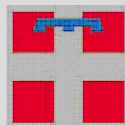




MINISTERO DELLA  
TRANSIZIONE ECOLOGICA



REGIONE  
PIEMONTE

## SITO DI BONIFICA DI INTERESSE NAZIONALE DELLA EX MINIERA DI AMIANTO DI BALANGERO E CORIO

Legge 9 dicembre 1998, n°426

### OPERE DI M.I.S.P. DISCARICA LAPIDEA LATO CORIO E OPERE IDRAULICHE IN T.TE FANDAGLIA. S.I.N. EX MINIERA AMIANTO DI BALANGERO E CORIO

### PROGETTO ESECUTIVO

Tavola		Titolo	
<b>A02</b>		<b>RELAZIONE IDROLOGICO E IDRAULICA</b>	
C.U.P.		Data 10/2021	Scala
Revisione	Descrizione	Data	Redatto
00	Emissione	10/2021	

Committente:



R.S.A. S.r.l. -Via Cave 24 - 10070 Balangero (To)  
Società a capitale pubblico per il risanamento e lo sviluppo  
ambientale dell'ex miniera di amianto di Balangero e Corio  
Tel.: 0123.34.74.52 Fax: 0123.34.74.15  
<http://www.rsa-srl.it> e.mail: [rsa@rsa-srl.it](mailto:rsa@rsa-srl.it)

Progettisti incaricati:



GEO engineering S.r.l.  
Corso Unione Sovietica 560 - 10135 Torino  
Tel.: 011.39.13.194 Fax: 011.34.70.903  
<http://www.geoeng.it>  
e.mail: [info@geoengineering.torino.it](mailto:info@geoengineering.torino.it)

Geol. Edoardo RABAJOLI

GEO engineering S.r.l.  
Iscritto all'Ordine Regionale  
dei Geologi del Piemonte  
Sez. A - n° 80

Ing. Massimo TUBERGA

GEO engineering S.r.l.  
DIRETTORE TECNICO  
Iscritto all'Ordine degli Ingegneri della  
Provincia di Torino n° 5452



0	PREMESSA .....	1
	SEZIONE 1 - RELAZIONE IDROLOGICA .....	3
1	METODOLOGIA DI INDAGINE .....	5
1.1	Acquisizione dei dati .....	5
1.2	Rilievi sul terreno e stato di fatto .....	5
1.2.1	Rio Fandaglia, ramo di valle .....	8
1.2.2	Rio Est .....	12
1.2.3	Impluvio lato Ovest .....	13
1.2.4	Rio Fandaglia, ramo di monte .....	15
2	COMPETENZE AMMINISTRATIVE SUI CORSI D'ACQUA .....	20
3	ASPETTI FISICI DEI BACINI E DEI CORSI D'ACQUA .....	22
3.1	Fisiografia .....	22
3.1.1	Torrente Fandaglia ramo di valle e Rio Est .....	22
3.1.2	Impluvio lato Ovest .....	25
3.1.3	Rio Fandaglia ramo di monte .....	27
3.2	Geologia .....	28
3.3	Permeabilità .....	30
3.4	Uso del suolo .....	31
4	IDROLOGIA .....	34
4.1	Dati idrologici .....	34
4.1.1	Elaborazioni statistiche dei dati pluviometrici .....	34
4.1.2	Linee segnalatrici di probabilità pluviometrica di cui al PAI .....	35
5	METODOLOGIA E CALCOLO DELLE PORTATE DI PIENA .....	36
5.1	Metodo razionale .....	36
6	VALUTAZIONE DELLE PORTATE DI PIENA .....	39
6.1	Tempo di corrivazione .....	39
6.2	Coefficienti di deflusso .....	39
6.3	Altezze di pioggia .....	40
6.4	Portate di progetto .....	40
	SEZIONE 2 - RELAZIONE IDRAULICA .....	43
1	OPERE IDRAULICHE TRASVERSALI .....	45
1.1	Dimensionamento idraulico delle briglie .....	47
1.1.1	Briglie e controbriglie sul Torrente Fandaglia ramo di valle .....	50
1.2	Dimensionamento degli stramazzi .....	51
1.2.1	Vasca impluvio Ovest Ambito 9 .....	53
1.2.2	Vasche Torrente Fandaglia ramo di valle Ambito 10.2 .....	53
2	ANALISI IDRAULICHE IN MOTO PERMANENTE .....	54
2.1	Geometria delle sezioni .....	54
2.2	Valori di scabrezza .....	54
2.3	Simulazione in moto permanente .....	55
2.4	Risultati simulazione in moto permanente .....	60
3	VERIFICA STABILITA' DEL RIVESTIMENTO SPONDALE E DI FONDO .....	62
	ALLEGATI .....	67
	Risultati numerici della simulazione condotta su Hec Ras .....	69
	Profilo .....	71
	Sezioni .....	73

## 0 PREMESSA

La presente relazione è parte integrante del progetto di livello esecutivo delle opere di “MESSA IN SICUREZZA PERMANENTE DELLA DISCARICA LAPIDEA LATO CORIO E OPERE IDRAULICHE NEL TORRENTE FANDAGLIA” all’interno del Sito di Interesse Nazionale della ex miniera di amianto di Balangero e Corio.

Lo studio ha previsto dapprima un’indagine idrologica per la definizione della portata di progetto per diversi tempi di ritorno sui diversi bacini oggetto di studio.

Associati a tali indagini sono stati eseguiti una serie di rilievi topografici di dettaglio aventi l’obiettivo di consentire la ricostruzione geometrica dei settori di alveo dei corsi d’acqua oggetto del presente studio.

Successivamente, con riferimento alla situazione di progetto, sono state condotte le opportune verifiche idrauliche con l’impiego di modelli numerici monodimensionali in moto permanente, al fine di verificare i livelli idrometrici connessi al deflusso delle piene calcolate, riferiti al nuovo assetto geometrico dei settori oggetto di interventi di sistemazione.

Nel seguito nella “Sezione 1 – Relazione idrologica” sono esposti la metodologia di lavoro adottata per la definizione delle portate di progetto e i risultati a cui si è pervenuti, mentre nella “Sezione 2 – Relazione idraulica” sono esposti i risultati dei modelli monodimensionali in moto permanente analizzati





## **SEZIONE 1 – R LAZIONE IDROLOGICA**



# 1 METODOLOGIA DI INDAGINE

## 1.1 Acquisizione dei dati

Lo studio si è sviluppato, per la fase di inquadramento generale e di definizione dei dati idrologici di progetto, attraverso la ricerca di studi pregressi e la consultazione del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI), quali *Interventi sulla rete idrografica e sui versanti*, *Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica*, *Allegato 3: Distribuzione spaziale delle precipitazioni intense - Parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni*.

Per quanto concerne l'adozione della cartografia necessaria agli opportuni inquadramenti territoriali di rappresentazione ci si è avvalsi:

- della base topografica in scala 1:10.000 della Carta Tecnica Regionale del Piemonte, in particolare delle sezioni 134060, 134070, 134100, 134110;
- della base topografica in scala 1:5.000 della Carta Tecnica Provinciale, in particolare delle sezioni 212050, 212060, 212070, 212090, 212100, 212110, 212130, 212140, 212150, 229010, 229020;
- tavoletta IGM scala 1:25.000 – Geoportale Nazionale
- Ortofoto colore 2000 – Geoportale Nazionale

dove sono rappresentati i settori in studio, situati in comune di Corio, sul lato nord-orientale della discarica.

## 1.2 Rilievi sul terreno e stato di fatto

Per le verifiche di tipo idraulico si è fatto riferimento ai rilievi topografici di dettaglio condotti nell'inverno del 2015, a caratterizzare e dettagliare i settori d'alveo direttamente coinvolti dalla progettazione, oltre a definire una serie di sezioni trasversali dei corsi d'acqua oggetto di studio, rappresentative dello stato attuale dei luoghi e rilevate con passo variabile, opportunamente infittite in corrispondenza dei manufatti di condizionamento del deflusso esistenti.

Relativamente al reticolo idrografico consolidato occorre osservare come questo sia stato nel tempo oggetto di modifiche antropiche non marginali, direttamente connesse allo sviluppo del sito minerario. In particolare l'assetto idrografico preesistente risulta

rappresentato nell'estratto cartografico IGM antecedente all'edificazione del corpo di discarica (Tavoletta IGM 1966), successivamente sovrapposto alla vista aerea del sito ad attività conclusa (aerea b/n 1988). Di fatto si osserva l'obliterazione della testata della valle del Rio del Prato a Est del M. S. Vittore e del rio di fondovalle (la testata del Rio Fandaglia) che trae le sue origini a valle della località Cudine. Tale modificazione fu risolta nel 1975 per il ramo proveniente da Cudine con la realizzazione di un canale in artificiale a deviare le acque verso settentrione con recapito alla valle del Rio Fornaci in un settore compreso tra Case Vergon a Nord e località Berchera a Sud.

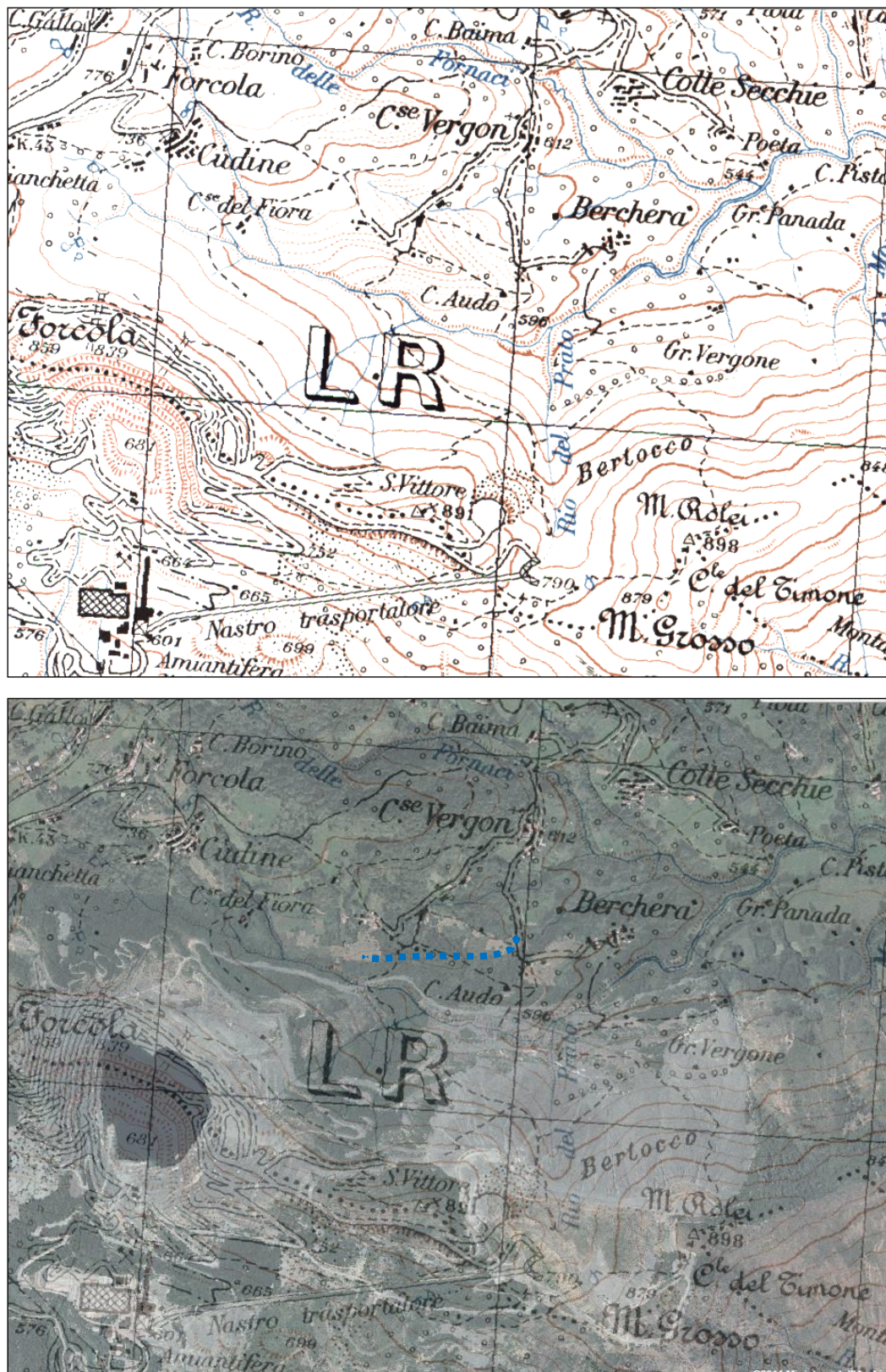
Con tale modificazione l'originario alveo del Rio Fandaglia è stato suddiviso in due tronchi di cui quello a monte afferente al bacino del Rio Fornaci posto poco più a nord. Le acque si ricongiungono poi a valle del sito minerario.

Alla testata del canale in artificiale furono inoltre convogliate le acque del settore settentrionale (occidentale) del sito minerario con inserimento di un bacino di sedimentazione prima del riversamento verso il bacino idrografico del Rio Fornaci. Non si ha notizia della risoluzione delle problematiche connesse all'obliterazione dei Rio del Prato la cui vallecchia fu probabilmente colmata "tout court" da monte verso valle e da sinistra verso destra come peraltro si può già rilevare dall'estratti IGM di metà degli anni '60 riportato nella figura seguente.

Nel dettaglio lo studio ha previsto l'analisi di quattro impluvi (riportati nell'immagine 2):

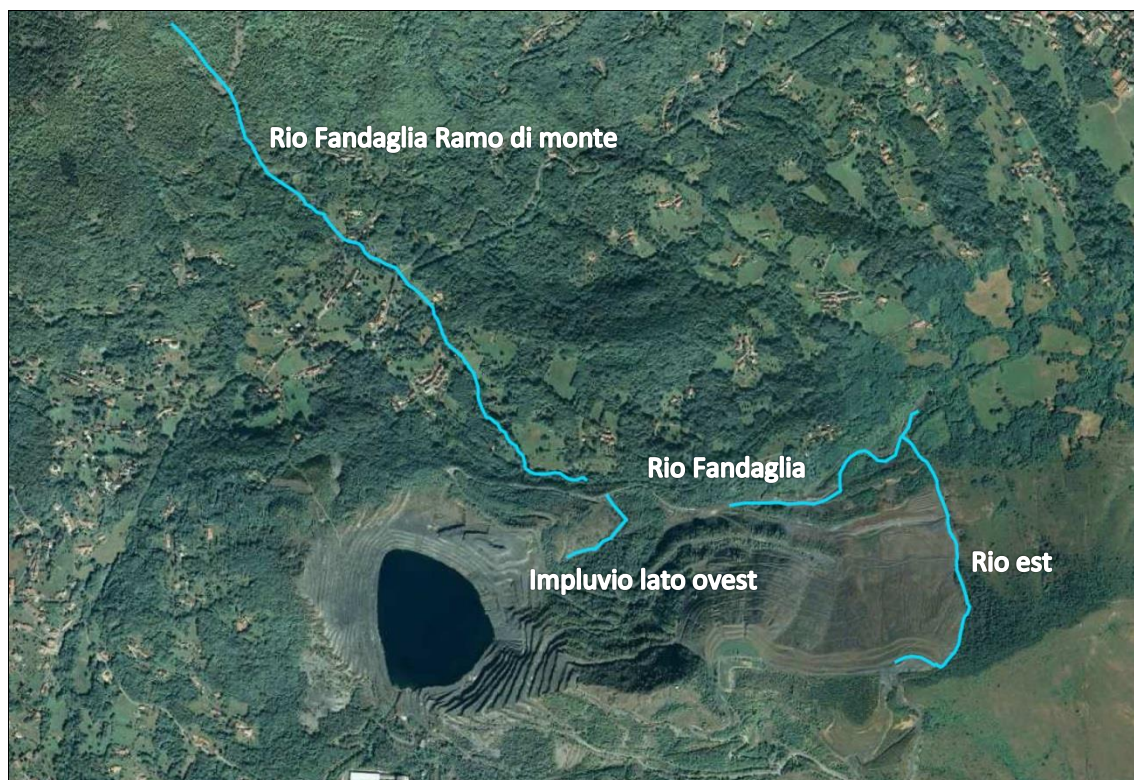
- Rio Fandaglia, ramo di valle - sottobacino 1
- Rio Est - sottobacino 4
- Impluvio lato Ovest - sottobacino 2
- Rio Fandaglia, ramo di monte - sottobacino 3

Di seguito si riportano alcune fotografie relative allo stato di fatto, ad evidenziare la morfologia dei settori in esame all'interno del presente studio ed indirizzare la progettazione delle opere di sistemazione idraulica.



**Figura 1:** Estratto tavoletta IGM e sua sovrapposizione allo stato dei luoghi al 2000 (Geo Portale nazionale) in tratteggio azzurro la deviazione operata sulla rete idrografica





**Figura 2:** Ortofoto 2010 Regione Piemonte dei settori in studio. In azzurro le linee di deflusso oggetto di studio (fonte: Geoportale Piemonte)

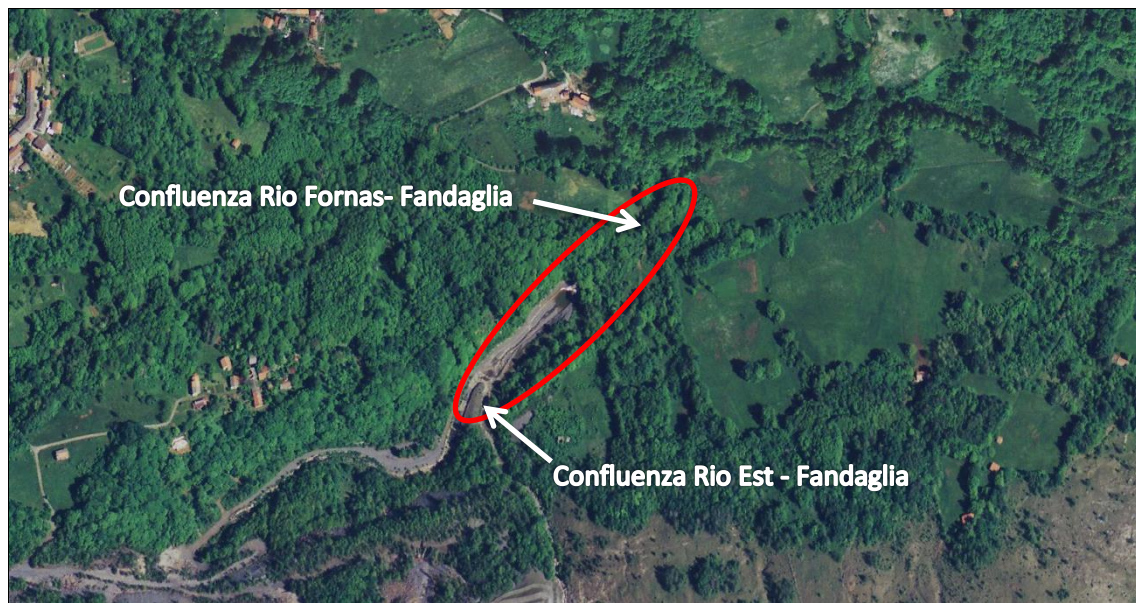
### 1.2.1 Rio Fandaglia, ramo di valle

Tale settore del Rio Fandaglia è compreso tra la confluenza a monte con il Rio Est ed il guado in corrispondenza della confluenza con il Rio Fornaci a valle.

L'asta torrentizia è stata oggetto negli anni di interventi di sistemazione a modificarne localmente la pendenza del fondo (riducendola) e consentire un rallentamento della corrente con formazione di una piazza di deposito sul limite orientale del sito minerario. Lungo il tratto in esame si evidenzia la presenza di un bacino di calma e sedimentazione delle acque aventi portate ordinarie, delimitato da una staccionata in legno, collocato circa 30 metri a monte della briglia di trattenuta.

In regime di piena ordinaria l'acqua scarica da tale vasca artificiale e passa sulla gaveta della briglia di trattenuta in c.a., il cui pettine è costituito da travi HE in acciaio e che in condizioni di piena straordinaria ha il compito di trattenere il materiale di grossa pezzatura e vegetale trasportato dalla corrente ed impedire che tale materiale si veicoli verso valle.





**Figura 3:** In rosso il settore di Torrente Fandaglia oggetto di analisi (fonte: Geoportale Nazionale – ortofoto 2006)



**Figura 4:** Vista da valle del tratto di Torrente Fandaglia in studio. A monte è presente una briglia selettiva in c.a.





**Figura 5:** Vista da monte del tratto di Torrente Fandaglia in studio. A valle, in corrispondenza del tronco posto trasversalmente alla sezione è presente il guado sul rio.



**Figura 6:** Confluenza tra il Rio Fornaci e il Torrente Fandaglia in prossimità del guado.





**Figura 7:** Il bacino di calma del Torrente Fandaglia alle spalle della briglia in c.a.



**Figura 8:** Vista del bacino di calma del Torrente Fandaglia a monte della briglia esistente



**Figura 9:** Particolare del pettine della briglia e della sistemazione del fondo per lo scarico delle acque dalla vasca di calma.





**Figura 10:** Particolare della sistemazione a salti del fondo a valle della briglia

### 1.2.2 Rio Est

Il Rio Est risulta porsi in corrispondenza del limite orientale del sito di discarica del materiale di lavorazione del sito minerario. Si tratta di un affluente destro del Rio Fandaglia. L'alveo risulta caratterizzato dalla sistemazione del tratto finale della sezione di deflusso, eseguita modificando la pendenza del fondo con l'inserimento, trasversalmente all'alveo, di briglie in legname e pietrame aventi larghezza della gaveta variabile tra i 6,00 e i 7,00 m.



**Figura 11:** In rosso il settore di Rio Est oggetto di analisi (fonte: Geoportale Nazionale – ortofoto 2006)





**Figura 12:** Confluenza del Rio Est con il Torrente Fandaglia



**Figura 13:** Vista da valle del Rio Est

### 1.2.3 Impluvio lato Ovest

L'impluvio lato Ovest raccoglie le acque che scendono dal versante posto a nord-est del lago della cava, in corrispondenza del lato occidentale del sito di discarica, concentrandosi, tramite una modificazione antropica del deflusso originario, in una depressione sita a monte della pista esistente.

Da qui le acque passano attraverso una tubazione in c.a. a valle della pista e vengono recapitate in una vasca di sedimentazione che alimenta la testata del Rio Fandaglia.

Tale impluvio scorre in sezione naturale sino alla depressione di raccolta delle acque dove è confinato da muri in calcestruzzo in destra idrografica ed in corrispondenza



della testata di imbocco della tombinatura, la quale ha un dislivello di 8-10 m rispetto al piano della pista esistente.



**Figura 14:** In azzurro il limite superiore dell'impluvio lato Ovest oggetto di analisi (fonte: Geoportale Nazionale – ortofoto 2006)



**Figura 15:** Settore finale dell'impluvio lato Ovest, dove si concentrano le acque drenate dal bacino. In evidenza l'imbocco della tombinatura in c.a.

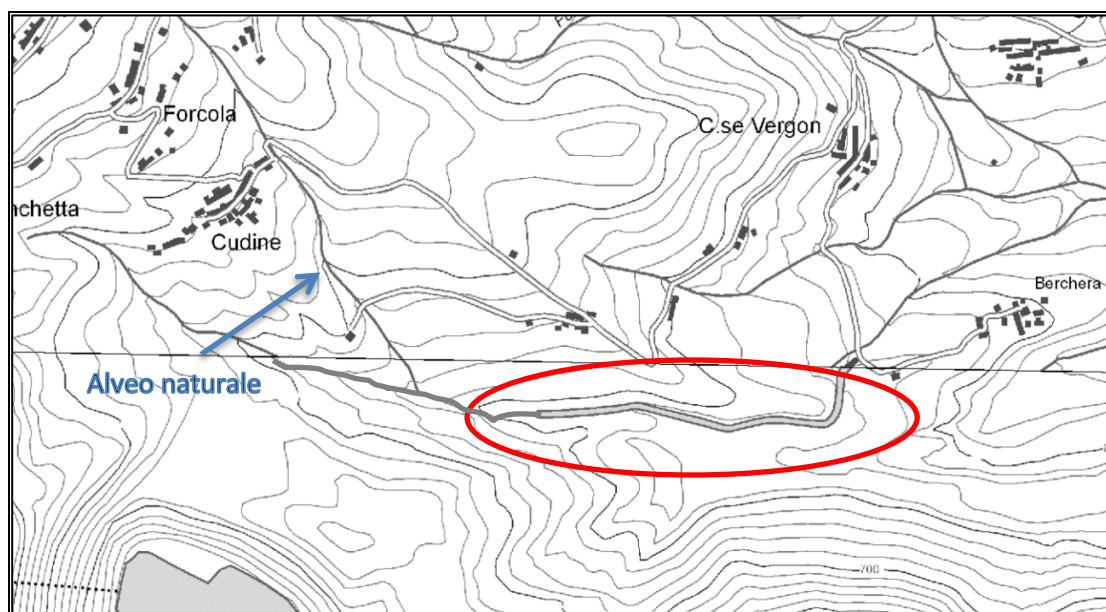




**Figura 16:** Impluvio lato Ovest a monte dell'attraversamento tombinato della pista esistente

#### 1.2.4 Rio Fandaglia, ramo di monte

Il corso d'acqua all'altezza del sito di discarica risulta convogliato a un canale artificiale (Figura 17) costruito nel 1975 per deviare le acque dall'alveo del Fandaglia verso nord con recapito al bacino del Rio delle Fornaci, in un settore compreso tra Case Vergon a Nord e località Berchera a Sud e confluisce in esso circa 150 m a valle di Case Fiorio.



**Figura 17:** In rosso il canale artificiale di deviazione delle acque del T. Fandaglia (Geoportale del Piemonte – Sfondo cartografico Piemonte)





**Figura 18:** In azzurro un tratto del Rio Fandaglia, ramo di monte oggetto di analisi; in rosso il settore di fondovalle dove sono presenti le opere di sedimentazione della corrente (fonte: Geoportale Nazionale – ortofoto 2006)

A monte del tratto canalizzato, il Rio mantiene nel complesso la sua naturalità, eccezion fatta per i tratti in cui sono presenti attraversamenti e tombinature, risultando caratterizzato da andamento monocursale e sinuoso.

In corrispondenza del tratto finale invece, il corso d'acqua perde la propria naturalità a causa degli interventi di sistemazione idraulica esistenti.

Nel dettaglio sono presenti una serie di manufatti idraulici in calcestruzzo atti a consentire il rallentamento delle acque contaminate dalle fibre di amianto provenienti dai settori di monte della discarica (nel caso si tratta delle acque raccolte dall'impluvio lato Ovest di cui sopra), la raccolta di esse all'interno di una vasca di sedimentazione ed il successivo rilascio all'interno del canale artificiale di deviazione delle acque dal bacino del Torrente Fandaglia a quello del Rio Fornaci.



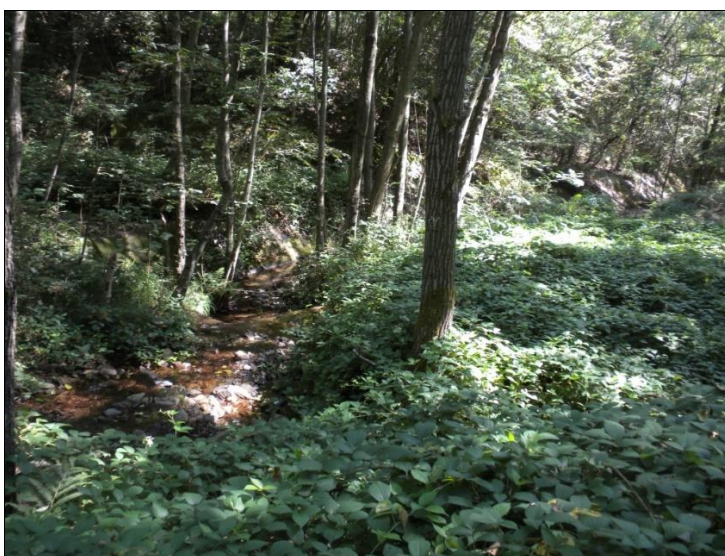




**Figura 19:** Due viste d'insieme della vasca di sedimentazione



**Figura 20:** Vista frontale del bacino di sedimentazione posto alla testata del canale artificiale di deviazione delle acque verso il Rio Fornaci.



**Figura 21:** Il Rio Fandaglia, ramo di monte nel tratto in cui affianca la vasca di sedimentazione per poi proseguire nel canale artificiale di deviazione delle acque verso il R. Fornaci





**Figura 22:** La briglia in calcestruzzo posta trasversalmente all'alveo del Rio Fandaglia all'inizio del tratto canalizzato



**Figura 23:** Particolare della briglia esistente

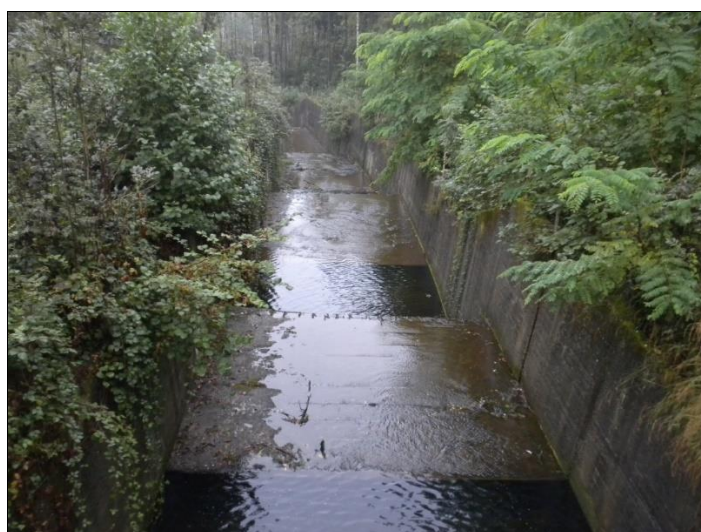
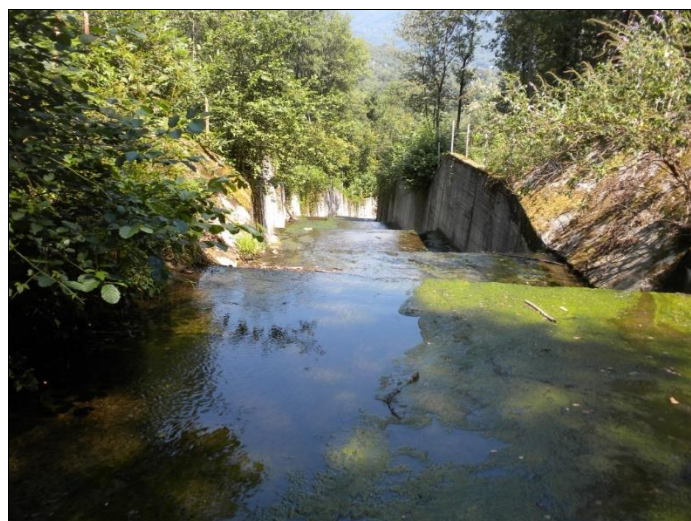


**Figura 24a:** Il canale artificiale di deviazione delle acque verso il Rio Fornaci





**Figura 25b:** Altro scorcio del canale artificiale di deviazione delle acque verso il Rio Fornaci – tratto immediatamente a valle della vasca di sedimentazione

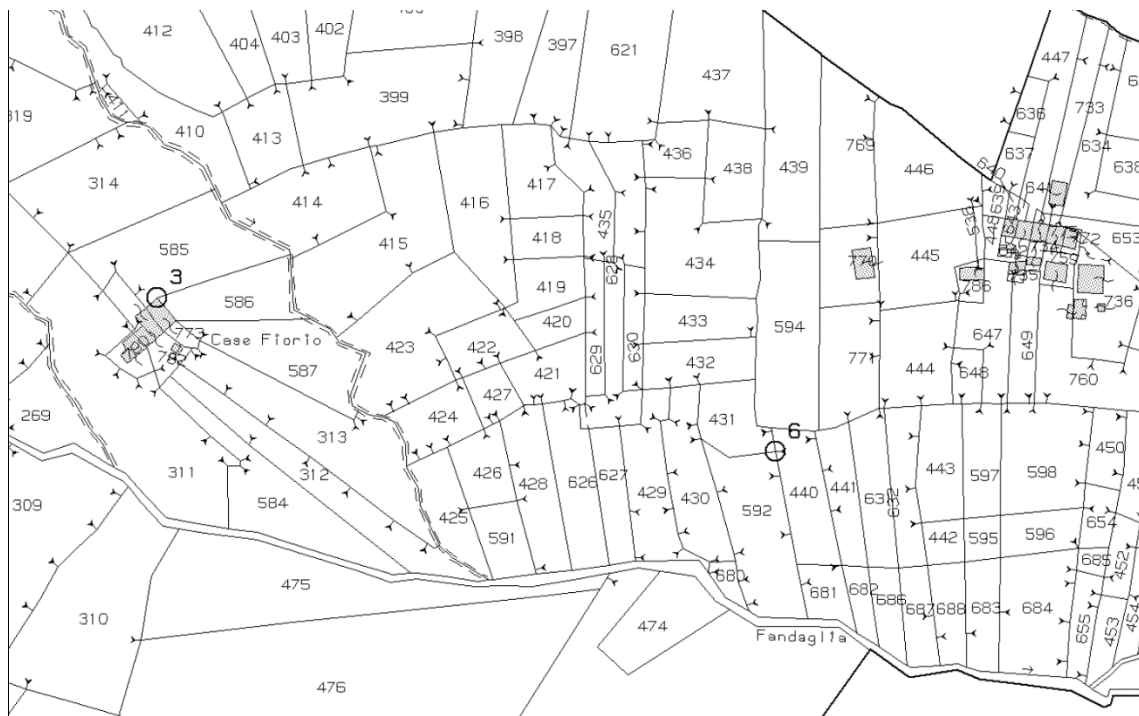


**Figura 26:** Due viste del canale artificiale di deviazione delle acque verso il Rio Fornaci – prosecuzione della deviazione verso località Berchera.

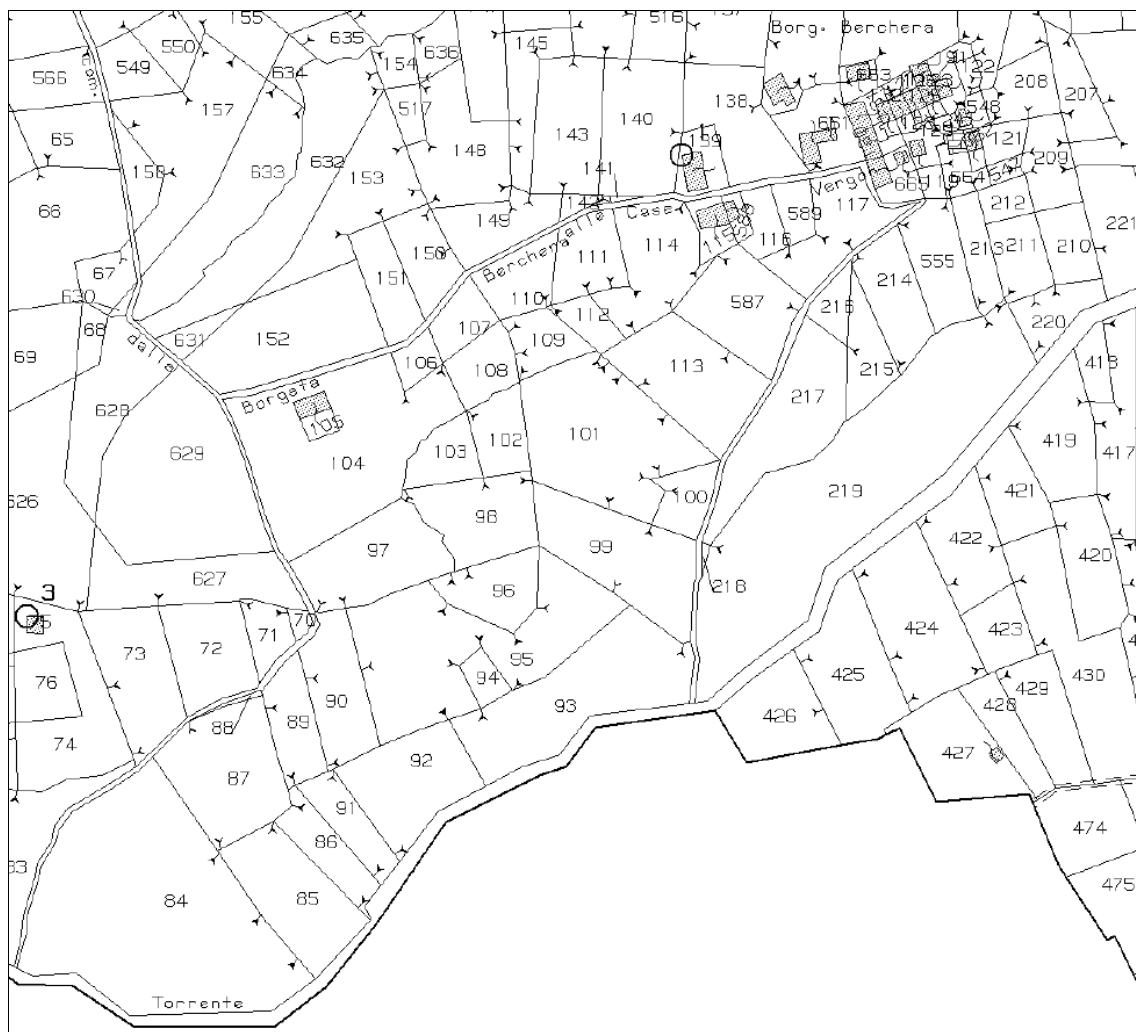
## 2 COMPETENZE AMMINISTRATIVE SUI CORSI D'ACQUA

Le opere in progetto andranno ad interferire con l'alveo del Torrente Fandaglia, catastalmente censito come acqua pubblica, per cui gli interventi sono sottoposti ai vincoli di cui al R.D. 523/1904 in tema di acque pubbliche **con competenza attribuita alla Regione Piemonte Settore Decentrato OO.PP. di Torino.**

Gli estratti catastali evidenziano con la doppia linea il T. Fandaglia, mentre il Rio Est e l'impiuvio lato Ovest, così denominati dagli scriventi con riferimento alla loro collocazione nell'ambito d'intervento, non sono censiti come acque pubbliche.



**Figura 27:** Estratto catastale Foglio 46 Comune di Corio – Settore di deviazione



**Figura 28:** Estratto catastale Foglio 45 Comune di Corio – In evidenza l'andamento del Torrente Fandaglia nei pressi di località Berchera.

### **3 ASPETTI FISICI DEI BACINI E DEI CORSI D'ACQUA**

#### **3.1 Fisiografia**

Le opere previste andranno ad interessare in modo diffuso un settore di versante esposto a settentrione compreso tra la dorsale con asse W-E da Bric. Forcola (859 m s.l.m.m) verso M.te S. Vittore (891 m s.l.m.m) a M. Rolei (898 m s.l.m.m) e il fondovalle del Rio Fandaglia in territorio del comune di Corio (TO). Quest'area fu fortemente modificata nella sua morfologia originaria nel periodo che va dal 1970 al 1990 dalla messa a dimora degli sterili di lavorazione ed estrazione dei materiali amiantiferi, come meglio specificato nella relazione generale di progetto.

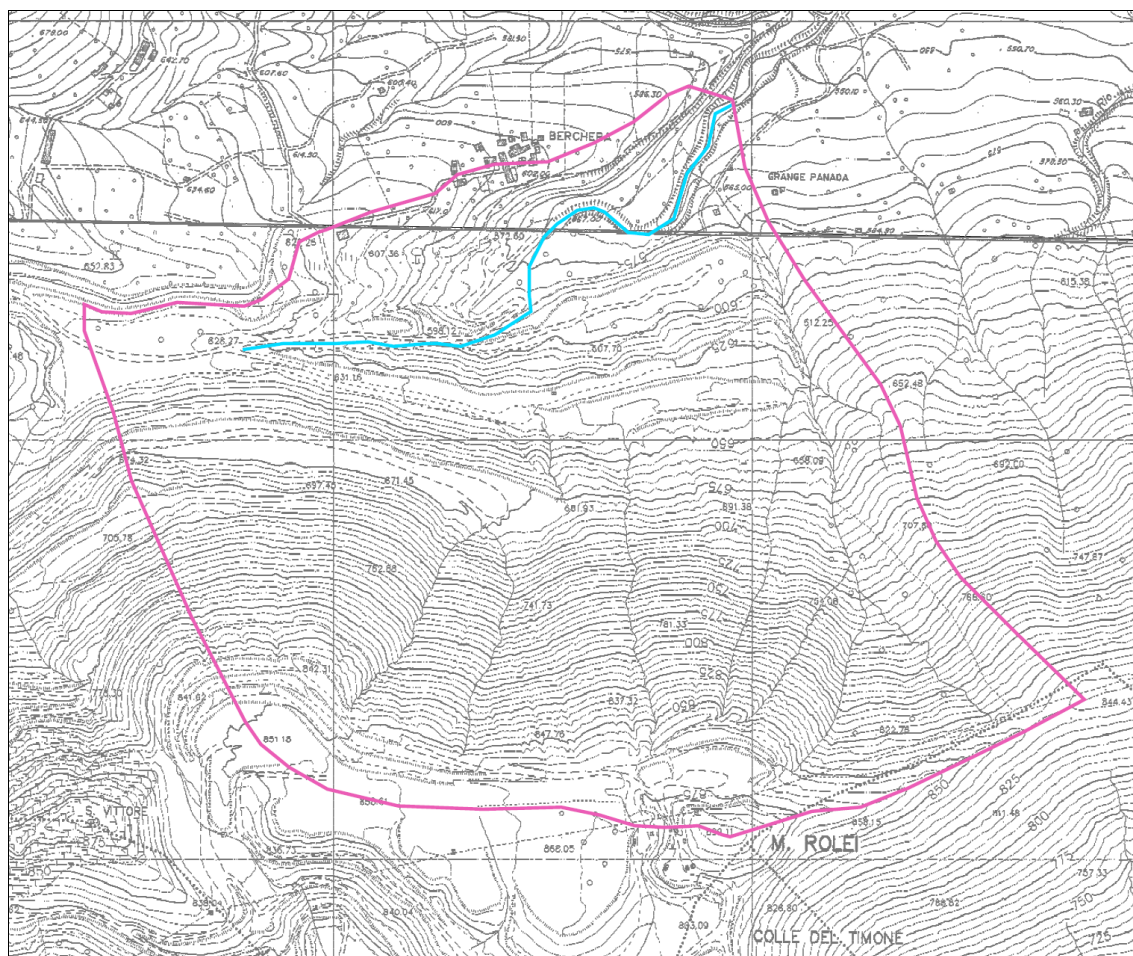
##### **3.1.1 Torrente Fandaglia ramo di valle e Rio Est**

Il Torrente Fandaglia è un affluente destro del Torrente Malone; nasce dalle pendici sud-orientali del Pian di Rossa (1307,30 m s.l.m.) in comune di Corio e, con andamento NW-SE decorre alla sinistra della frazione Cudine. Passa quindi tra il capoluogo comunale e l'amiantifera di Balangero e attraversa il pianalto della Vauda, transitando per i territori comunali di Rocca Canavese, Barbania e Vauda Canavese. Va a confluire nel Malone poco a nord di Front, ad una quota pari a circa 270 m s.l.m.

Il bacino delimitato nel presente studio ha la sezione di chiusura posta a sud di Case Berchera, circa 170 m a monte della confluenza con il Rio delle Fornaci (catastalmente censito come Rio Fornas) e drena ora le sole acque le acque che provengono dal lato nord-est della discarica, sul versante settentrionale del M. Rolei (899,11 m s.l.m.).

L'andamento attuale del Fandaglia, di tipo monocursale, è condizionato da una serie di interventi esistenti a carico delle sponde e dell'alveo a contenerlo lungo la pista della discarica ed impedirne la divagazione, al fine di consentire il rallentamento della corrente e la deposizione di parte dei residui delle lavorazioni dell'ex cava potenzialmente mobilizzabili in fase di piena.



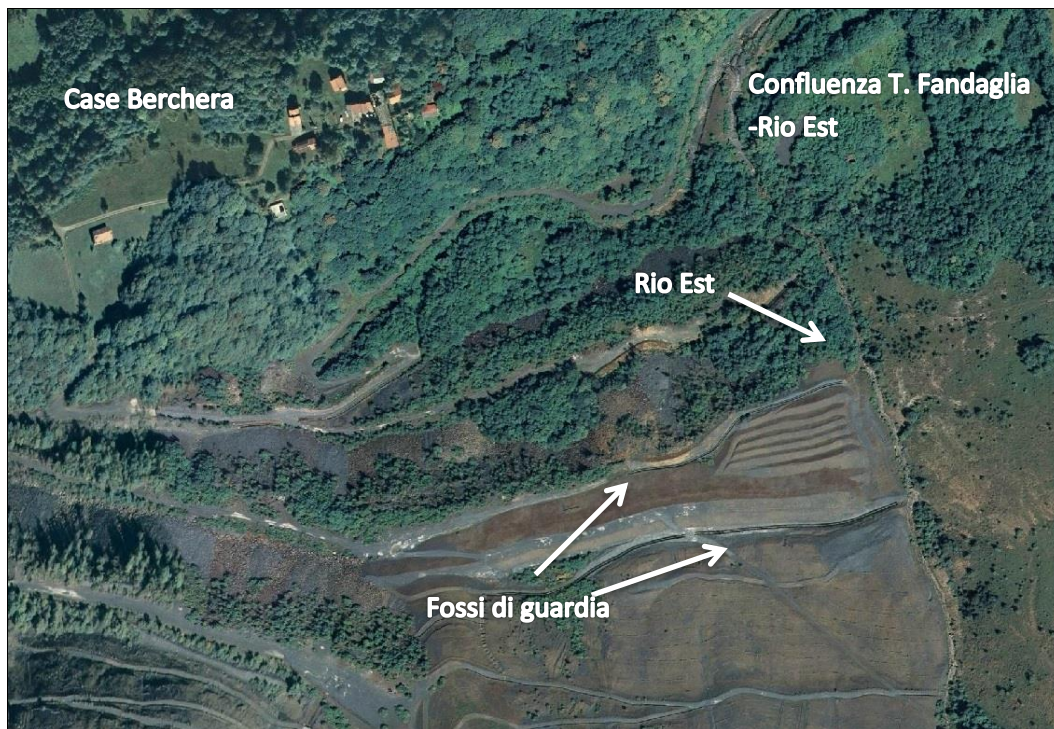


**Figura 29:** Il bacino del Torrente Fandaglia delimitato e l'asta torrentizia su CTP 1:5000 – sezioni 134114 e 134073

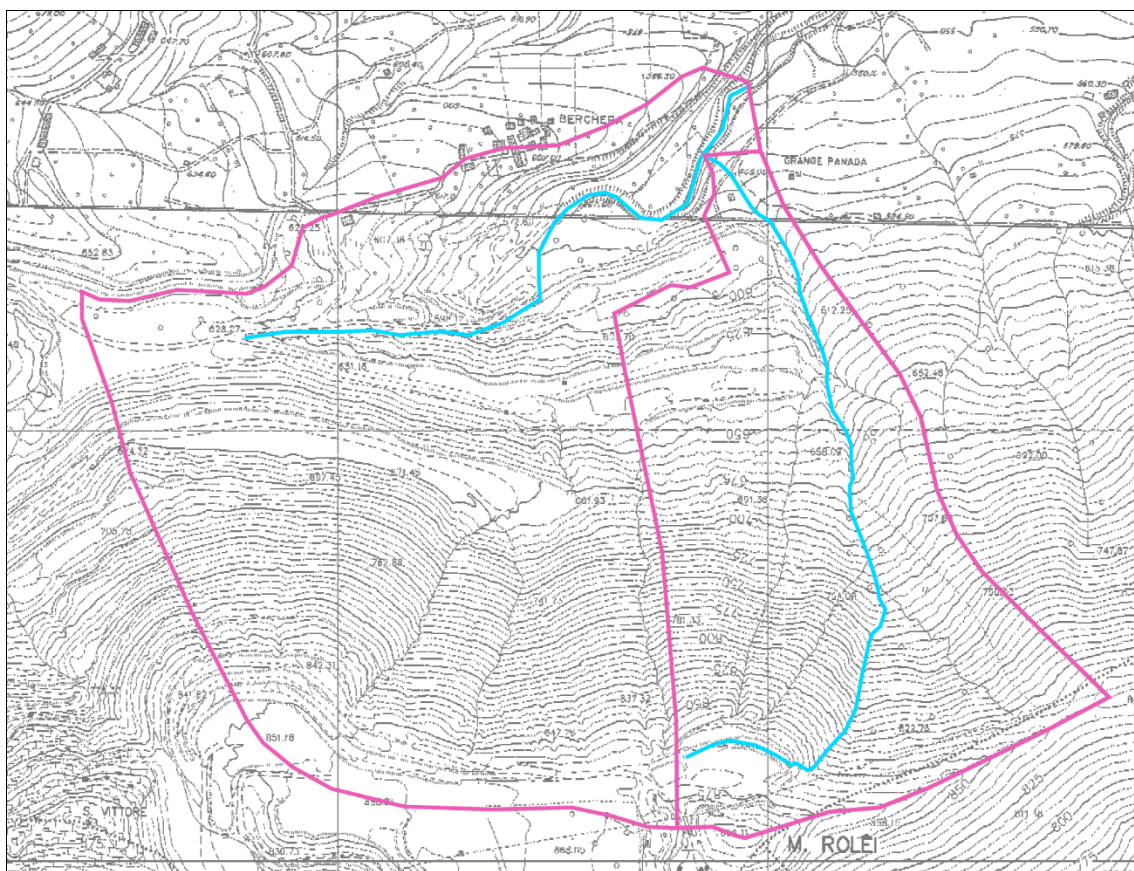
Dal punto di vista della copertura del suolo il bacino è caratterizzato principalmente da due macrocategorie di superfici: le superfici forestali, situate sul fondovalle del Fandaglia e sul versante orientale del M. Rolei, esterne al limite di scarica e le aree antropizzate, comprendenti tutte le zone dell'amiantifera rimaneggiate, interessate dal deposito degli scarti di lavorazione del sito minerario.

Si segnala la presenza di un tributario in destra idrografica, denominato Rio Est, il quale raccoglie le acque di corrivazione provenienti dal settore orientale del bacino del Fandaglia. Tale linea di corrivazione scende dalla testata del sottobacino con direzione S-N e delimita l'area di scarica lato Corio. Ad essa afferiscono le acque raccolte da alcuni canali di guardia connessi alle opere di consolidamento del piede di scarica realizzati nel recente passato.





**Figura 30:** La parte terminale del Rio Est alla confluenza con il Fandaglia (Geoportale Piemonte – ortofoto 2010).



**Figura 31:** Il bacino del Torrente Fandaglia e il sottobacino del Rio Est

Di seguito si riportano i parametri del bacino del Torrente Fandaglia e del sottobacino del Rio Est in analisi.

Parametri del bacino			
<i>Superficie bacino</i>	$S$	0.65	km <sup>2</sup>
<i>Altitudine massima</i>	$H_{\max}$	877.0	m s.l.m.
<i>Altitudine media</i>	$H_m$	710.7	m s.l.m.
<i>Quota sez. di chiusura</i>	$H_0$	550.0	m s.l.m.
<i>Lunghezza asta principale</i>	$L_{ap}$	0.79	km
<i>Pendenza media asta</i>	$i_m$	9.4	%

**Tabella 1:** Parametri del bacino del Torrente Fandaglia

Parametri del bacino			
<i>Superficie bacino</i>	$S$	0.24	km <sup>2</sup>
<i>Altitudine massima</i>	$H_{\max}$	899.1	m s.l.m.
<i>Altitudine media</i>	$H_m$	729.6	m s.l.m.
<i>Quota sez. di chiusura</i>	$H_0$	556.0	m s.l.m.
<i>Lunghezza asta principale</i>	$L_{ap}$	0.96	km
<i>Pendenza media asta</i>	$i_m$	29.1	%

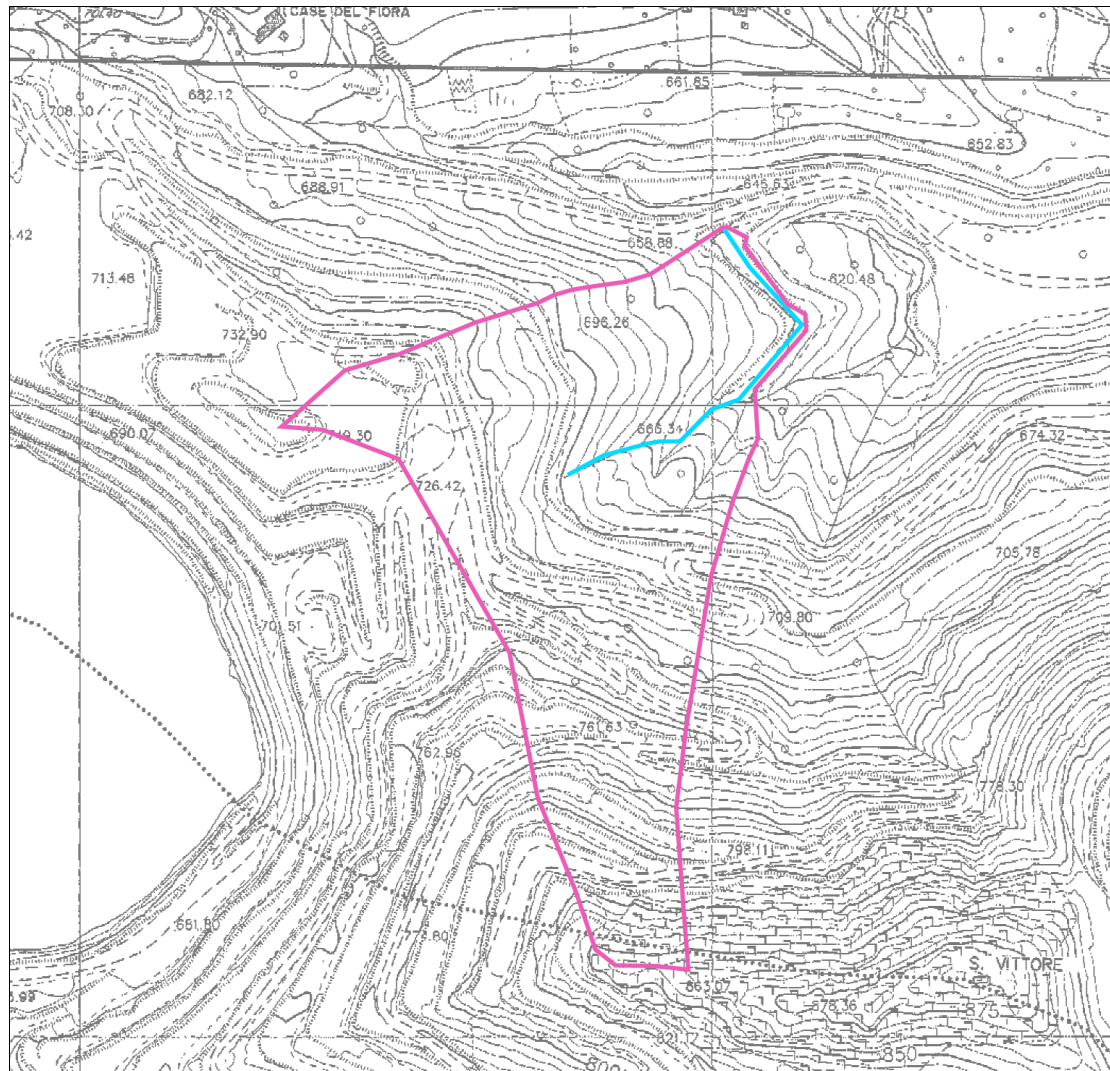
**Tabella 2:** Parametri del sottobacino del Rio Est

### 3.1.2 Impluvio lato Ovest

Il bacino delimitato è di ridotte dimensioni e drena le acque di una porzione del versante nord-orientale della discarica lato Corio; esso si sviluppa a partire dal M. S. Vittore e con andamento S-N arriva alla sezione di chiusura, posta ai piedi della scarpata che delimita la pista esistente, immediatamente a monte, in corrispondenza dell'imbocco dell'attraversamento tombinato.

Il tracciato dell'impluvio è monocursale e schematizzabile come rettilineo; alla quota 650 m l'alveo accentua la propria curvatura verso sinistra, conseguente all'intervento antropico, per poi arrivare alla sezione di chiusura seguendo la direzione SE-NW.





**Figura 32:** Il bacino dell'impluvio lato Ovest delimitato e l'asta torrentizia su CTP 1:5000 – sezione 134114

Anche in questo caso, il suolo del bacino è prevalentemente caratterizzato da superfici modellate artificialmente e derivanti dalle lavorazioni della cava.

Le caratteristiche morfometriche del bacino sono di seguito riportate.

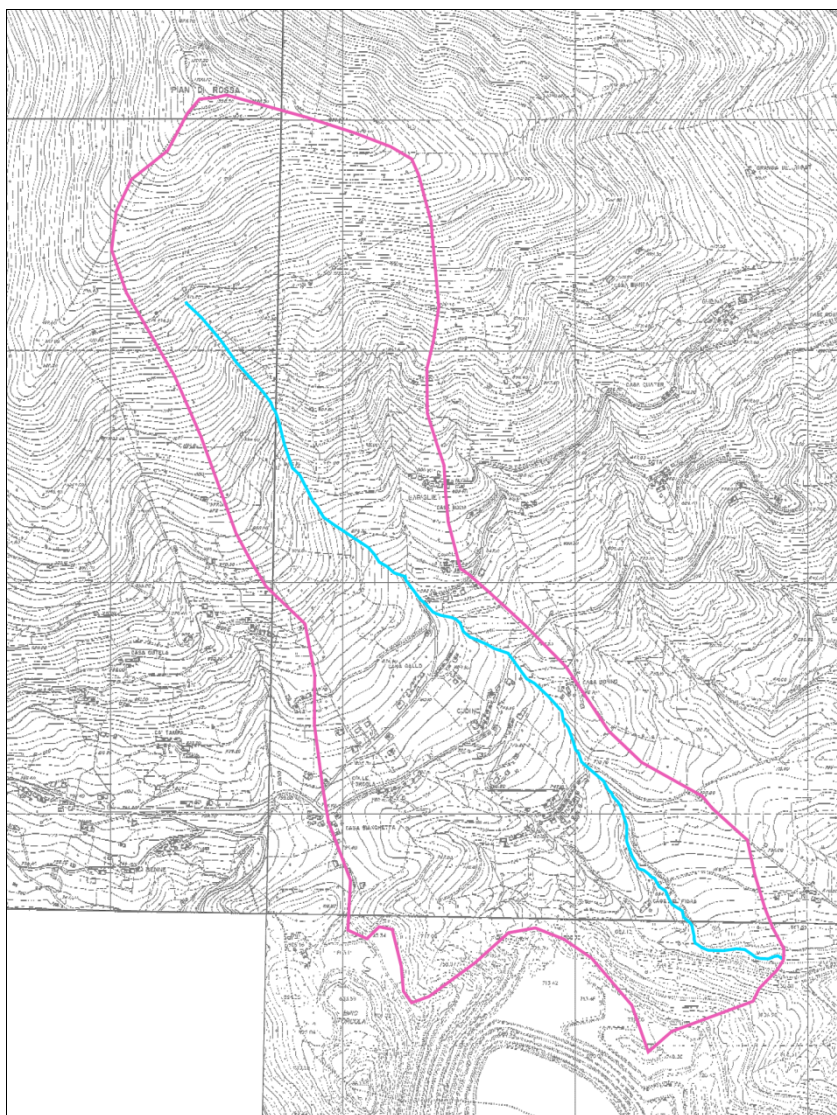
Parametri del bacino			
Superficie bacino	S	0.10	km <sup>2</sup>
Altitudine massima	H <sub>max</sub>	860.0	m s.l.m.
Altitudine media	H <sub>m</sub>	723.1	m s.l.m.
Quota sez. di chiusura	H <sub>0</sub>	650.0	m s.l.m.
Lunghezza asta principale	L <sub>ap</sub>	0.33	km
Pendenza media asta	i <sub>m</sub>	21.1	%

**Tabella 3:** Parametri del bacino dell'impluvio lato Ovest

### 3.1.3 Rio Fandaglia ramo di monte

Tale sta torrentizia tra le sue origini dal Pian di Rossa ad una quota pari a circa 1125 m s.m.m. ed il suo tracciato ha andamento NW – SE, monocursale e leggermente sinuoso.

La dorsale occidentale del bacino è delimitata dallo spartiacque con la valle del Bana, mentre ad est è delimitato dalla dorsale che dal Pian di Rossa scende verso Garigliet, Carol e Casa Borino, sino alla sezione di chiusura posta all'altezza del canale artificiale di deviazione dell'alveo verso la vallecola del Rio Fornaci.



**Figura 33:** Il bacino del ramo di monte del Rio Fandaglia su CTP 1:5000 – sezione 134114 – 134073 - 134062

Circa la copertura del suolo, tale bacino risulta essere meno antropizzato rispetto ai precedenti analizzati, anche perché solo in corrispondenza della sezione di chiusura

sono compresi settori dell'amiantifera. Si segnalano tuttavia la presenza di una serie di borgate, nuclei abitativi ed infrastrutture stradali nel settore mediale del bacino. Le restanti superfici sono coperte da superfici forestali e prato/pascoli.

Le caratteristiche del bacino sono le seguenti.

Parametri del bacino			
<i>Superficie bacino</i>	S	1.18	km <sup>2</sup>
<i>Altitudine massima</i>	H <sub>max</sub>	1306.3	m s.l.m.
<i>Altitudine media</i>	H <sub>m</sub>	904.1	m s.l.m.
<i>Quota sez. di chiusura</i>	H <sub>0</sub>	643.0	m s.l.m.
<i>Lunghezza asta principale</i>	L <sub>ap</sub>	2.05	km
<i>Pendenza media asta</i>	i <sub>m</sub>	21.4	%

**Tabella 4:** Parametri del bacino del Rio Fandaglia ramo di monte

### 3.2 Geologia

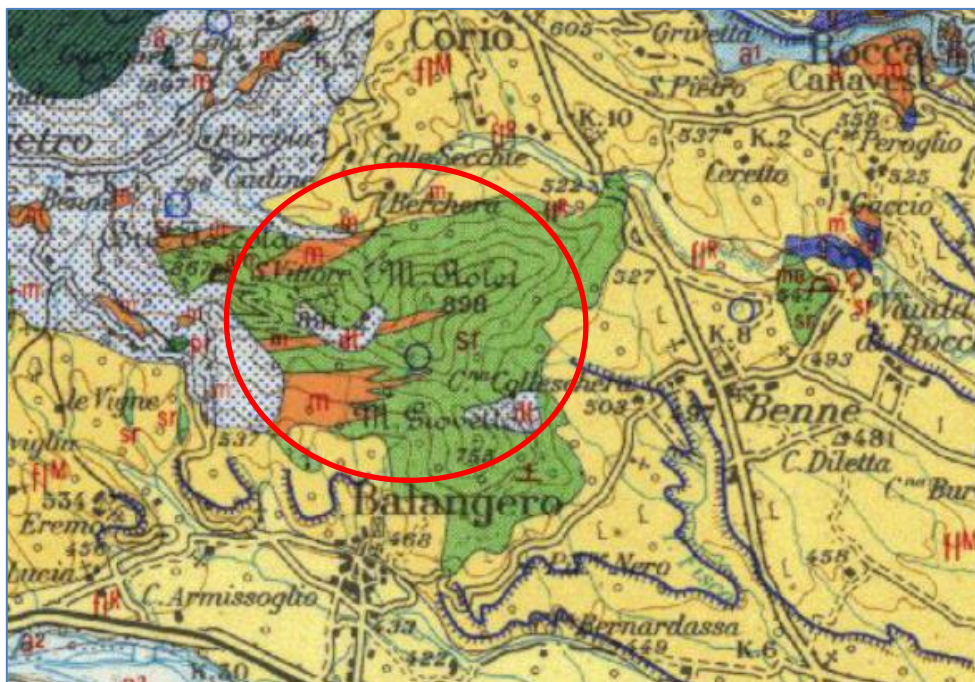
Da un punto di vista geo-strutturale i rilievi nell'ambito dei quali si sviluppano le aste torrentizie di interesse risultano modellati nell'ambito di un substrato di origine metamorfica ascrivibile alle rocce serpentitiche del Massiccio Ultrabasico di Lanzo, implicate in una struttura a "megapiegia" con asse Est-Ovest nella zona di contatto con i micascisti della Zona Sesia – Lanzo, di pertinenza Austroalpina.

Il contatto tettonico tra le due unità risulta esposto nel geosito di elevato interesse naturalistico lungo l'affioramento sul versante orientale del Monte Vittore, aggettante sullo specchio lacustre della cavità estrattiva dismessa

Verso valle il substrato cristallino si interdigita con i depositi fluvioglaciali del pleistocene costituenti i lembi relitti della antica conoide dello Stura di Lanzo.

Tali depositi, caratterizzati da un paleosuolo rossastro di natura limo argillosa fortemente forfettizzato, risultano costituiti da ciottoli e ghiaie spesso fortemente alterate, immersi in una matrice limosa di colore bruno rossastro.





Depositi quaternari	
	Depositi fluvio-glaciali con paleosuolo argilloso rossastro di spessore oltre a 5 metri ("ferretto") ("Mindel")
	Depositi fluvio-glaciali con paleosuolo rosso-arancio ("Riss")
Substrato roccioso	Zona Sesia-Lanzo
	Micascisti, cloritoscisti e gneiss minuti
Substrato roccioso	Massiccio Ultrabasico di Lanzo
	Serpentiniti (s), Lherzoliti (Ω) più o meno serpentinizzate

**Figura 34:** Inquadramento geologico del sito e relative voci di legenda; fonte: Foglio 56 – Torino della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 (riproduzione fuori scala)

### 3.3 Permeabilità

In senso generale, gli ammassi rocciosi del settore pedemontano del bacino sono interessati da una permeabilità per fessurazione il cui grado è direttamente legato alla frequenza delle famiglie di discontinuità. In tale ambito l'instaurarsi di una falda idrica o, comunque, di una circolazione ipodermica è possibile qualora le fratture siano pervie ed interconnesse. Le unità detritiche di copertura (in senso ampio) sono caratterizzate da una permeabilità per porosità che è essenzialmente funzione della dimensione dei pori intergranulari, a sua volta legata alla granulometria della componente clastica, alla natura della frazione fine e del grado di addensamento o di cementazione. Anche in tale caso la circolazione idrica è possibile solo se i vuoti sono reciprocamente connessi.

Con riferimento a quanto sopra ed alle caratteristiche geolitologiche dei terreni compresi nell'ambito del bacino è stato quindi possibile assegnare a ciascuna delle sub-aree un dato di permeabilità, con lo scopo di fornire un elemento indispensabile per l'elaborazione del modello idrologico. A tal fine, per la definizione delle classi di permeabilità ci si è riferiti alle seguenti accezioni semplificate, previste dal modello idrologico stesso:

- *molto permeabile*
- *mediamente permeabile*
- *poco permeabile*
- *impermeabile*

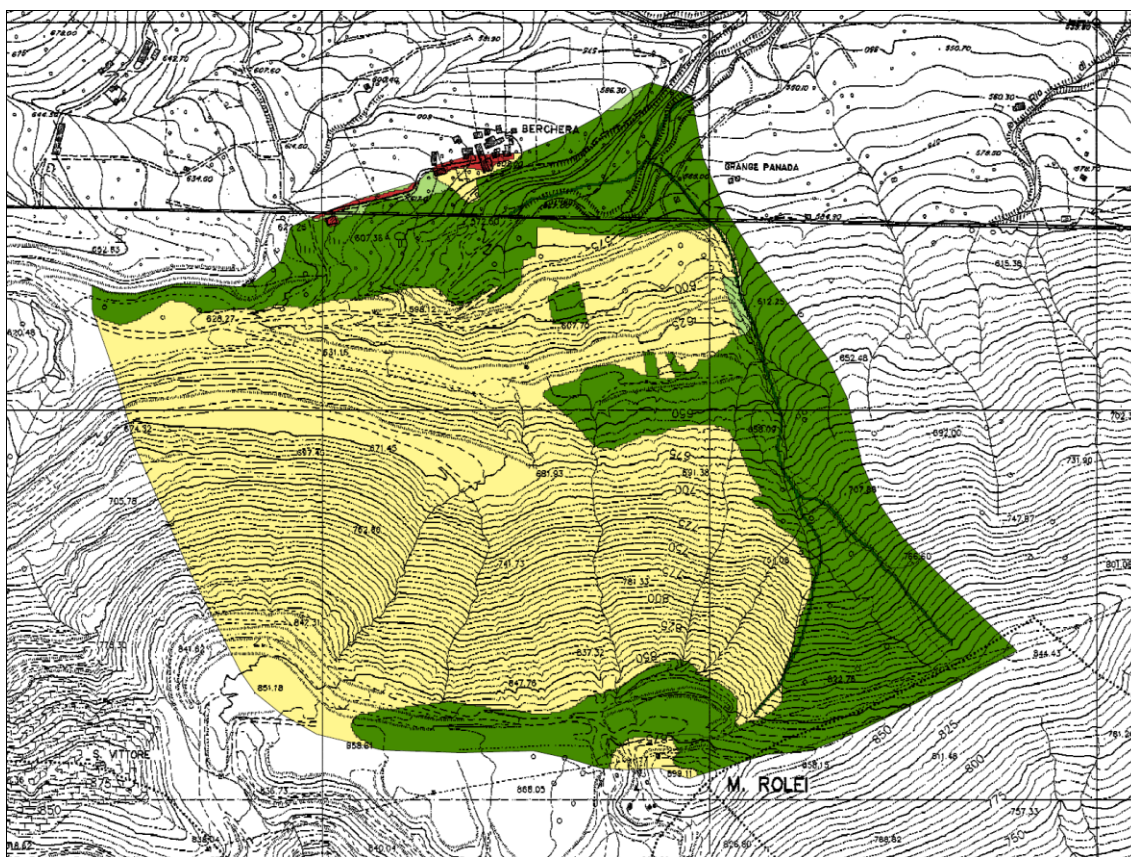
La natura delle unità geologiche presenti nel territorio porta ad escludere la possibilità di riferire ad interi areali le attribuzioni estreme di "molto permeabile" ed "impermeabile", sebbene esse possano essere adeguate per descrivere specifiche situazioni locali, non rappresentative di un intero contesto. Tale situazione rende manifesta la difficoltà di adottare un termine univoco per connotare settori estesi quali quelli compresi dalle sub-aree, in cui si affiancano situazioni distinte per aspetti litologici, morfologici, plano-altimetrici, ciascuno dei quali può condizionare, in modo non trascurabile, le capacità di assorbimento idrico del substrato.

Con tali premesse si è ritenuto di applicare la connotazione di "mediamente permeabile" alla maggior parte dell'area in studio.

### 3.4 Uso del suolo

Dall'analisi tramite il software ArcView GIS 3.3 è possibile identificare con più dettaglio le categorie di uso del suolo dei bacini delimitati ed oggetto di analisi: ciò tramite utilizzo della carta "Land Cover Piemonte: Classificazione uso del suolo 2010" messa a disposizione dalla Regione Piemonte e qui di seguito riportata limitatamente ai bacini oggetto di studio.

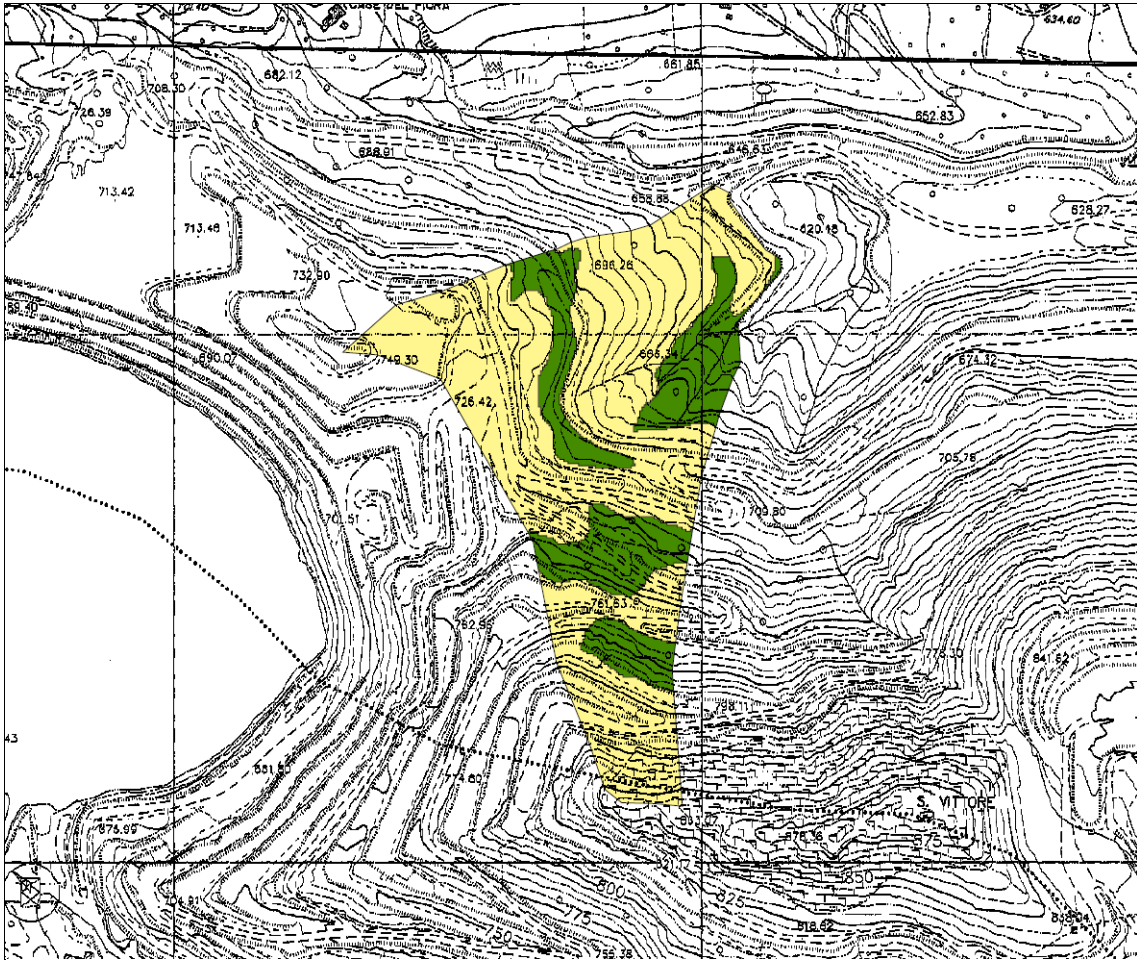
Il bacino del Torrente Fandaglia ramo di valle e Rio Est è caratterizzato per il 63% della sua estensione da territori modellati artificialmente (in giallo) e per il 37% da territori boscati e ambienti seminaturali (in verde).



**Figura 35:** Land Cover Piemonte 2010 – Bacino del Torrente Fandaglia ramo di valle e Rio Est

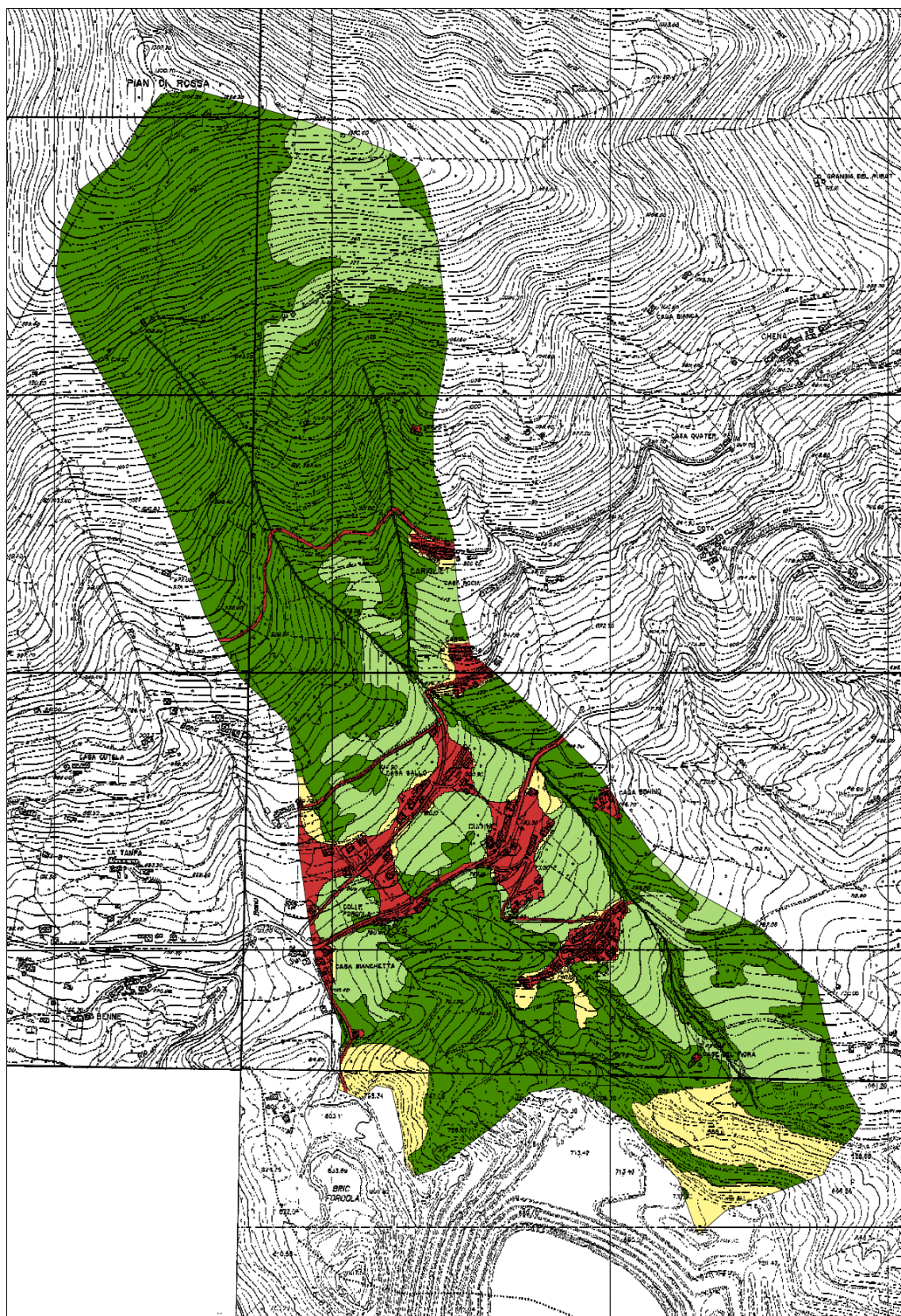
Anche il bacino dell'impluvio lato Ovest è caratterizzato per la maggior parte della sua estensione, pari a circa il 74% dell'intera area, da territori modellati artificialmente (in giallo).





**Figura 36:** Land Cover Piemonte 2010 – Bacino dell’impluvio lato Ovest

Il bacino del Rio Fandaglia ramo di monte, a differenza dei precedenti, comprendendo una minima parte dell’area dell’amiantifera (13% dell’intera estensione del bacino) è meno antropizzato e per l’86% della sua estensione è caratterizzato dalla presenza di territori boscati, prati e pascoli (in verde). I settori in rosso delimitano le aree urbanizzate, le strade ed i corsi d’acqua presenti e circoscritti al bacino.



**Figura 37:** Land Cover Piemonte 2010 – Bacino del Rio Fandaglia ramo di monte



## **4 IDROLOGIA**

Il presente capitolo riassume le metodologie, i contenuti ed i risultati degli studi idrologici finalizzati all'esame degli eventi meteorici intensi sui bacini in precedenza caratterizzati avente lo scopo di individuare i valori delle portate con diversi tempi di ritorno necessari alle verifiche idrauliche nelle sezioni allo stato di progetto.

Obiettivo dello studio è stato quello di:

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

### **4.1 Dati idrologici**

Dal punto di vista idrologico il bacino idrografico in esame ha le caratteristiche tipiche di un bacino pedemontano, con presenza di precipitazioni nevose alle altitudini più elevate. Il periodo maggiormente critico per il manifestarsi di piene gravose è compreso tra settembre e novembre anche se sono possibili fenomeni intensi in quasi tutti i periodi dell'anno.

#### **4.1.1 Elaborazioni statistiche dei dati pluviometrici**

In base alle osservazioni pluviometriche locali disponibili sono state dapprima eseguite le usuali elaborazioni statistiche necessarie a fornire l'adeguata legge di distribuzione delle probabilità che meglio rappresenta il fenomeno idrologico. Sono state inoltre riportate le linee segnalatrici di probabilità pluviometrica fornite dall'Autorità di Bacino del Fiume Po e contenute, fra l'altro anche nella D.G.R. 15 luglio 2002 n. 45-6656 "Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI). Deliberazione del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del fiume Po in data 26 aprile 2001, approvato con decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri in data 24 maggio 2001. Indirizzi per l'attuazione del PAI nel settore urbanistico".

#### 4.1.2 Linee segnalatrici di probabilità pluviometrica di cui al PAI

Il Piano per l'Assetto Idrogeologico del bacino del Po fornisce, nell'ambito della "Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica", i parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni. Tali parametri sono discretizzati su un reticolo avente maglia quadrata con lato 2 km.

Le celle di interesse per i bacini idrografici analizzati sono riportate nel seguito.

##### Torrente Fandaglia ramo di valle e Rio Est

Parametri curva di possibilità climatica $h = a t^n$								
cella	a Tr 20	n Tr 20	a Tr 100	n Tr 100	a Tr 200	n Tr 200	a Tr 500	n Tr 500
<b>AQ92</b>	<b>53.59</b>	<b>0.407</b>	<b>69.76</b>	<b>0.402</b>	<b>76.64</b>	<b>0.400</b>	<b>85.75</b>	<b>0.399</b>

##### Impluvio lato Ovest

Parametri curva di possibilità climatica $h = a t^n$								
cella	a Tr 20	n Tr 20	a Tr 100	n Tr 100	a Tr 200	n Tr 200	a Tr 500	n Tr 500
<b>AP92</b>	<b>53.38</b>	<b>0.415</b>	<b>69.58</b>	<b>0.409</b>	<b>76.49</b>	<b>0.408</b>	<b>85.61</b>	<b>0.406</b>

##### Rio Fandaglia ramo di monte

Parametri curva di possibilità climatica $h = a t^n$								
cella	a Tr 20	n Tr 20	a Tr 100	n Tr 100	a Tr 200	n Tr 200	a Tr 500	n Tr 500
<b>AP91</b>	53.22	0.420	69.23	0.415	76.06	0.413	85.07	0.412
<b>AP92</b>	53.38	0.415	69.58	0.409	76.49	0.408	85.61	0.406
<b>media</b>	<b>53.30</b>	<b>0.418</b>	<b>69.41</b>	<b>0.412</b>	<b>76.28</b>	<b>0.411</b>	<b>85.34</b>	<b>0.409</b>

Nelle tabelle vengono inoltre riportate le espressioni analitiche delle curve proposte per le celle elencate, fornite dalla Direttiva dell'Autorità di Bacino del Fiume Po, mentre in grassetto è indicato il valore assunto per la Curva di Possibilità Pluviometrica (CPP) relativa a ciascun bacino individuato.

## 5 METODOLOGIA E CALCOLO DELLE PORTATE DI PIENA

Per la definizione delle portate di progetto necessarie alla valutazione delle portate di piena, in assenza di stazioni di misura idrometrica diretta nell'ambito dei bacini considerati, si è utilizzato un approccio di tipo indiretto basato sull'uso dei modelli proposti in letteratura. Nel caso specifico sono stati utilizzati i metodi congruenti con quanto proposto dal Piano per l'Assetto Idrogeologico del bacino del Po nell'ambito delle norme di attuazione della "Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica". In particolare per i bacini oggetto di studio ci si è riferiti al classico metodo razionale riferito alla stazioni pluviometriche presenti nell'ambito del bacino idrografico di interesse. Per poter giungere a valori congruenti della portata di piena di progetto è stato inoltre considerato il comportamento idraulico di ciascun corso d'acqua definito in base alla documentazione storica, ai dati di rilevamento, alla morfologia degli alvei e dei settori ad esso limitrofi nonché alle caratteristiche generali del bacino.

### 5.1 Metodo razionale

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

- la precipitazione è uniformemente distribuita sul bacino;
- la portata stimata ha lo stesso tempo di ritorno dell'altezza di pioggia critica;
- il tempo di formazione del colmo di piena è pari a quello della fase di riduzione;
- la massima intensità di pioggia ha una durata pari a quella del tempo di corrivazione  $t_c$ .

Tale metodo fa riferimento alla cosiddetta "formula razionale", presentando quindi già caratteri di un modello deterministico di formazione delle piene pur mantenendo nella definizione dei parametri notevole dose di empirismo.

È stato quindi applicato il metodo cinematico che esprime la portata al colmo come segue:

$$Q = \frac{C \cdot h_c \cdot S}{3,6 \cdot t_c}$$

dove:

$C$  = coefficiente di deflusso

$h_c$  = altezza di precipitazione, espressa in mm, relativa ad un dato tempo di ritorno ed una durata di pioggia pari a  $t_c$ ;

$S$  = superficie del bacino espressa in km<sup>2</sup>;

$t_c$  = tempo di corrivazione del bacino espresso in ore.

Il tempo di corrivazione rappresenta l'intervallo di tempo dall'inizio della precipitazione oltre al quale tutto il bacino contribuisce al deflusso nella sezione terminale.

Per valutare il tempo di corrivazione nel presente studio sono state applicate le seguenti formulazioni:

- formula di Giandotti corretta da Aronica - Paltrinieri, meglio adatta ai bacini aventi un'estensione inferiore ai 10 km<sup>2</sup>:

$$t_c = \frac{\frac{1}{Md} \sqrt{A} + 1,5 \cdot L}{0,8 \sqrt{H_0 - H_m}}$$

dove:

$A$  = superficie del bacino espressa in km<sup>2</sup>;

$L$  = lunghezza dell'asta del corso d'acqua principale in km;

$H_0$  = altezza della sezione di chiusura espressa in m;

$H_m$  = altezza media del bacino espressa in m.

Le costanti  $M$  e  $d$  assumono in funzione, rispettivamente, del tipo di utilizzazione del suolo e della permeabilità dei terreni i valori riportati in tabella 5

<b><i>Tipo di copertura</i></b>	<b><i>M</i></b>
Terreno nudo	0,667
Terreni coperte con erbe rade	0,250
Terreni coperti da bosco	0,200
Terreni coperti da prato permanenti	0,167
<b><i>Permeabilità</i></b>	<b><i>d</i></b>
Terreni semi-impermeabili	1,270
Terreni poco permeabili	0,960
Terreni mediamente permeabili	0,810
Terreni molto permeabili	0,690

**Tabella 5:** Valori delle costanti  $M$  e  $d$

- formula di Ventura

$$t_c = 0,127 \cdot \sqrt{\frac{A}{i_m}}$$



dove:

$A$  = superficie del bacino espressa in  $\text{km}^2$ ;

$i_m$  = pendenza media dell'asta principale espressa in m/m.

- formula di Pezzoli

$$t_c = 0,055 \cdot \frac{L}{\sqrt{i_m}}$$

dove:

$L$  = lunghezza dell'asta del corso d'acqua principale in km;

$i_m$  = pendenza media dell'asta principale espressa in m/m.

Normalmente per bacini di ridotte dimensioni l'effetto d'invaso può essere trascurato. Per gli altri parametri diversi autori hanno fornito diverse correlazioni ottenendo valori non univoci. In definitiva occorre osservare come il valore del coefficiente di deflusso  $C$  assume valori molto diversi a seconda delle caratteristiche geomorfologiche e meteorologiche del bacino: esso dipende infatti dalla natura dei terreni, dal grado di saturazione del suolo al momento della precipitazione (condizione questa che cambia nel tempo in funzione anche dell'intensità dell'evento pluviometrico), dalla pendenza media dei versanti del bacino imbrifero, dall'estensione e dal tipo di copertura vegetale, dalla presenza delle opere realizzate dall'uomo. Inoltre il bacino normalmente non ha caratteristiche uniformi ed è quindi necessario adottare un valore medio. Nella letteratura tecnica esistono diverse tabelle di riferimento che aiutano i progettisti nella valutazione di tale coefficiente. I valori indicati in tali tabelle oscillano mediamente da un minimo di 0,1, per superfici molto permeabili coperte da boschi, a 0,8 per terreni compatti ed utilizzati in agricoltura. Nel seguito (Tabella 6) si riportano le indicazioni fornite dalla Direttiva citata in precedenza.

Tipo di suolo	c	
	Uso del suolo	
	Coltivato	Bosco
Suolo con infiltrazione elevata, normalmente sabbioso o ghiaioso	0,20	0,10
Suolo con infiltrazione media, senza lenti argillose; suoli limosi e simili	0,40	0,30
Suolo con infiltrazione bassa, suoli argillosi e suoli con lenti argillose vicine alla superficie, strati di suolo sottile al di sopra di roccia impermeabile	0,50	0,40

**Tabella 6:** Valori di riferimento coefficiente di deflusso (Ven Te Chow, 1964)

## 6 VALUTAZIONE DELLE PORTATE DI PIENA

Il presente paragrafo si prefigge di valutare le portate al colmo nelle sezioni significative del reticolo idrografico; la portata è valutata in corrispondenza della sezione di chiusura di ciascun bacino.

### 6.1 Tempo di corrivazione

Per ciascuno dei tre bacini oggetto di analisi si è scelto di assumere come valore per la progettazione il tempo di corrivazione mediato sui tre valori calcolati con i metodi di Giandotti modificato, Ventura e Pezzoli.

I tempi di corrivazione sono espressi in ore.

Giandotti	Ventura	Pezzoli	<b>media</b>
0.51	0.33	0.14	<b>0.33</b>

**Tabella 7:** Tempi di corrivazione del bacino del Torrente Fandaglia ramo di valle

Giandotti	Ventura	Pezzoli	<b>media</b>
0.36	0.11	0.10	<b>0.19</b>

**Tabella 8:** Tempi di corrivazione del bacino del Rio Est

Giandotti	Ventura	Pezzoli	<b>media</b>
0.30	0.09	0.04	<b>0.14</b>

**Tabella 9:** Tempi di corrivazione del bacino dell'impluvio lato Ovest

Giandotti	Ventura	Pezzoli	<b>media</b>
0.76	0.30	0.24	<b>0.43</b>

**Tabella 10:** Tempi di corrivazione del bacino del Rio Fandaglia ramo di monte

### 6.2 Coefficienti di deflusso

Per quanto concerne i coefficienti di deflusso, si è stimato un coefficiente di deflusso  $C$  pari a 0,5 per tutti i bacini in analisi.

### 6.3 Altezze di pioggia

Sulla base delle curve di possibilità climatica disponibili e dei tempi di corrivazione definiti in precedenza è possibile definire l'altezza della pioggia di progetto. I valori ottenuti sono riportati nella tabelle di seguito riportate.

$h_c (T_r = 20)$	34.10	[mm]
$h_c (T_r = 100)$	44.63	[mm]
$h_c (T_r = 200)$	49.14	[mm]
$h_c (T_r = 500)$	55.05	[mm]

**Tabella 11:** Altezze di pioggia Torrente Fandaglia ramo di valle

$h_c (T_r = 20)$	27.40	[mm]
$h_c (T_r = 100)$	35.96	[mm]
$h_c (T_r = 200)$	39.64	[mm]
$h_c (T_r = 500)$	44.42	[mm]

**Tabella 12:** Altezze di pioggia Rio Est

$h_c (T_r = 20)$	23.87	[mm]
$h_c (T_r = 100)$	31.48	[mm]
$h_c (T_r = 200)$	34.67	[mm]
$h_c (T_r = 500)$	38.96	[mm]

**Tabella 13:** Altezze di pioggia impluvio lato Ovest

$h_c (T_r = 20)$	37.58	[mm]
$h_c (T_r = 100)$	49.17	[mm]
$h_c (T_r = 200)$	54.10	[mm]
$h_c (T_r = 500)$	60.61	[mm]

**Tabella 14:** Altezze di pioggia Rio Fandaglia ramo di monte

### 6.4 Portate di progetto

Il calcolo delle portate con il metodo cinematico ha condotto ai seguenti risultati:

$Q_{(Tr = 20)}$	9.40	$[m^3/s]$
$Q_{(Tr = 100)}$	12.31	$[m^3/s]$
$Q_{(Tr = 200)}$	13.55	$[m^3/s]$
$Q_{(Tr = 500)}$	15.18	$[m^3/s]$

**Tabella 15:** Valori di portata per il bacino del Torrente Fandaglia ramo di valle

$Q_{(Tr = 20)}$	4.69	$[m^3/s]$
$Q_{(Tr = 100)}$	6.15	$[m^3/s]$
$Q_{(Tr = 200)}$	6.78	$[m^3/s]$
$Q_{(Tr = 500)}$	7.60	$[m^3/s]$

**Tabella 16:** Valori di portata per il bacino del Rio Est

$Q_{(Tr = 20)}$	2.37	$[m^3/s]$
$Q_{(Tr = 100)}$	3.12	$[m^3/s]$
$Q_{(Tr = 200)}$	3.44	$[m^3/s]$
$Q_{(Tr = 500)}$	3.86	$[m^3/s]$

**Tabella 17:** Valori di portata per il bacino dell'impluvio lato Ovest

$Q_{(Tr = 20)}$	14.21	$[m^3/s]$
$Q_{(Tr = 100)}$	18.59	$[m^3/s]$
$Q_{(Tr = 200)}$	20.46	$[m^3/s]$
$Q_{(Tr = 500)}$	22.92	$[m^3/s]$

**Tabella 18:** Valori di portata per il bacino del Rio Fandaglia ramo di monte

Per le verifiche di compatibilità idraulica richieste sono stati adottati i valori di portata duecentennali relativi a ciascun bacino analizzato.

Sulla base dei valori di portata definiti nel presente documento si è proceduto nella successiva sezione a carattere idraulico del presente documento al dimensionamento delle opere ed alle analisi idrauliche di verifica lungo i settori d'alveo in esame.





## **SEZIONE 2 – RELAZIONE IDRAULICA**

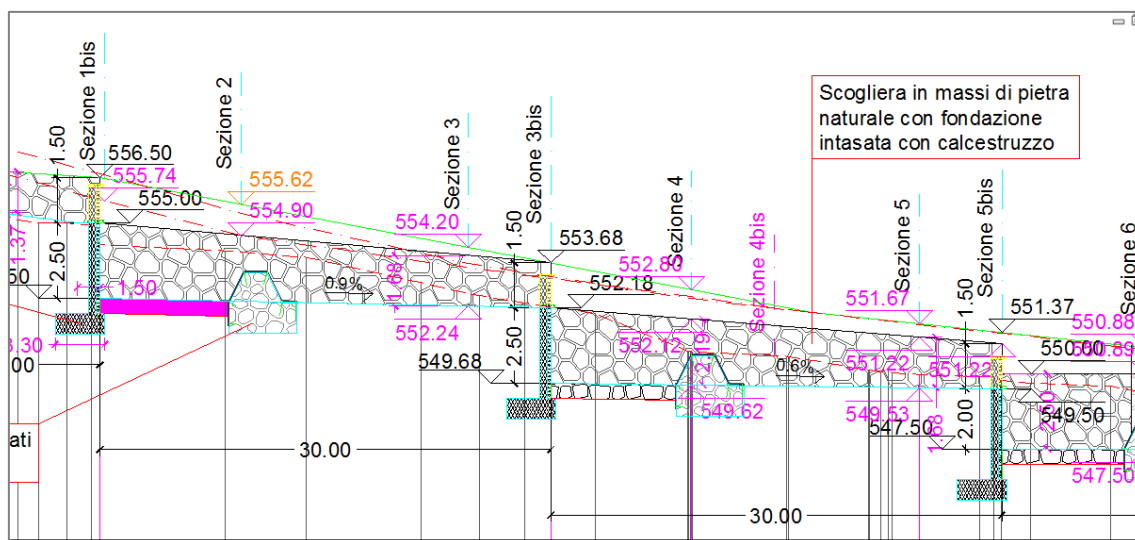


## 1 OPERE IDRAULICHE TRASVERSALI

Si tratta delle opere trasversali previste sul Rio Fandaglia nell'ambito di intervento 10.1 aventi altezza netta compresa tra 2 e 2,50 m.



**Figura 38:** Inquadramento territoriale Ambito 10



**Figura 39:** Profilo di progetto del tratto d'alveo del R. Fandaglia – Ambito 10.1





Le briglie si configurano come uno sbarramento tracimabile di piccola altezza utilizzabile per realizzare interventi di correzione sul torrente, quali consolidamento dell'alveo o riduzione del trasporto solido. Si può così distinguere tra briglie di consolidamento e briglie di trattenuta.

Per il dimensionamento idraulico della briglia è necessario conoscere la portata di progetto, a partire dalla quale si andrà a progettare l'opera idraulica avente le seguenti finalità:

- consentire il passaggio della portata di progetto al di sopra della gaveta posta al di sopra del corpo della briglia evitando eccessivi rigurgiti, danni alla struttura ed erosione alle sponde;
- favorire la dissipazione dell'energia cinetica posseduta dalla lama liquida stramazzante, evitando fenomeni di erosione localizzata al piede che potrebbe danneggiare la stabilità della struttura stessa attraverso lo scalzamento del paramento di valle;
- controllare il moto di filtrazione al di sotto dell'opera, evitando che si inneschi il fenomeno del sifonamento al piede a scapito della stabilità della struttura.

Il primo problema riguarda essenzialmente il dimensionamento della gaveta, la quale, se correttamente dimensionata, concentra il passaggio della corrente verso il centro dell'alveo (o verso una zona meno erodibile) evitando, durante i fenomeni di piena il sormonto delle ali e l'occupazione dell'intera sezione dell'alveo. Tali fenomeni potrebbero infatti comportare erosione e scalzamento dell'opera nei punti di raccordo alle sponde.

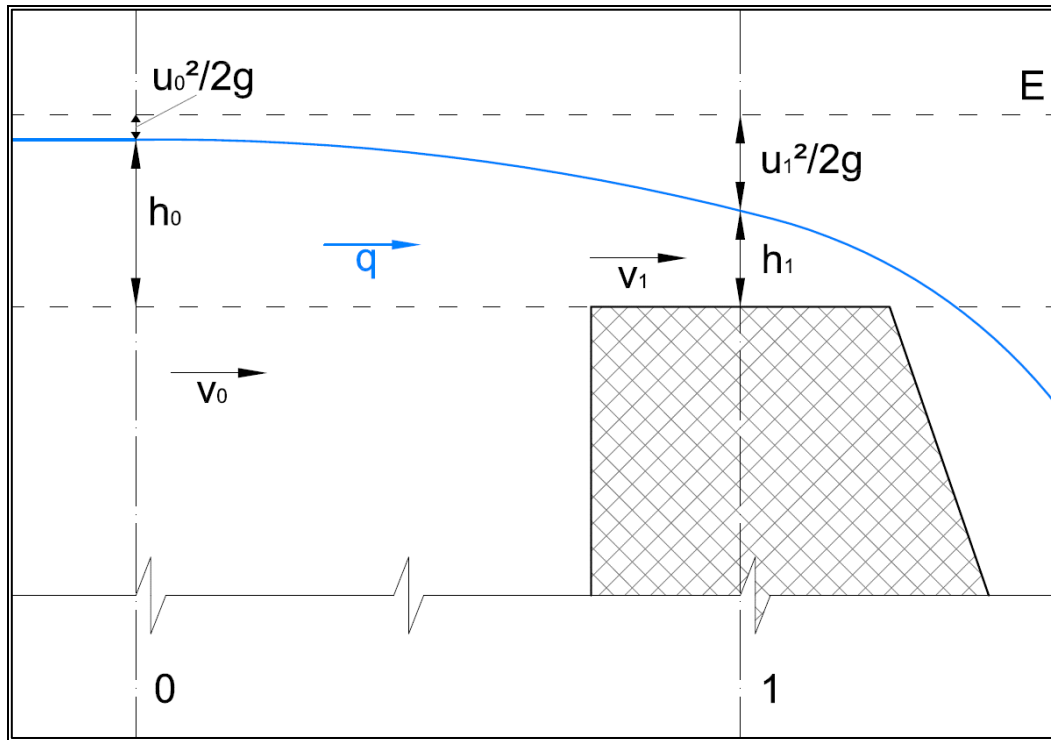
Il secondo problema riguarda il controllo dell'erosione localizzata causata dall'azione della lama liquida che, sormontando la gaveta, impatta sul fondo creando il fenomeno del risalto idraulico, responsabile della dissipazione dell'energia residua in seno alla corrente e dell'erosione del fondo a valle della briglia.

A protezione dei fenomeni erosivi è possibile intervenire mediante rivestimento della platea immediatamente a valle della briglia con materiale resistente all'azione erosiva (solitamente massi interposti) oppure realizzando un cuscino di acqua artificiale a valle della briglia con la costruzione di una controbriglia.

## 1.1 Dimensionamento idraulico delle briglie

Il dimensionamento della gaveta viene fatto ipotizzando che essa si comporti come uno stramazzone a larga soglia. In effetti tale tipo di ipotesi ha ragione d'essere in quanto la

larghezza al coronamento è sempre sufficiente perché su di essa, in assenza di rigurgito, si realizzi l'altezza critica di corrente. Inoltre per la brevità del tratto è possibile trascurare le perdite continue e localizzate ed essendo la corrente accelerata si può ammettere che il carico totale sia costante nella sezione 0 e nella sezione 1.



**Figura 40:** Schema del funzionamento idraulico della gaveta

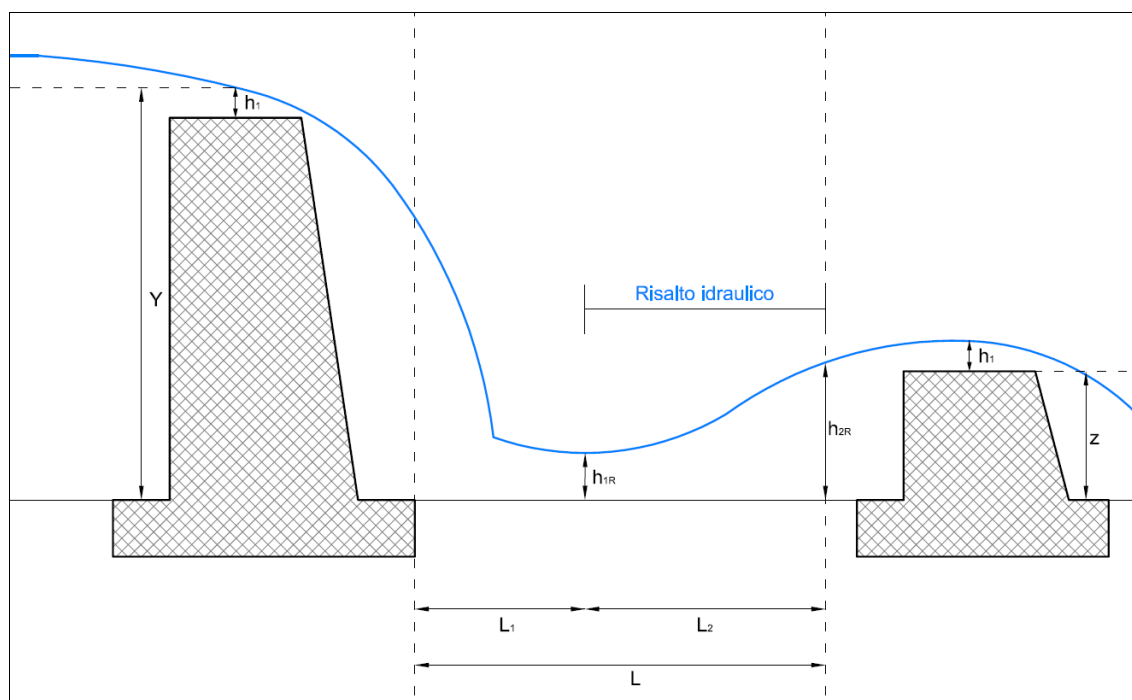
Si può in tal modo applicare l'equazione di Bernoulli tra la sezione 0 e la sezione 1, dalla quale si ricava l'altezza minima di progetto della gaveta, conoscendo la portata in ingresso al sistema, posta pari a quella con tempo di ritorno duecentennale di cui ai paragrafi precedenti e fissata la larghezza della gaveta.

$$h = 0.7 \left( \frac{Q}{L} \right)^{2/3}$$

- briglia in corrispondenza della sezione 1 bis Rio Fandaglia ramo di valle  
portata  $Q = 13,55 \text{ m}^3/\text{s}$   
larghezza della gaveta  $L = 10,00 \text{ m}$   
altezza minima della gaveta  $h = 0,86 \text{ m}$
- briglie in corrispondenza delle sezioni 3 bis e 5 bis Rio Fandaglia ramo di valle  
portata  $Q = 13,55 \text{ m}^3/\text{s}$   
larghezza della gaveta  $L = 8,00 \text{ m}$   
altezza minima della gaveta  $h = 0,99 \text{ m}$

Nota l'altezza della gaveta e quindi l'altezza totale della briglia in progetto, è necessario verificare a che distanza posizionare la controbriglia, opera inserita a valle della briglia trasversalmente l'alveo avente la funzione di facilitare la formazione del risalto idraulico e del cuscino di acqua nel punto di caduta del getto ad evitare l'erosione al piede della briglia.

La distanza teorica alla quale deve essere costruita la controbriglia è data dalla somma delle distanze  $L_1$  e  $L_2$ , indicate nella figura seguente.



**Figura 41:** Schema dimensionamento distanza briglia – controbriglia

La distanza  $L_1$  si ricava imponendo l'uguaglianza della portata sulla gaveta e nel risalto ( $h_1 = h_{1R}$ ):

$$L_1 = u_1 \sqrt{\frac{2y}{g}}$$

mentre la distanza  $L_2$  è valutata come la massima tra:

$$L_2 = 2 \div 3(h_{2r} - h_{1r})$$

- briglia in corrispondenza della sezione 1 bis Rio Fandaglia ramo di valle  
 $L_1 = 4,46$  m  
 $L_2 = 5,71$  m
- briglia in corrispondenza della sezione 3 bis Rio Fandaglia ramo di valle  
 $L_1 = 4,93$  m



$$L_2 = 6,32 \text{ m}$$

- briglia in corrispondenza della sezione 5 bis Rio Fandaglia ramo di valle

$$L_1 = 4,59 \text{ m}$$

$$L_2 = 5,89 \text{ m}$$

L'altezza minima di progetto della controbriglia si calcola sottraendo l'altezza sulla gaveta corrispondente all'altezza critica  $h_1$  all'altezza coniugata del risalto  $h_{2R}$ .

- briglia in corrispondenza della sezione 1 bis  
altezza minima controbriglia  $h_{\min} = 0,84 \text{ m}$
- briglia in corrispondenza della sezione 3 bis  
altezza minima controbriglia  $h_{\min} = 0,93 \text{ m}$
- briglia in corrispondenza della sezione 5 bis  
altezza minima controbriglia  $h_{\min} = 0,86 \text{ m}$

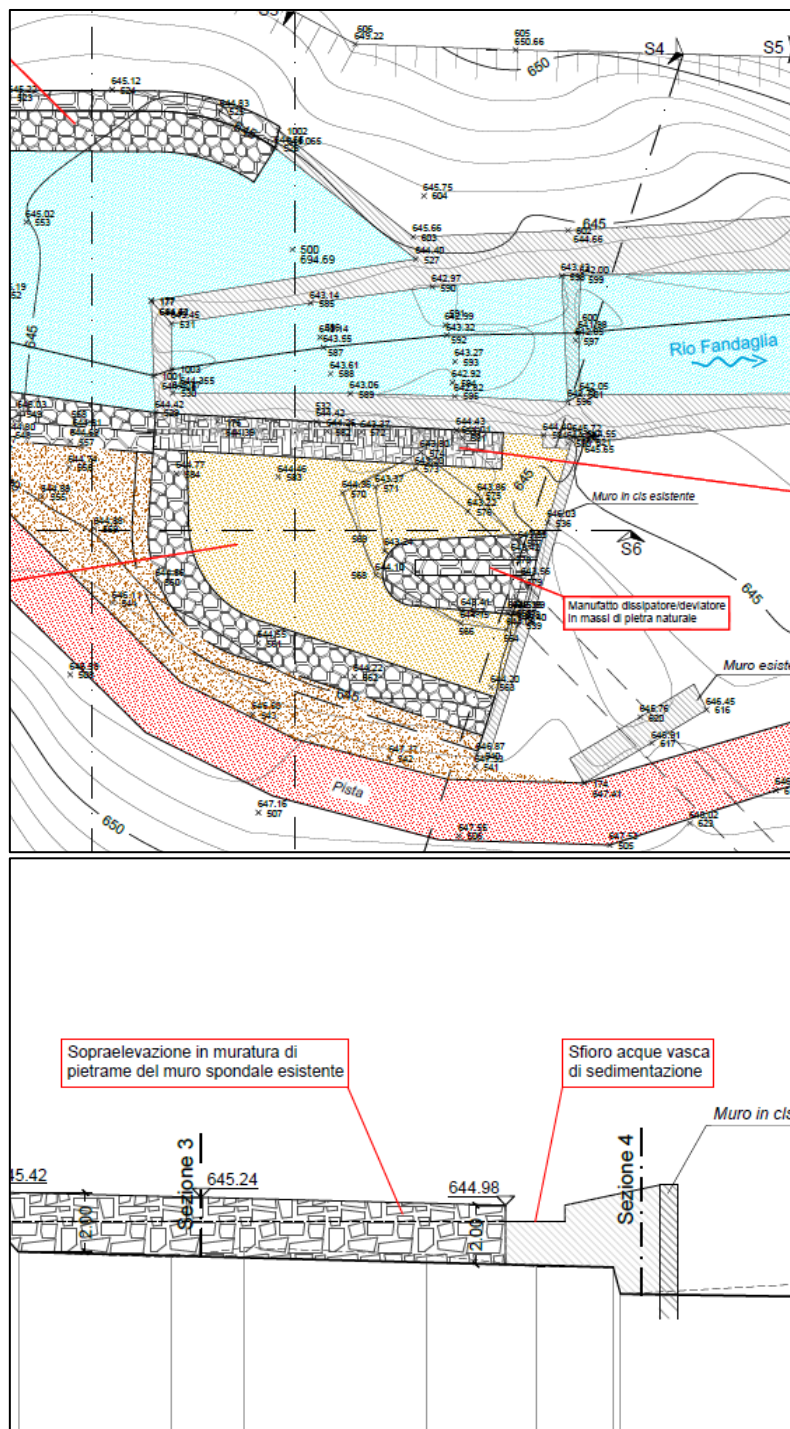
### 1.1.1 Briglie e controbriglie sul Torrente Fandaglia ramo di valle

Per le briglie in progetto sul torrente Fandaglia, fissata la portata duecentennale pari a  $13,55 \text{ m}^3/\text{s}$  e definiti i valori di progetto minimi al paragrafo precedente si sono adottate le seguenti dimensioni:

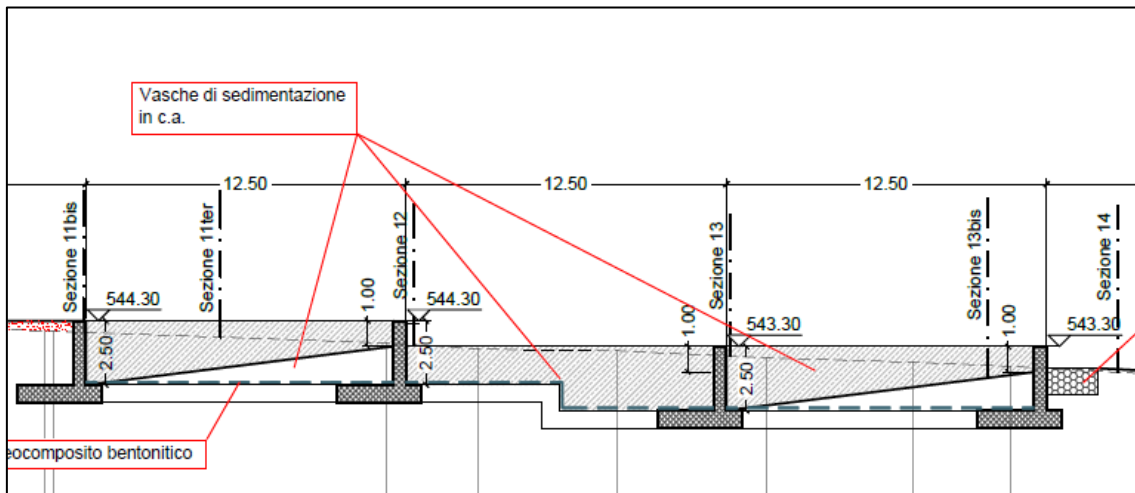
- briglia in corrispondenza della sezione 1 bis  
altezza della gaveta  $h = 1,20 \text{ m}$   
altezza dell'opera compresa la gaveta  $Y = 3,70 \text{ m}$   
distanza briglia-controbriglia  $L = 8,25 \text{ m}$   
altezza controbriglia  $z = 1,00 \text{ m}$
- briglia in corrispondenza della sezione 3 bis  
altezza della gaveta  $h = 1,10 \text{ m}$   
altezza dell'opera compresa la gaveta  $Y = 3,60 \text{ m}$   
distanza briglia-controbriglia  $L = 8,25 \text{ m}$   
altezza controbriglia  $z = 1,00 \text{ m}$
- briglia in corrispondenza della sezione 5 bis  
altezza della gaveta  $h = 1,10 \text{ m}$   
altezza dell'opera compresa la gaveta  $Y = 3,10 \text{ m}$   
distanza briglia-controbriglia  $L = 8,25 \text{ m}$   
altezza controbriglia  $z = 1,00 \text{ m}$

## 1.2 Dimensionamento degli stramazzi

In corrispondenza del bacino di sedimentazione/laminazione posto nel settore di monte del T. Fandaglia (Ambito 9) occorre dimensionare lo sfioratore che permetterà alle acque presenti nella vasca di unirsi al reticolo idrografico principale, ovvero al Torrente Fandaglia.



**Figura 42:** Planimetria e collocazione sfioro di progetto Ambito 9

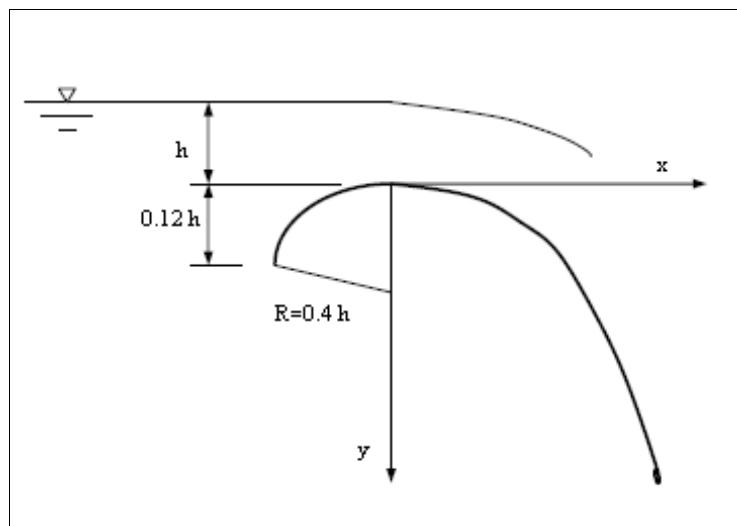


**Figura 43:** Profilo di progetto del tratto d'alveo del R. Fandaglia – Ambito 10.2

Lo stramazzo dell'ambito 9 sarà progettato come stramazzo Creager-Scimeni in parete sottile, di cui si riporta la formula per la determinazione della portata e lo schema di funzionamento

$$Q = \mu \cdot h \cdot \sqrt{2gh}$$

Con  $\mu$  si indica il coefficiente di efflusso, posto pari a 0,41.



**Figura 44:** Schema di funzionamento stramazzo in parete sottile tipo Creager-Scimeni

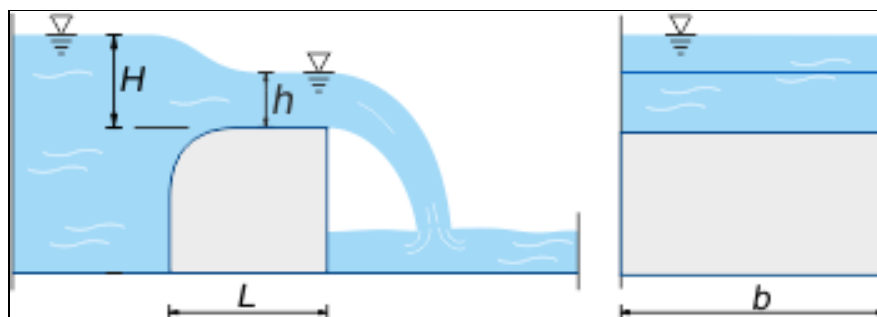
Nel settore di valle del Fandaglia di cui all'Ambito 10.2 è prevista la costruzione di tre vasche di sedimentazione in c.a. per le quali occorre dimensionare l'altezza di sfioro della lama stramazante  $h$  al di sopra della soglia (cfr. fig. 42)

Lo stramazzo sarà progettato come stramazzo Belanger a parete grossa, di cui si riporta la formula per la determinazione della portata e lo schema di funzionamento



$$Q = \mu \cdot b \cdot H \cdot \sqrt{2gH}$$

Con  $\mu$  si indica il coefficiente di efflusso, posto pari a 0,385.



**Figura 45:** Schema di funzionamento stramazzo a parete grossa Belanger

L'altezza sullo sfioro è posta pari a  $h = \frac{2}{3} \cdot H$ .

### 1.2.1 Vasca impluvio Ovest Ambito 9

La portata per la quale dimensionare lo sfioro della vasca di sedimentazione è pari a 3,44 m<sup>3</sup>/s. Tramite la formula riportata al paragrafo precedente si ricava una larghezza minima dello stramazzo pari a 1,62 m, fissata a progetto in 2,00 m.

### 1.2.2 Vasche Torrente Fandaglia ramo di valle Ambito 10.2

La portata per la quale dimensionare l'altezza di sfioro delle vasche di sedimentazione è pari a 20,46 m<sup>3</sup>/s. Tramite l'applicazione della formula dello stramazzo Belanger si ricava l'altezza H, ovvero il carico idraulico della corrente a monte della soglia, e successivamente ricavo h.

Avendo posto una larghezza della soglia sfiorante pari a 8,00 m, il carico idraulico risulta pari a 1,31 m e l'altezza della vena fluida sopra la soglia pari a 0,87 m.

## **2 ANALISI IDRAULICHE IN MOTO PERMANENTE**

L'obiettivo delle analisi idrauliche riportate successivamente per è quello di verificare la compatibilità tra le piene di progetto aventi tempo di ritorno pari a 200 anni, i manufatti idraulici e le sezioni di deflusso di progetto ubicate lungo il settore 10, in particolare verificando se la sistemazione locale del corso d'acqua in progetto risulti in qualche modo interferire e non risultare compatibile con lo smaltimento delle portate di progetto nella fase di esercizio.

La modellistica idraulica utilizzata necessita dei seguenti elementi di ingresso:

- piano quotato dell'asta fluviale presa in esame;
- geometria dei manufatti;
- valori di scabrezza a caratterizzare la resistenza al moto dovuta all'attrito al contorno;
- condizioni al contorno necessarie per la taratura dei modelli.

### **2.1 Geometria delle sezioni**

La geometria delle sezioni è stata ricavata mediante realizzazione di rilievi topografici di dettaglio dei settori di interesse, prestando attenzione ai cambiamenti significativi sia di sezione sia di pendenza del corso d'acqua in modo tale di ottenere una buona rappresentazione dell'asta fluviale. Sono state quindi tracciate delle sezioni trasversali opportunamente infittite nei settori di condizionamento dell'alveo, per descrivere numericamente le caratteristiche del tratto in esame.

Le sezioni trasversali, come richiesto dal programma di simulazione idraulica, sono numerate da valle verso monte e sono visualizzate con vista da monte (sponda destra a destra) posizionate il più possibile perpendicolari al corso d'acqua.

### **2.2 Valori di scabrezza**

Le condizioni di scabrezza sono state fissate utilizzando i dati presenti in letteratura (Chow V.T., 1959) con riferimento ai valori  $n$  di Manning.

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

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

Per la simulazione lungo il Torrente Fandaglia si sono utilizzati i seguenti coefficienti di Strickler:

- $c = 40 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$  per i tratti in naturale, quali il fondo e le sponde;
- $c = 35 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$  per i settori le cui sponde sono rivestite con scogliere in massi;
- $c = 55 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$  ad indicare il rivestimento del fondo alveo in blocchi;
- $c = 30 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$  in corrispondenza dei gabbioni metallici;
- $c = 80 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$  per i manufatti ed il fondo alveo rivestito in calcestruzzo.

Per le condizioni del profilo di fondo si è fatto riferimento a condizioni di tipo misto, al variare della presenza di discontinuità e variazioni di pendenza significative.

Come condizioni al contorno di monte e di valle è stato assunto il deflusso in moto uniforme secondo le pendenze locali dell'asta.

## 2.3 Simulazione in moto permanente

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

Il motore di calcolo del profilo è costituito dalla versione 4.1.0 di *Hec-Ras*, messo a punto dall'Hydrologic Engineering Center (HEC) di Davies, California alla fine degli anni '60 con il nome HEC-2. Adattato all'ambiente Windows® nel 1996 con la nuova denominazione di HEC-RAS (River Analysis System) e dotato d'interfaccia GUI.

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

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

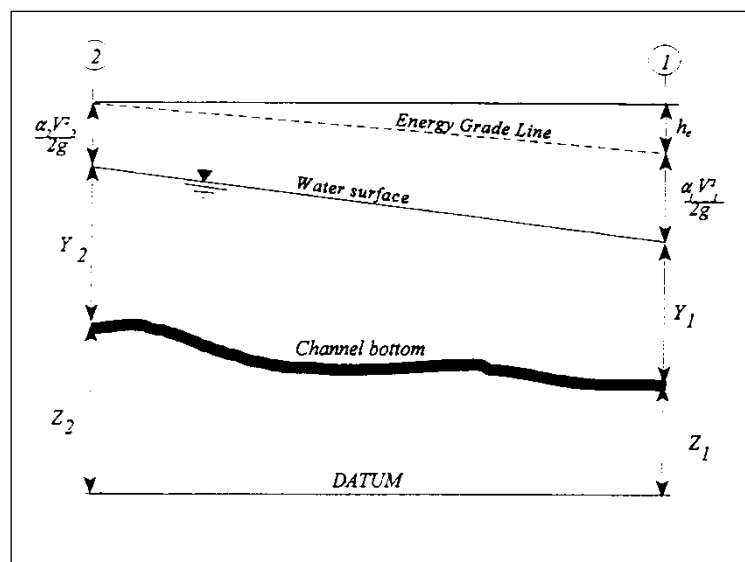
L'equazione dell'energia fra due sezioni trasversali (1) e (2), con la sezione 1 ubicata a valle della sezione 2, viene scritta nella forma classica, riferita all'unità di peso del liquido:

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

dove:

- $y$  profondità della corrente nella sezione [m]
- $z$  quota del fondo [m]
- $V$  velocità media della corrente nella sezione [portata totale/area totale]
- $\alpha$  coefficiente di Coriolis che tiene conto della forma della sezione
- $g$  accelerazione di gravità pari a 9,81 [m/s<sup>2</sup>]
- $h_e$  perdita di energia [m]

Il significato geometrico dei simboli è illustrato nella Figura 46.



**Figura 46:** Rappresentazione dei termini dell'equazione dell'energia (da Manuale d'uso Hec-ras 2001)

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

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



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

essendo:

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

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

dove i simboli  $L$ , ciascuno con il proprio pedice, indicano le distanze dei rispettivi settori in cui è stata divisa ciascuna sezione e i simboli  $Q$  le portate defluenti in ciascuna porzione delle due sezioni (in m<sup>3</sup>/s);

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

$C$  = coefficiente di contrazione o di espansione.

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

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

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

secondo la scrittura tradizionale nella letteratura idraulica anglosassone per cui:

$K$  = capacità di convogliamento di ciascun settore (m<sup>3</sup>/s)

espressa come:

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

con

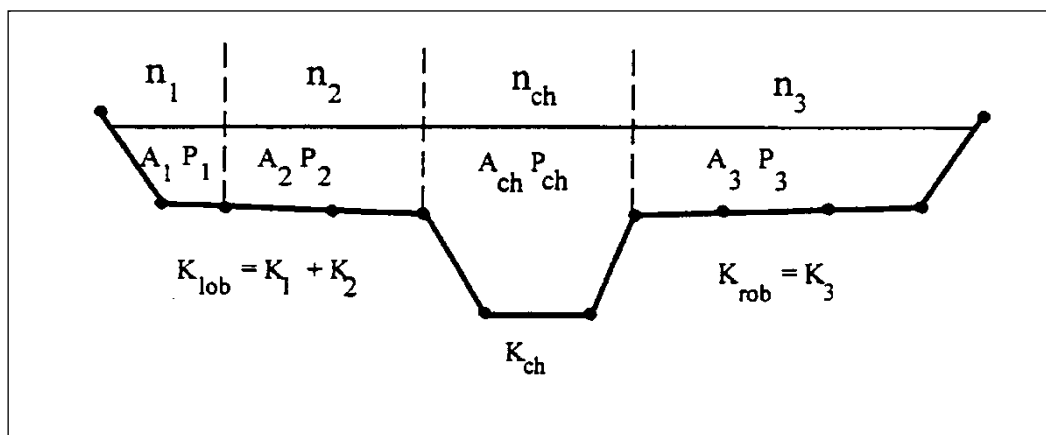
$n$  = coefficiente di scabrezza [m<sup>-1/3</sup> s] secondo Manning

$A$  = area bagnata del settore di area [m<sup>2</sup>]

$R$  = raggio idraulico del settore [m]

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

**Tabella 19:** Coefficienti di contrazione ed espansione tra sezioni



**Figura 47:** Suddivisione di una sezione trasversale in settori con scabrezza uniforme (da Manuale d'uso Hec-ras, 2001)

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

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

con:

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

In caso contrario, ossia pendenza delle scarpate minore di 1 (verticale) su 5 (orizzontale), l'alveo principale viene trattato come un'area suddivisa in diversi settori analogamente a quanto avviene per le golene.

Con tali premesse, in caso di variazione della scabrezza nella sezione, viene calcolato il coefficiente di Coriolis secondo la formula generale:

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

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

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

con il significato dei simboli precisato sopra.

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

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

essendo le due sezioni indicate con il relativo pedice numerico.

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

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

<i>Typical drag coefficients for various pier shapes</i>	
<i>Pier Shape</i>	<i>Drag Coefficient Cd</i>
<i>Circular pier</i>	1.200
<i>Elongated piers with semi-circular ends</i>	1.330
<i>Elliptical piers with 2:1 length to width</i>	0.600
<i>Elliptical piers with 4:1 length to width</i>	0.320
<i>Elliptical piers with 8:1 length to width</i>	0.029
<i>Square nose piers</i>	2.000
<i>Triangular nose with 30 degree angle</i>	1.000

**Tabella 20:** Coefficienti di resistenza consigliati dal manuale Hec-ras (da Manuale d'uso Hec-ras, 2001)

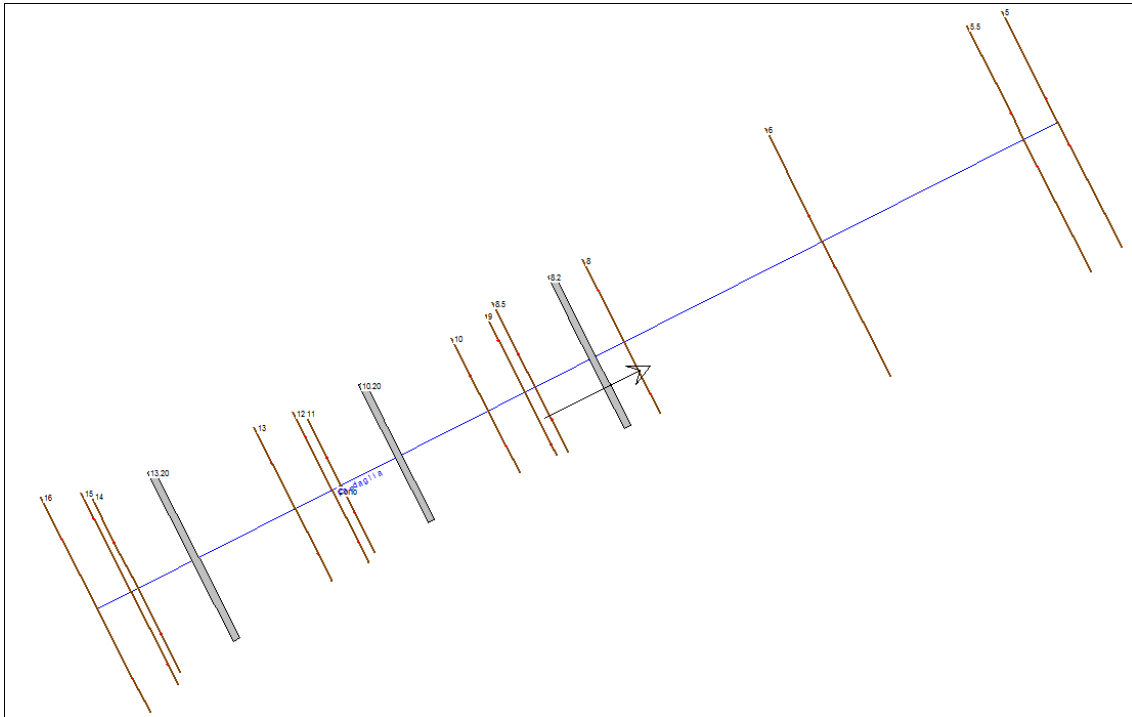
## 2.4 Risultati simulazione in moto permanente

Le verifiche sono state condotte sul tratto di Fandaglia di valle in corrispondenza del settore su cui si interverrà mediante la costruzione di una serie di briglie e controbriglie a rallentare il flusso della corrente e consentire il deposito del materiale nelle vasche di accumulo presenti prima dell'immissione del Torrente nell'idrografia principale esternamente al sito minerario.

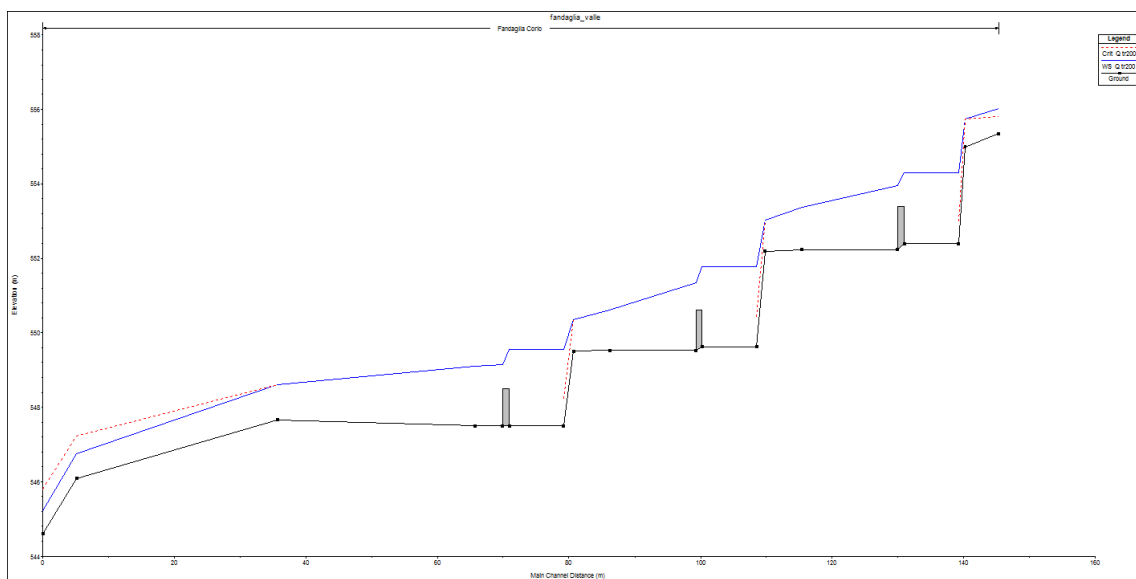
Dall'analisi dei risultati della simulazione idraulica, allegati alla presente relazione, si osserva come la portata di progetto con tempo di ritorno 200 anni sia sempre contenuta all'interno di tutte le sezioni di rimodellamento ed in particolare all'interno della gaveta di ciascuna briglia progettata.

La sistemazione d'alveo consente inoltre un deflusso della corrente con velocità modeste nei tratti rimodellati con valori via via decrescenti, sino a 0,5 m/s nel tratto a monte della briglia esistente, in grado di favorire il deposito del materiale di trasporto solido.





**Figura 48:** Lo schema del modello Hec Ras del Torrente Fandaglia



**Figura 49:** Profilo di progetto

### 3 VERIFICA STABILITA' DEL RIVESTIMENTO SPONDALE E DI FONDO

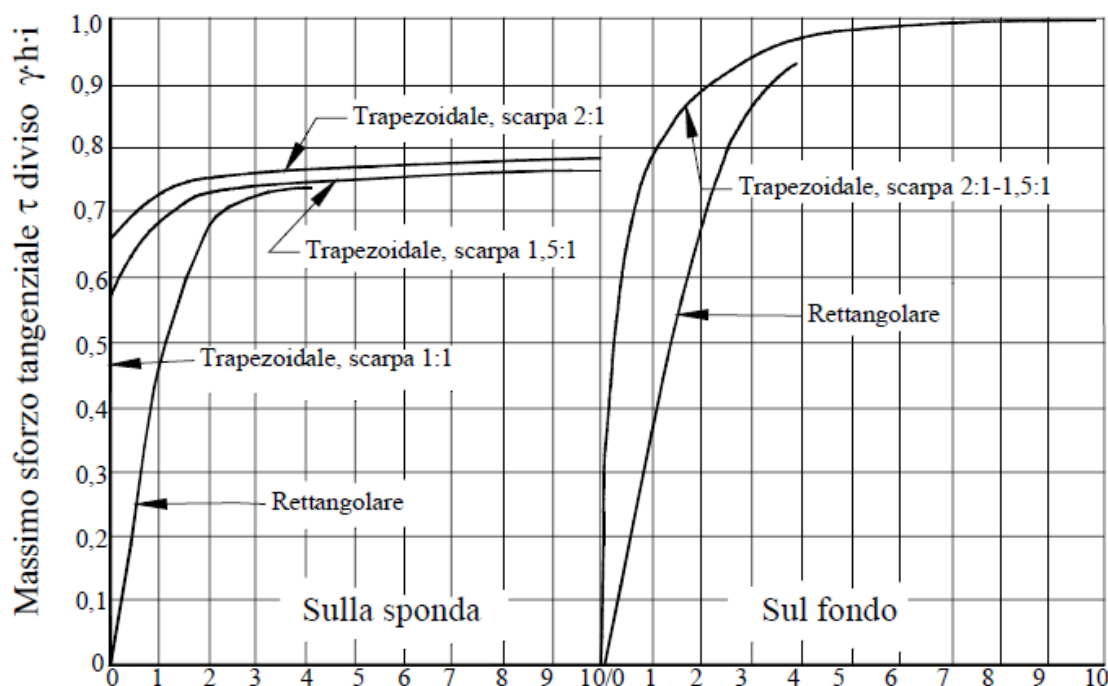
In letteratura sono disponibili varie formule per la valutazione della stabilità dei materiali di assegnata granulometria soggetti all'azione di trascinamento della corrente.

Questi procedimenti si basano sulla determinazione dei valori critici della velocità o delle tensioni tangenziali (intesi come valori che corrispondono alle condizioni di moto incipiente per il materiale considerato) e sul confronto con i valori reali di tali grandezze.

Seguendo il criterio che si basa sulla definizione dello sforzo tangenziale esercitato dalla corrente sul materiale costituente il letto fluviale, la condizione di stabilità del fondo risulta quando  $\tau_0 \geq \tau_{cr}$ , ovvero quando la tensione tangenziale critica è minore o uguale a quella esercitata dalla corrente.

Al fine di impostare in modo corretto la progettazione delle difese spondali nel tratto in esame, occorre valutare in termini numerici, partendo dai valori delle portate e dei livelli di massima piena  $h$  definiti nella relazione idraulica, l'azione di erosione esercitata dalla corrente sul materiale costituente il rivestimento in progetto.

Lo sforzo tangenziale massimo  $\tau_0$  è ricavabile mediante grafici simili a quelli di Figura 50, dove sono riportati i valori  $\xi$  dello sforzo tangenziale massimo adimensionalizzato sul fondo e sulle sponde, in funzione del tipo di sezione e del rapporto  $b/h$  con  $b$  larghezza del fondo.



**Figura 50:** Sforzi tangenziali sul fondo e sulle sponde di alvei a sezione trapezia (*Lane e Carlson, 1953*), (*Maione U., Brath A., Moderni criteri di sistemazione degli alvei fluviali, Editoriale Bios, 1994*)

Lo sforzo tangenziale è adimensionalizzato rispetto alla quantità  $\gamma \cdot h \cdot i$ , con  $i$  pendenza locale della linea dell'energia e  $\gamma$  peso specifico dell'acqua, e quindi può essere espresso dalla relazione:

$$\tau_0 = \xi * \gamma * R * i$$

da cui si ricava la velocità di attrito locale:

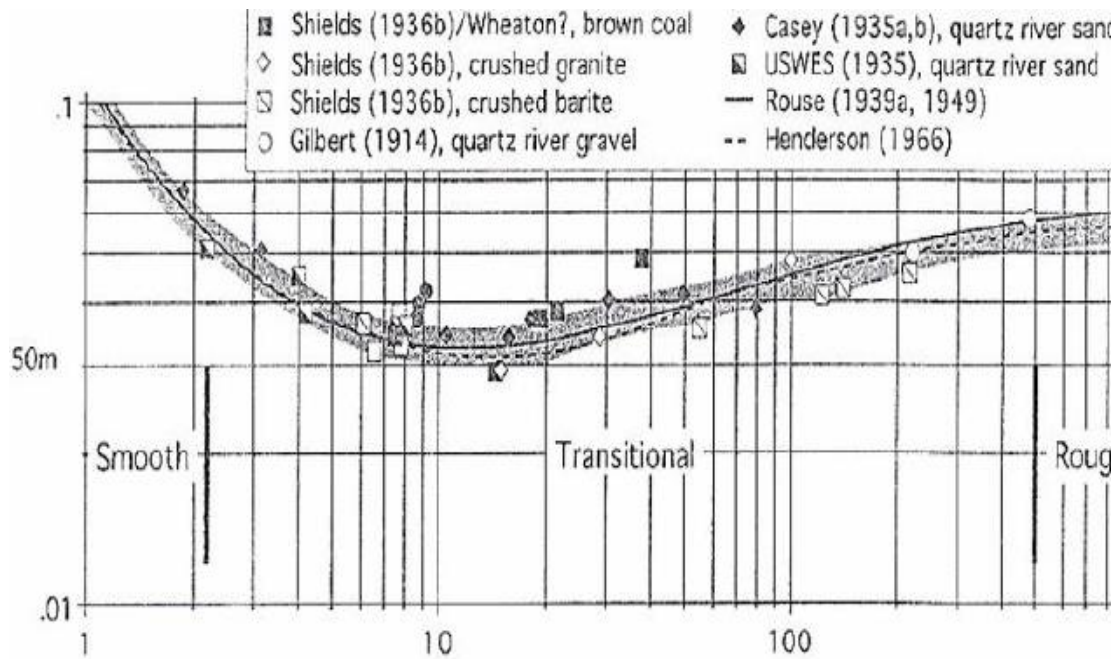
$$u^* = (\tau_0 / \rho)^{1/2} = (\xi * g * R * i)^{1/2}$$

e il numero di Reynolds della singola particella:

$$Re^* = u^* \cdot d / \nu$$

dove  $\nu$  è la viscosità cinematica dell'acqua pari a  $10^6$  e  $d$  il diametro;

Noto tale parametro si calcola il parametro di mobilità critico di Shields  $\theta_c$  che nel caso di alveo orizzontale, per  $Re^* \geq 400$ , si assume pari al valore 0,06:



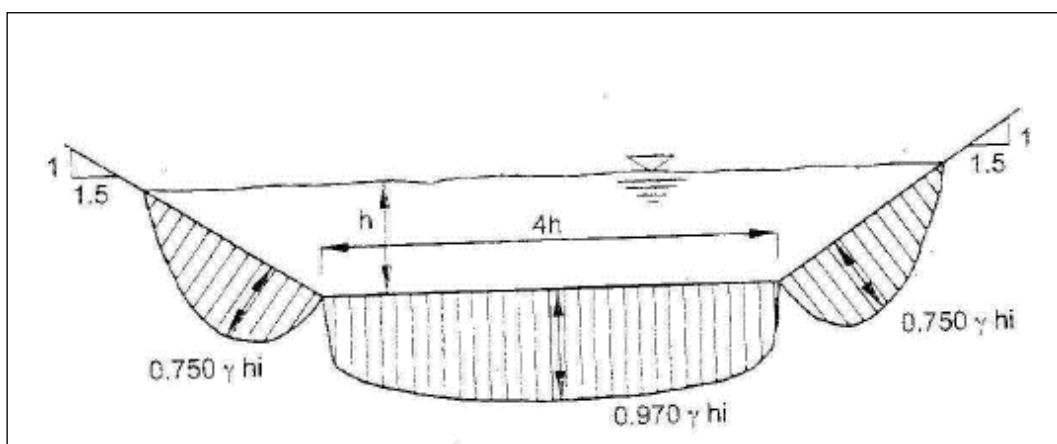
**Figura 51-** Abaco di Shields (1936)

Risulta:

$$\theta_c = u^2 / g d \Delta \quad \text{dove } \Delta = \gamma_s - \gamma_w / \gamma_w$$

tale valore critico può essere corretto per tenere in conto:

- della pendenza del fondo qualora non trascurabile,
- della bassa sommersenza relativa in caso di protezioni di sponde, cioè dimensione dei massi dello stesso ordine del tirante idrico,
- dell'inclinazione delle stesse protezioni spondali.



**Figura 52:** Andamento sforzo tangenziale per alveo trapezio

I fattori di correzione possono esprimersi nel seguente modo:



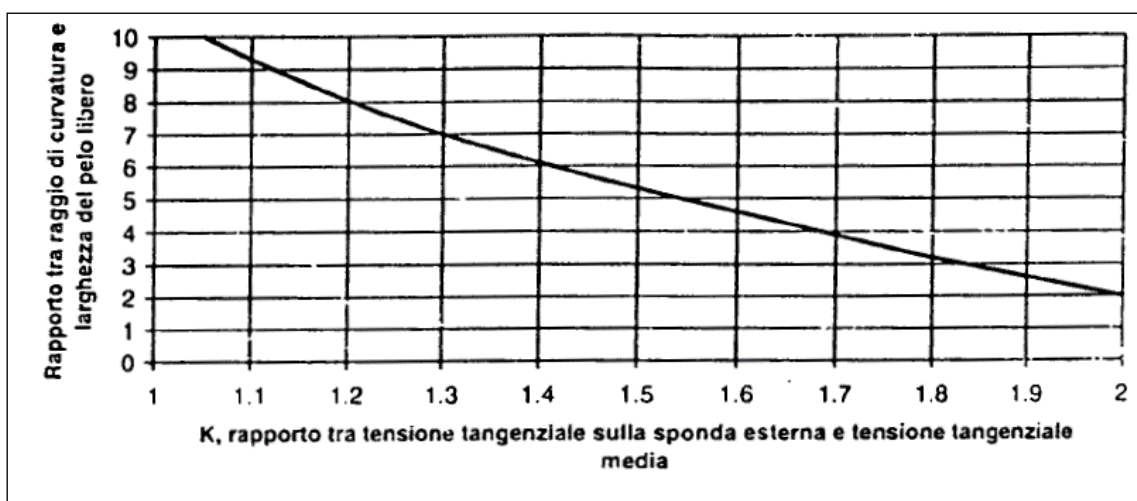
- $k_1 = (\cos \alpha - \sin \alpha / \tan \varphi)$ , nel caso di pendenza del fondo non trascurabile, dove  $\alpha$  è la pendenza del fondo alveo e  $\varphi$  l'angolo di attrito del materiale lapideo del fondo alveo;
- $k_2 = (1 + 0,67 (d/h)^{1/2})$  nel caso occorra computare gli effetti della sommergenza relativa (Armanini A., 1990);
- $k_3 = \cos \beta * (1 - \tan^2 \beta / \tan^2 \varphi_s)^{1/2}$  nel caso si debba considerare la pendenza delle sponde (Lane E.W., 1953), con  $\beta$  pendenza delle sponde e  $\varphi_s$  angolo di attrito del materiale lapideo di rivestimento della sponda.

I coefficienti appena illustrati possono essere applicati anche insieme se si presentano contemporaneamente alcune delle situazioni descritte.

Noto il parametro di mobilità critica si determina il valore del diametro dei massi attraverso la formula:

$$d = u^2 / g^* \Delta^* \theta_c$$

Per sponde in curva tale espressione andrà corretta con un fattore compreso tra 1 e 2 in funzione del raggio di curvatura e dell'ampiezza del pelo libero secondo l'abaco delle figura seguente.



**Figura 53:** Fattore di correzione per alvei non rettilinei

Nel caso specifico l'alveo del Torrente Fandaglia è stato verificato per il rivestimento del fondo e delle sponde lungo la sezione 2, risultando la più sollecitata dalla corrente. Note le caratteristiche geometriche della sezione (pendenza, ampiezza, contorno bagnato, raggio idraulico, inclinazione sull'orizzontale del rivestimento spondale) ricavate dalla simulazione condotta e le caratteristiche del materiale utilizzato per il rivestimento (massi da scogliera aventi peso specifico  $\gamma_s$  pari a 2400 kg/m<sup>3</sup> ed angolo

di attrito  $\varphi$  pari a 60°) è stato ricavato il valore della tensione tangenziale critica  $\tau_{cr}$  sul fondo e sulle sponde corrispondente ad un volume teorico del masso, pari a quello ipotizzato avente diametro 0,80 m, di 0,30 m<sup>3</sup>.

Nel seguito si riportano le tabelle di calcolo dalle quali si evince che il rivestimento del fondo in massi e le scogliere antiersive spondali inserite risultano ampiamente verificate al trascinamento in quanto risulta sempre:

$$\tau_c > \tau_0$$

$\gamma_w$	$\gamma_s$	R raggio idraulico della sezione	h tirante nella sezione	i	d	$\tau_0$	$\tau_{cr}$ sul fondo (ARMANINI)	coeff sicurezza	volume teorico masso	peso masso
kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	m	m	m/m	m	-	-	-	m <sup>3</sup>	kg
1000.00	2400.00	2.86	1.90	0.009	0.60	25.75	69.38	2.69	0.17	414.72
1000.00	2400.00	2.86	1.90	0.009	0.70	25.75	82.71	3.21	0.27	658.56
1000.00	2400.00	2.86	1.90	0.009	0.80	25.75	96.42	3.74	0.41	983.04
1000.00	2400.00	2.86	1.90	0.009	0.90	25.75	110.46	4.29	0.58	1399.68
1000.00	2400.00	2.86	1.90	0.009	1.00	25.75	124.83	4.85	0.80	1920.00
1000.00	2400.00	2.86	1.90	0.009	1.10	25.75	139.50	5.42	1.06	2555.52
1000.00	2400.00	2.86	1.90	0.009	1.20	25.75	154.47	6.00	1.38	3317.76
1000.00	2400.00	2.86	1.90	0.009	1.30	25.75	169.72	6.59	1.76	4218.24
1000.00	2400.00	2.86	1.90	0.009	1.40	25.75	185.23	7.19	2.20	5268.48
1000.00	2400.00	2.86	1.90	0.009	1.50	25.75	201.01	7.81	2.70	6480.00
1000.00	2400.00	2.86	1.90	0.009	1.60	25.75	217.03	8.43	3.28	7864.32
<b>1000.00</b>	<b>2400.00</b>	<b>2.86</b>	<b>1.90</b>	<b>0.009</b>	<b>0.72</b>	<b>25.75</b>	<b>85.58</b>	<b>3.32</b>	<b>0.30</b>	<b>720.05</b>

**Tabella 21:** Verifica a trascinamento sul fondo

$\gamma_w$	$\gamma_s$	R raggio idraulico della sezione	h tirante nella sezione	i	d	$\tau_0$	$\alpha$ angolo sponda sull'orizzontale	$\varphi$ materiale scogliera	$\tau_{cr}$ sulle sponde (LANE)	coeff sicurezza	volume teorico masso	peso masso
kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	m	m	m/m	m	-	45°	60°	-	-	m <sup>3</sup>	kg
1000.00	2400.00	2.86	1.90	0.009	0.60	19.31	0.79	1.05	40.05	2.07	0.17	414.72
1000.00	2400.00	2.86	1.90	0.009	0.70	19.31	0.79	1.05	47.75	2.47	0.27	658.56
1000.00	2400.00	2.86	1.90	0.009	0.80	19.31	0.79	1.05	55.67	2.88	0.41	983.04
1000.00	2400.00	2.86	1.90	0.009	0.90	19.31	0.79	1.05	63.77	3.30	0.58	1399.68
1000.00	2400.00	2.86	1.90	0.009	1.00	19.31	0.79	1.05	72.07	3.73	0.80	1920.00
1000.00	2400.00	2.86	1.90	0.009	1.10	19.31	0.79	1.05	80.54	4.17	1.06	2555.52
1000.00	2400.00	2.86	1.90	0.009	1.20	19.31	0.79	1.05	89.18	4.62	1.38	3317.76
1000.00	2400.00	2.86	1.90	0.009	1.30	19.31	0.79	1.05	97.99	5.07	1.76	4218.24
1000.00	2400.00	2.86	1.90	0.009	1.40	19.31	0.79	1.05	106.95	5.54	2.20	5268.48
1000.00	2400.00	2.86	1.90	0.009	1.50	19.31	0.79	1.05	116.05	6.01	2.70	6480.00
1000.00	2400.00	2.86	1.90	0.009	1.60	19.31	0.79	1.05	125.30	6.49	3.28	7864.32
<b>1000.00</b>	<b>2400.00</b>	<b>2.86</b>	<b>1.90</b>	<b>0.009</b>	<b>0.72</b>	<b>19.31</b>	<b>0.79</b>	<b>1.05</b>	<b>49.41</b>	<b>2.56</b>	<b>0.30</b>	<b>720.05</b>

**Tabella 22:** Verifica a trascinamento sulle sponde

## **ALLEGATI**



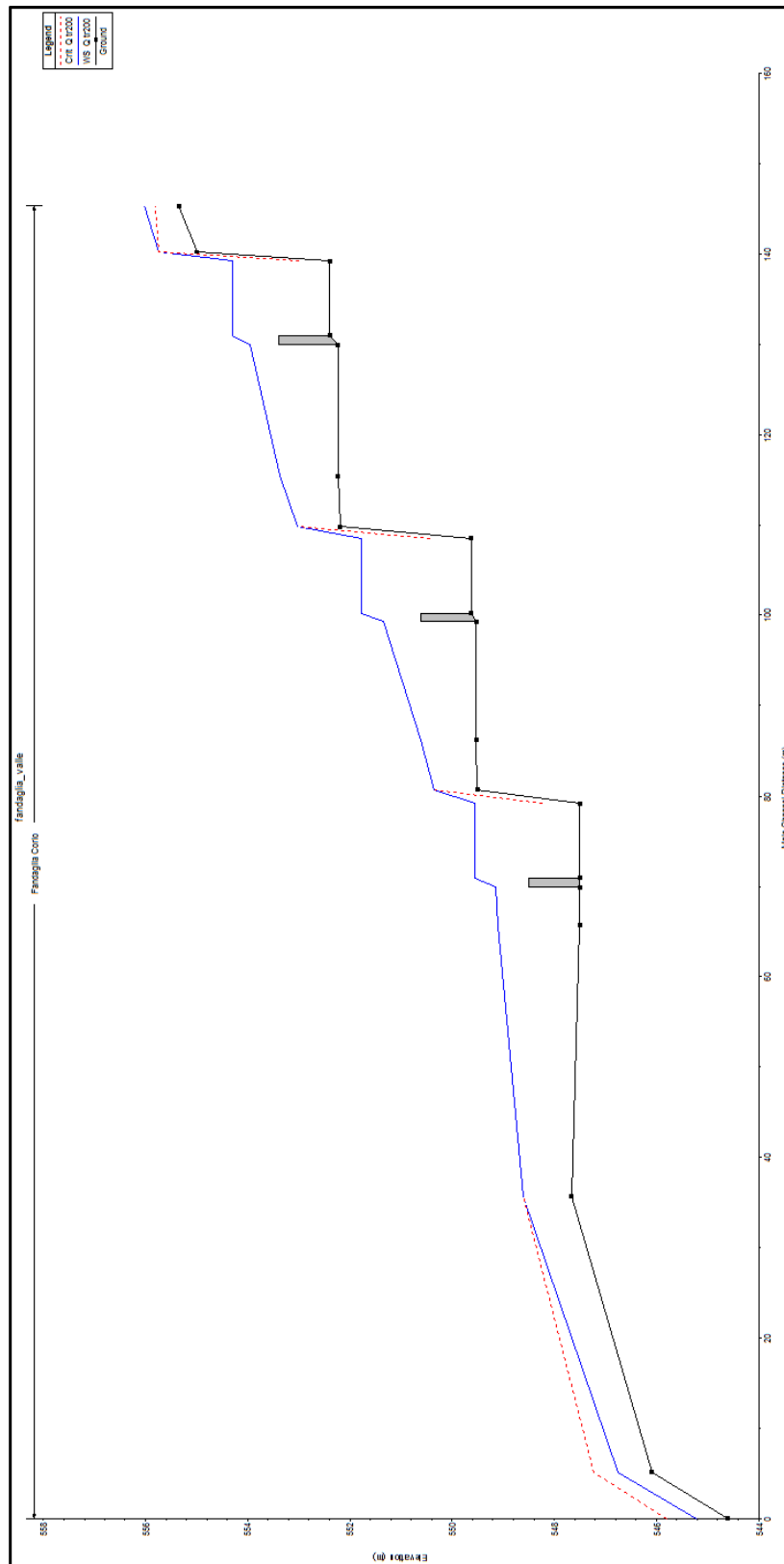


**Risultati numerici della simulazione condotta su Hec Ras**

Reach	River Station	Profile	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude # Chl
Corio	16	Q <sub>tr200</sub>	20.46	555.35	556.01	555.80	556.11	0.002	1.45	14.35	22.49	0.57
Corio	15	Q <sub>tr200</sub>	20.46	555.00	555.73	555.73	556.08	0.002	2.60	7.85	11.46	1.00
Corio	14	Q <sub>tr200</sub>	20.46	552.40	554.30	553.00	554.32	0.000	0.74	29.78	17.61	0.17
Corio	13.2	Inl Struct										
Corio	13	Q <sub>tr200</sub>	20.46	552.24	553.36		553.44	0.001	1.29	16.59	15.90	0.39
Corio	12	Q <sub>tr200</sub>	20.46	552.18	553.02	553.02	553.41	0.002	2.76	7.42	9.68	1.01
Corio	11	Q <sub>tr200</sub>	20.46	549.62	551.76	550.44	551.81	0.000	1.02	22.60	12.70	0.22
Corio	10.2	Inl Struct										
Corio	10	Q <sub>tr200</sub>	20.46	549.53	550.62		550.76	0.002	1.68	12.83	12.83	0.51
Corio	9	Q <sub>tr200</sub>	20.46	549.50	550.34	550.34	550.73	0.002	2.76	7.42	9.68	1.01
Corio	8.5	Q <sub>tr200</sub>	20.46	547.50	549.55	548.24	549.59	0.000	0.91	24.79	14.13	0.20
Corio	8.2	Inl Struct										
Corio	8	Q <sub>tr200</sub>	20.46	547.50	549.11		549.22	0.010	0.56	27.75	18.87	0.14
Corio	6	Q <sub>tr200</sub>	20.46	547.66	548.61	548.61	549.06	0.002	2.98	6.87	7.68	1.01
Corio	5.5	Q <sub>tr200</sub>	20.46	546.08	546.77	547.22	548.70	0.081	6.20	3.38	8.36	3.09
Corio	5	Q <sub>tr200</sub>	20.46	544.59	545.23	545.79	548.10	0.126	7.53	2.77	7.33	3.86



## Profilo







Sezioni

