.

L'importanza dell'opera, la durata della sua esecuzione, l'ambiente di lavoro o i possibili impatti possono poi suggerire quale debba essere l'approfondimento necessario per valutare il grado di rischio accettabile durante la costruzione.

A tale scopo, sono state applicate due metodologie per la definizione del tempo di ritorno della cosiddetta "portata di cantiere":

- metodologia dell'Autorità di Bacino del Fiume Po (*Direttiva n.2/1999*);
- metodologia del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - CSLLPP (*"Istruzioni tecniche per la progettazione delle dighe marittime"*).

Contraente



Progettista



Doc. N.

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 11 RI ID0001 C01

Rev.
A

Foglio
26 di 30

4.5.1. Metodologia dell'Autorità di Bacino del Fiume Po

L'assegnazione del periodo di ritorno T_r per provvedere al dimensionamento di un'opera idraulica, e quindi al controllo di un definito evento limite, comporta l'assunzione di un parimenti definito grado di rischio.

La misura del rischio cui l'opera è esposta può calcolarsi definendo, prefissato T_r , la durata della vita dell'opera; o meglio, la durate della vite dell'opera: per esempio, l'opera fondamentale, prima; quelle provvisionali, poi. Il rischio $R(N)$, se N è il numero d'anni che misura la durata della vita dell'opera, per un definito T_r , si esprime mediante la seguente relazione:

$$R(N) = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_r}\right)^N$$

Con riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni (2018), il tempo di ritorno di progetto per le piene dei corsi d'acqua attraversati da ponti stradali/autostradali è pari a: $T_r = 200$ anni.

Fissata in $N = 200$ anni la durata della vita dell'opera in progetto, il rischio che possano essere superati gli eventi di riferimento vale rispettivamente: $R(200) = 0.633$, per $T_r = 200$ anni.

Per tempi di ritorno maggiori: $R(200) = 0.33$, per $T_r = 500$ anni; $R(200) = 0.181$, per $T_r = 1000$ anni; $R(200) = 0.095$, per $T_r = 2000$ anni.

Per il dimensionamento delle opere provvisionali necessarie alla costruzione dell'opera e per la verifica di compatibilità idraulica delle stesse nonché delle aree di cantiere annesse, assunta una durata della fase transitoria pari a D , il tempo di ritorno di riferimento da adottare per il calcolo delle portate di piena durante le fasi di cantiere viene determinato mediante la relazione precedente, una volta accettato il medesimo grado di rischio calcolato per le opere principali.

Si avrà pertanto:

$$T_r = \frac{1}{1 - (1 - R(N))^{1/D}} = \frac{1}{1 - \left(1 - \frac{1}{T_r}\right)^{N/D}}$$

Sulla base delle risultanze del calcolo delle portate al colmo di progetto del T. Polcevera precedentemente discusse, per il calcolo delle cosiddette portate di cantiere sono state applicate dunque le CPP derivanti dalla procedura di regionalizzazione VA.PI. e il metodo razionale. Nella tabella seguente si riportano i valori del tempo di ritorno di riferimento da adottare al variare della durata D del cantiere e del grado di rischio "accettabile" durante la fase di costruzione, unitamente ai corrispondenti valori di portata al colmo.

Contraente



Progettista



Doc. N.

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 11 RI ID0001 C01

Rev.
A

Foglio
27 di 30

Rischio = 63.3 %		
Durata cantiere (mesi)	Tr (anni)	Q (mc/s)
1	1	113.0
3	1	113.0
6	1.2	214.2
12	1.6	306.1

Tabella 4.10 – Valori di portata al colmo per il dimensionamento delle opere provvisionali di cantiere (R = 63.3%).

Rischio = 33.0 %		
Durata cantiere (mesi)	Tr (anni)	Q (mc/s)
1	1.2	214.2
3	1.2	214.2
6	1.8	337.5
12	3	461.5

Tabella 4.11 – Valori di portata al colmo per il dimensionamento delle opere provvisionali di cantiere (R = 33.0%).

Rischio = 18.1 %		
Durata cantiere (mesi)	Tr (anni)	Q (mc/s)
1	1.8	337.5
3	1.8	337.5
6	3	461.5
12	5.5	602.7

Tabella 4.12 – Valori di portata al colmo per il dimensionamento delle opere provvisionali di cantiere (R = 18.1%).

Rischio = 9.5 %		
Durata cantiere (mesi)	Tr (anni)	Q (mc/s)
1	3	461.5
3	3	461.5
6	5.5	602.7
12	10.5	758.5

Tabella 4.13 – Valori di portata al colmo per il dimensionamento delle opere provvisionali di cantiere (R = 9.5%).

4.5.2. Metodologia del CSLPP

Il tempo di ritorno di progetto per le opere a gettata " T_{RP} " è definito, in accordo con le "Istruzioni tecniche per la progettazione delle dighe marittime" del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, dalla relazione:

$$T_{RP} = \frac{T_v}{[-\ln(1 - P_f)]}$$

dove T_v rappresenta la durata minima dell'opera determinata in relazione alle sue caratteristiche funzionali ed al livello di sicurezza richiesto e P_f rappresenta la massima probabilità di danneggiamento ammissibile nel periodo di vita dell'opera.

Contraente



Progettista



Doc. N.

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 11 RI ID0001 C01

Rev.
A

Foglio
28 di 30

La durata minima dell'opera è desumibile in relazione del tipo di opera e dal livello di sicurezza richiesto, come da tabella seguente:

Tipo dell'opera	Livello di sicurezza richiesto		
	1	2	3
	Vita dell'opera (anni)		
Infrastrutture di uso generale	25	50	100
Infrastrutture ad uso specifico	15	25	50

Il livello di sicurezza 1 si riferisce ad opere ed installazioni di interesse locale ed ausiliario, comportanti rischio minimo di perdita di vite umane o di danni ambientali in caso di collasso dell'opera (difese costiere – porti minori – ecc.), mentre il livello 2 si riferisce ad installazioni di interesse generale, comportanti rischio moderato di perdita di vite umane (opere di grandi porti – ecc.) e quello 3 alle opere d'interesse sopranazionale e di protezione dal moto ondoso, comportanti un elevato rischio di perdita di vite umane (difese costiere – porti minori – ecc.).

La massima probabilità di danneggiamento ammissibile è associata alle tipologie di rischio di danneggiamento incipiente o di distruzione totale, secondo le tabelle allegate:

Danneggiamento Incipiente	Rischio per la vita umana	
	Limitato	Elevato
Ripercussione economica		
Bassa	0,50	0,30
Media	0,30	0,20
Alta	0,25	0,15

Distruzione Totale	Rischio per la vita umana	
	Limitato	Elevato
Ripercussione economica		
Bassa	0,20	0,15
Media	0,15	0,10
Alta	0,10	0,05

Con riferimento alle istruzioni sopracitate, per la valutazione del danneggiamento ammissibile è stata considerata la probabilità relativa alle condizioni di distruzione totale, vista la breve durata di vita delle opere provvisionali in esame.

Si è proceduto quindi alla determinazione del tempo di ritorno di riferimento (T_{RP}) assegnando parametricamente alla probabilità di danneggiamento P_f i valori 0,05, 0,1, 0,15, 0,20, così come riportati nella tabella precedente, per differenti durate minime di vita dell'opera provvisoriale ($T_v = 3, 6, 12$ mesi).

Contraente



Progettista



Doc. N.

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 11 RI ID0001 C01

Rev.
A

Foglio
29 di 30

Nelle tabelle seguenti, i valori di T_{RP} ed le corrispondenti portate al colmo, per differenti valori di P_f .

Vita dell'opera (mesi)	3	
P_f	TRP (anni)	Q (mc/s)
0.2	1.120	174.1
0.15	1.538	287.9
0.1	2.373	408.8
0.05	4.874	575.7

Tabella 4.14 – Valori di portata al colmo per il dimensionamento delle opere provvisionali di cantiere, per differenti valori della probabilità di danneggiamento e vita dell'opera pari a 3 mesi.

Vita dell'opera (mesi)	6	
P_f	TRP (anni)	Q (mc/s)
0.2	2.241	387.7
0.15	3.077	461.5
0.1	4.746	570.9
0.05	9.748	741.4

Tabella 4.15 – Valori di portata al colmo per il dimensionamento delle opere provvisionali di cantiere, per differenti valori della probabilità di danneggiamento e vita dell'opera pari a 6 mesi.

Vita dell'opera (mesi)	12	
P_f	TRP (anni)	Q (mc/s)
0.2	4.481	555.8
0.15	6.153	631
0.1	9.491	733.8
0.05	19.496	917.2

Tabella 4.16 – Valori di portata al colmo per il dimensionamento delle opere provvisionali di cantiere, per differenti valori della probabilità di danneggiamento e vita dell'opera pari a 12 mesi.

Contraente



Progettista



Doc. N.

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 11 RI ID0001 C01

Rev.
A

Foglio
30 di 30

5. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

AA. VV. Manuale di Ingegneria Civile e Ambientale, Zanichelli ESAC, Bologna, 2003.

Autorità di Bacino della Regione Liguria, PIANO DI BACINO STRALCIO PER LA TUTELA DAL RISCHIO IDROGEOLOGICO (approvato con Delibera del Consiglio Provinciale di Genova n.14 del 02/04/2003 ed entrato in vigore con BURL n. 18 del 03/05/2017 – parte II).

Autorità di Bacino della Regione Liguria, PIANO DI BACINO STRALCIO PER LA TUTELA DAL RISCHIO IDROGEOLOGICO – *Relazione generale Torrente Polcevera* (2017).

Ferro V., La sistemazione dei bacini idrografici, McGraw-Hill, Milano, 2006.

Maione U., Appunti di idrologia 3. Le piene fluviali, La Goliardica Pavese, 1977.

Marani M., Processi e modelli dell'Idrometeorologia, Dispense, 2005.

Nuove Norme Tecniche per le costruzioni 2018, DECRETO 17 gennaio 2018 . Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni», MINISTRO DELLE INFRASTRUTTURE.

Rossi F., Fiorentino M., Versace P., Two component extreme value distribution for Flood Frequency Analysis, Water Resources Research, Vol. 20, N.7, 1984.

Surendra, K. M., Vijay., P. S. Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology. Springer, pp. 84-146, 2003.