

Comune di Castelmagno

LAVORI DI ADEGUAMENTO, RILOCALIZZAZIONE E MESSA IN SICUREZZA
DELLE FOSSE BIOLOGICHE COMUNALI ESISTENTI ED INTERVENTI DI
SISTEMAZIONE DELLA RETE FOGNARIA DELLA FRAZIONE CHIAPPI
NEL COMUNE DI CASTELMAGNO

- Codice progetto: UM00030

Livello di progettazione:	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA
Oggetto elaborato:	Relazione idraulica

Progetto:



Sede Legale: Corso Nizza, 88 - 12100 - Cuneo
Tel. 800.194.065 - fax 0171.326710
Partita IVA: 02468770041
Capitale sociale € 5,000,000
e-mail: acda@acda.it

Franco Giraudo
Ordine degli
Ingegneri della
Provincia di Cuneo
Ingegnere
30.06.2026
13:23:35
GMT+01:00

Progettazione:

FERRARI, GIRAUDO E ASSOCIATI s.r.l. - STP
Corso Nizza, 67/A - 12100 - Cuneo
P. IVA: 02126240049

Responsabile Unico del Progetto

(Ordine Ingegneri di Cuneo n. A01886)

Dott. Ing. Fabio Monaco


Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Cuneo A 1886

Firmato digitalmente
da: FABIO MONACO
Data: 23/09/2026
12:37:38

COMMESSA	Livello di progetto	Categoria di progetto	Tipo di elaborato	N. elaborato	REV.	DATA	SCALE / E
UM00030	PFTE	GE	TX	01.C	01	30/06/2026	

REV.	Descrizione:	DATA:	Redatto da:	Verificato da:	Approvato da:
	Emissione per consegna P.F.T.E.	01/04/25	Ing. F. Giraudo	Geom. F. Ghio	Ing. F. Monaco
	Aggiornamento Conferenza Servizi	30/06/26	Ing. F. Giraudo	Geom. F. Ghio	Ing. F. Monaco

INDICE GENERALE

PREMESSA.....	2
STUDIO IDROLOGICO	4
Inquadramento geografico.....	4
I criteri di verifica	4
Stima delle portate	5
La morfologia del bacino	5
Pioggia di progetto	6
Metodo razionale	6
Definizione delle portate di progetto	8
Valutazione del trasporto solido	9
VERIFICHE IDRAULICHE	13
Condizioni al contorno.....	13
Coefficienti di scabrezza	13
Scenari di riferimento	14
Risultati	14
CONCLUSIONI.....	16
Dimensionamento dei massi costituenti la scogliera in sponda sinistra	17
ELENCO ALLEGATI.....	19

PREMESSA

La presente relazione analizza le condizioni di deflusso del Torrente Grana presso la Località Chiappi, in Comune di Castelmagno, poco a valle della confluenza tra il Torrente Grana di Fauniera ed il corso d'acqua che proviene in sinistra dal Vallone di Sibolet. Il Torrente Grana raggiunge infatti l'area di intervento, posta circa 800 metri a valle della confluenza tra i due importanti tributari situata allo sbocco dei rispettivi valloni, attraversando la piana valliva che si trova ai piedi del versante su cui sorgono l'abitato frazionale di Chiappi ed il vicino Santuario di San Magno. La zona oggetto di indagine è infatti costituita da una conca valliva a debole pendenza posta tra tratti vallivi molto più ripidi e con pendenze dell'alveo molto più accentuate.

La viabilità che risale verso la testata della Valle Grana, e collega il capoluogo comunale (Fraz. Campomolino) con la Località Chiappi, è costituita dalla Strada Provinciale n. 333 che percorre sempre il versante orografico sinistro, su cui sorgono tutte le frazioni abitate del territorio comunale, fino al Santuario di San Magno. Da cui prosegue una stretta e tortuosa strada comunale che raggiunge i passi montani che collegano l'area con le vallate limitrofe.

In questo ambito, il principale obiettivo del presente progetto è rappresentato dalla messa in sicurezza e dall'adeguamento dell'attuale sistema di depurazione delle acque reflue provenienti dall'abitato di Chiappi, mediante lo spostamento verso valle dell'attuale impianto di depurazione, costituito da fosse Imhoff interrato, e che attualmente sorge in posizione limitrofa all'alveo inciso del Torrente Grana. Si prevede infatti di realizzare un nuovo depuratore adeguato alle vigenti normative in materia andando a posizionarlo in un'area situata poco a valle, ma che non risulti coinvolta dalle dinamiche del corso d'acqua. Con la realizzazione delle opere in progetto si procederà inoltre alla realizzazione di una nuova condotta di scarico delle acque depurate che raggiungerà l'alveo inciso del Torrente Grana con la formazione di una breve scogliera in massi di cava non intasati, a consolidamento del tratto di sponda, e con la costruzione di una protezione della condotta in massi intasati con cls, posti completamente interrati lungo il tratto di golena, fino allo sbocco della tubazione in corrispondenza dell'alveo di magra.

Per poter procedere alla realizzazione di queste opere, in primo luogo, si sono stimate, secondo i metodi idrologici tradizionali, le portate con tempo di ritorno di 20, 100 e 200 anni (Q20, Q100 e Q200), prese come riferimento per definire le condizioni di pericolosità da molto elevata ad elevata. A questo proposito occorre però ricordare come il territorio

montano in cui si opera sia caratterizzato da forti pendenze, spazi di deflusso piuttosto costretti, velocità idriche elevate, opere di contenimento in ambito urbano, attraversamenti infrastrutturali, ecc., che influiscono sulle condizioni di deflusso inducendo la necessità di considerare un'ampia fascia di incertezza per le valutazioni svolte.

Sotto il profilo delle verifiche idrologiche ed idrauliche si sono quindi approntati i calcoli per:

- stimare l'idrogramma di progetto per assegnati tempi di ritorno (20, 100 e 200 anni) per la sezione di chiusura del bacino idrografico del Torrente Grana posta in corrispondenza del previsto scarico del nuovo impianto di depurazione a servizio dell'abitato della Frazione Chiappi (circa 840 metri a valle della confluenza tra il Torrente Grana di Fauniera ed il Rio Sibolet);
- valutare la possibile componente di trasporto solido che si potrebbe manifestare in occasione degli eventi di piena oggetto di studio (tempi di ritorno di 20,100 e 200 anni);
- elaborare un modello idraulico in moto permanente che consenta di simulare le condizioni di deflusso nella situazione esistente e nello scenario di progetto, con la realizzazione puntuale della scogliera a difesa dello scarico delle acque depurate a valle della Frazione Chiappi.

STUDIO IDROLOGICO

Per poter definire in modo adeguato la situazione esistente, e quindi anche le opere in progetto, si è innanzitutto effettuato uno studio idrologico di tutto il bacino idrografico del Torrente Grana, chiuso presso l'area di intervento, nella conca ai piedi della Frazione Chiappi, in modo che si potessero stimare le portate di piena prese a riferimento per definire le condizioni di pericolosità.

Inquadramento geografico

Il Torrente Grana nasce in più rami nei rilievi alpini posti alla testata dell'omonima valle e raggiunge la pianura cuneese nei pressi dell'abitato di Caraglio, dove i deflussi idrici si riducono però enormemente a causa degli utilizzi a scopo irriguo e per le cospicue infiltrazioni nei depositi ciottolosi di fondo alveo. Più a valle, nei dintorni dell'abitato di Centallo, il corso d'acqua riconquista deflussi idrici persistenti durante tutto il corso dell'anno e che danno origine ad un "nuovo" torrente (detto ora Torrente Mellea) che, superato il Comune di Savigliano, confluisce, da destra, nel Torrente Maira.

Il territorio di riferimento qui considerato è di tipo montano e risulta collocato all'interno delle Alpi Cozie, che evidenziano un andamento Sud-Nord e sono caratterizzate da una piovosità media (900 – 1100 mm annui).

I criteri di verifica

Sotto il profilo delle verifiche idrologiche ed idrauliche ci si propone di:

- stimare l'idrogramma di progetto per assegnati tempi di ritorno (20, 100 e 200 anni) per la sezione di chiusura del Torrente Grana nella conca ai piedi della Località Chiappi;
- valutare la possibile componente di trasporto solido che si potrebbe manifestare in occasione degli eventi di piena oggetto di studio (tempi di ritorno di 20,100 e 200 anni);
- elaborare un modello idraulico in moto permanente che consenta di simulare la situazione esistente e le condizioni di progetto, con il consolidamento di un breve tratto della sponda sinistra, in corrispondenza della condotta di scarico del nuovo impianto di depurazione, e con la protezione in massi del tratto lungo l'area golenale fino allo sbocco nell'alveo di magra.

Stima delle portate

La stima idrologica è stata redatta facendo ricorso alla modellazione con il metodo razionale confrontato con i valori massimi registrati in Piemonte e proposti dalla Autorità di Bacino per il Fiume Po. Vengono ora illustrati i parametri morfologici e meteorologici adottati nella successiva elaborazione idrologica.

LA MORFOLOGIA DEL BACINO

La quota massima del bacino del Torrente Grana è rappresentata dal Monte Tibert (2648 m s.l.m.), mentre la sezione di chiusura qui considerata è posta in corrispondenza dell'area di intervento nella conca ai piedi del versante su cui sorge l'abitato della Frazione Chiappi (1575 m s.l.m.), circa 840 m a valle della confluenza tra il Rio Sibolet, proveniente dalla sinistra, ed il Torrente Grana di Fauniera.

Si sono poi individuate le caratteristiche fisiografiche del bacino del corso d'acqua grazie all'esame della Carta Tecnica Regionale, da cui è stato possibile ricavare lo schema della sua rete idrografica. Le principali caratteristiche morfologiche sono pertanto così riassumibili:

- superficie drenata: 14,60 km²;
- quota massima del bacino: 2648 m s.l.m.;
- altezza media del bacino: 1979 m s.l.m.;
- quota della sezione di chiusura: 1575 m s.l.m.;
- lunghezza dell'asta principale: 5,51 km.

Ai fini delle elaborazioni idrologiche condotte si è quindi considerato tutto il territorio drenato dal Torrente Grana qui considerato, individuando un bacino avente le caratteristiche morfologiche riportate nella seguente Tabella 1.

Bacino		Torrente Grana a Chiappi
Superficie (km ²)		14.60
L versante (m)		432
q max (m s.l.m.)		2500
q min (m.s.l.m.)		2360
Pendenza versante		32%
L asta (m)		5509
q max (m s.l.m.)		2360
q min (m s.l.m.)		1575
Pendenza asta		14.2%

Tabella 1 – Caratteristiche morfologiche del bacino del Torrente Grana individuato.

PIOGGIA DI PROGETTO

Per la determinazione delle piogge di progetto si è fatto riferimento ai dati forniti dall' "Atlante piogge intense in Piemonte" (con distribuzione di probabilità GEV) distribuito da Arpa Piemonte e che consente di avere le curve di possibilità pluviometrica per assegnati tempi di ritorno. Si è quindi individuato un punto baricentrico al bacino idrografico considerato ricavando poi i parametri necessari per l'individuazione delle altezze di pioggia per assegnate durate e tempi di ritorno. In particolare, si sono derivate le curve di possibilità pluviometrica, legate ai tempi di ritorno di 20, 100 e 200 anni, pari rispettivamente a:

$$h = 29,92 t^{0.53}$$

$$h = 40,46 t^{0.53}$$

$$h = 45,36 t^{0.53}$$

Da esse si sono poi derivate le seguenti precipitazioni per assegnata durata:

	TR 20	TR 100	TR 200
a	29.92	40.46	45.36
n	0.50	0.50	0.50
5 minuti	8.64	11.68	13.09
15 minuti	14.96	20.23	22.68
30 minuti	21.16	28.61	32.07
1 ora	29.92	40.46	45.36
2 ore	42.31	57.22	64.15
3 ore	51.82	70.08	78.57
6 ore	73.29	99.11	111.11
12 ore	103.65	140.16	157.13
24 ore	146.58	198.21	222.22
48 ore	207.29	280.32	314.26

Tabella 2 – Altezze di pioggia per relativo tempo di ritorno.

METODO RAZIONALE

Per la stima dei valori delle portate al colmo che si possono manifestare nel bacino idrografico in esame, si è fatto riferimento al metodo razionale, che stima le portate di piena mediante la seguente formula:

$$Q = k \cdot C \cdot i \cdot A$$

in cui:

A rappresenta l'area del bacino (in km²);

i è l'intensità della precipitazione (in mm/ora);

C è un coefficiente adimensionale che sintetizza la funzione di trasferimento afflussi-deflussi e la quantificazione della portata al colmo;

k è un coefficiente adimensionale che tiene conto delle diverse unità di misura.

Il metodo razionale considera precipitazione ed intensità costanti su tutto il bacino, ed una trasformazione lineare della pioggia in deflusso, senza fenomeni di invaso lungo la rete idrografica. Il coefficiente di deflusso C (0.70) è stato cautelativamente scelto facendo riferimento ai coefficienti proposti da Lotti per un suolo non molto permeabile e ricco di pascoli.

Inoltre, nonostante l'osservazione sperimentale delle piogge intense mostri che all'interno di un'area assegnata l'intensità di precipitazione durante un certo evento risulta variabile da punto a punto in misura tanto più accentuata quanto maggiore è l'estensione dell'area esaminata, e che la distribuzione spaziale dell'altezza di pioggia risulta generalmente più uniforme per le piogge di durata maggiore (e quindi di intensità minore) che per quelle di durata minore, si è comunque deciso cautelativamente di mantenere un coefficiente di ragguaglio pari a 1.00.

La durata di precipitazione da assumere è quella pari al tempo di concentrazione, cioè pari al maggiore dei tempi di trasporto nel bacino. Il tempo di concentrazione cui si fa riferimento è quello calcolato con la formula di Tournon con i coefficienti di Merlo (1973), tarata sui piccoli bacini montani piemontesi, che fornisce i tempi di corrivazione in ore:

$$t_c = 0.396 \cdot \frac{L}{\sqrt{i_a}} \cdot \left(\frac{A}{L^2} \cdot \frac{\sqrt{i_a}}{\sqrt{i_v}} \right)^{0.72}$$

dove:

L è la lunghezza dell'asta principale;

A è l'area del bacino;

i_a è la pendenza dell'asta principale;

i_v è la pendenza dei versanti.

Pertanto, il valore ottenuto per il tempo di concentrazione relativo al bacino del Torrente Grana, chiuso a valle della Località Chiappi, presso l'area di intervento, risulta essere pari a 152.32 minuti, cioè 2.54 ore.

Si riportano i risultati ricavati mediante l'elaborazione condotta con il metodo razionale:

Metodo razionale	tr20		tr 100		tr 200	
	a	n	a	n	a	n
	29.92	0.50	40.46	0.50	45.36	0.50
Stima della portata di progetto						
Tempo di ritorno(anni)	Tr	20.00	Tr	100.00	Tr	200.00
precipitazione (mm)	hp	47.68	hp	64.48	hp	72.29
riduzione per area	Ca	1.00	Ca	1.00	Ca	1.00
precipitazione ragguagliata mm	hr	47.68	hr	64.48	hr	72.29
Durata di pioggia h	tp	2.54	tp	2.54	tp	2.54
intensità pioggia (mm/ora)	i	18.77	i	25.39	i	28.46
Coefficiente di deflusso	Cd	0.70	Cd	0.70	Cd	0.70
Area bacino (kmq)	A	14.60	A	14.60	A	14.60
Portata liquida m ³ /s	Ql_20	53.30	Ql_100	72.07	Ql_200	80.80
Contributo unitario m ³ /s/kmq	qp_20	3.65	qp_100	4.94	qp_200	5.53

Tabella 3 – Risultati del metodo razionale applicato al Torrente Grana chiuso a valle della Località Chiappi, presso l'area di intervento.

Definizione delle portate di progetto

Le portate liquide al colmo dedotte dall'analisi idrologica possono quindi essere così riassunte:

Modello idrologico	Durata evento [h]	Portate al colmo [m ³ /s]		
		TR 20 anni	TR 100 anni	TR 200 anni
Razionale	2.54	53.30	72.07	80.80

Tabella 4 – Portate liquide al colmo determinate per il Torrente Grana chiuso a valle della Località Chiappi, presso l'area oggetto di intervento.

Tali valori di portata sono stati infine confrontati con i massimi registrati in Piemonte e con quanto propone l'Autorità di Bacino per il Fiume Po, verificando così come il contributo unitario della portata con tempo di ritorno di 200 anni risulti compatibile con quanto proposto dall'Autorità di Bacino (si veda la Figura seguente).

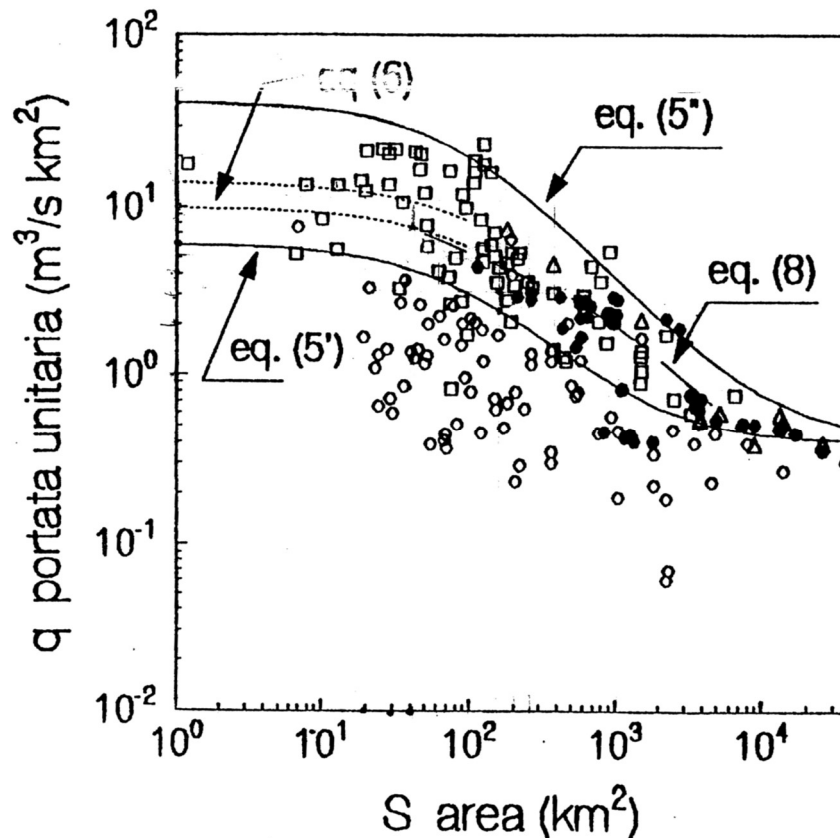


Figura 1 – Valori massimi delle portate al colmo osservate o indirettamente valutate in Piemonte, Valle d'Aosta e Ticino svizzero a fronte di alcune relazioni di inviluppo dei valori con TR200 anni proposti dall'Autorità di Bacino per il Fiume Po (cerchi neri).

VALUTAZIONE DEL TRASPORTO SOLIDO

Per la stima della componente di trasporto solido che può manifestarsi durante gli eventi di piena, in primo luogo si evidenzia che si è effettuata la valutazione escludendo il realizzarsi di trasporti di massa tipo debris-flow, che possono verificarsi a monte, ma si ritiene non debbano raggiungere la sezione in esame in ragione degli allargamenti presenti alla confluenza dei due sottobacini principali di monte.

Considerando inoltre la morfologia del bacino idrografico qui esaminato, e chiuso in corrispondenza del nuovo punto di scarico del depuratore, occorre tenere presente che il corso d'acqua in esame è formato dalla confluenza (circa 840 metri a monte dell'area di intervento, in corrispondenza dell'ingresso nella conca di fondovalle) di due torrenti (il Torrente Grana di Fauniera, in destra, ed il Rio Sibolet, in sinistra) che presentano bacini idrografici di estensione rilevante e pari a circa l'85% del bacino complessivo. Le portate defluenti che si possono manifestare presso l'area di intervento derivano pertanto dall'unione degli apporti dei due corsi d'acqua. In corrispondenza della confluenza, e della diminuzione di pendenza degli alvei all'ingresso nella piana alluvionale, si deve

quindi attendere il deposito di parte del materiale trasportato, come già è visibile dalla morfologia del sito.

Circa il materiale flottante, occorre infine considerare che l'area di intervento è posta ad una quota prossima a 1600 m s.l.m. e che il bacino idrografico drenato presenta una vegetazione arbustiva solo nella porzione posta a quote più basse, mentre la parte maggioritaria del bacino risulta costituito da pascoli o da zone di impervie di alta montagna; quindi, è verosimile uno scarso apporto di materiale flottante di tipo vegetazionale.

Ci si riferisce nel seguito al trasporto solido della corrente al fondo, intendendo stimare l'incremento potenziale di volume transitante ai fini di una adeguata valutazione delle portate.

Il tratto in esame, pur essendo localizzato in contesto montano, non presenta caratteristiche di erosione profonda ma, posto immediatamente a valle di un tratto di deposito, alla confluenza dei due sottobacini, dispone di sufficiente alimentazione per poter essere valutato come tratto di trasporto. La pendenza è comunque significativa, e quindi tale da trasportare a valle il materiale disponibile a monte, e questo è comprovato dal comportamento avuto negli eventi passati.

Caratteristiche della corrente si assumono le seguenti, che sono adeguate a rappresentare la portata di riferimento, $Q_{200} = 81 \text{ m}^3/\text{s}$, nel tratto in esame:

$$Q = 81 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D = 0.05 \text{ m, diametro caratteristico}$$

$$G_s = 27000 \text{ N/m}^3, \text{ peso specifico roccia}$$

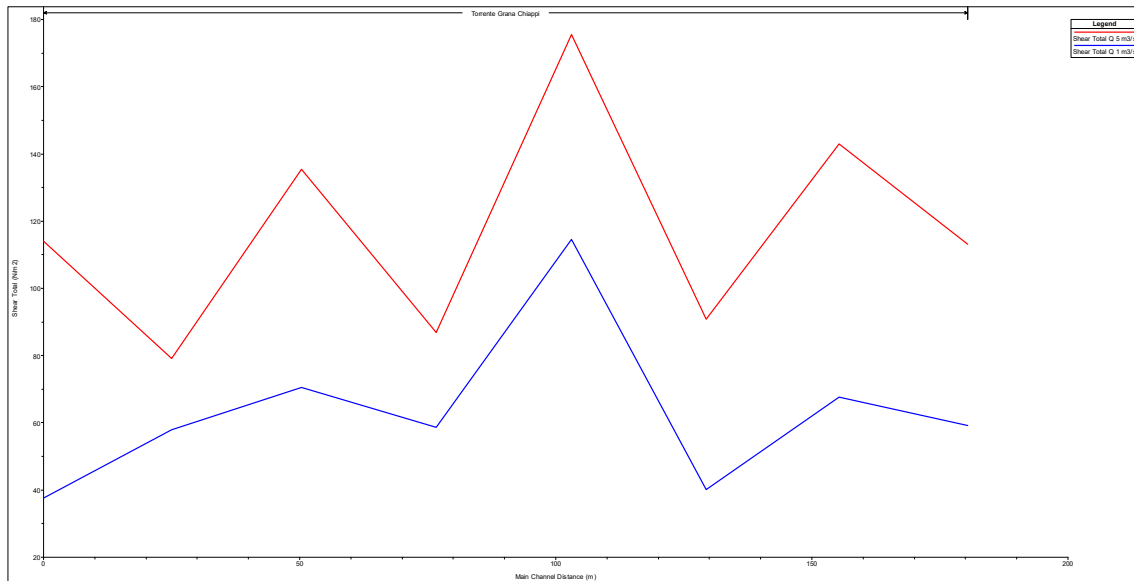
$$G_w = 9860 \text{ N/m}^3, \text{ peso specifico acqua}$$

$$S = 0.053, \text{ pendenza media di fondo}$$

Pertanto, il taglio critico al fondo può essere stimato, per corsi d'acqua ad elevata turbolenza, pari a:

$T_{cr} = 0.056 \cdot (27000 - 9860) \cdot 0.05 = 48 \text{ N/m}^2$. Considerata l'incertezza nella scelta del diametro caratteristico nel tratto in esame, variando D da 0.05 m a 0.10 m, si ottengono valori di taglio critico nell'ordine da 50 a 100 N/m^2 .

Tali valori si possono realizzare, nel tratto in esame, con altezze d'acqua modeste e con portate nell'ordine di pochi m^3/s . Questo è stato verificato nel modello idraulico RAS adottato, in figura si mostra l'andamento del taglio al fondo per due profili di portata pari a 1 m^3/s e 5 m^3/s .



Pertanto, si adotta quale valore di portata critica di moto incipiente il valore medio di $3.00 \text{ m}^3/\text{s}$.

La portata effettivamente efficace per il trasporto risulta quindi nell'ordine di:

$$Q_{\text{eff}} = 81 - 3 = 78 \text{ m}^3/\text{s}$$

Per la quantificazione del trasporto solido, inteso come portata in volume Q_s , si possono adottare svariate formulazioni. Nelle applicazioni pratiche si è affermata la possibilità di usare espressioni del tipo:

$$Q_s = A \cdot S^a \cdot Q_{\text{eff}}$$

dove i due parametri A ed a variano con la pendenza e la disomogeneità granulometrica.

La formula di Shocklitsch (1962), con alcune semplificazioni che si adattano alle applicazioni nel campo tecnico, risulta esprimibile come:

$$Q_s = 0.94 \cdot S^{1.5} \cdot Q_{\text{eff}}$$

che comporta la stima di $Q_s = 0.89 \text{ m}^3/\text{s}$.

Quella formulazione è stata successivamente ritarata da Smart e Jaeggy (1983) e poi da Rickenmann (1991) adattandola ai soli dati sperimentali ottenuti per forte pendenza, e quindi adatti al caso in esame, e riscritta come:

$$Q_s = 5.8 \cdot S^2 \cdot Q_{\text{eff}}$$

che comporta la stima di $Q_s = 1.27 \text{ m}^3/\text{s}$.

A fronte della portata di riferimento di 81 m³/s, tale valore rappresenta un incremento di circa l'1.5%.

Considerate le varie incertezze dimensionali, cautelativamente nel presente studio si sono comunque considerati incrementi della portata liquida per trasporto solido pari al 5%, in modo da considerare il trasporto al fondo di ghiaia e ciottoli movimentabili durante gli eventi di piena.

I valori di portata, ottenuti come somma della componente liquida (si veda la Tabella 4) e del trasporto solido, adottati come riferimento nelle successive verifiche idrauliche sono riportati nella Tabella seguente.

	TR 20 anni	TR 100 anni	TR 200 anni
Portata liquida [m ³ /s]	53.30	72.07	80.80
Portata solida [m ³ /s]	55.97	75.67	84.84
Portate di progetto [m³/s]	56.00	75.70	84.80

Tabella 5 – Portate al colmo assunte come riferimento per le verifiche idrauliche.

VERIFICHE IDRAULICHE

Per la verifica idraulica il modello utilizzato è il software HEC-RAS (River Analysis System) dell'Hydrologic Engineering Center del U.S. Army Corps of Engineers di Davies nella versione 6.4.1. Il modello risolve le equazioni del moto permanente monodimensionali.

HEC-RAS è in grado di modellare il profilo della corrente in regime di corrente lenta e/o veloce prendendo in esame anche situazioni miste in cui siano possibili alternanze di tronchi in corrente lenta e veloce.

Le normali perdite di energia meccanica sono valutate dal modello tenendo conto dell'attrito (grazie all'equazione di Manning) e di coefficienti di espansione-contrazione (moltiplicati per la variazione di velocità media della corrente), questi sono rispettivamente assunti pari a 0.1 e 0.3 nelle sezioni senza brusche variazioni e pari a 0.3 e 0.5 nelle sezioni con brusche variazioni (ad esempio in corrispondenza dei ponti). Il modello permette infatti di simulare gli effetti di vari ostacoli al deflusso come possono essere edifici, ponti, tombini e può calcolare i profili di corrente in corrispondenza di confluenze.

Condizioni al contorno

Sono state studiate le condizioni di deflusso per le portate di piena riferibili ai tempi di ritorno di 20, 100 e 200 anni, così come stimate nel relativo capitolo e riassunte nella Tabella 5.

Per quanto riguarda le condizioni idrauliche del Torrente Grana, ai due contorni di monte e di valle è stato assegnato il valore di altezza in moto uniforme, adottando la pendenza caratteristica nel tratto in esame pari a 5,30%. Come regime idraulico si è invece adottata la corrente in condizioni miste.

Coefficienti di scabrezza

Il modello richiede che la scabrezza sia espressa secondo la formula di Manning. Per quanto riguarda la scabrezza del tratto qui considerato del corso d'acqua si è quindi adottato un numero di Manning pari a $0,05 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, per le aree golenali in sponda sinistra e destra, caratterizzate dalla presenza di vegetazione cespugliata rada, ed a $0,04 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, per l'alveo inciso, in cui non sono presenti grossi trovanti rocciosi.

Tali valori risultano inoltre congruenti con quelli indicati nella letteratura di settore e nelle normative della Autorità di Bacino per il Fiume Po.

Scenari di riferimento

Il Torrente Grana è stato modellato secondo i rilievi topografici effettuati lungo l'alveo, in cui, nel caso di depositi alluvionali localizzati, le misure sul campo sono state ricondotte a forme trapezoidali o simili, quali sono quelle che si producono durante il deflusso di piene rilevanti. Per un'esauriente valutazione delle condizioni di deflusso si sono quindi allestite otto sezioni idrauliche distribuite uniformemente lungo l'alveo del corso d'acqua nel tratto in cui sono previsti gli interventi in progetto con la formazione della breve scogliera in massi di cava a consolidamento della sponda sinistra e la protezione in massi interrati ed intasati con cls della condotta di scarico del nuovo impianto di depurazione, lungo l'area golenale, fino allo sbocco nell'alveo di magra.

È stata quindi simulata la condizione geometrica di deflusso allo stato attuale, in cui è stata considerata la conformazione dell'alveo in corrispondenza dell'area di intervento ricavandola dal rilievo topografico svolto.

Nella modellazione di progetto è stato invece considerato l'intervento qui previsto con la costruzione della breve scogliera (lunghezza pari a circa 5,00 m) di consolidamento della sponda sinistra dell'alveo, e con la formazione della protezione in massi intasati con cls del tratto di condotta in corrispondenza dell'area golenale sinistra fino allo sbocco nell'alveo di magra. La scogliera in progetto sarà costituita da massi di cava non intasati, sarà addossata all'attuale scarpata dell'alveo e presenterà un dado di fondazione dello spessore di 1,00 m ed estradosso approfondito di circa 0,50 m rispetto al fondo alveo del Torrente Grana, mentre la platea in massi intasati con cls sarà realizzata completamente interrata mediante una lieve risagomatura dell'area golenale.

Risultati

I risultati dettagliati di calcolo sono riportati rispettivamente in **Allegato A**, per la situazione esistente, ed in **Allegato B**, per la geometria di progetto, dove sono illustrate le sezioni idrauliche, i profili e tutti i dati idraulici elaborati dal software relativi ai livelli idrici di piena.

Le seguenti variabili sono indicate nelle tabelle in lingua inglese:

W.S. Elev.:	quota del pelo libero (m)
Vel. head:	termine cinetico (m)
E.G. Elev.:	quota della linea dell'energia (m)
Crit. W.S.:	quota della profondità critica (m)
E.G. slope:	pendenza della linea dell'energia (m/m)
Q totale:	portata totale (m ³ /s)

Top Width:	larghezza del pelo libero (m)
Vel. Total:	velocità media nella sezione (m/s)
Max Chl. Dpth:	profondità massima della corrente nell'alveo principale (m)
Min Ch. El.:	quota minima del fondo (m)
Left O.B.:	golena sinistra
Channel:	alveo principale
Right O.B.:	golena destra
Wt n-Val.:	valori della scabrezza secondo Manning
Reach Len.:	lunghezza del tronco d'alveo (distinta a seconda che si tratti dello sviluppo della golena e dell'alveo principale)
Flow area:	area bagnata (m ²)
Flow:	portata (m ³ /s)
Avg. vel.:	velocità media (in golena e nell'alveo principale; m/s)
Wetted Per.:	contorno bagnato (m)
Shear:	forza trattiva (N/m ²)

CONCLUSIONI

Gli studi idrologici effettuati sul bacino idrografico del Torrente Grana, chiuso presso l'area di intervento, per la stima delle portate di piena riferite ai tempi di ritorno tradizionalmente impiegati per la valutazione delle condizioni di pericolosità (20, 100 e 200 anni), hanno fornito valori che risultano sostanzialmente compatibili con le attuali sezioni incise dell'alveo lungo il tratto qui esaminato, senza che siano interessate le aree golenali presenti in sinistra idrografica oltre la sponda dell'alveo inciso.

Tenendo quindi conto delle indicazioni ricevute dalla Committenza e delle osservazioni emerse durante la Conferenza dei Servizi del 25/03/2026, si è elaborata la presente soluzione progettuale prevedendo solamente la formazione di un puntuale consolidamento della sponda sinistra del corso d'acqua, oltre alla costruzione di una platea in massi interrati a protezione della condotta di scarico delle acque depurate, a valle del nuovo impianto, lungo l'area golenale fino all'alveo di magra.

La posizione individuata per il nuovo impianto di depurazione risulta discosta dalle sezioni incise del Torrente Grana, oltre la strada sterrata presente lungo il ciglio di sponda, e ad una quota elevata di circa 3,40 m rispetto al livello idrico della portata con tempo di ritorno di 200 anni (a questo proposito si veda la sezione idraulica n. 40 riportata nella figura seguente).

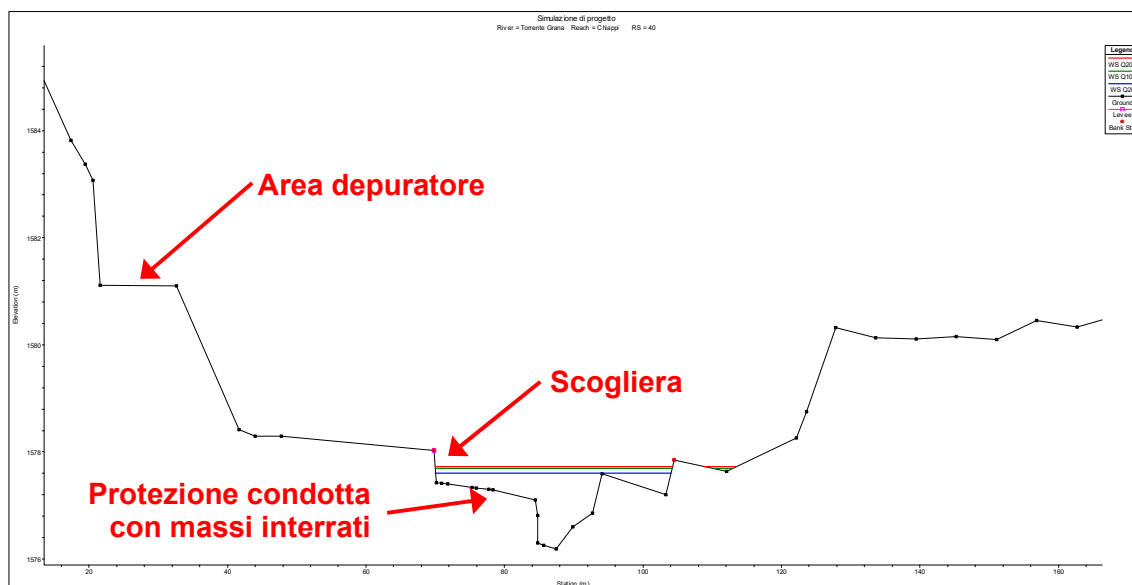


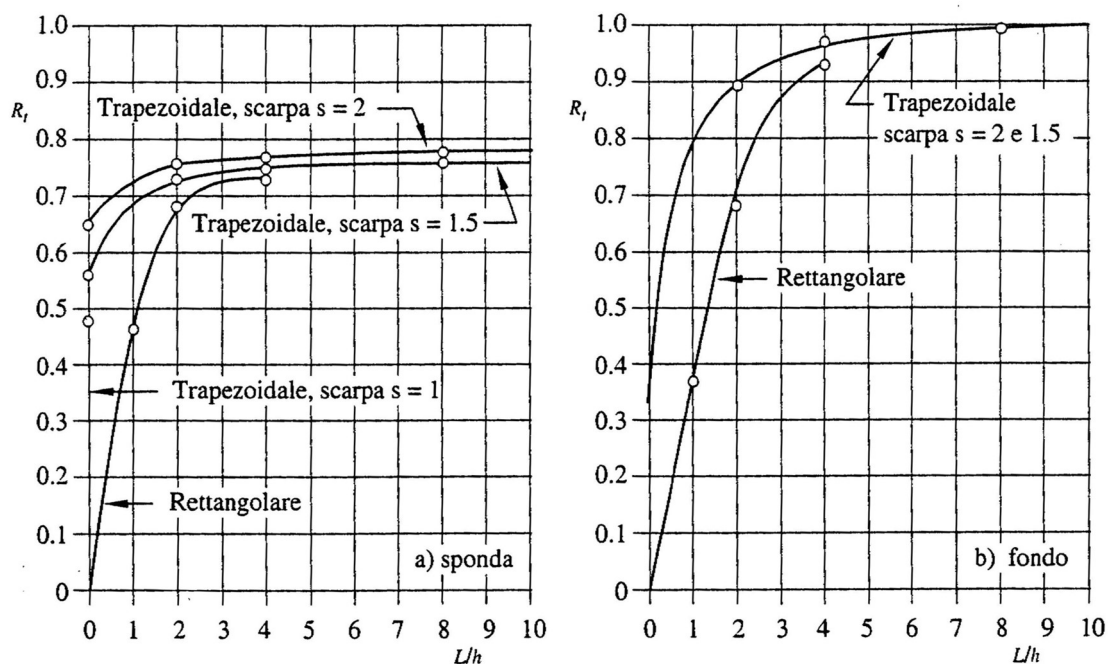
Figura 2 – Profili idraulici delle portate simulate (Q20, Q100 e Q200) nelle condizioni di progetto con il consolidamento della sponda sinistra, e la protezione della condotta di scarico fino all'alveo di magra, oltre alla costruzione del nuovo impianto di depurazione in sinistra idrografica in area rilevata rispetto alle superfici allegabili dal Torrente Grana.

L'analisi delle velocità di moto con le portate di piena prese in considerazione risulta inoltre coerente con la pendenza dell'alveo, con velocità che sono generalmente comprese tra 3,50 e 5,00 m/s.

Dimensionamento dei massi costituenti la scogliera in sponda sinistra

Per la caratterizzazione del trasporto solido si può fare riferimento alla teoria del moto incipiente di Shields, che si basa sull'equilibrio tra le forze di trascinamento e quelle che si oppongono al movimento.

Nel caso di moto turbolento, caratteristico di corsi d'acqua naturali, il valore del parametro di Shields assume un valore caratteristico da cui si può determinare il diametro minimo stabile in determinate condizioni di deflusso. Nel caso in studio si è stimata la condizione di deflusso della portata di piena con tempo di ritorno di 200 anni che, nel tratto in oggetto, presenta un'altezza idrica massima di circa 1,50 m. La definizione del diametro minimo stabile viene valutata con il calcolo dello sforzo tangenziale massimo in condizioni idrauliche di portata Q200 e con l'applicazione del parametro critico di Shields.



Calcolo dello sforzo tangenziale massimo in una sezione d'alveo sulla SPONDA

TR 200

$\tau = R_t (y h i)$	
R_t	0.75 Coefficiente dipendente dalla forma della sezione, variabile da 0 a 1
Y	1100 Peso specifico dell'acqua in Kg/m^3
H	1.50 Profondità della corrente (m)
I	0.0400 Pendenza dell'alveo
$\tau =$	49.5 Kg/m^2

Diametro minimo stabile assumendo $\tau_{\max} = 1.5 \tau_0$

$D = 1.5 \tau / (y_s - y) Y_c$		
Y_s	2700	Peso specifico del masso da scogliera in Kg/m ³
Y	1100	Peso specifico dell'acqua in Kg/m ³
Y_c	0.056	Valore critico del parametro di Shields
$D =$	0.83	m

Pari ad un masso di volume 0.298 m³

Nelle condizioni esistenti il diametro minimo stabile è stato cautelativamente calcolato verificando uno sforzo pari a 1,5 volte il valore di calcolo. Secondo i calcoli sopra riportati il diametro ed il peso dei massi di cava impiegati nella realizzazione della breve difesa spondale e la protezione della condotta in alveo (aventi un volume minimo superiore ad 1,00 m³) risultano quindi sufficientemente ancorati.

Va infine segnalato che la stima del diametro minimo stabile cautelativamente non considera il vincolo reciproco tra i massi ed è calcolata sulla profondità massima della corrente.

ELENCO ALLEGATI

Allegato A – Simulazione stato esistente: tabelle, sezioni e profili idraulici

Allegato B – Simulazione stato in progetto: tabelle, sezioni e profili idraulici

IL PROGETTISTA
Dott. Ing. Franco GIRAUDO

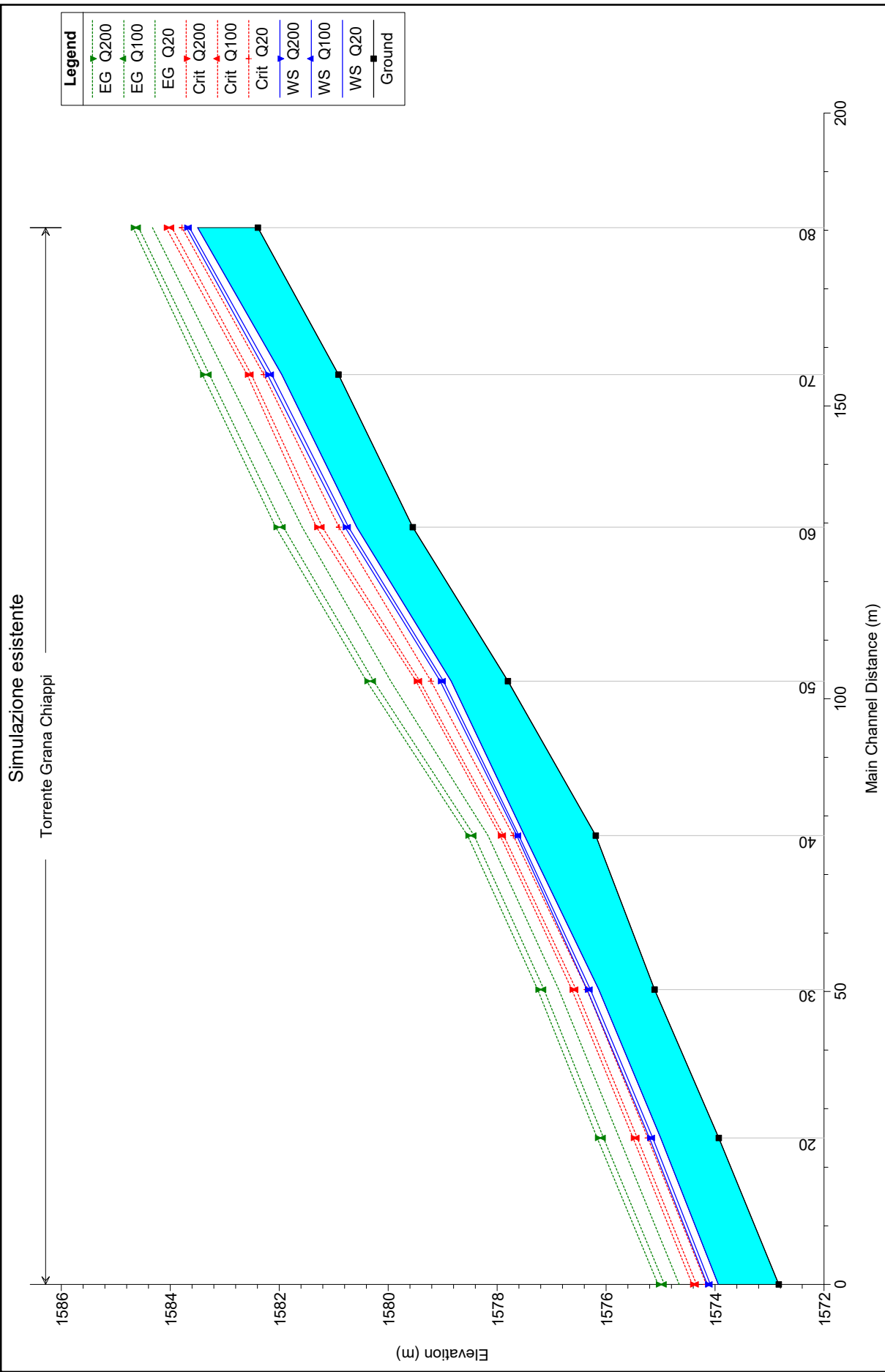
ALLEGATO A:

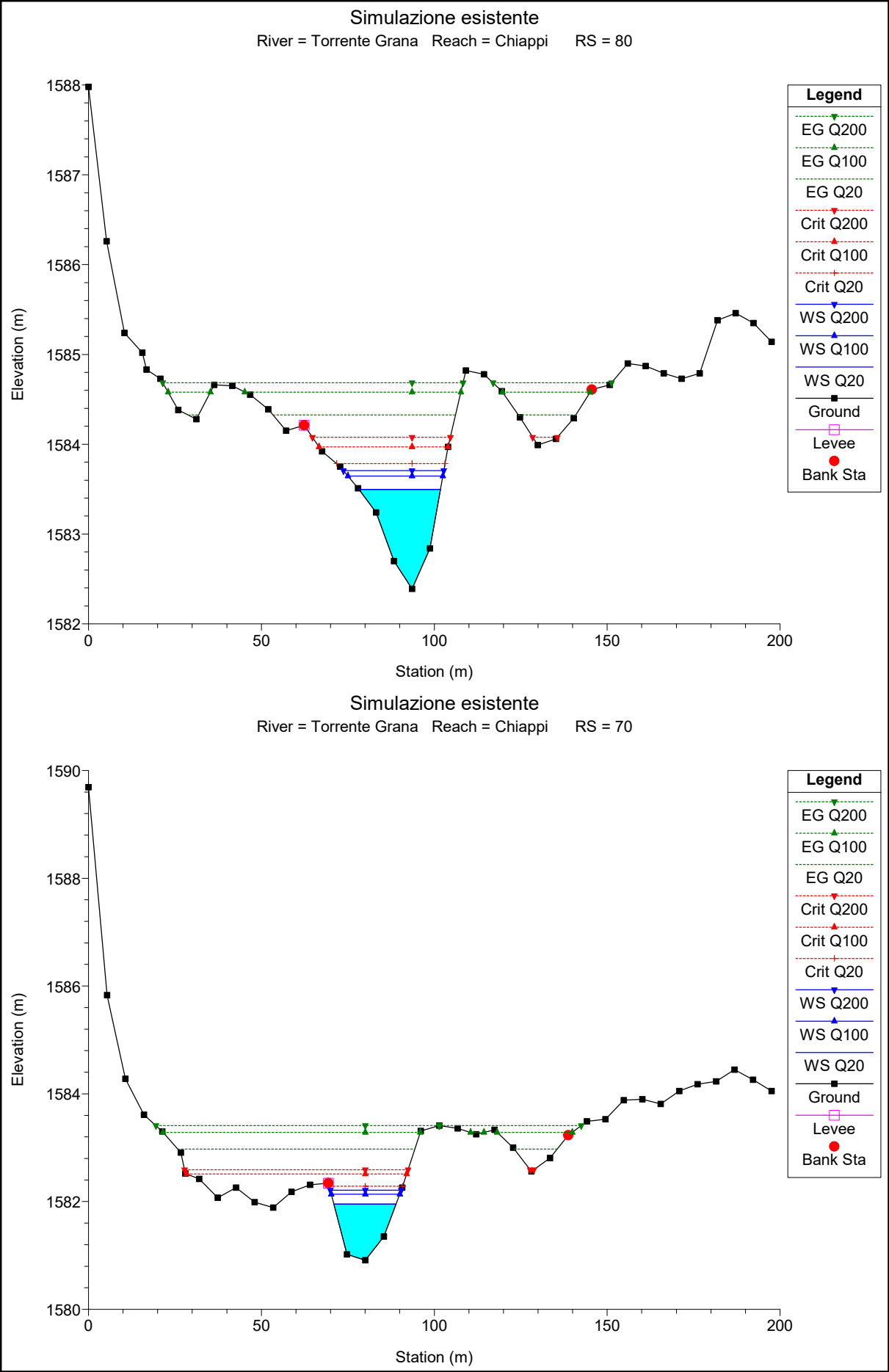
Simulazione stato esistente: tabelle,

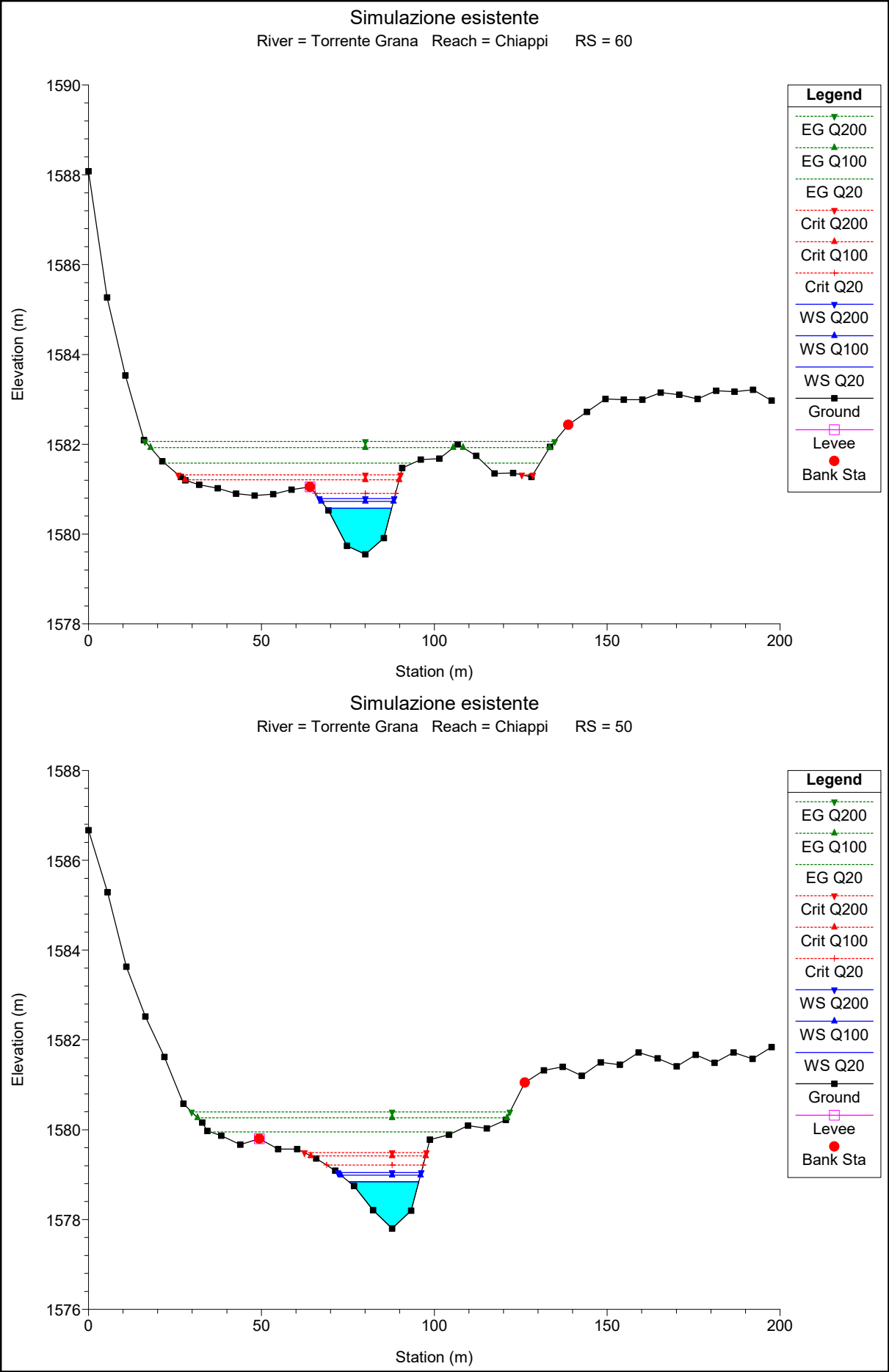
profili e sezioni idrauliche

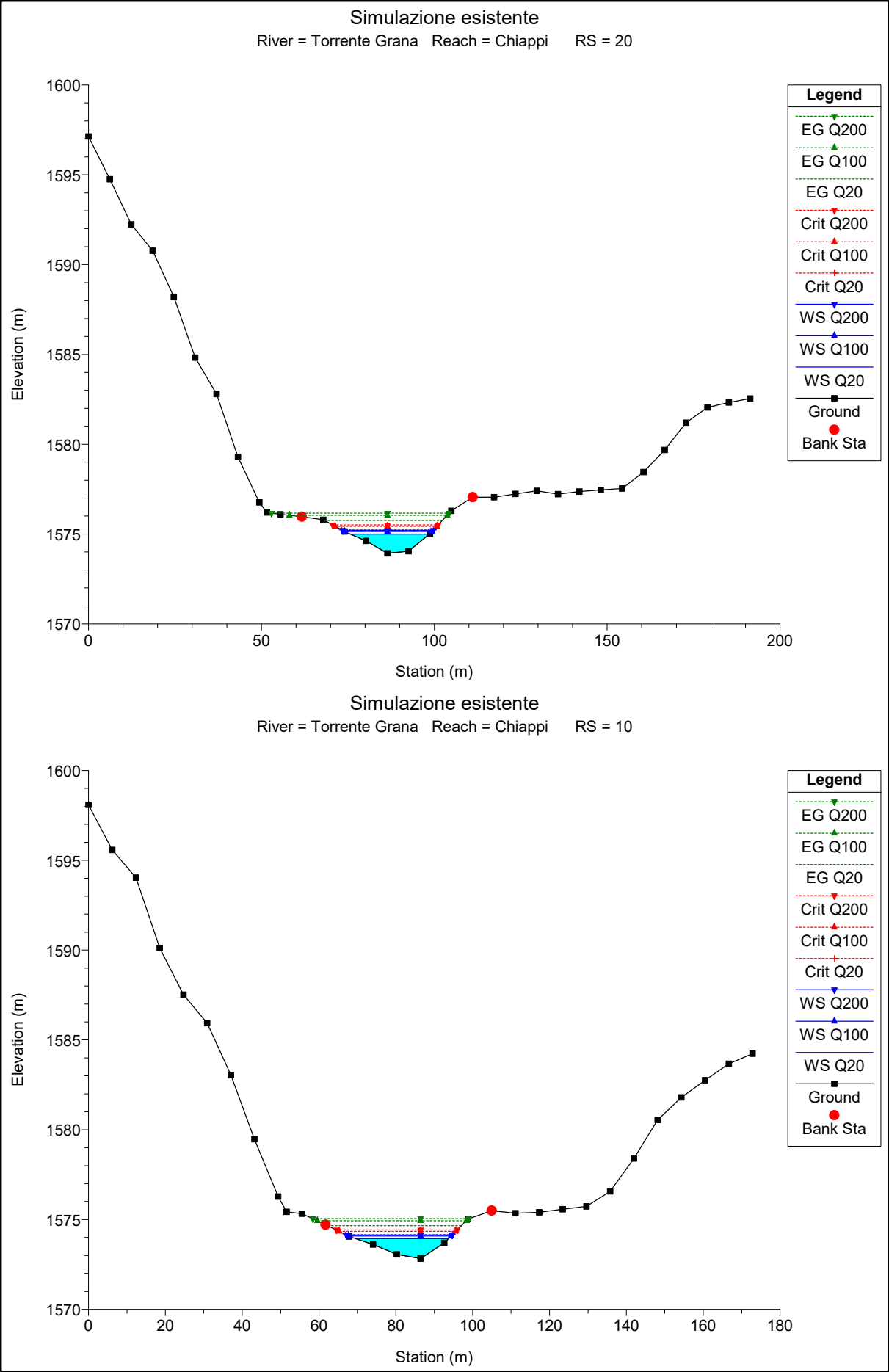
HEC-RAS Plan: Esistente River: Torrente Grana Reach: Chiappi

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
Chiappi	80	Q20	56.00	1582.39	1583.50	1583.78	1584.33	0.053065	4.03	13.88	23.54	1.68
Chiappi	80	Q100	75.70	1582.39	1583.65	1583.97	1584.58	0.053106	4.28	17.68	27.43	1.70
Chiappi	80	Q200	84.80	1582.39	1583.71	1584.08	1584.68	0.053023	4.38	19.36	28.99	1.71
Chiappi	70	Q20	56.00	1580.91	1581.95	1582.28	1582.98	0.052799	4.48	12.51	17.99	1.71
Chiappi	70	Q100	75.70	1580.91	1582.14	1582.51	1583.28	0.048722	4.74	15.96	19.80	1.69
Chiappi	70	Q200	84.80	1580.91	1582.21	1582.59	1583.41	0.047202	4.84	17.51	20.56	1.68
Chiappi	60	Q20	56.00	1579.55	1580.58	1580.91	1581.58	0.053999	4.43	12.63	18.78	1.73
Chiappi	60	Q100	75.70	1579.55	1580.73	1581.21	1581.92	0.055741	4.84	15.64	20.86	1.79
Chiappi	60	Q200	84.80	1579.55	1580.79	1581.32	1582.06	0.056140	4.99	16.98	21.72	1.80
Chiappi	50	Q20	56.00	1577.80	1578.84	1579.21	1579.95	0.070425	4.67	12.00	20.18	1.93
Chiappi	50	Q100	75.70	1577.80	1578.99	1579.42	1580.27	0.071078	5.01	15.11	23.01	1.97
Chiappi	50	Q200	84.80	1577.80	1579.04	1579.49	1580.40	0.071415	5.15	16.46	24.14	1.99
Chiappi	40	Q20	56.00	1576.19	1577.50	1577.70	1578.17	0.056206	3.63	15.43	31.39	1.65
Chiappi	40	Q100	75.70	1576.19	1577.60	1577.88	1578.42	0.059015	4.02	18.83	34.04	1.73
Chiappi	40	Q200	84.80	1576.19	1577.64	1577.94	1578.54	0.059725	4.22	20.12	34.13	1.75
Chiappi	30	Q20	56.00	1575.11	1576.13	1576.35	1576.87	0.043197	3.81	14.71	23.32	1.53
Chiappi	30	Q100	75.70	1575.11	1576.29	1576.55	1577.14	0.040970	4.08	18.56	25.47	1.53
Chiappi	30	Q200	84.80	1575.11	1576.35	1576.63	1577.25	0.040836	4.21	20.14	26.30	1.54
Chiappi	20	Q20	56.00	1573.93	1575.00	1575.23	1575.76	0.044249	3.86	14.50	22.90	1.55
Chiappi	20	Q100	75.70	1573.93	1575.15	1575.43	1576.05	0.044933	4.20	18.01	25.35	1.59
Chiappi	20	Q200	84.80	1573.93	1575.21	1575.50	1576.16	0.044860	4.34	19.55	26.21	1.60
Chiappi	10	Q20	56.00	1572.83	1573.94	1574.16	1574.66	0.042896	3.74	14.95	24.19	1.52
Chiappi	10	Q100	75.70	1572.83	1574.08	1574.34	1574.93	0.043236	4.07	18.60	26.72	1.56
Chiappi	10	Q200	84.80	1572.83	1574.14	1574.42	1575.05	0.043399	4.21	20.13	27.51	1.57









ALLEGATO B:

Simulazione stato in progetto: tabelle,
profili e sezioni idrauliche

HEC-RAS Plan: Progetto River: Torrente Grana Reach: Chiappi

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
Chiappi	80	Q20	56.00	1582.39	1583.50	1583.78	1584.33	0.053065	4.03	13.88	23.54	1.68
Chiappi	80	Q100	75.70	1582.39	1583.65	1583.97	1584.58	0.053106	4.28	17.68	27.43	1.70
Chiappi	80	Q200	84.80	1582.39	1583.71	1584.08	1584.68	0.053023	4.38	19.36	28.99	1.71
Chiappi	70	Q20	56.00	1580.91	1581.95	1582.28	1582.98	0.052799	4.48	12.51	17.99	1.71
Chiappi	70	Q100	75.70	1580.91	1582.14	1582.51	1583.28	0.048722	4.74	15.96	19.80	1.69
Chiappi	70	Q200	84.80	1580.91	1582.21	1582.59	1583.41	0.047202	4.84	17.51	20.56	1.68
Chiappi	60	Q20	56.00	1579.55	1580.58	1580.91	1581.58	0.053999	4.43	12.63	18.78	1.73
Chiappi	60	Q100	75.70	1579.55	1580.73	1581.21	1581.92	0.055741	4.84	15.64	20.86	1.79
Chiappi	60	Q200	84.80	1579.55	1580.79	1581.32	1582.06	0.056140	4.99	16.98	21.72	1.80
Chiappi	50	Q20	56.00	1577.80	1578.84	1579.21	1579.95	0.070425	4.67	12.00	20.18	1.93
Chiappi	50	Q100	75.70	1577.80	1578.99	1579.42	1580.27	0.071078	5.01	15.11	23.01	1.97
Chiappi	50	Q200	84.80	1577.80	1579.04	1579.49	1580.40	0.071415	5.15	16.46	24.14	1.99
Chiappi	40	Q20	56.00	1576.19	1577.60	1577.78	1578.20	0.052572	3.44	16.30	34.05	1.59
Chiappi	40	Q100	75.70	1576.19	1577.69	1577.94	1578.47	0.055078	3.92	19.38	36.88	1.67
Chiappi	40	Q200	84.80	1576.19	1577.73	1578.01	1578.59	0.055889	4.11	20.81	38.93	1.69
Chiappi	30	Q20	56.00	1575.11	1576.12	1576.35	1576.89	0.046214	3.90	14.36	23.12	1.58
Chiappi	30	Q100	75.70	1575.11	1576.27	1576.55	1577.17	0.044225	4.19	18.06	25.20	1.58
Chiappi	30	Q200	84.80	1575.11	1576.33	1576.63	1577.28	0.043760	4.32	19.65	26.05	1.59
Chiappi	20	Q20	56.00	1573.93	1575.01	1575.23	1575.75	0.043076	3.82	14.64	23.01	1.53
Chiappi	20	Q100	75.70	1573.93	1575.15	1575.43	1576.04	0.044308	4.18	18.10	25.40	1.58
Chiappi	20	Q200	84.80	1573.93	1575.21	1575.50	1576.16	0.044611	4.33	19.59	26.23	1.60
Chiappi	10	Q20	56.00	1572.83	1573.94	1574.16	1574.66	0.043545	3.77	14.87	24.12	1.53
Chiappi	10	Q100	75.70	1572.83	1574.08	1574.34	1574.93	0.043315	4.07	18.59	26.71	1.56
Chiappi	10	Q200	84.80	1572.83	1574.14	1574.42	1575.05	0.043324	4.21	20.14	27.52	1.57

