

# COMUNE DI MALLARE

PROVINCIA DI SAVONA

INTERVENTO DI RISTRUTTURAZIONE EDILIZIA DELLO  
STABILIMENTO DI PRODUZIONE PELLETTI SITO IN  
LOCALITA' CROSA N. 4 PER LA REALIZZAZIONE  
DI SPAZI COPERTI PERTINENZIALI PER CARICO/  
SCARICO MATERIE PRIME

## COMMITTENTE:

P.F.M. S.R.L.

Via Crosa n. 4

17045 MALLARE (SV)

partita IVA: 07556010960

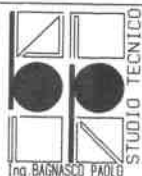
## OGGETTO:

RELAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA

DATA :  
LUGLIO 2019

NS. RIF.  
1471/19

IL TECNICO



PROGETTAZIONE PER L'EDILIZIA  
CIVILE E INDUSTRIALE  
ANALISI STRUTTURALE  
URBANISTICA

STUDIO TECNICO ING. PAOLO BAGNASCO  
VIA PIANA DEL MULINO N. 76/3 - 17043 CARCARE (SV) - Tel. 0192071304  
partita IVA: 00636760092



## INDICE

1.) PREMESSA .....	2
2.) INQUADRAMENTO TERRITORIALE DELL'AREA .....	3
2.1) Il Fiume Bormida di Mallare .....	3
2.2) Il Rio Rocchino .....	4
3.) RIFERIMENTI CARTOGRAFICI E VINCOLISTICI .....	6
4.) ANALISI PLUVIOMETRICA.....	11
4.1.) Indagine pluviometrica .....	11
4.1.1) <i>Celle di kriging</i> .....	11
5.) PORTATE DI PROGETTO.....	13
5.1.) Rio Rocchino .....	13
5.2.) Fiume Bormida di Mallare.....	16
6.) VERIFICA IDRAULICA.....	18
6.1.) Profili idraulici per correnti in moto permanente .....	19
6.2.) Modellazione idraulica attraverso un ponte .....	22
6.2.1.) Calcoli in "Low Flow" .....	24
6.2.2.) Calcoli in "High Flow".....	28
6.3.) Output della modellazione.....	31
7.) RISULTATI RELATIVI ALLE VERIFICHE IDRAULICHE .....	32
7.1.) Determinazione della scabrezza .....	33
7.2.) Analisi dei risultati.....	34
8.) COMPATIBILITÀ DELL'INTERVENTO.....	36
9.) CONCLUSIONI .....	38

### Allegati nel testo:

- Foto Aerea;
- Stralcio Carta Tecnica Regionale – Scala 1:10.000;
- Estratto di mappa catastale – Scala 1:2.000;
- Carta del reticolo idrografico (portale cartografico Regione Liguria);
- Carta dei dissesti del PAI del Fiume Po (portale cartografico Regione Liguria);
- Carta degli scenari di pericolosità alluvionale (Direttiva Alluvioni 2007/60/CE) (portale cartografico Regione Liguria).
- Perimetrazione bacini idrografici– scala 1:10.000;
- Output verifica idraulica Hec-Ras – stato attuale;

## **1.) PREMessa**

Nell'ambito dell'intervento di ristrutturazione edilizia dello stabilimento P.F.M. s.r.l. operante nel settore della produzione di pellet e posto in area limitrofa al Fiume Bormida di Mallare ed al Rio Rocchino viene redatta la seguente relazione di compatibilità idraulica al fine di valutare la rispondenza degli interventi in progetto in riferimento agli strumenti pianificatori presenti sull'area, con particolare riguardo a quanto previsto dalla D.G.R. n. 1064 del 14/12/2018 "*L.R. 41/2014, art. 33, c.6 e Norme di Attuazione Piano assetto idrogeologico (PAI) Fiume Po, art. 58 – Adozione disciplina di tutela per i bacini padani ricadenti in Provincia di Savona e Imperia*".

Verrà pertanto inizialmente analizzato il repertorio cartografico insistente sull'area sul quale è localizzato il fabbricato e sulla base delle norme vigenti verrà stabilita la compatibilità dell'intervento con il regime idraulico del corso d'acqua principale.

Per completezza di trattazione verrà poi analizzato il regime idrologico ed idraulico del Rio Rocchino in corrispondenza della confluenza con il Fiume Bormida di Mallare con particolare riferimento alle portate con probabilità di ricorrenza cinquantennale, duecentennale e cinquecentennale; dopo aver eseguito un rilievo topografico di dettaglio del tratto di interesse verrà quindi allestito un modello numerico monodimensionale in condizioni di moto permanente finalizzato all'accertamento dei parametri richiesti per la regolarità degli interventi in progetto ai fini idraulici.

Il presente studio idraulico è redatto in conformità con quanto previsto nella "*Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica*" approvata con deliberazione del Comitato Istituzionale n. 18 del 26 aprile 2001 e nel Regolamento Regionale n. 3 del 14 luglio 2011 "*Regolamento recante disposizioni in materia di tutela delle aree di pertinenza dei corsi d'acqua*" e s.m.i.

## 2.) INQUADRAMENTO TERRITORIALE DELL'AREA

L'area oggetto di intervento è situata in prossimità della confluenza tra il Rio Rocchino ed il Fiume Bormida di Mallare, in Località Crosa, nella zona industriale sita a nord del centro comunale di Mallare. Qui è presente il fabbricato oggetto di ristrutturazione edilizia la cui esatta ubicazione è meglio evidenziata nella figura sottostante nonché nello stralcio della Carta Tecnica Regionale e nei relativi estratti di mappa catastale riportati in allegato.



*Figura 1: Individuazione area oggetto di indagine su foto satellitare.*

Le opere in progetto consistono nella realizzazione di spazi coperti pertinenziali adiacenti al fabbricato esistente costituite da struttura metallica non stabilmente ancorata al suolo e pannelli di copertura atti a realizzare un'area che verrà destinata al carico e scarico delle merci a servizio dell'attività di produzione di pellet che viene svolta all'interno dell'edificio.

### 2.1) Il Fiume Bormida di Mallare

Il corso d'acqua nasce dalle alture di transizione tra la catena alpina e quella appenninica, in corrispondenza dello spartiacque che separa il versante tirrenico da quello padano ed è caratterizzato, nel settore montano, da pendii molto acclivi con aree prevalentemente boscate ad elevato grado di naturalità, mentre il settore di fondovalle si

presenta notevolmente antropizzato con numerosi centri abitati ed aree produttive che sono sorte sulle sue sponde.

Il Bormida di Mallare nasce alle pendici del Bric della Binella, sulle alture di Mallare, ad una quota di circa 750 m s.l.m. mentre le cime più elevate che costituiscono lo spartiacque raggiungono i 1386 m s.l.m. con il Monte Settepani; nella parte alta segue un percorso piuttosto tortuoso tra valli boscate e territori dalle caratteristiche decisamente montane che lo porta a lambire il centro cittadino di Mallare, dove, nei pressi del campo sportivo, si ha lo sbocco del Rio Biterno, suo affluente di destra.

Da qui il Bormida prosegue il suo corso, per circa 6,5 km, attraversando l'area industriale di Mallare, dove riceve in destra orografica le acque del Rio Rocchino, costeggiando una vasta piana posta al di sotto della Località Olano (Mallare) e seguendo poi un percorso caratterizzato da alcuni meandri fino a raggiungere la località Isolagrande, dove è localizzata l'area produttiva di Altare. In questa zona il corso d'acqua attraversa numerosi ponti che costituiscono le vie di accesso ai diversi stabilimenti presenti. Il Bormida di Mallare prosegue poi il suo corso verso valle in un ambiente vallivo e maggiormente antropizzato costeggiando l'abitato di Bragno, per poi confluire, dopo aver drenato un bacino di circa 60 km<sup>2</sup>, nel Bormida di Pallare che, immediatamente a valle della confluenza, prende il nome di Bormida di Spigno.

## **2.2) Il Rio Rocchino**

Il Rio Rocchino è un corso d'acqua che confluisce direttamente in destra orografica del Fiume Bormida di Mallare; il rio nasce sulle alture del Bric Balestrei a quota 610 m s.l.m. e scorre prevalentemente in direzione S-N fino a raggiungere la confluenza con il corso d'acqua principale in corrispondenza dell'area industriale di Mallare ad una quota di circa 441 m s.l.m..

Il bacino idrografico del Rio Rocchino si colloca incuneato tra il bacini idrografici del Rio Anime a nord, del Torrente Consevola ad est e del Rio Rianasso a sud; l'area scolante presenta forma allungata in direzione S-N con media acclività e con un dislivello di circa 245 m tra i rilievi più elevati (Monte Cagnon 686,50 m s.l.m.) e la sezione di chiusura.

L'area di intervento, ubicata in destra orografica del corso d'acqua, è sita nella parte di fondovalle del bacino idrografico ed in prossimità della confluenza con il F. Bormida di Mallare e sottende ad un'area di circa 1,14 km<sup>2</sup>. Il reticolo idrografico risulta moderatamente ramificato con tributari che hanno sovente carattere di semplici impluvi.

Il Rio Rocchino è un corso d'acqua che può essere classificato, per superficie del bacino sotteso, come appartenente al PRIMO LIVELLO ai sensi del Reg. Reg. n. 3/2001.

Il tracciamento del bacino idrografico su C.T.R. e la conseguente analisi morfologica ha consentito la determinazione di alcuni parametri fondamentali per il prosieguo dell'analisi idrologica che nel seguito vengono riassunti:

$S$  = superficie del bacino imbrifero =  $1.14 \text{ km}^2$  (PRIMO livello);

$L$  = lunghezza asta principale = 1.62 km;

$Q_{\max}$  = altezza massima del bacino = 675 m s.l.m.;

$Q_{\min}$  = altezza della sezione di chiusura del bacino = 442 m s.l.m.;

$Q_{\text{sorg}}$  = altezza della sorgente del Rio Rocchino = 610 m s.l.m.;

$i_m$  = pendenza media dell'alveo dell'asta fluviale = 10 %;

$d$  = dislivello asta principale = 168 m;

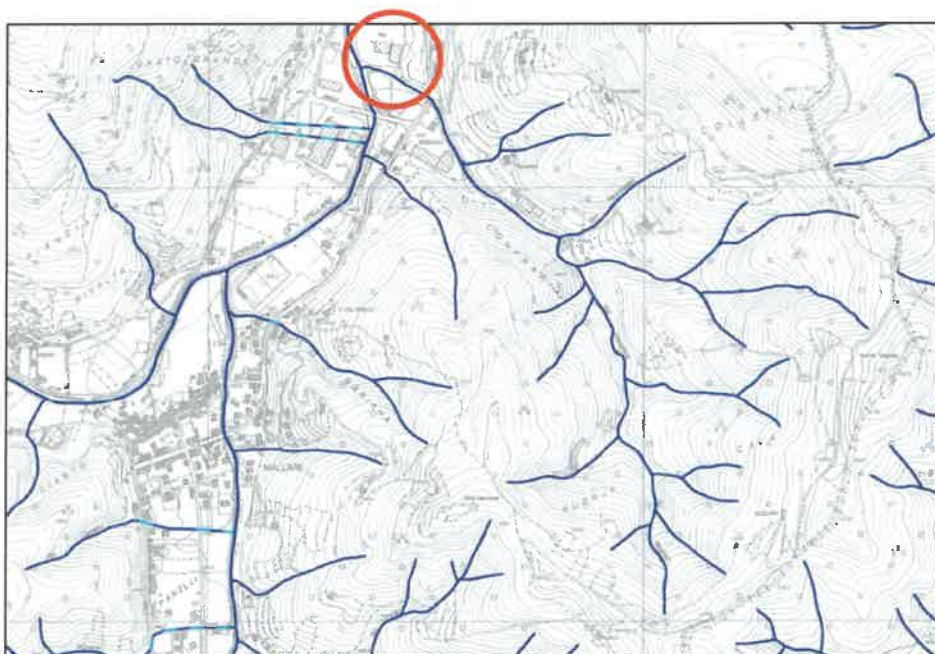
$H_{mr}$  = altezza media relativa = 116,5 m;

Il tratto di Rio Rocchino indagato nel presente studio è relativo alla parte terminale del corso d'acqua in prossimità della confluenza con il Fiume Bormida di Mallare; si tratta di un tratto rettilineo con fondo e sponde naturali e con presenza di vegetazione in alveo.

### 3.) RIFERIMENTI CARTOGRAFICI E VINCOLISTICI

Al fine di individuare eventuali situazioni di rischio presenti nell'area, è stato consultato il repertorio cartografico esistente, che precisa i vincoli pianificatori interferenti sulla zona indagata e ne specifica le possibili situazioni di pericolo e le norme ad essi collegate; di seguito e nelle tavole allegate sono riportati gli stralci cartografici analizzati e le considerazioni in merito.

Il Fiume Bormida di Mallare ed il suo affluente, il Rio Rocchino, risultano tracciati nella perimetrazione del Reticolo Idrografico Regionale della Regione Liguria adottato con deliberazione della Giunta Regionale n. 507 del 21 giugno 2019 e s.m.i. così come si evince dallo stralcio fuori scala della cartografia regionale riportato nella figura seguente.



*Figura 2: Perimetrazione reticolo idrografico regionale con indicazione dell'edificio oggetto di intervento in rosso (Foglio 228120 – Mallare).*

Per quanto concerne il quadro dei dissesti PAI (Piano stralcio per l'Assetto idrologico redatto ai sensi della Legge n. 183 del 18 maggio 1989 e s.m.i.), l'Atlante dei rischi idraulici ed idrogeologici non delimita, in corrispondenza dell'area in esame, alcun dissesto mentre nel tratto più a monte vi è un'estesa area Ee a pericolosità molto elevata che tuttavia non interferisce con l'edificio oggetto di intervento (Foglio 228 sez 2 – Mallare).



INTERVENTI DI RISTRUTTURAZIONE EDILIZIA DELLO STABILIMENTO DI PRODUZIONE PELLETTI SITO IN LOCALITA' CROSA N. 4 NEL COMUNE DI MALLARE (SV) PER LA REALIZZAZIONE DI UNO SPAZIO COPERTO PERTINENZIALE PER CARICO/SCARICO MATERIE PRIME  
- RELAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA -

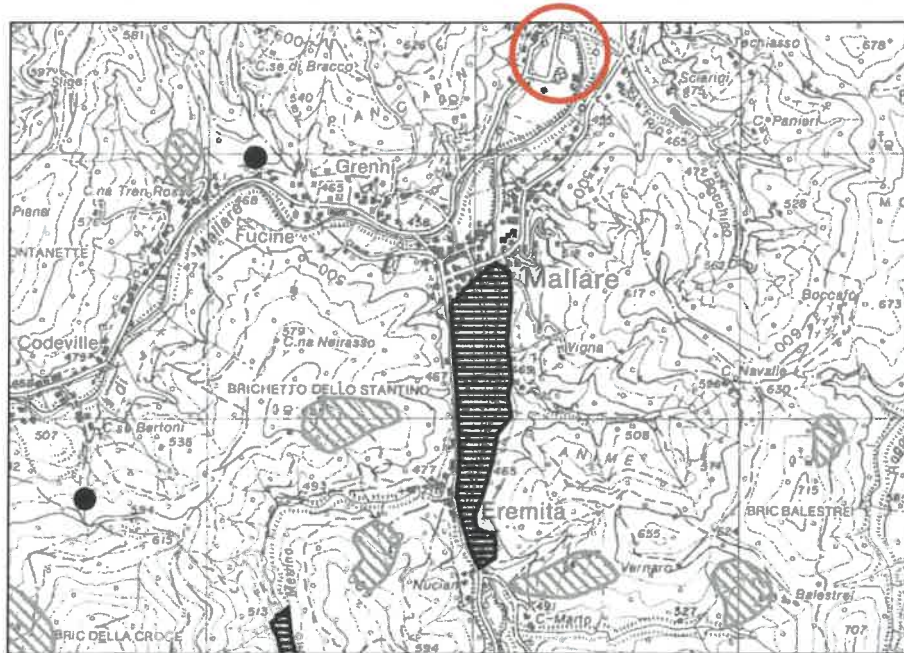


Figura 3: estratto fuori scala del Piano stralcio per l'assetto idrogeologico (PAI) dell'Autorità di bacino del fiume Po dell'edificio oggetto di intervento in rosso (Foglio 228 – sez. 2 – Mallare).

La mappa della pericolosità idraulica aggiornata nel giugno 2015 ai sensi della Direttiva Europea 2007/60/CE, la cosiddetta “Direttiva alluvioni” recepita con D.Lgs. n. 49/2010 mostra come il fabbricato oggetto di intervento risulti in parte all'interno della perimetrazione delle aree allagabili poco frequenti con riferimento alle portate duecentennali ed in parte all'interno delle aree allagabili rare con riferimento agli eventi aventi ricorrenza cinque centennale del Fiume Bormida di Mallare.

INTERVENTI DI RISTRUTTURAZIONE EDILIZIA DELLO STABILIMENTO DI PRODUZIONE PELLETTI SITO IN LOCALITA' CROSA N. 4 NEL COMUNE DI MALLARE (SV) PER LA REALIZZAZIONE DI UNO SPAZIO COPERTO PERTINENZIALE PER CARICO/SCARICO MATERIE PRIME  
- RELAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA -

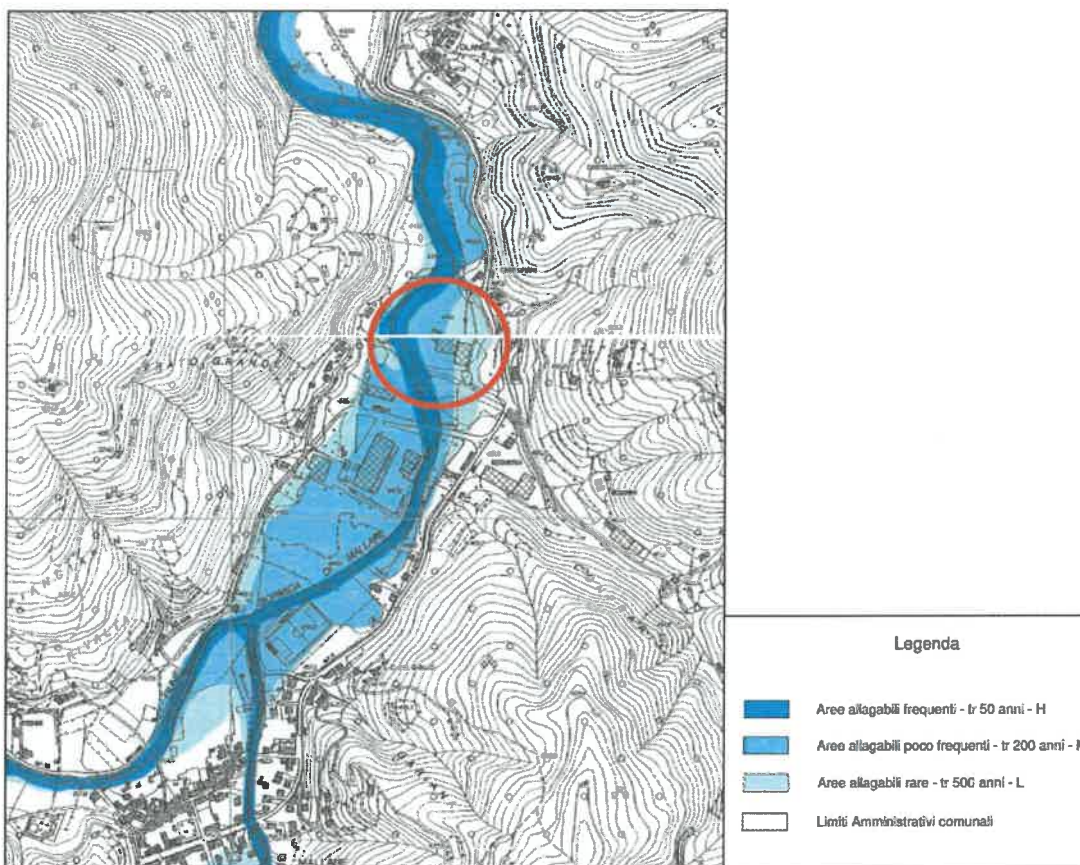


Figura 4: mappa della pericolosità idraulica con indicazione dell'edificio oggetto di intervento in rosso.

Correlando con una matrice di rischio la pericolosità idraulica con le caratteristiche e la vulnerabilità degli elementi esposti, si evince che l'area rientra per la parte più vicina al F. Bormida, all'interno di una zona "R4 – Rischio molto elevato" ed in parte all'interno di una zona "R2 – Rischio medio" così come si evince dalla "Mappa del rischio" redatta ai sensi della Direttiva Europea 2007/60/CE (giugno 2015) riportata nell'estratto sottostante.

INTERVENTI DI RISTRUTTURAZIONE EDILIZIA DELLO STABILIMENTO DI PRODUZIONE PELLETTI SITO IN LOCALITA' CROSA N. 4 NEL COMUNE DI MALLARE (SV) PER LA REALIZZAZIONE DI UNO SPAZIO COPERTO PERTINENZIALE PER CARICO/SCARICO MATERIE PRIME  
- RELAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA -

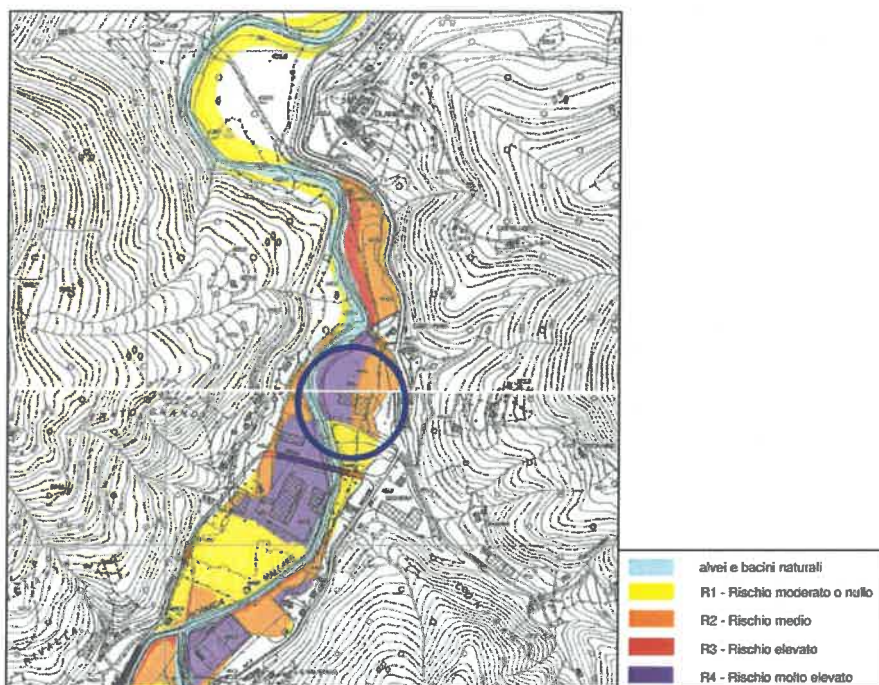


Figura 5: estratto fuori scala delle Mappe del rischio con indicazione dell'edificio oggetto di intervento in blu.

Con il D.P.C.M. 22/02/2018 è stata approvata la variante al Piano di Bacino stralcio per l'Assetto idrogeologico (PAI) del Fiume Po riguardante l'aggiornamento delle Norme di Attuazione del PAI finalizzato a recepire nel PAI stesso le aree a pericolosità idraulica perimetrata nell'ambito del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A.), derivanti, per quanto concerne la Provincia di Savona, da studi idraulici redatti nel tempo da Province e Comuni per delimitare le aree inondabili a dati tempi di ritorno

Con D.G.R. 1064 del 14 dicembre 2018, al fine di non lasciare aree a pericolosità note prive di adeguata copertura normativa, è stata adottata una disciplina di tutela (cfr. allegato 1), coerente con la disciplina del PAI del Fiume Po e con riferimento alla mappatura delle aree inondabili derivante da quella approvata per il P.G.R.A. del Bacino del Fiume Po.

INTERVENTI DI RISTRUTTURAZIONE EDILIZIA DELLO STABILIMENTO DI PRODUZIONE PELLETTI SITO IN LOCALITA' CROSA N. 4 NEL COMUNE DI MALLARE (SV) PER LA REALIZZAZIONE DI UNO SPAZIO COPERTO PERTINENZIALE PER CARICO/SCARICO MATERIE PRIME  
- RELAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA -

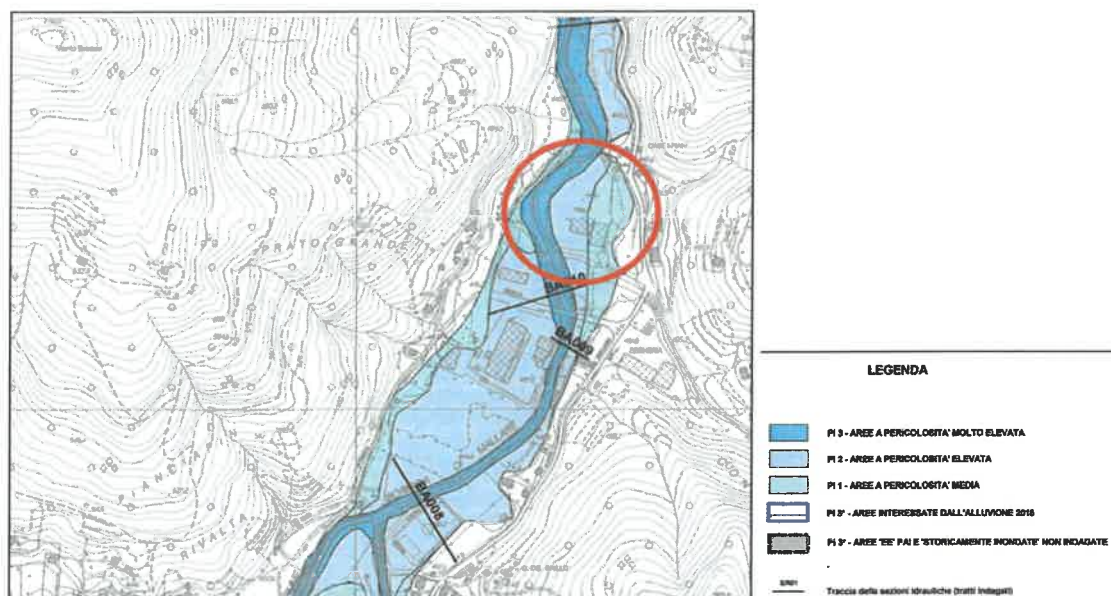


Figura 6: estratto fuori scala della Carta della Pericolosità idraulica con indicazione dell'edificio oggetto di intervento in rosso (rif. Tav. 09 – Allegato 2 – DGR 1064/2018).

Dall'estratto cartografico riportato nella figura soprastante si rileva che il fabbricato oggetto di ristrutturazione edilizia viene classificato in parte come "PI2 – Aree a pericolosità elevata" corrispondente alla fascia allagabile in occasione di eventi con tempo di ritorno duecentennale ed in parte come "PI1 – Aree a pericolosità media" corrispondente alla fascia cinquecentennale; il prospetto sul quale verrà eseguito l'intervento è localizzato in area PI2.

## **4.) ANALISI PLUVIOMETRICA**

Al fine di analizzare il regime pluviometrico del bacino in esame e fornire un inquadramento generale del territorio, è stata svolta un'analisi di dettaglio sulla base delle indicazioni fornite dall'AdB Po nella "*Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica*".

In particolare sono state valutate le altezze di pioggia per le celle di regolarizzazione di kriging a cui appartiene il bacino del Rio Rocchino.

### **4.1.) Indagine pluviometrica**

Per quanto concerne l'analisi pluviometrica, l'elaborazione statistica del rapporto tra precipitazioni e durata per un assegnato tempo di ritorno viene espressa nella forma monomia a due parametri:

$$h_T = a t^n$$

dove:

$h_T$  = altezza di precipitazione per assegnato tempo di ritorno (mm);

$t$  = durata del tempo di precipitazione (h);

$a$  ed  $n$  parametri che esprimono le caratteristiche pluviometriche.

#### **4.1.1) Celle di kriging**

Nella succitata Direttiva, l'AdB Po ha condotto un'interpolazione spaziale con il metodo di kriging dei parametri  $a$  ed  $n$  delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica, discretizzando l'intero bacino del fiume Po in celle quadrate di 2 km di lato.

A seguito della delimitazione del bacino idrografico è stata individuata sulla cartografia allegata alla suddetta direttiva la cella di competenza, ovvero quella identificata con il codice BU148.

I parametri delle curve segnalatrici di possibilità pluviometrica sono riassunti nella tabella seguente.

Tabella 1: Parametri delle curve segnalatrici di possibilità pluviometrica

Celle kriging	Parametri	T <sub>r</sub> = 20 anni	T <sub>r</sub> = 100 anni	T <sub>r</sub> = 200 anni	T <sub>r</sub> = 500 anni
BU148	a	44.46	56.31	61.45	68.20
	n	0.453	0.454	0.453	0.453

La tabella ed il diagramma seguente riassumono, per differenti durate e per diversi tempi di ritorno, le altezze pluviometriche ricavate con l'ausilio dei dati precedenti per i corsi d'acqua indagati.

Tabella 2: Altezze pluviometriche relative alla media delle celle di Kriging – Rio Rocchino

Durata [h]	T <sub>r</sub> = 20 anni	T <sub>r</sub> = 100 anni	T <sub>r</sub> = 200 anni	T <sub>r</sub> = 500 anni
1	44.5	56.3	61.5	68.2
2	60.9	77.1	84.1	93.4
3	73.1	92.7	101.1	112.2
6	100.1	127.0	138.4	153.6
12	137.0	174.0	189.4	210.2
24	187.6	238.3	259.3	287.8

## 5.) PORTATE DI PROGETTO

### 5.1.) Rio Rocchino

Ai fini dell'allestimento del modello idraulico in moto permanente per la verifica della compatibilità idraulica dell'intervento posto in sponda destra del Rio Rocchino, è necessario valutare le portate di riferimento con tempo di ritorno di 50, 200 e 500 anni.

In base a quanto stabilito dalla L. 18/05/1989, n. 183, art. 17, comma 6ter, adottato con deliberazione del Comitato Istituzionale n. 18 in data 26/04/2001 "Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica", l'Autorità di Bacino del Fiume Po stabilisce, tra le altre cose, le procedure adottabili per la stima della portata di piena in un corso d'acqua.

La determinazione delle portate di progetto è stata effettuata mediante un metodo di analisi statistica delle osservazioni pluviometriche relative al bacino idrografico sotteso dalla sezione di interesse e mediante l'impiego di modelli afflussi-deflussi per la loro trasformazione in portate. In particolare si è optato per il metodo razionale la cui formula, espressa dall'Autorità di Bacino, risulta:

$$Q_c = 0.28 \cdot c \cdot i \cdot A$$

- dove  $Q_c$  = portata al colmo ( $m^3/s$ );  
 $c$  = coefficiente di deflusso (adimensionale);  
 $i$  = intensità di pioggia (mm/h);  
 $A$  = superficie del bacino sotteso ( $km^2$ ).

Il metodo considera il bacino idrografico come una singola unità e stima il valore al colmo della portata con le seguenti assunzioni:

- la precipitazione è uniformemente distribuita sul bacino,
- la portata stimata ha lo stesso tempo di ritorno TR di quello dell'intensità di pioggia,
- il tempo di formazione del colmo di piena è pari a quello della fase di riduzione,
- l'intensità di pioggia ha una durata pari a quella del tempo di corrivazione Tc.

Il tempo di corrivazione è definito come il tempo che impiega la precipitazione che cade nella parte più distante del bacino a raggiungere la sezione terminale; una definizione forse migliore è che esso rappresenta l'intervallo di tempo dall'inizio della precipitazione oltre al quale tutto il bacino contribuisce al deflusso nella sezione

terminale. La definizione di tale parametro è stata svolta inizialmente perimetrando il bacino idrografico chiuso in corrispondenza del tratto di intervento, determinandone i parametri morfologici con l'ausilio di un adeguato supporto cartografico e riportati; essi in particolare comprendono:

- l'area del bacino sotteso "S" (km<sup>2</sup>);
- la lunghezza "L" (km);
- pendenza "i<sub>asta</sub>" dell'asta principale;
- la quota massima "H<sub>max</sub>";
- quota minima "H<sub>min</sub>";
- quota media "H<sub>med</sub>" del bacino sotteso (m s.l.m.);
- dislivello asta principale "d" (m)

Il calcolo è stato poi condotto mediando i risultati ottenuti dai metodi di Giandotti, Pezzoli e Puglisi-Zanframundo, secondo le relazioni seguenti:

GIANDOTTI  $T_c = T \frac{4\sqrt{A} T^{1.5} L}{0.8\sqrt{H}}$

PEZZOLI  $T_c = T 0.055 \cdot \frac{L}{\sqrt{i_a}}$

PUGLISI-ZANFRAMUNDO  $T_c = 6 \cdot \frac{L^{0.667}}{d^{0.333}}$

Da cui si desume:

*Tabella 3: Calcolo dei tempi di corrivazione*

Formula	Rio Rocchino
Tc Giandotti (h)	0.78 h
Tc Pezzoli (h)	0.28 h
Tc Puglisi-Zanframundo (h)	1.50 h
<b>Tc medio (h)</b>	<b>0.85 h</b>



Il coefficiente di deflusso "c" tiene conto di tre fattori:

- il fattore di ragguaglio della precipitazione alla superficie del bacino idrografico considerato,
- il fattore di trattenuta del terreno, funzione della capacità di assorbimento del terreno (rapporto tra l'altezza di pioggia netta e l'altezza di pioggia totale),
- il fattore di laminazione, che dipende dalla capacità di invaso sulla superficie del bacino e nel reticolo idrografico dello stesso.

In via teorica l'utilizzo della formula razionale per convertire una precipitazione di assegnato tempo di ritorno TR in una portata al colmo con pari valore di TR, richiede di caratterizzare anche il coefficiente di deflusso c con un valore medio di ricorrenza. Ciò è possibile solamente quando si disponga di serie storiche sufficientemente estese di dati di pioggia e di portate al colmo. Nel caso in esame si è tenuto conto di un coefficiente medio legato alla situazione morfologica e geologica dei versanti che presentano, nel settore più elevato una discreta copertura vegetale caratterizzata da scarsa permeabilità; esso risulta:

$$c = 0.80$$

Tabella 4: Portate di progetto per il Rio Rocchino alla confluenza con il Fiume Bormida di Mallare

<b>Rio Rocchino</b>	<b>T<sub>R</sub> = 20 anni</b>	<b>T<sub>R</sub> = 100 anni</b>	<b>T<sub>R</sub> = 200 anni</b>	<b>T<sub>R</sub> = 500 anni</b>
<b>Q [m<sup>3</sup>/s]</b>	12.41	15.71	17.15	19.03

La portata relativa al tempo di ritorno di 50 anni è stata ottenuta attraverso l'interpolazione (mediante la linea di tendenza di tipo logaritmico) dei dati relativi alle altre portate riferite ai tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni e risulta pari a:

$$Q_{T_R=50} = 14,29 \text{ m}^3/\text{s}$$

Arrotondando cautelativamente i valori sopra riportati al fine di tenere conto di un incremento stimato pari a circa il 3% per l'eventuale trasporto solido della corrente, le portate che verranno utilizzate nelle successive simulazioni idrauliche sono riportate nel seguito

Tabella 5: valori delle portate al picco per il Rio Rocchino

<b>Rio Rocchino</b>	<b>T<sub>R</sub> = 50 anni</b>	<b>T<sub>R</sub> = 200 anni</b>	<b>T<sub>R</sub> = 500 anni</b>
---------------------	--------------------------------	---------------------------------	---------------------------------

Q [m <sup>3</sup> /s]			
Rio Rocchino	15	18	20

## 5.2.) Fiume Bormida di Mallare

Ai fini dell'allestimento del modello idraulico in moto permanente, dovendo simulare il comportamento della corrente in confluenza, è necessario valutare le portate con tempo di ritorno di 50, 200 e 500 anni.

Nell'ambito dello "Studio delle fasce fluviali dei sottobacini del Fiume Bormida di Spigno e del Fiume Bormida di Millesimo" per conto della Provincia di Savona, sono state svolte indagini idrologiche ed idrauliche di dettaglio inerenti al tratto di corso d'acqua indagato.

La definizione della portata di piena è stata svolta inizialmente perimetrando il bacino idrografico chiuso in corrispondenza di differenti sezioni significative, determinandone i parametri morfologici con l'ausilio di un adeguato supporto cartografico.

L'analisi pluviometrica svolta sul bacino in esame deriva da quanto riportato nello "Studio delle fasce fluviali dei sottobacini del Fiume Bormida di Spigno e del Fiume Bormida di Millesimo". La procedura è stata stabilita per il settore ligure dei bacini del Fiume Bormida di Spigno e del Fiume Bormida di Millesimo al fine di risolvere il dualismo esistente nella valutazione delle portate di piena dei corsi d'acqua.

La Regione Liguria propone, infatti, l'utilizzo della procedura "CIMA" di regionalizzazione idrologica delle portate di piena, effettuata sulla base delle trasformazioni al suolo delle precipitazioni relative alle serie storiche delle stazioni pluviometriche presenti sul territorio Ligure e localizzate in massima parte sul versante tirrenico dell'Appennino.

L'Autorità di Bacino del Po indica invece una procedura di distribuzione spaziale delle piogge intense con il metodo di kriging, effettuata analizzando le stazioni pluviometriche storiche principalmente site nella parte piemontese di pianura del bacino.

Dato che il bacino del Fiume Bormida di Mallare è caratterizzato sia da un ampio settore montano di transizione tra le Alpi Marittime e gli Appennini che da un'altrettanto vasto settore di fondovalle moderatamente pianeggiante, l'utilizzo di una media aritmetica dei parametri diventa indispensabile per stimare nella maniera più corretta le portate di piena in quanto il metodo "CIMA" tende a sovrastimare i valori di portata

derivanti dai settori di bacino di pianura mentre il metodo "Kriging" tende invece a sottostimare i contributi derivanti dai settori montani.

Per la determinazione dell'idrogramma di piena in una data sezione di chiusura è stato invece utilizzato il modello idrologico DriFt che ben si adatta alla modellazione di fenomeni di piena dove preponderante risulta l'apporto del bacino montano rispetto al settore vallivo.

Le portate di progetto ricavate mediante l'applicazione delle metodologie sopra esposte in corrispondenza della sezione BA010 (sezione a valle della confluenza) sono riportate nella tabella seguente:

*Tabella 6: valori delle portate al picco per il Fiume Bormida di Mallare (fonte: Studio Hydrodata)*

<b>Fiume Bormida di Mallare Q [m<sup>3</sup>/s]</b>	<b>T<sub>R</sub> = 50 anni</b>	<b>T<sub>R</sub> = 200 anni</b>	<b>T<sub>R</sub> = 500 anni</b>
F. Bormida di Mallare	139	187	221

I valori delle portate di riferimento, così come stimate nell'ambito dello "Studio delle fasce fluviali dei sottobacini del Fiume Bormida di Spigno e del Fiume Bormida di Millesimo", verranno pertanto utilizzate come portate di riferimento per le successive simulazioni idrauliche.

## 6.) VERIFICA IDRAULICA

Una volta determinate le portate di progetto, il passo successivo consiste nell'analisi idraulica del comportamento del corso d'acqua, ovvero nella determinazione dei livelli della superficie libera di deflusso e nella conseguente determinazione delle aree potenzialmente esondabili per fissati tempi di ritorno.

Lo studio del deflusso in condizioni di piena per il calcolo dei livelli nella sezione di interesse è stato effettuato con un modello matematico proposto da HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System) dipartimento della U.S. Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, di recente realizzazione (la versione da noi utilizzata è la 5.0.3).

Il programma simula il deflusso della corrente secondo un modello monodimensionale, determinando il profilo di corrente in funzione delle condizioni al contorno imposte nelle sezioni di ingresso e di uscita del tratto modellato, delle caratteristiche dell'alveo, e della presenza di ingombri od ostacoli (ponti, tombini, pile in alveo, ecc.).

I dati di cui necessita sono fondamentalmente di due tipi:

- dati di tipo geometrico:
  - coordinate verticali ed orizzontali delle varie sezioni dell'alveo ordinate a partire da monte verso valle;
  - distanza tra una sezione e la successiva;
  - posizione e geometria di eventuali argini, ponti, sfioratori, traverse fluviali e luci di deflusso;
  - coefficienti di contrazione ed espansione della corrente;
  - coefficiente di scabrezza di Manning variabile secondo i diversi tratti della sezione considerata.
  
- dati di tipo idraulico:
  - valori di portata;
  - tipo di moto (corrente lenta, corrente veloce o regime misto);
  - condizioni al contorno scelte a seconda del problema in esame e dei dati storici di cui si dispone.

## 6.1.) Profili idraulici per correnti in moto permanente

La procedura di calcolo è basata sulla soluzione dell'equazione dell'energia espressa monodimensionalmente (eq. 6.1). La perdita di energia (eq. 6.2) è valutata attraverso gli attriti (equazione di Manning (eq. 6.3)) e attraverso la contrazione o l'espansione del flusso (coefficienti moltiplicati per il gradiente di velocità tra una sezione e quella successiva).

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2 \cdot g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2 \cdot g} + h_e \quad (\text{eq. 6.1})$$

dove:

$Y_1, Y_2$  = profondità dell'acqua nella sezione;

$Z_1, Z_2$  = altezza sul livello del mare del canale principale;

$V_1, V_2$  = velocità media;

$\alpha_1, \alpha_2$  = coefficienti di peso per la velocità;

$g$  = accelerazione di gravità;

$h_e$  = carico di energia perso (eq. 6.2).

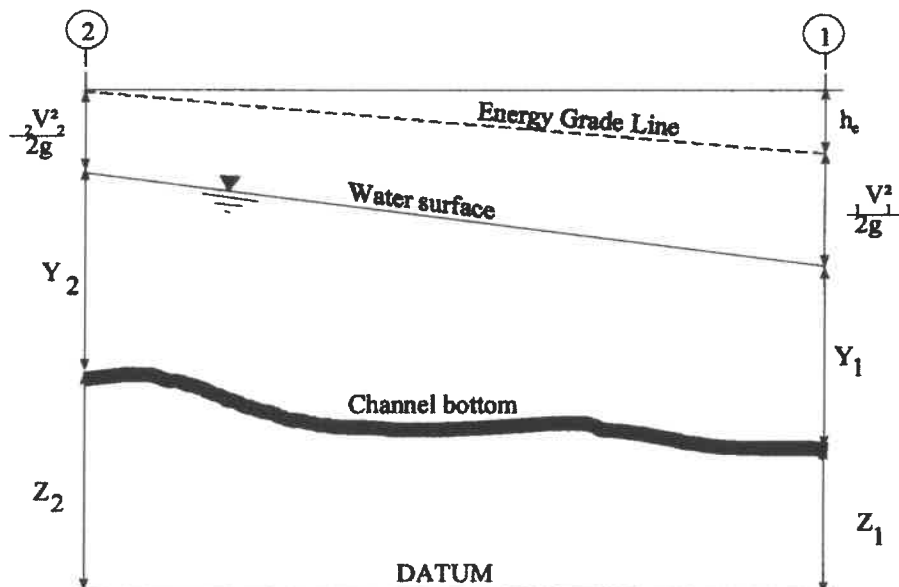


Figura 7:: Rappresentazione dei termini nell'equazione dell'energia

$$h_e = L \cdot \overline{S_f} + C \cdot \left| \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2 \cdot g} - \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2 \cdot g} \right| \quad (\text{eq. 6.2})$$

dove:

$L$  = portata unitaria (pesata sulla lunghezza del tratto di torrente o di canale in studio);

$\overline{S_f}$  = perdite di energia dovute all'attrito (valutabile attraverso diversi metodi a seconda della condizione morfologica del bacino e della tipologia di corrente in esame);

$C$  = coefficiente di contrazione/espansione.

Le perdite di energia dovute all'attrito sono valutabili nella forma più generale possibile attraverso il rapporto  $\overline{S_f} = \left(\frac{Q}{K}\right)^2$  dove con  $K$  si indica il flusso d'acqua nelle diverse aree della sezione fluviale (flusso nel canale principale, flusso nell'area di piena ordinaria, flusso nell'area golenale, ecc.); dall'equazione di Manning:

$$K = \frac{1.486}{n} \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}} \quad (\text{eq. 6.3})$$

dove:

$A$  = area di flusso,

$R$  = raggio idraulico (area/perimetro bagnato),

$n$  = coefficiente di scabrezza di Manning.

Tali parametri vanno specificati per ogni tipo di area in cui viene suddivisa la sezione.

In situazioni dove il profilo della superficie dell'acqua varia in modo molto rapido (i.e.: risalti idraulici, confluenze costituite da un angolo molto grande tra la direzione di flusso del fiume/canale principale e l'affluente, corrente veloce in prossimità di ponti o di infrastrutture idrauliche, ecc...) si utilizza l'equazione del momento (eq. 5.6) al posto di quella del bilancio energetico. Tale equazione è derivata dalla seconda legge della dinamica dei corpi di Newton:

$$\sum F_x = m \cdot a \quad (\text{eq. 6.4})$$

Applicando l'equazione (9.4) ad un corpo d'acqua compreso fra due sezioni 1 e 2, l'espressione precedente diventa:

$$P_2 - P_1 + W_x - F_f = Q \cdot \rho \cdot \Delta V_x \quad (\text{eq. 6.5})$$

dove:

$P = \gamma \cdot A \cdot \bar{Y}$  pressione idrostatica in prossimità delle sezioni 1 e 2;

$\gamma$  = peso specifico dell'acqua;

$\bar{Y}$  = profondità dell'acqua misurata dalla superficie al centro del canale principale;

$W_x = \gamma \cdot \left( \frac{A_1 + A_2}{2} \right) \cdot L \cdot S_0$  forza peso dell'acqua calcolata nella direzione X di deflusso tra

le sezioni 1 e 2;

$Q$  = portata;

$\rho = \frac{\gamma}{g}$  densità dell'acqua;

$\Delta V_x = (\beta_1 \cdot V_1 - \beta_2 \cdot V_2)$  gradiente di velocità fra le due sezioni lungo la direzione longitudinale X;

$\beta$  = coefficiente di momento che tiene conto della variazione di distribuzione delle velocità in canali irregolari.

$F_f$  = forza esterna di attrito dalla sezione 2 alla sezione 1 calcolata con la formula

$F_f = \tau \cdot \bar{P} \cdot L$  tenendo conto che la tensione di taglio è  $\tau = \gamma \cdot \bar{R} \cdot \bar{S}_f$  dove  $\bar{P}$  e  $\bar{R}$  sono rispettivamente il perimetro bagnato mediato fra le due sezioni e il raggio idraulico medio.

Sostituendo alle forze interne ed esterne le loro note espressioni si ottiene l'equazione del momento:

$$\frac{Q_2 \cdot \beta_2}{g \cdot A_2} + A_2 \cdot \bar{Y}_2 + \left( \frac{A_1 + A_2}{2} \right) \cdot L \cdot S_0 - \left( \frac{A_1 + A_2}{2} \right) \cdot L \cdot \bar{S}_f = \frac{Q_1 \cdot \beta_1}{g \cdot A_1} + A_1 \cdot \bar{Y}_1 \quad (\text{eq. 6.6})$$

Nella figura che segue sono schematizzate le forze esterne e quelle interne che agiscono sul sistema "acqua" tra due sezioni successive.

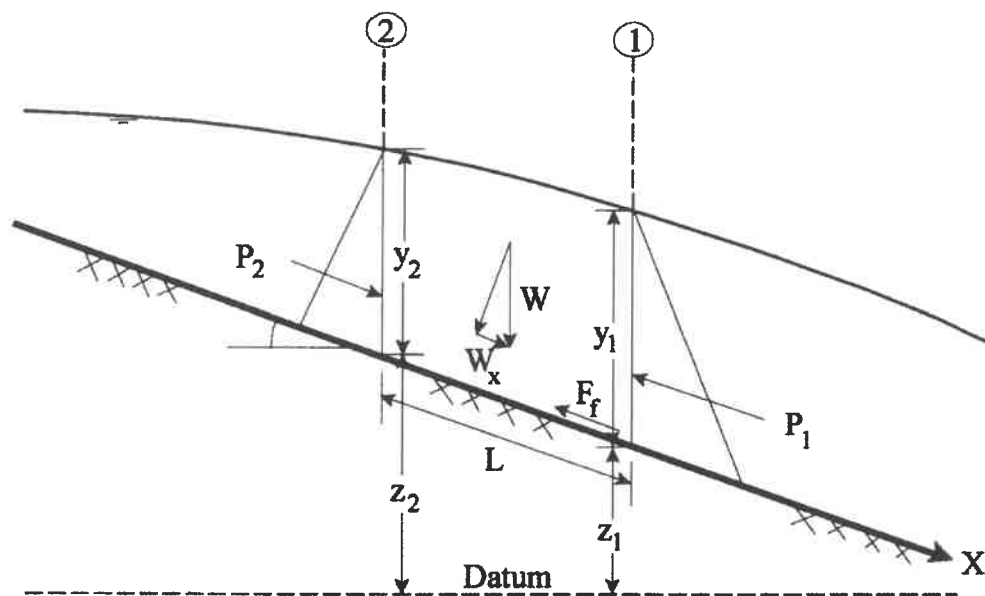


Figura 8: Applicazione del principio del momento

Nei calcoli si può inoltre considerare l'effetto di diversi tipi di ostruzioni al flusso dell'acqua come per esempio ponti, stramazzi, traverse, luci di deflusso e altre strutture impermeabili che occupano l'alveo. Generalmente l'obiettivo principale dell'applicazione di questo tipo di studio è costituito dalla ricerca delle aree esondabili ma si possono eseguire anche studi relativi all'effetto che eventuali argini o mutamenti morfologici dell'alveo hanno sul profilo della corrente.

## 6.2. ) Modellazione idraulica attraverso un ponte

L'approccio di HEC RAS al problema della dinamica fluviale attraverso un ponte consiste nel calcolo delle perdite di energia totale da parte del fluido all'uscita dal ponte, dove generalmente si riscontra un'espansione del fluido, all'attraversamento di esso ed in ingresso, dove, invece, si riscontra una contrazione del fluido.

Per semplicità, nel seguito, si indica con routine il processo di calcolo precedentemente indicato.

La routine utilizza quattro sezioni per il calcolo della perdita di energia della massa fluida attraverso l'infrastruttura (vedi figura seguente). È necessario che le sezioni 4 e 1 siano inserite come dati geometrici di input mentre le restanti sono generate automaticamente dal programma.



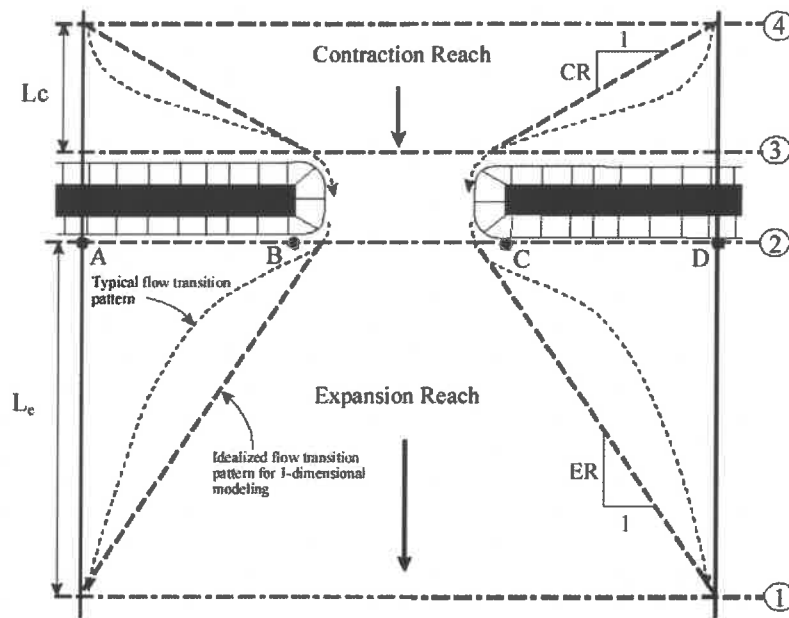


Figura 9: Posizione delle sezioni nei pressi di un ponte.

		$n_{ob} / n_c = 1$	$n_{ob} / n_c = 2$	$n_{ob} / n_c = 4$
$b/B = 0.10$	$S = 1$ ft/mile	1.4 – 3.6	1.3 – 3.0	1.2 – 2.1
	5 ft/mile	1.0 – 2.5	0.8 – 2.0	0.8 – 2.0
	10 ft/mile	1.0 – 2.2	0.8 – 2.0	0.8 – 2.0
$b/B = 0.25$	$S = 1$ ft/mile	1.6 – 3.0	1.4 – 2.5	1.2 – 2.0
	5 ft/mile	1.5 – 2.5	1.3 – 2.0	1.3 – 2.0
	10 ft/mile	1.5 – 2.0	1.3 – 2.0	1.3 – 2.0
$b/B = 0.50$	$S = 1$ ft/mile	1.4 – 2.6	1.3 – 1.9	1.2 – 1.4
	5 ft/mile	1.3 – 2.1	1.2 – 1.6	1.0 – 1.4
	10 ft/mile	1.3 – 2.0	1.2 – 1.5	1.0 – 1.4

Valori del rapporto di espansione ER.

La tabella precedente fornisce un suggerimento sulla distanza dal ponte cui effettuare il rilievo topografico della sezione a valle:

$b$  = lunghezza totale della luce libera del ponte ( $\overline{BC}$  in fig.9),

$B$  = lunghezza totale del ponte ( $\overline{AD}$  in fig. 9),

$S$  = pendenza dell'alveo,

$n_{ob}$  = scabrezza di Manning nella zona di esondazione,

$n_c$  = scabrezza di Manning nel canale principale.

Nella routine la scabrezza di Manning è utilizzata per il calcolo delle perdite energetiche dovute agli attriti, ogni altra perdita di energia è calcolata attraverso

coefficienti che rappresentano la variazione del carico cinetico della corrente fra una sezione e quella adiacente. Generalmente, ad un aumento di velocità corrisponde una contrazione della corrente, viceversa in caso di rallentamento. Di seguito si forniscono alcuni valori tipici dei coefficienti di contrazione ed espansione in caso di moto in corrente lenta:

	Contrazione	Espansione
Nessuna perdita calcolata	0	0
Perdite graduali	0.1	0.3
Perdite in sezioni tipiche di ponti	0.3	0.5
Perdite localizzate	0.6	0.8

### 6.2.1.) Calcoli in “Low Flow”

Questo tipo di routine funziona quando il flusso del fiume attraverso il ponte è a “canale completamente aperto”, ovvero quando l'altezza d'acqua massima non raggiunge la corda più bassa del ponte. In caso di moto in corrente lenta, il programma esegue una iterazione di calcoli utilizzando la formula del momento, descritta in precedenza, applicata ad un'altezza d'acqua pari a quella critica, per definire in quale classe di flusso ci si trova:

Classe A: il momento nella sezione a valle del ponte è maggiore di quello calcolato relativamente all'altezza critica attraverso il ponte;

Classe B: il momento nella sezione a valle del ponte è minore di quello calcolato relativamente all'altezza critica attraverso il ponte (si riscontra un fenomeno di risalto idraulico);

Classe C: il profilo che si riscontra attraverso il ponte è interamente supercritico (corrente localmente veloce).

Nel caso di flussi in classe A le perdite di energia tra le sezioni 4 e 3 e tra le sezioni 2 e 1 (vedi fig. 9) sono calcolati con le tecniche descritte in precedenza per analizzare gli effetti degli attriti e della contrazione o espansione del flusso. Tra le sezioni 3 e 2 le perdite di energia si possono calcolare mediante quattro diverse formule:

Equazione dell'energia,  
 Bilancio del momento,  
 Equazione di Yarnell,  
 Metodo FHWA WSPRO.

Si può scegliere di utilizzare uno solo di questi metodi oppure tutti insieme. Nel secondo caso HEC RAS consente di visualizzare un risultato per volta oppure solamente quello che fornisce un contenuto energetico maggiore.

L'equazione dell'energia utilizzata è la stessa descritta in precedenza per una normale sezione; in questo caso viene sottratta dall'area bagnata e dal perimetro bagnato la parte di alveo ostruita dal ponte.

Il bilancio del momento è eseguito in tre passi:

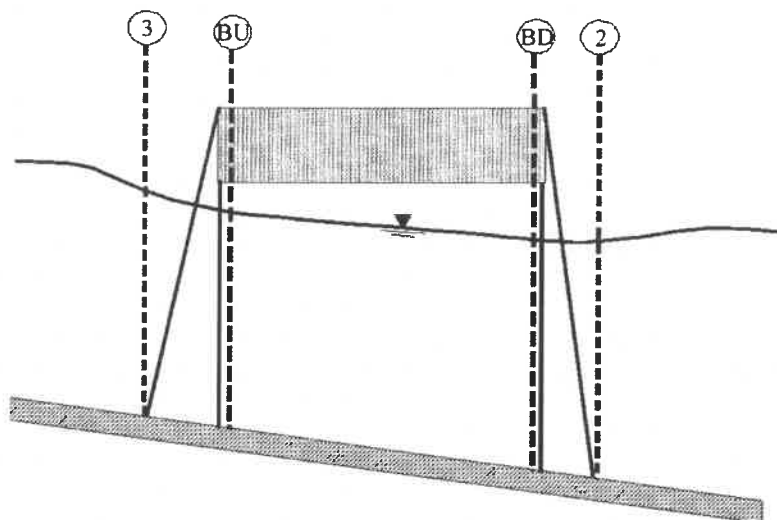


Figura 10: Sezioni adiacenti e interne al ponte.

Il primo passo consiste nel calcolare il bilancio del momento tra la sezione 2 e la sezione BD (vedi fig. 10) utilizzando la seguente formula:

$$A_{BD} \cdot \bar{Y}_{BD} + \frac{\beta_{BD} \cdot Q_{BD}^2}{g \cdot A_{BD}} = A_2 \cdot \bar{Y}_2 + \frac{\beta_2 \cdot Q_2^2}{g \cdot A_2} - A_{pBD} \cdot \bar{Y}_{pBD} + F_f - W_x$$

dove:

$A_2, A_{BD}$  = area di flusso libero alla sezione 2 e alla BD, rispettivamente;

$A_{PBU}$  = area di ostruzione della pila del ponte dal lato verso valle;

$\bar{Y}_2, \bar{Y}_{BD}$  = distanza verticale dalla superficie dell'acqua al baricentro dell'area bagnata  $A_2$  e  $A_{BD}$ , rispettivamente;

$\bar{Y}_{PBD}$  = distanza verticale dalla superficie dell'acqua al baricentro dell'area bagnata della pila dal lato verso valle;

$\beta_2, \beta_{BD}$  = coefficiente di momento che tiene conto della variazione di distribuzione delle velocità rispettivamente alla sezione 2 e alla sezione BD;

$Q_2, Q_{BD}$  = portata;

$g$  = accelerazione di gravità;

$F_f$  = forza esterna dovuta all'attrito, per unità di peso di acqua;

$W_x$  = forza dovuta al peso dell'acqua nella direzione del flusso, per unità di peso di acqua.

Il secondo passo è costituito da un bilancio del momento fra le sezioni BD e BU (vedi fig. 8):

$$A_{BU} \cdot \bar{Y}_{BU} + \frac{\beta_{BU} \cdot Q_{BU}^2}{g \cdot A_{BU}} = A_{BD} \cdot \bar{Y}_{BD} + \frac{\beta_{BD} \cdot Q_{BD}^2}{g \cdot A_{BD}} + F_f - W_x$$

Il passo finale è un bilancio di momento tra le sezioni BU e 3 (vedi fig. 4.4):

$$A_3 \cdot \bar{Y}_3 + \frac{\beta_3 \cdot Q_3^2}{g \cdot A_3} = A_{BU} \cdot \bar{Y}_{BU} + \frac{\beta_{BU} \cdot Q_{BU}^2}{g \cdot A_{BU}} - A_{PBU} \cdot \bar{Y}_{PBU} + \frac{1}{2} \cdot C_D \cdot \frac{A_{PBU} \cdot Q_3^2}{g \cdot A_3^2} + F_f - W_x$$

dove:

$C_D$  = coefficiente di erosione dovuto al flusso attorno alle pile del ponte; alcuni valori tipici si possono riscontrare nella tabella seguente:

<b>Pier Shape</b>	<b>Drag Coefficient <math>C_D</math></b>
Circular pier	1.20
Elongated piers with semi-circular ends	1.33
Elliptical piers with 2:1 length to width	0.60
Elliptical piers with 4:1 length to width	0.32
Elliptical piers with 8:1 length to width	0.29
Square nose piers	2.00
Triangular nose with 30 degree angle	1.00
Triangular nose with 60 degree angle	1.39
Triangular nose with 90 degree angle	1.60
Triangular nose with 120 degree angle	1.72

*Valori dei coefficienti di erosione a seconda della forma delle pile.*

L'equazione di Yarnell è utilizzata per prevedere come varia la superficie dell'acqua dalla sezione 2, a valle, alla sezione 3, a monte; essa si basa su un metodo empirico, frutto di circa 2600 esperienze di laboratorio. I parametri utilizzati come variabili sono la forma, lo spessore, la lunghezza e l'angolo dei pilastri, nonché la velocità del flusso d'acqua. L'equazione risulta:

$$H_{3-2} = 2 \cdot K \cdot (K + 10 \cdot \omega - 0.6) \cdot (\alpha + 15 \cdot \alpha^4) \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

dove:

$H_{3-2}$  = differenza di altezza d'acqua dalla sezione 3 alla 2;

$K$  = coefficiente di Yarnell dovuto alla forma delle pile (vedi tabella);

$\omega$  = rapporto tra l'altezza cinetica e la profondità dell'acqua alla sezione 2;

$\alpha$  = rapporto tra l'area di ostruzione dei pilastri e il totale dell'area libera alla sezione 2;

$V_2$  = velocità a valle della sezione 2.

<b>Pier Shape</b>	<b>Yarnell K Coefficient</b>
Semi-circular nose and tail	0.90
Twin-cylinder piers with connecting diaphragm	0.95
Twin-cylinder piers without diaphragm	1.05
90 degree triangular nose and tail	1.05
Square nose and tail	1.25
Ten pile trestle bent	2.50

*Coefficienti di Yarnell a seconda della forma delle pile*

Tale metodo non è risultato sensibile alla forma delle arcate e delle spalle del ponte né al suo spessore.

Il metodo FHWA WSPRO è risultato un'applicazione ottimizzata dell'equazione della conservazione dell'energia per HEC RAS.

### **6.2.2. ) Calcoli in " High Flow "**

In questo caso la corrente lambisce o supera l'altezza della corda più bassa del ponte. Per svolgere i calcoli si utilizzano equazioni di conservazione dell'energia oppure formule di moti in pressione o di stramazzi. Poiché il metodo relativo all'equazione di conservazione dell'energia è già stato esaminato in precedenza, si evidenziano in questa sede le altre due metodologie.

Nel caso di moti in pressione si possono verificare due situazioni: una in cui solo il profilo di corrente a monte entra in contatto con la corda bassa del ponte, l'altro in cui il moto è in pressione per tutta la larghezza del ponte.

Se il moto non è interamente in pressione si utilizza la formula seguente:

$$Q = C_d \cdot A_{BU} \cdot \left[ Y_3 - \frac{Z}{2} + \frac{\alpha_3 \cdot V_3^2}{2 \cdot g} \right]^{\frac{1}{2}}$$

dove:

Q = portata totale;

C<sub>d</sub> = coefficiente di portata per il fluido in pressione;

A<sub>BU</sub> = area libera dovuta all'apertura del ponte alla sezione BU;

$Y_3$  = altezza dell'acqua alla sezione 3;  
 $Z$  = distanza verticale dalla corda inferiore del ponte al fondo del canale principale alla sezione BU.

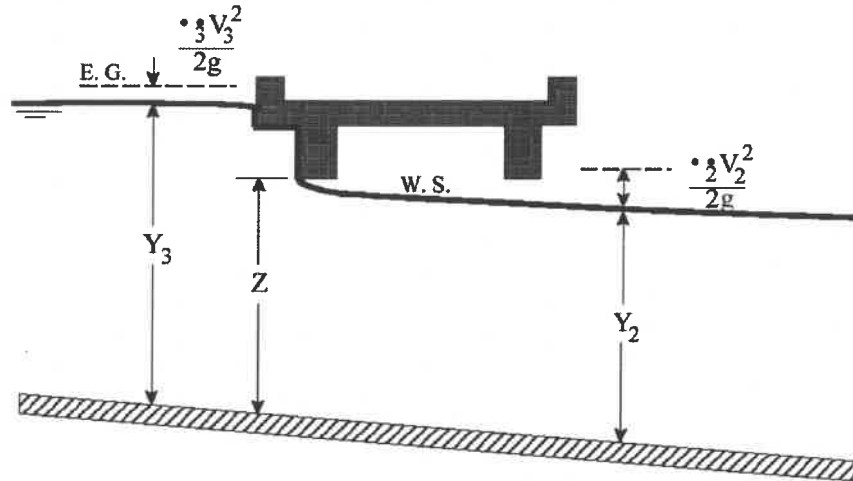
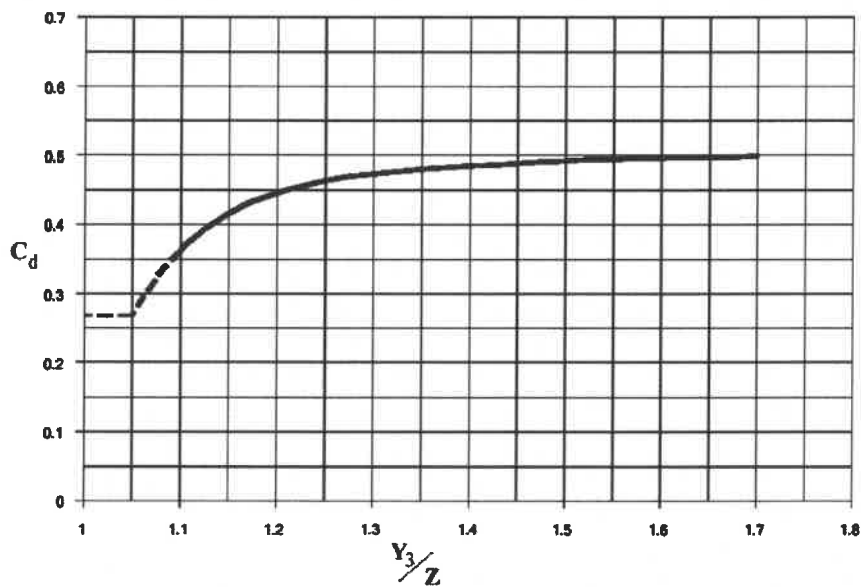


Figura 11: Esempio di flusso non interamente in pressione



Coefficiente di portata per flussi non interamente in pressione

Come si può vedere si può diagrammare la relazione che lega il parametro  $C_d$  al rapporto  $Y_3/Z$ . Esiste inoltre un intervallo di valori in cui il moto non è ben definito ovvero per  $Y_3/Z = 1.0 \div 1.1$ ; in tale intervallo l'equazione precedente non vale.

Per moti interamente in pressione si adotta la seguente formula:

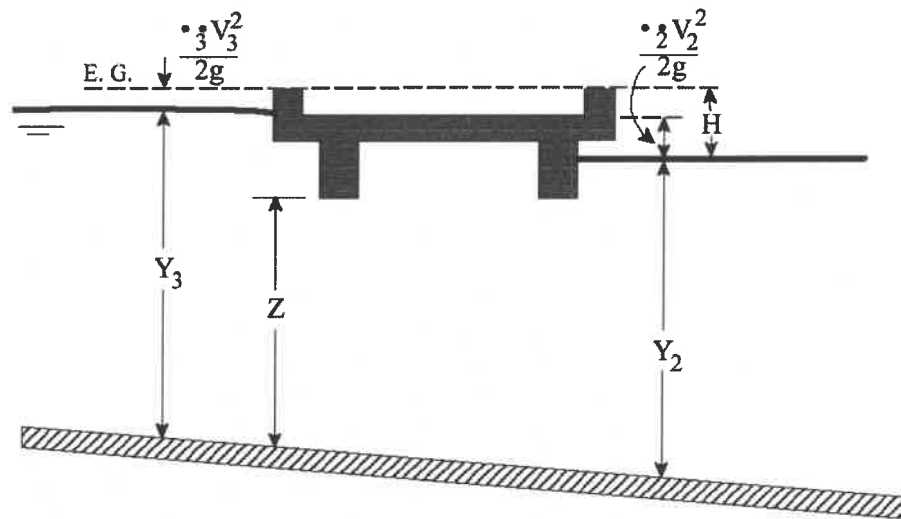
$$Q = C \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

dove:

C = coefficiente di portata per moti in pressione a tubo pieno;

H = differenza tra il gradiente di energia a monte e la quota della superficie dell'acqua a valle;

A = area dell'apertura del ponte.



*Esempio di flusso in pressione "a tubo pieno".*

Generalmente il coefficiente di portata assume valore  $C = 0.8$ , ma l'intervallo di variazione di tale parametro è tra 0.7 e 0.9. Quando si sceglie di utilizzare tale metodologia di calcolo, il programma compara la risposta di questa con i risultati ottenuti tramite il metodo "Low Flow"; si utilizza poi quello che dà la risposta più alta.

Nel caso in cui il flusso superi la corda superiore del ponte si utilizza il procedimento relativo al calcolo per gli stramazzi:

$$Q = C \cdot L \cdot H^{\frac{3}{2}}$$

dove:

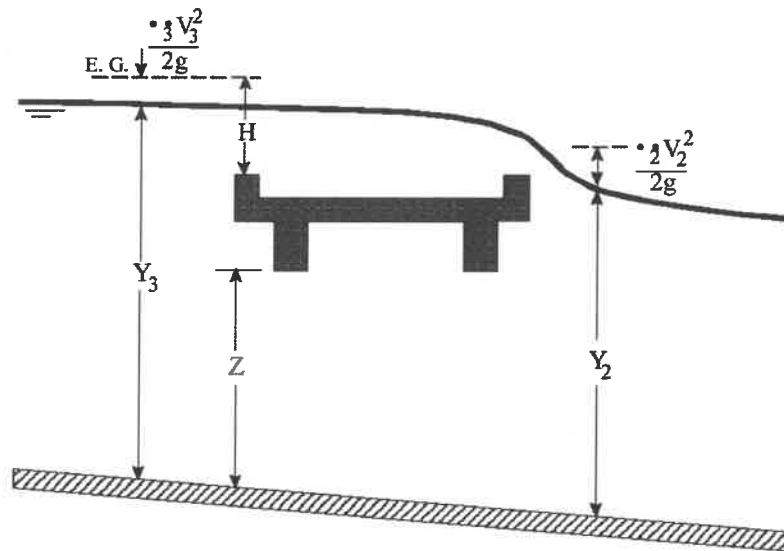
Q = portata totale del flusso sopra lo stramazzo;

C = coefficiente di portata per moti a stramazzo;

L = lunghezza totale dello stramazzo;

H = differenza di carico tra monte e centro dello stramazzo.





*Esempio di ponte con flusso in pressione e stramazzo.*

Il coefficiente  $C$  varia tra 1.38 e 1.71 e, in caso di alveo pulito, dipende principalmente dall'altezza d'acqua che si crea sopra lo stramazzo. Nel caso di canale ostruito da alberi, resti di vecchi ponti o immondizia, il valore di  $C$  diminuisce. Nel caso di stramazzi su ponti (stramazzo rettangolare) è consigliabile utilizzare  $C = 1.44$ . Nel caso di canali costruiti sotto terrapieni di strade si adotta un coefficiente tipico di sezioni trapezoidali pari cioè a  $C = 1.66$ .

### 6.3.) Output della modellazione

Il modello restituisce in *output* il disegno della traccia schematica bidimensionale del sistema fluviale o di canali che si sta indagando, il disegno delle sezioni trasversali, grafici indicanti la tipologia del profilo della corrente sia in direzione longitudinale sia trasversale (solo per le sezioni) rispetto al flusso della corrente e la scala delle portate.

I grafici delle sezioni riportano indicazioni relative all'altezza d'acqua corrispondente ad un certo tempo di ritorno, i limiti di ciò che si può considerare alveo principale, i valori di scabrezza utilizzati (e la variazione trasversale di essi), il nome del fiume/torrente indagato, il nome del ramo (tratto superiore, inferiore, ecc.) in esame e l'identificativo della sezione.

È possibile inoltre leggere i risultati sotto forma di tabelle in cui sono indicati i valori della velocità della corrente nelle varie aree in cui è stata divisa una sezione, le altezze idrometriche, le perdite di energia tra una sezione e quella successiva ed altri parametri idraulici.

## 7.) RISULTATI RELATIVI ALLE VERIFICHE IDRAULICHE

La base degli input geometrici per l'utilizzo di HEC RAS proviene dal rilievo topografico di dettaglio eseguito in corrispondenza del fabbricato sia lungo Rio Rocchino, in un tratto esteso circa 210 m mediante il tracciamento di n. 13 sezioni, che lungo il Fiume Bormida di Mallare al fine di valutare gli eventuali effetti indotti dalla vicinanza della confluenza per un tratto di circa 270 m con tracciamento di n. 12 sezioni topografiche.



Figura 12: Sezioni idrauliche per il Rio Rocchino (in rosso) e er il F. Bormida di Mallare (in verde)

Il tratto indagato ha andamento prevalentemente rettilineo la cui pendenza d'alveo risulta pari a circa il 3% per il Rio Rocchino ed al 0.9% per il Fiume Bormida di Mallare; il modello HEC-RAS è stato implementato con le seguenti portate cautelativamente arrotondate a favore di sicurezza:

Tabella 7: Portate di progetto utilizzate nell'ambito della simulazione

Q [m <sup>3</sup> /s]	T <sub>R</sub> = 50 anni	T <sub>R</sub> = 200 anni	T <sub>R</sub> = 500 anni
Rio Rocchino (alla confluenza con il F. Bormida) desunto da metodo razionale	15	18	20
F. Bormida (a monte della confluenza con il Rio Rocchino) desunto per differenza	124	169	201
F. Bormida (a valle della confluenza)	139	187	221

con il Rio Rocchino) desunto da "Studio Hydrodata"			
---	--	--	--

Le verifiche sono state condotte in regime di moto permanente ed in condizioni di corrente mista, imponendo come condizioni al contorno di monte e di valle l'altezza d'acqua in condizioni di moto uniforme.

### 7.1.) Determinazione della scabrezza

Per quanto concerne il parametro di scabrezza, essa è stata valutata con riferimento a quanto riportato nella "Direttiva contenente i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche ed interesse pubblico all'interno delle fasce "A" e "B"" che propone l'utilizzo della seguente formula fornite dalle tabelle di "Open Channel Hydraulics", Ven te Chow, McGraw Hill International Editions:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m_5$$

Condizioni dell'alveo		Valori	
Materiale costituente l'alveo	Terra	n <sub>0</sub>	0.020
	Roccia		0.025
	Alluvione grossolana		0.028
	Alluvione fine		0.024
Irregolarità della superficie della sezione	Trascurabile	n <sub>1</sub>	0.000
	Bassa		0.005
	Moderata		0.010
	Elevata		0.020
Variazione della forma e della dimensione della sezione trasversale	Graduale	n <sub>2</sub>	0.000
	Variazione occasionalmente		0.005
	Variazione frequente		0.010- 0.015
Effetto relativo di ostruzioni	Trascurabile	n <sub>3</sub>	0.000
	Modesto		0.010- 0.015
	Apprezzabile		0.020- 0.030
	Elevato		0.040- 0.080
Effetto della vegetazione	Basso	n <sub>4</sub>	0.005- 0.010
	Medio		0.010- 0.025
	Alto		0.025- 0.050
	Molto alto		0.050- 0.100
Grado di sinuosità dell'alveo	Modesto	m <sub>5</sub>	1.000
	Apprezzabile		1.150
	Elevato		1.300

La scabrezza delle sezioni, che rappresenta la resistenza al moto della corrente, è stata calcolata assumendo le seguenti ipotesi:

$n_0$  = sulla base del sopralluogo e del rilievo si è evidenziata per il fondo alveo la presenza di materiale alluvionale di medie dimensioni ( $n_0 = 0.028$ );

$n_1$  = per quanto concerne l'irregolarità della sezione si ritiene trascurabile l'influenza di tale parametro ( $n_1 = 0.005$ ),

$n_2$  = le sezioni del corso d'acqua non presentano particolare variazione lungo il percorso; inoltre in considerazione del fatto che il codice di calcolo HEC-RAS utilizzato per la modellazione idraulica tiene in conto delle perdite di carico dovute ad allargamenti e restringimenti nella geometria delle sezioni mediante opportuni coefficienti di espansione e contrazione della corrente, si ritiene congruo assumere un valore di  $n_2$  pari a 0.0,

$n_3$  = l'effetto relativo alle ostruzioni può essere ritenuto nullo in quanto sia la vegetazione che le pile e le spalle delle strutture interferenti con l'alveo sono tenute in conto mediante l'utilizzo di altri parametri ( $n_4$ ) nonché attraverso lo stesso codice di calcolo ( $n_3 = 0.0$ ),

$n_4$  = per quanto concerne l'effetto della vegetazione si ritiene che, essa sia ridotta nell'alveo inciso e si ritiene corretta l'assunzione di un valore pari a  $n_4 = 0.005$ , mentre per le aree golenali, data la presenza di arbusti si ritiene di considerare un'influenza media con  $n_4 = 0.020$ ,

$m_5$  = sia il tratto di Rio Rocchino che il tratto di Fiume Bormida di Mallare indagati presentano un andamento pressoché rettilineo, pertanto in grado di sinuosità dell'alveo viene cautelativamente ritenuto modesto ( $m_5 = 1.00$ ),

Pertanto a seguito delle considerazioni di cui sopra e sulla base della formulazione riportata verrà assunto:

$n = 0,033 \text{ s/m}^{-1/3}$  per l'alveo inciso;

$n = 0,048 \text{ s/m}^{-1/3}$  cautelativamente per le aree esterne.

## 7.2) Analisi dei risultati

Dalle verifiche idrauliche svolte e come si evince dai risultati di calcolo allegati alla presente, lungo tutto il tratto di Fiume Bormida di Mallare indagato si rileva una sostanziale conferma delle perimetrazioni riportate sulla DGR n. 1064/2018 con le

portate cinquantennali che si attestano lungo il limite morfologico dell'alveo inciso mentre le portate maggiormente gravose interessano la piana golenale circostante.

Lungo il Rio Rocchino le piene risultano contenute in alveo fino alla sezione n. 7, già ricompresa peraltro nell'esondato cinquecentennale del Fiume Bormida; dalla sezione n. 5 e procedendo verso valle le dinamiche idrauliche sembrano invece risentire dei livelli raggiunti in corrispondenza della confluenza dalle piene che transitano lungo il corso d'acqua principale provocando così dei profili di rigurgito verso monte. Le sponde naturali del Rio Rocchino pertanto non sono più in grado di contenere le portate duecentennali e la perimetrazione delle aree allagabili viene ricompresa all'interno dell'esondato del Fiume Bormida come da DGR n. 1064/2018. Lo stesso comportamento può essere evidenziato per le piene cinquantennali in corrispondenza della confluenza, tuttavia eventi con tale ricorrenza di accadimento non andranno ad interessare la porzione di fabbricato destinata alla realizzazione del nuovo spazio coperto pertinenziale.

Entrambi gli attraversamenti indagati (Sez. 1.11 per il F. Bormida di Mallare e sez. n. 12 per il Rio Rocchino) consentono inoltre il transito delle portate duecentennali con un franco di sicurezza superiore ad 1 m.

Si può desumere da quanto sopra esposto, che le dinamiche idrauliche del tributario minore non individuano ulteriori aree a pericolosità maggiore rispetto a quelle già presenti per il Fiume Bormida, risultando conseguentemente vigenti le norme di cui alla D.G.R. n. 1064/2018.

Dalle verifiche idrauliche svolte si ritiene pertanto che la realizzazione di un nuovo spazio coperto pertinenziale, risultante all'interno della fascia di pericolosità duecentennale del Fiume Bormida di Mallare (Area PI2) così come riconfermata dalle verifiche idrauliche svolte, sia COMPATIBILE con il regime idraulico del Rio Rocchino e che non sussistono condizioni ostative alla realizzazione delle opere.

## 8.) COMPATIBILITÀ DELL'INTERVENTO

Il Fiume Bormida di Mallare, nel tratto in corrispondenza del fabbricato, risulta indagato ai fini della perimetrazione delle aree a rischio idraulico e le corrispondenti fasce a differente pericolosità costituiscono riferimento normativo per l'assentibilità degli interventi urbanistico-edilizi che vengono proposti sull'area.

La porzione di edificio sul quale verrà eseguito l'intervento è localizzata in area "PI2 – Aree a pericolosità elevata", corrispondente alle aree allagabili con tempo di ritorno 200 anni, ovvero alla Fascia "B", e le relative norme di cui all'allegato "A" della D.G.R. 1064/2018 consentono "gli interventi di ristrutturazione edilizia, così come definiti all'art. 3, comma 1, lett. d, del D.P.R. 380/2001". Trattandosi quindi di un intervento di ristrutturazione edilizia per realizzazione di uno spazio coperto pertinenziale, esso rientra quindi tra quelli previsti nell'ambito della disciplina di tutela di cui alla D.G.R. 1064/2018.

Inoltre, ad ulteriore riconferma, si precisa che, sulla base di quanto stabilito dalla DGR 723/2013 recante "Indirizzi interpretativi in merito alle definizioni di interventi urbanistico-edilizi richiamate nella normativa dei piani di bacino per la tutela dal rischio idrogeologico", nelle aree inondabili a tempo di ritorno 50 anni sono consentiti "*...gli interventi che non si configurino come interventi di nuova edificazione ai sensi della normativa di piano di bacino, in termini cioè di pericolosità e rischio, come specificato con DGR 848/2003, da verificarsi da parte del Comune competente. A titolo di esempio risultano ammissibili in linea generale, interventi quali pali, tralicci, condotte di servizi, tubature, recinzioni, balconi, verande o tettoie di limitate dimensioni a servizio di edifici esistenti*" (cfr. punto 1 lettera a) comma 2 dell'allegato alla DGR 723/2013). La fascia con tempo di ritorno di 200 anni nella quale è da inserirsi l'opera in progetto, essendo caratterizzata da pericolosità inferiore rispetto alla precedente, consente tutti gli interventi già ammessi nella fascia cinquantennale.

La disciplina dettata dalle aree di pericolosità idraulica lungo il fiume Bormida ed il sistema vincolistico ad essi associato è inoltre da ritenersi prevalente rispetto ad ogni altra previsione pianificatoria a vari livelli.

In merito alla presenza del Rio Rocchino, le verifiche idrauliche di dettaglio svolte lungo il Fiume Bormida ed il suo affluente, risultano confermare le perimetrazioni riportate nella cartografia allegata alla DGR n. 1064/2018, poiché tengono conto anche degli eventuali apporti lungo il tributario minore; le quote topografiche raggiunte dalle piene del corpo idrico principale in corrispondenza della confluenza influenzano infatti lo

scarico delle acque. Trattandosi peraltro di portate molto inferiori rispetto a quelle del F. Bormida si ritiene plausibile e cautelativa l'ipotesi che la perimetrazione delle relative fasce sia tale da tenere in conto anche del potenziale effetto di rigurgito del rio minore.

Come si evince dalle tavole progettuali, l'intervento di ristrutturazione edilizia risulta altresì esterno alla fascia di inedificabilità assoluta di 10 m così come definita dal R.R. 3/2011 sia per quanto concerne il Fiume Bormida di Mallare che per quanto concerne il Rio Rocchino.

## 9.) CONCLUSIONI

Nell'ambito dell'intervento di ristrutturazione edilizia dello stabilimento P.F.M. s.r.l. operante nel settore della produzione di pellet e posto in area limitrofa al Fiume Bormida di Mallare ed al Rio Rocchino è stata valutata la compatibilità idraulica degli interventi in progetto in riferimento agli strumenti pianificatori presenti sull'area, con particolare riguardo a quanto previsto dalla D.G.R. n. 1064 del 14/12/2018 "*L.R. 41/2014, art. 33, c.6 e Norme di Attuazione Piano assetto idrogeologico (PAI) Fiume Po, art. 58 – Adozione disciplina di tutela per i bacini padani ricadenti in Provincia di Savona e Imperia*".

Sulla base dell'analisi del regime vincolistico, degli strumenti pianificatori e delle norme ad essi collegate, tenuto conto altresì del rispetto delle fasce di inedificabilità assoluta, si ritiene l'intervento in progetto COMPATIBILE sotto l'aspetto idraulico.

Per completezza di trattazione è stato poi analizzato il regime idrologico ed idraulico del Rio Rocchino in corrispondenza della confluenza con il Fiume Bormida di Mallare, con particolare riferimento alle portate con probabilità di ricorrenza cinquantennale, duecentennale e cinquecentennale; dopo aver eseguito un rilievo topografico di dettaglio del tratto di interesse è stato quindi allestito un modello numerico monodimensionale in condizioni di moto permanente finalizzato all'accertamento dei parametri richiesti per la regolarità degli interventi in progetto ai fini idraulici. Le risultanze delle verifiche idrauliche non individuano ulteriori aree a pericolosità maggiore rispetto a quelle già presenti per il Fiume Bormida e risultano confermare le perimetrazioni riportate nella cartografia allegata alla DGR n. 1064/2018, poiché tengono conto anche degli eventuali apporti delle piene lungo il tributario minore; sull'area di intervento vigono pertanto le norme delle aree "PI2 – Aree a pericolosità elevata".

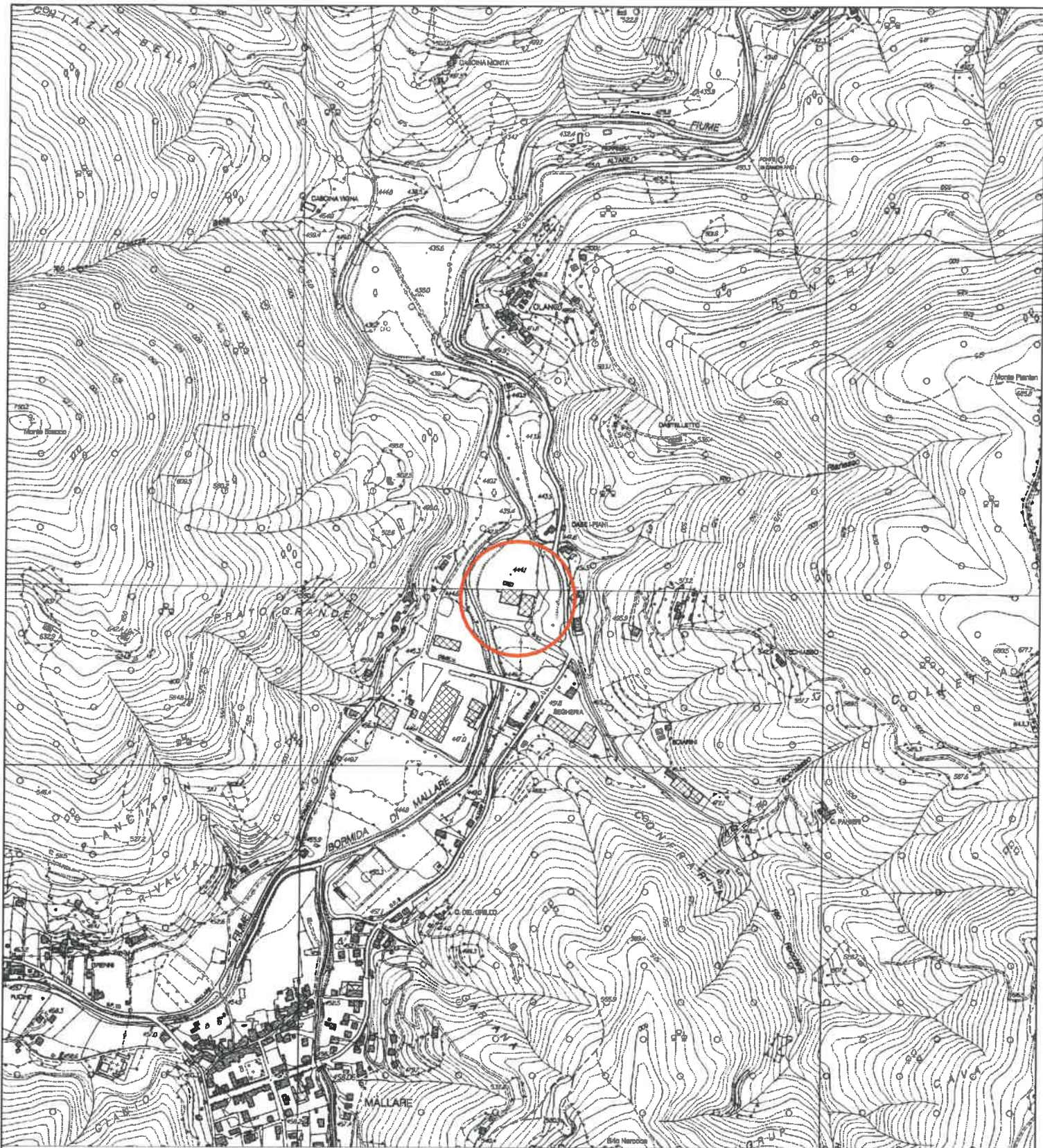
Alla luce delle considerazioni sopra esposte si ritiene quindi che l'intervento in progetto comprendente la ristrutturazione edilizia per la realizzazione di uno spazio coperto a servizio dello stabilimento di produzione pellet sia COMPATIBILE con il regime idraulico dell'area.



# ALLEGATI

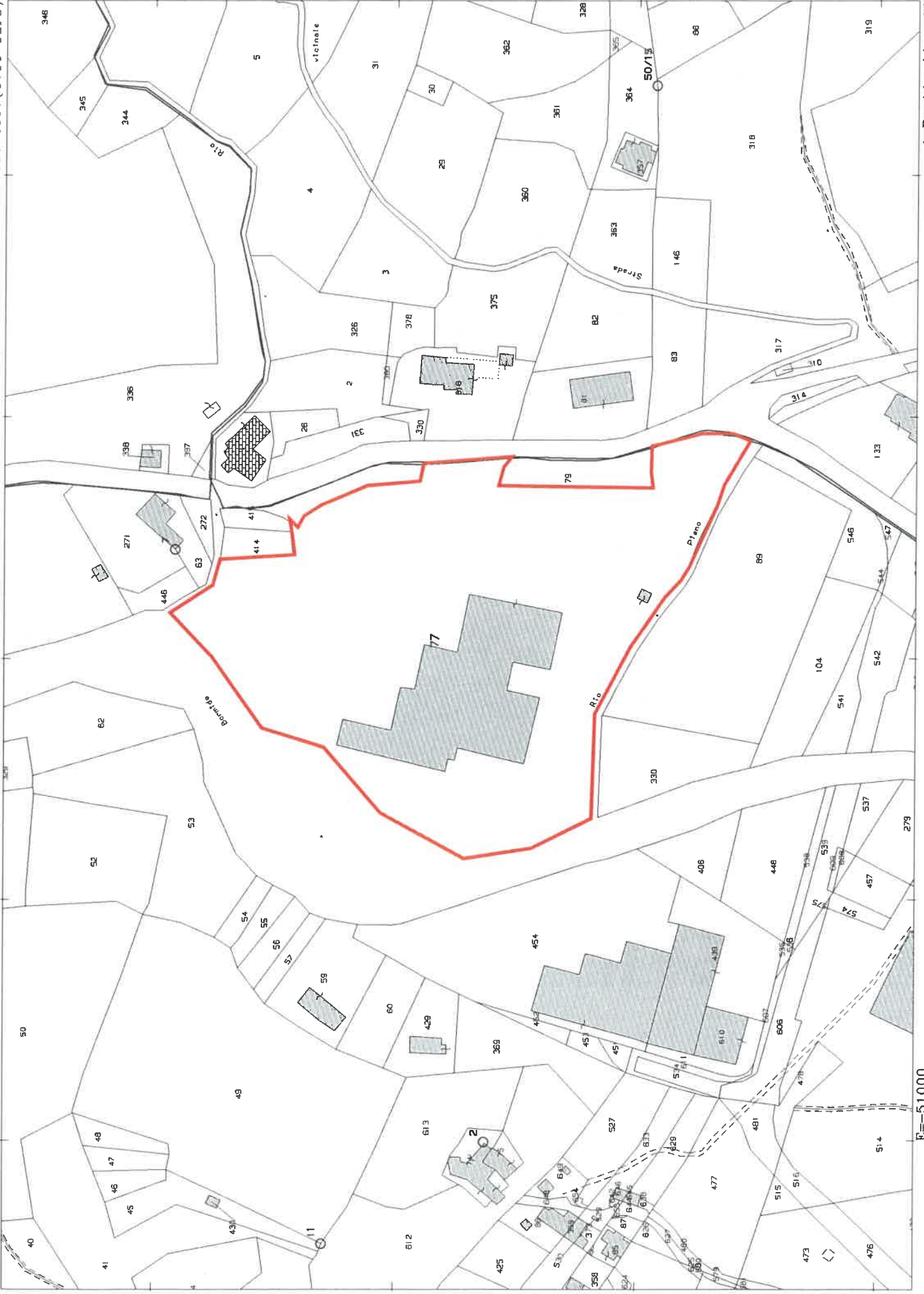


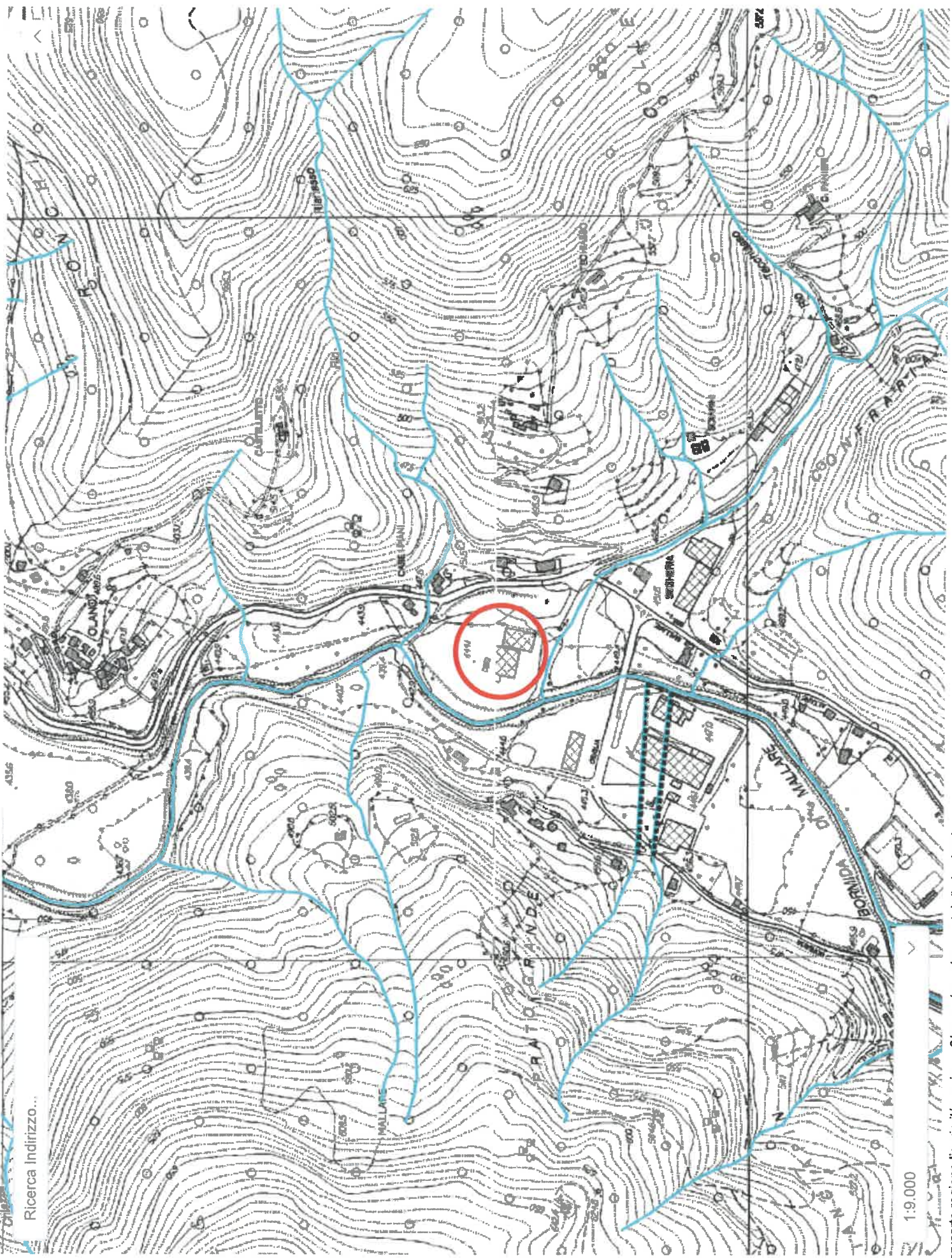
Immagini ©2019 Google, Dati cartografici ©2019 100 m

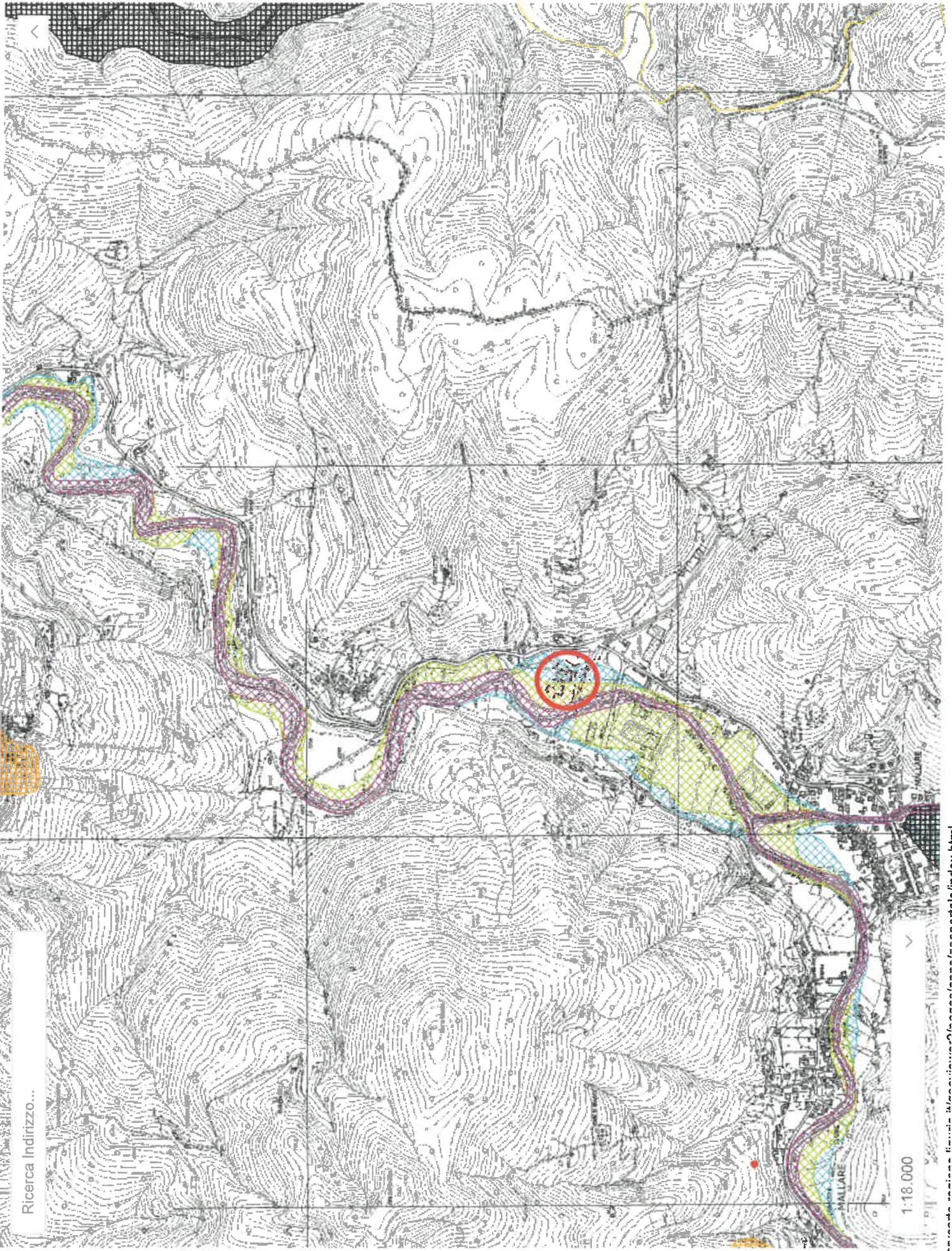


**STRALCIO CARTA TECNICA REGIONALE**  
**Foglio 228120 - 228080**

**Scala 1:10.000**

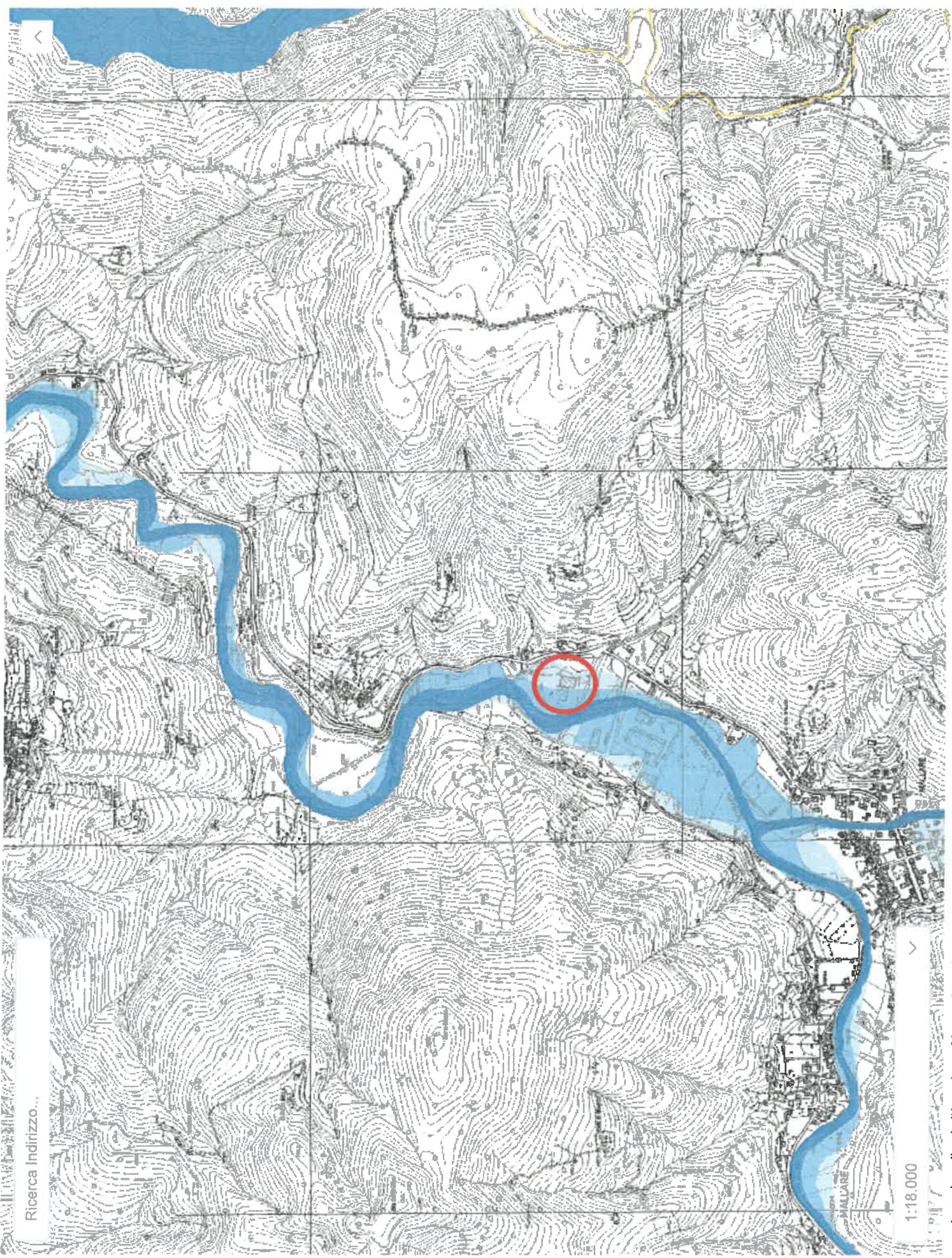






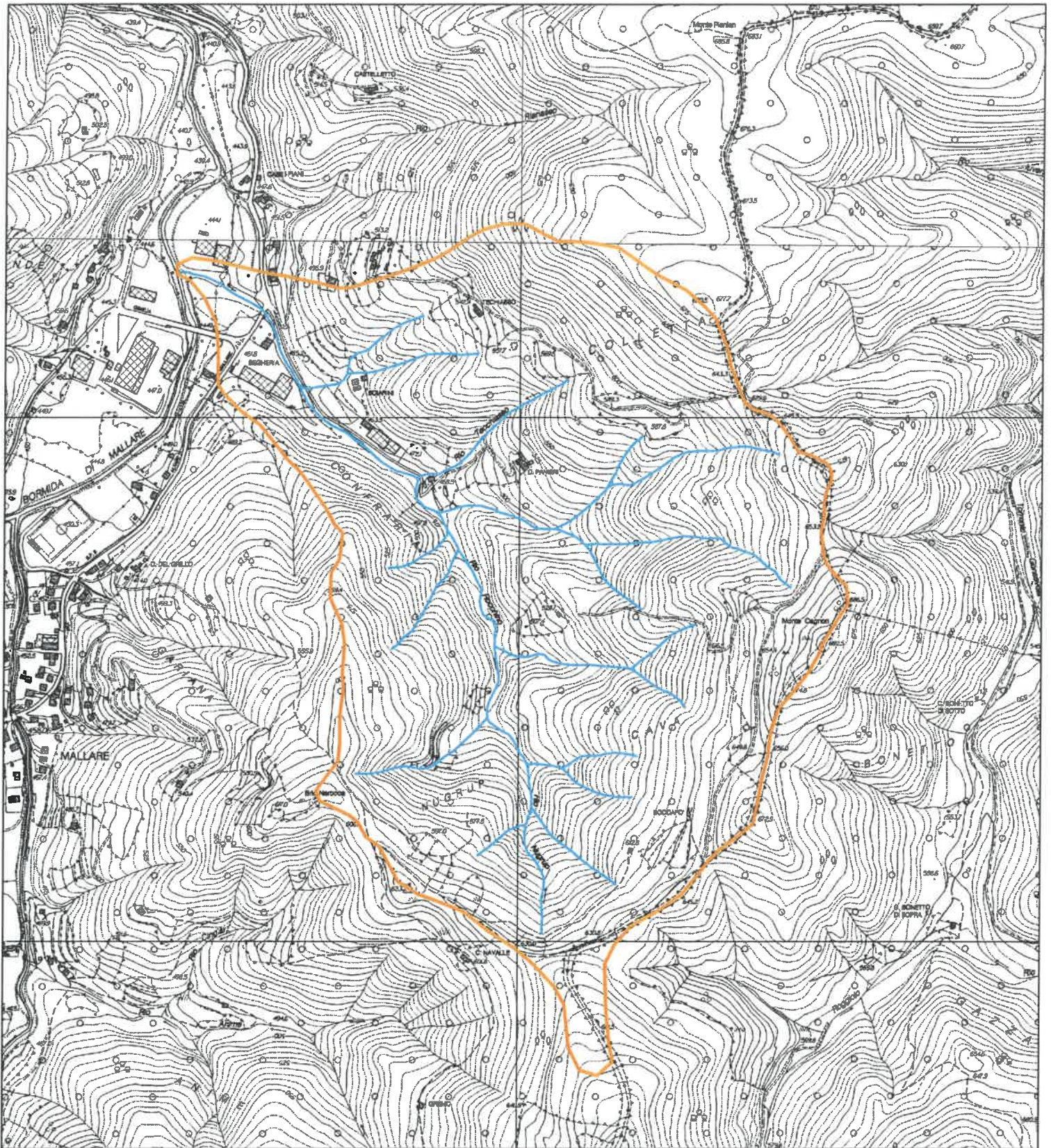
Ricerca Indirizzo...

1:18.000



Ricerca Indirizzo...

1:18.000



**BACINO IDROGRAFICO RIO ROCCHINO**  
**Foglio 228120 - 228080**

**Scala 1:10.000**

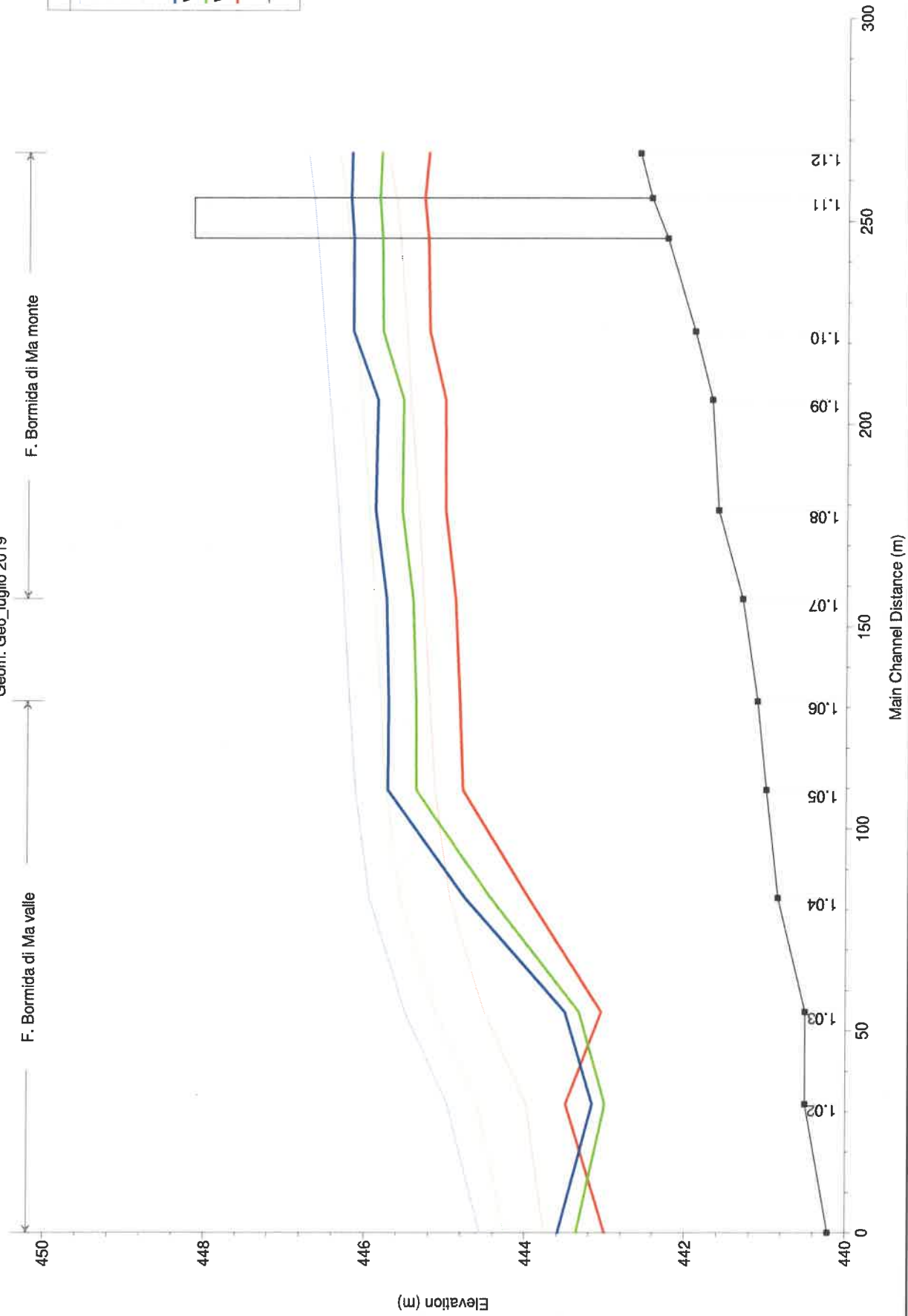


Rio Rocchino Mallare Plan: Progetto

Geom: Geo\_luglio 2019

F. Bormida di Ma valle F. Bormida di Ma monte

Legend	
EG Tr500	(Blue line)
EG Tr200	(Green line)
EG Tr50	(Red line)
WS Tr500	(Blue line)
WS Tr200	(Green line)
WS Tr50	(Red line)
Ground	(Black line with square markers)



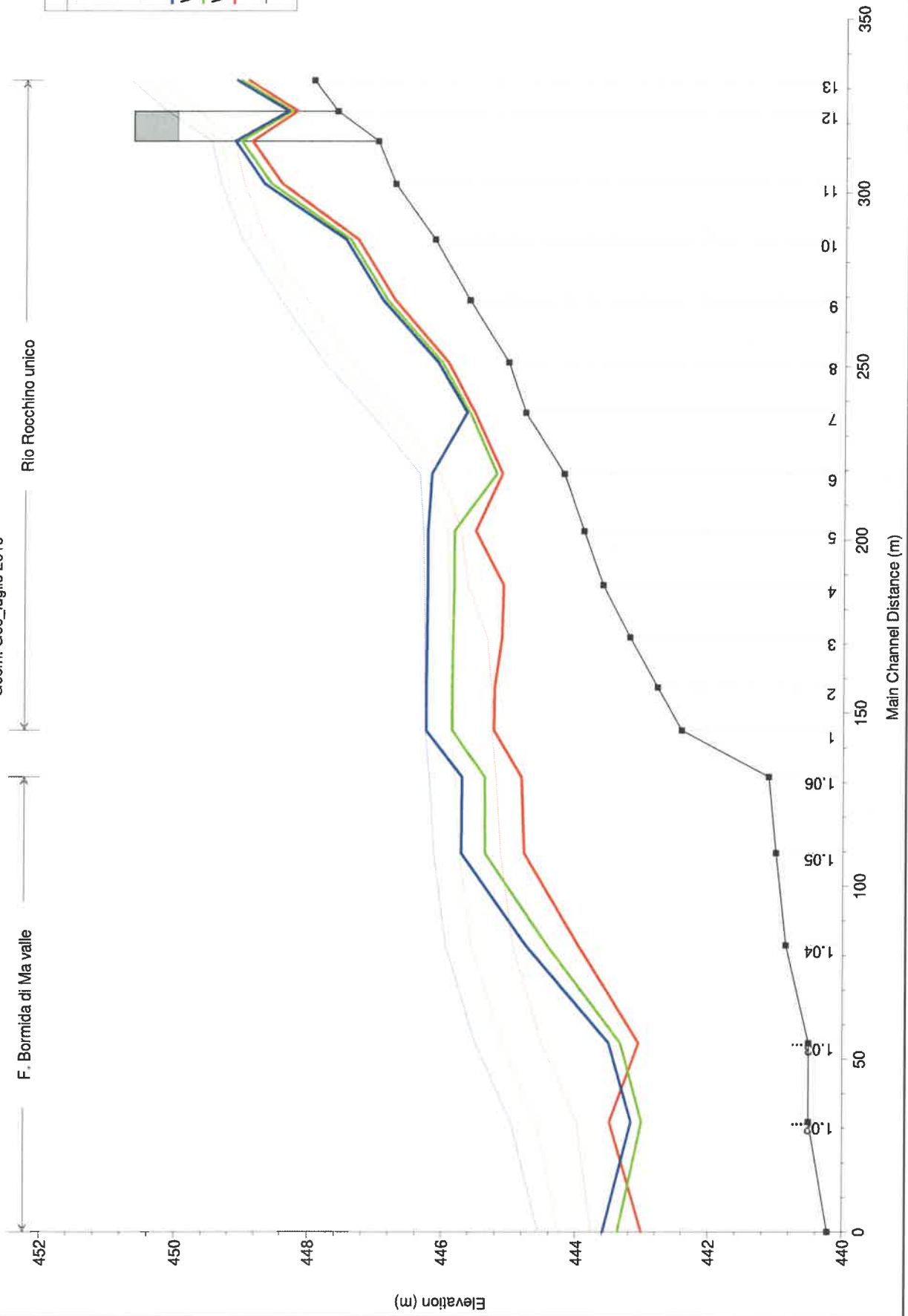
# Rio Rocchino Mallare Plan: Progetto

Geom: Geo\_luglio 2019

F. Bormida di Ma valle

Rio Rocchino unico

Legend	
EG Tr500	(Blue line)
EG Tr200	(Green line)
EG Tr50	(Red line)
WS Tr500	(Dark Blue line)
WS Tr200	(Light Green line)
WS Tr50	(Light Red line)
Ground	(Black line with squares)



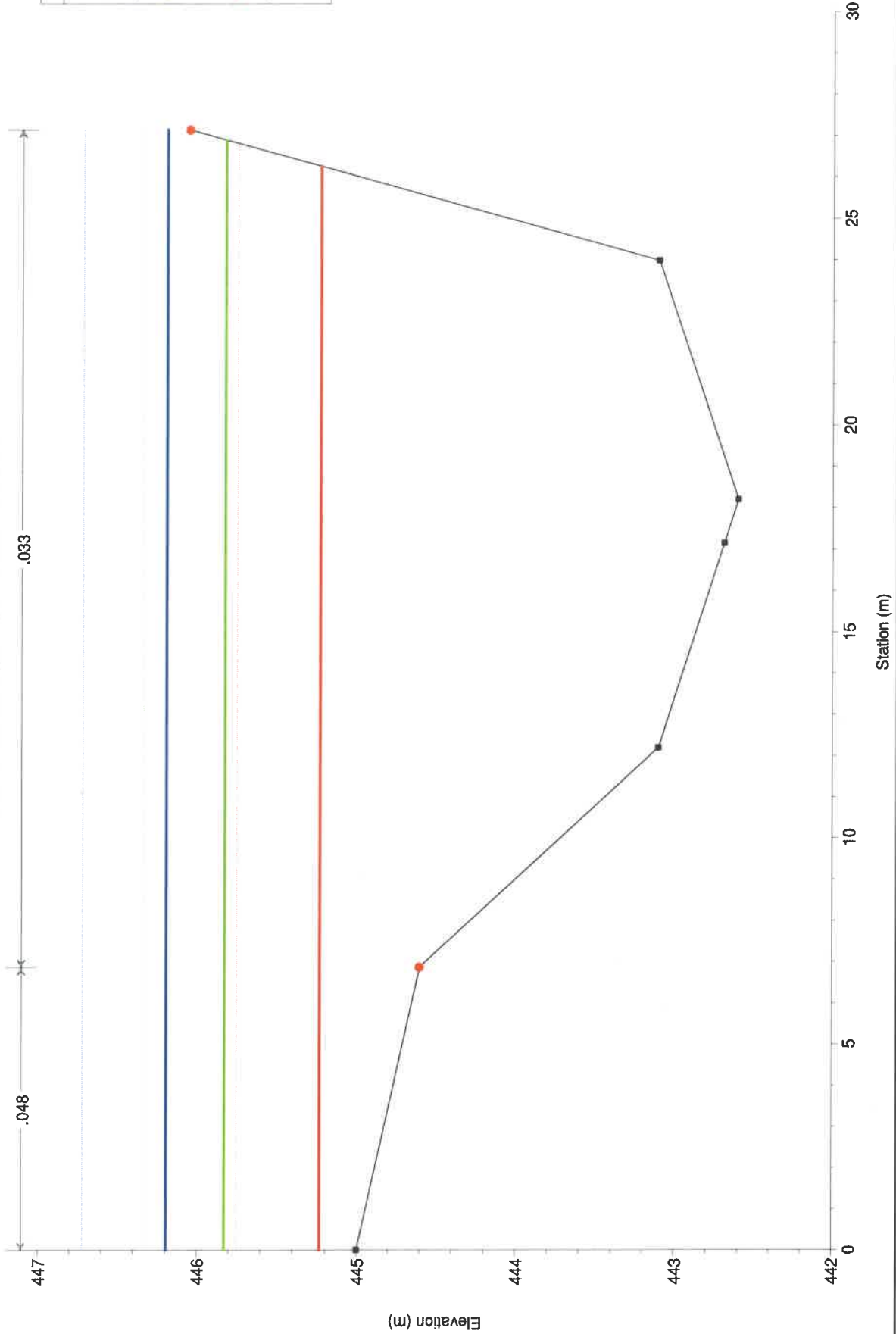
# Rio Rocchino Mallare Plan: Progetto

Geom: Geo\_luglio 2019

River = F. Bormida di Ma Reach = monte RS = 1.12

0.048      0.033

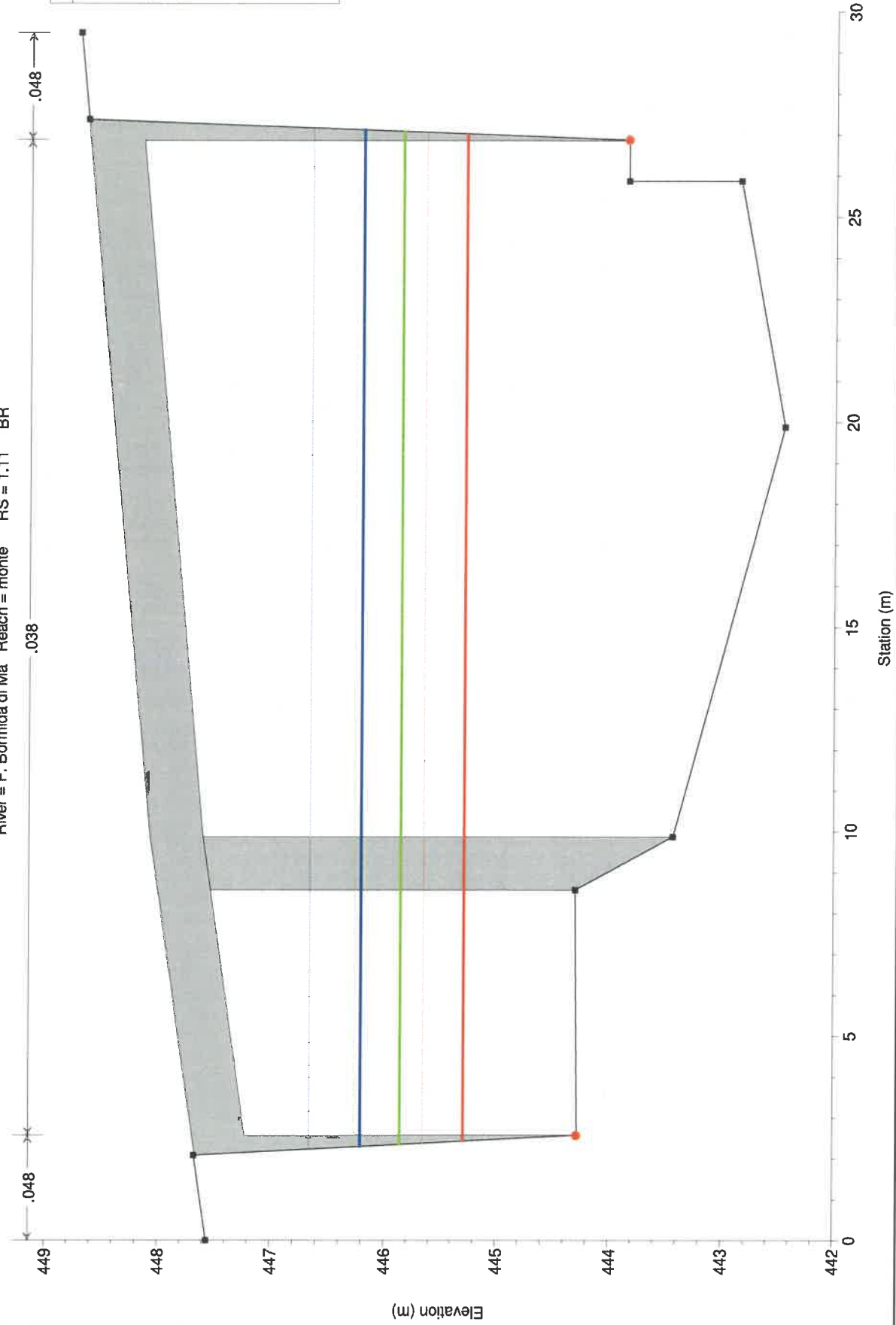
Legend	
EG Tr500	
EG Tr200	
WS Tr500	
WS Tr200	
EG Tr50	
WS Tr50	
Ground	■
Bank Sta	●



# Rio Rocchino Mallare Plan: Progetto

Geom: Geo\_luglio 2019

River = F. Bormida di Ma Reach = monte RS = 1.11 BR



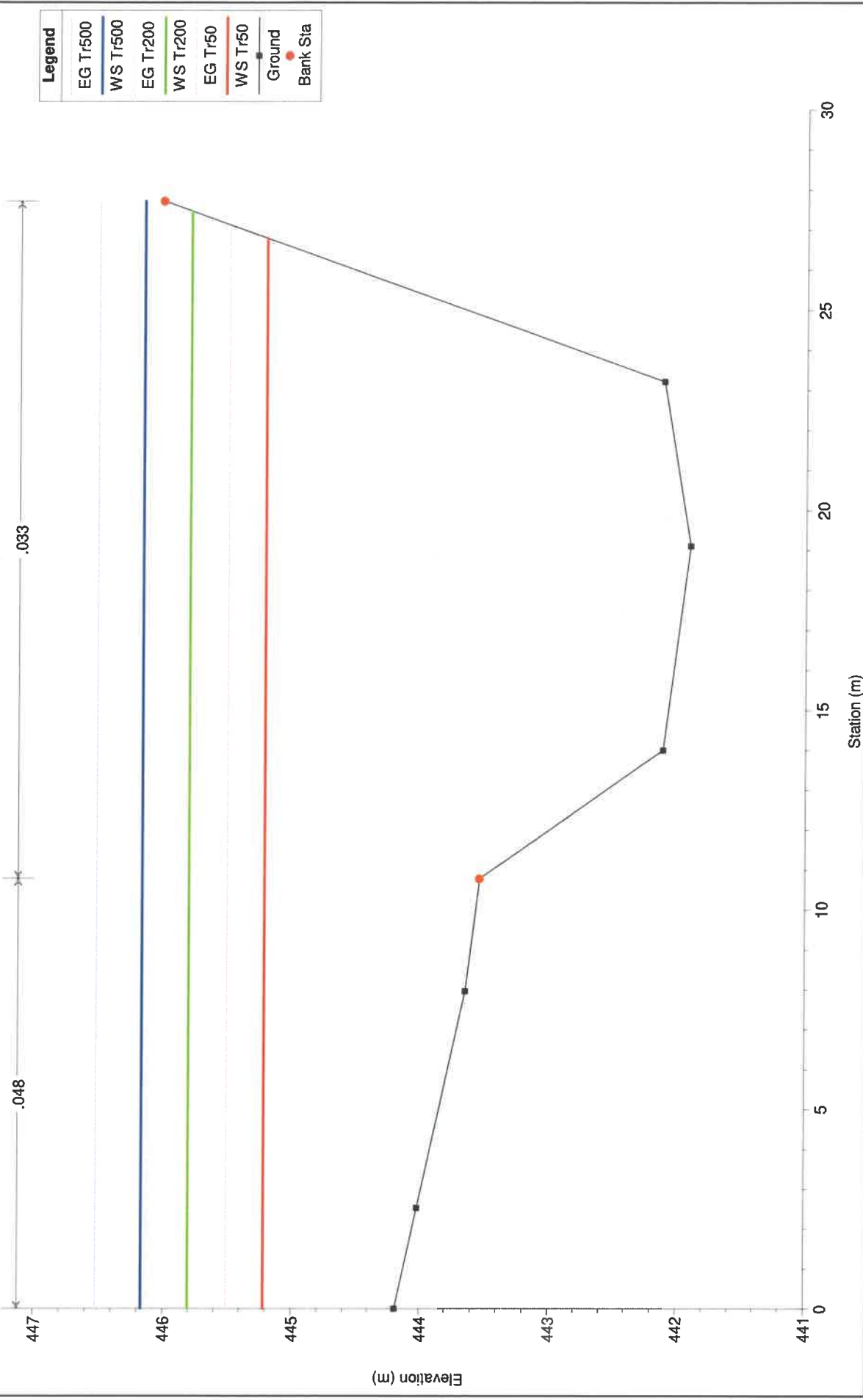
Legend	
EG Tr500	Blue line
EG Tr200	Green line
WS Tr500	Blue line
WS Tr200	Green line
WS Tr50	Red line
Ground	Black line with square markers
Bank Sta	Red dot



# Rio Rocchino Mallare Plan: Progetto

Geom: Geo\_Luglio 2019

River = F. Bormida di Ma Reach = monte RS = 1.10



.048

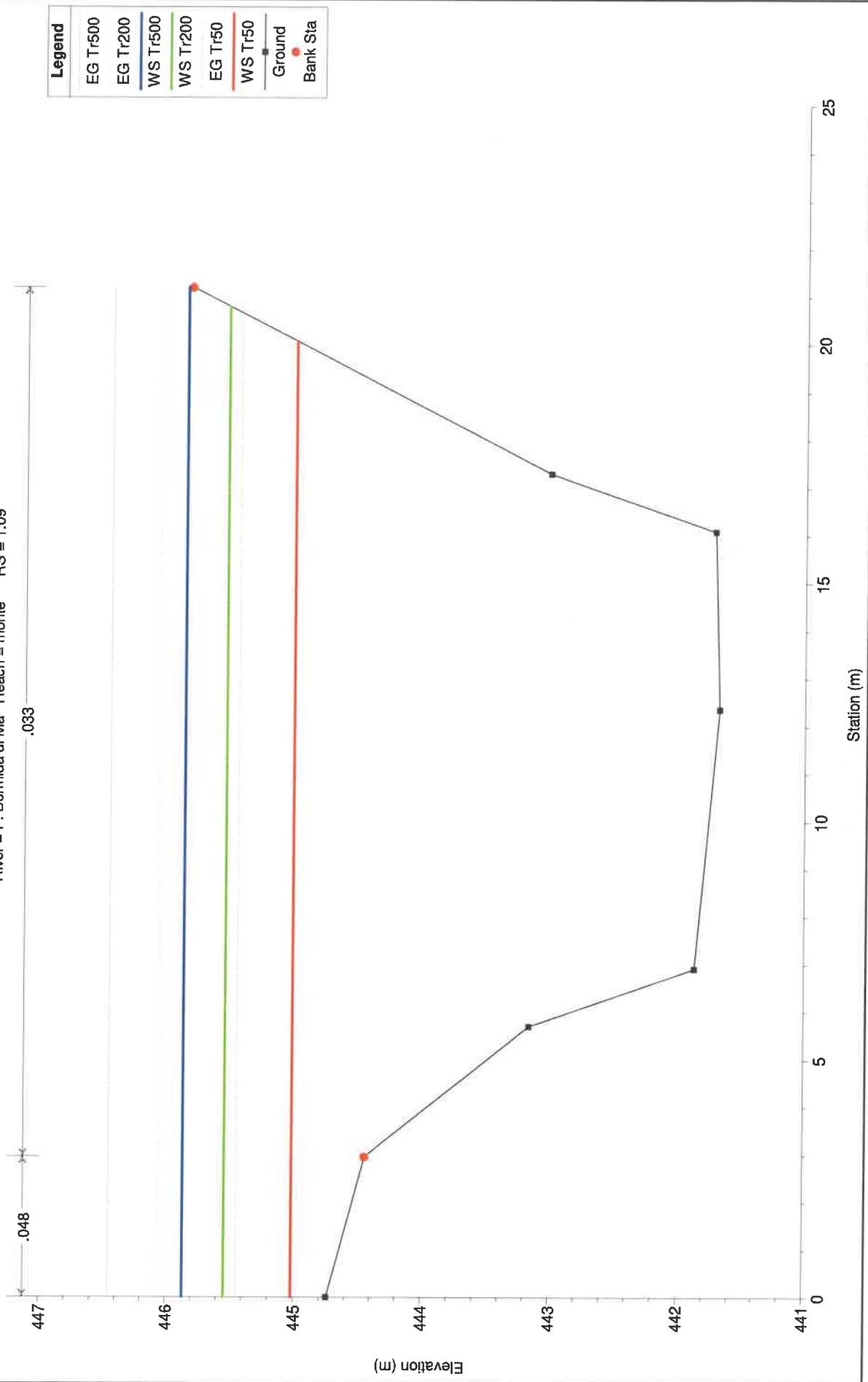
.033

Legend	
EG Tr500	Blue line
WS Tr500	Dark blue line
EG Tr200	Green line
WS Tr200	Light green line
EG Tr50	Red line
WS Tr50	Light red line
Ground	Black line with square markers
Bank Sta	Red dot

# Rio Rocchino Mallare Plan: Progetto

Geom: Geo\_Luglio 2019

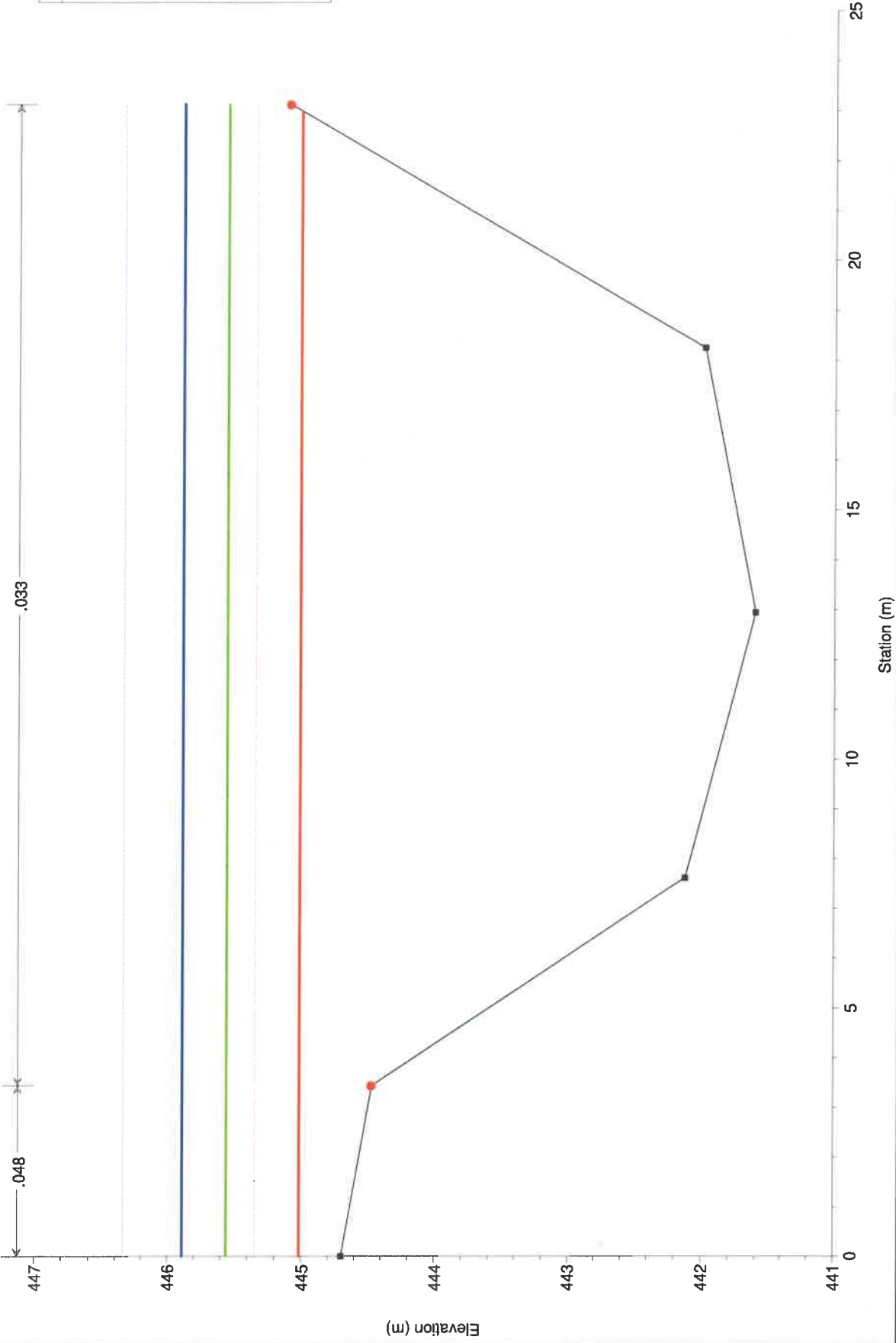
River = F. Bormida di Ma Reach = monte RS = 1.09



# Rio Rocchino Mallare Plan: Progetto

Geom: Geo\_Luglio 2019

River = F. Bormida di Ma Reach = monte RS = 1.08



0.048

0.033

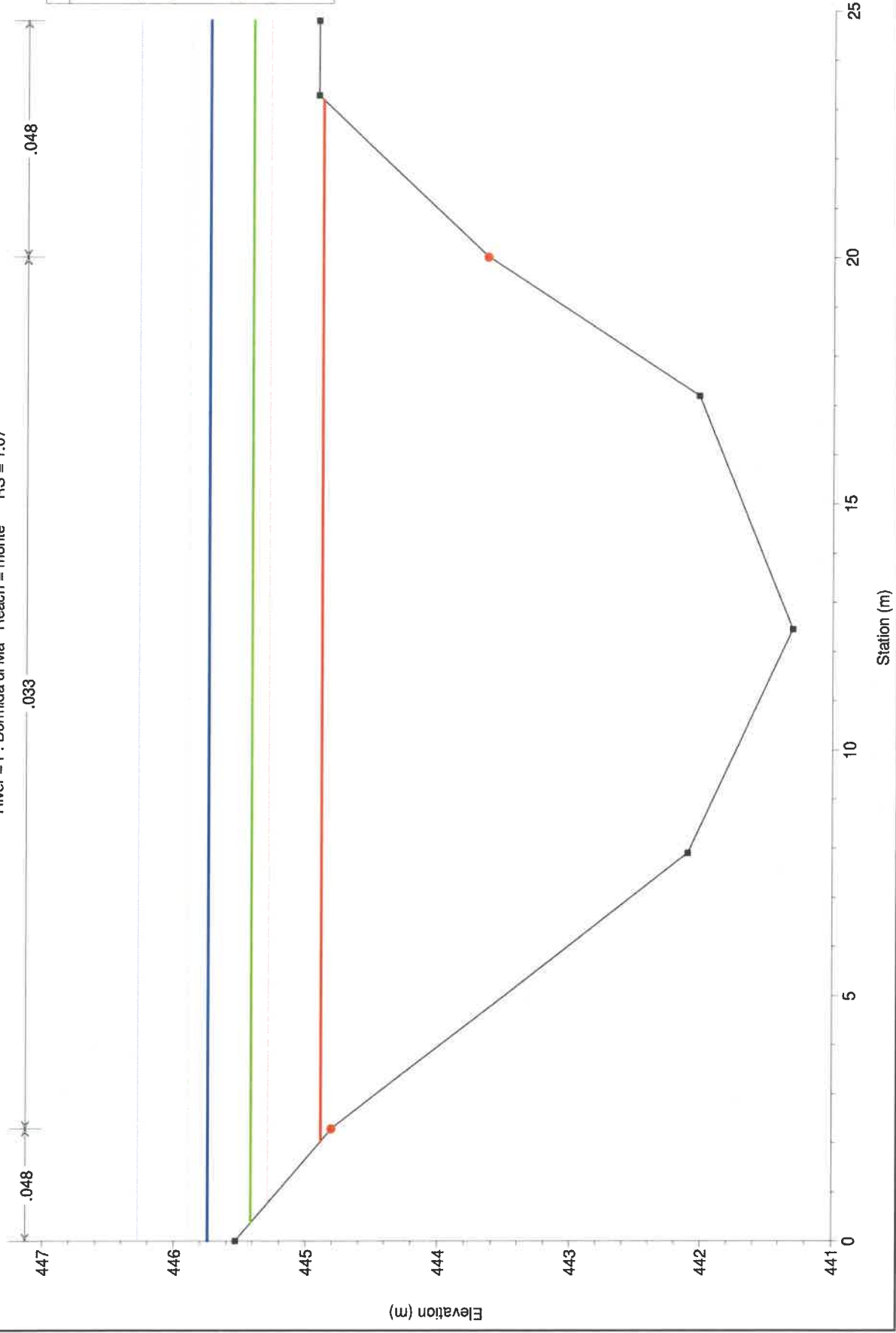
Legend	
EG Tr500	—
EG Tr200	—
WS Tr500	—
WS Tr200	—
EG Tr50	—
WS Tr50	—
Ground	—■—
Bank Sta	—●—



# Rio Rocchino Mallare Plan: Progetto

Geom: Geo\_luglio 2019

River = F. Bormida di Ma Reach = monte RS = 1.07



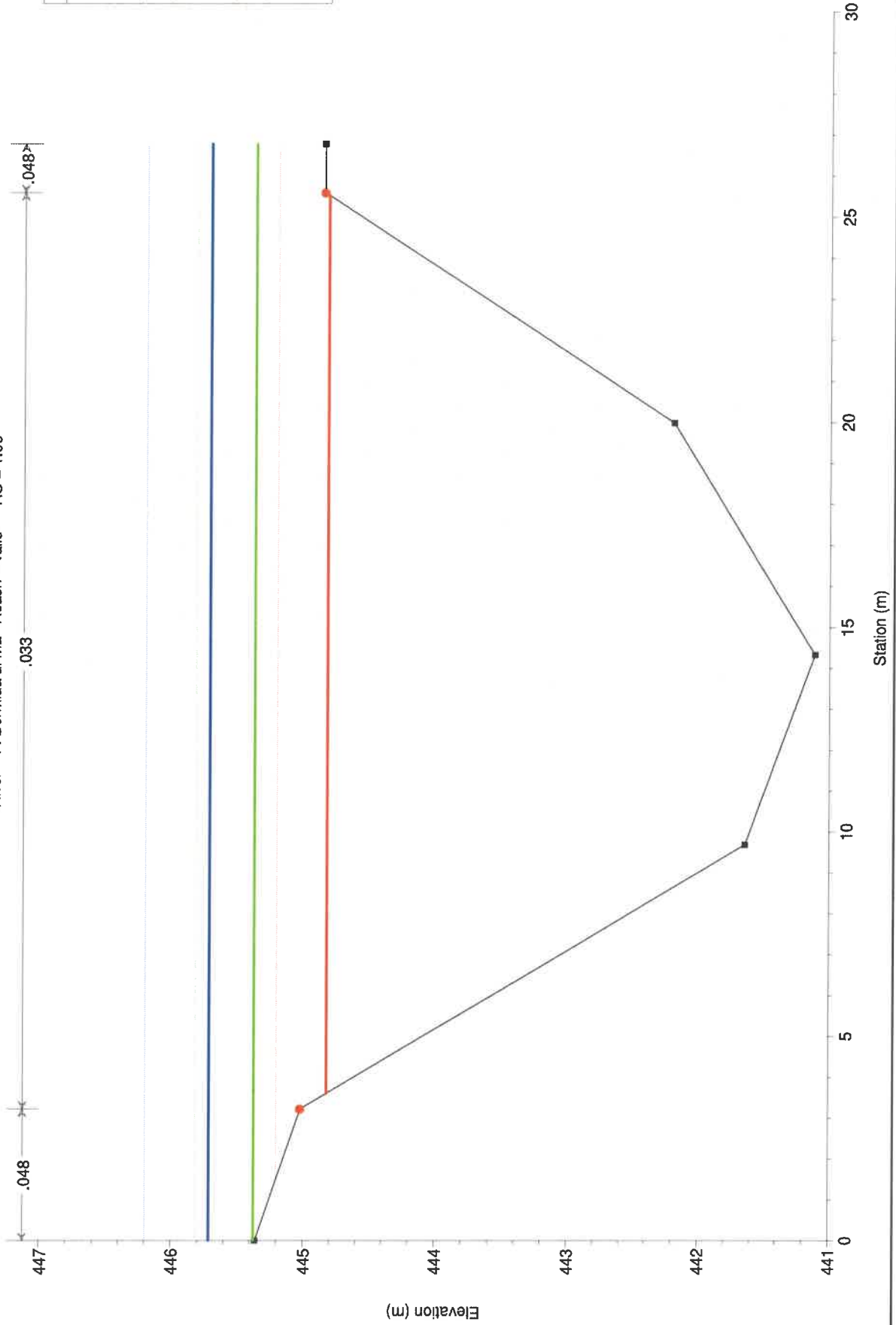
# Rio Rocchino Mallare Plan: Progetto

Geom: Geo\_Luglio 2019

River = F. Bormida di Ma Reach = valle RS = 1.06



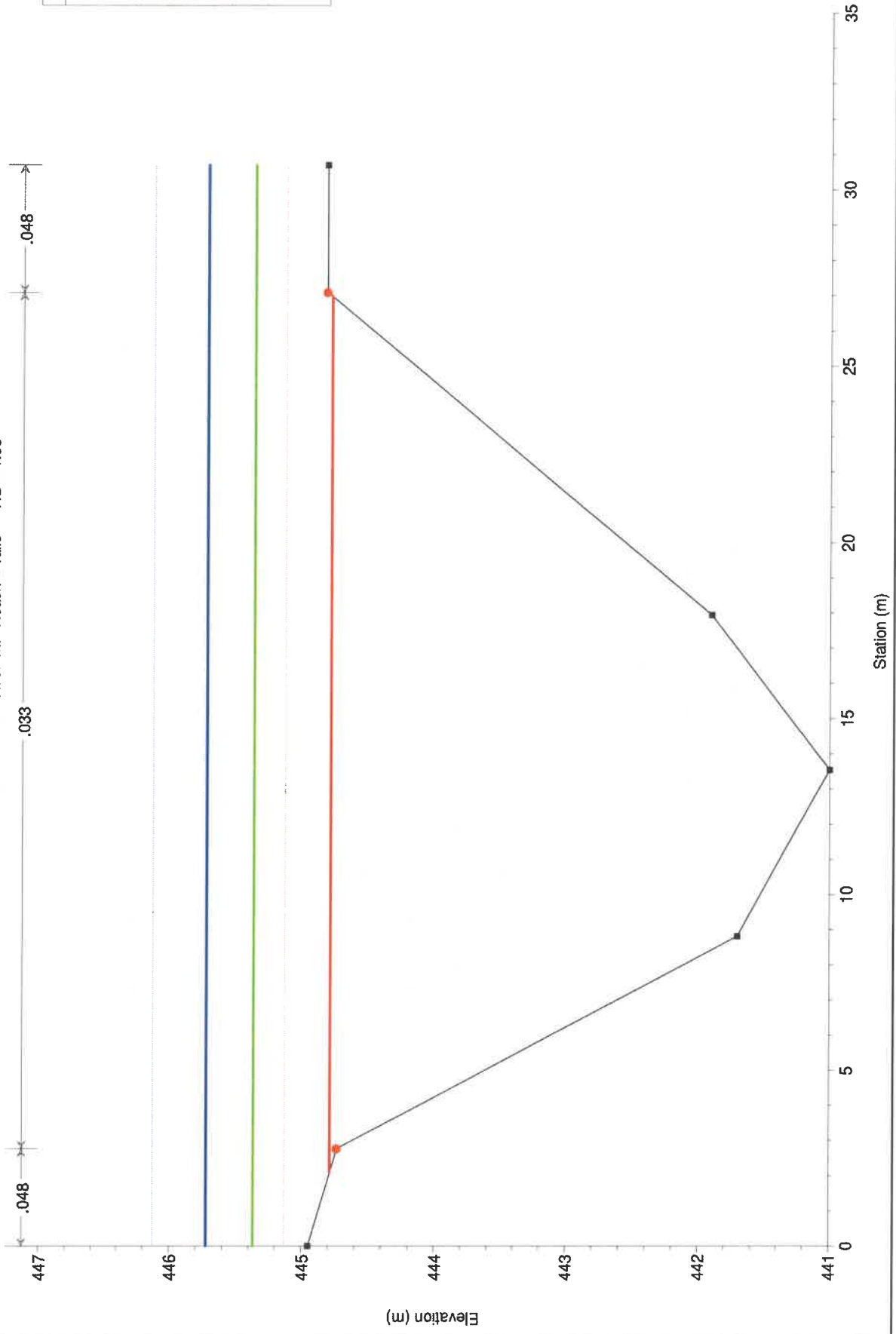
Legend	
EG Tr500	—
EG Tr200	—
WS Tr500	—
WS Tr200	—
EG Tr50	—
WS Tr50	—
Ground	—
Bank Sta	●



# Rio Rocchino Mallare Plan: Progetto

Geom: Geo\_Luglio 2019

River = F. Bormida di Ma Reach = valle RS = 1.05

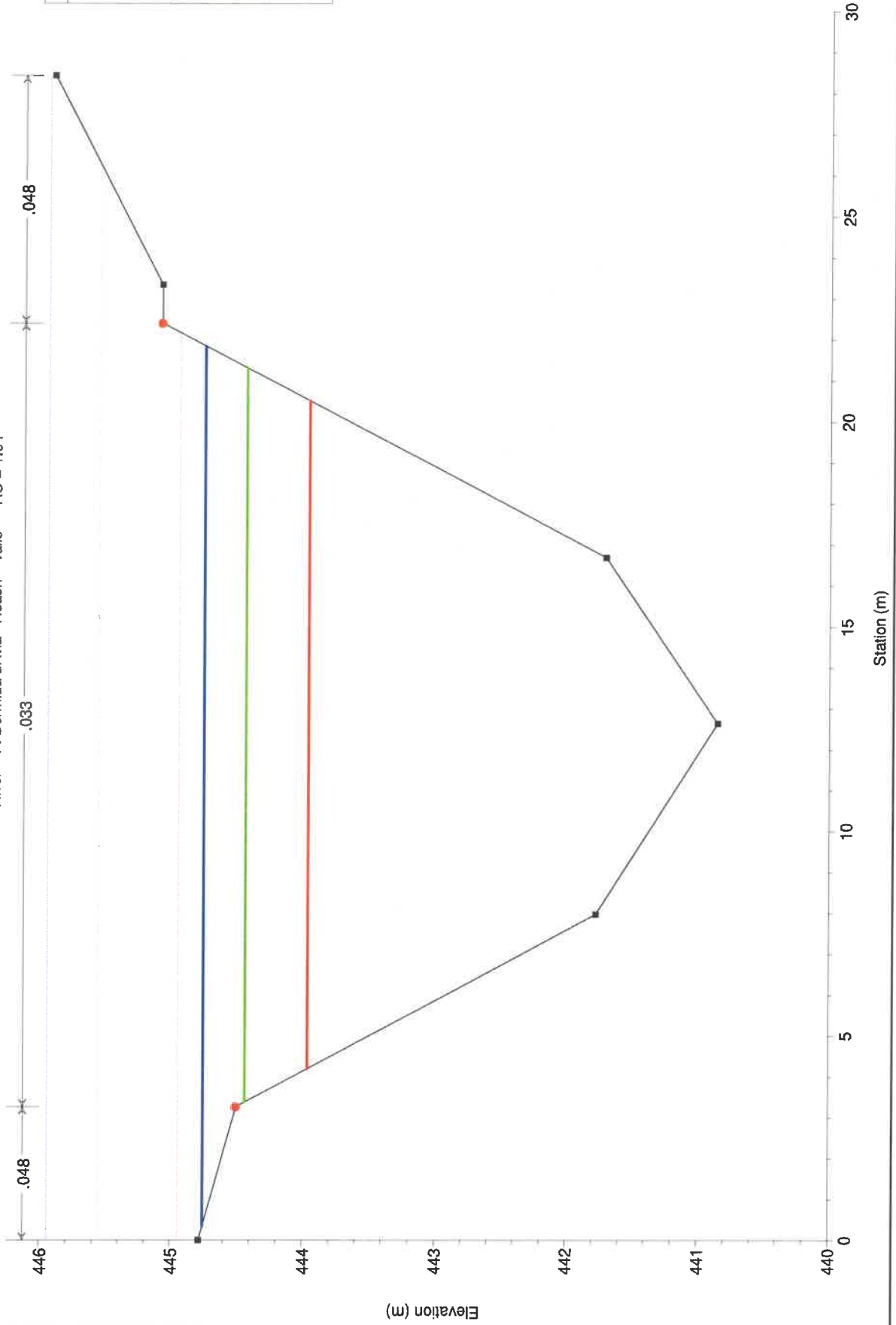


Legend
EG Tr500
EG Tr200
WS Tr500
WS Tr200
EG Tr50
WS Tr50
Ground
Bank Sta

# Rio Rocchino Mallare Plan: Progetto

Geom: Geo\_luglio 2019

River = F. Bormida di Ma Reach = valle RS = 1,04

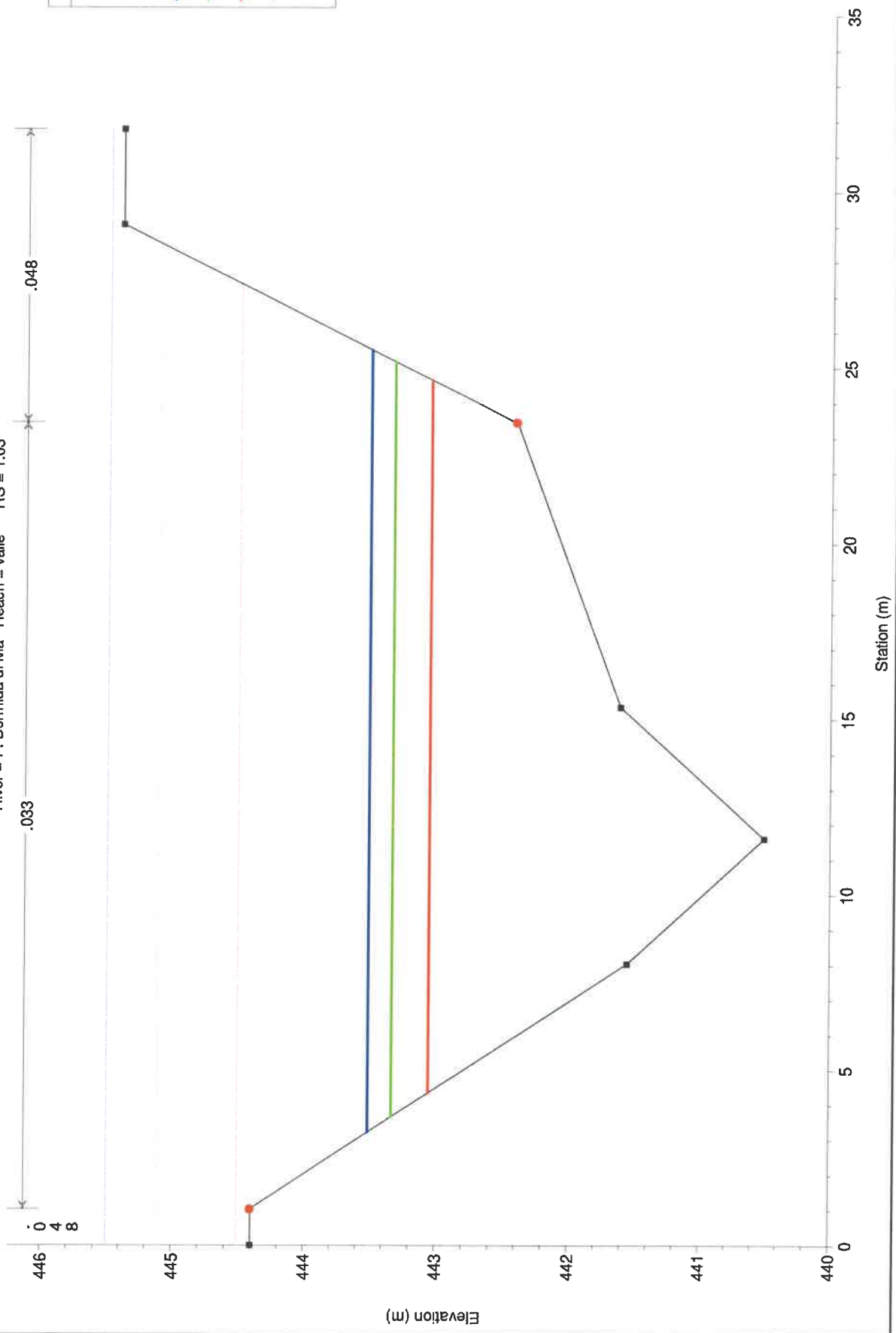


Legend	
EG Tr500	Black line
EG Tr200	Blue line
EG Tr50	Green line
WS Tr500	Red line
WS Tr200	Blue line
WS Tr50	Green line
Ground	Black line
Bank Sta	Red dot

# Rio Rocchino Mallare Plan: Progetto

Geom: Geo\_Guglio 2019

River = F. Bormida di Ma Reach = valle RS = 1.03



.033

.048

0  
4  
8

Legend
EG Tr500
EG Tr200
EG Tr50
WS Tr500
WS Tr200
WS Tr50
Ground
Bank Sta

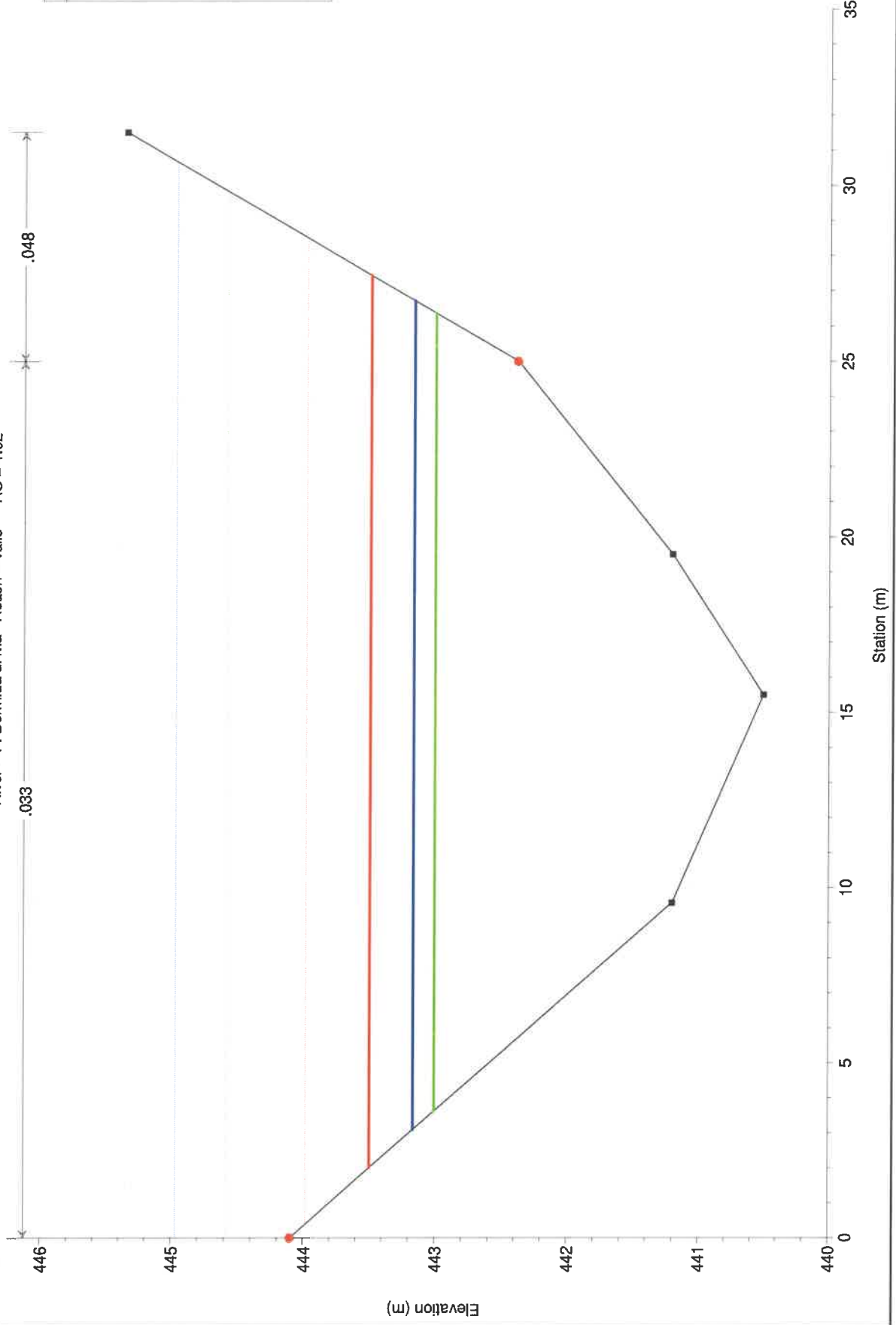
# Rio Rocchino Mallare Plan: Progetto

Geom: Geo\_Luglio 2019

River = F. Bormida di Ma Reach = valle RS = 1.02



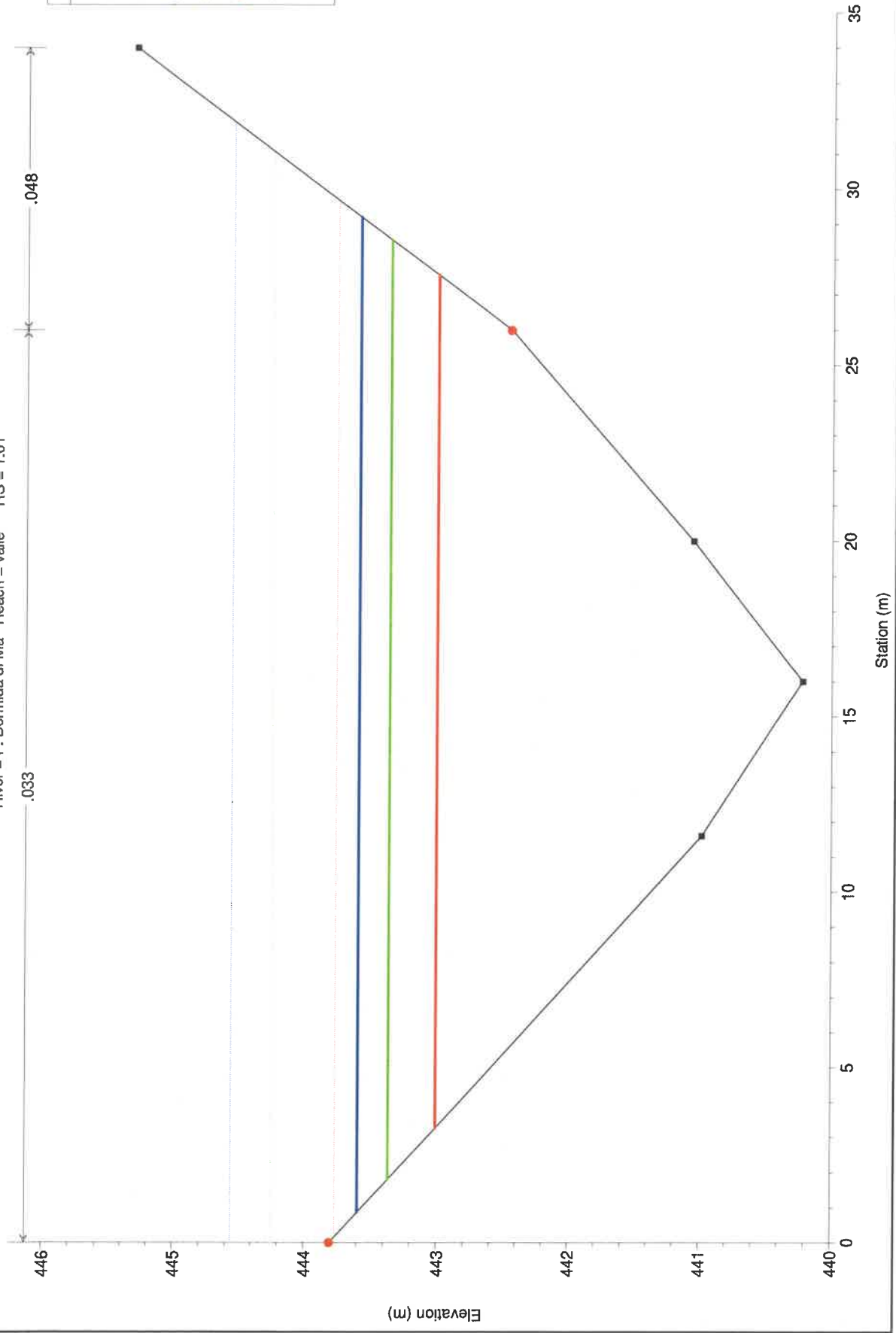
Legend
EG Tr500
EG Tr200
EG Tr50
WS Tr50
WS Tr500
WS Tr200
Ground
Bank Sta



# Rio Rocchino Mallare Plan: Progetto

Geom: Geo\_luglio 2019

River = F. Bormida di Ma Reach = valle RS = 1.01

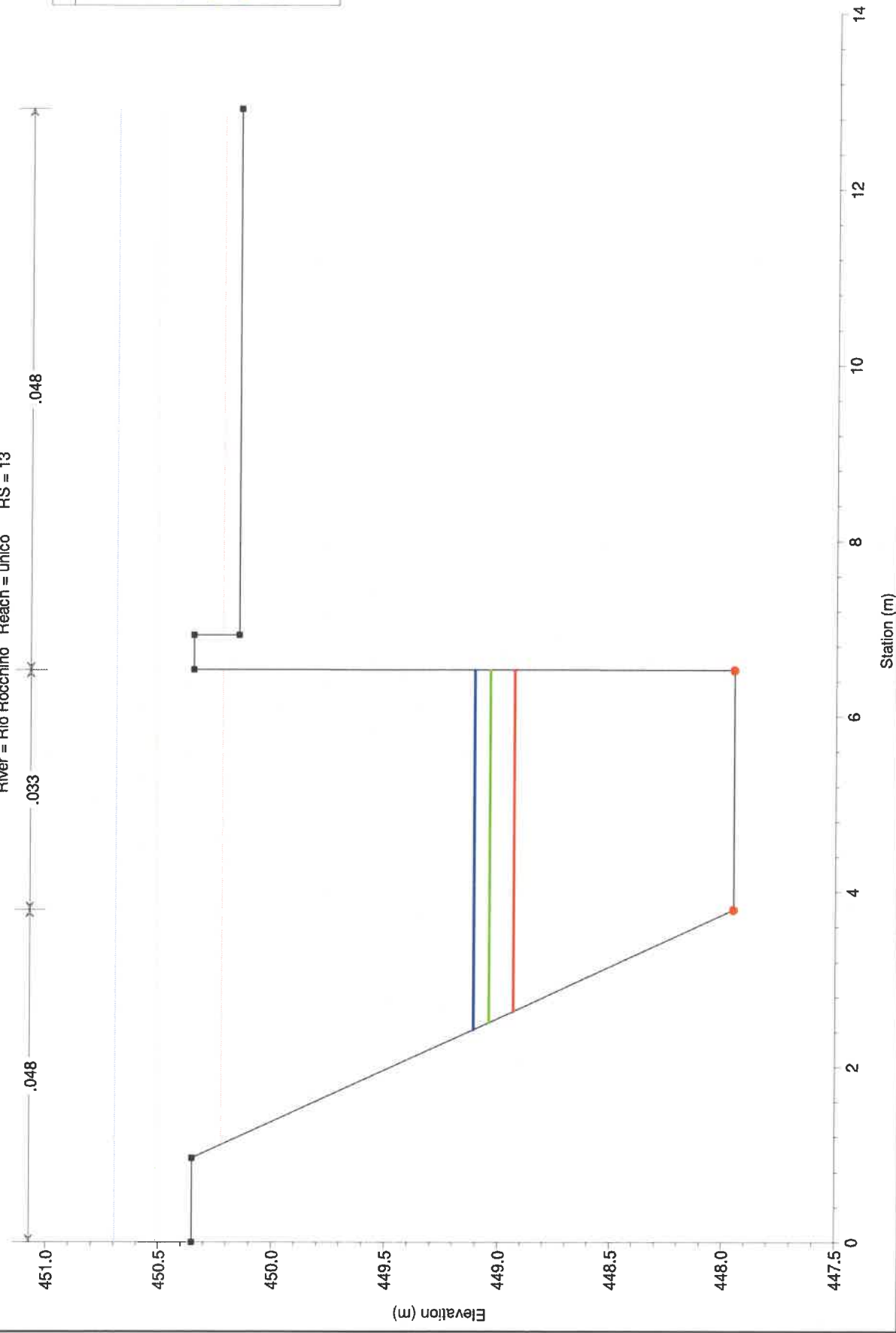


Legend	
EG Tr500	(Blue line)
EG Tr200	(Green line)
EG Tr50	(Red line)
WS Tr500	(Blue line)
WS Tr200	(Green line)
WS Tr50	(Red line)
Ground	(Black line)
Bank Sta	(Red dot)

# Rio Rocchino Mallare Plan: Progetto

Geom: Geo\_luglio 2019

River = Rio Rocchino Reach = unico RS = 13



Legend	
EG Tr500	
EG Tr200	
EG Tr150	
WS Tr500	
WS Tr200	
WS Tr150	
Ground	
Bank Sta	



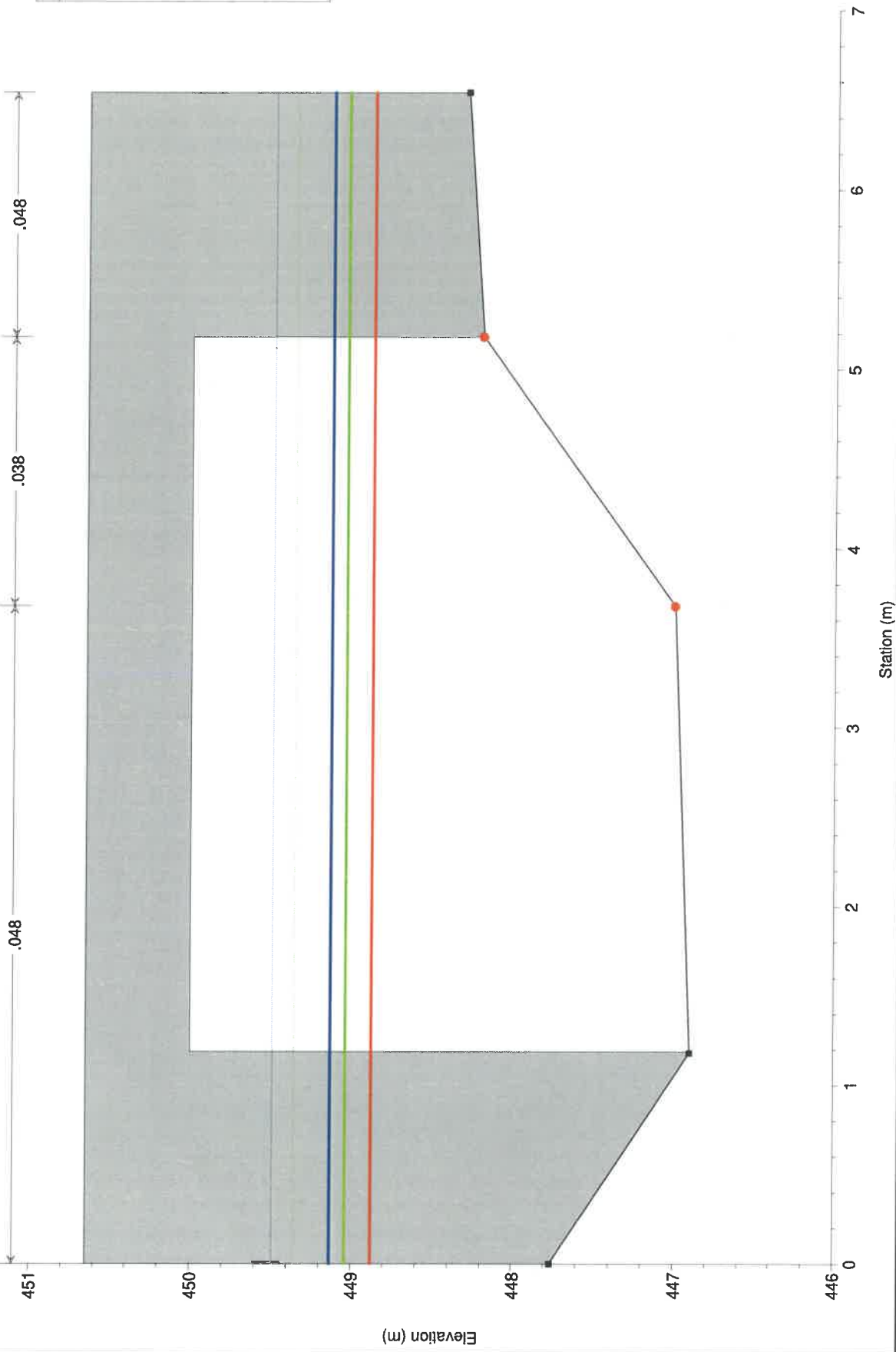


# Rio Rocchino Mallare Plan: Progetto

Geom: Geo\_luglio 2019

River = Rio Rocchino Reach = unico RS = 12 BR

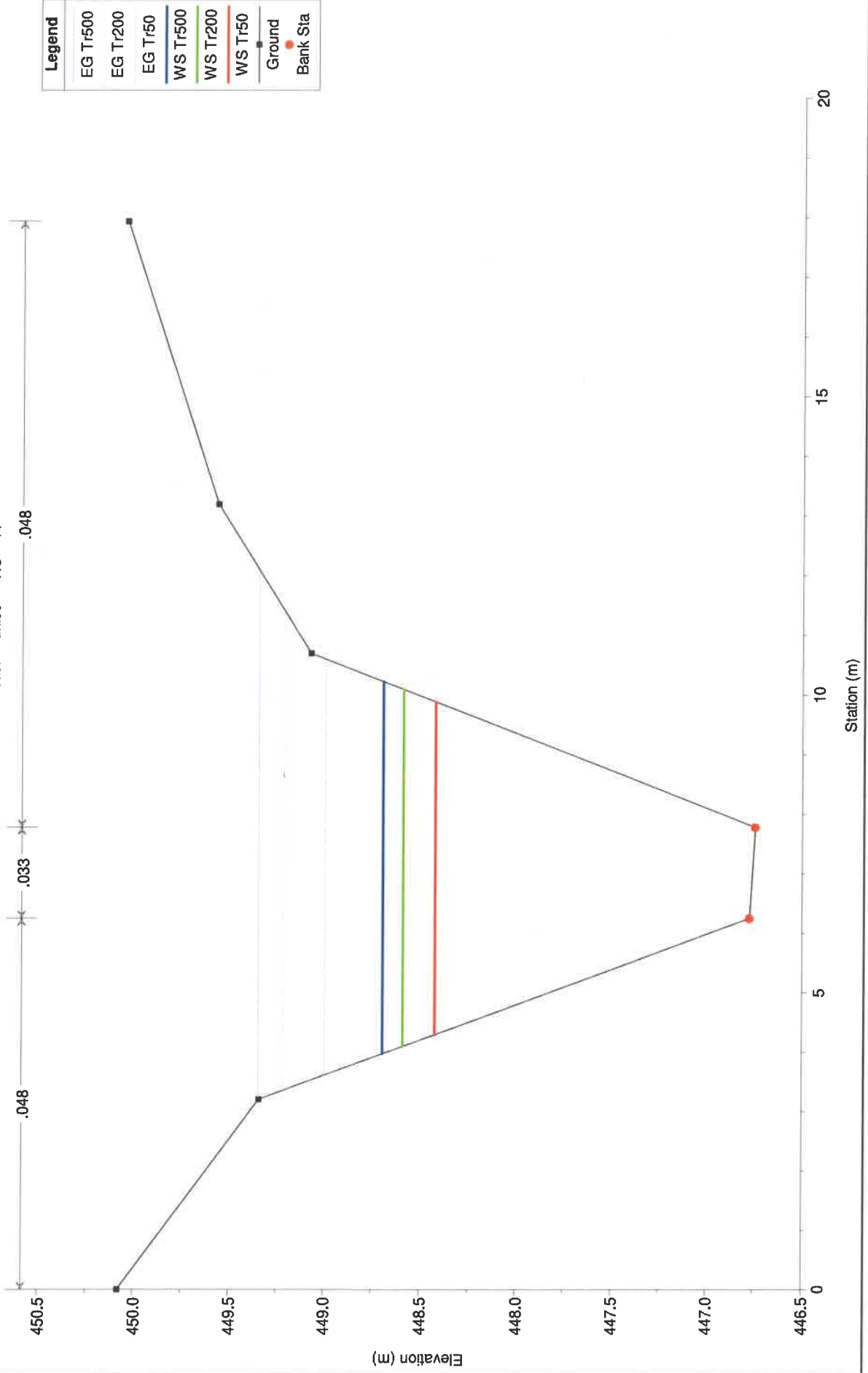
Legend	
EG Tr500	—
EG Tr200	—
EG Tr50	—
WS Tr500	—
WS Tr200	—
WS Tr50	—
Ground	■
Bank Sta	●



# Rio Rocchino Mallare Plan: Progetto

Geom: Geo\_Luglio 2019

River = Rio Rocchino Reach = unico RS = 11

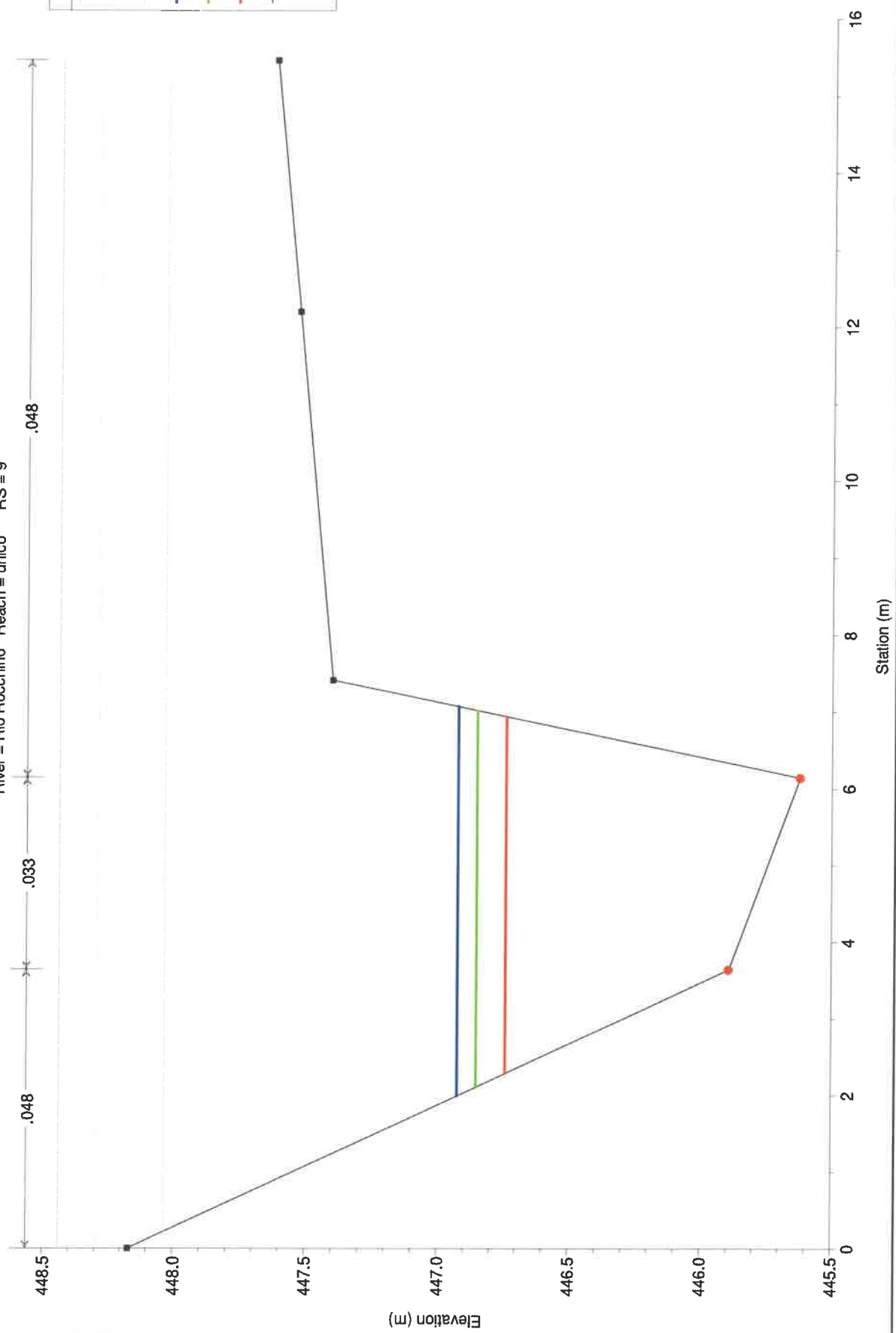




# Rio Rocchino Mallare Plan: Progetto

Geom: Geo\_luglio 2019

River = Rio Rocchino Reach = unico RS = 9

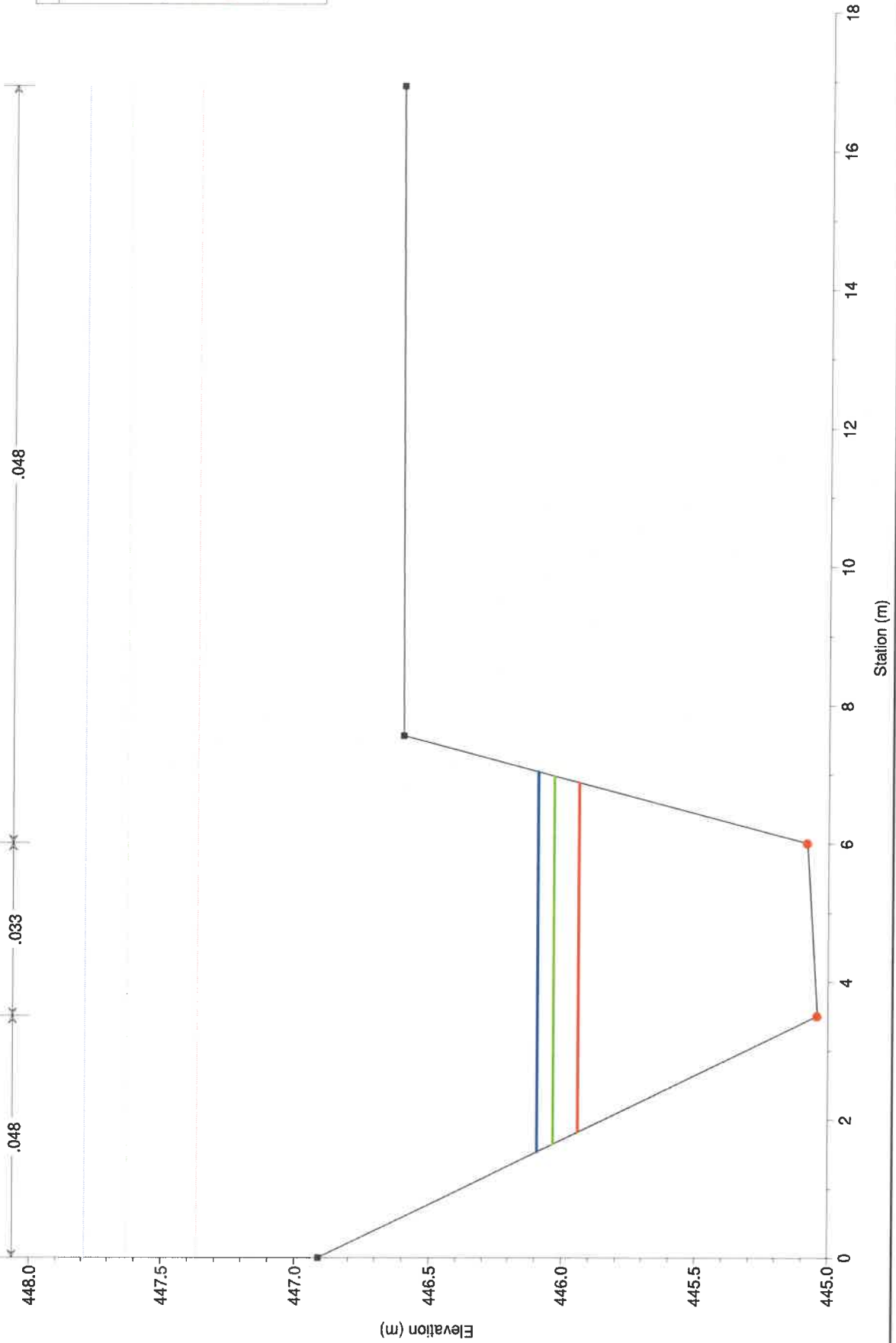


Legend	
EG Tr500	Blue line
EG Tr200	Green line
EG Tr50	Red line
WS Tr500	Blue line
WS Tr200	Green line
WS Tr50	Red line
Ground	Black line
Bank Sta	Red dot

# Rio Rocchino Mallare Plan: Progetto

Geom: Geo\_Luglio 2019

River = Rio Rocchino Reach = unico RS = 8



Legend
EG Tr500
EG Tr200
EG Tr150
WS Tr500
WS Tr200
WS Tr150
Ground
Bank Sta



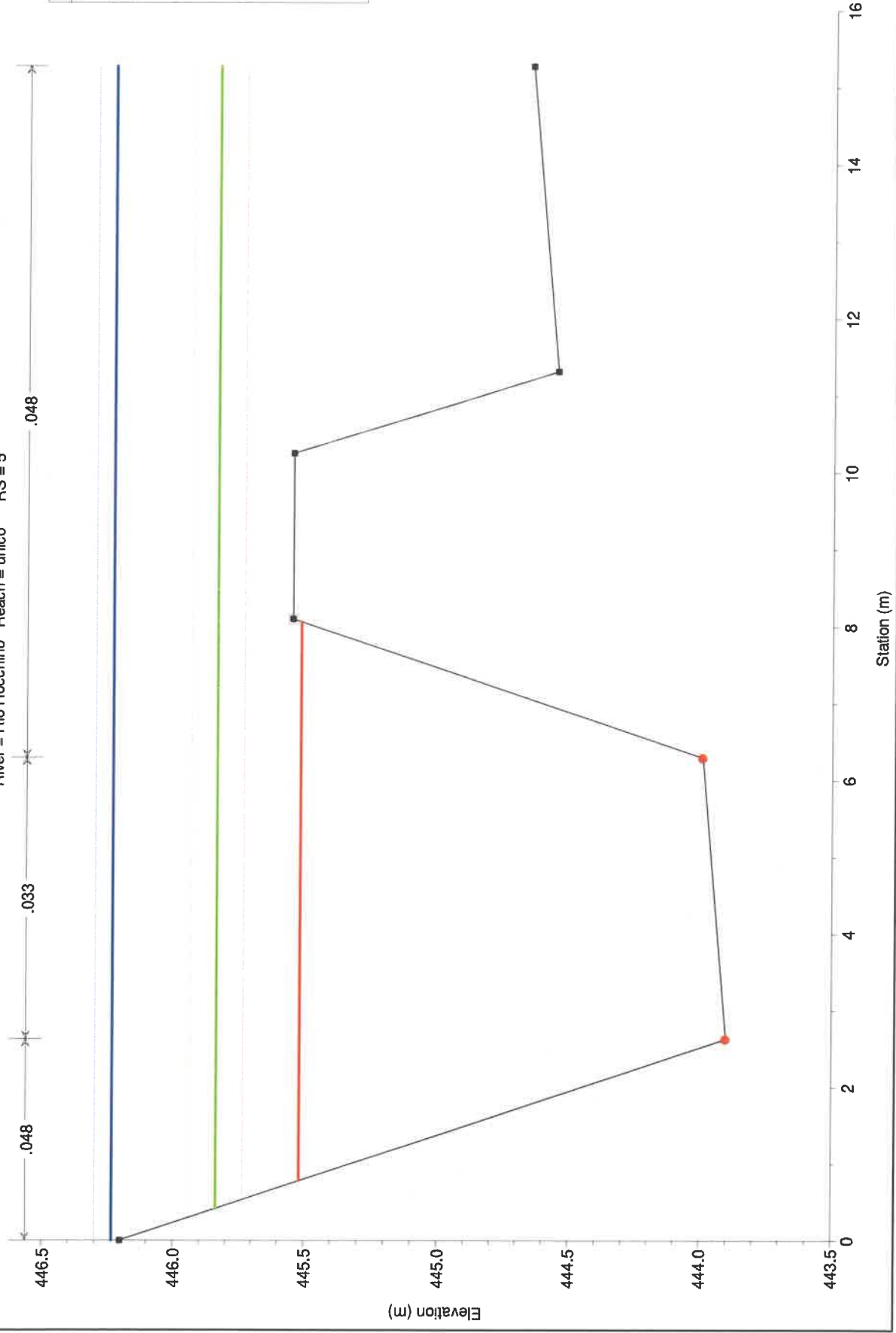




# Rio Rocchino Mallare Plan: Progetto

Geom: Geo\_Luglio 2019

River = Rio Rocchino Reach = unico RS = 5

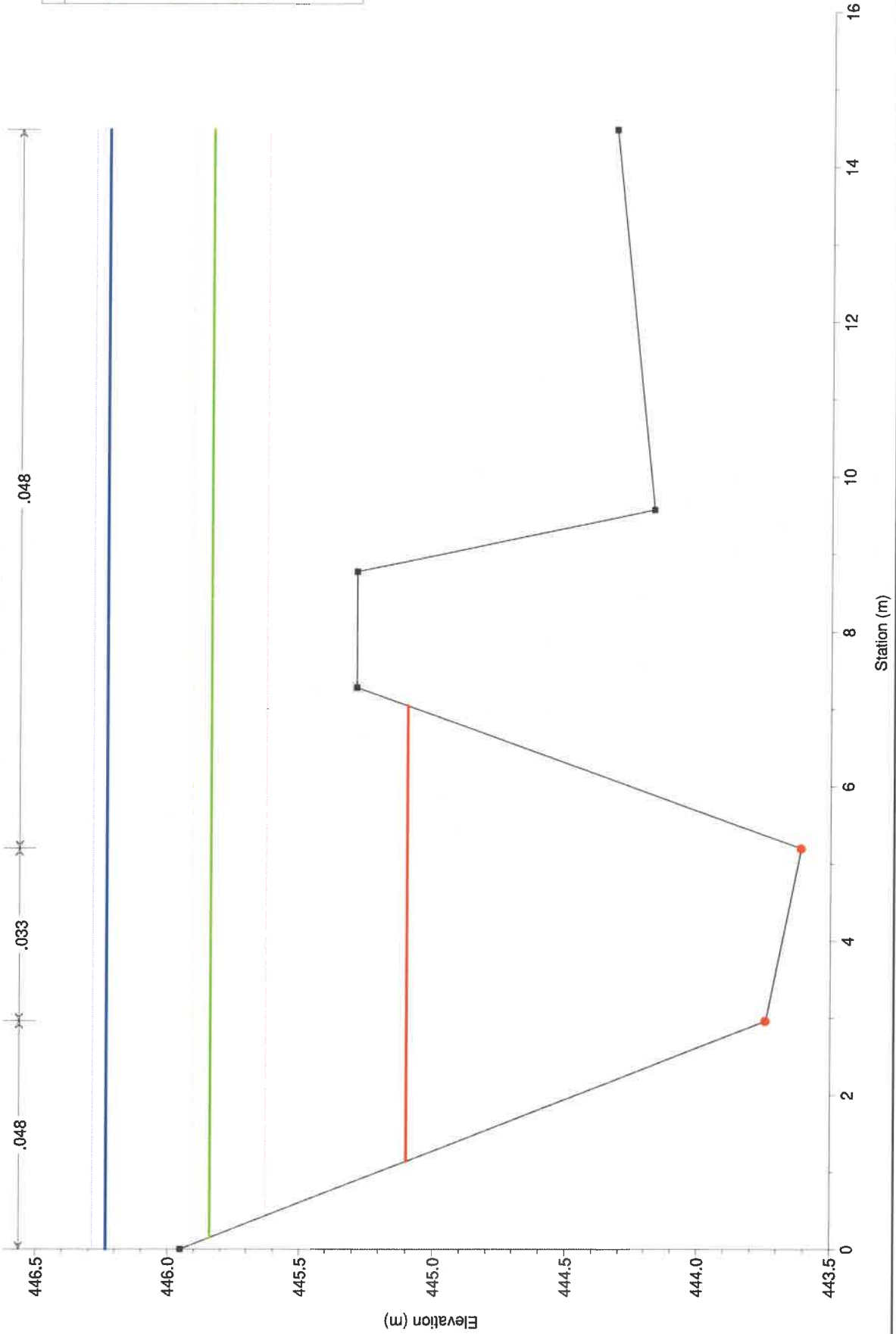


Legend	
EG Tr500	Blue line
WS Tr500	Blue line
EG Tr200	Green line
WS Tr200	Green line
EG Tr50	Red line
WS Tr50	Red line
Ground	Black line with dots
Levee	Black line with dots
Bank Sta	Red dot

Rio Rocchino Mallare Plan: Progetto

Geom: Geo\_Luglio 2019

River = Rio Rocchino Reach = unico RS = 4



Legend	
EG Tr500	Blue line
WS Tr500	Blue line
EG Tr200	Green line
WS Tr200	Green line
EG Tr50	Black line
WS Tr50	Red line
Ground	Black line with square markers
Levee	Black line with square markers
Bank Sta	Red dot

446.5  
446.0  
445.5  
445.0  
444.5  
444.0  
443.5

Elevation (m)

0 2 4 6 8 10 12 14 16

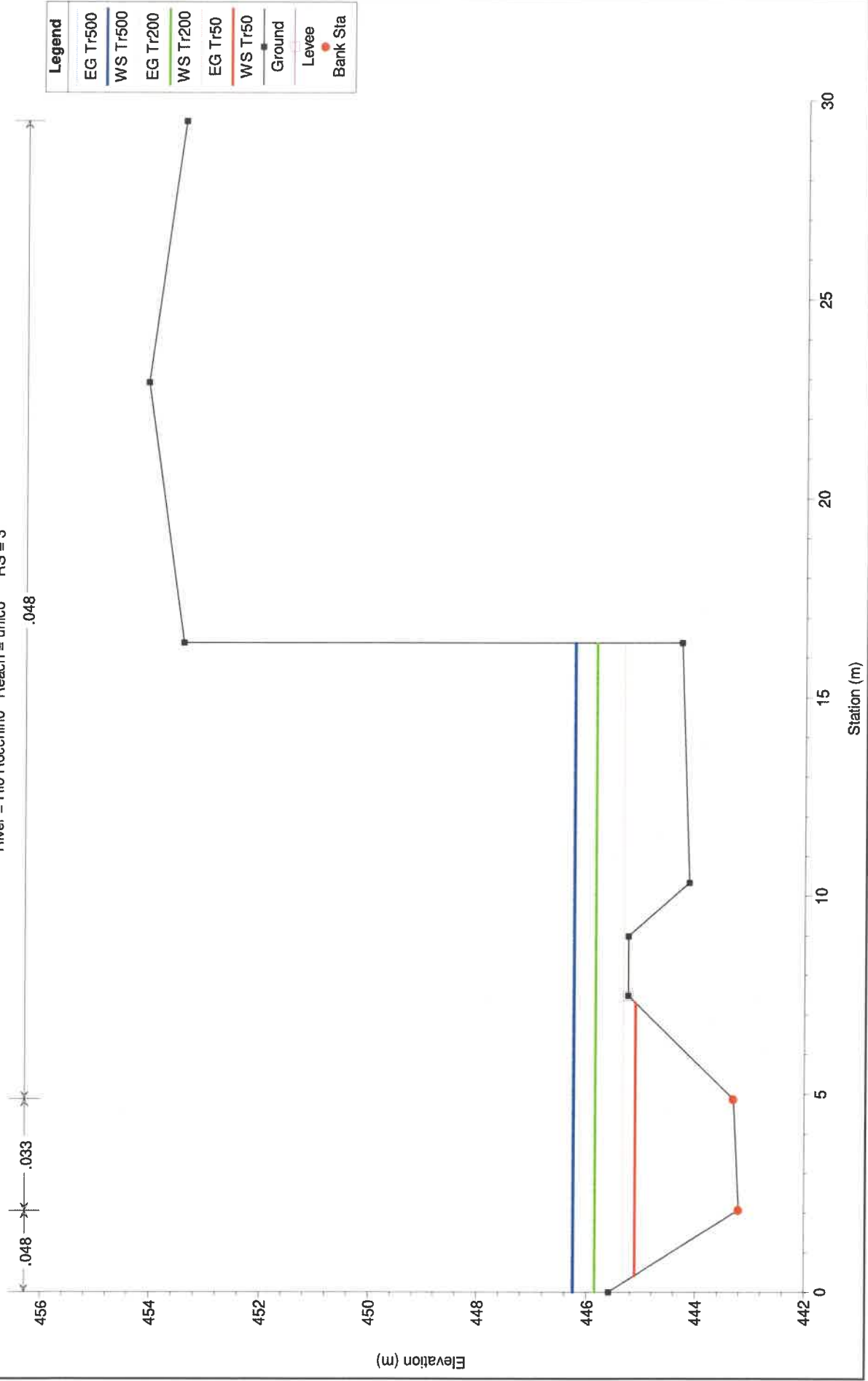
Station (m)

.048 .033 .048

# Rio Rocchino Malliare Plan: Progetto

Geom: Geo\_Luglio 2019

River = Rio Rocchino Reach = unico RS = 3



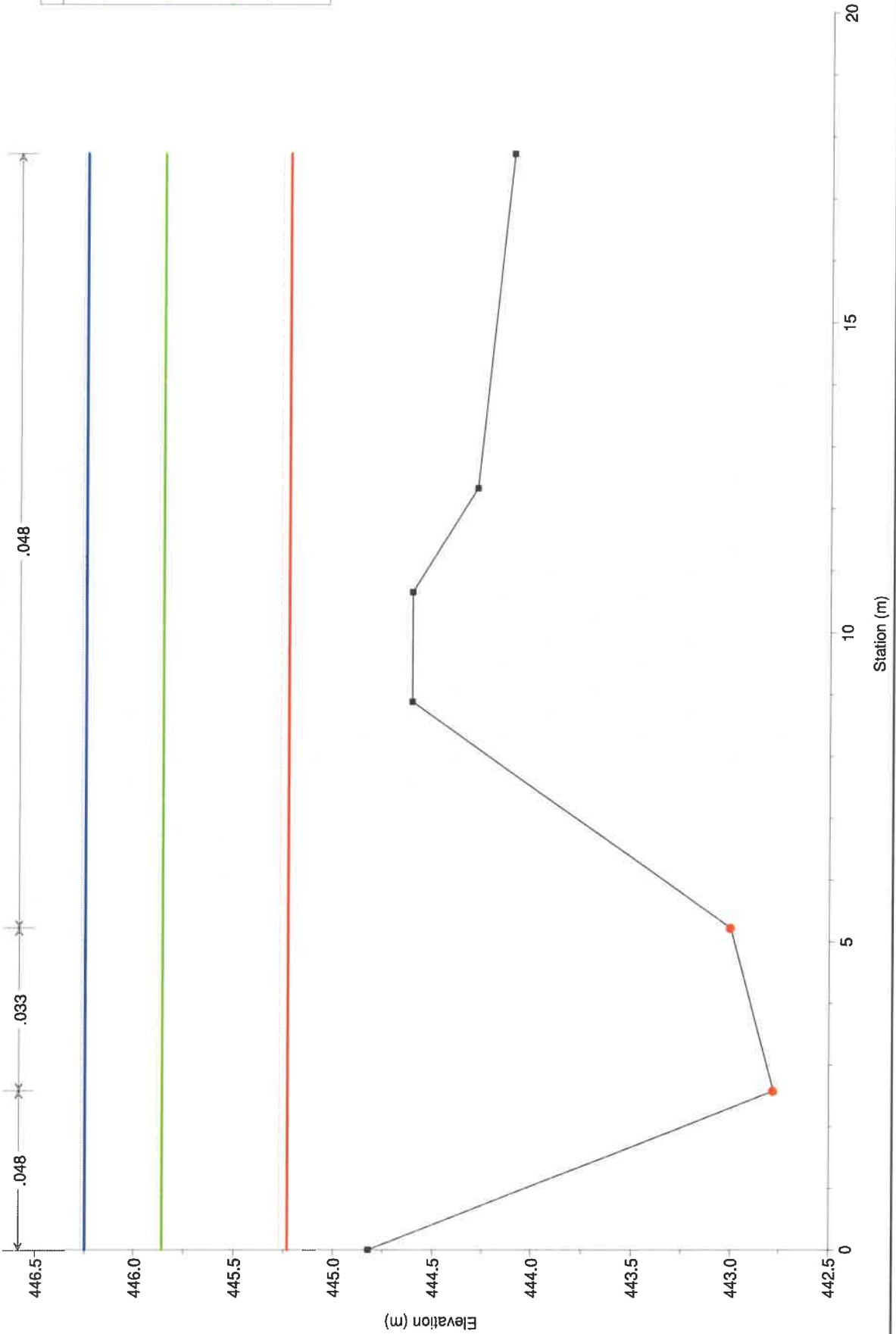
# Rio Rocchino Mallare Plan: Progetto

Geom: Geo\_luglio 2019

River = Rio Rocchino Reach = unico RS = 2



Legend	
EG Tr500	Blue line
WS Tr500	Blue line
EG Tr200	Green line
WS Tr200	Green line
EG Tr50	Red line
WS Tr50	Red line
Ground	Black line with square markers
Bank Sta	Red circle markers



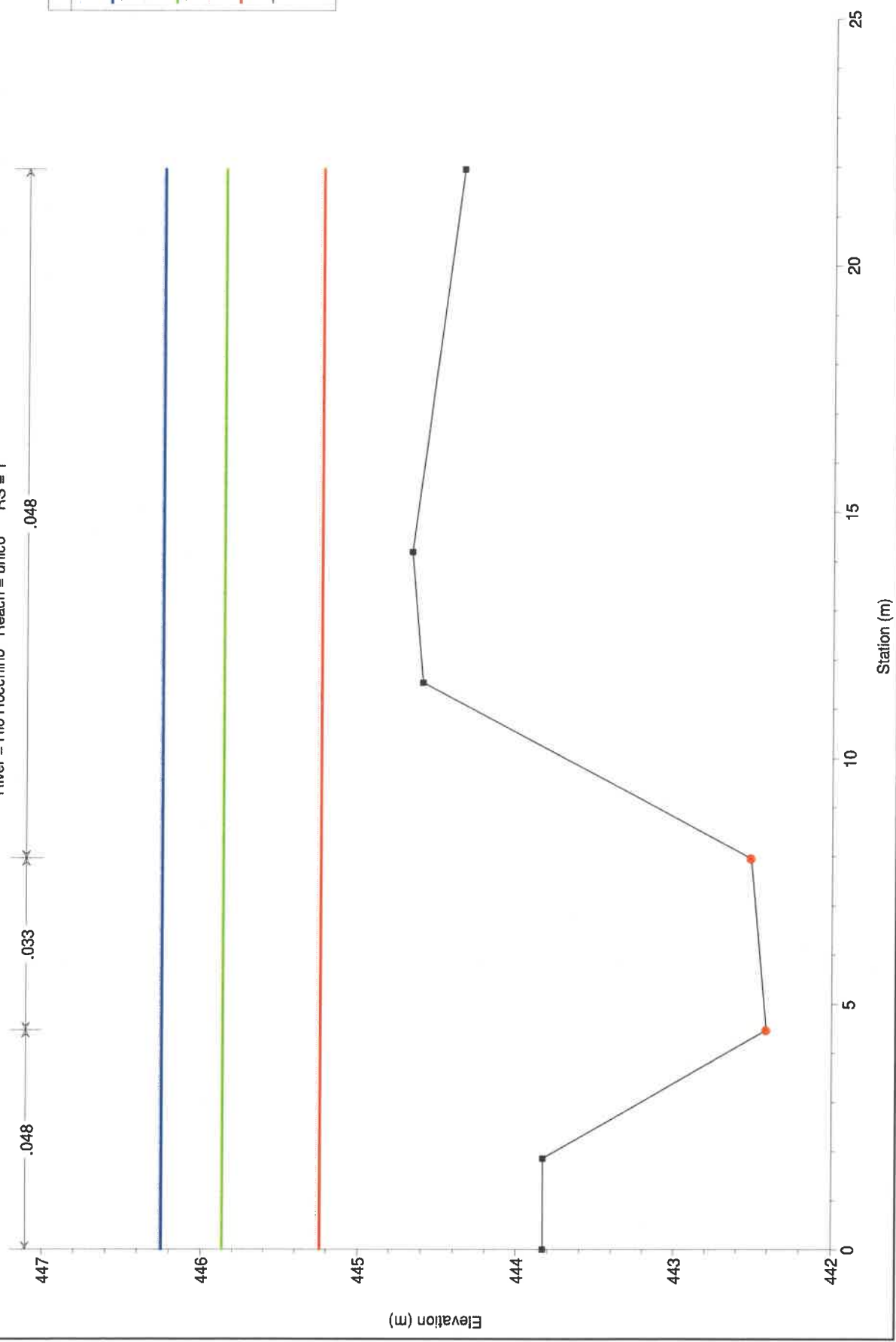
# Rio Rocchino Mallare Plan: Progetto

Geom: Geo\_Luglio 2019

River = Rio Rocchino Reach = unico RS = 1



Legend	
EG Tr500	Blue line
WS Tr500	Blue line
EG Tr200	Green line
WS Tr200	Green line
EG Tr50	Red line
WS Tr50	Red line
Ground	Black line with square markers
Bank Sta	Red circle marker



HEC-RAS Plan: Progetto

River	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
Rio Rocchino	unico	13	Tr50	15.00	447.95	448.93	449.32	450.22	0.030010	5.19	3.26	3.90	1.67
Rio Rocchino	unico	13	Tr200	18.00	447.95	449.04	449.49	450.51	0.030014	5.56	3.69	4.03	1.70
Rio Rocchino	unico	13	Tr500	20.00	447.95	449.11	449.60	450.70	0.030013	5.79	3.96	4.11	1.72
Rio Rocchino	unico	12	Bridge										
Rio Rocchino	unico	11	Tr50	15.00	446.74	448.42	448.42	448.99	0.008626	3.96	5.95	5.60	0.98
Rio Rocchino	unico	11	Tr200	18.00	446.74	448.59	448.59	449.21	0.008506	4.18	6.90	6.00	0.99
Rio Rocchino	unico	11	Tr500	20.00	446.74	448.69	448.69	449.34	0.008397	4.31	7.54	6.26	0.99
Rio Rocchino	unico	10	Tr50	15.00	446.14	447.29	447.73	448.67	0.037273	5.87	3.56	5.11	1.86
Rio Rocchino	unico	10	Tr200	18.00	446.14	447.41	447.88	448.88	0.035462	6.15	4.17	5.48	1.85
Rio Rocchino	unico	10	Tr500	20.00	446.14	447.48	447.97	449.02	0.034526	6.32	4.57	5.71	1.84
Rio Rocchino	unico	9	Tr50	15.00	445.62	446.74	447.14	448.03	0.032043	5.34	3.48	4.65	1.72
Rio Rocchino	unico	9	Tr200	18.00	445.62	446.85	447.32	448.29	0.031202	5.67	4.01	4.91	1.73
Rio Rocchino	unico	9	Tr500	20.00	445.62	446.92	447.36	448.44	0.030456	5.84	4.38	5.08	1.73
Rio Rocchino	unico	8	Tr50	15.00	445.04	445.94	446.38	447.37	0.042305	5.71	3.32	5.06	1.95
Rio Rocchino	unico	8	Tr200	18.00	445.04	446.03	446.53	447.63	0.041880	6.08	3.81	5.33	1.97
Rio Rocchino	unico	8	Tr500	20.00	445.04	446.09	446.57	447.79	0.041465	6.30	4.14	5.50	1.98
Rio Rocchino	unico	7	Tr50	15.00	444.78	445.54	445.89	446.69	0.040081	4.97	3.52	5.82	1.84
Rio Rocchino	unico	7	Tr200	18.00	444.78	445.61	446.02	446.95	0.041582	5.38	3.94	6.03	1.91
Rio Rocchino	unico	7	Tr500	20.00	444.78	445.65	446.10	447.11	0.042258	5.63	4.22	6.17	1.94
Rio Rocchino	unico	6	Tr50	15.00	444.20	445.12	445.40	446.05	0.026423	4.43	3.87	5.40	1.53
Rio Rocchino	unico	6	Tr200	18.00	444.20	445.21	445.54	446.29	0.026883	4.78	4.37	5.58	1.57
Rio Rocchino	unico	6	Tr500	20.00	444.20	446.17	445.62	446.35	0.002098	2.13	14.84	15.22	0.49
Rio Rocchino	unico	5	Tr50	15.00	443.90	445.52	445.07	445.73	0.002901	2.21	8.62	7.28	0.56
Rio Rocchino	unico	5	Tr200	18.00	443.90	445.84	445.20	445.94	0.001298	1.67	17.37	14.87	0.39
Rio Rocchino	unico	5	Tr500	20.00	443.90	446.23	445.29	446.30	0.000706	1.40	23.36	15.28	0.30
Rio Rocchino	unico	4	Tr50	15.00	443.61	445.10	445.10	445.63	0.008858	3.61	5.80	5.91	0.96
Rio Rocchino	unico	4	Tr200	18.00	443.61	445.84	445.29	445.91	0.001014	1.61	20.21	14.33	0.35
Rio Rocchino	unico	4	Tr500	20.00	443.61	446.23	445.29	446.28	0.000608	1.40	25.92	14.48	0.28
Rio Rocchino	unico	3	Tr50	15.00	443.20	445.12	444.56	445.34	0.002460	2.28	9.05	6.90	0.53

HEC-RAS Plan: Progetto (Continued)

River	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
Rio Rocchino	unico	3	Tr200	18.00	443.20	445.85	444.71	445.89	0.000442	1.20	26.81	16.38	0.24
Rio Rocchino	unico	3	Tr500	20.00	443.20	446.24	444.80	446.27	0.000294	1.08	33.22	16.38	0.20
Rio Rocchino	unico	2	Tr50	15.00	442.78	445.23		445.27	0.000499	1.19	23.11	17.73	0.25
Rio Rocchino	unico	2	Tr200	18.00	442.78	445.86		445.88	0.000234	0.96	34.24	17.73	0.18
Rio Rocchino	unico	2	Tr500	20.00	442.78	446.25		446.27	0.000169	0.88	41.13	17.73	0.15
Rio Rocchino	unico	1	Tr50	15.00	442.41	445.24		445.26	0.000210	0.87	31.12	21.95	0.17
Rio Rocchino	unico	1	Tr200	18.00	442.41	445.86		445.88	0.000113	0.73	44.82	21.95	0.13
Rio Rocchino	unico	1	Tr500	20.00	442.41	446.25		446.26	0.000086	0.68	53.34	21.95	0.11
F. Bormida di Ma	monte	1.12	Tr50	124.00	442.60	445.23	444.91	445.75	0.004929	3.21	40.89	26.28	0.73
F. Bormida di Ma	monte	1.12	Tr200	169.00	442.60	445.83	445.31	446.34	0.003709	3.24	56.67	26.91	0.66
F. Bormida di Ma	monte	1.12	Tr500	201.00	442.60	446.19	445.54	446.72	0.003299	3.30	66.59	27.15	0.63
F. Bormida di Ma	monte	1.11		Bridge									
F. Bormida di Ma	monte	1.10	Tr50	124.00	441.90	445.22		445.50	0.002075	2.51	57.75	26.80	0.49
F. Bormida di Ma	monte	1.10	Tr200	169.00	441.90	445.80		446.13	0.001949	2.69	73.65	27.47	0.48
F. Bormida di Ma	monte	1.10	Tr500	201.00	441.90	446.17		446.52	0.001909	2.82	83.71	27.72	0.48
F. Bormida di Ma	monte	1.09	Tr50	124.00	441.68	445.02		445.45	0.003183	2.90	43.70	20.07	0.59
F. Bormida di Ma	monte	1.09	Tr200	169.00	441.68	445.54		446.06	0.003216	3.22	54.38	20.79	0.61
F. Bormida di Ma	monte	1.09	Tr500	201.00	441.68	445.86		446.45	0.003262	3.43	61.16	21.19	0.62
F. Bormida di Ma	monte	1.08	Tr50	124.00	441.60	445.01		445.34	0.002352	2.55	49.75	22.99	0.52
F. Bormida di Ma	monte	1.08	Tr200	169.00	441.60	445.55		445.95	0.002288	2.82	62.26	23.13	0.52
F. Bormida di Ma	monte	1.08	Tr500	201.00	441.60	445.89		446.34	0.002301	3.00	69.94	23.13	0.53
F. Bormida di Ma	monte	1.07	Tr50	124.00	441.30	444.88		445.28	0.002820	2.81	45.59	21.17	0.57
F. Bormida di Ma	monte	1.07	Tr200	169.00	441.30	445.41		445.89	0.002657	3.11	58.04	24.44	0.57
F. Bormida di Ma	monte	1.07	Tr500	201.00	441.30	445.74		446.28	0.002590	3.29	66.22	24.81	0.58
F. Bormida di Ma	valle	1.06	Tr50	139.00	441.11	444.82		445.20	0.002881	2.73	50.94	21.94	0.57
F. Bormida di Ma	valle	1.06	Tr200	187.00	441.11	445.37		445.81	0.002597	2.95	64.41	26.78	0.56
F. Bormida di Ma	valle	1.06	Tr500	221.00	441.11	445.71		446.20	0.002457	3.10	73.54	26.78	0.56
F. Bormida di Ma	valle	1.05	Tr50	139.00	441.00	444.78		445.13	0.002755	2.60	53.44	24.90	0.56
F. Bormida di Ma	valle	1.05	Tr200	187.00	441.00	445.36		445.74	0.002249	2.74	70.92	30.71	0.53

HEC-RAS Plan: Progetto (Continued)

River	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
F. Bormida di Ma	valle	1.05	Tr500	221.00	441.00	445.72		446.12	0.002066	2.85	81.83	30.71	0.51
F. Bormida di Ma	valle	1.04	Tr50	139.00	440.85	443.96	443.96	444.94	0.009594	4.38	31.74	16.33	1.00
F. Bormida di Ma	valle	1.04	Tr200	187.00	440.85	444.44	444.44	445.56	0.009319	4.70	39.82	17.94	1.01
F. Bormida di Ma	valle	1.04	Tr500	221.00	440.85	444.75	444.75	445.95	0.008701	4.84	45.96	21.51	0.99
F. Bormida di Ma	valle	1.03	Tr50	139.00	440.50	443.05	443.47	444.50	0.021651	5.34	26.30	20.31	1.47
F. Bormida di Ma	valle	1.03	Tr200	187.00	440.50	443.33	443.85	445.11	0.021781	5.93	32.09	21.51	1.51
F. Bormida di Ma	valle	1.03	Tr500	221.00	440.50	443.51	444.11	445.50	0.021739	6.27	36.01	22.28	1.53
F. Bormida di Ma	valle	1.02	Tr50	139.00	440.50	443.49	443.08	443.98	0.004540	3.11	45.66	25.44	0.72
F. Bormida di Ma	valle	1.02	Tr200	187.00	440.50	443.00	443.46	444.58	0.019229	5.58	33.87	22.75	1.42
F. Bormida di Ma	valle	1.02	Tr500	221.00	440.50	443.16	443.70	444.97	0.019887	5.96	37.60	23.63	1.47
F. Bormida di Ma	valle	1.01	Tr50	139.00	440.22	443.01	442.99	443.76	0.009002	3.85	36.47	24.29	0.98
F. Bormida di Ma	valle	1.01	Tr200	187.00	440.22	443.36	443.36	444.25	0.008768	4.18	45.55	26.75	0.99
F. Bormida di Ma	valle	1.01	Tr500	221.00	440.22	443.59	443.59	444.55	0.008570	4.37	51.89	28.35	0.99