

COMMITTENTE:



RETE FERROVIARIA ITALIANA S.p.A.
DIREZIONE OPERATIVA INFRASTRUTTURA TERRITORIALE (DOIT)

PROGETTAZIONE:

PROGETTISTA

ETS S.r.l.

Via Benedetto Croce,68
00142 Roma
email: info@etsingegneria.it

SOGGETTO TECNICO:

RFI - DIREZIONE OPERATIVA INFRASTRUTTURA TERRITORIALE DI GENOVA
S.O. INGEGNERIA

PROGETTO ESECUTIVO

Aggiornamento della Progettazione Esecutiva della galleria artificiale di Mele
(compreso il relativo tracciato ferroviario, dal PL fino all'imbocco della galleria del Turchino),
comprensiva degli interventi propedeutici alla realizzazione della galleria artificiale - Linea Genova – Ovada – Acqui Terme

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA

SCALA :

FOGLIO 1 di 49

PROGETTO/ANNO	SOTTOPR.	LIVELLO	NOME DOC.	PROGR.OP.	FASE FUNZ.	NUMERAZ.
3 5 3 7 2 3	0 0 0	P E	T S P N	0 1	0 0	0 4 0 1

Rev.	Descrizione	Progettista	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
0	EMISSIONE	L.Terrile	29/09/2023	L.Terrile	29/09/2023	L.Catallo	29/09/2023	D.Lagostena	29/09/2023
1	REVISIONE	L.Terrile	29/01/2024	L.Terrile	29/01/2024	L.Catallo	29/01/2024	D.Lagostena	29/01/2024



LINEA

L	4	4	1

SEDE TECNICA

L	O	0	2	8	2

1	PREMESSA.....	1
2	METODOLOGIA DI INDAGINE.....	3
	2.1 Acquisizione dei dati.....	3
	2.2 Rilievi sul terreno.....	3
3	COMPETENZE AMMINISTRATIVE SUI CORSI D'ACQUA.....	4
4	ASPETTI FISICI DEL BACINO E DEL CORSO D'ACQUA.....	5
	4.1 Fisiografia.....	5
	4.2 Piani Stralcio per l'assetto Idrogeologico e Piano Generale per il Rischio Alluvioni ...	7
	4.3 Caratteristiche dell'alveo.....	8
	4.4 Geologia.....	8
	4.5 Uso del suolo.....	9
	4.6 Dinamica di versante.....	12
5	IDROLOGIA.....	14
	5.1 Dati idrologici.....	14
	5.1.1 Metodologia C.I.M.A.....	15
	5.1.2 Linee segnalatrici di probabilità pluviometrica.....	16
	5.1.3 Portate di piena.....	19
6	VALUTAZIONE DELLE PORTATE DI PIENA.....	21
	6.1 Portate di progetto.....	21
7	ANALISI IDRAULICHE.....	23
	7.1 Geometria delle sezioni.....	23
	7.2 Valori di scabrezza e condizioni al contorno.....	23
	7.3 Modellazione idraulica.....	24
8	RISULTATI DELLE SIMULAZIONI IDRAULICHE.....	28
9	ALLEGATI.....	30
	STATO DI FATTO: tabulato, profilo e sezioni HEC-RAS.....	31
	STATO DI PROGETTO: tabulato, profilo e sezioni HEC-RAS.....	40

1 PREMESSA

La seguente relazione rientra nell'ambito della Progettazione Esecutiva con oggetto "Aggiornamento della Progettazione esecutiva della galleria artificiale di Mele (compreso il relativo tracciato ferroviario, dal PL fino all'imbocco della galleria del Turchino), comprensiva degli interventi propedeutici alla realizzazione della galleria artificiale, nonché PFTE di una nuova viabilità sostitutiva del PL della stazione di Mele - Linea Genova – Ovada – Acqui Terme" con Contratto Applicativo N. 5028000758-23-10-180 e Accordo Quadro n. 1388/2022 - FIRENZE - Lotto n. 5. Il settore oggetto degli interventi in progetto si colloca a nord del comune di Mele (GE), in prossimità della stazione ferroviaria di Mele, ubicata nella piccola valle del torrente Leiro, in corrispondenza del Torrente Gorsexio.

Lo studio, nei suoi aspetti generali, ha previsto dapprima un'indagine idrologica, sostanzialmente riferita alle informazioni desumibili dal Piano di Bacino del Torrente Leiro, per la definizione di una portata di progetto associata a diversi tempi di ritorno in corrispondenza della sezione di chiusura stabilita. Successivamente, sempre con riferimento a quanto prescritto dal Piano di Bacino del Torrente Leiro, sono state svolte le necessarie valutazioni di tipo idraulico al fine di individuare le problematiche connesse al deflusso delle piene di carattere straordinario e significativamente delle piene con tempo di ritorno 200 anni.

In particolare, l'unica incisione direttamente interferente, seppur in modo marginale, con il corpo ferroviario è quella del Rio Turchino, dalla cui confluenza con il Rio Acquafresca trae origine il Torrente Gorsexio che decorre, all'altezza della Stazione di Mele, parallelamente alla linea ferroviaria per poi recapitarsi all'alveo del Torrente Leiro.



Figura 1: Ripresa aerea dell'area oggetto degli interventi; evidenziata in rosso (fonte: Google Maps)

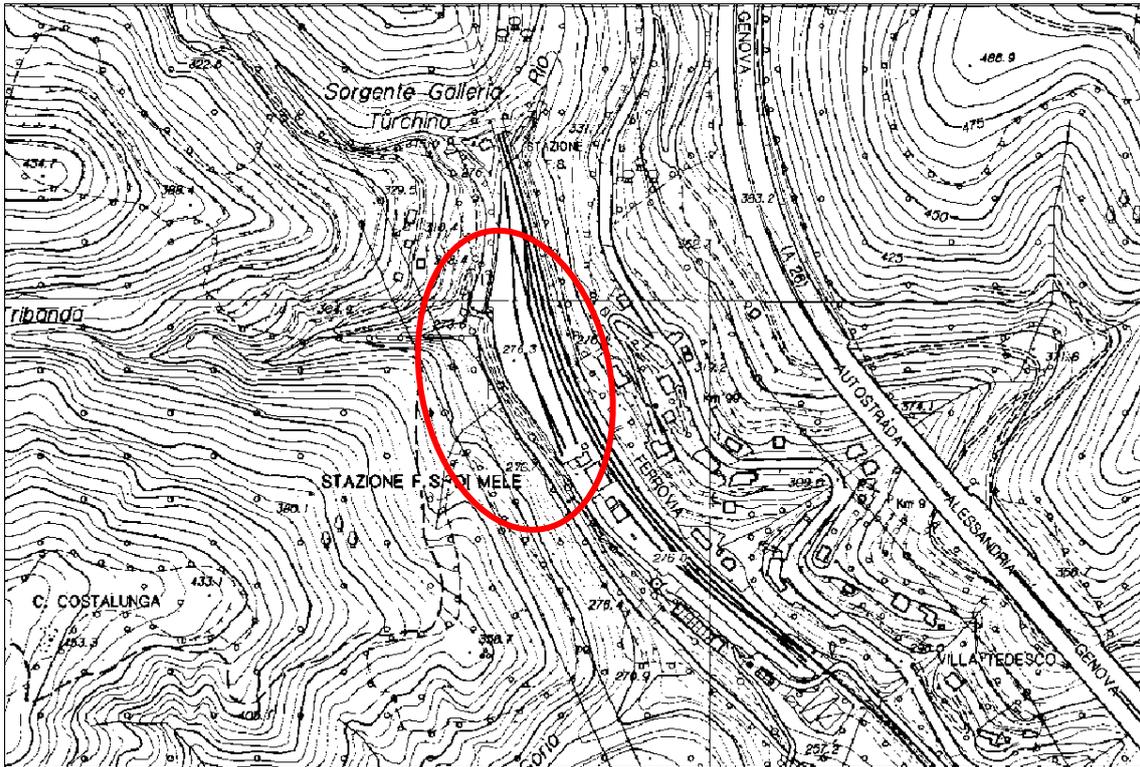


Figura 2: Stralcio Carta Tecnica Regionale 1:5000 regione Liguria, in rosso l'area di studio.

Nei paragrafi che seguono sono esposti la metodologia di lavoro adottata e i risultati a cui si è pervenuti.

2 METODOLOGIA DI INDAGINE

2.1 Acquisizione dei dati

Lo studio si è sviluppato, per la fase di inquadramento generale e di definizione dei dati idrologici di progetto, attraverso la consultazione dei più recenti elaborati relativi a “*Ambiti regionali di bacino 12 e 13 - PIANI DI BACINO STRALCIO PER LA TUTELA DAL RISCHIO IDROGEOLOGICO (ai sensi dell’art. 1, comma1, del D.L. 180/1998 convertito in L. 267/1998) - Caratteristiche idrauliche e geologiche del territorio - Valutazione del rischio idraulico e geomorfologico*”. Il Piano di Bacino relativo agli ambiti 12 e 13, di cui il Torrente Gorsexio fa parte in quanto sottobacino di testata del Torrente Leiro, ricompreso nell’ambito 12, Area 5, è stato approvato con Delibera del Consiglio Provinciale di Genova n. 65 del 12/12/2002 e con successiva ultima modifica approvata con DSG n. 90 del 25/10/2021.

Si è potuto in tal modo ottenere un quadro indicativo del comportamento del corso d’acqua in risposta ai principali eventi alluvionali che ne hanno interessato il bacino imbrifero e l’alveo di interesse.

Per quanto concerne l’adozione della cartografia necessaria agli opportuni inquadramenti territoriali di rappresentazione ci si è avvalsi delle Carte Tecniche Regionali messe a disposizione dal Geoportale della Regione Liguria.

2.2 Rilievi sul terreno

Per le verifiche di tipo idraulico si è fatto riferimento ai rilievi topografici di dettaglio, con definizione di una serie di sezioni trasversali del corso d’acqua rappresentative dello stato attuale dei luoghi.

3 COMPETENZE AMMINISTRATIVE SUI CORSI D'ACQUA

Il corso d'acqua oggetto di studio, il Torrente Gorsexio, è ricompreso all'interno dell'Elenco delle acque pubbliche della Provincia di Genova, come riportato nel seguito.

N. d'ord.	DENOMINAZIONE da valle verso monte)	FOCE o SBOCCO	COMUNI toccati od attraversati	L I M I T I entro i quali si ritiene pubblico il corso d'acqua	ANNOZZIONI
1	2	3	4	5	6
98	T. Gorsexio	Leiro	Mele	fino alla confluenza tra R. Turchino e Acquafresca	Id.

Figura 3: Stralcio DM 19 febbraio 1993 Schema di elenco delle acque pubbliche della provincia di Genova sostitutivo ed integrativo dei precedenti

La *Carta del reticolo idrografico - Tavola: 213090* allegata al *Piano di Bacino Stralcio per la tutela del rischio Idrogeologico ambiti 12 e 13* (approvato con Delibera della Giunta Provinciale di Genova n. 171 del 22/11/2011) conferma quanto riportato nell'elenco delle acque pubbliche.

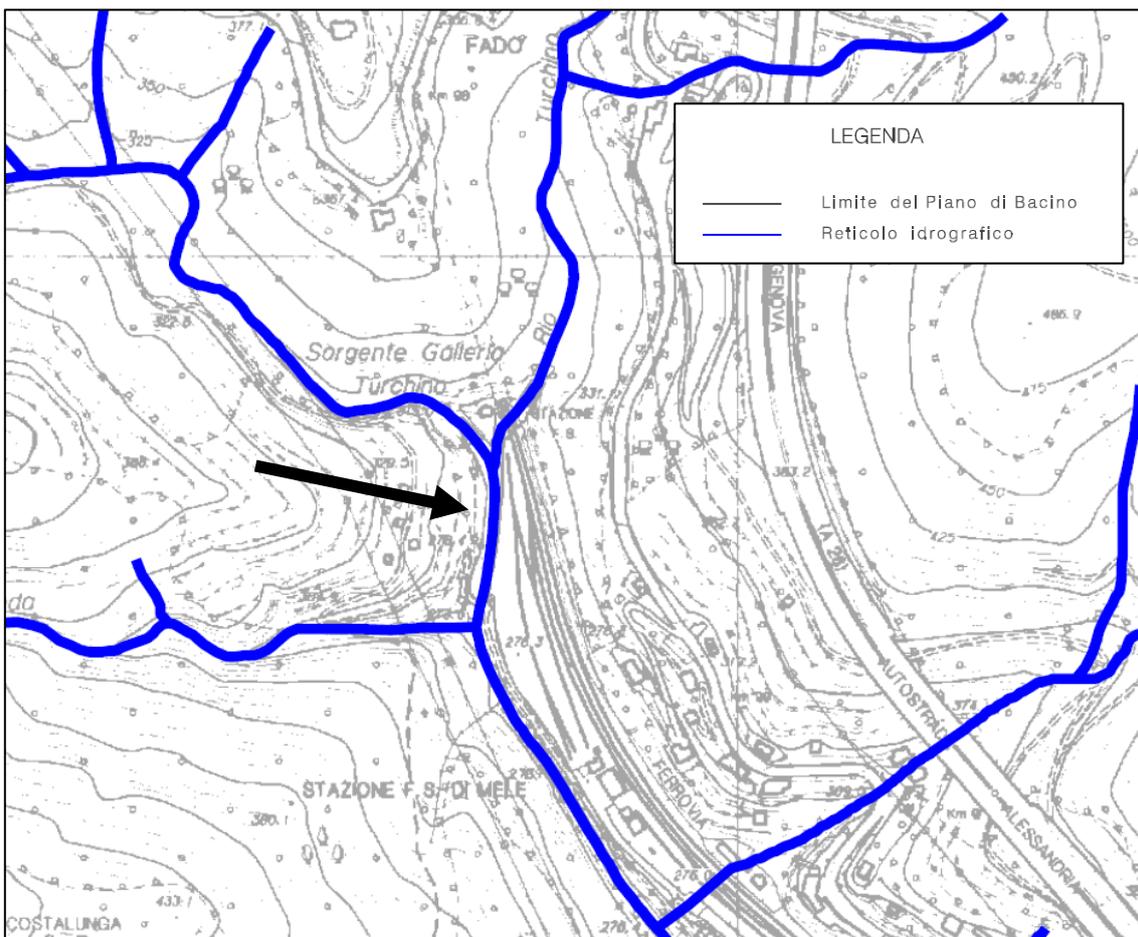


Figura 4: Stralcio Carta del reticolo idrografico - Tavola: 213090 e relativa legenda. La freccia indica il T. Gorsexio nel tratto in studio

4 ASPETTI FISICI DEL BACINO E DEL CORSO D'ACQUA

4.1 Fisiografia

Il bacino idrografico del T. Gorsexio alla sezione di chiusura individuata e posta a valle della confluenza tra i rii Acquafresca e Turchino è compreso tra le quote altimetriche di 810 m s.l.m.m. (Bric Geremia) e 262 m circa. In particolare, il limite del bacino segue sul suo margine settentrionale la dorsale appenninica tra il Bric Geremia ed il Monte Turchino, per poi collegarsi rispettivamente a Loc. Ribattaio e a Loc. Cascina Aresci verso Sud e ricollegarsi alla stazione di Mele.

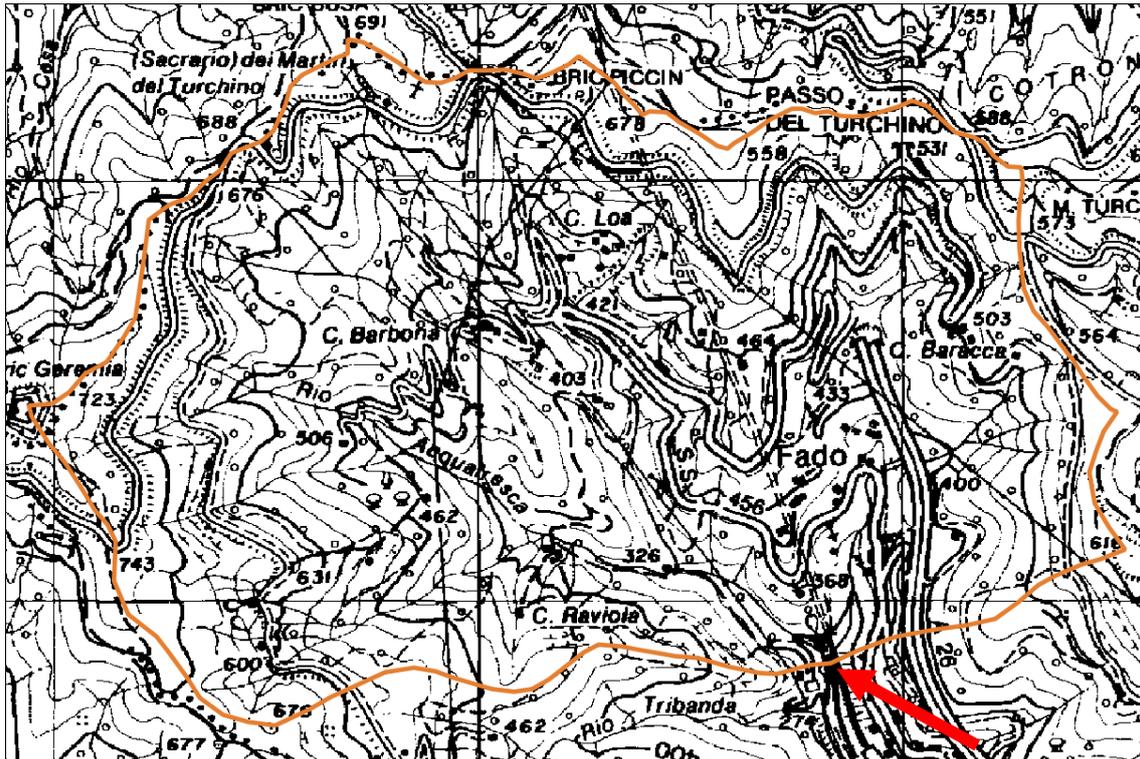


Figura 5: Delimitazione del bacino del Torrente Gorsexio alla sezione di chiusura individuata (freccia rossa)

Il bacino imbrifero individuato presenta una estensione complessiva di circa 3 km² ed è caratterizzato da una forma sub-rettangolare, con lato maggiore ortogonale all'asta principale.

La fisiografia dei bacini nella zona di testata è quella propria di un ambiente montano, con versanti ripidi e rada copertura boscosa intervallata ad aree inerbite o sterili per la presenza di coltri detritiche e roccia affiorante.

Il drenaggio avviene attraverso solchi impluviali brevi e rettilinei che alimentano l'asta principale e per apporti diretti legati allo scorrimento superficiale ed ipodermico. Muovendo verso valle, le incisioni divengono via via meglio definite, con alvei costretti tra versanti ripidi e a tratti caratterizzati da fondo roccioso.

Nell'ambito del bacino idrografico sono riconoscibili diversi sottobacini di pertinenza di aste a gerarchia inferiore, tra questi i più importanti sono i sottobacini del Rio Turchino in sinistra idrografica e i bacini del Rio Acquafresca, in corrispondenza dell'asta principale e del Rio Reigiun in destra idrografica. L'attraversamento della linea ferroviaria avviene lungo il Rio Turchino, che confluisce nel Rio Acquafresca poco a valle, originando il Torrente Gorsexio.

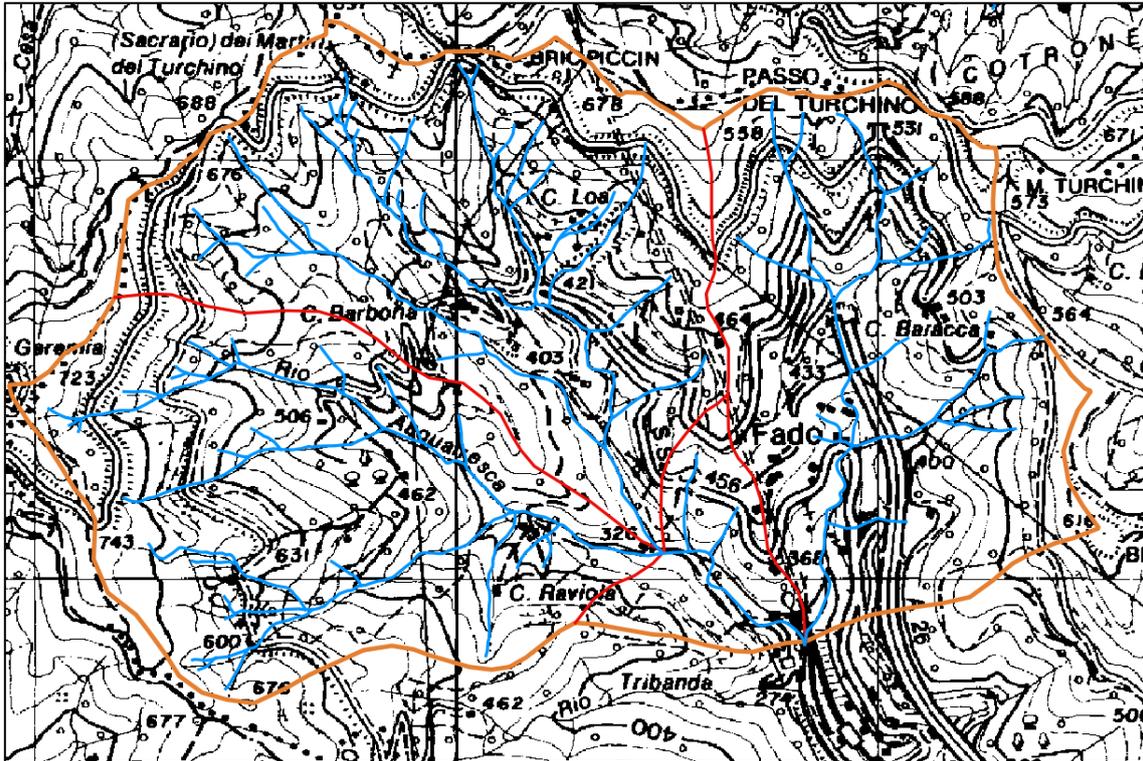


Figura 6: Reticolo idrografico del bacino del Torrente Gorseiox e sottobacini di pertinenza delle aste gerarchicamente inferiori

4.2 Piani Stralcio per l'assetto Idrogeologico e Piano Generale per il Rischio Alluvioni

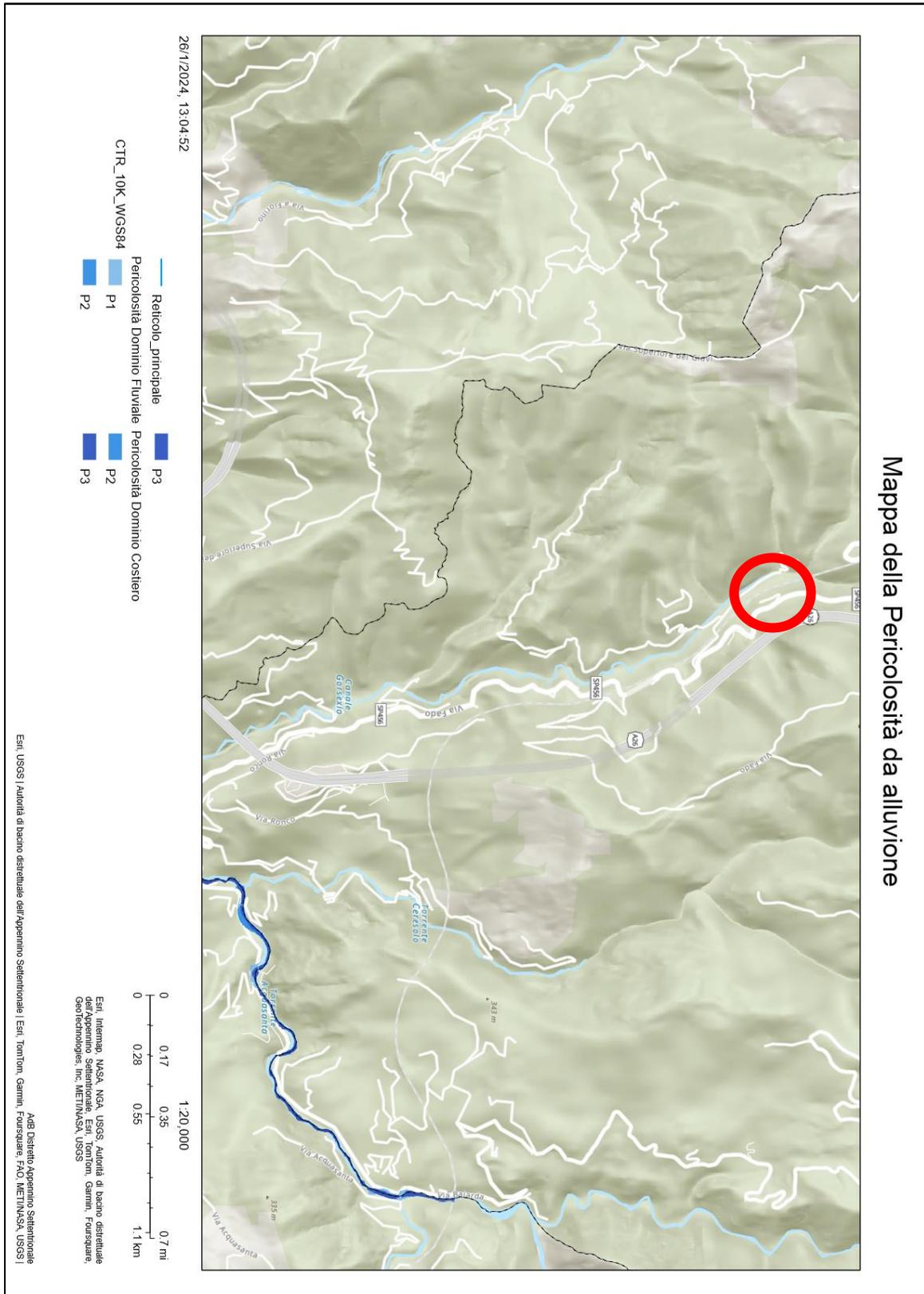


Figura 7: Stralcio del PGRA con inquadramento sull'area in oggetto

Dal Piano Generale per il Rischio Alluvioni non è evidenziato nessuna tipologia di Rischio confermabile dalla forte inalveazione riscontrabile nell'area in esame.

Tale mancanza di pericolosità idraulica viene riscontrato sul Piano stralcio pe l'Assetto Idrogeologico sul territorio di competenza degli Ambiti 12 e 13 (DSG n. 102 del 19/11/2021 - fascia riassetto rio Roncallo – Genova) che non presentano tavole riguardanti l'area in esame.

Sono altresì presenti nel PAI la carta delle suscettività al dissesto (paragrafo 4.6 Figura 11) e la carta del rischio geologico (paragrafo 4.4 Figura 8).

4.3 Caratteristiche dell'alveo

Il Torrente Gorsexio è caratterizzato da un alveo con morfologia unicursale, in cui tratti subrettilinei si alternano ad altri sinuoso-irregolari.

Il deflusso è concentrato in un unico canale che a luoghi tende ad approfondirsi per processi di erosione e ad allargarsi per processi di erosione spondale. Durante le piene più significative si verifica con facilità l'asportazione delle barre preesistenti, con formazione di nuove strutture di deposito che modificano il locale aspetto dell'alveo ma non ne variano le caratteristiche complessive. In questo senso sono state realizzate sistematiche opere trasversali di presidio del fondo e di sistemazione in corrispondenza della Stazione Ferroviaria di Fado - Mele, in funzione di pregressi eventi di subocclusione del manufatto ferroviario (evento alluvionale 1978).

L'alveo è compreso tra sponde ovunque ben definite, la cui altezza non è mediamente inferiore a 2,00 metri, caratterizzate da muri spondali in cls o pietrame.

4.4 Geologia

Per le caratteristiche geolitologiche del bacino imbrifero, è possibile affermare quanto segue. Per quanto concerne il substrato roccioso sono state individuate due classi fondamentali di permeabilità associate ai due complessi litologici principali presenti nell'area: le rocce ofiolitiche e i calcescisti *l.s.*

Il complesso delle ofioliti, caratterizzate da elevata permeabilità per fratturazione, è sede di circuiti idrici, anche profondi, fortemente condizionati dall'andamento (orientazione e densità) e dalla persistenza delle diverse discontinuità presenti. In rapporto al tipo di circolazione (circolazione in mezzo non *darcyano*) è importante segnalare che il meccanismo e la dinamica d'infiltrazione influenzano la genesi di movimenti franosi in tali ammassi rocciosi. In particolare, mentre in condizioni di precipitazioni di normale entità si determina un'elevata infiltrazione d'acqua, in condizioni di piogge intense e concentrate la capacità di infiltrazione si riduce notevolmente e lungo le discontinuità si generano incrementi di pressione interstiziale che possono risultare causa scatenante di movimenti franosi.

Il complesso dei calcescisti l.s. è caratterizzato da permeabilità medio - bassa per fratturazione. Il ridotto grado di permeabilità associato ad esso, in rapporto al comportamento delle rocce ofiolitiche, è fortemente connesso ai fenomeni di alterazione che interessano tali materiali. I prodotti d'alterazione, infatti, tendono ad intasare le discontinuità presenti rallentando e limitando i processi di circolazione idrica.

Nell'ambito del bacino, quindi, l'infiltrazione in tale complesso va ad alimentare una circolazione idrica prevalentemente superficiale caratterizzata da una rete di flusso discontinua. Tuttavia, è presente una buona permeabilità secondaria per fratturazione in corrispondenza a sistemi di discontinuità subverticali beanti, associati a contatti tettonici importanti, come il sistema di faglie a direzione NE-SO precedentemente citato. Inoltre, la locale presenza di bancate a prevalente composizione carbonatica, favorisce l'instaurarsi di fenomeni carsici che conducono al progressivo allargamento delle fratture preesistenti.

Il complesso delle quarziti è caratterizzato da permeabilità medio - elevata per fratturazione e mostra un comportamento analogo a quello del complesso delle ofioliti.

Come osservato precedentemente, ai calcescisti è generalmente associata una copertura detritica eluvio-colluviale a prevalente matrice fine argillosa, il cui spessore è generalmente inferiore a 2 m. In essa sono possibili ridotte circolazioni idriche che sono riconducibili ad uno schema di flusso limitato che si realizza lungo orizzonti ben determinati, discontinui e spesso isolati. In particolare, in prossimità del substrato roccioso, fenomeni di impregnazione idrica del terreno di copertura possono essere connessi con sorgenti poste nel substrato stesso, mentre, in corrispondenza del piano campagna, la circolazione idrica è in stretta connessione con gli apporti meteorici.

Al verificarsi di eventi intensi e concentrati gli strati più superficiali dei terreni di copertura vengono, generalmente, a trovarsi in condizioni di elevata saturazione. Tale condizione, oltre a ridurre l'infiltrazione verso orizzonti più profondi è la principale causa innescante di fenomeni franosi, tipici dei terreni di copertura, classificabili in colate rapide con elevato contenuto in acqua (Casale *et alii*, 2002)

Infine, nella cartografia allegata è stato rappresentato un *complesso superficiale*, costituito da depositi detritici sciolti a matrice prevalentemente sabbiosa, rappresentati rispettivamente da depositi di frana e da terreni di riporto. Tale complesso è caratterizzato da una permeabilità per porosità da media a elevata.

Per l'area è disponibile il foglio n. 82 "Genova" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000.

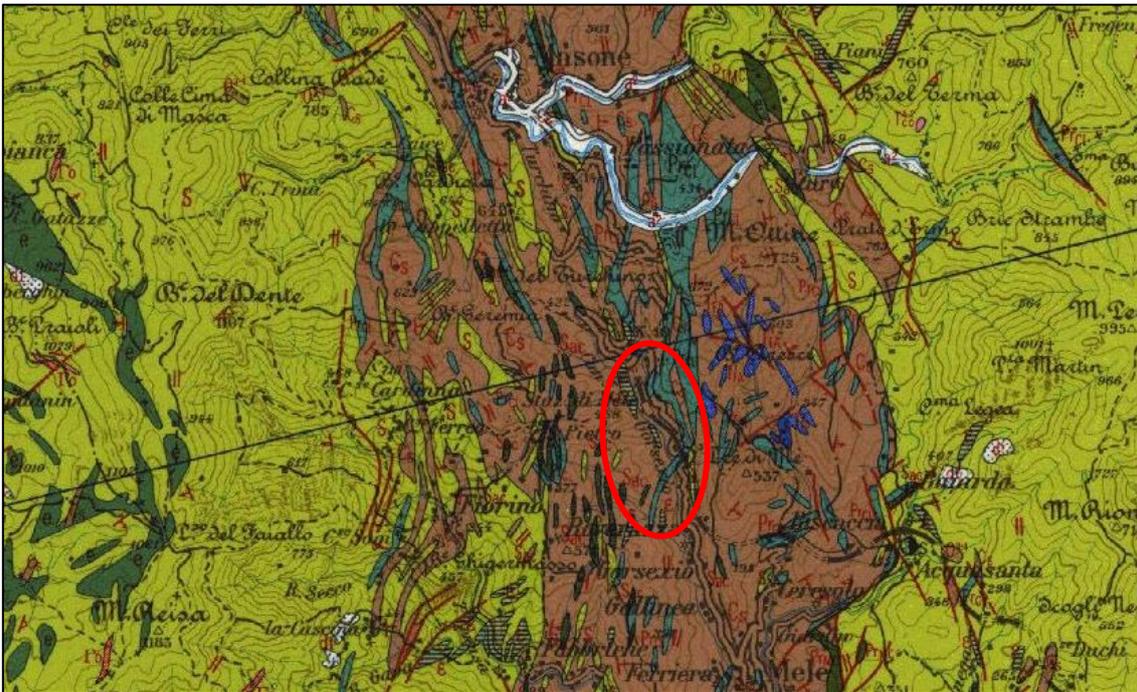
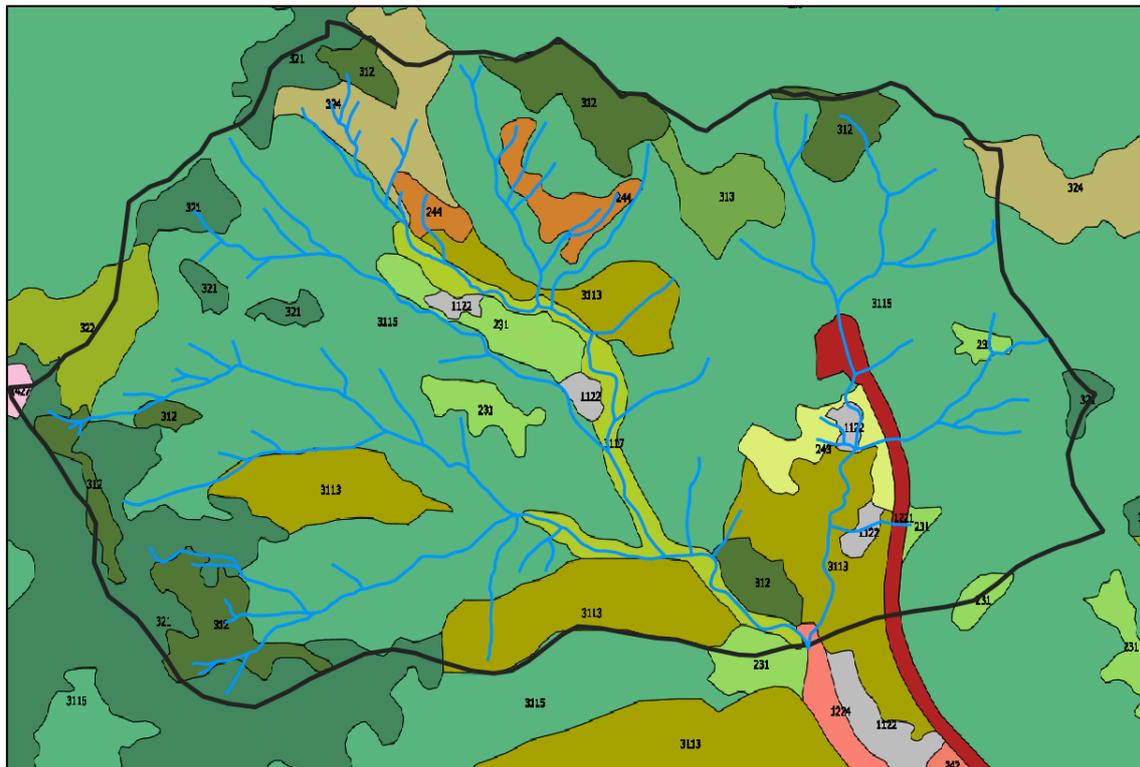


Figura 8: Stralcio Foglio n. 82 Genova della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000

4.5 Uso del suolo

Le quote che caratterizzano il bacino, unitamente alla configurazione morfologica tipica del versante appenninico ligure, condizionano notevolmente lo sviluppo della vegetazione. Prevale la vegetazione erbacea per le quote più elevate e per i settori antropizzati e coltivati, mentre la copertura arborea è localizzata alle quote inferiori. In particolare, le pendici del Monte Falallo si presentano sostanzialmente brulle e caratterizzate da coperture erbacee mentre a quote inferiori prevale la copertura arborea a prevalenza di castagno e rovere.

Dalla consultazione della carta relativa all'*Uso del Suolo 2019* messa a disposizione dalla Regione Liguria all'interno del Geoportale, è possibile caratterizzare dal punto di vista di copertura del suolo il bacino delimitato.

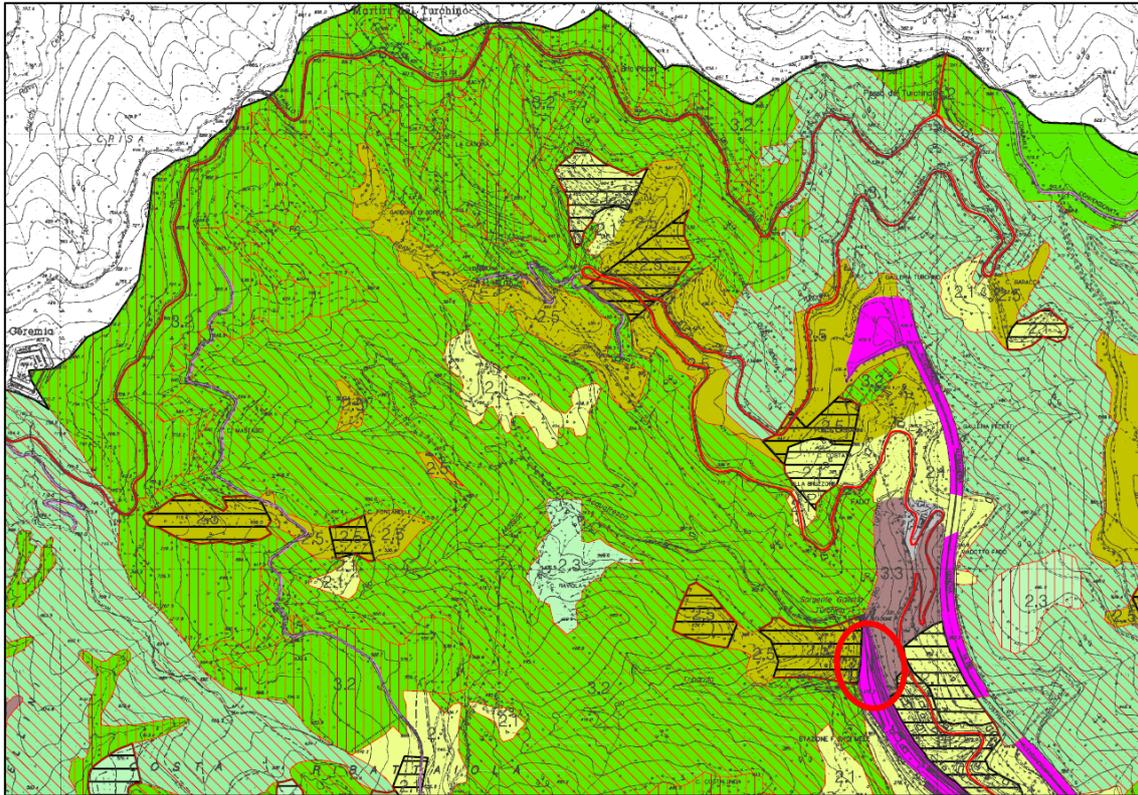


- 224 Arboricoltura da legno
- 231 Prati stabili
- 312 Boschi di conifere
- 321 Aree a pascolo naturale e praterie ad alta quota
- 324 Aree a vegetazione boschiva arbustiva in evoluzione
- 1122 Tessuto residenziale discontinuo e sparso (case sparse)
- 3113 Bosco misto mesofilo
- 3115 Bosco a prevalenza di castagno
- 3117 Bosco di specie igrofile

Figura 9: Elaborazione su Qgis della carta di Uso del Suolo 2019 della Regione Liguria per il bacino delimitato e relativo stralcio della legenda

Secondo tale carta la maggior parte di suolo dei bacini risulta occupata da *bosco a prevalenza di castagno* (3115), piccole porzioni di territorio sono occupate da *bosco misto mesofilo* (3113), *bosco di specie igrofile* (3117), *prati stabili* (231), *arboricoltura da legno* (224), *boschi di conifere* (312), *aree a pascolo naturale e praterie ad alta quota* (321) *aree a vegetazione boschiva arbustiva in evoluzione* (324) e *case sparse* (1122).

Tale caratterizzazione del suolo non differisce da quanto riportato all'interno della *Carta dell'Uso del Suolo* allegata al Piano di Bacino Ambiti 12 e 13, di cui si riporta uno stralcio nel seguito.



LEGENDA			
	1.1.1. Tessuto urbano continuo		Cave abbandonate a cielo aperto
	1.1.2. Tessuto urbano discontinuo		Cave attive a cielo aperto
	1.2.1. Aree industriali o commerciali	EFFICIENZA IDROGEOLOGICA	
	1.2.2. Reti autostradali, ferroviarie e spazi accessori		1 alta
	1.2.3. Aree portuali		2 media
	1.3.1. Aree estrattive		3 bassa
	1.3.2. Discariche		
	1.4.1. Aree verdi urbane		
	1.4.2. Aree sportive e ricreative		
	2.1. Seminativi		
	2.1.1. Seminativi in aree non irrigue		
	2.1.2. Seminativi in aree irrigue		
	2.1.2.1. Seminativi, vivali, colture ortofloricole in piena aria		
	2.1.2.2. Seminativi, vivali, colture ortofloricole in serra		
	2.2. Colture permanenti arboree		
	2.2.1. Vigneti (a); vigneti terrazzati (b)		
	2.2.2. Frutteti (a); frutteti terrazzati (b)		
	2.2.3. Oliveti (a); oliveti terrazzati (b)		
	2.3. Prati e pascoli		
	2.4. Zone agricole eterogenee		
	2.5. Ex coltivi (a); ex coltivi terrazzati (b)		
	3.1. Praterie		
	3.2. Zone boscate		
	3.3. Zone caratterizzate da vegetazione arbustiva (a); zone caratterizzate da vegetazione arbustiva terrazzate (b)		
	3.4. Zone con vegetazione rada o assente		
	3.4.1. Spiagge, dune		
	3.4.2. Rocce nude		
	3.4.3. Aree con vegetazione rada		
	3.4.4. Aree incendi recenti inf. 2 anni		
	4.1. Zone umide interne		
	5.1.1. Corsi d'acqua, canali larghi, minima alveo mt 10		

Figura 10: Stralcio Carta dell'Uso del Suolo - Foglio 213090 allegata al Piano di Bacino Ambiti 12 e 13 e relativa legenda. In rosso il settore oggetto di studio

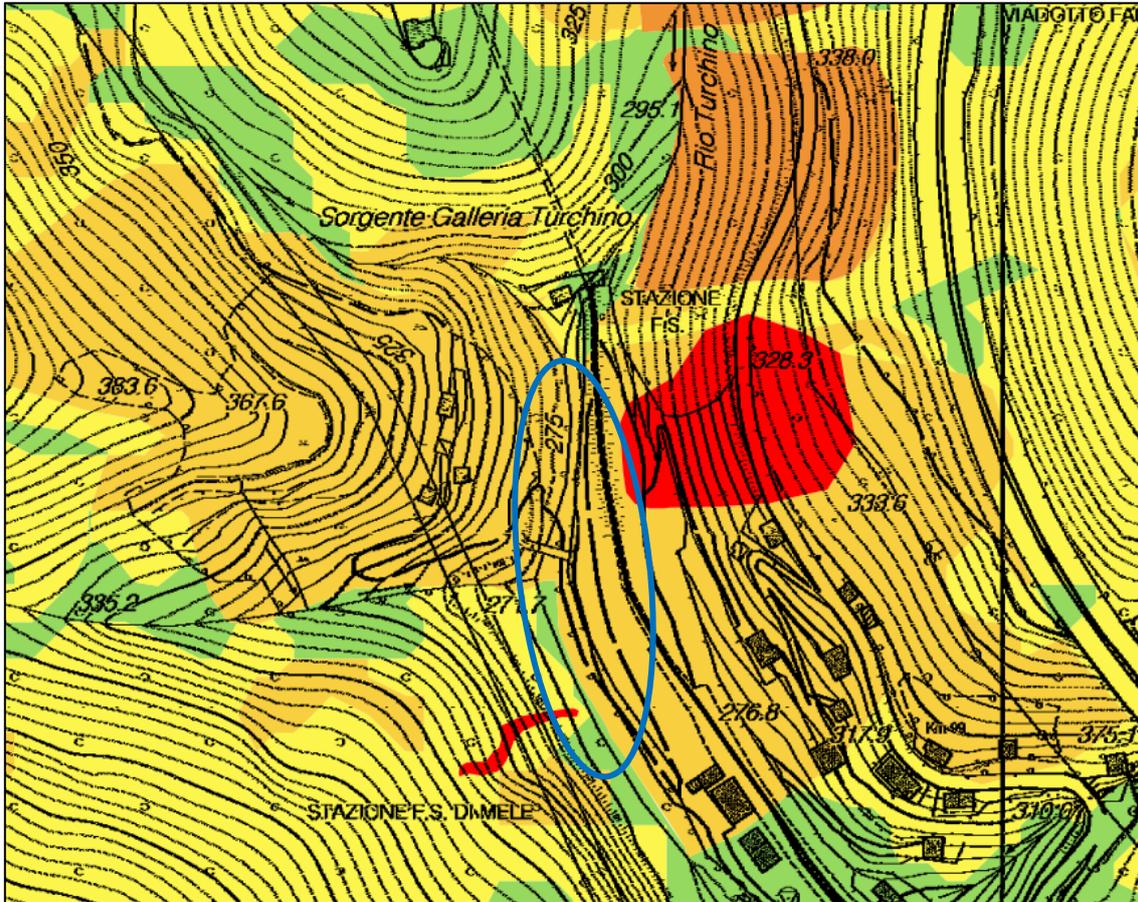
4.6 Dinamica di versante

La consultazione della *Carta della suscettività al dissesto dei versanti* allegata al Piano di Bacino Stralcio per l'Assetto Idrogeologico – Ambiti 12 e 13 classifica il settore in analisi all'interno di più classi di suscettività. L'area in prossimità del T. Gorsexio appartiene per lo più alla classe Pg3b "Elevata".

Nel seguito si riporta l'estratto dell'Art. 12 - Individuazione e categorie di aree della Normativa di piano per i Piani di Bacino ambiti regionali 12 e 13 - Piano di Bacino Stralcio sul Rischio Idrogeologico (ai sensi dell'art.1, comma 1, del D.L. 180/1998 convertito in L. 267/1998) - Caratteristiche idrauliche e geologiche del territorio - Valutazione del rischio idraulico e geomorfologico

b) Aree a diversa suscettività al dissesto di versante («Aree SDV»)¹³: sono individuate nella "Carta della suscettività al dissesto" articolata in base alle seguenti classi, metodologicamente determinate sulla base di quanto indicato nelle Relazioni dei Piani e di seguito sinteticamente riassunte:

- 1) **suscettività al dissesto molto elevata:** aree in cui sono presenti movimenti di massa in atto - frana attiva (P_{g4});
- 2) **suscettività al dissesto elevata** comprensiva delle seguenti aree:
 - 2.1) aree in cui sono presenti indicatori geomorfologici diretti, quali l'esistenza di frane quiescenti o di segni precursori o premonitori di movimenti gravitativi (P_{g3a});
 - 2.2) aree, prive al momento di movimenti gravitativi attivi e quiescenti, in cui sono presenti indicatori indiretti di elevata suscettività valutabili, dalla combinazione di elementi geomorfologici, litologici, strutturali e di uso del suolo. Sono comprese in tali aree le frane stabilizzate e relitte (paleofrane) e le zone a franosità diffusa inattive (P_{g3b});
- 3) **suscettività al dissesto media (P_{g2}):** aree, in cui sono presenti elementi geomorfologici e di uso del suolo, dalla cui valutazione combinata risulta una propensione al dissesto di grado inferiore a quella indicata al punto 2);
- 4) **suscettività al dissesto bassa (P_{g1}):** aree, in cui sono presenti elementi geomorfologici e di uso del suolo caratterizzati da una bassa incidenza sulla instabilità, dalla cui valutazione risulta una propensione al dissesto di grado inferiore a quella indicata al punto 3);
- 5) **suscettività al dissesto molto bassa (P_{g0}):** aree, in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche fisiche dei terreni non costituiscono, se non occasionalmente, fattori predisponenti al verificarsi di movimenti di massa.



LEGENDA

CLASSI DI SUSCETTIVITA' AL DISSESTO			NORME DI ATTUAZIONE
	MOLTO ELEVATA	Pg4	Art. 16, c. 2 Art. 16ter
	ELEVATA	Pg3a	Art. 16, c. 3 Art. 16ter
	ELEVATA	Pg3b	Art. 16, c. 3-ter Art. 16ter
	MEDIA	Pg2	Art. 16, c. 4 Art. 16ter
	BASSA	Pg1	Art. 16, c. 4 Art. 16ter
	MOLTO BASSA	Pg0	Art. 16, c. 4 Art. 16ter

Figura 11 Estratto della “Carta della suscettività al dissesto dei versanti” Piano di Bacino Stralcio per l’Assetto Idrogeologico Ambiti 12 e 13 e relativa legenda – In blu l’area oggetto di studio.

5 IDROLOGIA

Il presente capitolo riassume le metodologie, i contenuti ed i risultati dello studio idrologico finalizzato all'esame degli eventi meteorici intensi sui bacini afferenti al T. Gorsexio avente lo scopo di individuare i valori di portata necessari alle verifiche idrauliche nelle sezioni di riferimento di progetto.

Obiettivo dello studio è stato quello di:

- fornire l'inquadramento idrologico generale dell'area di studio sulla base dei dati idroclimatici disponibili, delle caratteristiche morfologiche e di copertura del suolo;
- analizzare l'effetto dei deflussi nell'ambito del territorio del bacino di riferimento.

Per le verifiche idrauliche oggetto del presente lavoro è stata adottata la metodologia di calcolo delle portate di piena descritta all'interno del Piano di Bacino Stralcio sul Rischio Idrogeologico redatto dalla Provincia di Genova, il quale si configura quale "strumento conoscitivo, normativo e tecnico operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso relative alle aree suscettibili di dissesto idrogeologico finalizzate alla conservazione, alla difesa e alla valorizzazione del suolo, sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali del territorio", come citato dall'art. 1, comma 1c, della Normativa di Piano, Allegato "B" alla Deliberazione N. 188 del 30/10/2012 e le cui previsioni "si applicano nei bacini idrografici della Provincia di Savona scolanti nel Mar Tirreno e specificati negli elaborati tecnici del piano allegati alla presente normativa..." (art. 2, comma 1).

5.1 Dati idrologici

La caratterizzazione idrologica del bacino del Torrente Leiro è descritta all'interno della Relazione Generale del Piano di Bacino Stralcio Per la Tutela dal Rischio Idrogeologico (ai sensi dell'art.1, comma1, del D.L. 180/1998 convertito in L. 267/1998) Ambiti 12 e 13.

Al fine di descrivere in termini probabilistici le portate di piena la Regione Liguria ha stipulato con l'Università di Genova - Centro di Ricerca in Monitoraggio Ambientale (C.I.M.A.) una convenzione relativa alla "Caratterizzazione delle precipitazioni intense e delle portate di piena per i bacini liguri (luglio 1999)"; lo studio fornisce i valori al colmo di piena relativi a diversi periodi di ritorno dei corsi d'acqua con foce sul litorale tirrenico ed è la base dati su cui si fondano le analisi idrauliche del piano stralcio del bacino del T. Leiro.

Per i bacini in questione i valori ottenuti nell'ambito dello "Studio CIMA" sono stati confrontati con i valori delle portate desunti da studi propedeutici di bacino stralcio; in particolare sono presenti i valori relativi ai sottobacini del Rio Acquafresca e del Rio Turchino.

Nei paragrafi che seguono si riportano gli stralci dalla Relazione Generale allegata ai PIANI DI BACINO STRALCIO PER LA TUTELA DAL RISCHIO IDROGEOLOGICO (ai sensi dell'art. 1, comma1, del D.L. 180/1998 convertito in L. 267/1998) Caratteristiche idrauliche e geologiche del territorio - Valutazione del rischio idraulico e geomorfologico - Ambiti 12 e 13.

5.1.1 Metodologia C.I.M.A.

Per la determinazione della portata di piena, per tempi di ritorno 5, 10, 30, 50, 100, 200 e 500 anni, si è utilizzata la seguente formula:

$$Q = K_T \cdot c(T_{\text{indice}}) \cdot A^{0.75}$$

dove:

Q = portata [m³s⁻¹]

c(T_{indice}) = coefficiente in funzione di T_{indice} [m³s⁻¹km^{-0.75}]

A = superficie del bacino [km²]

K_T= fattore di frequenza, dato nella seguente tabella:

Tempo di ritorno	K_T
5 anni	1.295
10 anni	1.788
30 anni	2.9
50 anni	3.47
100 anni	4.25
200 anni	5.02

Per i bacini aventi superficie compresa tra 2 e 5 kmq, la portata di massima piena associata a diversi periodi di ritorno è stata calcolata utilizzando il metodo dei piccoli bacini proposto da CIMA. La formula per la determinazione della portata di piena con il metodo indicato, si basa sul calcolo della portata con tempo di ritorno 2.9 anni che, moltiplicata per un coefficiente funzione del tempo di ritorno, permette di ottenere la portata di piena a periodo di ritorno desiderato, secondo le seguenti formule:

$$Q_T = K_T \cdot Q_{2.9} \quad [m^3s^{-1}]$$

$$Q_{2.9} = C_Q \cdot A \cdot (0.25 + 0.27 \cdot A^{1/2})^{-0.48} \quad [m^3s^{-1}]$$

dove:

A = superficie del bacino

C_Q = coefficiente tabellato in funzione della longitudine del baricentro del bacino e del CN medio

K_T= fattore di frequenza, dato nella precedente tabella

Il valore di CN, variabile teoricamente tra 0 e 100, esprime la capacità di assorbimento del suolo secondo lo schema proposto dal Soil Conservation Service; il CIMA propone una classificazione dei bacini regionali in quattro principali tipologie in funzione del diverso grado di urbanizzazione e dell'estensione delle aree impermeabili:

Il valore di CN , variabile teoricamente tra 0 e 100, esprime la capacità di assorbimento del suolo secondo lo schema proposto dal Soil Conservation Service; il CIMA propone una classificazione dei bacini regionali in quattro principali tipologie in funzione del diverso grado di urbanizzazione e dell'estensione delle aree impermeabili:

- o $CN = 92$ per bacini di tipo A (elevato grado d'urbanizzazione ed estensione delle aree impermeabili superiore al 60%)
- o $CN = 87$ per bacini di tipo B (medio grado d'urbanizzazione ed estensione delle aree impermeabili compresa tra 30% e 60%)
- o $CN = 75$ per bacini di tipo C (basso grado d'urbanizzazione ed estensione delle aree impermeabili comprese tra 5% e 30%)
- o $CN = 67$ per bacini di tipo D (estesa copertura arborea ed estensione delle aree impermeabili inferiore al 5%).

Per i bacini aventi superficie minore di 2 kmq, la portata di massima piena associata a diversi periodi di ritorno è stata calcolata adottando un contributo unitario, funzione del tipo di bacino e della sua posizione geografica, pari a quello ottenuto con riferimento a superfici scolanti aventi un'area drenata pari a 2 km², secondo la seguente formula:

$$Q_T = K_T \cdot A \cdot U_{A=2} \quad [m^3s^{-1}]$$

nella quale:

A = superficie del bacino

$U_{A=2}$ = contributo unitario per area pari a 2 km² [$m^3s^{-1}km^{-2}$], in funzione della longitudine del baricentro del bacino e del CN medio

K_T = fattore di frequenza, illustrato nella tabella precedente.

5.1.2 Linee segnalatrici di probabilità pluviometrica

2.9.6.1. Pluviometria

Al fine di raccogliere tutti gli elementi necessari alla determinazione delle portate di piena lungo il reticolo idrografico del bacino è stata effettuata un'indagine conoscitiva volta alla determinazione delle fonti e della disponibilità dei dati pluviometrici all'interno del bacino e/o in aree limitrofe.

L'indagine è stata condotta con riferimento ai dati di precipitazione massima annuale con durate inferiori alle 24 ore.

Le stazioni pluviometriche del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale tuttora in funzione e ricadenti all'interno del bacino del torrente Leiro sono quelle di *Stazione di Mele* (numero di codice 560) e *Santuario di Nostra Signora delle Grazie* (n. 570).

La prima è ubicata presso la stazione ferroviaria di Mele alla quota di 278 m s.l.m. nella parte Nord occidentale del bacino, la seconda è ubicata presso il Santuario di Nostra Signora delle Grazie (S.Nicolò), alla quota di 159 m s.l.m. nella parte Sud occidentale del bacino circa un chilometro a monte della fascia costiera di Voltri.

Fra i dati storici disponibili per entrambe le stazioni sono stati individuati e analizzati quelli delle precipitazioni massime annuali con durate 1, 3, 6, 12, 24 ore e quelli delle precipitazioni di forte intensità e breve durata (inferiore all'ora).

Tale scelta è giustificata da una parte dalle finalità dell'indagine idrologica, che riguarda l'individuazione delle portate di piena con assegnato periodo di ritorno in diverse sezioni del reticolo idrografico, dall'altra dalla limitata estensione dei bacini esaminati i cui tempi di risposta sono certamente contenuti al di sotto delle 24 ore.

I valori delle precipitazioni intense così raccolti hanno fornito la base dell'analisi probabilistica, finalizzata alla determinazione delle curve di probabilità pluviometrica per durate da 1 a 24 ore e inferiori ad un'ora per assegnati periodi di ritorno.

Le elaborazioni sono state condotte regolarizzando le altezze di pioggia massime annuali per ciascuna durata utilizzando diverse leggi probabilistiche ed individuando quella che meglio si adatta a rappresentare il fenomeno.

In particolare, sono state utilizzate la distribuzione asintotica del massimo valore del tipo I (di Gumbel), la distribuzione log-normale a due parametri (di Galton) e la distribuzione Gamma a due parametri (di Pearson).

Per le serie di ciascuna durata e per ognuna delle tre distribuzioni di probabilità si sono dedotte le stime dei parametri caratteristici utilizzando per la stima della media e dello scarto quadratico medio il metodo dei momenti. Successivamente sono state ricavate le stime delle funzioni di probabilità cumulata $P(h)$.

Per il calcolo delle frequenze osservate è stata utilizzata la formula di Gringorten per la stima della "plotting position":

$$F(i) = \frac{i - 0.44}{N + 0.12}$$

dove i è il numero d'ordine delle osservazioni e N il numero totale delle osservazioni.

Dovendo identificare la distribuzione teorica che porge globalmente la miglior regolarizzazione dei campioni sperimentali si è eseguito il test di adattamento del chi-quadro (o di Pearson).

In particolare per ciascuna stazione e per ciascuna durata si è suddiviso il campo di esistenza della variabile altezza di precipitazione in un numero di intervalli tali da rispettare il principio dell'equiprobabilità, in modo che ogni classe individuata contenesse almeno cinque osservazioni sperimentali.

Verificata la bontà dell'adattamento delle suddette leggi di probabilità ai valori storici osservati sono state costruite per ciascuna stazione le curve di probabilità pluviometrica per diversi periodi di ritorno nella forma:

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

dove $h[mm]$ rappresenta l'altezza di pioggia per la durata $t[ore]$ dell'evento, mentre a ed n sono parametri rappresentativi della stazione.

I valori di a e di n sono stati ricavati per i tempi di ritorno di 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 anni mediante interpolazione ai minimi quadrati dei valori di $h[mm]$ al variare della durata $t[ore]$ per ciascun valore del tempo di ritorno $T[anni]$.

L'andamento dei valori massimi di precipitazione presenta, per qualunque valore del tempo di ritorno, una discontinuità all'incirca in corrispondenza della durata di 1 ora tipica del regime pluviometrico dell'area

Per rappresentare al meglio tale comportamento sono stati ricavati due diversi valori n_1 e n_2 del parametro n validi per durate rispettivamente inferiori e superiori ad 1 ora, mantenendo inalterato il valore del parametro a .

Una volta determinate le curve di probabilità pluviometrica per le due stazioni, si sono individuate le porzioni di bacino di competenza di ciascuna attraverso la metodologia dei poligoni di Thiessen.

La linea di separazione delle aree di influenza dei due strumenti passa approssimativamente per la località Gallinea nel bacino del torrente Gorsexio, per la località Gattegasca nel bacino del torrente Ceresolo e per l'abitato di Acquasanta nel bacino del torrente Acquasanta.

La scelta della curva di riferimento per le sezioni di chiusura dei bacini che si sviluppano a cavallo di tale linea è stata effettuata valutando la quota parte di area influenzata da ciascuno strumento e costruendo la relativa curva di probabilità pluviometrica.

Quest'ultima è stata ottenuta effettuando per ciascuna delle durate considerate (15, 30, 45 minuti, 1, 3, 6, 12, 24 ore) la media pesata dei corrispondenti valori di precipitazione e ricavando successivamente i valori di a , n_1 , n_2 mediante interpolazione ai minimi quadrati per ciascun valore del tempo di ritorno $T[anni]$.

Le curve di probabilità pluviometrica forniscono la base per la determinazione degli ietogrammi da adottare nelle successive fasi di calcolo delle portate di piena.

Nel caso in esame si sono adottati ietogrammi di tipo Chicago la cui caratteristica saliente è costituita dal fatto che per ogni durata l'intensità media della precipitazione è congruente con quella definita dalla curva di probabilità pluviometrica da cui è stato generato.

Lo ietogramma Chicago è costituito da due rami (ascendente e discendente) e da un picco di intensità; i parametri caratteristici dello ietogramma sono la durata totale t dell'evento e la posizione del picco definita dal parametro r variabile da 0 a 1 e calcolato come il rapporto tra il tempo prima del picco di intensità e la durata totale dell'evento.

Tale ietogramma presenta il vantaggio di essere poco sensibile alla variazione della durata di base t poiché la parte centrale rimane la stessa per durate progressivamente maggiori aggiungendosi solo due code all'inizio e alla fine dell'evento.

I valori di r e di t devono essere individuati sulla base delle osservazioni degli eventi pluviometrici intensi relativi alla zona in esame.

Per entrambe le stazioni sono stati esaminati diversi ietogrammi di eventi intensi ricavati dalla lettura diretta delle strisce.

Dall'analisi condotta è emerso che gli eventi di pioggia più significativi hanno durata di base variabile fra le 4 e le 6 ore con posizione del picco massimo di intensità nella prima metà dell'evento ($r= 0.3-0.5$).

Sulla base dell'analisi così condotta per gli ietogrammi di progetto si è assunto un tempo base pari a 400 minuti e un valore di r pari a 0.5.

Una volta determinato il tipo di ietogramma si è provveduto alla sua particolarizzazione in funzione dei diversi tipi di curva di probabilità precedentemente individuate.

5.1.3 Portate di piena

2.9.6.2. Portate di piena

Le elaborazioni e le metodologie di calcolo di seguito riportate sono state finalizzate alla determinazione delle portate di piena, con assegnato periodo di ritorno, in ciascuna sezione individuata nell'ambito della schematizzazione del reticolo idrografico.

Quali tempi di ritorno di riferimento sono stati scelti quelli relativi a 50, 200 e 500 anni.

Non essendo disponibile all'interno del bacino alcuna stazione idrometrica, la portata di piena è stata calcolata attraverso l'uso di un modello seriale di trasformazione afflussi-deflussi.

Il modello è costituito da una prima parte di trasformazione della pioggia di progetto in volume specifico di ruscellamento, basato sull'interpretazione Hortoniana (non lineare) del processo di assorbimento e da una seconda parte caratterizzata da un modello lineare di formazione della piena attraverso la rete idrografica basato sul modello di Nash.

Il calcolo della precipitazione efficace al fine dello scorrimento superficiale è stato effettuato depurando gli ietogrammi precedentemente individuati dalle perdite per infiltrazione e per immagazzinamento nelle depressioni superficiali.

Si è adottato il metodo di depurazione della pioggia noto come *Curve Number* proposto dal Soil Conservation Service basato sul modello Hortoniano di descrizione del fenomeno dell'assorbimento.

Come noto tale procedura consente di calcolare il volume di pioggia defluito nella sezione di chiusura sulla base dell'espressione:

$$h_n = \frac{(h_r - I_a)^2}{h_r - I_a + S}$$

dove h_n [mm] è il volume specifico complessivamente defluito durante l'evento, h_r [mm] è il volume specifico affluito, S [mm] è il potenziale specifico massimo di assorbimento del terreno, cioè il volume immagazzinabile a saturazione nello stesso, mentre I_a [mm] rappresenta la quota parte del volume affluito che si infila prima che il deflusso abbia inizio.

La determinazione di S viene effettuata sulla base della relazione:

$$S = 254 \cdot \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

La stima del parametro CN è stata effettuata secondo le procedure già descritte al paragrafo precedente.

Quale valore di I_a , al posto della relazione suggerita dal Soil Conservation Service ($I_a=0.2S$), si è adottato un valore pari a 3 mm come consigliato da diversi autori nelle applicazioni pratiche al fine di non sottostimare eccessivamente il volume di piena.

L'idrogramma unitario è stato calcolato con il modello di Nash che simula il comportamento del bacino con una cascata di n serbatoi posti in serie; l'IUH del modello assume la forma:

$$I(t) = \frac{1}{K \cdot (n-1)!} \cdot \left(\frac{t}{K}\right)^{n-1} \cdot e^{-\frac{t}{K}}$$

dove k è la costante caratteristica dei serbatoi e n il numero degli stessi. Nel caso in esame si è assunto:

$$n = 3$$

$$K=0.5 \cdot t_c / (n-1).$$

Una volta disponibili gli ietogrammi di progetto e l'idrogramma unitario, sono stati calcolati gli idrogrammi di piena per ciascuna sezione considerata attraverso l'integrale di convoluzione:

$$Q(t) = S \cdot \int_0^t I(t-u) \cdot p(u) \cdot du$$

il quale, noti lo ietogramma di riferimento e l'idrogramma unitario istantaneo del bacino in esame, permette di legare la portata uscente $Q(t)$ all'intensità della pioggia netta $p(t)$.

6 VALUTAZIONE DELLE PORTATE DI PIENA

Il presente capitolo si prefigge di valutare le portate al colmo nelle sezioni significative del reticolo idrografico.

Nei paragrafi che seguono si riportano gli stralci dalla Relazione Generale allegata ai PIANI DI BACINO STRALCIO PER LA TUTELA DAL RISCHIO IDROGEOLOGICO (ai sensi dell'art. 1, comma1, del D.L. 180/1998 convertito in L. 267/1998) Caratteristiche idrauliche e geologiche del territorio - Valutazione del rischio idraulico e geomorfologico - Ambiti 12 e 13.

6.1 Portate di progetto

2.9.6.3 Portate di progetto

Per il bacino del torrente Leiro, i valori delle portate per assegnati tempi di ritorno, ottenuti nell'ambito dello "studio CIMA" sono stati confrontati con i valori delle portate desunti dagli studi propedeutici del piano di bacino stralcio del torrente Leiro.

Da tale confronto si è scelto di non considerare i valori ottenuti dal metodo proposto dal CIMA, in quanto ritenuti sovrastimati e meno attendibili.

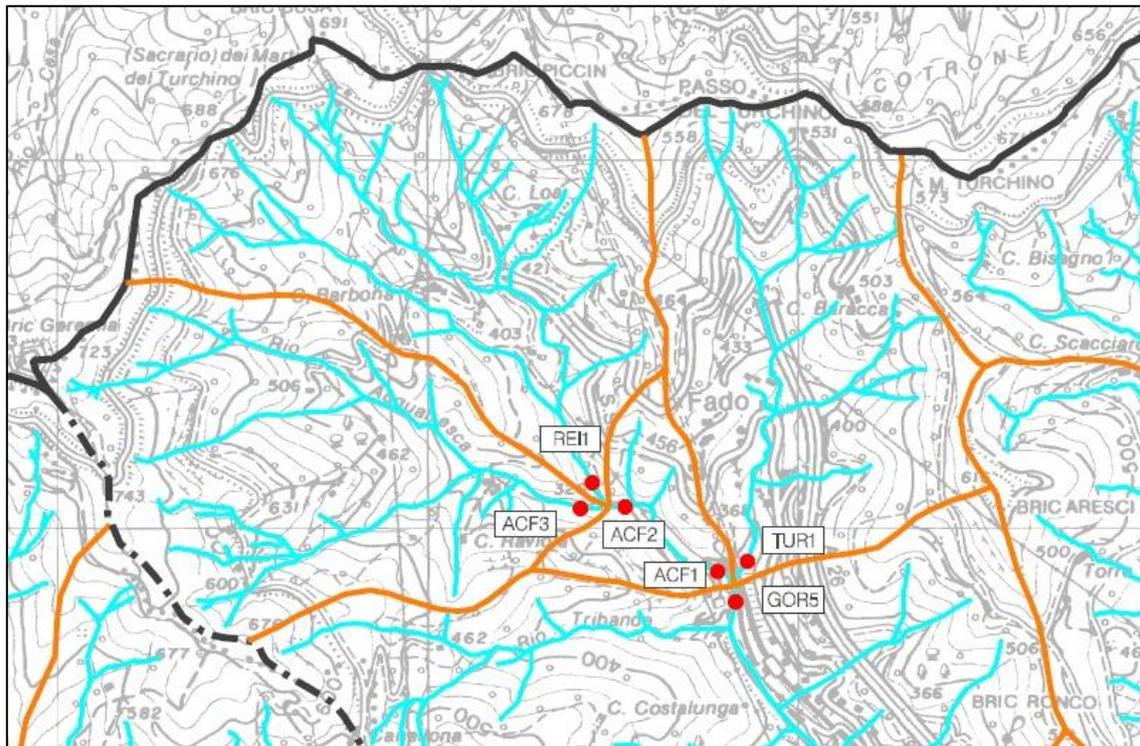
Lo studio propedeutico di bacino, infatti, dispone di uno studio idrologico realizzato appositamente per il territorio esaminato.

Il Piano di Bacino Stralcio Per la Tutela dal Rischio Idrogeologico relativo agli ambiti 12 e 13 fornisce le portate con tempo di ritorno 100, 200 e 500 anni relative alle sezioni di chiusura dei principali sottobacini del Torrente Leiro; tra di essi si è scelto di adottare per le verifiche idrauliche che saranno descritte nel capitolo successivo i valori di portata stimati relativi alla sezione denominata GOR5, in particolare il valore associata alla portata con tempo di ritorno di duecento anni.

$$Q_{tr200} = 93 \text{ m}^3/\text{s}$$

Sezione di chiusura	Torrente	Superficie sottesa alla sez. di chiusura (Km ²)	Portate di piena al colmo (m s) ³ /			
			T=50 anni	T=100 anni	T=200 anni	T=500 anni
LEI1	Leiro	27	362	403	453	521
LEI2	Leiro	26,4	359	399	447	513
GOR1	Rio Gorsexio	8	154	171	192	220
GOR2	Rio Gorsexio	6,79		161	181	205
RUE1	Rio Ruea	1,40		39	44	50
GOR3	Rio Gorsexio	5,39		128	143	163
GOR4	Rio Gorsexio	4,34		111	124	141
GOR5	Rio Gorsexio	3,02		83	93	105
ACF1	Rio Acquafresca	2,14		63	70	79
ACF2	Rio Acquafresca	2,01		59	65	74
ACF3	Rio Acquafresca	0,96		28	32	36
REI1	Rio Reigun	1,05		32	35	40

Figura 12: Stralcio tabella Area 5 Carta dei sottobacini e di ubicazione delle sezioni di chiusura allegata al Piano di Bacino Ambiti 12 e 13 - In rosso la sezione di chiusura a cui si è fatto riferimento



LEGENDA

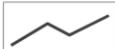
-  RETICOLO IDROGRAFICO
-  LIMITE DELL'AMBITO
-  LIMITE DEI BACINI IDROGRAFICI PRINCIPALI
-  LIMITE DEI SOTTOBACINI E DEI BACINI SECONDARI
-  UBICAZIONE E IDENTIFICAZIONE DELLA SEZIONE DI CHIUSURA DEI SOTTOBACINI

Figura 13 Stralcio della *Carta dei sottobacini e di ubicazione delle sezioni di chiusura* allegata al Piano di Bacino Ambiti 12 e 13 e relativa legenda.

Gli interventi in progetto prevedono l'inserimento di uno scarico posizionato all'incirca in corrispondenza della sezione esterna della galleria, lato stazione di Mele, che apporta ulteriori 0,059 m³/s nel corpo recettore finale, il Torrente Gorsexio.

7 ANALISI IDRAULICHE

L'obiettivo delle analisi idrauliche riportate successivamente per l'asta del Rio Gorsezio nell'ambito del settore individuato in prossimità della stazione ferroviaria di Mele è quello di verificare la compatibilità tra la piena di progetto avente tempo di ritorno di 200 anni e le sezioni di deflusso.

La modellistica idraulica necessita dei seguenti elementi di ingresso:

- piano quotato dell'asta fluviale presa in esame a definire la geometria della sezione e della pendenza del fondo alveo;
- valori di scabrezza a caratterizzare la resistenza al moto dovuta all'attrito al contorno.
- condizioni al contorno necessarie per la taratura dei modelli.

7.1 Geometria delle sezioni

La geometria delle sezioni è stata ricavata mediante realizzazione di un rilievo topografico del settore di interesse, prestando attenzione ai cambiamenti significativi sia di sezione sia di pendenza del corso d'acqua in modo tale di ottenere una buona rappresentazione dell'asta fluviale. Sono state quindi tracciate delle sezioni trasversali dello stato di fatto su cui sono state inserite le opere allo stato di fatto. Le sezioni trasversali, come richiesto dal programma di simulazione idraulica, sono numerate da valle verso monte e sono visualizzate con vista da monte (sponda destra a destra) posizionate il più possibile perpendicolari al corso d'acqua.

Sono state utilizzate 10 sezioni, di cui una la rappresentazione dell'attraversamento sul T. Gorsezio della via Stazione (5.5 BR), ubicate lungo circa 250 m di sviluppo dell'asta.

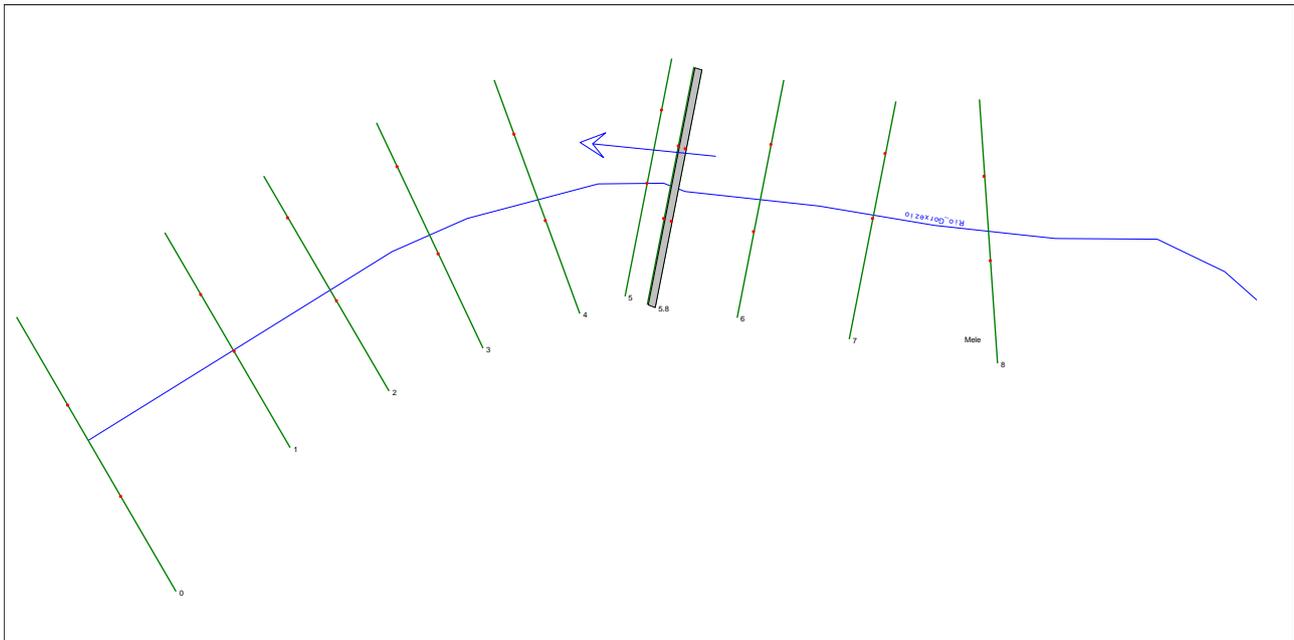


Figura 14: Ubicazione delle sezioni trasversali impiegate nel modello idraulico in Hec Ras per il T. Gorsezio

7.2 Valori di scabrezza e condizioni al contorno

Le condizioni di scabrezza sono state fissate utilizzando i dati presenti in letteratura con riferimento ai valori n di Manning.

I valori introdotti nel modello idraulico intendono rappresentare "la situazione a regime" e non le eventuali situazioni in evoluzione dovute a interventi di sistemazione. In altre parole, i valori di scabrezza introdotti

tengono conto di quel degrado strutturale dei materiali e di quella presenza di accumuli (vegetazione, limo o ciottoli) indesiderata, ma comunque sempre presente in un alveo anche se a forte artificialità.

Nel dettaglio, i coefficienti di scabrezza assunti all'interno del modello idraulico sono pari a:

- $n = 0,028 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ ($K_s=35 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$) per corsi d'acqua naturali con vegetazione e movimento di materiale sul fondo;
- $n = 0,025 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ ($K_s=40 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$) per tratti urbanizzati di corsi d'acqua naturali con argini cementati (e/o) platee in buono stato;

e derivano da quanto riportato all'interno dell'*Allegato 1 - Indirizzi tecnici per la redazione di studi idraulici* del Regolamento Regione Liguria 14 luglio 2011, n. 3, di cui alla tabella seguente.

Descrizione corso d'acqua	Coeff. di scabrezza di Gauckler-Strickler K_s ($\text{m}^{1/3}\text{s}^{-1}$)
Tratti di corsi d'acqua naturali con salti, rocce o vegetazione anche arbustiva-arborea in alveo	25-30
Corsi d'acqua naturali con vegetazione e movimento di materiale sul fondo	30-35
Tratti urbanizzati di corsi d'acqua naturali con argini cementati (e/o platee) in buono stato	35-40
Corsi d'acqua con fondo ed argini totalmente cementati in ottimo stato ed assenza di manufatti (tubi, cavi, ecc.) o discontinuità interferenti con le acque	40-45

Tabella 1: Valori di riferimento del coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler di cui all'allegato 1 Indirizzi tecnici per la redazione di studi idraulici del Regolamento Regione Liguria 14 luglio 2011, n. 3

Tali coefficienti risultano essere coerenti con quelli utilizzati all'interno della Relazione Generale del *Piano di bacino stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico* relativo agli Ambiti 12 e 13.

Per le condizioni del profilo di fondo si è fatto riferimento a condizioni di tipo misto, al variare della presenza di discontinuità e variazioni di pendenza significative. Come condizione al contorno di monte e di valle è stato assunto il deflusso in moto uniforme secondo le pendenze locali dell'asta ricavate dalle quote del rilievo effettuato. Ai fini della simulazione, dunque, si è impostato un valore della pendenza nella sezione di monte pari a:

$$i_{\text{monte}} = 0,011\%$$

mentre nella sezione di valle del modello si ha una pendenza pari:

$$i_{\text{valle}} = 0,005\%$$

7.3 Modellazione idraulica

La modellazione è effettuata allo stato attuale e di progetto per simulare gli effetti determinati dall'evento di piena sulle opere e sulle aree adiacenti.

Il motore di calcolo del profilo è costituito dalla versione 6.1.0 di *Hec-Ras*, messo a punto dall'Hydrologic Engineering Center (HEC) di Davies, California alla fine degli anni '60 con il nome HEC-2. Adattato all'ambiente Windows® nel 1996 con la nuova denominazione di HEC-RAS (River Analysis System) e dotato d'interfaccia GUI.

Si tratta di un codice di calcolo diffuso a livello internazionale e ampiamente collaudato. Negli USA, in particolare, costituisce l'algoritmo di riferimento per la determinazione dei livelli idrici richiesto dalla FEMA nelle procedure connesse alla copertura assicurativa dei danni alluvionali.

Il codice di calcolo esegue la determinazione del profilo del pelo libero nelle condizioni di moto permanente monodimensionale. Il profilo del pelo libero è calcolato per ogni sezione trasversale risolvendo l'equazione dell'energia con una procedura iterativa denominata *standard step method* ampiamente descritta nei testi classici dell'idraulica delle correnti a pelo libero.

L'equazione dell'energia fra due sezioni trasversali (1) e (2), con la sezione 1 ubicata a valle della sezione 2, viene scritta nella forma classica, riferita all'unità di peso del liquido:

$$y_2 + z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = y_1 + z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

dove:

y	profondità della corrente nella sezione [m]
z	quota del fondo [m]
V	velocità media della corrente nella sezione [portata totale/area totale]
α	coefficiente di Coriolis che tiene conto della forma della sezione
g	accelerazione di gravità pari a 9.81 [m/s ²]
h_e	perdita di energia [m]

Il significato geometrico dei simboli è illustrato nella Figura 15 a pagina seguente.

La sezione trasversale del corso d'acqua viene rappresentata mediante ascissa e ordinata dei punti rilevati e schematizzata in tre settori rilevanti ai fini del convogliamento della portata: golena sinistra (indicata con pedice lob), canale principale (pedice ch), golena destra (pedice rob), ritenendo che in ciascuno dei tre settori la distribuzione di velocità sia uniforme (in caso contrario si procederà ad ulteriori suddivisioni, come riferito in seguito).

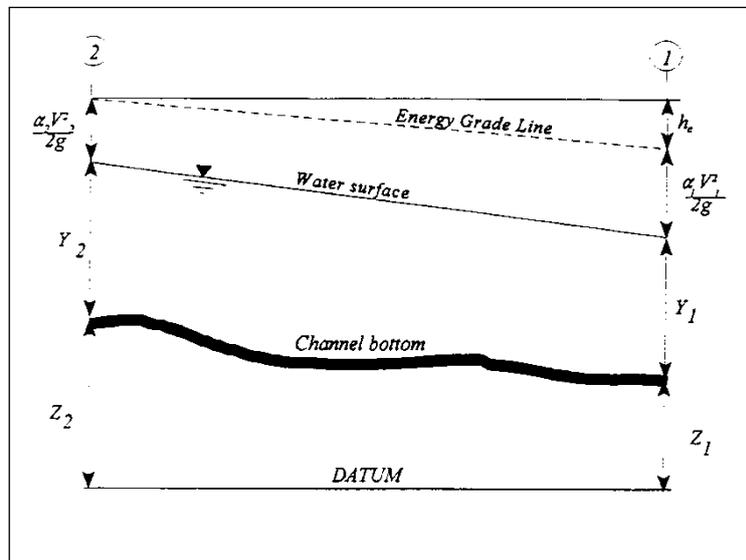


Figura 15: Rappresentazione dei termini dell'equazione dell'energia (da Manuale d'uso Hec-ras 2001)

La perdita di energia tra due sezioni, espressa dal termine h_e , comprende le perdite dovute alla resistenza distribuita (in funzione della scabrezza) e le perdite localizzate per espansione o restringimento delle sezioni, secondo la relazione:

$$h_e = L \cdot S_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

essendo:

L = lunghezza del tronco (in metri), ponderata in funzione della media delle portate defluenti nelle tre porzioni in cui può essere suddivisa ciascuna sezione, secondo quanto detto sopra. La relazione per la ponderazione citata è:

$$L = \frac{L_{lob} \bar{Q}_{lob} + L_{ch} \bar{Q}_{ch} + L_{rob} \bar{Q}_{rob}}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}}$$

dove i simboli L , ciascuno con il proprio pedice, indicano le distanze dei rispettivi settori in cui è stata divisa ciascuna sezione e i simboli Q le portate defluenti in ciascuna porzione delle due sezioni (in m³/s);

S_f = pendenza media della linea dell'energia tra le due sezioni;

C = coefficiente di contrazione o di espansione. Si osservi che per espansione o contrazione non si intende aumento o diminuzione dell'area bagnata tra la sezione di monte e quella di valle, ma diminuzione o aumento del termine cinetico tra monte e valle.

La determinazione della capacità di convogliamento totale della sezione richiede che la sezione trasversale sia suddivisa in settori ove la corrente defluisca con velocità uniformemente distribuita. La portata in ciascun settore è calcolata dalla formula espressa in m^3/s :

$$Q = K S_f^{0.5}$$

secondo la scrittura tradizionale nella letteratura idraulica anglosassone per cui:

K = capacità di convogliamento di ciascun settore (m^3/s) espressa come:

$$K = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot A$$

con

n = coefficiente di scabrezza [$m^{-1/3} s$] secondo Manning

A = area bagnata del settore di area [m^2]

R = raggio idraulico del settore [m]

	Contrazione	Espansione
<i>Nessuna variazione</i>	0.0	0.0
<i>Variatione graduale</i>	0.1	0.3
<i>Tipica situazione in corrispondenza di un ponte</i>	0.3	0.5
<i>Brusca variazione</i>	0.6	0.8

Tabella 2: Coefficienti di contrazione ed espansione tra sezioni

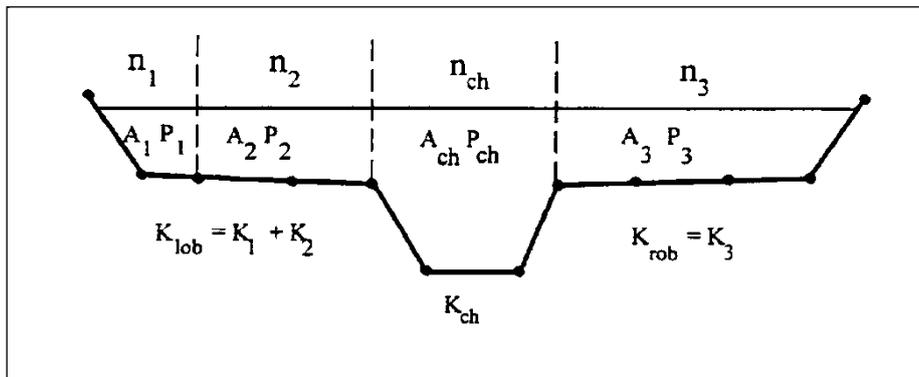


Figura 16: Suddivisione di una sezione trasversale in settori con scabrezza uniforme (da Manuale d'uso Hec-ras, 2001)

Il programma provvede a sommare le portate parziali per ciascun settore e determina la portata dell'area golenale sinistra e destra di ciascuna sezione. La portata totale della sezione è data dalla somma di queste due portate e della portata relativa al canale principale, di norma considerato come unico settore. Qualora si desideri prendere in esame eventuali differenze di scabrezza nel canale principale, il programma ne deriva la scabrezza equivalente quale unico valore, se la pendenza delle scarpate è maggiore di 1 (verticale) su 5 (orizzontale) con la formula:

$$n_c = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i n_i^{1/5})}{P} \right]^{2/3}$$

con:

n_c	coefficiente di scabrezza equivalente
P	contorno bagnato dell'intero canale principale
P_i	contorno bagnato della i-esima suddivisione
n_i	scabrezza della i-esima suddivisione

In caso contrario, ossia pendenza delle scarpate minore di 1 (verticale) su 5 (orizzontale), l'alveo principale viene trattato come un'area suddivisa in diversi settori analogamente a quanto avviene per le golene. Con tali premesse, in caso di variazione della scabrezza nella sezione, viene calcolato il coefficiente di Coriolis secondo la formula generale:

$$\alpha = \frac{Q_1 V_1^2 + Q_2 V_2^2 + \dots + Q_N V_N^2}{Q \bar{V}^2}$$

che può essere espressa in termini delle capacità di convogliamento di ciascuno dei tre settori della sezione. La relazione allora diventa:

$$\alpha = \frac{(A_{tot})^2 \left[\frac{(K_{lob})^3}{(A_{lob})^2} + \frac{(K_{ch})^3}{(A_{ch})^2} + \frac{(K_{rob})^3}{(A_{rob})^2} \right]}{(K_{tot})^3}$$

con il significato dei simboli precisato sopra.

Infine, la pendenza della linea dell'energia media fra due sezioni viene determinata nel codice di calcolo, salvo diversa richiesta, con la relazione:

$$\bar{S}_f = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2$$

essendo le due sezioni indicate con il relativo pedice numerico.

Il programma consente la simulazione del deflusso attraverso ponti e tombature mediante la loro schematizzazione geometrica (impalcato, pile, setti, ecc.) valutando la corrente a pelo libero e il deflusso in pressione al di sotto dell'impalcato oltre alla combinazione della corrente in pressione con quella determinata dallo scavalco dell'impalcato stesso.

Il programma, infine, permette di simulare lunghi tratti tombati a sezione variabile mediante l'opzione denominata *lid*, che computa le sezioni munite di *lid* come se fossero sezioni a cielo aperto utilizzando l'equazione dell'energia per il bilanciamento del profilo del pelo libero con l'unica differenza di sottrarre area e aggiungere perimetro bagnato quando il pelo libero viene a contatto con la copertura.

Typical drag coefficients for various pier shapes	
Pier Shape	Drag Coefficient Cd
<i>Circular pier</i>	1.2
<i>Elongated piers with semi-circular ends</i>	1.33
<i>Elliptical piers with 2:1 length to width</i>	0.6
<i>Elliptical piers with 4:1 length to width</i>	0.32
<i>Elliptical piers with 8:1 length to width</i>	0.029
<i>Square nose piers</i>	2
<i>Triangular nose with 30 degree angle</i>	1

Tabella 3: Coefficienti di resistenza consigliati dal manuale Hec-ras (da Manuale d'uso Hec-ras, 2001)

8 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI IDRAULICHE

Sono state condotte due diverse simulazioni lungo l'asta del Torrente Gorsexio oggetto di indagine:

- la prima (stato di fatto) mantenendo la geometria e le condizioni al contorno di cui rispettivamente ai paragrafi 7.1 e 7.2 ed inserendo la portata con tempo di ritorno duecentennale desunta dal *Piano di Bacino Stralcio Per la Tutela dal Rischio Idrogeologico* relativo agli ambiti 12 e 13 in corrispondenza della sezione denominata GOR5 e pari a $Q_{tr200} = 93 \text{ m}^3/\text{s}$
- la seconda (stato di progetto) mantenendo, al pari della simulazione di cui sopra, la geometria e le condizioni al contorno di cui rispettivamente ai paragrafi 7.1 e 7.2 ed inserendo la portata con tempo di ritorno duecentennale desunta dal *Piano di Bacino Stralcio Per la Tutela dal Rischio Idrogeologico* relativo agli ambiti 12 e 13 in corrispondenza della sezione denominata GOR5 incrementata del contributo dello scarico di competenza delle opere in progetto (portata desunta dalla relazione idraulica di versante pari a $0,059 \text{ m}^3/\text{s}$) e complessivamente pari a $Q_{tr200} = 93,06 \text{ m}^3/\text{s}$

Dalle analisi effettuate risulta che, con riferimento alla portata associata ad un tempo di ritorno di 200 anni, la corrente per entrambe le simulazioni svolte è di tipo veloce (numero di Froude maggiore di 1 e profilo idrico minore dell'altezza critica della corrente). Le velocità di corrente sono comprese tra 3,53 m/s e 8,34 m/s e sono mediamente pari a 6,70 m/s.

Il cambio di pendenza del fondo in corrispondenza della sezione n. 2 del modello crea un innalzamento del profilo idrico a monte, lungo la sezione n. 3, la quale presente altezza di moto uniforme maggiore della critica e dove si sviluppa la velocità minima.

Nel complesso le simulazioni evidenziano come i battenti idraulici siano sempre contenuti entro l'alveo inciso del Rio Gorsexio.

L'incremento di portata che si ha nella configurazione di progetto può considerarsi del tutto trascurabile, non apportando variazioni in termini di livelli idrici e velocità di corrente in corrispondenza di ciascuna sezione indagata del Torrente Gorsexio (come mostrato nella tabella successiva).

Reach	River Sta	Profile	Plan	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
Mele	8	Q_tr200	t_Gorsexio	93.00	272.04	273.68	274.64	277.12	0.040020	8.34	11.61	9.96	2.35
Mele	8	Q_tr200	t_gorsexio_scarico	93.06	272.04	273.68	274.64	277.13	0.040019	8.35	11.61	9.96	2.35
Mele	7	Q_tr200	t_Gorsexio	93.00	270.85	273.01	273.96	276.07	0.024622	7.77	12.28	7.47	1.92
Mele	7	Q_tr200	t_gorsexio_scarico	93.06	270.85	273.01	273.96	276.07	0.024620	7.77	12.28	7.47	1.92
Mele	6	Q_tr200	t_Gorsexio	93.00	270.57	272.26	273.08	275.13	0.035342	7.51	12.46	10.38	2.18
Mele	6	Q_tr200	t_gorsexio_scarico	93.06	270.57	272.26	273.08	275.13	0.035349	7.51	12.47	10.38	2.18
Mele	5.8	Q_tr200	t_Gorsexio	93.00	270.08	271.86	272.59	274.33	0.027476	6.96	13.45	10.39	1.94
Mele	5.8	Q_tr200	t_gorsexio_scarico	93.06	270.08	271.87	272.59	274.33	0.027481	6.96	13.45	10.39	1.94
Mele	5.5		Bridge										
Mele	5.2	Q_tr200	t_Gorsexio	93.00	270.04	271.83	272.55	274.27	0.027025	6.93	13.52	10.39	1.93
Mele	5.2	Q_tr200	t_gorsexio_scarico	93.06	270.04	271.83	272.55	274.28	0.027032	6.93	13.52	10.39	1.93
Mele	5	Q_tr200	t_Gorsexio	93.00	269.85	271.74	272.48	274.10	0.022049	6.92	14.21	10.91	1.77
Mele	5	Q_tr200	t_gorsexio_scarico	93.06	269.85	271.74	272.48	274.10	0.022054	6.92	14.21	10.91	1.77
Mele	4	Q_tr200	t_Gorsexio	93.00	269.18	270.92	271.67	273.38	0.025652	7.05	13.77	10.94	1.91
Mele	4	Q_tr200	t_gorsexio_scarico	93.06	269.18	270.92	271.67	273.38	0.025654	7.05	13.78	10.94	1.91
Mele	3	Q_tr200	t_Gorsexio	93.00	268.86	271.91	271.37	272.51	0.002661	3.53	28.63	12.56	0.69
Mele	3	Q_tr200	t_gorsexio_scarico	93.06	268.86	271.91	271.37	272.52	0.002661	3.53	28.64	12.56	0.69
Mele	2	Q_tr200	t_Gorsexio	93.00	268.86	271.37	271.37	272.36	0.005829	4.50	22.03	11.75	0.98
Mele	2	Q_tr200	t_gorsexio_scarico	93.06	268.86	271.37	271.37	272.36	0.005827	4.50	22.04	11.76	0.98
Mele	1	Q_tr200	t_Gorsexio	93.00	267.47	269.49	270.23	271.92	0.020897	7.21	14.09	9.77	1.77
Mele	1	Q_tr200	t_gorsexio_scarico	93.06	267.47	269.49	270.23	271.92	0.020889	7.21	14.10	9.77	1.77
Mele	0	Q_tr200	t_Gorsexio	93.00	266.71	268.79	269.49	271.10	0.014810	6.97	14.74	8.56	1.56
Mele	0	Q_tr200	t_gorsexio_scarico	93.06	266.71	268.79	269.49	271.10	0.014807	6.97	14.75	8.56	1.56

Tabella 4: Tabulato di confronto di HEC-RAS tra le simulazioni allo stato di fatto (plan: t_Gorsexio) e di progetto (plan: t_gorsexio_scarico)

Circa il ponte della via Stazione (sezione n. 5.5BR della simulazione Hec-Ras), le NTC 2018, all'interno del capitolo 5.1.2.3 COMPATIBILITÀ IDRAULICA, specificano:

[...] Il franco idraulico, definito come la distanza fra la quota liquida di progetto immediatamente a monte del ponte e l'intradosso delle strutture, è da assumersi non inferiore a 1,50 m, e comunque dovrà essere scelto tenendo conto di considerazioni e previsioni sul trasporto solido di fondo e sul trasporto di materiale galleggiante, garantendo una adeguata distanza fra l'intradosso delle strutture e il fondo alveo. Quando l'intradosso delle strutture non sia costituito da un'unica linea orizzontale tra gli appoggi, il franco idraulico deve essere assicurato per una ampiezza centrale di 2/3 della luce, e comunque non inferiore a 40 m. [...]

Seguendo le indicazioni della Normativa si è proceduto a valutare il franco idraulico con i valori ottenuti con la portata associata allo stato di fatto di, avente tempo di ritorno di 200 anni, e con quella di progetto. I risultati della simulazione confermano la presenza del franco idraulico rispetto ad entrambe le piene simulate nella sezione immediatamente a monte del ponte (sezione 5.8).

Sezione	Quota pelo libero (Qtr200) [m]	Quota intradosso [m]	Franco idraulico [m]	Verifica
5.8	271.86	273.50	1.64	VERIFICATO

Si rimanda agli allegati per i dettagli delle simulazioni condotte.



9 ALLEGATI



Relazione idrologico - idraulica
Linea ferroviaria Genova – Ovada – Acqui Terme
Progettazione della Galleria artificiale (compreso il relativo
tracciato ferroviario) ed opere propedeutiche

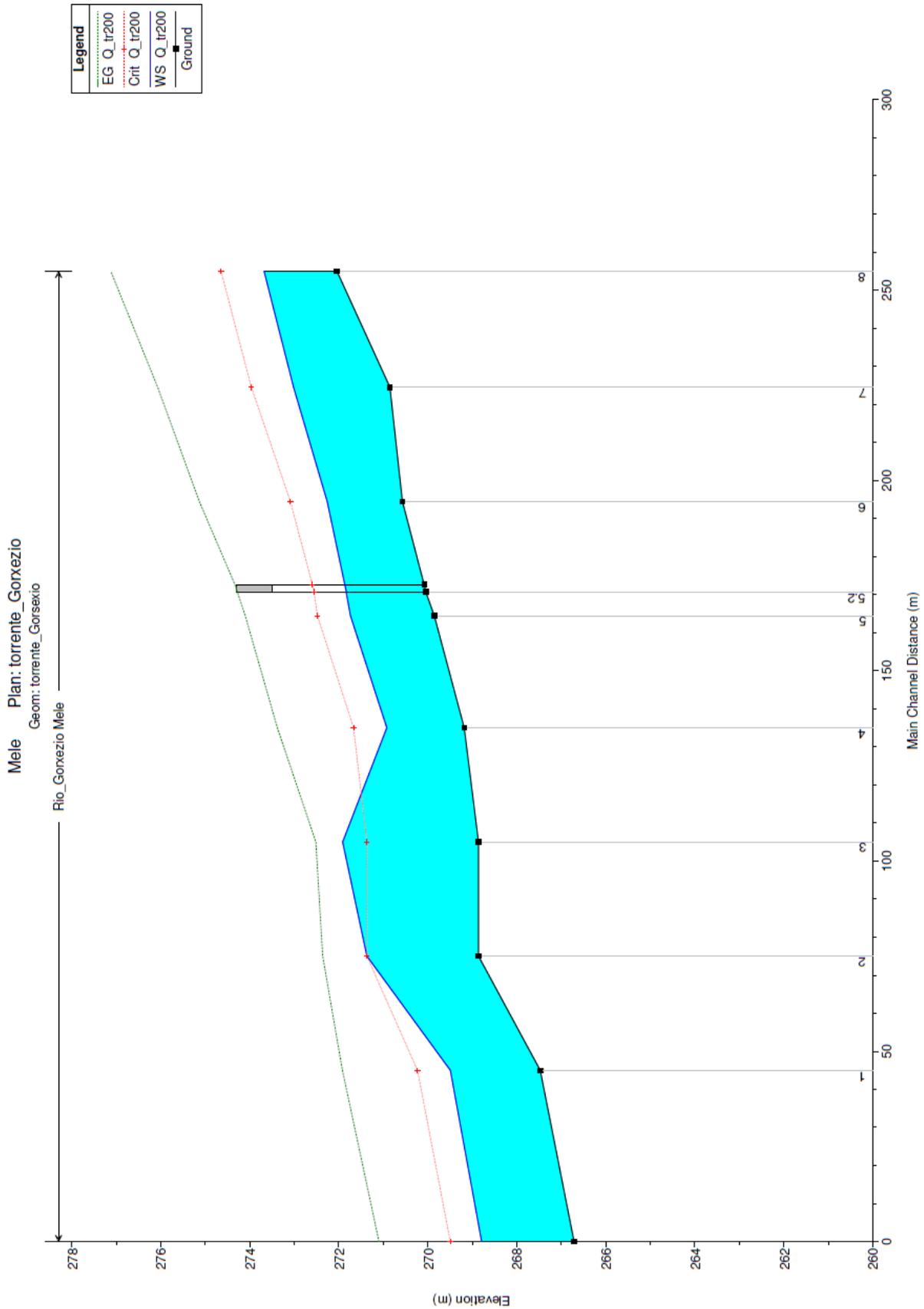
STATO DI FATTO: tabulato, profilo e sezioni HEC-RAS

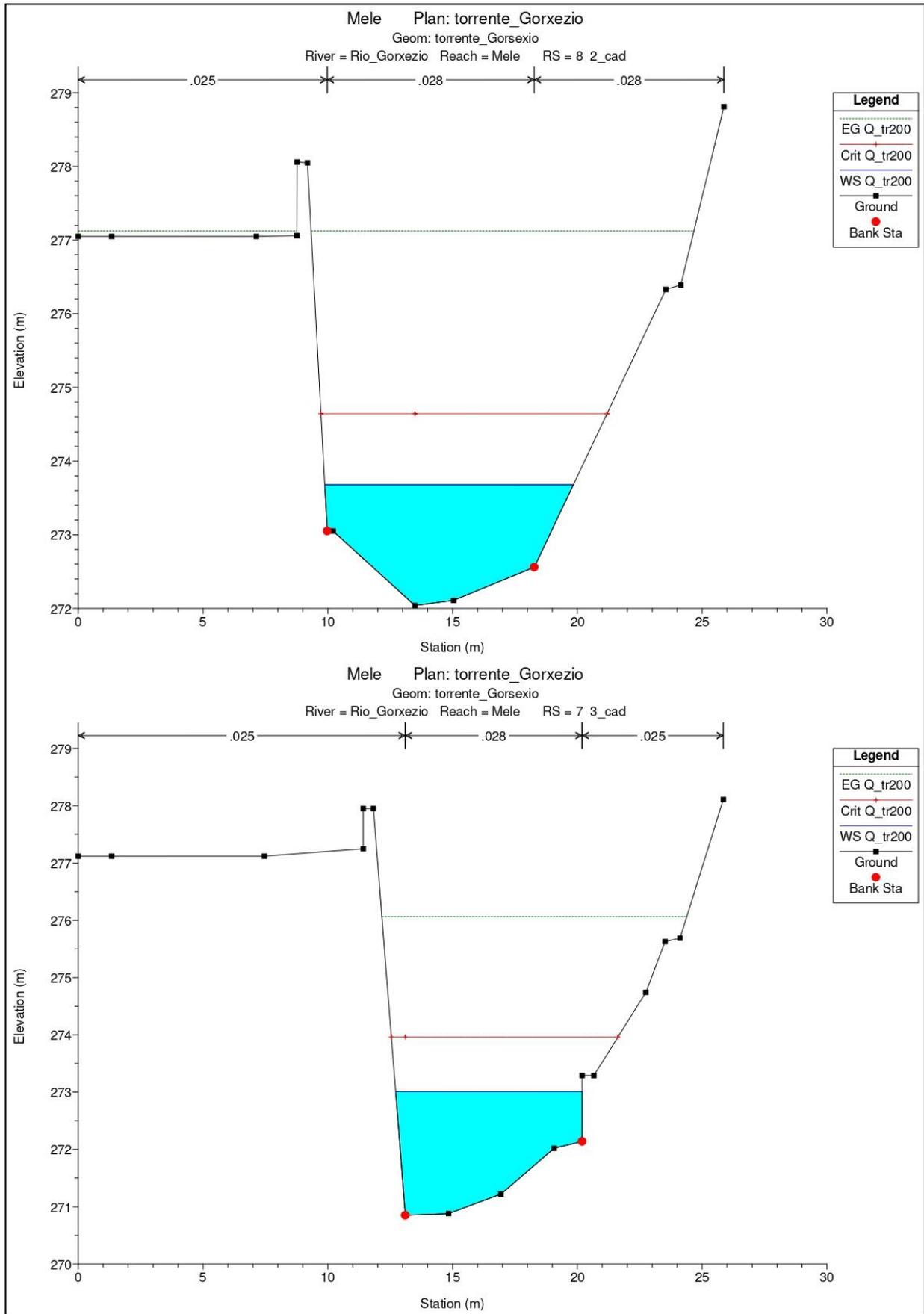


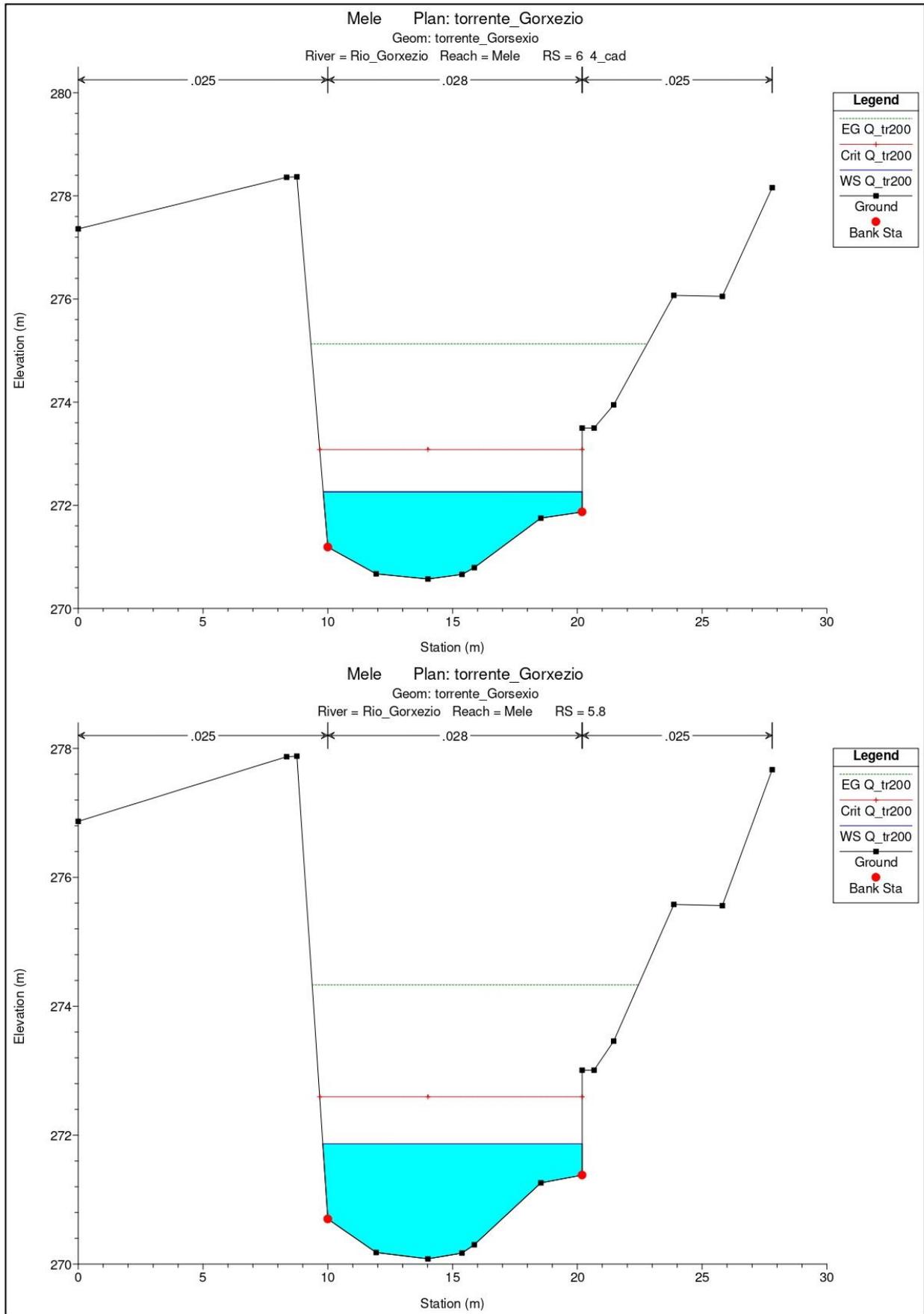
Relazione idrologico - idraulica
Linea ferroviaria Genova – Ovada – Acqui Terme
Progettazione della Galleria artificiale (compreso il relativo
tracciato ferroviario) ed opere propedeutiche

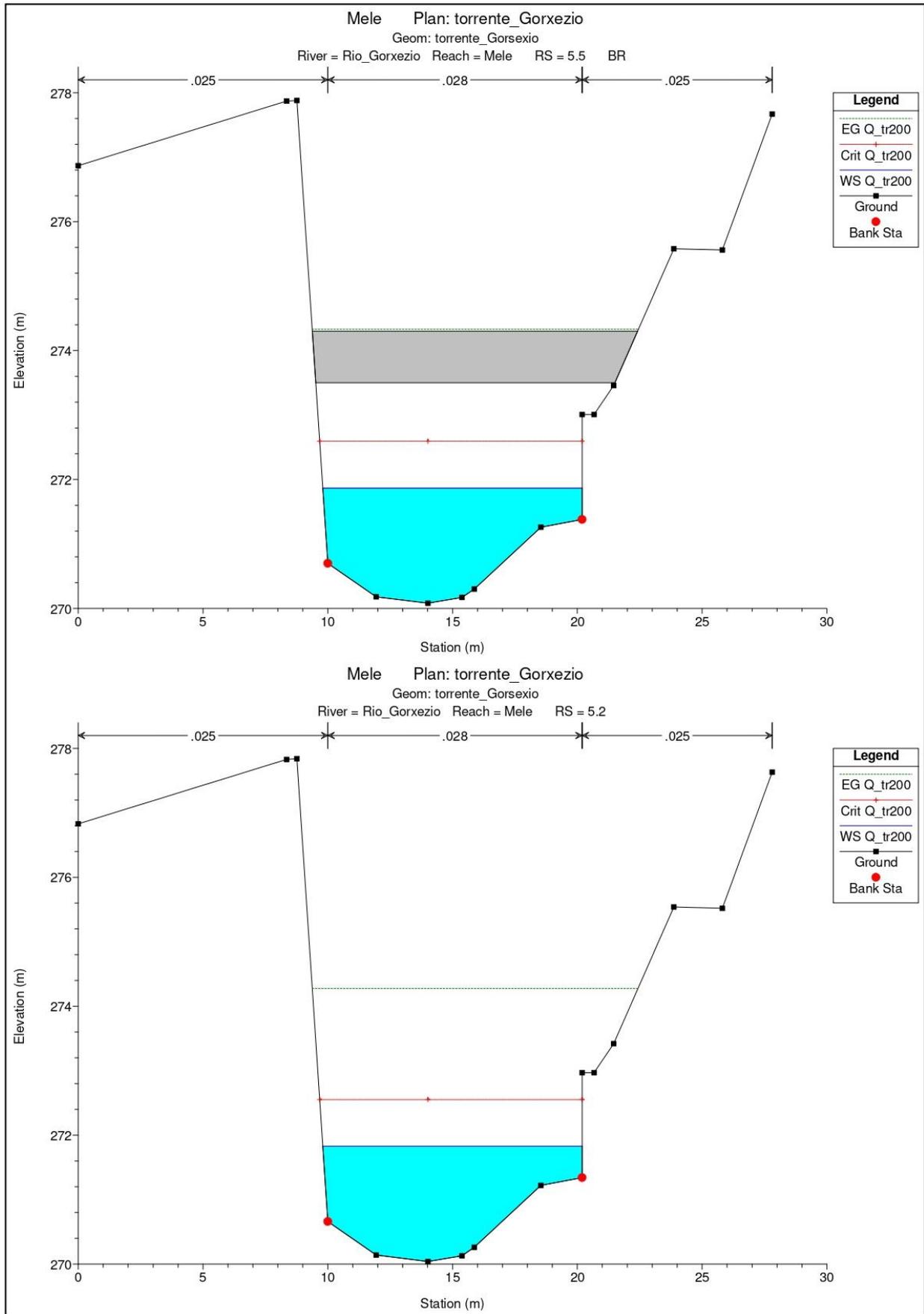
HEC-RAS Plan: t_Gorkezio River: Rio_Gorkezio Reach: Mele Profile: Q_tr200

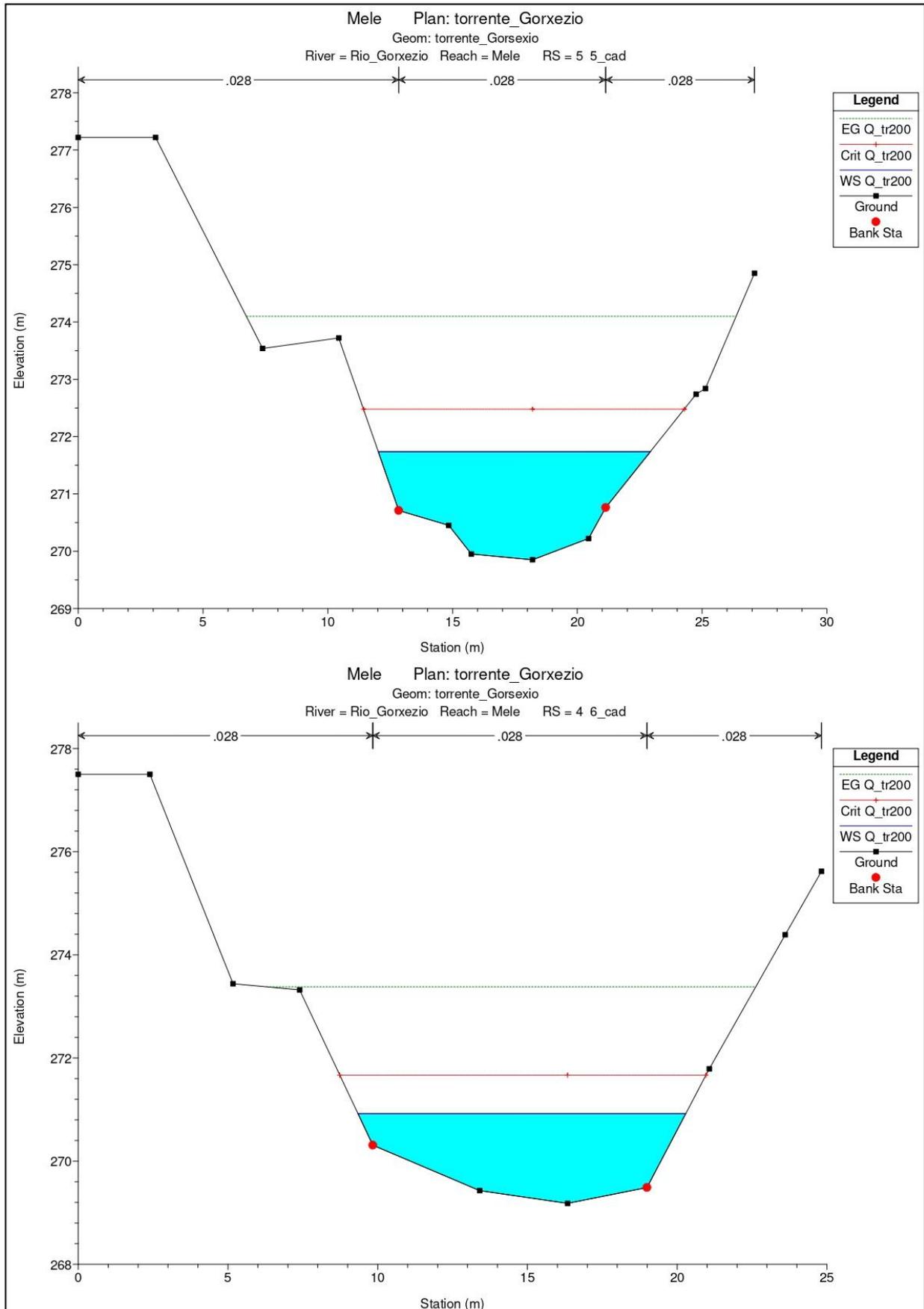
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Mele	8	Q_tr200	93.00	272.04	273.68	274.64	277.12	0.040020	8.34	11.61	9.96	2.35
Mele	7	Q_tr200	93.00	270.85	273.01	273.96	276.07	0.024622	7.77	12.28	7.47	1.92
Mele	6	Q_tr200	93.00	270.57	272.26	273.08	275.13	0.035342	7.51	12.46	10.38	2.18
Mele	5.8	Q_tr200	93.00	270.08	271.86	272.59	274.33	0.027476	6.96	13.45	10.39	1.94
Mele	5.5	Bridge										
Mele	5.2	Q_tr200	93.00	270.04	271.83	272.55	274.27	0.027025	6.93	13.52	10.39	1.93
Mele	5	Q_tr200	93.00	269.85	271.74	272.48	274.10	0.022049	6.92	14.21	10.91	1.77
Mele	4	Q_tr200	93.00	269.18	270.92	271.67	273.38	0.025652	7.05	13.77	10.94	1.91
Mele	3	Q_tr200	93.00	268.86	271.91	271.37	272.51	0.002661	3.53	28.63	12.56	0.69
Mele	2	Q_tr200	93.00	268.86	271.37	271.37	272.36	0.005829	4.50	22.03	11.75	0.98
Mele	1	Q_tr200	93.00	267.47	269.49	270.23	271.92	0.020897	7.21	14.09	9.77	1.77
Mele	0	Q_tr200	93.00	266.71	268.79	269.49	271.10	0.014810	6.97	14.74	8.56	1.56

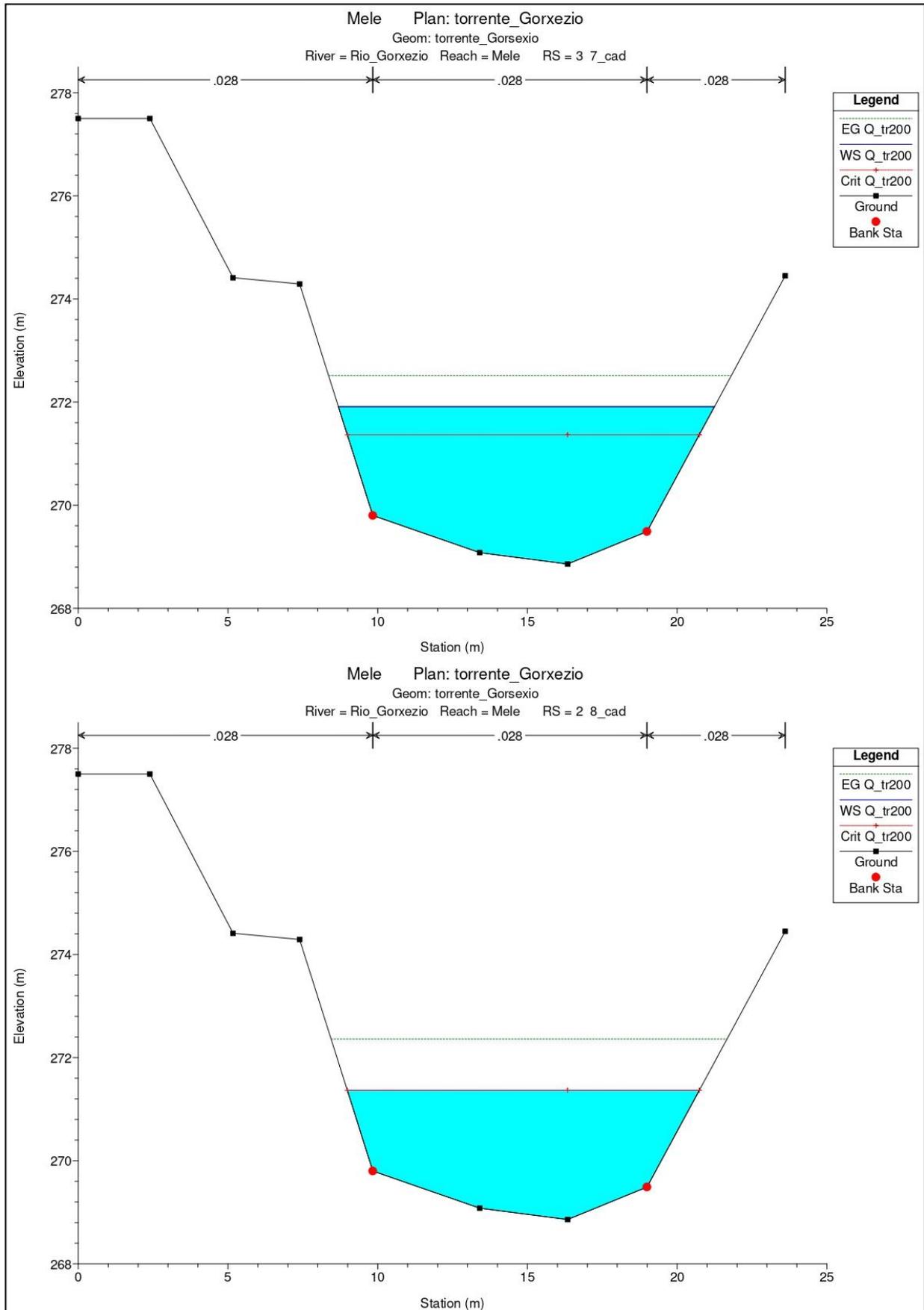


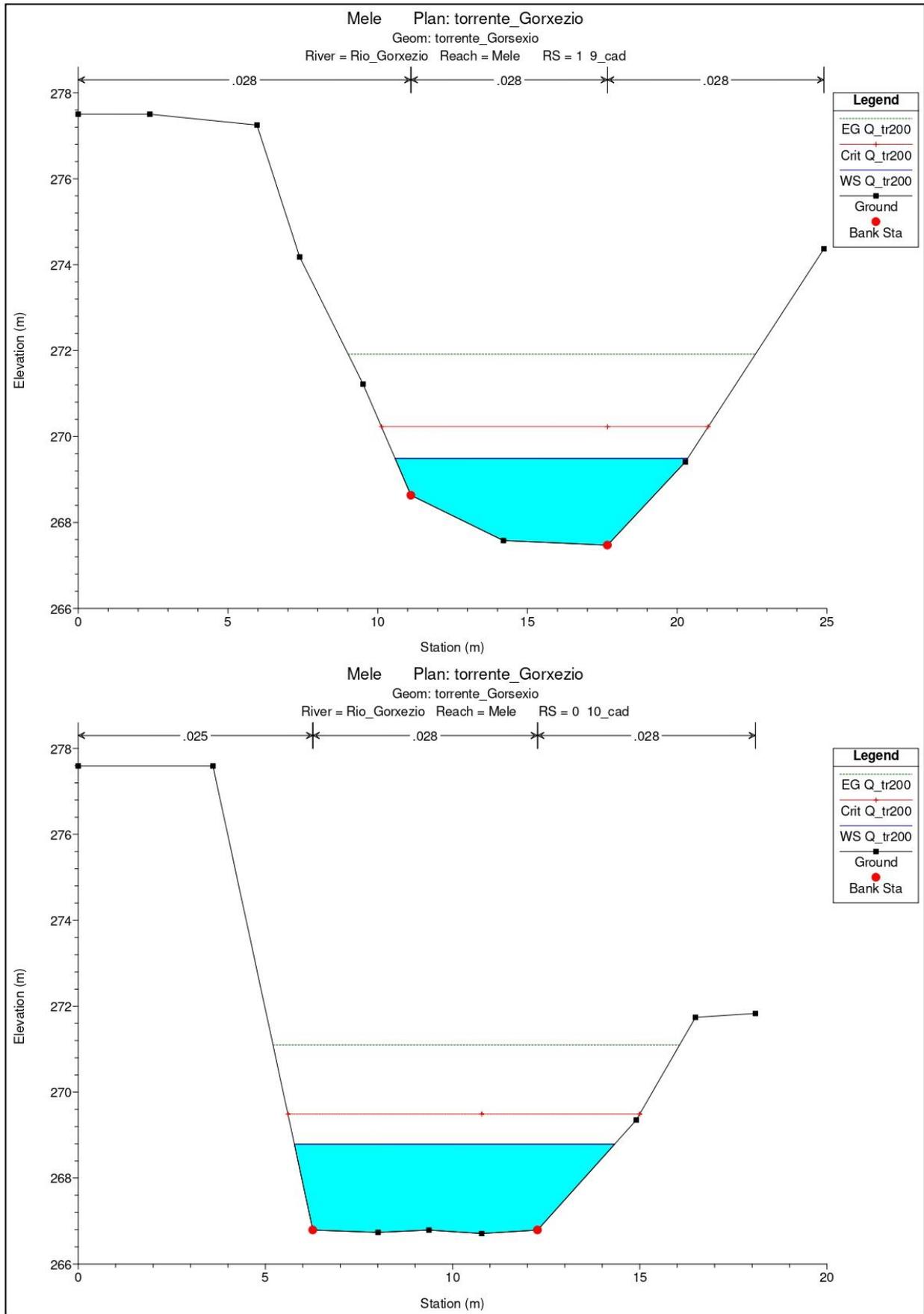














Relazione idrologico - idraulica
Linea ferroviaria Genova – Ovada – Acqui Terme
Progettazione della Galleria artificiale (compreso il relativo
tracciato ferroviario) ed opere propedeutiche

STATO DI PROGETTO: tabulato, profilo e sezioni HEC-RAS



HEC-RAS Plan: L_gorsexio_scarico River: Rio_Gorzezio Reach: Mele Profile: Q_tr200

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
Mele	8	Q_tr200	93.06	272.04	273.68	274.64	277.13	0.040019	8.35	11.61	9.96	2.35
Mele	7	Q_tr200	93.06	270.85	273.01	273.96	276.07	0.024620	7.77	12.28	7.47	1.92
Mele	6	Q_tr200	93.06	270.57	272.26	273.08	275.13	0.035349	7.51	12.47	10.38	2.18
Mele	5.8	Q_tr200	93.06	270.08	271.87	272.59	274.33	0.027481	6.96	13.45	10.39	1.94
Mele	5.5	Bridge										
Mele	5.2	Q_tr200	93.06	270.04	271.83	272.55	274.28	0.027032	6.93	13.52	10.39	1.93
Mele	5	Q_tr200	93.06	269.85	271.74	272.48	274.10	0.022054	6.92	14.21	10.91	1.77
Mele	4	Q_tr200	93.06	269.18	270.92	271.67	273.38	0.025654	7.05	13.78	10.94	1.91
Mele	3	Q_tr200	93.06	268.86	271.91	271.37	272.52	0.002661	3.53	28.64	12.56	0.69
Mele	2	Q_tr200	93.06	268.86	271.37	271.37	272.36	0.005827	4.50	22.04	11.76	0.98
Mele	1	Q_tr200	93.06	267.47	269.49	270.23	271.92	0.020889	7.21	14.10	9.77	1.77
Mele	0	Q_tr200	93.06	266.71	268.79	269.49	271.10	0.014807	6.97	14.75	8.56	1.56

