

# **COMUNE DI BARDONECCHIA**

COMUNITA' MONTANA ALTA VALLE SUSA

Provincia di Torino

## **PIANO REGOLATORE GENERALE**

### **VARIANTE DI ADEGUAMENTO AL PAI**

(Art. 18 N.d.A)

ID3

#### ***RELAZIONE IDRAULICA ED IDROLOGICA DI APPROFONDIMENTO PER IL BACINO DEL TORRENTE ROCHEMOLLES IN LOC PLAGNOL***



Il Direttore Tecnico dott. ing. Livio MARTINA

Il redattore dott. ing. Luca GATTIGLIA

Settembre 2010

**COMUNE DI BARDONECCHIA**  
**Comunità Montana Alta Valle di Susa**  
**(Provincia di Torino)**

**PIANO REGOLATORE GENERALE**

**VARIANTE DI ADEGUAMENTO AL PAI**  
(Art. 18 N.d.A)

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE IDRAULICA

Indice:

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 1       | PREMESSA .....   | 4  |
| 2       | DESCRIZIONE DEGLI APPROFONDIMENTI NECESSARI ALLA DEFINIZIONE DELLE CONDIZIONI DI RISCHIO DELLA LOCALITA' PLAGNOLS..... | 4  |
| 3       | DESCRIZIONE DEL BACINO IDROGRAFICO DELLA DORA DI ROCHEMOLLES .....   | 4  |
| 4       | LINEE SEGNALATRICI DI PROBABILITA' PLUVIOMETRICA.....  | 5  |
| 5       | DEFINIZIONE DELLE PORTATE DI PIENA.....  | 6  |
| 7.1     | metodologie di calcolo delle portate .....   | 6  |
| 7.2     | Metodo razionale.....  | 7  |
| 7.3     | Metodo AFFLUSSI-DEFLUSSI .....   | 8  |
| 7.3.1   | DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA DI CALCOLO.....  | 9  |
| 7.3.1.1 | Distribuzione delle precipitazioni .....   | 9  |
| 7.3.1.2 | Caratteristiche dei bacini.....  | 10 |
| 7.3.1.3 | Infiltrazione .....  | 12 |
| 7.3.1.4 | PROPAGAZIONE DELL'ONDA DI PIENA.....   | 14 |
| 7.4     | esplicitazione dei parametri di calcolo e valori di portata .....  | 14 |
| 7.4.1   | METODO RAZIONALE .....   | 14 |
| 7.4.2   | MODELLAZIONE AFFLUSSI DEFLUSSI.....  | 16 |
| 6       | ADOZIONE DEI VALORI DI PORTATA liquida .....   | 17 |
| 7       | COLATA DETRITICA.....  | 18 |
| 7.1     | Stima volumetrica.....   | 19 |

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 7.2 | Definizione del valore di concentrazione.....             | 20 |
| 7.3 | SCENARI ED IPOTESI DI EVENTO.....                         | 20 |
| 7.4 | conclusioni sull'analisi del fenomeno di debris flow..... | 23 |
| 8   | VERIFICHE IDRAULICHE.....                                 | 24 |
| 7.5 | ASSETTO GEOMETRICO.....                                   | 24 |
| 7.6 | CONDIZIONI AL CONTORNO.....                               | 25 |
| 7.7 | COEFFICIENTI DI SCABREZZA.....                            | 26 |
| 9   | ANALISI DEI RISULTATI.....                                | 26 |
| 10  | CONCLUSIONI.....  | 27 |

## **1 PREMESSA**

Nell'ambito della conferenze di pianificazione é emersa la necessità di un approfondimento idraulico per gli edifici posti in località Plagnols del Comune di Bardonecchia.

Infatti nell'ambito della variante di P.R.G.C. di adeguamento al PAI le abitazioni della località Plagnols erano state poste in classe di rischio IIIb4.

La Regione Piemonte osservava ed esprimeva dei dubbi su detta classificazione proponendo una classe più restrittiva IIIc.

I proprietari osservavano a questa classificazione proposta dalla Regione Piemonte con una relazione a firma del Dott. Geol. Dario Fontan Studio SEA.

Il Comune a seguito dell'osservazione che veniva accolta riproponeva una classe IIIb4. La Regione Piemonte in sede di Conferenza di pianificazione proponeva nuovamente per le abitazioni di Plagnols la classe IIIc.

Concordemente la Conferenza sospendeva l'approvazione della variante richiedendo al Comune un approfondimento tecnico sulla effettiva pericolosità del sito in modo tale da poter suffragare e sciogliere ogni possibile dubbio sulla classificazione del sito e quindi addivenire all'attribuzione di una classe di pericolosità condivisa.

## **2 DESCRIZIONE DEGLI APPROFONDIMENTI NECESSARI ALLA DEFINIZIONE DELLE CONDIZIONI DI RISCHIO DELLA LOCALITA' PLAGNOLS**

Al fine di definire il livello di rischio a cui sono esposte le abitazioni della località Plagnols é innanzitutto necessario predisporre un approfondimento topografico descrivente la morfologia di dettaglio e di contorno all'area interessata.

Questa attività é consistita nel descrivere la morfologia dell'alveo in un'intorno significativo in corrispondenza e a monte delle abitazioni stesse.

Sono state quindi rilevate n° 9 sull'asta del T. Rochemolles n° 2 sezioni significative sul Rio di Valfredda.

Questa implementazione della topografia esistente costituente la cartografia di base del P.R.G.C. permette le seguenti considerazioni.

Sul T. Rochemolles é presente l'invaso omonimo di proprietà dell'ENEL che sottende un bacino di kmq 23.7

Tale vasca garantisce un trattenimento del trasporto solido di un'importante parte di Bacino pari a 23,7 kmq a fronte di un bacino a monte di rio Valfredda di 33,70 kmq.

Alla luce di queste considerazioni si sono esaminati i fenomeni legati alla dinamica torrentizia con particolare attenzione ai fenomeni di trasporto solido di massa.

## **3 DESCRIZIONE DEL BACINO IDROGRAFICO DELLA DORA DI ROCHEMOLLES**

Il bacino della Dora di Rochemolles risulta il secondo principale affluente della Dora di Bardonecchia che si forma con la confluenza del Rochemolles con la Dora di Melezet poco a valle del concentrico.

Il bacino completo consta di circa 70.2 km<sup>2</sup> alla chiusura con una lunghezza dell'asta principale di circa 18 km ed una altezza media del Bacino di 2428.

L'origine del Rochemolles avviene nell'amplia conca che parte dalla Rognosa d'Etache (3373) passa per la punta del Somellier (3332) sino alla costa del passo di Valfredda. L'orientamento iniziale del Torrente è da sud est verso nord ovest. Ai piedi della Pierre Menue (3506) si ha una

prima conversione in direzione sud ovest, appena più a valle vi è l'invaso costituito dalla diga di Rochemolles e la confluenza con il rio di Almiane che avviene a valle della diga.

Successivamente, procedendo verso valle, si ha, a monte dell'abitato di Rochemolles, la confluenza in sinistra del rio di Valfredda, infine, prima del concentrico riceve degli affluenti minori, principalmente provenienti da destra (combasse e Chanteroi) e soprattutto in sinistra dal versante dello Jaffreau (Malrit, Challier e Ripert). In corrispondenza dell'abitato si orienta in direzione sud est per confluire nella Dora di Bardonecchia.

#### **4 LINEE SEGNALETRICI DI PROBABILITA' PLUVIOMETRICA**

Al fine di determinare con sufficiente approssimazione quale sia la più plausibile portata di piena di un corso d'acqua, è necessario rifarsi a misure dirette oppure utilizzare operazioni di ricostruzione indirette.

Nel caso in esame non si hanno dati di portata pertanto occorre definire le portate mediante l'utilizzo di formulazioni indirette che facciano riferimento alle piogge ed alle caratteristiche del bacino sotteso da una sezione di chiusura.

La previsione quantitativa delle piogge intense in una determinata area di piccole dimensioni è effettuata tramite la determinazione della curva di probabilità pluviometrica, cioè la relazione che lega l'altezza di precipitazione alla sua durata, per un assegnato tempo di ritorno.

Il tempo di ritorno è direttamente legato alla probabilità di accadimento di un certo evento ed è espresso in anni. L'altezza di precipitazione in un punto è comunemente misurata in mm ed è l'altezza d'acqua che si formerebbe al suolo su una superficie orizzontale ed impermeabile, in un certo intervallo di tempo (durata della precipitazione) ed in assenza di perdite.

La curva di possibilità pluviometrica è comunemente espressa da una legge di potenza del tipo:

$$h(t) = at^n$$

in cui i parametri  $a$  e  $n$  dipendono dallo specifico tempo di ritorno assegnato.

Per definire  $a$  e  $n$ , l'Autorità di Bacino ha utilizzato le serie storiche delle precipitazioni intense riportate negli Annali Idrologici del Servizio Idrografico e Mareografico Italiano (Parte I, tabella III) relative ai massimi annuali delle precipitazioni della durata di 1, 3, 6, 12 e 24 ore consecutive. L'intervallo di durata tra 1 e 24 ore rappresenta il campo entro cui sono da ricercare le durate critiche per la maggior parte dei corsi d'acqua, per i quali la stima della portata di piena può essere effettuata tramite l'utilizzo delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica.

In analogia e congruenza a quanto già utilizzato nella redazione degli studi idraulici di PRGC si ritiene corretto utilizzare le medesime curve di possibilità pluviometrica ovvero le curve proposte dall'Autorità di Bacino con riferimento al Piano Stralcio denominato PS45.

Le curve così elaborate consentono il calcolo delle linee segnalatrici per aree omogenee, per tempi di ritorno di 200 e 500 anni.

I valori pubblicati dall'Autorità di Bacino costituiscono riferimento per le esigenze connesse agli studi come quello in esame che, per mancanza di misure dirette (pluviometri sul bacino) non possano svolgere direttamente valutazioni idrologiche più approfondite a scala locale. Nelle tabelle seguenti si riportano i valori di  $a$  e  $n$  ottenuti con la metodologia su riportata.

Il bacino in oggetto ricade nell'area omogenea del bacino 12.

In relazione alle aree omogenee del bacino pluviometrico omogeneo n. 12 i precedenti parametri assumono i seguenti valori con riferimento a durate di precipitazione inferiore alle 24 ore:

$Tr = 200$  anni

$a = 163.64$

$n = 0.458$

$Tr = 500$  anni

$a = 182.03$

$n = 0.455$

In conclusione le curve segnalatrici di possibilità climatica sono state assunte come di seguito:

$$Tr = 200 \text{ anni} \quad h = 163.64 t^{0.458}$$

$$Tr = 500 \text{ anni} \quad h = 182.03 t^{0.455}$$

Con  $a$  espresso in mm e  $t$  espresso in giorni.

Successivamente al PS 45 l'autorità di Bacino ha pubblicato altre curve di possibilità pluviometrica allegate alla "Direttiva sulla portata di progetto da assumere per la progettazione delle opere", dette curve risultano definite anche per l'area in esame ma i valori forniti non sono stati riportati per ragioni di congruenza con gli studi idrologici di PRGC già svolti; Inoltre, dal confronto tra le curve della suddetta direttiva con quelle del PS45, su bacini analoghi, è emerso che in generale per il bacino omogeneo 12 in Bardonecchia i risultati forniti sono assolutamente confrontabili e talvolta leggermente inferiori quelli delle curve più recenti e pertanto trova giustificazione la presente adozione.

## **5 DEFINIZIONE DELLE PORTATE DI PIENA**

### **7.1 METODOLOGIE DI CALCOLO DELLE PORTATE**

Le procedure adottabili per la stima della portata di piena di un corso d'acqua si differenziano in relazione alla disponibilità di serie storiche di dati idrologici rappresentativi.

Il caso più favorevole si ha quando, nella sezione di interesse, sono disponibili valori di portata misurati per un periodo di osservazione sufficientemente lungo; in tali condizioni l'analisi statistica diretta di frequenza delle piene consente di determinare le stime richieste.

Poiché tale situazione si verifica raramente, in ragione del modesto numero di stazioni di misura esistenti e del ridotto periodo di osservazioni disponibile per alcune di esse, nella maggior parte dei casi si è nelle condizioni di dover stimare i valori di portate di piena con metodi indiretti. In questo caso le procedure utilizzabili sono le seguenti:

- impiego di modelli di regionalizzazione del dato idrometrico, costruiti tramite l'analisi statistica dei dati idrologici disponibili, relativi ad una porzione di territorio ("regione idrologica") omogenea rispetto ai fenomeni di piena;
- analisi statistica delle osservazioni pluviometriche relative al bacino idrografico sotteso dalla sezione di interesse e impiego di modelli afflussi-deflussi per la trasformazione delle portate.

Il primo metodo consiste nell'utilizzare l'intera informazione idrometrica disponibile all'interno di una regione idrologica omogenea. In tal modo si perviene ad un campione di dati storici di dimensioni molto maggiori rispetto a quelle di una singola stazione; sulla base di tale campione si ottiene, in genere mediante l'impiego di leggi di regressione statistica, la stima della distribuzione di probabilità delle portate di piena. Nel nostro caso non sussistono modelli di regionalizzazione del dato idrometrico e quindi si deve far ricorso alle osservazioni pluviometriche.

L'applicazione del metodo pluviometrico può avvenire con due diversi approcci:

- metodo razionale;
- metodo afflussi - deflussi.

Il primo è molto usato ed è utile soprattutto per la definizione del massimo valore atteso in via speditiva e cautelativa per l'uso progettuale. Il secondo verrà utilizzato nel seguito per la definizione del fenomeno della colata detritica basato su un idrogramma significativo del fenomeno.

## 7.2 METODO RAZIONALE

La formula del metodo razionale è la seguente:

$$Q_C = 0.28 * c * i * A$$

dove:

- Q = portata al colmo [m<sup>3</sup>/s];
- c = coefficiente di deflusso;
- i = intensità di pioggia, espressa in mm/h;
- A = superficie del bacino [km<sup>2</sup>].

Il metodo considera il bacino idrografico come una singola unità di sistema 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 di quello dell'intensità di pioggia;
- il tempo di formazione del colmo di piena è pari a quello dell'intensità di pioggia;
- 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.

Il tempo di corrivazione del bacino è normalmente calcolato con formule empiriche; tra di esse quella maggiormente utilizzata è quella proposta da Giandotti:

$$t_c = \frac{(4\sqrt{A} + 1.5L)}{(0.8\sqrt{(H_m - H_0)})} \text{ [h]}$$

dove:

- L = lunghezza del percorso idraulicamente più lungo del bacino [km], alla sezione sottesa;
- H<sub>m</sub> = altitudine media del bacino [m.s.m.] alla sezione sottesa;
- H<sub>0</sub> = altitudine della sezione di chiusura [m.s.m.], alla sezione sottesa;
- A = area del bacino sotteso alla sezione di calcolo della portata.

Altre formule empiriche sono le seguenti:

Ventura (1905):

$$t_c = 0.127 \sqrt{\frac{A}{p}}$$

Pezzoli (1970):

$$t_c = 0.055 \frac{L}{\sqrt{p}}$$

Merlo (1973):

$$t_c = 0.396 \frac{L}{\sqrt{p}} * \left( \frac{A}{L^2} * \sqrt{\frac{p}{p_v}} \right)^{0.72}$$

Puglisi (1978):

$$t_c = 6L^{2/3} (H_{\max} - H_0)^{-1/3}$$

dove:

$p$  = pendenza media [m/m];

$p_v$  = pendenza media dei versanti [m/m].

La stima del coefficiente di deflusso è estremamente difficile e costituisce il maggior elemento di incertezza nella valutazione della portata. Il parametro tiene conto, in forma implicita, di tutti i fattori che intervengono a determinare la relazione tra la portata al colmo e l'intensità media di pioggia; si utilizzano normalmente valori di riferimento, tratti dalla letteratura scientifica, che spesso sono adattabili con difficoltà alle effettive condizioni del bacino in studio.

Gli studi disponibili, per altro in numero piuttosto limitato, indicano tutti che il valore di  $c$  in un dato bacino varia in misura elevata da evento ad evento, in particolare in funzione delle differenti condizioni climatiche antecedenti. E' possibile, comunque, ipotizzare che, per gli eventi gravosi che sono di interesse nel campo della progettazione, il parametro assuma valori sufficientemente stabili. In qualche caso si assume che il valore di  $c$  cresca in funzione del tempo di ritorno dell'evento, supponendo in tal modo una risposta non lineare del bacino.

Generalmente per i bacini di piccole dimensioni si trascura l'effetto invaso, mentre i valori da attribuire al fattore di trattenuta del terreno sono usualmente riportati nei trattati scientifici.

| Tipo di suolo   | c             |       |
|---|---------------|-------|
|   | Uso del suolo |       |
|   | Coltivato     | Bosco |
| Suolo con infiltrazione elevata, normalmente sabbioso o ghiaioso  | 0.20          | 0.10  |
| Suolo con infiltrazione media, senza lenti argillose; suoli limosi e simili   | 0.40          | 0.30  |
| Suolo con infiltrazione bassa, suoli argillosi e suoli con lenti argillose vicine alla superficie, strati di suolo sottile al di sopra di roccia impermeabile | 0.50          | 0.40  |

Tabella 1: coefficienti di deflusso raccomandati da Handbook of Applied Hydrology, Ven Te Chow, 1964

La stima del valore appropriato del coefficiente di deflusso, quindi, richiede notevole esperienza, integrata, ovunque possibile, da dati e osservazioni sperimentali su eventi di piena nella regione idrologica di interesse.

### 7.3 METODO AFFLUSSI-DEFLUSSI

Il modello afflussi deflussi utilizzato è un modello idrologico che consente di simulare l'idrogramma di deflusso di un bacino in risposta ad un afflusso meteorico sufficientemente intenso. La simulazione della piena avviene sintetizzando le risposte idrografiche di unità areali del bacino o sottobacini a caratteristiche fisiche e meteorologiche omogenee. Per ogni bacino si modellizzano le seguenti componenti schematiche:

- simulazione del sistema idrografico;
- simulazione del deflusso superficiale;
- simulazione della propagazione.

E' intuitivo il fatto che quanto più la suddivisione del bacino è vincolata all'ipotesi di omogeneità, tanto maggiore è il numero di sottobacino da considerare; quindi il grado di approssimazione del modello dipende, per questo aspetto, dalle scelte effettuate dall'utente.



I tre procedimenti di calcolo su elencati si basano sulla conoscenza preliminare di numerosi parametri relativi al bacino; in particolare, se non si dispongono di misure dirette di afflussi e deflussi, sono necessari i parametri geomorfologici e le estensioni dei sottobacini, le condizioni di imbibizione e le caratteristiche di permeabilità dei suoli, la forma, le lunghezze e le caratteristiche dei tratti fluviali o di invaso considerati per la propagazione. Per il calcolo della portata è, infine, necessaria la definizione delle precipitazioni di riferimento.

### **7.3.1 DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA DI CALCOLO**

Il modello di calcolo HEC HMS presenta molteplici caratteristiche e possibilità di implementazione di differenti approcci di modellazione del tipo Afflussi – deflussi. Tutti questi metodi tuttavia fanno generalmente riferimento ad una schematizzazione del bacino riferibile sostanzialmente alle seguenti sotto procedure:

- calcolo della distribuzione spaziale e temporale delle precipitazioni su un bacino;
- calcolo della portata tramite la schematizzazione del processo di infiltrazione nel terreno ed ottenimento di un valore di pioggia efficace;
- generazione dell'idrogramma completo ad ogni sezione di chiusura dei sottobacini;
- calcolo degli effetti di laminazione ed invaso lungo i corsi d'acqua ed in determinati siti entro il bacino.

Tali metodi comportano pertanto anche alcune semplificazioni e limitazioni che consistono, essenzialmente, nella limitazione a studiare un evento singolo, nell'impiego di una forma semplificata delle equazioni del moto, da cui lo spiccato carattere monodirezionale.

L'applicazione pratica del modello al caso in esame si è sviluppata nelle seguenti fasi:

- suddivisione in sottobacini delle aree in esame, in particolare per ciascun sottobacino si sono misurati e calcolati i vari parametri morfometrici;
- studio dell'uso del suolo nell'ambito di ciascun sottobacino, ai fini dell'assegnazione del valore di perdita per infiltrazione;
- definizione ed applicazione degli idrogrammi di progetto ai sottobacini;
- simulazione della sezione bagnata interessante i tratti di alveo nei singoli sottobacini;
- calcolo della portata di progetto e dei relativi idrogrammi alla chiusura di ogni sottobacino.

Il codice di calcolo HEC HMS fornisce una valutazione delle portate di progetto valida dal punto di vista idrologico, cioè in dipendenza dei caratteri morfometrici dei bacini in esame e delle caratteristiche pluviometriche. A questo proposito, si ritiene che l'idrogramma di progetto adottato sia cautelativo in quanto più gravoso dell'ipotesi, tipica del metodo razionale, d'uniforme intensità di precipitazione per tutta la durata della pioggia.

#### **7.3.1.1 Distribuzione delle precipitazioni**

Per il metodo afflussi – deflussi risulta necessario definire non solo l'entità della precipitazione ma anche la sua distribuzione temporale. Essendo la modellazione afflussi deflussi “ad evento” ovvero condizionata dal tipo di evento pluviometrico in ingresso al sistema, è possibile recuperare il significato statistico di tempo di ritorno creando opportuni eventi di pioggia aventi una distribuzione spaziale e temporale, oltre che un quantitativo di pioggia complessivo caduto, tali da essere assimilabili ad un evento di pioggia avente un determinato tempo di ritorno.

Nel caso in esame tra le numerose possibilità di distribuzione spaziale delle piogge si è deciso di assumere una distribuzione spaziale sostanzialmente costante per ciascun sottobacino si è accoppiata invece una distribuzione temporale di pioggia non uniforme ma che assegna all'ultimo quarto di precipitazione un valore più alto secondo la seguente:

| <b>Durata della precipitazione (ore)</b> | <b>Rapporto della precipitazione nell'ultimo quarto rispetto al totale</b> |
|--|--|
| fino a 3                                 | 0.50   |
| da 3 a 12                                | 0.45   |
| oltre le 12                              | 0.40   |

La precedente tabella è desunta da un'indagine sulla caratterizzazione empirica degli eventi di pioggia e sulle sue conseguenze sulla formazione del colmo di piena maggiormente gravoso (Ferrari, 1994). Le precipitazioni calcolate sono riferibili al "centro di pioggia"; in presenza di areali estesi, come nel caso in esame, essi andrebbero abbattuti attraverso un coefficiente opportuno per tener conto della diversa distribuzione della pioggia in funzione della durata e dell'area di insistenza. Considerato che le assunzioni di pioggia si sono rivelate cautelative rispetto alle pubblicazioni dell'Autorità di Bacino successive, che non si ritiene corretto indagare tempi di pioggia troppo superiori al tempo di corrivazione, si ritiene ragionevole applicare un coefficiente di abbattimento per le sole piogge avente tempo di pioggia di 6 ore pari al 10% del totale.

La metodologia del tipo afflussi deflussi infine non fornisce indicazioni vincolanti sulla durata del tempo di pioggia dell'evento critico da assumere. Nel caso in esame, (anche in completamento di quanto assunto negli studi di PRGC ed ai fini dello studio del debris flow) tra le numerose possibilità per la scelta del tempo di pioggia critica, si sono valutate le curve di possibilità climatica al variare del tempo di pioggia per tempo di ritorno di 200 anni (0.25, 0.5 e 1, 1.5, 2, 4, 6 ore) e, sulla base del massimo valore di portata in output per i vari sottobacini del modello afflussi – deflussi, è stata individuata la durata di pioggia critica per i bacini in questione.

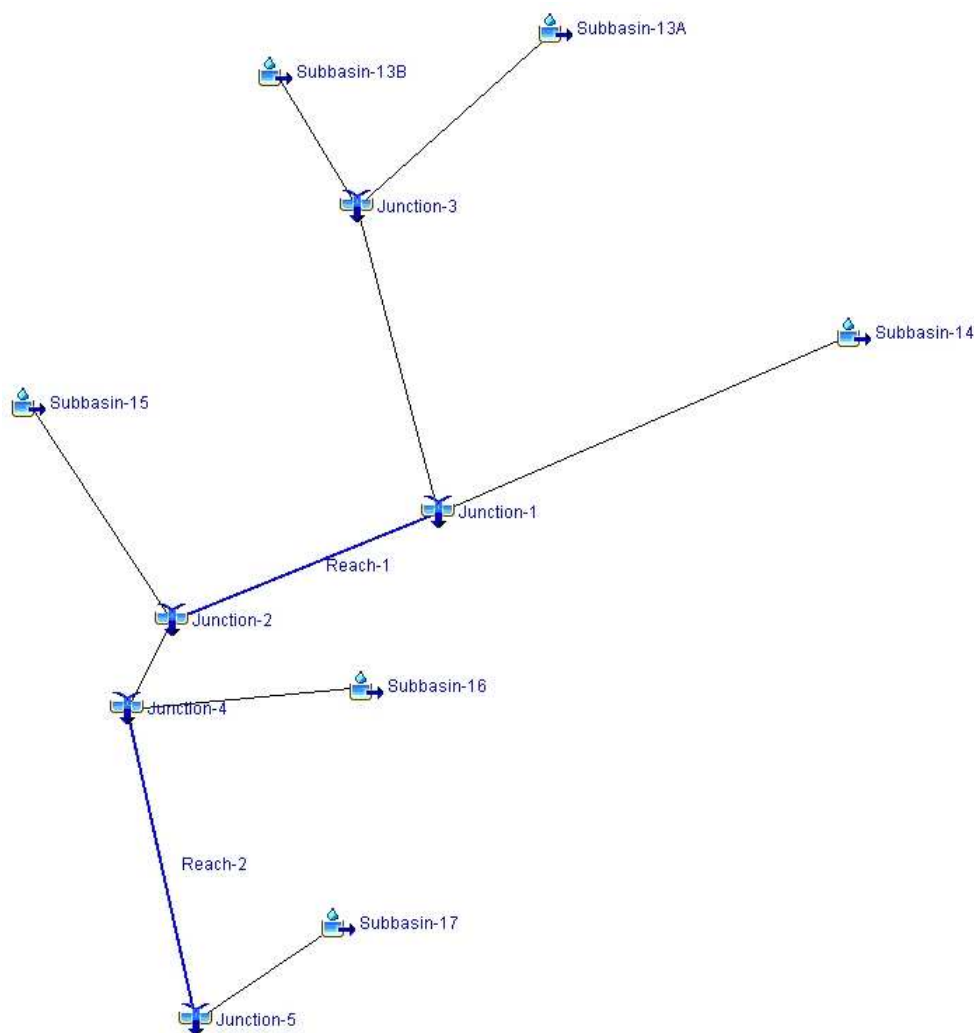
### 7.3.1.2 Caratteristiche dei bacini

Si sono definiti 4 sottobacini desunti in parte dagli studi idrologici di PRGC. Le estensioni sono evidenziate sulla tavola dei bacini idrografici allegata, le caratteristiche dei sottobacini sono riportate nella seguente tabella riassuntiva:

| <b>DESCRIZIONE</b>                            | <b>BACINO</b> | <b>LUNG. ASTA (km)</b> | <b>PENDENZA MEDIA ASTA (m/m)</b> | <b>SUPERFICIE (km<sup>2</sup>)</b> | <b>H MEDIA (msm)</b> | <b>H CHIUSURA (msm)</b> |
|---|---------------|------------------------|----------------------------------|------------------------------------|----------------------|-------------------------|
| Rochemolles a monte Diga                      | 13A           | 9.90                   | 0.136                            | 23.66                              | 2650                 | 1976                    |
| Rochemolles tra Diga e Valmiane               | B13B          | 1.50                   | 0.436                            | 0.84                               | 2150                 | 1823                    |
| Rio Valmiane                                  | B14           | 5.28                   | 0.219                            | 5.89                               | 2400                 | 1823                    |
| Rochemolles tra rio Valmiane e Rio Valfredda  | B15           | 2.93                   | 0.403                            | 3.31                               | 2200                 | 1610                    |
| Rio Valfredda                                 | B16           | 10.70                  | 0.100                            | 16.99                              | 2450                 | 1610                    |
| Versante del Vallone e del Jaffreau           | B17           | 9.10                   | 0.105                            | 19.23                              | 2250                 | 1240                    |
| Rochemolles a valle Valmiane senza contributi | B13B+B14      | 5.28                   | 0.188                            | 6.73                               | 2320                 | 1823                    |

| DESCRIZIONE  | BACINO            | LUNG. ASTA (km) | PENDENZA MEDIA ASTA (m/m) | SUPERFICIE (km <sup>2</sup> ) | H MEDIA (msm) | H CHIUSURA (msm) |
|--|-------------------|-----------------|---------------------------|-------------------------------|---------------|------------------|
| Diga   |                   |                 |                           |                               |               |                  |
| Rochemolles a monte Rio Valfredda senza contributi Diga  | B13B+B14+B15      | 7.10            | 0.189                     | 10.04                         | 2281          | 1610             |
| Rochemolles a monte Rio Valfredda con Diga "trasparente" | B13A+B13B+B14+B15 | 11.72           | 0.159                     | 33.70                         | 2540          | 1610             |
| Rochemolles a valle Rio Valfredda                        | B13-B16           | 11.72           | 0.154                     | 50.69                         | 2510          | 1610             |
| Rochemolles a Chiusura                                   | B13-B17           | 17.62           | 0.135                     | 70.20                         | 2429          | 1240             |

I sottobacini individuati sono schematizzati nel modello secondo il seguente reticolo relativo alla Dora di Rochemolles.



Oltre alla schematizzazione del reticolo come sopra, il modello afflussi deflussi richiede di conoscere la risposta in termini temporali, per ciascun sotto bacino, ad un determinato afflusso. Normalmente il cuore della modellazione afflussi deflussi è rappresentato dalla trasformazione da pioggia efficace a portata, e tale trasformazione avviene mediante un idrogramma unitario. Nel caso in esame, tra i vari idrogrammi unitari di trasformazione presenti in letteratura, in mancanza di particolari indicazioni, si è utilizzato l'idrogramma del SCS standard. I precedenti dati relativi ai sottobacini sono pertanto serviti per definire il così detto tempo di ritardo che è stato assunto, secondo considerazioni empiriche, pari al 60% del tempo di corrvazione.

### 7.3.1.3 Infiltrazione

Per quanto riguarda la valutazione della sottrazione per infiltrazione nei singoli sottobacini, viene utilizzato il metodo SCS Soil Conservation Service Method, in funzione del tipo di suolo, di copertura e delle precipitazioni antecedenti. Il parametro che sintetizza le caratteristiche del suolo prende il nome di *Curve Number*, CN. Tale metodo assume che, nel corso di un evento, il volume del deflusso superficiale per unità di superficie, R, sia proporzionale a quello della precipitazione P depurato della perdita iniziale per assorbimento del suolo  $P_a$ . Il rapporto è assunto pari a quello esistente fra infiltrazione I ed un volume S che caratterizza la massima ritenzione potenziale del terreno. La relazione è pertanto:

$$\frac{R}{P - P_a} = \frac{I}{S}$$

E tenendo conto dell'equazione della conservazione della massa esprimibile con

$$I = P - P_a - R$$

Si può giungere alla relazione:

$$R = \frac{(P - P_a)^2}{P - P_a + S}$$

che mostra il volume del ruscellamento (P) in funzione di quello della precipitazione e di due parametri caratteristici del suolo, la capacità d'assorbimento iniziale ( $P_a$ ) e la massima ritenzione potenziale (S). La massima ritenzione potenziale dipende, quindi, dalla natura del suolo e dalla copertura, il cui effetto combinato è rappresentato dal parametro dimensionale CN.

Il metodo SCS distingue 4 gruppi di suolo in base al loro comportamento idrologico, che è sommariamente descritto nella tabella seguente (Boss & Ass., 1995).

| Gruppo | Deflusso potenziale                    | Descrizione   |
|--------|--|---|
| A      | Basso<br>7,5–11,25 mm/ora              | Suoli con elevata velocità d'infiltrazione anche quando completamente inumiditi, consistenti principalmente in sabbie profonde da bene a fortemente drenate, loess potente o silt.  |
| B      | Da basso a moderato<br>3,75–7,5 mm/ora | Suoli con moderata velocità d'infiltrazione anche quando completamente inumiditi e consistenti in suoli moderatamente profondi, ben drenati e con tessitura da moderatamente fine a moderatamente grossolana. Il gruppo comprende il loess poco spesso e le marne sabbiose.   |
| C      | da moderato a alto<br>1,25–3,75 mm/ora | Suoli con bassa velocità di infiltrazione quando completamente inumiditi consistenti principalmente in suoli con uno strato che impedisce il movimento dell'acqua verso il basso o suoli con tessitura da fine a moderatamente fine. Tale gruppo comprende molte marne argillose, marne sabbiose poco spesse, suoli con scarso contenuto organico, e suoli usualmente ad alto contenuto |

|   |                         |   |
|---|-------------------------|---|
|   |                         | di argilla.   |
| D | alto<br>0,0–1,25 mm/ora | Suoli con molto bassa velocità di infiltrazione quando completamente inumiditi consistenti principalmente in suoli argillosi con elevato potenziale di rigonfiamento, suoli con falda superficiale permanente, suoli con strati di argilla in superficie, suoli sottili sopra strati impermeabili, alcuni suoli salificati. |

In base alle indicazioni della tabella tutti i bacini considerati sono stati ascritti al gruppo C. Di seguito si riportano, per tali gruppi, i valori di CN, anche con riferimento al tipo di copertura.

| Tipologia di uso del suolo       | Tipo idrologico del suolo |     |     |     |
|----------------------------------|---------------------------|-----|-----|-----|
|                                  | A                         | B   | C   | D   |
| Acque                            | 100                       | 100 | 100 | 100 |
| Aree urbanizzate, infrastrutture | 68                        | 79  | 86  | 89  |
| Boscaglie pioniere di invasione  | 66                        | 78  | 84  | 89  |
| Castagneti                       | 32                        | 55  | 70  | 77  |
| Cespuglieti                      | 66                        | 78  | 84  | 89  |
| Coltivi abbandonati              | 66                        | 62  | 74  | 85  |
| Frutteti e vigneti               | 43                        | 65  | 76  | 82  |
| Lariceti e cembrete              | 66                        | 78  | 84  | 89  |
| praterie                         | 39                        | 61  | 74  | 80  |
| Querceti                         | 36                        | 60  | 73  | 79  |
| Querco-carpineti                 | 32                        | 55  | 70  | 77  |
| Rimboschimenti                   | 32                        | 58  | 72  | 79  |
| rocce e macereti                 | 68                        | 79  | 86  | 89  |

Si assume che il valore di CN possa variare in funzione delle condizioni iniziali di imbibimento del terreno quantificate mediante l'entità delle precipitazioni cadute nei 5 giorni precedenti l'evento; in tale modo si definisce la classe AMC (Antecedent soil Moisture Condition).

| Classe AMC | Pioggia totale nei 5 giorni antecedenti l'evento |                                 |
|------------|--|---------------------------------|
|            | Stagione di riposo vegetativo                    | Stagione di crescita vegetativa |
| I          | < 13 mm  | < 36 mm                         |
| II         | 13 ÷ 28 mm                                       | 36 ÷ 53 mm                      |
| III        | > 28 mm  | > 53 mm                         |

Apposite tabelle forniscono i valori di CN per la classe AMC-II e si può passare dall'una all'altra classe mediante le seguenti relazioni:

$$CN_I = \frac{CN_{II}}{2.3 - 0.013CN_{II}} \qquad CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0.43 + 0.0057CN_{II}}$$

Per ogni sottobacino i valori di CN sono stati calcolati come valore medio ponderato in funzione dell'area di ciascun tipo di copertura presente e si sono adottate le condizioni di AMC di classe II.

#### 7.3.1.4 PROPAGAZIONE DELL'ONDA DI PIENA

Il modello tiene in conto secondo la metodologia di Muskingum-Cunge dei tratti di rio ove vi può essere propagazione dell'onda di piena ma l'effetto di laminazione, considerate le pendenze e le sezioni correnti. è del tutto trascurabile.

### 7.4 ESPLICITAZIONE DEI PARAMETRI DI CALCOLO E VALORI DI PORTATA

Le precedenti metodologie per il calcolo dei valori di portata di massima piena sono state applicate. Nel seguito si riporteranno le tabelle riassuntive dei valori dei vari parametri richiesti da ciascuna metodologia.

#### 7.4.1 METODO RAZIONALE

Coefficiente di deflusso costante per tutti i bacini pari a 0.5

Tempi di corrivazione calcolati mediando la formulazione di Giandotti di Pezzoli e Ventura che sono risultate mediamente quelle aventi tempi inferiori rispetto a tutte le formulazioni considerate.

Nella tabella il riassunto dei parametri calcolati.

| BACINI            | TC (ore) | TL=0.6TC (ore) | TL (min) |
|-------------------|----------|----------------|----------|
| 13A               | 1.6      | 0.961          | 58       |
| B13B              | .24      | 0.142          | 9        |
| B14               | .73      | 0.44           | 26       |
| B15               | .41      | 0.244          | 15       |
| B16               | 1.64     | 0.984          | 59       |
| B17               | 1.5      | 0.899          | 54       |
| B13B+B14          | .82      | 0.491          | 29       |
| B13B+B14+B15      | .98      | 0.59           | 35       |
| B13A+B13B+B14+B15 | 1.71     | 1.029          | 62       |
| B13-B16           | 1.96     | 1.175          | 70       |
| B13-B17           | 2.57     | 1.542          | 93       |

Nel seguito si riportano i dati caratteristici calcolati per ciascun tempo di ritorno:

**TEMPO DI RITORNO 100 anni**

| <b>BACINI</b>     | <b>Pioggia<br/>(mm)</b> | <b>Intensità<br/>(mm/ora)</b> | <b>Portate<br/>(m<sup>3</sup>/s)</b> | <b>Contributo specifico<br/>(m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>)</b> |
|-------------------|-------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|--|
| 13A               | 43                      | 26                            | 85.8                                 | 3.6  |
| B13B              | 18                      | 44                            | 5.1                                  | 6.1  |
| B14               | 30                      | 33                            | 26.9                                 | 4.6  |
| B15               | 23                      | 38                            | 17.6                                 | 5.3  |
| B16               | 44                      | 31                            | 73.4                                 | 4.3  |
| B17               | 42                      | 34                            | 91.1                                 | 4.7  |
| B13B+B14          | 32                      | 31                            | 28.9                                 | 4.3  |
| B13B+B14+B15      | 34                      | 31                            | 42.7                                 | 4.3  |
| B13A+B13B+B14+B15 | 45                      | 27                            | 124.6                                | 3.7  |
| B13-B16           | 47                      | 25                            | 173.6                                | 3.4  |
| B13-B17           | 54                      | 25                            | 240.6                                | 3.4  |

**TEMPO DI RITORNO 200 anni**

| <b>BACINI</b>     | <b>Pioggia<br/>(mm)</b> | <b>Intensità<br/>(mm/ora)</b> | <b>Portate<br/>(m<sup>3</sup>/s)</b> | <b>Contributo specifico<br/>(m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>)</b> |
|-------------------|-------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|--|
| 13A               | 47                      | 29                            | 94.3                                 | 4.0  |
| B13B              | 20                      | 48                            | 5.6                                  | 6.7  |
| B14               | 33                      | 36                            | 29.6                                 | 5.0  |
| B15               | 25                      | 42                            | 19.4                                 | 5.9  |
| B16               | 48                      | 34                            | 80.6                                 | 4.7  |
| B17               | 46                      | 37                            | 100.1                                | 5.2  |
| B13B+B14          | 35                      | 34                            | 31.8                                 | 4.7  |
| B13B+B14+B15      | 38                      | 34                            | 47.0                                 | 4.7  |
| B13A+B13B+B14+B15 | 49                      | 29                            | 136.9                                | 4.1  |
| B13-B16           | 52                      | 27                            | 190.7                                | 3.8  |
| B13-B17           | 59                      | 27                            | 264.1                                | 3.8  |

**TEMPO DI RITORNO 500 anni**

| <b>BACINI</b>     | <b>Pioggia<br/>(mm)</b> | <b>Intensità<br/>(mm/ora)</b> | <b>Portate<br/>(m<sup>3</sup>/s)</b> | <b>Contributo specifico<br/>(m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>)</b> |
|-------------------|-------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|--|
| 13A               | 53                      | 32                            | 105.5                                | 4.5  |
| B13B              | 22                      | 54                            | 6.3                                  | 7.5  |
| B14               | 37                      | 41                            | 33.1                                 | 5.6  |
| B15               | 28                      | 47                            | 21.7                                 | 6.6  |
| B16               | 54                      | 38                            | 90.2                                 | 5.3  |
| B17               | 51                      | 42                            | 112.0                                | 5.8  |
| B13B+B14          | 39                      | 38                            | 35.6                                 | 5.3  |
| B13B+B14+B15      | 42                      | 38                            | 52.6                                 | 5.2  |
| B13A+B13B+B14+B15 | 55                      | 33                            | 153.2                                | 4.5  |
| B13-B16           | 58                      | 30                            | 213.3                                | 4.2  |
| B13-B17           | 66                      | 30                            | 295.3                                | 4.2  |

#### 7.4.2 MODELLAZIONE AFFLUSSI DEFLUSSI

Nella tabella seguente, invece, si riportano i valori mediati di CN per ogni bacino:

| BACINO                  | 13A  | B13B | B14  | B15  | B16  |
|-------------------------|------|------|------|------|------|
| N° di CN medio adottato | 71.8 | 71.8 | 71.8 | 67.9 | 71.8 |

CN adottati pari a suolo tipo C.

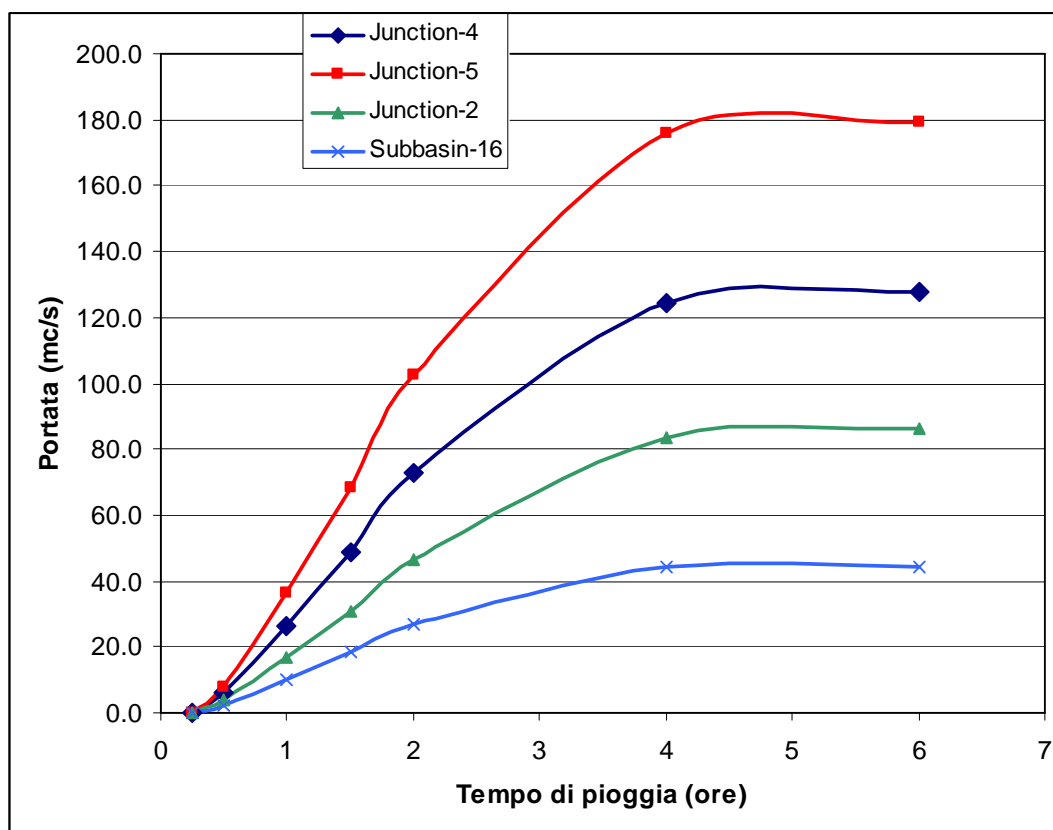
Infiltrazione iniziale adottata per tutti i sottobacini pari al valore consigliato dal SCS ovvero  $I_a = 0.2 * S$  con S che caratterizza la massima ritenzione potenziale.

Precipitazione al variare del tempo di pioggia per i bacini:

| Tempo di pioggia (ore) | Pioggia Tr 100 anni (mm) | Pioggia Tr 200 anni (mm) | Pioggia Tr 500 anni (mm) |
|------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 0.25                   | 18.37                    | 20.26                    | 22.77                    |
| 0.50                   | 25.27                    | 27.83                    | 31.22                    |
| 0.75                   | 30.44                    | 33.50                    | 37.55                    |
| 1.00                   | 34.75                    | 38.21                    | 42.81                    |
| 1.50                   | 41.87                    | 46.01                    | 51.49                    |
| 2.00                   | 47.78                    | 52.48                    | 58.70                    |
| 4.00                   | 63.74                    | 69.91                    | 78.08                    |
| 6.00                   | 69.67                    | 76.35                    | 85.20                    |

Variazione del valore di massima piena al variare del tempo di pioggia per il torrente Rochemolles sulle varie sezioni di chiusura:





il grafico indica che il valore di tempo di pioggia critico risulta paria 4-6 ore pertanto le portate al colmo verranno calcolate per tempo di pioggia di 4 ore.

## 6 ADOZIONE DEI VALORI DI PORTATA LIQUIDA

In conclusione, alla luce dei risultati ottenuti con le diverse formulazioni proposte e tenuto conto gli studi svolti in passato, considerati i necessari aggiornamenti alle grandezze idrologiche, le portate di riferimento adottate per le verifiche idrauliche del Rochemolles in esame sono riportate nella seguente tabella per i tempi di ritorno di 200 e 500 anni indicati. Si è assunta la metodologia di calcolo che ha portato a risultati maggiormente ragionevoli sia in termini di contributi specifici che di raffronto con i dati ufficiali di portata della Dora Riparia per le sezioni più a valle di quella in esame, in particolare la formula razionale presenta valori sovrastimati e pertanto si sono adottati i valori di portata calcolati con la metodologia afflussi - deflussi.

Portate al colmo al variare del tempo di ritorno per tempo di pioggia 4 di ore

| Riferimento<br>allo schema<br>del paragrafo<br>4.3.2.1 | BACINI   | Portate Tr 200 anni (m <sup>3</sup> /s) | Portate Tr 500 anni (m <sup>3</sup> /s) |
|--|----------|---|---|
| Subbasin-13A   | 13A      | 62.6                                    | 78.1                                    |
| Subbasin-13B   | B13B     | 3.8                                     | 4.6                                     |
| Subbasin-14  | B14      | 22.2                                    | 27.3                                    |
| Subbasin-15  | B15      | 11.6                                    | 14.5                                    |
| Subbasin-16  | B16      | 44.5                                    | 55.6                                    |
| Subbasin-17  | B17      | 53.2                                    | 66.3                                    |
| -  | B13B+B14 | 25.4                                    | 31.3                                    |

| <b>Riferimento<br/>allo schema<br/>del paragrafo<br/>4.3.2.1</b> | <b>BACINI</b>      | <b>Portate Tr 200 anni (m<sup>3</sup>/s)</b> | <b>Portate Tr 500 anni (m<sup>3</sup>/s)</b> |
|--|--------------------|--|--|
| -  | B13B+B14+B15       | 36.4   | 45.2   |
| Junction-2   | B13A+B13B+B14+B15  | 83.3   | 104.8  |
| Junction-4   | Somma Da B13 a B16 | 124.1  | 155.6  |
| Junction-5   | Somma Da B13 a B17 | 175.9  | 220.7  |

I precedenti valori di portata sono i valori di portata liquida al colmo da considerare per le verifiche prettamente idrauliche, in particolare si osserva che il valore alla chiusura di Bardonecchia coincide con quanto già indicato in sede di studi idrologici di PRGC

## **7 COLATA DETRITICA**

Il fenomeno della colata detritica comporta il superamento della soglia del 20% in termini di concentrazione volumetrica del sedimento nel flusso, in particolare per concentrazioni dal 20 al 40% si ha un flusso definito generalmente ipercritico, per concentrazioni superiori, tipicamente dal 40 sino al 60% circa in volume si ha una vera e propria colata detritica; detti limiti variano in considerazione dei diversi autori e dei differenti approcci al fenomeno considerati.

L'approccio al problema della colata ed il suo inquadramento fenomenologico è stato valutato sotto vari punti di vista. In particolare la valutazione della magnitudo dell'evento è uno degli aspetti di studio che risulta maggiormente utile ai fini pratici.

La magnitudo infatti è direttamente correlabile alla capacità di movimentazione e quindi è fondamentale per definire i volumi necessari al contenimento della colata o gli spazi di arresto o l'area interessata dall'evento e la potenza dello strato depositato.

Nel caso in esame le condizioni esistenti sono particolari perchè in realtà l'area di studio è inserita all'interno di un apparato vallivo, potenzialmente occorre analizzare differenti possibili eventi originati dai differenti tributari.

Per quanto attiene invece alla definizione del possibile volume di colata vi sono differenti possibili approcci per la sua definizione:

### **Formule empiriche:**

Definiscono il volume sulla base di parametri morfologici o geometrici quali l'area del bacino, il n° di Melton, la pendenza del conoide, dell'asta o di entrambi, sono considerati inoltre dei parametri empirici e fattori indice riguardanti i litotipi presenti e la predisposizione alla franosità. Normalmente le formule empiriche sono tarate su casi concreti e sono dipendenti fortemente da quanto il caso studiato si avvicina alla realtà in esame.

### **Stima con metodi ad approccio geomorfologico**

È una stima basata sull'indagine estesa del bacino di monte e sulla definizione di quantitativi di materiale disponibili ad essere presi in carico da una colata detritica (metodi di Hungr e Spreafico). Il limite alla formazione della colata è espresso dalla presenza o meno del materiale che la genera.

### **Stima volumetrica**

È una ipotesi per la determinazione dell'onda di colata basata sulla definizione di un debrisgramma generato da un idrogramma di piena che prende in carico il materiale in condizioni di alimentazione solida illimitata. Il limite al trasporto ed alla formazione della colata è costituito dalla capacità di trasporto della corrente e non dalla presenza o meno dei sedimenti che sono da considerarsi illimitati.

Le formule empiriche forniscono una varietà di risultati talvolta differenti per 1 o 2 ordini di grandezza tra loro e sono da ritenersi attendibili solo in presenza di forti analogie con i casi studiati dagli autori delle formule stesse.

L'approccio geomorfologico considerata la vastità dell'area da analizzare risulta di notevole difficoltà per quanto attiene agli scopi del presente studio.

Il presente approccio di tipo volumetrico definirà nel seguito una stima volumetrica del materiale potenzialmente movimentabile secondo la metodologia proposta da D'agostino e Marchi.

La scelta di utilizzare il solo approccio volumetrico è dettata da esigenze di semplificazione del fenomeno stesso in considerazione che l'ipotesi di alimentazione solida illimitata è certamente una ipotesi cautelativa che porterà a risultati generalmente sovrastimati rispetto alle condizioni reali.

## 7.1 STIMA VOLUMETRICA

Il metodo volumetrico proposto da D'agostino e Marchi può essere articolato come segue:

1. La colata viene innescata da un evento pluviometrico di forte intensità e breve durata (evento temporalesco con durata inferiore od uguale all'ora) di assegnato tempo di ritorno (p.e.  $T_r = 200$  anni).

2. L'alveo dispone di una quantità illimitata di sedimenti; viene cioè mobilizzato tutto il sedimento asportabile dalla portata liquida. Più precisamente, la disponibilità illimitata di sedimento viene ipotizzata in concomitanza del transito della portata di colmo dell'idrogramma.

3. La portata del debris flow ( $Q_d$ ), intesa come somma della portata liquida ( $Q_l$ ) e della portata solida ( $Q_s$ ), viene determinata nell'ipotesi di scorrimento di una portata di acqua pulita su di un ammasso granulare completamente saturo.  $Q_d(t)$  può allora stimarsi con la formula (metodo volumetrico):

$$Q_d(t) = \left( \frac{c^*}{c^* - C(t)} \right) Q_l(t)$$

$c^*$  = concentrazione di massimo impaccamento del materiale costituente l'ammasso; può in genere assumersi  $c^* = 0.65$ ;

$C$  = concentrazione volumetrica di equilibrio del fronte stazionario della colata in movimento; per pendenze del fondo superiori a  $20^\circ$  la concentrazione è esprimibile come:  $C = \alpha c^*$  (con  $\alpha$  prossimo a 0.9 nei casi più sfavorevoli);

$C$  è determinabile da formule di letteratura o per back-analysis di eventi pregressi.

4. L'ultima ipotesi riguarda la variazione del coefficiente durante gli intervalli di tempo che precedono e che seguono l'istante di picco; l'assunzione di un valore pari a  $C_{max}$  da applicare a tutta la durata dell'onda liquida porterebbe, infatti, alla determinazione di un sedimentogramma da debris flow poco realistico. L'ipotesi di lavoro è quindi quella di fare incominciare l'onda della colata in corrispondenza al transito di una portata liquida pari ad almeno il doppio la portata di inizio del trasporto di fondo ( $Q_{cr}$ ), determinando il primo valore della portata del debris flow  $Q_d$  per un valore di  $C$  inferiore a  $C_{max}$  (l'arrivo di una colata detritica viene spesso preceduto da un flusso iperconcentrato).

Si determinano i successivi valori di  $Q_d$  ammettendo un andamento lineare di  $C$  (da  $C =$  iniziale a  $C = \alpha c^*$ ) in funzione del tempo. Procedura analoga si applica per la fase calante della colata, ipotizzando che l'ultimo valore di  $Q_d$  sia ancora determinato da  $Q = (2-3) \times Q_{cr}$  e da  $C =$  finale e che la decrescita sia lineare a partire dal valore di picco.

La metodologia indicata presuppone dunque la definizione di un idrogramma realistico del fenomeno e di valori di concentrazione del sedimento nel flusso.

L'innesco del fenomeno si ha per superamento di 4 volte la portata critica di inizio trasporto definita dalla formula di SCHOKLITSCH.

## 7.2 DEFINIZIONE DEL VALORE DI CONCENTRAZIONE

Per la determinazione della concentrazione al picco si è fatto riferimento alla formula di Takahashi per la concentrazione al fronte.

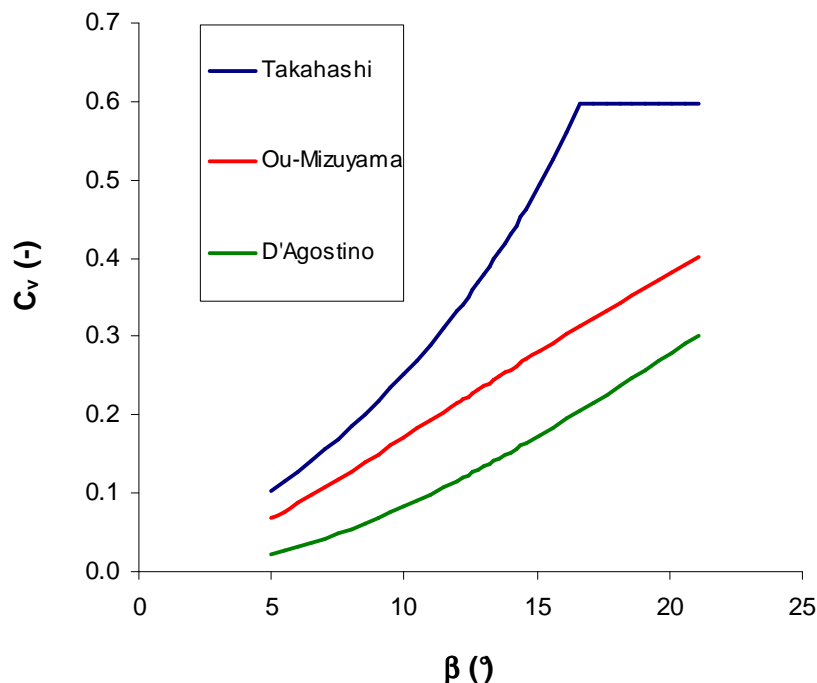
$$C = \frac{\rho \tan \beta}{(\rho_s - \rho)(\tan \varphi - \tan \beta)}$$

Detta formula prevede l'adozione di alcuni parametri esplicitati nel seguito:

la  $\rho_s$  densità dei sedimenti pari a  $2,65 \text{ g/cm}^3$ ,  $\rho$  la densità dell'acqua  $1.0 \text{ g/cm}^3$ ,  $\varphi$  angolo di attrito,  $\beta$  pendenza.

La concentrazione statica è assunta pari  $C^* = 0.65$ .

L'angolo di attrito del materiale è assunto pari a  $31^\circ$ .



Il presente grafico riporta l'andamento dei valori di concentrazione di sedimento al variare della pendenza dello scaricatore per alcune formule di letteratura, in particolare Ou-Mizuyama e D'agostino si riferiscono a scala di evento, Takahashi è invece riferibile al fronte della colata e pertanto sarà la formulazione adottata per valutare il valore di concentrazione della metodologia volumetrica.

## 7.3 SCENARI ED IPOTESI DI EVENTO

il vantaggio di un modello afflussi deflussi quale quello implementato per il calcolo delle portate di massima piena è essenzialmente che questo stesso modello potrà essere valutato per differenti durate di pioggia o eventi di input. la definizione di un modello afflussi deflussi è quindi una parte fondamentale dell'analisi idrologica e di capacità volumetrica del bacino.

La definizione di un idrogramma per l'innescò del debris flow, in mancanza di misure dirette, si basa sulla medesima metodologia adottata per la definizione delle portate liquide ma presenta una differente durata del tempo di pioggia che si ritiene critico per il bacino.

Per la valutazione della massima portata liquida si è variato il tempo di pioggia osservando quale delle distribuzioni temporali fornisce il valore massimo. Nel caso della colata detritica il valore di precipitazione e la conseguente durata dell'evento associato al verificarsi della massima portata liquida, non è generalmente critico.

Per la colata di detrito infatti la durata dell'evento è maggiormente vincolata, per l'innescò del fenomeno infatti è necessario uno scroscio, ovvero un evento di minor durata e maggiore intensità di quello generalmente necessario ad avere la massima portata liquida alla sezione di chiusura.

Le condizioni presenti nel caso in esame determinano la necessità di valutare per le varie condizioni di innescò che le pendenze, la tipologia di copertura e di detrito, l'estensione del bacino ecc.. rientrano pienamente tra i parametri fisici che statisticamente sono considerati per discriminare i potenziali bacini da colata.

Statisticamente l'evento di colata può verificarsi su estensioni che vanno dal piccolo canale sino a bacini delle dimensioni massime di non più di 15 km<sup>2</sup>.

Il tempo caratteristico dell'evento di pioggia che genera colata detritica presenta statisticamente un intervallo compreso tra 15 e 90 minuti. pertanto gli idrogrammi da utilizzare per la valutazione della colata per una sezione di chiusura non potranno, per ragioni fisiche, superare tale tempo di pioggia, altrimenti si parlerà di un altro tipo di evento. Colate detritiche avvengono anche per tempi di pioggia ed eventi di durata maggiore ma in tal caso è pur sempre necessario un evento impulsivo all'interno di una condizione di saturazione generalizzata degli ammassi che genera l'evento.

Una ulteriore considerazione è che la colata, essendo generalmente un fenomeno dissipativo, è sostenuta da un'asta in grado di movimentare il materiale ovvero con pendenze motrici adeguate ed in generale superiori al 20% .

Visti i tempi, i quantitativi di pioggia, le caratteristiche geometriche per l'innescò del fenomeno è possibile fare alcune ipotesi di evento di seguito esplicitate.

In generale le particolari condizioni del Rochemolles indicano che la diga di fatto consente di escludere il bacino 13b sotteso a monte di questa dai possibili bacini sorgenti di colata.

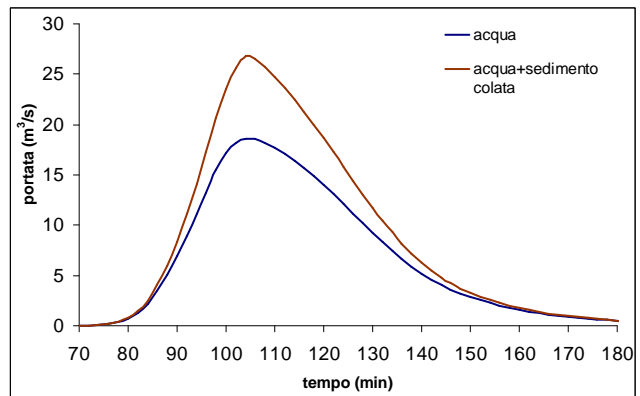
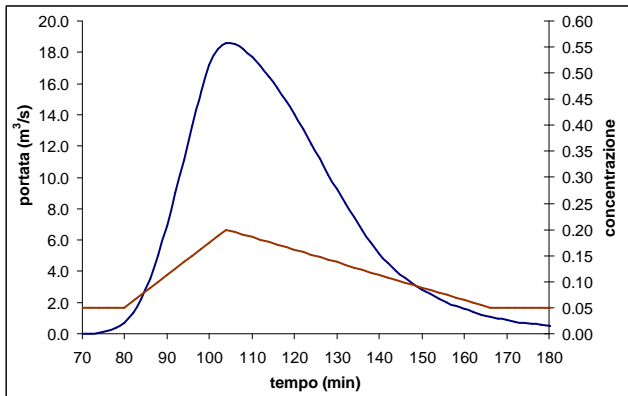
- 1) Una prima ipotesi per definire l'evento potrebbe quindi essere quella di considerare come idrogramma da colata la somma dei bacini 13B+14+15.
- 2) Una seconda ipotesi considera che la colata si inneschi sul bacino 14 del rio di Almiame e che questa, una volta giunta in Rochemolles, prosegua sino all'area di interesse diluendosi nell'eccesso liquido creato dai contributi dell'intero bacino del Rochemolles.
- 3) Una terza ipotesi è la colata proveniente dal rio di Valfredda
- 4) Una ultima ipotesi è che la colata si inneschi per apertura improvvisa degli scarichi di fondo dell'invaso di Rochemolles ed "aratura" con presa in carico di materiale nel tratto compreso tra la diga e l'area di interesse.

Per ciascuna ipotesi occorre valutare la possibile magnitudo in corrispondenza dell'area di interesse e conseguentemente definire l'evento maggiormente impattante.

**Ipotesi 1:** considerato che in tal caso sarebbero sottesi 10 kmq il tempo di pioggia caratteristico potrebbe essere stimato nel valore di 1.5 ore (il massimo compatibile).

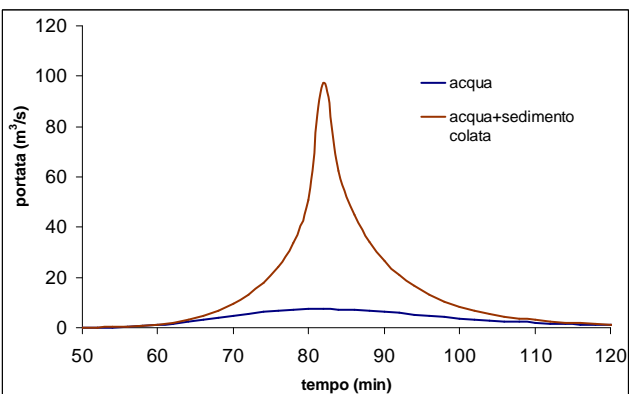
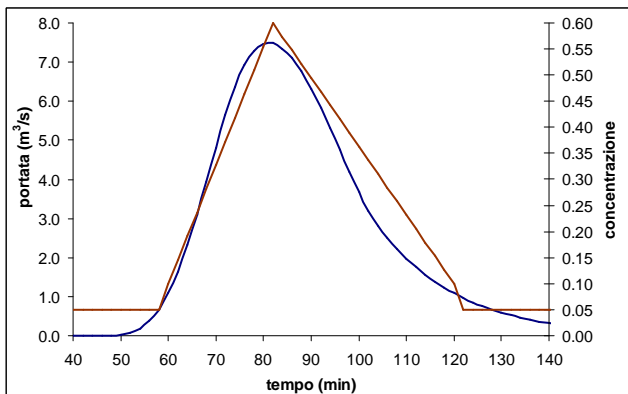
Nel tratto d'alveo compreso tra Plagnol e la confluenza del rio Almiame la pendenza media dell'alveo è pari al 11% per quasi 2 km pertanto la corrispondente concentrazione al fronte risulta del 15% in volume ovvero al di sotto delle condizioni critiche che determinano la colata detritica tuttavia in condizioni di ragguardevole trasporto solido di fondo.

Le ipotesi relative all'idrogramma ed all'andamento della concentrazione ed al conseguente debrisgramma sono riassunti nei seguenti grafici ove si è assunta in via cautelativa una concentrazione massima al fronte pari al 20%;

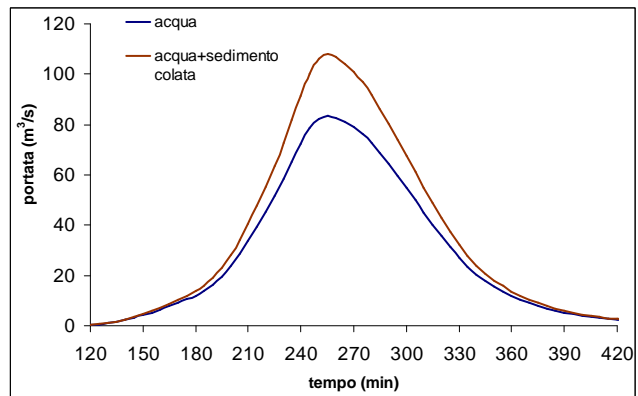
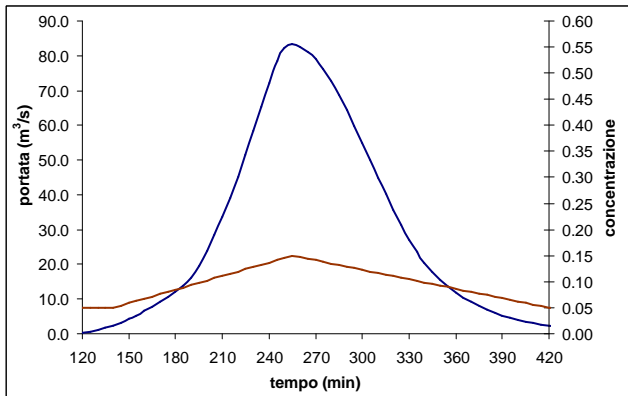


Portata liquida al colmo 18.6 mc/s, portata comprensiva del trasporto solido 27 mc/s  
 Volume dell'idrogramma liquido 46300 mc Volume solido movimentato totale 14400 mc.  
 In conclusione l'evento non pare essere particolarmente significativo pertanto non è da considerarsi impattante.

**Ipotesi 2:** in tal caso sarebbero sottesi soli 5 km<sup>2</sup> del rio di Almiame. Il tempo caratteristico di evento considerato il tempo di corrivazione e l'estensione del bacino può essere assunto pari a 1h  
 L'asta del suddetto rio tuttavia presenta una pendenza del 28,5%, che porta ad una valore di concentrazione al fronte pari a 0.6. Le ipotesi relative all'idrogramma ed all'andamento della concentrazione ed al conseguente debrisgramma sono riassunti nei seguenti grafici



Portata liquida al colmo 7.5 mc/s, portata di colata comprensiva del trasporto solido 92.2 mc/s  
 Volume dell'idrogramma 16650 mc Volume solido movimentato totale 48800 mc.  
 La colata immessa in alveo del Rochemolles presenta una concentrazione non sostenibile e pertanto il materiale viene quindi ricaricato da un evento alluvionale come trasporto solido di fondo a concentrazione inferiore essendo l'alveo del Rochemolles a pendenza notevolmente inferiore, l'ipotesi cautelativa che ad un evento impulsivo sul tributario di Almiame segua un evento avente un tempo di pioggia di 4 h a scala di bacino pare la più ragionevole pertanto fissata la concentrazione massima del 15% compatibile con l'alveo del Rochemolles si ha il seguente evento in corrispondenza della loc. Plagnol.



Portata liquida al colmo 83.3 mc/s, portata di colata comprensiva del trasporto solido 108.2 mc/s  
 Volume dell'idrogramma 548230 mc Volume solido movimentato totale 128800 mc.

Da notare che la quantità di sedimento complessiva movimentata è più che doppia rispetto ai contributi della colata immessa dall' Almiane questo indica che la scelta effettuata è estremamente cautelativa e presuppone il collasso di altre parti del bacino.

**Ipotesi 3:** Il rio di Valfredda presenta una estensione superiore a quella tipica dei bacini da colata, inoltre da quota 2020 a 2150 per una lunghezza di 1300 m l'asta presenta una pendenza media del 9%. Nel tratto vi sono significativi ammassi di materiale depositato o proveniente da colate di versante. Il tratto in oggetto presenta quindi una naturale funzione di invaso e riduzione del fenomeno di colata vero e proprio, anche in tal caso, verso valle, si può parlare di ingente trasporto solido di fondo piuttosto che di colata. A valle di quota 2020 la pendenza aumenta ma il rio viene ad essere impostato in roccia con scarsità di sedimenti a disposizione pertanto anche per il rio di Valfredda occorre considerare come evento estremo il colmo liquido incrementato cautelativamente di almeno il 15%. La massima portata pertanto risulta pari a 44.5 mc/s, comprensiva del suddetto incremento si giunge a 51.2 mc/s.

**Ipotesi 4:** l'apertura degli scarichi di superficie e di fondo determina la formazione di una portata improvvisa pari a 110.2; l'ipotesi è che a questa si sommi almeno la massima portata del Valmiane : si ha una portata pari a  $110.2+22.2=132.4$  mc/s l'incremento per presa in carico di materiale solido è pari a 152 mc/s che rappresenta il massimo valore di portata liquida comprensiva del trasporto solido ipotizzabile a Plagnols.

## 7.4 CONCLUSIONI SULL'ANALISI DEL FENOMENO DI DEBRIS FLOW

I vari tentativi ed ipotesi svolte indicano che i fenomeni di debris flow hanno poca probabilità di essere attivati in corrispondenza dell'abitato di Plagnol. A prescindere dalla reale disponibilità del materiale movimentabile dagli idrogrammi calcolati si osserva che tutte le ipotesi portano ad una conclusione comune: che l'evento più impattante da attendersi è quello di tipo alluvionale con ingente trasporto solido di fondo che tuttavia non presenta le caratteristiche tipiche di una colata detritica o di un flusso ipercritico.

Le presenti considerazioni indicano che dal punto di vista delle verifiche idrauliche si adotterà la portata dell'ipotesi 4, tuttavia occorre prendere in considerazione il fatto che la capacità di trasporto solido del Rochemolles, ancorché non a livello di debris Flow, è ragguardevolissima specialmente se si considera il volume totale movimentabile a scala di evento (ipotesi 2). Il suddetto volume infatti percorre praticamente indisturbato un alveo che pare essere abbastanza equilibrato su una pendenza regolare intorno al 10%, tuttavia il Rochemolles è destinato a depositare quanto preso in

carico una volta che lo stesso perda la suddetta pendenza motrice, in altre parole una volta raggiunto l'abitato di Bardonecchia.

## 8 VERIFICHE IDRAULICHE

Il problema idraulico consiste nel calcolo del profilo liquido corrispondente all'assegnata portata di piena, in modo da verificare le sezioni idrauliche a disposizione e gli attraversamenti.

Lo schema di calcolo adottato è quello in moto permanente, in quanto consente di considerare la variazione graduale delle sezioni d'alveo e la presenza di manufatti, restringimenti e rapide variazioni di sezione.

La determinazione del profilo di moto permanente viene realizzata utilizzando il codice HECRAS "River Analysis System" Versione 4.0 (U.S. Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center).

Il calcolo del profilo idraulico della corrente avviene in condizioni di moto unidimensionale gradualmente vario a portata costante, mediante la risoluzione delle equazioni di bilancio energetico; il codice applicato consente anche di calcolare rapide variazioni di profilo (dovute alla presenza di ostacoli al deflusso, restringimenti di sezione, passaggio di stato di una corrente). Le elaborazioni relative alle situazioni in esame sono riportate in allegato al termine della relazione. Il significato dei dati riportati nelle tabelle risulta il seguente:

River Sta = codice della sezione di elaborazione; la numerazione procede in ordine decrescente da monte a valle la corrispondenza tra le sezioni rilevate ed il codice introdotto nel modello numerico è il seguente:

| torrente    | Sezione | Cod Hec Ras | torrente    | Sezione | Cod Hec Ras |
|-------------|---------|-------------|-------------|---------|-------------|
| Rochemolles | 11      | 110         | Rochemolles | 5       | 50          |
| Rochemolles | 10      | 100         | Rochemolles | 4       | 40          |
| Rochemolles | 9       | 90          | Rochemolles | 3       | 30          |
| Rochemolles | 8       | 80          | Valfredda   | 2       | 100         |
| Rochemolles | 7       | 70          | Valfredda   | 1       | 90          |
| Rochemolles | 6       | 60          |             |         |             |

|              |   |                                  |
|--------------|---|----------------------------------|
| Qtotal       | = | portata di calcolo               |
| Min Ch El    | = | quota di fondo alveo             |
| W.S. Elev.   | = | altezza idrometrica calcolata    |
| E.G. Slope   | = | pendenza motrice                 |
| Vel Chnl     | = | velocità di deflusso             |
| Froude # Chl | = | numero di Froude della corrente  |
| Area         | = | sezione interessata dal deflusso |
| Top Width    | = | larghezza pelo libero in sommità |
| Lenght Chnl  | = | distanza tra le sezioni          |

## 7.5 ASSETTO GEOMETRICO

### T. Rochemolles

La modellazione geometrica delle sezioni d'alveo é stata effettuata sulla base di differenti rilievi topografici di dettaglio, riferiti ai medesimi capisaldi e correlati tra loro in quota oltre che essere riferiti alle quote assolute del CTR scala 1:10000. In particolare si sono rilevate complessivamente 9 sezioni sul T. Rochemolles ubicate a monte ed in corrispondenza della frazione per un complessivo tratto d'alveo indagato di 310 m. La distanza media tra le sezioni è di circa 40 m.



## T Valfredda

Si sono verificate 2 sezioni facenti parte del medesimo rilievo distanti 30 m e caratterizzanti un piccolo tratto del Valfredda essenziale per comprendere l'eventuale dinamica di esondazione verso la borgata Plagnol.

### 7.6 CONDIZIONI AL CONTORNO

le condizioni di moto permanente indicano che le simulazioni ed i livelli sono stati ricavati con la portata al colmo costante, in particolare si sono introdotti i seguenti valori di portata:

#### Torrente Rochemolles

| <b>Riferimento allo schema del paragrafo 4.3.2.1 –Bacino interessato</b> | <b>evento associato</b>  | <b>Tempo di ritorno associato</b> | <b>Portate (m<sup>3</sup>/s)</b> |
|--|--|-----------------------------------|----------------------------------|
| Junction-2<br>B13A+B13B+B14+B15  | Portata liquida per tempo di pioggia di 4 h                                | 200 anni                          | 83                               |
| Junction-2<br>B13A+B13B+B14+B15  | Portata liquida per tempo di pioggia di 4 h                                | 500 anni                          | 105                              |
| Junction-2<br>B13A+B13B+B14+B15  | IPOTESI 2 debris dal T. Almiane - Portata liquida + solida                 | 200 anni                          | 108                              |
| B13  | IPOTESI 4 Apertura scarichi diga di Rochemolles - Portata liquida + solida | 200 anni                          | 152                              |

#### Torrente Valfredda

| <b>Riferimento allo schema del paragrafo 4.3.2.1 –Bacino interessato</b> | <b>Evento associato</b>  | <b>Tempo di ritorno associato</b> | <b>Portate (m<sup>3</sup>/s)</b> |
|--|--|-----------------------------------|----------------------------------|
| B16  | Portata liquida per tempo di pioggia di 4 h                    | 200 anni                          | 45                               |
| B16  | Portata liquida per tempo di pioggia di 4 h                    | 500 anni                          | 56                               |
| B16  | Portata liquida + trasporto solido per tempo di pioggia di 4 h | 200 anni                          | 52                               |
| B16  | Portata liquida + trasporto solido per tempo di pioggia di 4 h | 500 anni                          | 64                               |

Le altezze idrometriche utilizzate come condizioni iniziali nelle sezioni a valle ed a monte dei tratti modellati sono state calcolate in condizioni di moto uniforme indisturbato.

Le pendenze di moto uniforme sono assunte pari al 10%.

## 7.7 COEFFICIENTI DI SCABREZZA

Per quanto riguarda il semplice fenomeno della massima portata liquida e del trasporto solido ordinario il coefficiente è stato tarato sulla considerazione che nei piccoli corsi d'acqua montani le velocità raramente sono superiori a 6 m/s per ragioni di macro scabrezza in alveo. Nel caso in esame viste le condizioni di rilievo e le finalità della verifica è stato assunto un  $n$  di Manning pari a  $0.08 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$  (12.5 di Strickler  $\text{m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ ) in alveo mentre in golena si ha  $0.1 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$  (10 di Strickler  $\text{m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ ).

## 9 ANALISI DEI RISULTATI

Come ampiamente descritto nei capitoli precedenti l'analisi svolta comprende le verifiche prettamente idrauliche e quelle relative al fenomeno della colata detritica, il fenomeno del debris flow risulta tuttavia notevolmente attenuato soprattutto dalle condizioni geomorfologiche quali le pendenze dell'alveo e le sue dimensioni oltre che dalla presenza di opere quali la diga; al punto da consentire l'arrivo a Plagnol un idrogramma composto in larga parte dalla sola frazione liquida. Oltre agli aspetti relativi alla colata detritica le problematiche idrauliche analizzate riguardano anche la capacità di convogliamento delle sezioni. Tutte queste problematiche sono state analizzate effettuando semplici verifiche in moto permanente.

Le verifiche relative alla colata o al trasporto solido necessariamente non tengono in conto il fondo mobile. Una dinamica deposizionale infatti potrebbe sopralzare notevolmente il fondo pur consentendo ancora il deflusso della parte liquida. Un fenomeno deposizionale ingente tuttavia è da attendersi più a valle rispetto al tratto in esame che presenta caratteri di stabilità della pendenza e della morfologia.

Nel seguito si riporta una tabella di dettaglio delle principali risultanze idrauliche desunte dai calcoli eseguiti. La tabella è ricavata in corrispondenza del maggiore valore di portata considerato per ciascun rio analizzato; Nel caso del Rochemolles vi si confronta i livelli di massima piena con le quote della strada o della borgata, in allegato le simulazioni complete ed i tabulati.

### Torrente Rochemolles

| sezione | Quota di fondo (msm) | Livello per 152 mc/s (msm) | Tirante (m) | Velocità media (m/s) | Quota strada in sinistra (msm) | Franco rispetto alla strada (m) |
|---------|----------------------|----------------------------|-------------|----------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 110     | 1654.85              | 1657.81                    | 2.96        | 6.02                 | 1659.17                        | 1.36                            |
| 100     | 1653.02              | 1654.99                    | 1.97        | 5.42                 | 1655.95                        | 0.96                            |
| 90      | 1649.43              | 1651.56                    | 2.13        | 5.35                 | 1652.4                         | 0.84                            |
| 80      | 1645.38              | 1647.69                    | 2.31        | 5.17                 | 1649.43                        | 1.74                            |
| 70      | 1637.95              | 1640.59                    | 2.64        | 6.34                 | 1644.76                        | 4.17                            |
| 60      | 1626.02              | 1628.59                    | 2.57        | 7.72                 | 1637.95                        | 9.36                            |
| 50      | 1623.63              | 1626.04                    | 2.41        | 7.01                 | 1636.04                        | 10                              |
| 40      | 1621.61              | 1624.8                     | 3.19        | 5.69                 | 1633.42                        | 8.62                            |
| 30      | 1620.15              | 1623.38                    | 3.23        | 5.76                 | 1629.19<br>(quota borgata)     | 5.81                            |

## Torrente Valfredda

| sezione | Quota di fondo (msm) | Livello per 52 mc/s (msm) | Tirante (m) | Velocità media (m/s) |
|---------|----------------------|---------------------------|-------------|----------------------|
| 100     | 1630.44              | 1631.92                   | 1.48        | 4.05                 |
| 90      | 1623.6               | 1625.27                   | 1.67        | 5.47                 |

## 10 CONCLUSIONI

Nei capitoli precedenti si sono ampiamente analizzati i fenomeni naturali che potremmo attenderci alla sezione di chiusura del bacino idrografico del T. Rochemolles e Rio Valfredda in località Plagnols.

Esclusa quindi la fenomenologia dei debris flow si sono analizzate le condizioni di rischio degli insediamenti con le portate liquide + solide.

Dall'esame della modellazione idraulica emerge che il Rochemolles interessa sempre solo l'alveo inciso e di conseguenza non si hanno esondazioni né sul pianetto in corrispondenza della sezione 5 né tantomeno sulla sezione 9.

Per il Rio di Valfredda vale lo stesso discorso, l'unico pericolo che può derivare all'area di Pragnols é quindi legato ad eventuali erosioni spondali che potrebbero arretrare l'alveo inciso. Dall'esame dei tabulati emerge che la velocità della corrente nelle condizioni peggiori raggiunge i 7 m/s. Velocità compatibili con l'esecuzione di eventuali opere di consolidamento spondale.

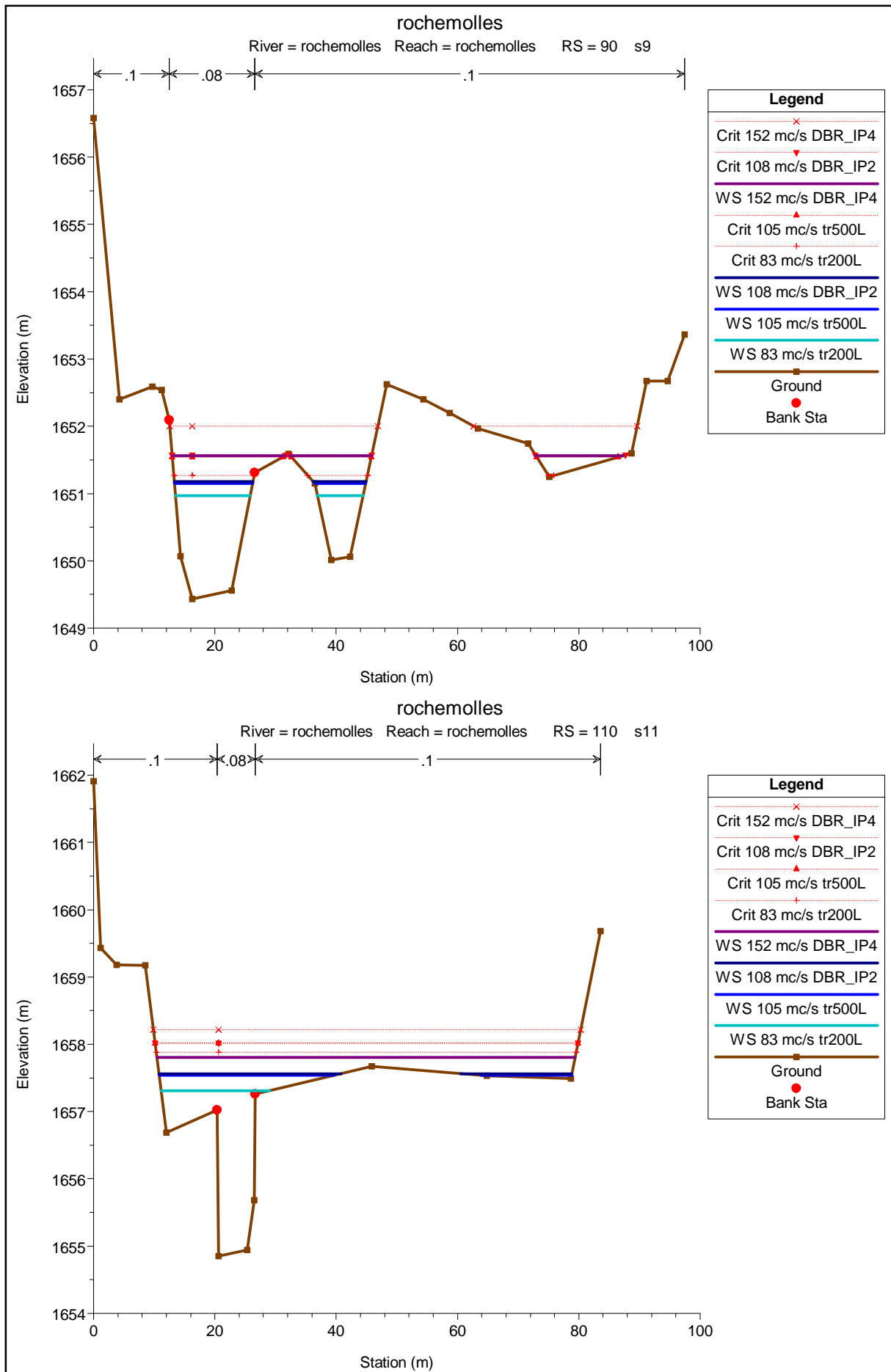
In definitiva l'area di Plagnols, visto che il rischio deriva da un'eventuale erosione spondale e non da un fenomeno repentino ed imprevedibile quale il debris flow , che risulterebbe più distruttivo e di difficile contenimento, può tranquillamente essere posta in classe IIIb4 e la parte più distante in classe IIIb3.

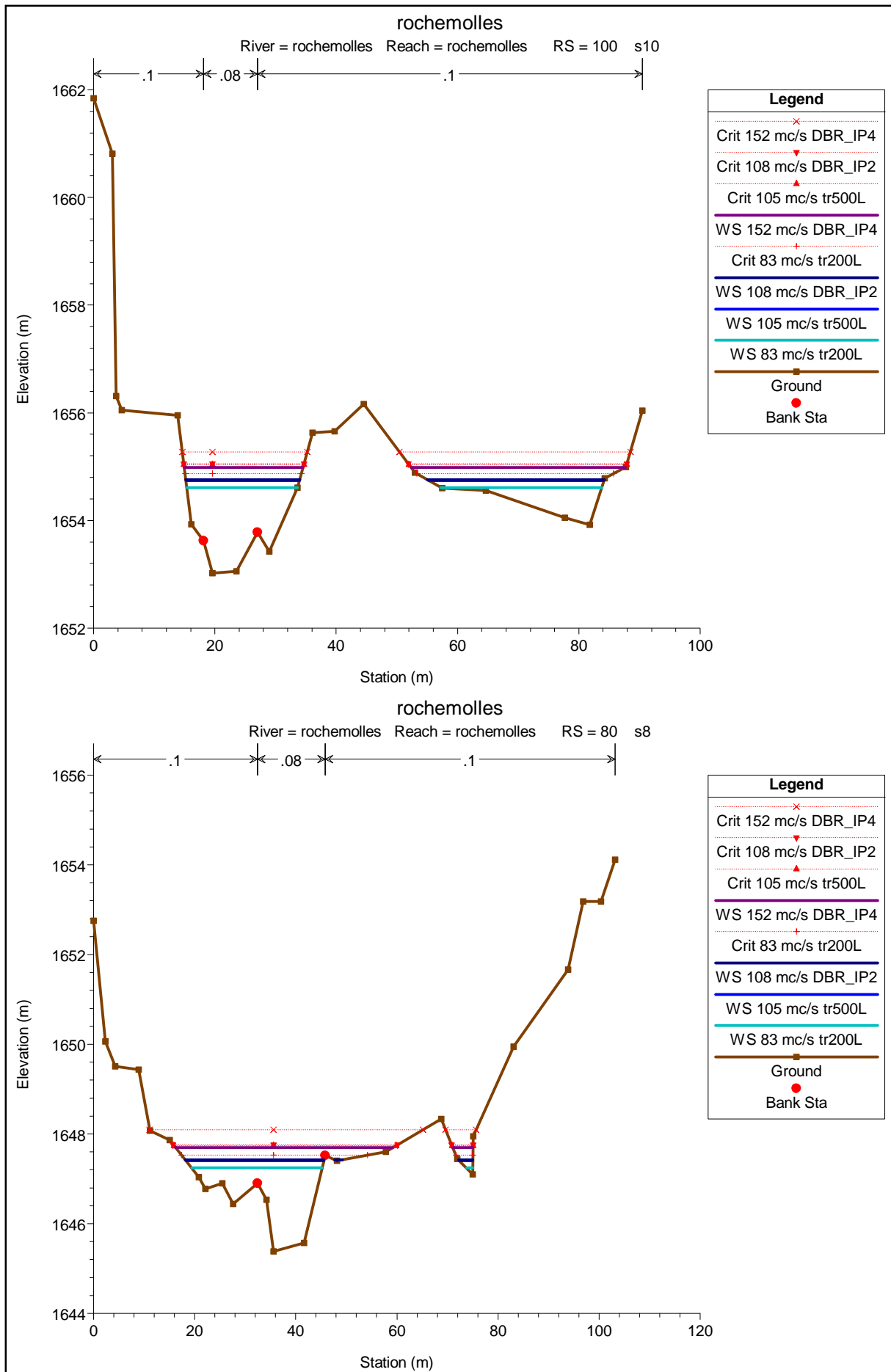
Ambedue le classi tuttavia presuppongono interventi di sistemazione sulle 2 aste di carattere antierosive.

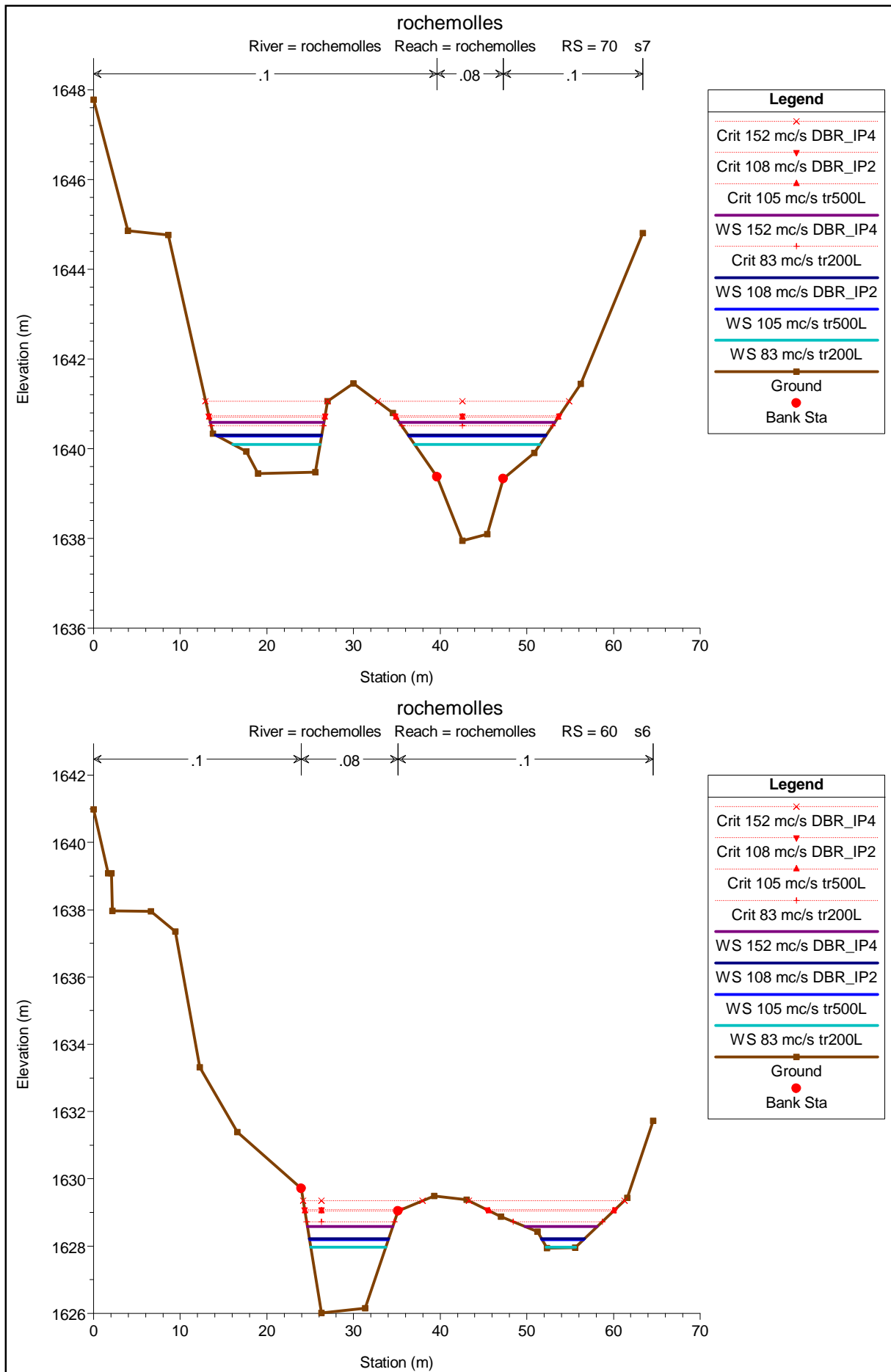
**ALLEGATO 1: TABULATI E GRAFICI MODELLO IDRAULICO**

HEC-RAS Plan: rochemolles River: rochemolles Reach: rochemolles

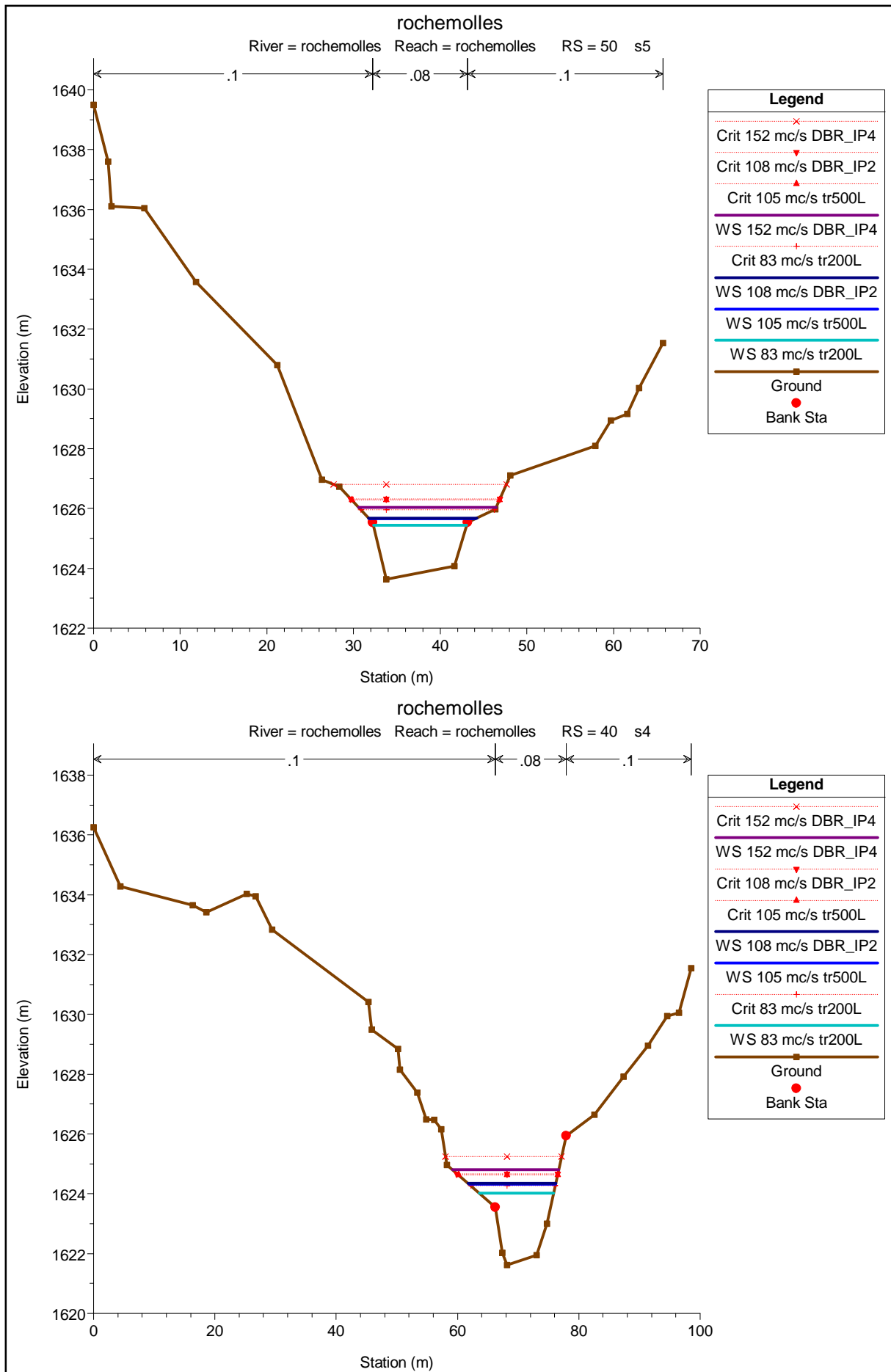
| Reach       | River Sta | Profile          | Q Total<br>(m3/s) | Min Ch El<br>(m) | W. S. Elev<br>(m) | Crit W. S.<br>(m) | E. G. Elev<br>(m) | E. G. Slope<br>(m/m) | Vel Chnl<br>(m/s) | Flow Area<br>(m2) | Top Width<br>(m) | Froude # Chl |
|-------------|-----------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------------|-------------------|-------------------|------------------|--------------|
| rochemolles | 110       | 83 mc/s tr200L   | 83.00             | 1654.85          | 1657.31           | 1657.88           | 1658.62           | 0.110154             | 5.28              | 18.39             | 17.89            | 1.12         |
| rochemolles | 110       | 105 mc/s tr500L  | 105.00            | 1654.85          | 1657.54           | 1658.01           | 1658.93           | 0.110132             | 5.63              | 24.07             | 43.79            | 1.14         |
| rochemolles | 110       | 108 mc/s DBR_IP2 | 108.00            | 1654.85          | 1657.56           | 1658.02           | 1658.96           | 0.110114             | 5.66              | 25.21             | 48.39            | 1.14         |
| rochemolles | 110       | 152 mc/s DBR_IP4 | 152.00            | 1654.85          | 1657.81           | 1658.22           | 1659.17           | 0.110110             | 6.02              | 40.97             | 68.99            | 1.15         |
| rochemolles | 100       | 83 mc/s tr200L   | 83.00             | 1653.02          | 1654.61           | 1654.87           | 1655.43           | 0.093671             | 4.67              | 26.46             | 44.78            | 1.27         |
| rochemolles | 100       | 105 mc/s tr500L  | 105.00            | 1653.02          | 1654.74           | 1655.04           | 1655.62           | 0.094444             | 4.98              | 32.40             | 47.59            | 1.29         |
| rochemolles | 100       | 108 mc/s DBR_IP2 | 108.00            | 1653.02          | 1654.76           | 1655.06           | 1655.64           | 0.094519             | 5.01              | 33.17             | 47.94            | 1.30         |
| rochemolles | 100       | 152 mc/s DBR_IP4 | 152.00            | 1653.02          | 1654.99           | 1655.28           | 1655.94           | 0.091633             | 5.42              | 44.95             | 54.94            | 1.31         |
| rochemolles | 90        | 83 mc/s tr200L   | 83.00             | 1649.43          | 1650.97           | 1651.27           | 1652.02           | 0.130779             | 4.82              | 19.46             | 19.89            | 1.42         |
| rochemolles | 90        | 105 mc/s tr500L  | 105.00            | 1649.43          | 1651.15           | 1651.54           | 1652.33           | 0.130637             | 5.14              | 23.21             | 21.33            | 1.44         |
| rochemolles | 90        | 108 mc/s DBR_IP2 | 108.00            | 1649.43          | 1651.18           | 1651.57           | 1652.37           | 0.129919             | 5.17              | 23.81             | 21.75            | 1.44         |
| rochemolles | 90        | 152 mc/s DBR_IP4 | 152.00            | 1649.43          | 1651.56           | 1652.00           | 1652.77           | 0.105724             | 5.35              | 36.11             | 46.45            | 1.33         |
| rochemolles | 80        | 83 mc/s tr200L   | 83.00             | 1645.38          | 1647.24           | 1647.53           | 1648.12           | 0.095428             | 4.39              | 22.48             | 27.05            | 1.23         |
| rochemolles | 80        | 105 mc/s tr500L  | 105.00            | 1645.38          | 1647.40           | 1647.74           | 1648.39           | 0.098265             | 4.73              | 26.96             | 29.92            | 1.27         |
| rochemolles | 80        | 108 mc/s DBR_IP2 | 108.00            | 1645.38          | 1647.42           | 1647.76           | 1648.42           | 0.097941             | 4.76              | 27.65             | 31.84            | 1.27         |
| rochemolles | 80        | 152 mc/s DBR_IP4 | 152.00            | 1645.38          | 1647.69           | 1648.10           | 1648.80           | 0.093675             | 5.17              | 38.74             | 46.89            | 1.27         |
| rochemolles | 70        | 83 mc/s tr200L   | 83.00             | 1637.95          | 1640.10           | 1640.51           | 1641.33           | 0.105039             | 5.36              | 20.48             | 24.53            | 1.33         |
| rochemolles | 70        | 105 mc/s tr500L  | 105.00            | 1637.95          | 1640.28           | 1640.70           | 1641.63           | 0.104708             | 5.74              | 25.28             | 27.81            | 1.35         |
| rochemolles | 70        | 108 mc/s DBR_IP2 | 108.00            | 1637.95          | 1640.30           | 1640.73           | 1641.67           | 0.104584             | 5.79              | 25.93             | 28.22            | 1.35         |
| rochemolles | 70        | 152 mc/s DBR_IP4 | 152.00            | 1637.95          | 1640.59           | 1641.06           | 1642.11           | 0.103664             | 6.34              | 34.47             | 31.07            | 1.38         |
| rochemolles | 60        | 83 mc/s tr200L   | 83.00             | 1626.02          | 1627.97           | 1628.73           | 1630.08           | 0.198740             | 6.45              | 12.93             | 12.02            | 1.69         |
| rochemolles | 60        | 105 mc/s tr500L  | 105.00            | 1626.02          | 1628.20           | 1629.05           | 1630.62           | 0.205595             | 6.94              | 15.89             | 13.89            | 1.73         |
| rochemolles | 60        | 108 mc/s DBR_IP2 | 108.00            | 1626.02          | 1628.22           | 1629.08           | 1630.68           | 0.206347             | 7.00              | 16.29             | 14.13            | 1.74         |
| rochemolles | 60        | 152 mc/s DBR_IP4 | 152.00            | 1626.02          | 1628.59           | 1629.35           | 1631.46           | 0.214746             | 7.72              | 22.01             | 18.21            | 1.79         |
| rochemolles | 50        | 83 mc/s tr200L   | 83.00             | 1623.63          | 1625.44           | 1625.96           | 1627.04           | 0.156327             | 5.62              | 14.77             | 10.75            | 1.53         |
| rochemolles | 50        | 105 mc/s tr500L  | 105.00            | 1623.63          | 1625.66           | 1626.28           | 1627.56           | 0.155797             | 6.12              | 17.24             | 12.24            | 1.56         |
| rochemolles | 50        | 108 mc/s DBR_IP2 | 108.00            | 1623.63          | 1625.68           | 1626.32           | 1627.63           | 0.155450             | 6.18              | 17.58             | 12.53            | 1.56         |
| rochemolles | 50        | 152 mc/s DBR_IP4 | 152.00            | 1623.63          | 1626.04           | 1626.81           | 1628.51           | 0.152948             | 7.01              | 22.71             | 15.89            | 1.60         |
| rochemolles | 40        | 83 mc/s tr200L   | 83.00             | 1621.61          | 1624.02           | 1624.27           | 1625.17           | 0.081615             | 4.77              | 17.88             | 12.26            | 1.14         |
| rochemolles | 40        | 105 mc/s tr500L  | 105.00            | 1621.61          | 1624.31           | 1624.63           | 1625.61           | 0.080212             | 5.10              | 21.73             | 14.22            | 1.15         |
| rochemolles | 40        | 108 mc/s DBR_IP2 | 108.00            | 1621.61          | 1624.35           | 1624.67           | 1625.67           | 0.080125             | 5.15              | 22.25             | 14.46            | 1.15         |
| rochemolles | 40        | 152 mc/s DBR_IP4 | 152.00            | 1621.61          | 1624.80           | 1625.24           | 1626.37           | 0.080330             | 5.69              | 29.54             | 17.52            | 1.17         |
| rochemolles | 30        | 83 mc/s tr200L   | 83.00             | 1620.15          | 1622.48           | 1622.67           | 1623.69           | 0.086292             | 4.87              | 17.08             | 9.48             | 1.14         |
| rochemolles | 30        | 105 mc/s tr500L  | 105.00            | 1620.15          | 1622.82           | 1623.15           | 1624.19           | 0.081571             | 5.18              | 20.44             | 10.80            | 1.13         |
| rochemolles | 30        | 108 mc/s DBR_IP2 | 108.00            | 1620.15          | 1622.87           | 1623.21           | 1624.25           | 0.080853             | 5.21              | 20.97             | 12.10            | 1.13         |
| rochemolles | 30        | 152 mc/s DBR_IP4 | 152.00            | 1620.15          | 1623.38           | 1623.85           | 1625.01           | 0.075235             | 5.76              | 29.13             | 18.92            | 1.12         |

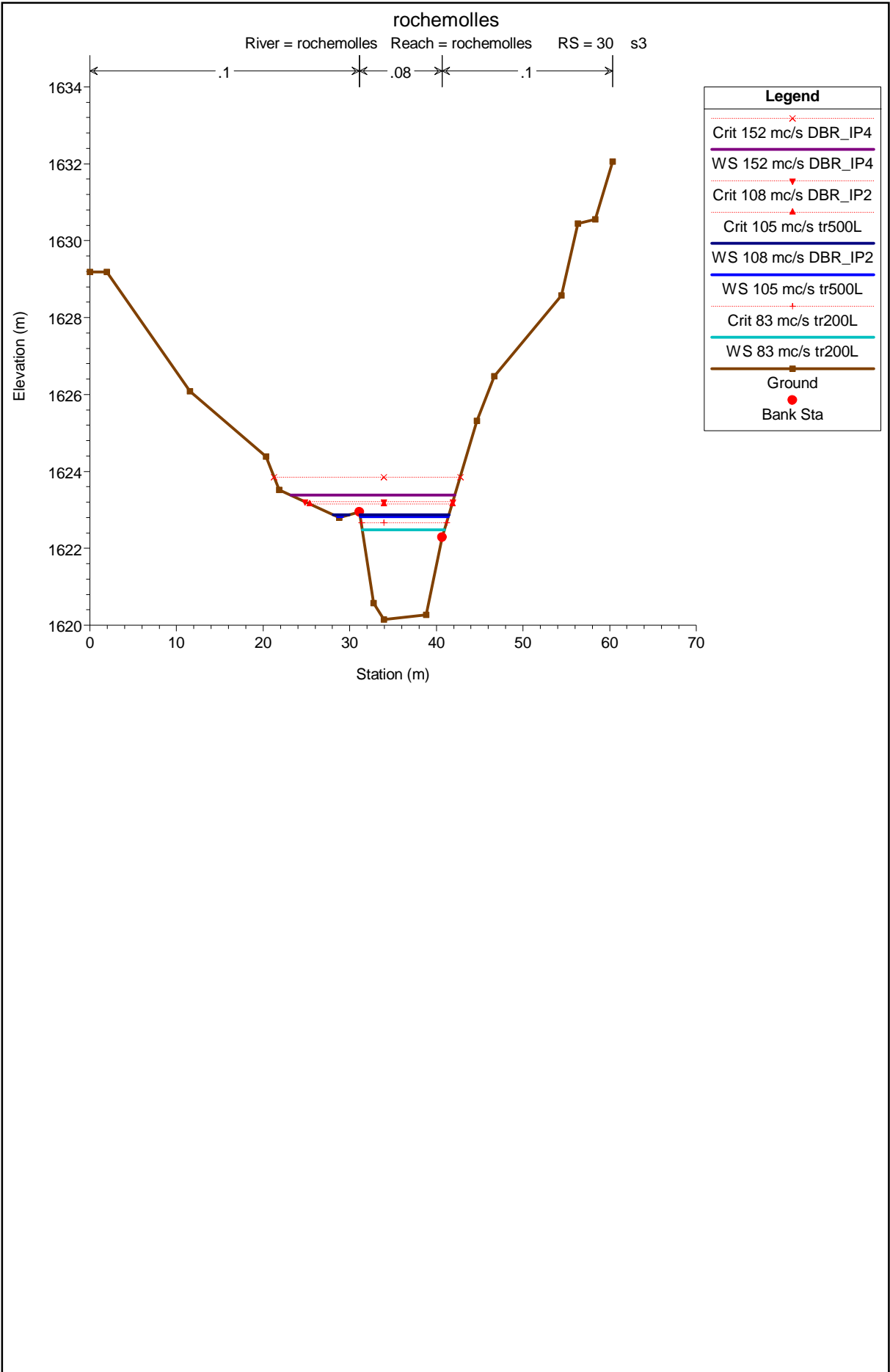


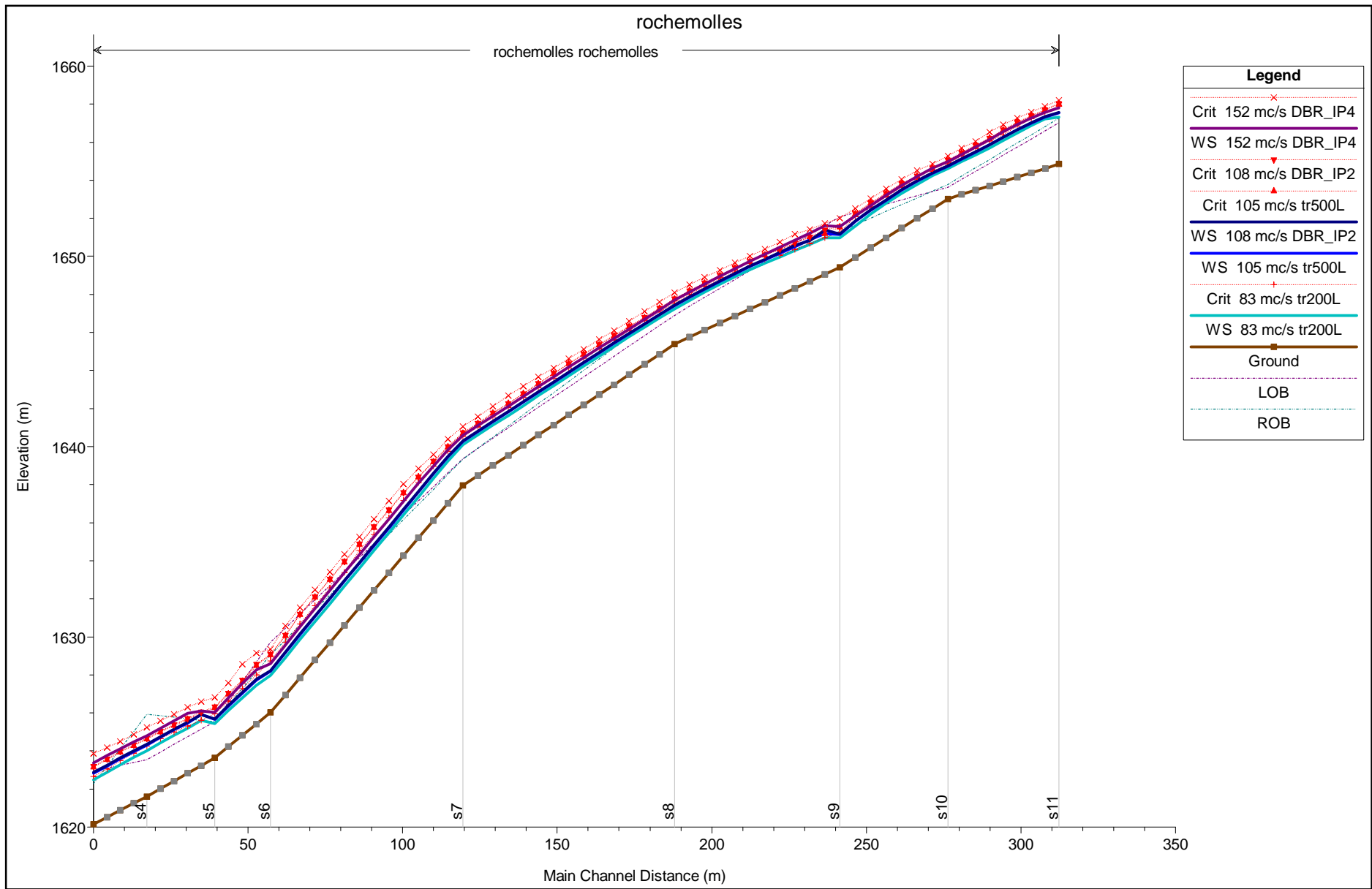












HEC-RAS Plan: valfredda River: valfredda Reach: valfredda

| Reach     | River Sta | Profile          | Q Total<br>(m3/s) | Min Ch El<br>(m) | W.S. Elev<br>(m) | Crit W.S.<br>(m) | E.G. Elev<br>(m) | E.G. Slope<br>(m/m) | Vel Chnl<br>(m/s) | Flow Area<br>(m2) | Top Width<br>(m) | Froude # Chl |
|-----------|-----------|------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|-------------------|-------------------|------------------|--------------|
| valfredda | 100       | 45 mc/s tr200L   | 45.00             | 1630.44          | 1631.82          | 1631.96          | 1632.57          | 0.100046            | 3.83              | 11.78             | 11.69            | 1.20         |
| valfredda | 100       | 56 mc/s tr500L   | 56.00             | 1630.44          | 1631.97          | 1632.16          | 1632.85          | 0.100004            | 4.17              | 13.55             | 12.77            | 1.23         |
| valfredda | 100       | 52 mc/s tr200L+T | 52.00             | 1630.44          | 1631.92          | 1632.10          | 1632.75          | 0.100001            | 4.05              | 12.91             | 12.36            | 1.22         |
| valfredda | 100       | 64 mc/s tr500L+T | 64.00             | 1630.44          | 1632.06          | 1632.30          | 1633.04          | 0.100020            | 4.39              | 14.82             | 13.54            | 1.24         |
| valfredda | 90        | 45 mc/s tr200L   | 45.00             | 1623.60          | 1625.18          | 1625.59          | 1626.56          | 0.225473            | 5.22              | 8.63              | 9.13             | 1.71         |
| valfredda | 90        | 56 mc/s tr500L   | 56.00             | 1623.60          | 1625.33          | 1625.79          | 1626.93          | 0.222654            | 5.60              | 9.99              | 9.23             | 1.72         |
| valfredda | 90        | 52 mc/s tr200L+T | 52.00             | 1623.60          | 1625.27          | 1625.72          | 1626.80          | 0.223583            | 5.47              | 9.51              | 9.19             | 1.72         |
| valfredda | 90        | 64 mc/s tr500L+T | 64.00             | 1623.60          | 1625.43          | 1626.00          | 1627.17          | 0.220688            | 5.85              | 10.94             | 9.30             | 1.72         |

