

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

Provincia di Sondrio

COMMITTENTE:

**CONSORZIO DELLA MEDIA VALTELLINA
PER IL TRASPORTO DEL GAS**
Via Nazario Sauro,33 – 23100 Sondrio (SO)

OGGETTO:

**RETE DI TRASPORTO DEL GAS-METANO DI III^A SPECIE
TRA CHIURO E TEGLIO (F.ne Tresenda)
1° LOTTO METANODOTTO DN 350
CHIURO-TIRANO**

1.3

**RELAZIONE IDROLOGICO – IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTO FIUME ADDA E
RETICOLI IDRICI**



TECNICO PROGETTISTA: ING. MARCO RIVA

Sede: Via Tartano, 48 - 23018 TALAMONA (SO) tel./fax 0342-67.30.13

Unità Operativa: Via Vanoni, 98 - 23100 SONDRIO (SO) tel./fax. 0342-01.48.90

P.IVA 00840850143 C.F. RVI MRC 69A28 F712O e-mail: info@ingmarcoriva.com

Studio
Tecnico
Dott. Ing. Marco Riva

INDICE

1	PREMESSA	4
2	NORMATIVA	5
2.1	Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI)	5
2.2	Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF)	5
2.3	Criteri generali per le fasce fluviali	6
2.4	Studio di compatibilità idraulica	6
3	ASSETTO GEOMORFOLOGICO	8
3.1	Inquadramento territoriale	8
3.2	Aree a rischio	8
4	ASSETTO IDROGEOLOGICO	11
4.1	Inquadramento territoriale	11
5	DELIMITAZIONE DELLE FASCE FLUVIALI	13
5.1	Articolazione in fasce degli alvei fluviali	13
5.2	Assunzioni per la delimitazione delle fasce fluviali	13
5.3	Corsi d'acqua interessato dalle fasce fluviali	14
6	STUDIO IDROGEOLOGICO	15
6.1	Definizione dei bacini sottesi dei torrenti interessati dal progetto	17
6.2	Normativa di riferimento	19
6.3	Calcolo della portata di piena del Torrente Rio Rogna	21
6.4	Verifica della sezione idraulica attraversamento Torrente Rio Rogna	23
6.5	Calcolo della portata di piena del Torrente Valle S.Giovanni	24
6.6	Calcolo della portata di piena del Torrente Valle Magada	27
6.7	Verifica della sezione idraulica attraversamento Valle S.Giovanni e Magada	29
6.8	Calcolo della portata di piena del Torrente Malgina	30
6.9	Verifica della sezione idraulica attraversamento Torrente Malgina	32
6.10	Calcolo della portata di piena del Torrente Margatta	33

6.11	Verifica della sezione idraulica attraversamento Torrente Margatta	35
6.12	Calcolo della portata di piena del Torrente Bondone	36
6.13	Verifica della sezione idraulica attraversamento Torrente Bondone	38
6.14	Canale Rio Pradello	39
6.15	Calcolo della portata di piena del Torrente Caronella	40
6.16	Verifica della sezione idraulica attraversamento Torrente Caronella	43
7	STUDIO IDRAULICO	46
7.1	Metodologia adottata	46
7.2	Ricostruzione dei livelli di piena	49
7.3	Risultati della modellazione	50
7.4	Approfondimenti del fondo nelle sezioni di attraversamento	51
8	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	54
	ALLEGATO 1	56
	ALLEGATO 2	58

1 **PREMESSA**

Su incarico della Consorzio della Media Valtellina per il Trasporto del gas è stata affidata alla scrivente la redazione del progetto definitivo-esecutivo del gasdotto di 3^a specie collegante Chiuro con Teglio (F.ne Tresenda).

Si redige, pertanto, la presente verifica di compatibilità idraulica secondo le disposizioni della “Direttiva contenente i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all’interno delle fasce A e B”, approvata con deliberazione del Comitato Istituzionale dell’Autorità di Bacino del fiume Po – n. 2 del 11.5.1999.

Tale verifica valuta gli effetti della realizzazione del metanodotto, seppur interrato, sull’assetto idraulico del corso d’acqua, a seguito di eventuali modificazioni della sua configurazione geometrica e morfologica e descrive le analisi tecnico-territoriali che hanno indotto alla localizzazione del tracciato all’interno delle predette fasce fluviali.

Il tracciato, definito nella planimetria a scala 1:2000, attraversa in sub-alveo il F. Adda una volta nell’ intorno dell’abitato di San Giacomo.

La presente relazione ha lo scopo di valutare le caratteristiche idrologiche del fiume per quanto attiene le portate di massima piena al colmo, definendo le portate di progetto, e quindi di definire i parametri idraulici in corrispondenza dei tratti di fiume interessati dagli attraversamenti, permettendo pertanto la corretta progettazione dell’opera.

Per le elaborazioni idrologiche si è fatto riferimento alla “Direttiva piena di progetto” dell’Autorità di Bacino del Fiume Po che fornisce i valori di portata del corso d’acqua in particolari sezioni.

Le elaborazioni idrauliche sono state compiute mediante modellazione del fiume in condizione di moto permanente tramite il programma di calcolo HEC-RAS.

2 **NORMATIVA**

2.1 Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI)

Il Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) all'art. 38 delle Norme di attuazione disciplina, gli "interventi per la realizzazione di opere pubbliche o di interesse pubblico" che ricadono all'interno delle Fasce A e B:

"1. Fatto salvo quanto previsto agli artt. 29 e 30, all'interno delle Fasce A e B è consentita la realizzazione di opere pubbliche o di interesse pubblico, riferite a servizi essenziali non altrimenti localizzabili, a condizione che non modifichino i fenomeni idraulici naturali e le caratteristiche di particolare rilevanza naturale dell'ecosistema fluviale che possono aver luogo nelle fasce, che non costituiscano significativo ostacolo al deflusso e non limitino in modo significativo la capacità di invaso, e che non concorrano ad incrementare il carico insediativo. A tal fine i progetti devono essere corredati da uno studio di compatibilità, che documenti l'assenza dei suddetti fenomeni e delle eventuali modifiche alle suddette caratteristiche, da sottoporre all'Autorità competente, così come individuata dalla direttiva di cui al comma successivo, per l'espressione di parere rispetto la pianificazione di bacino.

2. L'Autorità di bacino emana ed aggiorna direttive concernenti i criteri, gli indirizzi e le prescrizioni tecniche relative alla predisposizione degli studi di compatibilità e alla individuazione degli interventi a maggiore criticità in termini d'impatto sull'assetto della rete idrografica. Per questi ultimi il parere di cui al comma 1 sarà espresso dalla stessa Autorità di bacino.

3. Le nuove opere di attraversamento, stradale o ferroviario, e comunque delle infrastrutture a rete, devono essere progettate nel rispetto dei criteri e delle prescrizioni tecniche per la verifica idraulica di cui ad apposita direttiva emanata dall'Autorità di bacino."

La realizzazione di opere pubbliche o di interesse pubblico è inoltre richiamata all'art. 39, commi 5 e 6, delle stesse Norme, che tratta degli aspetti urbanistici.

2.2 Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF)

Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF), approvato con D.P.C.M. 24 luglio 1998 e pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale del 9 novembre 1998 n. 262, è lo strumento con cui si definisce un assetto fisico ed ambientale della regione fluviale funzionale a garantire un maggior grado di sicurezza dagli eventi di piena; tale obiettivo viene raggiunto attraverso un sistema di interventi strutturali e non strutturali finalizzati al ripristino delle condizioni di naturali di evoluzione del sistema fluviale, ove ciò sia consentito dalle condizioni d'uso del suolo e dalla distribuzione degli insediamenti antropici, e alla definizione di opere di difesa ove necessarie ed indispensabili.

A tal fine nella regione fluviale vengono individuate e delimitate le porzioni di territorio funzionali alla delimitazione dell'alveo di piena ordinaria (Fascia A), all'espandersi della piena per i tempi di ritorno assunti a riferimento (Fascia B), e le aree che potrebbero avere zone di coinvolgimento per piene con tempi di ritorno maggiori dei 200 anni (Fascia C).

2.3 Criteri generali per le fasce fluviali

L'indicazione generale espressa dal PAI è pertanto quella di una ridestituzione al fiume delle aree che gli sono proprie, in quanto sede dei fenomeni idrodinamici correlati ai diversi stati idrologici, e di una riduzione della vulnerabilità delle stesse aree, in rapporto agli insediamenti che sono presenti o che si devono realizzare in futuro.

Nelle Fasce A e B è pertanto assolutamente prevalente la funzione idraulica, rispetto alla quale la migliore compatibilità è offerta dalle aree naturali (vegetazione spontanea arborea ed erbacea, superfici di acque lentiche, aree prive di copertura vegetale) e dalle aree agricole.

In merito alle infrastrutture e alle opere pubbliche e di interesse pubblico, di conseguenza il PAI indirizza verso criteri generali di localizzazione che puntino ad inserire all'interno delle fasce unicamente quelle opere che, in ragione delle loro specifiche funzioni non possono essere collocate altrove (attraversamenti, opere di derivazione, ecc.).

Per tutte le altre tipologie di infrastrutture e opere pubbliche e di interesse pubblico la localizzazione all'interno della Fascia A o B è condizionata alla dimostrazione dell'assenza di alternative di localizzazione al di fuori delle fasce, della sicurezza e della funzionalità delle infrastrutture stesse e comunque alla garanzia che non sia pregiudicata la sicurezza delle persone per quelle a fruizione collettiva.

2.4 Studio di compatibilità idraulica

I criteri di compatibilità definiti all'art. 38 delle Norme di attuazione del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico prescrivono che gli interventi "non modifichino i fenomeni idraulici naturali e le caratteristiche di particolare rilevanza naturale dell'ecosistema fluviale che possono aver luogo nelle fasce, che non costituiscano significativo ostacolo al deflusso e non limitino in modo significativo la capacità di invaso, e che non concorrano ad incrementare il carico insediativo". Tale indicazione rappresenta l'elemento principale per la valutazione di compatibilità, nell'ambito della quale devono essere presi in considerazione i singoli effetti dell'opera sull'assetto del tronco di corso d'acqua interessato.

Lo studio di compatibilità idraulica deve identificare e quantificare gli effetti dell'intervento in progetto sul corso d'acqua rispetto alle condizioni fisiche e idrologiche precedenti alla realizzazione dello stesso.

Gli effetti principali da considerare sono i seguenti:

- Modifiche indotte sul profilo in sviluppo di piena,
- Riduzione della capacità di invaso dell'alveo,
- Interazioni con le opere di difesa idrauliche (opere di sponda e argini) esistenti,
- Opere idrauliche in progetto nell'ambito dell'intervento,
- Modifiche indotte sull'assetto morfologico planimetrico e altimetrico dell'alveo di inciso e di piena,
- Modifiche indotte sulle caratteristiche naturali e paesaggistiche della regione fluviale,
- Condizioni di sicurezza dell'intervento rispetto alla piena.

Lo studio si compone dei seguenti punti, che costituiscono la caratterizzazione conoscitiva del sistema fluviale e la valutazione degli effetti ascrivibili al progetto di intervento:

- assetto geometrico dell'alveo,
- caratteristiche morfologiche dell'alveo,
- caratteristiche granulometriche del materiale d'alveo,
- caratteristiche ambientali e paesistiche della regione fluviale,
- portate di piena,
- opere di difesa idraulica,
- manufatti interferenti,
- modalità di deflusso in piena,
- effetti degli interventi in progetto.



3 ASSETTO GEOMORFOLOGICO

3.1 Inquadramento territoriale

Dal punto di vista geomorfologico la valle dell'Adda presenta, nel suo complesso, un basso grado di evoluzione, con forte pendenza dei versanti e delle aste torrentizie che rendono la parte settentrionale particolarmente esposta a fenomeni franosi e quella valliva soggetta ad allagamenti.

Tutto il bacino risulta interessato da un elevato trasporto di materiale solido che rende l'area estremamente fragile e predisposta al manifestarsi dei fenomeni di dissesto.

Dal ponte in località Stazzona a Sondrio l'andamento del corso d'acqua risulta sensibilmente più vincolato. In alcuni casi, in seguito a fenomeni di abbassamento del profilo di fondo, si osserva la disattivazione di barre laterali, trasformate in golene stabili, oltre alla disattivazione di rami e canali secondari.

Estesi rami secondari in sinistra all'altezza dell'abitato di Tresenda si sono disattivati nel corso dell'ultimo trentennio.

3.2 Aree a rischio

Nel tronco vallivo oggetto di studio sono localizzate aree a rischio di esondazione presso la zona a monte di S. Giacomo di Teglio e di Chiuro. Assume particolare rilievo l'allagamento che ha diffusamente colpito la piana di fondovalle tra il ponte per Stazzona e Tresenda.

Tab. 1.1. Superfici in dissesto relative a conoidi, esondazioni, frane, corsi d'acqua soggetti ad erosione e/o sovralluvionamento, numero dei corridoi di valanga (valori riferiti al settore montano)

Sottobacino	Superficie	Superficie settore montano	Conoide	Esondazione	Erosione Sovralluvion. aste	Franosità osservata	Franosità potenziale	Valanghe
	km ²	km ²	km ²	km ²	km	km ²	km ²	Numero
Valtellina	2369	2369	67	103	317	68	112	1327
Mera	560	560	16	36	141	4	24	396
Lario	1144	1144	20	11	48	11	30	476
Totale	4073	4073	103	150	506	83	166	2199

Le porzioni di sottobacino nelle quali l'incidenza dei processi di franosità diffusa ed erosiva accelerata risulta particolarmente elevata, comprendono gli ambiti vallivi dei seguenti versanti del bacino a valle di Tirano:

- tributari in destra Adda tra Tirano e Sondrio: torrente Boalzo, torrente Rhon;
- tributari in sinistra Adda tra Tirano e Sondrio: fosso Rivalone, val Sorda;

In relazione alle conoidi potenzialmente attive e ai fenomeni di trasporto in massa le principali situazioni di pericolosità sono riconducibili alle seguenti aree, coinvolgendo i seguenti insediamenti e infrastrutture:

- fondovalle in destra Adda tra Sondrio e Tirano: torrente Bianzone (Bianzone), torrente Boalzo (S. Lucia), torrente Rhon (Fiorenza, Streppona, SS 38, ferrovia Sondrio-Colico);

- fondovalle in sinistra Adda tra Sondrio e Tirano: fosso Rivalone, torrente Coronella, (Tresenda), torrenti Malgina e Margatta (S. Giacomo), val Piccola (Castello dell'Acqua), torrente Paiosa;

Il tratto di fondovalle tra Tirano e Sondrio risulta fuori dalle zone critiche per le tipologie di dissesto associate alla dinamica torrentizia (esondazioni, processi erosivi e deposizionali) e alle situazioni di pericolosità connesse con la dinamica valanghiva.

Nel tratto tra Tirano e Chiuro il corso d'acqua presenta alveo monocursale sinuoso, ad eccezione del tratto a monte di Stazzano dove risulta rettificato artificialmente e canalizzato; il grado di protezione dalle piene è insufficiente, in particolare nel tratto di confluenza con il torrente Poschiavino e presso l'abitato di Tirano. La fascia di esondazione si attesta su elementi morfologici sia naturali che soprattutto artificiali di contenimento delle portate di piena, e precisamente:

- elementi morfologici naturali di contenimento della piena di riferimento, costituiti in generale dal versante montano (in sinistra orografica tra le loc. Tresenda e S. Giacomo) o dal piede delle conoidi di deiezione laterali (dei torrenti Caronella, Malgina, Bianzone);
- rilevati arginali esistenti, nel settore compreso tra la confluenza del torrente Poschiavino e la loc. Stazzano, oltre che in destra tra S. Giacomo e Chiuro;
- rilevati arginali di prevista realizzazione nel settore densamente antropizzato compreso tra gli abitati di Tresenda e S. Giacomo (in destra idrografica) in cui la delimitazione della fascia ha pertanto valenza di progetto.

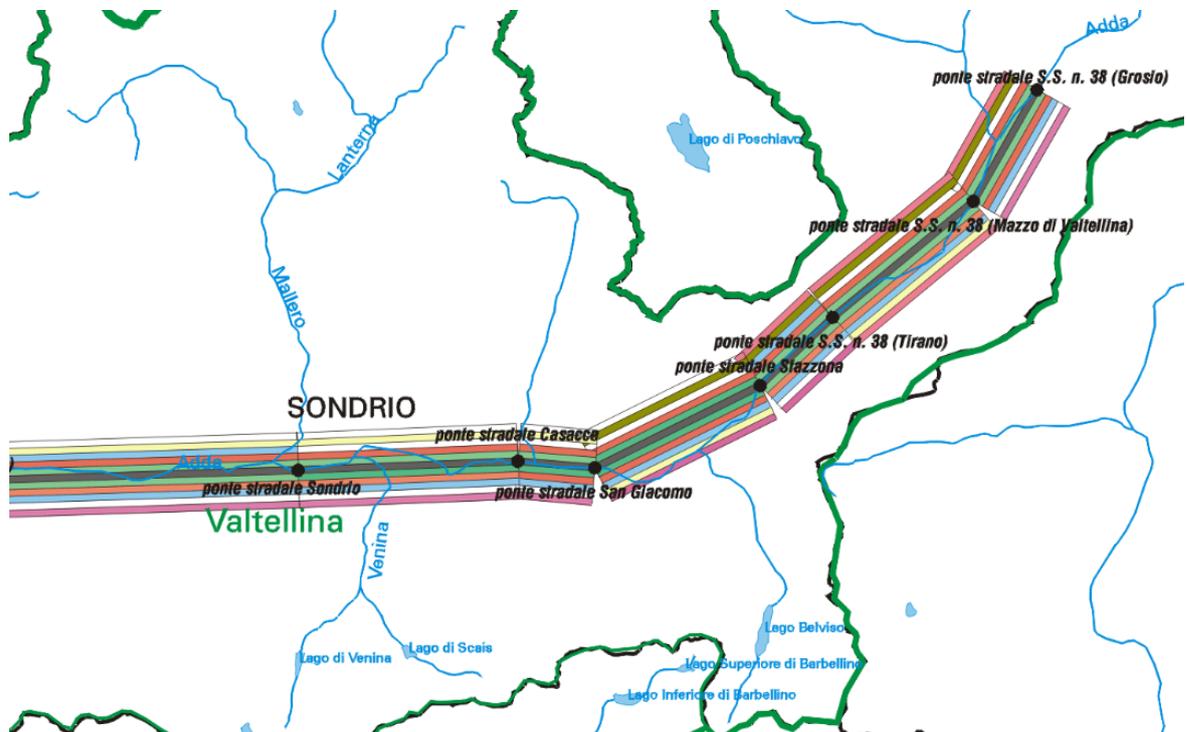
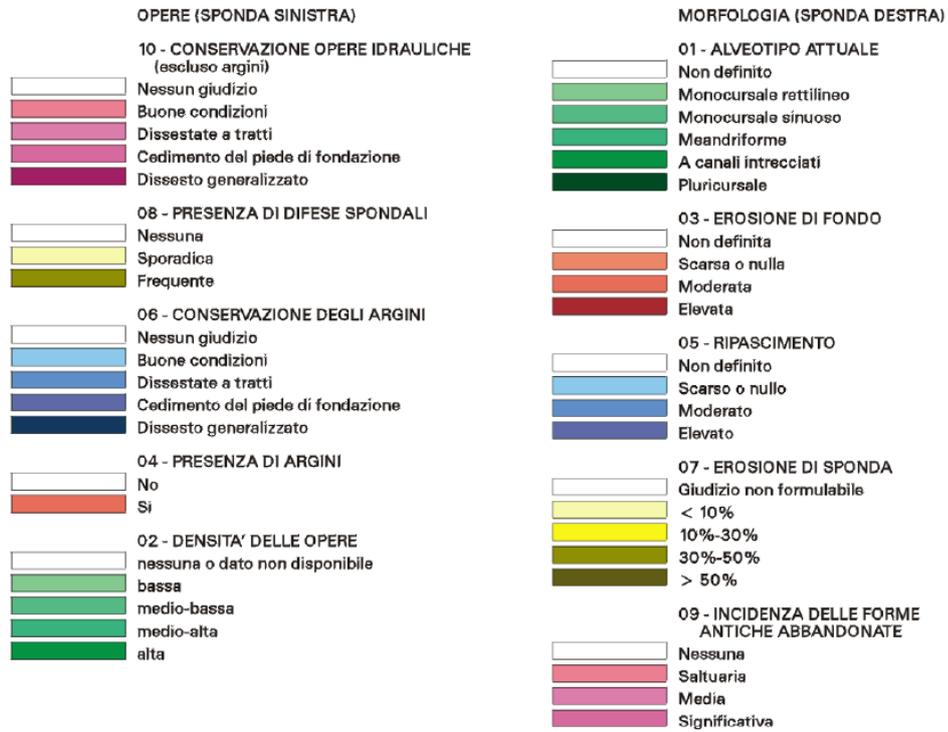
L'ampiezza della fascia risulta estremamente variabile, compresa tra un minimo di 35 m nel tratto canalizzato presso l'abitato di Tirano, fino a circa 900 m nel tratto compreso tra Tresenda e S. Giacomo, dove il corso d'acqua, almeno in sponda sinistra, non è vincolato da rilevati arginali o stradali.

Si riporta qui di seguito la sintesi dell'assetto morfologico e dello stato delle opere idrauliche dei principali corsi d'acqua – cartografia di piano tav. 5-II del “*Progetto di Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) – Interventi sulla rete idrografica e sui versanti (Legge 18 maggio 1989, n.183, art.17 comma 6-ter)*”.

LEGENDA

	Idrografia principale
	Fiume PO
	Limite dei bacini idrografici principali
	Limite dei bacini idrografici secondari
	Limite dei bacini idrografici extranazionali
	Limite del bacino idrografico del Po
	Limite regionale
	Limite provinciale
	Laghi

ASSE DEL CORSO D'ACQUA



4 ASSETTO IDROGEOLOGICO

4.1 Inquadramento territoriale

Il bacino dell'Adda sopralacuale ha una superficie complessiva di circa 4.550 km² e si articola nei seguenti sottobacini:

- Adda sopralacuale propriamente detto (Valtellina) che si sviluppa in direzione est-ovest,
- Mera (Valchiavenna) che si sviluppa in direzione nord-sud,
- Lario (lago di Como) che a sua volta raccoglie i deflussi dell'Adda e del Mera.

L'ambito territoriale del bacino riguarda, dal punto di vista amministrativo, l'intera provincia di Sondrio, la parte nord della provincia di Como e quella parte della provincia di Lecco corrispondente all'area dell'Alto Lario.

Sono interessati dal piano i territori delle comunità montane: Valtellina di Bormio, Tirano, Sondrio e Morbegno, Valchiavenna, Alto Lario Occidentale e Valsassina Valvarrone Esino e Riviera.

La porzione sopralacuale del bacino idrografico si identifica sostanzialmente con l'area alpina e prealpina della Lombardia con esclusione del settore varesino. Le strutture orografiche fondamentali sono la catena delle Alpi Retiche Occidentali a nord del solco vallivo della Valtellina e le Prealpi Orobie a sud di esso caratterizzate entrambe da importanti gruppi montuosi. Per il versante retico sono da segnalare il gruppo del Gavia (3223 m s.m.), il massiccio del Disgrazia (3678 m s.m.), i gruppi del Bernina (4049 m s.m.) e Stella (3163 m s.m.).

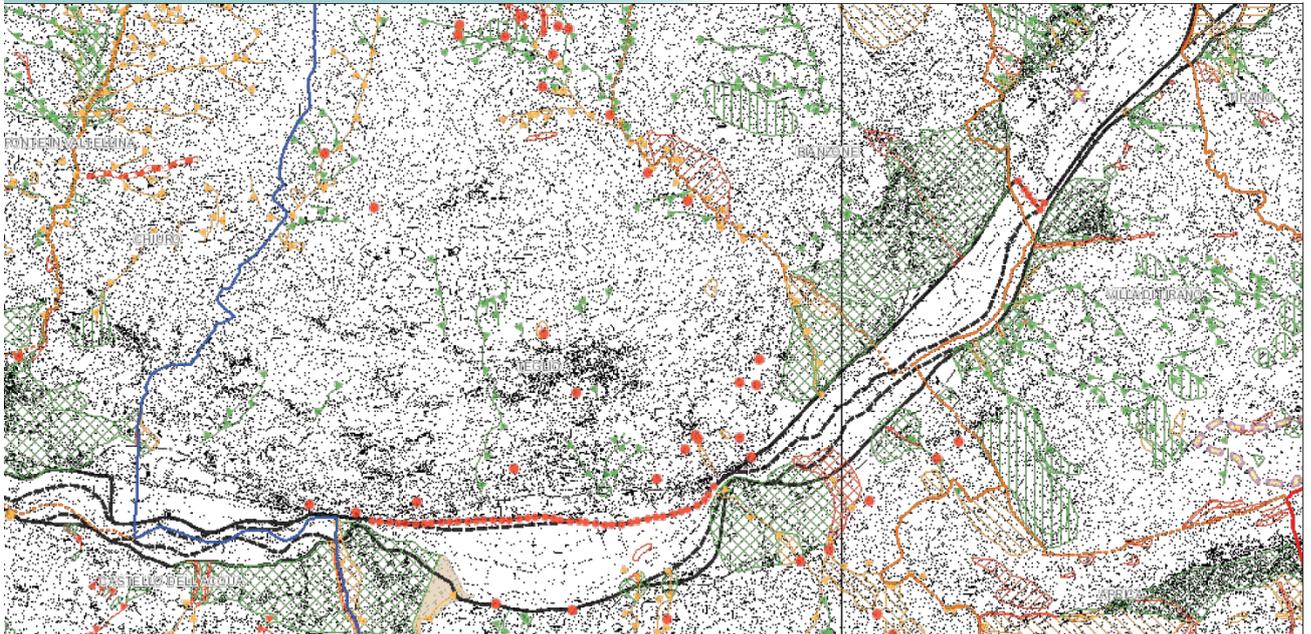
L'asta del fiume Adda è suddivisibile in tre tratti distinti per andamento, caratteristiche fisiografiche e geomorfologiche. In particolare l'ultimo tratto, tra Tirano ed il Lago di Como, presenta una decisa deviazione in direzione est-ovest ed un andamento più lento dovuto alle caratteristiche dell'ampio fondovalle in cui il fiume si colloca ed alla debole pendenza che lo contraddistingue. Questa particolare condizione ha fatto sì che, nell'ultimo tratto, l'Adda divagasse liberamente con anse e meandri, molti dei quali permangono a testimonianza dell'azione del fiume.

La valle del fiume Adda sopralacuale, con il suo andamento longitudinale est ovest dovuto alla formazione della "linea insubrica", o "linea del Tonale", estesa porzione di faglia di cui costituisce la parte centrale, divide le Alpi Retiche dalle Alpi Orobie e dalle Prealpi.

Il fiume scende dalla sorgente, presso il passo dell'Alpisella nel Parco nazionale dello Stelvio, per la valle di Fraele e si immette nel Lario attraversato il Piano di Spagna, una delle più importanti e suggestive aree umide dell'arco alpino.

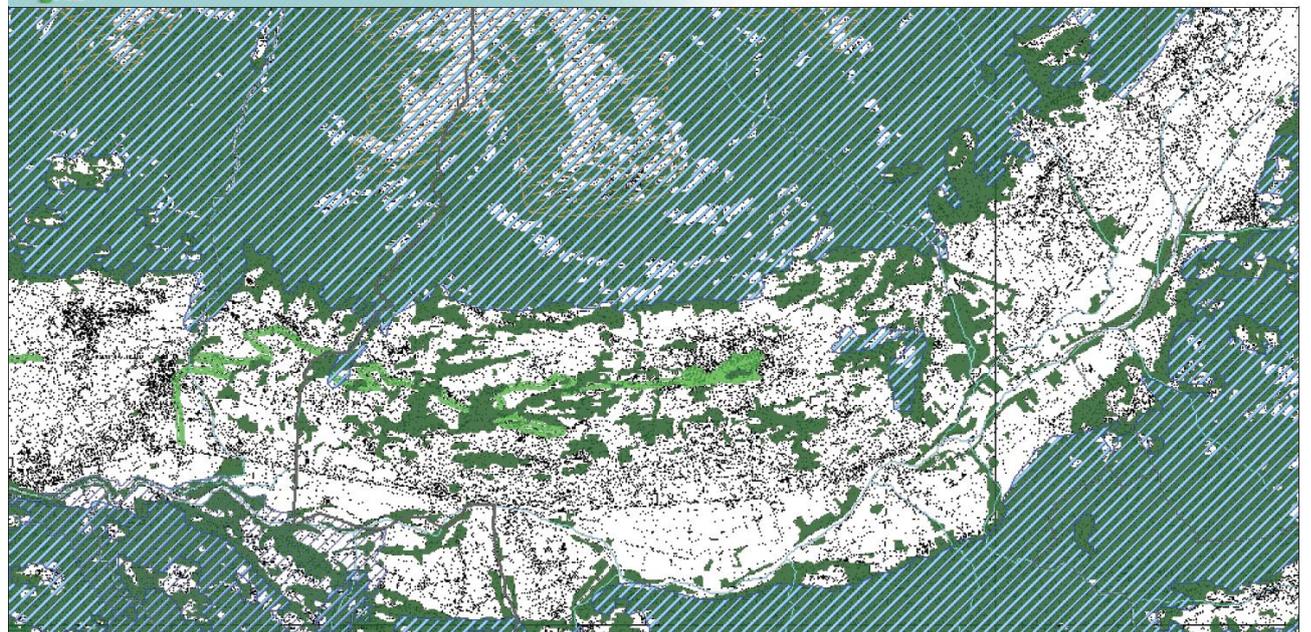
Nel complesso il paesaggio è tipicamente alpino, con ambienti di alta montagna con cime di oltre 2000 metri, morfologie glaciali, periglaciali e fluvio-glaciali.

Le caratteristiche geologiche dei complessi montuosi presenti nel territorio sono date dalla presenza di rocce metamorfiche ed intrusive, e limitatamente da rocce sedimentarie; inoltre sono presenti alcune discontinuità tettoniche ed alcuni sistemi di faglie che influiscono direttamente sulla condizione di instabilità e di fenomeni franosi quale quello della Val Pola e quello potenziale di Spriana.



Scala 1: 50.000

0 — 1270 m



Scala 1: 50.000

0 — 1270 m

5 DELIMITAZIONE DELLE FASCE FLUVIALI

5.1 Articolazione in fasce degli alvei fluviali

L'alveo fluviale e la parte di territorio limitrofo, costituente nel complesso la regione fluviale, sono oggetto della seguente articolazione in fasce:

- Fascia di deflusso della piena (Fascia A), costituita dalla porzione di alveo che è sede prevalente, per la piena di riferimento, del deflusso della corrente, ovvero che è costituita dall'insieme delle forme fluviali riattivabili durante gli stati di piena;

- Fascia di esondazione (Fascia B), esterna alla precedente, costituita dalla porzione di alveo interessata da inondazione al verificarsi dell'evento di piena di riferimento. Con l'accumulo temporaneo in tale fascia di parte del volume di piena si attua la laminazione dell'onda di piena con riduzione delle portate di colmo.

Il limite della fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici corrispondenti alla piena di riferimento ovvero sino alle opere idrauliche esistenti o programmate di controllo delle inondazioni (argini o altre opere di contenimento), dimensionate per la stessa portata.

- Area di inondazione per piena catastrofica (Fascia C), costituita dalla porzione di territorio esterna alla precedente (Fascia B), che può essere interessata da inondazione al verificarsi di eventi di piena più gravosi di quelli di riferimento.

La delimitazione delle fasce, in particolare A e B, sottende l'assunzione di uno specifico progetto per l'assetto di un corso d'acqua, comprendente l'individuazione delle caratteristiche e della localizzazione delle nuove opere idrauliche per il contenimento dei livelli idrici di piena e per la regimazione dell'alveo. I limiti della fascia A e della fascia B vengono evidenziati nella cartografia del Piano con la dicitura "di progetto" nei casi in cui essi si identifichino con il perimetro di nuove opere idrauliche (ad esempio arginature).

5.2 Assunzioni per la delimitazione delle fasce fluviali

- Fascia di deflusso della piena (Fascia A). Si assume la delimitazione più ampia tra le seguenti:

- fissato in 200 anni il tempo di ritorno (TR) della piena di riferimento e determinato il livello idrico corrispondente, si assume come delimitazione convenzionale della fascia la porzione ove defluisce almeno l'80% di tale portata. All'esterno di tale fascia la velocità della corrente deve essere minore o uguale a 0.4 m/s (criterio prevalente nei corsi d'acqua mono o pluricursali);

- limite esterno delle forme fluviali potenzialmente attive per la portata con TR di 200 anni (criterio prevalente nei corsi d'acqua ramificati);

- Fascia di esondazione (Fascia B). Si assume come portata di riferimento la piena con TR di 200 anni. Il limite della fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici corrispondenti alla piena indicata ovvero sino alle opere idrauliche esistenti o programmate di controllo delle inondazioni (argini o altre opere di contenimento), dimensionate per la stessa portata.

La delimitazione sulla base dei livelli idrici va integrata con:

- le aree sede di potenziale riattivazione di forme fluviali relitte non fossili, cioè ancora correlate, dal punto di vista morfologico, paesaggistico e talvolta ecosistemico alla dinamica fluviale che le ha generate;

- le aree di elevato pregio naturalistico e ambientale e quelle di interesse storico, artistico, culturale strettamente collegate all'ambito fluviale.

- Area di inondazione per piena catastrofica (Fascia C). Si assume come portata di

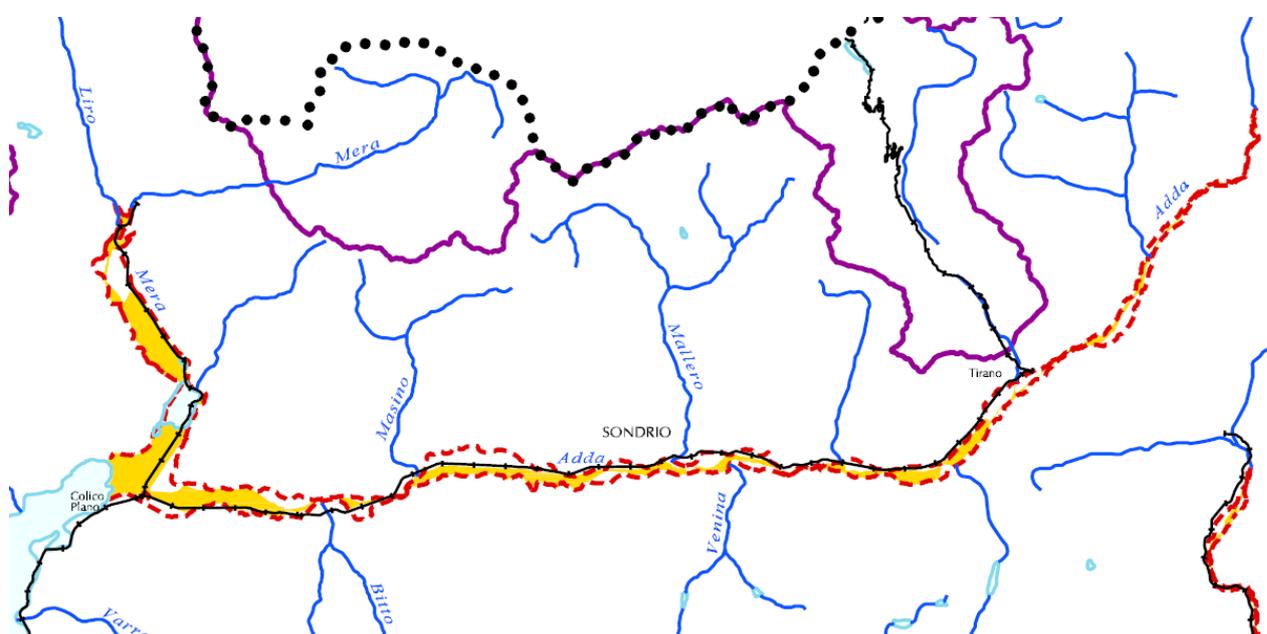
riferimento la massima piena storicamente registrata, se corrispondente a un TR superiore a 200 anni, o in assenza di essa, la piena con TR di 500 anni.

Per i corsi d'acqua non arginati la delimitazione dell'area soggetta ad inondazione viene eseguita con gli stessi criteri adottati per la fascia B, tenendo conto delle aree con presenza di forme fluviali fossili.

Per i corsi d'acqua arginati l'area è delimitata unicamente nei tratti in cui lo rendano possibile gli elementi morfologici disponibili; in tali casi la delimitazione è definita in funzione della più gravosa delle seguenti due ipotesi (se entrambe applicabili) in relazione alle altezze idriche corrispondenti alla piena :

- altezze idriche corrispondenti alla quota di tracimazione degli argini, - altezze idriche ottenute calcolando il profilo idrico senza tenere conto degli argini.

5.3 Corsi d'acqua interessato dalle fasce fluviali



LEGENDA

-  Fascia A e Fascia B delimitate nel Piano Stralcio delle Fasce Fluviali - PSFF
-  Fascia C delimitata nel Piano Stralcio delle Fasce Fluviali - PSFF
-  Fascia A e Fascia B delimitate nel Progetto di Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico - PAI
-  Fascia C delimitata nel Progetto di Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico - PAI
-  Centri urbani principali e secondari
-  Autostrade
-  Ferrovie
-  Limite di Regione
-  Limite di bacino idrografico del fiume Po

6 STUDIO IDROGEOLOGICO

L'Adda è caratterizzata da un regime pluviometrico di tipo continentale, con massimi estivi e minimi invernali. L'area è caratterizzata da due distinte regioni pluviometriche, una sudoccidentale e una nordorientale. Nella prima sono concentrati i valori di piovosità maggiore, mentre i valori inferiori si trovano nella parte nordest. Le precipitazioni medie variano da 800 mm/anno a 2000 mm/anno.

Tab 1.3. Valori delle portate di piena storiche nel bacino dell'Adda sopralcuale

Sezione	Superficie Km2	Hmedia m s.m.	Hmin m s.m.	Qmax m3/s	qmax m3/s.km2	Data
Adda a Tirano	906	2136	430	540	0.60	01/11/1926
Adda a Fuentes	2598	1841	198	1190	0.46	22/08/1911
Adda a Ponte di Lecco (Fortilizio)	4508	1560	197	1070	0.24	06/10/1868

I valori delle portate al colmo nei tratti di fiume interessati dagli attraversamenti da parte del metanodotto sono stati calcolati a partire dai dati delle portate di piena forniti dalla "Direttiva piena di progetto" dell'Autorità di Bacino del Fiume Po.

Tale direttiva definisce le portate di piena per vari tempi di ritorno in corrispondenza di 5 sezioni significative lungo il corso d'acqua dell'Adda nel suo tratto sopralacuale, così come riportato in tabella 1.

progr. m	località	superficie km ²	Q20 m ³ /s	Q100 m ³ /s	Q200 m ³ /s	Q500 m ³ /s
20.610	Le Prese	577	460	640	720	820
46.487	Tirano	906	530	750	830	950
73.778	Sondrio	1932	980	1290	1430	1600
91.815	Masino	2344	1050	1380	1530	1710
113.402	Fuentes	2598	1070	1410	1560	1750

Tabella 1 – Valori delle portate al colmo in varie sezioni del F. Adda sopralacuale (da Autorità di bacino del F. Po)

I valori di tali portate sono stati riportati in grafico (v. Fig. 1) in funzione della superficie del bacino sotteso dalle varie sezioni e si sono ricavate le equazioni delle curve di correlazione per i vari tempi di ritorno.

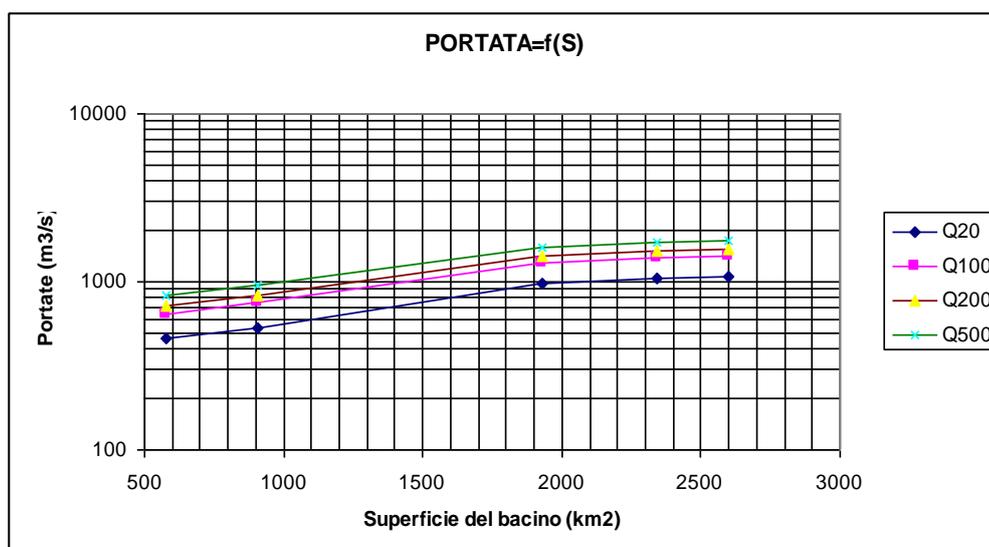


Figura 1 – Correlazione portate vs superficie per il F. Adda sopralacuale

- $Q_{20} = 8,7604 \cdot S^{0,6154}$ ($r=0.9776$)
- $Q_{100} = 16,871 \cdot S^{0,5666}$ ($r=0.9848$)
- $Q_{200} = 19,865 \cdot S^{0,5586}$ ($r=0.9818$)
- $Q_{500} = 24,979 \cdot S^{0,5437}$ ($r=0.9844$)

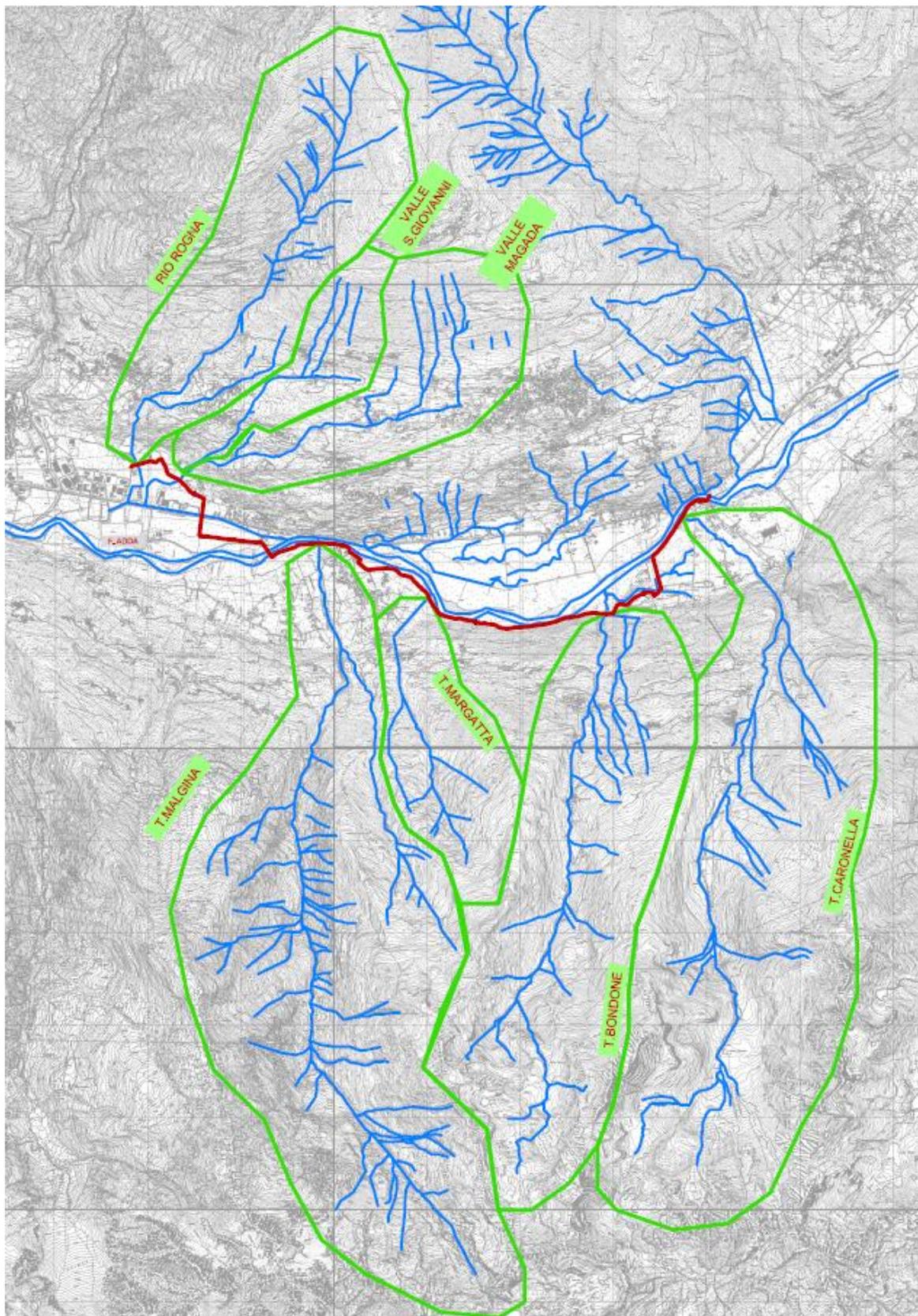
Per il calcolo delle portate di progetto relative al tratto di corso d'acqua in studio, cioè quello dell'attraversamento a San Giacomo, si è fatto riferimento alle rispettive sezioni di chiusura le quali sottendono rispettivamente bacini imbriferi delle seguenti superfici:

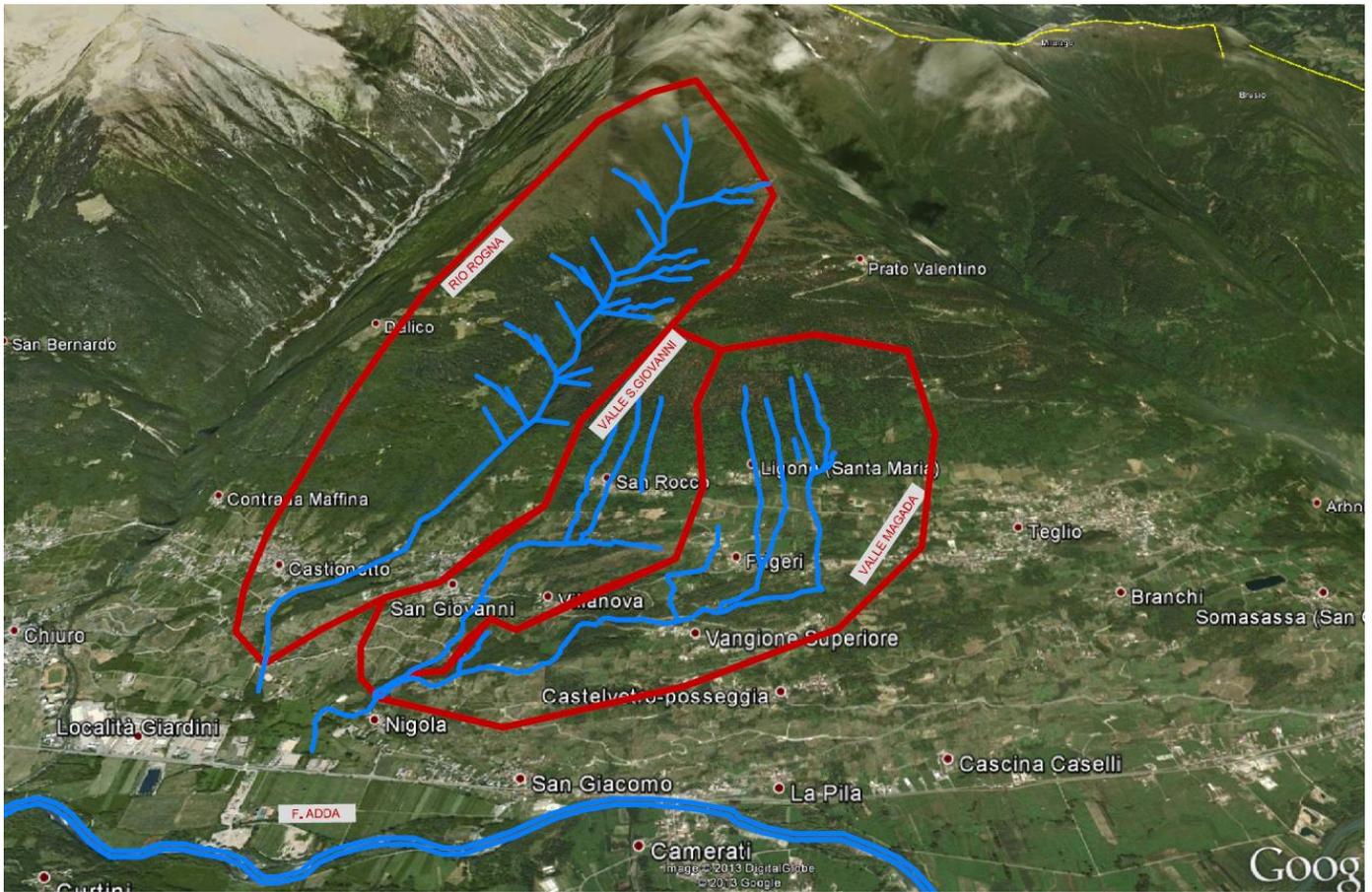
- Adda a San Giacomo (comprensiva del T. Malgina): 1340 km²

Le portate di riferimento (espresse in m³/s), in funzione del tempo di ritorno, risultano pertanto essere:

	San Giacomo
Q ₂₀	736
Q ₁₀₀	997
Q ₂₀₀	1108
Q ₅₀₀	1252

6.1 Definizione dei bacini sottesi dei torrenti interessati dal progetto





6.2 Normativa di riferimento

AUTORITA' DI BACINO DEL FIUME PO
PARMA

Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) Interventi sulla rete idrografica e sui versanti

Legge 18 Maggio 1989, n. 183, art. 17, comma 6ter

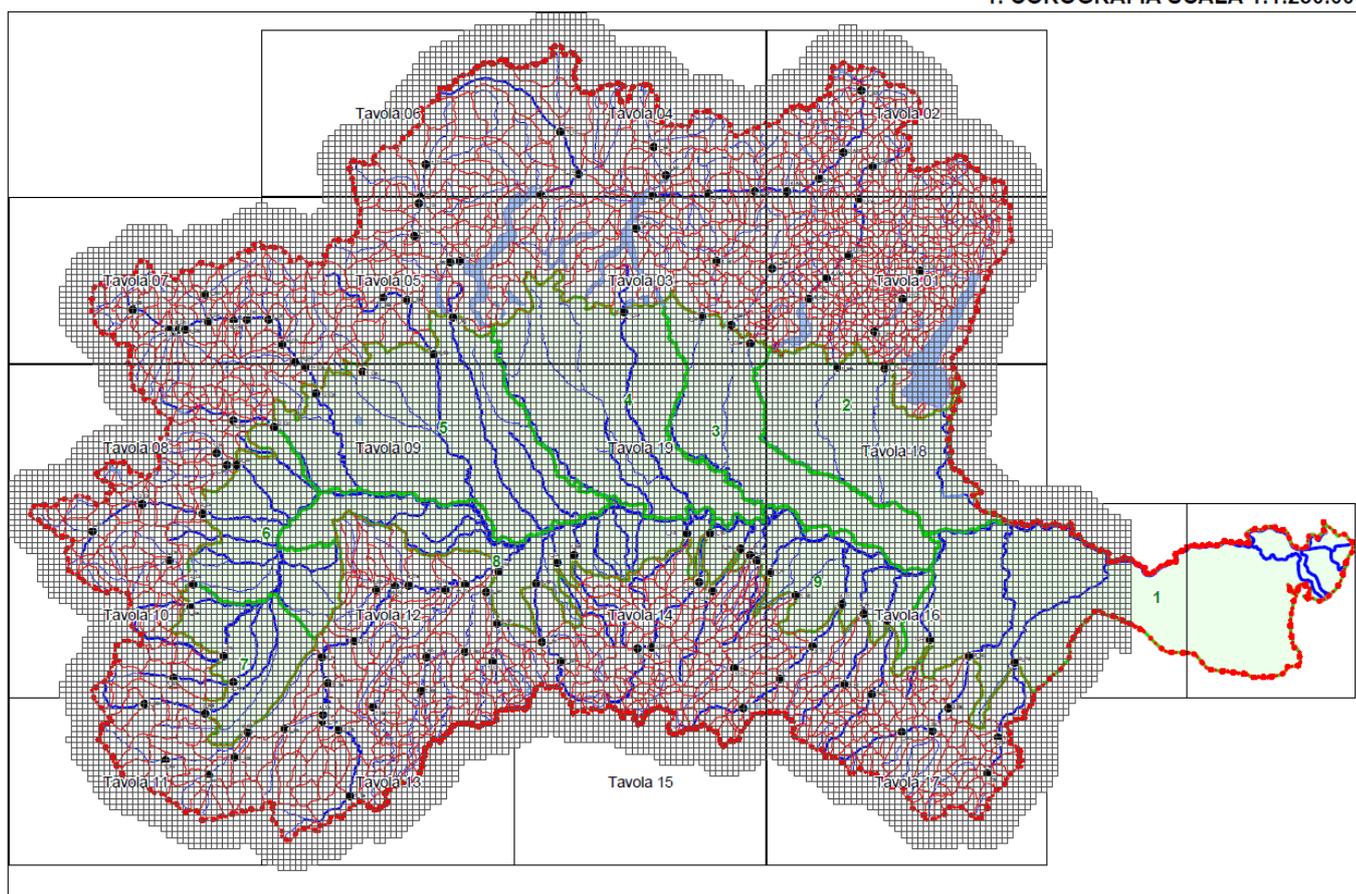
Adottato con deliberazione del Comitato Istituzionale n. 18 in data 26 aprile 2001

7. Norme di attuazione

**Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni
e le verifiche di compatibilita' idraulica**

Allegato 3 : Distribuzione spaziale delle precipitazioni intense

1. COROGRAFIA SCALA 1:1.250.000



Per il calcolo della portata di piena col metodo razionale:

Tab. 5.1. Valori del coefficiente C del metodo razionale per diversi tipi di superficie

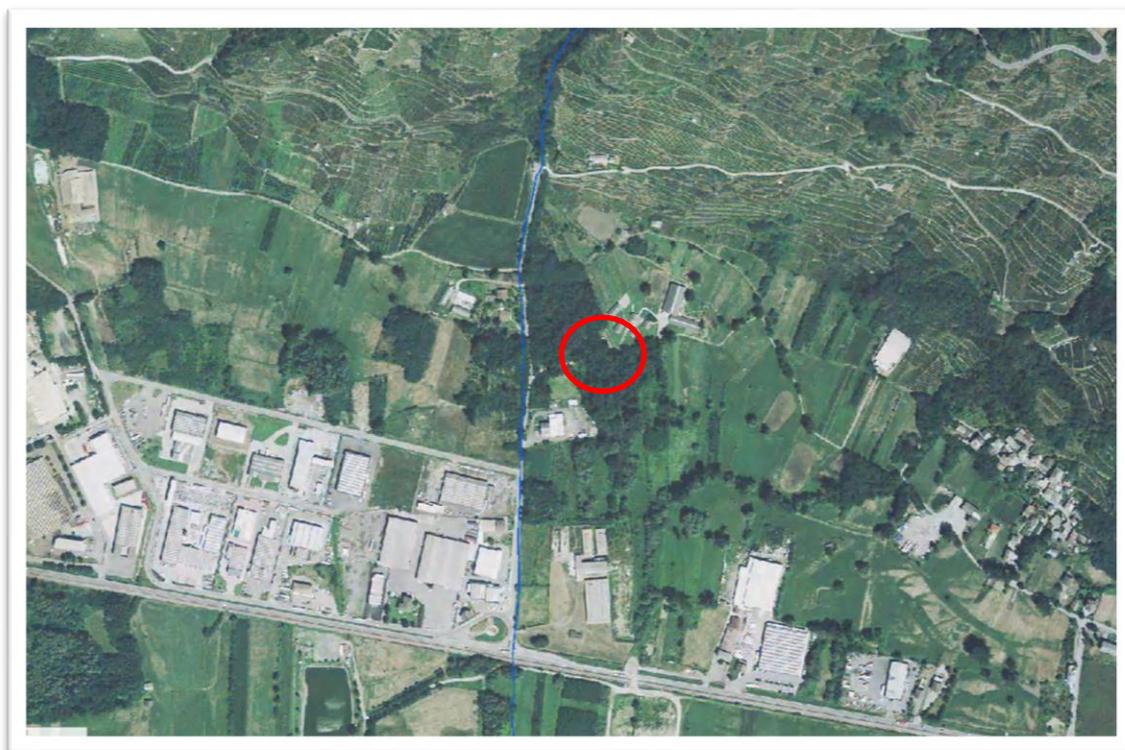
Tipo di Superficie	Tempo di ritorno					
	10	20	50	100	200	500
Asfalto	0.81	0.855	0.9	0.95	0.975	1
Calcestruzzo, tetti	0.83	0.875	0.92	0.97	0.985	1
Coltivazioni	0.36	0.395	0.43	0.47	0.52	0.57
Pascoli ($i > 7\%$)	0.42	0.455	0.49	0.53	0.565	0.6
Boschi ($i > 7\%$)	0.41	0.445	0.48	0.52	0.55	0.58

Per il calcolo della portata idraulica di una sezione:

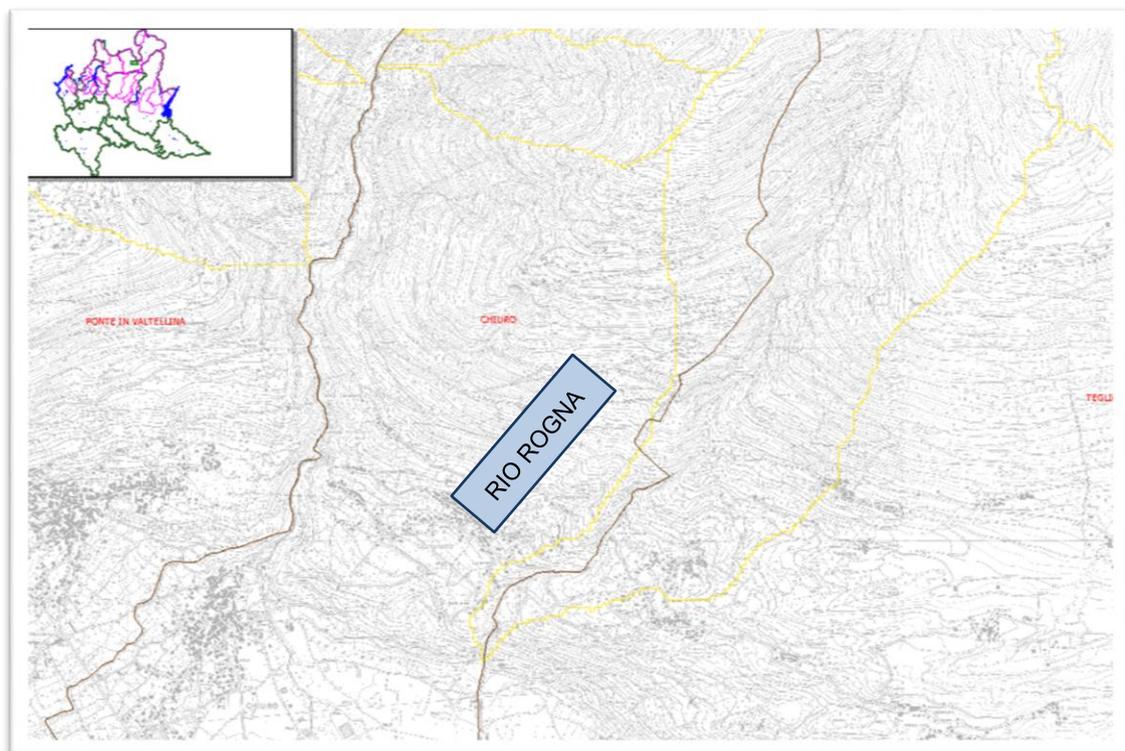
Valori dell'indice di scabrezza di Gauckler-Strickler

<i>Natura delle pareti</i>	k_s ($m^{1/3}/s$)
Corsi d'acqua naturali	
piccoli corsi d'acqua di pianura, puliti, diritti e senza ristagni d'acqua	30-40
piccoli corsi d'acqua di pianura, puliti, sinuosi e senza ristagni d'acqua	22-30
tratti lenti con erbacce e stagni profondi	13-20
tratti molto erbosi con stagni profondi, ostacolati da alberi e macchie	7-13
fiumi di montagna, con fondo in ghiaia, ciottoli e pochi massi e lati ripidi	20-33
fiumi di montagna, con fondo in ciottoli e grossi massi, lati ripidi	14-25
Golene	
con erba	20-40
con aree coltivate	20-50
con sottobosco	14-29
con molti alberi	8-13
Grandi fiumi (larghezza in superficie maggiore di 30 m)	
sezione regolare, senza massi o vegetazione	17-40
sezione irregolare	10-29

6.3 Calcolo della portata di piena del Torrente Rio Rogna



Dal sito della Regione Lombardia settore " Territorio e Urbanistica " sono disponibili i dati SIBCA del torrente " Rio Rogna " denominato MV74:



Rec	Nome bacino	codice CT10	portata TR50 (mc/s)	portata TR100 (mc/s)	portata TR200 (mc/s)	portata Iskowski (mc/s)	magnitudo Bottino (mc)	magnitudo D'Agostino (mc)	magnitudo Ceriani (mc)
1	MV74	14811	13,87725	15,09134	16,30064	10,8	34539,44832	111857,10899	30107,91213

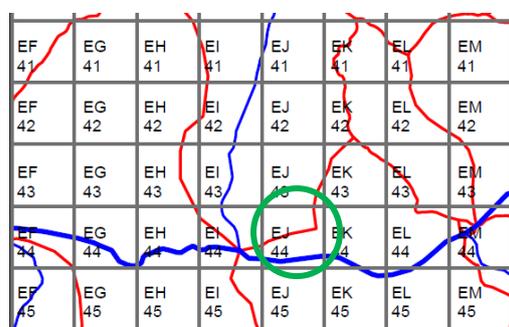
magnitudo Bianco (mc)	coefficiente deflusso	indice franosità	denità drenaggio (1/Km)	lunghezza totale idrografia (Km)	distanza max reticolo coprente (Km)
14093,45322	0,42194	0,41513	3,3918	19,2532	6,35016

Area planimetrica (km ²)	area effettiva (km ²)	rapporto aree	indice Melton	pendenza media bacino (m/m)	Quota max bacino (m slm)	Quota minima (m slm)	Quota media (m slm)
5,6764	15,703	0,36148	0,86538	0,54953	2457,2	395,4	1513,04

Il valore della portata di progetto è riferito alla portata di piena corrispondente a un tempo di ritorno pari a 200 anni, pari a 16,30 m³/s.

Inoltre si riportano i valori di a e n che si ricavano dalla tabella dell'Allegato 3 – Distribuzione spaziale delle precipitazioni intense (parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per tempi di ritorno di 20, 100, 200 anni). Norma di attuazione – Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica – Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI), redatto dall'Autorità di bacino del fiume Po (anno 2001).

PARAMETRI IDROLOGICI BACINO CELLA EJ44		
Tempo di ritorno	a	n
20	32,17	0,396
100	41,10	0,388
200	44,97	0,385



La valutazione teorica delle portate solide risulta estremamente complessa per effetto dell'assenza di stime accurate e di scarsità dei dati disponibili in termini di studi specifici relativi alla zona in esame.

Ai fini di valutare l'ordine di grandezza del fenomeno, si è deciso di effettuare alcune valutazioni relativamente al trasporto solido del torrente, tenuto conto delle caratteristiche geomorfologiche del bacino in esame.

Si distingue sostanzialmente la modalità di trasporto per trascinamento sul fondo da quello in sospensione. La prima è quella in cui le particelle più grossolane (ghiaie, blocchi) si muovono per rotolamento o strisciamento sul fondo senza abbandonarlo mai. La seconda prevede che le particelle solide, più piccole (argilla, limo e sabbia), si muovono in seno alla corrente sostenute dalla sua agitazione turbolenta.

$$\text{Ipotizzando} = \quad \gamma_{sol+liq} = 1,2 \div 1,4 t / m^3$$
$$\quad \quad \quad \gamma_{sol} = 2,65 t / m^3$$

Si ottiene per la miscela una concentrazione pari: $C = 0,12 \div 0,24$

Basandosi su tali considerazioni la portata complessiva (liquido + solido) dovuta alla capacità di trasporto della corrente è il risultato del prodotto della portata liquida per un coefficiente compreso tra 1,12 e 1,24.

$$Q_{200, sol} = 16,30 \text{ m}^3/\text{s} * 1,12 = 18,26 \text{ m}^3/\text{s}$$

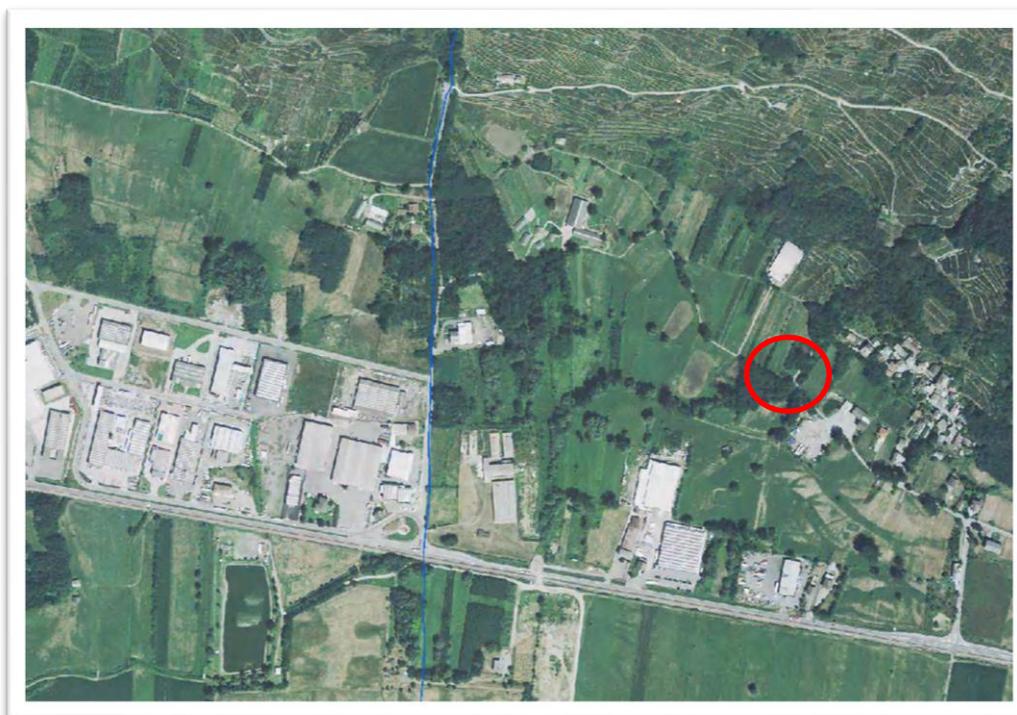
$$Q_{200, sol} = 16,30 \text{ m}^3/\text{s} * 1,24 = 20,21 \text{ m}^3/\text{s}$$

6.4 Verifica della sezione idraulica attraversamento Torrente Rio Rogna



L'attraversamento del Torrente Rio Rogna è previsto in sub-alveo con tubo di protezione in acciaio ad una profondità pari a 1,50 m dal fondo del canale, per cui non interferisce con il regolare deflusso delle acque. Si prevede, inoltre, il ripristino e il prolungamento del selciatoone in pietrame a valle per proteggere il fondo dell'alveo dall'erosione.

6.5 Calcolo della portata di piena del Torrente Valle S.Giovanni



Si procede col calcolo della portata di piena dalla nota relazione:

$$h = a \times t^n$$

Dove:

h = precipitazione di progetto con assegnato tempo di ritorno

a e n = parametri pluviometrici caratteristici della serie storica

t = durata della pioggia assegnata pari al tempo di corrivazione T_c

si ottiene il calcolo della precipitazione di progetto con assegnato tempo di ritorno (20, 100, 200 anni).

I valori di a e n si ricavano dalla tabella dell'Allegato 3 – Distribuzione spaziale delle precipitazioni intense (parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per tempi di ritorno di 20, 100, 200 anni).

Norma di attuazione – Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica – Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI), redatto dall'Autorità di bacino del fiume Po (anno 2001).

Per il calcolo del tempo di corrivazione è stata utilizzata la nota relazione di Giandotti:

$$T_c = \frac{4 \cdot \sqrt{A} + 1,5 \cdot L}{0,8 \cdot \sqrt{H_m - H_0}} = 0,74134$$

dove: **A** = 1,92 Area del bacino sotteso (Km²)
L = 3,21 Lunghezza dell'asta fluviale principale (Km)
H_m = 665 Altezza media del bacino (m s.l.m.)
H_o = 360 Altezza della sezione di chiusura (m s.l.m.)

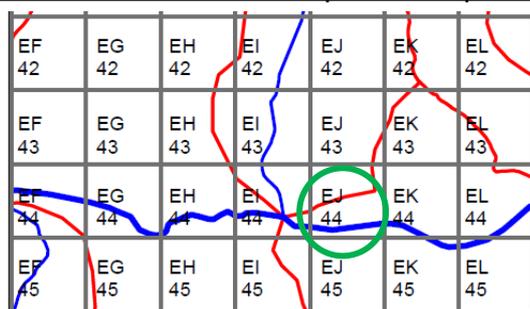
$h = a \times t^n = 28,57$ (mm) tempo di ritorno 20 anni

$h = a \times t^n = 36,59$ (mm) tempo di ritorno 100 anni

$h = a \times t^n = 40,08$ (mm) tempo di ritorno 200 anni

PARAMETRI IDROLOGICI BACINO CELLA EJ44

Tempo di ritorno	a	n
20	32,17	0,396
100	41,10	0,388
200	44,97	0,385



Dalla formula del Metodo Razionale si ottiene la portata di piena di colmo

$$Q = k \cdot C \cdot i \cdot A = k \cdot C \cdot \frac{h}{T_c} \cdot A$$

$\frac{h}{T_c} = 38,54$ intensita della pioggia di progetto tempo di ritorno 20 anni (mm/h)

$\frac{h}{T_c} = 49,36$ intensita della pioggia di progetto tempo di ritorno 100 anni (mm/h)

$\frac{h}{T_c} = 54,06$ intensita della pioggia di progetto tempo di ritorno 200 anni (mm/h)

C Coefficiente di deflusso che tiene conto della riduzione della portata meteorica per effetto dell'infiltrazione

k = 0,278 fattore che tiene conto della non uniformità delle unità di misura usate

C =	0,445	Q =	9,16 (m ³ /s)	tempo di ritorno 20 anni
C =	0,520	Q =	13,70 (m ³ /s)	tempo di ritorno 100 anni
C =	0,550	Q =	15,87 (m ³ /s)	tempo di ritorno 200 anni

La valutazione teorica delle portate solide risulta estremamente complessa per effetto dell'assenza di stime accurate e di scarsità dei dati disponibili in termini di studi specifici relativi alla zona in esame.

Ai fini di valutare l'ordine di grandezza del fenomeno, si è deciso di effettuare alcune valutazioni relativamente al trasporto solido del torrente, tenuto conto delle caratteristiche geomorfologiche del bacino in esame.

Si distingue sostanzialmente la modalità di trasporto per trascinamento sul fondo da quello in sospensione. La prima è quella in cui le particelle più grossolane (ghiaie, blocchi) si muovono per rotolamento o strisciamento sul fondo senza abbandonarlo mai. La seconda prevede che le particelle solide, più piccole (argilla, limo e sabbia), si muovono in seno alla corrente sostenute dalla sua agitazione turbolenta.

Ipotezzando = $\gamma_{sol+liq} = 1,2 \div 1,4 t / m^3$

$$\gamma_{sol} = 2,65 t / m^3$$

Si ottiene per la miscela una concentrazione pari:

$$C = 0,12 \div 0,24$$

Basandosi su tali considerazioni la portata complessiva (liquido + solido) dovuta alla capacità di trasporto della corrente è il risultato del prodotto della portata liquida per un coefficiente compreso tra 1,12 e 1,24.

$$Q_{200, sol} = 15,87 \text{ m}^3/\text{s} * 1,12 = 17,77 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{200, sol} = 15,87 \text{ m}^3/\text{s} * 1,24 = 19,68 \text{ m}^3/\text{s}$$

6.6 Calcolo della portata di piena del Torrente Valle Magada

Si tratta quindi di verificare la sezione del canale esistente, delle dimensioni idonee a smaltire la portata massima calcolata con tempo di ritorno di 100 anni, tenuto conto anche della componente di trasporto solido. Dalla nota relazione:

$$h = a \times t^n$$

Dove:

h = precipitazione di progetto con assegnato tempo di ritorno

a e n = parametri pluviometrici caratteristici della serie storica

t = durata della pioggia assegnata pari al tempo di corrivazione Tc

si ottiene il calcolo della precipitazione di progetto con assegnato tempo di ritorno (20, 100, 200 anni).

I valori di a e n si ricavano dalla tabella dell'Allegato 3 – Distribuzione spaziale delle precipitazioni intense (parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per tempi di ritorno di 20, 100, 200 anni). Norma di attuazione – Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica – Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI), redatto dall'Autorità di bacino del fiume Po (anno 2001).

Per il calcolo del tempo di corrivazione è stata utilizzata la nota relazione di Giandotti:

$$T_c = \frac{4 \cdot \sqrt{A} + 1,5 \cdot L}{0,8 \cdot \sqrt{H_m - H_0}} = 1,132853$$

dove: A = 4,16 Area del bacino sotteso (Km²)

L = 4,85 Lunghezza dell'asta fluviale principale (Km)

H_m = 650 Altezza media del bacino (m s.l.m.)

H₀ = 360 Altezza della sezione di chiusura (m s.l.m.)

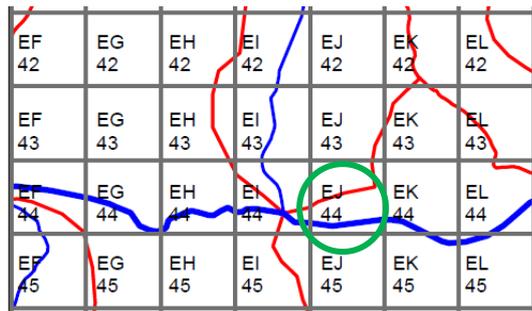
$h = a \times t^n = 33,80$ (mm) tempo di ritorno 20 anni

$h = a \times t^n = 43,14$ (mm) tempo di ritorno 100 anni

$h = a \times t^n = 47,18$ (mm) tempo di ritorno 200 anni

PARAMETRI IDROLOGICI BACINO CELLA EJ44

Tempo di ritorno	a	n
20	32,17	0,396
100	41,10	0,388
200	44,97	0,385



Dalla formula del Metodo Razionale si ottiene la portata di piena di colmo

$$Q = k \cdot C \cdot i \cdot A = k \cdot C \cdot \frac{h}{T_c} \cdot A$$

$$\frac{h}{T_c} = 29,84 \quad \text{intensità della pioggia di progetto tempo di ritorno 20 anni (mm/h)}$$

$$\frac{h}{T_c} = 38,08 \quad \text{intensità della pioggia di progetto tempo di ritorno 100 anni (mm/h)}$$

$$\frac{h}{T_c} = 41,65 \quad \text{intensità della pioggia di progetto tempo di ritorno 200 anni (mm/h)}$$

C Coefficiente di deflusso che tiene conto della riduzione della portata meteorica per effetto dell'infiltrazione

k = 0,278 fattore che tiene conto della non uniformità delle unità di misura usate

C	=	0,445	Q	=	15,35	(m ³ /s)	tempo di ritorno 20 anni
C	=	0,520	Q	=	22,90	(m ³ /s)	tempo di ritorno 100 anni
C	=	0,550	Q	=	26,49	(m ³ /s)	tempo di ritorno 200 anni

La valutazione teorica delle portate solide risulta estremamente complessa per effetto dell'assenza di stime accurate e di scarsità dei dati disponibili in termini di studi specifici relativi alla zona in esame.

Ai fini di valutare l'ordine di grandezza del fenomeno, si è deciso di effettuare alcune valutazioni relativamente al trasporto solido del torrente, tenuto conto delle caratteristiche geomorfologiche del bacino in esame.

Si distingue sostanzialmente la modalità di trasporto per trascinamento sul fondo da quello in sospensione. La prima è quella in cui le particelle più grossolane (ghiaie, blocchi) si muovono per rotolamento o strisciamento sul fondo senza abbandonarlo mai. La seconda prevede che le particelle solide, più piccole (argilla, limo e sabbia), si muovono in seno alla corrente sostenute dalla sua agitazione turbolenta.

$$\text{ipotizzando} = \gamma_{sol+liq} = 1,2 \div 1,4 t / m^3$$

$$\gamma_{sol} = 2,65 t / m^3$$

Si ottiene per la miscela una concentrazione pari: $C = 0,12 \div 0,24$

Basandosi su tali considerazioni la portata complessiva (liquido + solido) dovuta alla capacità di trasporto della corrente è il risultato del prodotto della portata liquida per un coefficiente compreso tra 1,12 e 1,24.

$$Q_{200, sol} = 26,49 \text{ m}^3/\text{s} * 1,12 = 29,67 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{200, sol} = 26,49 \text{ m}^3/\text{s} * 1,24 = 32,85 \text{ m}^3/\text{s}$$

6.7 Verifica della sezione idraulica attraversamento Valle S.Giovanni e Magada

La portata di piena è pari alla somma delle portate di piena riferite al bacino Valle S.Giovanni e Valle Magada che confluiscono nello stesso torrente.

Q_{200 anni LIQUIDA}	42,36	m³/s
Q_{200 anni SOLIDA}	52,53	m³/s

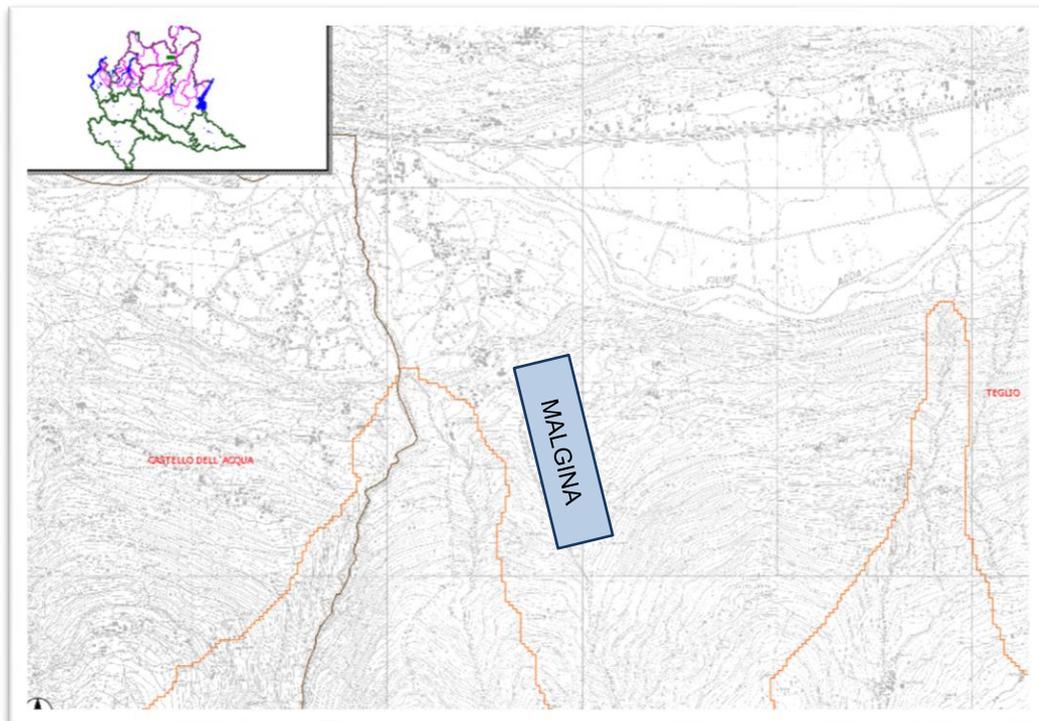


L'attraversamento del Torrente San Giovanni è previsto in sub-alveo con tubo di protezione in acciaio ad una profondità pari a 1,50 m dal fondo del canale, per cui non interferisce con il regolare deflusso delle acque. Si prevede, inoltre, la realizzazione di una soglia a raso in pietrame a valle del ponte esistente per proteggere il fondo dell'alveo dall'erosione.

6.8 Calcolo della portata di piena del Torrente Malgina



Dal sito della Regione Lombardia settore " Territorio e Urbanistica " sono disponibili i dati SIBCA del torrente " Malgina ":



Rec	Nome bacino	codice CT10	portata TR50 (mc/s)	portata TR100 (mc/s)	portata TR200 (mc/s)	portata Iskowski (mc/s)	magnitudo Bottino (mc)	magnitudo D'Agostino (mc)	magnitudo Ceriani (mc)
1	t. maigina	15630	67,69433	73,62452	79,53406	87,01	45888,86673	219450,55662	51457,95059

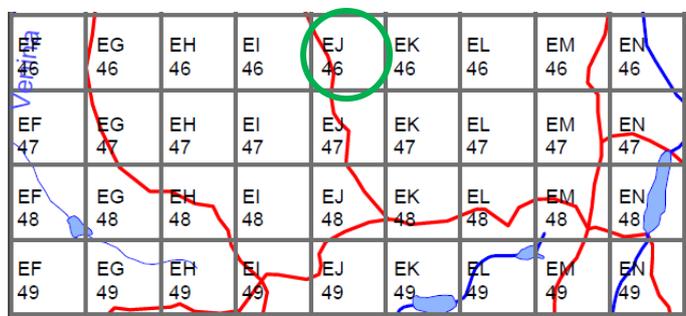
magnitudo Bianco (mc)	coefficiente deflusso	indice franosità	denità drenaggio (1/Km)	lunghezza totale idrografia (Km)	distanza max reticolo coprente (Km)	Area planimetrica (km2)
202614,95317	0,6266	1,43336	5,16957	80,9493	8,31856	15,6588

area effettiva (km2)	rapporto aree	indice Melton	pendenza media bacino (m/m)	Quota max bacino (m slm)	Quota minima (m slm)	Quota media (m slm)
29,8927	0,52383	0,63662	0,80437	2920,8	401,6	1668,26

Il valore della portata di progetto è riferito alla portata di piena corrispondente a un tempo di ritorno pari a 200 anni, pari a 79,53 m³/s.

Inoltre si riportano i valori di a e n che si ricavano dalla tabella dell'Allegato 3 – Distribuzione spaziale delle precipitazioni intense (parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per tempi di ritorno di 20, 100, 200 anni). Norma di attuazione – Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica – Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI), redatto dall'Autorità di bacino del fiume Po (anno 2001).

PARAMETRI IDROLOGICI BACINO CELLA EJ46		
Tempo di ritorno	a	n
20	33,84	3,427
100	43,02	0,422
200	47,01	0,420



La valutazione teorica delle portate solide risulta estremamente complessa per effetto dell'assenza di stime accurate e di scarsità dei dati disponibili in termini di studi specifici relativi alla zona in esame.

Ai fini di valutare l'ordine di grandezza del fenomeno, si è deciso di effettuare alcune valutazioni relativamente al trasporto solido del torrente, tenuto conto delle caratteristiche geomorfologiche del bacino in esame.

Si distingue sostanzialmente la modalità di trasporto per trascinarsi sul fondo da quello in sospensione. La prima è quella in cui le particelle più grossolane (ghiaie, blocchi) si muovono per rotolamento o strisciamento sul fondo senza abbandonarlo mai. La seconda prevede che le particelle solide, più piccole (argilla, limo e sabbia), si muovono in seno alla corrente sostenute dalla sua agitazione turbolenta.

Ipotizzando = $\gamma_{sol+liq} = 1,2 \div 1,4 t / m^3$

$$\gamma_{sol} = 2,65 t / m^3$$

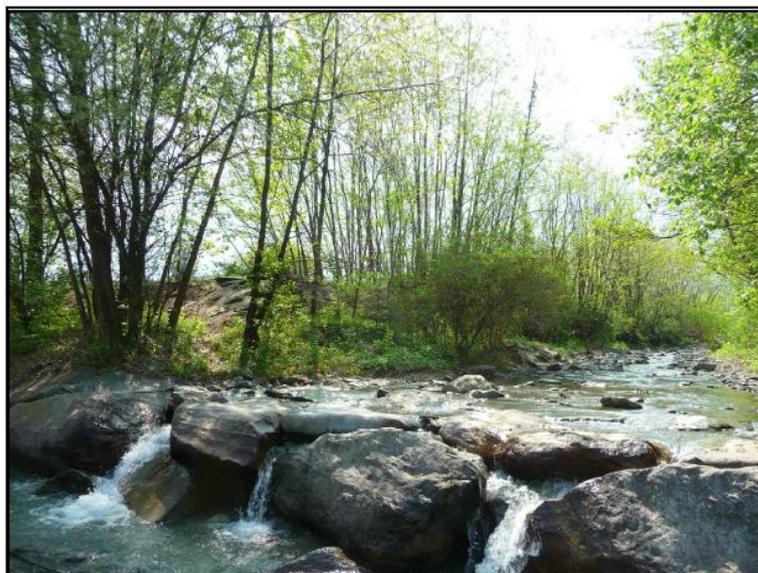
Si ottiene per la miscela una concentrazione pari: $C = 0,12 \div 0,24$

Basandosi su tali considerazioni la portata complessiva (liquido + solido) dovuta alla capacità di trasporto della corrente è il risultato del prodotto della portata liquida per un coefficiente compreso tra 1,12 e 1,24.

$$Q_{200, sol} = 79,53 \text{ m}^3/\text{s} * 1,12 = 89,07 \text{ m}^3/\text{s}$$

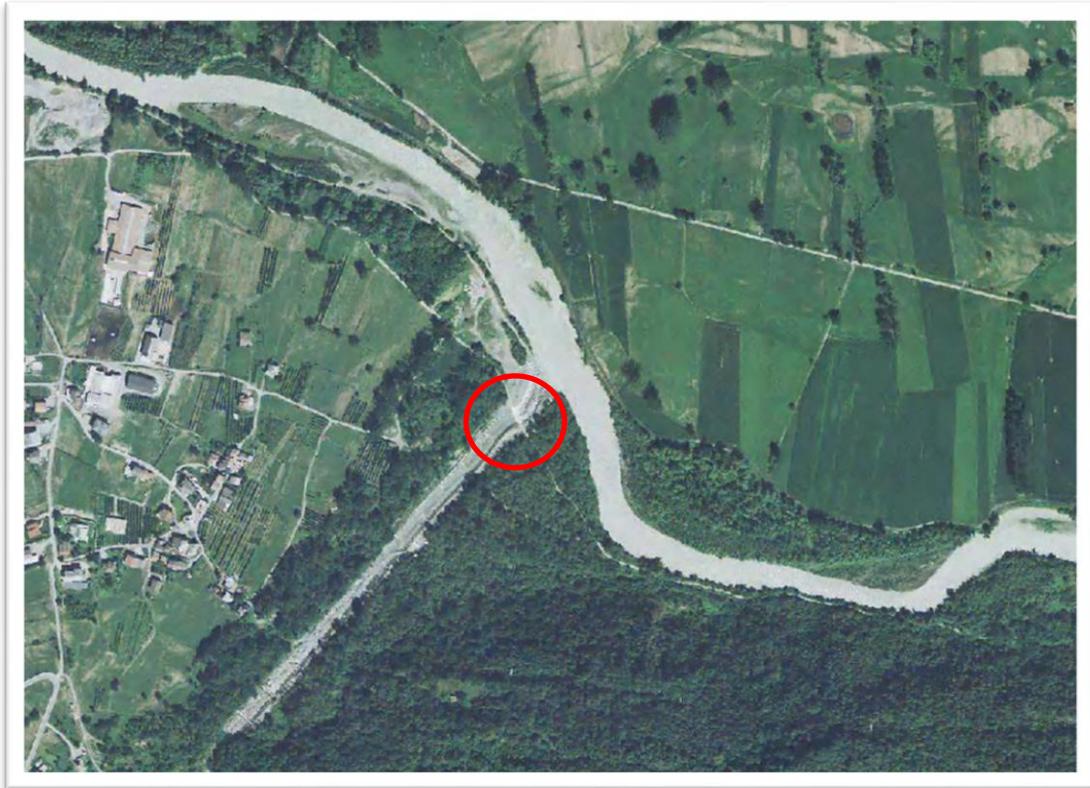
$$Q_{200, sol} = 79,53 \text{ m}^3/\text{s} * 1,24 = 98,62 \text{ m}^3/\text{s}$$

6.9 Verifica della sezione idraulica attraversamento Torrente Malgina

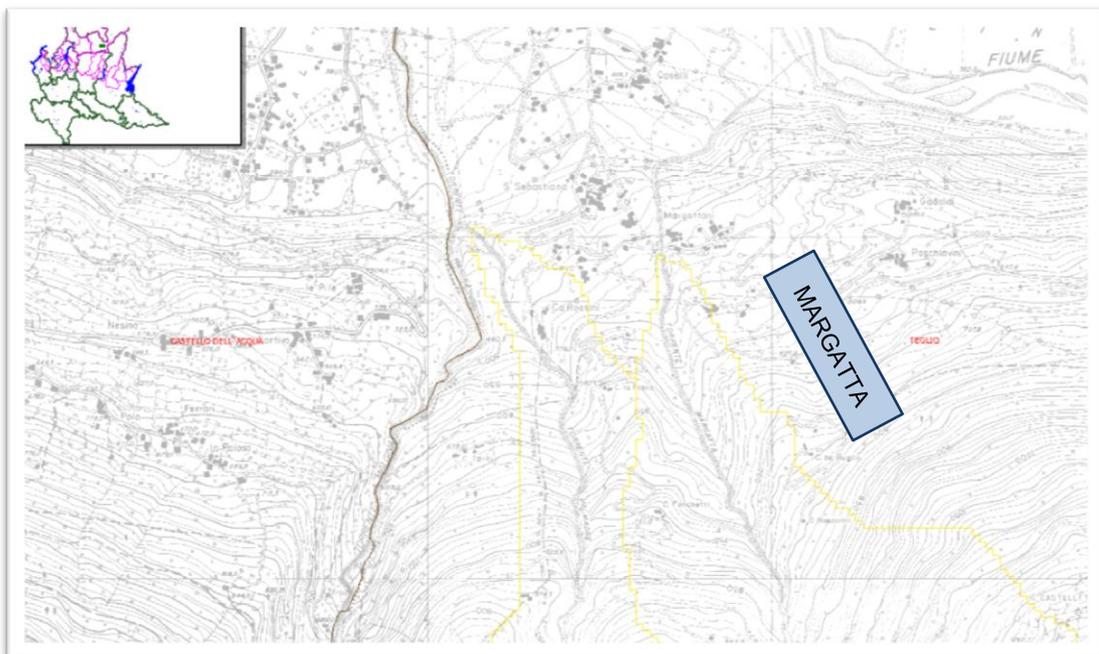


L'attraversamento del Torrente Malgina è previsto in sub-alveo con tubo di protezione in acciaio ad una profondità pari a 3,00 m dal fondo del canale, per cui non interferisce con il regolare deflusso delle acque. Si prevede, inoltre, la realizzazione, il ripristino e il prolungamento della scogliera in pietrame con massi ciclopici.

6.10 Calcolo della portata di piena del Torrente Margatta



Dal sito della Regione Lombardia settore " Territorio e Urbanistica " sono disponibili i dati SIBCA del torrente " Margatta " denominato bacino " MV99":



Rec	Nome bacino	codice CT10	portata TR50 (mc/s)	portata TR100 (mc/s)	portata TR200 (mc/s)	portata Iskowski (mc/s)	magnitudo Bottino (mc)	magnitudo D'Agostino (mc)	magnitudo Ceriani (mc)
1	MV99	16364	14,1985	15,41604	16,62971	10,28	26031,88311	51923,41889	38347,04653

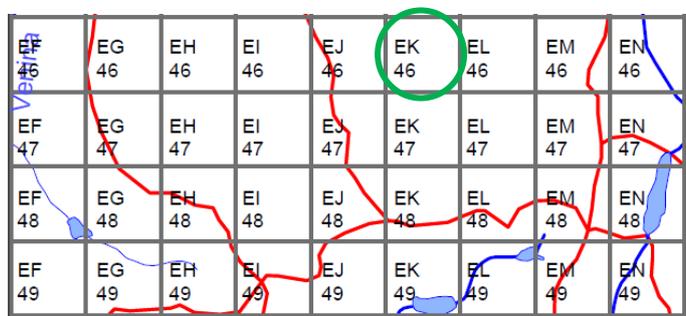
magnitudo Bianco (mc)	coefficiente deflusso	indice franosità	densità drenaggio (1/Km)	lunghezza totale idrografia (Km)	distanza max reticolo coprente (Km)	Area planimetrica (km2)
54674,63454	0,60604	1,90462	3,97553	8,2198	3,23056	2,0676

area effettiva (km2)	rapporto aree	indice Melton	pendenza media bacino (m/m)	Quota max bacino (m slm)	Quota minima (m slm)	Quota media (m slm)
4,52537	0,46689	0,94351	0,68057	1873,2	516,5	1181,83

Il valore della portata di progetto è riferito alla portata di piena corrispondente a un tempo di ritorno pari a 200 anni, pari a 16,63 m³/s.

Inoltre si riportano i valori di a e n che si ricavano dalla tabella dell'Allegato 3 – Distribuzione spaziale delle precipitazioni intense (parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per tempi di ritorno di 20, 100, 200 anni). Norma di attuazione – Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica – Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI), redatto dall'Autorità di bacino del fiume Po (anno 2001).

PARAMETRI IDROLOGICI BACINO CELLA EK46		
Tempo di ritorno	a	n
20	34,37	0,402
100	43,72	0,396
200	47,79	0,394



La valutazione teorica delle portate solide risulta estremamente complessa per effetto dell'assenza di stime accurate e di scarsità dei dati disponibili in termini di studi specifici relativi alla zona in esame.

Ai fini di valutare l'ordine di grandezza del fenomeno, si è deciso di effettuare alcune valutazioni relativamente al trasporto solido del torrente, tenuto conto delle caratteristiche geomorfologiche del bacino in esame.

Si distingue sostanzialmente la modalità di trasporto per trascinamento sul fondo da quello in sospensione. La prima è quella in cui le particelle più grossolane (ghiaie, blocchi) si muovono per rotolamento o strisciamento sul fondo senza abbandonarlo mai. La seconda prevede che le particelle solide, più piccole (argilla, limo e sabbia), si muovono in seno alla corrente sostenute dalla sua agitazione turbolenta.

$$\text{Ipotesizzando } \gamma_{sol+liq} = 1,2 \div 1,4 t / m^3$$
$$\gamma_{sol} = 2,65 t / m^3$$

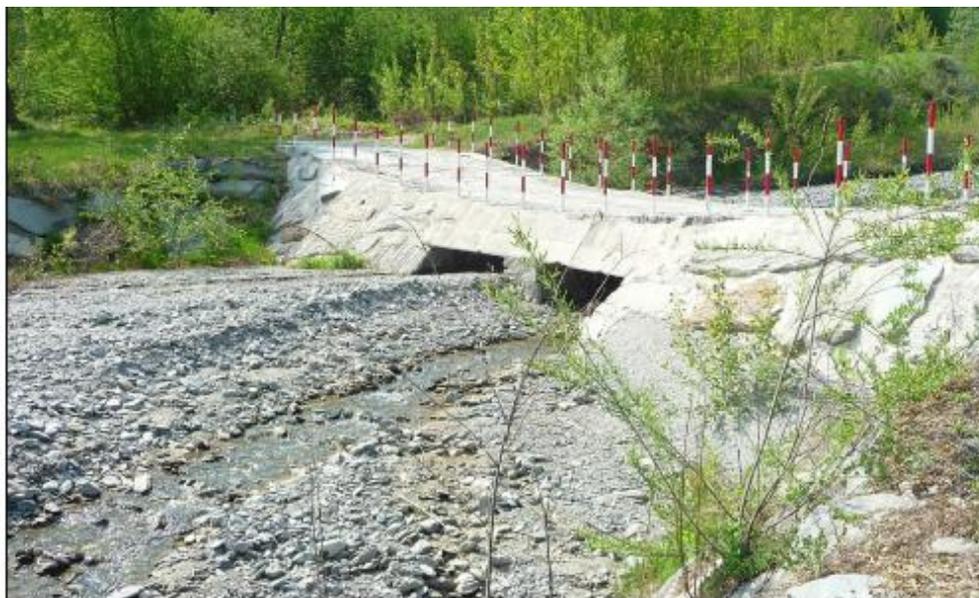
Si ottiene per la miscela una concentrazione pari: $C = 0,12 \div 0,24$

Basandosi su tali considerazioni la portata complessiva (liquido + solido) dovuta alla capacità di trasporto della corrente è il risultato del prodotto della portata liquida per un coefficiente compreso tra 1,12 e 1,24.

$$Q_{200, sol} = 16,63 \text{ m}^3/\text{s} * 1,12 = 18,63 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{200, sol} = 16,63 \text{ m}^3/\text{s} * 1,24 = 20,62 \text{ m}^3/\text{s}$$

6.11 Verifica della sezione idraulica attraversamento Torrente Margatta

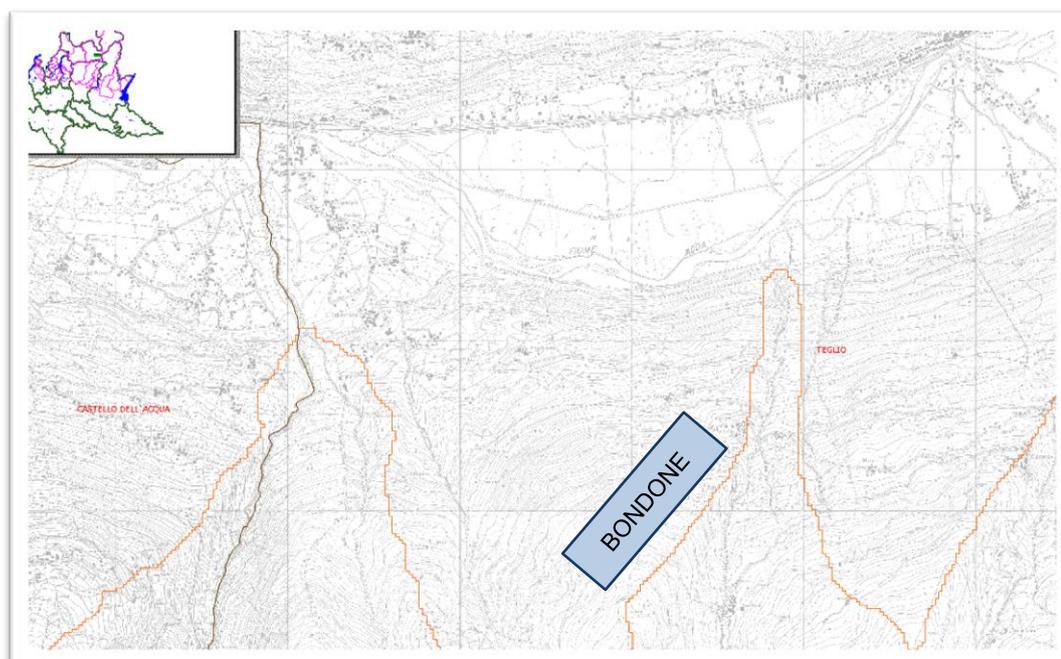


L'attraversamento del Torrente Margatta è previsto in sub-alveo con tubo di protezione in acciaio ad una profondità pari a 3,00 m dal fondo del canale, per cui non interferisce con il regolare deflusso delle acque.

6.12 Calcolo della portata di piena del Torrente Bondone



Dal sito della Regione Lombardia settore “ Territorio e Urbanistica “ sono disponibili i dati SIBCA del torrente “ Bondone “ denominato bacino “ MV98 “:



Rec	Nome bacino	codice CT10	portata TR50 (mc/s)	portata TR100 (mc/s)	portata TR200 (mc/s)	portata Iskowski (mc/s)	magnitudo Bottino (mc)	magnitudo D'Agostino (mc)	magnitudo Ceriani (mc)
1	MV98	15856	45,85777	49,84253	53,81384	41,91	38579,84791	123445,45468	50275,73662

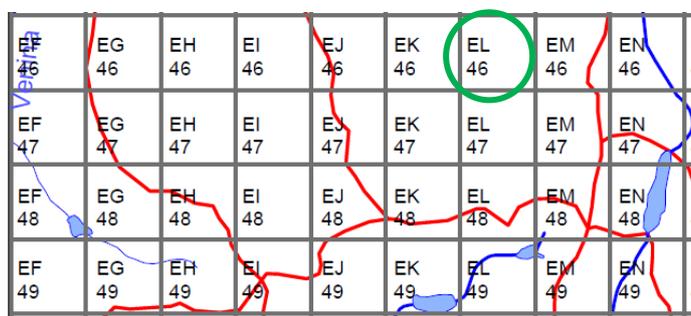
magnitudo Bianco (mc)	coefficiente deflusso	indice franosità	denistà drenaggio (1/Km)	lunghezza totale idrografia (Km)	distanza max reticolo coprente (Km)	Area planimetrica (km2)	area effettiva (km2)
125267,26695	0,65236	1,58757	3,83384	32,307	8,02736	8,4268	19,02637

rapporto aree	indice Melton	pendenza media bacino (m/m)	Quota max bacino (m slm)	Quota minima (m slm)	Quota media (m slm)
0,4429	0,8465	0,65903	2836,7	379,4	1829,32

Il valore della portata di progetto è riferito alla portata di piena corrispondente a un tempo di ritorno pari a 200 anni, pari a 53,81 m³/s.

Inoltre si riportano i valori di a e n che si ricavano dalla tabella dell'Allegato 3 – Distribuzione spaziale delle precipitazioni intense (parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per tempi di ritorno di 20, 100, 200 anni). Norma di attuazione – Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica – Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI), redatto dall'Autorità di bacino del fiume Po (anno 2001).

PARAMETRI IDROLOGICI BACINO CELLA EL46		
Tempo di ritorno	a	n
20	34,79	0,379
100	44,31	0,372
200	48,45	0,368



Si distingue sostanzialmente la modalità di trasporto per trascinamento sul fondo da quello in sospensione. La prima è quella in cui le particelle più grossolane (ghiaie, blocchi) si muovono per rotolamento o strisciamento sul fondo senza abbandonarlo mai. La seconda prevede che le particelle solide, più piccole (argilla, limo e sabbia), si muovono in seno alla corrente sostenute dalla sua agitazione turbolenta.

$$\text{Ipotizzando } \gamma_{sol+liq} = 1,2 \div 1,4 t / m^3$$
$$\gamma_{sol} = 2,65 t / m^3$$

Si ottiene per la miscela una concentrazione pari: $C = 0,12 \div 0,24$

Basandosi su tali considerazioni la portata complessiva (liquido + solido) dovuta alla capacità di trasporto della corrente è il risultato del prodotto della portata liquida per un coefficiente compreso tra 1,12 e 1,24.

$$Q_{200, sol} = 53,81 \text{ m}^3/\text{s} * 1,12 = 60,27 \text{ m}^3/\text{s}$$

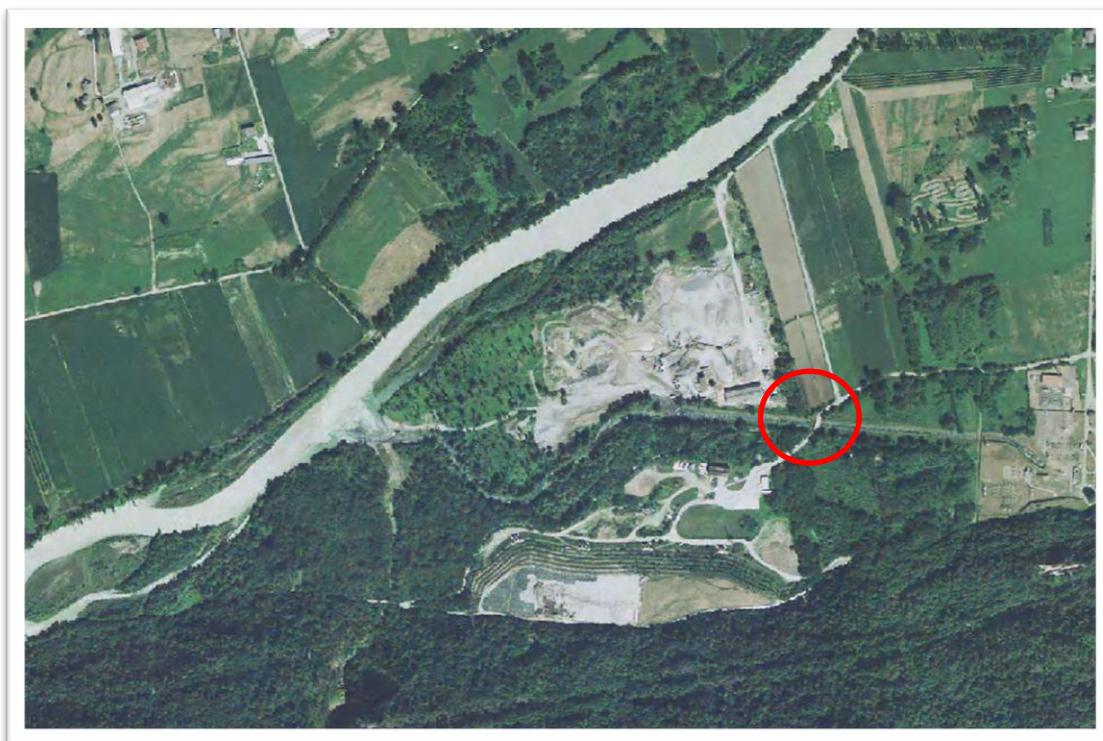
$$Q_{200, sol} = 53,81 \text{ m}^3/\text{s} * 1,24 = 66,72 \text{ m}^3/\text{s}$$

6.13 Verifica della sezione idraulica attraversamento Torrente Bondone



L'attraversamento del Torrente Bondone è previsto in sub-alveo con tubo di protezione in acciaio ad una profondità pari a 3,00 m dal fondo del canale, per cui non interferisce con il regolare deflusso delle acque. Si prevede, inoltre, la realizzazione di un selciatoone in pietrame a valle del ponte esistente per proteggere il fondo dell'alveo dall'erosione.

6.14 Canale Rio Pradello



Il canale Rio Pradello, è un torrente artificiale di derivazione della centrale idroelettrica di proprietà Edison, per cui non è assoggettato agli eventi di precipitazione.

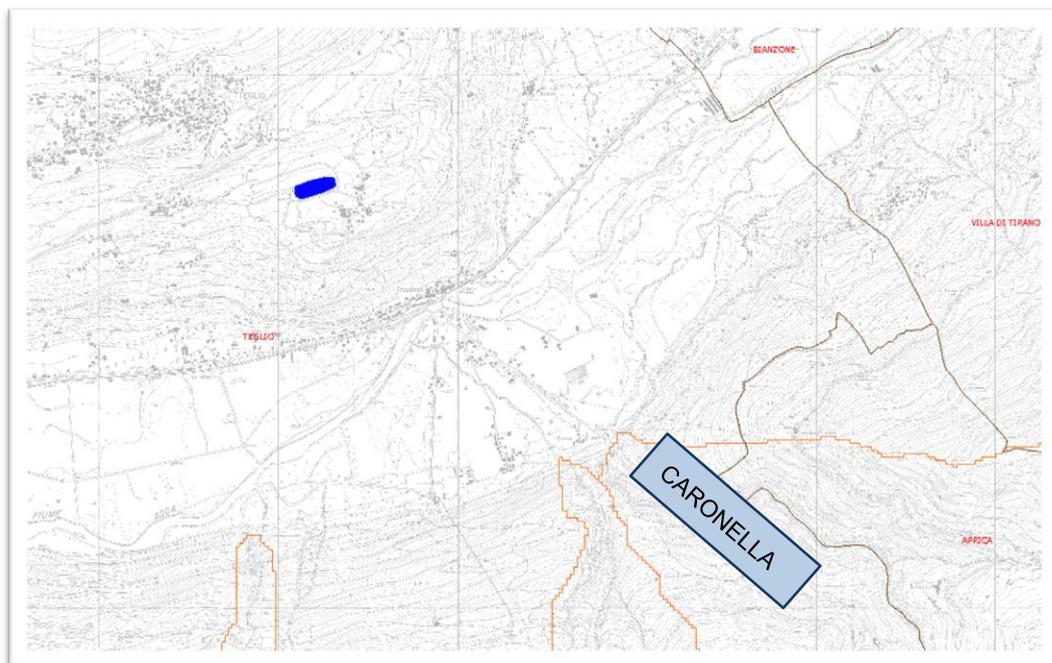
La portata del canale è regolata quindi dalla richiesta energetica del paese e quindi può subire variazioni durante l'arco della giornata e in particolar modo nei giorni lavorativi.



6.15 Calcolo della portata di piena del Torrente Caronella



Dal sito della Regione Lombardia settore " Territorio e Urbanistica " sono disponibili i dati SIBCA del torrente " Caronella ":



Rec	Nome bacino	codice CT10	portata TR50 (mc/s)	portata TR100 (mc/s)	portata TR200 (mc/s)	portata Iskowski (mc/s)	magnitudo Bottino (mc)	magnitudo D'Agostino (mc)
1	t. caronella	15530	59,33613	64,52028	69,68656	59,67	43867,04167	142832,23759

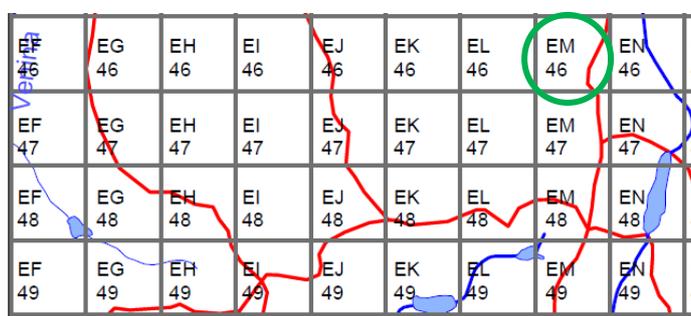
magnitudo Ceriani (mc)	magnitudo Bianco (mc)	coefficiente deflusso	indice franosità	denità drenaggio (1/Km)	lunghezza totale idrografia (Km)	distanza max reticolo coprente (Km)	Area planimetrica (km2)
38029,99404	149656,97451	0,60809	2,33849	3,95163	52,6815	9,362	13,3316

area effettiva (km2)	rapporto aree	indice Melton	pendenza media bacino (m/m)	Quota max bacino (m slm)	Quota minima (m slm)	Quota media (m slm)
27,99472	0,47621	0,68357	0,6573	2891	395,1	1892,49

Il valore della portata di progetto è riferito alla portata di piena corrispondente a un tempo di ritorno pari a 200 anni, pari a 69,69 m³/s.

Inoltre si riportano i valori di a e n che si ricavano dalla tabella dell'Allegato 3 – Distribuzione spaziale delle precipitazioni intense (parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per tempi di ritorno di 20, 100, 200 anni). Norma di attuazione – Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica – Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI), redatto dall'Autorità di bacino del fiume Po (anno 2001).

PARAMETRI IDROLOGICI BACINO CELLA EM46		
Tempo di ritorno	a	n
20	35,08	0,358
100	44,71	0,350
200	48,90	0,346



Si distingue sostanzialmente la modalità di trasporto per trascinamento sul fondo da quello in sospensione. La prima è quella in cui le particelle più grossolane (ghiaie, blocchi) si muovono per rotolamento o strisciamento sul fondo senza abbandonarlo mai. La seconda prevede che le particelle solide, più piccole (argilla, limo e sabbia), si muovono in seno alla corrente sostenute dalla sua agitazione turbolenta.

$$\text{Ipotezzando} = \quad \gamma_{sol+liq} = 1,2 \div 1,4 t / m^3$$
$$\gamma_{sol} = 2,65 t / m^3$$

Si ottiene per la miscela una concentrazione pari: $C = 0,12 \div 0,24$

Basandosi su tali considerazioni la portata complessiva (liquido + solido) dovuta alla capacità di trasporto della corrente è il risultato del prodotto della portata liquida per un coefficiente compreso tra 1,12 e 1,24.

$$Q_{200, sol} = 69,69 \text{ m}^3/\text{s} * 1,12 = 78,05 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{200, sol} = 69,69 \text{ m}^3/\text{s} * 1,24 = 86,42 \text{ m}^3/\text{s}$$

Il Torrente Caronella viene attraversato mediante la soluzione aerea, la condotta viene staffata al ponte in cls esistente e inglobata nello spessore della soletta del ponte con un getto di protezione in calcestruzzo. Si rimanda quindi alla verifica idraulica del ponte al fine di calcolare il franco di sicurezza dello stesso.

6.16 Verifica della sezione idraulica attraversamento Torrente Caronella



Nota la base, la portata, la pendenza e la scabrezza calcola l'altezza <u>(ricerca obiettivo)</u> e l'altezza cinetica										
				(base minore + base maggiore)		x		altezza/2		
	4,18	5,60								
	1,70		5,60	+	5,60	x	0,85	=	9,54 m ²	
			Area=	5,60	+	5,60	x	0,85	=	9,54 m ²
			Perimetro=	9,01	m					
		R =	(A/P) =				1,059	m		
		i =	3,30%	=			0,03			
pendenza % pareti	90	C =	48							
		Q =	A * C * R ^{2/3} * v _i =				86,42	m ³ /s		
		v =	Q / A =				9,06	m/s		
		h =	v ² / 2g =				4,18	m		

La verifica della sezione riferita alla portata solida bicentenaria di 86,42 m³/s risulta soddisfatta per un'altezza piezometrica pari a h = 1,70 m, garantendo così un franco idraulico di sicurezza sul ponte di 0,50 m = 2,20 m – 1,70 m.

Table
Rating Table for Irregular Channel

Project Description	
Project File	untitled.fm2
Worksheet	VER TORR CARONELLA
Flow Element	Irregular Channel
Method	Manning's Formula
Solve For	Discharge

Constant Data	
Channel Slope	3.3000 %

Input Data			
	Minimum	Maximum	Increment
Water Surface Elevation	0.00	2.20	0.10 m

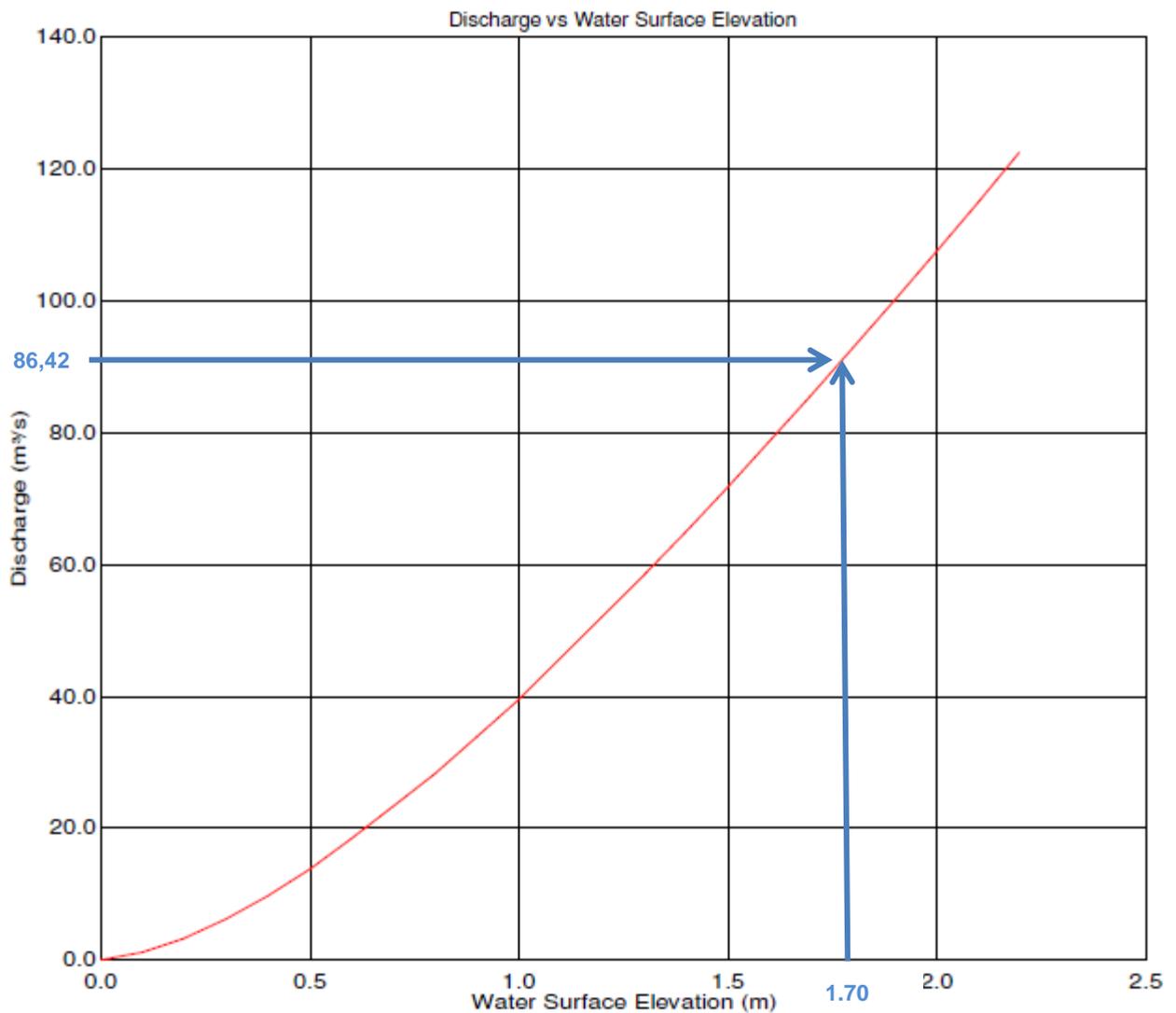
Rating Table				
Water Surface Elevation (m)	Wtd. Mannings Coefficient	Discharge (m ³ /s)	Velocity (m/s)	
0.00	0.021	0.00	0.00	
0.10	0.021	1.02	1.82	
0.20	0.021	3.16	2.83	
0.30	0.021	6.09	3.62	
0.40	0.021	9.62	4.30	
0.50	0.021	13.68	4.88	
0.60	0.021	18.17	5.41	
0.70	0.021	23.04	5.88	
0.80	0.021	28.25	6.30	
0.90	0.021	33.75	6.70	
1.00	0.021	39.52	7.06	
1.10	0.021	45.53	7.39	
1.20	0.021	51.75	7.70	
1.30	0.021	58.17	7.99	
1.40	0.021	64.77	8.26	
1.50	0.021	71.53	8.52	
1.60	0.021	78.44	8.75	
1.70	0.021	85.49	8.98	
1.80	0.021	92.67	9.19	
1.90	0.021	99.97	9.40	
2.00	0.021	107.37	9.59	
2.10	0.021	114.88	9.77	
2.20	0.021	122.48	9.94	

Curve
Plotted Curves for Irregular Channel

Project Description	
Project File	untitled.fm2
Worksheet	VER TORR CARONELLA
Flow Element	Irregular Channel
Method	Manning's Formula
Solve For	Discharge

Constant Data	
Channel Slope	3.3000 %

Input Data			
	Minimum	Maximum	Increment
Water Surface Elevation	0.00	2.20	0.10 m



7 STUDIO IDRAULICO

7.1 Metodologia adottata

Lo scopo dello studio idraulico è la valutazione delle caratteristiche di deflusso della corrente fluida, associate ad eventi di piena critici.

L'elaborazione è stata eseguita per il tratto di corso d'acqua di San Giacomo in corrispondenza dei tratti in cui il tracciato del gasdotto attraversa il corso d'acqua.

Sono stati presi in considerazione i rispettivi valori di portata, relativi al tempo di ritorno pari a 200 anni, pari a:

$$\text{San Giacomo} \quad Q_{200} = 1108 \text{ m}^3/\text{s}$$

I calcoli dei profili in moto permanente sono stati eseguiti per mezzo della costruzione di un modello numerico, utilizzando il codice HEC-RAS, Hydrologic Engineering Center - River Analysis System, prodotto dall'U.S. Army Corps of Engineers, di cui ampi riferimenti bibliografici sono disponibili in letteratura a riguardo sia delle basi teoriche, sia dello sviluppo numerico delle equazioni, sia di esperienze analoghe di applicazione già maturate in Italia e nel mondo.

Per le simulazioni è stata utilizzata la versione 3.1.3, che simula il flusso monodimensionale in condizioni stazionarie di fluidi verticalmente omogenei in qualsiasi sistema di canali o aste fluviali.

Il modello HEC-RAS permette di calcolare, per canali naturali od artificiali, il profilo idrico di correnti gradualmente variate ed in condizioni di moto stazionario (sia in regime di corrente lenta che di corrente veloce).

La scelta di operare con un modello che simuli le condizioni di moto permanente, scaturisce dalle seguenti considerazioni:

- la verifica idraulica considera un tratto limitato dell'asta fluviale nell'intorno del punto di interesse;
- il dimensionamento dell'intervento non dipende dallo sviluppo temporale dell'evento di piena, ma solo dal massimo valore di livello idrico raggiunto durante l'evento stesso e dai regimi delle velocità osservate.

Le equazioni di conservazione del volume e della quantità di moto (equazioni di De Saint Venant) risolte nel modello sono derivate sulla base delle seguenti assunzioni:

- il fluido (acqua) è incomprimibile ed omogeneo, cioè senza significativa variazione di densità;
- la pendenza del fondo è piccola;
- le lunghezze d'onda sono grandi se paragonate all'altezza d'acqua, in modo da poter considerare la direzione della corrente in ogni punto parallela al fondo; è cioè trascurabile la componente verticale dell'accelerazione e su ogni sezione trasversale alla corrente si può assumere una variazione idrostatica della pressione.

Integrando le equazioni di conservazione della massa e della quantità di moto ed introducendo la resistenza idraulica (attrito) e le portate laterali adottate si ottiene:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 AR} = 0$$

dove:

- A : area della sezione bagnata (m²);
- C : coefficiente di attrito di Chezy (m^{1/2}/s);
- g : accelerazione di gravità (m/s²);
- h : altezza del pelo libero rispetto ad un livello di riferimento orizzontale (m);
- Q : portata (m³/s);
- R : raggio idraulico (m);
- α : coefficiente di distribuzione della quantità di moto;
- q : portata laterale adottata (m³/s).

Assetto geometrico

HEC-RAS richiede la schematizzazione del corso d'acqua con tratti successivi di lunghezza variabile individuati alle estremità da sezioni di geometria nota. La posizione delle sezioni trasversali va scelta in modo da descrivere in maniera adeguata il tratto considerato prevedendo, in linea di massima, sezioni più fitte nei tratti dove la geometria trasversale dell'alveo risulta molto variabile e più rade nei tratti in cui la geometria si mantiene piuttosto uniforme. In ogni sezione sono individuati l'alveo principale e le golene, i relativi coefficienti di Manning (scabrezza) e le eventuali arginature. Il modello è in grado di simulare gli effetti indotti sui livelli dalla presenza di sezioni singolari quali ponti, tombini, stramazzi ed ostruzioni dell'alveo.

Nel caso delle modellazioni in oggetto non si è fatto riferimento ad alcuna ramificazione dell'alveo simulato, implementando modelli completamente monodimensionali, che si estendono lungo i tratti in studio del F. Adda con una serie di sezioni trasversali al torrente, nonché con i dati geometrici dei ponti presenti lungo tali tratti (ponte strada per Carona e passerella pista ciclabile a San Giacomo; ponte Falk e ponte strada per Aprica a Tresenda).

Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno sono necessarie per stabilire il livello del pelo libero dell'acqua all'estremità del sistema (a monte e/o a valle). In un regime di corrente lenta, la condizione al contorno necessaria è quella di valle (se la corrente è lenta non si risente di ciò che accade a monte), mentre nel caso di corrente veloce vale l'opposto. Se invece viene effettuato un calcolo in regime di flusso misto, allora le condizioni al contorno devono essere definite a valle e a monte.

Le condizioni al contorno disponibili sono:

- quota nota del pelo libero
- altezza critica
- altezza di moto uniforme
- scala di deflusso.

Calcolo della velocità di deflusso

Il valore della velocità media, calcolato dal modello in riferimento alla geometria complessiva di ogni sezione trasversale, è oggetto di una reinterpretazione all'interno della sezione trasversale per la corretta valutazione del valore della velocità di deflusso da attribuire all'alveo, alle sponde e da considerare nel calcolo del carico totale.

Il calcolo è eseguito in riferimento alle seguenti formulazioni, che si basano sulla conservazione del valore della pendenza motrice per l'intera sezione:

$$Q = M \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{i}$$

È l'equazione di Chezy, scritta con la notazione di Manning-Strickler per la scabrezza, con:

- M coefficiente di scabrezza di Manning-Strickler
- A area della sezione bagnata (m²)
- R raggio idraulico (m)
- i pendenza motrice;

si assume che la scabrezza possa variare lungo i singoli tratti di una sezione, e che la pendenza motrice sia costante nei tratti compresi tra due sezioni del modello.

Risultati dei calcoli idraulici

Oltre ai valori di portata e di livello calcolati direttamente dal codice di calcolo, il modello fornisce in output anche i valori dell'area, larghezza del pelo libero, della velocità, dell'altezza d'acqua e del numero di Froude per ogni sezione di calcolo. E' fornita anche la linea del carico totale ottenuta come

$$H = h + \alpha \frac{V^2}{2g}$$

dove:

- h livello idrico (m)
- α coefficiente di ragguaglio
- V velocità media nella sezione trasversale (m/s)
- g accelerazione di gravità (m/s²).

7.2 Ricostruzione dei livelli di piena

La verifica idraulica ha lo scopo di valutare i livelli idrici raggiunti dalla piena di progetto nel tratto di interesse ed i relativi parametri idraulici, necessari per la progettazione dell'attraversamento del gasdotto e per il dimensionamento delle opere di protezione.

Per la caratterizzazione geometrica del segmento fluviale di interesse sono state rilevate le seguenti sezioni trasversali:

- San Giacomo: 12 sezioni

nonché le caratteristiche geometriche dei ponti.

Dalle sezioni si è poi ricavato il profilo longitudinale lungo l'asse fluviale individuato dai punti più depressi (thalweg) delle sezioni stesse.

Lo schema dei canali considerato è rappresentato nella figura seguente.

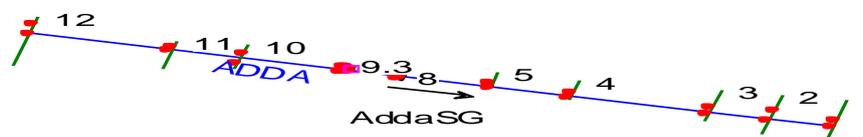


Fig. 2: schema geometrico del canale a San Giacomo

7.3 Risultati della modellazione

I risultati della modellazione sono riportati nell'allegato n° 2 (per la situazione a San Giacomo) dove figurano i profili idrici e le sezioni indicanti i livelli raggiunti dalle portate di piena di progetto.

Nelle tabelle 2 e 3 di seguito riportate vengono riassunti i valori dei principali parametri idraulici risultanti dalle modellazioni.

In sintesi si può osservare quanto segue:

Adda a San Giacomo:

Il fiume scorre in corrente lenta (n° Froude < 1) a monte e a valle del ponte stradale. Questo, tuttavia, a causa della pila in alveo, opera un turbamento della corrente creando un cambiamento di regime di flusso che nel suo intorno diventa di tipo rapido (n° Froude > 1) con innalzamento delle velocità.

In corrispondenza dell'attraversamento del fiume da parte del gasdotto (v. sezione 3) la velocità di deflusso risulta di circa 3.6 m/s .

Sez	Q (m ³ /s)	q. fondo (m)	Liv.idrico (m)	Liv. En.tot. (m)	Pendenza (m/m)	Vel. (m/s)	Area (m ²)	Largh. (m)	Froude
1	1108	350.81	356.64	357.44	0.002502	4.02	346.86	289.2	0.57
2	1108	351.36	357.46	357.68	0.000685	2.14	682.77	393.1	0.31
3	1108	351.91	357.36	357.98	0.002346	3.62	400.21	203.63	0.55
4	1108	352.62	357.87	359.6	0.007563	5.83	191.76	67.43	0.96
5	1108	353.45	359.44	360.97	0.00613	5.5	204.8	51.46	0.86
6	1108	354.95	359.87	362.81	0.013714	7.61	148.07	39.98	1.24
7	Ponte Strada								
8	1108	354.98	361.4	362.9	0.004949	5.45	208.79	40.21	0.75
9	1108	355.79	362.68	363.34	0.002075	3.74	343.3	75.85	0.5
9.1	1108	356.27	362.81	363.38	0.001795	3.48	370.37	81.6	0.47
9.2	Ponte pista								
9.3	1108	356.29	362.87	363.42	0.00175	3.45	373.93	81.6	0.46
10	1108	356.4	363.51	363.62	0.00031	1.6	959.16	252.02	0.21
11	1108	356.87	363.53	363.73	0.00072	2.5	810.69	261.51	0.32
12	1108	357.49	363.85	363.9	0.000265	1.25	1503.38	514.07	0.19

Tabella 2 – F. Adda a San Giacomo: principali parametri idraulici : in rosso le sezioni di attraversamento da parte del gasdotto)

7.4 Approfondimenti del fondo nelle sezioni di attraversamento

Diametro limite dei clasti

Si è proceduto alla determinazione del diametro limite dei clasti trasportabili dalla piena, utilizzando il procedimento di Shields secondo il quale sussiste la relazione sotto riportata che lega la spinta idrodinamica su particelle di granulometria uniforme e la distribuzione delle velocità lungo la verticale.

$$\tau_o/[(\gamma_s-\gamma)d] = f [(d(ghi)^{1/2}/\mu)] = f (V^* d/\mu)$$

in cui:

- τ_o = tensione tangenziale (kg/m²);
- γ_s = peso specifico delle particelle (kg/m³);
- γ = peso specifico dell'acqua (1000 kg/m³);
- d = diametro medio del materiale di fondo ($d=d_{50}$) (m);
- g = accelerazione di gravità ($g = 9.81 \text{ m/s}^2$);
- h = profondità della corrente idrica (m);
- i = pendenza del fondo alveo;
- μ = viscosità cinematica (m²/s);
- V^* = velocità d'attrito (m/s);

Si ha inoltre:

$$V^* = (\tau_o / \delta)^{1/2} \quad \text{e} \quad \tau_o = (V^* X)^2$$

in cui:

- δ = densità dell'acqua (= 102 kg·s²/m⁴);
- V = velocità media della corrente idrica (m/s);
- X = coefficiente di scabrezza.

Queste ultime grandezze sono note per cui è possibile determinare il valore di " τ_o " e di " V^* "; inoltre, per valori di " V^*d/μ " maggiori di 500, che nei corsi d'acqua naturali si verificano con alvei ciottolosi, il valore " $\tau_o/[(\gamma_s-\gamma)d]$ " è costante ed è pari a 0.06, cioè:

$$\tau_o/[(\gamma_s-\gamma)d] = 0.06$$

Esplicitando tale relazione in funzione dell'unica incognita si otterrà il diametro limite dei clasti trasportabili:

$$d = \tau_o/[0.06 (\gamma_s-\gamma)]$$

Fenomeni localizzati e/o temporanei

Essi consistono in modificazioni del letto di un corso d'acqua a fondo mobile rapide, talvolta reversibili, che si producono a livello stagionale o nel breve volgere di una piena. Esse sono di due tipologie ed origine diverse:

- “buche” in alveo
- “aratura di fondo”

Buche in alveo

Esse consistono in fenomeni di scavo localizzato, che si producono nel letto di un fiume in genere in fase di piena, dovuti perlopiù ai seguenti motivi:

- allontanamento della corrente dalle condizioni di moto uniforme e creazione di filetti particolarmente veloci
- presenza di ostacoli trasversali al moto
- irregolarità geometriche dell'alveo.

In qualche caso essi sono ben prevedibili, come ad es. in corrispondenza di manufatti (pile di ponti, testa di pennelli, a valle di briglie, etc.); in altri casi essi dipendono da situazioni contingenti, spesso casuali, che si vengono a produrre in fase di piena (tronchi d'albero, trovanti, etc.).

Il meccanismo che porta alla formazione delle buche può avvenire secondo i due seguenti schemi:

- vena veloce superficiale con sottostante zona di turbolenza in cui il materiale di fondo viene eroso all'indietro, indi sollevato e portato via dalla vena superficiale
- vena veloce aderente al fondo che trasporta il materiale verso valle, con sovrastante zona di turbolenza.

La buca non si approfondisce indefinitamente, ma tende ad una condizione d'equilibrio con pendenze prossime all'angolo di riposo del materiale d'alveo. La profondità della buca (s) è di incerta stima; fra le numerose relazioni proposte dagli Autori si ricordano le seguenti:

$$s = 0,378 \cdot H^{0,5} \cdot q^{0,35} + 2,15 \cdot a \quad (\text{Schoklitsch})$$

$$s = 0,65 \cdot (H-h') \cdot q^{3/5} \cdot D^{90-2/5} - h \quad (\text{Eggemberger})$$

$$s = h \cdot (1,82 - 1,64(1 - e^{-(\lg \tau / \rho v^2 + 7)})) \cdot (94 - 8 \lg \tau c / \rho v^2) - 1,103 \quad (\text{Adami}).$$

Nel presente studio è stata utilizzata la relazione di Schoklitsch nella quale:

- s = profondità massima della buca sulla quota media dell'alveo (m)
H = $h + v^2/2g$: carico totale a monte della buca (m)
q = Q/L: portata per unità di larghezza dell'alveo (mc/sec m)
a = dislivello delle quote d'alveo a monte e a valle della buca.

Aratura di fondo

Il fenomeno è rappresentato da abbassamenti transitori dell'alveo a fondo mobile in fase di piena di difficile valutazione sia sperimentale che analitica. Essi dipendono dalle caratteristiche idrodinamiche della corrente e dal tipo di materiale costituente il fondo.

Le ricerche condotte portano ad interpretare il fenomeno nei terreni prevalentemente sabbiosi come la conseguenza di una pronunciata ondulazione del fondo che, ad opera dei cavi, incide il profilo d'alveo. Poiché il sistema di tali dune trasla verso valle, tutto l'alveo gradatamente viene interessato dalla massima depressione dei cavi.

Negli alvei torrentizi larghi e poco profondi con terreni grossolani (ghiaia e ciottoli), invece, il fenomeno consiste nel rapido ed intenso modellamento del fondo con formazione di profondi solchi divaganti tra le sponde.

Il fenomeno dell'aratura di fondo è di difficile modellazione a causa delle numerosissime variabili che entrano in gioco e soprattutto delle condizioni locali, difficilmente prevedibili, che governano la dinamica del fenomeno stesso.

Pur esistendo una relazione diretta tra intensità del fenomeno di approfondimento e valori della piena e del relativo battente idrico che lo determinano, non sono al momento proponibili relazioni analitiche per il calcolo del valore di tale approfondimento. Ci si rifà pertanto al parere di vari Autori che, sulla base di verifiche sperimentali, hanno proposto di assegnare a tali escavazioni un valore cautelativo pari al 50% dell'altezza idrometrica di piena.

Utilizzando le relazioni sopra descritte si sono ottenute le profondità di approfondimento localizzate elencate nella tabella 4 di seguito riportata.

	BUCHE IN ALVEO (m)	ARATURE DI FONDO (m)
Attraversamento San Giacomo	3.1	2.7

Tabella 4 – Stima degli approfondimenti d'alveo localizzati

8 Considerazioni conclusive

Il tracciato del metanodotto in progetto attraversa nel suo sviluppo lunghi tratti di fondovalle classificati dal Piano Stralcio delle Fasce Fluviali in zona "A", "B" e "C" ; la natura stessa dell'opera in progetto, interamente sotterranea ad una profondità variabile tra i 0,50-1,00 m fa sì che essa non interferisca con il deflusso delle piene e che nel contempo non costituisca sottrazione della capacità di laminazione delle aree golenali in cui essa è posata, pertanto essa risulta pienamente compatibile con la dinamica idraulica del F. Adda.

Per ciò che attiene il paesaggio il metanodotto in oggetto, essendo, come sopra detto, del tutto sotto terra, non arreca danno, tenendo conto anche del fatto che le zone attraversate dal corridoio di lavoro verranno prontamente ripristinate dal punto di vista sia morfologico (ricostituzione delle sponde dei fossi, delle scarpate, ecc.) sia vegetazionale (ripiantumazione di essenze arboree, là dove presenti associazioni spontanee come nelle fasce ripariali, ecc.) con la restituzione delle superfici alle precedenti colture.

Si riportano, quindi, le aree attraversate alle condizioni morfologiche e di uso del suolo preesistenti l'intervento, minimizzando l'impatto sull'ambiente (gli interventi prodromi e postumi alle lavorazioni, saranno eseguiti facendo largo uso di tecniche di ingegneria naturalistica, mediante l'impiego di legname, piantagioni e seminagioni varie).

I lavori per la sua realizzazione, consistenti principalmente nello scavo per la posa della condotta, non indurranno fenomeni di instabilità di versante e nel contempo la tubazione non subirà, anche nel tempo, sollecitazioni dovute a movimenti franosi o suscettibili di dissesto idrogeologico.

Gli impianti di linea saranno costituiti da tubazioni e da valvole di intercettazione sia interrata che aeree, e da apparecchiature per la protezione elettrica della condotta.

Tali impianti saranno realizzati in aree recintate, ubicate generalmente in prossimità della viabilità ordinaria e saranno collegati ad essa tramite brevi accessi carrabili, perciò pur trovandosi all'interno di una fascia fluviale non arrecano alcun problema al libero deflusso della piena del F. Adda.

L'attraversamento del F. Adda da parte del gasdotto sarà realizzato in subalveo con posa in trincea, scavata con normali mezzi di scavo previa deviazione parziale delle acque in periodi di magra.

Il fondo alveo è sempre costituito da materiale alluvionale grossolano, rappresentato da ghiaia e ciottoli con matrice sabbiosa con diametro dei clasti che raggiunge qualche decimetro.

Dalle osservazioni sulle strutture in posto, nonché dal paragone con la situazione d'alveo pregressa, non risulta che il fiume abbia tendenza ad un approfondimento generalizzato del fondo alveo.

Le valutazioni effettuate sulla base dei risultati della modellazione idraulica indicano che potrebbero manifestarsi fenomeni transitori di approfondimento localizzato la cui stima, peraltro prudenziale, indica valori di 2.7 – 3.5 m.

A fronte di tale indicazione la progettazione dell'attraversamento da parte del gasdotto dovrà prevedere una posa della condotta che garantisca una copertura di almeno 4.00 m.

Inoltre sarà opportuno proteggere la tubazione con una platea in pietrame ciclopico, non asportabile dalla corrente.

Similmente le sponde dovranno essere protette con tratti di scogliera, anch'essa in pietrame ciclopico, estesi a tutta la larghezza interessata dai lavori di posa del gasdotto, vuoi a ripristino delle opere laddove esistenti, vuoi di nuova realizzazione dove la sponda non è ancora protetta.

Tali opere di protezione sia di fondo che di sponda, verranno realizzate con pietrame ciclopico con peso minimo di 2000 kg ad elemento, intasati con scapolame di minori dimensioni. Tali dimensioni sono state scelte in accordo con le dimensioni delle protezioni localizzate nei tratti contigui, anche se esse risultano prudenzialmente superiori a quanto emerso dai calcoli di dimensionamento riportati nella relazione di calcolo.

Si rammenta che nella redazione del PSC si dovrà tenere conto che, durante le fasi di lavorazione, possano verificarsi degli improvvisi innalzamenti del F. Adda dovuti sia agli eventi di precipitazione e sia alle variazioni di portata derivanti dai canali delle centrali idroelettriche di Enel e Edison presenti sul territorio (variabili durante l'arco della giornata in funzione della richiesta energetica del paese, specialmente la città di Milano nei giorni lavorativi). In particolare occorrerà avere molta cura durante le fasi di scavo, essendo la maggior parte del tracciato di progetto in fascia A (sotto falda) e quindi con possibili problemi relativi alla stabilità e all'allagamento degli scavi.

Sondrio, febbraio 2013

IL TECNICO
Dott. Ing. Marco Riva

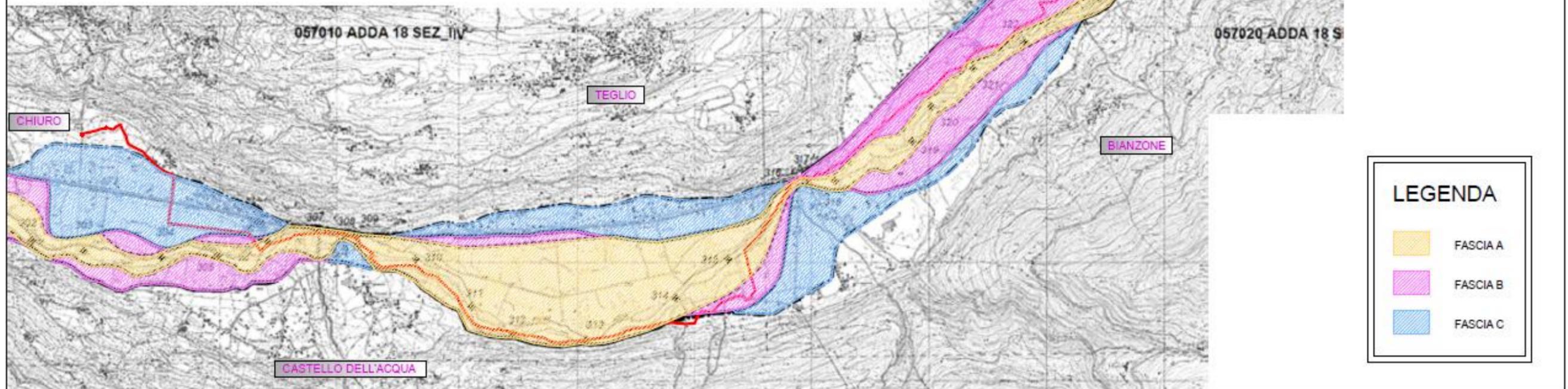
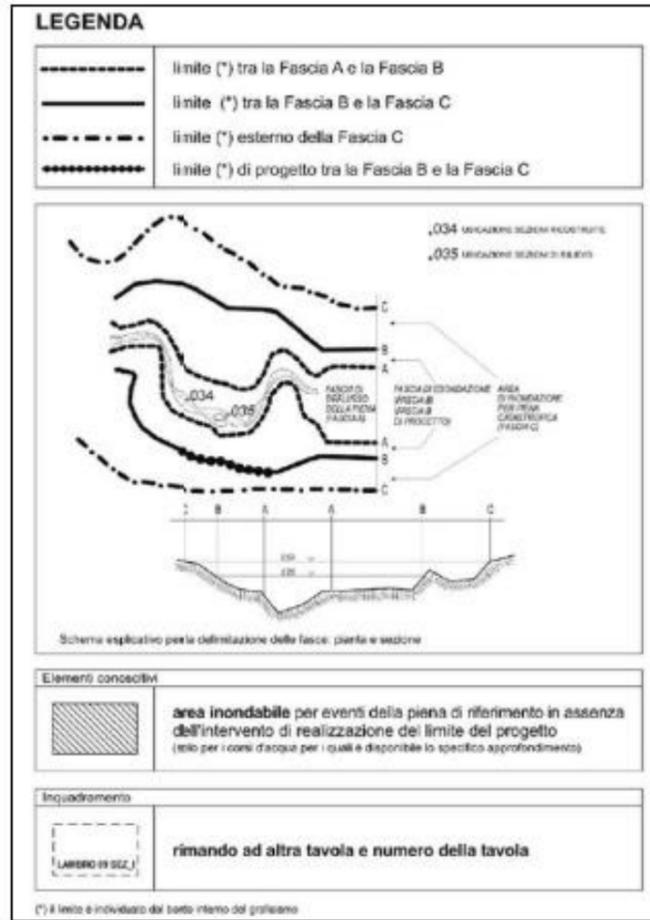


ALLEGATO 1

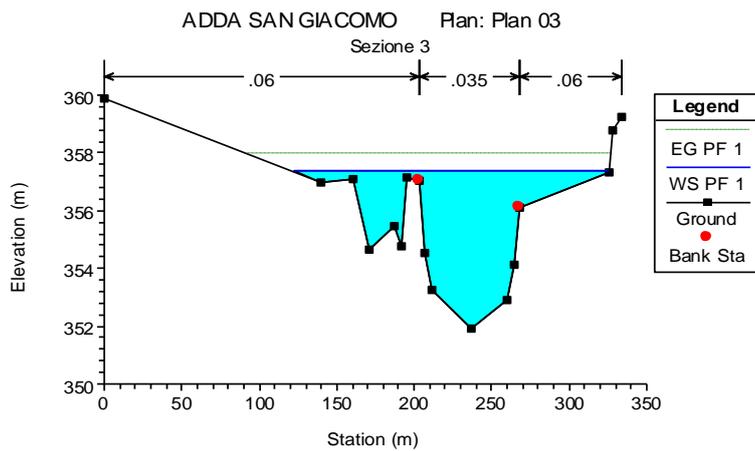
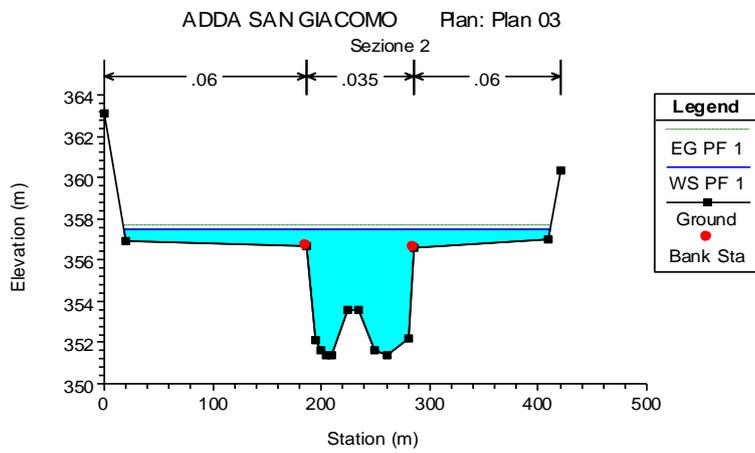
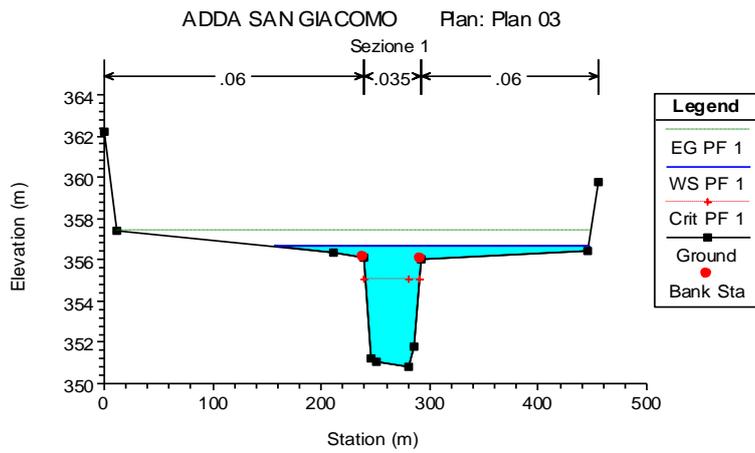
TAVOLA DELIMITAZIONE DELLE FASCE FLUVIALI
PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI)

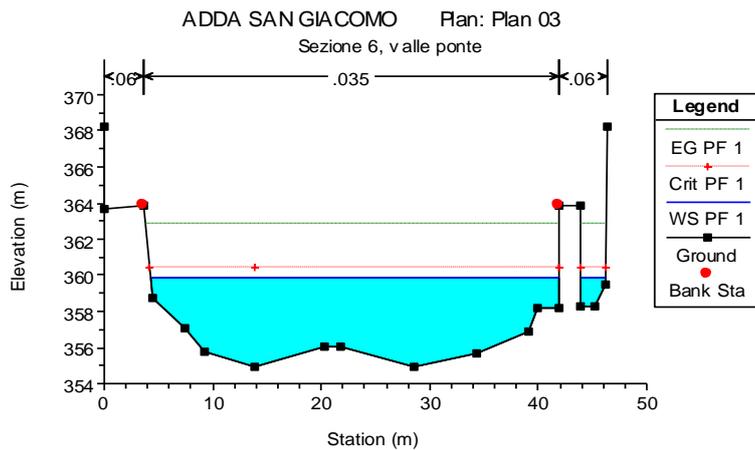
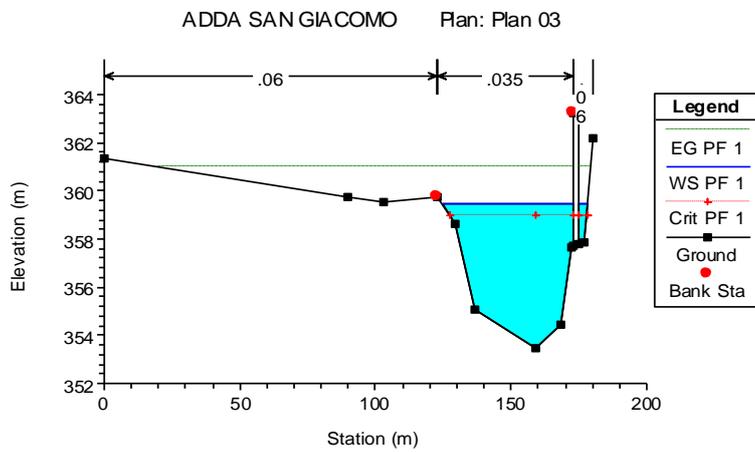
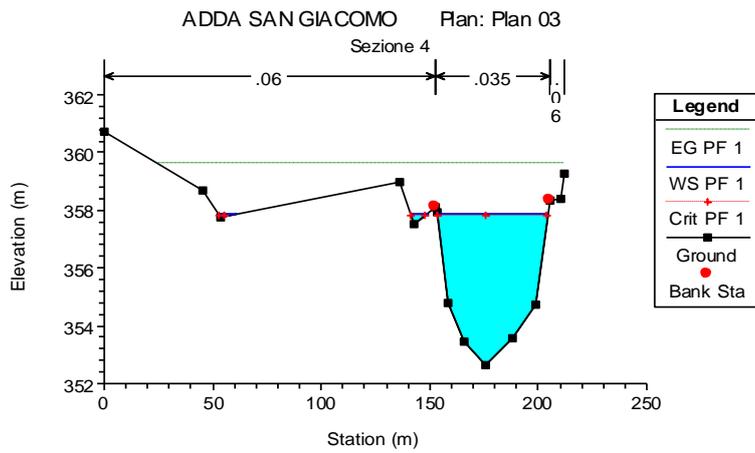
TAVOLA DELIMITAZIONE DELLE FASCE FLUVIALI

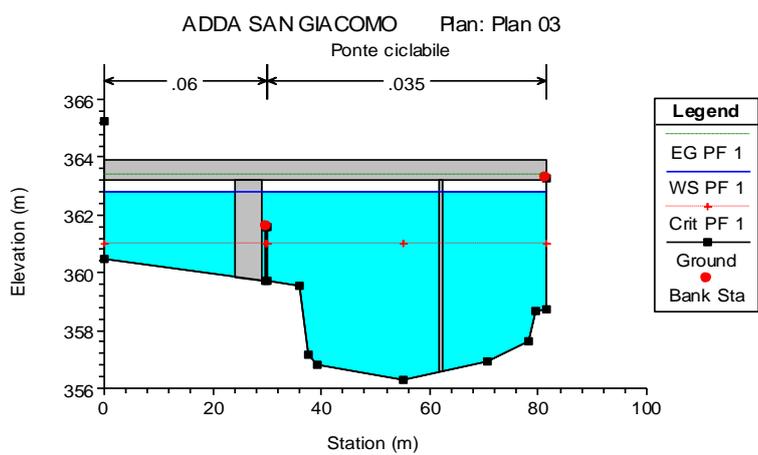
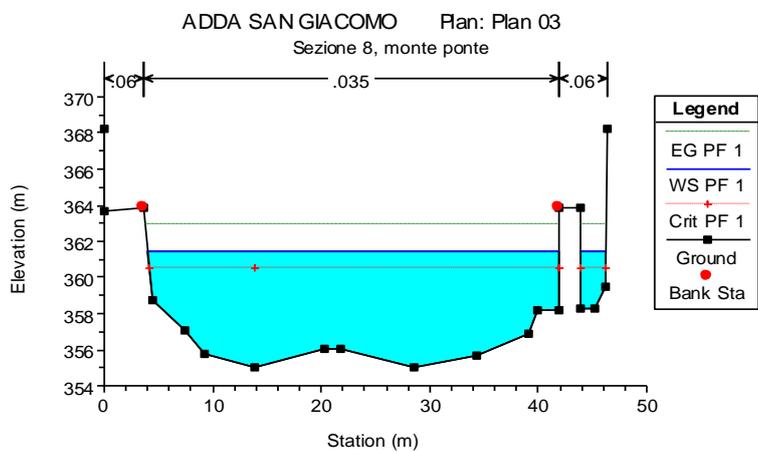
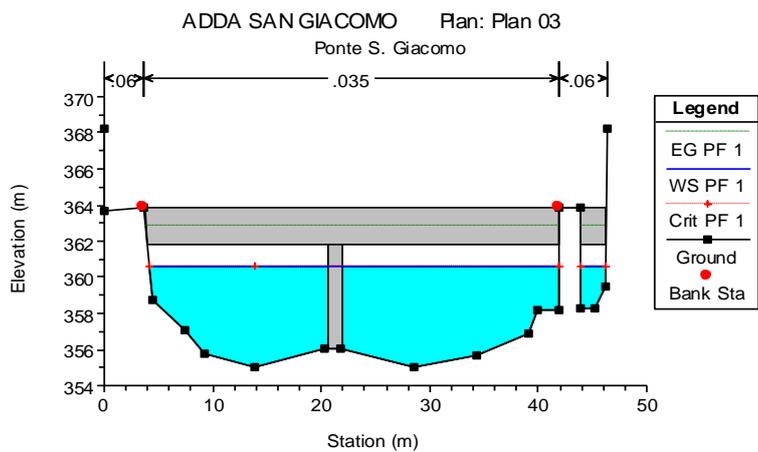
- PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI) -

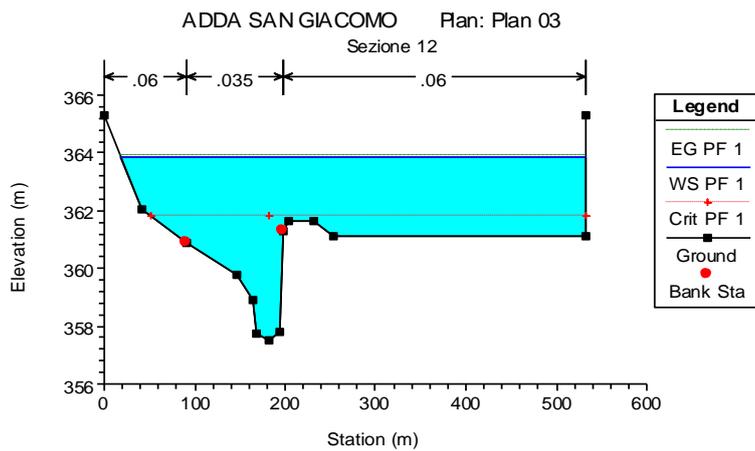
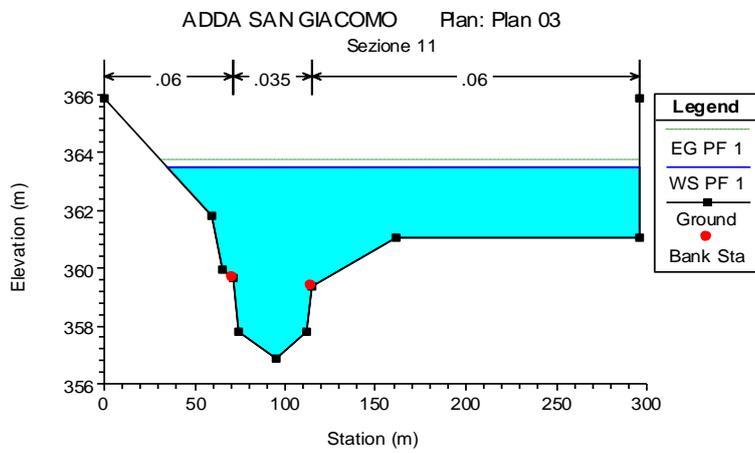
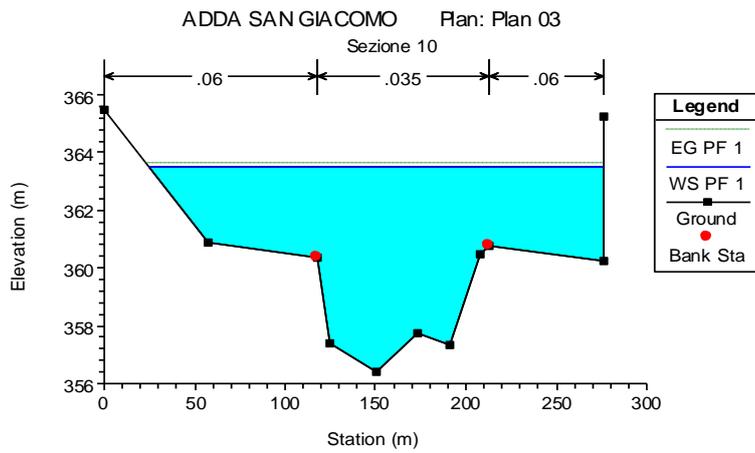


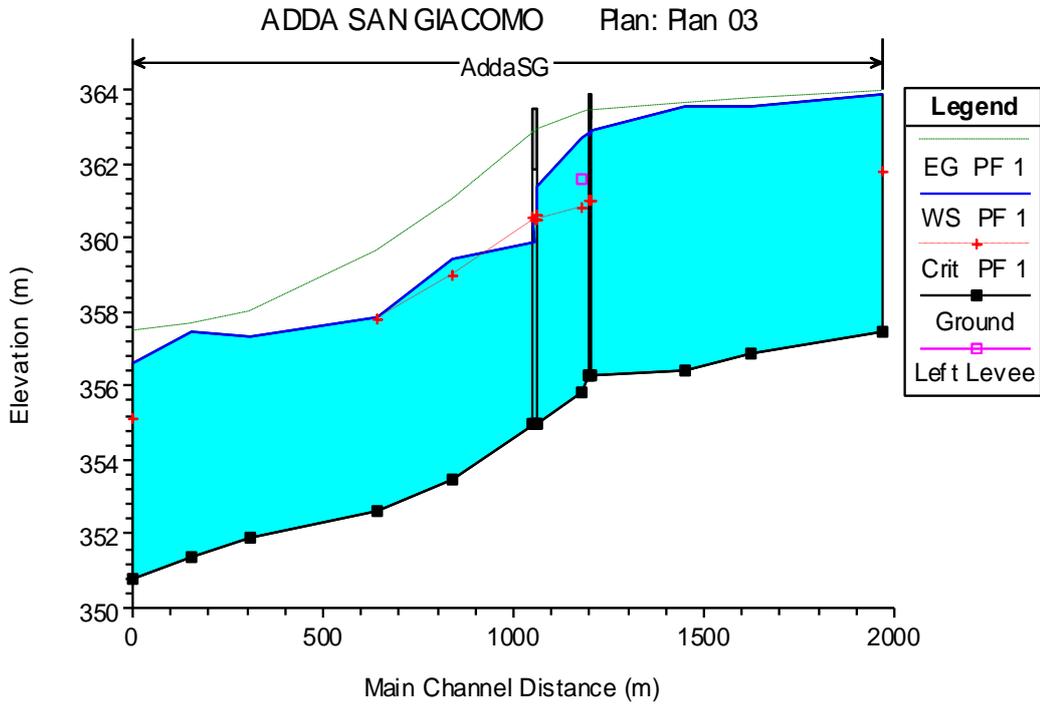
ALLEGATO 2
RISULTATI DELLA MODELLAZIONE IDRAULICA
F. ADDA A SAN GIACOMO



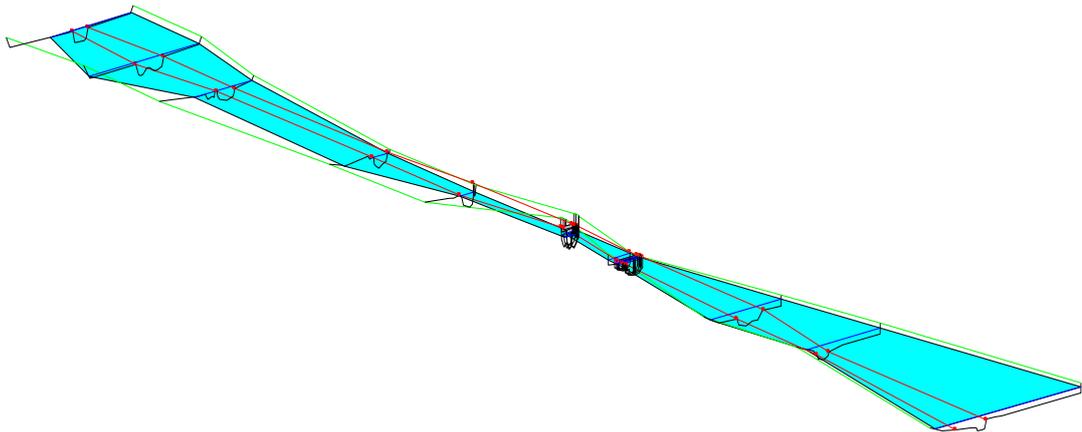








ADDA SANGIACOMO Plan: Plan 03



Vista tridimensionale del tratto di canale a San Giacomo