Firmato digitalmente da
irene persico
CN = irene persico
O = Ordine degli Ingegneri della Provincia di Savona
C = IT

Studio Arnaud – Studio Persico e Zerbinati

Comune di Carcare (SV)
Regione Liguria

STUDIO IDRAULICO SUL FIUME BORMIDA DI PALLARE A CARCARE



Relazione idraulica

OGGETTO

Intervento di completamento del tratto di scogliera in sponda destra del Fiume Bormida di Pallare fino alla confluenza con il Rio Nanta, in Loc. Pradonne, Carcare (SV)

COMMITTENTE Sig. Irgher Luigi

Redatto: ing. Paolo ARNAUD

PROGETTISTI

Studio ARNAUD
Regione Perno 130 14033 Castell'Alfero (AT)
Cell. +39 3472438591
www.studioarnaud.it
arnaud@studioarnaud.it

Studio Persico e Zerbinati Associati
Via del Collegio 26/7 - 17043, Carcare (SV)
Tel. +39 019 5142225
persico@persicozerbinati.it
info@persicozerbinati.it

CODIFICA

COD. COMMESSA	TIP. LAVORI	MACROATTIVITA'	N. ELABORATO	TIPOL. ELABORATO	VERSIONE	DESCRIZIONE	DATA
04_25	Z	G01	01	RIE	0	Emissione	27/10/2025
					1	Aggiornamento	05/11/2025

ELABORATO
G01
01

Diritti riservati ex art. 2578 C.C. - Riproduzione e consegna a terzi solo su specifica autorizzazione

GESTIONE MODIFICHE VERSIONI DOCUMENTO

Emissione	Data	Oggetto
0	27/10/2025	*Prima emissione*
1	05/11/2025	*Aggiornamento*

INDICE

1. PREMESSA 5

1.1 DESCRIZIONE DELLO STATO ATTUALE DEI LUOGHI 6

2. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO 9

3. STUDIO IDRAULICO 10

3.1.1 Caratterizzazione geologica-geomorfologica 11
3.1.2 Parametri morfometrici 12

4. ANALISI IDROLOGICA 12

4.1 CALCOLO DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE 13
4.2 DEFINIZIONE DEL REGIME PLUVIOMETRICO 16
4.2.1 Bormida di Pallare - Le curve di massima possibilità pluviometrica 16
4.2.2 Bormida di Pallare - Pluviogrammi tipo Chicago 18
4.3 MODELLO DI TRASFORMAZIONE AFFLUSSI-DEFLUSSI 19
4.3.1 Costruzione del modello idrologico 19
4.3.2 Parametri di calcolo 20
4.3.3 Calcolo dei parametri idrologici per il bacino del fiume Bormida di Pallare 20
4.4 CALCOLO DI TRASFORMAZIONE AFFLUSSI-DEFLUSSI 25
4.4.1 Calibrazione del modello idrologico 25
4.4.2 Portate al colmo per tempi di ritorno 26
4.4.3 Evento del 24-25 Novembre 2016 30
4.4.3.1 Modello Idrologico applicato per l'evento del 24 Nov 2016 31
4.4.3.2 Analisi pluviometrica - Precipitazioni ragguagliate 31
4.4.3.3 Risultati del calcolo di trasformazione afflussi-deflussi 33
4.4.4 Evento del 10-11 Ottobre 2018 35
4.4.4.1 Risultati del calcolo di trasformazione afflussi-deflussi 35
4.4.5 Evento del 22-23 Novembre 2019 37
4.4.5.1 Risultati del calcolo di trasformazione afflussi-deflussi 37

5. ANALISI IDRAULICHE 39

5.1 ASPETTI GENERALI 39
5.2 RILIEVI TOPOGRAFICI 39
5.3 GEOMETRIA DEL MODELLO IDRAULICO 41
5.4 DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO MONODIMENSIONALE 43
5.5 COEFFICIENTI DI SCABREZZA 44
5.6 CONDIZIONI AL CONTORNO 44
5.7 PORTATE DI CALCOLO 45
5.8 RISULTATI DELLE ANALISI IDRAULICHE 45
5.8.1 Scenario 01_Attuale: "RUN_01_ATT_2020_Q2-425" 45
5.8.1.1 Determinazione delle Scale di deflusso alle stazioni idrometriche 45
5.8.1.2 Analisi dell'Evento del 24 Novembre 2016 47
5.8.2 Risultati del 2025 - Allegati 48
5.8.2.1 Scenario 01_Attuale: "RUN_01_2025_ATT" 48
5.8.2.2 Scenario 02_Progetto: "RUN_04_2025_PRO_03" 52

6. CONCLUSIONI 56

7. BIBLIOGRAFIA 57

ALLEGATI

- ALLEGATO 1 – REPORT SUI RILIEVI FOTOGRAMEMTRICI SAPR – Geom. P. Verrua –
- ALLEGATO 2 – PLANIMETRIA DEL MODELLO IDRAULICO DEL BORMIDA DI PALLARE – Agg. 2025
- ALLEGATO 3 – RISULTATI ANALISI IDRAULICHE - **Scenario 01_Attuale: "RUN_01_2025_ATT"**;
- ALLEGATO 4 – RISULTATI ANALISI IDRAULICHE - **Scenario 02_Progetto**: "**RUN_02_2025_PROG**";
- ALLEGATO 5 – Tavola 1 "**Limiti di esondazione nelle condizioni attuali**" per tempi di ritorno di 50 – 200 – 500 anni su Ortofoto Rilievo Fotogrammetrico del 2025;
- ALLEGATO 6 – Tavola 2 "**Limiti di esondazione nelle condizioni di progetto**" per tempi di ritorno di 50 – 200 – 500 anni su Ortofoto Rilievo Fotogrammetrico del 2025.

1. PREMESSA

La presente relazione idraulica accompagna gli elaborati di progetto dell'intervento in oggetto, consistente completamento del tratto di scogliera in sponda destra del Fiume Bormida di Pallare, in Loc. Pradonne, Carcare (SV), all'interno di area di proprietà dei Sigg. Irgher Luigi e Marcello, identificata al N.C.T. al fg.4 mapp.494 del Comune di Carcare (vedi stralcio catastale allegato)



Figura 1. Identificazione dell'area di intervento

Il tratto di scogliera esistente in sponda destra, rispetto a cui il presente intervento si inserisce quale completamento con lo scopo di protezione della sponda destra dall'erosione determinata a seguito dei ripetuti eventi alluvionali accaduti, sono stati realizzati dai Sigg.ri Irgher Luigi e Irgher Marcello tramite nulla osta idraulico n. PG/2020/0243542 del 30/07/20 per il ripristino di un tratto di opera di protezione spondale destra del fiume Bormida prospiciente l'area di loro proprietà e tramite l'atto autorizzativo n. 4621-2024 per il ripristino di tratto di scogliera di raccordo.

1.1 DESCRIZIONE DELLO STATO ATTUALE DEI LUOGHI

Il tratto di scogliera in sponda destra esistente, raccordandosi in corrispondenza del limite di proprietà con la scogliera presente a monte, edificata dal Comune di Carcare, si pone a protezione della sponda destra del Fiume Bormida di Pallare per un tratto di circa 35 m a partire dal confine, all'interno di area di proprietà dei Sigg. Irgher Luigi e Marcello.



Figura 2. Vista di insieme del tratto di intervento

Tale scogliera, costituita da massi squadrati di 3° categoria, ha una altezza totale di circa 4.50 m, paramento libero massimo di circa 3.80 m, larghezza in testa al paramento di 1.50 m e pendenza del paramento di valle variabile in funzione delle sezioni di circa 11.61°/15.32° .



Figura 3. Vista da valle verso monte

A circa a 2/3 del tratto esistente è presente l'attraversamento del collettore fognario pubblico, protetto da una piccola briglia in massi trasversale all'alveo.



Figura 4. Traversa in corrispondenza del collettore fognario

2. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

L'intervento in progetto prevede il completamento del un tratto di opera di protezione spondale esistente destra del Fiume Bormida di Pallare per un tratto di circa 150 m.

Il progetto prevede la realizzazione di un tratto opera di protezione spondale in massi squadrati di 3° categoria, dimensionata in relazione alla stratigrafia geologica caratterizzata nella relazione geologica a firma del Dott. Geol. Luca Bertino, allegata alla presente, e in relazione ai carichi agenti sul profilo di monte (si allega relazione geotecnica e di calcolo). Tale scogliera avrà altezza totale variabile da 4.80 a 5.30 m, paramento libero massimo di circa 4.00 m, fondazione di larghezza variabile in funzion dell'altezza e della pendenza, larghezza in testa al paramento di 1.50 m e pendenza del paramento di valle di circa 11.61° nelle sezioni denominate 0.95-0.88-0.86 e di circa 15.32° nelle sezioni denominate 1.1 e 1.

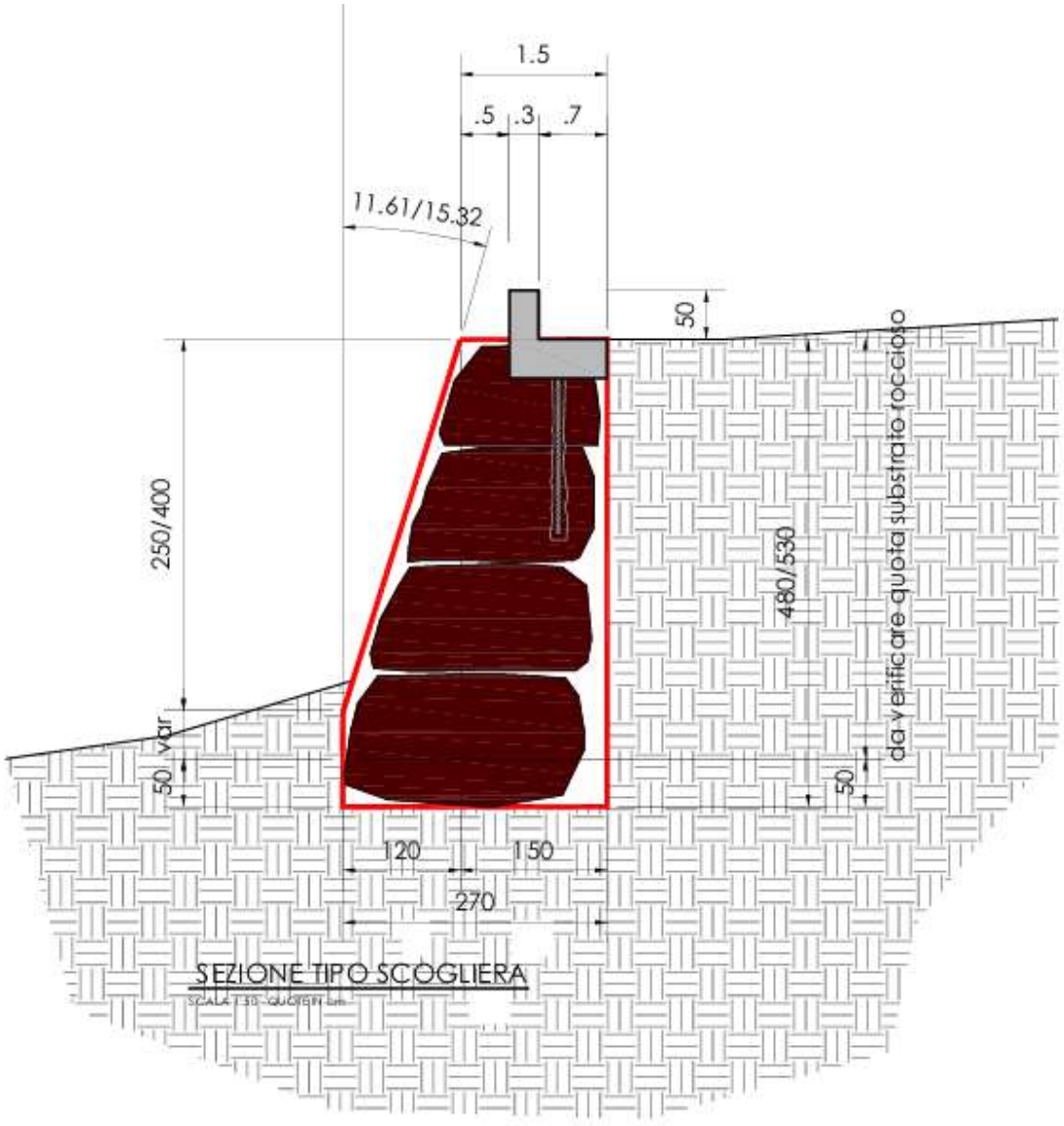


Figura 5. Sezione TIPO scogliera.

3. STUDIO IDRAULICO

lo Scrivente redige il presente studio Idraulico sul Fiume Bormida di Pallare, lungo il tratto compreso tra la sezione del ponte di via Nazionale ed il confine comunale a valle, per le verifiche idrauliche nell'ambito del progetto per la realizzazione della scogliera in destra idrografica, in continuità con il tratto già realizzato nel 2024.

Il presente studio consentirà anche di determinare le condizioni di pericolosità idraulica in presenza della difesa in progetto, utile per eventuale aggiornamento del quadro del dissesto e delle fasce fluviali.

Lo studio viene effettuato previo aggiornamento delle portate di riferimento PAI con l'utilizzo del nuovo reticolo aggiornato dei parametri pluviometrici fornito dall'Autorità di Bacino del Fiume Po nel 2024.

Lo studio in oggetto viene effettuato con l'utilizzo di un Modello Idraulico – numerico già costruito ed utilizzato nel corso del 2021 per la verifica di un progetto di opere di difesa, ed aggiornato con la geometria delle scogliere di recente realizzazione in sponda destra, e dai rilievi fotogrammetrici eseguiti nel 2025.

Lo studio effettuato con Modello Idrologico è anche utile per riprodurre in back-analysis i recenti eventi di piena.

Il Modello Idraulico numerico è stato costruito sulla base di un rilievo fotogrammetrico realizzato con drone (tecnologia SAPR), ad integrazione dei dati rilevabili dal Modello Digitale del Terreno (DTM-LiDAR) del Ministero dell'Ambiente. L'utilizzo del drone consente, rispetto alle tradizionali tecniche topografiche, l'acquisizione di dati estesi a regioni anche distanti dall'alveo inciso, spesso non accessibili, con elevata precisione, che viene garantita da un rilievo GPS preliminare con numerose basi a terra.

La metodologia di calcolo per l'analisi del comportamento idraulico del corso d'acqua in studio ha previsto l'allestimento di un modello in configurazione monodimensionale, con analisi dei deflussi condotte in moto permanente, che hanno consentito la fedele riproduzione degli scenari di esondazione di eventi di piena recenti e di deteminare in modo attendibile i livelli per le portate al colmo per i tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni.

Dai risultati numerici ottenuti è possibile tracciare i limiti di esondabilità per le suddette portate, potendo in tal modo classificare le aree con diverso grado di pericolosità, ai sensi della Normativa sul P.A.I. dell'Autorità di Bacino.

CARATTERIZZAZIONE IDROGRAFICA

Lo studio interessa l'asta del fiume Bormida di Pallare che si estende dal Colle del Melogno fino a Carcare.

Il bacino presenta una superficie complessiva di 64,65 km^2 e lunghezza dell'asta principale di circa 21.2 km.

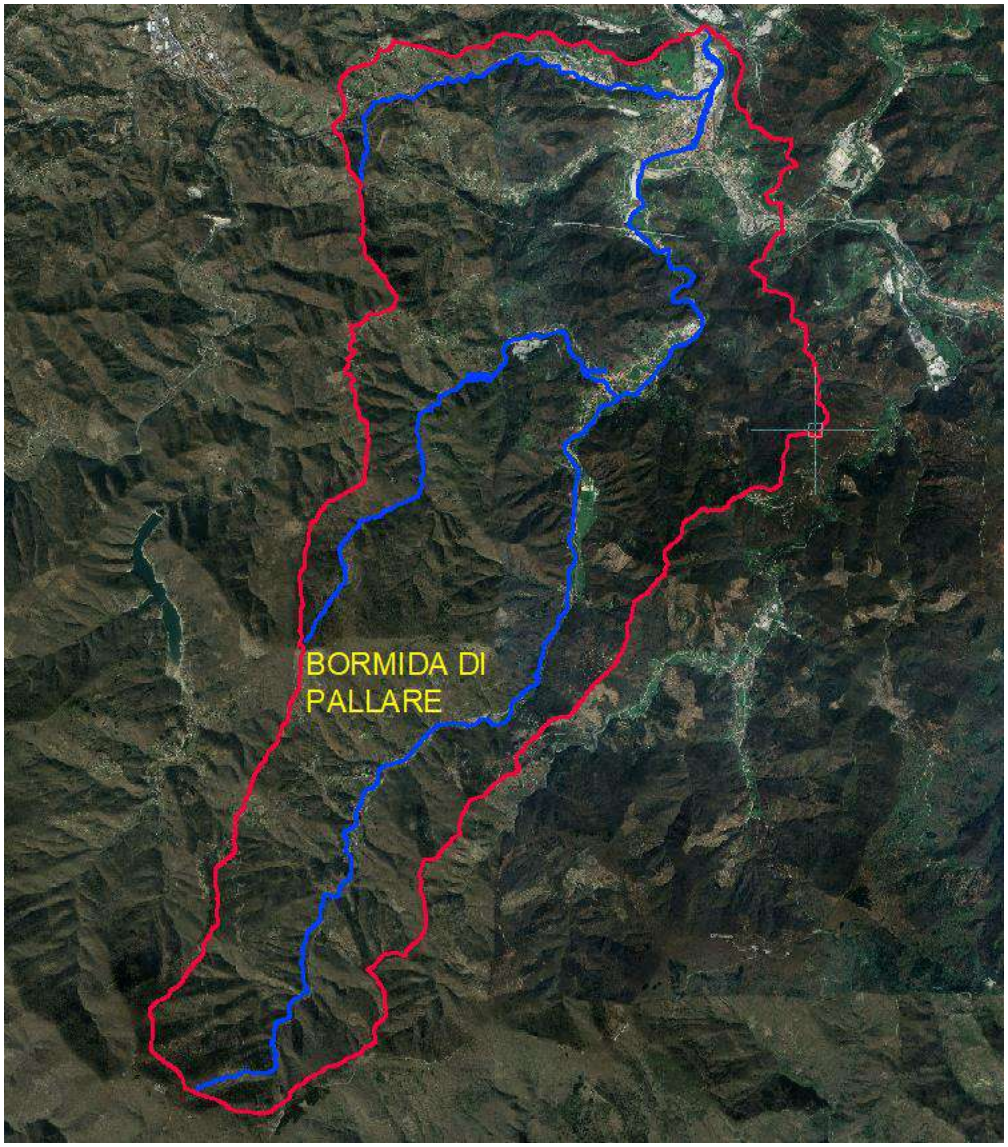


Figura 6 – Il bacino del Fiume Bormida di Pallare.

3.1.1 Caratterizzazione geologica-geomorfologica

Il bacino è impostato nella sequenza dei depositi sedimentari del Bacino Terziario Ligure, lungo il fondo valle sono presenti depositi alluvionali attuali e recenti del corso d'acqua principale.

Nel complesso, il bacino del fiume Bormida di Pallare si sviluppa in un'area geologicamente "giovane", in cui risultano molto significativi ed estesi i fenomeni di erosione e deposito di materiale, con conseguente meandrizzazione del corso d'acqua.

3.1.2 Parametri morfometrici

I parametri morfometrici del bacino del fiume Bormida di Pallare ricavati da analisi GIS, alla sezione di chiusura a valle del comune di Carcare sono i seguenti:

Superficie	S=64.65 km^2;
Lunghezza dell'asta principale	L=21,16 km;
Pendenza media dell'asta	i_f=1,48%;
Pendenza media dei versanti	i_v=21,6%.

4. ANALISI IDROLOGICA

La presente analisi idrologica dul bacino del fiume Bormida di Pallare, suddiviso nei suoi principali sottobacini, è finalizzata alla determinazione delle portate di riferimento P.A.I.

A tal fine è stato adottato un approccio modellistico afflussi-deflussi, che consente di rappresentare la trasformazione della precipitazione afferente su un bacino in portata al colmo alla sezione di interesse. Tale approccio richiede innanzitutto una rappresentazione schematica del bacino cui dev'essere applicato il metodo, mediante sua suddivisione in sottobacini, così come riportato nella seguente figura dove sono rappresentati i sottobacini e la relativa codifica.

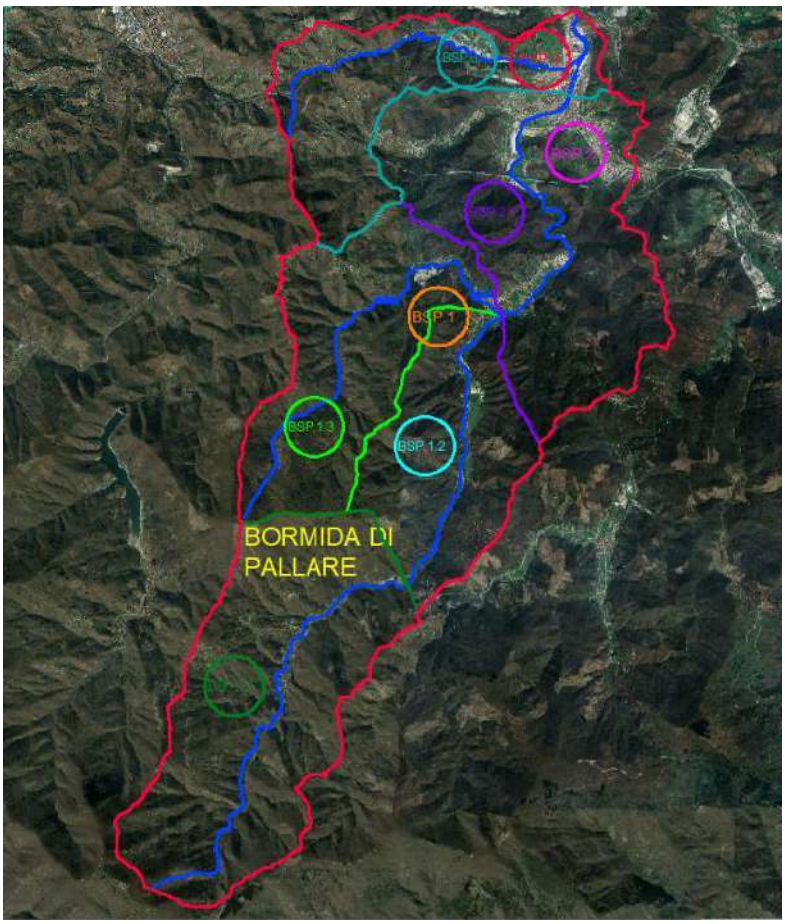


Figura 7 – Sottobacini del Fiume Bormida di Pallare.

I sottobacini sono riportati nella seguente tabella.

Tabella 1- Sottobacini del fiume Bormida di Pallare

Bacino	Sottobacino	Corso d'acqua	Sezione di chiusura
BSP. 1	BSP.1.1	Bormida di Pallare	Pian Sottano
	BSP.1.2	Bormida di Pallare	Pallare – Conf. T. Viazza
	BSP.1.3	Torrente Viazza	Pallare – Conf. Bormida
BSP. 2	BSP.2.1	Bormida di Pallare	Carcare monte
BSP. 3	BSP.3.1	Bormida di Pallare	Conf. Bormida di Mallare
Bacino totale		Bormida di Pallare	Conf. Bormida di Mallare

Si riportano le caratteristiche morfometriche dei sottobacini ricavate dal GIS nella seguente tabella:

Tabella 2 - Parametri morfometrici dei sottobacini principali del fiume Bormida di Pallare

BACINO SEZ. CHIUSURA	A [km2]	L.asta [km]	L.asta Eeq_SCS [m]	H.max.med [m.s.l.m.]	H.med [m.s.l.m.]	H.0 [m.s.l.m.]	H.m – H.0 [m]	if.med_ld [m/m]	i.ver [m/m]
PALLARE BAC. BSP1.1	17.721	8.28	9783	1388	823.9	468	355.9	0.0454	0.2825
PALLARE BAC. BSP1.2	9.169	5.32	6588	970	609.8	395	214.8	0.0132	0.2910
PALLARE BAC. BSP1.3	11.351	7.96	7489	1103	666.3	395	271.3	0.0440	0.2633
PALLARE BAC. BSP2.1	16.918	5.99	9515	685	463.6	345	118.6	0.0082	0.0958
PALLARE BAC. BSP3.1	9.477	7.11	6874	650	443.8	335	108.8	0.0063	0.1332
BAC. TOTALE A BSP2.1	55.159	19.58	19336	1388	762.4	345	417.4	0.0162	0.2227
BAC. TOTALE A BSP3.1	64.64	26.69	21337	1388	757.4	335	422.4	0.0148	0.2092

4.1 CALCOLO DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE

Il tempo di corrivazione del bacino del fiume Bormida di Pallare e dei sottobacini in cui è suddiviso viene calcolato con le relazioni di Tournon Merlo, Aronica-Paltrinieri, SCS (Soil Conservation Service), Puglisi, Renzo Rosso, Pezzoli, Ventura, Metodo cinematico, di seguito brevemente illustrate.

La formula proposta da **Aronica-Paltrinieri**, applicabile per bacini di 10–20 km^2, deriva dalla formula di Giandotti introducendo due parametri associati al tipo di copertura e alla permeabilità del suolo:

$$T_c = \frac{1/Md \cdot \sqrt{S} + 1.5 \cdot L}{0.8 \cdot \sqrt{H}}$$

dove:

T_c = tempo di corrivazione (ore);

S = area del bacino idrografico (km^2);

L = lunghezza dell'asta principale (km);

H = altitudine media del sottobacino riferita alla sezione di chiusura (m);

M = parametro relativo al tipo di copertura;

d = parametro relativo alla permeabilità del suolo.

I parametri tipici sono riportati in Tabella 3 .

Tabella 3 - Parametri della formula di Aronica - Paltrinieri

Valori costanti *M* e *d* della formula di Aronica e Paltrinieri.	
Tipo di copertura	M
Terreno nudo	0,667
Terreni coperti con erbe rade	0,25
Terreni coperti da bosco	0,2
Terreni coperti da prato permanente	0,167
Permeabilità	*d*
Terreni semi-permeabili	1,27
Terreni poco permeabili	0,96
Terreni mediamente permeabili	0,81
Terreni molto permeabili	0,69

Formulazione proposta dall'SCS:

$$T_c = 0.00227 \cdot (1000 \cdot L_a)^{0.8} \cdot \left[\left(1000/CN\right) - 9\right]^{0.7} \cdot i_b^{-0.5}$$

dove:

L_a = lunghezza dell'asta principale del bacino (km);

CN = Curve Number del Soil Conservation Service, calcolato per condizioni AMC_III di saturazione del suolo;

i_b = pendenza media del bacino.

La formula determinata da **Tournon e Merlo**, fu ricavata da un'approfondita indagine sui fenomeni di piena verificatisi in nove piccoli bacini piemontesi con superficie inferiore a 200 km^2, ottenendo una relazione matematica che interpreta in modo soddisfacente e prudenziale i valori sperimentali dei tempi di corrivazione dei bacini esaminati. Tale relazione è la seguente:

$$T_c \equiv 0{,}396 \frac{L}{\sqrt{i_f}} \left(\frac{S}{L^2} \cdot \frac{\sqrt{i_f}}{\sqrt{i_v}} \right)^{0{,}72} \qquad (1.3)$$

dove :

Tc = tempo di corrivazione [ore];

S = superficie del sottobacino [Km2];

L = lunghezza dell'asta principale [Km];

if = pendenza caratteristica dell'asta principale [m/m];

iv = pendenza media dei versanti [m/m].

Formulazione di Puglisi:

$$T_c = 6 \cdot \frac{L^{0.667}}{\Delta H^{0.333}}$$

dove: ΔH = dislivello dell'asta principale (m).

Formulazione proposta dal **Prof. Renzo Rosso**:

$$T_c = 0.433 \cdot L^{0.82} \cdot {i_m}^{-0.2} \cdot (1 + CN_{i_m})^{0.13}$$

dove:

I_m = pendenza media del bacino;

CN_{im} = Curve Number maggiorato con un coefficiente dipendente dalla pendenza dei versanti.

I tempi di corrivazione calcolati con le formule sopra riportate sono mediati con i valori ottenuti dal metodo cinematico, calcolando i tempi di percorrenza dei deflussi nelle aste principali con l'equazione del moto.

Formulazione proposta dal **Prof. Giannantonio Pezzoli**:

$$T_c = 0.055 \cdot L \cdot {i_f}^{-0.5}$$

dove:

L = lunghezza dell'asta [km];

I_f = pendenza media dell'asta [m/m].

I tempi di corrivazione dei bacini del Bormida di Pallare sono riportati nella seguente ***Tabella 4***.

Tabella 4 - Tempi di corrivazione dei sottobacini del Bormida di Pallare

BACINO	Tc (SCS)_AMC2	Tc (Tournon Merlo)	Tc (Puglisi)	Tc (Rosso)	Tc (Aronica Paltrinieri) (*)	Tc (Pezzoli)	Tc (Ventura)	Metodo cinematico	Tc.med	T.lag
	[ore]	[ore]	[ore]	[ore]	[ore]	[ore]	[ore]	[ore]	[ore]	[min]
PALLARE BAC. BSP1.1	2.63	3.01	2.52	2.42	2.14	2.14	2.51	2.95	2.30	**82.6**
PALLARE BAC. BSP1.2	1.89	2.67	2.20	1.68	1.90	2.54	3.35	1.89	1.89	**68.2**
PALLARE BAC. BSP1.3	2.20	2.29	2.68	2.38	2.12	2.09	2.04	2.83	2.14	**77.1**
PALLARE BAC. BSP2.1	4.42	6.29	2.83	2.31	3.27	3.63	5.76	2.13	3.19	**114.8**
PALLARE BAC. BSP3.1	2.84	3.54	3.26	2.49	3.03	4.92	4.92	2.53	2.91	**104.6**
BAC. TOTALE A BSP2.1	5.11	5.87	4.30	5.15	4.13	8.47	7.43	6.97	**5.15**	185.3
BAC. TOTALE A BSP3.1	5.68	5.94	5.27	6.72	4.95	12.06	8.40	9.50	**6.46**	232.4

Noti i parametri morfometrici e di uso del suolo e nota la precipitazione afferente sul bacino idrografico e quindi nei singoli sottobacini, è possibile dare seguito al calcolo della trasformazione afflussi-deflussi.

Nel caso specifico si è adottato un codice di calcolo numerico ampiamente validato (HEC-HMS), pervenendo così alla quantificazione della portata in alveo. Il modello idrologico è stato calibrato con riferimento all'evento del novembre 2016.

4.2 DEFINIZIONE DEL REGIME PLUVIOMETRICO

Nell'ambito della caratterizzazione del regime idrologico di un corso d'acqua assume particolare rilievo l'analisi del regime delle precipitazioni che interessa il bacino stesso.

4.2.1 Bormida di Pallare - Le curve di massima possibilità pluviometrica

Per assegnato tempo di ritorno, il regime pluviometrico può essere rappresentato attraverso *curve di possibilità pluviometrica*, nella forma $h=at^n$. Tali curve descrivono il legame analitico tra *altezza di precipitazione* e *durata dell'evento*, mediante due parametri *a* e *n* che, nell'ambito di analisi di tipo statistico, vengono definiti attraverso l'analisi del campione di altezze di precipitazione.

Da uno studio recente dell'Autorità di Bacino del Fiume Po è stato reso disponibile nel 2024 un grigliato di celle di 100x1000 m, con i parametri a ed n sui bacini liguri padani, dal quale si sono estratti i suddetti parametri sul bacino del fiume Bormida di Pallare, come si riporta nella seguente figura.

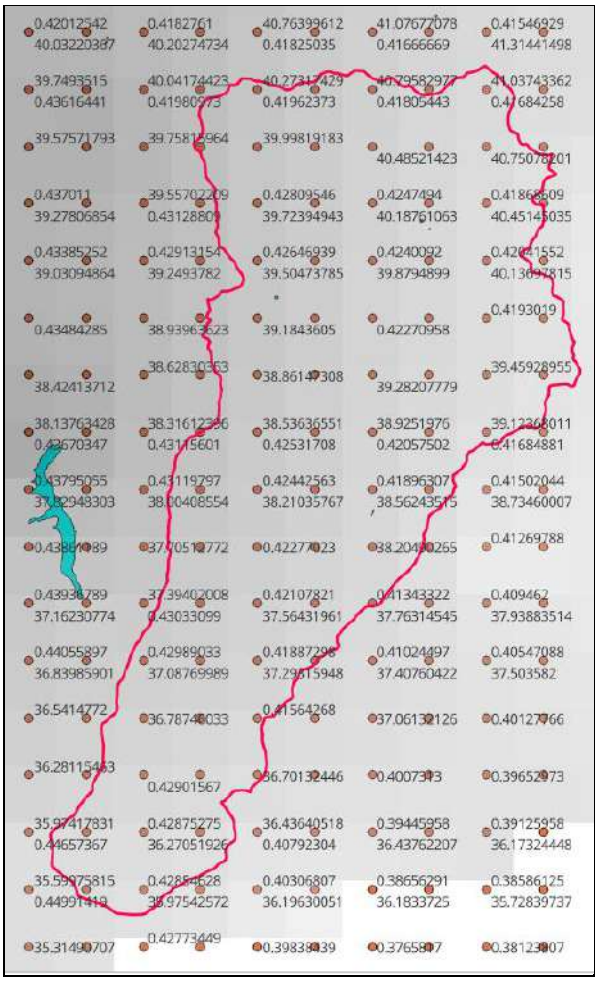


Figura 8 – Grigliato AdBPo 1x1 km - Parametri base a1, n curve PP per il bacino del fiume Bormida di Pallare.

I valori dei parametri relativi alle celle sono riportati nella seguente tabella.

Tabella 5 - Parametri di possibilità pluviometrica ricavati dal grigliato AdBPo, 2024.

						TR		TR		TR
	Coord. CENTRO CELLA				50		200		500	
CELLA	UTM EST	UTM NORD	a1	n	K50	a.50	K200	a.200	K500	a.500
1	436501	4898575	35.3764	0.4597	2.30421	81.5146	3.0642	108.4005	3.6455	128.97
2	437501	4898575	35.7962	0.4350	2.3294	83.3844	3.1265	111.9175	3.7444	134.04
3	438501	4898575	36.5752	0.4092	2.2775	83.3000	3.0303	110.8329	3.6091	132.00
4	436501	4899575	35.1771	0.4554	2.3955	84.2672	3.2283	113.5620	3.8724	136.22
5	437501	4899575	35.1690	0.4381	2.3225	81.6811	3.1075	109.2881	3.7152	130.59
6	438501	4899575	35.7377	0.4191	2.2736	81.2540	3.0165	107.8046	3.5851	128.12
7	436501	4900575	33.9949	0.4533	2.3816	80.9609	3.2212	109.5049	3.8762	131.7716
8	437501	4900575	34.3457	0.4408	2.3210	79.7169	3.1072	106.7172	3.7144	127.5746
9	438501	4900575	34.8039	0.4277	2.2692	78.9770	3.0036	104.5354	3.5634	124.0207
10	439501	4900575	35.4015	0.4157	2.2260	78.8042	2.9100	103.0187	3.4227	121.1693
11	436501	4901575	33.0426	0.4531	2.3721	78.3795	3.2112	106.1055	3.8677	127.7996
12	437501	4901575	33.4704	0.4438	2.3222	77.7236	3.1120	104.1599	3.7232	124.6183
13	438501	4901575	33.9492	0.4337	2.2649	76.8900	2.9907	101.5330	3.5420	120.2490
14	439501	4901575	34.5073	0.4249	2.2164	76.4805	2.8873	99.6343	3.3877	116.8989
15	437501	4902575	32.7050	0.4465	2.3438	76.6552	3.1484	102.9677	3.7716	123.3511
16	438501	4902575	33.1556	0.4376	2.2748	75.4230	3.0074	99.7117	3.5641	118.1698
17	439501	4902575	33.7368	0.4304	2.2185	74.8467	2.8880	97.4307	3.3862	114.2385
18	440501	4902575	34.3526	0.4252	2.1804	74.9019	2.8055	96.3773	3.2630	112.0922
19	437501	4903575	31.9771	0.4493	2.3688	75.7485	3.1837	101.8065	3.8133	121.9393
20	438501	4903575	32.4312	0.4395	2.2828	74.0351	3.0180	97.8767	3.5759	115.9720
21	439501	4903575	33.0801	0.4335	2.2153	73.2808	2.8776	95.1908	3.3687	111.4371
22	440501	4903575	33.8521	0.4289	2.1803	73.8062	2.8036	94.9062	3.2591	110.3263
23	441501	4903575	34.6150	0.4271	2.1697	75.1058	2.7777	96.1487	3.2187	111.4139
24	438501	4904575	31.6607	0.4392	2.2789	72.1514	3.0115	95.3458	3.5674	112.9465
25	439501	4904575	32.4980	0.4335	2.2183	72.0913	2.8882	93.8611	3.3870	110.0693
26	440501	4904575	33.3702	0.4300	2.1843	72.8893	2.8133	93.8816	3.2743	109.2640
27	441501	4904575	34.3007	0.4287	2.1786	74.7278	2.7939	95.8327	3.2412	111.1747
28	442501	4904575	35.5148	0.4297	2.1941	77.9232	2.5159	89.3500	3.2673	116.0369
29	438501	4905575	30.9124	0.4362	2.2837	70.5949	3.0331	93.7615	3.6069	111.4974
30	439501	4905575	31.9203	0.4321	2.2234	70.9709	2.9049	92.7264	3.4155	109.0230
31	440501	4905575	32.8927	0.4294	2.1915	72.0828	2.8330	93.1854	3.3061	108.7457
32	441501	4905575	33.9802	0.4276	2.1860	74.2794	2.8150	95.6553	3.2757	111.3083
33	442501	4905575	35.1584	0.4283	2.2095	77.6836	2.8592	100.5261	3.3378	117.3505
34	438501	4906575	30.3150	0.4322	2.2922	69.4888	3.0624	92.8358	3.6577	110.8834
35	439501	4906575	31.5002	0.4291	2.2303	70.2544	2.9291	92.2663	3.4572	108.9038
36	440501	4906575	32.5746	0.4269	2.1981	71.6037	2.8579	93.0950	3.3494	109.1088
37	441501	4906575	33.6816	0.4249	2.1850	73.5931	2.8260	95.1840	3.2997	111.1388
38	442501	4906575	34.7053	0.4243	2.2040	76.4889	2.8602	99.2651	3.3469	116.1549
39	443501	4906575	35.7089	0.4232	2.2375	79.9002	2.9262	104.4803	3.4417	122.9001
40	444501	4906575	36.5226	0.4198	2.2715	82.9627	2.9992	109.5370	3.5510	129.6925
41	438501	4907575	30.0296	0.4286	2.2811	68.4997	3.0392	91.2656	3.6233	108.8057
42	439501	4907575	31.2378	0.4264	2.2171	69.2564	2.9025	90.6660	3.4184	106.7839
43	440501	4907575	32.3382	0.4245	2.1860	70.6910	2.8371	91.7455	3.3215	107.4099
44	441501	4907575	33.4305	0.4225	2.1718	72.6039	2.8084	93.8859	3.2797	109.6432
45	442501	4907575	34.4274	0.4210	2.1900	75.3961	2.8412	97.8166	3.3251	114.4732
46	443501	4907575	35.3492	0.4196	2.2269	78.7197	2.9164	103.0926	3.4350	121.4236
47	444501	4907575	36.2289	0.4172	2.2699	82.2375	3.0072	108.9459	3.5701	129.3396
48	438501	4908575	29.8929	0.4265	2.2502	67.2656	2.9692	88.7576	3.5158	105.0962
49	439501	4908575	31.0675	0.4241	2.1935	68.1462	2.8534	88.6494	3.3461	103.9547
50	440501	4908575	32.1640	0.4224	3.1664	101.8454	2.7982	90.0028	3.2654	105.0280
51	441501	4908575	33.2544	0.4204	2.1561	71.6993	2.7727	92.2051	3.2254	107.2595
52	442501	4908575	34.2562	0.4187	2.1781	74.6150	2.8194	96.5828	3.2947	112.8623
53	443501	4908575	35.2178	0.4172	2.2182	78.1212	2.9055	102.3252	3.4233	120.5621
54	444501	4908575	36.1426	0.4157	2.2740	82.1889	3.0246	109.3186	3.6012	130.1561
55	439501	4909575	30.9332	0.4228	2.1591	66.7866	2.7787	85.9526	3.2340	100.0379
56	440501	4909575	32.0898	0.4207	2.1333	68.4583	2.7259	87.4721	3.1569	101.3032
57	441501	4909575	33.1920	0.4185	2.1357	70.8875	2.7280	90.5490	3.1585	104.8360
58	442501	4909575	34.2056	0.4171	2.1620	73.9535	2.7854	95.2755	3.2442	110.9702
59	443501	4909575	35.1919	0.4156	2.2067	77.6572	2.8878	101.6266	3.4011	119.6909
60	444501	4909575	36.0929	0.4150	2.2779	82.2169	3.0427	109.8206	3.6351	131.2006
61	438501	4910575	29.6230	0.4246	2.1810	64.6087	2.8181	83.4813	3.2883	97.4090
62	439501	4910575	30.8528	0.4217	2.1257	65.5828	2.7024	83.3778	3.1181	96.2034
63	440501	4910575	32.0045	0.4195	2.0986	67.1659	2.6478	84.7408	3.0391	97.2649
64	441501	4910575	33.1028	0.4175	2.1039	69.6446	2.6602	88.0587	3.0580	101.2297
65	442501	4910575	34.1346	0.4160	2.1373	72.9563	2.7340	93.3232	3.1687	108.1622
66	443501	4910575	35.0974	0.4153	2.1930	76.9688	2.8603	100.3880	3.3610	117.9629
67	444501	4910575	35.9412	0.4153	2.2744	81.7458	3.0458	109.4704	3.6465	131.0584
68	438501	4911575	29.4372	0.4243	2.1520	63.3483	2.7513	80.9898	3.1862	93.7935
69	439501	4911575	30.7326	0.4215	2.0875	64.1529	2.6166	80.4155	2.9891	91.8641
70	440501	4911575	31.8987	0.4193	2.0673	65.9455	2.5765	82.1864	2.9317	93.5169
71	441501	4911575	33.0133	0.4174	2.0781	68.6035	2.5980	85.8017	2.9646	97.8705
72	442501	4911575	34.0856	0.4159	2.1078	71.7407	2.6694	90.8549	3.0722	104.5642
73	443501	4911575	34.8796	0.4160	2.1662	75.5553	2.7998	97.6561	3.2680	114.0207
74	444501	4911575	35.7479	0.4156	2.2583	80.7308	3.0017	107.3055	3.5740	127.7639
75	438501	4912575	29.3253	0.4248	2.1094	61.8586	2.6548	77.8528	3.0405	89.1649
76	439501	4912575	30.6559	0.4217	2.0520	62.9065	2.5353	77.7233	2.8669	87.8865
77	440501	4912575	31.7968	0.4197	2.0349	64.7020	2.5019	79.5518	2.8197	89.6562
78	441501	4912575	32.8845	0.4179	2.0442	67.2220	2.5235	82.9839	2.8521	93.7913
79	442501	4912575	33.7762	0.4174	2.0820	70.3217	2.6097	88.1450	2.9815	100.7049
80	443501	4912575	34.6209	0.4170	2.1409	74.1198	2.7357	94.7140	3.1679	109.6760
			n.med =	0.4264	a.50.med=	74.3494	a.200.med=	96.1901	a.500.med=	113.0447

Nella seguente tabella si riportano i valori medi dei parametri delle curve di possibilità pluviometrica sul bacino del fiume Bormida di Pallare per i diversi tempi di ritorno.

Tabella 6 - Parametri delle curve di possibilità pluviometrica per il bacino del Bormida di Pallare, 2024.

TR	a.med	n.med
20	63.0037	0.4264
50	74.3494	0.4264
100	84.4867	0.4264
200	96.1901	0.4264
500	113.0447	0.4264

4.2.2 Bormida di Pallare - Pluviogrammi tipo Chicago

Con riferimento ad un generico evento, lo *ietogramma* può essere caratterizzato da un andamento rettangolare (che presuppone un'intensità costante di precipitazione durante tutto l'evento) o triangolare (in cui si assume un'intensità variabile ed impulsiva nel corso dell'evento). Tale ietogramma distribuisce la precipitazione massima, relativa ad un determinato tempo di ritorno e per uno specifico tempo di corrivazione, con un grafico caratterizzato da un picco centrale in corrispondenza del tempo di corrivazione T_c .

Dai parametri delle curve di massima possibilità pluviometrica si ricavano i pluviogrammi tipo "Chicago" per i diversi tempi di ritorno. Tale approccio corrisponde all'analisi della condizione più gravosa, come risulta da autorevoli autori in letteratura idrologica. Nel presente studio si fa ricorso ad uno ietogramma triangolare, ipotizzando che la durata dell'evento coincida con il tempo di corrivazione del bacino, nel rispetto della curva di massima possibilità pluviometrica: la massima intensità media di precipitazione per ciascuna durata coincide quindi con il valore ricavato dalla curva di massima possibilità pluviometrica di adeguato tempo di ritorno.

Nella figura seguente si rappresenta lo ietogramma per il bacino del fiume Bormida di Pallare per T_r=200 anni.

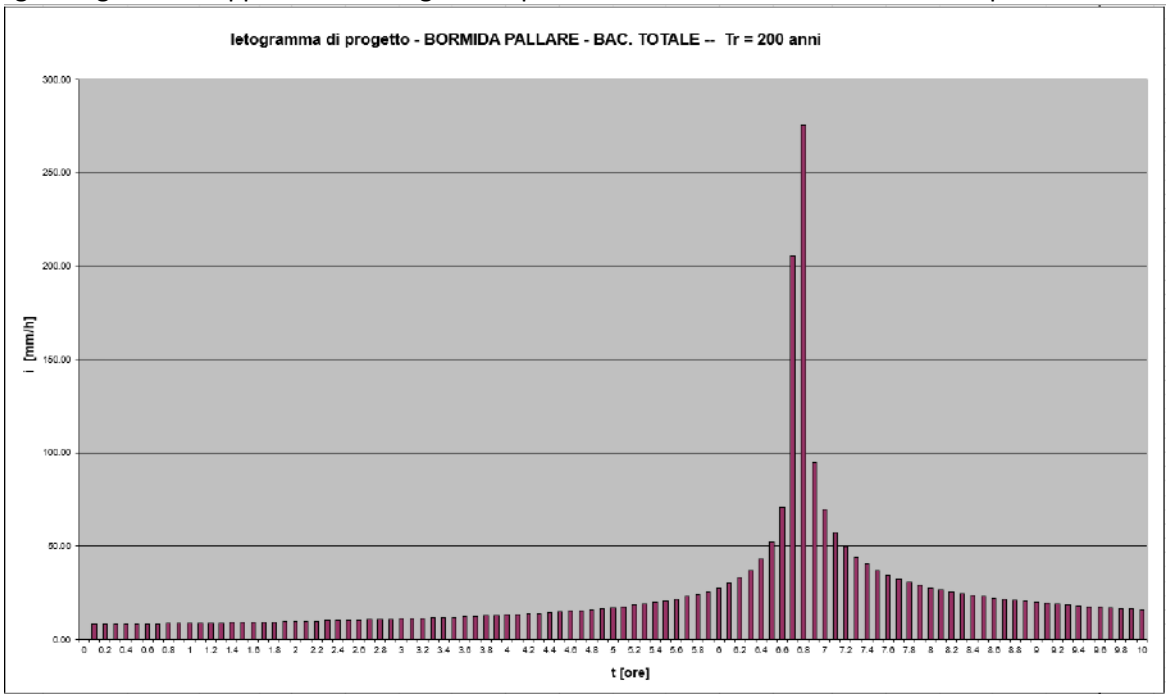


Figura 9 – Ietogramma di Chicago per il bacino del Bormida di Pallare (Tr 200).

4.3 MODELLO DI TRASFORMAZIONE AFFLUSSI-DEFLUSSI

Per un calcolo più affinato delle onde di piena si effettua una analisi del processo di trasformazione afflussi-deflussi con l'applicazione di un Modello Idrologico.

Il Modello Idrologico viene costruito considerando i diversi sottobacini ed i relativi parametri per il calcolo delle perdite secondo il metodo del "Soil Conservation Service", che tengono conto delle caratteristiche litologiche, di permeabilità, del drenaggio e del tipo di uso del suolo.

Secondo autorevoli autori tale metodo è il più scientifico ed attendibile, purché si valutino correttamente i parametri idrologici per il calcolo delle perdite iniziali. Lo ietogramma Chicago fornisce i pluviogrammi più gravosi, tra i diversi possibili, che producono portate con tempi di ritorno anche superiori a quelli nominali.

4.3.1 Costruzione del modello idrologico

Il modello idrologico per la trasformazione afflussi-deflussi viene costruito con il codice di calcolo HEC-HMS,

sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center dell'U.S. Army Corps of Engineers.

Il software consente di schematizzare il reticolo idrografico con una serie di componenti idrologicamente interconnessi tra di loro, assegnando le caratteristiche geometriche e di permeabilità del bacino, calibrando il modello attraverso idrogrammi di deflusso di eventi meteorici registrati.

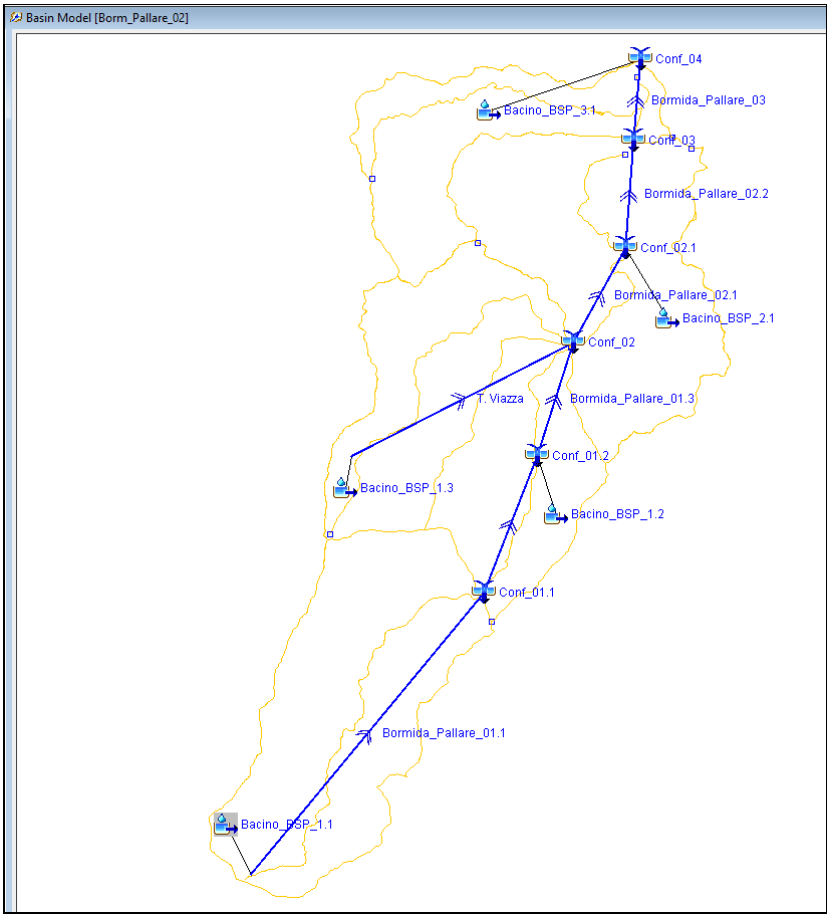


Figura 10 – Schema del modello idrologico utilizzato per il bacino del fiume Bormida di Pallare.

Il modello fornisce risultati tanto più attendibili quanto più approfondite sono le analisi effettuate per determinare le caratteristiche geomorfologiche, litologiche e di uso del suolo del bacino, anche applicando idrogrammi di piena registrati per una corretta calibrazione del modello.

4.3.2 Parametri di calcolo

Per ogni sottobacino vengono assegnati i parametri idrologici di calcolo delle perdite con l'applicazione del metodo del Soil Conservation Service e la trasformazione afflussi-deflussi viene effettuata con l'applicazione dell'idrogramma unitario SCS.

I parametri di calcolo assegnati per ogni sottobacino sono:

- Il parametro I_a [mm] (initial abstraction) che caratterizzale perdite iniziali;
- il Curve Number *CN,* che viene determinato attraverso un'analisi dell'uso del suolo delle diverse aree e del Tipo di suolo associato ad esse.
- Ip [%] percentuale di superficie del bacino impermeabile;
- il tempo di concentrazione T_{lag} , che è proporzionale al tempo di corrivazione T_c.

4.3.3 Calcolo dei parametri idrologici per il bacino del fiume Bormida di Pallare

Il metodo del Soil Conservation Service statunitense richiede la conoscenza del valore della perdita iniziale di pioggia (initial abstraction) e del numero di curva dimensionale *CN* (SCS curve number) definito dal Soil Conservation Service sulla base di numerosi dati raccolti con campagne di misure in campo..

La stima delle perdite di pioggia I_a che si ha all'inizio dell'evento meteorico è funzione delle caratteristiche geologiche e di saturazione del terreno stesso; in assenza di elementi di valutazione, questo parametro può essere calcolato in funzione di *CN* (numero di curva adimensionale SCS curve number), secondo la relazione proposta definito dal Soil Conservation Service, sulla base di numerosi dati raccolti con campagne di misura in campo:

$$I_a = 0.2 \cdot \frac{(1000 - 10 \cdot CN)}{CN}$$

Il numero di curva adimensionale *CN* (Runoff curve number) è un indice di ritenzione potenziale del suolo, che dipende dalla pedologia, dal tipo e grado di copertura del suolo e dal grado di umidità iniziale del terreno.

Tale indice ha un valore compreso tra 0 e 100 e, per la sua determinazione, il Soil Conservation Service propone delle classificazioni, in modo da far rientrare la zona esaminata in una determinata categoria e ricavare da opportune tabelle il valore di *CN* corrispondente.

Il CN è essenzialmente legato a:

- natura litologica del suolo;
- tipo di copertura (uso del suolo);
- condizioni iniziali di umidità del suolo antecedenti un evento meteorico;
- stagione di riposo o crescita della vegetazione.

Nella figura successiva è interessante osservare in che modo la pioggia cumulata si trasforma in pioggia netta in relazione al variare del parametro CN.

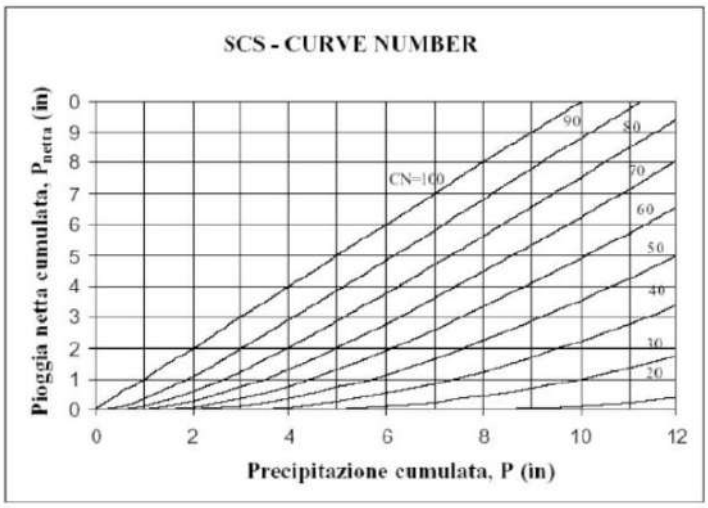


Figura 11 – Correlazione tra Pioggia Netta e Precipitazione cumulata in funzione della variazione del CN.

L'agenzia del Dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti (USDA) Natural Resources Conservation Service (NRCS), precedentemente nota come Soil Conservation Service, ha fornito nel 1972 le seguenti tabelle destinate alla determinazione del parametro CN. Ha suddiviso il suolo in quattro classi in base alla capacità di assorbimento e quindi alla differente potenzialità di deflusso variabile da terreni altamente permeabili con scarsa potenzialità di deflusso (classe A) a terreni impermeabili con alta potenzialità di deflusso (classe D).

Tabella 7 – Classificazione dei terreni secondo l'SCS

Tipo di suolo	Descrizione
A deflusso superficiale potenziale basso	I suoli di questo gruppo, quando sono completamente saturi, hanno deflusso superficiale potenziale (runoff) basso, ed è alta la permeabilità. Sono caratterizzati da avere meno del 10% di argilla e oltre il 90% di sabbia e/o ghiaia e la tessitura è sabbiosa o ghiaiosa. La conducibilità idraulica (Ksat) è maggiore di 14,4 cm/h per tutta la profondità, la profondità dell'orizzonte impermeabile è maggiore di 50 cm, e la profondità della falda superficiale è superiore a 60 cm. Appartengono a questo gruppo anche le rocce con alta permeabilità per fratturazione e/o carsismo
B deflusso superficiale potenziale moderatamente basso	I suoli di questo gruppo, quando sono completamente saturi, hanno deflusso superficiale potenziale (runoff) moderatamente basso, e l'acqua attraversa il suolo senza impedimenti. Sono caratterizzati da avere tra il 10% e il 20% di argilla e tra il 50 e il 90% di sabbia e la tessitura è sabbioso-franca, franco-sabbiosa. La conducibilità idraulica (Ksat) varia tra 3,6 e 14,4 cm/h per tutta la profondità, la profondità dell'orizzonte impermeabile è maggiore di 50 cm, e la profondità della falda superficiale è superiore a 60 cm. Appartengono a questo gruppo anche le rocce con permeabilità, medio-alta e media, per fratturazione e/o carsismo
C deflusso superficiale potenziale moderatamente alto	I suoli di questo gruppo, quando sono completamente saturi, hanno deflusso superficiale potenziale (runoff) moderatamente alto, e l'acqua attraversa il suolo con qualche limitazione. Sono caratterizzati da avere tra il 20% e il 40% di argilla e meno del 50% di sabbia e la tessitura è prevalentemente franca, franco-limosa, franco-argilloso-sabbioso, franco-argillosa, e franco-argilloso-limosa. La conducibilità idraulica (Ksat) varia tra 0,36 e 3,6 cm/h per tutta la profondità, la profondità dell'orizzonte impermeabile è maggiore di 50 cm, e la profondità della falda superficiale è superiore a 60 cm Appartengono a questo gruppo anche le rocce con bassa e medio-bassa permeabilità per fratturazione e/o carsismo
D deflusso superficiale potenziale alto	I suoli di questo gruppo, quando sono completamente saturi, hanno deflusso superficiale potenziale (runoff) alto, e l'acqua attraversa il suolo con forti limitazioni. Sono caratterizzati da avere oltre il 40% di argilla e meno del 50% di sabbia e la tessitura è argillosa, talvolta anche espandibili. La conducibilità idraulica (Ksat) è ≤ 0,36 cm/h per tutta la profondità, la profondità dell'orizzonte impermeabile è compresa tra 50 cm e 100 cm, e la profondità della falda superficiale è entro i 60 cm Appartengono a questo gruppo anche le rocce con permeabilità molto bassa, le rocce impermeabili e le aree non rilevate o non classificate.

Per l'applicazione del metodo, i terreni che costituiscono i bacini in studio devono essere ricondotti ad una delle classi sopra elencate. Si può anche fare riferimento alla seguente tabella, che meglio si adatta a rappresentare le situazioni geologiche del bacino in studio.

Tabella 8 - Gruppi idrologici assegnabili ai diversi litotipi

CLASSE	TIPOLOGIA DI TERRENO
A	Accumuli di frana da crollo
B	Depositi da debris flow, alluvioni antiche, depositi colluviali, depositi gravitativi di falda e conoide, depositi glaciali di ablazione e indifferenziati
C	Depositi colluviali, prodotti colluviali
D	Calcari dolomitici, serpentiniti, calcescisti, micascisti, gneiss indifferenziati, metabasiti

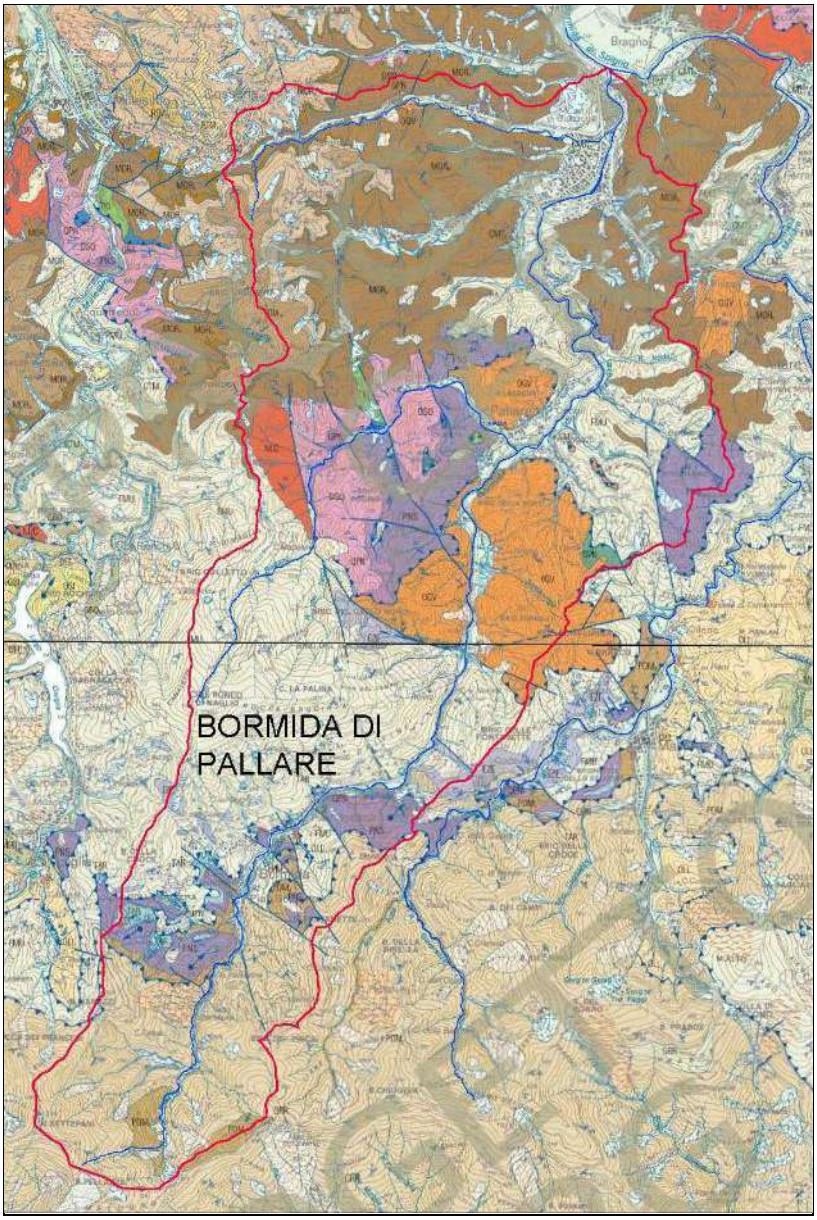


Figura 12 – Carta Geologica del Bacino Bormida di Pallare.

Il bacino risulta costituito prevalentemente da marne, siltiti marnose, con alternanze di lenti di arenarie, e limi alluvionali nei tratti di fondovalle. Sulla base delle caratteristiche litologiche osservate, il bacino del fiume Bormida di Pallare può essere classificato prevalentemente di Tipo C (bassa permeabilità) e parzialmente di Tipo B nelle aree caratterizzate dalla presenza di depositi dovuti alla fratturazione di roccia.

Una volta determinata la classe del suolo, occorre attribuire alle diverse aree del bacino i diversi utilizzi del suolo in relazione al tipo di copertura. A tal fine viene in aiuto una specifica tabella fornita dal SCS che riporta i valori del parametro per ciascuna classe d'uso del suolo e per ogni Tipo di suolo.

Nel caso in studio la determinazione dell'uso del suolo è stata rivavata dalla Carta dell'Uso del Suolo "Corine Landcover", verificata anche con riprese satellitari (https://earthexplorer.usgs.gov/) aggiornate.

Si riporta nella seguente ***Figura 13*** la Carta dell'uso del suolo sul bacino del fiume Bormida di Pallare.

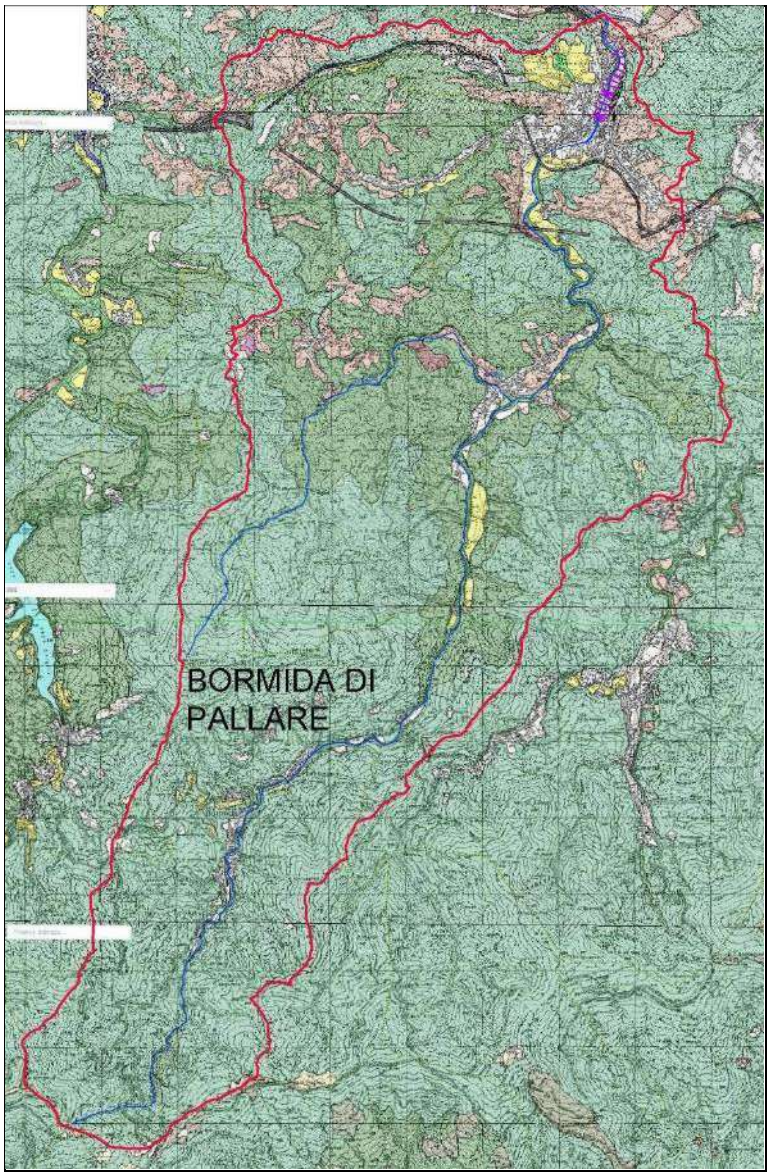


Figura 13 – Carta dell'uso del suolo.

Da queste analisi il bacino totale del fiume Bormida di Pallare risulta suddiviso nelle seguenti Classi di suolo con le relative percentuali di superficie con riferimento al bacino totale:

- boschi a latifoglie miste: 87,2 %;
- rocce, frane, rupi, calanchi: 6,3 %;
- Seminativi e prati avvicendati: 4,0 %;
- Aree urbanizzate: 2,5 %.

È possibile inoltre tener conto di condizoni di umidità del terreno all'inizio della precipitazione diverse da quella media; il metodo, infatti, classifica le condizioni di umidità in tre categorie:

- *AMC I*: potenziale di scorrimento superficiale minimo; i suoli del bacino sono sufficientemente asciutti da permettere un'aratura o coltivazione soddisfacente;
- *AMC II*: condizione media;
- *AMC III*: potenziale di scorrimento superficiale massimo; il bacino è stato saturato dalle piogge precedenti.

La categoria a cui fare riferimento si può individuare in base alla precipitazione totale dei 5 giorni precedenti quello di inizio dell'evento di pioggia e in base alla stagione (vegetativa o non vegetativa), come riportato nella seguente tabella.

Tabella 9 - Categoria di umidità iniziale in funzione di precipitazioni pregresse

Categoria	Precipitazione dei 5 gg antecedenti l'evento	
	Stagione di riposo (mm)	Stagione vegetativa (mm)
AMC I	<12,7	<35,6
AMC II	12,7 – 27,9	35,6 – 53,3
AMC III	>27,9	>53,3

I valori di *CN* corrispondenti alla categoria *AMC* I e *AMC* III si possono ricavare dal valore di quello relativo ad una condizione *AMC II* per mezzo delle seguenti relazioni (Chow et al., 1988):

$$CN(I) = \frac{\alpha \cdot CN(II)}{10 - \beta \cdot CN(II)} \qquad CN(III) = \frac{\alpha \cdot CN(II)}{10 + \beta \cdot CN(II)}$$

dove α e β sono coefficienti sperimentali noti.

Nella seguente Tabella 10 è riportato il calcolo del parametro del numero di curva *CN* del bacino totale del fiume Bormida di Pallare, attraverso la media ponderata dei valori di *CN* relativi alle aree delle diverse colture, nelle condizioni *AMC_II* di media saturazione del terreno.

Tabella 10 - Tabella di calcolo del CN – bacino totale del fiume Bormida di Pallare – Suolo Tipo C

BACINO_BORMIDA PALLARE		CN PER CONDIZIONI AMC II - SUOLO TIPO C					
Analisi DA CARTA USO SUOLO IPLA - Mod. da Ortofoto							
			S =	64.640			
N. Area	Tipo Suolo	Classe Uso Suolo	Coltura	S [km2]	S %	CN	CN*S
	Tipo Suolo C						
C.1	C	8	latifoglie miste	56.818	87.9	73	4147.71
C.2	C	32	Seminativi e prati avvicendati + prati permanenti	2.586	4.0	74	191.36
C.3	C	99	Aree urbanizzate	1.487	2.3	90	133.83
C.4	C	26-27	Aree incolte - rupi calanchi	3.749	5.8	87.5	328.04
			A.tot =	64.640	94.2	Σ(CN*S) =	4800.95
			CN.med =	74.3			

Tabella 11 - Tabella di calcolo del CN – bacino totale del fiume Bormida di Pallare – Suolo Tipo B

BACINO_BORMIDA PALLARE		CN PER CONDIZIONI AMC II - SUOLO TIPO B					
Analisi DA CARTA USO SUOLO IPLA - Mod. da Ortofoto							
			S =	64.640			
N. Area	Tipo Suolo	Classe Uso Suolo	Coltura	S [km2]	S %	CN	CN*S
	Tipo Suolo B						
C.1	B	8	latifoglie miste	56.818	87.9	60	3409.08
C.2	B	24	Prati permanenti	2.586	4.0	58	149.99
C.3	B	99	Aree urbanizzate	1.487	2.3	85	126.40
C.4	B	26-27	Aree incolte - rupi calanchi	3.749	5.8	83	311.17
			A.tot =	64.640	100.0	Σ(CN*S) =	3996.63
			CN.med =	61.8			

4.4 CALCOLO DI TRASFORMAZIONE AFFLUSSI-DEFLUSSI

4.4.1 Calibrazione del modello idrologico

La calibrazione del modello di trasformazione afflussi – deflussi è resa possibile dalla riproduzione in back-analysis di eventi di piena di una certa importanza per i quali si dispone dei dati pluviometrici sul bacino e dei livelli idrometrici osservati.

Pertanto, prima di procedere al calcolo definitivo delle onde di piena con l'applicazione dei parametri idrologici indicati al § 3.3.3, è opportuno effettuare la calibrazione dei suddetti parametri, utilizzati dal codice di calcolo HEC-HMS, sulla base di onde di piena osservate, di cui è possibile conoscere i valori di portata dalla scala di deflusso ottenuta dal modello idraulico. Per questo motivo la costruzione dei due modelli, idrologico e idraulico, è contestuale, per la necessaria interazione tra di essi.

Nel caso in esame è stato possibile verificare la correttezza dei parametri idrologici adottati mediante la riproduzione in back-analysis dell'evento di piena recente più importante, quello del 24 Novembre 2016.

E' importante osservare che per eventi di minore intensità e durata, i parametri idrologici da assumere nel modello di calcolo per ottenere portate coerenti con quelle osservate, sono spesso differenti dai parametri assunti per gli eventi estremi.

4.4.2 Portate al colmo per tempi di ritorno

Le analisi idrologiche effettuate forniscono le onde di piena alle confluenze dei diversi sottobacini. Le portate al colmo calcolate dal modello idrologico per i diversi tempi di ritorno sono riportate nella seguente ***Tabella 12***.

Tabella 12- Portate al colmo da modello idrologico HEC-HMS

	HMS		HMS
	Conf. 3 - Sez. monte Nanta	T.Nanta	Conf. 4 - Sez. valle Nanta
TR	Q [m3/s]	Q [m3/s]	Q [m3/s]
20	189.7	28.9	218.6
50	241.8	37.5	279.3
100	275.4	43.2	318.6
200	338.7	53.7	392.4
500	423.5	68.0	491.5

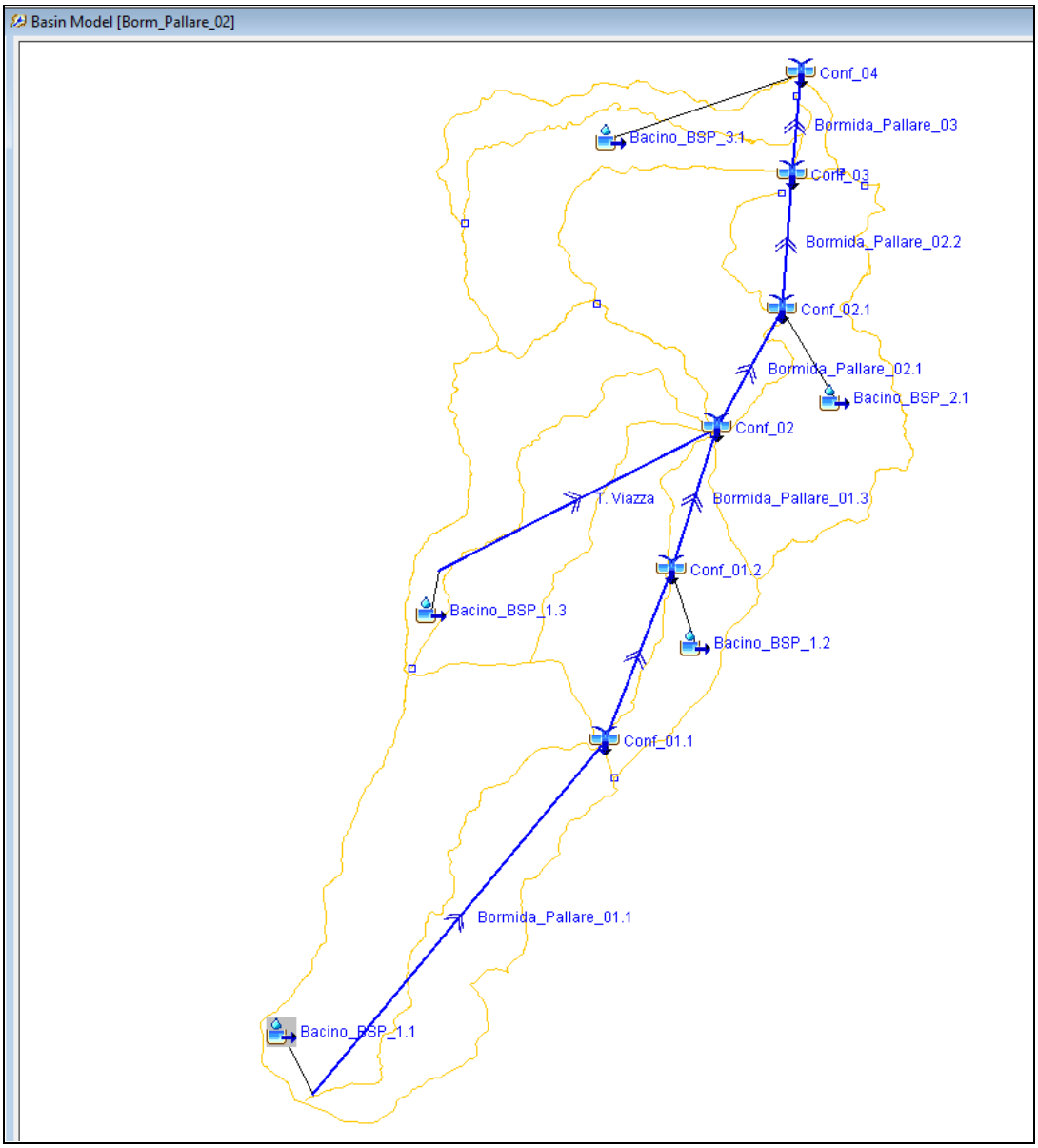


Figura 14 – Schema del modello idrologico del Bormida di Pallare con i nodi di confluenza.

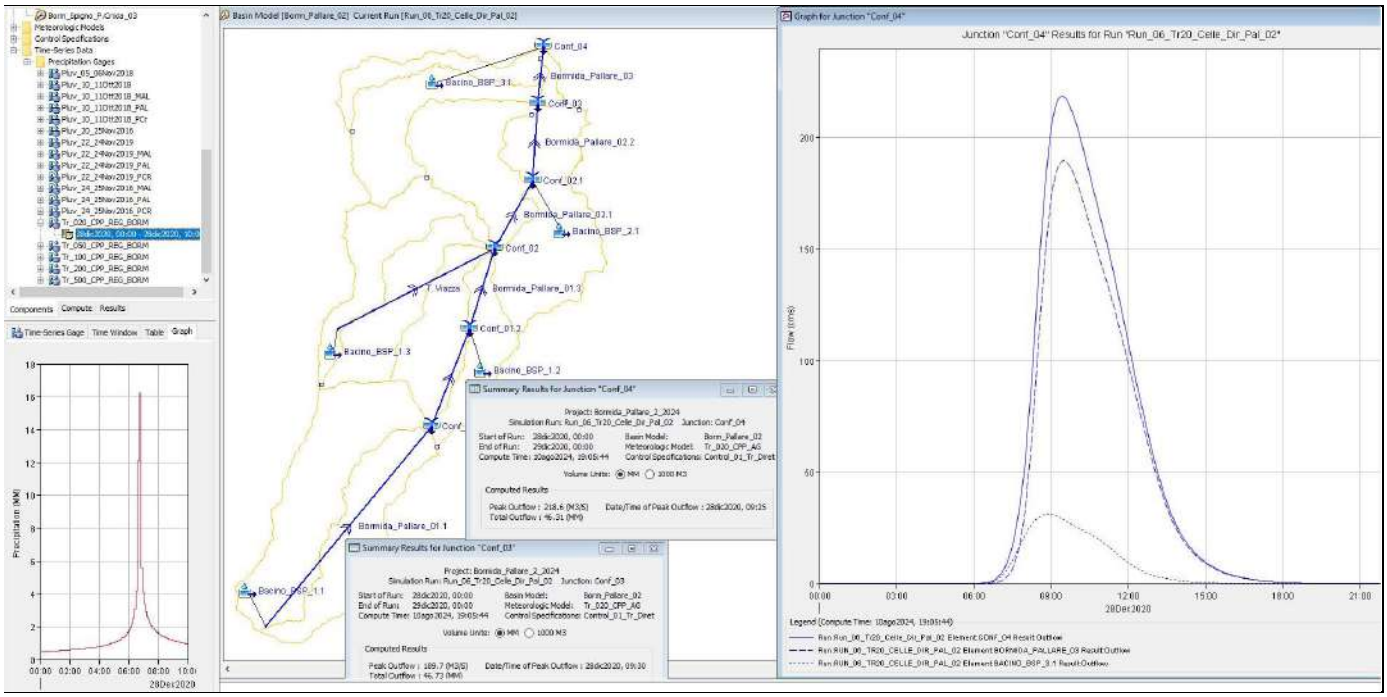


Figura 15 – Onde di piena T.Bormida di Pallare - Tr 20 – Q.Conf.3=189.7 m³/s - Q.Conf.4_Valle_Nanta=218.6 m³/s

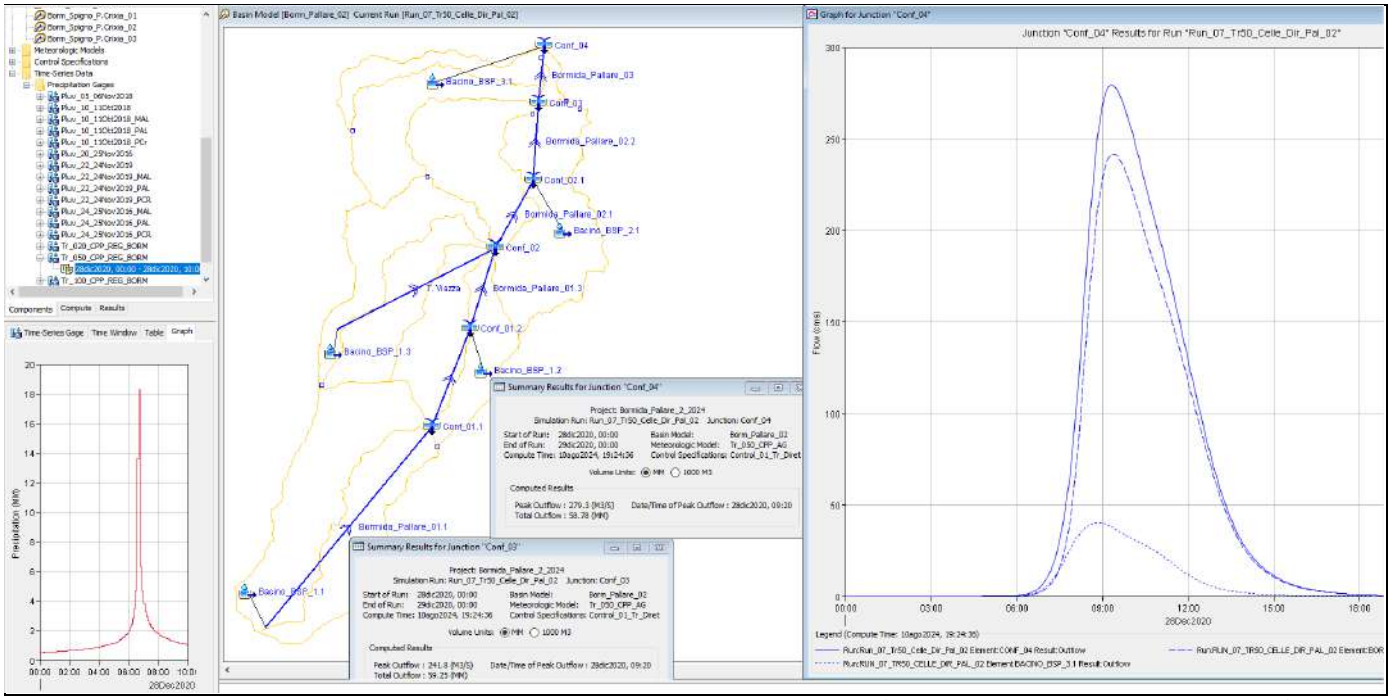


Figura 16 – Onde di piena T.Bormida di Pallare - Tr 50 – Q.Conf.3=241.8 m³/s - Q.Conf.4_Valle_Nanta=279.3 m³/s.

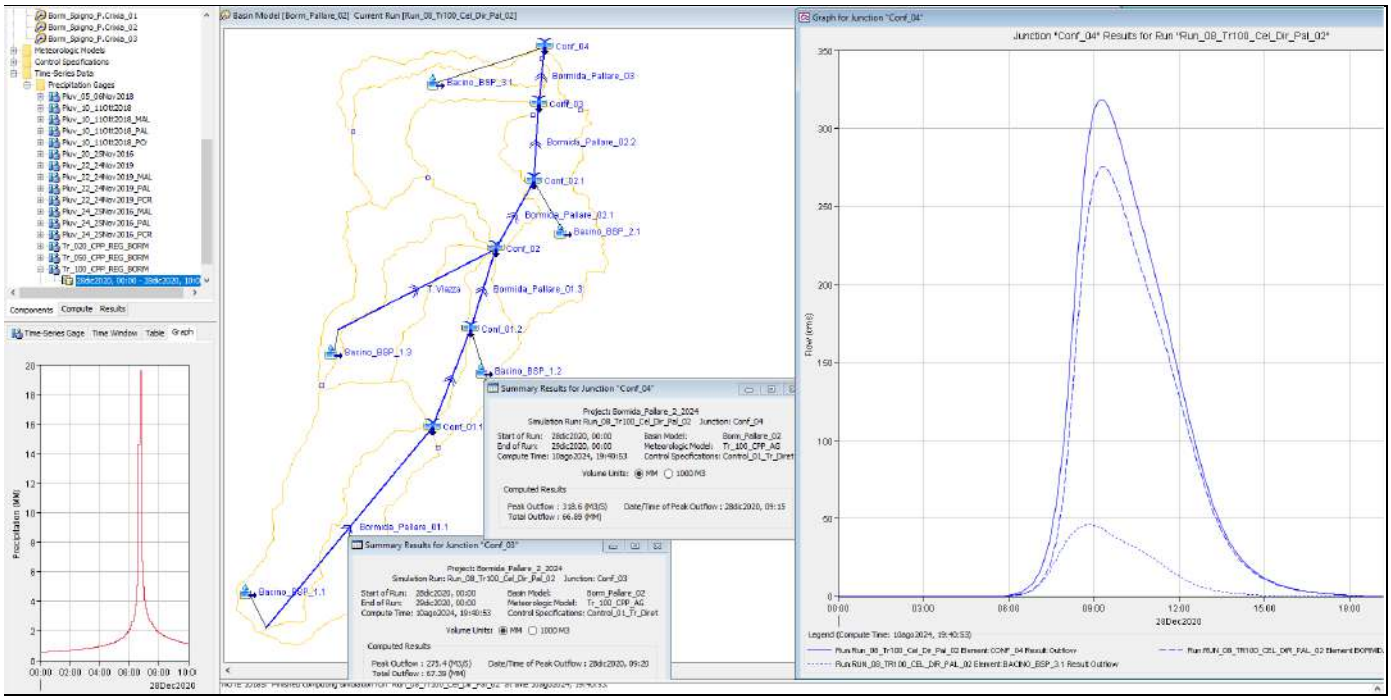


Figura 17 – Onde di piena T.Bormida di Pallare - Tr 100 – Q.Conf.3=275.4 m³/s - Q.Conf.4_Valle_Nanta=218.6 m³/s

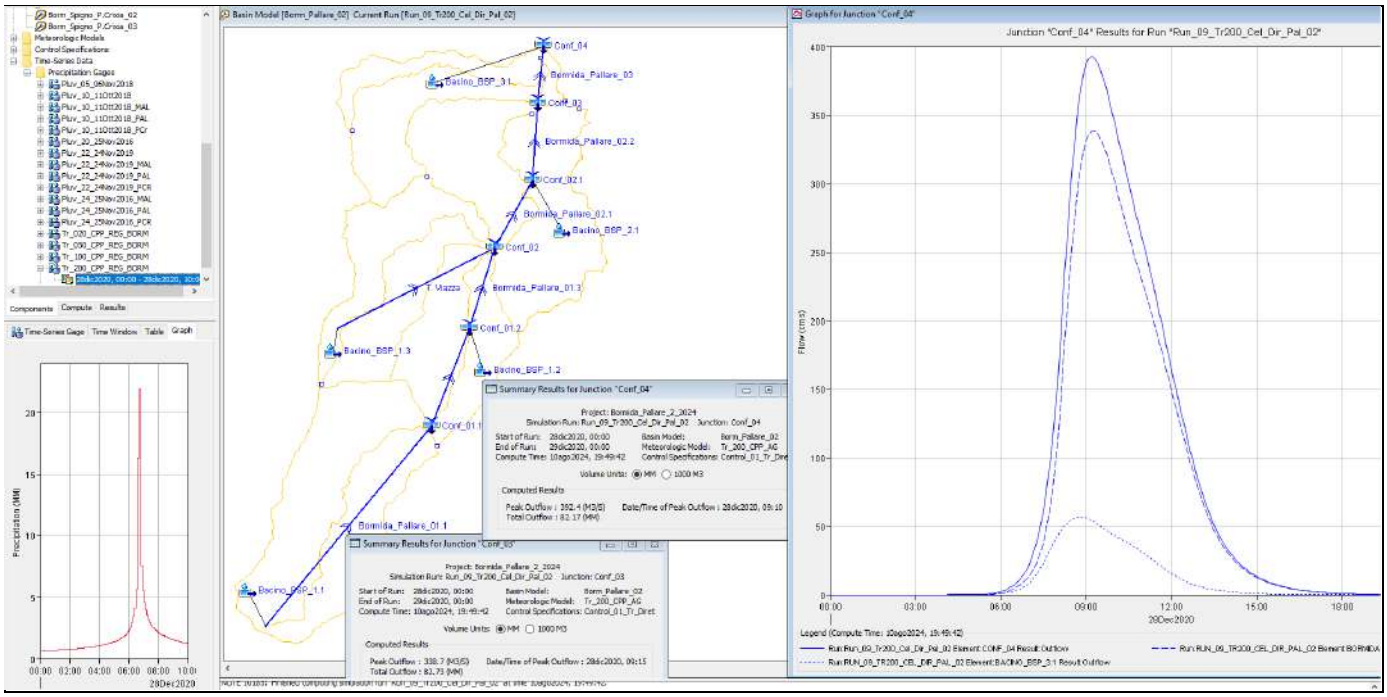


Figura 18 – Onde di piena T.Bormida di Pallare - Tr 200 – Q.Conf.3=338.7 m³/s - Q.Conf.4_Valle_Nanta=392.4 m³/s

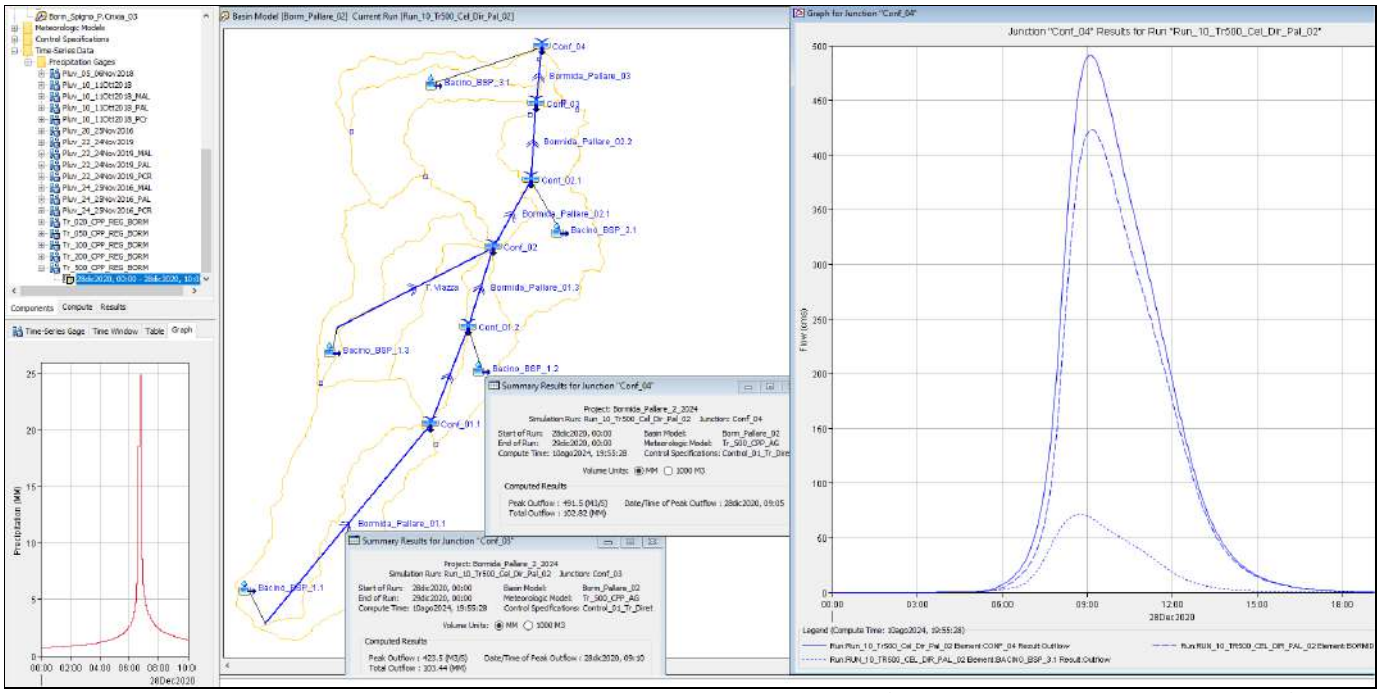


Figura 19 – Onde di piena T.Bormida di Pallare - Tr 500 – Q.Conf.3=423.5 m³/s - Q.Conf.4_Valle_Nanta=491.5 m³/s.

Si riporta nella seguente tabella il confronto tra le portate al colmo calcolate con l'attuale studio idrologico con i valori delle portate dello Studio sulle Fasce Fluviali della Provincia di Savona (Doc. 1548/03-00100) nelle stesse sezioni, a monte e a valle della confluenza del torrente Nanta nel fiume Bormida.

Tabella 13 – Confronto tra le portate al colmo dello Studio Idrologico attuale (2024) con le portate dello Studio Fasce Fluviali Provincia di Savona (2003)

	HMS	Sez. BP028		HMS	Sez. BP035	
	Conf. 3 - Sez. monte Nanta	Studio di Bacino 2003	T.Nanta	Conf. 4 - Sez. valle	Studio di Bacino 2003	Differenza Q.Conf.4
TR	Q [m3/s]	Q [m3/s]	Q [m3/s]	Q [m3/s]	Q [m3/s]	[%]
20	189.7		28.9	218.6		
50	241.8	244.0	37.5	279.3	256.0	9.1
100	275.4		43.2	318.6		
200	338.7	332.0	53.7	392.4	349.0	12.4
500	423.5	394.0	68.0	491.5	414.0	18.7

Dal confronto tra le portate ottenute dallo studio idrologico attuale con quelle dello Studio Fasce Fluviali vigente si riscontra un incremento della portata Q 200 del 12.4% ed incremento della portata Q 500 del 18.7%.

Le analisi idrauliche sono state quindi effettuate con l'applicazione delle nuove portate per la progettazione delle nuove opere di difesa spondale. Ed utilizzabili anche per la definizione delle aree esondabili e per la conseguente definizione delle nuove Fasce Fluviali.

4.4.3 Evento del 24-25 Novembre 2016

Nell'ultima decade del mese di Novembre 2016, il territorio piemontese è stato colpito da un evento pluviometrico di eccezionale intensità che ha determinato la formazione di piene fluviali con l'esondazione di numerosi corsi d'acqua regionali.

Tale evento è stato caratterizzato, come alcuni eventi del passato, da una vasta area di bassa pressione nord-atlantica e da un robusto campo di alta pressione sul Mediterraneo orientale[1]. Le precipitazioni (21/25 novembre) sono state intense e persistenti, interessando inizialmente il territorio cuneese ed alessandrino e, solo nei giorni 22 e 23 novembre, le zone del vercellese, biellese e alto torinese.

Nella seguente figura si riportano le precipitazioni cumulate relative all'evento.

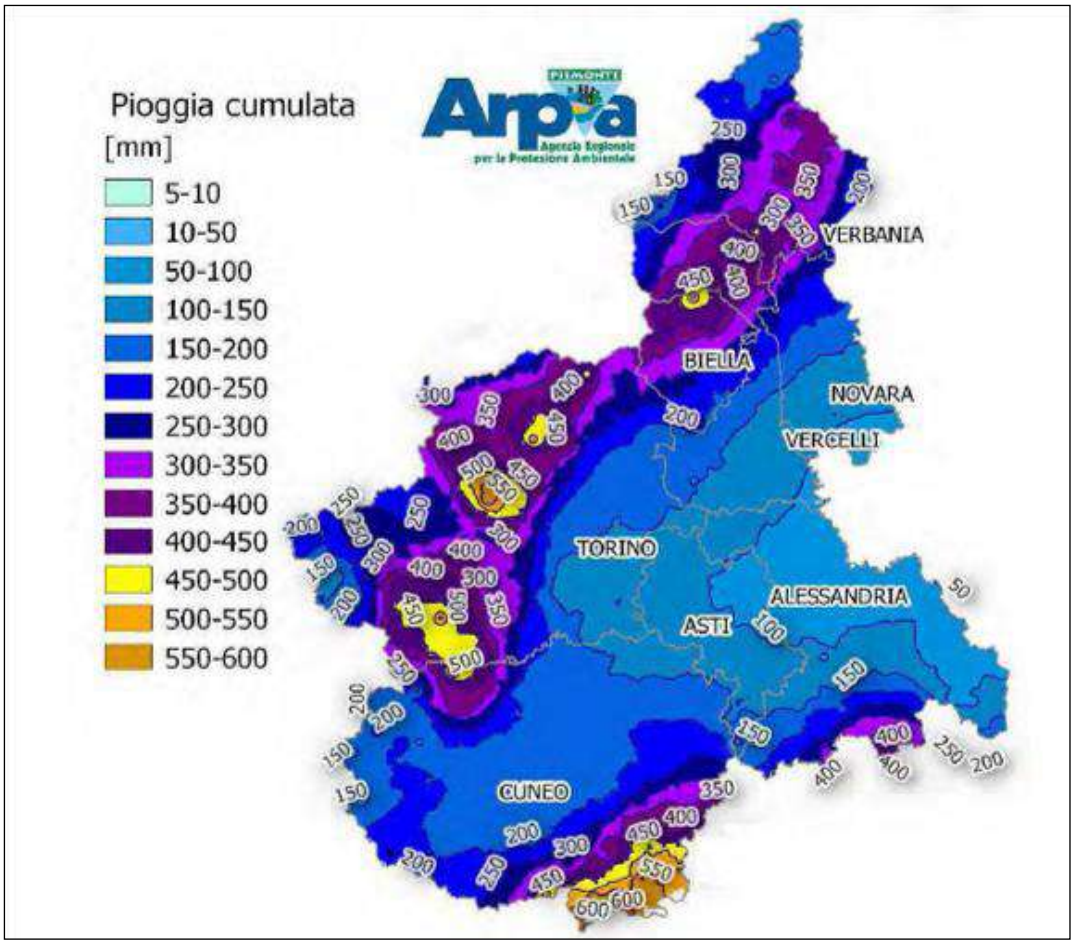


Figura 20 – Precipitazioni cumulate 21-25 novembre 2016 (fonte: Centro Funzionale Arpa Piemonte).

[1] ARPA Piemonte, *Analisi preliminare dell'evento 21-26 Novembre 2016*, 2 dicembre 2016

Tabella 14 – Confronto delle precipitazioni misurate per gli eventi 1994-2000-2016 (fonte: ARPA Piemonte)

Bacino	Precipitazione media per bacino [mm]		
	3-7 Novembre 1994	13-16 Ottobre 2000	21-25 Novembre 2016
Alto Po	153.9	246.6	309.4
Pellice	224.6	358.7	378.9
Varaita	118.9	180.7	192.5
Maira	124.3	157.9	181.9
Residuo Po confluenza Dora Riparia	218.1	178.8	194.9
Dora Riparia	166.5	233.0	243.4
Stura di Lanzo	312.9	454.3	372.0
Orco	269.7	419.4	314.0
Residuo Po confluenza Dora Baltea	277.6	214.6	222.8
Dora Baltea	301.1	454.9	166.5
Cervo	286.2	249.7	270.7
Sesia	243.6	430.6	324.3
Residuo Po confluenza Tanaro	142.6	129.4	110.7
Stura di Demonte	157.3	151.0	213.2
Tanaro	229.8	185.1	357.0
Bormida	231.1	163.8	276.7
Orba	207.9	169.0	269.3
Residuo Tanaro	168.9	114.0	120.9
Scrivia Curone	120.9	94.2	120.4
Agogna Terdoppio	130.1	158.0	116.3
Toce	192.9	483.2	260.6
Ticino svizzero	228.7	225.2	186.1
Bacino del Po a Ponte Becca (PV)	**204.6**	**244.3**	**208.5**

Le piogge più intense sono state registrate il 24 sul settore occidentale ed al confine tra Liguria e Alta Valle Tanaro. Secondo quanto riportato nel rapporto di evento stilato dall'ARPA Piemonte, i bacini del Tanaro e del Bormida durante l'evento alluvionale del novembre 2016 sono stati caratterizzati da precipitazioni medie, ragguagliate sul bacino idrografico, più intense di quelle registrate nei passati eventi alluvionali che hanno interessato il nostro territorio regionale (in particolare, nel 1994 e nel 2000).

Nel settore meridionale, i corsi d'acqua che hanno maggiormente risentito dell'evento sono stati il Belbo, il Bormida di Spigno e quello di Millesimo, con portate che in molti casi sono state decisamente superiori alla portata con tempo di ritorno 100 anni. Nel tratto in oggetto, sul Bormida di Pallare, la portata è stata dell'ordine di un evento centennale, mentre sul Bormida di Spigno chiuso a Mombaldone, la portata è stata di poco superiore a quella duecentennale, come evidenziato anche dal rapporto dell'Arpa Piemonte.

4.4.3.1 Modello Idrologico applicato per l'evento del 24 Nov 2016

L'evento è stato riprodotto in Back Analysis il modello idrologicio HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center, U.S. Army Corps of Engineers) già costruito per determinare le onde di piena per i diversi tempi di ritorno.

Al fine di poter correttamente riprodurre l'evento del 24-25 Novembre 2016 si applicano i dati delle precipitazioni registrati alle diverse stazioni pluviometriche esistenti sul bacino, come si descrive al Paragrafo seguente.

4.4.3.2 Analisi pluviometrica - Precipitazioni ragguagliate

Si sono utilizzati i dati di precipitazione con scansione oraria delle stazioni della rete di Arpa Liguria e di Arpa Piemonte. Si sono calcolate le precipitazioni ragguagliate sul bacino del Fiume Bormida di Pallare attraverso i coefficienti di influenza delle diverse stazioni pluviometriche calcolati con il metodo dei topoieti di Thiessen, rappresentati in Figura 21. Le stazioni pluviometriche ed i relativi coefficienti di influenza sono riportati nella seguente Tabella 15.

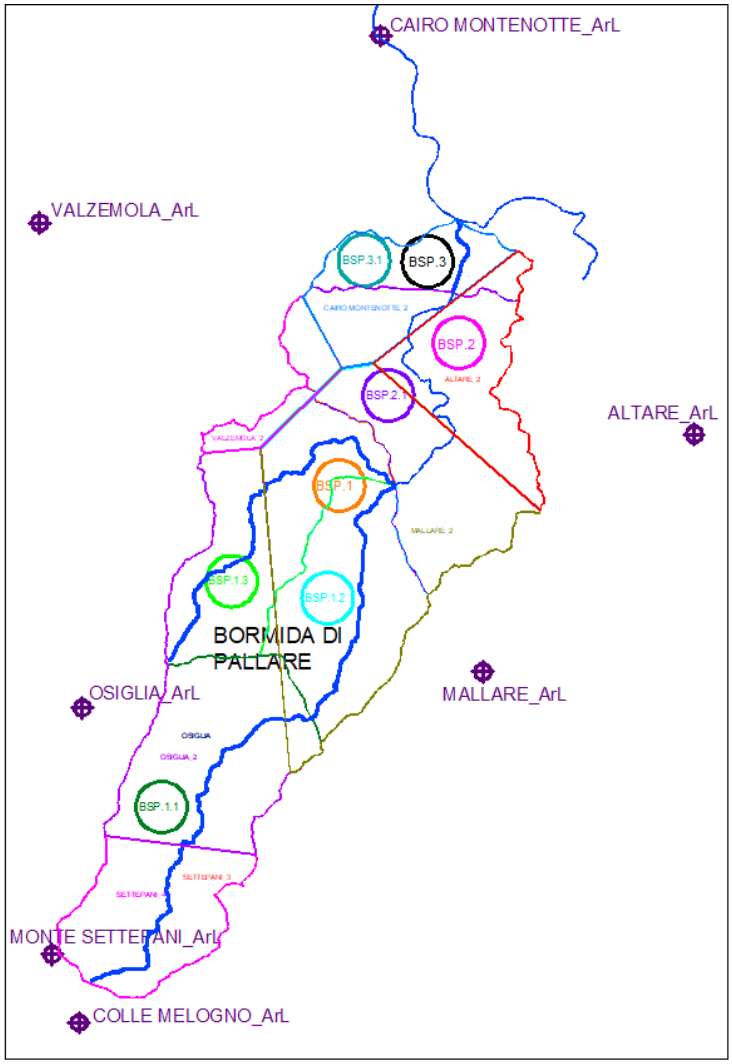


Figura 21– Topoieti sul bacino del Fiume Bormida di Pallare.

Tabella 15 – Stazioni pluviometriche sul bacino del fiume Bormida di Pallare

Stazione pluviometrica	Area di influenza [km^2]	Coeff. di influenza
Monte Settepani	3,6756	0.062
Colle Melogno	3,6756	0.062
Cairo Montenotte	6,1534	0,104
Mallare	21,5202	0,364
Osiglia	15,6216	0,264
Altare	6.3901	0,108
Valzemola	2,0782	0,035

Le precipitazioni ragguagliate sul bacino sono riportate nella seguente Figura 22.

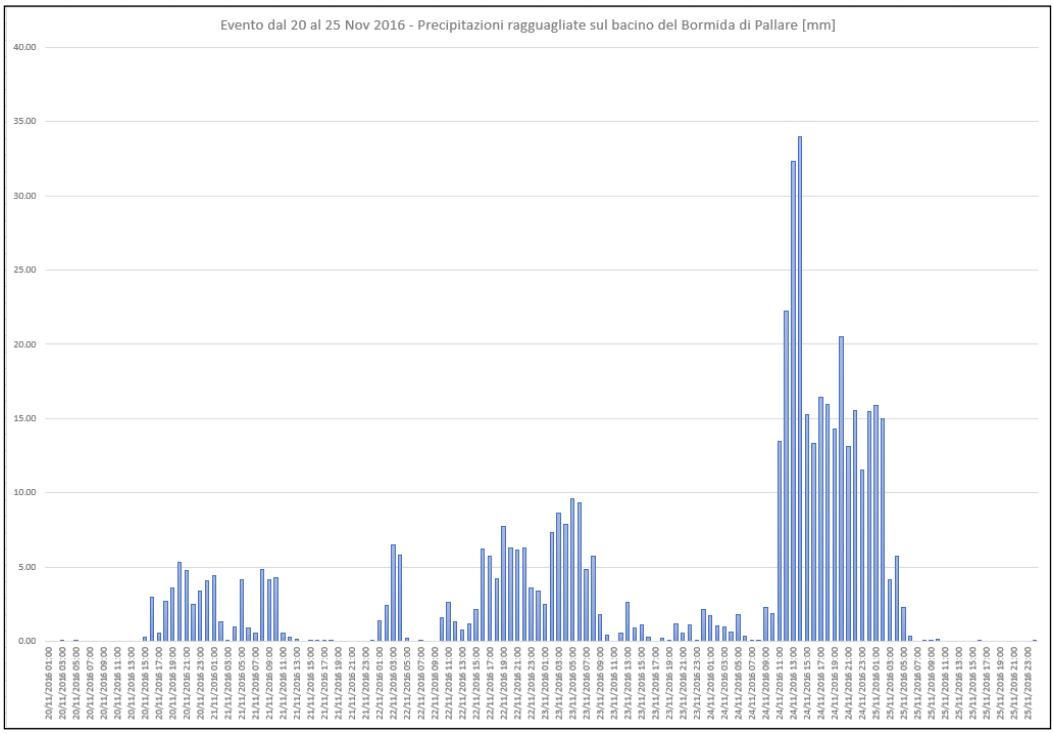


Figura 22 – Evento del 24-25 Nov 2016 - Precipitazioni ragguagliate sul bacino del Bormida di Pallare.

4.4.3.3 Risultati del calcolo di trasformazione afflussi-deflussi

Attraverso il modello idrologico costruito con il codice di calcolo HEC-HMS è stato possibile ricostruire l'evento in oggetto e l'andamento delle relative portate a Carcare per il fiume Bormida di Pallare, riportate nella seguente Tabella 16. L'onda di piena a Carcare è rappresentata in Figura 24.

Tabella 16 – Evento del 24-25 Novembre 2016 – Portate al colmo sul bacino del Bormida di Pallare.

SEZIONE	Conf_01.1 (474 msm)	Conf_02 - Pallare (398 msm)			Conf_03 - Carcare (347 msm)	Conf_04 - Cairo M. (339 msm)
	F. Bormida	F. Bormida monte	T. Viazza	F. Bormida valle	F. Bormida	F. Bormida
EVENTO	Qc [m3/s]	Qc [m3/s]	Qc [m3/s]	Qc [m3/s]	Q.max [m3/s]	Q.max [m3/s]
24-25 Nov 2016	97.6	142.3	62.8	205.0	289.8	304.9

Si riportano le portate ricavate dal modello idrologico esteso a Piana Crixia nella seguente Tabella 17.

Tabella 17 – Evento del 24-25 Novembre 2016 – Portate al colmo sul bacino del Bormida di Spigno a Piana Crixia.

SEZIONE	Conf_04 -Cairo Montenotte Conf. Bormida Pallare - Bormida Mallare (340 msm)	Conf_05 - Bacino Bormida Spigno (296 msm)	Conf_06 - Piana Crixia (258.9 msm)
	F. Bormida	F. Bormida	F. Bormida
EVENTO	Q.max [m3/s]	Q.max [m3/s]	Q.max [m3/s]
24-25 Nov 2016	521.8	799.7	794.8

La portata al colmo a Piana Crixia di 794.8 m^3/s è congruente con il valore calcolato dal modello idraulico per l'altezza idrometrica osservata pari a 6,87 m.

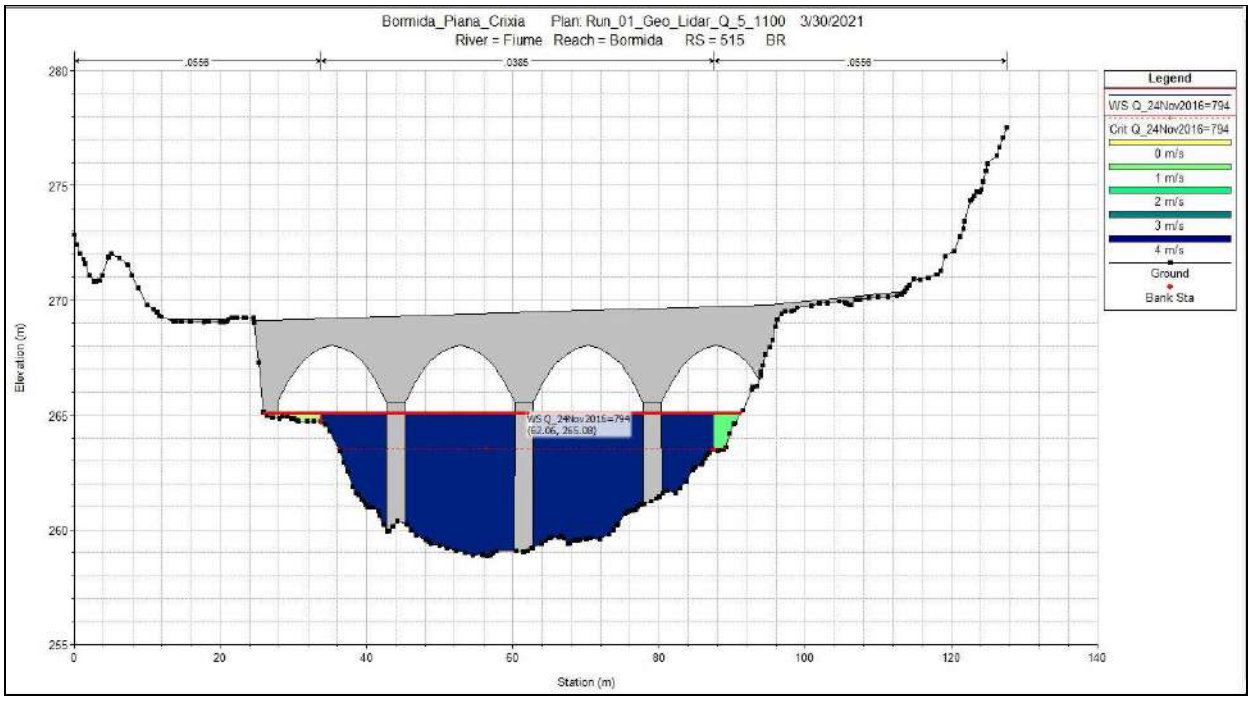


Figura 23 – Evento del 24-25 Novembre 2016 – Livello idrometrico di 6,87 m a Piana Crixia.

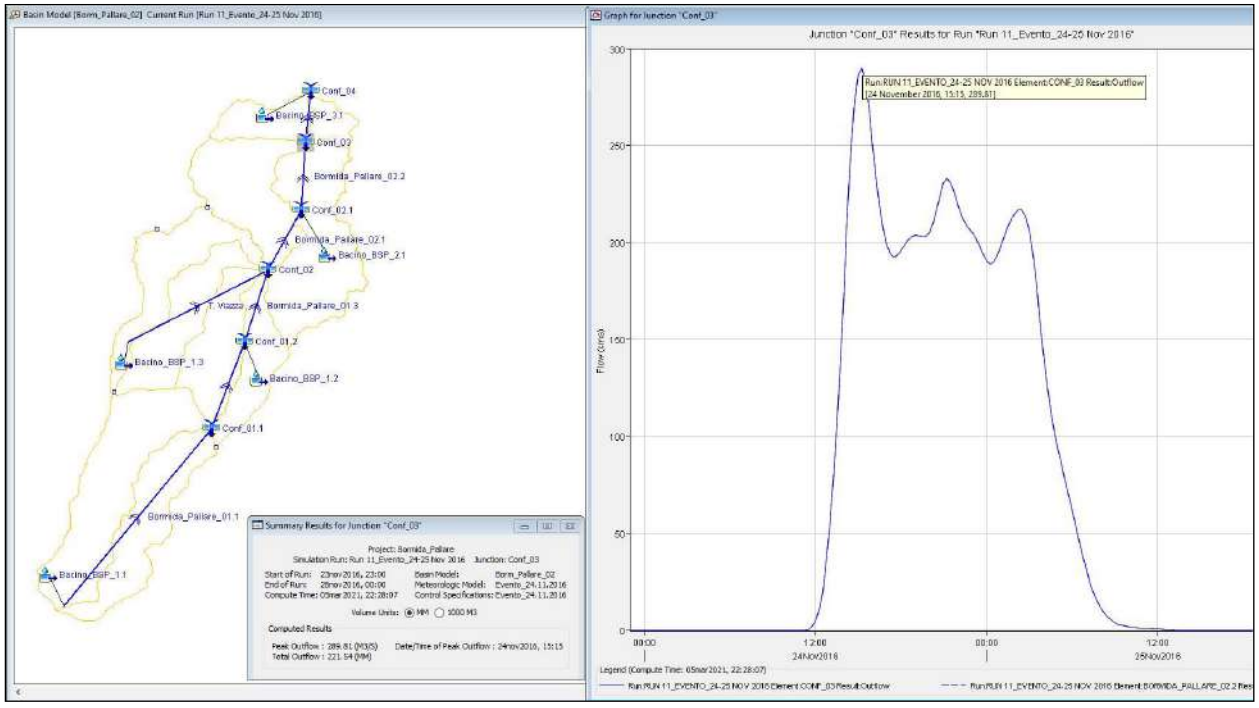


Figura 24 – Evento del 24-25 Novembre 2016 – Onda di piena del Bormida di Pallare a Carcare.

I valori al colmo dell'onda di piena sono risultati pari a 290.0 m^3/s a monte della confluenza del torrente Nanta e 305.0 m^3/s a valle della stessa, valori che corrispondono ad un evento con tempo di ritorno di circa 100 anni.

Disponendo del livello massimo osservato a Carcare a monte della passerella in centro (347,947 m.s.m.), è stato possibile verificare la correttezza del calcolo della portata al colmo, che fornisce, con l'applicazione del modello idraulico, lo stesso livello osservato.

4.4.4 Evento del 10-11 Ottobre 2018

Con la stessa metodologia seguita per l'analisi dell'evento del 2016 si è riprodotto in back-analysis l'evento del 10-11 Ottobre 2018. Nella seguente Figura sono rappresentate le precipitazioni dal 10 al 11 Ottobre 2018.

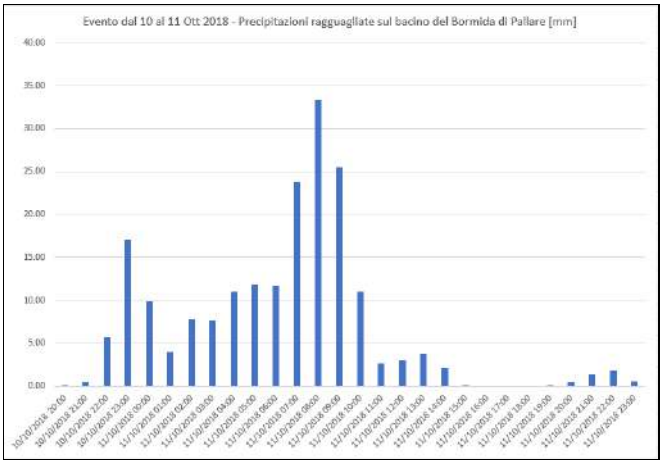


Figura 25 – Evento del 10-11 Ott 2018 - Precipitazioni ragguagliate sul bacino del Bormida di Pallare.

4.4.4.1 Risultati del calcolo di trasformazione afflussi-deflussi

Si riportano nella seguente Tabella 18 le portate del fiume Bormida di Pallare a Carcare ricavate dal codice di calcolo HEC-HMS. L'onda di piena a Carcare è rappresentata in Figura 26.

Tabella 18 – Evento del 10-11 Ottobre 2018 – Portate al colmo sul bacino del Bormida di Pallare.

SEZIONE	Conf_01.1 (474 msm)	Conf_02 - Pallare (398 msm)			Conf_03 - Carcare (347 msm)	Conf_04 - Cairo M. (339 msm)
	F. Bormida	F. Bormida monte	T. Viazza	F. Bormida valle	F. Bormida	F. Bormida
EVENTO	Qc [m3/s]	Qc [m3/s]	Qc [m3/s]	Qc [m3/s]	Q.max [m3/s]	Q.max [m3/s]
10-11Ott 2018	48.7	72.1	31.1	103.2	**144.0**	151.3

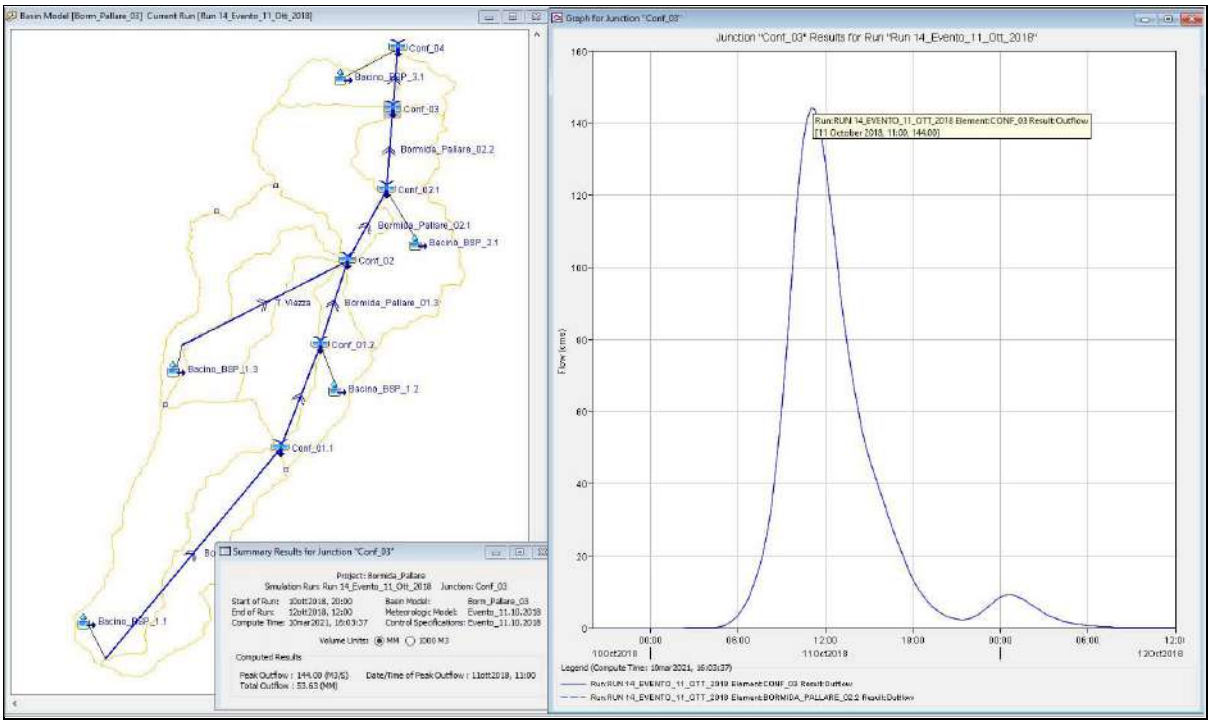


Figura 26 – Evento del 11 Ottobre 2018 – Onda di piena del Bormida di Pallare a Carcare.

Come si può riscontrare, l'evento meteo di breve durata del 10-11 Ottobre 2018 ha generato un'onda di piena di tipo impulsivo, il cui valore al colmo è risultato pari a 144.0 m^3/s, che confrontato con i valori delle portate per i diversi tempi di ritorno, corrisponde ad una portata con tempo di ritorno inferiore a 20 anni.

Poiché per questo evento non si dispone di una misurazione del livello idrometrico, in quanto la stazione idrometrica ArpaL di Carcare entrò in servizio il 19 Ottobre, il valore della portata al colmo è stato calcolato grazie alla calibrazione del modello idrologico in base al valore osservato a Piana Crixia pari a 3,83 m.

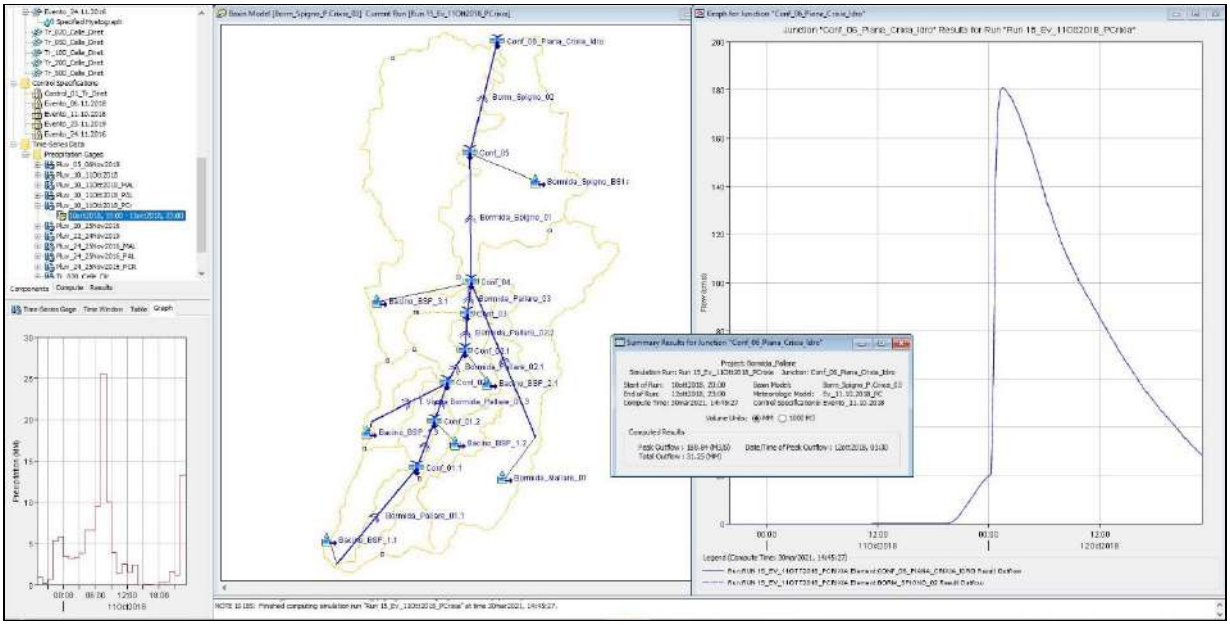


Figura 27 – Evento del 11 Ottobre 2018 – Onda di piena del Bormida di Pallare a Carcare.

4.4.5 Evento del 22-23 Novembre 2019

Con la stessa metodologia si è riprodotto in back-analysis l'evento del 22-23 Novembre 2019. Nella seguente Figura sono rappresentate le precipitazioni dal 22 al 23 Novembre 2019.

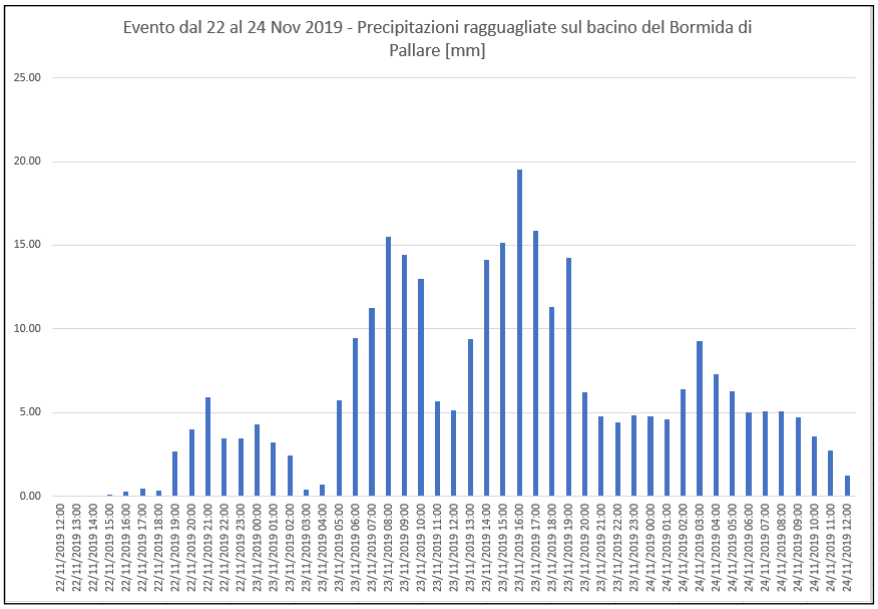


Figura 28 – Evento del 22-23 Novembre 2019 - Precipitazioni ragguagliate sul bacino del Bormida di Pallare.

4.4.5.1 Risultati del calcolo di trasformazione afflussi-deflussi

Si riportano nella seguente Tabella 19 le portate del fiume Bormida di Pallare a Carcare ricavate dal codice di calcolo HEC-HMS. L'onda di piena a Carcare è rappresentata in Figura 29.

Tabella 19 – Evento del 22-23 Novembre 2019 – Portate al colmo sul bacino del Bormida di Pallare.

SEZIONE	Conf_01.1 (474 msm)	Conf_02 - Pallare (398 msm)			Conf_03 - Carcare (347 msm)	Conf_04 - Cairo M. (339 msm)
	F. Bormida	F. Bormida monte	T. Viazza	F. Bormida valle	F. Bormida	F. Bormida
EVENTO	Qc [m3/s]	Qc [m3/s]	Qc [m3/s]	Qc [m3/s]	Q.max [m3/s]	Q.max [m3/s]
22-23 Nov 2019	39.6	59.8	25.4	85.1	121.4	130.0

Il valore al colmo dell'onda di piena è risultato pari a 121.4 m^3/s, che confrontato con i valori delle portate al colmo per i diversi tempi di ritorno, corrisponde ad una portata con tempo di ritorno inferiore a 20 anni.

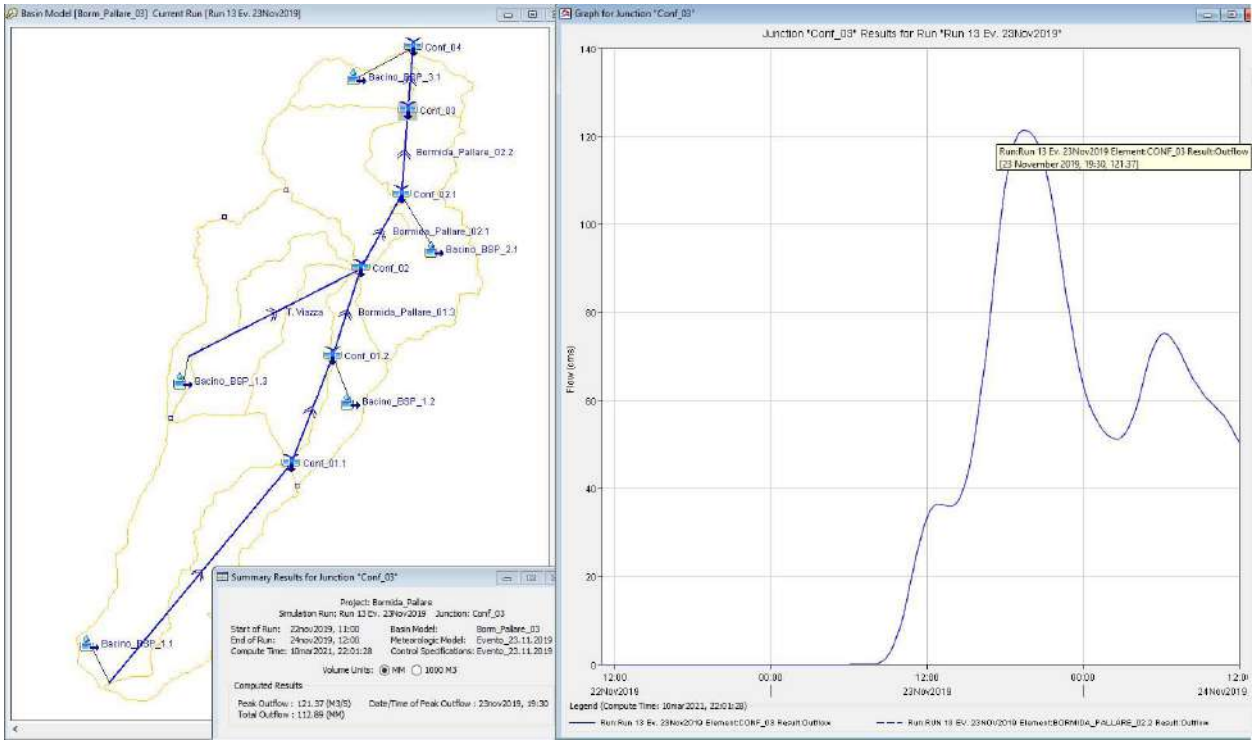


Figura 29 – Evento del 22-23 Novembre 2019 – Onda di piena del Bormida di Pallare a Carcare.

Di tale evento si dispone della misurazione del livello idrometrico alla stazione Arpa Liguria di Carcare installata sulla passerella situata a monte del ponte storico, con un valore al colmo di 2,03m alle ore 19:00 UTC, come si riporta in grafico nella seguente Figura 30, a cui corrisponde una portata di 104,4 m^3/s dalla scala di deflusso.

Grazie al livello osservato è possibile meglio calibrare i parametri del modello idrologico.

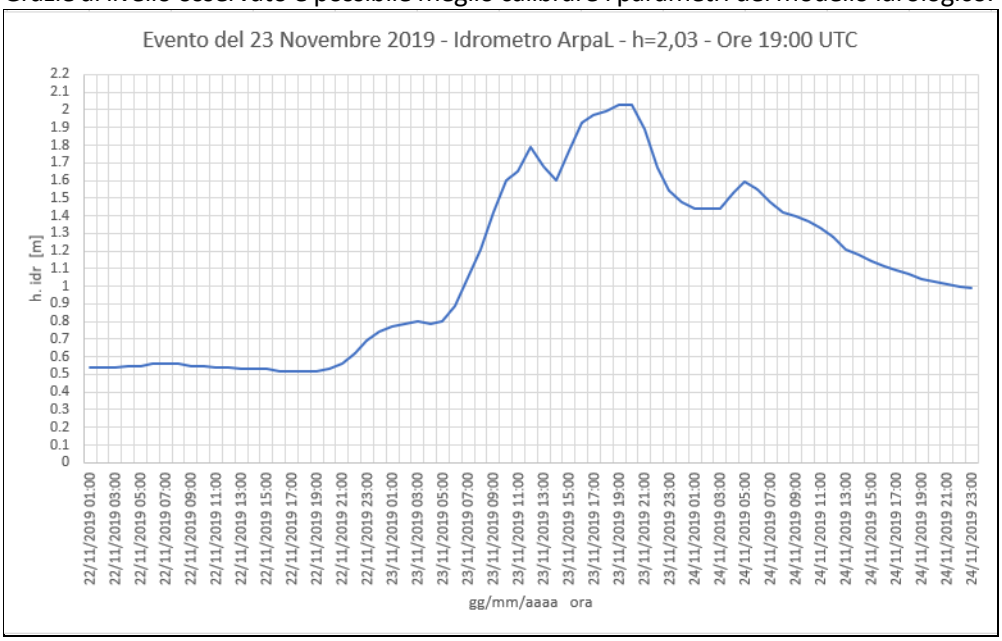


Figura 30 – Evento del 22-23 Novembre 2019 – Livelli idrometrici osservati a Carcare (fonte: ArpaL)

5. ANALISI IDRAULICHE

5.1 ASPETTI GENERALI

Le analisi idrauliche sono finalizzate in questo studio al dimensionamento dell'opera di difesa in progetto in continuità con la scogliera realizzata nel 2024, fino a valle della confluenza del torrente Nanta, per una lunghezza complessiva di circa 150 m, sia per definire le quote di progetto dell'opera di difesa, che per tracciare i limiti di esondabilità del corso d'acqua per le portate per i tempi di ritorno previsti dal P.A.I..

La costruzione del modello idraulico-numerico monodimensionale si è svolta nelle seguenti fasi:

1. Rilievo topografico fotogrammetrico del corso d'acqua mediante tecnologia SAPR del tratto oggetto di studio e sua elaborazione e verifica con dati DTM-LiDAR del Ministero Ambiente. E' stato effettuato un nuovo rilievo al termine dei lavori di sistemazione delle scogliere in sponda destra.
2. Costruzione di un modello idraulico sulla base della geometria del rilievo fotogrammetrico;
3. Determinazione della scala di deflusso alla sezione della passerella con stazione idrometrica gestita da Arpa Liguria;
4. Calibrazione del modello da back-analysis dell'evento di piena del 24-25 Novembre 2016.

Le simulazioni idrauliche in moto permanente sono state effettuate per le portate per i tempi di ritorno di 20, 50, 100, 200 e 500 anni, nonché per le portate al colmo degli eventi del 24-25_Nov_2016 e del 10-11_Ott_2018.

L'elaborazione nelle condizioni attuali, finalizzata alla determinazione delle scale di deflusso alle 2 sezioni di controllo (passerella Idrometro AtpaL e passerella in centro) è stata effettuata per portate da 5 a 425 m^3/s, intervallo di 5 m^3/s.

Attraverso le scale di deflusso, noti i livelli idrometrici registrati nel corso degli eventi di piena più recenti, si sono ricavate le portate corrispondenti, che sono risultate fondamentali per la calibrazione del modello idrologico. Si sono analizzati e calibrati con modello idrologico i seguenti eventi di piena:

- evento del 24-25 Novembre 2016;
- evento del 11 Ottobre 2018;
- evento del 23 Novembre 2019.

Le analisi idrauliche sono state realizzate mediante il software elaborato dall'U.S. Army Corps of Engineers, HEC-RAS, sviluppato per consentire la modellazione monodimensionale in moto uniforme e la modellazione mono e bidimensionale in moto vario di canali naturali o antropici.

5.2 RILIEVI TOPOGRAFICI

La geometria del modello nelle condizioni attuali è stata costruita sulla base dei rilievi fotogrammetrici eseguiti a partire dal Dicembre 2020, nel Settembre 2021, e a seguito della realizzazione delle scogliere in sponda destra nel Settembre 2024. I rilievi fotogrammetrici eseguiti per la progettazione del tratto di scogliera attuale sono stati eseguiti nell'Aprile e nel Maggio 2025.

I rilievi fotogrammetrici sono stati effettuati con tecnologia SAPR (Sistema Aeromobile a Pilotaggio Remoto) previa posa di numerosi caposaldi al suolo rilevati mediante GPS.

Il primo rilievo fotogrammetrico del 2020 fu eseguito sul tratto del fiume Bormida di Pallare con inizio a monte della passerella sede della stazione idrometrica di Arpa Liguria fino a monte del ponte della ferrovia nel Comune di Cairo Montenotte, per una lunghezza di circa 1600 m. Furono rilevati i 5 ponti esistenti lungo tale tratto.

I rilievi del 2025 aggiornano il tratto del Bormida di pallare da monte del Ponte di via nazionale fino al ponte di via Curagnata, per tener conto dei lavori di disalveo e realizzazioni spondali nel tratto a valle, nel Comune di Cairo Montenotte.

In ALLEGATO_01 si riporta il Report del rilievo fotogrammetrico eseguito del geom. Pierfranco Verrua.

Nlella seguente figura è rappresentata l'area di rilievo del 2025.



Figura 31 – Rilievo fotogrammetrico con tecnologia SAPR - Maggio 2025.

5.3 GEOMETRIA DEL MODELLO IDRAULICO

Il Modello Idraulico riproduce il tratto del fiume Bormida di Pallare di lunghezza circa 1525m, compreso tra la Sezione 1530, situata in Comune di Carcare a monte della passerella pedonale in via Caduti del Lavoro, e la Sezione 4, situata a monte del ponte della ferrovia in Comune di Cairo Montenotte.

Si è estesa la modellazione del corso d'acqua verso valle per meglio riprodurre fenomeni di rigurgito, trattandosi di moto comandato da valle in condizioni di "corrente lenta".

Le sezioni di calcolo sono generate dal software HEC-RAS 6.2 dal DTM (Modello Digitale del terreno).

La Figura 32 rappresenta la planimetria del modello idraulico con sezioni di calcolo.

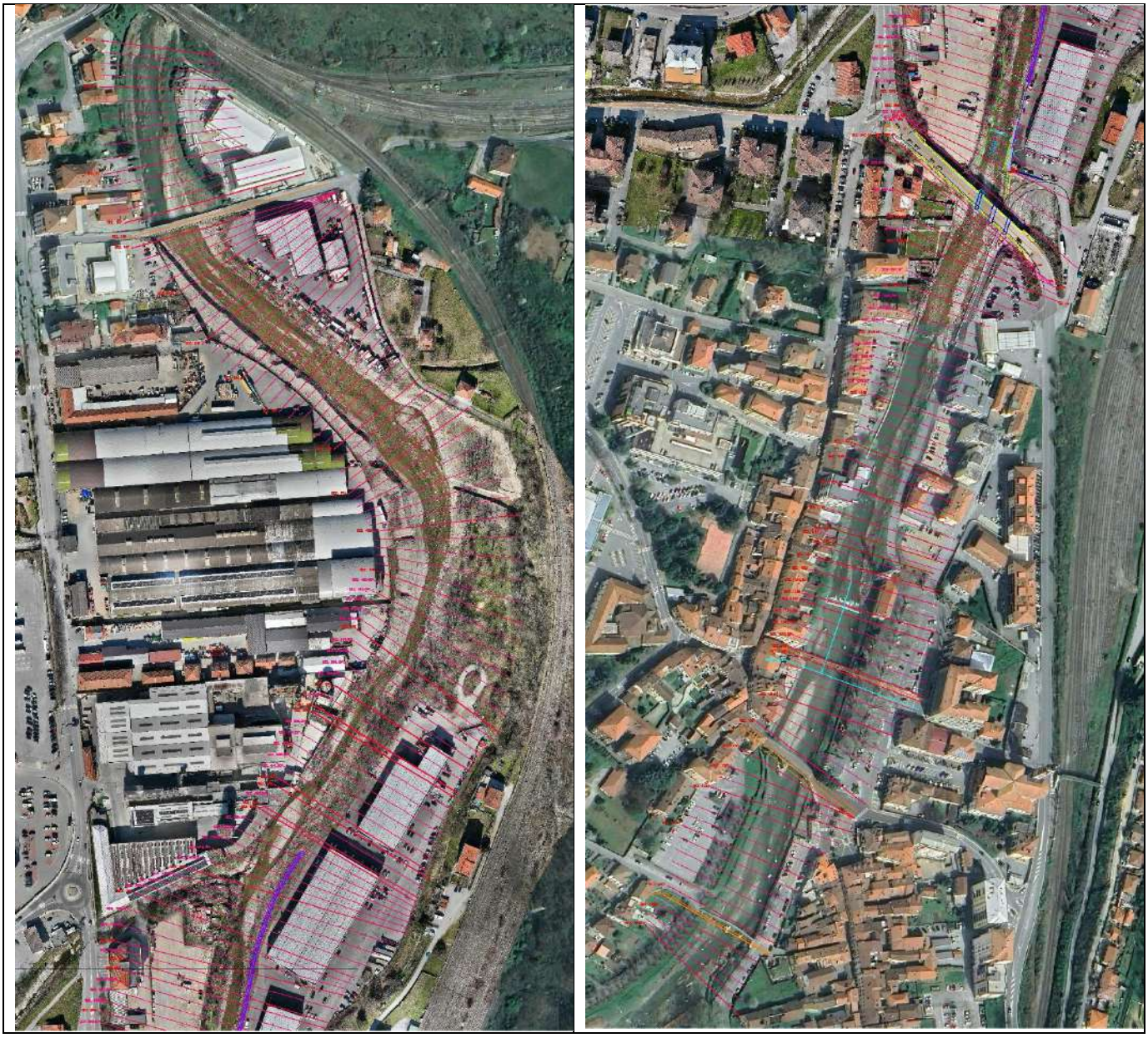


Figura 32 – Planimetria del Modello Idraulico del Bormida di Pallare Nord e Sud – Rilievo 2025.

La geometria dei ponti viene inserita come dal rilievo GPS e da nuvola punti del rilievo, con verifica in situ delle misure delle campate e delle pile. E' stata inserita anche la geometria della scogliera completata a valle del ponte di via Nazionale, come da misure di rilievo in situ effettuate con il rilievo fotogrammetrico del Settembre 2024, e inserita la geometria della nuova scogliera in progetto.

La figura seguente rappresenta la nuova difesa in progetto e lo shape file "limite acque" demaniali del catasto georeferenziato in QGIS.



Figura 33 – Planimetria del Modello Idraulico su shape file "limite acque" – Rilievo Maggio 2025.

5.4 DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO MONODIMENSIONALE

Il software utilizzato HEC-RAS, ampiamente riconosciuto per la modellazione monodimensionale di un alveo naturale, consente di effettuare i calcoli in moto permanente e vario, mono e bidimensionale, per una rete di canali (artificiali o naturali), ipotizzando una portata costante lungo il tratto, nel caso di moto permanente, o un'onda di piena nel caso di moto vario.

Nello studio di una corrente gradualmente varia in alvei non prismatici, quali quelli naturali, la limitazione maggiore deriva dall'avere a disposizione informazioni relative solo ad un numero piuttosto contenuto di sezioni trasversali del corso d'acqua. Tuttavia, se si utilizza un Modello Digitale del Terreno (DTM) si possono estrarre tutte le sezioni che si ritengono necessarie per una corretta rappresentazione della variazione dell'alveo. Inoltre, per alvei a sezione variabile non sono applicabili le usuali procedure di calcolo che prevedono la definizione della scala di deflusso o di altri parametri ipotizzati invarianti lungo lo sviluppo longitudinale dell'alveo.

Ne consegue che per determinare l'andamento del profilo del pelo libero lungo un tratto d'alveo il codice di calcolo procedere per successive iterazioni, assegnate le adeguate condizioni al contorno (di valle o di monte) in ragione del tipo di regime caratterizzante la corrente, lenta (Froude <1) oppure veloce (Froude >1).

Per determinare l'altezza della corrente in ogni sezione, la procedura iterativa utilizza le seguenti relazioni:

$$Z_1 + \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2 \cdot g} = Z_2 + \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2 \cdot g} + h_e + h_f$$

$$h_e = L \cdot i_f$$

$$h_f = C \cdot \left| \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2 \cdot g} - \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2 \cdot g} \right|$$

dove:

Z_1 e Z_2 = quote assolute della superficie libera agli estremi del tratto;

V_1 e V_2 = velocità medie nella sezione, riferite agli estremi del tratto;

$g = 9{,}81$ [m/s^2] = accelerazione di gravità;

h_e = perdite distribuite di energia;

h_f = perdite di energia concentrate;

L = lunghezza del tratto considerato;

i_f = pendenza di fondo nel tratto;

C = coefficiente di perdita per espansioni e/o contrazioni localizzate;

α_1 e α_2 = coefficienti di Coriolis, funzione della distribuzione di velocità.

Il modello di calcolo numerico, imposta la portata defluente in alveo e le condizioni al contorno, applica il sistema sopra esposto a due sezioni adiacenti (partendo da monte o da valle, a seconda del regime di corrente ipotizzato) e lo risolve iterativamente, per determinare l'altezza del pelo libero in ciascuna di esse. Il processo di calcolo, quindi, prosegue analogamente per coppie di sezioni successive, fino a interessare tutte le sezioni utilizzate per definire la geometria. In questo modo, risulta possibile determinare il profilo del pelo libero per il tratto d'alveo considerato.

Il codice di calcolo consente la suddivisione della corrente in rami paralleli, in modo da poter simulare il deflusso, oltre che nell'alveo, anche nelle aree golenali laterali, che possono essere caratterizzate con diversi indici di scabrezza.

Nei calcoli possono, inoltre, essere considerati gli effetti dovuti alla presenza di infrastrutture "puntuali", quali i ponti, i sottopassi ed i manufatti a paratoie. Il modello, in questo caso, valuta la perdita d'energia, dovuta alla presenza delle infrastrutture, suddividendola in tre parti: la perdita per espansione del flusso, che si registra nel tratto immediatamente a valle; la perdita per contrazione del flusso, a monte della struttura; e quella (determinata con diversi possibili approcci) che si verifica in corrispondenza dell'infrastruttura stessa.

5.5 COEFFICIENTI DI SCABREZZA

La definizione delle condizioni di resistenza al moto in alveo ed in golena avviene introducendo dei coefficienti di scabrezza, caratterizzati da adeguati valori del parametro n di Manning, espresso in $s/m^{1/3}$.

In generale, tale coefficiente dipende dalla granulometria del materiale presente in alveo, dalla regolarità delle sezioni, dall'andamento planimetrico del corso d'acqua, dalle caratteristiche idrauliche delle sponde e dalla possibilità che il materiale di fondo subisca fenomeni di trasporto. Esistono alcune formulazioni che consentono di determinare il coefficiente di scabrezza note le caratteristiche medie del materiale presente in alveo, facendo ricorso a espressioni logaritmiche derivate dalla teoria della turbolenza. Nel caso in oggetto, si sono adottati valori del coefficiente di Manning variabili lungo il tratto in studio, per tenere conto della situazione locale (presenza di fitta vegetazione, presenza di argini, ecc…) nonché della possibile movimentazione di materiale solido durante gli eventi particolarmente intensi. I valori utilizzati sono riportati all'interno degli allegati alla presente. Nell'ambito del presente modello idraulico, la definizione della scabrezza è stata verificata con riscontro visivo con riferimento alla classificazione proposta da USGS [6], giungendo così alla definizione dei coefficienti di Manning da adottarsi nell'ambito del modello, in relazione alla condizione di ogni tratto di alveo.

Le scabrezze utilizzate sono validate dalla calibrazione dell'evento del 24 Nov. 2016 come riportato al § 4.8.1.2., e verificate per le attuali condizioni dell'alveo al Settembre 2024, a seguito della realizzazione del primo Lotto di difesa spondale in Sp. Dx. e dello spostamento di crca 2.0 m del tratto iniziale della scogliera in corrispondenza del primo capannone a valle del ponte di via Nazionale.

5.6 CONDIZIONI AL CONTORNO

Le condizioni al contorno risultano di fondamentale importanza per la corretta definizione dei livelli idrici e degli altri parametri della corrente idrica. In particolare queste possono essere sintetizzate in:

- Rappresentazione geometrica del corso d'acqua con l'inserimento della geometria degli attraversamenti presenti (ponti, briglie, tombini, ecc.);
- Definizione dei coefficienti di scabrezza associati alla tipologia di alveo e delle aree golenali allo stesso;
- Condizioni al contorno (*Boundary Conditions*) di monte (*Upstream*) e di valle (*Downstream*) definite all'interno del software HEC-RAS.

5.7 PORTATE DI CALCOLO

Per le portate di calcolo si assumono i valori di portata al colmo forniti dallo studio idrologico alle sezioni a monte di Carcare e a valle della confluenza del torrente Nanta, per i tempi di ritorno di 20, 50, 100 200 e 500 anni.
I valori delle suddette portate sono utilizzati per la progettazione delle nuove opere di difesa in sponda destra.

Tabella 20 – Portate di calcolo del Bormida di Pallare e torrente Nanta da Studio Idrologico 2024.

Tempo di ritorno	Portata F. Bormida monte T. Nanta [m^3/s]	Portata T. Nanta [m^3/s]	Portata F. Bormida valle T. Nanta [m^3/s]
Tr = 20	189.7	28.9	218.6
Tr = 50	241.8	37.5	279.3
Tr = 100	275.4	43.2	318.6
Tr = 200	338.7	53.7	392.4
Tr = 500	423.5	68.0	491.5
Evento 24 Nov 2016	290	15	305

5.8 RISULTATI DELLE ANALISI IDRAULICHE

Si riportano i risultati delle analisi idrauliche per i seguenti scenari:

Scenario 01_Attuale: "**RUN_01_ATT_2020_Q2-425**" – Condizioni attuali al Settembre 2021.

Portate degli eventi 24Nov2016 e 10Ott2018; portate variabili da 5 a 425 m^3/s per ricavare le Scale di deflusso.

Scenario 01_Attuale: "**RUN_01_2025_ATT**" – Condizioni attuali - Aprile 2025.

Portate per i tempi di ritorno di 20, 50, 100, 200 e 500 anni determinate dallo Studio Idrologico aggiornato con i parametri delle Linee Segnalatrici Possibilità Pluviometriche del 2024 forniti dall'Autorità di Bacino del Fiume Po.

Scenario 02_Progetto: "**RUN_02_2025_PROG**" – Condizioni di progetto - Aprile 2025.

Geometria con le sezioni delle opere di difesa in progetto e portate per gli stessi tempi di ritorno.

5.8.1 Scenario 01_Attuale: "RUN_01_ATT_2020_Q2-425"

5.8.1.1 Determinazione delle Scale di deflusso alle stazioni idrometriche

Una prima fase delle elaborazioni nelle condizioni attuali è finalizzata alla determinazione delle scale di deflusso alle due sezioni sedi di stazioni idrometriche, al fine di poter conoscere da queste correlazioni le portate al colmo per eventi di piena del passato e poter calibrare il modello idraulico sulla base dei livelli raggiunti.

Il modello idraulico e le relative condizioni al contorno sono rimasti inalterati rispetto alle analisi idrauliche effettuate nel 2020 - 2021 per da definizione delle Scale di deflusso.

Si riportano nelle seguenti figure le scale di deflusso alla Sezione 1490, a valle della passerella pedonale di monte, sede dell'Idrometro gestito da Arpa Liguria e alla Sezione 1284, sede di Idrometro installato dal Comune di Cairo.

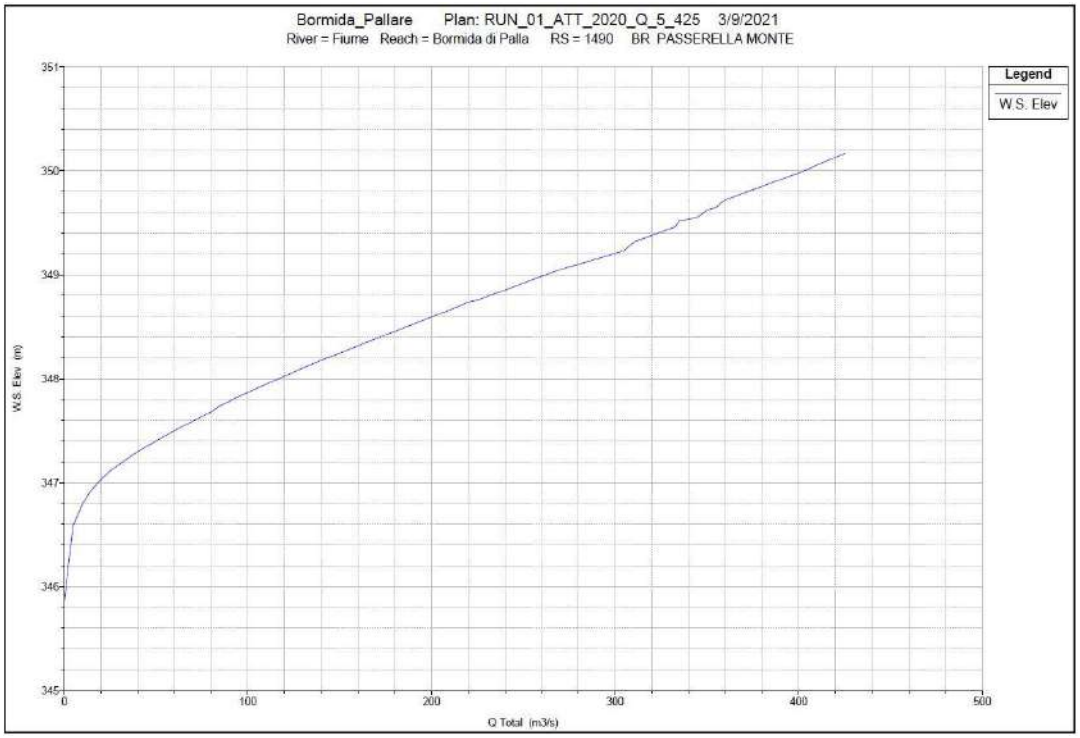


Figura 34 – Scala di deflusso alla Sezione 1490 – Passerella sede Idrometro ARPAL.

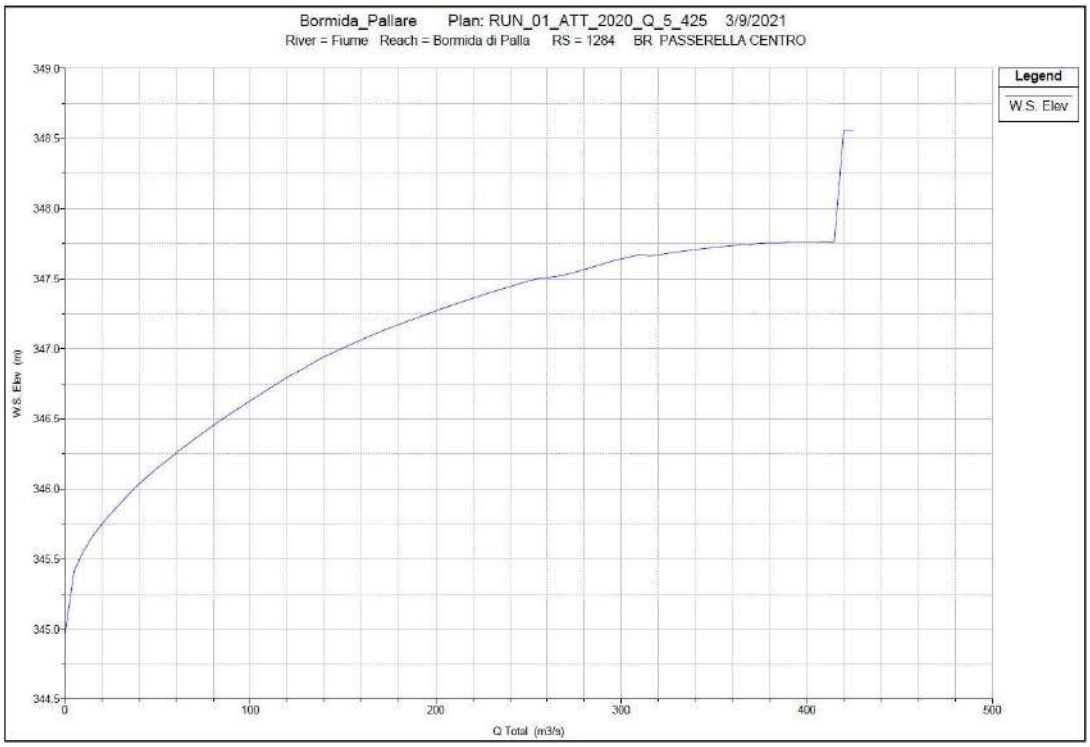


Figura 35 – Scala di deflusso alla Sezione 1284 – Passerella.

5.8.1.2 Analisi dell'Evento del 24 Novembre 2016

Il livello calcolato per la portata al colmo di 289.8 m^3/s alla Sezione 1284, in corrispondenza della passerella in centro, risulta pari a 347.60 m.s.m., coerente con il livello visibile nella ripresa fotografica seguente.

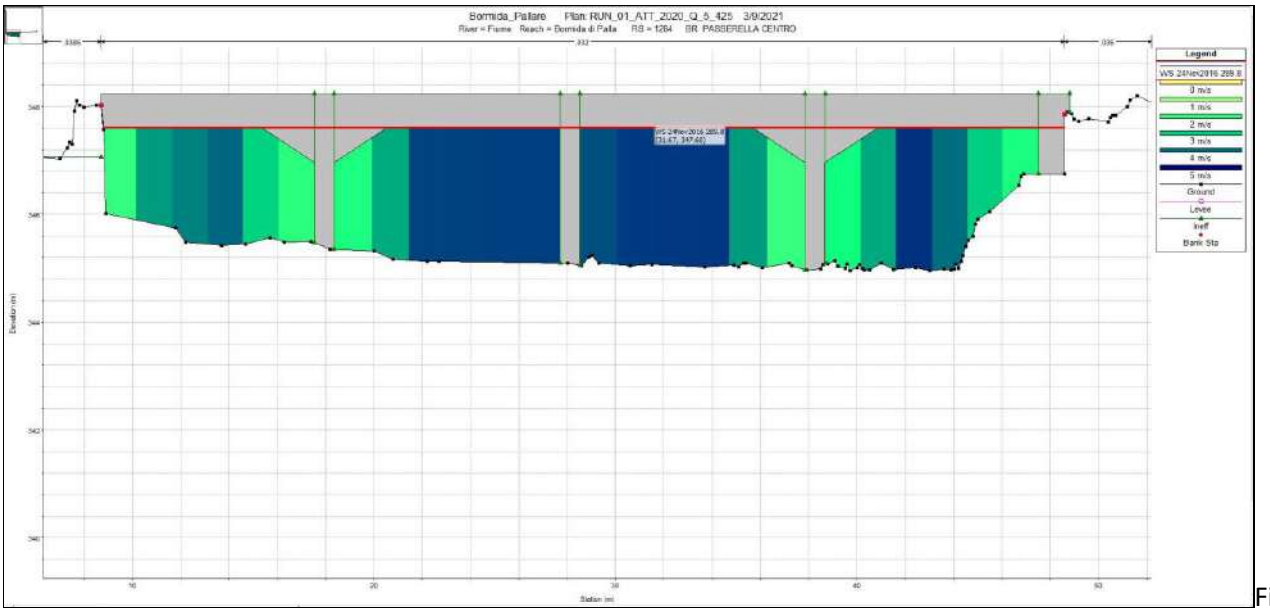


Figura 36 – Evento del 24 Novembre 2016 – Livello alla Sezione 1284.



Figura 37 – Evento del 24 Novembre 2016 – ripresa dal ponte storico della passerella Sezione 1284.

Questo risultato conferma la correttezza della calibrazione del Modello Idrologico, che fornisce il valore della portata al colmo coerente con il livello osservato.

5.8.2 Risultati del 2025 - Allegati

I risultati delle analisi idrauliche nelle **condizioni attuali** e nelle **condizioni di progetto** ad Aprile 2025 sono riportati nei seguenti ALLEGATI:

- ALLEGATO 5 – PLANIMETRIA DEL MODELLO IDRAULICO DEL BORMIDA DI PALLARE – Agg. 2025
- ALLEGATO 6 – RISULTATI ANALISI IDRAULICHE **Scenario 01_Attuale: "RUN_01_2025_ATT"**;
- ALLEGATO 7 – RISULTATI ANALISI IDRAULICHE **Scenario 02_Progetto**: "**RUN_02_2025_PROG**"
- ALLEGATO 5 – Tavola 1 "**Limiti di esondazione nelle condizioni attuali**" per tempi di ritorno di 50 – 200 – 500 anni su Ortofoto Rilievo Fotogrammetrico del 2025;
- ALLEGATO 6 – Tavola 2 "**Limiti di esondazione nelle condizioni di progetto**" per tempi di ritorno di 50 – 200 – 500 anni su Ortofoto Rilievo Fotogrammetrico del 2025.

L'intestazione delle tabelle riporta i parametri di calcolo come rappresentato nella seguente Legenda.

Tabella 21 – Legenda delle Tabelle - Parametri dei risultati delle analisi idrauliche.

Sezione di calcolo	Portata Tempo ritorno	Portata al colmo	Quota min	Scabrezza Manning	Quota Livello idrico	altezza critica	Quota Energia	Velocità media	Area bagnata	Froude	Limite Livello Sinistro	Limite Livello Destro	Quota Argine SX	Franco Argine SX	Quota Argine DX	Franco Argine D
		(m3/s)	(m)	(s/m$^{1/3}$)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m2)		(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)

Sono evidenziate le colonne dei parametri particolarmente significativi:

- Quota del livello idrico [m.s.m.] *(colore azzurro);*
- Limite livello sinistro [m] *(colore azzurro);*
- Limite livello destro [m] *(colore azzurro);* tali limiti consentono di individuare con precisione i punti raggiunti dall'acqua in sponde o areee golenali in sinistra e destra idrografica;
- Quota argine SX [m.s.m.];
- Quota argine DX [m.s.m.];
- Franco argine Dx [m] *(colore verde);* dislivello relativo al punto della sponda assunto come argine.

Per la finalità del presente studio si riportano i risultati della modellistica idraulica per l'intero tratto in studio del Fiume Bormida di Pallare, ed i limiti di esondazione per le portate di riferimento P.A.I..

5.8.2.1 Scenario 01_Attuale: "RUN_01_2025_ATT"

Si riporta una sintesi dei risultati lungo il tratto Nord del fiume Bormida di Pallare, nelle CONDIZIONI ATTUALI APRILE 2025, lungo il tratto sede del tracciato della difesa spondale in destra, a valle del ponte di via Nazionale.
Si riportano anche nella seguente Figura 38 i limiti di esondabilità per TR 50, 500 e 500 anni per le portate a monte e a valle della confluenza del T. Nanta: Limite Tr 50 (*colore arancione*), Limite Tr200 (*colore rosso*), Limite Tr 500 (*colore verde*).

Dalla rappresentazione grafica risulta che l'area in sponda destra non risulta esondabile per la portata duecentennale, mentre lo è per la portata cinquecentennale, per un tratto con tiranti variabili da 0.10 a 0.45 m.



Figura 38 – Tratto del Fiume Bormida in studio – CONDIZIONI ATTUALI 2025 – Limiti di esondazione TR 50, 200, 500.

La seguente tabella riassume i valori dei livelli idrici e del franco rispetto all'argine DX per le sezioni principali del tratto in studio per i tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni, dalla Sezione 901 (a valle del ponte di via Nazionale) alla Sezione 692 (a valle del tratto del progetto della nuova opera di difesa spondale).

Tabella 22 – Tratto a valle ponte via Nazionale – COND. ATTUALI 2025 - Tr 50, 200,500 - Livelli e franco arg.Dx.

Geometria: Bormida_Pallare Attuale APRILE 2025 | Rilievi fotogrammi: 30/12/2020; 16/07/2021, 15/09/2024; 05.03.2025; 13.04.2025

RUN_01_2025 | Dh_GPS_IGM Grigliati Ralgeo2005 = 0.67 m

Deflussi Bormida di Pallare | Tr 50 | Tr200 | Tr500 | ATTUALE_2025

Sezione di calcolo	Portata Tempo ritorno	Portata al colmo	Quota min	Scabrezza Manning	Quota Livello idrico	Quota altezza critica	Quota Energia	Velocità media	Area bagnata	Froude	Limite Livello Sinistro	Limite Livello Destro	Quota Argine SX	Franco Argine SX	Quota Argine DX	Franco Argine DX
		(m3/s)	(m)	(s/m^1/3)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m2)		(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
901.45	Q_50_2024_279	242	341.92	0.033	345.26	344.35	345.72	3.03	81.01	0.57	43.92	83.28	345.25	-0.01	346.36	1.1
901.45	Q_200_2024_392	339	341.92	0.033	346.12	344.87	346.54	2.97	132.03	0.49	17.39	83.34	345.25	-0.87	346.36	0.24
901.45	Q_500_2024_492	424	341.92	0.033	346.51	345.45	346.93	3.09	171.73	0.49	17.34	114.72	345.25	-1.26	346.36	-0.15
893.98	Q_50_2024_279	242	341.9	0.033	345.1	344.4	345.68	3.39	71.42	0.66	57.67	83.94	345.25	0.15	346.4	1.3
893.98	Q_200_2024_392	339	341.9	0.033	346	344.94	346.51	3.28	120.8	0.55	14.41	84.38	345.25	-0.75	346.4	0.4
893.98	Q_500_2024_492	424	341.9	0.033	346.48	345.86	346.91	3.19	174.84	0.51	13	129.5	345.25	-1.23	346.4	-0.08
886.51	Q_50_2024_279	242	341.88	0.033	344.86	344.46	345.63	3.89	62.2	0.78	60.22	84.9	345.24	0.38	346.21	1.35
886.51	Q_200_2024_392	339	341.88	0.033	345.57	345.02	346.45	4.17	87.56	0.75	15.42	85.51	345.24	-0.33	346.21	0.64
886.51	Q_500_2024_492	424	341.88	0.033	346.21	345.99	346.87	3.82	139.72	0.63	12.04	136.12	345.24	-0.97	346.21	0
878.76	Q_50_2024_279	242	341.73	0.033	344.92	344.24	345.55	3.51	68.9	0.67	65.33	89.72	345.22	0.3	346.21	1.29
878.76	Q_200_2024_392	339	341.73	0.033	345.64	344.8	346.37	3.83	97.44	0.66	11.63	90.42	345.22	-0.42	346.21	0.57
878.76	Q_500_2024_492	424	341.73	0.033	346.26	345.45	346.82	3.54	152.87	0.56	9.42	141.94	345.22	-1.04	346.21	-0.05
870.16	Q_50_2024_279	242	341.66	0.033	344.84	344.23	345.51	3.61	67.01	0.69	68.29	92.31	345.22	0.38	345.95	1.11
870.16	Q_200_2024_392	339	341.66	0.033	345.48	344.79	346.32	4.07	87.81	0.7	37.1	92.45	345.22	-0.27	345.95	0.46
870.16	Q_500_2024_492	424	341.66	0.033	346.19	345.48	346.79	3.66	149.21	0.58	9.37	146.45	345.22	-0.97	345.95	-0.24
861.57	Q_50_2024_279	242	341.52	0.033	344.83	344.16	345.46	3.54	68.44	0.67	71.18	95.24	345.23	0.4	345.9	1.07
861.57	Q_200_2024_392	339	341.52	0.033	345.47	344.71	346.28	4	89.31	0.69	38.49	95.29	345.23	-0.24	345.9	0.43
861.57	Q_500_2024_492	424	341.52	0.033	346.18	345.56	346.76	3.59	153.93	0.56	9.1	149.87	345.23	-0.95	345.9	-0.28
852.97	Q_50_2024_279	242	341.38	0.033	344.79	344.08	345.43	3.52	68.7	0.66	74.06	97.68	345.23	0.44	345.77	0.98
852.97	Q_200_2024_392	339	341.38	0.033	345.42	344.65	346.24	4.02	88.09	0.69	50.99	97.8	345.23	-0.19	345.77	0.35
852.97	Q_500_2024_492	424	341.38	0.033	346.11	345.1	346.73	3.69	149.23	0.58	9.33	153.52	345.23	-0.88	345.77	-0.34
844.37	Q_50_2024_279	242	341.19	0.033	344.8	344	345.38	3.37	71.72	0.62	76.33	100.45	345.23	0.43	345.73	0.93
844.37	Q_200_2024_392	339	341.19	0.033	345.43	344.55	346.18	3.86	92.18	0.65	50.98	100.55	345.23	-0.2	345.73	0.3
844.37	Q_500_2024_492	424	341.19	0.033	345.96	344.99	346.69	3.92	129.45	0.62	31.19	155.89	345.23	-0.73	345.73	-0.23
835.86	Q_50_2024_279	242	341.12	0.033	344.84	343.88	345.32	3.07	78.93	0.57	72.58	99.6	345.2	0.36	345.82	0.98
835.86	Q_200_2024_392	339	341.12	0.033	345.52	344.43	346.11	3.42	106.33	0.59	35.4	100.8	345.2	-0.32	345.82	0.3
835.86	Q_500_2024_492	424	341.12	0.033	346.08	344.86	346.6	3.35	155.34	0.56	14.39	154.78	345.2	-0.88	345.82	-0.26
827.34	Q_50_2024_279	242	341.05	0.033	344.91	343.51	345.26	2.61	92.54	0.46	69.15	97.3	345.23	0.32	345.72	0.81
827.34	Q_200_2024_392	339	341.05	0.033	345.61	344.03	346.04	2.93	125.91	0.48	32.4	98.96	345.23	-0.38	345.72	0.11
827.34	Q_500_2024_492	424	341.05	0.033	346.14	344.45	346.54	2.95	178.79	0.47	12.84	154.29	345.23	-0.91	345.72	-0.42
818.83	Q_50_2024_279	242	341.01	0.033	344.81	343.72	345.24	2.88	84.07	0.54	65.9	94.42	345.22	0.41	345.6	0.79
818.83	Q_200_2024_392	339	341.01	0.033	345.5	344.27	346.01	3.2	113.59	0.55	26.51	96.43	345.22	-0.28	345.6	0.1
818.83	Q_500_2024_492	424	341.01	0.033	346.06	344.69	346.52	3.15	164.57	0.51	14.68	152.89	345.22	-0.84	345.6	-0.46
810.31	Q_50_2024_279	242	340.96	0.033	344.82	343.63	345.2	2.74	88.35	0.5	62.62	91.86	345.24	0.42	345.6	0.78
810.31	Q_200_2024_392	339	340.96	0.033	345.51	344.13	345.98	3.05	119.73	0.53	21.35	94.59	345.24	-0.27	345.6	0.09
810.31	Q_500_2024_492	424	340.96	0.033	346.08	344.57	346.49	2.97	175.8	0.48	9.87	151.49	345.24	-0.84	345.6	-0.48
804.36	Q_50_2024_279	242	340.95	0.033	344.79	343.65	345.19	2.81	86.06	0.52	62.14	91.17	345.25	0.46	345.57	0.78
804.36	Q_200_2024_392	339	340.95	0.033	345.46	344.19	345.96	3.14	115.89	0.55	20.07	94.26	345.25	-0.21	345.57	0.11
804.36	Q_500_2024_492	424	340.95	0.033	346.07	344.61	346.48	2.99	177.41	0.5	12.38	152.99	345.25	-0.82	345.57	-0.5
796.19	Q_50_2024_279	242	340.9	0.033	344.77	343.52	345.17	2.81	86.14	0.51	66.57	94.72	345.25	0.48	345.42	0.65
796.19	Q_200_2024_392	339	340.9	0.033	345.44	344.12	345.94	3.15	115.38	0.57	23.74	160.6	345.25	-0.19	345.42	-0.02
796.19	Q_500_2024_492	424	340.9	0.033	346.09	344.55	346.45	2.84	196.62	0.47	13.99	164.61	345.25	-0.84	345.42	-0.67
788.01	Q_50_2024_279	242	340.92	0.033	344.71	343.61	345.15	2.92	82.98	0.55	70.98	99.62	345.12	0.41	345.43	0.72
788.01	Q_200_2024_392	339	340.92	0.033	345.38	344.21	345.91	3.25	110.7	0.58	32.15	103.27	345.12	-0.26	345.43	0.05
788.01	Q_500_2024_492	424	340.92	0.033	346.1	344.63	346.42	2.75	210.4	0.46	18.74	179.48	345.12	-0.98	345.43	-0.67
779.25	Q_50_2024_279	242	340.77	0.033	344.67	343.71	345.12	2.99	81.08	0.58	68.81	98.62	346.8	2.13	345.4	0.73
779.25	Q_200_2024_392	339	340.77	0.033	345.34	344.28	345.88	3.28	110.06	0.59	28.32	100.91	346.8	1.46	345.4	0.06
779.25	Q_500_2024_492	424	340.77	0.033	346.06	344.69	346.41	2.83	200.51	0.46	19.73	179.6	346.8	0.74	345.4	-0.66
770.49	Q_50_2024_279	242	340.79	0.033	344.6	343.78	345.09	3.12	77.67	0.61	68.57	98.08	346.2	1.6	345.43	0.84
770.49	Q_200_2024_392	339	340.79	0.033	345.3	344.33	345.86	3.35	110.57	0.6	26.87	99.24	346.2	0.9	345.43	0.13
770.49	Q_500_2024_492	424	340.79	0.033	345.98	344.74	346.38	3.01	179.01	0.49	25.47	178.89	346.2	0.22	345.43	-0.55
761.73	Q_50_2024_279	242	340.68	0.033	344.57	343.71	345.06	3.12	77.63	0.61	68.06	97.57	345.12	0.55	345.41	0.84
761.73	Q_200_2024_392	339	340.68	0.033	345.45	344.27	345.76	2.64	153.71	0.48	7.91	181.35	345.12	-0.33	345.41	-0.04
761.73	Q_500_2024_492	424	340.68	0.033	346.08	344.73	346.32	2.41	227.09	0.4	7.86	181.9	345.12	-0.96	345.41	-0.67
753.17	Q_50_2024_279	242	340.61	0.033	344.53	343.71	345.03	3.13	77.24	0.62	57.94	90.55	345.23	0.7	345.36	0.83
753.17	Q_200_2024_392	339	340.61	0.033	345.45	344.28	345.74	2.56	156.24	0.45	7.88	165.99	345.23	-0.22	345.36	-0.09
753.17	Q_500_2024_492	424	340.61	0.033	346.07	344.76	346.31	2.41	227.04	0.39	7.82	179.75	345.23	-0.84	345.36	-0.71
744.61	Q_50_2024_279	242	340.48	0.033	344.53	343.67	344.99	3.04	81.62	0.6	43.35	83.16	344.9	0.37	345.41	0.88
744.61	Q_200_2024_392	339	340.48	0.033	345.51	344.28	345.7	2.12	190.12	0.38	7.63	168.31	344.9	-0.61	345.41	-0.1
744.61	Q_500_2024_492	424	340.48	0.033	346.13	344.9	346.28	2	265.34	0.33	7.57	175.8	344.9	-1.22	345.41	-0.71
736.05	Q_50_2024_279	242	340.45	0.033	344.75	343.52	344.88	1.72	160.14	0.33	7.77	77.4	343.24	-1.51	345.36	0.61
736.05	Q_200_2024_392	339	340.45	0.033	345.54	343.8	345.67	1.72	219.35	0.3	7.54	164.88	343.24	-2.3	345.36	-0.18
736.05	Q_500_2024_492	424	340.45	0.033	346.14	344.07	346.26	1.72	249.51	0.28	7.47	170	343.24	-2.9	345.36	-0.78
727.49	Q_50_2024_279	279	340.6	0.033	344.71	343.14	344.87	1.75	159.17	0.34	11.13	69.72	344.81	0.1	345.38	0.67
727.49	Q_200_2024_392	392	340.6	0.033	345.48	343.52	345.66	1.88	210.29	0.34	7.81	151.03	344.81	-0.67	345.38	-0.1
727.49	Q_500_2024_492	492	340.6	0.033	346.07	343.82	346.25	1.93	275.83	0.32	7.6	164.16	344.81	-1.26	345.38	-0.69
718.83	Q_50_2024_279	279	340.62	0.033	344.57	343.28	344.85	2.34	119.31	0.45	19.78	63.75	344.89	0.32	345.36	0.79
718.83	Q_200_2024_392	392	340.62	0.033	345.32	343.76	345.64	2.51	**158.3**	0.46	11.88	70.27	344.89	-0.43	345.36	0.04
718.83	Q_500_2024_492	492	340.62	0.033	345.91	344.14	346.23	2.54	214.2	0.43	11.82	158.04	344.89	-1.02	345.36	-0.55
710.17	Q_50_2024_279	279	340.6	0.033	344.25	343.53	344.8	3.28	85.14	0.67	22.95	58.24	344.3	0.05	345.39	1.14
710.17	Q_200_2024_392	392	340.6	0.033	344.99	344.13	345.58	3.43	**116.47**	0.66	16.06	63.71	344.3	-0.69	345.39	0.4
710.17	Q_500_2024_492	492	340.6	0.033	345.62	344.63	346.19	3.38	157.33	0.61	0	152	344.3	-1.32	345.39	-0.23
701.51	Q_50_2024_279	279	340.58	0.033	344.1	343.6	344.75	3.58	78.17	0.73	19.26	52.33	343.81	-0.29	345.28	1.18
701.51	Q_200_2024_392	392	340.58	0.033	344.79	344.16	345.54	3.85	**102.67**	0.75	18.09	57.91	343.81	-0.98	345.28	0.49
701.51	Q_500_2024_492	492	340.58	0.033	345.37	344.67	346.14	3.9	128.42	0.72	7.84	63.82	343.81	-1.56	345.28	-0.08
692.85	Q_50_2024_279	279	340.67	0.033	344.03	343.53	344.71	3.65	76.36	0.74	16.97	48.06	344.43	0.4	345.3	1.27
692.85	Q_200_2024_392	392	340.67	0.033	344.69	344.12	345.49	3.96	**98.92**	0.77	16.77	53.06	344.43	-0.26	345.3	0.61
692.85	Q_500_2024_492	492	340.67	0.033	345.3	344.62	346.1	3.98	126.61	0.74	0	58.29	344.43	-0.87	345.3	0
684.19	Q_50_2024_279	279	340.64	0.033	344	343.45	344.66	3.62	77.7	0.7	14.45	44.7	343.45	-0.55	345.3	1.3
684.19	Q_200_2024_392	392	340.64	0.033	344.6	344	345.45	4.08	**97.19**	0.77	14.34	49.54	343.45	-1.15	345.3	0.7
684.19	Q_500_2024_492	492	340.64	0.033	345.14	344.55	346.05	4.24	119.21	0.78	0	53.83	343.45	-1.69	345.3	0.16
675.53	Q_50_2024_279	279	340.52	0.033	343.98	343.38	344.62	3.52	79.29	0.7	12.16	43.14	343.27	-0.71	345.29	1.31
675.53	Q_200_2024_392	392	340.52	0.033	344.58	343.96	345.39	3.99	98.46	0.74	12.03	45.62	343.27	-1.31	345.29	0.71
675.53	Q_500_2024_492	492	340.52	0.033	345.09	344.41	346	4.23	116.7	0.77	11.99	49.8	343.27	-1.82	345.29	0.2

Le tabelle complete dei risultati dei calcoli sono riportati in ALLEGATO 3.

Nella seguente figura si rappresentano i profili idrici nel Tratto SEZ. 910 - 692 – TR 50, 200 e 500 anni.

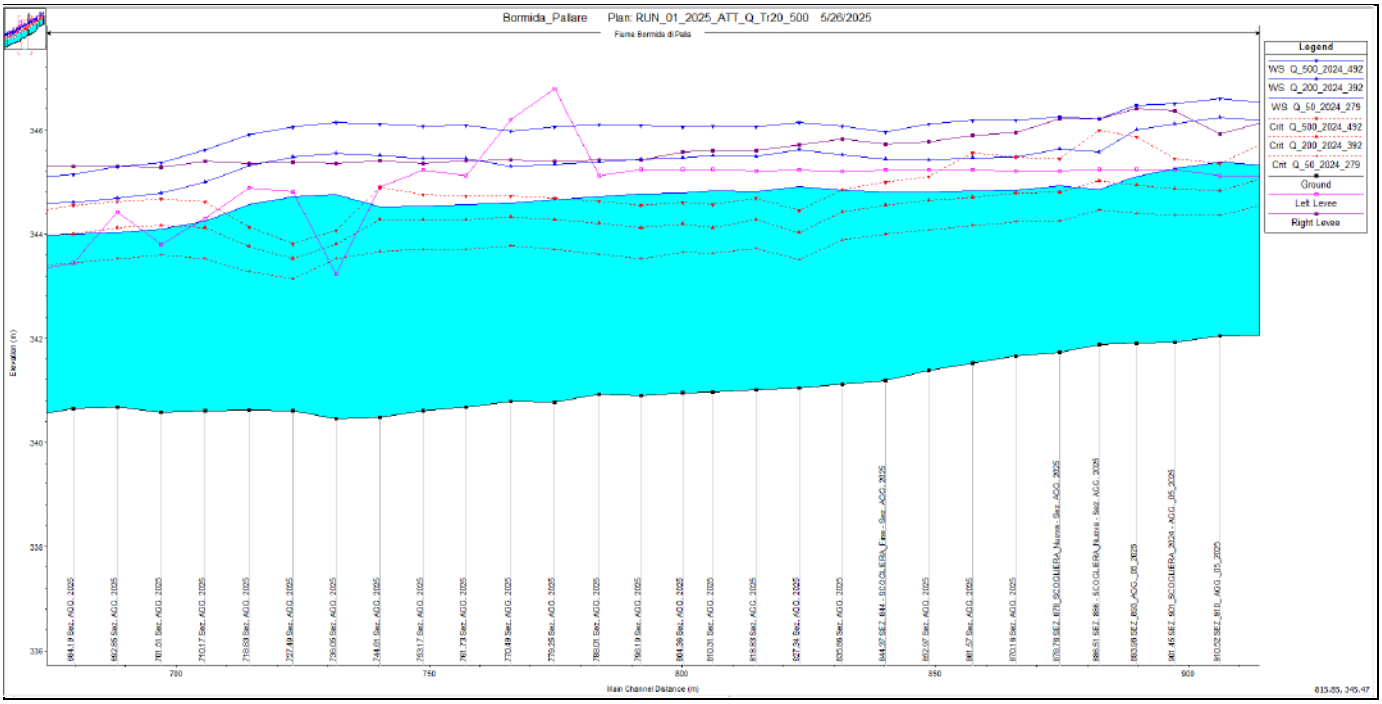


Figura 39 – Profili del tratto del Bormida di Pallare portate per Tr 50 – 200 – 500 – Tratto Sez. 910 - 692.

La seguente figura rappresenta la Sezione 788 del fiume Bormida prospicente l'area in studio.

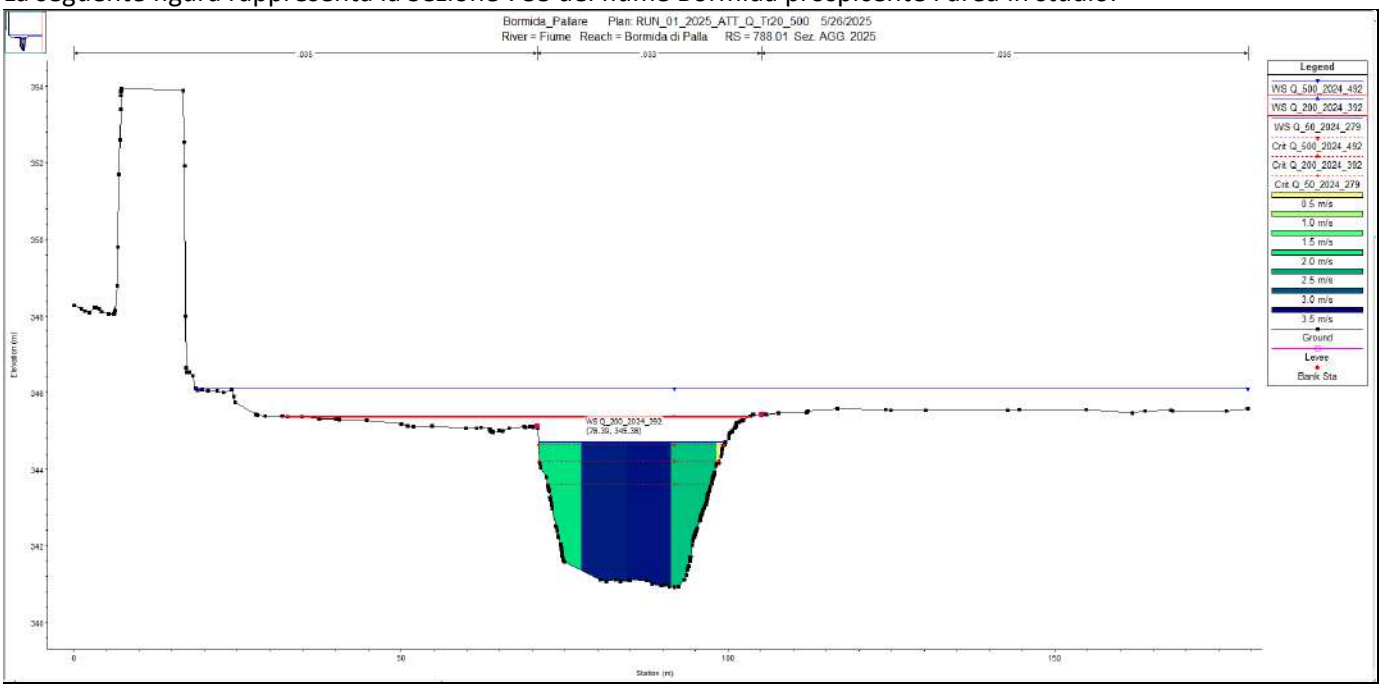


Figura 40 – Sezione 788 – Livelli per TR 50, 200 e 500 - Livello di 345.38 m.s.m. per Q_200.

5.8.2.2 Scenario 02_Progetto: "RUN_04_2025_PRO_03"

Si sono elaborate direse soluzioni per il dimensionamento ottimale della nuova opera di difesa spondale, pervenendo alla soluzione di progetto 03, con la posizione in pianta della scogliera in progetto a filo esterno del limite demaniale, rappresentato nella seguente figura dal layer georeferenziato "catasto acque" in colore azzurro.



Figura 41 – Tratto del Fiume Bormida in studio – Difesa spondale in progetto.

La seguente tabella riassume i valori dei livelli idrici e del franco rispetto all'argine DX per le sezioni principali del tratto in studio per i tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni, dalla Sezione 901 (a valle del ponte di via Nazionale) alla Sezione 692 (a valle del tratto del progetto della nuova opera di difesa spondale).

Vi è anche riportato il CONFRONTO TRA I LIVELLI nelle condizioni attuali con quelli in condizione di progetto.

Dalla elaborazione in condizioni di progetto si rilevano in 2 sezioni terminali della scogliera in progetto (Sez. 701, 692) dei livelli lievemente più elevati rispetto alla condizione attuale. Se si dovessero ottenere livelli inferiori o uguali alla condizione attuale si dovrebbe spostare la scogliera di 80cm – 1m verso l'alveo, senza modificare i coefficienti di scabrezza. Tuttavia, rispetto a tale scelta, risulta preferibile mantenere questa soluzione di progetto, con un maggior spazio per il deflusso, anche se il modello di calcolo, applicando le equazioni teoriche, fornisce un innalzamento del livello che tuttavia rientra nella tolleranza di calcolo.

Tabella 23 – Tratto a valle ponte via Nazionale – COND. PROGETTO 2025 - Tr 50, 200,500 - Livelli e franco arg.Dx.

Geometria: Bormida_Pallare PROGETTO_SOL 4 - APRILE 2025 — Rilievi fatti 30/12/2020, 16/07/2021; 15/09/2024; 05.03.2025; 13.04.2025

RUN_04_2025_PRO_08 — Dh_GPS_IGM Gr.Rall Ralgeo2005 = 0.67 m

Deflussi Bormida di Pallare — Tr 50 | Tr200 | Tr500 | PROGETTO

Sezione di calcolo	Portata Tempo ritorno	Portata al colmo	Quota min	Scabrezza Manning	Quota livello idrico	Quota altezza critica	Quota Energia	Velocità media	Area bagnata	Froude	Limite Livello Sinistro	Limite Livello Destro	Quota Argine SX	Franco Argine SX	Quota Argine DX	Franco Argine DX
		(mc/s)	(m)	(s/m^1/3)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m2)		(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
901.45	Q_50_2024_270	242	341.92	0.033	345.17	344.85	345.87	3.12	77.41	0.6	35.2	83.27	345.25	0.08	346.86	1.69
901.45	Q_200_2024_892	338	341.92	0.033	346.06	345.87	346.3	3.03	128.27	0.51	17.4	83.84	345.25	0.81	346.86	0.8
901.45	Q_500_2024_892	424	341.92	0.033	346.54	345.45	346.95	3.05	175.03	0.48	17.34	115.61	345.25	1.29	346.86	0.18
893.98	Q_50_2024_270	242	341.9	0.03	345	344.4	345.09	3.52	68.78	0.69	57.68	83.65	345.25	0.25	346.9	1.9
893.98	Q_200_2024_892	338	341.9	0.03	345.85	345.94	346.42	3.07	113.08	0.6	14.75	84.36	345.25	0.64	346.9	0.51
893.98	Q_500_2024_892	424	341.9	0.03	346.47	345.84	346.88	3.23	173.9	0.52	13.03	128.8	345.25	1.22	346.9	0.07
886.51	Q_50_2024_270	242	341.88	0.03	344.63	344.46	345.56	4.27	56.67	0.9	60.26	84.85	345.24	0.61	346.4	1.77
886.51	Q_200_2024_892	338	341.88	0.03	345.34	345.02	346.4	4.56	76.07	0.84	45.48	85.11	345.24	0.1	346.4	1.06
886.51	Q_500_2024_892	424	341.88	0.03	346.1	345.97	346.68	4.1	125.66	0.69	12.34	85.78	345.24	0.86	346.4	0.3
878.76	Q_50_2024_270	242	341.73	0.03	344.74	344.24	345.46	3.73	64.6	0.73	63.87	89.64	345.22	0.48	346.4	1.66
878.76	Q_200_2024_892	338	341.73	0.03	345.43	344.8	346.4	4.14	85.08	0.74	46.2	90.06	345.22	0.22	346.4	0.96
878.76	Q_500_2024_892	424	341.73	0.03	346.16	345.42	346.82	3.78	139.4	0.61	9.61	90.42	345.22	0.94	346.4	0.24
870.16	Q_50_2024_270	242	341.66	0.03	344.64	344.23	345.42	3.89	62.15	0.77	68.33	92.27	345.22	0.58	346.38	1.74
870.16	Q_200_2024_892	338	341.66	0.03	345.3	344.79	346.26	4.34	79.46	0.77	56.94	92.4	345.22	0.08	346.38	1.08
870.16	Q_500_2024_892	424	341.66	0.03	346.09	345.3	346.79	3.9	135.73	0.61	9.56	93.01	345.22	0.87	346.38	0.29
861.57	Q_50_2024_270	242	341.52	0.03	344.63	344.16	345.37	3.8	63.7	0.74	71.21	95.22	345.23	0.6	346.35	1.72
861.57	Q_200_2024_892	338	341.52	0.03	345.28	344.71	346.21	4.26	80.87	0.75	57.82	95.28	345.23	0.05	346.35	1.07
861.57	Q_500_2024_892	424	341.52	0.03	346.08	345.69	346.76	3.85	138.47	0.61	9.31	95.79	345.23	0.86	346.35	0.27
852.97	Q_50_2024_270	242	341.38	0.03	344.6	344.06	345.33	3.77	64.12	0.73	74.09	97.61	345.23	0.63	346.33	1.73
852.97	Q_200_2024_892	338	341.38	0.03	345.24	344.65	346.12	4.27	80.51	0.75	58.95	97.88	345.23	0.01	346.33	1.09
852.97	Q_500_2024_892	424	341.38	0.03	345.94	345.1	346.72	4.07	128.38	0.66	9.77	98.43	345.23	0.71	346.33	0.39
844.37	Q_50_2024_270	242	341.19	0.03	344.61	344	345.27	3.6	67.27	0.69	76.34	100.42	345.23	0.62	346.3	1.69
844.37	Q_200_2024_892	338	341.19	0.03	345.27	344.55	346.11	4.07	84.92	0.7	60.72	100.53	345.23	0.04	346.3	1.03
844.37	Q_500_2024_892	424	341.19	0.03	345.92	344.99	346.69	4	124.79	0.64	31.2	101.1	345.23	0.69	346.3	0.38
835.86	Q_50_2024_270	242	341.12	0.03	344.64	343.91	345.22	3.88	71.64	0.64	73.61	98.15	345.2	0.56	346.3	1.66
835.86	Q_200_2024_892	338	341.12	0.03	345.31	344.43	346.05	3.8	91.6	0.65	50.06	98.35	345.2	0.11	346.3	0.99
835.86	Q_500_2024_892	424	341.12	0.03	345.97	344.88	346.64	3.73	136.57	0.6	14.4	98.24	345.2	0.77	346.3	0.33
827.34	Q_50_2024_270	242	341.05	0.03	344.75	343.51	345.15	2.76	88.66	0.49	60.1	95.8	345.23	0.48	346.25	1.5
827.34	Q_200_2024_892	338	341.05	0.03	345.43	344.03	345.96	3.35	112.68	0.51	33.26	96.01	345.23	0.22	346.25	0.8
827.34	Q_500_2024_892	424	341.05	0.03	346.09	344.45	346.56	3.38	160.48	0.48	12.88	96.95	345.23	0.86	346.25	0.16
818.83	Q_50_2024_270	242	341.01	0.03	344.67	343.65	345.32	2.97	81.38	0.55	65.9	93.35	345.22	0.35	346.25	1.58
818.83	Q_200_2024_892	338	341.01	0.03	345.37	344.19	345.94	3.35	100.99	0.56	37.61	93.56	345.22	0.15	346.25	0.88
818.83	Q_500_2024_892	424	341.01	0.03	346.04	344.61	346.55	3.27	153.47	0.51	14.65	94.67	345.22	0.62	346.25	0.21
810.91	Q_50_2024_270	242	340.96	0.03	344.69	343.59	345.09	2.82	85.96	0.52	61.66	90.91	345.24	0.35	346.25	1.56
810.91	Q_200_2024_892	338	340.96	0.03	345.35	344.08	345.9	3.16	111.68	0.53	24.6	91.12	345.24	0.15	346.25	0.86
810.91	Q_500_2024_892	424	340.96	0.03	346.06	344.48	346.52	3.1	163.34	0.48	9.87	92.22	345.24	0.62	346.25	0.19
804.36	Q_50_2024_270	242	340.95	0.03	344.66	343.58	345.08	2.87	84.42	0.53	62.18	90.41	345.23	0.39	346.25	1.59
804.36	Q_200_2024_892	338	340.95	0.03	345.36	344.11	345.89	3.23	109.28	0.54	28.86	90.62	345.23	0.11	346.25	0.89
804.36	Q_500_2024_892	424	340.95	0.03	346.03	344.52	346.51	3.16	156.96	0.49	12.48	91.72	345.23	0.78	346.25	0.22
796.19	Q_50_2024_270	242	340.9	0.03	344.67	343.39	345.05	2.71	89.19	0.48	66.6	84.5	345.25	0.58	346.15	1.48
796.19	Q_200_2024_892	338	340.9	0.03	345.38	343.92	345.86	3.09	115.52	0.5	30.1	90.71	345.25	0.13	346.15	0.77
796.19	Q_500_2024_892	424	340.9	0.03	346.04	344.34	346.48	3.06	164.79	0.47	14	85.8	345.25	0.79	346.15	0.11
788.01	Q_50_2024_270	242	340.92	0.03	344.62	343.44	345.01	2.94	85.35	0.52	71	98.66	345.22	0.6	346.1	1.48
788.01	Q_200_2024_892	338	340.92	0.03	345.32	343.99	345.84	3.22	110.24	0.53	37.19	98.86	345.22	0.2	346.1	0.78
788.01	Q_500_2024_892	424	340.92	0.03	346.01	344.42	346.47	3.12	160.78	0.48	22.71	99.99	345.22	0.89	346.1	0.09
779.25	Q_50_2024_270	242	340.77	0.03	344.6	343.48	345.01	2.85	85.01	0.52	63.88	97.16	346.8	2.2	346.1	1.5
779.25	Q_200_2024_892	338	340.77	0.03	345.3	344.01	345.82	3.2	111.68	0.54	31.91	97.37	346.8	1.5	346.1	0.8
779.25	Q_500_2024_892	424	340.77	0.03	346.01	344.42	346.45	3.06	165.89	0.48	19.75	98.48	346.8	0.79	346.1	0.09
770.49	Q_50_2024_270	242	340.79	0.03	344.53	343.5	344.99	2.99	80.81	0.56	68.6	96.02	346.2	1.67	346.1	1.57
770.49	Q_200_2024_892	338	340.79	0.03	345.24	344.08	345.8	3.33	109.98	0.56	27.64	96.25	346.2	0.96	346.1	0.86
770.49	Q_500_2024_892	424	340.79	0.03	345.99	344.49	346.43	3.12	162.73	0.48	23.46	97.33	346.2	0.21	346.1	0.11
761.73	Q_50_2024_270	242	340.68	0.03	344.53	343.43	344.92	2.93	82.61	0.54	68.2	95.89	347.28	2.75	346.1	1.57
761.73	Q_200_2024_892	338	340.68	0.03	345.23	343.97	345.78	3.26	105.97	0.56	59.42	96.12	347.28	2.05	346.1	0.87
761.73	Q_500_2024_892	424	340.68	0.03	345.8	344.41	346.4	3.47	127.38	0.56	59.05	97.27	347.28	1.48	346.1	0.3
753.17	Q_50_2024_270	242	340.61	0.03	344.51	343.43	344.92	2.94	82.29	0.54	58.22	88.33	347.26	2.75	346.1	1.59
753.17	Q_200_2024_892	338	340.61	0.03	345.21	343.97	345.76	3.29	107.68	0.55	48.8	88.36	347.26	2.05	346.1	0.89
753.17	Q_500_2024_892	424	340.61	0.03	345.79	344.39	346.38	3.46	130.06	0.54	48.63	89.56	347.26	1.47	346.1	0.31
744.61	Q_50_2024_270	242	340.48	0.03	344.51	343.41	344.92	2.87	86.41	0.53	43.4	80.45	344.88	0.37	346.1	1.59
744.61	Q_200_2024_892	338	340.48	0.03	345.43	343.94	345.65	2.31	163.73	0.37	7.64	80.75	344.88	0.35	346.1	0.67
744.61	Q_500_2024_892	424	340.48	0.03	346.03	344.44	346.26	2.28	229.54	0.35	7.58	81.89	344.88	1.17	346.1	0.05
736.05	Q_50_2024_270	242	340.45	0.03	344.48	343.41	344.84	1.84	138.18	0.33	7.78	72.86	343.07	1.62	346.1	1.41
736.05	Q_200_2024_892	338	340.45	0.03	345.37	343.75	345.02	1.52	209.24	0.31	7.57	73.11	343.07	2.4	346.1	0.63
736.05	Q_500_2024_892	424	340.45	0.03	346.08	344.01	346.24	1.58	249.43	0.3	7.46	74.24	343.07	3.01	346.1	0.02
727.49	Q_50_2024_270	242	340.6	0.03	344.47	343.05	344.82	1.74	138.91	0.33	11.27	65.9	344.81	0.14	346.1	1.48
727.49	Q_200_2024_892	338	340.6	0.03	345.42	343.43	345.61	1.94	203.87	0.33	7.81	66.14	344.81	0.61	346.1	0.68
727.49	Q_500_2024_892	424	340.6	0.03	346	343.71	346.23	2.06	236.4	0.33	7.62	67.29	344.81	1.19	346.1	0.1
718.83	Q_50_2024_270	242	340.62	0.03	344.54	343.13	344.8	2.27	122.79	0.42	19.82	61.12	344.88	0.35	346.1	1.56
718.83	Q_200_2024_892	338	340.62	0.03	345.26	343.63	345.59	2.53	153.9	0.43	11.89	61.36	344.88	0.37	346.1	0.84
718.83	Q_500_2024_892	424	340.62	0.03	345.82	343.99	346.2	2.74	184.16	0.43	11.83	62.51	344.88	0.93	346.1	0.28
710.17	Q_50_2024_270	242	340.6	0.03	344.29	343.43	344.77	3.06	91.26	0.6	23.75	57.14	347.38	3.09	346	1.71
710.17	Q_200_2024_892	338	340.6	0.03	344.97	343.97	345.55	3.4	117.58	0.6	16.12	57.39	347.38	2.41	346	1.03
710.17	Q_500_2024_892	424	340.6	0.03	345.5	344.41	346.16	3.61	139.82	0.59	15.1	57.99	347.38	1.88	346	0.5
701.51	Q_50_2024_270	242	340.58	0.03	344.21	343.48	344.74	3.23	86.76	0.67	18.88	53.27	346.79	1.98	346	1.79
701.51	Q_200_2024_892	338	340.58	0.03	344.88	344.04	345.52	3.56	110.13	0.65	18.09	53.56	346.79	1.31	346	1.12
701.51	Q_500_2024_892	424	340.58	0.03	345.37	344.46	346.13	3.65	127.78	0.65	18.05	53.78	346.79	0.92	346	0.63
692.85	Q_50_2024_270	242	340.67	0.033	344.13	343.48	344.7	3.36	83.16	0.67	16.88	48.54	345.46	1.33	346	1.87
692.85	Q_200_2024_892	338	340.67	0.033	344.76	344.04	345.49	3.77	103.36	0.68	16.77	49.84	345.46	0.7	346	1.24
692.85	Q_500_2024_892	424	340.67	0.033	345.22	344.44	346.09	4.13	119.01	0.7	16.72	50.06	345.46	0.24	346	0.78
684.19	Q_50_2024_270	242	340.64	0.033	344.01	343.42	344.66	3.57	78.05	0.71	14.45	46.7	345.49	1.48	345.3	1.29
684.19	Q_200_2024_892	338	340.64	0.033	344.62	344.01	345.44	4.01	97.83	0.73	14.35	49.61	345.49	0.87	345.3	0.68
684.19	Q_500_2024_892	424	340.64	0.033	345.17	344.55	346.02	4.16	118.36	0.77	14.3	54.08	345.49	0.32	345.3	0.13
675.53	Q_50_2024_270	242	340.52	0.033	343.98	343.38	344.62	3.52	75.29	0.7	12.16	43.14	343.22	0.71	345.29	1.31
675.53	Q_200_2024_892	338	340.52	0.033	344.58	343.96	345.39	3.99	98.46	0.74	12.05	45.62	343.22	1.31	345.29	0.71
675.53	Q_500_2024_892	424	340.52	0.033	345.09	344.41	346	4.23	116.7	0.77	11.99	49.6	343.22	4.62	345.29	0.2

CONFRONTO LIVELLI ATT-PROG

ATTUALE 2025	PROGETTO				
Quota Livello idrico	Quota Livello idrico	Diff. Livello	$v^2/2g$	Diff. Ener-gie	
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	
345.26	345.17				
346.12	346.06	-0.06	0.47	0.41	
346.51	346.54				
345.1	345				
346	345.89	-0.11	0.61	0.5	
346.48	346.47				
344.86	344.63				
345.37	345.34	-0.03	1.04	1.01	
346.21	346.1				
344.92	344.74				
345.64	345.44	-0.2	0.82	0.62	
346.26	346.16				
344.84	344.64				
345.49	345.3	-0.19	0.96	0.77	
346.19	346.06				
344.83	344.63				
345.47	345.28	-0.19	0.92	0.73	
346.18	346.08				
344.79	344.6				
345.42	345.24	-0.18	0.93	0.75	
346.13	345.94				
344.8	344.61				
345.43	345.27	-0.16	0.84	0.68	
345.96	345.92				
344.84	344.64				
345.52	345.31	-0.21	0.74	0.53	
346.08	345.97				
344.81	344.67				
345.5	345.37	-0.13	0.57	0.44	
346.06	346.04				
344.82	344.68				
345.51	345.39	-0.12	0.52	0.4	
346.08	346.06				
344.79	344.66				
345.46	345.36	-0.10	0.53	0.43	
346.07	346.04				
344.77	344.62				
345.44	345.39	-0.06	0.49	0.43	
346.09	346.04				
344.71	344.62				
345.38	345.32	-0.06	0.53	0.47	
346.1	346.03				
344.67	344.6				
345.34	345.3	-0.04	0.52	0.48	
346.06	346.01				
344.6	344.53				
345.3	345.24	-0.06	0.57	0.51	
345.98	345.99				
344.57	344.53				
345.45	345.23	-0.22	0.55	0.33	
346.08	345.8				
344.53	344.53				
345.45	345.23	-0.24	0.55	0.31	
346.07	345.79				
344.53	344.51				
345.51	345.43	-0.08	0.27	0.19	
346.12	346.05				
344.6	344.53				
345.3	345.24	-0.06	0.57	0.51	
343.98	345.99				
344.75	344.69				
345.54	345.47	-0.07	0.19	0.12	
346.14	346.08				
344.71	344.67				
345.48	345.42	-0.06	0.19	0.13	
346.07	346				
344.57	344.54				
345.32	345.26	-0.06	0.33	0.27	
345.91	345.82				
344.25	344.28				
344.99	344.97	-0.02	0.59	0.57	
345.62	345.5				
344.1	344.23				
344.79	344.88	0.09	0.65	0.74	
345.37	345.52				
344.03	344.19				
344.69	344.76	0.07	0.72	0.79	
345.3	345.22				
344	344.01				
344.6	344.62	0.02	0.82	0.82	
345.14	345.17				
343.98	343.96				
344.58	344.58	0	0.81	0.81	
345.09	345.09				

Le tabelle complete dei risultati dei calcoli sono riportati in ALLEGATO 4.

Nella seguente figura si rappresentano i profili idrici nel Tratto SEZ. 910 - 692 – TR 50, 200 e 500 anni.

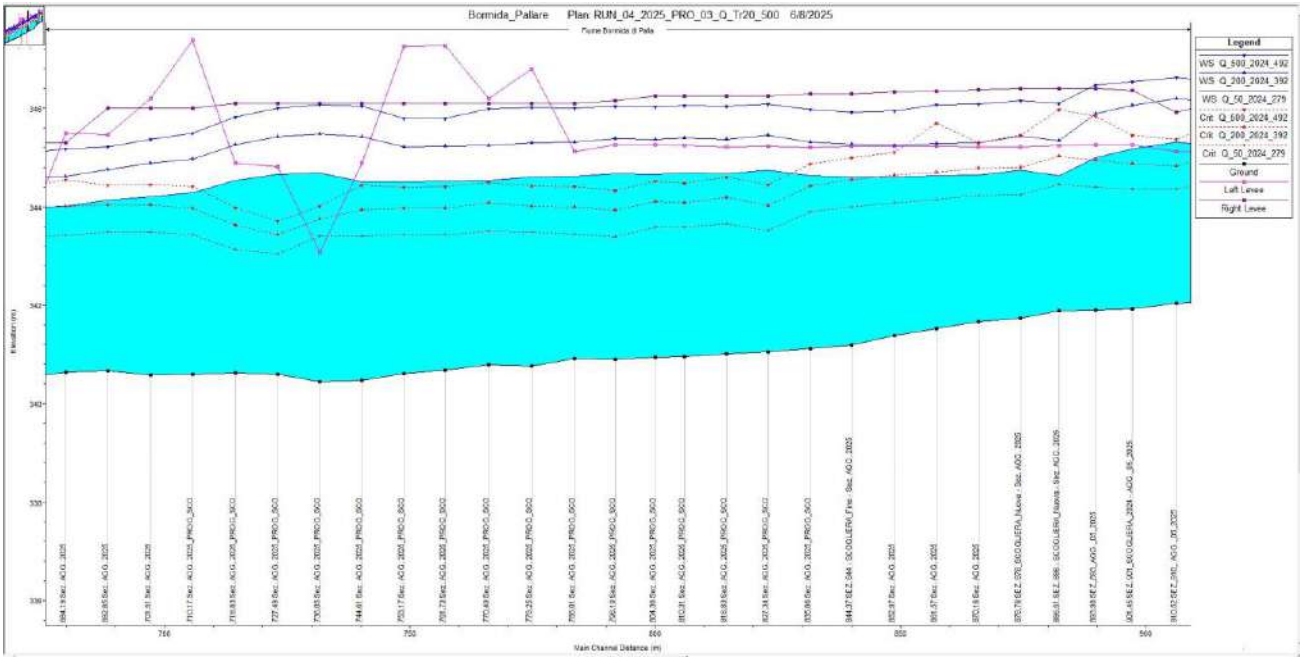


Figura 42 – Profili del tratto del Bormida di Pallare portate per Tr 50 – 200 – 500 – Tratto Sez. 910 - 692.

La seguente figura rappresenta la Sezione 788 del fiume Bormida prospicente l'area in studio.

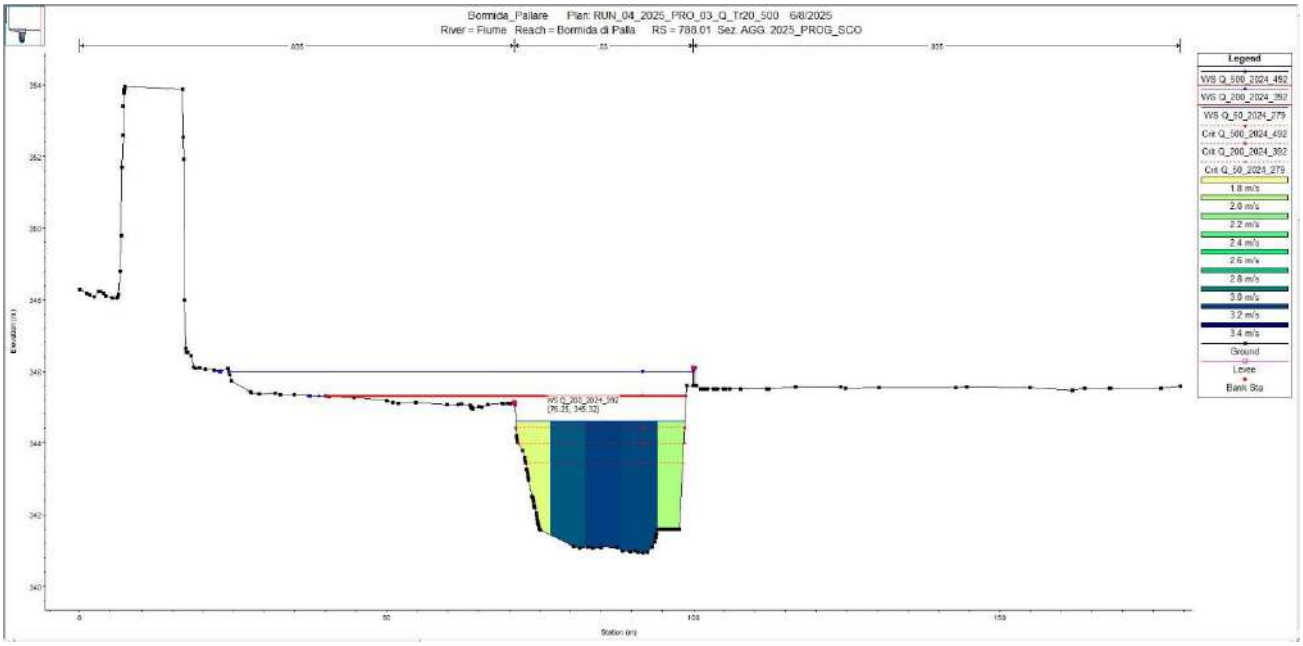


Figura 43 – Sezione 788 – Livelli per TR 50, 200 e 500 - Livello di 345.32 m.s.m. per Q_200.

Si riportano anche nella seguente Figura 44 i limiti di esondabilità per TR 50, 500 e 500 anni per le portate a monte e a valle della confluenza del T. Nanta: Limite Tr 50 (*colore arancione*), Limite Tr200 (*colore rosso*), Limite Tr 500 (*colore verde*).



Figura 44 – Tratto del Fiume Bormida in studio – CONDIZIONI PROGETTO 2025 – Limiti di esondazione TR 50, 200, 500.

Come si può osservare dagli elaborati sopra riportati, i deflussi di piena per le portate al colmo Tr 200 e 500 anni non producono esondazione nel tratto compreso tra le Sezioni 901 e 692.

6. CONCLUSIONI

Dalle analisi idrologiche del presente studio, effettuate studiando i fenomeni di formazione delle piene del fiume Bormida di Pallare, non solo ipotizzando eventi per diversi tempi di ritorno, ma riproducendo anche eventi di piena importanti osservati, si è pervenuti ad una valutazione approfondita sulla entità delle onde di piena associata ad una determinata probabilità di accadimento.

I risultati di questo studio sono attualmente utilizzati per la verifica idraulica della nuova opera di difesa spondale costituita da scogliera, ma possono essere utilizzati anche per un aggiornamento delle Fasce Fluviali lungo il tratto Nord del Bormida di Pallare.

Il presente studio, eseguito sulla base di un aggiornamento del rilievo fotogrammetrico dal ponte di via Nazionale fino al ponte di via Curagnata, in Comune di Cairo Montenotte, dimostra che in presenza della difesa spondale in progetto non si verificherà esondazione né per la piena duecentennale né per quella cinquecentennale nel tratto del Bormida nel Comune di Carcare.

Le attuali analisi idrauliche consentitono di perimetrare le aree esondabili per le portate associate ai tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni, lungo il tratto in studio del Fiume Bormida di Pallare da valle del ponte di via Nazionale fino al confine comunale.

Carcare, Novembre 2025 Ing. Paolo Arnaud



7. BIBLIOGRAFIA

[1] Studio delle fasce fluviali dei sottobacini del Fiume Bormida di Spigno e del Fiume Bormida di Pallare, Attività D – Aspetto Idraulico, Relazione, Cod. Doc. 1548/03-00100.DOC, Elab. 4 (Dic. 2002)

[2] Raccolta dei criteri ed indirizzi dell'Autorità di bacino regionale in materia di pianificazione di bacino per l'assetto idrogeologico, Autorità di bacino regione Liguria, Sett 2013

[3] Linee di possibilità pluviometrica sui bacini liguri padani, Autorità di Bacino del Fiume Po, 2024

[4] Rapporto sull'aggiornamento delle analisi statistiche dei tempi di ritorno degli eventi pluviometrici estremi, Relazione Finale, 3/02/2020, DICCA, UniGe

[5] PGRA 2016, 5A_RELAZIONE, Regione Liguria

[6] Review of recent advances in index flood estimation, D. Bocchiola, C. De Michele and R. Rosso, HESS, 2003

[7] HEC-RAS 5.0.7 Reference Manual, HEC, 2019

[8] USGS, U.S. Geological Survey, Surface-Water field techniques, Verified Roughness Characteristics of Natural Channels

ALLEGATI

ALLEGATO 1

– REPORT SUI RILIEVI FOTOGRAMMETRICI – Geom. P. Verrua –

ALLEGATO 2

– PLANIMETRIA DEL MODELLO IDRAULICO DEL BORMIDA DI PALLARE –

ALLEGATO 3

- RISULTATI ANALISI IDRAULICHE - Scenario 01_Attuale: "RUN_01_2025_ATT"-

ALLEGATO 4

- RISULTATI ANALISI IDRAULICHE - Scenario 02_Progetto: "RUN_02_2025_PROG" -

ALLEGATO 5

Tavola 1 "Limiti di esondabilità per TR di 50 – 200 – 500 anni – Condizioni attuali 2025 -

ALLEGATO 6

Tavola 2 "Limiti di esondabilità per TR di 50 – 200 – 500 anni – Condizioni progetto 2025 -