



REGIONE PIEMONTE - PROVINCIA DI TORINO
COMUNE DI BARDONECCHIA

P.R.G.C.

PROPOSTA TECNICA DEL
PROGETTO PRELIMINARE
(LR 56/77, art.15 comma 1)

ELABORATO

AREA RME1 - TORRENTE RHO APPROFONDIMENTI

GEO9

FEBBRAIO 2015

Il progetto urbanistico

StudioAF

arch. Giovanni Alifredi

arch. Alessandro Fubini

Resp. Del Procedimento e del Servizio E.P. e Urbanistica

ing. Francesco Cecchini

Il Sindaco

Studio idrogeologico e idraulico

dott. geol. Eugenio Zanella

dott. ing. Virgilio Anselmo

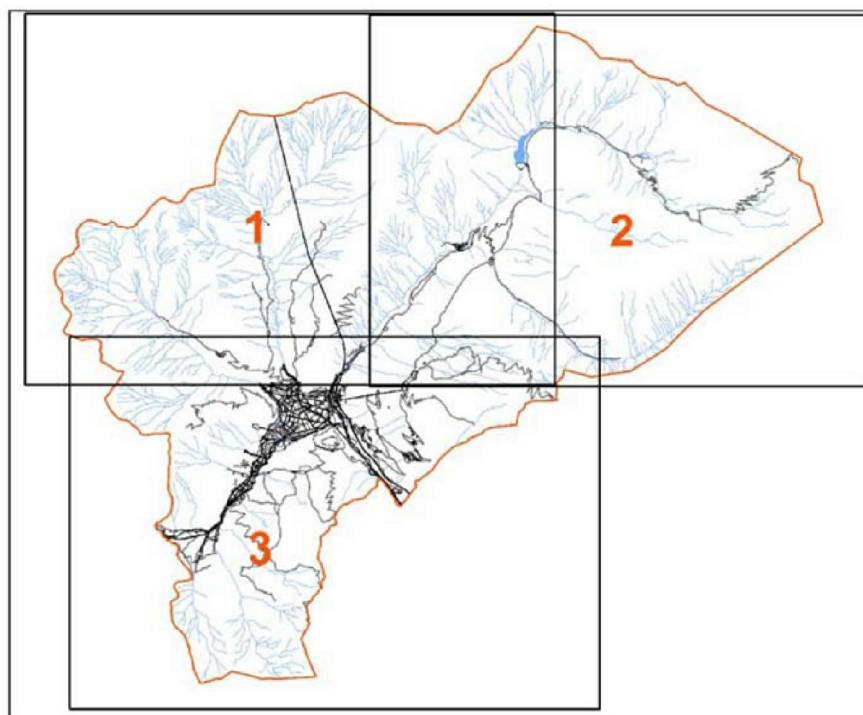
dott. for. Alberto Dotta

Il Segretario Comunale

I collaboratori

arch. Rossella Enrico

VERSIONE	DATA DI AGGIORNAMENTO	DESCRIZIONE	PROVVEDIMENTO AMMINISTRATIVO
00	Giugno 2013	Proposta tecnica del Progetto preliminare	



ZANELLA dr. geol. Eugenio

Via Ferraris 11 - 10060 S.Pietro Val Lemina TO - tel/fax 0121-315512 - e-mail: eugeniozanella@virgilio.it

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

PIANO REGOLATORE GENERALE
VARIANTE GENERALE

AREA RME 1: PROPOSTA NUOVA DELIMITAZIONE

RELAZIONE DI ACCOMPAGNAMENTO

ANSELMO associati
Dott. Ing. Virgilio ANSELMO
Via Vittorio Emanuele, 14
10023 Chieri (TO)
Tel. / Fax. 011 9415835
e-mail: info@anselmoassociati.it

Dott. Geol. Eugenio ZANELLA
Via Ferraris, 11
10060 San Pietro Val Lemina (TO)
Tel. / Fax. 0121 315512
e-mail: eugeniozanella@virgilio.it

.....

.....

1 PREMESSA

L'Amministrazione Comunale di Bardonecchia ha dato incarico al Consorzio Forestale Alta Valle Susa di procedere ad una analisi della pericolosità residua del torrente Rho.

Tale analisi (documento 3 dell'elenco) è stata effettuata dallo Studio Anselmo Associati di Chieri adottando le metodologie maggiormente riconosciute come valide per la valutazione dei volumi di lave torrentizie attesi nelle condizioni più gravose in apice al conoide della Rho e lungo l'asta torrentizia fino alla confluenza con la Dora di Melezet.

2 RISULTATI DELL'APPROFONDIMENTO

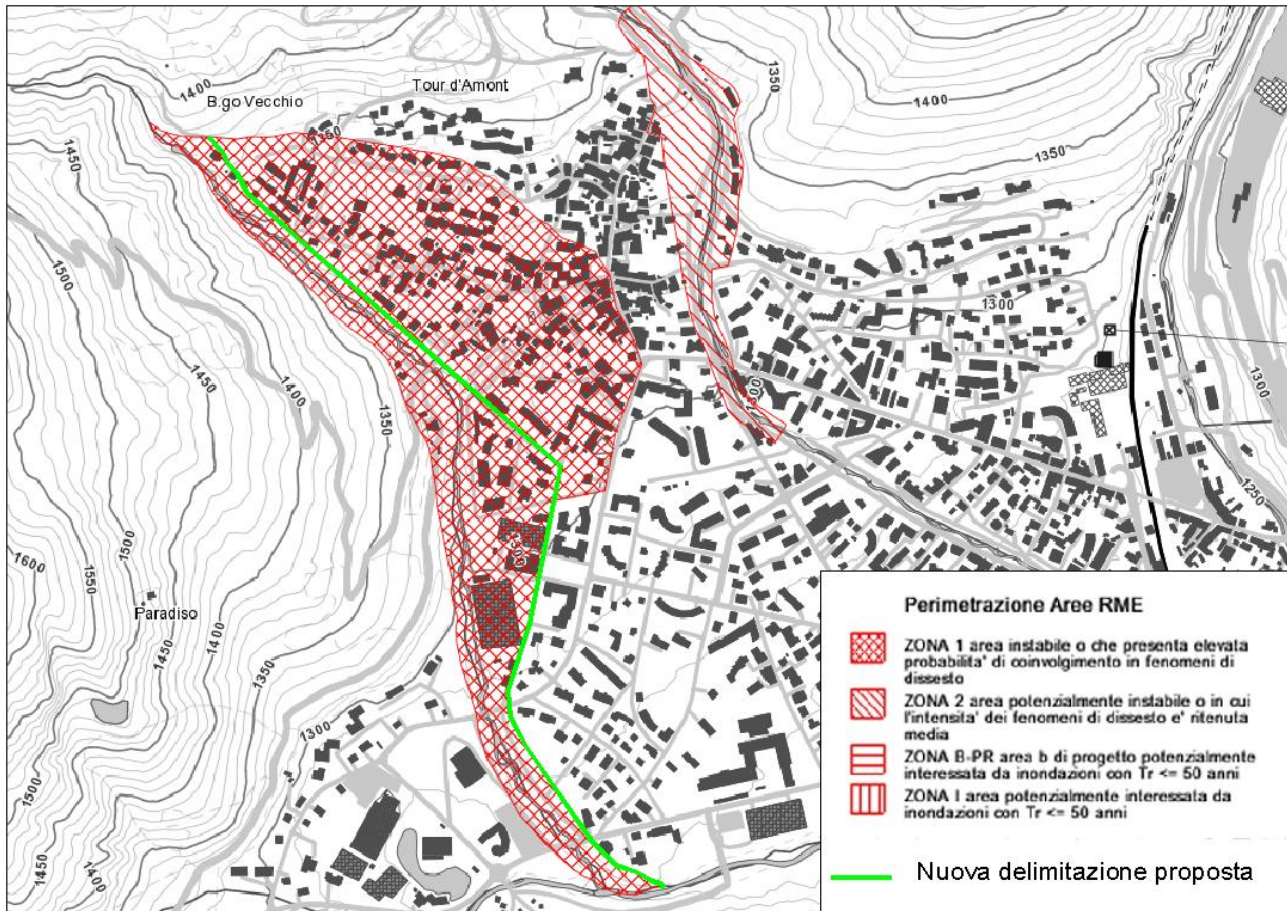
L'analisi ha portato alla conclusione che nelle condizioni attuali con una colata detritica ragionevolmente attesa di 80.000 m³ in apice conoide è possibile una fuoriuscita in sinistra idrografica subito a monte del serbatoio dell'acquedotto con avanzamento su tutta l'ala sinistra del conoide.

Con la costruzione di un muro deviatore in sponda sinistra in apice conoide, accompagnato da un dispositivo di trattenuta di parte del volume di colata detritica atteso (40.000 m³ circa) nella varice esistente a monte del cono di deiezione, tutta la lava torrentizia viene contenuta entro l'alveo.

Solo in corrispondenza del ponte di Via Tre Croci dove il torrente presenta una brusca variazione di percorso si ha la presenza di una possibile criticità ove si verificassero le condizioni estreme di un sovralluvionamento con innalzamento del fondo alveo di ben 4 metri che porterebbe alla fuoriuscita della miscela solido-liquida di pochi decimetri in sponda sinistra. Sulla base di quanto emerso dalla analisi della pericolosità legata alla formazione di colate detritiche e degli interventi necessari per la riduzione del rischio in maniera significativa può quindi essere ragionevolmente proposta una ridefinizione dell'area RME la cui estensione in sponda sinistra del corso d'acqua viene limitata al settore maggiormente esposto ad un sia pur limitato eventuale dissesto idraulico ove si verificassero le condizioni estreme ipotizzate nello studio, escludendo tutto il settore a monte posto in condizioni di sufficiente sicurezza dagli interventi prospettati.

La nuova perimetrazione proposta è delimitata con linea continua nel sottostante stralcio cartografico riportante l'area RME attuale.

*Area RME 1 – Proposta nuova delimitazione
Relazione di accompagnamento*



3 ELENCO DOCUMENTI

- 1) Relazione di accompagnamento.
- 2) Proposta di nuova scheda di cronoprogramma N°. 24.
- 3) Analisi della pericolosità residua del Torrente Rho a Bardonecchia (febbraio 2015) costituita da:
 - Elaborato H- 1: Relazione idraulica.
 - Elaborato H- 2: Risultati delle verifiche idrauliche in moto vario bidimensionale. Caratterizzazione delle colate detritiche: altezza di sommersione e velocità di scorrimento sul piano campagna. CONDIZIONE ATTUALE (scala 1: 4 000).
 - Elaborato H- 3: Risultati delle verifiche idrauliche in moto vario bidimensionale. Caratterizzazione delle colate detritiche: altezza di sommersione e velocità di scorrimento sul piano campagna. CONDIZIONE DI PROGETTO (scala 1: 4 000).

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

PIANO REGOLATORE GENERALE
VARIANTE GENERALE

CRONOPROGRAMMA DEGLI INTERVENTI
PER L'UTILIZZAZIONE DELLE AREE
DI CLASSE III b₂ – III b₃ – III b₄

PROPOSTA DI NUOVA SCHEDA DI CRONOPROGRAMMA N°24

Dott. Geol. Eugenio ZANELLA
Via Ferraris, 11
10060 San Pietro Val Lemina (TO)
Tel. / Fax. 0121 315512
e-mail: eugeniozanella@virgilio.it

.....

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

PIANO REGOLATORE GENERALE
CRONOPROGRAMMA DEGLI INTERVENTI
PER L'UTILIZZAZIONE DELLE AREE
DI CLASSE III b₂ – III b₃ – III b₄

SCHEDA N° 24

AREA RME T. RHO

Sul Torrente Rho sono stati eseguiti interventi finalizzati alla riduzione del rischio nelle aree RME consistenti in una serie di briglie di ritenuta realizzate in corrispondenza del medio - alto bacino che, anche se ultimati e collaudati, a seguito dell'evento del 28, 29, 30 maggio 2008 sono stati irrimediabilmente danneggiati.

In ogni caso tali interventi sono da considerarsi insufficienti in quanto la situazione attuale è caratterizzata dalla presenza di un tratto di argine posto in apice conoide, sulla sinistra idrografica, a monte del serbatoio dell'acquedotto comunale, attraverso il quale è probabile la fuoriuscita delle colate detritiche, come dimostrato dagli studi di modellizzazione del trasporto solido-liquido commissionati dalla Amministrazione Comunale al CFAVS ed eseguiti dallo Studio Anselmo Associati.

In base ai risultati ottenuti da tale studio si può ritenere che la realizzazione di un dispositivo costituito da un muro deviatore in sponda sinistra, in grado di mantenere la colata detritica in alveo, possa portare ad una significativa riduzione del rischio.

Oltre a quest'ultimo intervento è possibile ipotizzare la realizzazione di un dispositivo di trattenuta supplementare di parte del volume atteso della colata detritica (per circa 40.000 m³) nella varice compresa fra l'apice del cono di deiezione e la prima serie di briglie al fine di ridurre in misura sensibile l'entità dei materiali trasportati e depositati alla confluenza con la Dora di Melezet.

A seguito della realizzazione degli interventi prospettati saranno quindi possibili i seguenti utilizzi urbanistici nelle diverse sottoaree individuate nella "Carta di sintesi".

L'area "a" individuata a cavallo del torrente è un'area non edificata e tale dovrà rimanere.

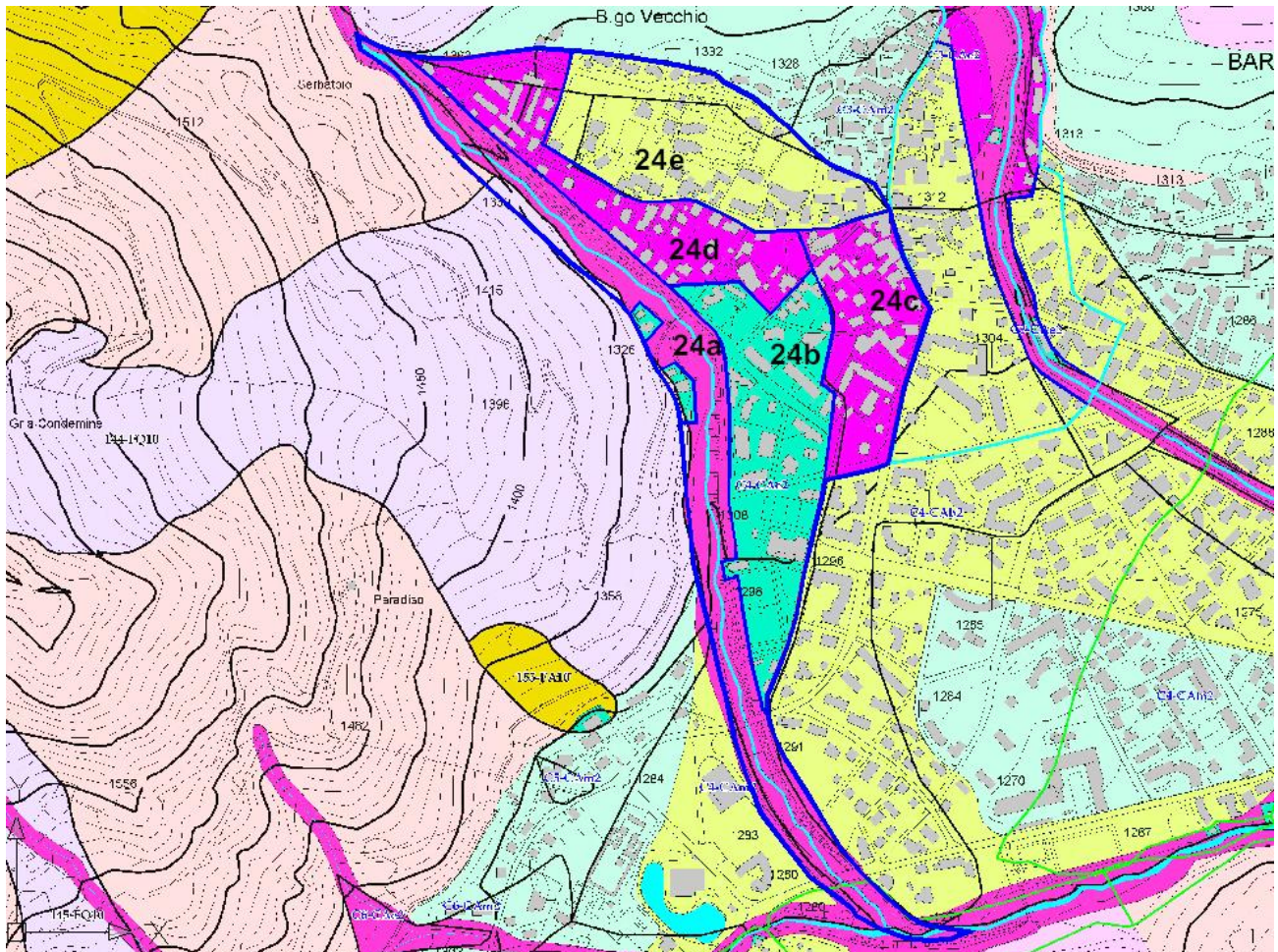
L'area "b" è localizzata in sponda sinistra all'esterno di una curva del torrente in concomitanza di un cambio di pendenza del fondo alveo. E' un'area in cui le opere di riassetto territoriale consistenti nel ripristino delle briglie danneggiate, nella realizzazione del muro deviatore nonché del dispositivo di trattenuta supplementare ridurranno il rischio residuo a rischio compatibile proprio della classe IIIb₄.

L'area "c" rappresenta la porzione dell'area IIIb₃ più distante dall'apice della conoide. Dopo la realizzazione degli interventi consistenti nel ripristino delle briglie danneggiate e nella realizzazione del muro deviatore sarà possibile attuare interventi propri della classe IIIb₃ con modesto aumento del carico antropico ma con esclusione di nuove edificazioni ad uso abitativo.

L'area "d" pure posta in classe IIIb₃ potrà considerarsi a rischio mitigato a seguito della realizzazione degli interventi consistenti nel ripristino delle briglie danneggiate e soprattutto nella realizzazione del muro deviatore con possibilità di previsioni urbanistiche analoghe a quelle dell'area precedente.

L'area "e" é il settore che dalla realizzazione degli interventi consistenti nel ripristino delle briglie danneggiate e nella realizzazione del muro deviatore trarrà maggior beneficio raggiungendo un sufficiente grado di sicurezza e quindi successivamente a tali opere si potranno eseguire gli interventi propri della classe IIIB2 con nuove edificazioni e cambiamenti di utilizzo ad uso abitativo.

E' comunque necessario attivare e mantenere il sistema di monitoraggio delle opere esistenti e residue a monte del conoide nonché proseguire il monitoraggio in corso dei versanti della Grange la Rho.



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

PIANO REGOLATORE GENERALE
VARIANTE GENERALE

AREA RME 1: PROPOSTA NUOVA DELIMITAZIONE

ANALISI DELLA PERICOLOSITA' RESIDUA DEL TORRENTE RHO A
BARDONECCHIA

ANSELMO associati
Dott. Ing. Virgilio ANSELMO
Via Vittorio Emanuele, 14
10023 Chieri (TO)
Tel. / Fax. 011 9415835
e-mail: info@anselmoassociati.it

.....

Committente:

Regione Piemonte
COMUNE DI BARDONECCHIA

Oggetto:

Analisi della pericolosità residua del Torrente Rho a Bardonecchia
(versione coordinata in accoglimento delle osservazioni informali)

RELAZIONE IDRAULICA

SCALA:

-

DATA:

Febbraio 2015

Identificazione elaborato	Ambito		Tipologia		Commessa	n° elaborato	H-1
IDS1917-1	I	D	S	I	917		

Dati Progettisti:

Studio ANSELMO Associati
Via Vittorio Emanuele n°14
10023 CHIERI (TO)
Tel. / Fax. 011 9415835
e-mail: info@anselmoassociati.it

Dott. Ing. Virgilio Anselmo
Dott. For. Fulvio Anselmo
Collaboratori:
Dott. For. Davide Spada
Dott. Ing. Donato Vittore

Rev.	Redatto	Controllato	Approvato	Data	Timbri e Firme
0	Dott. D. Spada	Ing. V. Anselmo	Ing. V. Anselmo	05-2014	
1	Dott. D. Spada	Ing. V. Anselmo	Ing. V. Anselmo	05-2014	
Recepimento osservazioni a seguito del colloquio informale tenutosi in Regione (8/05/2014)					
2	Dott. D. Spada	Ing. V. Anselmo	Ing. V. Anselmo	02-2015	
Recepimento osservazioni a seguito del colloquio informale tenutosi in Regione (20/11/2014)					

Il Responsabile del procedimento:

FIRMA

File : IDS1917_1.doc

Sommaio

1	PREMESSA.....	3
2	ANALISI IDROLOGICA.....	4
2.1	Il Torrente Rho.....	5
2.2	Dora di Melezet.....	7
3	ANALISI DELLA FORMAZIONE E DELLA DINAMICA DELLE LAVE TORRENTIZIE.....	9
3.1	Caratteristiche fisiche e reologiche della miscela liquido-solido.....	9
3.1.1	Caratteristiche fisiche.....	9
3.1.2	Caratteristiche reologiche.....	13
3.2	Stima del volume solido movimentabile.....	14
3.3	Stima dell'idrogramma della miscela liquido-solido.....	15
4	ANALISI DELLA PERICOLOSITA' RESIDUA MEDIANTE MODELLAZIONE DEL COMPORTAMENTO DELLE COLATE DETRITICHE.....	18
4.1	Scenario 1: condizione attuale.....	19
4.2	Scenario 2: condizione di progetto.....	20
4.3	Scenario 3: effetti dell'eventuale sovralluvionamento a valle del ponte di Via Tre Croci 23	
4.4	Verifica del transito della colata detritica in corrispondenza dei ponti.....	25
4.4.1	Scenario 4: effetti dell'eventuale occlusione del ponte n° 16 (ponte delle cioie).....	28
4.4.2	Scenario 5: effetti dell'eventuale occlusione del ponte n° 17 (ponte di viale della vittoria).....	30
5	EFFETTI DEGLI INTERVENTI PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO SUI VINCOLI URBANISTICI.....	31
5.1	Le previsioni del Piano Regolatore.....	31
5.2	Risultati attesi.....	34
6	CONCLUSIONI.....	36
7	ELENCO ELABORATI E ALLEGATI.....	37
8	RIFERIMENTI.....	38
9	ALLEGATO 1. RISULTATI DELLE VERIFICHE IDRAULICHE IN MOTO VARIO BIDIMENSIONALE. EFFETTI DELL'EVENTUALE SOVRALLUVIONAMENTO PER MANCANZA DI MANUTENZIONE A VALLE DEL PONTE DI VIA TRE CROCI (SCENARIO 3).....	39
10	ALLEGATO 2. RISULTATI DELLE VERIFICHE IDRAULICHE IN MOTO VARIO BIDIMENSIONALE. EFFETTI DELL'EVENTUALE OCCLUSIONE DEL PONTE N° 16 (PONTE DELLE CIOIE) - SCENARIO 4.....	40
11	ALLEGATO 3. RISULTATI DELLE VERIFICHE IDRAULICHE IN MOTO VARIO BIDIMENSIONALE. EFFETTI DELL'EVENTUALE OCCLUSIONE DEL PONTE N° 17 (PONTE DI VIALE DELLA VITTORIA) - SCENARIO 5.....	41
12	ALLEGATO 4. PROFILO DEL T. RHO NEL TRONCO STUDIATO (DA BORGO VECCHIO A CONFLUENZA DORA).	42
	APPENDICE - A . Descrizione dello schema di calcolo adottato dal modello numerico Hec-1 e dei criteri di elaborazione delle precipitazioni per l'ottenimento delle portate di progetto.....	43

CONSORZIO FORESTALE ALTA VALLE SUSA
Analisi della pericolosità residua del Torrente Rho a Bardonecchia
(versione coordinata in accoglimento delle osservazioni informali)

APPENDICE - B . Descrizione dello schema di calcolo adottato dal modello Flo-2D attivato in moto vario per la simulazione del comportamento delle correnti iperconcentrate.	50
APPENDICE - C . Caratteristiche del rilievo topografico di dettaglio.	54

1 PREMESSA

Sul T. Rho, a seguito della perimetrazione di un'area RME, sono state eseguite opere lungo l'asta ed il conoide finalizzate alla riduzione del rischio. Osservate le caratteristiche del medio – alto bacino e l'elevata disponibilità di materiali sciolti lungo l'alveo, l'accertamento della pericolosità residua del Torrente Rho nel centro abitato di Bardonecchia si fonda sull'assunzione di una colata detritica nell'ipotesi che l'alveo naturale del torrente sia occluso all'apice del conoide. In tale evenienza, la portata in arrivo viene deviata verso sinistra e, superato l'edificio dell'acquedotto, si diffonde sul cono di deiezione. Lo schema di calcolo deriva dalla considerazione del fatto che le caratteristiche del bacino sono dominate dalla presenza di ingenti depositi di materiali sciolti, in particolare sul versante destro ove prevalgono i detriti di falda al piede delle pareti delle cime dei Re Magi. Anche il tributario di destra è caratterizzato da una imponente massa di materiale detritico sospeso. L'entità dei depositi sospesi impedisce valutazioni attendibili del volume dei materiali trasportabili a valle nel corso di un evento grave.

Per considerazioni in merito al volume movimentabile si preferisce non ricorrere alle tradizionali formule proposte nella letteratura specializzata ⁽¹⁾, in quanto la loro applicazione porta comunemente ad un ventaglio di valori molto ampio che non permette di risolvere il problema applicativo di tale valutazione (comunemente, nell'applicazione dei diversi metodi, si rilevano differenze nei risultati pari ad un ordine di grandezza). Nel caso del T. Rho l'analisi del volume mobilizzabile è stata condotta con il procedimento proposto da TROPEANO E TURCONI (1999) che è stato sviluppato considerando i corsi d'acqua della valle del Ripa.

La modellazione della movimentazione della colata detritica sul conoide è stata condotta utilizzando il codice commerciale Flo-2D ⁽²⁾ fondato su rilievo topografico aerofotogrammetrico con tolleranza di ± 0.30 m (Alifoto - 2012).

Il modello tiene conto degli edifici presenti, che influenzano il percorso della corrente.

⁽¹⁾ La taratura di tali formule di derivazione semi-empirica è sempre dipendente dalle caratteristiche dei corsi d'acqua della regione per la quale la relazione è stata proposta (nella maggior parte dei casi si tratta di studi statunitensi o nipponici).

⁽²⁾ Il codice Flo-2D è prodotto e commercializzato dal Flo-2D Software Inc. Di Nutrioso (Arizona) ed è accreditato dalla FEMA per la modellazione delle aree inondabili.

2 ANALISI IDROLOGICA

I caratteri idrologici sono ripresi dall'analisi inizialmente condotta dal Consorzio Forestale Alta Valle di Susa nel 2001 e poi approfondita alla scala dell'intero bacino idrografico in uno studio allestito per conto della PROVINCIA DI TORINO (2003). Nell'ambito di tali indagini, venivano definite le caratteristiche idrologiche dei principali sottobacini ricavate dalla modellazione afflussi-deflussi, sulla base dei valori di precipitazione con tempo di ritorno assegnato pari a tr 200 anni.

Dall'analisi in argomento, a cui si rimanda, risulta l'inquadramento generale del bacino della Dora Riparia. Una sintesi dei dati pluviometrici e dei criteri impiegati per l'allestimento del modello afflussi-deflussi (pluviometria, relazione durata-intensità delle precipitazioni, riduzione areale delle precipitazioni) sono riportati in APPENDICE - A. Nella medesima Appendice viene riportata la descrizione delle principali caratteristiche del codice di calcolo impiegato (PROHec-1 attivato in ambiente WMS).

Nell'ambito dello studio precedentemente richiamato, la portata di progetto dei bacini minori dell'Alta Valle è stata calcolata assumendo le condizioni antecedenti più gravose in merito allo stato di imbibizione iniziale del terreno (è stata impiegata la condizione iniziale di terreno fortemente imbibito corrispondente ad AMC-III che si può verificare, ad esempio, a fine scioglimento delle nevi; la condizione in parola non è immaginaria, basti pensare all'evento del giugno 1957).

Le precipitazioni di progetto, riferite alla zona pluviometrica 12 furono scelte con durate limitate a 2, 4 e 6 ore per tempo di ritorno di 200 anni. Si deve inoltre ritenere che, soprattutto in ambiente alpino, precipitazioni forti possano colpire singoli bacini, ma non aree molto estese.

A fronte degli approfondimenti condotti dall'Autorità di Bacino con la Direttiva PAI, in particolare per quanto riguarda la regionalizzazione delle piogge (Allegato 3 al PAI), i calcoli sono stati aggiornati ⁽³⁾.

Nel seguito vengono riferiti i risultati relativi ai sottobacini del T. Rho e della Dora di Melezet.

⁽³⁾ Nel caso in cui siano stati impiegati altri schemi di calcolo (es. metodo razionale, statistici, ecc.), i risultati possono essere sensibilmente diversi da quelli ricavati nell'ambito delle indagini sviluppate per la variante al PRGC.

2.1 Il Torrente Rho

A fronte degli approfondimenti condotti dall'Autorità di bacino con la Direttiva 2 del PAI (2001, Allegato 3) che fornisce, sulla base delle elaborazioni puntuali, una interpretazione della variabilità spaziale dei parametri pluviometrici con il metodo del kriging dei parametri a ed n delle linee segnalatrici, discretizzate in base ad un reticolo di 2 Km di lato. i calcoli sono stati aggiornati con riferimento alla sezione collocata all'apice del cono di deiezione.

Il bacino idrografico risulta compreso entro le celle pluviometriche indicate nella seguente Figura 2-1.

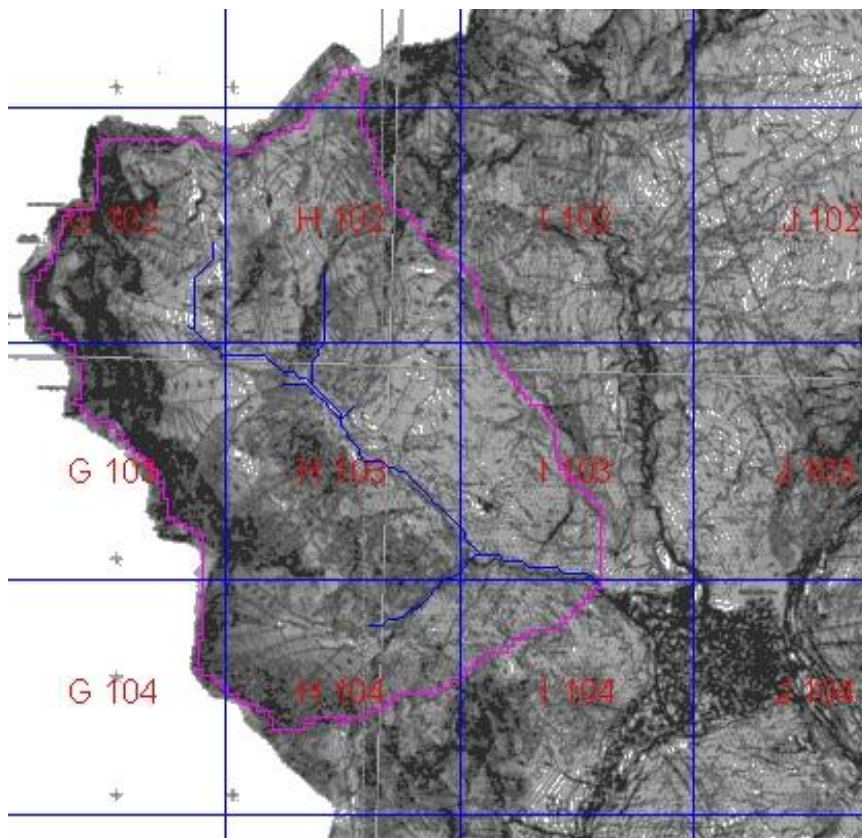


Figura 2-1 – Corografia del bacino e celle pluviometriche.

Ai fini del calcolo della portata di progetto sono stati impiegati i coefficienti pluviometrici espressi per la cella che si trova in posizione baricentrica rispetto al bacino (cella H103) caratterizzata dai seguenti valori dei parametri della relazione altezza-durata:

$$h [Tr 20] = 17.97 t^{0.480}$$

$$h [Tr 50] = 20.59 t^{0.478} \text{ (valore interpolato)}$$

$$h [Tr 100] = 22.56 t^{0.476}$$

$$h [Tr 200] = 24.52 t^{0.474}$$

$$h [Tr 500] = 27.11 t^{0.473}$$

CONSORZIO FORESTALE ALTA VALLE SUSA
Analisi della pericolosità residua del Torrente Rho a Bardonecchia
(versione coordinata in accoglimento delle osservazioni informali)

Per il tempo di ritorno di 200 anni, sono stati ricavati i valori della precipitazione per intervalli di 15 minuti (0.25 ore) e per la durata di 4 ore. Secondo lo schema sopra illustrato, risulta l'altezza totale di 47.3 mm corrispondenti, nell'ultimo quarto dell'evento, a 5.9 mm in 15 minuti.

L'elaborazione dello ietogramma di riferimento è stata effettuata partendo dall'osservazione che le precipitazioni critiche sono originate da eventi non uniformi nel tempo (con periodi di differente intensità) e nello spazio (in località diverse piove con intensità differente). Gli ietogrammi di progetto vengono riportati in APPENDICE - A. La durata di pioggia critica pari a 6h, è stata determinata alimentando il modello afflussi-deflussi con ietogrammi di durata crescente fino ad individuare il massimo valore di portata al colmo.

I caratteri morfometrici del Torrente Rho sono sintetizzati nella tabella seguente con riferimento alla sezione all'apice del cono di deiezione a quota 1385:

Area	16.47 km ²
Pendenza media del bacino	0.578 m/m
Quota media	2202 m
Quota sezione di chiusura	1385 m
Lunghezza dell'asta	6.7 km

I coefficienti di trasformazione afflussi-deflussi che riassumono le caratteristiche geopedologiche e vegetazionali del bacino (CN) sono stati ricavati in ambiente GIS (WMS) mentre la condizione di imbibizione iniziale del suolo è stata fissata come AMC-III (vedi sopra). A seguito di quanto esposto sono stati ricavati i valori di portata al colmo riportati in Tabella 2-1 e gli idrogrammi rappresentati in Figura 2-2.

Tabella 2-1. Valori di portata al colmo per il T. Rho in corrispondenza della sezione di chiusura posta all'apice del conoide (durata di pioggia critica 4 h).

	T. Rho (codice B17S)
	m ³ /s
Tr 20	14.3
Tr 50	24.5
Tr 200	36

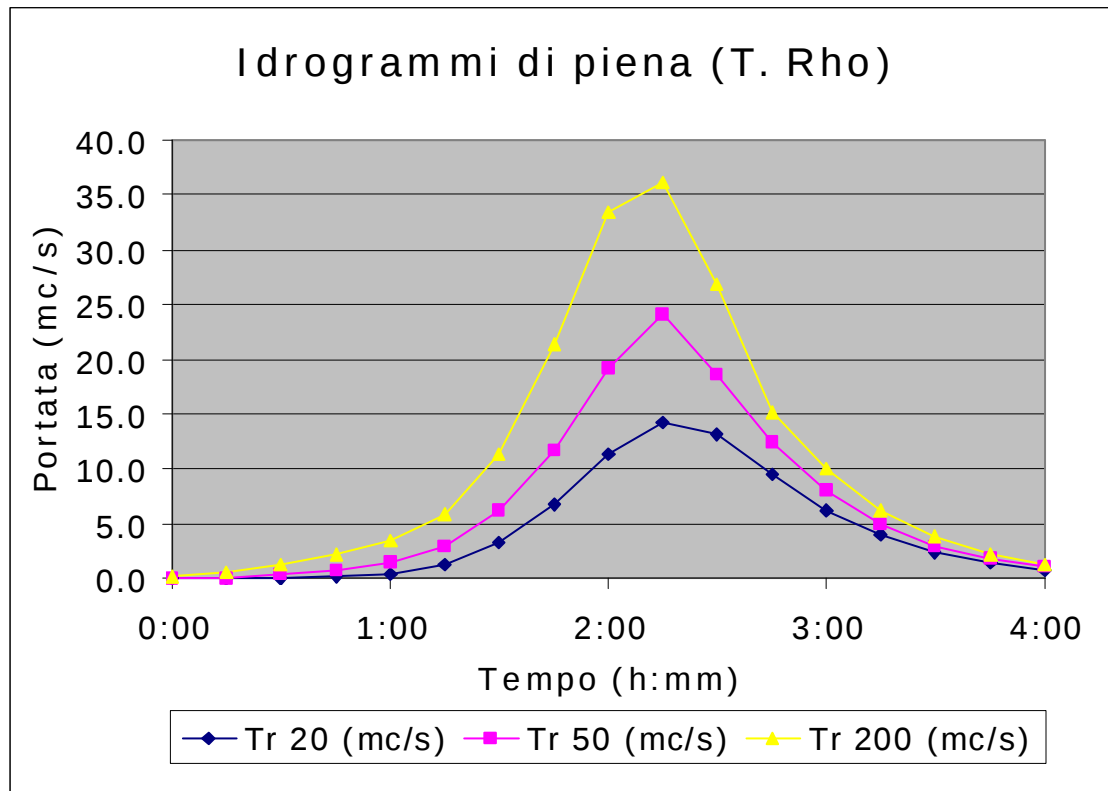


Figura 2-2. Idrogrammi per il T. Rho in corrispondenza della sezione di chiusura posta all'apice del conoide (durata di pioggia critica 4 h).

2.2 Dora di Melezet

Il procedimento è analogo a quello descritto nel paragrafo precedente.

Ai fini del calcolo della portata di progetto sono stati impiegati i coefficienti pluviometrici espressi per la cella che si trova in posizione baricentrica rispetto al bacino (cella I104) caratterizzata dai seguenti valori dei parametri della relazione altezza-durata:

$$h [\text{Tr } 20] = 18.12 t^{0.484}$$

$$h [\text{Tr } 50] = 20.78 t^{0.481} \text{ (valore interpolato)}$$

$$h [\text{Tr } 100] = 22.78 t^{0.479}$$

$$h [\text{Tr } 200] = 24.77 t^{0.478}$$

$$h [\text{Tr } 500] = 27.40 t^{0.477}$$

Per il tempo di ritorno di 200 anni, sono stati ricavati i valori della precipitazione per intervalli di 15 minuti (0.25 ore) e per la durata di 6 ore. Secondo lo schema sopra illustrato, risulta l'altezza totale di 48.1 mm corrispondenti, nell'ultimo quarto dell'evento, a 6.0 mm in 15 minuti.

CONSORZIO FORESTALE ALTA VALLE SUSA
*Analisi della pericolosità residua del Torrente Rho a Bardonecchia
(versione coordinata in accoglimento delle osservazioni informali)*

I caratteri morfometrici della Dora di Melezet sono sintetizzati nella tabella seguente con riferimento alla sezione immediatamente a monte della confluenza con il T. Rho a quota 1280:

Area	52 km ²
Pendenza media del bacino	0.508 m/m
Quota media	2055 m
Quota sezione di chiusura	1280 m
Lunghezza dell'asta	14.1 km

A seguito di quanto esposto sono stati ricavati i valori di portata al colmo riportati in Tabella 2-2 e gli idrogrammi rappresentati in Figura 2-3.

Tabella 2-2. Valori di portata al colmo per la Dora di Melezet in corrispondenza della sezione di chiusura posta a monte della confluenza con il T. Rho (durata di pioggia critica 4 h).

	Dora di Melezet (codice B10S)
	m ³ /s
Tr 20	22.1
Tr 50	39.1
Tr 200	65.6

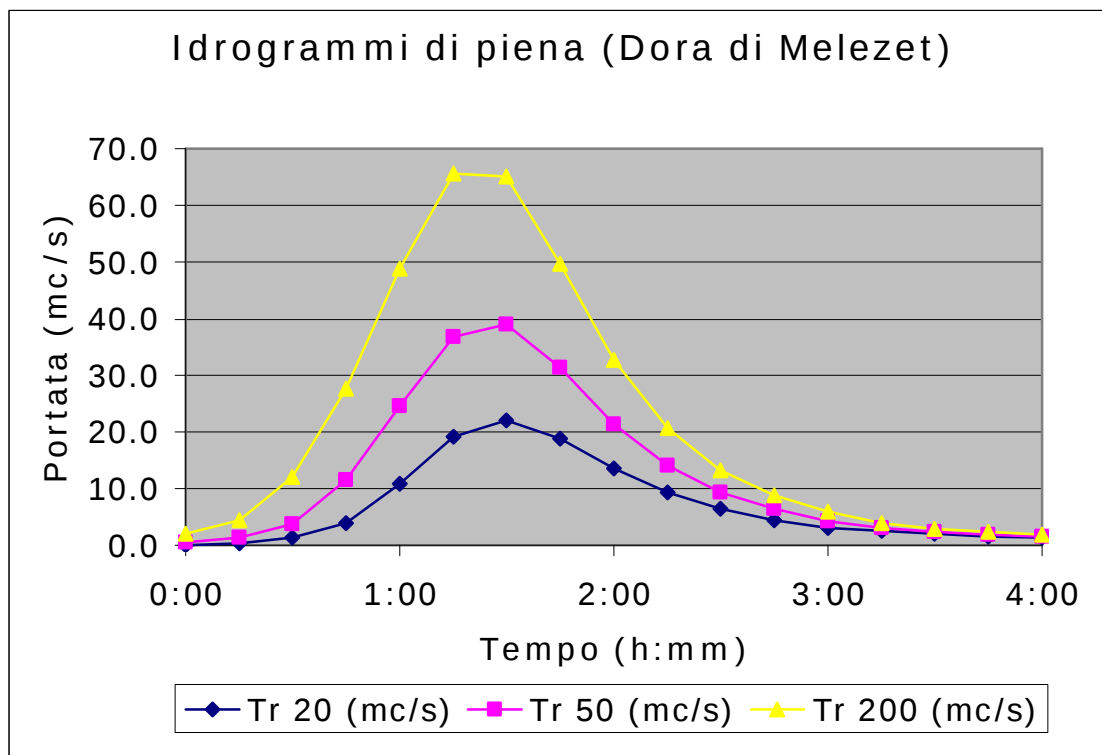


Figura 2-3. Idrogrammi per la Dora di Melezet in corrispondenza della sezione di chiusura posta a monte della confluenza con il T. Rho (durata di pioggia critica 4 h).

3 ANALISI DELLA FORMAZIONE E DELLA DINAMICA DELLE LAVE TORRENTIZIE

Numerose evidenti tracce di formazione di lave torrentizie sono riscontrabili nell'alto bacino del Torrente Rho, immediatamente a monte e lungo tutto il tratto oggetto di sistemazione a monte della confluenza del Rio Pissat.

Per colata detritica canalizzata in un alveo torrentizio, si intende una corrente dal forte contenuto energetico caratterizzata da una rilevante quantità di materiale solido, distribuito su tutta la profondità della corrente, in un fluido composto da acqua e piccole particelle solide. Esse, quindi, si distinguono dalle correnti con trasporto solido al fondo sia per la maggiore quantità di materiale coinvolta nel deflusso, sia per le differenti caratteristiche dinamiche (da Bianco et al, 1999). L'insorgere di una colata detritica può essere attribuito ai seguenti meccanismi (Takahashi, 1981):

- a. Una frana, se si verificano le condizioni, può evolvere in una colata;
- b. Uno sbarramento naturale che si sia provvisoriamente formato in alveo può collassare e dare origine ad una colata;
- c. Un accumulo di materiale, che venga interessato dal passaggio di una corrente a seguito di un evento meteorologico intenso, può diventare instabile e generare una colata.

La modellazione dell'evoluzione e dell'estensione finale del campo di inondazione nonché della sedimentazione dei materiali trasportati richiede la disponibilità di un idrogramma. Tale idrogramma può essere ottenuto dall'idrogramma della piena di riferimento attribuendovi i correlati valori della concentrazione in volume. Il volume dell'idrogramma misto solido-liquido dovrebbe essere confrontabile con i volumi prevedibili in base alle numerose formule empiriche la cui validità è limitata alla regione per la quale le dette formule sono state ricavate, di solito, per regressione dei valori osservati su variabili di facile derivazione (Jakob, 2005; pag. 429). I criteri impiegati per la determinazione dei volumi movimentabili, la determinazione della portata solido-liquida ed i parametri reologici assunti per la caratterizzazione della miscela, sono trattati nei paragrafi seguenti.

3.1 Caratteristiche fisiche e reologiche della miscela liquido-solido

Ai fini applicativi, la determinazione della portata della lava torrentizia a partire dalle tracce può essere determinata seguendo la procedura proposta da MEUNIER (1991).

3.1.1 CARATTERISTICHE FISICHE

La concentrazione in peso della lava (C_p) dipende dalla granulometria del materiale e varia fra 35% e 80% con valori medi, per la costituzione ordinaria della matrice, intorno a 0.75-0.85 con valore crescente al crescere delle dimensioni medie nel campo 0.25 ÷ 4 mm (dalla sabbia media alla ghiaia fine).

Tabella 3-1. Dati granulometrici per il bacino del T. Rho.

Diametro (mm)	Quota 1750 m	Quota 1690 m	Quota 1320 m
D ₃₀	47	17	19
D ₅₀	80	32	37
D ₉₀	302	157	104
D _{medio}	121	61	50

Ricavato come detto sopra il valore di C_p in base alla relazione: $C_v = \frac{\rho C_p}{\rho C_p + \rho_s (1 - C_p)}$

si ottiene il valore di C_v donde la stima della velocità e quindi, dal rilievo dell'area "bagnata", la portata della lava.

Tenendo conto che vale la relazione:

$$Q_{lava} = Q + Q_s$$

dalle citate relazioni, si ottiene, dall'espressione di C_v che:

$$Q_s = C_v Q_{lava} = C_v (Q_s + Q)$$

da cui si può ricavare, nota la sezione trasversale occupata dalla lava, la portata liquida responsabile della lava torrentizia.

Viceversa, nota la portata liquida (per esempio, la portata di progetto derivata da determinazioni idrologiche) si perviene alla portata solida mediante la trasformazione:

$$Q_s = C_v Q_{lava} = C_v \cdot Q_s + C_v \cdot Q$$

$$Q_s = \frac{C_v}{1 - C_v} Q$$

Si osservi anche che la portata della colata è calcolabile dalla portata liquida mediante la relazione:

$$Q_{lava} = \frac{1}{1 - C_v} Q$$

essendo il coefficiente $\frac{1}{1 - C_v}$ noto come "bulking factor".

Il suo valore è variabile al variare della portata liquida e si ritiene che arrivi al valore massimo di 0.45 in corrispondenza del colmo dell'idrogramma.

La presenza di sedimenti entro una corrente liquida porta infatti ad un volume della lava maggiore di quello della sola acqua. Seguendo l'impostazione fornita da MEUNIER (1991) con l'ipotesi che l'area bagnata $A=A(y)$ vari in funzione di $y^{1.6}$ si prendono in considerazione i seguenti fattori:

- la presenza di sedimenti determina un incremento di profondità della sezione occupata dalla lava di 2÷4 volte rispetto a quella della sezione occupata dalla sola acqua;

- la velocità media della lava risulta di due o tre volte inferiore a quella che avrebbe una corrente liquida avente la stessa profondità media;
- le pulsazioni che caratterizzano la lava torrentizia ne incrementano la profondità fino a due volte la profondità che la lava presenterebbe in condizioni di moto uniforme.

Pertanto, una lava torrentizia presenta una profondità da 1.8 a 7.7 volte maggiore della profondità di una corrente liquida.

Inoltre la portata di una lava risulta da 2.65 a 7 volte maggiore rispetto alla originaria portata liquida.

Secondo l'approccio proposto dai Giapponesi alla fine degli anni '70, la capacità posseduta da una portata di acqua chiara (Q) di mobilitare un ammasso di materiale solido in condizioni di completa saturazione è responsabile della formazione di colate detritiche di portata:

$$Q_{lava} = \frac{C^*}{C^* - C_v} Q$$

essendo

C* la concentrazione in volume del materiale a riposo

Cv la concentrazione di equilibrio della colata in moto uniforme.

Il valore della concentrazione in volume (complemento a uno della porosità) di materiali sciolti in riposo vale per la ghiaia 0.64 e per le sabbie da 0.65 a 0.74. Tali valori cambiano se il materiale è disperso in acqua in movimento e in funzione della curva granulometrica del materiale allorché elementi fini si possono inserire fra altri più grossi.

In sintonia con tale formulazione si colloca la relazione che tiene conto del grado di saturazione del materiale dell'alveo prima dell'innescio del fenomeno:

$$\frac{Q_T}{Q_o} = \frac{c_*}{c_* - [S_b + (1 - S_b) \cdot c_*] \cdot c}$$

in cui:

c* concentrazione del materiale in condizioni naturali (normalmente 0.65 corrispondente ad un indice dei vuoti del 35%)

c concentrazione in volume del materiale nella colata detritica

Sb grado di saturazione del materasso alluvionale in alveo.

Se si assume Sb = 1, la portata della colata diventa pari a 2-3 volte la portata liquida.

Secondo l'analisi di Bagnold, derivata dai suoi esperimenti all'Imperial College a metà degli anni '50, è opportuno introdurre il concetto di "concentrazione lineare" quale rapporto fra il diametro medio (D) dei materiali e la distanza che separa due elementi vicini (l):

$$\lambda = \frac{D}{l}$$

Il valore massimo di tale concentrazione si raggiunge con materiali in riposo ed è pari al valore della concentrazione in volume del materiale a riposo (C^*); quando i granuli sono separati dal movimento, la concentrazione in volume diventa:

$$C_v = \frac{C^*}{\left(\frac{l+D}{D}\right)^3} = \frac{C^*}{\left(1+\frac{1}{\lambda}\right)^3}$$

con λ compreso fra 14 e 22, donde C_v compreso fra 0.60 e 0.64.

Si è proposto che, al massimo, sia $C_v = 0.90 C^*$ e pertanto si ottiene che

$$Q_{lava} = \frac{1}{1-0.9} Q = 10 Q$$

da cui risulterebbe una potenziale portata della lava torrentizia pari anche a 10 volte la portata liquida.

In prima approssimazione, si può ritenere che valga la conservazione della massa nella forma

$$(Q+Q_s) \cdot \rho_{lava} = Q \cdot \rho + Q_s \cdot \rho_s$$

essendo

Q_s portata solida

Q portata liquida

ρ_s massa volumica del materiale solido (usualmente pari a 2650 kg/m³)

ρ massa volumica dell'acqua (usualmente pari a 1000 kg/m³)

ρ_{lava} massa volumica della lava torrentizia (pari a 2000 kg/m³)

La colata detritica è stata simulata attribuendo una concentrazione in volume crescente da 0.20 a 0.45 attribuiti tenendo conto della forza trattiva che, data la rilevante pendenza dell'álveo nel tronco medio-alto, risulta in grado di mobilitare il materiale presente per qualsiasi portata (dati granulometrici in Tabella 3-1). La concentrazione in volume è stata assegnata sulla scala temporale delle precipitazioni con durata critica pari a 4h impiegata anche per la determinazione della portata di progetto (vedi par. 2.1).

Tabella 3-2. Concentrazione in volume dei sedimenti (Cv) assegnata alla colata detritica originatasi con evento pluviometrico di durata pari a 4 h.

Tempo	CV	Tempo	CV
(h)	(%)	(h)	(%)
0	0	2.25	0.45
0.25	0.1	2.5	0.45
0.5	0.2	2.75	0.45
0.75	0.2	3	0.3
1	0.25	3.25	0.25
1.25	0.25	3.5	0.25
1.5	0.3	3.75	0.2
1.75	0.3	4	0.2
2	0.4	4.25	0

3.1.2 CARATTERISTICHE REOLOGICHE

Al fine di procedere con la simulazione della deposizione della colata in conoide occorre definire le caratteristiche fisiche della miscela liquido-solido costituente la colata detritica.

Poichè non sono disponibili misure dirette, al fine delle presenti verifiche, sono stati adottati valori presenti in letteratura. La variabilità dei casi esaminati in letteratura da vari Autori fa riferimento a condizioni ambientali e geografiche molto diverse tra loro ⁽⁴⁾. Questo fa sì che i valori reperibili non siano tarati sulla realtà dei bacini dell'Alta Valle di Susa, pertanto si ammette una certa incertezza nei risultati, verificabile solo a fronte di una taratura del modello.

Sulla base dei dati a disposizione e di quanto precedentemente esposto, le caratteristiche fisiche assegnate per la descrizione del comportamento della colata, sono:

- 1) Viscosità dinamica del materiale movimentato (μ): 100 Ns/m².
- 2) Resistenza al taglio iniziale (τ): 50 Ns/m².
- 3) Peso volumico dei sedimenti (*Sediment Specific Gravity*): 26500 N/m³.
- 4) Parametro di resistenza per il flusso laminare (K): 100.
- 5) Concentrazione in volume dei sedimenti (Cv): variabile tra 0.2 e 0.45.

⁽⁴⁾ Si fa presente che gli Autori più attivi in questo campo (es. Takahashi, Bathurst, O'Brien tra gli altri), effettuano i loro lavori in ambienti molto diversi dal nostro (es. Giappone e Nord America) che spesso presentano fattori di grande particolarità (es. pendici vulcaniche).

3.2 Stima del volume solido movimentabile

La previsione dei possibili volumi solidi che le colate detritiche possono depositare in conoide è di grande importanza per la scelta delle misure da adottare per la gestione del rischio. I modelli fisici o empirici di deflusso di colate detritiche hanno bisogno di conoscere le condizioni al contorno a monte (contributo dei versanti, ruscellamento) sotto forma di un idrogramma di ingresso solido – liquido (Bianco et al., 1999). La quantificazione dell'entità del materiale movimentabile in occasione di una colata detritica, che determina l'entità della frazione solida movimentata, è ottenibile mediante diversi approcci rappresentati da:

- 1) Applicazione di una serie di espressioni empiriche presenti in letteratura che forniscono il valore dei volumi di materiale in funzione di alcune grandezze e/o parametri indicatori dello stato fisico, geomorfologico e litologico del bacino. La distribuzione dei valori ottenuti appare sconcertante in quanto, il confronto dei risultati ottenuti con i diversi metodi a disposizione, che in alcuni casi sono quantificabili in un ordine di grandezza, porta ad incertezze non accettabili ai fini del presente studio.
- 2) Indagini geologiche mirate allo scopo. Si cita ad esempio lo schema proposto nello studio *"Indagine sulla pericolosità lungo la rete idrografica minore, con specifico riguardo a fenomeni di trasporto solido parossistico. Piene parossistiche ed eventi alluvionali storici in piccoli bacini dell'arco alpino piemontese"* (IRPI 2008).

Ai fini del presente studio è stato impiegato questo secondo approccio di cui, nel seguito, si riportano i dettagli.

L'ipotesi di partenza è che il lasso di tempo intercorrente tra l'accadimento di un fenomeno parossistico ed il successivo sia diretta espressione della magnitudo del fenomeno stesso. In molti casi è stato osservato che, laddove il tempo trascorso tra due eventi consecutivi è maggiore, maggiore è la possibilità per un singolo corso d'acqua di produrre una quantità assai consistente di materiale destabilizzato all'interno del suo bacino, che ha avuto più tempo per "ricaricarsi". Gli Autori ritengono che, per i corsi d'acqua di cui non si dispone di documentazione storica, è realistico considerare condizioni critiche di piena torrentizia con associato trasporto solido di massa più di una volta al secolo.

La relazione fornita da TROPEANO & TURCONI (1999) ha la forma

$$V = \frac{AE \cdot i_v \cdot h \cdot (n + 1) \cdot \exp(f)}{1000}$$

essendo:

AE (km²) l'area effettiva del bacino

i_v la pendenza media del bacino

R rapporto fra della copertura di materiale immediatamente mobilizzabile rispetto all'area del bacino

H (m)	lo spessore medio della copertura mobilizzabile
n	variabile da 1 a 10 esprime il potenziale di detrito disponibile per il rilascio in tempi più lunghi
f	fattore che rappresenta la frequenza degli eventi in un periodo di riferimento di 100 anni. Tale fattore implica la disponibilità di ricerche storiche.

Nel caso del T. Rho, l'analisi è stata dettagliatamente sviluppata da TROPEANO & TURCONI (1999; pag. 38) a fronte anche di una estesa indagine d'archivio a partire dall'evento del 1728. Si contano 21 fenomeni tra il 1728 ed il 1968, quindi in 240 anni ossia con una frequenza pari a 0.08. La citata fonte attribuisce al Torrente Rho la potenzialità di circa 82000 m³ di materiale sotto forma di colata detritica. La stima non fa riferimento alla probabilità di accadimento dell'evento.

3.3 Stima dell'idrogramma della miscela liquido-solido

Le colate detritiche sono fenomeni ben noti in ambiente alpino, soprattutto nelle Alpi occidentali, fin dalla fine del XVIII secolo e sono alla base dello sviluppo delle sistemazioni idraulico-forestali. Nonostante l'attenzione dedicata a questi fenomeni, la determinazione dell'idrogramma della miscela liquido-solido nel caso di formazione di lava torrentizia rimane un'operazione affetta da un certo grado di approssimazione.

A conclusione delle considerazioni sopra svolte, si sottolinea che la modellazione dell'evoluzione e dell'estensione finale del campo di inondazione, nonché della sedimentazione dei materiali trasportati, richiede la disponibilità di un idrogramma.

Per il presente studio, il calcolo dell'idrogramma della miscela solido-liquida è avvenuta secondo il seguente schema:

- 1) è stato determinato il volume movimentabile nel caso colata detritica sulla base di indagini geologiche e morfologiche calibrate sui luoghi secondo lo schema presentato nel par. 3.2. Il volume movimentabile è stato valutato in circa 82000 m³;
- 2) è stata assegnata una scala di variazione della concentrazione dei sedimenti (vedi Tabella 3-2) con valori crescenti da 0.20 a 0.45. La variazione della concentrazione è stata assegnata sulla scala temporale delle precipitazioni con durata critica pari a 4h impiegata anche per la determinazione della portata di progetto;
- 3) è stata determinata la portata liquida necessaria per l'asportazione dell'intero volume movimentabile, a partire dalla concentrazione in volume dei sedimenti. I valori sono stati confrontati con quelli ottenuti dall'indagine idrologica condotta con metodo afflussi-deflussi (vedi par. 2.1) da cui è emerso che, per movimentare l'intero materiale a disposizione, è necessario che si verifichi per lo meno un evento con circa 50 anni di tempo di ritorno;

- 4) Infine è stata calcolata la portata della colata mediante la relazione nota come *"bulking factor"* richiamata nel par. 3.1.1. La portata della colata detritica assunta per le presenti verifiche idrauliche è riportata in Tabella 3-3.

Tabella 3-3. Idrogramma della miscela solido-liquida risultante dalla combinazione tra il volume movimentabile e la portata liquida. I valori di portata, calcolati mediante la relazione nota come *"bulking factor"*, verranno impiegati come dato di ingresso per il codice di calcolo bidimensionale (Flo-2D™) con cui verrà simulato l'avanzamento della colata sul cono di deiezione.

Tempo	Portata liquida	Portata solida	Concentrazione in volume (Cv)	Portata della colata ('Bulked ')	Volume solido	Volume colata
(h)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(%)	(m ³ /s)	(m ³)	(m ³)
0	0.0	0.0	0	0.0	0	0
0.25	0.9	0.1	0.1	1.0	91	908
0.5	2.3	0.6	0.2	2.8	511	2553
0.75	4.1	1.0	0.2	5.1	919	4596
1	6.4	2.1	0.25	8.5	1906	7626
1.25	10.0	3.3	0.25	13.3	2996	11984
1.5	11.8	5.1	0.3	16.9	4552	15174
1.75	13.2	5.6	0.3	18.8	5077	16925
2	19.1	12.7	0.4	31.8	11439	28597
2.25	20.0	16.3	0.45	36.3	14707	32683
2.5	20.9	17.1	0.45	38.0	15376	34168
2.75	19.5	16.0	0.45	35.5	14373	31940
3	13.6	5.8	0.3	19.5	5253	17508
3.25	7.3	2.4	0.25	9.7	2179	8715
3.5	5.0	1.7	0.25	6.7	1498	5992
3.75	3.2	0.8	0.2	4.0	715	3575
4	1.8	0.5	0.2	2.3	409	2043
4.25	0.9	0.0	0	0.9	0	817
					82000	225803

Il procedimento è sembrato idoneo per una serie di motivi:

- I idrogramma ottenuto non dipende, in questo modo, solo dal tempo di ritorno delle precipitazioni che generano la portata liquida, ma soprattutto dall'entità del materiale accumulatosi nel tempo intercorrente tra l'accadimento di un fenomeno parossistico ed il successivo (è evidente che un bacino privo di sedimenti mobilizzabili non può produrre apporti in conoide);
- L'entità della precipitazione è solo uno dei fattori che figurano nella formazione di una colata. Le determinazioni idrologiche vengono quindi impiegate solo per stabilire il tempo di ritorno minimo per la movimentazione dell'intero materiale disponibile

(valutato come detto in circa 50 anni) e per stabilire forma e durata dell'idrogramma (pari a 4 h);

- c) le valutazioni sono effettuate alla scala locale in relazione alla morfologia ed al volume del singolo conoide al fine di ottenere valori realistici;
- d) la procedura adottata prevede di collocare il volume di riferimento a monte del cono di deiezione, valutando gli effetti di un fenomeno impulsivo in grado di movimentare l'intero materiale disponibile. Le portate ottenute risultano sicuramente cautelative in quanto si ipotizza che tutto il volume sia disponibile simultaneamente e che la colata abbia un andamento temporale impulsivo.

I dati esposti in Tabella 3-3 verranno impiegati come idrogramma di ingresso per la modellazione bidimensionale della colata detritica su conoide con la quale sarà individuata l'area interessata dalla deposizione dei materiali movimentati. La simulazione dell'avanzamento della colata, effettuata a partire da una geometria di dettaglio redatta su misura, è stata condotta con codice di calcolo bidimensionale commerciale (Flo-2D™), appositamente sviluppato per tali studi.

4 ANALISI DELLA PERICOLOSITA' RESIDUA MEDIANTE MODELLAZIONE DEL COMPORTAMENTO DELLE COLATE DETRITICHE

L'analisi consiste nella definizione delle aree potenzialmente interessate dalla deposizione dei materiali in conoide nel caso in cui si inneschi una colata detritica.

La portata in eccesso alla capacità di convogliamento determina un volume che si distribuisce sul cono di deiezione in funzione della topografia locale. La caratterizzazione della colata detritica (in termini di aree coinvolte, altezza di deposizione e velocità, forza d'impatto) è indagabile con codici di calcolo commerciali in presenza di topografia dettagliata.

La modellazione del comportamento delle colate detritiche e della deposizione dei volumi solidi, è stata effettuata mediante l'impiego del codice di calcolo FLO-2D® (dettagli in APPENDICE - B). Il modello è stato sviluppato sia per la simulazione di eventi di piena, che per specifiche applicazioni nell'ambito della modellazione delle colate detritiche (*mud flow* e *debris flow*).

Il codice di calcolo, di tipo bidimensionale, permette di simulare, in moto vario, la propagazione e la deposizione dell'idrogramma liquido-solido con uno schema concepito per simulare la propagazione di fluidi viscosi con concentrazione dei sedimenti variabile nel tempo. La progressione dell'idrogramma liquido-solido avviene su un sistema di elementi quadrati (griglia) a maglia fissa con la possibilità di considerare l'ingombro degli edifici presenti che influenzano il percorso della corrente e le vie preferenziali di incanalamento (es. strade). L'integrazione delle equazioni in moto vario è attuata conservando il volume, mentre il controllo numerico dell'equazione di quantità di moto può essere effettuato mediante *Full dynamic wave* o *Diffusive wave*.

Il territorio indagato è stato limitato al settore occidentale del conoide, dove sono localizzati gli edifici direttamente interessati dai fenomeni legati alle dinamiche che si possono sviluppare nel bacino del T. Rho.

Il modello è stato attivato sulla base di una topografia di dettaglio rappresentata da rilievo aerofotogrammetrico restituito con tolleranza ± 0.3 (dettagli in APPENDICE - C).

Al fine del presente studio sono stati presi in considerazione 3 scenari che verranno esaminati nei paragrafi successivi:

- lo scenario attuale;
- uno scenario di progetto in cui si ipotizza la realizzazione di interventi di mitigazione del rischio;
- uno scenario in cui, a seguito della realizzazione del solo intervento 1 (deviatore), si indagano gli effetti dell'eventuale sovralluvionamento dell'alveo, a valle del ponte di Via Tre Croci, per mancanza di manutenzione.

4.1 Scenario 1: condizione attuale

Come detto l'analisi consiste nella definizione delle aree potenzialmente interessate dalla deposizione dei materiali in conoide nel caso in cui si inneschi una colata detritica. La simulazione dello scenario attuale è attivata assumendo quanto segue:

- 1) la procedura adottata prevede di collocare l'intero volume di riferimento, pari a 82000 m³ (valutato secondo i criteri esposti nel par. 3.2), a monte del cono di deiezione valutando gli effetti di un fenomeno impulsivo in grado di movimentare simultaneamente l'intero materiale disponibile (si ricorda infatti che, tenendo conto della forza trattiva, considerando la granulometria del materiale a disposizione in alveo e la rilevante pendenza dell'alveo nel tronco medio-alto, il materiale presente può essere movimentato per qualsiasi portata);
- 2) l'idrogramma della miscela liquido – solida in grado di movimentare l'intero materiale a disposizione (valutato secondo i criteri esposti nel par. 3.3) è riportato in Tabella 3-3. Le determinazioni idrologiche effettuate mostrano che la movimentazione dell'intero materiale disponibile è possibile al verificarsi di un evento pluviometrico per lo meno cinquantennale con durata di pioggia critica pari a 4h (vedi par. 2.1);
- 3) ai fini cautelativi viene ipotizzato che la briglia posta immediatamente a monte dell'abitato risulti parzialmente occlusa e che pertanto la colata abbia la possibilità di invadere il piano campagna posto in sponda sinistra;
- 4) la simulazione dell'avanzamento della colata sul cono di deiezione, condotta in moto vario bidimensionale, viene effettuata a partire da una geometria di dettaglio redatta su misura. Il piano campagna è descritto mediante DEM costituito da celle con dimensione 10×10 m, mentre l'ingombro degli edifici che influenzano il percorso della corrente e le vie preferenziali di incanalamento (es. strade) sono stati inseriti in dettaglio;
- 5) al fine di valutare gli effetti che si possono produrre alla confluenza posta a valle, la simulazione viene attivata inserendo anche la portata liquida della Dora di Melezet (vedi par. 2.2).

I risultati, rappresentati in Elaborato H- 2, fanno riferimento al massimo valore calcolato di profondità (vedi Figura 4-1) e velocità della colata detritica sul piano campagna in tutte le aree coinvolte (involuppo della condizione peggiore: in fase di estrazione degli *output*, viene attivata l'opzione *'GRID Element Max Flow Depth'* e *'GRID Element Max Velocity'*).

Il conoide è asimmetrico e confinato, in destra, dal versante mentre in sinistra si fonde con il conoide del Torrente Frejus, tanto che parte delle acque fuoriuscite dal T. Rho potrebbero confluire nell'alveo T. Frejus. L'indagine evidenzia che il conoide è interessato secondo la direzione NW-SE.

CONSORZIO FORESTALE ALTA VALLE SUSA
*Analisi della pericolosità residua del Torrente Rho a Bardonecchia
(versione coordinata in accoglimento delle osservazioni informali)*

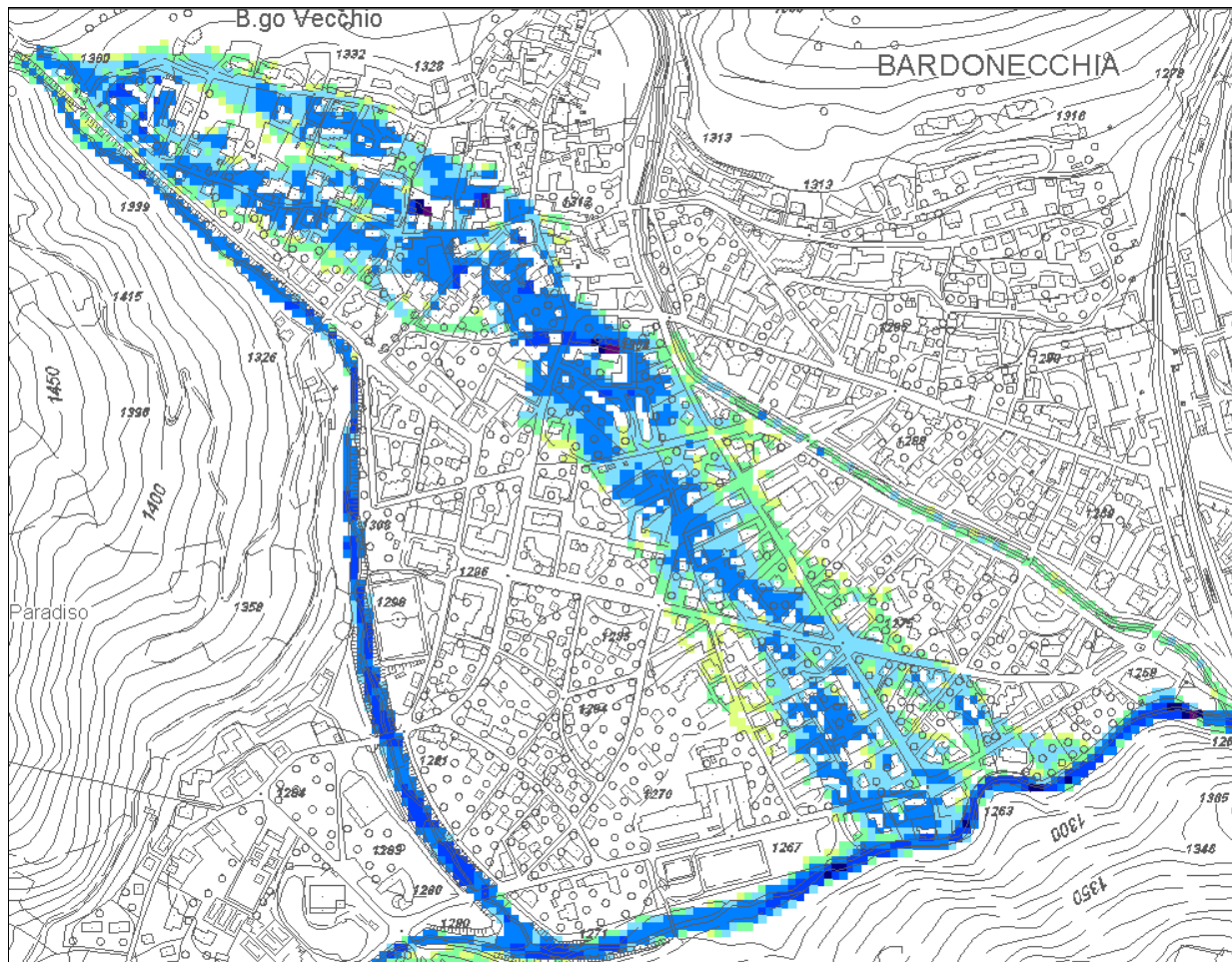


Figura 4-1. Riassunto dei risultati ottenuti dalla simulazione della condizione attuale (tratto da Elaborato H- 2).

4.2 Scenario 2: condizione di progetto

A seguito di quanto emerso dalla simulazione della condizione attuale è stata attivata una seconda condizione, definita di progetto, in cui si assume la realizzazione dei seguenti interventi (vedi Figura 4-2):

- a) Intervento 1: realizzazione di un dispositivo costituito da un muro deviatore in sponda sinistra all'apice del cono di deiezione in grado di mantenere la colata detritica in alveo.
- b) Intervento 2: realizzazione di un dispositivo di trattenuta di parte del volume atteso della colata detritica (circa 40000 m³) nella varice compresa fra l'apice del cono di deiezione e la prima serie di briglie al fine di ridurre in misura sensibile l'entità dei materiali trasportati e depositati alla confluenza. A tal fine la simulazione verrà attivata considerando l'idrogramma della miscela liquido – solida di seguito riportato:

CONSORZIO FORESTALE ALTA VALLE SUSA
*Analisi della pericolosità residua del Torrente Rho a Bardonecchia
(versione coordinata in accoglimento delle osservazioni informali)*

Tempo	Portata liquida	Portata solida trattenuta	Portata solida rilasciata	Concentrazione in volume (Cv)	Portata della colata ("Bulked")	Volume solido trattenuto	Volume solido rilasciato	Volume colata
(h)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(%)	(m ³ /s)	(m ³)	(m ³)	(m ³)
0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0	0	0
0.25	0.9	0.1	0.0	0.1	1.0	91	0	908
0.5	2.3	0.6	0.0	0.2	2.8	511	0	2553
0.75	4.1	1.0	0.0	0.2	5.1	919	0	4596
1	6.4	2.1	0.0	0.25	8.5	1906	0	7626
1.25	10.0	3.3	0.0	0.25	13.3	2996	0	11984
1.5	11.8	5.1	0.0	0.3	16.9	4552	0	15174
1.75	13.2	5.6	0.0	0.3	18.8	5077	0	16925
2	19.1	12.7	0.0	0.4	31.8	11439	0	28597
2.25	20.0	13.9	2.4	0.45	36.3	12508	2199	32683
2.5	20.9	0.0	17.1	0.45	38.0	0	15376	34168
2.75	19.5	0.0	16.0	0.45	35.5	0	14373	31940
3	13.6	0.0	5.8	0.3	19.5	0	5253	17508
3.25	7.2	0.0	2.4	0.25	9.7	0	2172	8688
3.5	4.8	0.0	1.6	0.25	6.4	0	1431	5724
3.75	2.9	0.0	0.7	0.2	3.7	0	657	3285
4	1.6	0.0	0.4	0.2	2.0	0	359	1794
4.25	0.8	0.0	0.2	0.2	1.0	0	181	906
Totale						40000	42000	225059

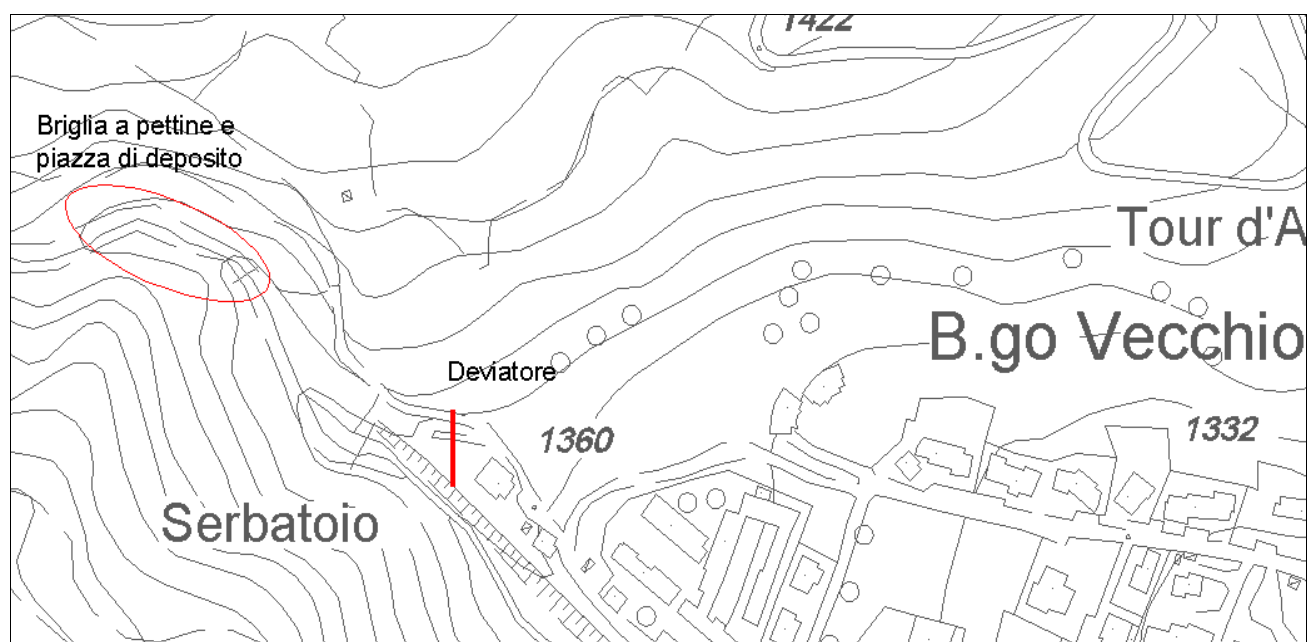


Figura 4-2. Posizione indicativa degli interventi ipotizzati.

CONSORZIO FORESTALE ALTA VALLE SUSA
*Analisi della pericolosità residua del Torrente Rho a Bardonecchia
(versione coordinata in accoglimento delle osservazioni informali)*

I risultati, rappresentati in Elaborato H- 3, fanno riferimento al massimo valore calcolato di profondità (vedi Figura 4-3) e velocità della colata detritica sul piano campagna in tutte le aree coinvolte (inviluppo della condizione peggiore).



Figura 4-3. Riassunto dei risultati ottenuti dalla simulazione della condizione di progetto (tratto da Elaborato H- 3)

4.3 Scenario 3: effetti dell'eventuale sovralluvionamento a valle del ponte di Via Tre Croci

A seguito del colloquio informale tenutosi in Regione in data 08/05/2014 con i funzionari competenti, è emersa l'opportunità di indagare gli effetti di un potenziale deposito in alveo a valle del ponte di Via Tre Croci.

Considerando che le criticità in conoide del bacino del T. Rho sono legate ad un eventuale occlusione delle sezioni ed al deposito di materiale in alveo, si indagano gli effetti dell'eventuale sovralluvionamento dell'alveo per mancanza di manutenzione.

Lo studio idraulico predisposto per la Variante di adeguamento al PAI del PRG, evidenzia quanto segue:

- presenza di ingenti quantità di materiali sciolti di dimensioni medio – fini, provenienti dalle aree in dissesto nella parte medio-alta del bacino, in grado di essere mobilizzati in alveo;
- tendenza al deposito nel tratto di alveo a valle del ponte di Via Tre Croci. Il fenomeno sembra essere favorito dal cambio di pendenza del fondo alveo (nel tratto a monte del ponte in parola la pendenza media dell'alveo è pari circa all'8%. mentre a valle il valore è pari a circa il 5%, si veda Allegato 4).

A seguito di quanto richiamato, al fine di osservare un criterio cautelativo, è stata attivata una simulazione con le seguenti ipotesi:

- 1) vengono assunte le ipotesi esposte al par. 4.1 per l'attivazione della simulazione della condizione attuale (collocazione dell'intero volume di riferimento pari a 82000 m³ a monte del cono di deiezione e idrogramma della miscela liquido – solida esposto in Tabella 3-3);
- 2) gli effetti del fenomeno impulsivo in grado di movimentare simultaneamente l'intero materiale disponibile, vengono valutati considerando la sola realizzazione dell'Intervento 1 (dispositivo costituito da un muro deviatore in sponda sinistra all'apice del cono di deiezione in grado di mantenere la colata detritica in alveo) ma in assenza dell'Intervento 2 (dispositivo di trattenuta di circa 40000 m³ rappresentante una parte del volume atteso della colata detritica);
- 3) il deposito in alveo (a rappresentare il sovralluvionamento dell'alveo) viene considerato elevando la quota delle celle costituenti il DTM nel tratto di alveo compreso tra il ponte di via Tre Croci e le 2 briglie poste a valle (per un tratto complessivo pari a circa 230 m);
- 4) per quantificare l'entità del deposito di materiali in alveo che porterebbe la colata detritica ad interessare il piano campagna, sono state attivate una serie di simulazioni. Il DTM in corrispondenza dell'alveo è stato progressivamente alzato sino ad ottenere la fuoriuscita della colata (vedi Figura 4-4);

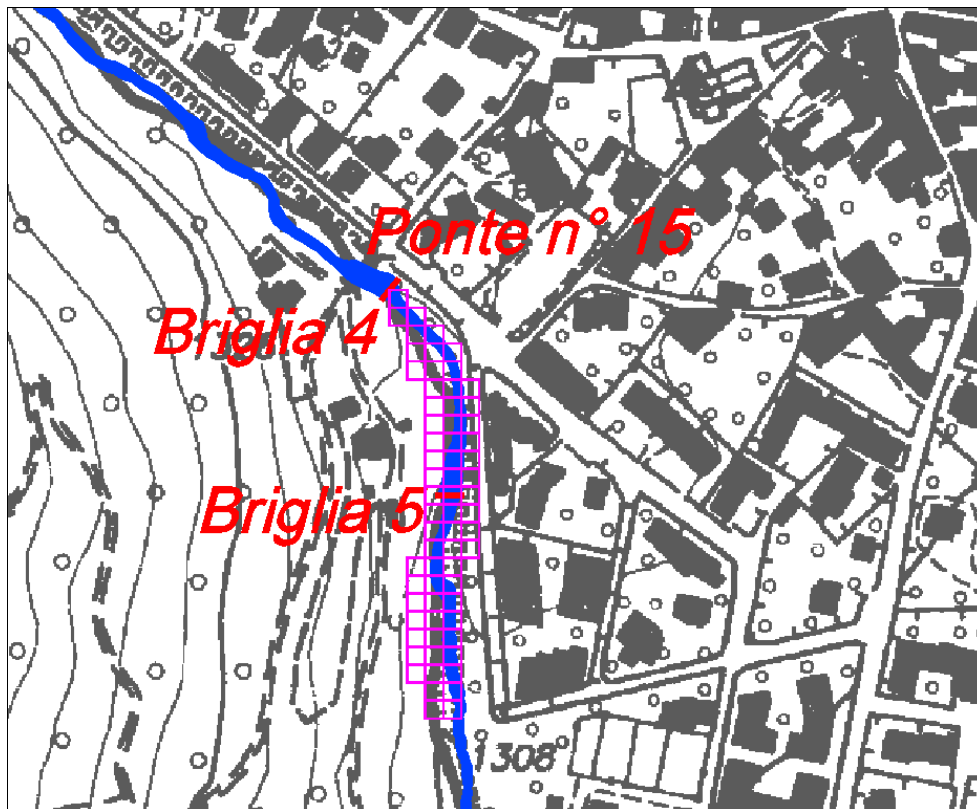


Figura 4-4. Porzione di alveo in cui la quota delle celle costituenti il DTM è stata elevata al fine di simulare il sovralluvionamento dovuto a depositi di materiale. In magenta le celle (10x10 m) che sono state sopraelevate. La numerazione fa riferimento ai contenuti dell'Allegato 4 (la numerazione dei ponti corrisponde ai contenuti dello studio idraulico a supporto della Variante di adeguamento al PAI).

Si osserva quanto segue:

- l'entità del deposito di materiali in alveo che porterebbe la colata detritica ad interessare il piano campagna nel tronco studiato, deve essere pari ad almeno 4 m;
- l'ipotesi di sopraelevare l'alveo del tratto considerato con un deposito di spessore pari a circa 4 m, sarebbe ottenuta con un volume pari a circa 18000 m³ di materiale;
- anche nell'ipotesi di scarsa manutenzione dell'alveo, si ritiene che i valori individuati per l'erosione della colata sarebbero difficilmente raggiungibili;
- la realizzazione dell'intervento 2 (dispositivo di trattenuta di circa 40000 m³) andrebbe a ridurre ulteriormente tale possibilità.

I risultati, rappresentati in Allegato 1, fanno riferimento al massimo valore calcolato di profondità (vedi Figura 4-3) in tutte le aree coinvolte (involuppo della condizione peggiore) nel caso di sopraelevazione del fondo alveo di almeno 4 m.

CONSORZIO FORESTALE ALTA VALLE SUSA
*Analisi della pericolosità residua del Torrente Rho a Bardonecchia
(versione coordinata in accoglimento delle osservazioni informali)*



Figura 4-5. Riassunto dei risultati ottenuti dalla simulazione della condizione con sovralluvionamento dell'alveo per mancanza di manutenzione (tratto da Allegato 1).

4.4 Verifica del transito della colata detritica in corrispondenza dei ponti

Il tronco di T. Rho oggetto di indagine, è interessato da 3 ponti (in riferimento alle “*Schede monografiche attraversamenti rilevati*” allegate allo studio idraulico predisposto per la Variante di adeguamento al PAI del PRG si tratta dei ponti n° 15, 16 e 17) rappresentati in Figura 4-6. Poichè gli studi condotti per la Variante di adeguamento al PAI segnalano per i ponti n° 16 e 17 una tendenza al deposito, sono stati valutati gli effetti della colata detritica in corrispondenza dei ponti presenti nel tronco oggetto di indagine.

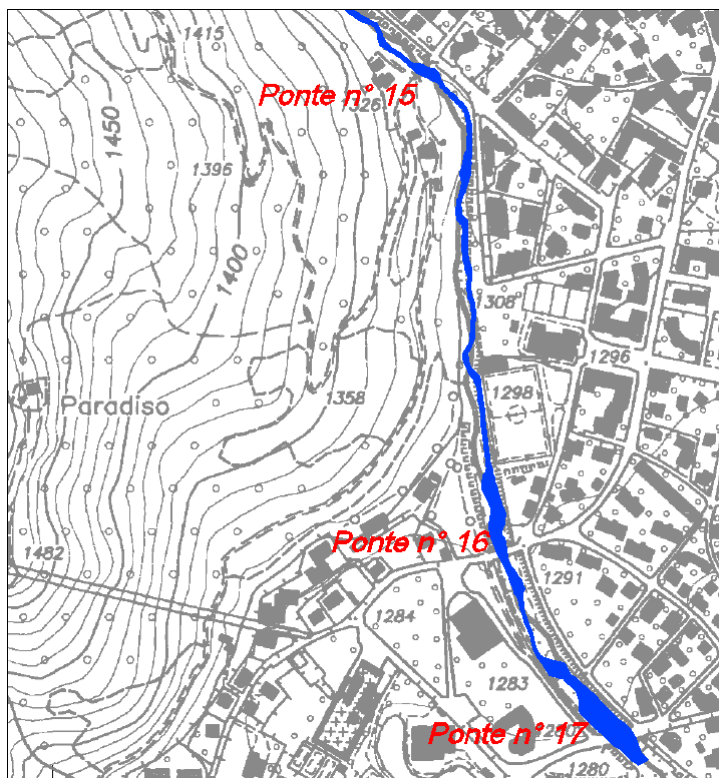


Figura 4-6. Corografia dei ponti presenti nel tronco oggetto di studio.

Seguendo un criterio cautelativo, nel seguito si espongono i risultati della verifica idraulica effettuata nella condizione più severa per ponti, cioè considerando la sola realizzazione dell' Intervento 1 (dispositivo costituito da un muro deviatore in sponda sinistra all'apice del cono di deiezione in grado di mantenere la colata detritica in alveo) ma in assenza dell' Intervento 2.

Tabella 4-1. Confronto in corrispondenza dei ponti tra i livelli raggiunti dalla colata detritica, calcolata come sopra esposto, ed i livelli idrometrici riportati nello studio idraulico a supporto della Variante di adeguamento al PAI del PRG.

Ponte (ID)	Livello intradosso (m)	Livello idrometrico PRG (*) (m)	Livello colata detritica (da modello Flo2D) (m)	Franco rispetto alla colata (m)
15	5	1.45	2.1	2.9
16	4	1.2	2.8	1.2
17	3.7	0.89	2.12	1.58
(*) Il dato è riferito al livello idrometrico della portata liquida con tr 200 anni incrementato di 1/3 per tener conto della quota del trasporto solido				

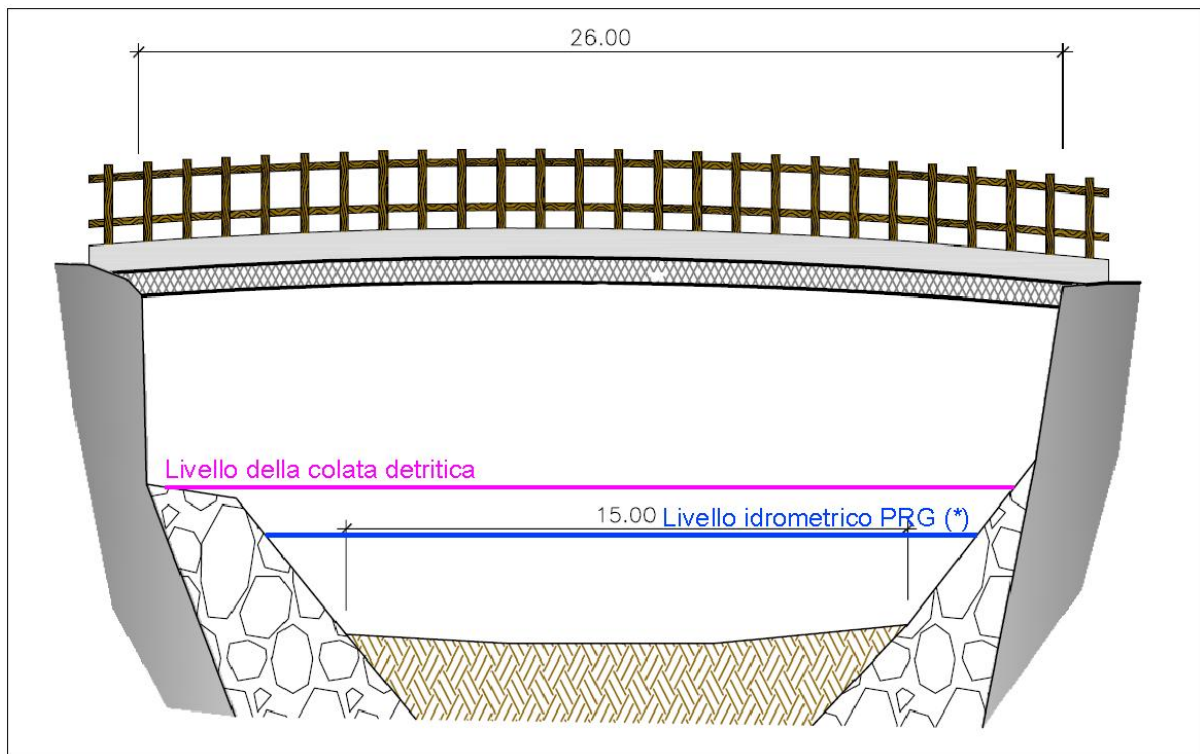


Figura 4-7. Confronto tra i livelli raggiunti dalla colata detritica in corrispondenza del ponte n° 15 (Ponte di Via Tre Croci) ed il livello idrometrico riportato nello studio idraulico a supporto della Variante di adeguamento al PAI del PRG [(*) Il dato è riferito al livello idrometrico della portata liquida con tr 200 anni incrementato di 1/3 per tener conto della quota del trasporto solido (Figura tratta e modificata da Elaborato ID2 'Schede monografiche attraversamenti rilevati')].

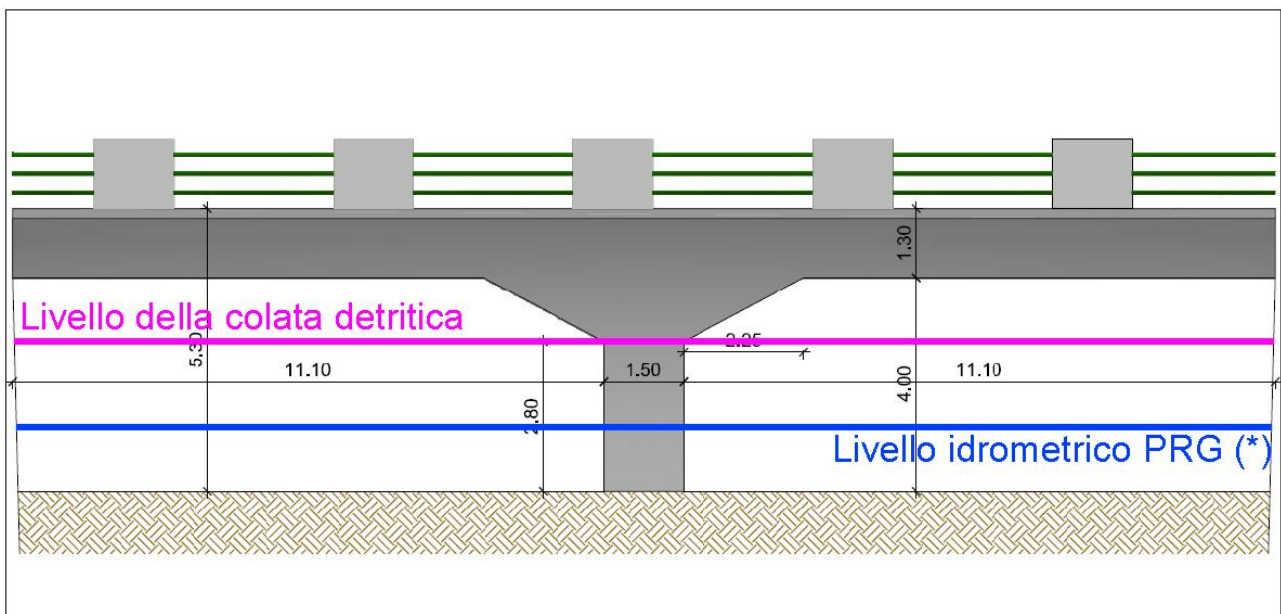


Figura 4-8. Confronto tra i livelli raggiunti dalla colata detritica in corrispondenza del ponte n° 16 (Ponte delle Cioie) ed il livello idrometrico riportato nello studio idraulico a supporto della Variante di adeguamento al PAI del PRG (Figura tratta e modificata da Elaborato ID2 'Schede monografiche attraversamenti rilevati')].

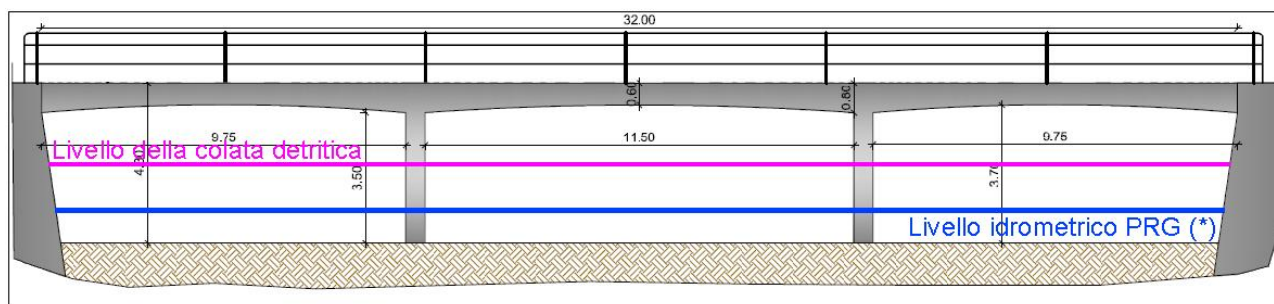


Figura 4-9. Confronto tra i livelli raggiunti dalla colata detritica in corrispondenza del ponte n° 17 (Ponte di Viale della Vittoria) ed il livello idrometrico riportato nello studio idraulico a supporto della Variante di adeguamento al PAI del PRG (Figura tratta e modificata da Elaborato ID2 'Schede monografiche attraversamenti rilevati').

A seguito di quanto esposto si osserva quanto segue:

- 1) la verifica dei ponti ha confermato la tendenza al deposito segnalata per i ponti n° 16 e 17, in cui l'incremento di livello rispetto alla portata liquida è pari rispettivamente a 1.6 e 1.23 m;
- 2) in particolare il ponte n° 16 (ponte delle Cioie) avrebbe un franco di stretta misura (pari a 1.2 m);
- 3) la realizzazione dell'Intervento 2 (dispositivo di trattenuta di circa 40000 m³ all'apice del cono di deiezione) potrebbe favorire il transito della colata in corrispondenza dei ponti.

4.4.1 SCENARIO 4: EFFETTI DELL'EVENTUALE OCCLUSIONE DEL PONTE N° 16 (PONTE DELLE CIOIE)

In merito alla parte terminale del T. Rho, lo studio idraulico predisposto per la Variante di adeguamento al PAI del PRG evidenzia quanto segue:

- tendenza al deposito in corrispondenza del ponte delle Cioie (ponte n°16 Figura 4-6);
- presenza di ingenti quantità di materiali sciolti di dimensioni medio – fini, provenienti dalle aree in dissesto nella parte medio-alta del bacino, in grado di essere mobilizzati in alveo;

A seguito del colloquio informale tenutosi in regione in data 20/11/2014 è emersa l'opportunità, al fine di osservare un criterio cautelativo, di indagare gli effetti della colata detritica nel caso di occlusione del ponte. La simulazione è attivata assumendo le seguenti ipotesi:

- 1) in merito alla definizione del volume della colata in transito si considera quanto esposto al par. 4.1 per l'attivazione della simulazione della condizione attuale (collocazione dell'intero volume di riferimento pari a 82000 m³ a monte del cono di deiezione e idrogramma della miscela liquido – solida esposto in Tabella 3-3);

- 2) in merito agli effetti del fenomeno impulsivo in grado di movimentare simultaneamente l'intero materiale disponibile, si considera la sola realizzazione dell'Intervento 1 (dispositivo costituito da un muro deviatore in sponda sinistra all'apice del cono di deiezione in grado di mantenere la colata detritica in alveo) in assenza dell'Intervento 2 (dispositivo di trattenuta di circa 40000 m³ rappresentante una parte del volume atteso della colata detritica);
- 3) in merito al ponte si ipotizza l'occlusione totale della luce (il transito avverrà al di sopra dell'estradosso del ponte).

I risultati, rappresentati in Allegato 2, fanno riferimento al massimo valore calcolato di profondità (vedi Figura 4-10) in tutte le aree coinvolte (involuppo della condizione peggiore) nel caso di occlusione totale della luce del ponte n° 16.

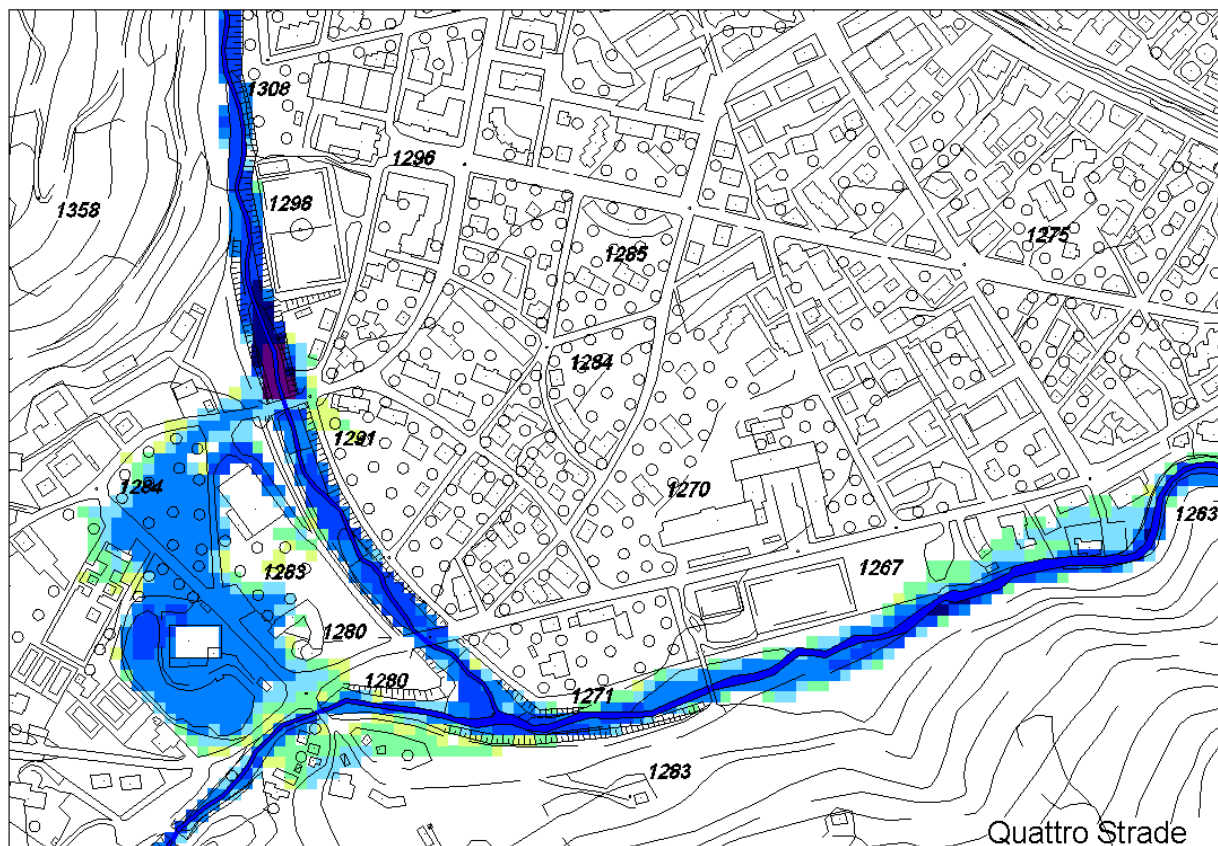


Figura 4-10. Riassunto dei risultati ottenuti dalla simulazione dell'occlusione totale della luce del ponte n° 16 –ponte delle Cioie (tratto da Allegato 2).

4.4.2 SCENARIO 5: EFFETTI DELL'EVENTUALE OCCLUSIONE DEL PONTE N° 17 (PONTE DI VIALE DELLA VITTORIA)

In merito alla parte terminale del T. Rho, lo studio idraulico predisposto per la Variante di adeguamento al PAI del PRG evidenzia quanto segue:

- tendenza al deposito in corrispondenza del ponte di Viale della Vittoria (ponte n°17 Figura 4-6);
- presenza di ingenti quantità di materiali sciolti di dimensioni medio – fini, provenienti dalle aree in dissesto nella parte medio-alta del bacino, in grado di essere mobilizzati in alveo;

A seguito del colloquio informale tenutosi in regione in data 20/11/2014 è emersa l'opportunità, al fine di osservare un criterio cautelativo, di indagare gli effetti della colata detritica nel caso di occlusione del ponte. La simulazione è attivata assumendo le seguenti ipotesi:

- 1) in merito alla definizione del volume della colata in transito si considera quanto esposto al par. 4.1 per l'attivazione della simulazione della condizione attuale (collocazione dell'intero volume di riferimento pari a 82000 m³ a monte del cono di deiezione e idrogramma della miscela liquido – solida esposto in Tabella 3-3);
- 2) in merito agli effetti del fenomeno impulsivo in grado di movimentare simultaneamente l'intero materiale disponibile, si considera la sola realizzazione dell'Intervento 1 (dispositivo costituito da un muro deviatore in sponda sinistra all'apice del cono di deiezione in grado di mantenere la colata detritica in alveo) in assenza dell'Intervento 2 (dispositivo di trattenuta di circa 40000 m³ rappresentante una parte del volume atteso della colata detritica);
- 3) in merito al ponte si ipotizza l'occlusione totale della luce (il transito avverrà al di sopra dell'estradosso del ponte).

I risultati, rappresentati in Allegato 3, fanno riferimento al massimo valore calcolato di profondità (vedi Figura 4-11) in tutte le aree coinvolte (involuppo della condizione peggiore) nel caso di occlusione totale della luce del ponte n° 17.

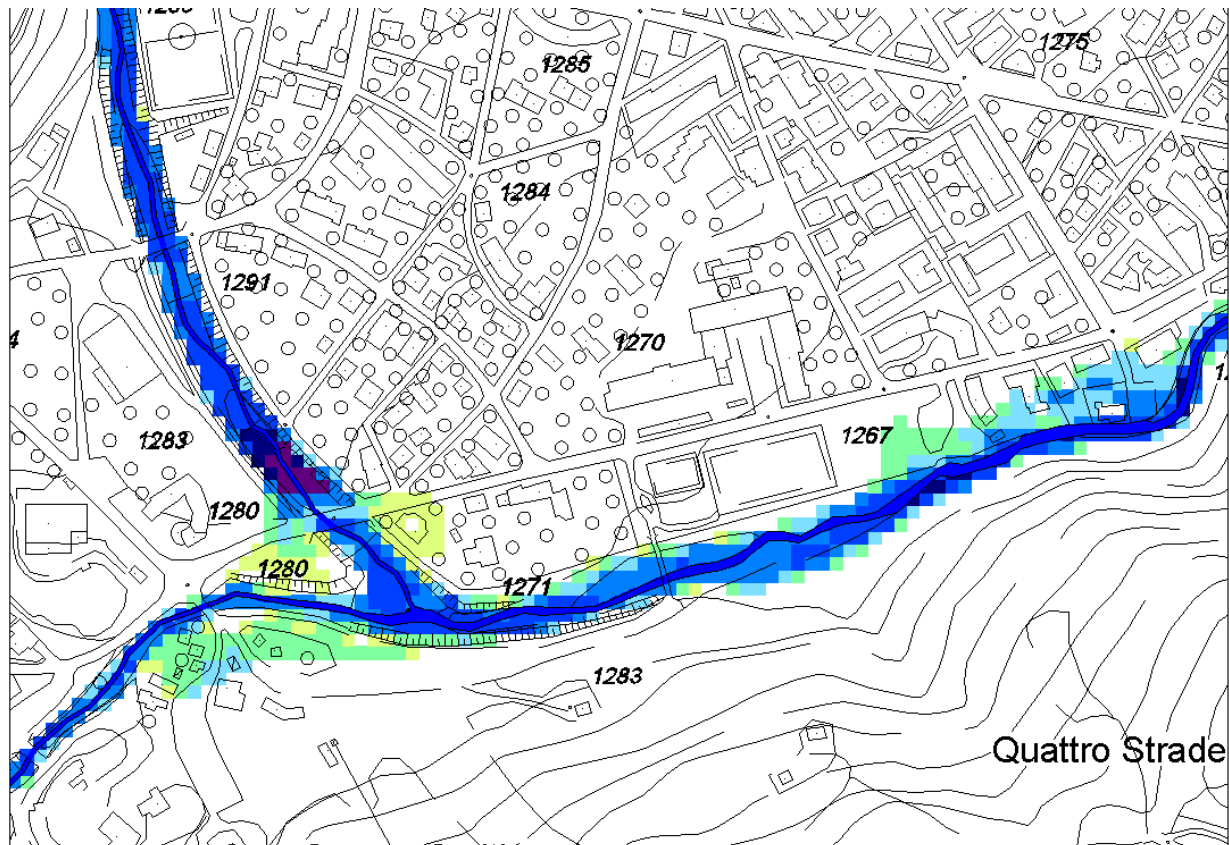


Figura 4-11. Riassunto dei risultati ottenuti dalla simulazione dell 'occlusione totale della luce del ponte n° 17 – ponte di Viale della Vittoria (tratto da Allegato 3).

5 EFFETTI DEGLI INTERVENTI PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO SUI VINCOLI URBANISTICI

Nell'ambito degli studi geologici e idraulici condotti per la classificazione del territorio comunale di Bardonecchia ai sensi della circolare n° 7 LAP e s.m.i. della Regione Piemonte, ai fini delle successive elaborazioni urbanistiche, sono state individuate, all'interno della classe III, altre 4 sottoclassi in cui la nuova edificazione è condizionata e subordinata ad interventi di sistemazione e/o all'installazione di un sistema di monitoraggio, secondo i contenuti del cronoprogramma.

5.1 Le previsioni del Piano Regolatore

Lo studio idraulico predisposto per la Variante di adeguamento al PAI del PRG, ai fini della delimitazione delle aree e dell'indicazione del relativo grado di utilizzazione urbanistica nell'area del T. Rho a seguito della perimetrazione di un'area RME (riportata in Figura 5-1), evidenzia quanto segue (COMUNE DI BARDONECCHIA, ID111 pag. 6):

- I) Un settore di territorio ove il rischio permane immutato, non potendosi escludere fenomeni parossistici indipendenti dalle opere effettuate. Tale settore risulterebbe adiacente all'asta del T. Rho lungo tutto il tronco.

CONSORZIO FORESTALE ALTA VALLE SUSA
*Analisi della pericolosità residua del Torrente Rho a Bardonecchia
(versione coordinata in accoglimento delle osservazioni informali)*

- II) Un settore caratterizzato da una ridotta pericolosità a seguito delle opere eseguite ove si prevede la liberalizzazione delle ristrutturazioni con modesto incremento del carico antropico, pur rimanendo escluse le nuove edificazioni salvo completamenti dell'esistente a parità di superficie occupata e di volume (Classe IIIb3).
- III) All'interno dei settori precedenti si può proporre di ricavare una porzione limitata al piede della scarpata che dall'apice del T. Rho va in direzione del T. Frejus, ove si possono ammettere anche nuove edificazioni tenuto conto del limitato numero di aree ancora disponibili (Classe IIIb2). Tale risultato è ottenibile solo previa realizzazione di interventi di miglioramento delle condizioni di convogliamento. La citata porzione di area sarà caratterizzata da un modesto grado di pericolo residuo. Il mantenimento delle condizioni di rischio compatibili con la normativa proposta deve essere assicurato nel tempo mediante il monitoraggio dell'intero bacino secondo le schede allegate al cronoprogramma principale.

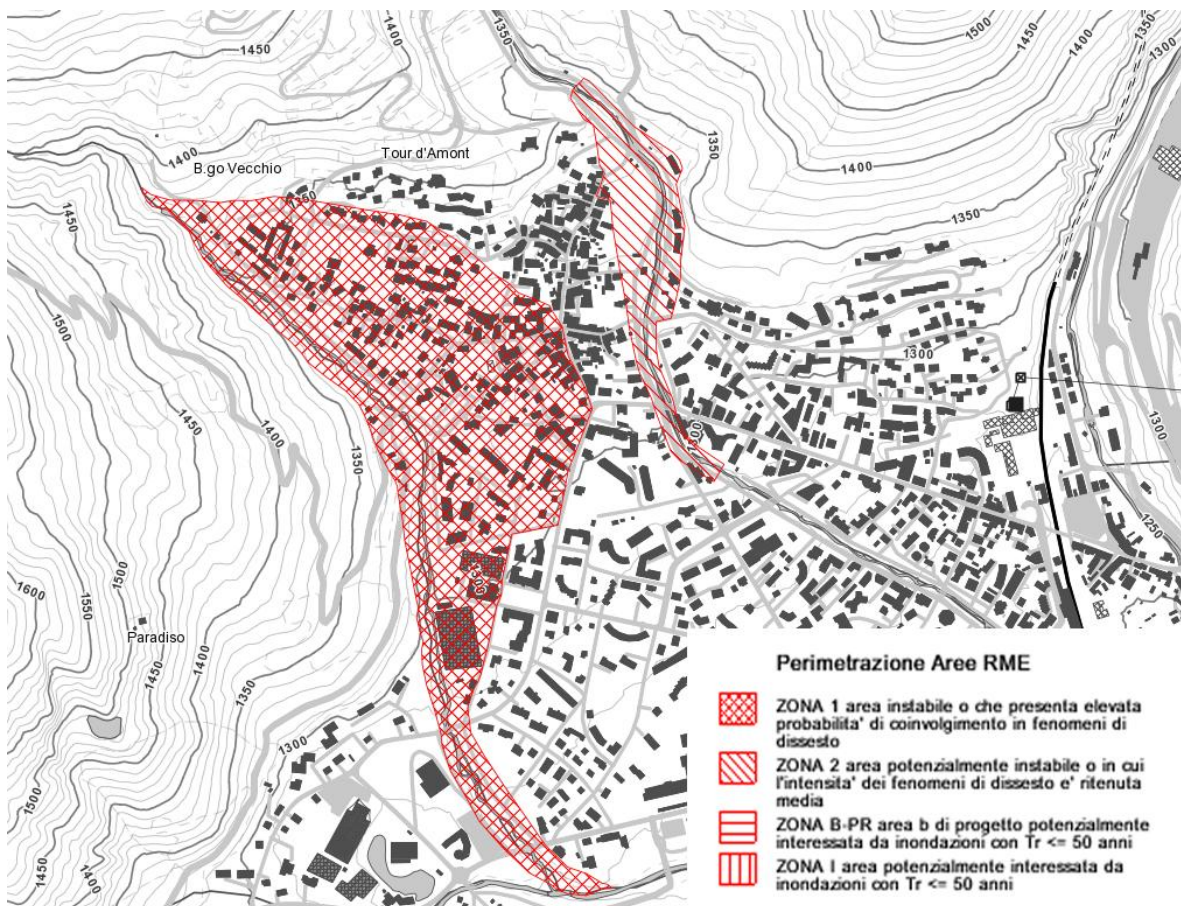


Figura 5-1. Area RME perimetrata sul T. Rho.

Gli interventi previsti dal cronoprogramma per l'area di interesse sono riportati nella scheda n° 24 riportata nel seguito.

SCHEDA N° 24

AREA RME T. RHO

Sul Torrente Rho sono stati eseguiti interventi finalizzati alla riduzione del rischio nelle aree RME ormai ultimati e collaudati. Gli interventi realizzati hanno consentito di definire all'interno dell'area RME 5 subarea a pericolosità differenti a, b, c, d, e. Tali interventi a seguito dell'evento del 28,29,30 maggio 2008 sono stati irrimediabilmente danneggiati per cui sono da ritenersi insufficienti. La classificazione delle aree sarà mantenuta con le seguenti considerazioni:

L'area "a" è stata individuata a cavallo del Torrente è un'area non edificata e tale dovrà rimanere.

L'area "b" è un'area in sponda sinistra localizzata all'esterno di una curva del Torrente in concomitanza di un cambio di pendenza del fondo alveo. E' un'area in cui le opere da ripristinare ridurranno il rischio residuo a rischio compatibile proprio della classe 3b4.

L'area "c" rappresenta una porzione dell'area 3b3 più distante dall'apice della conoide. Dopo la realizzazione degli interventi da eseguirsi sarà possibile attuare interventi che diano luogo a modesti incrementi del carico antropico.

Nell'area "d" a causa del residuo pericolo di fuoriuscita di colate in apice alla conoide, a seguito di depositi in alveo l'attività edilizia è ancora temporaneamente sospesa fino alla realizzazione di nuove opere di contenimento da realizzarsi in apice conoide. Successivamente a tali opere ed al ripristino di quelle danneggiate si potranno eseguire gli interventi propri della classe IIIb3.

L'area "e" è l'area che dalle opere di contenimento da eseguirsi a monte trarrà maggior beneficio e quindi successivamente a tali opere si potranno eseguire gli interventi propri della classe IIIb2.

E' necessario attivare e mantenere il sistema di monitoraggio delle opere esistenti e residue a monte della conoide nonché proseguire il monitoraggio in corso dei versanti della Grange la Rho. Il monitoraggio è necessario anche in considerazione del fatto che le attuali condizioni con opere danneggiate in alveo costituisce una condizione particolarmente esposta ai rischi che le opere intendevano mitigare.

L'evento in oggetto (maggio 2008) ed i conseguenti danni sul T. Rho, ha messo a disposizione del corso d'acqua una notevole quantità di materiale erodibile aumentando la probabilità di innesco della colata detritica. Questo stato di fatto ha pertanto modificato il quadro delle opere esistenti a contenimento del dissesto con conseguente incremento del rischio. Ciò comporta delle conseguenze sui vincoli espressi dalle schede di cronoprogramma interessate (scheda 24). In particolare lo svincolo parziale delle aree "24e", "24b", "24c", previsto inizialmente a seguito della realizzazione delle opere di riduzione del rischio, è da ritenersi sospeso sino al ripristino delle opere stesse in conseguenza della loro parziale distruzione e danneggiamento (COMUNE DI BARDONECCHIA, GEID2 par. 2).

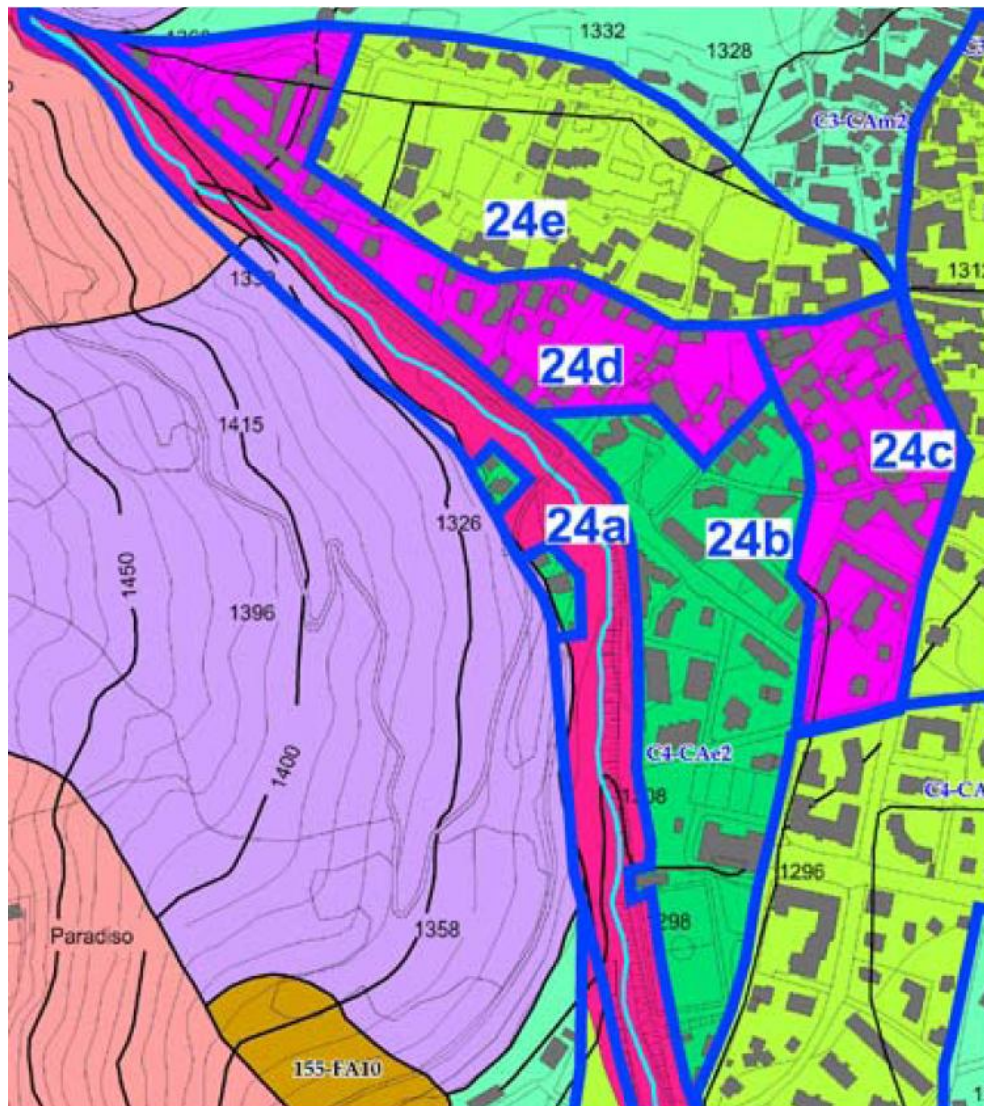


Figura 5-2. Planimetria allegata alla scheda n° 24 del cronoprogramma.

5.2 Risultati attesi

A seguito degli approfondimenti predisposti, al fine di confrontare i risultati attesi dalla realizzazione delle opere proposte rispetto alle previsioni urbanistiche ed ai contenuti del cronoprogramma, si osserva quanto segue:

- 1) la sovrapposizione dell'area interessata dal transito della colata detritica nella condizione attuale (scenario 1 in assenza di interventi) rispetto ai contenuti della scheda n° 24 del cronoprogramma, è proposta in Figura 5-3;
- 2) la sovrapposizione dell'area interessata dal transito della colata detritica nella condizione di progetto (scenario 2 a seguito della realizzazione del deviatore e della vasca di deposito) rispetto ai contenuti della scheda n° 24 del cronoprogramma, è proposta in Figura 5-4;

CONSORZIO FORESTALE ALTA VALLE SUSA
*Analisi della pericolosità residua del Torrente Rho a Bardonecchia
(versione coordinata in accoglimento delle osservazioni informali)*

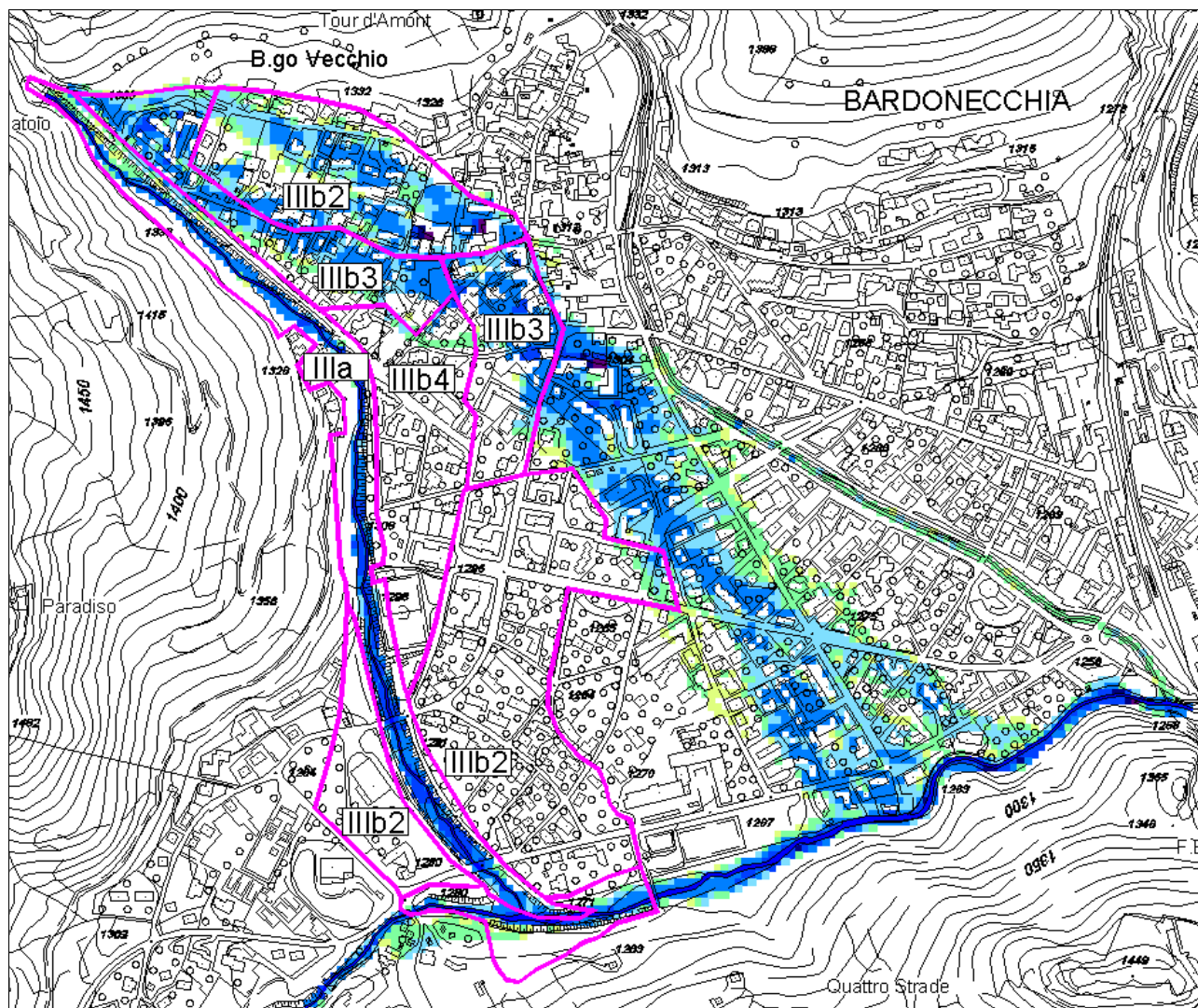


Figura 5-3. Sovrapposizione dell'area interessata dal transito della colata detritica nella condizione attuale (scenario 1 in assenza di interventi), rispetto ai contenuti della scheda n° 24 del cronoprogramma.

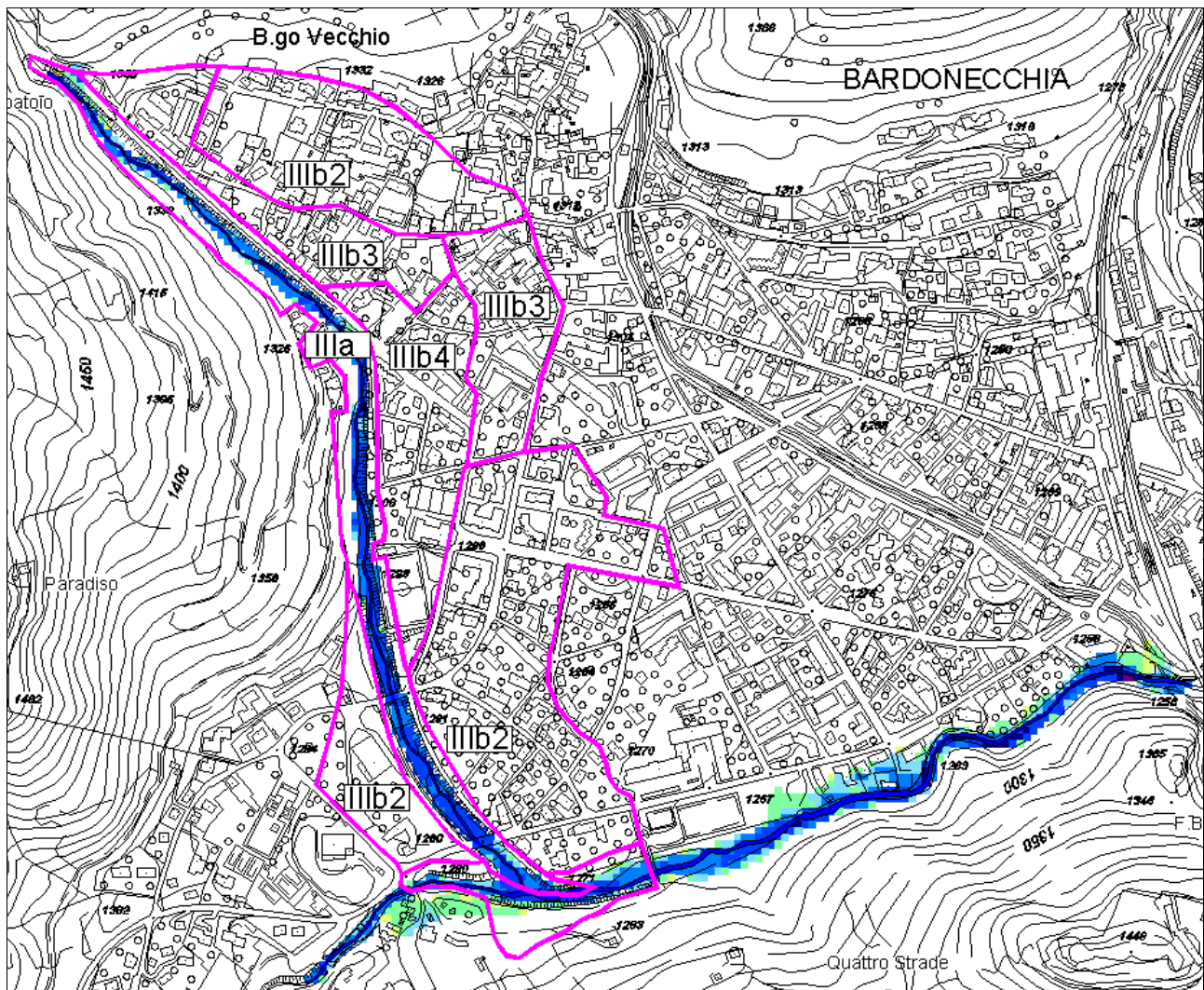


Figura 5-4. Sovrapposizione dell'area interessata dal transito della colata detritica nella condizione di progetto (scenario 2 a seguito della realizzazione del deviatore e della vasca di deposito), rispetto ai contenuti della scheda n° 24 del cronoprogramma.

6 CONCLUSIONI

La modellazione allestita permette di definire due linee di intervento per la riduzione della pericolosità nell'ambito delle previsioni del PRGC:

- 1) la realizzazione di un dispositivo costituito da un muro deviatore in sponda sinistra all'apice del cono di deiezione (Intervento 1) permette, secondo le previsioni del modello adottato, di mantenere la corrente in alveo e pertanto di attuare la previsione della classificazione in classe III-b2 dell'area disposta lungo la mediana del concentrico (area "e" della scheda 24 del cronoprogramma);
- 2) la realizzazione di un dispositivo di trattenuta di parte del volume atteso della colata detritica nella vasta varice compresa fra l'apice del cono di deiezione e la prima serie di briglie (Intervento 2) permetterebbe di ridurre in misura sensibile l'entità dei materiali trasportati e depositati alla confluenza. Si osserva in oltre che la realizzazione

dell'intervento in parola potrebbe favorire il transito della colata in corrispondenza dei ponti (in particolare al ponte delle Cioie che, rispetto alla colata, avrebbe un franco ridotto a 1.2 m). L'intervento, se adeguatamente mantenuto, è in grado di ridurre la possibilità di deposito di materiale in alveo per semplice sottrazione di materiale trasportabile (vedi oltre).

I due interventi possono essere previsti in tempi diversi e successivi, dando la precedenza al muro deviatore (intervento 1) che, da solo, mostra di controllare in misura efficace la pericolosità nel concentrico.

L'efficacia degli interventi è condizionata al grado di manutenzione dedicata al mantenimento dell'efficienza dell'asta del corso d'acqua.

Si osserva infine che la valutazione degli effetti dell'eventuale sovralluvionamento dell'alveo per mancanza di manutenzione, nel tratto di alveo a valle del ponte di Via Tre Croci, ha evidenziato che l'entità del deposito di materiali in alveo dovrebbe essere superiore a 4 m rispetto all'attuale quota del fondo alveo (si ritiene che i valori individuati per l'esondazione della colata sarebbero difficilmente raggiungibili anche nell'ipotesi di scarsa manutenzione dell'alveo). In ogni caso la realizzazione dell'Intervento 2 contribuirebbe a ridurre ulteriormente tale possibilità.

7 ELENCO ELABORATI E ALLEGATI

Elaborato H- 1. Relazione idraulica.

Allegato 1. Risultati delle verifiche idrauliche in moto vario bidimensionale. Effetti dell'eventuale sovralluvionamento per mancanza di manutenzione a valle del ponte di Via Tre Croci.

Allegato 2. Risultati delle verifiche idrauliche in moto vario bidimensionale. Effetti dell'eventuale occlusione del ponte n° 16 (ponte delle Cioie).

Allegato 3. Risultati delle verifiche idrauliche in moto vario bidimensionale. Effetti dell'eventuale occlusione del ponte n° 17 (ponte di Viale della Vittoria).

Allegato 4. Profilo del T. Rho nel tronco studiato (da Borgo Vecchio a confluenza Dora).

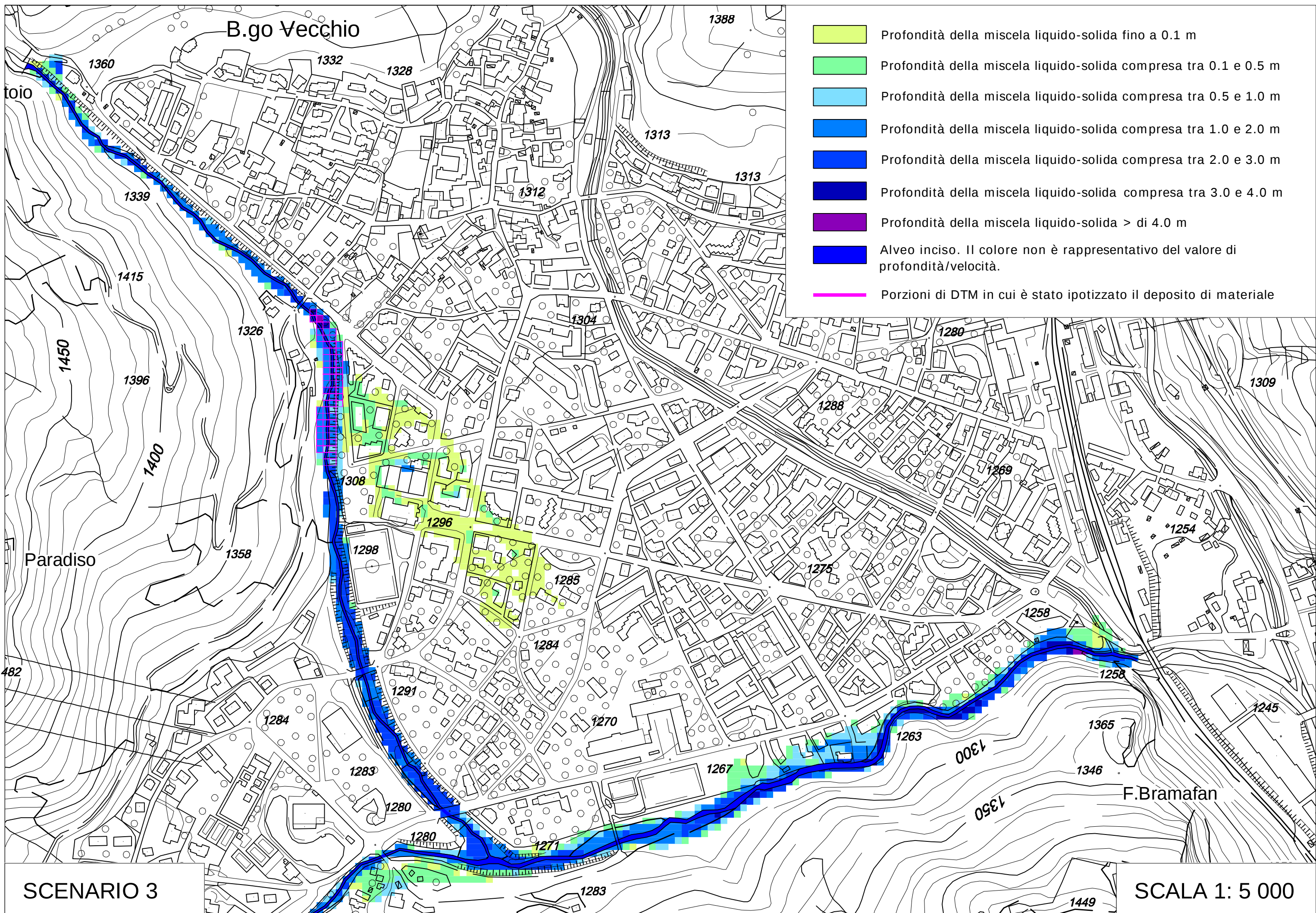
Elaborato H- 2. Risultati delle verifiche idrauliche in moto vario bidimensionale. Caratterizzazione delle colate detritiche: altezza di sommersione e velocità di scorrimento sul piano campagna. CONDIZIONE ATTUALE (scala 1: 4 000).

Elaborato H- 3. Risultati delle verifiche idrauliche in moto vario bidimensionale. Caratterizzazione delle colate detritiche: altezza di sommersione e velocità di scorrimento sul piano campagna. CONDIZIONE DI PROGETTO (scala 1: 4 000).

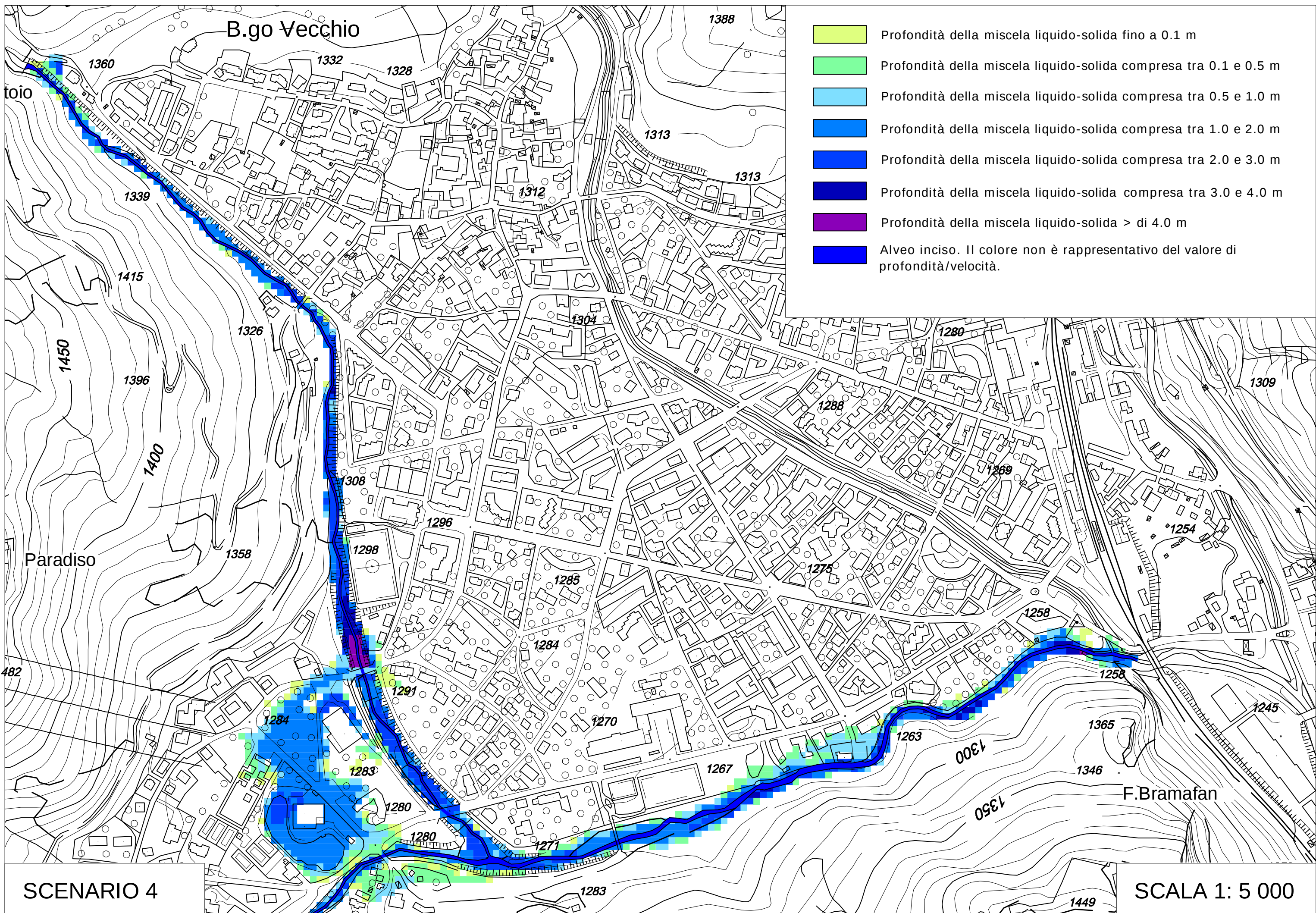
8 RIFERIMENTI

- ANSELMO V. (1985): *Massime portate osservate o indirettamente valutate nei corsi d'acqua subalpini*, Atti e Rassegna tecnica della Società degli Ingegneri e Architetti in Torino, 39,10-12, 245-275.
- AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO (2006): *Progetto di variante del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI). Fiume Dora Riparia*, Parma –Allegato alla deliberazione n° 12/2006 del 5 aprile 2006.
- BIANCO G., RUBERTO G. BROCHOT S., LAIGLE D. (1999): *Condivisione di metodi e conoscenze sui processi di lave torrentizie per la difesa dei centri abitati, Progetto Interreg II Italia-Francia 1994-1999, Azione 5*.
- COMUNE DI BARDONECCHIA (2008-2010): *Piano Regolatore Generale: Variante di adeguamento al PAI*.
- CONSORZIO FORESTALE ALTA VALLE SUSA (2003): *Valutazione del potenziale detritico e verifiche idrauliche dei principali corsi d'acqua*, per conto del Comune di Oulx.
- FLO-2D SOFTWARE INC. (2010): *REFERENCE MANUAL*, version 2010.
- FLO-2D SOFTWARE INC. (2010): *GDS MANUAL*, version 2010.
- FRANK E., OSTAN A., COCCATO M., STELLING G.S. (2001): *Use of an integrated one dimensional-two dimensional hydraulic modelling approach for flood hazard and risk mapping*. Proceedings of the Conference on River Basin Management 2001, 11-13 September 2001, Cardiff, UK.
- IRPI-CNR (2008): *Indagine sulla pericolosità lungo la rete idrografica minore, con specifico riguardo a fenomeni di trasporto solido parossistico. Piene parossistiche ed eventi alluvionali storici in piccoli bacini dell'arco alpino piemontese*.
- JAKOB M. (2005): *Debris-flow hazard analysis in M. Jakob & O. Hungr (Eds.): Debris-flow hazard and related phenomena*, Springer, Chicester.
- MAMBRETTI S. () *Valutazione della magnitudo di colate detritiche in funzione del tempo di ritorno nel bacino di Val Gola (BG)*, Prometeo.
- MEUNIER M. (1991): *Éléments d'hydraulique torrentielle*. Etudes montagne. Cemagref Editions. Grenoble.
- PROVINCIA DI TORINO (2003): *Studio di approfondimento del bacino del Torrente Dora Riparia nel tratto compreso tra Susa e la confluenza in Po*, (a cura di L. Martina, F. bellino e V. Anselmo)
- RICHARD M. IVERSON (1997): *The physics of debris flow*, Reviews of Geophysics, 35,3 August 1997, U.S. Geological Survey.
- TAKAHASHI T. (1978): *Mechanical characteristics of debris flow*, Journal of Hydraulics Division, 104: 1153-1169.
- TAKAHASHI T. (1980): *Debris Flow on Prismatic Open Channel*, Journal of the Hydraulics Division, March 1980, HY3, 381-396.
- TAKAHASHI T. (1991), *Debris flow*, IAHR Monograph Series, Balkema, Rotterdam.
- TROPEANO D., TURCONI L. (1999): *Valutazione del potenziale detritico in piccoli bacini delle Alpi Occidentali e Centrali*, CNR GNDCI, pubblicazione n. 2058.

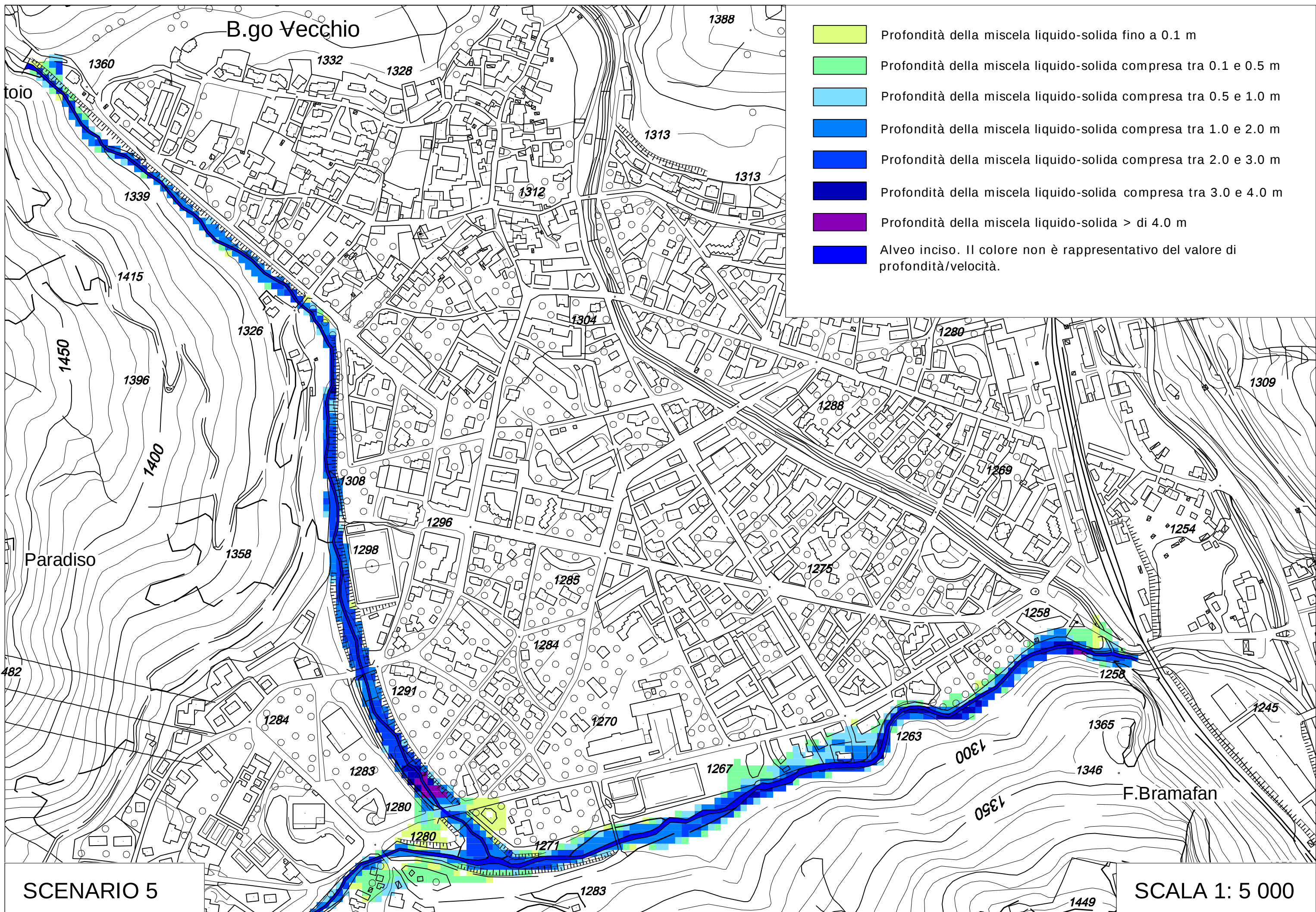
9 ALLEGATO 1. RISULTATI DELLE VERIFICHE IDRAULICHE IN MOTO VARIO BIDIMENSIONALE. EFFETTI DELL'EVENTUALE SOVRALLUVIONAMENTO PER MANCANZA DI MANUTENZIONE A VALLE DEL PONTE DI VIA TRE CROCI (SCENARIO 3).



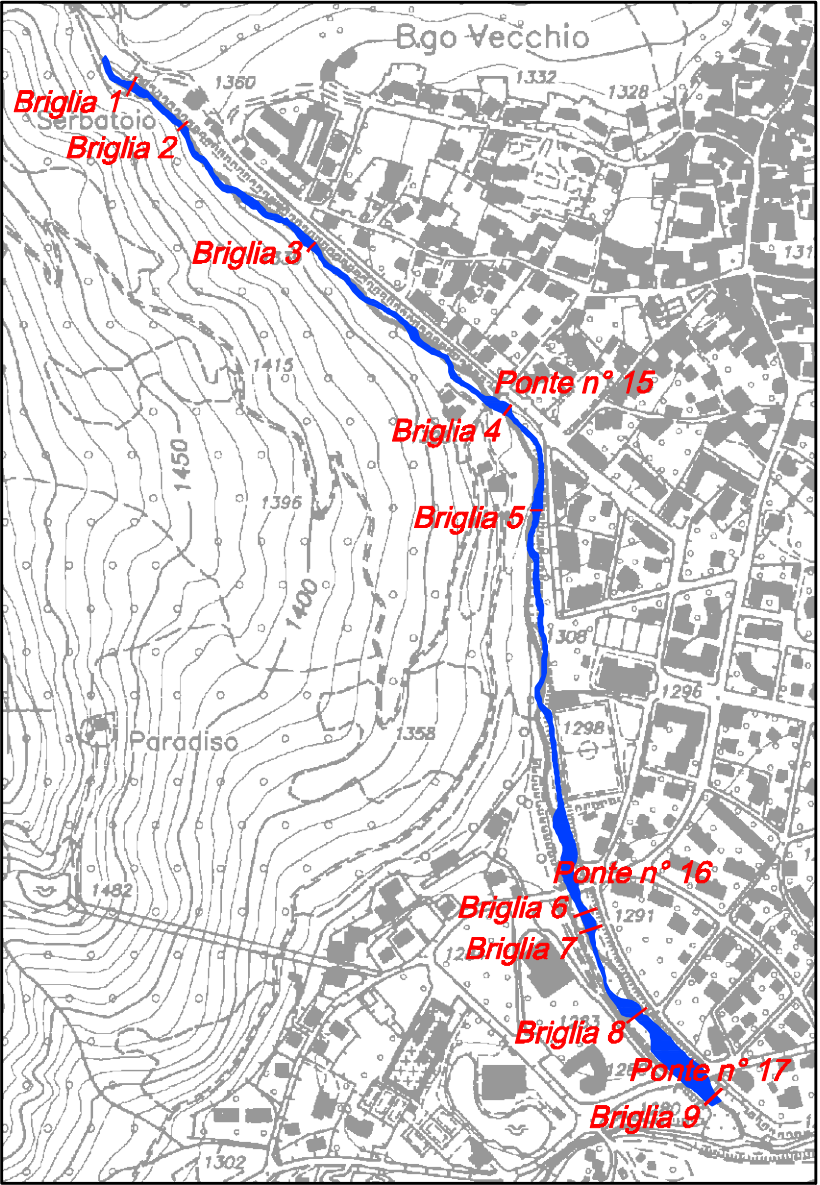
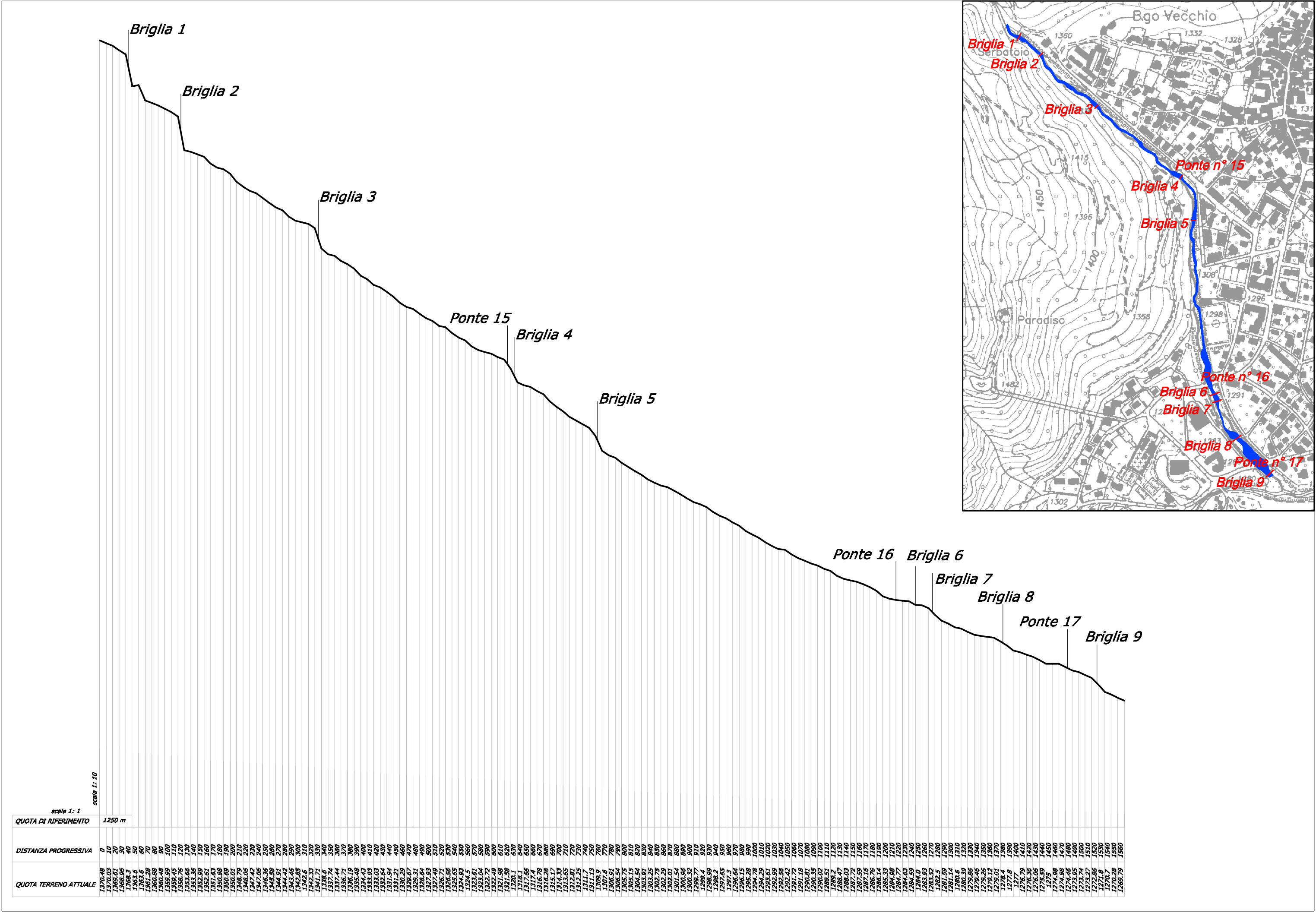
**10 ALLEGATO 2. RISULTATI DELLE VERIFICHE IDRAULICHE IN MOTO VARIO
BIDIMENSIONALE. EFFETTI DELL'EVENTUALE OCCLUSIONE DEL PONTE N° 16
(PONTE DELLE CIOIE) - SCENARIO 4.**



**11 ALLEGATO 3. RISULTATI DELLE VERIFICHE IDRAULICHE IN MOTO VARIO
BIDIMENSIONALE. EFFETTI DELL'EVENTUALE OCCLUSIONE DEL PONTE N° 17
(PONTE DI VIALE DELLA VITTORIA) - SCENARIO 5.**



12 ALLEGATO 4. PROFILO DEL T. RHO NEL TRONCO STUDIATO (DA BORGO VECCHIO A CONFLUENZA DORA).



APPENDICE - A. DESCRIZIONE DELLO SCHEMA DI CALCOLO ADOTTATO DAL MODELLO NUMERICO HEC-1 E DEI CRITERI DI ELABORAZIONE DELLE PRECIPITAZIONI PER L'OTTENIMENTO DELLE PORTATE DI PROGETTO.

La procedura Hec-1 è stata attivata nell'ambito di un pacchetto commerciale denominato WMS (Watershed Modeling System) messo a punto dalla Boss International di Madison per specifiche applicazioni GIS. Lo sviluppo dei calcoli del codice Hec-1 è infine avvenuto utilizzando il codice ingegnerizzato dalla Dodson & associati di Houston, che, sotto il nome di ProHec-1, mette a disposizione un pacchetto contenente una gestione avanzata dei dati e delle uscite.

In bacini privi di misure derivate da osservazioni dirette, la *Direttiva sulla piena di progetto da assumere per la progettazione e le verifiche di compatibilità idraulica* prevede il ricorso ad alcune metodologie di calcolo, tra le quali compare il metodo SCS (Soil Conservation Service) largamente usato anche negli Stati Uniti ed utilizzato dalle routines di calcolo del modello citato. Tale metodo sintetizza le caratteristiche idrologiche di un bacino attraverso un unico parametro CN (Curve Number) che definisce la relazione precipitazione-volume di deflusso. Il CN rappresenta dunque l'attitudine di una porzione di terreno a produrre deflusso e può essere calcolato in modo indiretto sulla base delle caratteristiche geopedologiche e vegetazionali del bacino stesso.

SCHEMA DI FORMAZIONE DEL DEFLUSSO

Il metodo ⁽⁵⁾ assume che, nel corso di un evento di piena, il deflusso superficiale, V , sia proporzionale a quello precipitato I , depurato dell'assorbimento iniziale I_a in ragione del rapporto fra volume infiltrato F e un volume S che caratterizza la *massima ritenzione potenziale*.

$$\frac{F}{S} = \frac{V}{I - I_a}$$

nella quale le grandezze, espresse in mm, rappresentano:

V	volume di deflusso superficiale
S	contenuto idrico massimo del suolo
F	volume infiltrato
I	precipitazione
I_a	assorbimento iniziale

Da una semplice equazione di bilancio, il volume infiltrato risulta pari alla precipitazione lorda ridotta dell'assorbimento iniziale e del volume ruscellato

$$F = I - I_a - V$$

⁽⁵⁾ Si segue la descrizione fornita da RANZI & ROSSO (1995).

e si determina la relazione

$$V = \frac{(I - I_a)^2}{I - I_a + S}$$

che rappresenta la stima del volume di ruscellamento in funzione del volume della precipitazione e di due parametri caratteristici del bacino; la capacità di assorbimento iniziale I_a e la massima ritenzione potenziale S .

La massima ritenzione potenziale dipende, per un certo stato iniziale di imbibizione del bacino, dalla combinazione di due fattori: la natura del terreno e l'uso del suolo. L'effetto combinato di questi due fattori è rappresentato dal parametro CN il quale è legato ad S dalla relazione

$$S = S_0 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

dove $0 < CN < 100$ ed S_0 è una costante di scala dipendente dalla unità di misura (254 se le grandezze sono misurate in mm).

Come già accennato in precedenza, il parametro CN rappresenta l'attitudine di un bacino a produrre deflusso e può essere ricavato a partire dalle caratteristiche pedologiche dei suoli. Si assume anche che il valore di CN possa variare in relazione alle condizioni iniziali di imbibizione al momento dell'evento pluviometrico, noto come AMC.

L'imbibizione viene espressa, in modo qualitativo, in funzione delle precipitazioni dei 5 giorni antecedenti (API_5). A seconda del valore di API_5 si individuano le tre classi AMC I, II e III (AMC Antecedent Moisture Condition) le quali rappresentano rispettivamente:

AMC I : terreno inizialmente asciutto

AMC II : terreno mediamente imbibito

AMC III: terreno fortemente imbibito

Nella Tabella A 1 si riportano gli stati di imbibizione del suolo considerati.

Tabella A 1. Definizione dello stato di imbibizione del suolo.

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

Noto il valore di CN per la classe AMC II (ossia CN_{II}) si possono valutare rispettivamente:

$$CN_I = \frac{CN_{II}}{2.3 - 0.013CN_{II}}$$

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0.43 + 0.0057CN_{II}}$$

Per una data condizione AMC, il valore di CN dipende dalle caratteristiche idrologiche del suolo, in relazione alla maggiore o minore permeabilità. Inoltre, per un dato tipo idrologico di suolo, il valore di CN varia notevolmente a seconda dell'uso del suolo. I valori numerici sono indicati nelle tabelle che seguono con riferimento alla condizione AMC II.

Per identificare il tipo idrologico di suolo bisogna analizzare le caratteristiche geopedologiche ed a questo punto si incontrano decise difficoltà a causa della mancanza di indicazioni in merito ai suoli. Recenti contributi in merito suggeriscono l'uso di tabelle per assegnare valori numerici alla tessitura e struttura del suolo (Π_1) ed alla permeabilità del suolo (Π_2) ricavando così il punteggio $\Pi = \Pi_1 + \Pi_2$ in base al quale attribuire il suolo ad uno dei quattro tipi. Il valore CN si ottiene per incrocio delle caratteristiche idrologiche del suolo (quattro tipi idrologici A, B, C, D) a permeabilità decrescente e delle caratteristiche di uso prevalente.

Seguendo la procedura con cui HEC-1 schematizza il processo di formazione del deflusso, ogni bacino viene suddiviso in sottobacini per ognuno dei quali vengono forniti i parametri morfometrici di interesse (area, pendenza media dei versanti, lunghezza dell'asta, etc.). Il contributo di ogni sottobacino viene sommato in corrispondenza delle confluenze per calcolare, alla fine del tratto considerato, l'idrogramma in uscita. Il programma richiede la precipitazione ragguagliata dell'evento in esame o l'assegnazione di un idrogramma di progetto. Le portate dipendono fortemente dalla distribuzione temporale delle precipitazioni e dalla capacità di assorbimento del terreno. Per ogni sottobacino deve essere calcolato il "tempo di ritardo" (TL), corrispondente all'intervallo tra il baricentro del pluviogramma ed il picco dell'idrogramma. In base alla formula di Mockus:

$$TL = 0.342 \cdot Y^{-0.5} \cdot L^{0.8} \cdot (1000/CN - 9)^{0.7}$$

dove:

CN coefficiente che definisce la relazione tra precipitazione e volume di deflusso del bacino;

Y pendenza media del bacino espressa in %

L lunghezza del collettore principale prolungato fino allo spartiacque, espressa in km.

Si osservi che la formula di Mockus rende il tempo di ritardo indirettamente proporzionale al valore del CN, ossia bacini impermeabili presentano tempi di concentrazione più brevi di corrispondenti bacini permeabili.

Il modello prevede pertanto l'impiego di tre componenti:

il sottobacino, caratterizzato da una sezione di chiusura e descritto dai parametri morfometrici e dal CN;

il tronco d'álveo, che collega due sezioni di chiusura di sottobacini successivi, caratterizzato da lunghezza, pendenza media, forma della sezione e scabrezza. Lungo un tronco d'álveo sono possibili fenomeni di invaso e quindi di laminazione, pertanto il tronco viene trattato con le relazioni tipiche della propagazione (per esempio, metodo Muskingam-Cunge);

l'inter-bacino, ossia il versante che contribuisce ad un tronco d'álveo. Nello schema si immagina che l'interbacino contribuisca per intero confluendo alla sezione di chiusura del sottobacino immediatamente a valle ove si sommano così tre idrogrammi: l'idrogramma, opportunamente laminato lungo il tronco d'álveo, proveniente da monte, l'idrogramma dell'interbacino, l'idrogramma del sottobacino confluyente nel tronco.

ELABORAZIONE DELLO IETOGRAMMA DI PROGETTO

Per quanto riguarda la distribuzione spaziale delle precipitazioni, solitamente si assume che l'altezza totale, con assegnato tempo medio di ritorno, abbia il significato di pioggia media sul bacino (cioè costante nel tempo ed uniforme nello spazio).

Per il bacino esaminato, avente superficie dell'ordine di alcuni km², si è deciso di non applicare tali semplificazioni, in particolare per quanto riguarda l'altezza di precipitazione, la quale diminuisce man mano che ci si allontana dal centro di meteora, in misura tanto più rilevante quanto più è breve la durata della precipitazione. Al fine di evitare di ottenere risultati fortemente sovrastimati è quindi necessaria l'assegnazione di un *coefficiente di riduzione o di abbattimento* della precipitazione in funzione dell'area del bacino.

Noti coefficienti di ragguaglio della precipitazione oraria (ARF, *Areal Reduction Factor*) sono dovuti all'Istituto di Idrologia di Wallingford (Inghilterra) e quindi con riferimento a precipitazioni di origine frontale poco influenzate dall'effetto orografico e pertanto non utilizzabili in ambiente collinare. In Italia sono stati fatti specifici studi di settore, tarati però localmente o regionalmente, in condizioni piuttosto lontane rispetto a quelle presentate dal bacino oggetto di studio. Gli studi più recenti ed approfonditi che riguardano tale argomento sono stati sviluppati nell'ambito del progetto VAPI (valutazione delle piene), in cui i dati idrologici vengono elaborati secondo criteri TCEV (modello probabilistico a doppia componente dei valori estremi). Tale analisi però è svolta a carattere regionale e per ora sono stati pubblicati gli studi riguardanti le regioni del Mezzogiorno e della Regione Veneto (dicembre 2001) e solo un rapporto preliminare per il Piemonte⁶, pertanto si è pensato di vagliare una ricerca che implicasse il confronto tra i coefficienti fino ad ora proposti, onde poter utilizzare quelli che meglio si adattano al territorio indagato.

Coefficienti validi per estensioni fino a 150 Km², sono stati riscontrati nell'analisi di numerosi eventi pluviometrici registrati nella pianura veneta fra Adige e Po dal radar di Teolo (BIXIO e MONAI, 1997).

La relazione proposta ha la forma:

$$C = S^{-k}$$

essendo:

S l'area interessata (km²);

k espresso in funzione di una relazione logaritmica della durata della pioggia data da:

⁽⁶⁾ "La valutazione delle piene in Piemonte", Villani P., febbraio 2001.

$$k = a \ln t + a'$$

ove

t durata in ore;

$$a = 0.0716 F - 0.0775;$$

$$a' = -1.0072 F^3 + 2.2314 F^2 - 1.9141 F + 0.7529;$$

con F probabilità cumulata dell'evento collegabile al tempo medio di ritorno in base alla relazione $Tr=1/(1-F)$.

Nell'ambito dei dati disponibili, gli autori segnalano che la massima correlazione si è osservata per valori di F compresi fra 0.95 e 0.30 ossia per eventi con probabilità molto alta (tempo medio di ritorno compreso fra 20 e 3 anni). Nel caso in esame, si è deciso di estrapolare anche a valori di F superiori ($F=0.995$ per tempo di ritorno di 200 anni).

Per quanto riguarda la distribuzione spaziale della pioggia media, il modello Hec-1 opera come descritto in seguito. Si suppone che la portata sia determinata, in ogni sezione, in base alla somma degli idrogrammi confluenti e il valore del colmo è scalato per tener conto della riduzione della pioggia media con l'area. In altre parole, è noto che (CLABORN, DODSON & BARRETT, 1995) l'altezza media della precipitazione su un bacino diminuisce all'aumentare dell'area. Pertanto è necessario ricalcolare la portata di ciascun bacino a mano a mano che l'area scolante aumenta. Hec-1 opera determinando un certo numero di idrogrammi calcolati a partire da un numero di altezze di pioggia espresse in funzione dell'area, per esempio in base ad un'assegnata legge di abbattimento della pioggia puntuale. Tali idrogrammi sono denominati idrogrammi-indice. In ciascuna confluenza, l'idrogramma appropriato deve corrispondere all'estensione dell'area scolante sottesa dalla confluenza ed è derivato per interpolazione fra gli idrogrammi-indice relativi a valori di area scolante che stanno a cavallo dell'area del bacino in oggetto. In pratica si assegnano, per noto tempo medio di ritorno e durata, le altezze di pioggia H associate ad aree crescenti $H_5, H_{10}, H_{20}, H_{50}$ etc. essendo il pedice il valore dell'area. Considerando la confluenza fra due sottobacini A e B (per esempio di 8 e 15 km², quindi con somma $X = 23$ km²) l'idrogramma alla confluenza A + B non può derivare dalla pura somma dei due idrogrammi A e B in quanto non sarebbe rappresentativo dell'area totale. Si determina allora l'idrogramma interpolato fra la somma degli idrogrammi $A_{102.6}+B_{102.6}$ e $A_{101.5}+B_{101.5}$ calcolati separatamente come conseguenza delle precipitazioni rispettivamente pari, per esempio, a 102.6 e 101.5 mm sui due bacini A e B. La formula di interpolazione segue i due principi che:

la trasformazione afflussi-deflussi sia lineare;

l'altezza di pioggia vari approssimativamente in ragione del logaritmo dell'area indice;

Si ottiene che:

$$Q_X = Q_1 \cdot \left(\frac{\log \frac{A_X}{A_2}}{\log \frac{A_2}{A_1}} \right) + Q_2 \cdot \left(\frac{\log \frac{A_X}{A_1}}{\log \frac{A_2}{A_1}} \right)$$

essendo

A_X l'area alla confluenza

A_1 l'area indice inferiore

A_2 l'area indice superiore

Q le portate corrispondenti all'indice

Tale concetto è semplificato nella Figura A - 1.

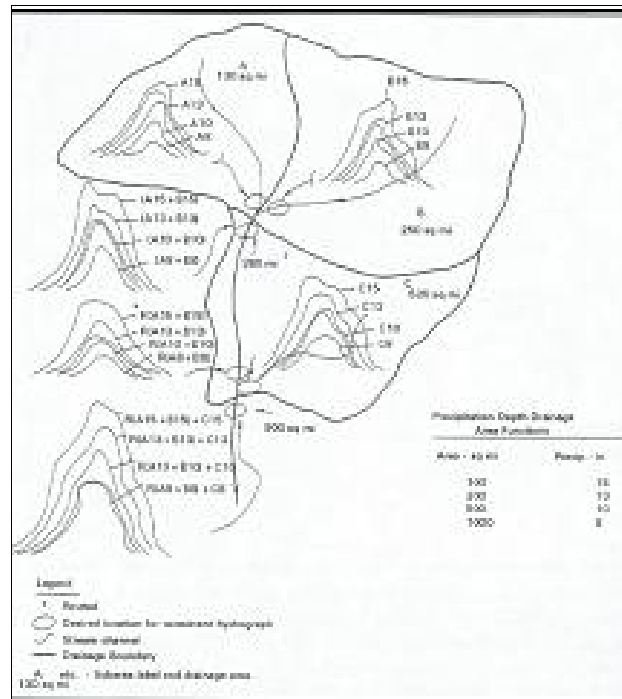


Figura A - 1. Schematizzazione dello schema di interpolazione utilizzato dal codice di calcolo HEC-1 (tratto da ProHEC1 Plus, Program Documentation, pag 4-16).

La distribuzione temporale è stata ipotizzata considerando precipitazioni di diversa durata, al fine di determinare la durata di pioggia critica. Nella determinazione dell'altezza della precipitazione totale si è utilizzata la relazione esposta in precedenza mentre, per quanto riguarda la distribuzione temporale, si è pensato di distribuire la precipitazione considerando l'effetto di uno scroscio, in base al quale si assume che l'intensità di precipitazione aumenti nell'ultimo quarto dell'evento. Il criterio deriva da un'indagine effettuata su un campione di oltre 16 mila ietogrammi dei quali è stato studiato l'andamento temporale dell'intensità (FERRARI, 1994). Tale procedura prevede una ripartizione percentuale della precipitazione totale in due distinti periodi costituiti da: un primo periodo di durata pari ai tre quarti della durata totale dell'evento e da un secondo periodo di durata pari al restante quarto della durata totale. La ripartizione del totale di pioggia nei due periodi varia con la durata della pioggia. In tale modo, soprattutto nel caso di precipitazioni prolungate, si ottiene un periodo di maggior precipitazione dopo diverse ore dall'inizio dell'evento. Tale situazione risulta peggiorativa, a parità di altezza totale di pioggia, e ricorrente in numerosi eventi gravi che hanno interessato le regioni alpine.

Lo ietogramma utilizzato pertanto segue le seguenti regole:

suddivisione della durata della pioggia in due periodi pari rispettivamente a tre quarti ed un quarto della durata totale;

ripartizione della altezza di pioggia in ciascun periodo in funzione della durata dell'evento;

intervallo di riferimento per l'implementazione del modello numerico pari a 15 minuti;

Pertanto, posta pari all'unità l'altezza totale della pioggia, la distribuzione rispetto all'altezza totale in ciascun intervallo di 15 minuti presenta i valori riportati nella Tabella A 2.

CONSORZIO FORESTALE ALTA VALLE SUSA
Analisi della pericolosità residua del Torrente Rho a Bardonecchia
(versione coordinata in accoglimento delle osservazioni informali)

Tabella A 2. Ripartizione temporale della precipitazione nel corso di un evento in funzione della durata della pioggia.

	Valore rispetto al totale attribuito a ciascun intervallo di 15 minuti in cui è suddiviso il periodo di pioggia							
Durata di pioggia [h]	4	5	6	8	12	24	30	36
Numero intervalli totale	16	20	24	32	48	96	120	144
Valore percentuale della precipitazione nel primo periodo	0.042	0.033	0.028	0.025	0.017	0.009	0.007	0.006
Valore percentuale della precipitazione nel secondo periodo	0.125	0.1	0.083	0.050	0.033	0.015	0.013	0.011
N.B. La ripartizione assume che, nel primo periodo, cada la % indicata								
	40%	del totale per durate < 1 ora						
	45%	del totale per durate > 1 ora e < 3 ore comprese						
	50%	del totale per durate > 3 ore e < 6 ore comprese						
	60%	del totale per durate > 6 ore e < 12 ore comprese						
	65%	del totale per durate > 12 ore						

La durata di pioggia critica è stata determinata alimentando il modello afflussi-deflussi con ietogrammi di durata crescente fino ad individuare il massimo valore di portata al colmo in condizione di imbibizione elevata del suolo (AMC-III).

APPENDICE - B. DESCRIZIONE DELLO SCHEMA DI CALCOLO ADOTTATO DAL MODELLO FLO-2D ATTIVATO IN MOTO VARIO PER LA SIMULAZIONE DEL COMPORTAMENTO DELLE CORRENTI IPERCONCENTRATE.

Il codice di calcolo FLO-2D®, distribuito da FLO-2D Software Inc., è un modello bidimensionale sviluppato sia per la simulazione di eventi di piena che per specifiche applicazioni nell'ambito della modellazione delle colate detritiche (*mud flow* e *debris flow*). Flo-2D fa parte dei modelli idraulici approvati dalla FEMA (Federal Emergency Management Agency) per questo tipo di studi. L'insieme dei processi fisici che possono essere considerati dal modello sono riassunti in Figura B - 1.

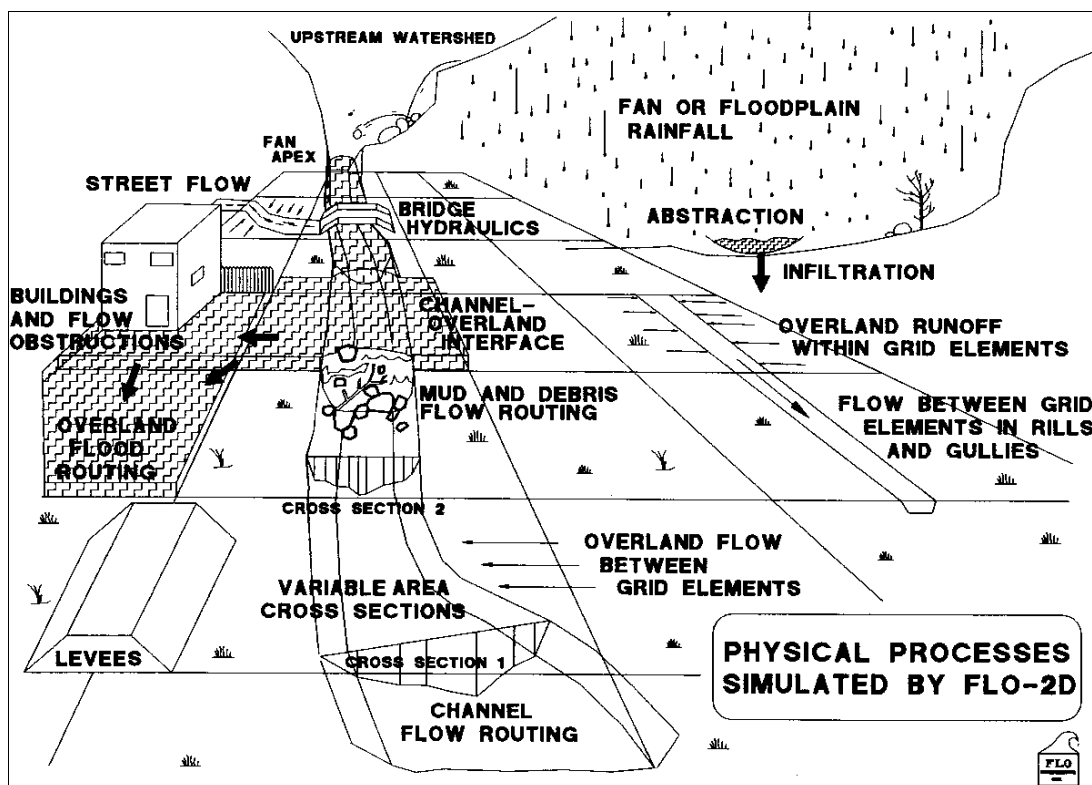


Figura B - 1. Schematizzazione dei principali processi considerati e delle discontinuità che possono essere modellate in una simulazione condotta con Flo-2D (da FLO-2D Users 'manual, novembre 2002).

Questo codice di calcolo permette di simulare, in moto vario, la propagazione e la deposizione dell'idrogramma liquido-solido (che deve essere fornito come input ed è ricavabile mediante la procedura descritta nei paragrafi precedenti). Il codice numerico, di tipo bidimensionale, è stato concepito per simulare la propagazione di fluidi viscosi con concentrazione dei sedimenti variabile nel tempo. Flo-2D è un modello bidimensionale che simula la progressione di un idrogramma su un sistema di elementi quadrati (griglia), come esposto in Figura B - 2. Le integrazioni delle equazioni di moto vario sono attuate conservando il volume, mentre il controllo numerico dell'equazione di quantità di moto può essere effettuato mediante le *Full dynamic wave* o *Diffusive wave* (per la descrizione delle formule impiegate si veda oltre).

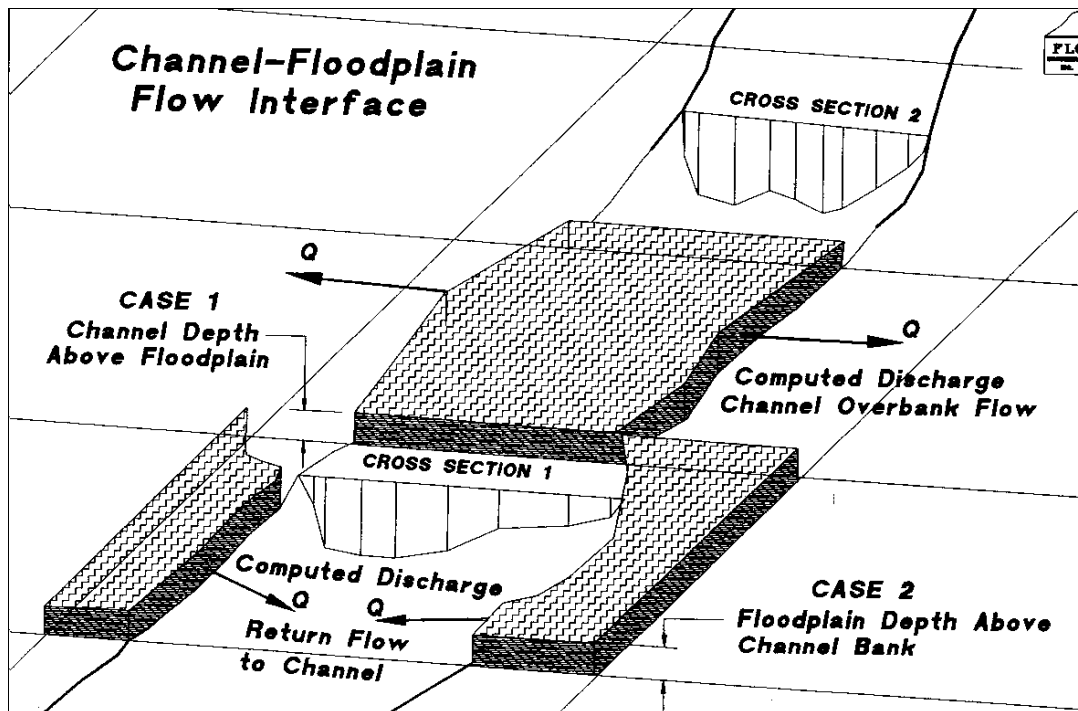


Figura B - 2. Schema logico del funzionamento del modello FLO-2D nella propagazione dell'idrogramma sulle celle quadrate rappresentanti il sistema iniziale (da FLO-2D Users' manual, novembre 2002)

Il modello ha inoltre una serie di opzioni e di componenti che, se attivate, possono aumentare il dettaglio di una simulazione (es. perdite dovute ad immagazzinamento, ostruzioni del flusso, presenza di infrastrutture viarie, ecc.).

Il legame tra i parametri reologici (viscosità, resistenza al taglio e concentrazione dei sedimenti) è rappresentato dalle seguenti formule:

$$\eta = \alpha_1 \times e^{\beta_1 \times C_v}$$

η = viscosità

α_1 = coefficiente

β_1 = esponente

C_v = concentrazione dei sedimenti

$$\tau_y = \alpha_2 \times e^{\beta_2 \times C_v}$$

τ = resistenza al taglio

α_2 = coefficiente

β_2 = esponente

C_v = concentrazione dei sedimenti

Ai fini del presente studio si assume la condizione di concentrazione dei sedimenti variabile nel tempo nella convinzione che fronte, corpo e coda della colata abbiano caratteristiche diverse.

FLO-2D è un modello che impiega la conservazione del volume. Il flusso generato dal volume dell'idrogramma di progetto si muove sottoforma di una corrente non incanalata (cella per cella di piano campagna) o come corrente incanalata (segmento per segmento di corso d'acqua). La propagazione dell'onda di piena è controllata dalla topografia e dalla scabrezza. La propagazione in due dimensioni è calcolata attraverso una integrazione numerica delle equazioni di moto e della conservazione del volume sia per portate liquide sia per correnti iperconcentrate.

L'equazione base dei fluidi include l'equazione di continuità e le equazioni del moto bidimensionale (equazione della quantità di moto dell'onda dinamica):

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h V_x}{\partial x} + \frac{\partial h V_y}{\partial y} = i$$

$$S_{fx} = S_{ox} - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{V_x}{g} \frac{\partial V_x}{\partial x} - \frac{V_y}{g} \frac{\partial V_x}{\partial y} - \frac{1}{g} \frac{\partial V_x}{\partial t}$$

$$S_{fy} = S_{oy} - \frac{\partial h}{\partial y} - \frac{V_y}{g} \frac{\partial V_y}{\partial y} - \frac{V_x}{g} \frac{\partial V_y}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{\partial V_y}{\partial t}$$

Dove h è la profondità della corrente e V_x e V_y sono le componenti della velocità media sulla verticale lungo l'asse delle ascisse e delle ordinate. L'intensità di pioggia (i) può non essere nulla sulla superficie del terreno (intensità di pioggia al netto dell'infiltrazione). Le componenti della pendenza dovuta alla perdita di carico (S_{fx} e S_{fy}) sono scritte in funzione della pendenza del terreno (S_{ox} e S_{oy}), del gradiente di pressione e dei termini di accelerazione convettiva e gravitazionale.

L'approssimazione dell'onda diffusiva è definita tramite le equazioni di moto trascurando gli ultimi tre termini mentre la rappresentazione dell'onda cinematica trascura il solo gradiente di pressione.

L'equazione dell'onda cinematica non è utilizzata dal codice di calcolo FLO-2D, ma l'utilizzatore del programma può scegliere tra la modellazione dell'onda diffusiva e la modellazione dell'onda dinamica dell'equazione della quantità di moto.

La rappresentazione bidimensionale dell'equazioni di moto del FLO-2D è meglio definita come modello semi-bidimensionale, che sfrutta un sistema alle differenze finite su maglia quadrata. L'equazione di moto è risolta attraverso il calcolo della velocità media della corrente per ogni lato di ogni cella (una direzione alla volta). Ci sono otto potenziali direzioni di flusso, le quattro direzioni cardinali (nord, est, sud e ovest) e le sue quattro diagonali (nord-est, sud-est, sud-ovest, nord-ovest). Ogni calcolo del modulo della velocità è monodimensionale ed è risolto in modo indipendente dalle altre sette direzioni. Nell'equazione della quantità di moto sono mantenute le singole componenti di pressione, attrito, e accelerazione convettiva e locale. La procedura di calcolo per ogni cella inizia con una stima della profondità della corrente al perimetro della cella stessa. Tale valore deriva da una media tra le profondità nelle due celle che parteciperanno alla suddivisione della portata in una delle otto direzioni. Gli altri parametri idraulici sono anche loro mediati per calcolare la velocità della corrente inclusa la scabrezza

(valore di Manning), area bagnata, pendenza quota del pelo libero e perimetro bagnato. La velocità al contorno della corrente è quindi una variabile dipendente.

Il FLO-2D risolverà o l'equazione dell'onda diffusiva o l'equazione dell'onda dinamica per calcolare la velocità e successivamente l'equazione di Manning verrà poi applicata in una direzione utilizzando il valor medio della pendenze del pelo libero. Se è selezionata l'onda diffusiva la velocità verrà calcolata per tutte le otto potenziali direzioni di ogni cella mentre se è selezionata l'onda dinamica la velocità dell'onda diffusiva calcolata viene utilizzata come valore iniziale nel metodo delle tangenti di Newton per determinare le radici dell'equazione dell'onda dinamica che è una equazione differenziale non lineare di secondo ordine. Il termine dell'accelerazione locale è la differenza della velocità per la direzione assegnata rispetto all'istante precedente. L'accelerazione come la differenza della velocità attraverso la cella rispetto all'istante precedente (il passo temporale è misurato in secondi).

La portata attraverso il contorno della cella è calcolata moltiplicando la velocità per la sezione successivamente la differenza di portata, quale somma della portate nelle otto direzioni, viene moltiplicata per il passo temporale al fine di calcolare la variazione del volume d'acqua. Questa variazione di volume viene quindi divisa per la superficie dell'area disponibile nella griglia per ottenere la variazione della profondità nell'intervallo di tempo.

L'integrazione della propagazione nel caso di corrente incanalata viene condotta nello stesso modo eccetto che la profondità della corrente è una funzione della geometria della sezione trasversale e che ci sono normalmente solo una cella a monte e una cella a valle per quanto riguarda la suddivisione della portata.

APPENDICE - C. CARATTERISTICHE DEL RILIEVO TOPOGRAFICO DI DETTAGLIO.

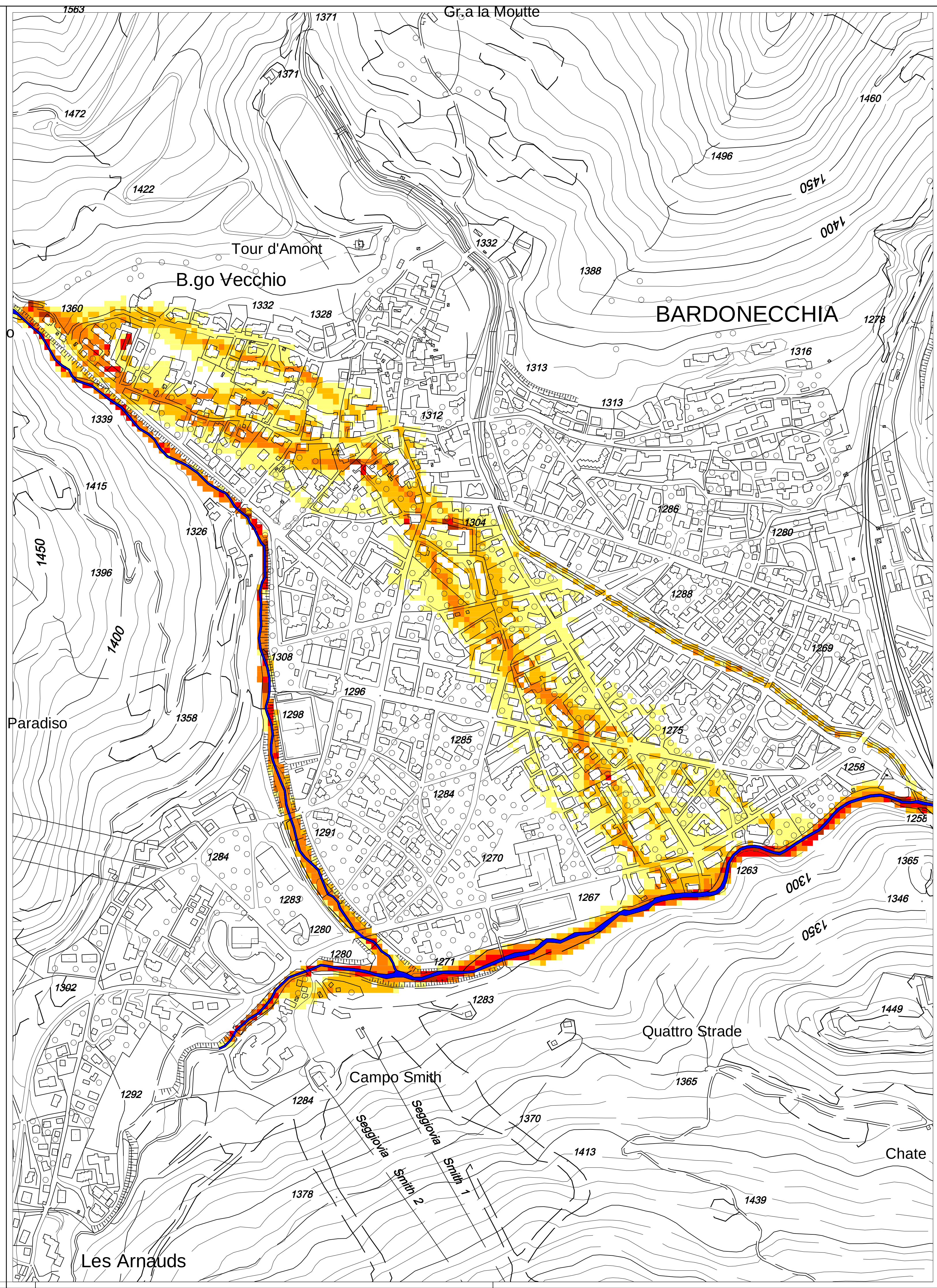
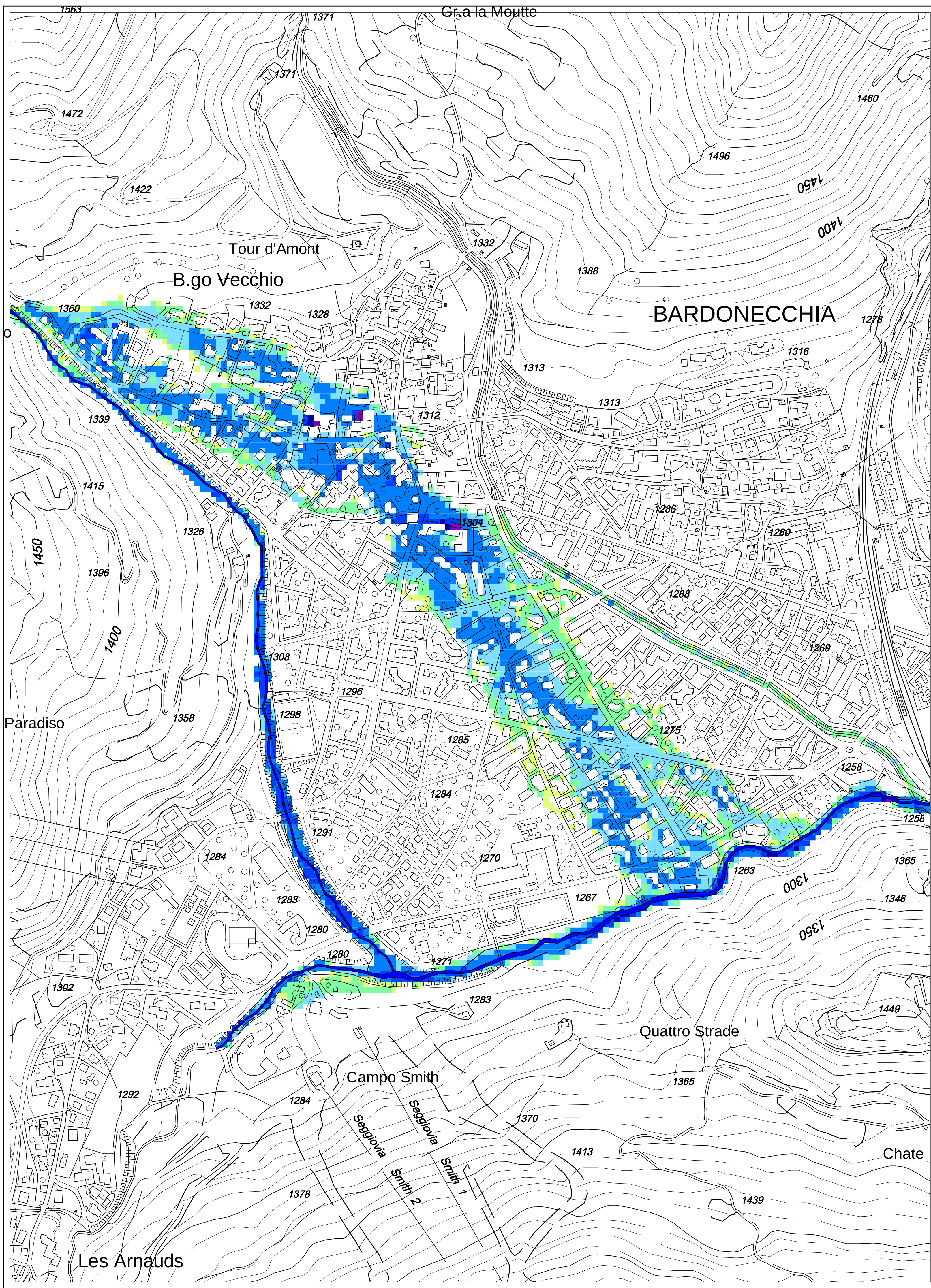
La topografia è stata acquisita ad una scala adeguata al grado di approfondimento richiesto. Il rilievo plano-altimetrico impiegato è conforme alle specifiche tecniche per l'esecuzione di rilievi topografici e aerofotogrammetrici dettate dall'Autorità di Bacino del Fiume Po. La geometria che descrive l'altimetria dell'area in oggetto, è stata elaborata partendo da un rilievo aerofotogrammetrico (scala media 1:8000) fornito da Alifoto s.r.l. con tolleranza altimetrica pari a ± 0.3 m (si precisa che il volo è stato effettuato nel 2012; le riprese sono state effettuate impiegando una fotocamera WILD tipo RC8). L'appoggio a terra è stato effettuato mediante metodologia GPS, utilizzando un sistema di ricevitori a doppia frequenza costituito da una stazione "master" TRIMBLE mod. 5700 e da un "rover" TRIMBLE mod. 5800 con controller ACU. Data l'estensione e la morfologia dell'area, i punti sono stati rilevati in modalità "fast-static", che prevede tempi di stazionamento dell'antenna rover variabili (normalmente compresi tra 8 e 15 minuti), definiti in modo automatico dal software di acquisizione del controller in base alla qualità del segnale, al numero ed alla geometria dei satelliti tracciati, al fine di ottenere delle "baseline" con precisioni sub-centimetriche. La restituzione dei dati raccolti in campagna e la post-elaborazione delle singole "baseline" è stata fatta con il programma TGO (Trimble Geomatics Office) ver. 1.63, con il quale si è anche provveduto alla trasformazione delle coordinate geografiche dei punti dal sistema WGS84 a quelle piane sia nella proiezione Gauss-Boaga del sistema Roma 40 che nella proiezione UTM con datum WGS84. Le porzioni di territorio oggetto di restituzione sono rappresentate in Figura C - 1. Ai fini della modellazione idraulica, il dato di base è la rappresentazione della topografia potenziale della superficie di scorrimento e deposizione della colata, disposta sotto forma di griglia a maglia quadrata di dimensione fissa.

Il piano campagna è stato descritto mediante un modello digitale delle elevazioni (DEM in formato ASCII) interpolato sulla base del rilievo sopra richiamato. Il DEM è costituito da celle con dimensione 10×10 m, derivato da un TIN elaborato con il metodo della rete di triangolazione irregolare (Triangulated Irregular Network), con la funzione di descrivere il piano campagna, i rilevati stradali ed i manufatti circostanti e le altre discontinuità lineari (muri, scarpate, recinzioni ed altre discontinuità). L'ingombro degli edifici presenti che influenzano il percorso della corrente e le vie preferenziali di incanalamento (es. strade) sono stati inseriti in dettaglio tramite apposite routines attivabili nell'ambito del codice numerico FLO-2D impiegato per le verifiche idrauliche.

*Analisi della pericolosità residua del Torrente Rho a Bardonecchia
(versione coordinata in accoglimento delle osservazioni informali)*



Figura C - 1. Porzione di territorio oggetto di indagine: in rosso il limite della restituzione topografica (da cui è derivata l'interpolazione del DTM impiegato per la descrizione del piano campagna).



LEGENDA

PROFONDITA'

Profondità della miscela liquido-solido fino a 0.1 m

Profondità della miscela liquido-solido compresa tra 0.1 e 0.5 m

Profondità della miscela liquido-solido compresa tra 0.5 e 1.0 m

Profondità della miscela liquido-solido compresa tra 1.0 e 2.0 m

Profondità della miscela liquido-solido compresa tra 2.0 e 3.0 m

Profondità della miscela liquido-solido compresa tra 3.0 e 4.0 m

Profondità della miscela liquido-solido > di 4.0 m

VELOCITA'

Velocità della miscela liquido-solido fino a 0.5 m/s

Velocità della miscela liquido-solido compresa tra 0.5 e 1.0 m/s

Velocità della miscela liquido-solido compresa tra 1.0 e 2.0 m/s

Velocità della miscela liquido-solido compresa tra 2.0 e 3.0 m/s

Velocità della miscela liquido-solido compresa tra 3.0 e 5.0 m/s

Velocità della miscela liquido-solido > di 5.0 m/s

Alveo inciso. Il colore non è rappresentativo del valore di profondità/velocità.

NOTA: ai fini dell'interpretazione del dato esposto è utile precisare che:

- 1) La tavola rappresenta il massimo valore calcolato di profondità e velocità della miscela liquido-solido in occasione dell'esondazione di un'ipotetica colata detritica (involuppo della condizione peggiore)
- 2) Il modello è attivato con DEM 10 x 10 m.
- 3) Il modello tiene conto dell'ingombro degli edifici che sono in grado di influenzare il percorso della corrente mediante l'attivazione dell'opzione *Area Reduction Factor*.
- 4) il Rio Comba della Gorgia è stato inserito con portata al colmo pari a 30 mc/s)

Base cartografica: CTR Regione Piemonte
Base altimetrica: rilievo aerofotogrammetrico (tolleranza altimetrica ± 0.30 m)

Commitente:

Regione Piemonte
COMUNE DI BARDONECCHIA

Oggetto:

Analisi della pericolosità residua del Torrente Rho a Bardonecchia
(versione coordinata in accoglimento delle osservazioni informali)

Risultati delle verifiche idrauliche in moto vario bidimensionale. Caratterizzazione delle colate detritiche: altezza di sommersione e velocità di scorrimento sul piano campagna. CONDIZIONE ATTUALE

Identificazione elaborato

Ambito

Tipologia

Commessa

n° elaborato

IDSI917-2

I D S I

917

H-2

Dati Progettisti:

Studio ANSELMO Associati
Via Vittorio Emanuele n°14
10023 CHIERI (TO)
Tel. / Fax. 011 9415835
e-mail: info@anselmoassociati.it

Dott. Ing. Virgilio Anselmo
Dott. For. Fulvio Anselmo
Collaboratori:
Dott. For. Davide Spada
Dott. Ing. Donato Vittore

Rev.	Redatto	Controllato	Approvato	Data	Timbri e Firme
0	Dott. D. Spada	Ing. V. Anselmo	Ing. V. Anselmo	05-2014	
1	Dott. D. Spada	Ing. V. Anselmo	Ing. V. Anselmo	05-2014	
2	Dott. D. Spada	Ing. V. Anselmo	Ing. V. Anselmo	02-2015	

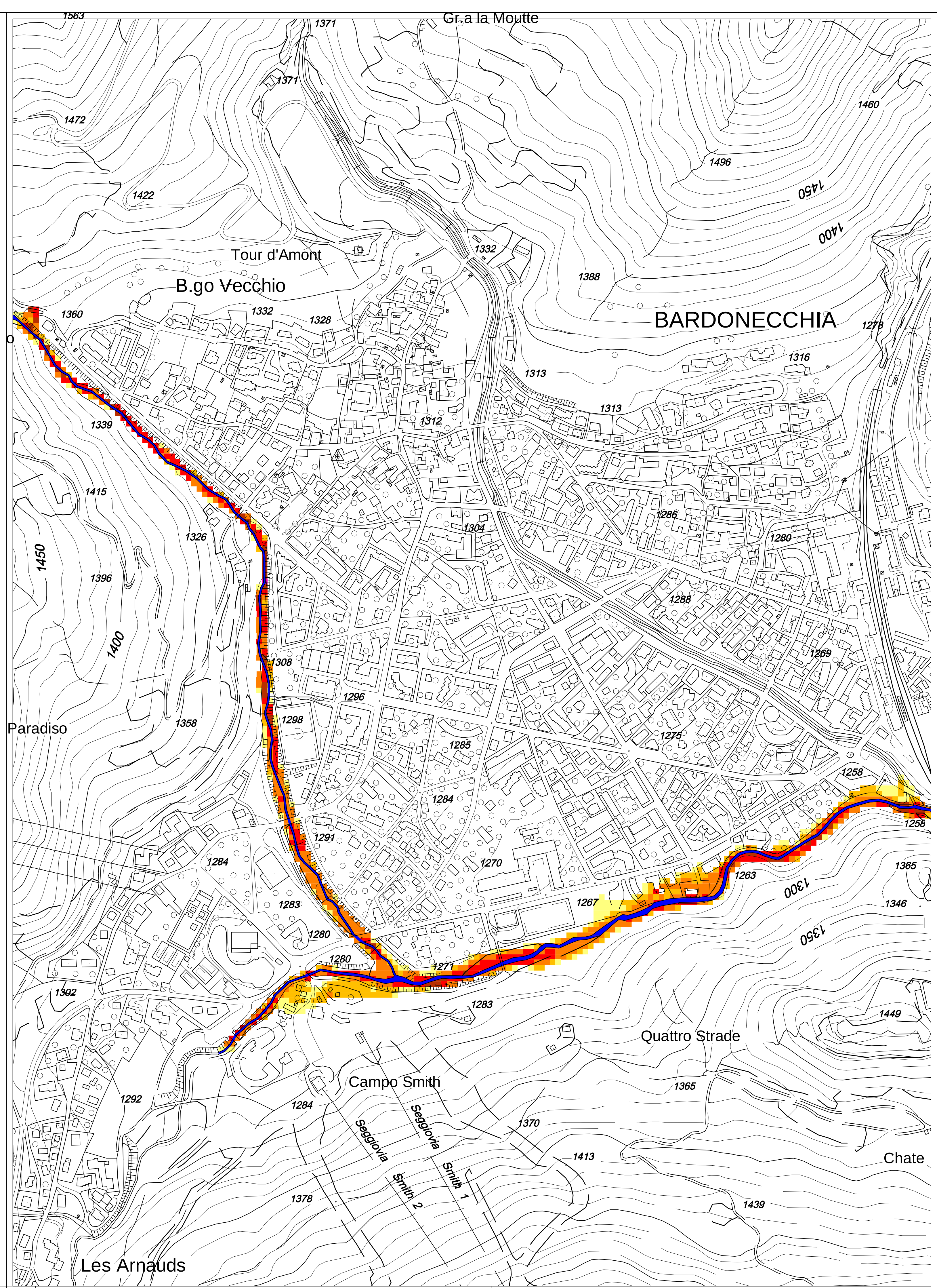
Recupero osservazioni a seguito del colloquio informale tenuto in Regione (05/2014)

Recupero osservazioni a seguito del colloquio informale tenuto in Regione (02/2015)

Il Responsabile del procedimento:

FIRMA

File : IDSI917_2.dwg



File : IDSI917_3.dwg