

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea in Ingegneria Civile

Tesi di Laurea Magistrale

**Analisi idrologica e modellazione idraulica
del Torrente Gesso:
interventi di controllo di riduzione della
torbidità sulla sorgente del Bandito**



Relatore

Prof. Fulvio Boano

Tutor aziendale

Ing. Fabio Monaco (ACDA S.p.A.)

Candidata

Chiara Costamagna

Luglio 2026

Indice

Software utilizzati	10
Normative di riferimento.....	11
Introduzione	13
Descrizione azienda	14
1.1. Le infrastrutture	16
1.2. Le sorgenti e l'acquedotto.....	16
1.3. Gli impianti di depurazione e la rete fognaria.....	17
2. Il torrente Gesso e la sorgente del Bandito	18
3. L'evento del 18 agosto 2024	26
4. Analisi evento piovoso.....	33
5. Il ramo secondario.....	36
6. Altre ipotetiche cause.....	38
7. Il modello idraulico.....	44
7.1. Raccolta dati.....	44
7.2. Analisi statistica	47
7.2.1. Distribuzione Esponenziale.....	52
7.2.2. Distribuzione Gumbel	53
7.2.3. Distribuzione Normale	54
7.2.4. Distribuzione Log- Normale	55
7.2.5. Test di adattamento.....	56
7.2.6. Portate di progetto	59
7.3. Modellazione in HEC-RAS	60
7.3.1. Modello 1D	65
7.3.1.1. Torrente Gesso.....	65
7.3.1.2. Dettaglio foce	68
7.3.2. Sbarramento a larga soglia	74
8. Calcolo preliminare del trasporto solido	86
9. Scenari futuri.....	92
10. Conclusioni	95
Riferimenti sitografici	97
Riferimenti bibliografici.....	98
Ringraziamenti	100

Indice Figure

Figura 1- Torrente Gesso (ACDA).....	18
Figura 2- Sottobacini Fiume Po	19
Figura 3- Sottobacini Fiume Tanaro.....	19
Figura 4- Bacino Torrente Gesso- Regione Piemonte.....	20
Figura 5- Ingresso sorgente Bandito	21
Figura 6- Schema intercomunale	23
Figura 7- Locazione sorgente all'interno del bacino.....	24
Figura 8- Precipitazioni settimanali ad Andonno (18/08/2024)	26
Figura 9- Precipitazioni mensili ad Andonno (08/2024)	27
Figura 10- Precipitazioni annuali ad Andonno.....	27
Figura 11- Livello idrometrico Stura di Demonte a Fossano	28
Figura 12- Curva di deflusso a Fossano	29
Figura 13- Portate mensili Fiume Stura di Demonte (08/2024)	29
Figura 14- Portate medie mensili Stura di Demonte a Fossano	30
Figura 15- Vasca di laminazione sorgente Bandito (ACDA)	31
Figura 16- Acqua torbida da rubinetto (E. Bruno)	31
Figura 17- Torbidità 23-26/12/2025	33
Figura 18- Precipitazioni giornaliere ARPA.....	34
Figura 19- Confronto precipitazione- torbidità	34
Figura 20- Sbarramento provvisorio ramo secondario (ACDA)	37
Figura 21- Ubicazione sbarramento temporaneo	37
Figura 22- Ubicazione piscina naturale.....	39
Figura 23- Piscina naturale.....	39
Figura 24- Ortofoto 2018 LIAAM- ACDA.....	41
Figura 25- Ortofoto 2021 LIAAM - ACDA.....	41
Figura 26- Ubicazione curva Torrente Gesso.....	42
Figura 27- Curva Torrente Gesso dall'alveo.....	42
Figura 28- Posizione rilevato	43
Figura 29- Locazione stazione ARPA ad Andonno	45
Figura 30- Dettaglio stazione ARPA	45
Figura 31- Portate giornaliere registrate Gesso 2008-2024.....	46
Figura 32- Portate massime mensili negli anni	47
Figura 33- Portate massime annuali negli anni	48
Figura 34- Istogramma frequenza delle portate	49
Figura 35- Funzione frequenza di non eccedenza.....	49
Figura 36- Distribuzione Esponenziale	52
Figura 37- Distribuzione Gumbel	53
Figura 38- Distribuzione Normale	54

Figura 39- Distribuzione Log-Normale.....	55
Figura 40- Rappresentazione grafica portate di piena.....	59
Figura 41- Area DTM Geoportale.....	60
Figura.42- Area DTM AS Rilievi.....	61
Figura 43- Terrain Model STM Geoportale	61
Figura 44- Terrain Model DTM AS Rilievi.....	62
Figura 45- Grafico pendenza Torrente Gesso.....	63
Figura 46- Alveo principale	64
Figura 47- Alveo secondario	64
Figura 48- Gesso 1D con $Q= 5\text{ m}^3/\text{s}$	65
Figura 49- Gesso 1D con $Q= 20\text{ m}^3/\text{s}$	66
Figura 50- Gesso 1D con $Q= 47\text{ m}^3/\text{s}$	66
Figura 51- Gesso 1D con $Q= 91\text{ m}^3/\text{s}$	67
Figura 52- Foce 1D con $Q=47\text{ m}^3/\text{s}$	68
Figura 53- Foce 1D con $Q=91\text{ m}^3/\text{s}$	69
Figura 54- Sezione 860 Foce con $Q= 47\text{ m}^3/\text{s}$	69
Figura 55- Sezione 860 Foce con $Q= 91\text{ m}^3/\text{s}$	70
Figura 56- Foce 1D con $Q=70\text{ m}^3/\text{s}$	70
Figura 57- Sezione 860 Foce con $Q= 70\text{ m}^3/\text{s}$	71
Figura 58- Materiale sciolto alveo	72
Figura 59- Schema concettuale sbarramento creato con IA.....	73
Figura 60- Schema grafico sbarramento	74
Figura 61- Dettaglio stramazzo a larga soglia.....	74
Figura 62- Portata stramazzo con $Q=5\text{ m}^3/\text{s}$	76
Figura 63- Situazione ramo secondario con $Q=0.01\text{ m}^3/\text{s}$	76
Figura 64- Portata stramazzo con $Q=47\text{ m}^3/\text{s}$	77
Figura 65- Situazione ramo secondario con $Q=0.01\text{ m}^3/\text{s}$	77
Figura 66- portata stramazzo con $Q=70\text{ m}^3/\text{s}$	78
Figura 67- Situazione ramo secondario con $Q=0.01\text{ m}^3/\text{s}$	78
Figura 68- Portata stramazzo con $Q=91\text{ m}^3/\text{s}$	79
Figura 69- Situazione ramo secondario con $Q=0.01\text{ m}^3/\text{s}$	79
Figura 70- Portata stramazzo con $Q=133\text{ m}^3/\text{s}$	80
Figura 71- Situazione ramo secondario con $Q=4.22\text{ m}^3/\text{s}$	80
Figura 72- Portata stramazzo con $Q=173\text{ m}^3/\text{s}$	81
Figura 73- Situazione ramo secondario con $Q=10.71\text{ m}^3/\text{s}$	81
Figura 74- Portata stramazzo con $Q=112\text{ m}^3/\text{s}$	82
Figura 75- Portata stramazzo con $Q=102\text{ m}^3/\text{s}$	83
Figura 76- Portata stramazzo con $Q=97\text{ m}^3/\text{s}$	83
Figura 77- Portata stramazzo con $Q=93\text{ m}^3/\text{s}$	84
Figura 78- Portata stramazzo con $Q=92\text{ m}^3/\text{s}$	84

Figura 79- Curva granulometrica	86
Figura 80- schema raggio idraulico.....	87
Figura 81- $\tau_0 < \tau_c$	88
Figura 82- $\tau_c < \tau_0 < \tau_s$	88
Figura 83- $\tau_s < \tau_0 < \tau_{sd}$	89
Figura 84- Abaco di Shield rivisitato da Rouse.....	90
Figura 85- Adattamento Abaco di Shields.....	90
Figura 86- Sito costruzione impianto di filtrazione.....	92

Indice tabelle

Tabella 1- Tempo di corrivazione Giandotti.....	35
Tabella 2- Stazione di Andonno	44
Tabella 3- Analisi statistica	48
Tabella 4- Coefficienti Anderson- Darling.....	57
Tabella 5- Risultati dei test.....	58
Tabella 6- Portate di piena.....	59
Tabella 7- Portate osservate	62
Tabella 8- Coefficienti di Manning (Fonte: PoliBA).....	63
Tabella 9- Granulometria da dati MEDILABOR	86
Tabella 10- Mobilità sedimenti nel ramo secondario	89

Indice Equazioni

Equazione 1- Formula di Giandotti.....	35
Equazione 2- Formula di Williams.....	48
Equazione 3- Plotting position di Weibull.....	50
Equazione 4- Variabile ridotta.....	52
Equazione 5- Parametri Distribuzione Esponenziale	52
Equazione 6- Variabile ridotta Gumbel.....	53
Equazione 7- Parametri Distribuzione Gumbel.....	53
Equazione 8- Variabile ridotta Normale.....	54
Equazione 9- Parametri Distribuzione Normale	54
Equazione 10- Variabile ridotta Log- Normale	55
Equazione 11- Parametri Distribuzione Log- Normale.....	55
Equazione 12- Pearson.....	56
Equazione 13- Limiti di accettazione Pearson	56
Equazione 14- Anderson-Darling.....	57
Equazione 15- Pendenza media	62
Equazione 16- Portata sfiorata	75
Equazione 17- Sforzo di taglio.....	87
Equazione 18- Raggio idraulico.....	87
Equazione 19- Sforzo di taglio critico.....	87

Software utilizzati

Di seguito vengono elencati i software che hanno permesso lo sviluppo di tale tesi ed una loro breve descrizione.

MATLAB (*Matrix Laboratory*): è un ambiente per il calcolo numerico e l'analisi statistica scritto in linguaggio informatico C, che comprende anche l'omonimo linguaggio di programmazione creato dalla MathWorks. Il programma consente di manipolare matrici, visualizzare funzioni e dati, implementare algoritmi, creare interfacce utente, e interfacciarsi con altri programmi. La sua struttura e facilità di utilizzo lo rende uno strumento adatto all'uso universitario e non, facilmente adattabile a diversi ambiti.

QGIS (*Quantum Geographic Information System*): è un programma di tipo GIS libero e open source. QGIS permette di visualizzare, organizzare, analizzare e rappresentare dati spaziali.

HEC- RAS (*Hydrologic Engineering Center's River Analysis System*): il software statunitense permette all'utente di modellare diversi comportamenti dei fiumi, come portate stabili monodimensionali, instabili bidimensionali, trasporto del materiale solido e altre funzioni utili all'ingegneria Idraulica- Ambientale. Il software è in continuo aggiornamento grazie anche ai riscontri e alla segnalazione degli errori che gli utenti possono fare direttamente al servizio di supporto tecnico e, al fine di facilitarne l'utilizzo presenta un manuale incorporato per ogni versione scaricabile dal sito.

Normative di riferimento

Di seguito vengono riportati i principali riferimenti tecnico-normativi che hanno guidato le valutazioni descritte nella presente relazione e la redazione dei documenti dai quali sono stati presi dati e informazioni utili alla stesura di tale documento.

Normativa europea

- Regolamento (UE) 2020/852 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 18 giugno 2020 – Tassonomia delle attività ecosostenibili, con definizione dei sei obiettivi ambientali e del principio DNSH (Do No Significant Harm);
- Regolamento (UE) 2021/241 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 12 febbraio 2021- Dispositivo per la ripresa e la resilienza (RRF);
- Regolamento Delegato (UE) 2021/2139 della Commissione del 4 giugno 2021 – Criteri di vaglio tecnico per la determinazione delle condizioni di contributo sostanziale alla mitigazione e all'adattamento ai cambiamenti climatici;
- Direttiva 2000/60/CE – Direttiva Quadro sulle Acque;
- Direttiva 98/83/CE e successiva Direttiva (UE) 2020/2184 – Qualità delle acque destinate al consumo umano;
- Direttiva 2011/92/UE come modificata dalla Direttiva 2014/52/UE – Valutazione dell'Impatto Ambientale.

Normativa nazionale

- R.D. 25 luglio 1904, n. 523 Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie;
- D.Lgs. 31 marzo 2023, n. 36 – Nuovo Codice dei Contratti Pubblici, con particolare riferimento all'art. 41 e all'Allegato I.7 sui contenuti della relazione di sostenibilità;
- D.Lgs. 3 aprile 2006, n. 152 (T.U. Ambiente) – Norme in materia ambientale, valutazione di impatto ambientale, tutela delle acque;
- D.Lgs. 2 febbraio 2001, n. 31 e D.Lgs. 2 febbraio 2023, n. 18 – Qualità delle acque destinate al consumo umano;
- D.Lgs. 9 aprile 2008, n. 81 – Tutela della salute e sicurezza nei luoghi di lavoro;
- D.M. 11 ottobre 2017 – Criteri Ambientali Minimi (CAM) per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici;
- Circolare del Ragioniere Generale dello Stato n. 22 del 14 maggio 2024 – Guida Operativa per il rispetto del principio DNSH (aggiornamento);
- Norme di attuazione del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico del fiume Po;
- Norme tecniche per le costruzioni (NTC 2018), approvate con D.M. 17/01/2018, e relativa Circolare 21/01/2019, n. 7, C.S.LL.PP

Normativa regionale

- Deliberazione della Giunta Regionale 24 marzo 2025, n. 8-905, Legge regionale n. 56/1977
- Legge Regionale Piemonte 19 luglio 2023, n. 13 – Nuove disposizioni in materia di VAS, VIA e AIA;
- Regolamento Regionale 15/R/2006 – Individuazione delle aree di salvaguardia delle captazioni potabili in Piemonte;
- Piano di Tutela delle Acque (PTA) Piemonte, approvato con D.C.R. n. 179/2021;
- Piano Territoriale Regionale (PTR) Piemonte;
- Piano Paesaggistico Regionale (PPR) Piemonte

Introduzione

Il seguente documento vuole descrivere la modellazione idraulica del Torrente Gesso, con il fine di rappresentare il comportamento del corso d'acqua, la variazione del livello idrometrico e i cambiamenti dovuti a condizioni meteorologiche reali o situazioni imposte per un quadro completo della situazione.

L'obiettivo è quello di poter affrontare situazioni analoghe, o peggiori, a quelle relative all'evento meteorologico del 18 agosto 2024, che verrà spiegato in un capitolo a sé, senza incorrere in disagi per la comunità.

L'incremento di situazioni analoghe relative ad intensità e frequenza, causate dai sempre più evidenti effetti del cambiamento climatico sul nostro pianeta sottolineano l'importanza di studiare fenomeni come questi e l'altrettanto importante studio di eventuali soluzioni.

L'analisi è stata svolta grazie alla collaborazione con l'Azienda Cuneese Dell'Acqua. Per sviluppare l'argomento sono stati fondamentali i dati raccolti principalmente tramite l'Associazione Regionale Per l'Ambiente- ARPA, il GeoPortale della Regione Piemonte e quelli forniti da ACDA stessa, i quali sono stati poi utilizzati ed elaborati su software di varia natura come HEC-RAS 6.6, MATLAB e QGIS.

Il corpo del documento sarà composto di 9 capitoli che, in ordine, andranno a descrivere l'azienda ospitante, il torrente e la sorgente di interesse, l'evento scatenante, il modello idraulico, le simulazioni effettuate e i risultati conseguiti.

All'interno della seguente tesi si porrà uno sguardo generale alla problematica e, successivamente, si andrà ad analizzare l'ipotesi che vede il ramo secondario del Torrente come principale causa dei disturbi che hanno interessato la sorgente del bandito.

1. Descrizione azienda

In seguito all'emanazione della Legge regionale n. 23/75 per la tutela delle acque dall'inquinamento, nel 1976, i Comuni piemontesi di Cuneo, Borgo S. Dalmazzo, Roccavione, Robilante, Vernante e Limone Piemonte si unirono a formare un Consorzio con l'obiettivo di avere una gestione associata della raccolta e depurazione delle acque reflue nei propri territori. Tale legge disponeva, infatti, speciali provvidenze a favore dei Consorzi e degli Enti Locali previsti nel "Piano Regionale di disinquinamento acque".

Tra il 1994 e il 1996 aderirono al Consorzio i Comuni di Boves, Bernezzo, Cervasca Roaschia e Vignolo, portando a 11 il numero dei Comuni consorziati con una popolazione direttamente ed indirettamente servita di quasi 100.000 abitanti. Nel 1995, ai sensi della Legge 142/90, il Consorzio di Comuni è stato trasformato in Azienda Speciale e denominato "Azienda Cuneese Depurazione Acque".

Nel giugno 1999 il nome cambia in "Azienda Cuneese Dell'Acqua", a significare l'estensione delle attività a tutto il servizio idrico integrato, mantenendo la medesima sigla A.C.D.A.

Dal 30 giugno 2003, per precisi obblighi di legge, l'ACDA cambia nuovamente nome trasformandosi in società per azioni con denominazione "Azienda Cuneese Dell'Acqua S.p.A." vincolando però per Statuto il possesso delle azioni ai soli Comuni dell'ATO 4 "Cuneese".

Oggi ACDA include 109 Comuni dell'arco montano e pedemontano cuneese, dalla Valle Tanaro alle Valli Varaita e Po, rendendola di fatto una delle principali aziende del settore nel cuneese e ha sede nel capoluogo della provincia Granda ed è socio di CoGeSI.

Il Consorzio Gestori Servizi Idrici Scrl, altresì denominabile CoGeSI, è una società consortile a responsabilità limitata, ai sensi del combinato disposto degli articoli 2602, 2615 ter e 2462 del codice civile, costituita con atto stipulato il 19 marzo 2012 tra i gestori totalmente pubblici del Servizio Idrico Integrato della provincia di Cuneo e riconosciuta con verbale di deliberazione del 10 gennaio 2013 dalla Conferenza dei Rappresentanti degli Enti Locali A.ATO4 Cuneese, riunita in sessione straordinaria.

Nata come società consortile senza fine di lucro, CoGeSI ha come scopo quello di coordinare e programmare le attività delle diverse società consorziate nei confronti dell'Autorità d'Ambito Cuneese o altro ente regolatore previsto dalle normative di legge statali o regionali a favorire il collegamento delle stesse nelle fasi del ciclo integrato dell'acqua nel rispetto dell'autonomia decisionale di ogni singolo soggetto consorziato, promuovere un raccordo tra i soci per uniformarne le decisioni al fine di raggiungere gli obiettivi previsti dalla legislazione vigente in materia di affidamento del Servizio Idrico Integrato anche su area vasta nonché fornire supporto e servizi alle attività proprie delle imprese consorziate.

Con la deliberazione n. 6 del 27-03-2019, la Conferenza dei rappresentanti degli Enti locali partecipanti all'Ente di Governo dell'ATO 4 Cuneese ha deliberato di «affidare la gestione del Servizio Idrico Integrato dell'Ambito n. 4 Cuneese alla Società

Consortile CONSORZIO GESTORI SERVIZI IDRICI S.C.R.L. (CO.GE.S.I.) a totale capitale pubblico locale, che opera secondo le modalità proprie degli affidamenti in house, con sede in Cuneo a far data dal 1° luglio 2019 e sino al 31 dicembre 2047».

A oggi il consorzio CoGeSI, attraverso le sue consorziate, serve un'area molto vasta che comprende la pianura cuneese, la quasi totalità dei territori montani e gran parte delle Langhe e Roero: un territorio di oltre 6.450 km quadrati (ben oltre il 90% della provincia) e più di 570.000 residenti, distribuiti su 229 comuni.

Come detto precedentemente, il servizio che offre la S.p.A. cuneese insieme a CO.GE.S.I. è quello di servizio idrico integrato (SII) così come è stato definito dal Testo Unico Ambientale, D.lgs. 152/2006, parte terza ed include le seguenti fasi:

- Captazione dell'acqua dalle sorgenti
- Controllo e trattamento dell'acqua per garantirne la qualità
- Adduzione dell'acqua verso i centri abitati
- Distribuzione dell'acqua alle utenze
- Raccolta e convogliamento delle acque reflue
- Depurazione delle acque reflue da inquinanti prima dell'immissione nell'ambiente.

1.1. Le infrastrutture

L'acqua naturale viene prelevata dal sottosuolo tramite sorgenti o pozzi, viene avviata nelle condotte e, una volta usata, è convogliata, tramite la rete fognaria, ai depuratori, dove viene trattata e reimpressa nell'ambiente.

Attualmente si contano 950 sorgenti gestite da ACDA, 900 vasche/serbatoi, circa 5575 km di rete per la distribuzione che servono a trasportare l'acqua dalle sopraccitate sorgenti, fino alla pianura, 319 impianti per la depurazione e 51 stazioni per il sollevamento dell'acqua. Infine, la rete fognaria gestita dall'azienda cuneese si estende per 1414.42 km.

1.2. Le sorgenti e l'acquedotto

Le sorgenti più importanti, tra quelle presenti sul territorio gestito da ACDA, sono quelle delle "Grotte del Bandito", del "Bousset", delle "Strette di Andonno" che si trovano in valle Gesso ed alimentano i Comuni di Cuneo, Borgo S. Dalmazzo, Boves, Castelletto Stura, Centallo e prossimamente anche i Comuni di Vignolo, Cervasca, Bernezzo, Caraglio, Busca, Villar S. Costanzo. In Valle Tanaro sono rilevanti le sorgenti di Garessio, Ormea e Ceva. Altre sorgenti di minore importanza e pozzi trivellati in pianura forniscono l'acqua distribuita ai Clienti.

La rete complessiva dell'acquedotto è di 5575 km (comprensiva degli allacciamenti privati) che servono a trasportare l'acqua dalle sopraccitate sorgenti, situate nelle principali vallate della provincia, fino alla pianura, a cui si aggiungono le vasche e i serbatoi.

Per assicurare la qualità dell'acqua erogata, vengono eseguiti oltre 800 controlli all'anno in numerosi punti della rete idrica.

I principali parametri analizzati sono:

- La durezza dell'acqua: indica la concentrazione di sali di calcio (Ca^{2+}) e magnesio (Mg^{2+})
- La torbidità: misurabile anche ad occhio in base alla limpidezza/opacità dell'acqua, dipende da particelle in sospensione (argille, sedimenti, microrganismi, sostanze organiche)
- La presenza di batteri: indica se nell'acqua sono presenti batteri indicatori che sottolineano una mancata o errata disinfezione.
- La concentrazione di alcune sostanze chimiche
- La conducibilità elettrica: misura la capacità dell'acqua di condurre corrente, legata alla quantità di sali disciolti (ioni)

Compito principale del settore è mantenere sotto costante controllo lo stato delle reti, monitorare le perdite, intervenire per la manutenzione ordinaria e gestire le situazioni di emergenza.

1.3. Gli impianti di depurazione e la rete fognaria

ACDA gestisce un impianto di depurazione delle acque consortile per 185.000 abitanti equivalenti a Cuneo, dove convergono le acque reflue di 16 Comuni, un impianto consortile a Garessio dove convergono 3 Comuni, mentre depuratori di più piccole dimensioni sono sparsi nel territorio a servizio dei singoli Comuni in cui ACDA gestisce il servizio, tra cui i principali sono ubicati nei Comuni di Beinette, Busca, Caraglio, Caramagna, Centallo, Ceva, Chiusa Pesio, Dronero, Entracque, Envie, Paesana, Peveragno, Tarantasca.

Il servizio fognature e depurazione provvede inoltre, tramite il laboratorio analisi, ad eseguire i controlli sulla qualità delle acque reflue in ingresso agli impianti di depurazione e sulle acque da questi scaricate nell'ambiente.

L'impianto di depurazione di Cuneo è in grado, attraverso la cogenerazione, di autoprodurre l'energia elettrica per il proprio funzionamento.

La cogenerazione è un sistema per la produzione combinata di energia elettrica ed energia termica e serve all'impianto di depurazione per autosostenere il reparto di digestione anaerobica. Il cogeneratore utilizza come fonte di alimentazione il biogas, un prodotto che si viene a formare durante la fase di digestione anaerobica a cui sono sottoposti i fanghi per essere stabilizzati e che è composta da vari prodotti, principalmente da metano ed anidride carbonica.

Mediamente l'impianto produce circa 96 Nm³/h di biogas e ne consuma in cogenerazione circa 44 Nm³/h; la parte restante viene accumulata nei gasometri. La produzione di energia elettrica è circa 100 kW/h.

2. Il torrente Gesso e la sorgente del Bandito

Il Gesso è un grosso torrente lungo circa 42 km che sfocia, come principale tributario di destra, nel fiume Stura di Demonte nel territorio di Cuneo il quale, a sua volta, è tributario del Tanaro, che sfocia infine nel Po, come si può notare dalla *Figura 2*.



Figura 1- Torrente Gesso (ACDA)

Il bacino idrografico Gesso ha una superficie di circa 336 km² e l'omonimo torrente interessa numerosi comuni piemontesi: Entracque, Roaschia, Valdieri, Roccavione nel suo corso superiore, passando poi per il Comune di Borgo San Dalmazzo e confluire, infine, nello Stura di Demonte nei pressi di Cuneo.

A valle della confluenza, insieme allo Stura, tocca anche altri comuni che fanno parte del “Parco fluviale Gesso e Stura”, tra cui Cuneo, Cervasca, Castelletto Stura, Centallo, Montanera, Rittana, Roccasparvera, Sant'Albano Stura e Vignolo.

Di seguito viene riportato l'inquadramento spaziale del bacino del torrente.

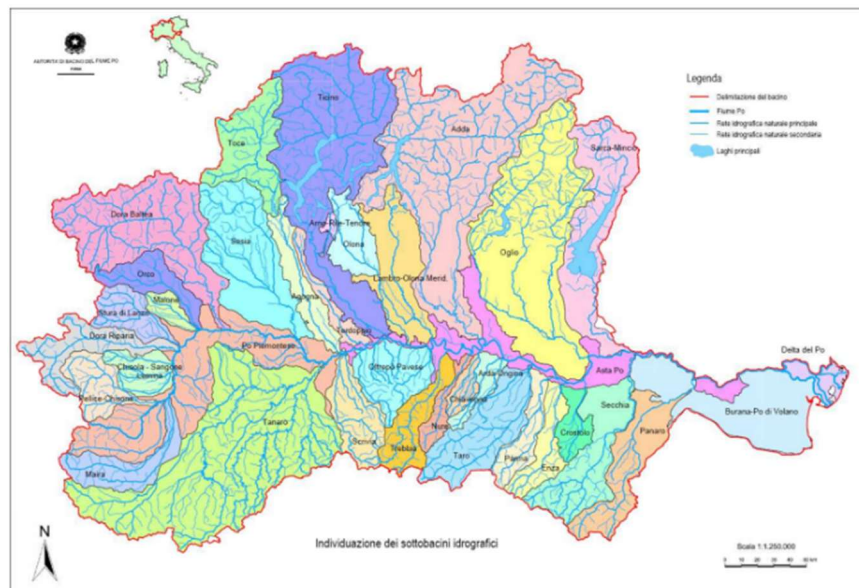


Figura 2- Sottobacini Fiume Po

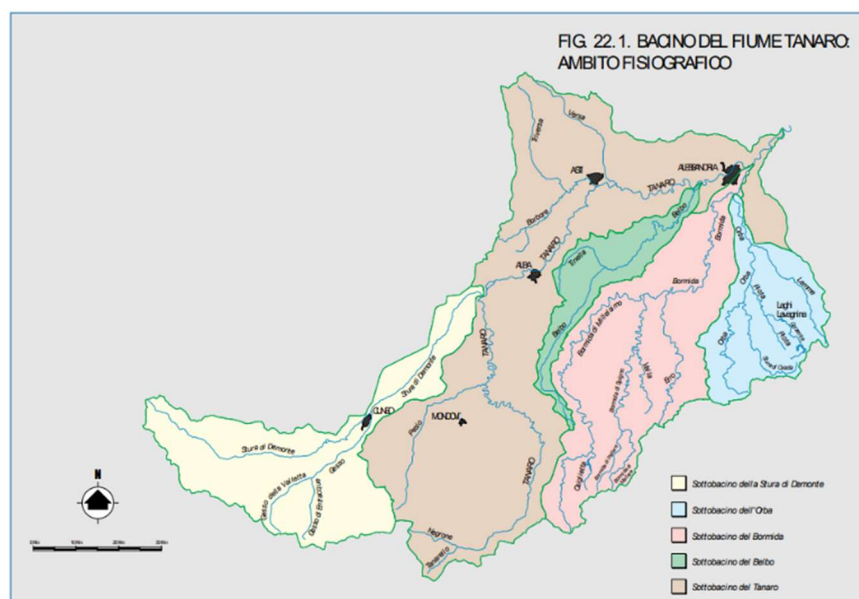


Figura 3- Sottobacini Fiume Tanaro

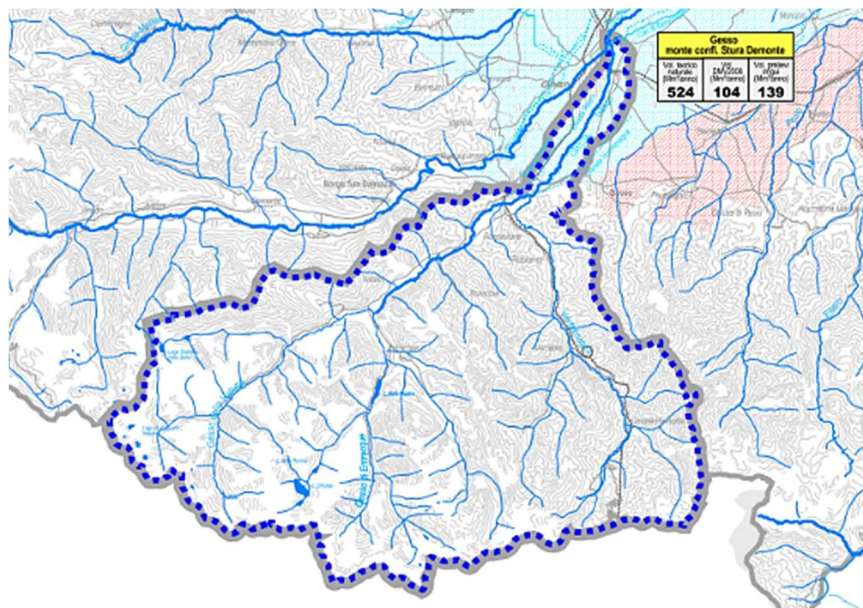


Figura 4- Bacino Torrente Gesso- Regione Piemonte

Il bacino di interesse appartiene ad un ambiente montano, con tipica conformazione valliva “a V” e con sottobacini a sviluppo pressoché simmetrico.

La litografia dell’area è composta da una predominanza Gneiss occhiadini, ad eccezione della zona nell’intorno della Cima di Valcuca e dei laghi di Fremamorta dove si osserva la presenza di graniti, mentre nella porzione più bassa vi è una netta prevalenza di dolomie e calcari. Il fondovalle, infine, è occupato da depositi alluvionali.

Dal punto di vista idrodinamico la porzione in esame è classificabile come un corso d’acqua sinuoso a canale singolo con tipologia prevalente “*riffle-pool*”, ovvero successioni di unità a corrente più lenta e profondità maggiore (*pool*), in cui l’acqua scorre “piatta”, ad altri in cui la pendenza aumenta bruscamente formando piccole rapide increspate (*riffle*).

Questa particolare tipologia garantisce un’ottima diversificazione dell’ambiente acquatico e, conseguentemente, la proliferazione degli organismi che lo abitano: le *pool* mantengono tiranti idrici consistenti e condizioni idrodinamiche favorevoli alla sosta ed al rifugio dei pesci anche in condizioni di magra, mentre le *riffle* assicurano la corretta ossigenazione dell’acqua e la continuità del trasporto solido. La presenza di una cospicua vegetazione spondale, infine, garantisce zone d’ombra e di riparo presso le sponde, contribuisce al corretto apporto dei nutrienti ed esercita un’azione di filtraggio e depurazione delle acque meteoriche che giungono nel corso d’acqua dopo aver dilavato il terreno.

Il regime idrologico del torrente è caratterizzato da variabilità stagionali quali perturbazioni tipiche del periodo autunnale e lo scioglimento dei cumuli di neve a monte, causato dall’innalzamento delle temperature, in primavera. Questa variabilità ha fatto sì che, come accade in molti corsi d’acqua, in determinati momenti dell’anno si passi da portate modeste a portate abbondanti, rispetto alle condizioni standard.

In media la portata del torrente Gesso lungo il suo corso è di circa 5 m³/s, come si potrà osservare meglio nel capitolo successivo. È rilevante osservare che, negli anni precedenti all'estate del 2024, non si sono riscontrati problemi di sorta.

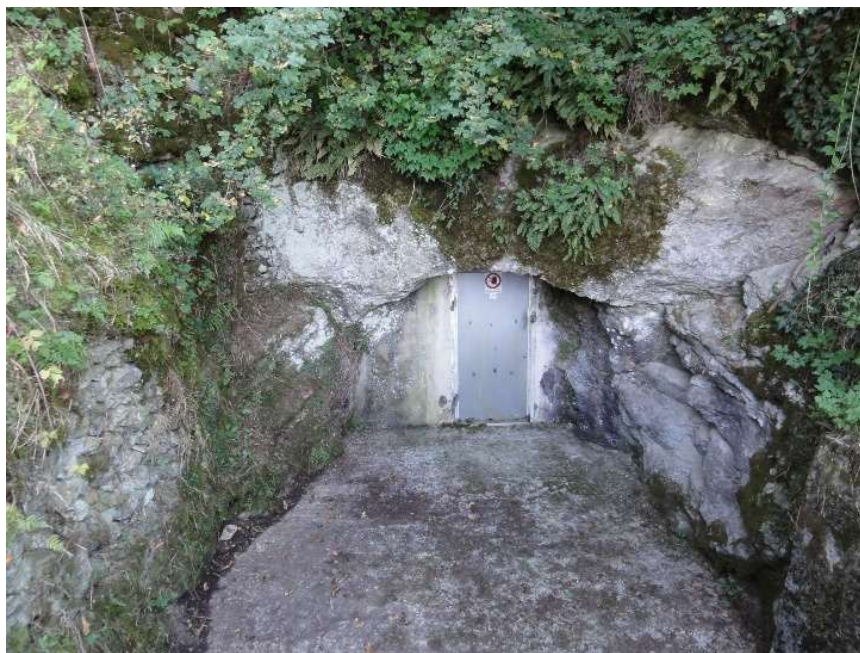


Figura 5- Ingresso sorgente Bandito

L'area di studio, ubicata nell'intorno delle sorgenti Bandito, ricade in un tratto di fondovalle ampio in cui le aree golenali¹ sono ben riconoscibili. L'area pianeggiante si sviluppa per lo più in sinistra orografica, mentre in destra il Gesso risulta confinato da pendii acclivi. Poco più a monte del ponte di Andonno, visibile nella *Figura 21*, il Gesso riceve in destra il contributo del Bedale di Roaschia.

Le sorgenti Bandito sono tributarie del torrente Gesso e sono ubicate sotto l'omonima località nel Comune di Roaschia, sulla sponda destra idrografica del torrente stesso nei pressi della confluenza con il torrente Biale. Originariamente la grotta, in cui sono ubicate le sorgenti, fu scavata dall'ENEL² e successivamente, a inizio Novecento, consegnata al comune di Cuneo.

Il Comune di Cuneo, in previsione alla realizzazione dell'adduzione delle Sorgenti Bousset, site nel Comune di Entracque, sostituì il tratto di conduttura dalle opere di presa delle sorgenti Bandito sino alla vasca di carico della sorgente di Andonno, ponendo in opera una tubazione capace di trasportare una quantità d'acqua pari a 424 l/s ad una velocità di 1.5 m/s oppure di 452 l/s ad una velocità di 1.6 m/s.

Il trasporto delle suddette portate dalla vasca di carico di Andonno alla vasca di carico di Sant'Anna a Borgo San Dalmazzo fu garantito da due condotte: la prima già in funzione per le sorgenti di Andonno, la quale poteva assicurare, da sola, l'adduzione di

¹“Zona di terreno pianeggiante, compresa fra il letto di magra di un corso d'acqua e il suo argine naturale o artificiale, che viene sommersa nei periodi di piena” da Vocabolario della lingua italiana, Devoto Oli.

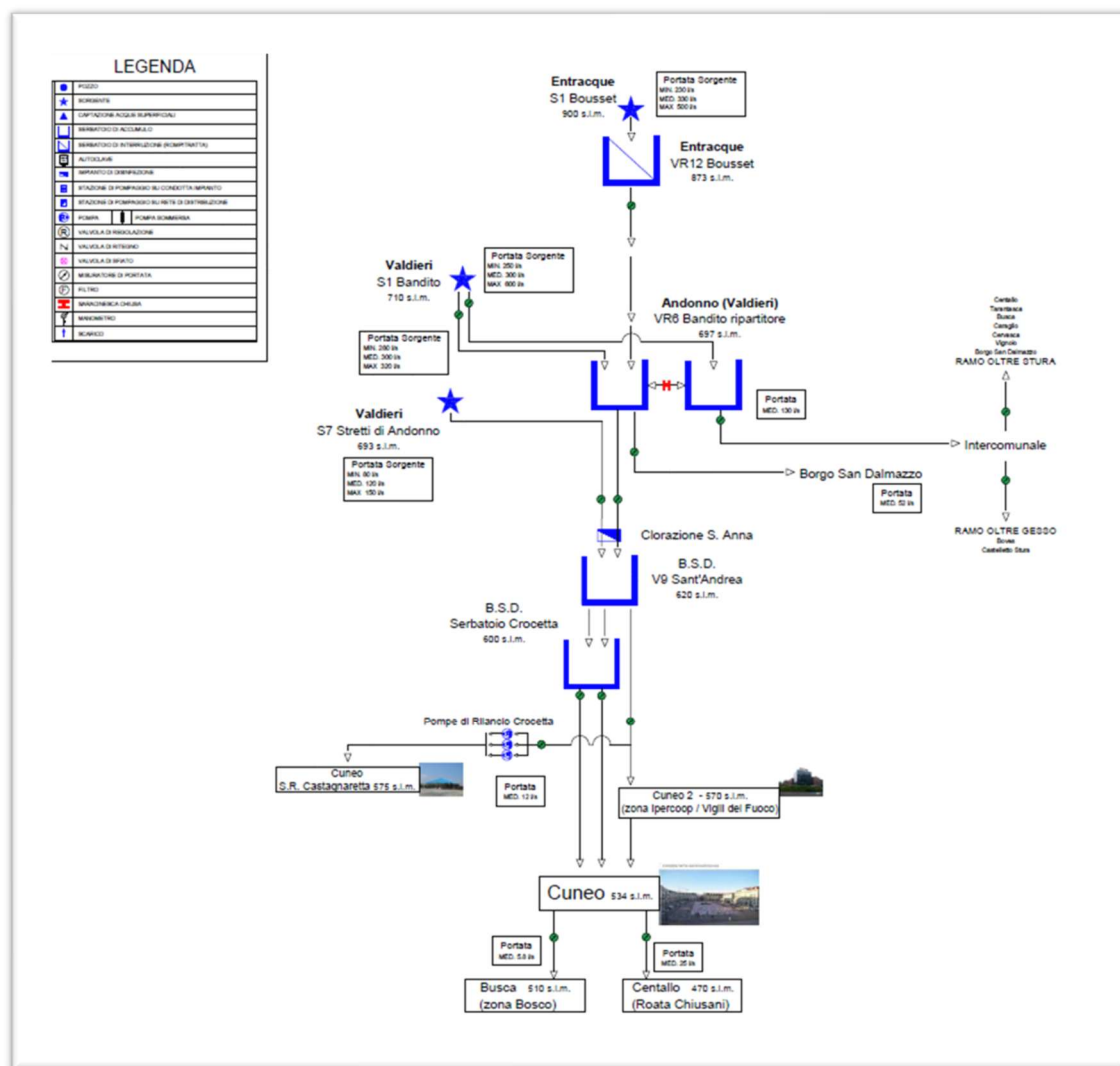
² Ente Nazionale per l'Energia Elettrica, uno dei maggiori fornitori di energia in Italia

una quantità d'acqua fino a 220 l/s, la seconda, costruita a lotti successivamente alla consegna da parte dell'ENEL delle sorgenti Bandito, dimensionata per trasportare 280 l/s con diametro nominale (DN) medio di 450 mm.

Fra gli anni Ottanta e Novanta, fu quindi realizzata la condotta di collegamento tra la vasca di carico delle sorgenti Bandito e le sorgenti Bousset, mediante la posa di una tubazione idrica in ghisa sferoidale capace del trasporto sino a 240-250 l/s con un DN medio di 450 mm.

Attualmente il ripartitore del Bandito si presenta come una struttura sotterranea che presenta due corpi distinti di vasche servite da condotte dal diametro di centinaia di millimetri dove scorrono le acque delle sorgenti del Bousset, degli Stretti di Andonno e, appunto, del Bandito: le portate d'acqua trattate, rispettivamente, sono di 250 l/s, 150 l/s e 500-600 l/s. Tre condotte, poi, accompagnano l'acqua verso valle servendo il serbatoio di Cuneo, quello di Borgo San Dalmazzo e dando inizio alla più recente rete idrica intercomunale che include i comuni di Boves, Busca, Caraglio, Castelletto Stura, Centallo, Cervasca, Tarantasca, Vignolo, Peveragno e Villar San Costanzo.

Di seguito viene presentato lo schema di tale rete.



Come detto precedentemente, la sorgente è una risorsa idrica fondamentale per l'approvvigionamento del capoluogo di provincia, con una popolazione servita di circa 60.000 persone, e dei comuni limitrofi, chiamata “rete intercomunale”, con un totale di circa 150.000 persone servite.

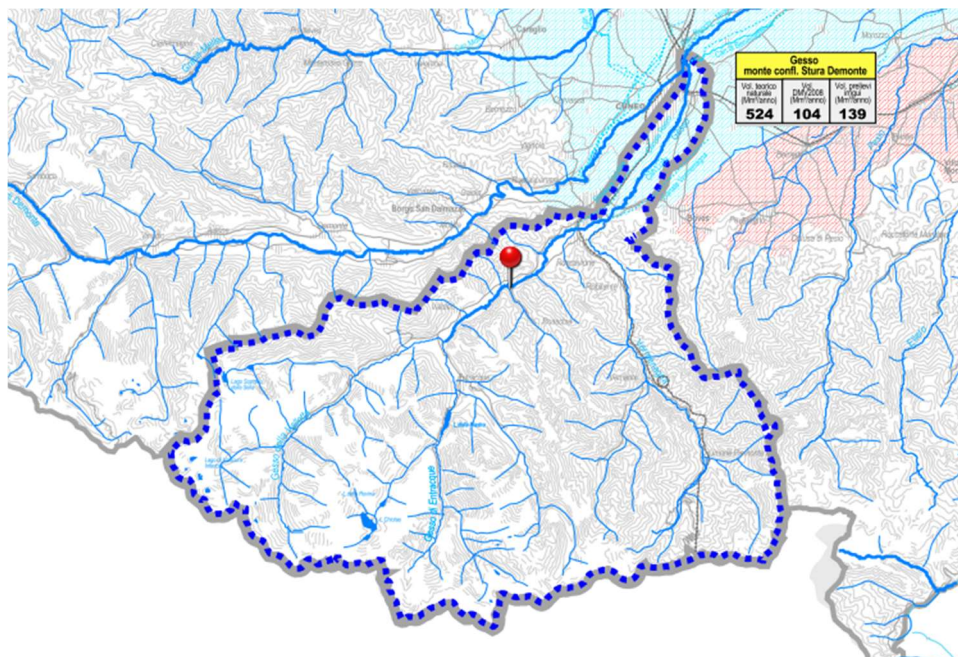


Figura 7- Locazione sorgente all'interno del bacino

Vengono riportati brevemente, con il fine di inquadrare meglio la storia del bacino, gli eventi alluvionali più gravosi in termini di effetti al suolo che, dal 1900 circa ad oggi, hanno interessato il bacino del torrente Gesso:

- Giugno 1900: esondazioni del torrente Gesso nel comune di Valdieri.
- Giugno 1957: “diffusa attività torrentizia con trasporti in massa nei rami minori: esondazioni nei territori di Entracque, Valdieri, Roccavione e Borgo San Dalmazzo”.
- Maggio 1959: esondazioni a Valdieri, con allagamenti estesi anche nel tratto prossimo allo sbocco in pianura
- Ottobre 1996: precipitazioni intense hanno interessato i bacini dei torrenti Vermenagna, Gesso, Stura di Demonte, con conseguenti erosioni delle sponde che hanno causato trasporto di materiale e relativi disagi a valle tra i giorni 7 e 9 ottobre.
- Giugno 2000: intense precipitazioni che hanno causato ingenti danni nei comuni di Entracque e Valdieri.
- Ottobre 2020: la tempesta “Alex” ha raggiunto l’area in esame dando luogo ad una violenta attività torrentizia lungo i tratti superiori dei corsi d’acqua nella giornata del 2 ottobre.

Nel corso degli ultimi anni il torrente, e conseguentemente la sorgente, è stato interessato principalmente da due eventi meteorologici che hanno avuto un impatto significativo sul sistema:

- La tempesta “Alina”, tra il 19 e 20 ottobre 2023, ha riversato in Valle Gesso precipitazioni con picchi di oltre 200 mm in poche ore, che a loro volta hanno causato esondazioni, frane e smottamenti con una modifica dei condotti carsici alimentanti l’acquifero delle sorgenti del Bandito e del Bousset.
- La saccatura di matrice nordatlantica, evoluta in una circolazione depressionaria³ centrata sul nord ovest italiano ha determinato fenomeni temporaleschi nella serata del 18 agosto 2024 sul basso Piemonte.

³ Zona di bassa pressione atmosferica dove l'aria converge al suolo e sale, creando instabilità, maltempo e precipitazioni

3. L'evento del 18 agosto 2024

Il 18 agosto 2024 è stata una data che, per chi monitorava, studiava e gestiva le acque del torrente cuneese, ha fatto da “spartiacque” tra due situazioni: il comportamento noto e quello sconosciuto del tributario dello Stura.

La serata estiva, infatti, è stata caratterizzata da una «bomba d'acqua» localizzata, molto forte, con conseguente esondazione dei Rii di Roaschia e il successivo interessamento dell'acquifero alimentante la sorgente del Bandito che ne ha stabilito l'intorbidimento delle acque. Il fenomeno è stato tanto inaspettato quanto rapido, a tal punto che l'operatore di turno, che in seguito al segnale del telecontrollo, ha effettuato tutte le manovre necessarie per distaccare la sorgente dal sistema idrico, ma non è riuscito ad evitare il contatto tra l'acqua del torrente e quello della sorgente. L'evento, quindi, ha creato molteplici disagi ai comuni interessati dall'acqua proveniente dalla Valle Gesso, rendendo l'acqua inutilizzabile per alcuni giorni, con conseguenti disagi annessi per la comunità servita dal connubio Gesso-ACDA, cioè i comuni di Borgo San Dalmazzo, Boves, Castelletto Stura e Cuneo.

Di seguito vengono riportate le registrazioni dei dati pluviometrici della Stazione di Andonno in scala settimanale e mensile, al fine di sottolineare l'ordine di grandezza del fenomeno appena descritto. Viene riportata anche la serie temporale delle precipitazioni per l'anno 2024 elaborata con il software MATLAB tramite i dati prelevati dal sito dell'ARPA.

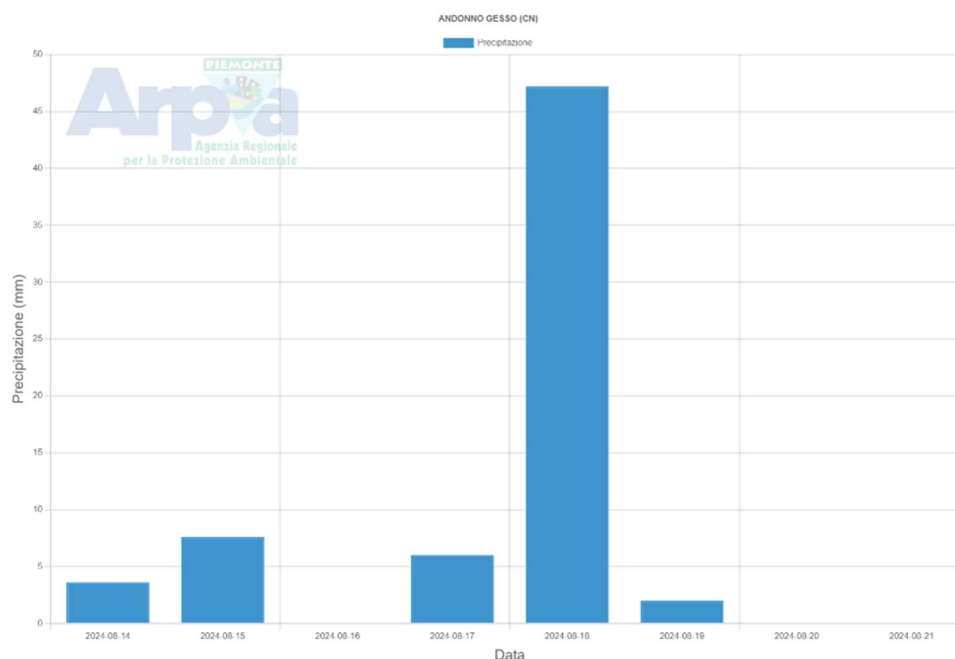


Figura 8- Precipitazioni settimanali ad Andonno (18/08/2024)

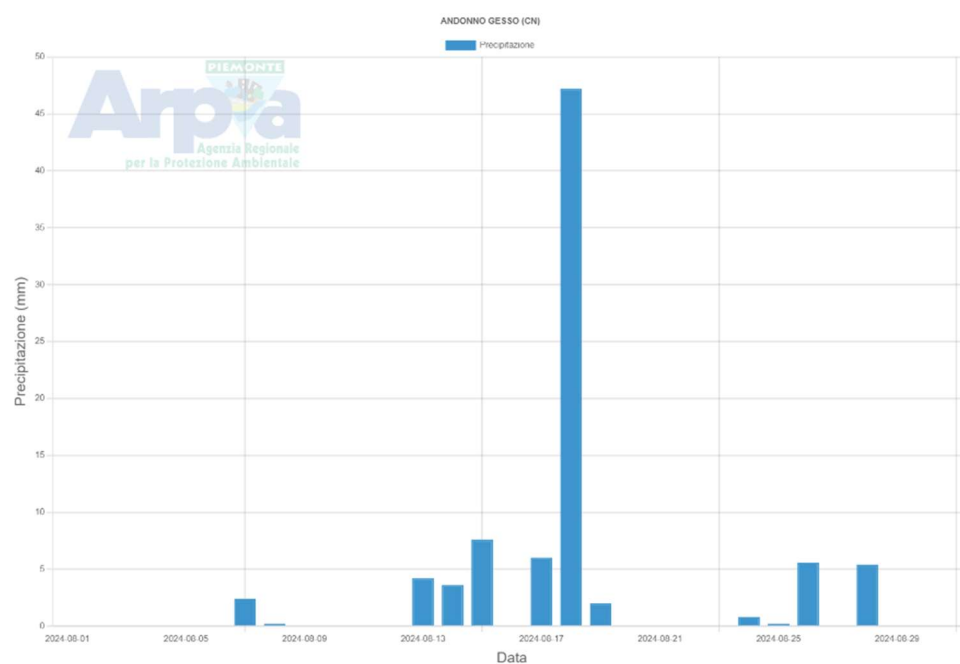


Figura 9- Precipitazioni mensili ad Andonno (08/2024)

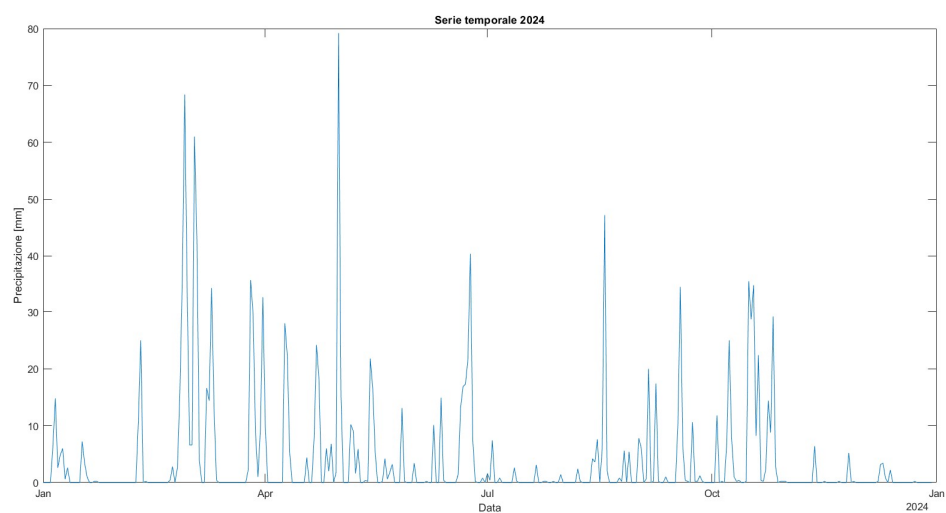


Figura 10- Precipitazioni annuali ad Andonno

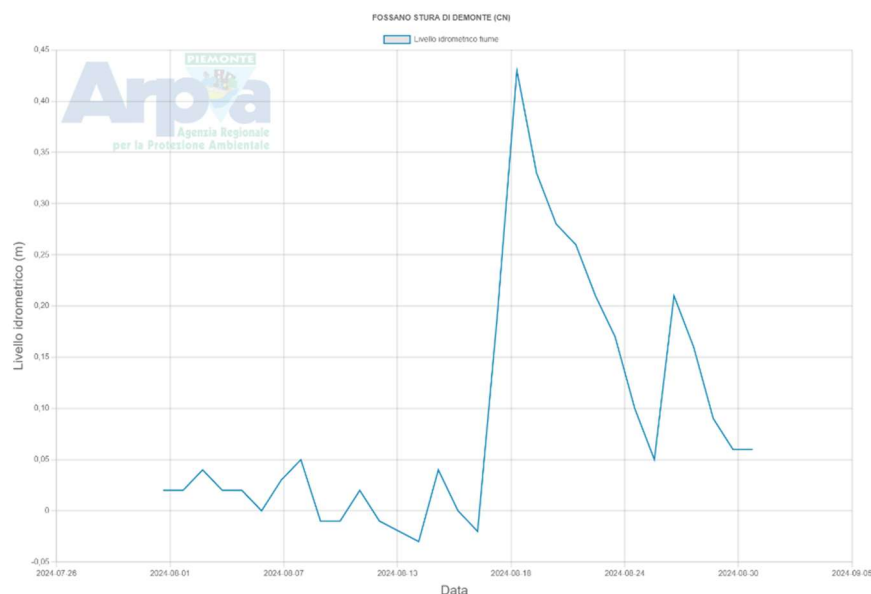


Figura 11- Livello idrometrico Stura di Demonte a Fossano

Si è scelto di riportare il livello idrometrico dello Stura di Demonte a Fossano in quanto la stazione di Andonno, unica sul torrente Gesso, non presenta dati relativi all'agosto 2024 e il fiume Stura, in cui confluisce il Gesso, risente dei cambiamenti delle portate relative ai suoi affluenti.

Per avere un quadro più completo si è scelto di ricavare la portata di picco del mese di agosto 2024 tramite l'utilizzo della "Scala di Deflusso" cui i dati di portata [m^3/s] e di livello idrometrico [m], relativi all'intero anno 2024, sono riportati sulla pagina dell'ARPA e utilizzando la formula sperimentale al fine di normalizzare la curva, riportata nella pagina seguente.

$$Q = a (h - h_0)^b$$

- Q: portata [m^3/s]
- a, b: coefficienti ricavati sperimentalmente
- h: livello idrometrico [m]
- h_0 : zero idrometrico [m]

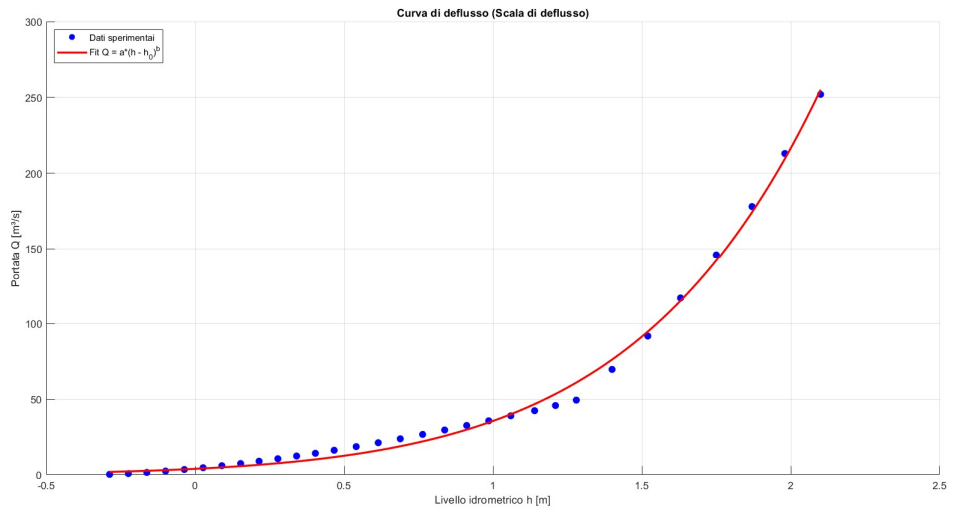


Figura 12- Curva di deflusso a Fossano

La figura sottostante riporta, quindi, l'andamento delle portate relative al livello idrometrico misurato nella stazione di Fossano, che sottolinea un picco di quasi 11 m³/s di acqua il giorno successivo alle abbondanti piogge che hanno colpito la Valle Gesso.

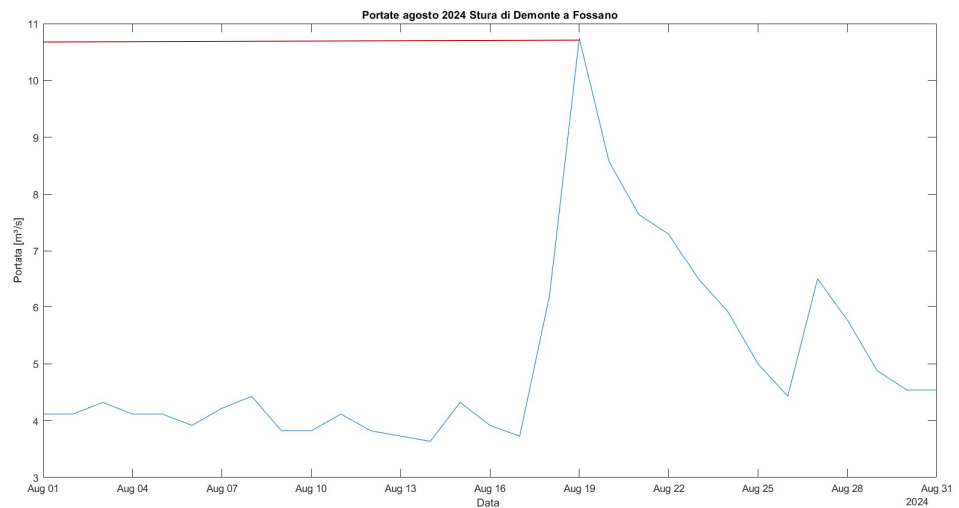


Figura 13- Portate mensili Fiume Stura di Demonte (08/2024)

Se si analizzano le portate relative alla stazione di Fossano degli ultimi 20 anni e si considerano le medie mensili di tali portate, al fine di avere una visuale più chiara della situazione idrologica, si può notare come il dato di 11 m³/s sia più alto della media mensile di agosto, che è di circa 6 m³/s.

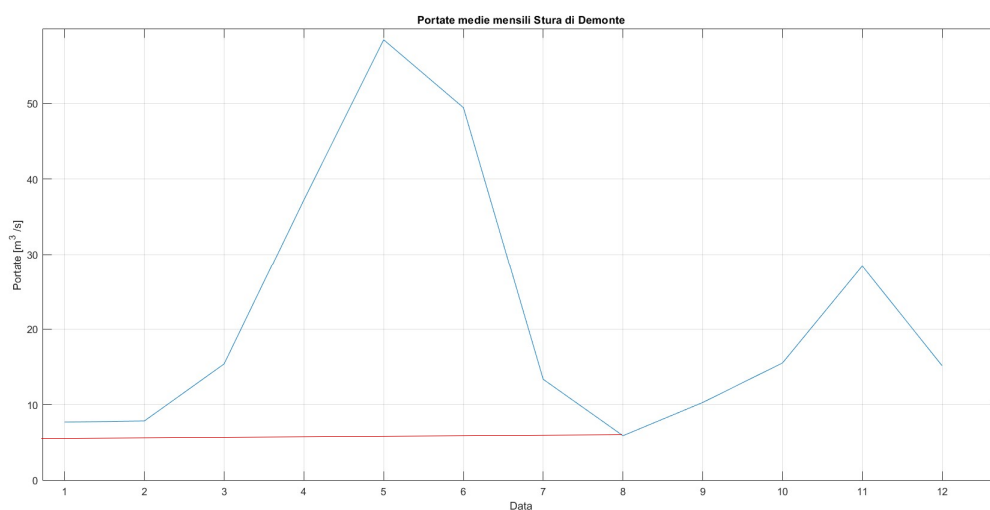


Figura 14- Portate medie mensili Stura di Demonte a Fossano

Al fine di ripristinare le condizioni originarie, in seguito alle piogge intense che hanno caratterizzato la domenica di metà agosto, è stata messa “in scarico” la sorgente, cioè disconnessa dal sistema, si è eliminato il limo che si era depositato tramite una pulizia manuale, si è atteso che l’acqua captata dalla sorgente tornasse pulita e infine si è proceduto con il sistema di disinfezione a valle tornando così nei limiti di rispettabilità per l’utilizzo.

Il riutilizzo dell’acqua ha dovuto ancora aspettare il tempo tecnico dovuto alle analisi di laboratorio e, una volta confermata la potabilità dell’acqua, si è proceduto con la notifica all’ASL⁴ di competenza e la rimozione dell’avviso di non potabilità rilasciato dai comuni colpiti.

⁴ Acronimo di Azienda Sanitaria Locale, ente che fornisce assistenza pubblica sanitaria su specifici territori.



Figura 15- Vasca di laminazione sorgente Bandito (ACDA)



Figura 16-Acqua torbida da rubinetto (E. Bruno)

La necessità di trovare una soluzione a questo problema permette di ridurre l'impatto socioeconomico dovuto all'interruzione della continuità e della qualità dell'approvvigionamento idrico per circa 120.000 persone.

Le interruzioni idriche verificatesi nel 2024 infatti, pur se temporanee, hanno determinato:

- Disagio per le famiglie residenti, privati, attività commerciali e produttive;
- Costi elevati per la distribuzione di acqua in bottiglia e autobotti;
- Rischi sanitari, in particolare per le fasce di popolazione vulnerabile (anziani, bambini, pazienti ospedalieri);
- Impatti sull'immagine del servizio idrico e sulla fiducia dei cittadini.

4. Analisi evento piovoso

La torbidità è un parametro che ha il fine di valutare la qualità dell'acqua. Un'acqua caratterizzata da una torbidità alta avrà al suo interno particelle di sedimenti fini in sospensione che conferiscono al liquido un caratteristico colore opaco funzione del livello di torbidità stesso.

Si può osservare come, un evento piovoso di minore intensità possa intaccare la qualità dell'acqua del Bandito, se nessuna azione risolutiva venisse presa in considerazione. A tale riguardo si hanno i dati di torbidità del periodo compreso tra il 23 e il 26 dicembre 2025, periodo nel quale la zona di Andonno è stata interessata da precipitazioni. I dati di torbidità sono espressi in NTU, *Nephelometric Turbidity Unit*.

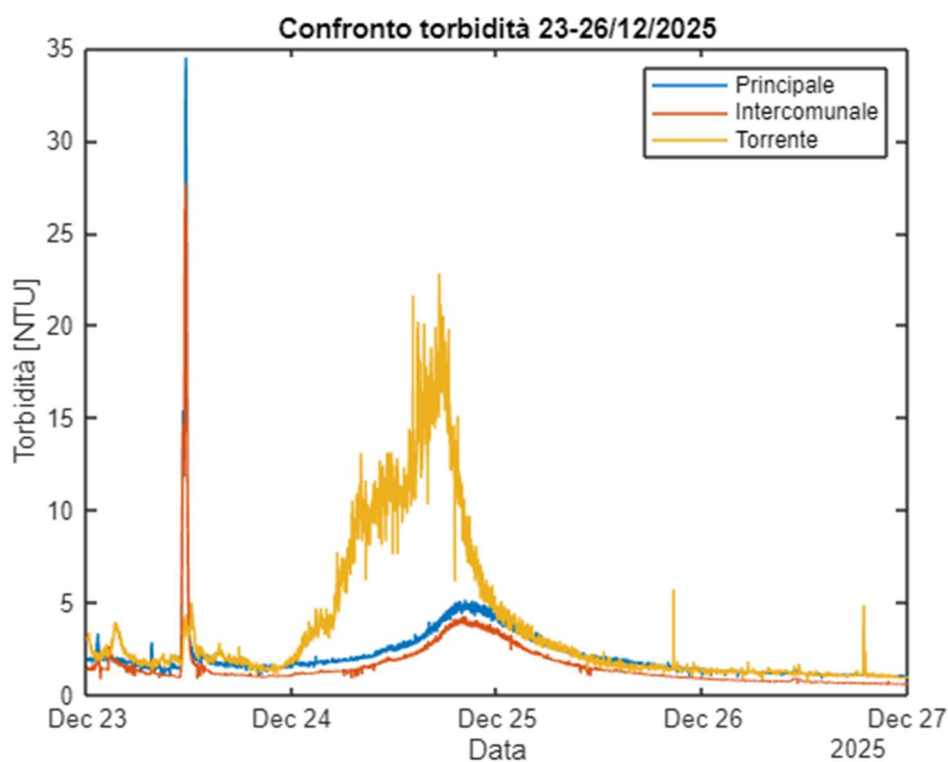


Figura 17- Torbidità 23-26/12/2025

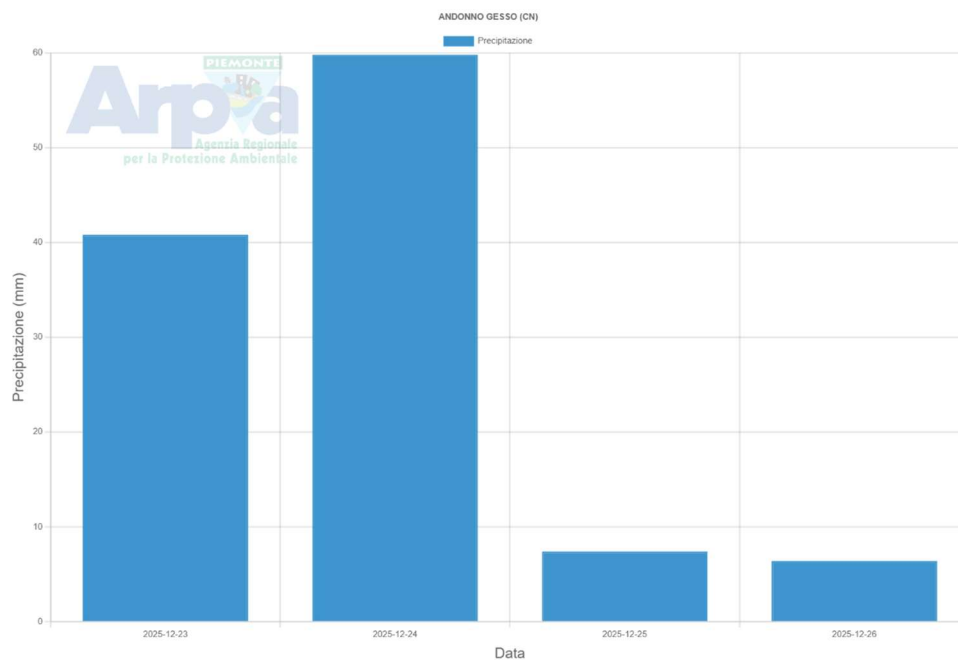


Figura 18- Precipitazioni giornaliere ARPA

Una volta raccolti i dati di precipitazione giornaliera si può notare come la quantità maggiore di mm di pioggia caduti si è registrata il 24 dicembre. Tale dettaglio però non è sufficiente a ad analizzare la correlazione tra precipitazione e aumento della torbidità rilevata dalle polle presenti nei pressi della Sorgente del Bandito.

Al fine di avere una rappresentazione più accurata di ciò che accade all'interno di tale sistema, si sono analizzate le precipitazioni orarie e si sono confrontate con i livelli di torbidità (sub-orari) relativi alla polla⁵ del torrente.

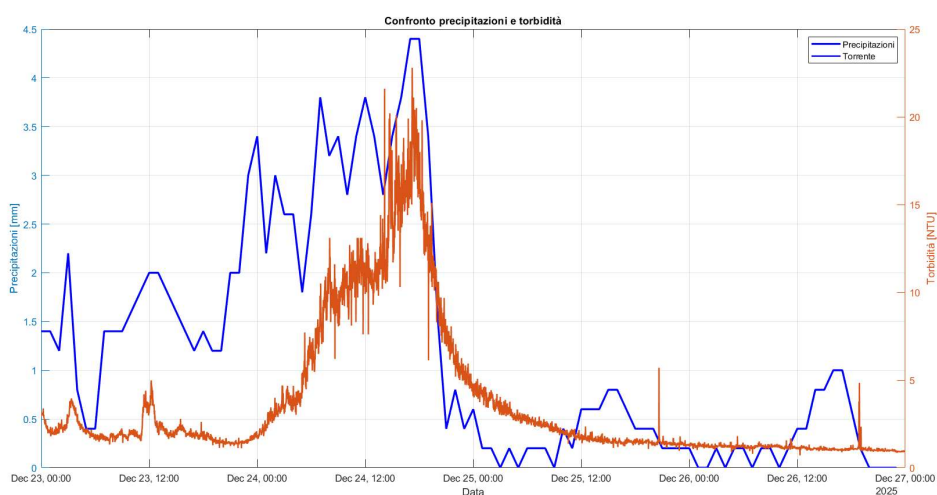


Figura 19- Confronto precipitazione- torbidità

⁵ pólla s. f. [der. dell'ant. pollare]. – 1. a. Fessura del suolo da cui sgorga una vena d'acqua; più comunem., la vena stessa nel punto di sorgenza. (da Treccani)

La risposta alle precipitazioni è rapida poiché esse vengono misurate in prossimità della sorgente. Nel caso in cui la precipitazione avvenisse più a monte, la risposta sarebbe posticipata nel tempo. L'intervallo massimo di ritardo tra il picco di precipitazione può essere paragonato al tempo di corrivazione⁶.

La formula di Giandotti (1934) è un metodo empirico utilizzato per stimare il tempo di corrivazione in ore, il suo uso è molto diffuso in Italia, trovando applicazione generalmente in bacini di medie-grandi dimensioni.

Il risultato varia in modo direttamente proporzionale all'area e inversamente proporzionale alla pendenza, come si può notare dall'equazione.

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_M}}$$

Equazione 1- Formula di Giandotti

- t_c : tempo di corrivazione [h];
- A : area del bacino [km²]
- L : lunghezza asta principale [km]
- H_M : quota media del bacino [m]

Nella *Tabella 1* viene riportato il calcolo di t_c tramite formula di Giandotti. Si può notare che il risultato è associabile ad un bacino mediamente rapido, caratteristico di zone montane quale la zona d'interesse. Bacini caratterizzati da tempi di corrivazione ridotti tendono a produrre risposte idrologiche rapide, con incremento del ruscellamento superficiale e conseguente mobilitazione di sedimenti fini, determinando così picchi di torbidità più marcati nel corso d'acqua.

Bacino torrente Gesso		
Area	336.5	[kmq]
Quota media	1832.0	[m]
Lunghezza asta principale	25.5	[km]
Tempo di corrivazione	3.3	[h]

Tabella 1- Tempo di corrivazione Giandotti

⁶ Tempo impiegato da una goccia d'acqua, caduta nel punto idraulicamente più lontano di un bacino idrografico, per raggiungere la sezione di chiusura del bacino stesso.

5. Il ramo secondario

Come si può notare dalla *Figura 10*, la precipitazione del 18 agosto 2024 non sono state le più abbondanti dell'anno 2024, ma il loro impatto è stato il più significativo.

Le cause di questo intorbidimento, inaspettato ed insolito, sono ancora oggetto di indagine. L'ipotesi più accreditata attualmente è quella dell'attivazione di un ramo secondario, posto in sponda destra idrografica del Torrente Gesso, in prossimità della sorgente denominata "Bandito".

Una prima soluzione ipotizzata è la realizzazione di uno sbarramento temporaneo. Tale progetto, commissionato da ACDA S.p.A. allo studio di ingegneria LIAAM s.r.l. con sede a Roccavione (CN), consiste quindi nella realizzazione di uno sbarramento in materiale sciolto con andamento trasversale al canale secondario e quota sommitale pari a 713.50 m slm, pari a quella della strada sterrata in tale tratto. Esso è stato realizzato circa 40 m a valle dell'imbocco del canale secondario, vedi *Figura 21*, nel punto in cui la strada è più prossima al canale secondario; tale posizionamento, leggermente arretrato, si ritiene idoneo anche per ridurre l'esposizione dello sbarramento all'azione idrodinamica del torrente Gesso.

In riferimento al modello del terreno impiegato per la modellizzazione idraulica, ossia il DTM Lidar del Ministero dell'Ambiente passo 1x1 metri acquisito nell'aprile 2014.

La sigla "DTM" indica "Digital Terrain Model", cioè un modello tridimensionale che restituisce la superficie di una porzione di terreno selezionata escludendo gli elementi artificiali o naturali, come case ed arbusti.

Lo sbarramento, realizzato a fine ottobre 2024, raggiunge un'altezza massima di circa 2.2 m in corrispondenza del *thalweg*⁷, relativo al canale secondario ed un'altezza media di circa 0.8 m.

Di seguito sono riportate le fotografie relative allo sbarramento e la sua ubicazione.

⁷ Linea immaginaria che unisce i punti più bassi e profondi di un letto fluviale.

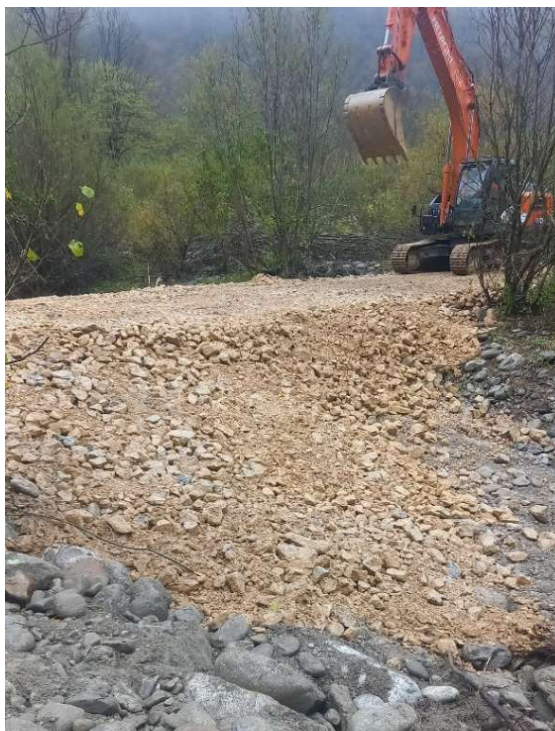


Figura 20- Sbarramento provvisorio ramo secondario (ACDA)

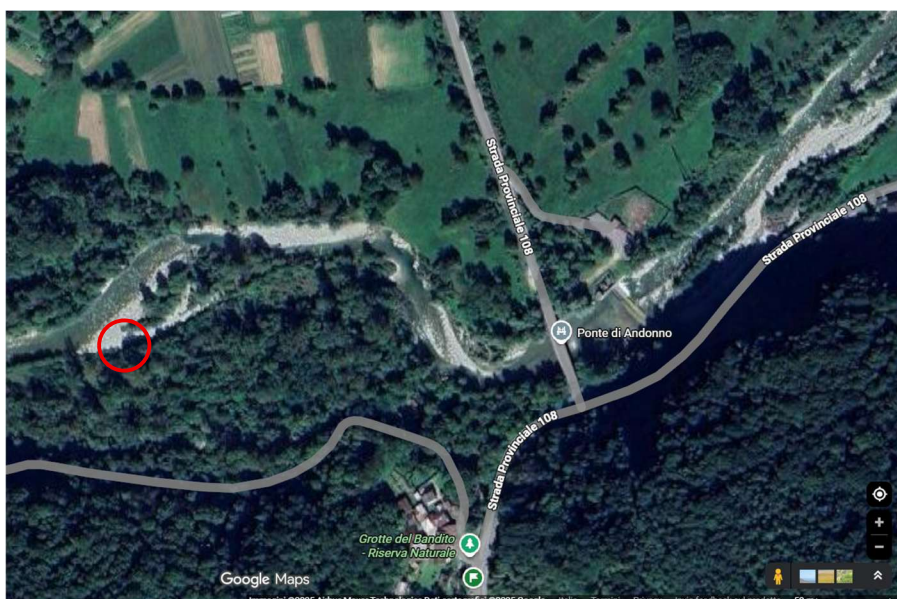


Figura 21- Ubicazione sbarramento temporaneo

Ad oggi, in seguito alla realizzazione dello sbarramento, non ci sono stati eventi alluvionali che hanno portato la torbidità della sorgente a superare il relativo limite di legge (5 NTU).

6. Altre ipotetiche cause

In seguito alla costruzione dello sbarramento temporaneo in materiale sciolto, il torrente Gesso non è stato più interessato da fenomeni atmosferici tali da attivare il ramo secondario “incriminato” di innescare la problematica di eccessiva torbidità alla sorgente del Bandito. Per tale motivo, nel corso dei mesi successivi si sono vagliate altre cause, così da non rischiare di avere problemi di torbidità nel sistema, in caso di forti precipitazioni.

In questo lasso di tempo intercorso dal 18 agosto 2024 ad oggi, sono state evidenziate altre due situazioni che possono avere una correlazione con l'intaccamento della qualità dell'acqua nella sorgente, oltre all'attivazione del ramo secondario, all'interno della porzione del sistema fluviale del Gesso sotto osservazione. Per completezza del documento vengono citate di seguito ma non ulteriormente approfondite.

La prima ipotetica causa che si vuole presentare all'interno di questo capitolo trova origine nei pressi di una depressione localizzata dell'alveo del rio di Roaschia, mostrata in *Figura 23*, poco a monte della località Tetto Bandito nel Comune di Roaschia (CN), in corrispondenza delle coordinate 4°905'101 N e 375°046 E. L'ipotesi, ancora da verificare, è che il fondo del corpo d'acqua sia stato soggetto ad un processo erosivo nel corso degli anni e, quando le precipitazioni sono abbondanti ed improvvise, l'acqua si infiltri e scorra lungo una fessura che collega la depressione precedentemente citata alla sorgente poco più a valle, attraversando la parete a reggipoggio⁸ situata alla sinistra orografica e rendendo torbida l'acqua captata dalla sorgente di ACDA.

Un modo per verificare l'ipotesi potrebbe essere il tracciamento tramite soluzione salina rilasciata in quantità controllata a monte della piscina e l'osservazione, dopo un lasso di tempo predefinito, dei valori all'interno del misuratore della sorgente in modo tale da evidenziare eventuali picchi.

Il tracciamento chimico consiste nell'introdurre una sostanza all'interno del fiume, la quale segue il comportamento dell'acqua con l'obiettivo di studiarne il percorso, le interazioni tra acqua superficiale e sotterranea e i tempi di percorrenza.

I traccianti utilizzati devono avere caratteristiche particolari in quanto non deve presentare impatti ambientali, reazioni con bioti⁹ o sedimenti e deve essere misurabile con grande precisione.

Nel caso in cui l'ipotesi fosse verificata, una soluzione potrebbe essere quella di rafforzare il fondale per mezzo della messa in opera di materiale grossolano, quali ciottoli e ghiaia fluviale, con la funzione di creare un livello filtrante per le acque penetranti, prima che esse raggiungano eventuali cavità carsiche presenti in subalveo. Tale soluzione è finalizzata a ridurre il rapido convogliamento di acque torbide verso la sorgente durante gli eventi di piena o di morbida.

⁸ Condizione che si verifica quando gli strati che compongono la stratigrafia di un versante hanno inclinazione opposta rispetto a quella del versante stesso.

⁹ Complesso di organismi che occupano un determinato spazio in un ecosistema.

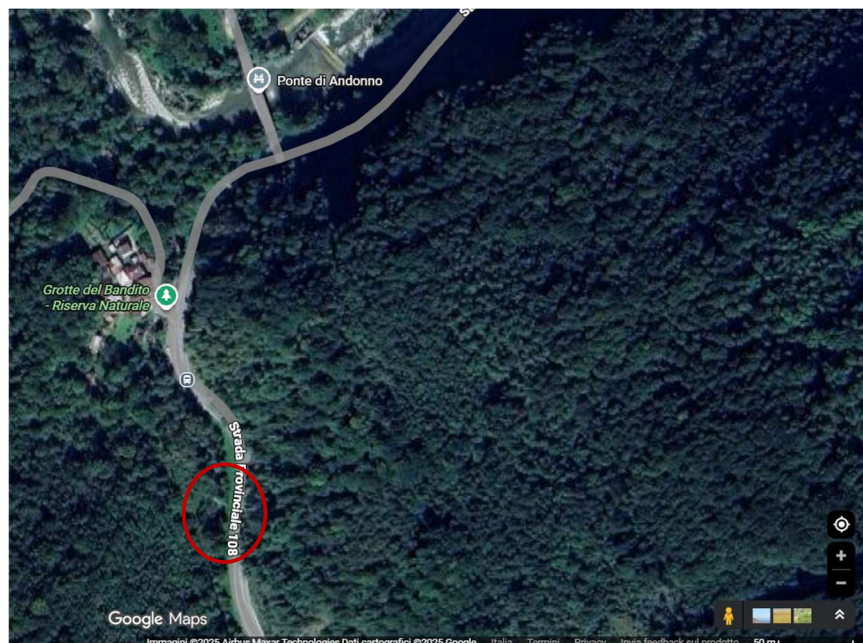


Figura 22- Ubicazione piscina naturale



Figura 23- Piscina naturale

La seconda ipotesi passata al vaglio interessa un tratto di alveo del Torrente Gesso, situato poco a monte di Tetto Cialombard, località appartenente al Comune di Valdieri (CN), in corrispondenza delle coordinate 4°904'040 N e 373'484 E.

In tale zona, dal 2021 ad oggi, il torrente ha attivato un ramo secondario in destra idrografica, che si sviluppa in prossimità degli affioramenti carbonatici presenti nell'area.

Da quanto evidenziato dal confronto storico svolto dall'azienda LIAAM su commissione di ACDA mediante l'analisi di ortofoto e fotogrammi aerei storici reperiti dal Geoportale della Regione Piemonte e successivamente georiferiti, tramite software GIS, il torrente ha subito numerose variazioni morfologiche nel corso degli anni dal 1973:

- *“Nel periodo compreso tra il 1973 e la fine degli anni Novanta, il tratto del torrente Gesso compreso tra l'abitato di Valdieri e la località Tetto Cialombard presentava un tracciato prevalentemente spostato in sinistra idrografica, verso la S.P. 22.*
- *Nel 2000, verosimilmente in relazione all'evento alluvionale del giugno dello stesso anno, si riscontra l'attivazione di un ramo di notevole rilevanza in destra idrografica, con conseguente migrazione del flusso principale verso destra e un marcato avvicinamento ai depositi carbonatici presenti lungo il margine destro.*
- *Nel 2006 evidenzia un progressivo abbandono del ramo originario in sinistra idrografica e una sempre più marcata attivazione del ramo in destra.*
- *Nei successivi vent'anni, il ramo in sinistra risulta prevalentemente inattivo, mentre il corso principale del torrente si stabilizza lungo il ramo di destra”.*

Come descritto nell'elenco soprastante, l'evento alluvionale del 2000 ha determinato una radicale modifica del tracciato del torrente Gesso e l'area interessata dall'infiltrazione, indicata in *Figura 26*, è stata caratterizzata dalla presenza di una biforcazione dell'alveo attorno a una formazione assimilabile a un isolotto fluviale. Nel corso del tempo si sono alternate diverse fasi di attivazione dei rami principali che delimitano tale elemento morfologico.

In particolare, come illustrato nelle immagini riportate di seguito, dall'ortofoto del 2018 si evince che il ramo principale del torrente Gesso si sviluppava in sponda destra dell'isolotto. Nell'ortofoto del 2021, invece, il ramo principale risulta localizzato in sponda sinistra, mentre dall'ortofoto del 2024 il ramo principale risulta nuovamente attestato in sponda destra.

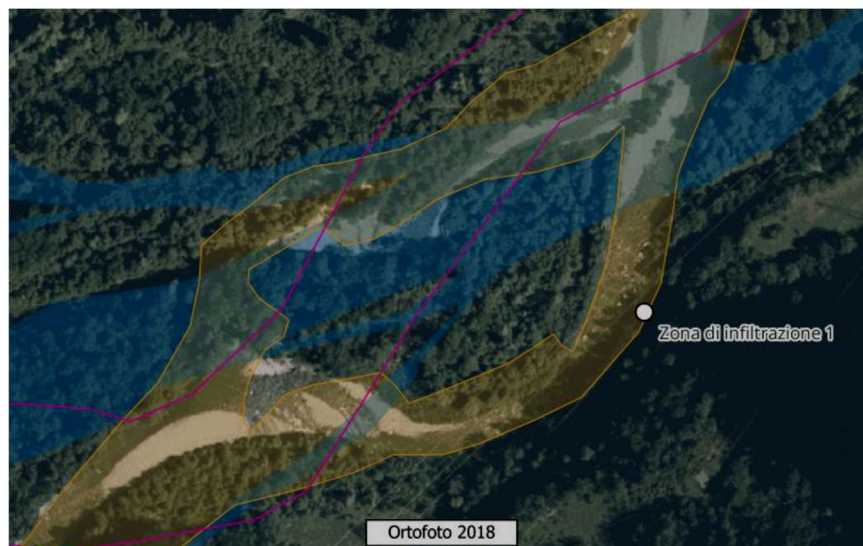


Figura 24- Ortofoto 2018 LIAAM- ACDA

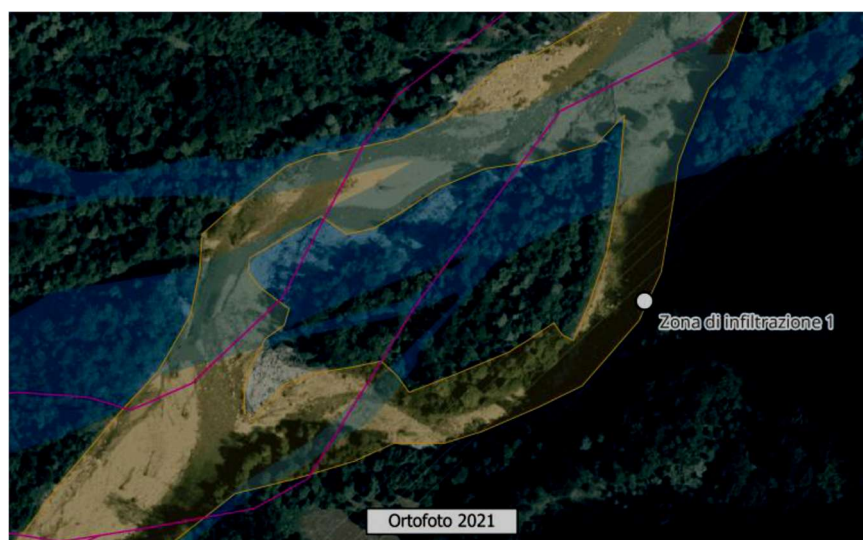


Figura 25- Ortofoto 2021 LIAAM - ACDA



Figura 26- Ubicazione curva Torrente Gesso



Figura 27- Curva Torrente Gesso dall'alveo

Nel punto evidenziato dalla *Figura 26* il corso del torrente crea una curva contro il muro di sostegno che separa il Gesso dalla pista ciclabile che collega la borgata di Cialombard al comune di Valdieri, anche in questo caso la causa potrebbe essere un'infiltrazione lì dove il torrente si "scontra" con il muro.

Una possibile soluzione è la realizzazione di un accumulo in materiale sciolto, con andamento trasversale rispetto al ramo principale del torrente Gesso, finalizzato alla deviazione del flusso e alla riattivazione del ramo in sponda sinistra dell'isolotto

fluviale, in modo da ricostituire, di fatto, le condizioni di deflusso illustrate in *Figura 25*.

L'accumulo in progetto avrà uno sviluppo longitudinale di decine di metri, sufficientemente ampio per resistere a portate di morbida del torrente Gesso senza subire cedimenti. Al contempo, l'altezza del manufatto sarà contenuta (indicativamente 2 m), in modo da consentire lo sfioro delle acque al superamento di un determinato livello idrometrico.

La posizione del rilevato, *Figura 28*, è prevista con orientamento leggermente obliquo, e non ortogonale al flusso del torrente Gesso, al fine di ridurre l'esposizione dell'accumulo alle sollecitazioni idrodinamiche indotte dalla corrente.

Il materiale necessario alla realizzazione dell'accumulo sarà reperito direttamente in alveo, mediante lo scavo dei depositi alluvionali presenti sulla sponda sinistra dell'isolotto fluviale, con l'obiettivo di approfondire tale tratto e favorire l'incanalamento della corrente del torrente Gesso lungo lo stesso.



Figura 28- Posizione rilevato

L'obiettivo principale di questo e degli altri interventi sopracitati è quello di allontanare il flusso della corrente dalla supposta zona di infiltrazione individuata, al fine di provare a contrastare le problematiche di intorbidimento delle acque riscontrate alla sorgente del Bandito.

7. Il modello idraulico

Il modello idraulico di un fiume consiste nell'analisi del comportamento dell'acqua che scorre nello stesso, in modo tale da conoscerne le caratteristiche e, attraverso modellazioni e simulazioni, prevederne il comportamento, qualitativamente, in situazioni estreme. Il suo utilizzo è fondamentale in fase di progettazione e pianificazione di opere in prossimità o interagenti con corsi d'acqua, come ad esempio ponti, dighe, argini o semplicemente nuove infrastrutture limitrofe, perché consente di verificare se queste opere possono alterare il flusso, aumentarne il rischio di esondazione o subire gli effetti di ipotetiche esondazioni o problematiche relative. Alcuni modelli possono anche simulare il trasporto di sedimenti o inquinanti.

Il modello idraulico verterà sull'analisi delle condizioni del torrente Gesso nell'area di interesse relativa alla prima ipotesi, quella dell'attivazione del ramo secondario.

7.1. Raccolta dati

La raccolta dei dati relativi all'area in esame è stata possibile grazie alla presenza di una stazione ARPA ad Andonno posta sull'omonimo ponte, appartenente alla Strada provinciale 108 e situato in prossimità delle sorgenti, come mostrato in *Figura 29*.

Dettagli stazione		
Denominazione	Andonno Gesso	
Nazione	Italia	
Provincia	Cuneo	
Comune	Valdieri	
Longitudine est	7.43417	(wgs84 gradi)
Latitudine nord	44.29083	
Quota (m s.l.m.)	712	
Data Inizio	1/1/2008	
Bacino Idrografico	Tanaro	

Tabella 2- Stazione di Andonno

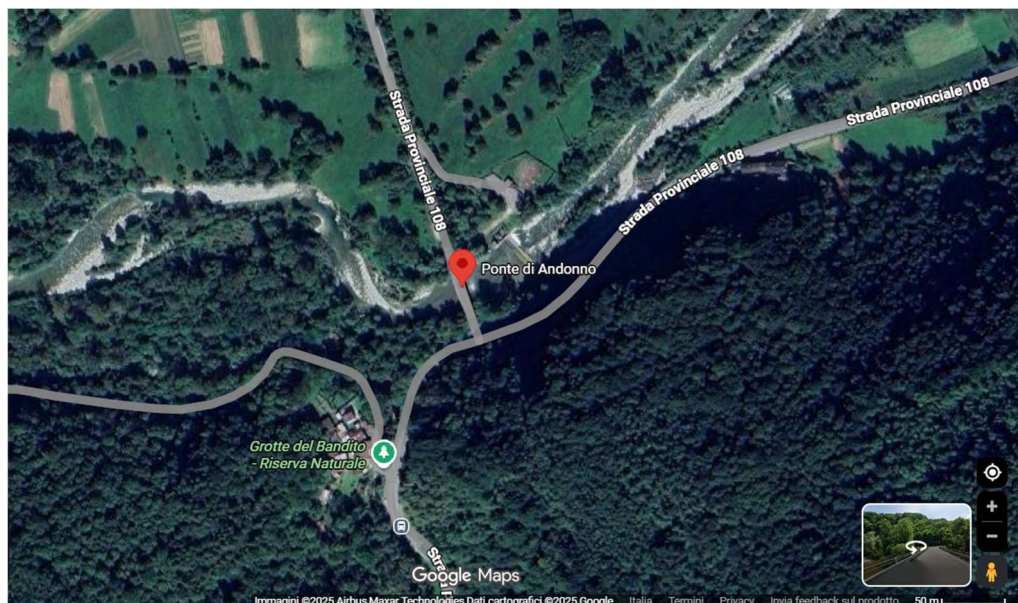


Figura 29- Locazione stazione ARPA ad Andonno



Figura 30- Dettaglio stazione ARPA

Nella banca storica dei dati relativi alla stazione ARPA sopracitata sono presenti sia i livelli idrometrici sia le portate del Torrente dal 2008 a metà 2024.

Da un'analisi preliminare dei dati forniti dall'ente si ricavano le serie temporali delle portate giornaliere durante gli anni e, conseguentemente, graficamente e analiticamente il valore medio e massimo.

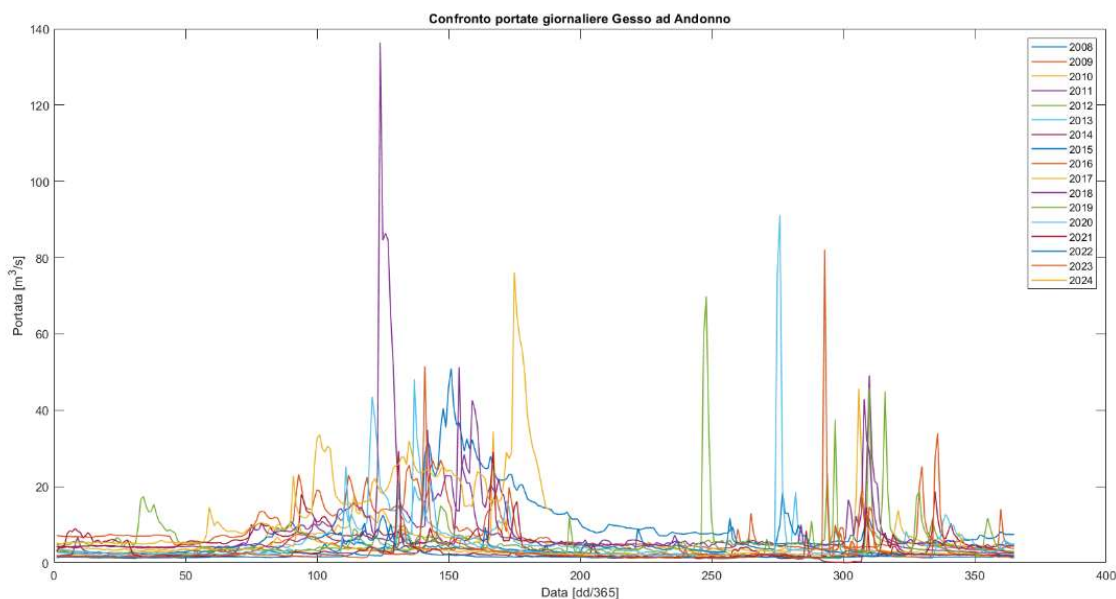


Figura 31- Portate giornaliere registrate Gesso 2008-2024

Il valore medio equivale a $5\text{m}^3/\text{s}$ mentre il valore massimo registrato è di $136.4\text{m}^3/\text{s}$.

Il picco si è verificato in data 05 aprile 2018 e la stessa ARPA riportava che *“In Piemonte il mese di aprile 2018 è risultato al di sopra della media climatologica degli anni 1971-2000 dal punto di vista termometrico e pluviometrico. [...] Il mese inoltre ha avuto un surplus precipitativo di circa 16.4 mm (+14%), risultando il 20° mese di aprile più umido nella distribuzione storica dal 1958”* all’aprile 2018 (n.d.r.).

Come si è specificato pocanzi, la stazione ha registrato dati con continuità dal 2008 a metà del 2024, per tale motivo si è scelto di analizzare gli anni completi, quindi fino al 31 dicembre del 2023.

7.2. Analisi statistica

In seguito alla raccolta dati si procede all'analisi statistica degli stessi, con il fine di ottenere una portata di progetto il più possibile realistica e con una rilevanza in termine di simulazione futura.

Il primo passo è quello di rappresentare graficamente le misurazioni di maggiore rilevanza: in *Figura 32* sono riportati i massimi valori delle portate medie mensili misurate ad Andonno nel periodo scelto, mentre in *Figura 33* sono riportati i picchi di portate misurate per ogni anno in cui la stazione è stata in funzione.

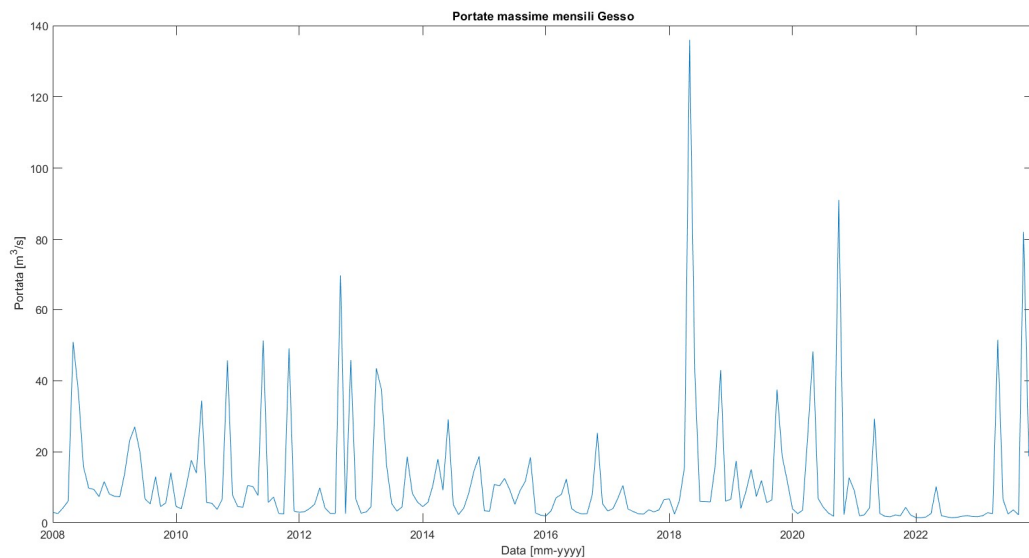


Figura 32- Portate massime mensili negli anni

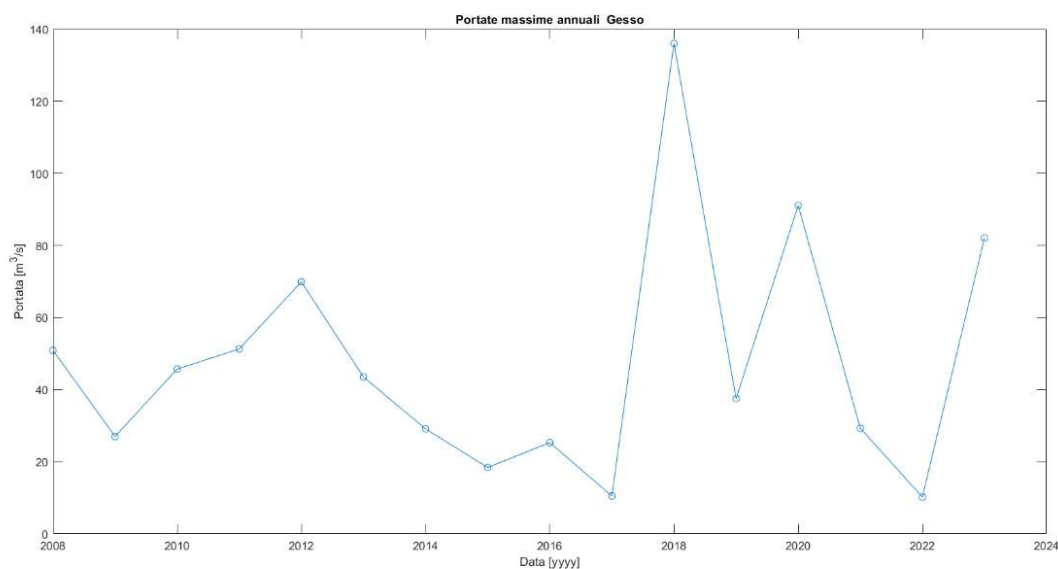


Figura 33- Portate massime annuali negli anni

Nella tabella seguente vengono riportati i valori caratteristici del Torrente cuneese a livello statistico.

ANALISI STATISTICA					
Media	Varianza	Deviazione standard	CV	Minimo	Massimo
[mc/s]	[(mc/s)^2]	[mc/s]	[-]	[mc/s]	[mc/s]
47.4	1178.0	33.4	23.6	10.2	136.0

Tabella 3- Analisi statistica

Per completezza dell'analisi dei dati a disposizione si riporta, in *Figura 34*, l'istogramma delle frequenze relative. Il numero di classi da cui è composto deve essere adatto al fine di evitare eventuali perdite di informazioni o il fenomeno della frammentazione, per fare ciò si usa la formula di Williams:

$$k = 2 * n * 0.4 \approx 6$$

Equazione 2- Formula di Williams

Con n il numero di anni preso in esame, quindi 16.

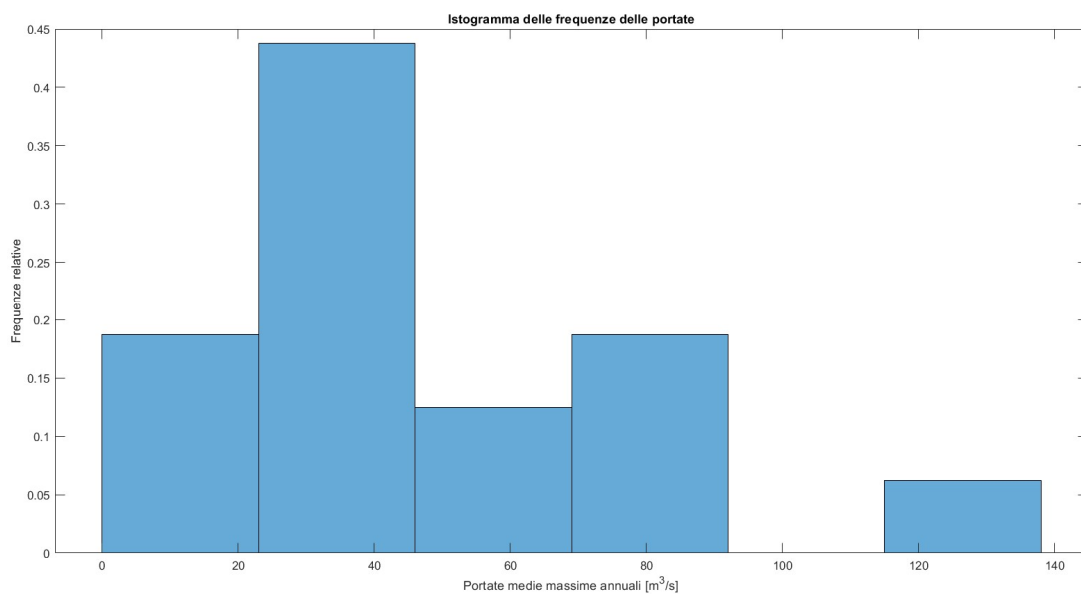


Figura 34- Istogramma frequenza delle portate

Un ulteriore rappresentazione grafica dei dati a disposizione è la funzione frequenza di non eccedenza, dove in ascissa si trovano le portate ordinate in modo crescente e sull'asse delle ordinate le frequenze cumulative.

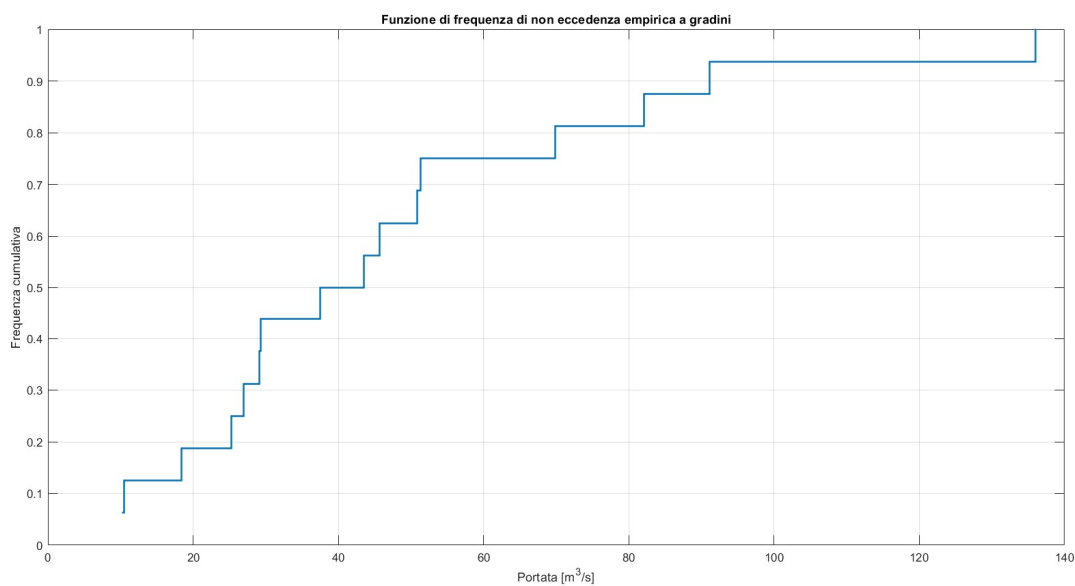


Figura 35- Funzione frequenza di non eccedenza

Successivamente i dati sono stati confrontati con le principali distribuzioni statistiche al fine di trovare quella che approssima meglio il loro comportamento. Le distribuzioni utilizzate sono state: la distribuzione Esponenziale, Gumbel, Log-normale e Normale.

La distribuzione GEV non è stata presa in considerazione in quanto si è scelto di lavorare con i valori massimi annuali e il numero di tali portate è talmente piccolo da non essere statisticamente rilevante per poter utilizzare tale distribuzione.

Per valutare se un campione di dati sia adatta, in termini di forma, bene o meno ad una determinata distribuzione si creano i grafici di probabilità (o *probability plot*). Se i dati all'intero del grafico di probabilità non sono allineati, infatti, è meno probabile che la distribuzione sia quella che rappresenta meglio il campione.

Il procedimento da seguire per creare i *probability plot* sono:

- ordinare i dati $x_{(i)}$ in modo crescente
- calcolare la posizione del grafico (*plotting position*), o funzione di distribuzione empirica $F(x_{(i)})$
- costruire la variabile ridotta u_i specifica per ogni distribuzione da valutare
- rappresentare graficamente i punti (x_i, u_i)

La *plotting position*/ posizione del grafico è la probabilità di non eccedenza associata all'elemento del campione. Esistono diverse formule o metodi per calcolarla ma, in questo documento, si è scelto di adottare la formula di Weibull:

$$F(x_{(i)}) = i/(n + 1)$$

Equazione 3- Plotting position di Weibull

La *reduced variate*/ variabile ridotta, invece, è il valore corrispondente alla stessa probabilità di x_i se il modello probabilistico fosse corretto, ed è calcolato partendo dalla funzione quantile isolando le parti contenenti la variabile casuale e i parametri dal resto.

Successivamente sono stati utilizzati due metodi che, attraverso la stima di alcuni parametri, permettono di adattare i modelli probabilistici selezionati ai dati disponibili:

- Metodo dei momenti
- Metodo degli L-momenti

Il metodo dei momenti eguaglia i campioni e i momenti di distribuzione, funzioni dei parametri da stimare, con tante equazioni quanti sono i parametri stessi. Il metodo è di facile utilizzo e robusto, ma presenta alcuni problemi come l'incertezza nella misurazione di dati estremi, che a livello di caratterizzazione del campione di dati, sono i più significativi.

Il metodo degli L-momenti si basa sullo stesso principio del metodo dei momenti, ma i momenti delle distribuzioni sono combinazioni lineari di momenti ponderati in base alla probabilità.

Dopo la stima dei parametri, utilizzando entrambi i metodi, le variabili ridotte vengono ricalcolate sulla base dei parametri determinati. Successivamente, viene effettuato un confronto tra i grafici di probabilità generati dalle variabili ridotte calcolate utilizzando la *plotting position* di Weibull (Sample), il Metodo dei momenti (Moments- M) e il Metodo degli L-momenti (L-Moments- L_M).

7.2.1. Distribuzione Esponenziale

La distribuzione Esponenziale si presenta come positiva e marcatamente asimmetrica. Essa rappresenta uno dei modelli probabilistici più semplici per descrivere il tempo di attesa tra eventi idrologici indipendenti. In particolare, essa trova applicazione nella modellazione degli intervalli temporali tra precipitazioni o tra eventi di piena, motivo per cui viene trattata in questa tesi.

Di seguito vengono riportate le formule utilizzate e il risultato grafico.

$$u_i = -\ln(1 - F(x_{(i)}))$$

Equazione 4- Variabile ridotta

Parametri(M)

$$\hat{\theta} = \bar{x}$$

Parametri(L_M)

$$\hat{\theta} = l_1$$

Equazione 5- Parametri Distribuzione Esponenziale

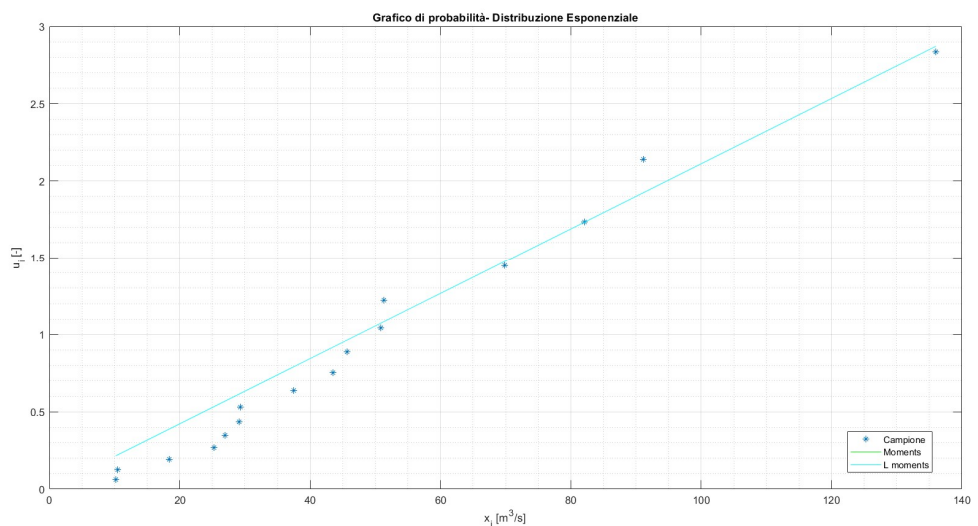


Figura 36- Distribuzione Esponenziale

7.2.2. Distribuzione Gumbel

La distribuzione Gumbel si presenta debolmente asimmetrica con un dominio che spazia tra valori negativi e positivi, ma spesso la parte negativa è talmente piccola che può essere trascurata.

Essa è ampiamente utilizzata in idrologia per l'analisi dei valori estremi, in particolare per la modellazione delle massime precipitazioni o delle portate di piena annuali. Consente, inoltre, di stimare la probabilità di occorrenza di eventi idrologici estremi e di determinare i tempi di ritorno associati a determinate soglie di intensità.

Di seguito vengono riportate le formule utilizzate e il risultato grafico.

$$u_i = -\ln(-\ln(F(x_{(i)})))$$

Equazione 6- Variabile ridotta Gumbel

Parametri(M)

$$\hat{\theta}_1 = \bar{x} - 0,5772s(\sqrt{6}/\pi)$$

$$\hat{\theta}_2 = s(\sqrt{6}/\pi)$$

Parametri(L_M)

$$\hat{\theta}_1 = l_1 - 0.5772\theta_2$$

$$\hat{\theta}_2 = l_2 / \ln 2$$

Equazione 7- Parametri Distribuzione Gumbel

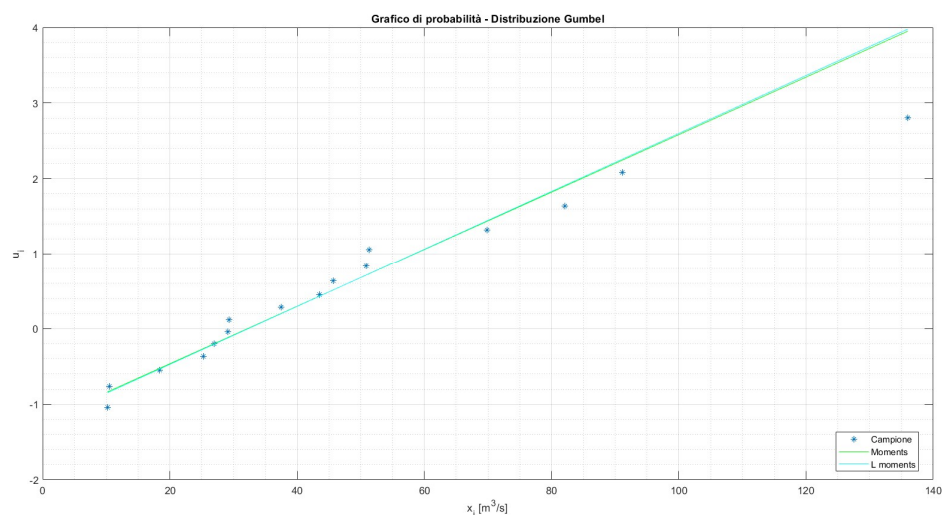


Figura 37- Distribuzione Gumbel

7.2.3. Distribuzione Normale

La distribuzione Normale è adatta a fenomeni con un “buon comportamento”, cioè la tendenza ad avere dati distribuiti a “campana”, con media, mediana e moda coincidenti, e derivanti da somme di processi indipendenti. Per queste ragioni costituisce un utile riferimento teorico per l’analisi statistica dei dati idrologici e per la valutazione delle deviazioni rispetto a condizioni di comportamento medio. Essa è frequentemente utilizzata per descrivere variabili idrologiche che risultano dalla combinazione di numerosi fattori indipendenti.

Di seguito vengono riportate le formule utilizzate e il risultato grafico.

$$u_i = \Phi^{-1}(F(x_i))$$

Equazione 8- Variabile ridotta Normale

Parametri(M)

$$\hat{\theta}_1 = \bar{x}$$

$$\hat{\theta}_2 = s$$

Parametri(L_M)

$$\hat{\theta}_1 = l_1$$

$$\hat{\theta}_2 = \pi^{1/2} \cdot l_2$$

Equazione 9- Parametri Distribuzione Normale

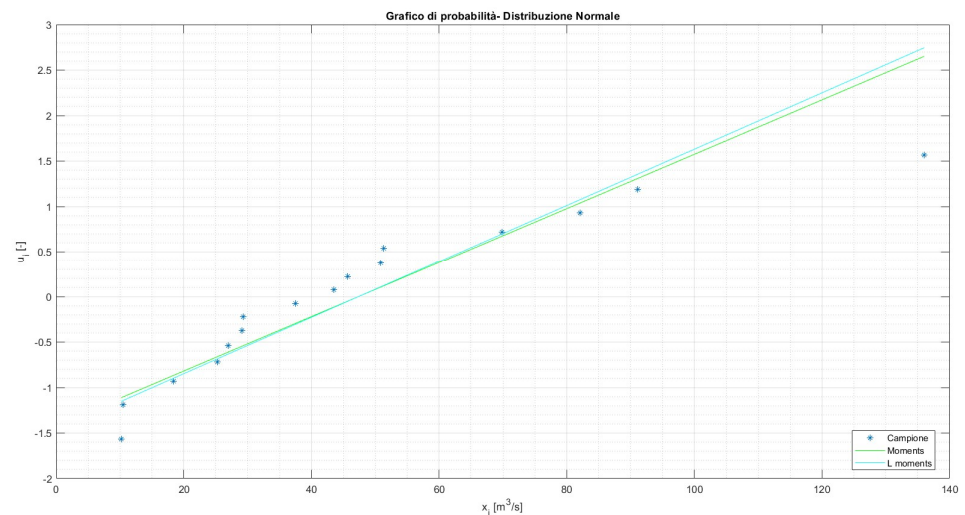


Figura 38- Distribuzione Normale

7.2.4. Distribuzione Log-Normale

Generalmente la distribuzione Log-Normale non è adatta a rappresentare dati relativi a precipitazioni atmosferiche o acque superficiali, ma se si considera il logaritmo delle variabili in esame allora il modello si adatta ad una distribuzione Gaussiana rendendo la distribuzione particolarmente adatta alla rappresentazione statistica di fenomeni naturali con comportamento moltiplicativo perciò utilizzabile nell'analisi idrologica.

Di seguito vengono riportate le formule utilizzate e il risultato grafico.

$$u_i = \Phi^{-1}(F(\ln(x_i)))$$

Equazione 10- Variabile ridotta Log-Normale

Parametri(M)

$$\hat{\theta}_1 = \ln \bar{x} - 1/2 \ln(1 + s^2/\bar{x}^2)$$

$$\hat{\theta}_2 = \sqrt{\ln(1 + s^2/\bar{x}^2)}$$

Parametri(LM)

$$\hat{\theta}_1 = \ln l_1 - \theta_2^2/2$$

$$\hat{\theta}_2 = \sqrt{2}\Phi^{-1}\left(\frac{1+l_2/l_1}{2}\right)$$

Equazione 11- Parametri Distribuzione Log-Normale

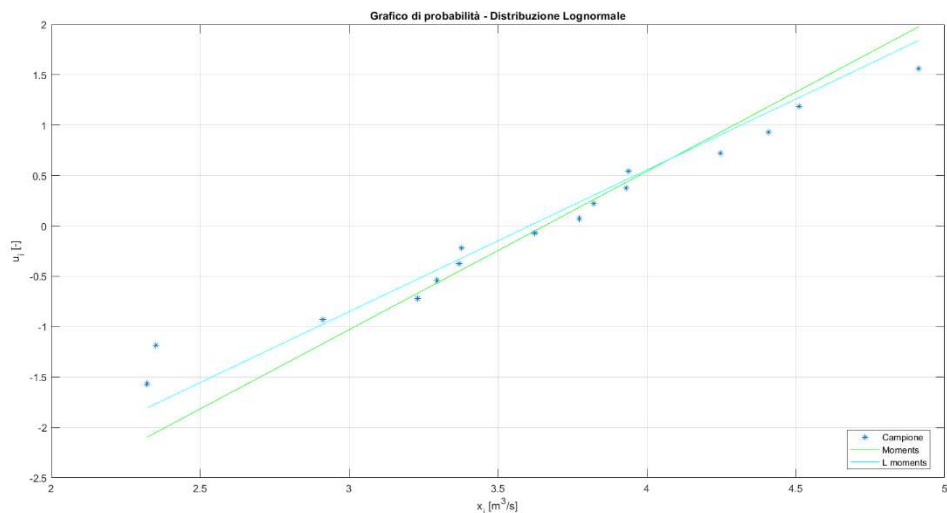


Figura 39- Distribuzione Log-Normale

7.2.5. Test di adattamento

Il numero di dati a disposizione non è elevato e ciò fa sì che, a livello visivo, non ci sia una netta distinzione nell'adattabilità di una distribuzione rispetto ad un'altra. In assenza quindi di una "scrematura" primaria, si procede a verificare la bontà del modello probabilistico tramite due test, applicati a tutte le distribuzioni analizzate:

- Test di Pearson (o χ^2)
- Test di Anderson-Darling

Il test di Pearson consiste nell'impostare un'ipotesi H_0 , definita come "il campione è estratto da una data distribuzione con dati valori dei parametri".

Successivamente vengono definiti alcuni parametri che saranno utili a capire se il test è stato superato o no:

- n = dimensione del campione = 16 anni
- k = numero di classi = 6 da Equazione 2
- O_i = numero di elementi che ricadono all'interno della i -esima classe
- E_i = frequenza attesa nella i -esima classe se H_0 fosse vera
- q_i = probabilità associate alla i -esima classe
- n_p = numero di parametri stimati per ogni distribuzione in esame
- α = *level of significance* = 5% al fine di evitare errori di falso positivo o falso negativo del test.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

Equazione 12- Pearson

$$\chi_{lim}^2 = \chi^2(k - n_p - 1; \alpha)$$

Equazione 13- Limiti di accettazione Pearson

Se $\chi^2 \leq \chi_{lim}^2$ l'ipotesi H_0 viene accettata e la distribuzione viene valutata come adatta a rappresentare il campione di dati.

In seguito, viene applicato il test di Anderson- Darling alle distribuzioni che superano il test di Pearson. Questo test, a differenza del precedente, non si basa su una suddivisione in classi ma sulle funzioni di distribuzione cumulative. Questo permette di non perdere informazioni a causa della suddivisione e di avere un'analisi dell'efficienza della distribuzione più accurata.

$$A^2 = -n - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \{ (2i-1) \cdot \ln[P(x_{(i)})] + (2n+1-2i) \cdot \ln[1-P(x_{(i)})] \}$$

Equazione 14- Anderson-Darling

- $x_{(i)}$ elemento del campione, ordinato in modo crescente
- $P(x_{(i)})$ probabilità che $x_{(i)}$ ha di essere testato

Il test risulta superato se $A^2 \leq A_{lim}^2$, con A_{lim}^2 che dipende dalla distribuzione testata.

In mancanza di A_{lim}^2 , si può calcolare una variabile addizionale ω , definita come:

- $\omega = 0.0403 + 0.116 \left(\frac{A^2 - \xi_p}{\beta_p} \right)^{\frac{\eta_p}{0.861}}$ se $1.2\xi_p \leq A^2$
- $\omega = 0.0403 + 0.116 \left(\frac{0.2\xi_p}{\beta_p} \right)^{\frac{\eta_p}{0.861}}$ se $1.2\xi_p > A^2$

Dove i coefficienti sono definiti come riportato dalla tabella sottostante e $\omega_{lim}=0.461$ per $\alpha=0.05$ e il test risulta superato se $\omega < \omega_{lim}$.

Table 3. Coefficients to Be Set in Equation (11) for the Anderson-Darling Statistic, Asymptotic Case^a

Distribution ^b	ξ_p	β_p	η_p
EV1 and EV2	0.169	0.229	1.141
NORM and LN	0.167	0.229	1.147
GEV ^c	$0.147 (1 + 0.13 \hat{\theta}_3 + 0.21 \hat{\theta}_3^2 + 0.09 \hat{\theta}_3^3)$	$0.189 (1 + 0.20 \hat{\theta}_3 + 0.37 \hat{\theta}_3^2 + 0.17 \hat{\theta}_3^3)$	$1.186 (1 - 0.04 \hat{\theta}_3 - 0.04 \hat{\theta}_3^2 - 0.01 \hat{\theta}_3^3)$
GAM and LP3 ^d	$0.145 (1 + 0.17 \hat{\theta}_3^{-1} + 0.33 \hat{\theta}_3^{-2})$	$0.186 (1 + 0.34 \hat{\theta}_3^{-1} + 0.30 \hat{\theta}_3^{-2})$	$1.194 (1 - 0.04 \hat{\theta}_3^{-1} - 0.12 \hat{\theta}_3^{-2})$

^aHere $\hat{\theta}_3$ is an asymptotic efficient estimator (usually maximum likelihood) of the shape parameter of the distribution.

^bFor tests of the EV2, LN, and LP3 distributions the data must be preliminarily log transformed.

^cFor the GEV distribution, if $\hat{\theta}_3 > 0.5$, $\hat{\theta}_3 = 0.5$ must be set in the regressions.

^dFor the GAM and LP3 distributions, if $\hat{\theta}_3 < 2$, $\hat{\theta}_3 = 2$ must be set in the regressions.

(EV1 is Gumbel)

Tabella 4- Coefficienti Anderson- Darling

La Tabella 5 riassume graficamente i risultati ottenuti dopo aver eseguito entrambi i test per ogni distribuzione analizzata, permettendo così di escludere alcune distribuzioni per la elaborazione dei dati. Le distribuzioni che hanno superato entrambi i test sono Gumbel, Normale e Log-Normale.

	DISTRIBUZIONE			
TEST	Esponenziale	Gumbel	Normale	LogNormale
Pearson				
Anderson-Darling				

Tabella 5- Risultati dei test

LEGENDA

	Superato
	Non superato

Il fatto che più di una distribuzione superi i test è un fenomeno normale per questo tipo di analisi. Questa caratteristica dipende principalmente dal limitato numero di dati a disposizione e dall'incertezza intrinseca delle misure che, durante eventi estremi, tende ad aumentare

7.2.6. Portate di progetto

L'obiettivo di questa analisi statistica è quello di determinare delle portate di piena con diversi tempi di ritorno, al fine di stimare al meglio le condizioni critiche del torrente Gesso e, successivamente, osservarne il comportamento in tali condizioni.

Avendo tre distribuzioni adatte a rappresentare il campione di dati a disposizione, si è scelto di ricavare i valori delle portate come media tra i risultati ottenuti dalle suddette distribuzioni, in modo tale da evitare situazioni di sovradimensionamento, in caso di costruzioni di opere in funzione della portata ricavata, e relativi costi elevati. Se si fosse scelto un approccio più cautelativo si sarebbe dovuto scegliere il massimo valore di portata ottenuto.

I tempi di ritorno delle piene che sono stati analizzati in questa fase sono 10, 50 e 200, in modo tale da caratterizzare il comportamento del torrente in condizioni più o meno critiche.

T [anni]			10	50	200
Q [mc/s]	Moments	Gumbel	91.0	134.0	170.4
		Normale	90.2	113.0	133.5
		LogNormale	87.4	142.8	199.1
	L- Moments	Gumbel	91.3	134.7	171.4
		Normale	88.7	113.7	130.5
		LogNormale	91.5	158.3	229.4
			91	133	173

Tabella 6- Portate di piena

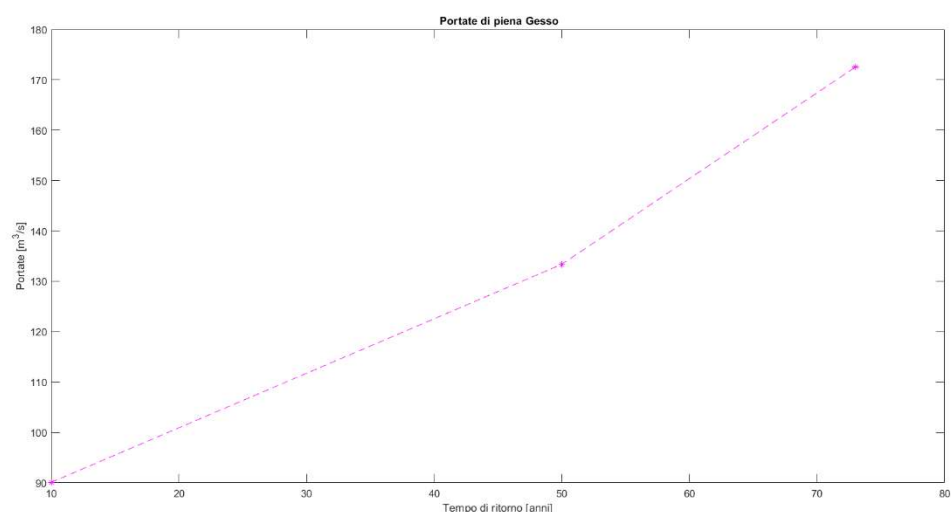


Figura 40- Rappresentazione grafica portate di piena

7.3. Modellazione in HEC-RAS

Il passo successivo all'analisi statistica consiste nell'adoperare software di modellazione come QGIS ed HEC-RAS al fine di osservare graficamente e tramite simulazioni il comportamento del corso d'acqua. Per fare ciò si è fatto uso di due DTM diversi: il primo, con risoluzione minore ma con area maggiore, dal Geoportale della Regione Piemonte, mentre il secondo delle ortofoto ottenute dall'impresa bovesana *AS Rilievi* su commissione di ACDA, in seguito all'evento del 18 agosto 2024, con risoluzione maggiore ma area inferiore.

I DTM sono stati poi riportati su QGIS, al fine di inserirli nel loro contesto territoriale. Dalla *Figura 41* e dalla *Figura.42* si può notare che entrambe le immagini comprendono una parte del Gesso, vegetazione di diverse altezze, edifici e tratti stradali della Strada Provinciale 22 e della Strada Provinciale 108.

Essendo immagini di tipo DTM, se si crea una sezione si ottiene unicamente il profilo della quota del terreno, mentre l'altezza degli edifici e della vegetazione non vengono considerate.

Il tratto di torrente mostrato di seguito ha una lunghezza complessiva di circa 2,0 km, costeggia la SP22 e si estende, approssimativamente, dalla Cappella di San Giovanni Battista, nel Comune di Valdieri, alla zona relativa al ponte di Andonno.



Figura 41- Area DTM Geoportale

Il tratto di torrente mostrato nella figura sottostante, invece, ha una lunghezza complessiva di circa 800 m, costeggia la SP22 e si estende, approssimativamente, da poco più a monte dell'inizio del ramo secondario alla zona relativa al ponte di Andonno.



Figura.42- Area DTM AS Rilievi

Successivamente i DTM sono stati riportati su due progetti differenti di HEC-RAS al fine di iniziare la parte di modellazione vera e propria, andando a definire l'andamento del Torrente tramite l'asse del ramo principale e alcune sezioni. Di seguito sono riportate le aree relative ai DTM sul programma di modellazione statunitense, i colori diversi sono dovuti a scale diverse relative alle altezze.

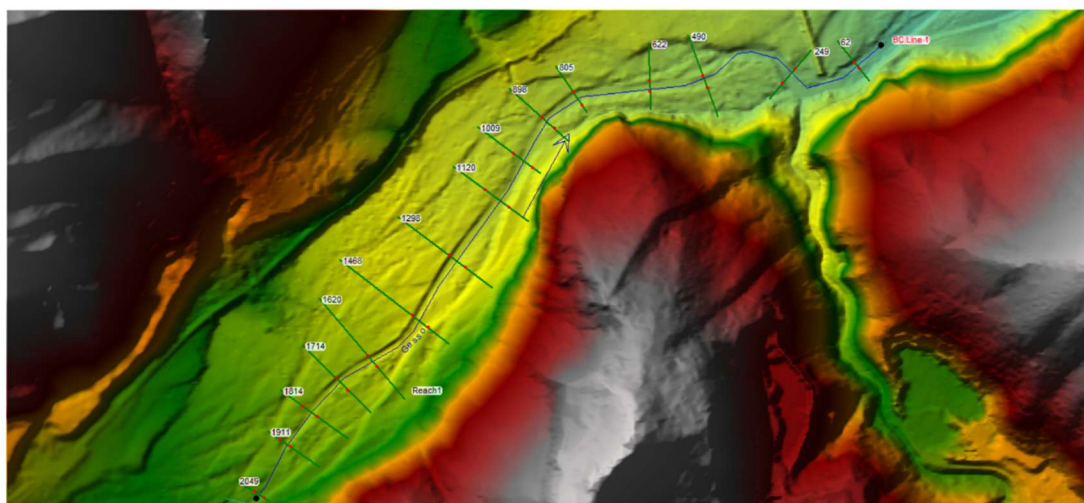


Figura 43- Terrain Model STM Geoportale

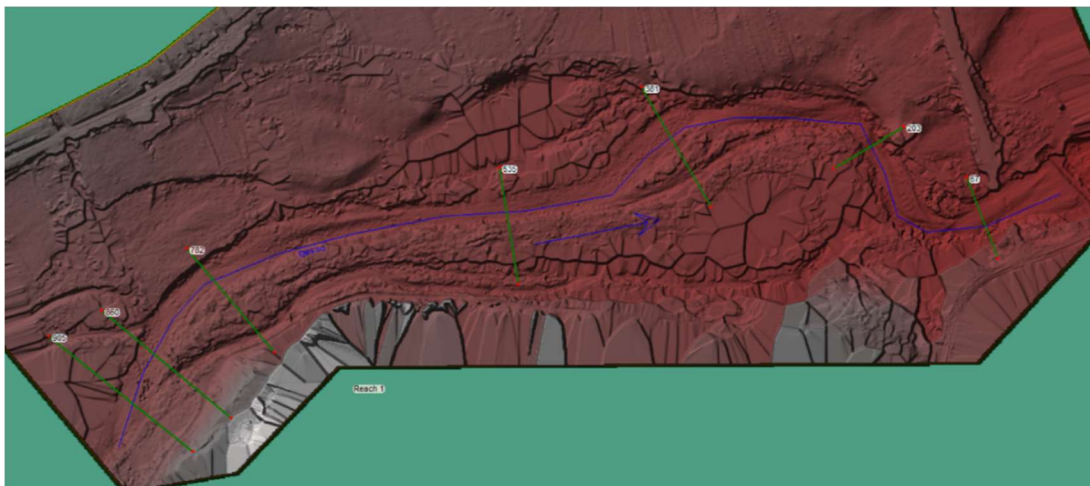


Figura 44- Terrain Model DTM AS Rilievi

Al fine della modellazione idraulica si è scelto di considerare valori di portata che caratterizzassero il più possibile i vari comportamenti dell'affluente dello Stura di Demonte, sulla base delle analisi statistiche sviluppate nel capitolo 7.2.

Periodo	1 giorno	1 anno	10 anni	50 anni	200 anni
Q [mc/s]	5	47	91	133	173

Tabella 7- Portate osservate

Ulteriori informazioni, che permettono una rappresentazione più vicina alla situazione reale del corso d'acqua sono i valori di pendenza del canale principale e il coefficiente di Manning.

Per il valore della pendenza relativa alla zona in esame si sono presi in considerazione due valori: il valore indicato nella scheda del “Gesso ad Andonno” dell’“Atlante dei bacini imbriferi piemontesi” relativo alla LDP¹⁰ (*longest drainage path*) e la pendenza media del Torrente Gesso nell’area in esame. La prima, per quanto riguarda il torrente cuneese, è pari a 0.1 mentre la seconda è stata ricavata dai valori relativi alla Figura 45 applicando l’equazione di seguito e pari a 0.01.

$$S = \frac{\Delta H}{L}$$

Equazione 15- Pendenza media

Nell’Equazione 15 vengono indicati con S, L e ΔH rispettivamente la pendenza media, la lunghezza e la differenza di quota del tratto in esame in località Andonno.

¹⁰ La LDP è “la distanza che intercorre tra la sezione di chiusura ed il punto più lontano da essa, posto sul bordo del bacino, misurata seguendo le direzioni di drenaggio. Essa coincide per la maggior parte del suo percorso con l’asta principale”.

Per la modellazione del comportamento del Torrente in HEC-RAS si è scelto di adottare la seconda in quanto più rappresentativa del caso in esame.

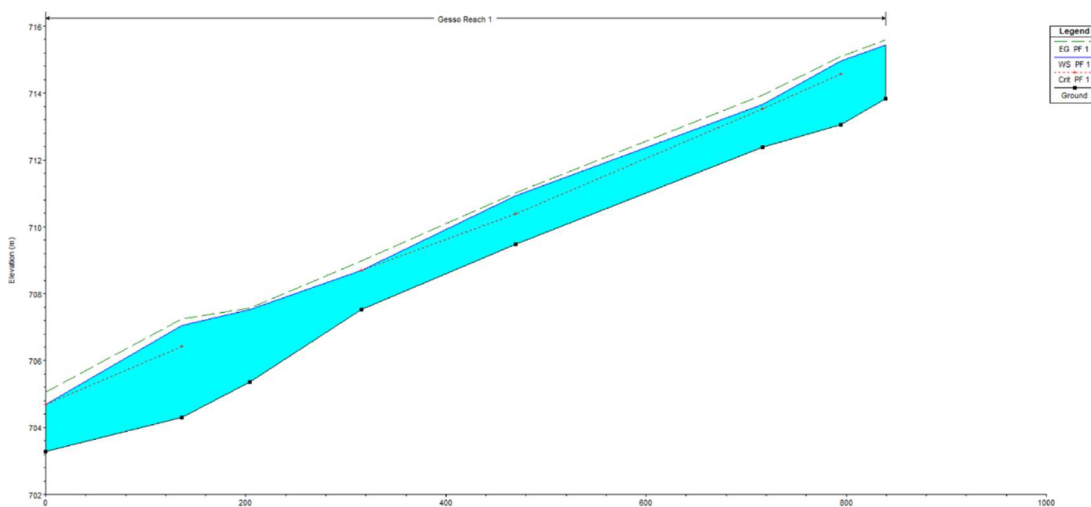


Figura 45- Grafico pendenza Torrente Gesso

Il coefficiente di Manning, invece, è un parametro utilizzato per misurare la scabrezza in un corso d'acqua. Un valore più alto indica una maggiore scabrezza, quindi una maggiore resistenza al flusso e una minore velocità dell'acqua. Questo coefficiente varia a seconda delle caratteristiche dell'alveo, come il tipo di fondo, la presenza di vegetazione o la regolarizzazione artificiale delle sponde. Il coefficiente di scabrezza varia in un intervallo compreso approssimativamente tra 0.010, per superfici artificiali in cemento, e 0.1, per alvei naturali con presenza di arbusti.

Come si può notare dalle figure sottostanti, l'alveo del torrente Gesso è caratterizzato da un andamento mediamente tortuoso, fondo con ghiaia e massi di medie dimensioni e presenza di vegetazione, sia per quanto riguarda il ramo principale sia per il ramo secondario. Il coefficiente di Manning ipotizzato, in seguito alle precedenti considerazioni e su riferimento della *Tabella 8*, equivale a $0.06 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$.

Coeff. Manning	Descrizione alveo
0,012	Artificiale, regolato con sponde in cemento
0,020	Artificiale, letto ghiaioso e sponde in cemento
0,023	Letto ghiaioso e sponde in pietra
0,033	Letto ghiaioso e sponde in scogliera
0,030	Naturale, con sponde regolari prive di vegetazione
0,040	Naturale, sponde irregolari prive di vegetazione
0,050	Naturale, con sponde irregolari ed inerbite
0,100	Naturale, con sponde ricoperte da arbusti

Tabella 8- Coefficienti di Manning (Fonte: PoliBA)



Figura 46- Alveo principale

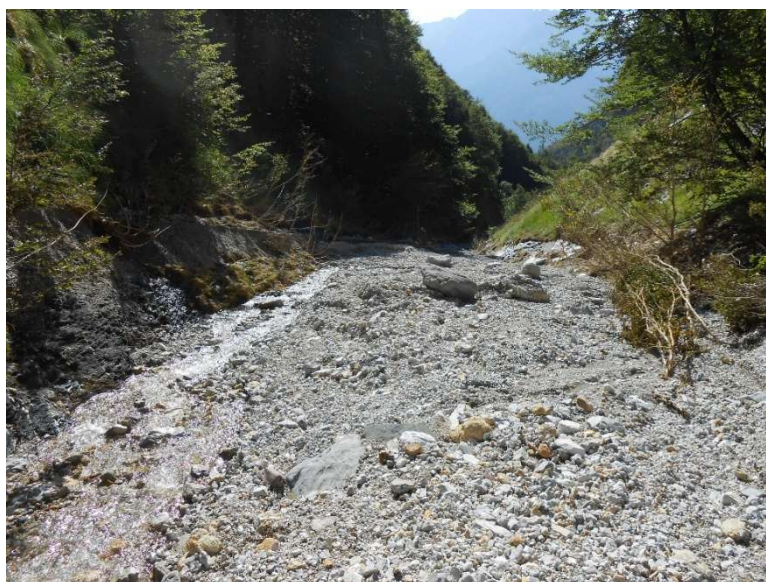


Figura 47- Alveo secondario

7.3.1. Modello 1D

La prima parte relativa alla modellazione è stata fatta in condizione di moto stazionario e monodimensionale, al fine di avere delle informazioni preliminari e di più immediata realizzazione.

Da questo punto in poi la modellazione relativa al DTM del Geoportale verrà denominato “Torrente Gesso”, mentre quello di AS Rilievi sarà “Dettaglio foce”, per maggiore chiarezza e scorrevolezza nella lettura.

7.3.1.1. Torrente Gesso

Lo scopo di questa modellazione è quello di avere un’idea preliminare di come e quando il ramo secondario si attiva con conseguente riversamento nel ramo principale.

Per raggiungere l’obiettivo sono state analizzate diverse situazioni caratterizzate da portate diverse. Nel capitolo precedente avevamo selezionato cinque portate, riportate poi nella *Tabella 7*.

Dopo una prima modellazione del flusso monodimensionale all’interno dell’alveo, si è deciso di escludere, momentaneamente, le portate con tempo di ritorno maggiore o uguale a 50 anni e di rimanere su flussi più ordinari, aggiungendo anche situazioni intermedie con portate di $20 \text{ m}^3/\text{s}$ e $70 \text{ m}^3/\text{s}$.

Di seguito sono riportati e descritti i risultati della modellazione. La linea blu scuro indica il percorso del Torrente in condizioni normali, le linee verdi sono le sezioni perpendicolari al corso del fiume create con lo scopo di analizzare meglio il comportamento del corso d’acqua e, in azzurro chiaro la posizione dell’acqua.

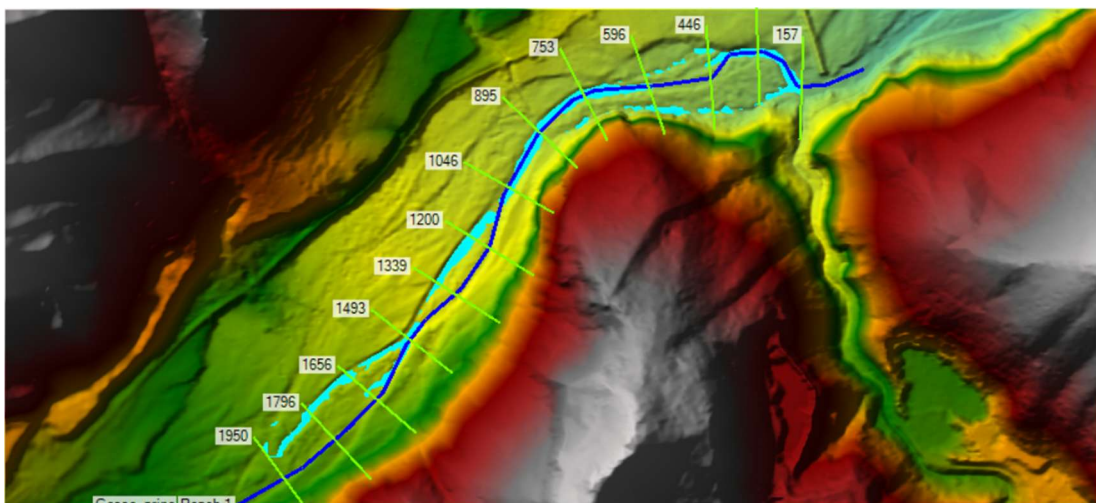


Figura 48- Gesso 1D con $Q = 5 \text{ m}^3/\text{s}$

Quando la portata è di $5 \text{ m}^3/\text{s}$ l'acqua scorre principalmente nell'alveo principale, mentre nei rami secondari si formano dei ristagni d'acqua a causa della bassa velocità del flusso e della presenza di ostacoli, depressioni o vegetazione.

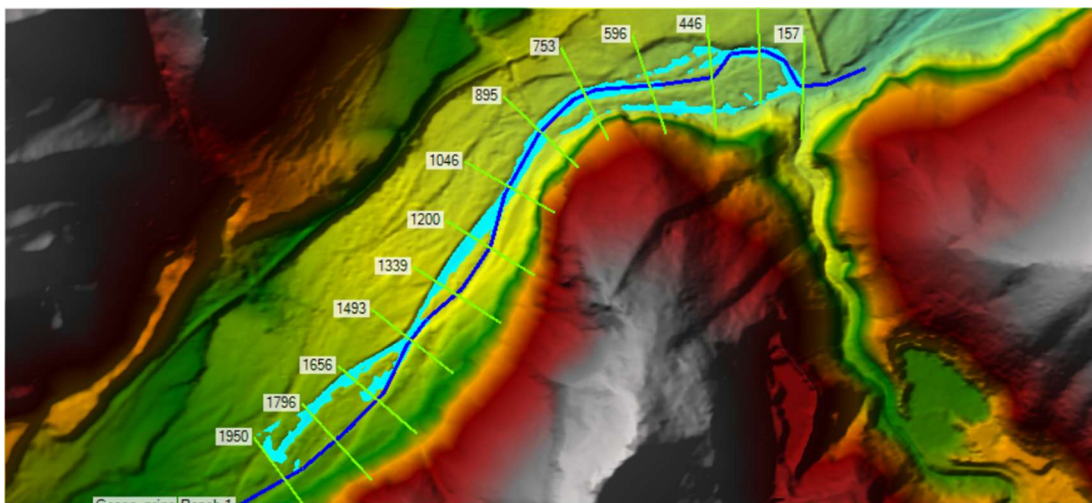


Figura 49- Gesso 1D con $Q = 20 \text{ m}^3/\text{s}$

In seguito, si aumenta la portata a $20 \text{ m}^3/\text{s}$, l'acqua continua a scorrere prevalentemente nell'alveo principale mentre nei rami secondari si formano più ristagni d'acqua e alcuni rami secondari più piccoli si attivano.

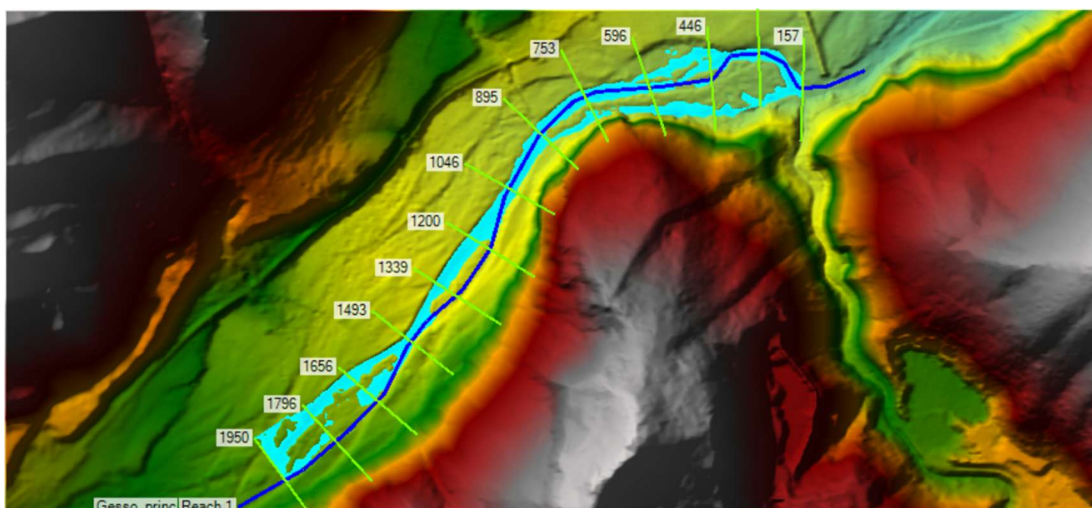


Figura 50- Gesso 1D con $Q = 47 \text{ m}^3/\text{s}$

Con una portata pari a $47 \text{ m}^3/\text{s}$ si ottiene una situazione quasi di piena, con l'alveo principale occupato dall'acqua nella sua interezza e la maggior parte dei rami secondari attivi. Il ramo secondario di nostro interesse è attivo in parte: il tratto finale del suo letto è infatti ancora libero dall'acqua.

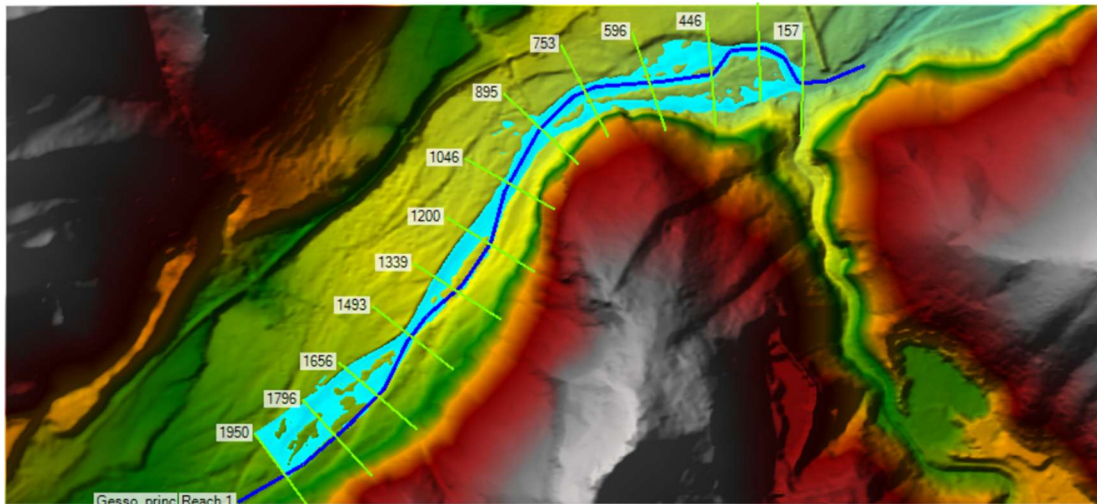


Figura 51- Gesso 1D con $Q = 91 \text{ m}^3/\text{s}$

Quando la portata del Torrente raggiunge i $91 \text{ m}^3/\text{s}$, valore che è associato ad un tempo di ritorno di 10 anni, si ottiene una situazione di piena, con l'alveo principale occupato dall'acqua nella sua interezza e i rami secondari attivi, compreso quello in esame.

7.3.1.2. Dettaglio foce

Si vuole ora modellare una porzione più piccola del corso del Torrente Gesso, in particolare la parte di sistema in cui si ha inizio e fine del ramo secondario.

Tale modellazione può aiutare a capire meglio il momento di attivazione del ramo in esame e si prendono in considerazione soltanto le situazioni aventi le portate pari a $47 \text{ m}^3/\text{s}$ e $91 \text{ m}^3/\text{s}$.

Come si può notare dalla *Figura 52* e dalla *Figura 53*, in basso a sinistra, il ramo secondario presenta dell'acqua che scorre al suo interno in entrambi i casi.

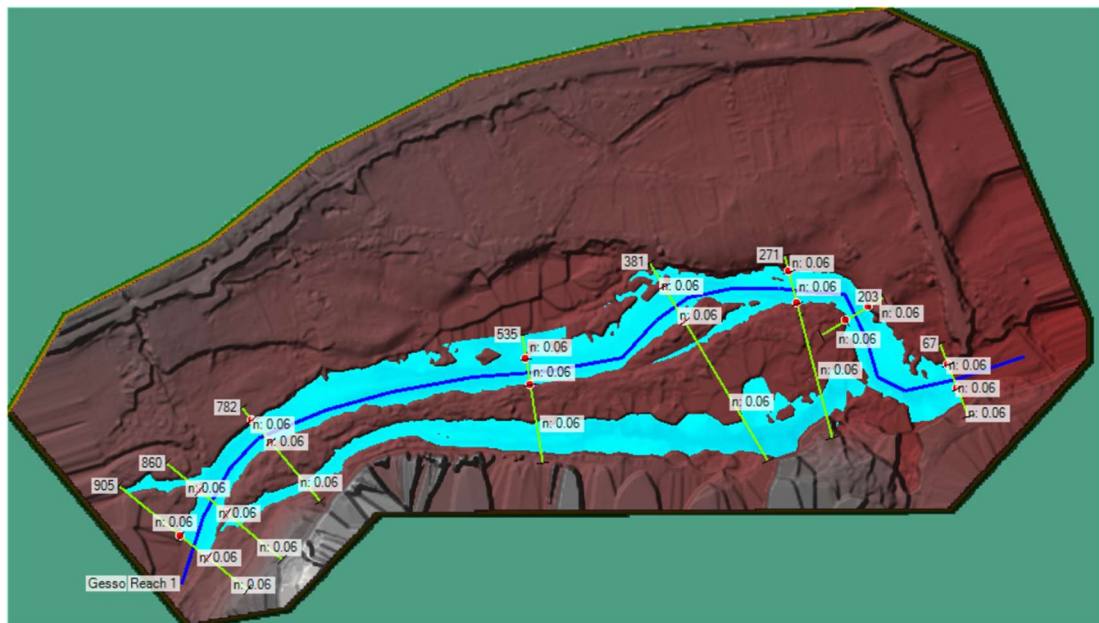


Figura 52- Foce 1D con $Q=47 \text{ m}^3/\text{s}$

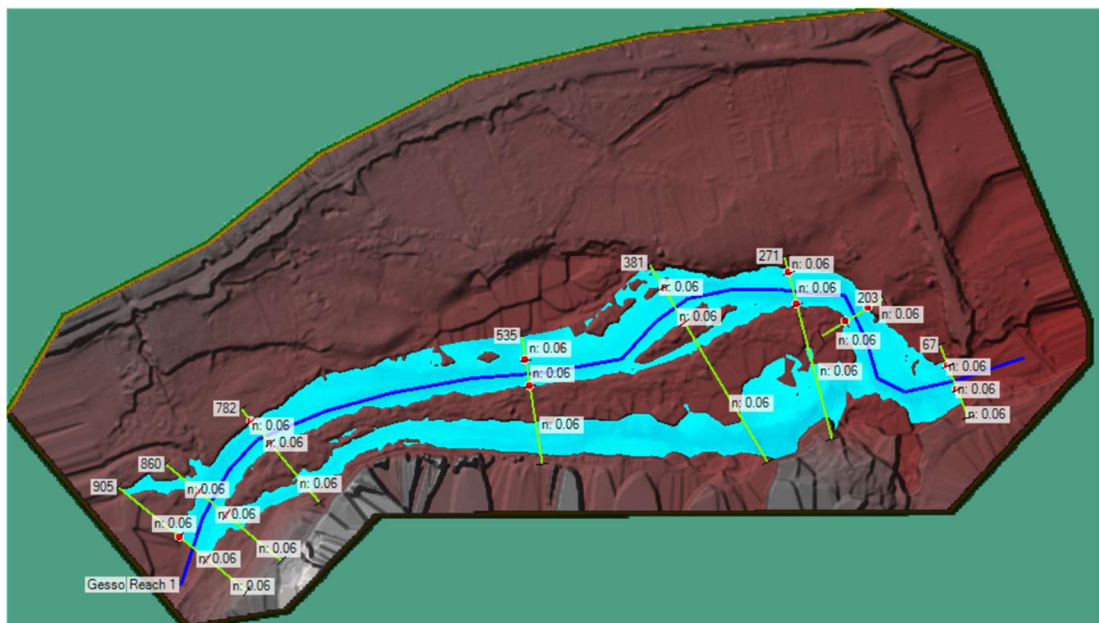


Figura 53- Foce 1D con $Q=91 \text{ m}^3/\text{s}$

Successivamente si osserva il profilo della sezione n. 860, prossima al punto in cui i due rami interagiscono per entrambe le situazioni di portata per valutare, a livello di altezza dello strato d'acqua, se la portata è sufficiente o meno.

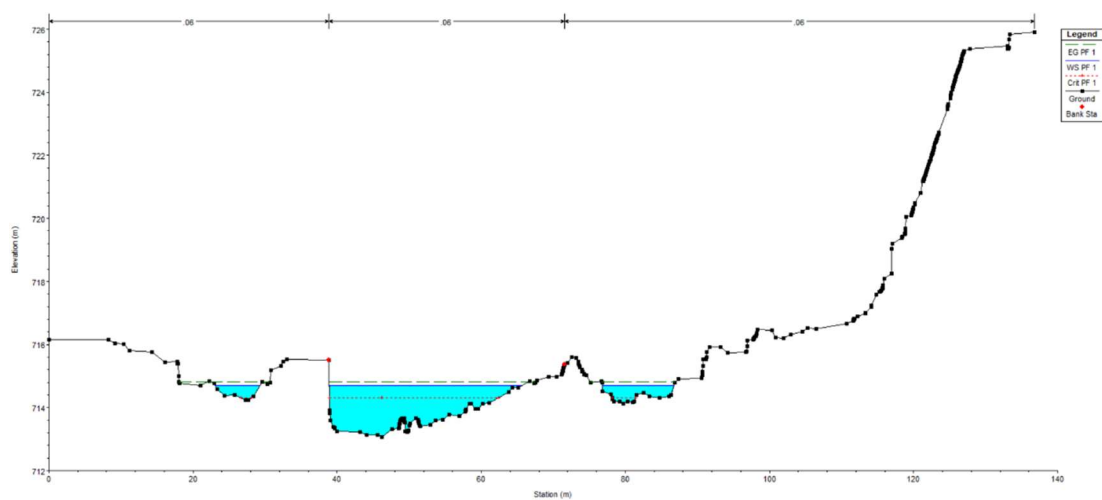


Figura 54- Sezione 860 Foce con $Q= 47 \text{ m}^3/\text{s}$

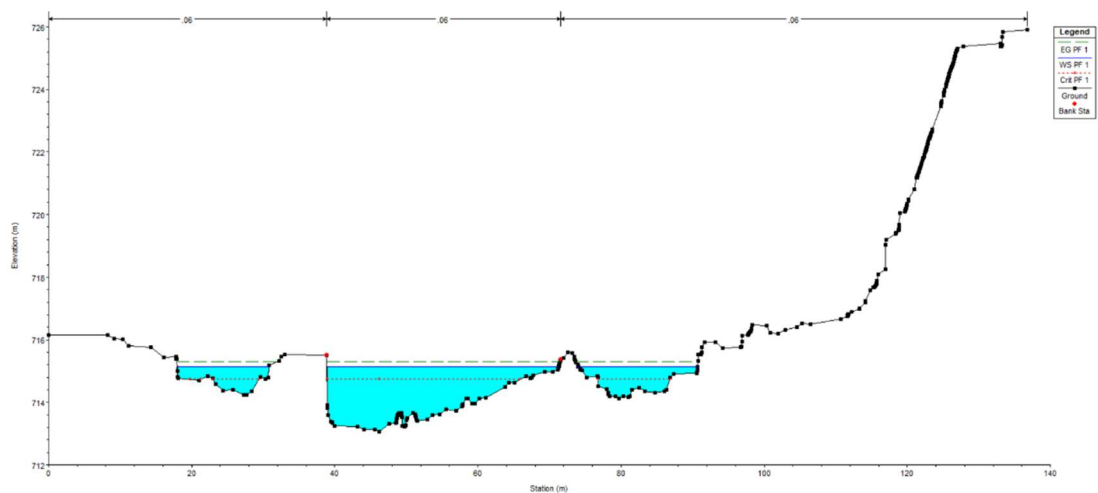


Figura 55- Sezione 860 Foce con $Q=91 \text{ m}^3/\text{s}$

Da quest'analisi grossolana si può considerare $91 \text{ m}^3/\text{s}$ come portata di attivazione del canale in quanto con il flusso pari a $47 \text{ m}^3/\text{s}$ il livello dell'acqua all'interno del ramo secondario è minimo e quindi considerato insufficiente per raggiungere e influire significativamente con l'acqua presente nel Torrente. A sostegno dell'osservazione vi è anche il fatto che la portata di $47 \text{ m}^3/\text{s}$ è la media dei massimi annuali quindi ci si aspetta che non attivi il ramo sotto osservazione.

Il livello del pelo libero nel ramo principale, per la portata selezionata, equivale a circa 1.9 m di altezza e 0.9 nel ramo secondario.

A complemento delle simulazioni appena eseguita si vuole ancora valutare se una portata intermedia rispetto alle due situazioni precedenti, potrebbe causare l'attivazione del canale: un flusso d'acqua pari a $70 \text{ m}^3/\text{s}$.

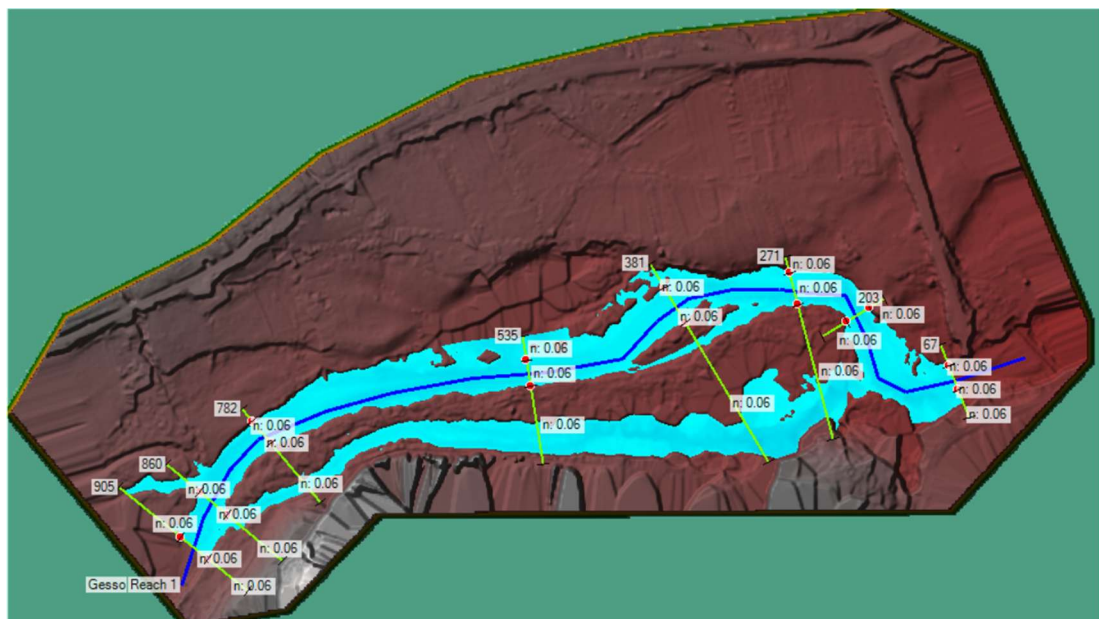


Figura 56- Foce 1D con $Q=70 \text{ m}^3/\text{s}$

Nella *Figura 57* è riportata la relativa sezione 860 e da questa si può notare come l'altezza del pelo libero nel canale sia circa 1.7 m e nel ramo 0.7 m

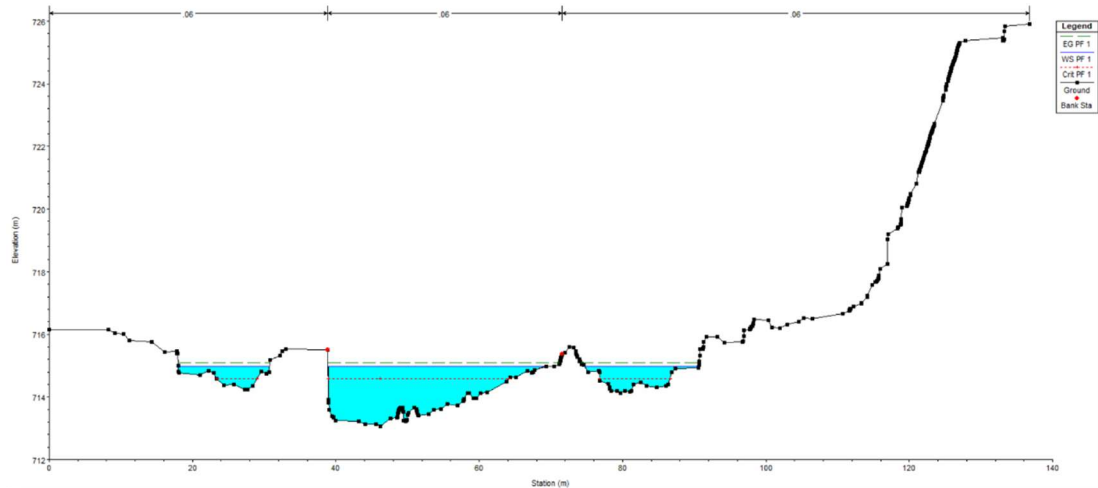


Figura 57- Sezione 860 Foce con $Q= 70 \text{ m}^3/\text{s}$

Per quanto riguarda le altezze sopracitate è importante sottolineare che si riferiscono al profilo del terreno l'altezza del materiale grossolano presente sul letto del fiume.

Se si ipotizza che la corazzatura/ *armouring* del letto del torrente, con ghiaia di circa 30 mm di diametro, si otterranno altezze pari a:

- 1,3 m per $47 \text{ m}^3/\text{s}$;
- 1,6 m per $70 \text{ m}^3/\text{s}$;
- 1,8 m per $91 \text{ m}^3/\text{s}$.

L'altezza dello strato protettivo dell'alveo, formato dalla ghiaia di media pezzatura, quindi è stato assunto pari a 100 mm totali.



Figura 58- Materiale sciolto alveo

Il problema di queste simulazioni consiste nel fatto che il software simula un comportamento teorico che nella realtà non si presenta, cioè ha un'espansione laterale in direzione del ramo secondario dell'acqua sin dalle prime portate e ciò si può notare dalle situazioni di “ponding¹¹” che si vengono a creare anche con una portata media giornaliera di $5 \text{ m}^3/\text{s}$, come si può notare dalla *Figura 48*.

Per porre rimedio a tale problematica si è deciso di modellare lo sbarramento citato al Capitolo 5.

¹¹ Con il termine “ponding” si intende un ristagno di acqua superficiale localizzato

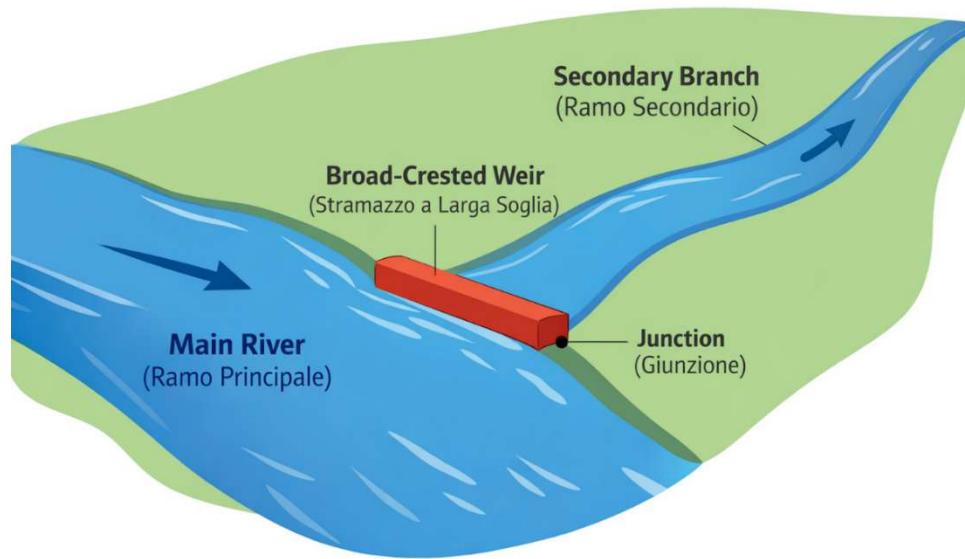


Figura 59- Schema concettuale sbarramento creato con IA

Lo sbarramento in questione, viene modellato in HEC-RAS come “stramazzo a larga soglia”, posto a qualche metro di distanza dal ramo principale, con una larghezza di circa 7 m, un’altezza di 1.30 m e spessore 1 m.

Tale sbarramento permette di avere un tempo di attivazione e una portata più realistica all’interno del ramo secondario rispetto a quanto visto precedentemente.

7.3.2. Sbarramento a larga soglia

Di seguito viene riportato una parte del “Dettaglio foce” in cui è stato inserito lo sbarramento citato al Capitolo 5, con il fine di limitare la portata entrante nel ramo secondario del Torrente e i conseguenti, ipotetici, problemi annessi.

Lo sbarramento è di tipo laterale la cui posizione ipotizzata è mostrata in *Figura 61*, con forma trapezoidale le cui dimensioni sono riportate nello schema grafico successivo.

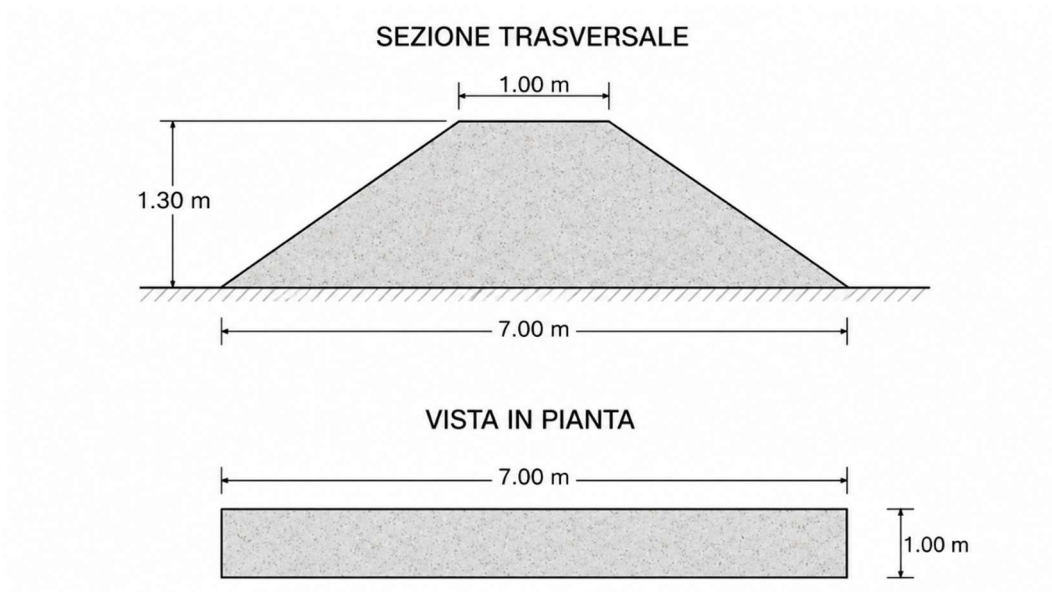


Figura 60- Schema grafico sbarramento

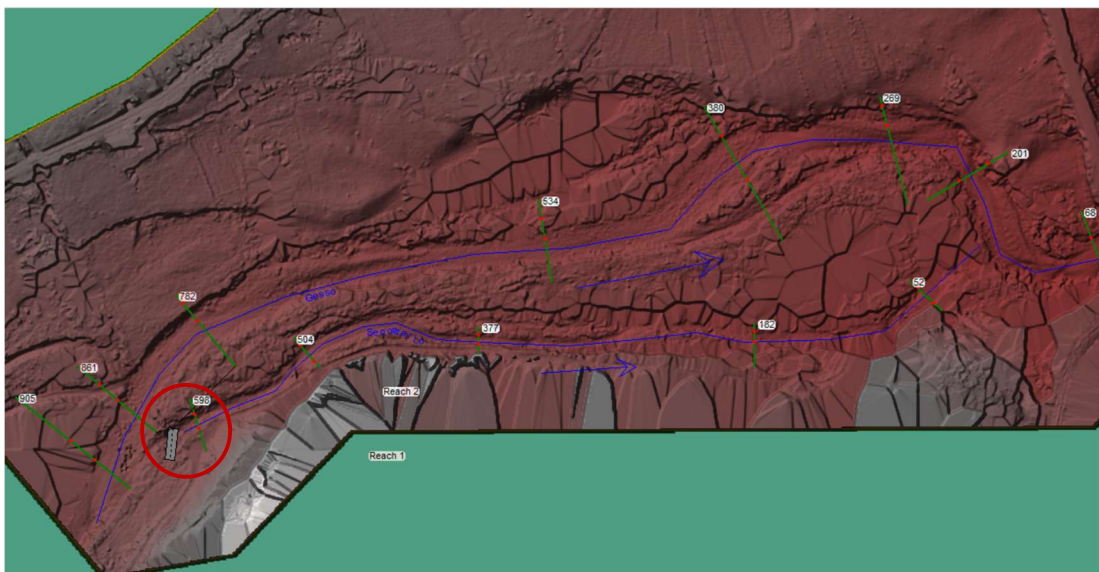


Figura 61- Dettaglio stramazzo a larga soglia

In HEC-RAS si è scelto di adottare un “*Weir coefficient*” (C) pari a 1.6 in quanto generalmente i valori variano da 1.4 (bassa efficienza) a 1.7 (alta efficienza) e si è preferito optare per un valore pressoché medio.

La portata di sfioro calcolata dal programma statunitense segue la formula:

$$Q = C L H^{3/2}$$

Equazione 16- Portata sfiorata

Dove per Q si intende la portata espressa uscente [m³/s], C è il *weir coefficient* citato sopra [m^{0.5}/s], L è la lunghezza efficace dello stramazzo [m] e H è l’energia specifica sopra la cresta [m].

Al fine di modellare in modo più accurato il comportamento del sistema in analisi, si è scelto di modellare anche il ramo secondario attribuendogli pendenza e coefficiente di Manning pari a quello del ramo principale. Per quanto riguarda la portata, questa dipenderà da quella sfiorata dalla sommità dello sbarramento a larga soglia.

L’iter seguito, perciò, è stato:

1. modellare il ramo principale;
2. inserire lo sbarramento all’inizio del ramo secondario;
3. prendere nota della portata sfiorata in ognuna delle situazioni analizzate;
4. modellare il ramo secondario;
5. imporre come portata del ramo secondario le varie portate “sfiorate” viste in precedenza.

Per quanto riguarda l’ultimo punto, la versione 6.6 di HEC-RAS generava un messaggio di errore se la portata del ramo secondario veniva posta uguale a 0 m³/s, si è quindi scelto di imporla pari a 0.01 m³/s, così che non andasse creata una condizione visiva di “flusso continuo”.

Lateral Structure Output			
File Type Options Help			
River:	Gesso	Profile:	PF 1
Reach:	Reach 1	RS:	863.5
		Plan:	001
Plan: 001 Gesso Reach 1 RS: 863.5 Lateral Structure Profile: PF 1			
E.G. US. (m)	714.18	Weir Sta US (m)	
W.S. US. (m)	714.10	Weir Sta DS (m)	
E.G. DS (m)	713.89	Min El Weir Flow (m)	715.30
W.S. DS (m)	713.86	Wr Top Width (m)	
Q US (m3/s)	5.00	Weir Max Depth (m)	
Q Leaving Total (m3/s)	0.00	Weir Avg Depth (m)	
Q DS (m3/s)	5.00	Weir Flow Area (m2)	
Perc Q Leaving	0.00	Weir Coef (m ^{1/2})	0.000
Q Weir (m3/s)	0.00	Weir Submerg	
Q Gates (m3/s)		Q Gate Group (m3/s)	
Q Culv (m3/s)		Gate Open Ht (m)	
Q Lat RC (m3/s)		Gate #Open	
Q Outlet TS (m3/s)	0.00	Gate Area (m2)	
Q Breach (m3/s)		Gate Submerg	
Breach Avg Velocity (m/s)		Gate Invert (m)	
Breach Flow Area (m2)		Gate Weir Coef	
Breach WD (m)			
Breach Top El (m)			
Breach Bottom El (m)			
Breach SSL (m)			
Breach SSR (m)			

Figura 62- Portata stramazzo con $Q=5 \text{ m}^3/\text{s}$

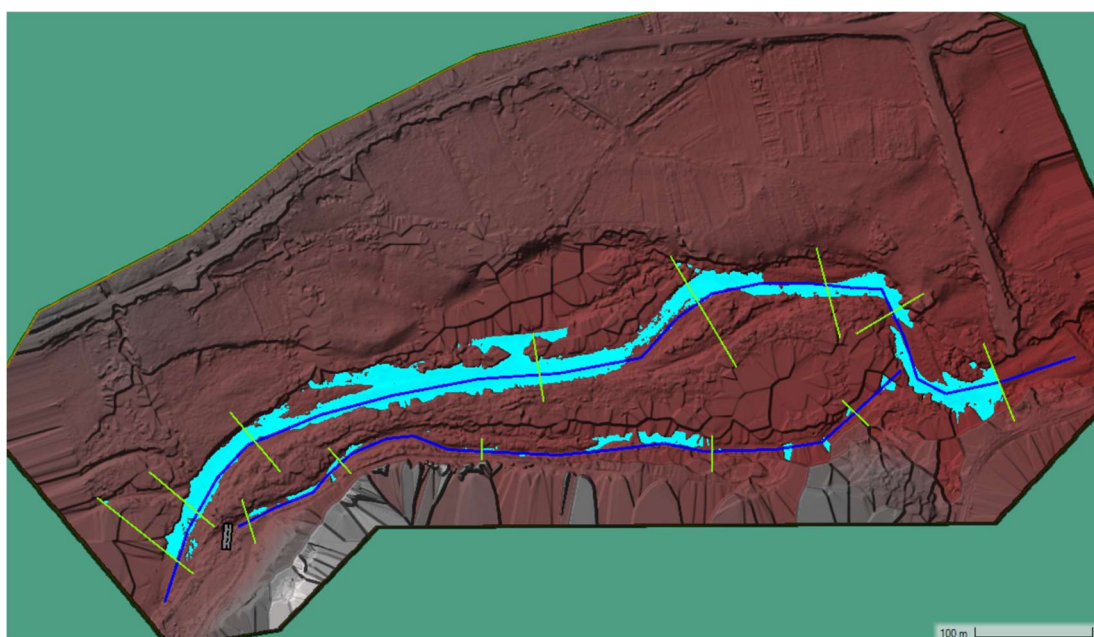


Figura 63- Situazione ramo secondario con $Q=0.01 \text{ m}^3/\text{s}$

Lateral Structure Output			
File Type Options Help			
River:	Gesso	Profile:	PF 1
Reach:	Reach 1	RS:	863.5
		Plan:	005
Plan: 005 Gesso Reach 1 RS: 863.5 Lateral Structure Profile: PF 1			
E.G. US. (m)	715.10	Weir Sta US (m)	
W.S. US. (m)	714.97	Weir Sta DS (m)	
E.G. DS (m)	714.87	Min El Weir Flow (m)	715.30
W.S. DS (m)	714.75	Wr Top Width (m)	
Q US (m3/s)	47.00	Weir Max Depth (m)	
Q Leaving Total (m3/s)	0.00	Weir Avg Depth (m)	
Q DS (m3/s)	47.00	Weir Flow Area (m2)	
Perc Q Leaving	0.00	Weir Coef (m ^{1/2})	0.000
Q Weir (m3/s)	0.00	Weir Submerg	
Q Gates (m3/s)		Q Gate Group (m3/s)	
Q Culv (m3/s)		Gate Open Ht (m)	
Q Lat RC (m3/s)		Gate #Open	
Q Outlet TS (m3/s)	0.00	Gate Area (m2)	
Q Breach (m3/s)		Gate Submerg	
Breach Avg Velocity (m/s)		Gate Invert (m)	
Breach Flow Area (m2)		Gate Weir Coef	
Breach WD (m)			
Breach Top El (m)			
Breach Bottom El (m)			
Breach SSL (m)			
Breach SSR (m)			

Figura 64- Portata stramazzo con $Q=47 \text{ m}^3/\text{s}$

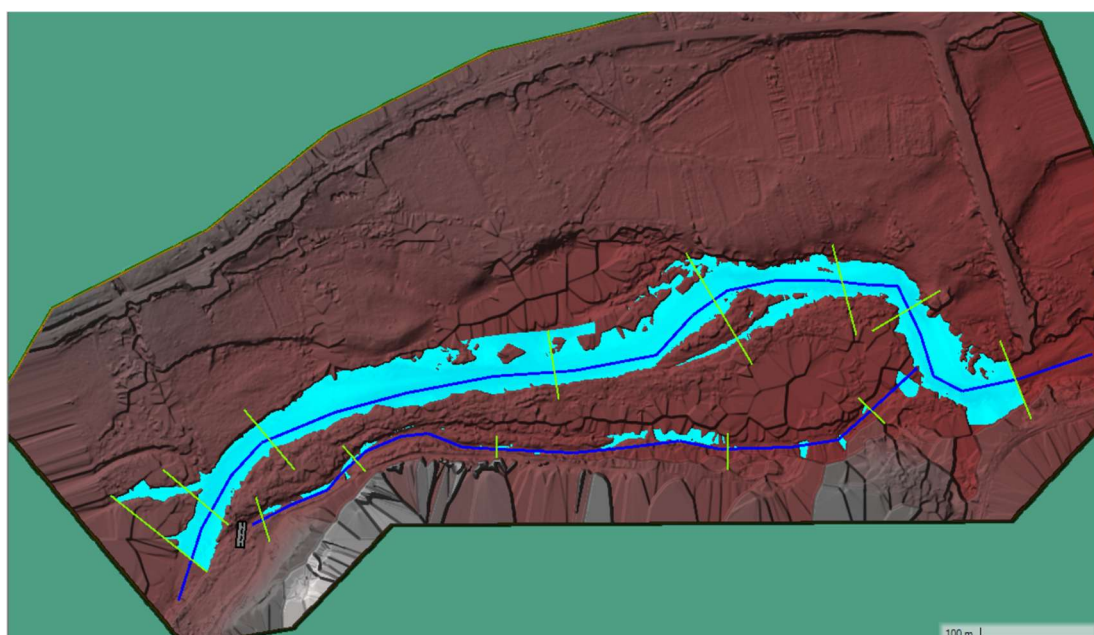


Figura 65- Situazione ramo secondario con $Q=0.01 \text{ m}^3/\text{s}$

Lateral Structure Output			
File Type Options Help			
River:	Gesso	Profile:	PF 1
Reach:	Reach 1	RS:	863.5
		Plan:	Plan_70
Plan: Plan_70 Gesso Reach 1 RS: 863.5 Lateral Structure Profile: PF 1			
E.G. US. (m)	715.37	Weir Sta US (m)	
W.S. US. (m)	715.22	Weir Sta DS (m)	
E.G. DS (m)	715.15	Min El Weir Flow (m)	715.30
W.S. DS (m)	715.02	Wr Top Width (m)	
Q US (m3/s)	70.00	Weir Max Depth (m)	
Q Leaving Total (m3/s)	0.00	Weir Avg Depth (m)	
Q DS (m3/s)	70.00	Weir Flow Area (m2)	
Perc Q Leaving	0.00	Weir Coef (m ^{1/2})	0.000
Q Weir (m3/s)	0.00	Weir Submerg	
Q Gates (m3/s)		Q Gate Group (m3/s)	
Q Culv (m3/s)		Gate Open Ht (m)	
Q Lat RC (m3/s)		Gate #Open	
Q Outlet TS (m3/s)	0.00	Gate Area (m2)	
Q Breach (m3/s)		Gate Submerg	
Breach Avg Velocity (m/s)		Gate Invert (m)	
Breach Flow Area (m2)		Gate Weir Coef	
Breach WD (m)			
Breach Top El (m)			
Breach Bottom El (m)			
Breach SSL (m)			
Breach SSR (m)			

Figura 66- portata stramazzo con $Q=70 \text{ m}^3/\text{s}$

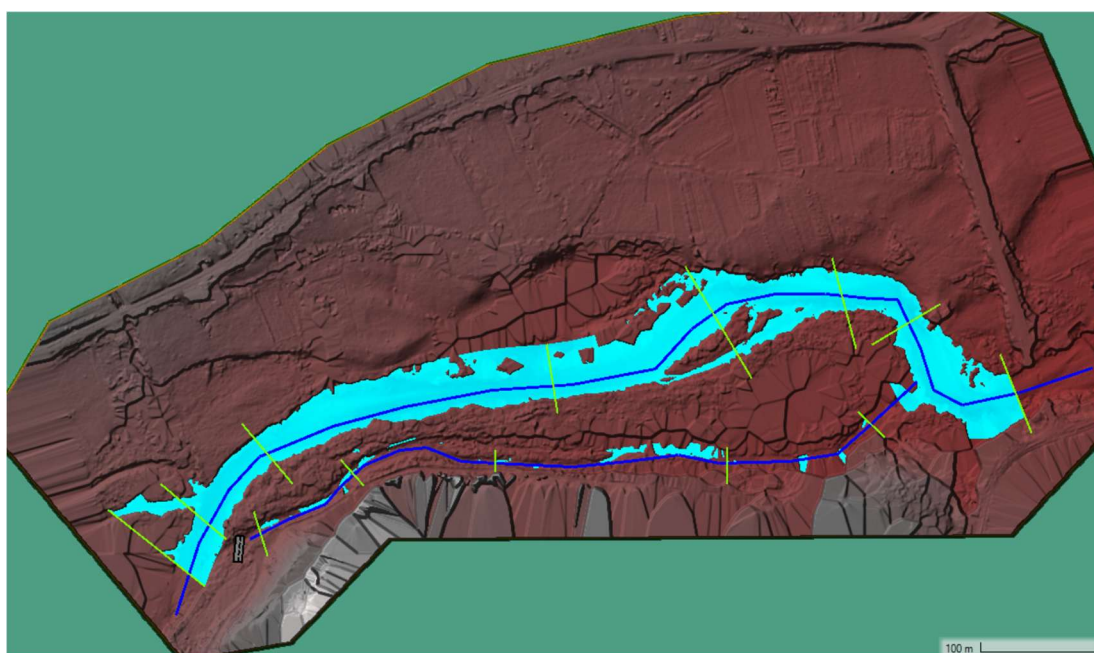


Figura 67- Situazione ramo secondario con $Q=0.01 \text{ m}^3/\text{s}$

Lateral Structure Output			
File Type Options Help			
River:	Gesso	Profile:	PF 1
Reach:	Reach 1	RS:	863.5
		Plan:	002
Plan: 002 Gesso Reach 1 RS: 863.5 Lateral Structure Profile: PF 1			
E.G. US. (m)	715.57	Weir Sta US (m)	0.00
W.S. US. (m)	715.39	Weir Sta DS (m)	20.00
E.G. DS (m)	715.34	Min El Weir Flow (m)	715.30
W.S. DS (m)	715.19	Wr Top Wdth (m)	
Q US (m3/s)	91.00	Weir Max Depth (m)	
Q Leaving Total (m3/s)	0.00	Weir Avg Depth (m)	
Q DS (m3/s)	91.00	Weir Flow Area (m2)	
Perc Q Leaving	0.00	Weir Coef (m ^{1/2})	0.000
Q Weir (m3/s)	0.00	Weir Submerg	
Q Gates (m3/s)		Q Gate Group (m3/s)	
Q Culv (m3/s)		Gate Open Ht (m)	
Q Lat RC (m3/s)		Gate #Open	
Q Outlet TS (m3/s)	0.00	Gate Area (m2)	
Q Breach (m3/s)		Gate Submerg	
Breach Avg Velocity (m/s)		Gate Invert (m)	
Breach Flow Area (m2)		Gate Weir Coef	
Breach WD (m)			
Breach Top El (m)			
Breach Bottom El (m)			
Breach SSL (m)			
Breach SSR (m)			

Figura 68- Portata stramazzo con $Q=91 \text{ m}^3/\text{s}$

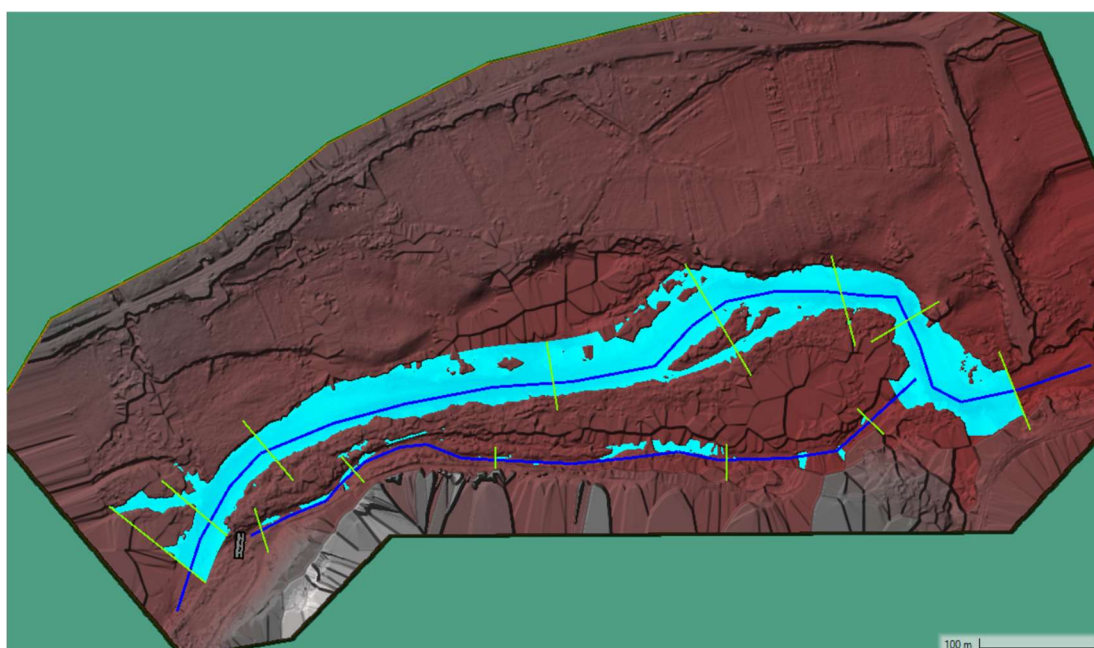


Figura 69- Situazione ramo secondario con $Q=0.01 \text{ m}^3/\text{s}$

Lateral Structure Output			
File Type Options Help			
River:	Gesso	Profile:	PF 1
Reach:	Reach 1	RS:	863.5
		Plan:	003
Plan: 003 Gesso Reach 1 RS: 863.5 Lateral Structure Profile: PF 1			
E.G. US. (m)	715.88	Weir Sta US (m)	0.00
W.S. US. (m)	715.66	Weir Sta DS (m)	20.00
E.G. DS (m)	715.64	Min El Weir Flow (m)	715.30
W.S. DS (m)	715.46	Wr Top Width (m)	20.00
Q US (m3/s)	133.00	Weir Max Depth (m)	0.36
Q Leaving Total (m3/s)	4.22	Weir Avg Depth (m)	0.26
Q DS (m3/s)	133.00	Weir Flow Area (m2)	5.11
Perc Q Leaving	3.17	Weir Coef (m ^{1/2})	1.601
Q Weir (m3/s)	4.22	Weir Submerg	0.00
Q Gates (m3/s)		Q Gate Group (m3/s)	
Q Culv (m3/s)		Gate Open Ht (m)	
Q Lat RC (m3/s)		Gate #Open	
Q Outlet TS (m3/s)	0.00	Gate Area (m2)	
Q Breach (m3/s)		Gate Submerg	
Breach Avg Velocity (m/s)		Gate Invert (m)	
Breach Flow Area (m2)		Gate Weir Coef	
Breach WD (m)			
Breach Top El (m)			
Breach Bottom El (m)			
Breach SSL (m)			
Breach SSR (m)			

Figura 70- Portata stramazzo con $Q=133 \text{ m}^3/\text{s}$

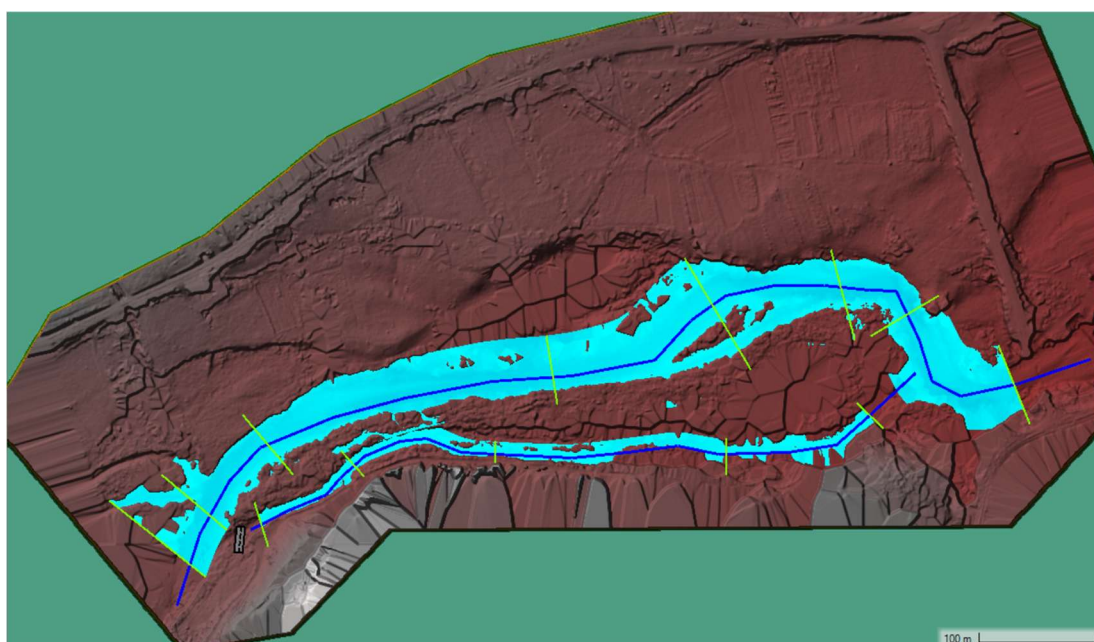


Figura 71- Situazione ramo secondario con $Q=4.22 \text{ m}^3/\text{s}$

Lateral Structure Output			
File Type Options Help			
River:	Gesso	Profile:	PF 1
Reach:	Reach 1	RS:	863.5
Plan: 004 Gesso Reach 1 RS: 863.5 Lateral Structure Profile: PF 1			
E.G. US. (m)	716.13	Weir Sta US (m)	0.00
W.S. US. (m)	715.88	Weir Sta DS (m)	20.00
E.G. DS (m)	715.90	Min El Weir Flow (m)	715.30
W.S. DS (m)	715.68	Wr Top Width (m)	20.00
Q US (m3/s)	173.00	Weir Max Depth (m)	0.58
Q Leaving Total (m3/s)	10.71	Weir Avg Depth (m)	0.48
Q DS (m3/s)	173.00	Weir Flow Area (m2)	9.60
Perc Q Leaving	6.19	Weir Coef (m ^{1/2})	1.601
Q Weir (m3/s)	10.71	Weir Submerg	0.00
Q Gates (m3/s)		Q Gate Group (m3/s)	
Q Culv (m3/s)		Gate Open Ht (m)	
Q Lat RC (m3/s)		Gate #Open	
Q Outlet TS (m3/s)	0.00	Gate Area (m2)	
Q Breach (m3/s)		Gate Submerg	
Breach Avg Velocity (m/s)		Gate Invert (m)	
Breach Flow Area (m2)		Gate Weir Coef	
Breach WD (m)			
Breach Top El (m)			
Breach Bottom El (m)			
Breach SSL (m)			
Breach SSR (m)			

Figura 72- Portata stramazzo con $Q=173 \text{ m}^3/\text{s}$

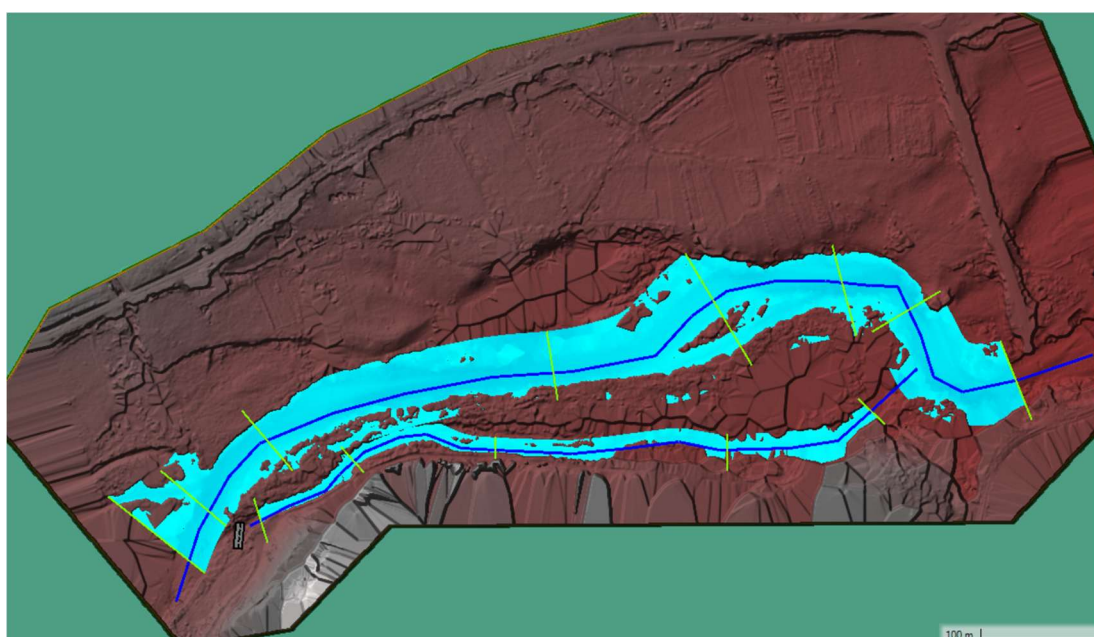


Figura 73- Situazione ramo secondario con $Q=10.71 \text{ m}^3/\text{s}$

Le figure precedenti mostrano come per portate inferiori e pari a $91 \text{ m}^3/\text{s}$ non ci sia il superamento dello sbarramento laterale, mentre per portate superiori si hanno dei versamenti della portata dal ramo principale a quello secondario con valori inferiori agli $11 \text{ m}^3/\text{s}$.

Il passaggio successivo è quello di capire quale sia effettivamente la portata di attivazione dello sbarramento modellato. Per fare ciò si è applicato il metodo di ricerca binaria (o dicotomica), che consiste nel dimezzare l'intervallo di ricerca ad ogni step, andando ad analizzare il valore mediano.

L'intervallo di partenza era 91-133 m³/s, la prima situazione analizzata è stata quindi quella relativa ad una portata di 112 m³/s (valore mediano dell'intervallo).

Plan: 08 Gesso Reach 1 RS: 863.5 Lateral Structure Profile: PF 1			
E.G. US. (m)	715.73	Weir Sta US (m)	0.00
W.S. US. (m)	715.53	Weir Sta DS (m)	20.00
E.G. DS (m)	715.50	Min El Weir Flow (m)	715.30
W.S. DS (m)	715.33	Wr Top Width (m)	20.00
Q US (m3/s)	112.00	Weir Max Depth (m)	0.23
Q Leaving Total (m3/s)	1.61	Weir Avg Depth (m)	0.13
Q DS (m3/s)	112.00	Weir Flow Area (m2)	2.59
Perc Q Leaving	1.44	Weir Coef (m ^{1/2})	1.601
Q Weir (m3/s)	1.61	Weir Submerg	0.00
Q Gates (m3/s)		Q Gate Group (m3/s)	
Q Culv (m3/s)		Gate Open Ht (m)	
Q Lat RC (m3/s)		Gate #Open	
Q Outlet TS (m3/s)	0.00	Gate Area (m2)	
Q Breach (m3/s)		Gate Submerg	
Breach Avg Velocity (m/s)		Gate Invert (m)	
Breach Flow Area (m2)		Gate Weir Coef	
Breach WD (m)			
Breach Top El (m)			
Breach Bottom El (m)			
Breach SSL (m)			
Breach SSR (m)			

Figura 74- Portata stramazzo con $Q=112$ m³/s

Come si può leggere dalla figura sovrastante la portata sfiorata dallo stramazzo è di 1.61 m³/s, quindi lo step successivo è quello di analizzare la situazione mediana dell'intervallo 91-112 m³/s e così via fino a quando la " Q_{Weir} " indicata nelle tabelle riportate sarà la prima effettiva sopra i 0 m³/s.

Di seguito vengono riportate le tabelle relative agli step successivi che hanno portato all'individuazione della portata di sfioro.

Lateral Structure Output			
File Type Options Help			
River:	Gesso	Profile:	PF 1
Reach:	Reach 1	RS:	863.5
Plan: 07 Gesso Reach 1 RS: 863.5 Lateral Structure Profile: PF 1			
E.G. US. (m)	715.66	Weir Sta US (m)	0.00
W.S. US. (m)	715.47	Weir Sta DS (m)	17.24
E.G. DS (m)	715.43	Min El Weir Flow (m)	715.30
W.S. DS (m)	715.27	Wr Top Wdth (m)	17.24
Q US (m3/s)	102.00	Weir Max Depth (m)	0.17
Q Leaving Total (m3/s)	0.77	Weir Avg Depth (m)	0.08
Q DS (m3/s)	102.00	Weir Flow Area (m2)	1.46
Perc Q Leaving	0.75	Weir Coef (m ^{1/2})	1.601
Q Weir (m3/s)	0.77	Weir Submerg	0.00
Q Gates (m3/s)		Q Gate Group (m3/s)	
Q Culv (m3/s)		Gate Open Ht (m)	
Q Lat RC (m3/s)		Gate #Open	
Q Outlet TS (m3/s)	0.00	Gate Area (m2)	
Q Breach (m3/s)		Gate Submerg	
Breach Avg Velocity (m/s)		Gate Invert (m)	
Breach Flow Area (m2)		Gate Weir Coef	
Breach WD (m)			
Breach Top El (m)			
Breach Bottom El (m)			
Breach SSL (m)			
Breach SSR (m)			

Figura 75- Portata stramazzo con $Q=102 \text{ m}^3/\text{s}$

Lateral Structure Output			
File Type Options Help			
River:	Gesso	Profile:	PF 1
Reach:	Reach 1	RS:	863.5
Plan: 09 Gesso Reach 1 RS: 863.5 Lateral Structure Profile: PF 1			
E.G. US. (m)	715.61	Weir Sta US (m)	0.00
W.S. US. (m)	715.43	Weir Sta DS (m)	13.53
E.G. DS (m)	715.39	Min El Weir Flow (m)	715.30
W.S. DS (m)	715.24	Wr Top Wdth (m)	13.53
Q US (m3/s)	97.00	Weir Max Depth (m)	0.13
Q Leaving Total (m3/s)	0.42	Weir Avg Depth (m)	0.07
Q DS (m3/s)	97.00	Weir Flow Area (m2)	0.91
Perc Q Leaving	0.44	Weir Coef (m ^{1/2})	1.601
Q Weir (m3/s)	0.42	Weir Submerg	0.00
Q Gates (m3/s)		Q Gate Group (m3/s)	
Q Culv (m3/s)		Gate Open Ht (m)	
Q Lat RC (m3/s)		Gate #Open	
Q Outlet TS (m3/s)	0.00	Gate Area (m2)	
Q Breach (m3/s)		Gate Submerg	
Breach Avg Velocity (m/s)		Gate Invert (m)	
Breach Flow Area (m2)		Gate Weir Coef	
Breach WD (m)			
Breach Top El (m)			
Breach Bottom El (m)			
Breach SSL (m)			
Breach SSR (m)			

Figura 76- Portata stramazzo con $Q=97 \text{ m}^3/\text{s}$

Lateral Structure Output			
File Type Options Help			
River:	Gesso	Profile:	PF 1
Reach:	Reach 1	RS:	863.5
Plan: 10 Gesso Reach 1 RS: 863.5 Lateral Structure Profile: PF 1			
E.G. US. (m)	715.58	Weir Sta US (m)	0.00
W.S. US. (m)	715.41	Weir Sta DS (m)	10.73
E.G. DS (m)	715.36	Min El Weir Flow (m)	715.30
W.S. DS (m)	715.21	Wr Top Width (m)	10.73
Q US (m3/s)	93.00	Weir Max Depth (m)	0.11
Q Leaving Total (m3/s)	0.24	Weir Avg Depth (m)	0.05
Q DS (m3/s)	93.00	Weir Flow Area (m2)	0.57
Perc Q Leaving	0.26	Weir Coef (m ^{1/2})	1.601
Q Weir (m3/s)	0.24	Weir Submerg	0.00
Q Gates (m3/s)		Q Gate Group (m3/s)	
Q Culv (m3/s)		Gate Open Ht (m)	
Q Lat RC (m3/s)		Gate #Open	
Q Outlet TS (m3/s)	0.00	Gate Area (m2)	
Q Breach (m3/s)		Gate Submerg	
Breach Avg Velocity (m/s)		Gate Invert (m)	
Breach Flow Area (m2)		Gate Weir Coef	
Breach WD (m)			
Breach Top El (m)			
Breach Bottom El (m)			
Breach SSL (m)			
Breach SSR (m)			

Figura 77- Portata stramazzo con $Q=93 \text{ m}^3/\text{s}$

Lateral Structure Output			
File Type Options Help			
River:	Gesso	Profile:	PF 1
Reach:	Reach 1	RS:	863.5
Plan: 11 Gesso Reach 1 RS: 863.5 Lateral Structure Profile: PF 1			
E.G. US. (m)	715.57	Weir Sta US (m)	0.00
W.S. US. (m)	715.40	Weir Sta DS (m)	10.00
E.G. DS (m)	715.35	Min El Weir Flow (m)	715.30
W.S. DS (m)	715.20	Wr Top Width (m)	10.00
Q US (m3/s)	92.00	Weir Max Depth (m)	0.10
Q Leaving Total (m3/s)	0.20	Weir Avg Depth (m)	0.05
Q DS (m3/s)	92.00	Weir Flow Area (m2)	0.50
Perc Q Leaving	0.22	Weir Coef (m ^{1/2})	1.601
Q Weir (m3/s)	0.20	Weir Submerg	0.00
Q Gates (m3/s)		Q Gate Group (m3/s)	
Q Culv (m3/s)		Gate Open Ht (m)	
Q Lat RC (m3/s)		Gate #Open	
Q Outlet TS (m3/s)	0.00	Gate Area (m2)	
Q Breach (m3/s)		Gate Submerg	
Breach Avg Velocity (m/s)		Gate Invert (m)	
Breach Flow Area (m2)		Gate Weir Coef	
Breach WD (m)			
Breach Top El (m)			
Breach Bottom El (m)			
Breach SSL (m)			
Breach SSR (m)			

Figura 78- Portata stramazzo con $Q=92 \text{ m}^3/\text{s}$

Tale analisi porta ad ottenere che la portata di attivazione dello sbarramento, inserito all'imbocco del ramo secondario, sia pari a $92 \text{ m}^3/\text{s}$. Il tempo di ritorno di tale valore sarà quindi dell'ordine dei dieci anni, valore che conferisce all'evento alluvionale e ai suoi effetti una probabilità di accadimento non trascurabile.

8. Calcolo preliminare del trasporto solido

Come già citato in precedenza il problema principale in seguito all'evento del 18 agosto 2024, la cui causa presunta è l'attivazione del ramo secondario, è stata l'inattesa quantità di sedimenti giunti alla sorgente di ACDA.

In questa sezione si vuole analizzare quali situazioni, precedentemente analizzate, possono aver causato questo trasporto di materiale sciolto.

I sedimenti, soprattutto in ambiente montano, possono essere di diversa natura, pezzatura e conseguentemente più o meno “mobili” a seconda anche di diverse condizioni al contorno: nell'idraulica fluviale si parla di “Dinamica dei sedimenti”.

In seguito all'evento meteorologico sopracitato l'Azienda Cuneese dell'Acqua ha commissionato alla ditta MEDILABOR di Cavallermaggiore (CN) l'analisi dei sedimenti presenti lungo il torrente Gesso, in prossimità della sorgente del Bandito.

Il risultato di tale analisi viene riportato nella tabella di seguito.

Granulometria			
Tipologia	Diametro	Percentuale	Passante
[-]	[mm]	[%]	[%]
ghiaia	>2	1.28	98.72
sabbia	[2-0.063]	49	49.72
limo	[0.063-0.004]	45	4.72
argilla	<0.004	4.3	0.42

Tabella 9- Granulometria da dati MEDILABOR

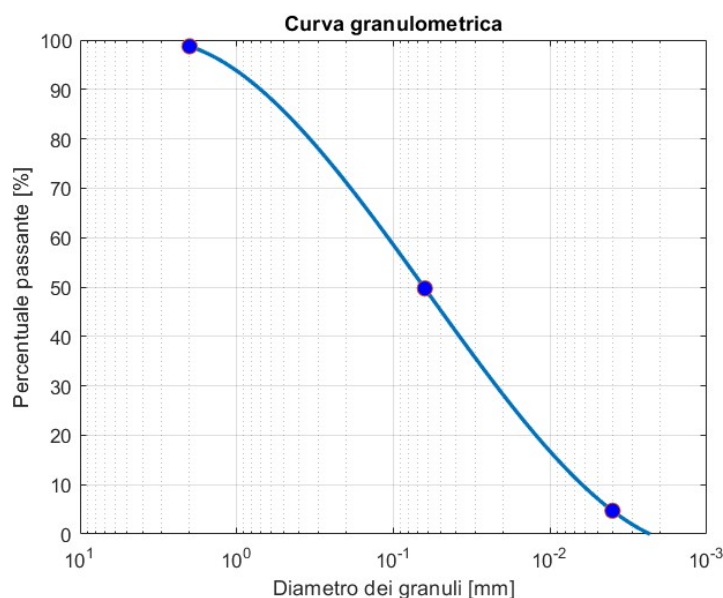


Figura 79- Curva granulometrica

Successivamente si introducono alcuni concetti utili a comprendere meglio la dinamica dei sedimenti presenti nel torrente Gesso, in funzione delle portate analizzate.

Lo sforzo di taglio, τ_0 , che si ha al fondo del nostro alveo dipende dalla densità dell'acqua (ρ), dall'accelerazione di gravità (g), dal raggio idraulico (R) e dalla pendenza del fondo (S).

$$\tau_0 = \rho g R S$$

Equazione 17- Sforzo di taglio

Il raggio idraulico, presente nell' *Equazione 17*, è definito come il rapporto tra l'area (A) e il perimetro bagnato dell'alveo (P). Nel nostro caso possiamo considerare il canale di riferimento come approssimato ad una sezione rettangolare, con l'altezza molto inferiore rispetto alla base, e in tale modo si ottiene che:

$$R = \frac{A}{P} = \frac{bh}{b+2h} \approx h$$

Equazione 18- Raggio idraulico

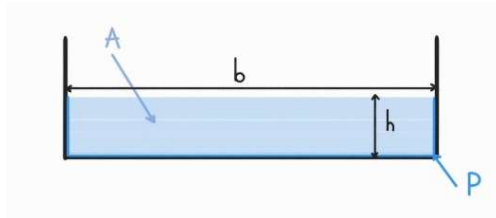


Figura 80- schema raggio idraulico

Lo sforzo di taglio critico, τ_c , è il valore minimo che deve avere lo sforzo di taglio affinché si abbia movimento di sedimento al fondo di un fiume. Esso dipende dalla densità dell'acqua (ρ) e del sedimento (ρ_s), dall'accelerazione di gravità (g), dal parametro critico di Shields (θ_c) e dalla dimensione del materiale (D). D_{50} indica il valore mediano della distribuzione granulometrica in esame, in questo caso 0.063 mm, θ_c è stato assunto pari a 0.047.

$$\tau_c = \theta_c (\rho_s - \rho) g D_{50}$$

Equazione 19- Sforzo di taglio critico

In breve, un granello di fondo si può definire stabile o meno a seconda del confronto tra sforzo tangenziale esercitato dalla corrente sul fondo dell'alveo e una soglia critica dipendente dal numero di Reynolds. Il confronto può generare tre situazioni:

- Se $\tau_0 < \tau_c$ il sedimento permane immobile, l'energia creata dal sistema fluviale non è sufficiente per innescare movimento.

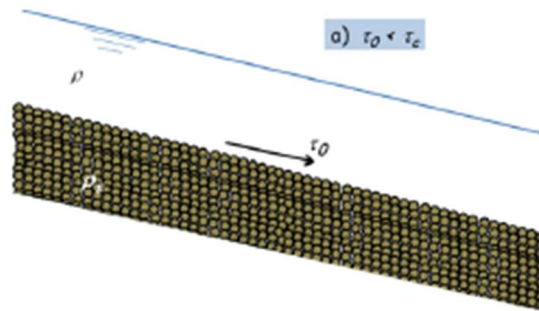


Figura 81- $\tau_0 < \tau_c$

- Se $\tau_c < \tau_0 < \tau_s$ il sedimento inizia a muoversi in diversi modi (rotolando, strisciando o compiendo dei salti). τ_s indica sforzo di taglio necessario affinché i sedimenti inizino a essere sollevati dal flusso ed entrino in sospensione

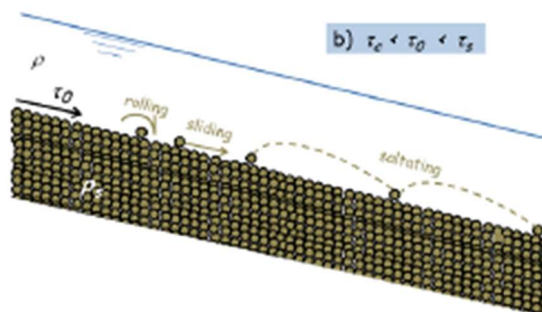


Figura 82- $\tau_c < \tau_0 < \tau_s$

- Se $\tau_s < \tau_0 < \tau_{sd}$ il sedimento rimane in sospensione più a lungo rispetto ai salti del punto precedente. τ_{sd} è la soglia di sospensione diffusa/completa.

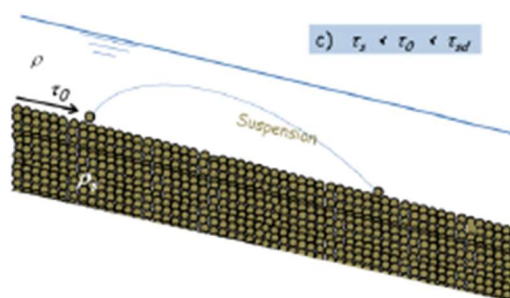


Figura 83- $\tau_s < \tau_0 < \tau_{sd}$

Di seguito viene riportata la tabella riassuntiva con le casistiche relative alle portate del ramo secondario con sbarramento a monte. Il raggio idraulico viene ricavato tramite relazione con la portata, la pendenza del ramo secondario e il coefficiente di Manning. Il sedimento in esame sarà il limo, ritrovato nelle vasche in seguito all'evento alluvionale del 18 agosto: 0.063 mm, nonché D_{50} della curva granulometrica riportata in Figura 79.

Ramo secondario con sbarramento								
Q	ρ	g	R	S	ρ_s	D	τ_0	τ_c
[mc/s]	kg/mc	mq/s	m	[.]	kg/mc	m	N/mq	N/mq
10.71	1000	9.81	0.90	0.01	1750	0.000063	105.88	0.02
4.22	1000	9.81	0.51	0.01	1750	0.000063	60.55	0.02
1.61	1000	9.81	0.29	0.01	1750	0.000063	33.96	0.02
0.77	1000	9.81	0.19	0.01	1750	0.000063	21.82	0.02
0.42	1000	9.81	0.13	0.01	1750	0.000063	15.17	0.02
0.24	1000	9.81	0.09	0.01	1750	0.000063	10.84	0.02
0.22	1000	9.81	0.09	0.01	1750	0.000063	10.29	0.02

Tabella 10- Mobilità sedimenti nel ramo secondario

Da quanto riportato nella Tabella 10 si può notare che, per quanto riguarda il sedimento fine il trasporto avviene in tutte le condizioni, nonostante si riduca significativamente in modo proporzionale alla portata.

Successivamente si vuole vedere che tipo di movimento, tra quelli citati precedentemente, subisce il sedimento fine. Per fare ciò si fa riferimento all'abaco originale di Shields ridisegnato successivamente da Rouse e riportato di seguito.

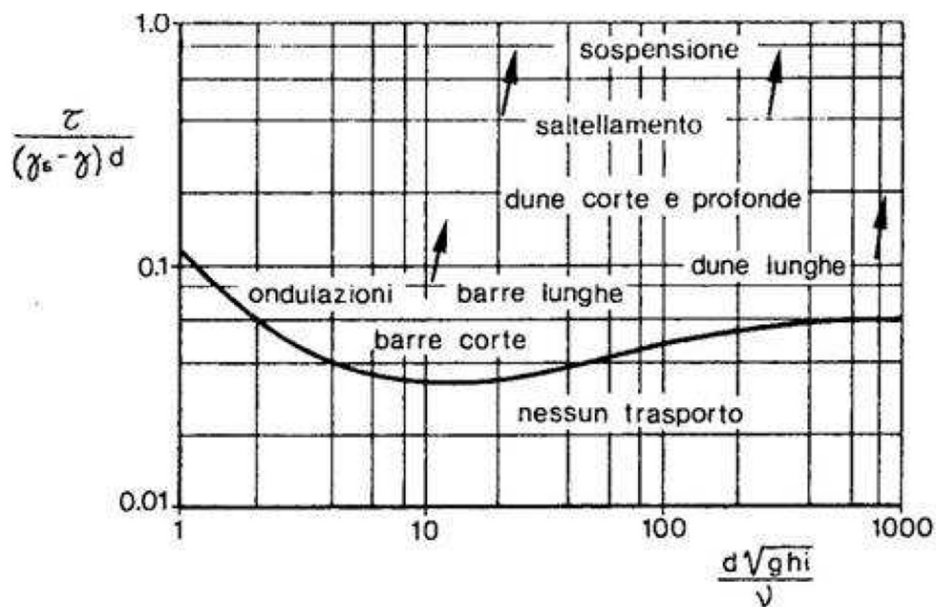


Figura 84- Abaco di Shield rivisitato da Rouse

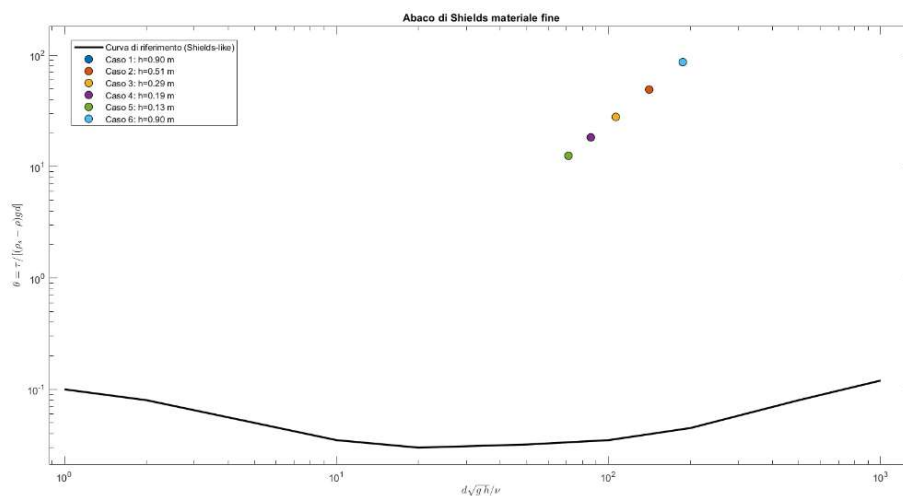


Figura 85- Adattamento Abaco di Shields

Guardando la *Figura 84*, in riferimento alla *Figura 85*, si può constatare che il movimento innescato per le altezze del pelo libero individuate precedentemente, è la “sospensione”, poiché l’ordine di grandezza dell’ascissa dei punti presi in considerazione è compresa tra 10^1 e 10^2 .

La sospensione è un tipo di movimento caratterizzato dalla dispersione del sedimento all’interno del fluido e in cui tempo che intercorre prima che tocchi terra è più alto rispetto agli altri movimenti che un solido all’interno di un liquido può fare.

La quota parte di fine che viene mobilitata e successivamente intercettata dalla sorgente influisce sulla qualità dell'acqua presente nella sorgente stessa.

Con portate basse, dovute all'inserimento dello sbarramento, è opportuno pensare che la quantità di materiale fine effettivamente trasportato all'interno del ramo secondario e diretto verso la Sorgente sia comunque inferiore a quella riscontrata durante l'evento alluvionale dell'agosto 2024.

In futuro però gli effetti del cambiamento climatico e il fatto che, probabilmente, il ramo secondario non sia l'unica causa dell'aumento di sedimento fine all'interno dell'acqua del Torrente Gesso rendono necessario considerare ulteriori soluzioni al problema, in grado di limitare disagi alla popolazione anche in situazioni più gravose di quella verificatasi nel 2024.

9. Scenari futuri

Come citato nei capitoli precedenti, ad oggi non si è verificato un altro episodio meteorologico simile a quello del 18 agosto 2024 e per tale motivo si è sentita la necessità di sfruttare il tempo a disposizione per vagliare differenti cause e conseguenti soluzioni.

Il problema principale scaturito dall'evento alluvionale del 2024 sono stati i picchi di torbidità nelle acque del Torrente Gesso che hanno a loro volta creato disagi alla comunità servita dalle acque del Torrente stesso.

Al fine di sopperire a tale problema si è scelto prevenire la ricorrenza del problema potenziando i sistemi di trattamento dell'acqua a tutela della continuità e della qualità del servizio tramite la realizzazione di un impianto di filtrazione in località Andonno.



Figura 86- Sito costruzione impianto di filtrazione

La realizzazione prevede la costruzione di un nuovo fabbricato, avente una superficie di circa 870 m² ed un'altezza complessiva di 5.70 m, posizionato a nord rispetto al serbatoio esistente, nella quale sarà prevista l'installazione di un sistema di ultrafiltrazione su membrane in pressione, per trattare le acque, fino a 350 l/s, in caso di condizioni in ingresso peggiori sia in termini di NTU sia di basse temperature. Questa soluzione risulta la migliore tra quelle vagliate dall'azienda cuneese sia dal punto di vista gestionale degli spazi, in quanto risulta occupare una superficie ridotta, sia per quanto riguarda la viabilità e i mascheramenti paesaggistici.

L'impianto, descritto di seguito, è pensato per garantire la migliore e maggiore flessibilità di esercizio, oltre ad una ridondanza di trattamento che possa assicurare sia la produzione nel giorno di massimo prelievo sia standard qualitativi ottimali.

“Per quanto sopra, si prevede dapprima di intercettare le due tubazioni provenienti dalla sorgente Bandito DN500 e DN600. Si realizzeranno dei pozzetti adiacenti a quelli esistenti, al fine di inserire delle valvole motorizzate che in caso di aumento della torbidità delle acque sorgive, possa deviare le stessa al nuovo sistema di trattamento anziché al serbatoio. Le due tubazioni saranno collettate in una tubazione DN600 in acciaio inox AISI304L posto all’ingresso del serbatoio esistente, dalla quale quattro pompe a lobi (3+1R) preleveranno l’acqua e la devieranno all’ultrafiltrazione.

Sul collettore, sarà previsto uno sfiato libero, che in caso di blocco delle pompe, o di arrivo di una portata maggiore rispetto a quella sollevabile dalle pompe, possa inviare l’acqua direttamente ai canali, esistenti, di troppo pieno presenti nel ripartitore del serbatoio, restituendo le acque al Torrente.

Prima di arrivare al sistema di ultrafiltrazione, è stata prevista l’installazione di tre skid di pretrattamenti mediante dei filtri autopulenti con grado di filtrazione da 200 micron, aventi il compito di proteggere l’ultrafiltrazione da eventuali impurità solide.

A valle dei filtri autopulenti, è prevista l’installazione di tre treni di ultrafiltrazione, dispositivi idonei alla rimozione della torbidità da sorgenti di acqua destinate alla potabilizzazione.” (da PFTE: relazione generale – COGESI- ACDA)

Il sopra citato pretrattamento, costituito da filtri a cartuccia autopulenti, oltre a garantire la protezione necessaria alla successiva fase di trattamento, consente massima flessibilità, ridotti spazi di installazione e bassi costi di investimento rendendo la scelta vantaggiosa sotto più aspetti.

Risulta importante sottolineare che il progetto di realizzazione del nuovo sistema di filtrazione delle acque nel Comune di Valdieri risulta coerente con gli indirizzi e gli obiettivi del Piano Territoriale Regionale (PTR) della Regione Piemonte, in quanto non comporta consumo di ulteriore suolo, prevedendo l’inserimento delle opere in ambiti già infrastrutturati o comunque compromessi, come l’area vicina alla rete stradale (SP180) e alla zona periferica del centro abitato, si prenda come riferimento la *Figura 86*.

Anche per quanto riguarda la tutela e la gestione delle risorse idriche l’intervento è pienamente in linea con le strategie regionali, poiché mira ad una gestione sostenibile delle risorse assicurandone la salvaguardia e il fine ultimo è quello della potabilizzazione delle acque di sorgente destinate al consumo umano, garantendo così un miglioramento qualitativo del servizio idrico a beneficio della popolazione servita da ACDA.

L’impianto di ultrafiltrazione preserva la qualità intrinseca dell’acqua sorgiva di elevata qualità naturale e fondamentale per l’approvvigionamento della provincia di Cuneo, intervenendo esclusivamente sulla componente torbida. La gestione delle acque di processo viene così gestita:

- “Le acque di backwash non chimico (stima: 2.817 m³/giorno al NTU=40) saranno restituite al Torrente Gesso tramite la tubazione collegata al canale di bypass del ripartitore; esse contengono prevalentemente i solidi sospesi naturalmente presenti nelle acque sorgive, senza aggiunta di sostanze chimiche; pertanto, il loro recapito nel corpo idrico è ambientalmente compatibile;
- Le acque di backwash chimico (CEB, stima: 1.228 m³/giorno al NTU=40), impiegati nelle operazioni di lavaggio chimico periodico, saranno accumulate

in apposita vasca e avviate al sistema fognario per il trattamento depurativo prima della loro immissione nell'ambiente; il volume giornaliero è modulato tramite vasca di equalizzazione per evitare picchi di carico sul sistema fognario;

- Il tasso di recupero dell'acqua è elevato: la maggior parte dell'acqua trattata viene restituita alla rete idrica come acqua potabile (permeato di qualità); le perdite di processo sono minimizzate.” (da PFTE: relazione di sostenibilità dell’opera e rispetto del principio DNSH - COGESI- ACDA).

Infine, si vuole sottolineare il fatto che tale progetto è incluso all’interno di un programma di riqualificazione più ampia che vede, oltre alla realizzazione dell’impianto di filtrazione ad Andonno, anche la sostituzione di alcune condotte all’interno della rete idraulica gestita dalla S.p.A. cuneese e il risanamento del serbatoio presente a Crocetta di Borgo San Dalmazzo.

L’importo complessivo di tale progetto ammonta ad € 23.600.000,00 (al netto dell’IVA dovuta per legge) ed è così finanziato:

- € 21.700.000,00 dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti nell’ambito del decreto “Adozione dello stralcio attuativo del Piano Nazionale di Interventi Infrastrutturali e per la Sicurezza nel Settore Idrico”.
- € 1.900.000,00 a carico del Soggetto Attuatore tramite proprie risorse, a valere sulla tariffa del servizio idrico integrato.

L’iter autorizzativo è stato avviato con la prima approvazione del Progetto di Fattibilità Tecnico- Economica in data 27 marzo 2026; successivamente si sono tenute due sedute della Conferenza dei servizi, rispettivamente il 20 maggio e il 24 giugno 2026. Il 29 giugno 2026 il sopracitato procedimento finalizzato alla realizzazione di un’opera strategica per il territorio, fondamentale per garantire la qualità e la sicurezza della risorsa idrica, ha visto la sua conclusione con l’approvazione del Piano Esecutivo.

10. Conclusioni

Il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) Piemonte non classifica il territorio della Valle Gesso come area zona ad elevato rischio idraulico; tuttavia, è caratterizzato da un regime pluviometrico con precipitazioni sempre più frequenti ed intense, a causa dei cambiamenti climatici. Tali eventi, come citato più volte all'interno di questo documento, determinano fenomeni di trascinamento di materiali fini nelle sorgenti con conseguente aumento della torbidità, come già avvenuto nel corso del 2024.

Il presente lavoro è stato sviluppato con l'obiettivo di analizzare le cause che hanno determinato l'evento verificatosi il 18 agosto 2024 presso la sorgente del Bandito, valutando il comportamento idraulico del Torrente Gesso mediante analisi idrologiche e modellazione numerica, con particolare riguardo per il ramo secondario.

Le analisi delle portate del gesso implementate tramite MATLAB e la modellazione con HEC-RAS hanno evidenziato come, con l'inserimento dello sbarramento temporaneo, si possano ridurre eventuali interruzioni di servizio idrico, fino alla portata di 91 m³/s nell'alveo principale.

A supporto di questa tesi vi è il fatto che, come accennato nei capitoli precedenti, con eventi alluvionali di minor intensità avvenuti in seguito alla costruzione dello sbarramento, la torbidità nelle sorgenti è rimasta inferiore al limite di legge, fenomeno che fa del ramo secondario del Torrente Gesso e della sua attivazione la causa più accreditata riguardo alla maggior parte del trasporto di sedimento fine.

La realizzazione dell'impianto di ultrafiltrazione avrà lo scopo di eliminare rischi come quelli sanitari dovuti alla torbidità e i disagi dovuti dall'interruzione del servizio, garantendo la resilienza del sistema idrico anche in condizioni climatiche avverse qualora si presentino condizioni che rendano inefficace lo sbarramento costruito sul ramo secondario. L'impianto, infatti, è dimensionato per trattare la portata massima attesa (350 l/s) nelle condizioni di torbidità di progetto (NTU=40, T=6°C), con margini di sicurezza appropriati. Tale dimensionamento è stato basato sulle proiezioni del Piano nazionale Adattamento ai Cambiamenti Climatici del 2023, il quale evidenzia una tendenza positiva delle temperature e degli eventi pluviometrici intensi nella zona di Valdieri (+0.3 -0.5°C per decennio sull'arco alpino).

Sebbene il modello sviluppato abbia consentito di ricostruire in maniera soddisfacente il comportamento idraulico del tratto oggetto di studio è opportuno evidenziare che, come ogni modello numerico, anche quello realizzato costituisce una rappresentazione semplificata della realtà e i risultati ottenuti devono essere interpretati alla luce delle ipotesi e delle semplificazioni adottate ai fini della modellazione:

- Condizioni al contorno: le portate e i livelli idrici assegnati derivano da stime e analisi statistiche, introducendo un margine di incertezza.
- Pendenza: il corso d'acqua è stato assunto a pendenza media costante lungo il tratto in esame, tale ipotesi può influenzare l'altezza del pelo libero e altre caratteristiche che differenziano il comportamento reale da quello simulato.

- Coefficiente di Manning: si è utilizzato un valore di scabrezza unico, attribuito sulla base della letteratura e delle caratteristiche osservate del corso d'acqua, nella realtà può variare nel tempo e nello spazio.
- Trasporto solido: affrontato in modo preliminare.

Nel complesso, il lavoro svolto ha permesso di ricostruire in modo coerente le dinamiche idrauliche del Torrente Gesso, fornendo elementi utili sia per la comprensione del fenomeno che ha interessato l'alveo nel 2024 sia per il futuro del sistema. Questa esperienza mi ha permesso di approfondire concretamente le conoscenze acquisite durante il percorso universitario e di confrontarmi con problematiche reali, arricchendo in modo significativo la mia formazione.

Riferimenti sitografici

https://www.arpa.piemonte.it/rischi_naturali/snippets_arpa_graphs/dettaglio_stazione/?id=004233901¶m=idro

<https://www.arpa.piemonte.it/scheda-informativa/richieste-dati>

https://www.comune.cuneo.it/amministrazione/unita_organizzativa/a-c-d-a-azienda-cuneese-dellacqua/

https://www.arpa.piemonte.it/rischi_naturali/snippets_arpa_graphs/tabella_stazioni/

<https://www.acda.it/>

<https://catastogrotte-piemonte.net/caves-view-932.html> (Foto sorgente)

https://docs.dicatechpoliba.it/filemanager/303/PROTEZIONE%20IDRAULICA%202016-2017/3_5_Modello%20idraulico_2D.pdf (Foto tabella Manning)

Riferimenti bibliografici

Schema funzionamento rete servita da sorgenti bandito - bousset – stretti (COGESI – ACDA)

Materiale corso Hydro-meteorological Risk Assessment (S-ù. Tamea, A. Viglione)

Atlante dei Bacini Imbriferi Piemontesi (E. Gallo, D. Ganora, F. Laio, A. Masoero, P. Claps)

Materiale corso Hydro-meteorological Risk Assessment (S-ù. Tamea, A. Viglione)

Materiale corso River Engineering and Restoration (C. Camporeale, P. Vezza, L. Salerno)

Repertorio Corpi Idrici: tipo, natura, stato- Allegato 1.5 Elaborato 1 (Autorità di bacino del fiume Po- ver 24/02/2010)

Relazione idraulica per sbarramento temporaneo di un ramo secondario del torrente Gesso presso la sorgente del Bandito (LIAAM s.r.l.)

Appunti di trasporto solido- prof. Silvio Franzetti, prof. Alberto Guadagnini, ing. Francesco Balli

Relazione idrologica- idraulica (LIAAM s.r.l.)

Interventi di contrasto all'intorbidimento della sorgente del bandito, valutazioni preliminari (LIAAM s.r.l.)

Rapporto di prova n. 2024-253-062 del 20/09/2024 e Rapporto di prova n. 2024-263-168 del 03/10/2024 (MEDILABOR)

Progetto di fattibilità tecnico ed economica- relazione generale (COGESI – ACDA)

Progetto di fattibilità tecnico ed economica- quadro economico dell'opera (COGESI – ACDA)

Progetto di fattibilità tecnico ed economica- relazione di sostenibilità dell'opera e rispetto del principio DNSH (COGESI – ACDA)

Progetto di fattibilità tecnico ed economica- Relazione criteri minimi ambientali (COGESI – ACDA)

Ringraziamenti

Desidero esprimere la mia più sincera gratitudine al mio Relatore, il Professor Fulvio Boano, per la disponibilità, il supporto e la professionalità dimostrati durante lo svolgimento di questo lavoro di tesi. I suoi preziosi consigli e osservazioni hanno rappresentato un punto di riferimento fondamentale.

Un sentito ringraziamento va ad ACDA per avermi accolto e dato l'opportunità di sviluppare questo argomento di tesi. In particolare, desidero ringraziare l'Ingegnere Fabio Monaco e tutti i collaboratori che, con disponibilità e gentilezza, hanno dedicato parte del loro tempo per fornirmi dati o documenti indispensabili per la realizzazione della presente tesi.

Il ringraziamento più grande è rivolto alla mia famiglia per il supporto incondizionato: è stato un percorso lungo, a tratti in salita, ma non hanno mai smesso di spronarmi a raggiungere i miei obiettivi.

A Giovanni, per il sostegno costante e i continui confronti che sono stati fonte di crescita personale, forza e motivazione.

Ai colleghi universitari con i quali ho condiviso lezioni, esami, uscite culinarie, ma anche momenti di difficoltà e tante soddisfazioni: il confronto, il sostegno reciproco e le esperienze vissute insieme hanno reso questi anni più leggeri e indimenticabili.

In particolare, ad Emily e Lucia: grazie per esserci sempre state, per l'incoraggiamento, l'ascolto, la gentilezza e l'empatia che hanno reso questo percorso ancora più speciale.

Per ultimo, ma non per importanza, desidero ringraziare i miei amici e le mie amiche, che hanno contribuito ad accompagnarmi lungo questo cammino con parole di incoraggiamento, preziosi consigli e la loro presenza.

Un pensiero speciale va al Professor Roberto Revelli, la cui passione e dedizione verso l'Idraulica hanno avuto un ruolo decisivo nella scelta del mio percorso universitario.