



COMUNE DI CETO
PROVINCIA DI BRESCIA

Committenti:

LOTTIZZANTI PL CAGNE
Ceto (Brescia)



Ottobre 2010:

PRIMA STESURA

Novembre 2013: Recepimento osservazioni
Regione Lombardia
(settembre 2013)

Dott. geol. Gilberto Zaina



Via Albera, 3 - Darfo Boario Terme (BS)

tel./fax: 0364 533637

e-mail: info@geotec-studio.it - gilbertozaina@yahoo.it



1. PREMESSA	2
2. METODOLOGIA DI INDAGINE.....	4
3. UBICAZIONE ED INQUADRAMENTO	6
3.1. Aspetti idrografici	6
3.2. Valutazione della quota media.....	7
3.3. Curva ipsometrica	8
3.4. Pendenza media dei versanti	9
3.5. Inquadramento geologico e geomorfologico.....	10
3.6. Propensione al dissesto del corso d'acqua	10
4. ASPETTI MORFOLOGICI DELLA CONOIDE ALLUVIONALE	12
4.1. Curva di fondo del tratto lungo la conoide alluvionale	14
4.2. La dinamica morfologica delle aree di conoide	14
5. STIMA DELLA PORTATA DI MASSIMA PIENA	16
5.1. Analisi dati pluviometrici	17
5.2. La portata critica	20
5.3. Analisi dei risultati	22
6. VERIFICHE IDRAULICHE	24
6.1. Analisi dei risultati	33
7. CONDIZIONI DI PERICOLOSITÀ NELLE AREE DI CONOIDE	35
8. CONCLUSIONI.....	37
9. BIBLIOGRAFIA.....	38

1. Premessa

La presente indagine, condotta su incarico dei Lottizzanti del PL CAGNE in Comune di Ceto (Brescia), è finalizzata alla formulazione di una proposta di perimetrazione della pericolosità geomorfologica del tratto distale della conoide del Torrente Figna in Comune di Ceto (Brescia) - a valle del tracciato della SS42 "del Tonale e della Mendola" che attraversa le aree mediane della conoide - mediante l'esame di dettaglio degli aspetti idrologici, geomorfologici ed idraulici.

Nella presente relazione si ottempera alle richieste formulate da *Regione Lombardia - D. G. Territori, Urbanistica e difesa del Suolo - Pianificazione e Programmazione Interventi per l'Assetto Idrogeologico* riportate nel parere allo studio di approfondimento per la riperimetrazione delle aree di conoide del Torrente Figna (parere trasmesso allo scrivente in data 20/09/2013); in particolare il parere evidenzia le seguenti criticità o incoerenze:

	Osservazione Regione Lombardia	Riferimento di adeguamento
1	Adeguamento riferimenti normativi	d.g.r. n/87374 del 28 maggio 2008 anziché d.g.r. n. 7/7365 del 20 dicembre 2001
2	Giustificazione stima magnitudo	Vedasi pag. 11
3	Valutazione in termini quantitativi della carta della pericolosità	Par. 6
4	Condizioni di pericolosità in relazione alle criticità osservate	Par. 7.1
5	Adeguamento riferimenti normativi	L12/05 anziché L41/97 d.g.r. n. IX/2616 del 30 novembre 2011

Essendo le condizioni di rischio idrogeologico legate a "fenomeni di esondazione e deposizione di colate detritico-fangose", l'indagine è stata condotta attenendosi ai contenuti della Deliberazione di Giunta Regionale 30 novembre 2011 - n. IX/2616 "Aggiornamento dei Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 12/05, approvati con d.g.r. 22 dicembre 2005 n. 8/1566 e successivamente modificati con d.g.r. 28 maggio 2008 n. 8/7374" pubblicati sul Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia - Serie Ordinaria del 19 gennaio 2012:

- *Allegato 2: Procedure per la valutazione e la zonazione della pericolosità e del rischio da frana*
- *Allegato 4: Criteri per la valutazione di compatibilità idraulica delle previsioni urbanistiche e delle proposte d uso del suolo nelle aree a rischio idraulico.*

La perimetrazione proposta deriva dall'approfondimento delle problematiche geologiche ed idrauliche, sulla base di osservazioni di carattere topografico (topografia di dettaglio del territorio comunale; rilievo speditivo di sezioni d'alveo) e stima delle portate attese. In allegato alla presente viene proposta una nuova perimetrazione della pericolosità delle aree di conoide esaminate, che intende essere a modifica di quanto riportato nello "STUDIO GEOLOGICO DEL TERRITORIO - l.r. 24 novembre 1997 n. 41 - D.G.R. b. 7/6645 del 29 ottobre 2001)" redatto da **Dott. Geol. Gianpiero Feriti**, aggiornato con recepimento delle osservazioni della Regione Lombardia trasmesse con lettera del 30/01/03 prot. Z1 2003 5431.

La proposta di modifica è formulata ai sensi del punto 5.2 della Deliberazione di Giunta Regionale 30 novembre 2011 - n. IX/2616; la valutazione della pericolosità riportata viene proposta anche in sostituzione alla delimitazione delle aree soggette a rischio idrogeologico riportate nella cartografia del Piano di Assetto Idrogeologico (PAI).

2. Metodologia di indagine

Per la redazione della presente relazione e della documentazione allegata, in accordo con la normativa di riferimento, sono state condotte le seguenti fasi d'indagine:

- inquadramento idrografico geologico, geomorfologico ed idrologico del bacino idrografico: nell'indagine sono state analizzate le informazioni disponibili in letteratura avvalendosi dei contenuti dello STUDIO GEOLOGICO DEL TERRITORIO comunale di Ceto (Brescia), redatto da Dott. Geol. Gianpiero Feriti;
- valutazione delle portate di massima piena per eventi con tempo di ritorno (TR) pari a 100 anni (come da indicazioni contenute nel Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico - PAI - dell'Autorità di Bacino del Po e nell'allegato 4 della Deliberazione di Giunta Regionale 30 novembre 2011 - n. IX/2616) e stima del trasporto solido;
- rilevamento geomorfologico di dettaglio delle aree di conoide: durante la fase d'indagine è stato eseguito il rilievo di alcune sezioni d'alveo ritenute significative;
- valutazione della propensione del corso d'acqua ad un possibile disalveo mediante la conduzione di verifiche idrauliche speditive su sezioni dell'alveo ritenute significative;
- valutazione delle condizioni di pericolosità morfologica delle aree di conoide che possono essere raggiunte da fenomeni di bed load (trasporto di fondo).

La definizione delle pericolosità delle aree distali della conoide, in relazione ai risultati dell'indagine condotta, è stata valutata sulla base della possibilità di esondazione del Torrente Figna per portate di massima piena paragonabili alle portate critiche, con trasporto di sabbia e ghiaia.

L'indagine è comprensiva dei seguenti allegati:

N	Denominazione	Scala
01	Ubicazione	1:5.000
02	Estratto carta della Fattibilità geologica per le azioni di piano	1:2.000
03	Estratto carta dei dissesti proposta da Piano di Assetto Idrogeologico - PAI	1:5.000
04	Carta geomorfologica di dettaglio	1:2.000
05	Curva di fondo della conoide alluvionale del Torrente Figna	grafica
06	Sezioni idrauliche	1:50
07	Carta idrografica	1:10.000
08	Carta delle fasce altimetriche	1:10.000
09	Calcoli idraulici: - stima della portata di massima piena con TR = 100 anni - verifiche idrauliche speditive	
10	Carta della pericolosità idraulica	1:2.000
11	Carta della fattibilità per le azioni di piano PROPOSTA	1:2.000
12	Carta della pericolosità con legenda PAI PROPOSTA	1:5.000

3. Ubicazione ed inquadramento

Il Torrente Figna è un affluente di sinistra del Fiume Oglio nel tratto di media Valle Camonica: la confluenza è posta a quota 346 m s.l.m., immediatamente a valle del ponte che mette in collegamento l'abitato di Ono San Pietro - in destra idrografica - al tracciato della Ex SS42.

L'alveo del Torrente Figna lungo la conoide alluvionale, che si sviluppa dallo sbocco dell'incisione torrentizia a quota 450 m s.l.m. sino alla confluenza in Oglio, ricade nel territorio comunale di Ceto e lambisce (nel suo tratto superiore) l'abitato di Nadro posto in destra idrografica.

Il bacino idrografico si sviluppa lungo il versante a monte dell'abitato di Nadro sino alle pendici del Pizzo Badile Camuno (2387 m s.l.m.) e ricade per la maggior parte all'interno dei confini comunali di Cimbergo.

3.1. Aspetti idrografici

Il bacino del Torrente Figna si sviluppa dalle pendici del Pizzo Badile a quota 2387 m s.l.m. sino all'apice dell'ampia conoide alluvionale posta allo sbocco della forra rocciosa sull'asta principale a quota 450 m s.l.m.; l'estensione del bacino idrografico, valutata sulla base della Carta Tecnica Regionale alla scala 1:10.000 risulta pari a 4.73 km² (ALLEGATO 7), con una lunghezza dell'asta principale stimata dell'ordine di 3.998 km.

Il reticolo idrografico, caratterizzato da una discreta ramificazione, ha uno sviluppo complessivo di circa 17 km.

Il Torrente Figna propriamente detto (che corrisponde al tratto terminale del collettore del tratto lungo la conoide) deriva dalla confluenza della Valle Dafus e della Valle Varecola:

- la Valle Varecola, che si sviluppa nella porzione nord del bacino idrografico, si estende sino al versante nord-est del Pizzo Badile e presenta una evidente ramificazione esclusivamente nel settore superiore a partire da quota 1100 m s.l.m.;
- La Valle di Dafus si divide in due rami; uno costituito dalla Valle del Pradello che si estende nella porzione centro meridionale del bacino idrografico e raggiunge il versante est del

Pizzo Badile, un secondo ramo che occupa il settore sud-est del bacino idrografico e raggiunge le creste della Sella Nanti.

Dallo sbocco sulla conoide sino alla prima ramificazione a quota 640 m s.l.m., l'alveo - Torrente Figna propriamente detto - è inciso in una forra rocciosa di discrete dimensioni e quindi è possibile affermare come gli effetti dei fenomeni geomorfologici che si manifestano nel bacino idrografico possono raggiungere le aree apicali della conoide.

3.2. Valutazione della quota media

Per la valutazione della quota media, la superficie (A) del bacino idrogeologico è stata suddivisa in aree parziali (A_i) sulla base della distribuzione delle isoipse con dislivelli pari a 50 m. A ciascuna area A_i è stata assegnata la quota h_i corrispondente alla media del settore.

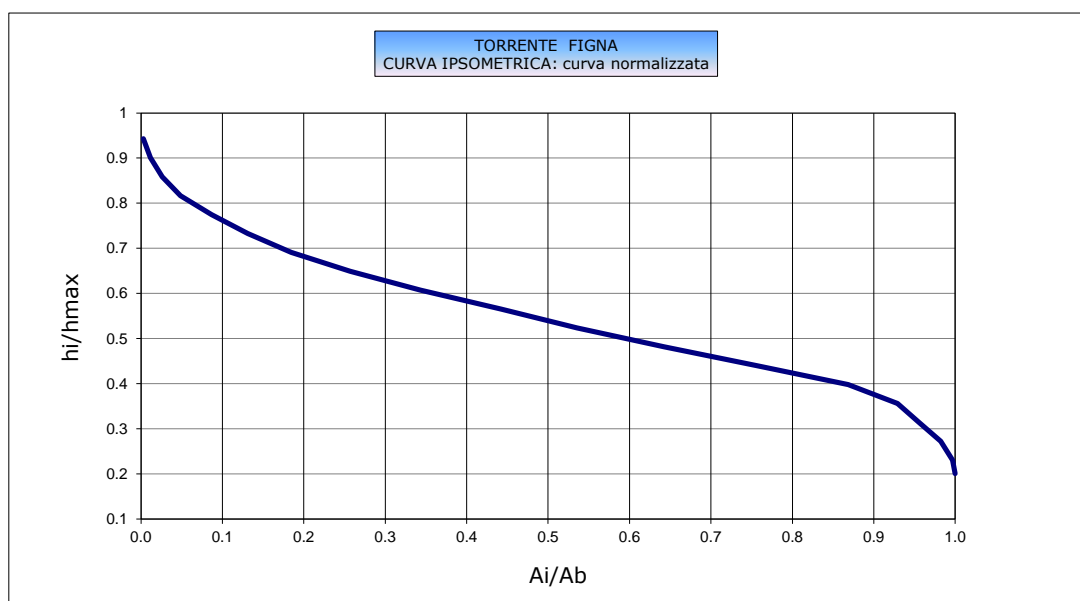
Torrente FIGNA				
Quota media (m)	Superficie (m ²)	H(m)xA(m ²)	Superficie (Km ²)	Superficie cumulativa (Km ²)
2250	13158.8	29607279.2	0.0132	0.013
2150	42213.3	90758493.4	0.0422	0.055
2050	68036.5	139474728.1	0.0680	0.123
1950	106364.1	207409948.5	0.1064	0.230
1850	180272.2	333503509.0	0.1803	0.410
1750	209919.6	367359219.0	0.2099	0.620
1650	251967.7	415746671.7	0.2520	0.872
1550	341798.4	529787492.1	0.3418	1.214
1450	409617.9	593945980.6	0.4096	1.623
1350	466769.2	630138479.1	0.4668	2.090
1250	442453.2	553066460.9	0.4425	2.533
1150	504146.6	579768540.8	0.5041	3.037
1050	540006.6	567006925.5	0.5400	3.577
950	529634.4	503152647.1	0.5296	4.106
850	285684.0	242831375.1	0.2857	4.392
750	125041.5	93781095.5	0.1250	4.517
650	125824.5	81785943.0	0.1258	4.643
550	70049.0	38526963.1	0.0700	4.713
480	14450.7	6936318.8	0.0145	4.727
	4727408	6004588071	4.727407851	

L'altitudine media h_m del bacino corrisponde alla media pesata delle quote medie h_i da cui

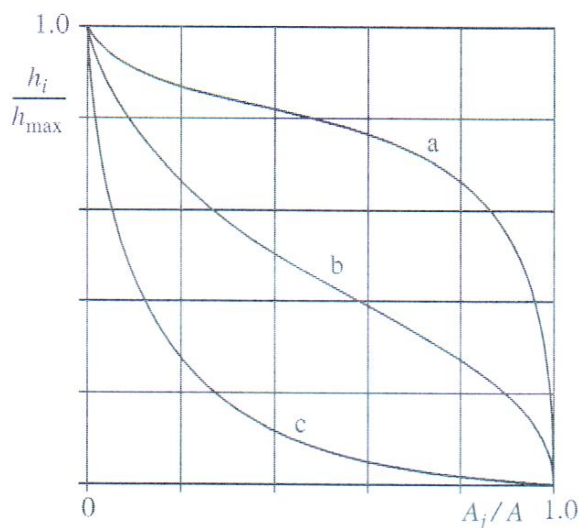
$$h_m = \frac{\sum h_i x A_i}{\sum A_i} = \frac{\sum h_i x A_i}{A} = 1270.2 \text{ m.s.l.m.}$$

3.3. Curva ipsometrica

Sulla base del valore attribuito alla quota media del bacino, disponendo degli areali A_i è stata ricostruita la curva ipsometrica del corso d'acqua dove in ordinata si riporta la quota h_i rapportata alla quota massima h_{max} e in ascissa l'area A_i rapportata all'area A complessiva del bacino.



La curva iposmetrica, confrontata con degli standard riportati in letteratura (figura seguente), consente di valutare il grado di evoluzione del bacino idrografico in esame distinguendo tre stadi:



CURVA a) stadio giovanile: bacino in fase di erosione;

- CURVA b) stadio di maturità: condizioni di equilibrio;

- CURVA c) stadio di senilità.

Nel caso in esame la curva del Torrente FIGNA può essere associata alla curva tipo **b** che assegna l'alveo ad uno STADIO DI MATURITA', al quale è possibile associare una fase di equilibrio della curva di fondo

ma non un completo esaurimento dei processi evolutivi.

3.4. Pendenza media dei versanti

Il valore della pendenza è calcolato suddividendo il bacino idrografico in bande delimitate da due isoipse contigue di quota i ed $i+1$: la media ponderale delle pendenze delle singole bande fornisce il valore della pendenza media del bacino secondo la seguente espressione:

$$i_m = \frac{\sum p_i \times A_i}{\sum A_i} = \frac{\sum \frac{e}{d_i} \times A_i}{A} = e \frac{\sum l_i}{A}$$

dove

e = equidistanza tra due isoipse

d_i = larghezza media della banda delimitata da due isoipse contigue di quota i ed $i+1$

l_i = lunghezza media della striscia i -esima

$A_i = d_i \times l_i$ = l'area della striscia i -esima

$p_i = e/d_i$ = pendenza media della striscia i -esima

I dati relativi al bacino idrogeologico in esame sono riportati nella seguente tabella.

Settore	Superficie A_i (Km ²)	Dislivello e (m)	Lunghezza d (m)	Pendenza $P_i = e/d$	$P \times A$
1	0.013	100	94	1.06	0.0139987
2	0.042	100	97	1.03	0.0435188
3	0.068	100	95	1.05	0.0716173
4	0.106	100	91	1.10	0.1168836
5	0.180	100	109	0.92	0.1653873
6	0.210	100	108	0.93	0.1943700
7	0.252	100	119	0.84	0.2117375
8	0.342	100	123	0.81	0.2778849
9	0.410	100	125	0.80	0.3276943
10	0.467	100	133	0.75	0.3509543
11	0.442	100	135	0.74	0.3277431
12	0.504	100	162	0.62	0.3112016
13	0.540	100	205	0.49	0.2634179
14	0.530	100	247	0.40	0.2144269
15	0.286	100	275	0.36	0.1038851
16	0.125	100	175	0.57	0.0714523
17	0.126	100	213	0.47	0.0590725
18	0.070	100	235	0.43	0.0298081
19	0.014	50	100	0.50	0.0072253

da cui, a pendenza media dei versanti è risultata essere pari al 67% ($\approx 34^\circ$).

3.5. Inquadramento geologico e geomorfologico

Le rocce d'imposta del bacino idrografico del Torrente Figna comprendono litologie sedimentarie, calcaree, ignee e metamorfiche. Infatti:

- nella porzione inferiore (a monte dello sbocco sull'asta principale sino alla principale ramificazione) lungo i versanti affiorano litologie appartenenti alla Formazione del Servino, costituiti da arenarie e marne;
- fra quota 900 e 1000 m s.l.m. affiora la Formazione della Carniola di Bovegno, costituita da carniole e localmente gessi;
- il ramo di sinistra (Valle di Dafus) è impostato nei termini calcarei triassici (compresi fra la formazione del Calcarea di Angolo ed il Calcarea di Esino);
- il ramo di destra (Valle Varecola) è impostato nelle rocce intrusive appartenenti al Massiccio Intrusivo dell'Adamello;
- nelle zone di passaggio sono presenti litologie riconducibili a metamorfismo di contatto dei termini metamorfici.

Lungo l'intero bacino idrografico è estesa la coltre detritica, comprensiva di falde e conii detritici (zone superiori), depositi glaciali s.l. e depositi eluvio colluviali.

Dal punto di vista morfologico, il bacino è caratterizzato dalla presenza di alcuni fenomeni di dissesto (frane per scivolamento) impostati nei depositi morenici, mentre le scarpate dell'alveo inciso (che presentano un'elevata acclività) presentano condizioni di instabilità potenziale per quanto riguarda la copertura detritica che le riveste.

Lungo l'asta sono presenti alcune opere idrauliche (briglie) realizzate allo scopo di stabilizzare i depositi in alveo.

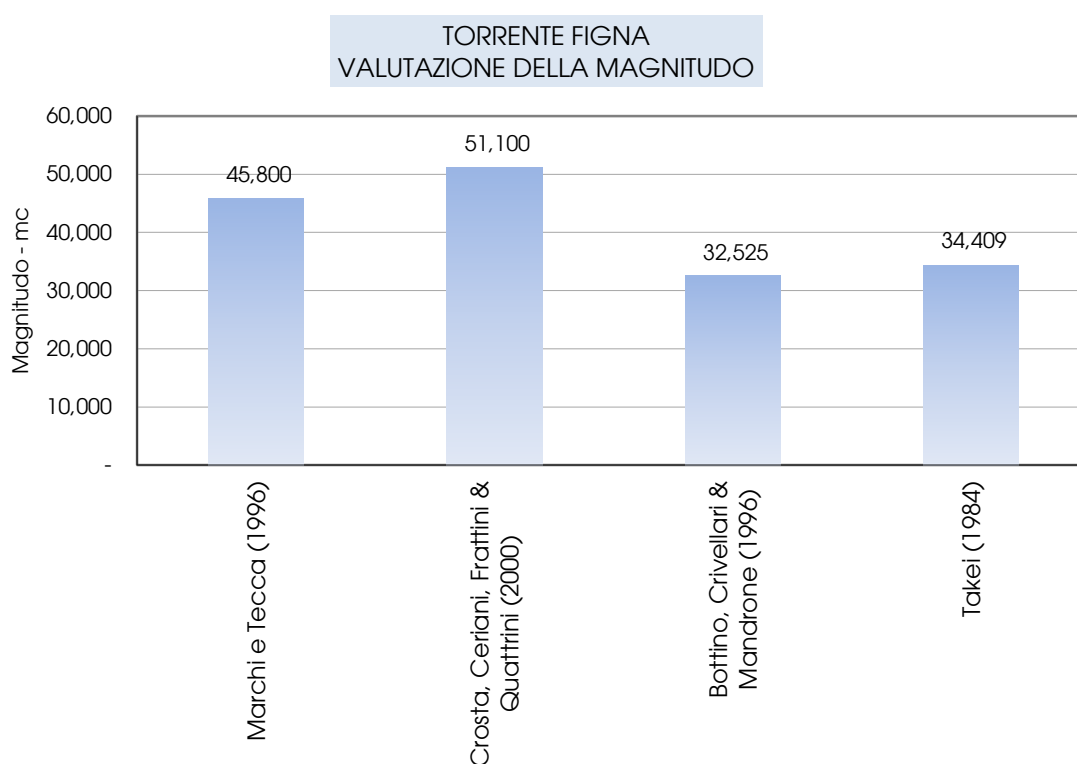
3.6. Propensione al dissesto del corso d'acqua e stima della magnitudo

Nel complesso il corso d'acqua (come testimoniato dagli eventi alluvionali storici (1960, 1987)) è soggetto ad eventi di piena con trasporto in massa: il materiale detritico movimentabile comprende frazioni medio fini (sabbia e ghiaie) e blocchi di discrete dimensioni.

Gli eventi storici documentati indicano come a seguito e durante piogge intense, la conoide alluvionale sia stata raggiunta da volumi detritici con conseguente disalveo e/o ostruzione di tombotti e ponti.

Nello studio di supporto alla pianificazione territoriale del comune di Ceto, per il torrente Figna è stata ipotizzata la potenzialità al verificarsi di colate detritiche incanalate: nello studio di riferimento la magnitudo è stata stimata mediante l'applicazione delle metodologie di calcolo proposte da: MARCHI E TECCA, CROSTA, CERIANI ET ALI, BOTTINO CRIVELLARI E MANDRONE, TAKEI

I risultati sono illustrati nel seguente grafico.



Al torrente Figna viene attribuito un valore di magnitudo attesa pari a 40.000 m³ pari alla media dei risultati delle metodologie proposte. Tale fenomeni possono raggiungere le aree apicali della conoide alluvionale e divagare in relazione alla conformazione morfologica del settore. Per il corso d'acqua, come testimoniato dagli eventi recenti, sono inoltre possibili fenomeni di tipo bed load (trasporto di fondo) - legati a fenomeni erosivi di fondo del materiale detritico presenze lungo l'alveo e derivante da apporti di versante: tali processi, come indicato dai dati storici, sono contraddistinti da maggior probabilità di accadimento rispetto a processi di colata e quindi considerabili di maggior pericolosità.

4. Aspetti morfologici della conoide alluvionale

Gli aspetti morfologici salienti delle aree di conoide sono illustrati nell'ALLEGATO 4 a fine testo, redatto sulla base della *Mappa 66 - Ceto* e *Mappa 62 - Nadro*, del rilievo aereo fotogrammetrico della Valle Camonica, condotto a cura del Consorzio Bacino Imbrifero Montano (BIM) della Valle Camonica con riprese aree del 15/05/2000, 17/5/200 e 23/05/2000.

I depositi di conoide riconosciuti su base morfologica si evidenziano da quota 450 m s.l.m. (allo sbocco del tratto di alveo inciso) sino a circa 350 m s.l.m. dove sono incisi dal Fiume Oglio che definisce una scarpata di altezza di 5.0 - 6.0 m.

Nel tratto superiore della conoide alluvionale sorge l'abitato di Nadro che occupa le aree in destra idrografica comprese fra l'alveo e la base del versante: l'urbanizzazione dell'ambito ha obliterato eventuali morfologie legate alla dinamica del corso d'acqua.

Le aree in sinistra idrografica sono prive di insediamenti urbani consolidati (solo recentemente è stato realizzato il centro sportivo) e quindi è ancora possibile riconoscere elementi morfologici significativi collegati alla dinamica di conoide, quali avvallamenti con direzione est - sud/est associabili ad "alvei abbandonati".

A seguito degli eventi alluvionali del 1987, le aree di conoide sono state oggetto di significativi interventi di regimazione idraulica (indicati nella cartografia in allegato) quali:

- una vasca di trattenimento (con volume disponibile pari a 15.000-20.000 m³) con briglia filtrante all'altezza dello sbocco del tratto inciso. A monte della briglia, in sinistra idrografica, è stata realizzata un tratto di scogliera in massi ciclopici intasata con calcestruzzo;
- confinamento dell'alveo (dalla briglia sino alla confluenza) mediante la realizzazione di un cunettone con sponde in pietrame e malta e fondo in calcestruzzo;



- soglie di fondo lungo il cunettone a contenimento della pendenza della curva di fondo.

Tali strutture interferiscono nella dinamica del corso d'acqua, soprattutto per quegli eventi di piccola media dimensione (con piccolo tempo di ritorno) ma non possono interagire con eventi di colata di magnitudo pari a quella stimata per il corso d'acqua: in occasione di colate detritiche con magnitudo superiori ai volumi disponibili della vasca di deposizione, oppure a seguito di colate con magnitudo ridotte ma con frequenza elevata (superiore a quella degli interventi di manutenzione ordinaria della vasca) è possibile l'intasamento della vasca e la conseguente divagazione di colate lungo la conoide.

La conoide è intersecata nel suo tratto mediano dal tracciato della nuova SS42 *del Tonale e della Mendola* che si sviluppa in trincea: a valle ed a monte le scarpate della trincea sono sostenute da muri in calcestruzzo armato di altezza dell'ordine di 5-6 m.

Le colate detritiche che superano la vasca di accumulo e divagano lungo la porzione superiore della conoide sono quindi intercettate completamente dalla depressione definita dalla sede stradale: ne consegue che il tratto di conoide a valle del tracciato non può risentire degli eventi morfologici di conoide collegati alla dinamica estrema del corso d'acqua.

Per il superamento della SS42 lungo l'alveo del Torrente Figna è stato realizzato un "ponte canale" a sezione trapezia per una lunghezza di circa 25 m; il ponte canale si sviluppa immediatamente a valle della captazione connessa all'impianto idroelettrico EDISON di CIVIDATE.



Lungo la conoide, sia in destra che sinistra idrografica, sono presenti direttrici stradali (talora in rilevato) con intersezioni del corso d'acqua definiti da tombotti di limitate dimensioni, con

impalcati che occupano la sezione libera del cunettone. Le direttrici stradali definiscono linee di deflusso preferenziali delle acque di esondazione.

Durante la fase di rilievo di terreno sono state rilevate attraverso l'uso di una cordella metrica le dimensioni di alcune sezioni considerate critiche e rappresentative dell'assetto idraulico del corso d'acqua: le sezioni sono riportate nell'ALLEGATO 6 a fine testo.

Nel settore distale della conoide, a monte della confluenza, in Oglio, il Torrente Figna è attraversato dalla linea Ferroviaria Brescia Edolo e dal tracciato della Ex SS42.

4.1. Curva di fondo del tratto lungo la conoide alluvionale

Avvalendosi della cartografia disponibile (rilievi aereofotogrammetrici - carta tecnica comunale) è stata ricostruita la curva di fondo del tratto di alveo del Torrente Figna lungo conoide alluvionale, riportata nell'allegato 5.

L'esame del grafico mette in evidenza come lungo l'intera conoide il corso d'acqua presenti una pendenza uniforme con lieve diminuzione nel suo tratto distale, interrotta dai piccoli salti definiti dalle soglie che non interferiscono sulla pendenza complessiva.

Dall'elaborazione dei dati piano altimetrici, il tratto di alveo lungo la conoide si sviluppa tra le quote 453 e 346 m s.l.m. per una lunghezza di 902 m con una pendenza media pari a 11.7% ($\approx 7^\circ$).

4.2. La dinamica morfologica delle aree di conoide

Sulla base delle possibili dinamiche morfologiche riscontrate e descritte per il bacino del Torrente Figna (colate e bed-load) in relazione alle caratteristiche delle aree di conoide ed alla presenza delle opere di regimazione descritte, si ritengono possibili i seguenti fenomeni:

- Il settore apicale della conoide può essere raggiunto da colate detritiche incanalate nel tratto inciso;
- Le dimensioni della vasca di deposito realizzata sono inferiori rispetto alla magnitudo stimata;

- È possibile il verificarsi di eventi fra loro ravvicinati nel tempo che non consentono lo svasso dell'opera di protezione esistente;
- Esiste dunque la possibilità che le colate detritiche superino la vasca di accumulo e tendono preferenzialmente ad incanalarsi lungo le direttrici definite dagli alvei abbandonati in sinistra idrografica, raggiungendo i settori mediani della conoide alluvionale;
- La presenza del tracciato in trincea della SS42 definisce un ostacolo al deflusso delle colate detritiche, che si arrestano sulla stessa;
- Le acque incanalate ed il trasporto in sospensione tendono a defluire lungo l'alveo principale (cunettone), dove incontrano ostacoli legati alla riduzione delle sezioni di deflusso in corrispondenza dei tombotti.
- I tombotti sono inoltre potenzialmente intasabili per trasporti in sospensione;
- Ne conseguono possibili fenomeni di esondazione;
- Le acque di esondazione tendono a defluire in sinistra idrografica, seguendo direttrici preferenziali definite dalla sedi stradali.

Per il settore apicale e mediano della conoide del Torrente Figna si concorda con la perimetrazione della pericolosità (e la fattibilità geologica) proposta nello Studio geologico del territorio ed i vincoli ad esso connessi.

Nel tratto distale della conoide alluvionale, a valle della SS42, la pericolosità morfologica è legata essenzialmente a processi di esondazione della portata di massima piena che attraversa il ponte canale.

5. Stima della portata di massima piena

Nel presente paragrafo viene descritta la metodologia di calcolo utilizzata per la valutazione delle portate di massima piena attendibili alla sezione di chiusura del bacino idrografico lungo il Torrente Figna (posta a quota 450 m s.l.m., immediatamente a monte del settore meridionale dell'abitato di Nadro).

Le portate di massima piena sono state stimate per un Tempo di Ritorno $TR = 100$ in accordo con i contenuti de *Procedure per la valutazione e la zonazione della pericolosità e del rischio da frana in Regione Lombardia* contenuti nella d.g.r. n. 7/6645 del 29/10/2001, *Approvazione delle direttive per la redazione dello studio geologico ai sensi dell'art. 3 della L.R. 41/97* e nella Deliberazione di Giunta Regionale 30 novembre 2011 - n. IX/2616.

Le valutazioni sono state condotte attenendosi agli aspetti morfometrici desunti dall'esame della cartografia tecnica di base CTR (Carta Tecnica Regionale) Sezione D3d5 e riassunti nella tabella seguente:

Parametri morfometrici alla sezione a quota 450 m s.l.m.			
Area del bacino sotteso	$S_b =$	4.73	kmq
Lunghezza dell'asta	$L =$	3.99	km
Altezza minima	$H_{min} =$	450	m s.l.m.
Altezza massima	$H_{max} =$	2387	m s.l.m.
Altezza media	$H_{med} =$	1270.17	m s.l.m.
Altezza media relativa	$H_{med} =$	820.17	m s.l.m.
Pendenza media bacino	$i_{med} =$	66.9	%

Le valutazioni eseguite hanno previsto:

- analisi dei dati pluviometrici;
- valutazioni delle portate di massima piena;
- stima del trasporto solido in sospensione.

Nei paragrafi seguenti sono illustrate le procedure riportate nei fogli di calcolo riportati nell'allegato 9 a fine testo.

5.1. Analisi dati pluviometrici

Per la stima del valore atteso della *pioggia critica* (intesa come altezza massima di pioggia attesa in un periodo pari al tempo di corrvazione) ci si è attenuto a quanto riportato in:

- “*Studio delle precipitazioni intense in provincia di Brescia e verifica funzionale della rete pluviometrica esistente*” (Provincia di Brescia, 1985;
- “*Analisi e sintesi delle piogge intense del territorio bresciano*” di R. Ranzi, M. Mariani, E. Rossini, B. Armanelli, B. Bacchi a cura dell’Università degli Studi di Brescia - Dipartimento di Ingegneria Civile.

Nei paragrafi successivi sono illustrate le due diverse modalità di valutazione e confrontati i risultati ottenuti.

■ *Studio delle precipitazioni intense in provincia di Brescia e verifica funzionale della rete pluviometrica esistente*” (Provincia di Brescia, 1985).

I dati riportati sono riferiti alle serie dei massimi annuali di precipitazione consecutive di durata pari a 1, 3, 6, 12, 24 ore nonché di 1 giorno convenzionale. L’entità delle precipitazioni è riportata in termini di altezze di pioggia espresse in millimetri.

Il testo consultato, per la stazione di BRENO, ricostruisce le rette di possibilità climatica in funzione del tempo di ritorno. L’espressione delle curve segnalatrici di possibilità climatica, che permettono di definire l’altezza di pioggia massima prevedibile nell’area considerata in funzione del tempo di ritorno e della durata della pioggia, è del tipo:

$$h(d,TR) = a \times d^n$$

dove

h = precipitazione in mm per un determinato Tempo di Ritorno;

d = durata della precipitazione in ore;

a, n = coefficienti delle curve segnalatrici per un assegnato tempo di ritorno.

Per la stazione di BRENO, i valori dei coefficienti della curva per un tempo di ritorno (TR) pari a 100 anni sono pari a :

	BRENO - TR 100
a	47.285196
n	0.29169383

■ *L'elaborazione dei dati pluviometrici di Ranzi R., M. Mariani, E. Rossini, B. Armanelli, B. Bacchi*

Nel lavoro dell'Università degli Studi di Brescia - Dipartimento di Ingegneria Civile, - *Analisi e sintesi delle piogge intense del territorio bresciano* - R. Ranzi, M. Mariani, E. Rossini, B. Armanelli, B. Bacchi, sono analizzati i dati delle precipitazioni massime annuali di durata compresa fra 1 e 24 ore, oltre alle precipitazioni massime giornaliere, disponibili relativamente al territorio della Provincia di Brescia.

L'analisi ha portato alla stima dei parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica puntuali, attraverso l'elaborazione statistica dei dati relativi alle precipitazioni di massima intensità con i metodi di Gumbel e GEV. I risultati del lavoro sono riassunti in mappe e tabelle ed il regime pluviometrico del territorio esaminato viene espresso da una curva segnalatrice di possibilità pluviometrica, rappresentata dalla seguente espressione:

$$h(d, T) = a_t * d^{n_1}$$

dove
$$a_t = m_1 \left\{ 1 - \frac{CV \sqrt{6}}{\pi} \left[\varepsilon + \text{LnLn} \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] \right\}$$

è l'altezza di pioggia massima oraria di tempo di ritorno T in cui:

CV = coefficiente di variazione medio areale delle precipitazioni massime annuali di durata compresa fra 1 e 24 ore;

m₁ = media areale delle precipitazioni massime annuali di durata 1 ora;

n₁ = media areale dell'esponente di scala delle altezze medie dei massimi annuali delle piogge di durata d compresa fra 1 e 24 ore.

Nel testo consultato, per la stazione di BRENO, sono riportati i valori dei parametri necessari per il calcolo della curva segnalatrice della possibilità pluviometrica:

	CV	m ₁	n ₁
BRENO	0.288	21.25	0.313

■ *Tempo di corrivazione e pioggia critica*

Per il corso d'acqua in esame, il valore del tempo di corrivazione è stato stimato mediante la formula proposta da Giandotti (1) e quella utilizzata per il Modello razionale (2):

$$(1) \quad T_c = \frac{4 \times \sqrt{S_b} + 1.5 \times L}{0.8 \times \sqrt{H_m}} = 0.64 \text{ ore}$$

$$(2) \quad T_c = \frac{3.3\sqrt{A} + 3.2L}{\sqrt{H_{med} - H_{idr}}} = 0.94 \text{ ore}$$

dove:

S_b = bacino sotteso (km²)

L = lunghezza dell'asta (km)

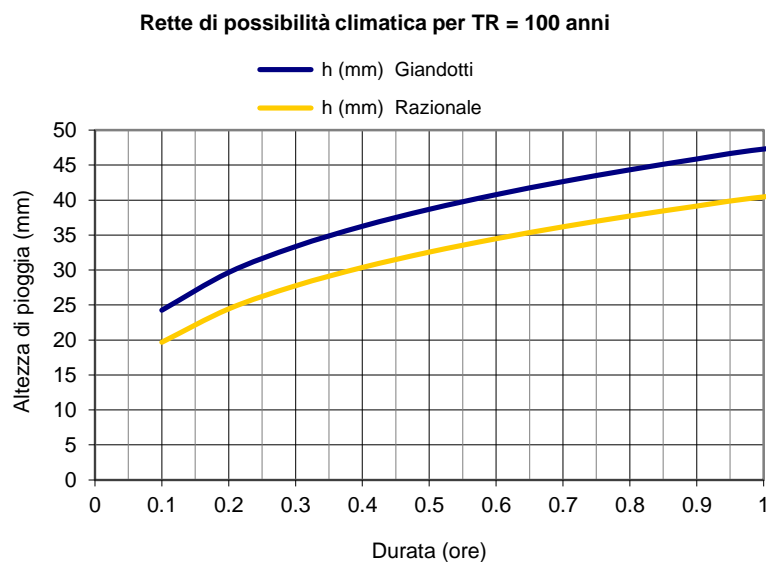
H_m = quota geodetica media del bacino (m)

H_{idr} = quota della sezione idrometrica di chiusura del bacino (m)

Da cui:

tempo di ritorno		Giandotti (1)	Modello razionale (2)
TR 100 anni	T _c (ore)	0.64	0.94

Per il bacino del Torrente Figna, mediante l'analisi delle curve di possibilità pluviometrica valide per un TR = 100 anni desunte dalla documentazione consultata, è stato possibile stimare il valore dell'altezza di pioggia attesa per un tempo pari al tempo di corrvazione.



I risultati dell'elaborazione dati svolta sono riassunti nella tabella seguente:

Torrente Figna	Tempi di ritorno	h pioggia - Giandotti	h pioggia - Razionale
	100	41.54 mm	39.66 mm

5.2. La portata critica

Per la stima della portata massima lungo l'impluvio, sono state effettuate delle valutazioni sulla base delle metodologie disponibili in letteratura. I risultati delle analisi condotte sono riassunti nei fogli di calcolo riportati in allegato, nei quali viene riportata una sintetica descrizione dei metodi utilizzati.

Valutate le condizioni morfologiche e idrografiche del corso d'acqua in esame, attenendosi a confronti con i risultati di analisi idrauliche svolte nei settori di Valle Camonica, sono stati ritenuti rappresentativi delle condizioni di deflusso il MODELLO RAZIONALE (afflussi/deflussi) ed il metodo proposto da Giandotti e Visentini. L'applicazione dei modelli è stata effettuata elaborando criticamente i coefficienti che influiscono sulle condizioni di deflusso.

■ Il modello razionale

Il metodo razionale è basato sulla modellazione del sistema afflussi-deflussi, mediante l'applicazione della formula:

$$Q_{c,T} = \frac{1}{3.6} \times \Phi \times r(A, d) \times A \times a_T \times T_c^{n_1-1}$$

Nella quale:

il valore medio areale viene definito sulla base del *ragguaglio*, valutato con il metodo proposto da *Moisello e Papi* (1986), che fornisce il coefficiente di ragguaglio *r* in funzione dell'area *A* e della durata di pioggia considerata *d*;

$$r(A, d) = 1 - \exp \left[-2.472 A^{-0.242} d^{0.6 - \exp(-0.643 A^{0.235})} \right]$$

il tempo di corrivazione T_c è calcolato mediante la formula

$$T_c = \frac{3.3\sqrt{A} + 3.2L}{\sqrt{H_{med} - H_{idr}}}$$

il parametro Φ viene espresso in funzione dell'estensione del bacino e del TR secondo la seguente relazione:

$$\Phi = 0.298 \cdot T^{0.052} \cdot A^{0.085}$$

valida per $20 < A < 300 \text{ km}^2$ e per $10 < T < 200$ anni

Essendo il bacino idrografico del Torrente Figna di dimensioni inferiori ai 20 km^2 ($= 4.73 \text{ km}^2$) l'espressione sopra riportata perde validità. Dopo un'analisi delle caratteristiche

morfologiche del bacino idrografico del Torrente Figna si è ritenuto appropriato considerare un coefficiente di deflusso pari a $\Phi=0.80$.

■ Valutazione del trasporto solido in sospensione

Valutate le caratteristiche geomorfologiche del bacino idrografico, è stato ritenuto necessario considerare un aumento della portata liquida, al fine di tener conto del trasporto solido del torrente (trasporto in sospensione + carico di fondo).

Nell'ipotesi di una miscela liquido+solido con densità pari a: $\gamma_{\text{sol+liq}} = 1.2 - 1.4 \text{ t/m}^3$

considerando per il detrito preso in carico una densità pari a: $\gamma_{\text{sol}} = 2.65 \text{ t/m}^3$

si ottiene per la miscela una concentrazione pari a: $C = 0.12 - 0.24$.

Sulla base di tali considerazioni la portata complessiva dovuta alla capacità di trasporto della corrente è il risultato del prodotto della portata liquida per un coefficiente compreso fra 1.12 e 1.24.

■ Il modello Giandotti - modello Giandotti-Visentini

Il metodo Giandotti, comunemente usato, ha il pregio di considerare gli aspetti cinematici che agiscono nel bacino e nel corso d'acqua considerandone l'area, l'altitudine media e lunghezza dell'asta fluviale.

Dopo aver calcolato il tempo di corrivazione t_c , parametro strettamente collegato alle caratteristiche del bacino tributario, si definisce l'altezza h_c di pioggia caduta nel tempo t_c che viene ragguagliata in funzione alle caratteristiche del bacino tributario.

$$t_c = \frac{4 \times \sqrt{S_b} + 1.5 \times L}{0.8 \times \sqrt{H_m}} =$$

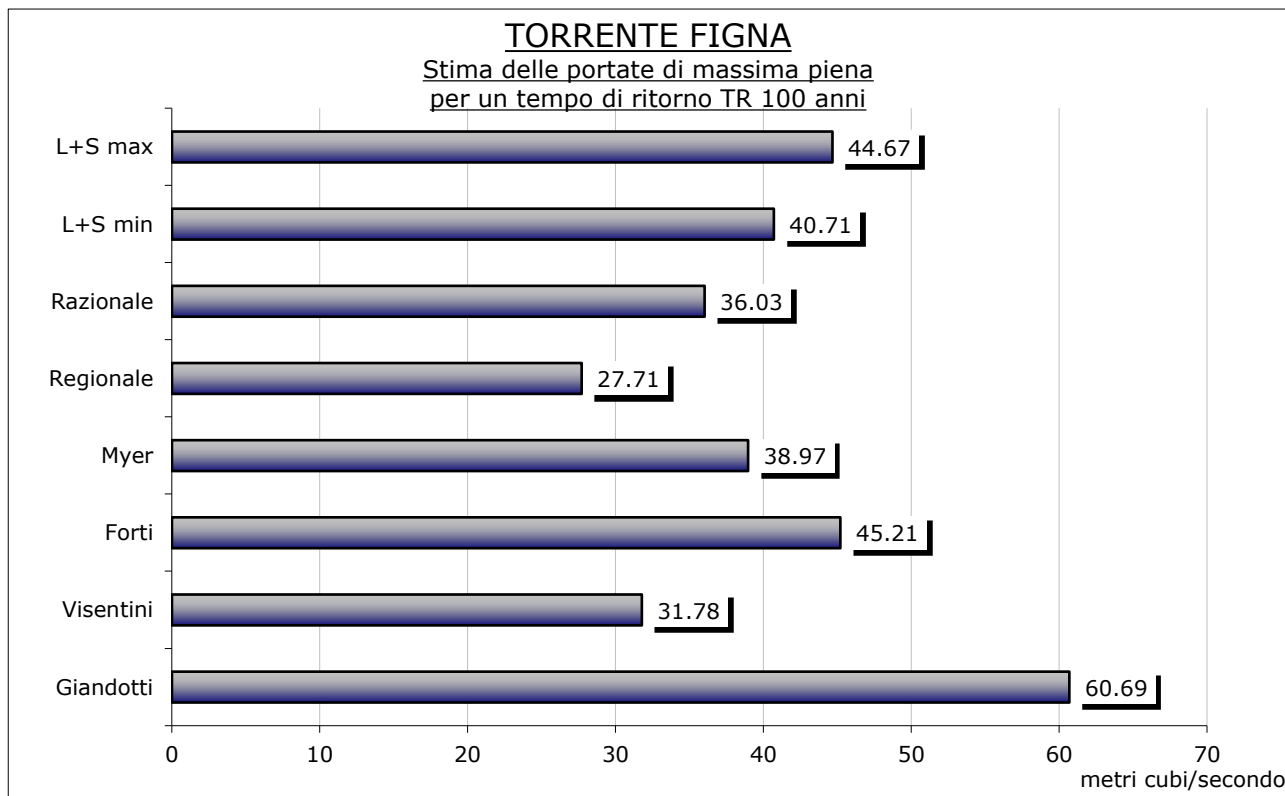
$$Q_c = 0,278 \times \frac{\gamma \times \psi}{\lambda \times t_c} \times h_{cr} \times S_b \times Cd =$$

La portata massima si ottiene in occasione di eventi meteorici nei quali si registra un'altezza di pioggia pari all'altezza critica (h_c) in un tempo pari al tempo di corrivazione (t_c).

Il metodo Giandotti, valido per bacini di tipo montano o collinare di grandi dimensioni, tende a sovrastimare la portata critica per quelli di piccole dimensioni come quelli in esame. Visentini, modificando il metodo Giandotti, fornisce una stima anche del trasporto solido del corso d'acqua.

5.3. Analisi dei risultati

I risultati dello sviluppo delle metodologie sopra riportate con i parametri validi per il Torrente Figna, sono stati ottenuti i valori di portata di *massima piena* illustrati nel grafico riassuntivo seguente.



Sul portale della Regione Lombardia è possibile consultare i dati forniti dal S.I.B.C.A. – Sistema Informativo Bacino e Corsi d’Acqua – che danno delle indicazioni sulle analisi idrogeologiche di piccoli bacini alpini. Il sistema fornisce un valore di portata liquida e di magnitudo oltre che a vari parametri morfometrici inerenti al bacino in esame.

Il bacino della Torrente Figna presenta i seguenti parametri:

Nome bacino	Codice CT10	Area planimetrica (Km²)	Coefficiente deflusso	Portata TR100 (m³/s)
CA236	25456	4.718	0.43	20.5

Nello “*STUDIO GEOLOGICO DEL TERRITORIO*” redatto dal **Dott. Geologo Gianpiero Feriti**, nella parte inerente al calcolo delle portate di piena del Torrente Figna viene definito un valore di portata di piena medio pari a 51.2 m³/s con tempo di ritorno di 200 anni.

I risultati forniti dalle diverse modellazioni numeriche (Giandotti, Modello razionale considerando il possibile trasporto solido, etc...) ed i valori esaminati nel SIBCA e all'interno dello "STUDIO GEOLOGICO DEL TERRITORIO" evidenziano una discreta variabilità nella stima del valore di portata critica .

Ritenendo i valori forniti all'interno del SIBCA non a favore della sicurezza (non rappresentativi di eventi estremi), valutato come i valori di portata riportati nello "STUDIO GEOLOGICO DEL TERRITORIO" siano stati determinati per un tempo di ritorno pari a 200 anni, si ritengono attendibili per il Torrente Figna i risultati desunti dall'applicazione del Modello razionale sopra proposto con un incremento della portata liquida per processi legati a trasporto solido: i risultati dei calcoli portano ad valori di portata di massima piena dell'ordine di 44-45 m³/s con tempo di ritorno pari a 100 anni.

5.4. Analisi della propagazione delle colate

La valutazione della pericolosità delle aree di conoide è stata ricondotta alla possibilità che si verificano fenomeni di transito e deposizione di colate detritico-fangose legate a fenomeni di movimentazione del materiale detritico presente lungo i versanti oppure per l'attivazione di dissesti rilevati lungo il bacino.

La perimetrazione della pericolosità è stata dunque definita applicando il "Metodo semi-empirico per la mappatura del deposito di materiale solido da colata detritica in area di conoide" proposto da T. Takahashi nelle ipotesi di "stony debris flow", determinando le porzioni di territorio posta alla base del versante potenzialmente raggiungibili dalle colate detritico-fangose provenienti dagli impluvi. La propagazione delle colate nelle aree limitrofe all'alveo attuale è stata definita sulla base dell'assetto geomorfologico delle aree di fondovalle.

Tale metodo presuppone la formazione di un'"ostruzione" nel tratto di alveo posto a monte di un cambiamento significativo della pendenza, posto all'altezza dell'apice del conoide, la sua successiva rimozione parziale o totale da parte di un ulteriore apporto detritico proveniente da monte e l'insacco del trasporto del materiale verso il conoide sottostante; il fenomeno si completa a valle del cambio di pendenza con la deposizione del materiale detritico.

L'analisi della propagazione delle colate è stata comunque eseguita per determinare la distanza di arresto delle colate a partire dal punto di rottura del pendio sul conoide e verificare quindi la possibilità di ostruzione parziale delle sezioni d'alveo da parte del materiale trasportato e depositato dalle colate, che potrebbe favorire l'erosione della portata liquida.

Il metodo è stato applicato tenendo conto dei parametri individuati nei precedenti paragrafi (portata liquida e magnitudo). Il punto di rottura del pendio è stato identificato in base alla cartografia esistente.

I calcoli relativi all'applicazione del metodo per ogni singolo bacino sono esposti nell'allegato 7, mentre nei paragrafi successivi sono esposti i passi di applicazione del metodo.

■ *Determinazione della portata di acqua chiara di progetto (Q).*

Per il valore di acqua chiara sono state utilizzati i valori di portata liquida determinati per un tempo di ritorno pari a 200 anni, secondo la metodologia illustrata nel paragrafo precedente.

■ *Determinazione della portata di piena della miscela liquido-solido (Q_m).*

In seguito dell'evento piovoso estremo che determina lo sviluppo della piena al colmo, lo scorrimento della portata di acqua chiara sull'ammasso granulare completamente saturo, per l'aumento dell'azione di trascinamento della corrente di piena fino al superamento della resistenza dello strato superficiale del letto, origina una colata detritica; la portata totale Q_m può essere stimata con la seguente formula:

$$Q_m = \frac{c^*}{c^* - c_u} \times Q_l \quad (m^3/s)$$

dove:

C* = 0,65 concentrazione volumetrica di massimo impaccamento del materiale (C*=1-n dove n è la porosità)

C_u = 0,59 Concentrazione volumetrica di equilibrio dei solidi (fini e grossolani) trasportati dalla corrente in moto uniforme. Nella pratica è stato supposta pari a 0,9xC*.

■ *Calcolo del volume dei sedimenti trasportati: "magnitudo" (W_m).*

I criteri per la determinazione del valore di magnitudo sono esposti nel paragrafo 3.6.

■ *Calcolo di primo tentativo dell'estensione longitudinale del deposito (X_L).*

Sulla base della definizione delle condizioni al contorno e delle caratteristiche del materiale granulare preso in carico dalla corrente, approssimando la densità del fluido interstiziale a quella della sola acqua, viene definita la lunghezza massima del deposito sul conoide, attraverso l'applicazione della formula approssimata proposta da Takahashi e Yoshida (1979), richiamata in Takahashi (1991) e generalizzata in Ghilardi (1999). La distanza d'arresto viene definita sulla base di considerazioni di equilibrio dinamico del tratto di corrente coincidente con il fronte del debris flow, dove:

$$X_L = \frac{V^2}{G}$$

$$G = \left(\frac{c_u g (\rho_s - \rho_l) \cos \theta_d \tan \phi}{c_u (\rho_s - \rho_l) + \rho_l} \right) - g \sin \theta_d$$

$$V = \left(u_u + \frac{g^* h_u}{2^* u_u} \cos \theta_u \right) \cos(\theta_u - \theta_d)$$

Nelle relazioni precedenti compaiono:

- velocità media della corrente di moto uniforme nel tratto di alveo a monte del cambio di pendenza:

$$U_u = K^{\frac{2}{5}} \left(\frac{Q_m}{B_u} \right)^{\frac{3}{5}}$$

- spessore della corrente a monte del cambio di pendenza:

$$h_u = \left(\frac{Q_m}{KB_u} \right)^{\frac{2}{5}}$$

La costante K è stata dedotta dall'analisi dei processi di stony debris flow, nell'ipotesi che sia trascurabile lo sforzo interstiziale rispetto allo sforzo intergranulare e siano costanti sulla sezione i valori di concentrazione c e l'angolo di attrito dinamico; ulteriori ipotesi introdotta dal metodo semplificato è l'attribuzione del valore dell'angolo di attrito dinamico stabilito pari a quello statico:

$$K = \frac{2}{5d} \left(\frac{g^* \sin \theta_u}{a^* \sin \phi} \left(c_u + (1 - c_u) \frac{\rho_l}{\rho_s} \right) \right)^{\frac{1}{2}} \left(\left(\frac{c_s}{c_u} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right)$$

■ *Calcolo della pendenza della superficie del deposito (ω).*

Quando il materiale trasportato da una corrente detritica si deposita a valle del cambio di pendenza, lo scheletro si compatta e l'acqua in eccesso espulsa dai pori defluisce sulla superficie del deposito. La metodologia proposta prevede due condizioni limite definite sulla base della presenza di un alveo inciso lungo il conoide oppure meno. Nel primo caso la colata detritica s'incanala lungo l'alveo, mantenendo nella propagazione dimensioni simili a quelle del canale stesso; nel secondo caso, il materiale detritico si distribuisce sul conoide in un'area a forma a di ventaglio. Nel nostro caso, in relazione alle condizioni morfologiche del conoide, è stata considerata solamente la prima ipotesi. Considerazioni di natura statica consentono di definire l'inclinazione della superficie del deposito detritico (ω) secondo la seguente espressione:

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{c^* (\rho_s - \rho_l)}{c^* (\rho_s - \rho_l) + \rho_l \left(1 + \frac{0,52}{d} \left(\frac{Q_l^2}{g^* B_d^2} \right)^{\frac{1}{3}} \right)} \tan \phi$$

Come indicato nella documentazione consultata, nel caso in cui $\omega < \theta_d$, nel procedere dei calcoli è stato assunto il valore $\omega = 0.5(\theta_d + \theta_u)$.

■ *Determinazione dell'area di accumulo.*

In accordo con le osservazioni riportate in precedenza, per la definizione delle aree di accumulo delle colate detritiche incanalate lungo l'impiuvio ed arrestatesi sul conoide alluvionale, è stata assunta come generale l'ipotesi per la quale il deposito avviene in un canale rettangolare largo B_d . Operando a favore della sicurezza, è stato trascurato il volume che può arrestarsi a monte dell'apice del conoide; pertanto, il volume accumulato (m^3) risulta pari a:

$$W_d = \frac{1}{3} L^2 B_d (\tan \omega - \tan \theta_d)$$

Il valore dedotto dalla precedente espressione è stato confrontato con il volume con il volume W_r derivante dal debris flow, assumendo prudenzialmente che la miscela depositata abbia concentrazione C_u :

$$W_r = \frac{W_m}{C_u}$$

Per la definizione di L (lunghezza del deposito) si è proceduto per tentativi sino all'ottenimento di $W_d \geq W_r$.

Di seguito si riporta il foglio di calcolo con i risultati dell'applicazione della metodologia proposta: i risultati mettono in evidenza come i lobi di colata attesi si arrestino nei settori apicali della conoide. A valle della zona di arresto è attendibile il deflusso della frazione fluida associata alla colata: le direttrici di deflusso della frazione fluida (inglobante ghiaia e sabbia) non è definibile in quanto funzione della morfologia delle aree associate ai fenomeni deposizionali.

VALUTAZIONE SPEDITIVA DELLE ZONE SOGGETTE A RISCHIO DI COLATA DETRITICA LUNGO LA CONOIDE DEL TORRENTE FIGNA

Metodo semi-empirico per la mappatura del deposito di materiale solido da colata detritica
area da conoide

in

1 Portata di progetto di acqua chiara

$$Q_l = 51.2 \text{ mc/sec}$$

2 Portata di piena della miscela liquido-solido

$$Q_m = \frac{c^*}{c^* - c_u} Q_l = 512 \text{ mc/sec}$$

$$C^* = 1 - n = 0.65$$

Concentrazione volumetrica del materiale (dove n è la porosità)

$$C_u = 0.9 \cdot C^* = 0.59$$

Concentrazione del solido nella corrente

3 Volume dei sedimenti mobilitabili e trasportabili a valle

$$W_m = 40,000 \text{ mc}$$

4 Calcolo della velocità ed altezza di moto uniforme

$$U_u = K^{\frac{2}{5}} \left(\frac{Q_m}{B_u} \right)^{\frac{3}{5}} = 4.44 \text{ m/s}$$

$$K = \frac{2}{5 \cdot d} \left(\frac{g \cdot \sin \theta_u}{a \cdot \sin \phi} \left(c_u + (1 + c_u) \frac{\rho_l}{\rho_s} \right) \right)^{\frac{1}{2}} \left(\left(\frac{c^*}{c_u} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right) = 0.449$$

$$Q_m = 512 \text{ mc/sec}$$

$$B_u = 25 \text{ metri}$$

larghezza della sezione dell'alveo a monte del cambio di pendenza

$$d = 0.3 \text{ metri}$$

diametro rappresentativo dei sedimenti

$$q_u = 15.0^\circ$$

angolo di inclinazione del fondo dell'alveo a monte del cambio di pendenza

$$q_d = 7.0^\circ$$

angolo di inclinazione del fondo dell'alveo a valle del cambio di pendenza

$$a = 0.04$$

costante con valore compreso fra 0.04 e 0.5

$$f = 34^\circ$$

angolo di attrito del materiale

$$\rho_l = 1,000 \text{ kg/mc}$$

densità dell'acqua

$$\rho_s = 2,100 \text{ kg/mc}$$

densità dei sedimenti

$$h_u = \left(\frac{Q_m}{B \cdot K} \right)^{\frac{2}{5}} = 4.61 \text{ m}$$

h_u = altezza di moto uniforme a monte del cambio di pendenza

5 **Calcolo della massima estensione longitudinale del deposito**

$$t_1 = \frac{2 \cdot V}{G} = 13.47 \text{ s}$$

tempo d'arresto

$$G = \left(\frac{c_u \cdot g \cdot (\rho_s - \rho_l) \cdot \cos \theta_d \cdot \tan \phi}{c_u \cdot (\rho_s - \rho_l) + \rho_l} \right) - g \cdot \sin \theta_d = 1.376$$

costante adimensionale

$$V = \left(u_u + \frac{g \cdot h_u \cdot \cos \theta_u}{2 \cdot u_u} \right) \cos(\theta_u - \theta_d) = 9.266$$

costante adimensionale

$$X_l = \frac{V^2}{G} = 62.40 \text{ m}$$

lunghezza del deposito

6 **Calcolo della pendenza della superficie di deposito**

Per le condizioni morfologiche rilevate è stata ritenuta valida la metodologia proposta nell'ipotesi che la zona di deposito corrisponde al tratto di alveo a valle della rottura di pendio.

$$\text{Tg } w = \frac{c \cdot (\rho_s - \rho_l)}{c \cdot (\rho_s - \rho_l) + \rho_l \cdot \left(1 + \frac{0.52}{d} \left(\frac{Q_l^2}{g \cdot B_d^2} \right)^{\frac{1}{3}} \right)} \tan \phi = 0.149$$

dove:

$$w = 7^\circ$$

pendenza dell'alveo

Nella formula è precedente è stato considerato:

$$B_d = 20.0 \text{ m}$$

che corrisponde alla larghezza media dell'alveo a valle della rottura di pendio ed indicativamente può essere assunto come la larghezza dell'eventuale lobo di colata
Siccome $w < Q_d$, nella formula viene introdotto il valore:

$$\omega = 0.5(\theta_u + \theta_d) = 11.00^\circ$$

7 **Calcolo del volume di detriti depositati e determinazione dell'estensione della colata**

$$W_r = \frac{W_m}{c_u} = 68,376 \text{ mc}$$

Volume della miscela depositata nella zona a rischio:

A valle del cambio di pendenza, le modalità di deposizione sono della colata può avvenire per lobi di larghezza dell'ordine di quella dell'alveo a monte: tale condizione permette di applicare la formula valida per il deposito in un canale rettangolare di larghezza pari a B_d

$$B = 15.0 \text{ m}$$

larghezza della sezione a valle del cambio di pendenza

$$\frac{1}{3} X_L^2 B_d (\tan \omega - \tan \theta_d) =$$

$$W_d = 68,820 \text{ mc}$$

volume detriti depositi
ottenendo una lunghezza X_l pari a:

$$X_l = 358 \text{ m}$$

per la quale il volume W_d risulta circa pari a W_r

6. Verifiche idrauliche

Attenendosi a quanto riportato nei precedenti paragrafi in merito alla dinamica del Torrente Figna nel tratto di conoide a valle dell'intersezione della SS42, le condizioni di pericolosità del tratto medio inferiore della conoide alluvionale del Torrente Figna sono state valutate sulla base di verifiche idrauliche condotte alle sezioni d'alveo ritenute critiche o comunque significative illustrate nell'allegato 6.

Nel seguente paragrafo si riportano i passi seguiti per le verifiche idrauliche speditive, condotte sulle sezioni considerando l'equazione di moto uniforme per cui:

$$Q = V \times S$$

dove:

Q = Portata transitabile nella sezione S

V = Velocità di deflusso

Per la valutazione della velocità del deflusso, è stata applicata la formula proposta da Manning:

$$V = 1/n \times R^{2/3} \times i^{1/2}$$

in cui:

n = Coefficiente di Manning

R = raggio idraulico

i = pendenza

Il valore del coefficiente di Manning, detto anche coefficiente di scabrezza, è una misura globale della resistenza al moto dell'acqua. Valori alti indicano maggior scabrezza del fondo dell'alveo comportando una diminuzione nella velocità del flusso. La sua scelta deve essere fatta a seguito di un dettagliato rilievo di campagna considerando i materiali che costituiscono e caratterizzano l'alveo; successivamente dalla letteratura è possibile individuare il valore del coefficiente più adatto per ciascuna sezione.

In accordo a quanto riportato nel "Piano Stralcio delle Fasce Fluviali" approvato con D.P.C.M. 24 luglio 1998, all'art. 15 delle Norme d'attuazione dell'Autorità di Bacino del Fiume Po, il coefficiente di Manning (n) è stato valutato a partire dal coefficiente di Strickler (Ks) proposto per corsi d'acqua montani minori. I due coefficienti di scabrezza sono legati tra loro

dalla relazione $n = 1/K_s$, nel caso di studio sono stati individuate quattro distinte tipologie d'alveo per le quali, si sono ottenuti:

TIPO ALVEO	Coeff. Strickler	Coeff. Manning
alveo artificiale in muratura con pietre grossolane con presenza di vegetazione arborea	20	0.05
alveo artificiale in muratura con pietre grossolane	28	0.035
alveo artificiale in muratura accurata con pietre grossolane	33	0.030
alveo artificiale con fondo e sponde rivestiti di piastre metalliche	65	0.015

Le sezioni sottoposte a verifica, derivanti dal rilievo speditivo eseguito lungo l'alveo, sono posizionate in zone ritenute significative.

Per ogni singola sezione sono state eseguite tre valutazioni del deflusso:

- verifica della capacità di deflusso della portata con franco di sicurezza 1.0 m;
- determinazione della massima portata transitabile;
- verifica del deflusso della portata critica calcolata.

Nel allegato n. 9 a fine testo si riportano i fogli di calcolo delle verifiche condotte: i risultati sono riassunti nella seguente tabella:

TORRENTE FIGNA - VERIFICHE IDRAULICHE													
Sezioni	note	H max	dH/dL	Manning	Portate transitabili in sicurezza			Portate massime transitabili			Portata critica		
					Franco	Q _{trans}	Vel	Q _{max}	H _{max}	Vel	Q _{crit}	H _{crit}	Vel
					m	mc/s	m/s	mc/s	m	m/s	mc/s	m	m/s
S1		2.65	0.15	0.050	1.0	80.5	8.2	157.1	2.6	9.9	45	1.13	6.8
S2	Tombotto	2.20	0.12	0.050	1.0	42.0	6.3	97.0	2.1	8.0	45	1.26	6.4
S3	Tombotto Via Medio	2.40	0.10	0.050	1.0	43.4	6.0	90.9	2.3	7.5	45	1.45	6.1
S4	Tombotto	1.95	0.09	0.035	1.0	18.8	6.2	51.7	1.85	8.2	45	1.69	7.9
S5		2.30	0.10	0.035	1.0	35.4	7.8	80.8	2.2	9.7	45	1.52	8.4
S6	Passerella	2.15	0.06	0.035	1.0	20.0	5.6	49.7	2.05	7.1	45	1.93	6.9
S7	Ponte canale SS42	1.75	0.03	0.015	1.0	30.3	8.1	106.9	1.65	12.1	45	0.96	9.3
S8	Tombotto Via Tarsia	1.65	0.08	0.030	1.0	10.9	5.9	42.6	1.55	8.5	45		
S8bis		1.80	0.10	0.030	1.0	14.6	6.8	44.8	1.7	9.2	45	1.71	9.2
S9	Tombotto Via Donatori	1.90	0.09	0.030	1.0	9.4	6.0	28.7	1.8	7.9	45		
S10		2.25	0.10	0.030	1.0	37.6	8.9	87.8	2.15	11.1	45	1.41	9.4
S11	Tombotto ferrovia	2.75	0.03	0.030	1.0	39.8	5.7	74.1	2.65	6.7	45	1.9	5.9
S12	Tombotto Ex SS42	1.60									45		

6.1. Analisi dei risultati

TRATTO SUPERIORE DELLA CONOIDE

Ad eccezione delle Sezione 1, le sezioni d'alveo non presentano dimensioni tali da garantire il deflusso della portata di massima piena con un franco di sicurezza pari a 1.0 m come previsto dalla normativa; tuttavia, dalle verifiche condotte si evidenzia come in tutte le sezioni sia garantito il deflusso della piena senza esondazione.

Condizioni al limite dell'esondazione si rilevano in corrispondenza dei tombotti, dove il trasporto solido in sospensione può arrivare ad ostruire in parte o completamente la sezione stessa.

La criticità idraulica osservata alla Sezione n. 4 evidenzia la possibilità di esondazione sia in destra che in sinistra idrografica: tuttavia, in sinistra idrografica la pericolosità è ritenuta maggio in quanto lungo l'intero settore è considerato possibile il deflusso delle colate detritiche che abbandonano la direttrice definita dall'alveo regimato.

IL PONTE CANALE

La sezione non garantisce il franco di sicurezza ma la larghezza della sezione consente il deflusso di portate ben superiori alla portata di massima piena prevista.

TRATTO INFERIORE DELLA CONOIDE

Le sezioni d'alveo non presentano dimensioni tali da garantire il deflusso della piena con un franco di sicurezza pari a 1.0 m come previsto dalla normativa; in gran parte non garantiscono nemmeno il deflusso della massima piena prevista.

Le condizioni di maggiore criticità vengono rilevate in prossimità dei tombotti, dove il deflusso di piena ostruisce completamente la sezione stessa.

Le sezioni con maggiore criticità sono risultate le seguenti:

- sezione 8, posta in prossimità del tombotto presente su via Tarsia alla quota di 381 m s.l.m., possiede una sezione idrica utile limitata che permette il deflusso di una portata pari a 42.6 m³/s non sufficiente a smaltire la $Q_{crit}=45$ m³/s;

- sezione 9, posta in prossimità del tombotto presente su via Donatori alla quota di 373.5 m s.l.m., possiede una sezione idrica utile molto limitata che permette il deflusso di una portata pari a 28.7 m³/s non sufficiente a smaltire la $Q_{crit}=45$ m³/s;
- sezione 12, valutate le limitate dimensioni della sezione del tombotto sulla EX SS42, sulla stessa non sono state condotte alcune verifiche idrauliche in quanto sicuramente la stessa non è sufficiente a garantire il deflusso delle portate di riferimento. Inoltre la stessa è facilmente ostruibile: tale sezione rappresenta dunque un elemento fondamentale della criticità generale del settore.

In relazione alle criticità osservate, è ritenuto possibile l'esondazione ed il deflusso nelle aree adiacenti l'alveo della sola lama d'acqua non sopportabile dalle sezioni d'alveo esistenti; le acque di esondazione, comprensive di sabbia, ghiaia e ciottoli (derivanti dal rilascio dell'eventuale massa detritica depositatasi a monte della trincea definita dalla SS42) non esistendo alcun elemento morfologico che possa fungere da direttrice preferenziale, tendono ad espandersi sul settore piuttosto che defluire in forma concentrata.

7. Condizioni di pericolosità nelle aree di conoide

La pericolosità geomorfologica dell'area del conoide alluvionale del Torrente Figna nel Comune di Ceto, è da mettere in relazione alla possibilità che si verifichino fenomeni di esondazione della portata massima comprensive del trasporto solido (attesa per TR=100 anni) o fenomeni di bed load lungo l'asta torrentizia.

La metodologia d'indagine applicata nel presente studio ha consentito di definire la perimetrazione della pericolosità per l'area in esame, in riferimento alle metodologie di analisi proposte nella Deliberazione di Giunta Regionale 30 novembre 2011 - n. IX/2616.

Per la definizione della pericolosità morfologica nelle aree di conoide prese in esame, sono stati individuati i percorsi preferenziali di deflusso delle acque lungo la conoide, a partire dalle sezioni d'alveo risultate critiche; le vie di deflusso sono state differenziate in due ordini di probabilità, maggiore e minore, in funzione della morfologia locale dell'area.

La perimetrazione della pericolosità è stata rappresentata alla scala 1:2.000 sulla base del rilievo aereofotogrammetrico riguardante il territorio comunale di Ceto. Sono stati considerati 5 gradi di pericolosità, secondo la classificazione individuata nelle "Procedure per la valutazione e la zonazione della pericolosità e del rischio da frana nei "siti a rischio" in adempimento alla legge 267/98".

H5	CLASSE V	Pericolosità molto alta	<i>Comprende l'alveo attuale con le sue pertinenze ed eventuali paleoalvei riattivabili in caso di piena ed eccezionalmente porzioni di conoide.</i>
H4	CLASSE IV	Pericolosità Alta	<i>Area con <u>alta probabilità</u> di essere interessata da fenomeni di erosioni di sponda trasporto in massa e/o di trasporto solido con deposizione di ingenti quantità di materiale solido e con danneggiamento di opere e manufatti.</i>
H3	CLASSE III	Pericolosità Media	<i>Area interessata in passato da eventi alluvionali e da erosioni di sponda documentati su basi storiche. Area con <u>moderata probabilità</u> di essere esposta a fenomeni alluvionali (esondazione). In particolare in esse si possono avere deflussi con altezze idriche ridotte (massimo 20-30 cm) e trasporto di materiale sabbioso ghiaioso.</i>
H2	CLASSE II	Pericolosità Bassa	<i>Area mai interessata nel passato da fenomeni alluvionali documentati su base storica o area protetta da opere di difesa idraulica ritenute idonee anche in caso di eventi estremi con basse probabilità di essere interessate da fenomeni di dissesto.</i>
H1	CLASSE I	Pericolosità Molto Bassa	<i>Area che per caratteristiche morfologiche ha basse o nulle probabilità di essere interessata dai fenomeni di dissesto.</i>

La perimetrazione della pericolosità morfologica del conoide del Torrente Figna definita in questo studio è proposta in sostituzione di quanto riportato nello "STUDIO GEOLOGICO DEL TERRITORIO" redatto nel mese di Ottobre 2001 da **Dr. geologo GIANPIERO FERITI- STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE** con sede in Via Piave, n.179 a Brescia.

In riferimento alle indicazioni contenute nella normativa di riferimento, ed in particolare nella Deliberazione di Giunta Regionale 30 novembre 2011 - n. IX/2616, si propone inoltre la corrispondenza tra le classi di pericolosità definite in questo studio e:

- classificazione delle aree interessate da dissesto idrogeologico,
- classi di fattibilità geologica per le azioni di piano,
- secondo il seguente schema:
-

Classi di pericolosità (Procedure per la valutazione e la zonazione della pericolosità e del rischio da frana in adempimento alla L. 267/98)	Classi di fattibilità geologica per le azioni di piano (criteri ed indirizzi relativi alla componente geologica nella pianificazione comunale)	Classificazione delle aree interessate da dissesto idrogeologico (art. 9 e 50 delle Norme di Attuazione del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico - PAI)
H5	4	Ca
H4	4	Ca
H3	3	Cn
H2	2/3	Cn
H1	1/2	Cn

Si precisa che l'assegnazione alla classe di fattibilità riportata nella tabella soprastante non è esaustiva, ma parziale perché riferita ai soli aspetti riguardanti la pericolosità morfologica connessa ai fenomeni alluvionali relativi alla conoide e non prende in considerazione gli aspetti di carattere geotecnico ed idrogeologico e le problematiche relative alla pericolosità morfologica rispetto ad agenti diversi dalle conoidi alluvionali. È quindi necessario che per gli interventi da realizzare nelle aree in esame siano in ogni caso verificati tutti gli altri aspetti di carattere geologico, nel rispetto delle indicazioni contenute nelle normative esistenti, in particolare delle norme tecniche contenute nelle NTC 2008.

8. Conclusioni

In relazione alla dinamica morfologica delle aree di conoide descritta nei precedenti paragrafi, per i settori di conoide a valle della intersezione della SS42 (tracciato in trincea) viene proposta la perimetratura della pericolosità illustrata nell'allegato 10 a fine testo, dal quale conseguono la Carta di Fattibilità e la Carta PAI successive.

Gli interventi di urbanizzazione che dovranno svilupparsi nelle aree ripermetrate e ricadenti in CLASSE DI FATTIBILITA' 3b dovranno essere soggetti alle prescrizioni della stessa classe 3b.

Per quanto riguarda l'attraversamento della EX SS42 si ritiene opportuno valutare la possibilità di creare una vasca di sedimentazione a monte del tombotto.

dott. geol. Gilberto Zaina



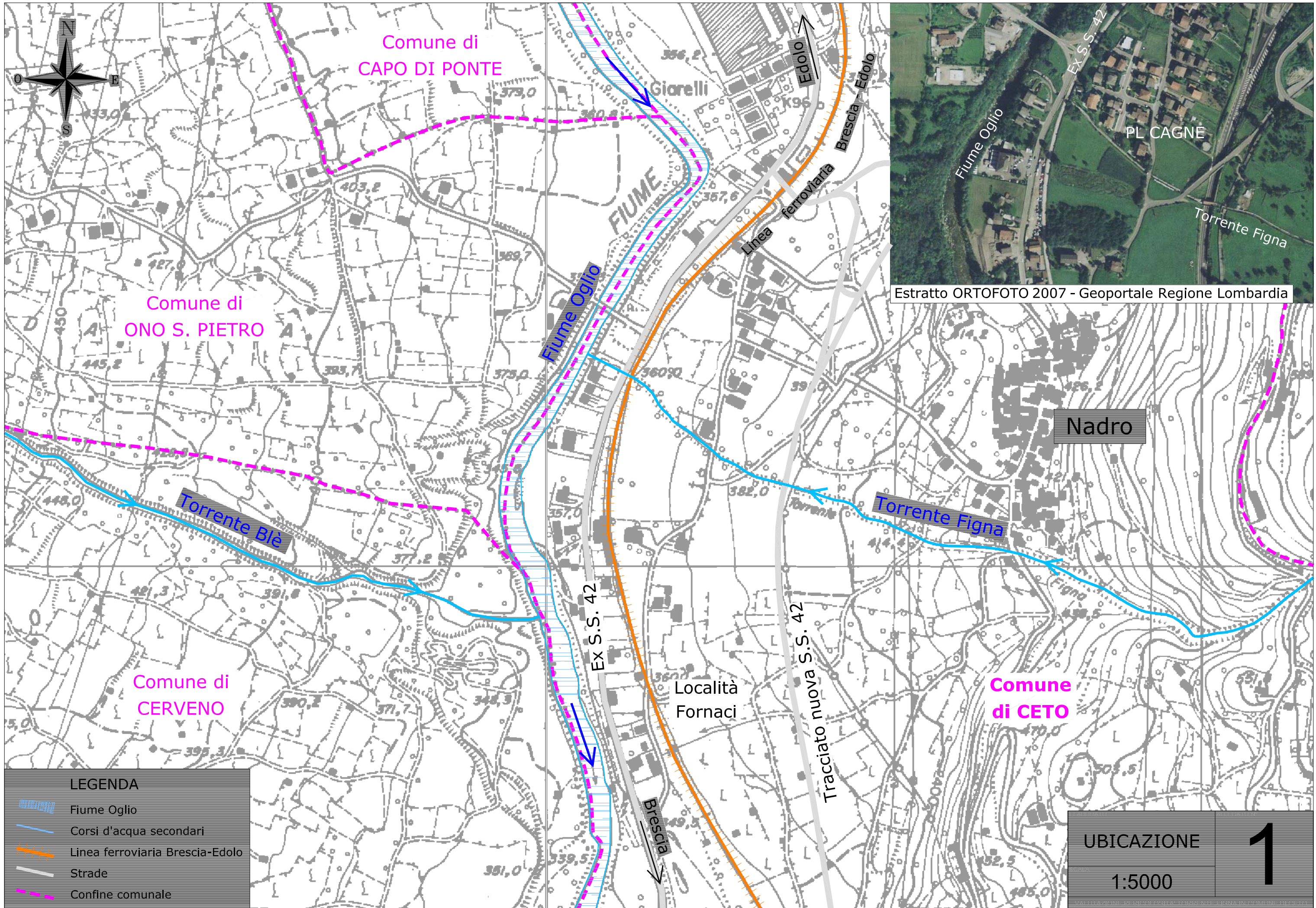
Ha collaborato dott. Giovanni Ghirardi

Darfo Boario Terme, ottobre 2010.

9. Bibliografia

- 1) Aulitzky, H. - *Hazard Mapping and Zoning in Austria Methods and legal implications*, 1994.
- 2) Autorità di Bacino del fiume Po - *Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico*; Norme di attuazione - deliberazione di Comitato Istituzionale del 26/04/2001
- 3) Bacchi, Armanelli, Rossini - *Valutazione delle portate di piena della Provincia di Brescia* Università degli Studi di Brescia 1999
- 4) Bacchi, Mariani, Rossini, Armanelli, Ranzi - *Analisi e sintesi delle piogge intense del territorio bresciano* -Università degli Studi di Brescia 1999
- 5) Benini - *Sistemazioni idraulico forestali* - ed. CLEUP, Padova 1988.
- 6) Berruti G. - *Levandosi i fiumi sopra le rive (per una mappa storica del rischio idrogeologico nel Bresciano* - Edizioni Grafo, Brescia 1998.
- 7) Bowles J. - *Foundation analysis and design* - ed. McGraw-HBC, 1988.
- 8) Castiglioni G.B. - *Geomorfologia.*- ed. UTET, Torino 1979.
- 9) Ceriani M., Crosta G., Frattini P. And Quattrini S. - *Evaluation of hydrogeological hazard on alluvial fans.*
- 10) Ceriani M., Mazzoccola D., Agostoni S., Quattrini S., Sciesa E. - *Procedure per la valutazione e la zonazione della pericolosità e del rischio da frana nei " siti a rischio " in adempimento alla legge 267/98.*
- 11) Cestari F. - *Prove geotecniche in sito.*
- 12) D.M. LL.PP. 11/03/1988 *Nuove norme tecniche per terreni, opere di sostegno e fondazioni* - Suppl. ord. alla G.U. 01/06/1988 n. 127) - 1988.
- 13) Da Peppo, Datei E Salandin - *Sistemazione dei corsi d'acqua* - Edizioni Libreria Cortina Padova 1997.
- 14) *Elaborazione dei dati idrologici del bacino dell'Oglio.* - Direzione Costruzioni Impianti Idroelettrici del Gruppo - Edison 1953
- 15) Ippolito F., Nicotera P., Lucini P., Civita M., D Riso R.- *Geologia Tecnica* - ed. ISEDI, 1985.
- 16) Lambe T.W., Whitman R.V. - *Soil Mechanics* - 1969.
- 17) Lancellotta R. - *Geotecnica* - ed. Zanichelli, 1987.
- 18) Panizza M., *Geomorfologia applicata.*, ed. La Nuova Italia Scientifica, Roma, 1988.
- 19) Pedersoli G.S. - *La lunga alluvione (1960)* -Edizione Toroselle - 1992.
- 20) Previtali, Rossetti, Borghi - *Studi climatologici, idraulici, geologici e pedologici sul bacino del Fiume Oglio a Nord di Darfo (Valle Camonica). Primi risultati* - Istituto di Idraulica Agraria di Milano 1985
- 21) Provincia di Brescia - *Studio delle precipitazioni intense in Provincia di Brescia e verifica funzionale della rete pluviometrica esistente.* 1985
- 22) Regione Lombardia - *Approvazione direttive per la redazione dello studio geologico ai sensi dell'art. 3 della L.R. 41/97* - D.G.R. 29/10/2001 n. 7/6645; B.U.R.L. n. 48, terzo supplemento straordinario, 30/11/2001.

- 23) Regione Lombardia - *Attuazione Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino del fiume Po (PAI) in campo urbanistico*. Art. 17, comma 5, Legge 18/05/1989 n. 183. - D.G.R. 11/12/2001 n. 7/7365; B.U.R.L. n. 51, secondo supplemento straordinario, 20/12/2001.
- 24) Regione Lombardia - *Carta delle precipitazioni medie, minime e massime annue del territorio lombardo* (registrate nel periodo 1891 - 1990)
- 25) Regione Lombardia - *Direzione Generale Territorio - Servizio Geologico e Riassetto del Territorio - Ufficio Rischi Geologici. Perimetrazione e zonazione della pericolosità da frana nei "siti a rischio" in adempimento alla legge 267/98*. Comune di Gianico - Località Torrente Vallicelladi Gianico - Torrente Vallone Vedetta, 1999.
- 26) Regione Lombardia - *Procedure per la valutazione e la zonazione della pericolosità e del rischio da frana in regione Lombardia* - B.U.R.L. n° 51 Edizione speciale del 22 Dicembre 2000.
- 27) Studio Geo.Te.C. - *"Indagine geologico-tecnica a supporto della redazione del piano regolatore generale del comune di Corteno Golgi"* - Settembre 1996
- 28) Takahashi T. - *Metodo semi-empirico per la mappatura del deposito di materiale solido da colata detritica in area di conoide"*.



Comune di
CAPO DI PONTE


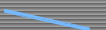



Comune di
ONO S. PIETRO

Comune di
CERVENO

Comune
di CETO

Estratto ORTOFOTO 2007 - Geoportale Regione Lombardia

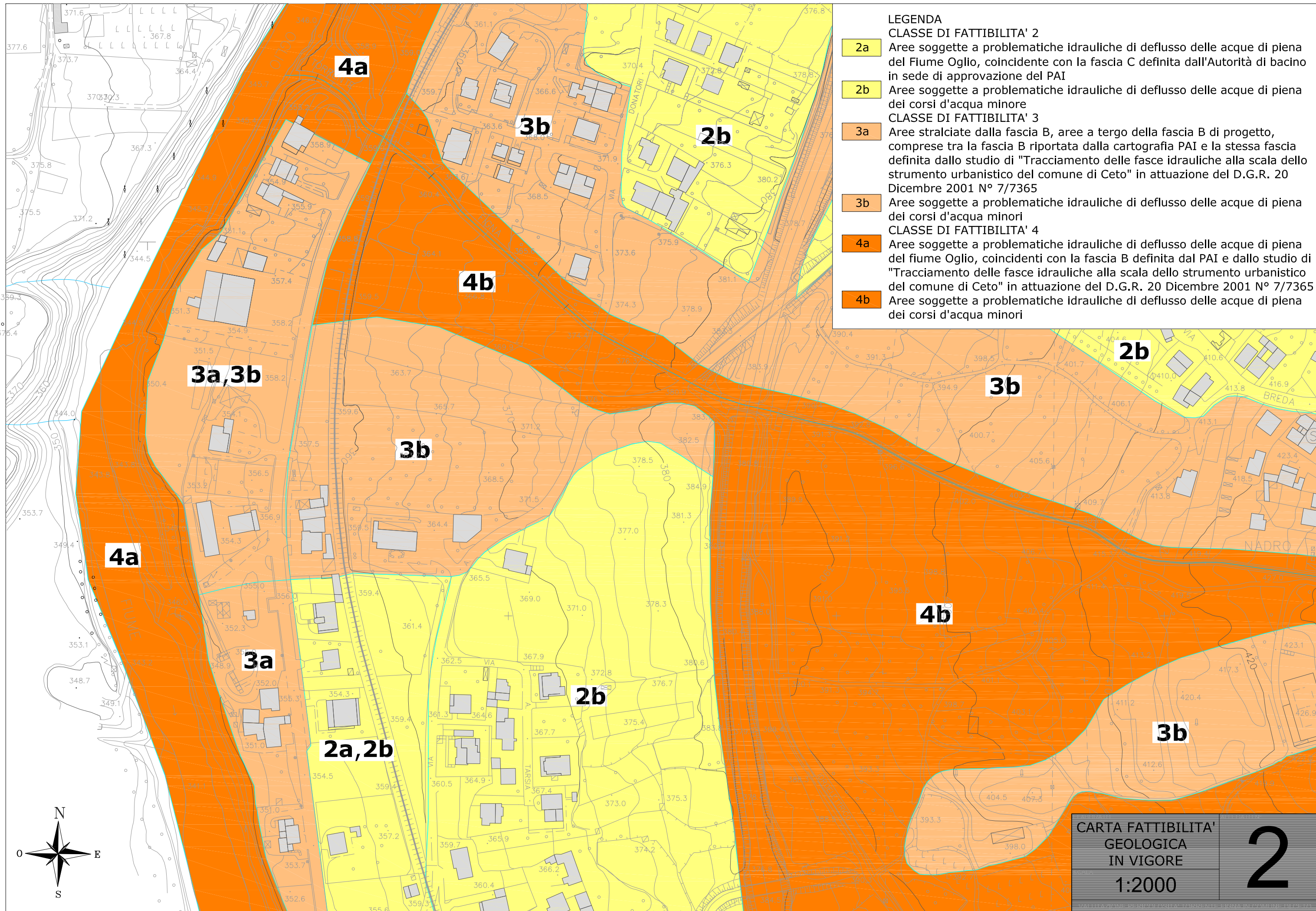
LEGENDA

-  Fiume Oglio
-  Corsi d'acqua secondari
-  Linea ferroviaria Brescia-Edolo
-  Strade
-  Confine comunale

UBICAZIONE

1:5000

1



LEGENDA

CLASSE DI FATTIBILITA' 2

2a Aree soggette a problematiche idrauliche di deflusso delle acque di piena del Fiume Oglio, coincidente con la fascia C definita dall'Autorità di bacino in sede di approvazione del PAI

2b Aree soggette a problematiche idrauliche di deflusso delle acque di piena dei corsi d'acqua minore

CLASSE DI FATTIBILITA' 3

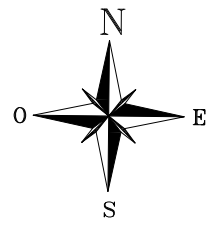
3a Aree stralciate dalla fascia B, aree a tergo della fascia B di progetto, comprese tra la fascia B riportata dalla cartografia PAI e la stessa fascia definita dallo studio di "Tracciamento delle fasce idrauliche alla scala dello strumento urbanistico del comune di Ceto" in attuazione del D.G.R. 20 Dicembre 2001 N° 7/7365

3b Aree soggette a problematiche idrauliche di deflusso delle acque di piena dei corsi d'acqua minori

CLASSE DI FATTIBILITA' 4

4a Aree soggette a problematiche idrauliche di deflusso delle acque di piena del fiume Oglio, coincidenti con la fascia B definita dal PAI e dallo studio di "Tracciamento delle fasce idrauliche alla scala dello strumento urbanistico del comune di Ceto" in attuazione del D.G.R. 20 Dicembre 2001 N° 7/7365

4b Aree soggette a problematiche idrauliche di deflusso delle acque di piena dei corsi d'acqua minori



CARTA FATTIBILITA' GEOLOGICA IN VIGORE
1:2000
2

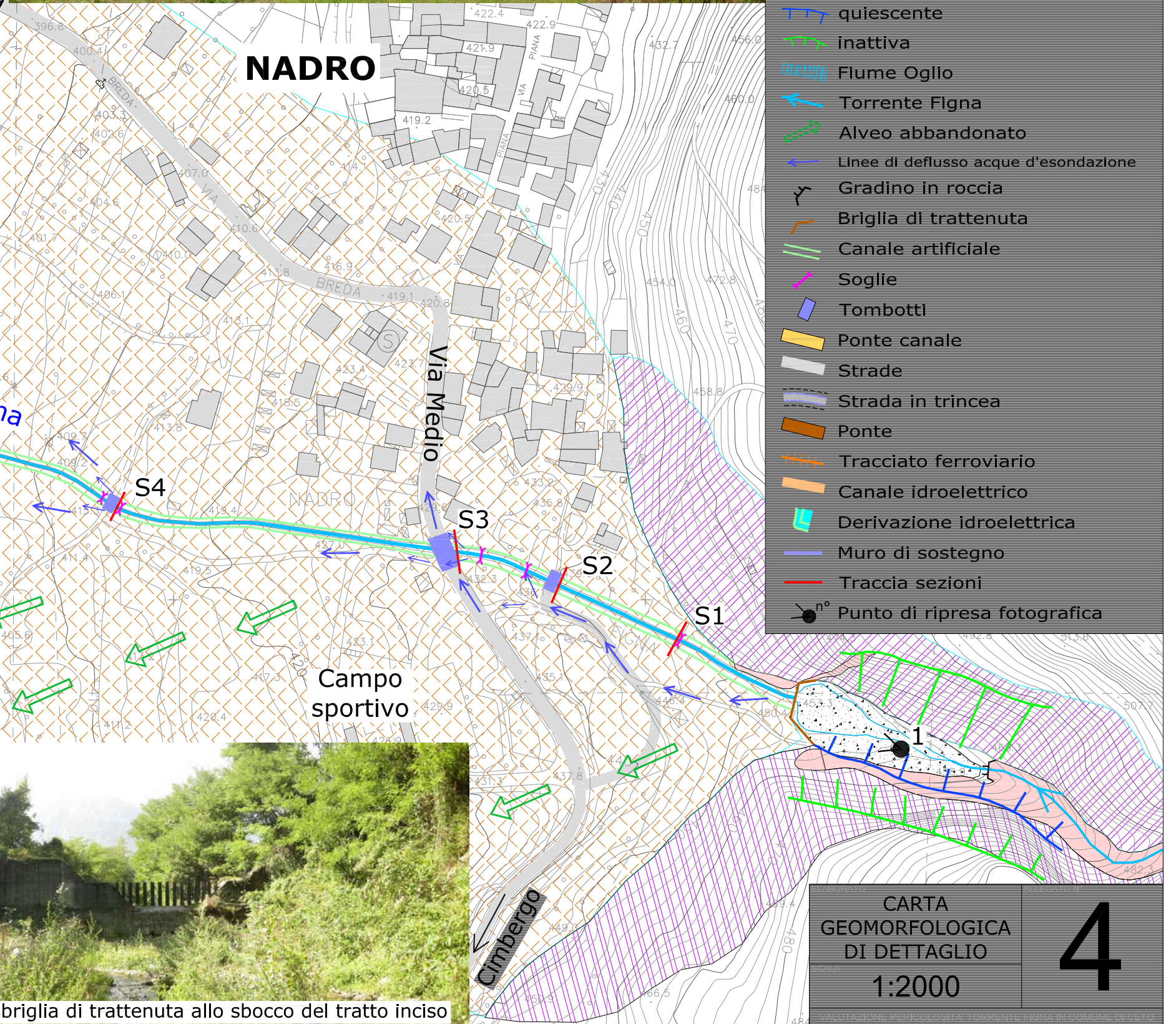
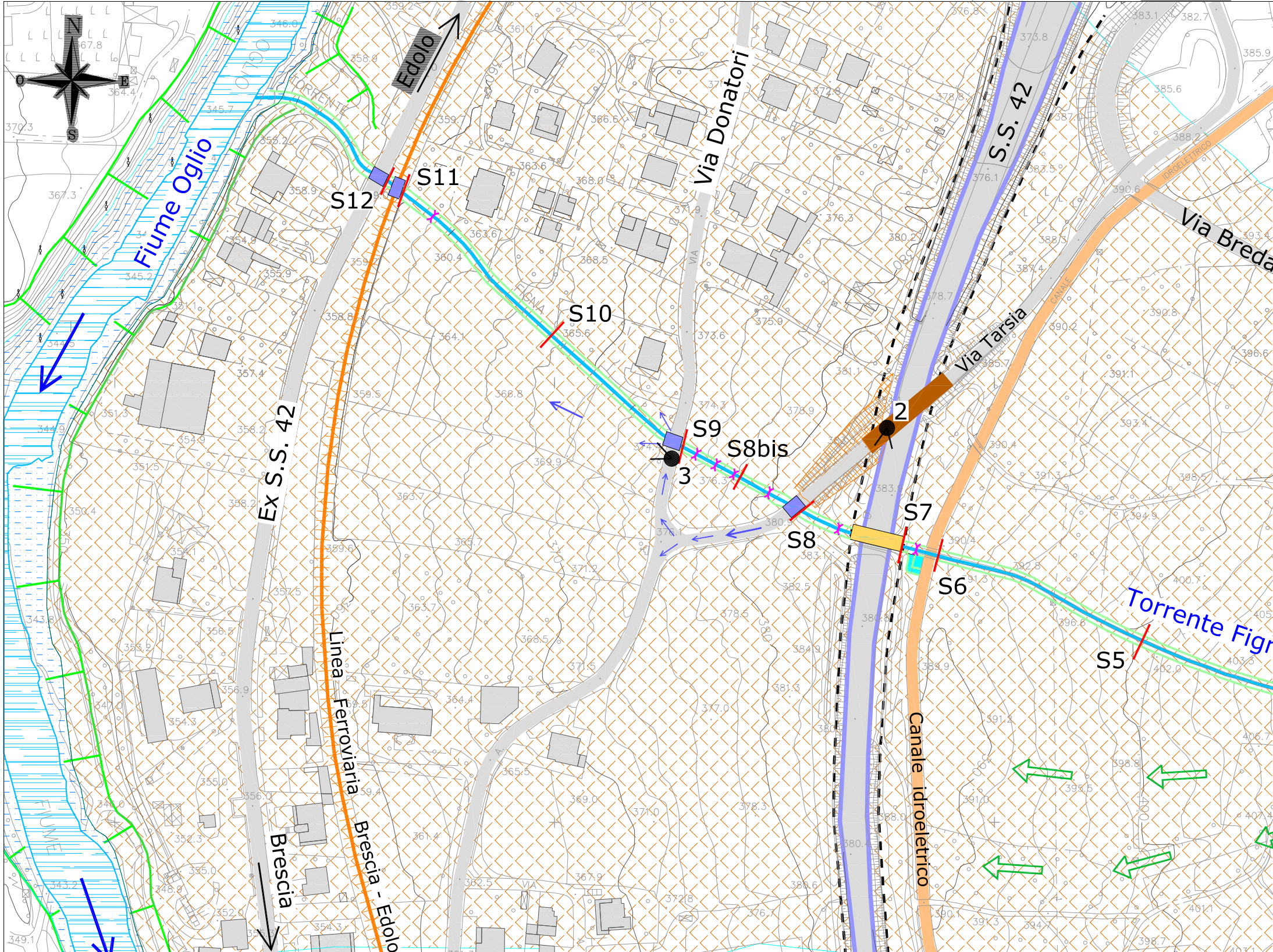
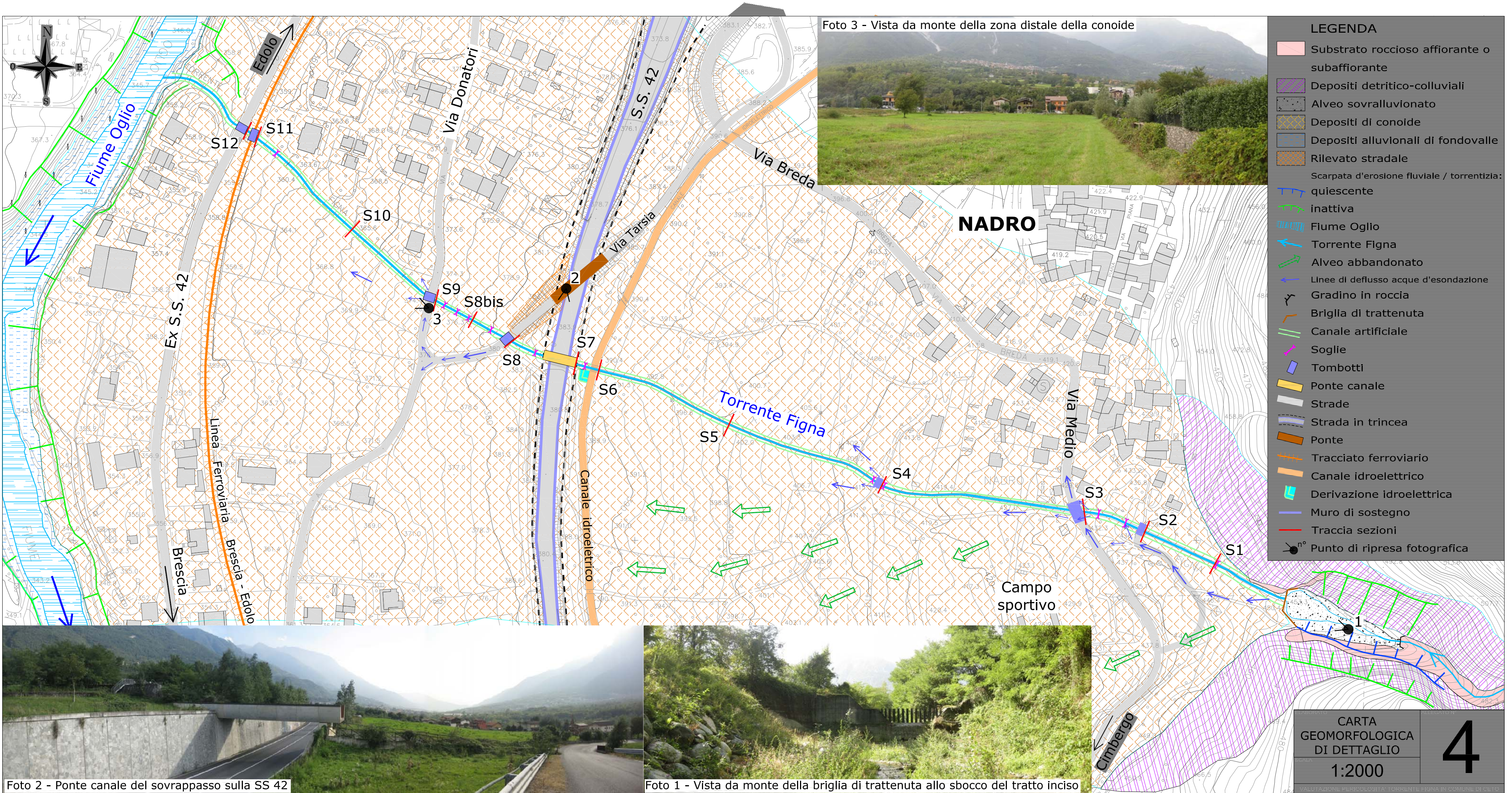


Foto 2 - Ponte canale del sovrappasso sulla SS 42

Foto 1 - Vista da monte della briglia di trattenuta allo sbocco del tratto inciso

Vista dal ponte canale dell'area medio-distale della conoide



Vista da valle - Tratto di conoide interessato dal piano di lottizzazione



TORRENTE FIGNA

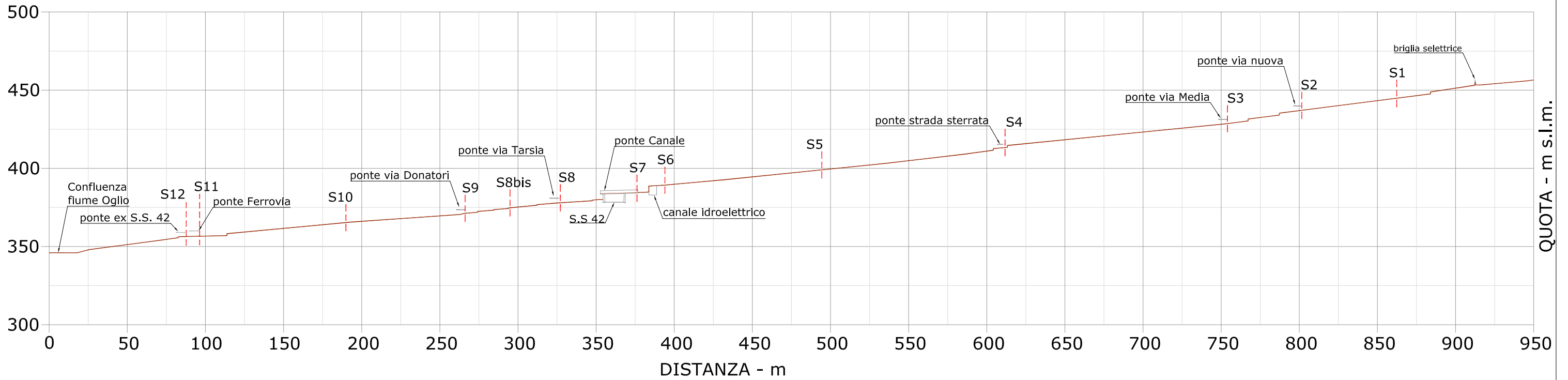
Parametri morfometrici della conoide alluvionale

Quota massima: **453** m s.l.m.

Quota minima: **346** m s.l.m.

Lunghezza asta sulla conoide: **902** m

Pendenza media: **11.7** %



Vista dell'intersezione tra via Donatori e via Tarsia

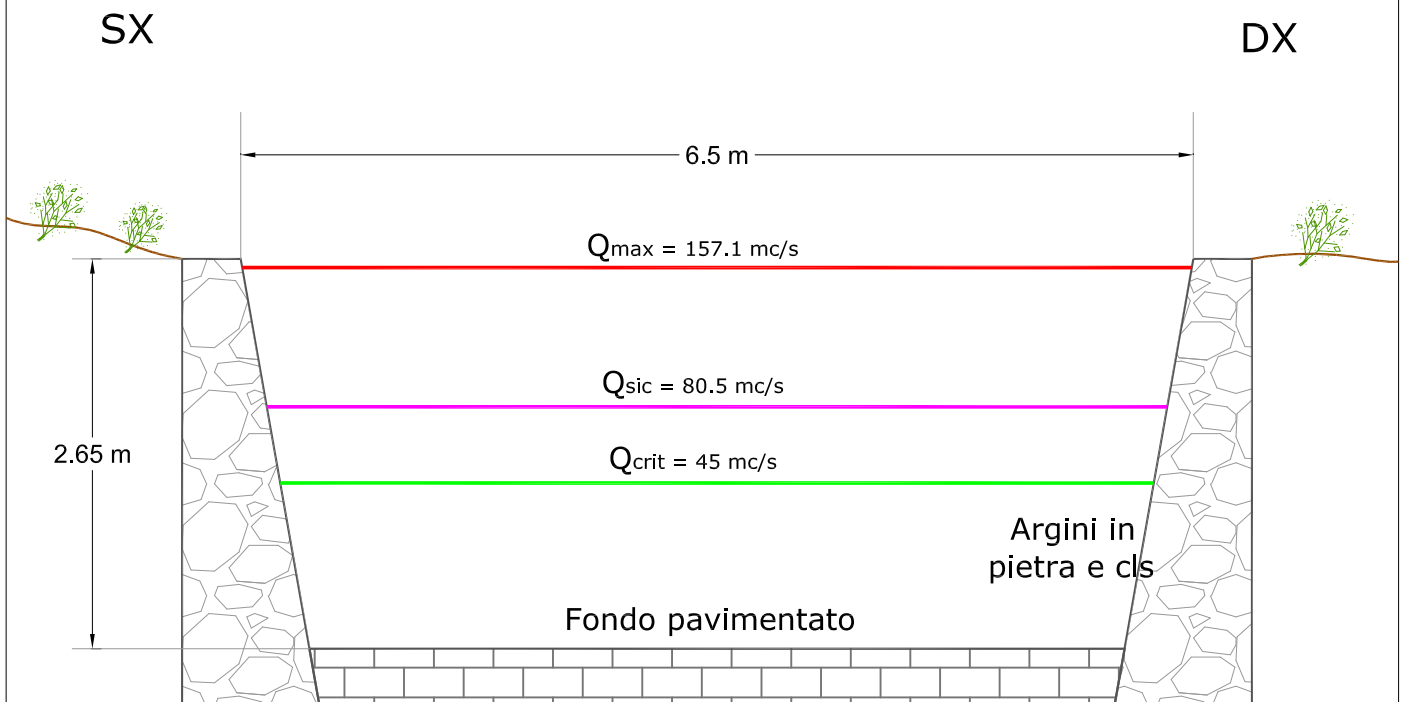
ELABORATO	ALLEGATO N°
CURVA DI FONDO DELLA CONOIDE ALLUVIONALE	5
SCALA	GRAFICA
VALUTAZIONE PERICOLOSITA' TORRENTE FIGNA IN COMUNE DI CETO	

SEZIONE 1

scala 1:50



Ripresa da valle

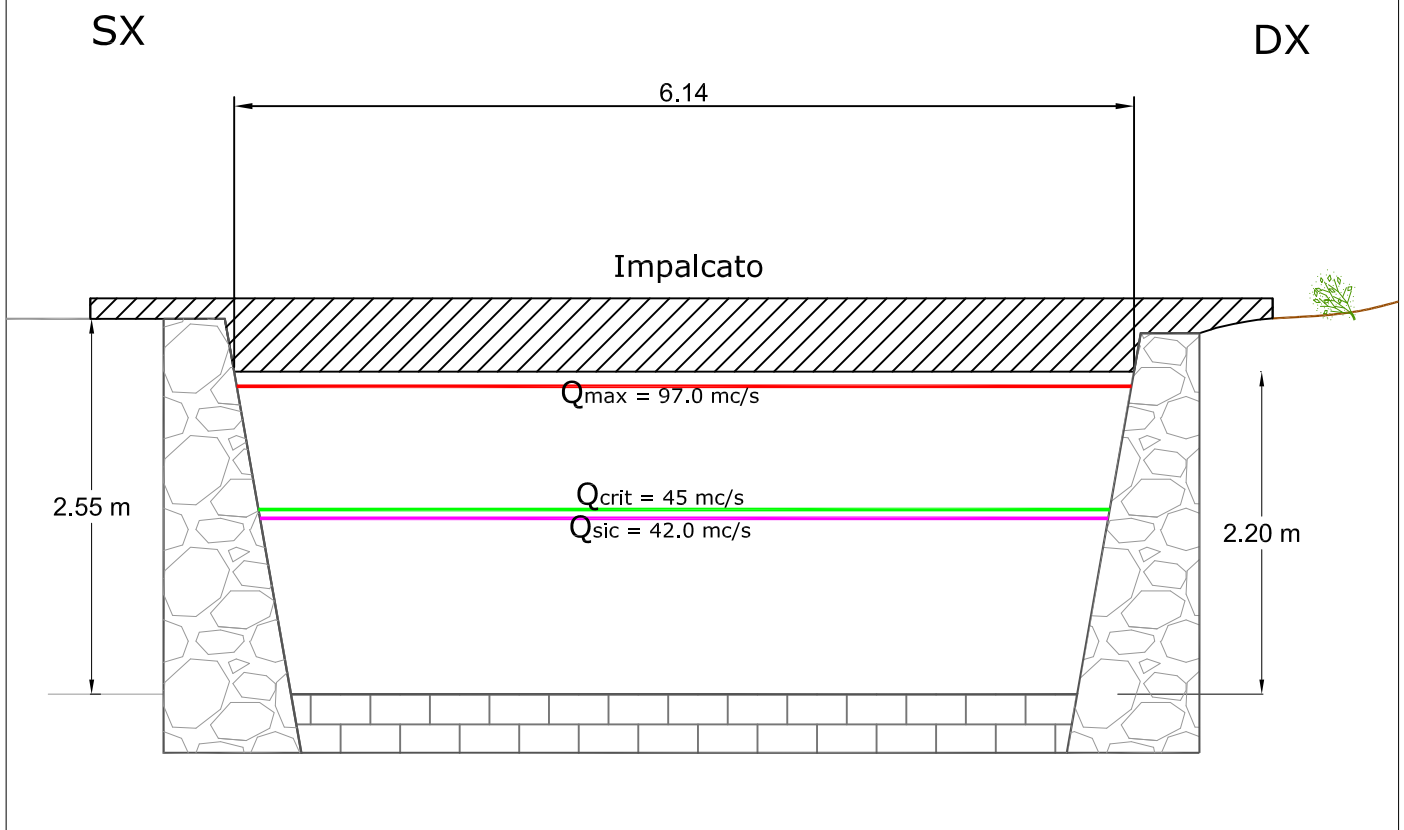


SEZIONE 2 - Tombotto

scala 1:50



Ripresa da monte

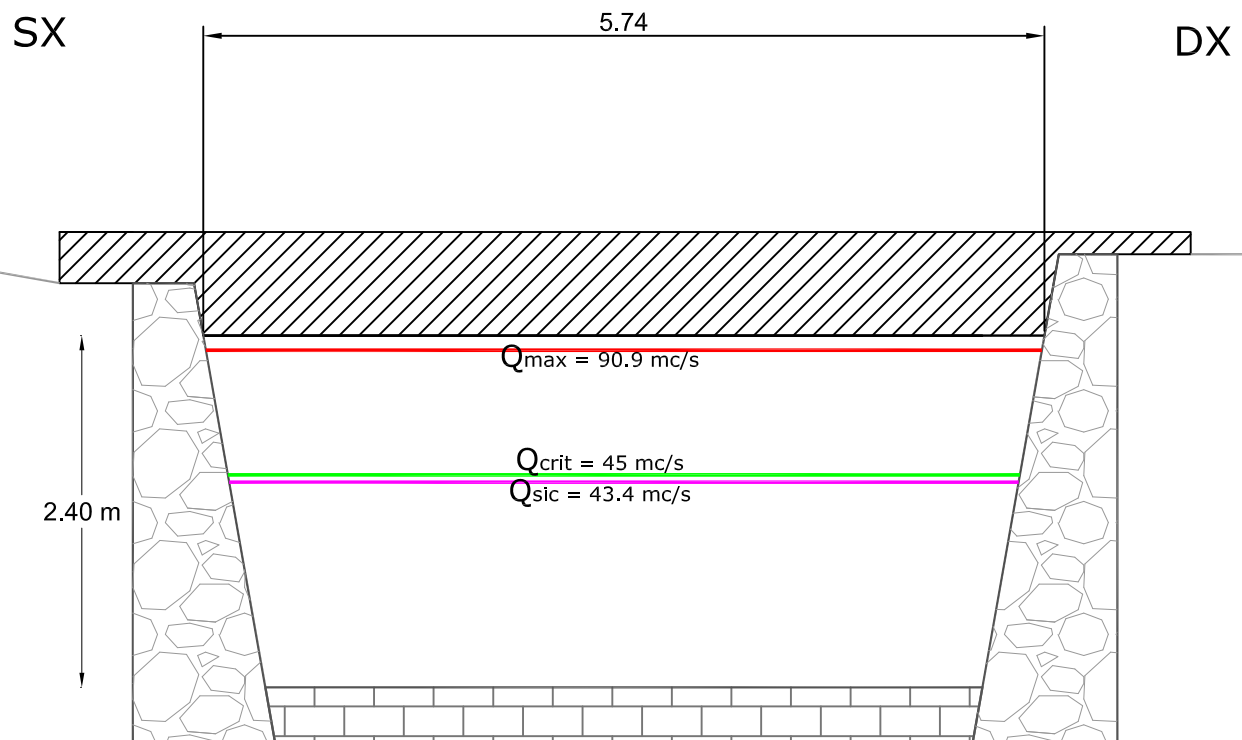


SEZIONE 3 - Tombotto via Media

scala 1:50



Ripresa da monte



SEZIONE 4 - Tombotto

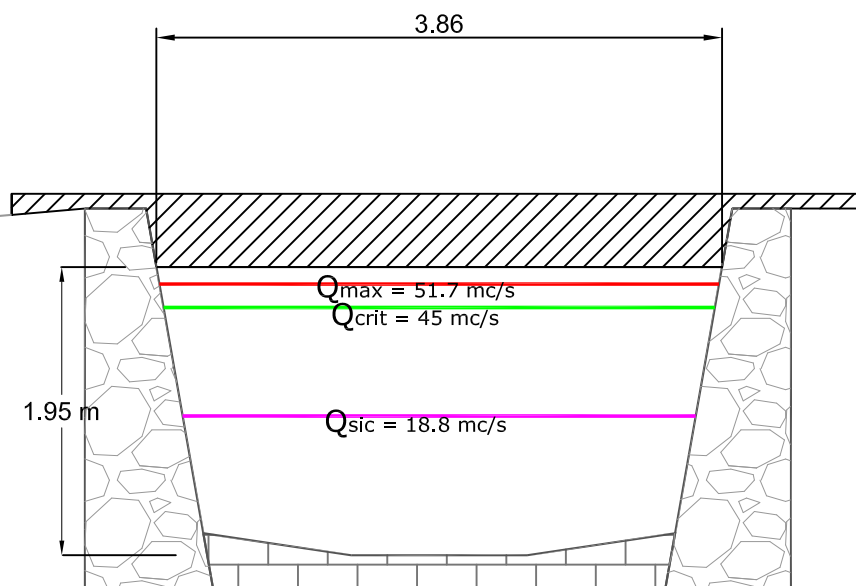
scala 1:50



Ripresa da monte

SX

DX

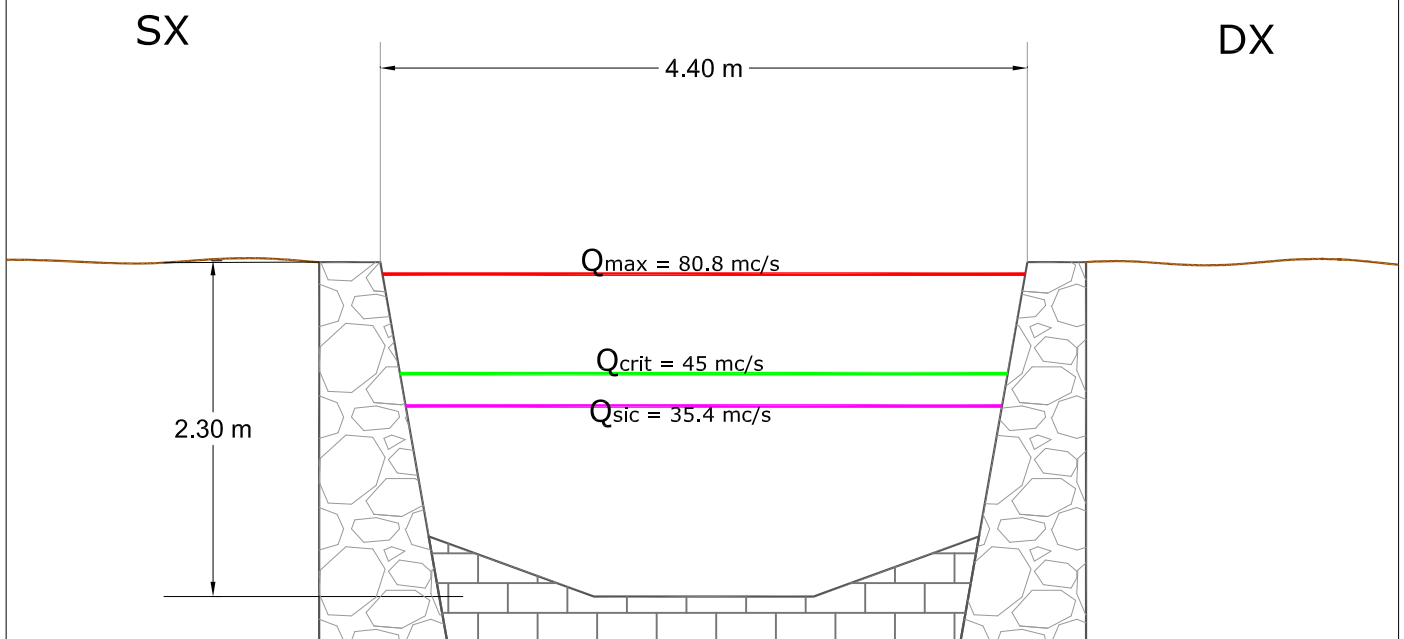


SEZIONE 5

scala 1:50



Ripresa da valle



SEZIONE 6 - Passerella

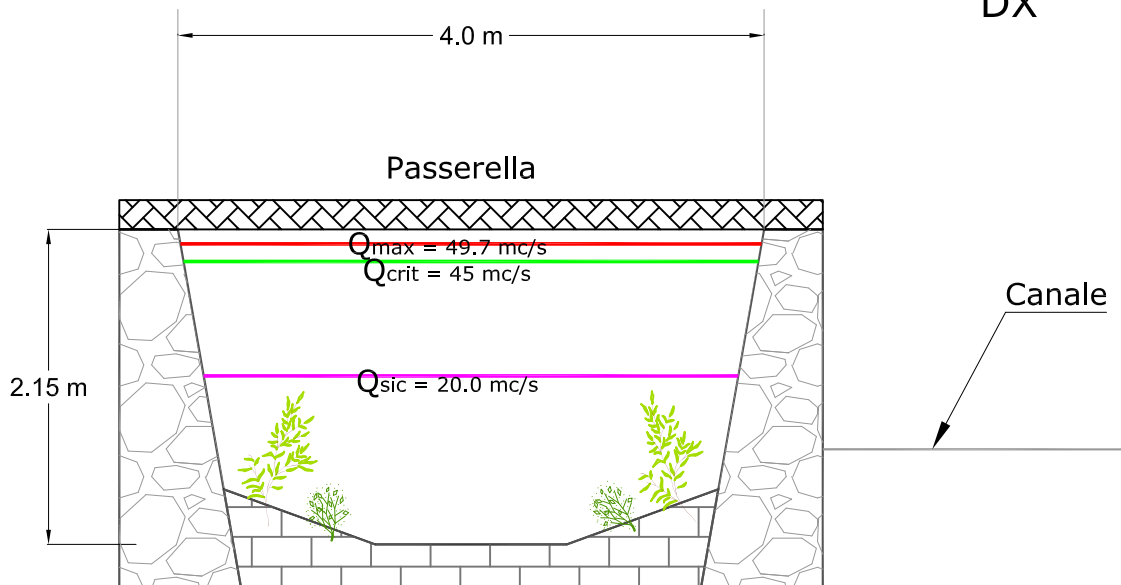
scala 1:50



Ripresa da valle

SX

DX

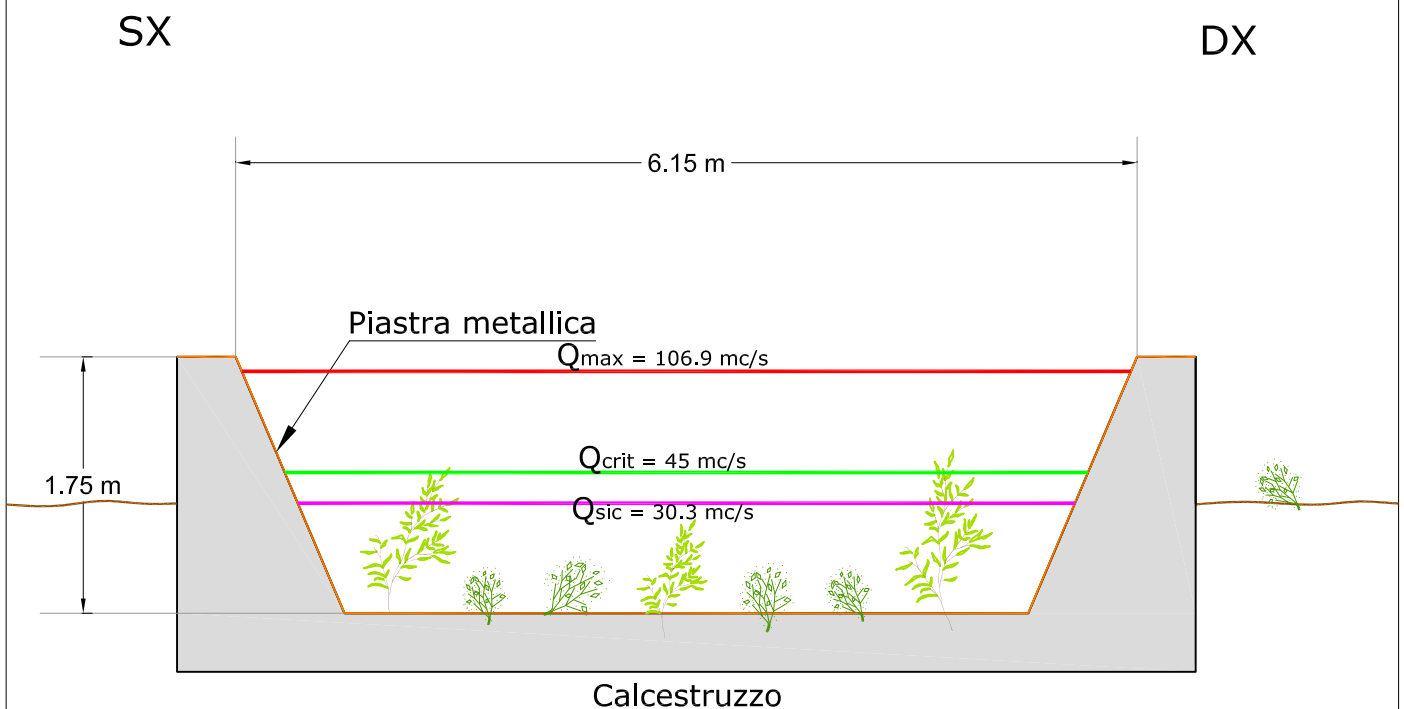


SEZIONE 7 - Ponte canale SS42

scala 1:50



Ripresa da valle



SEZIONE 8 - Tombotto via Tarsia

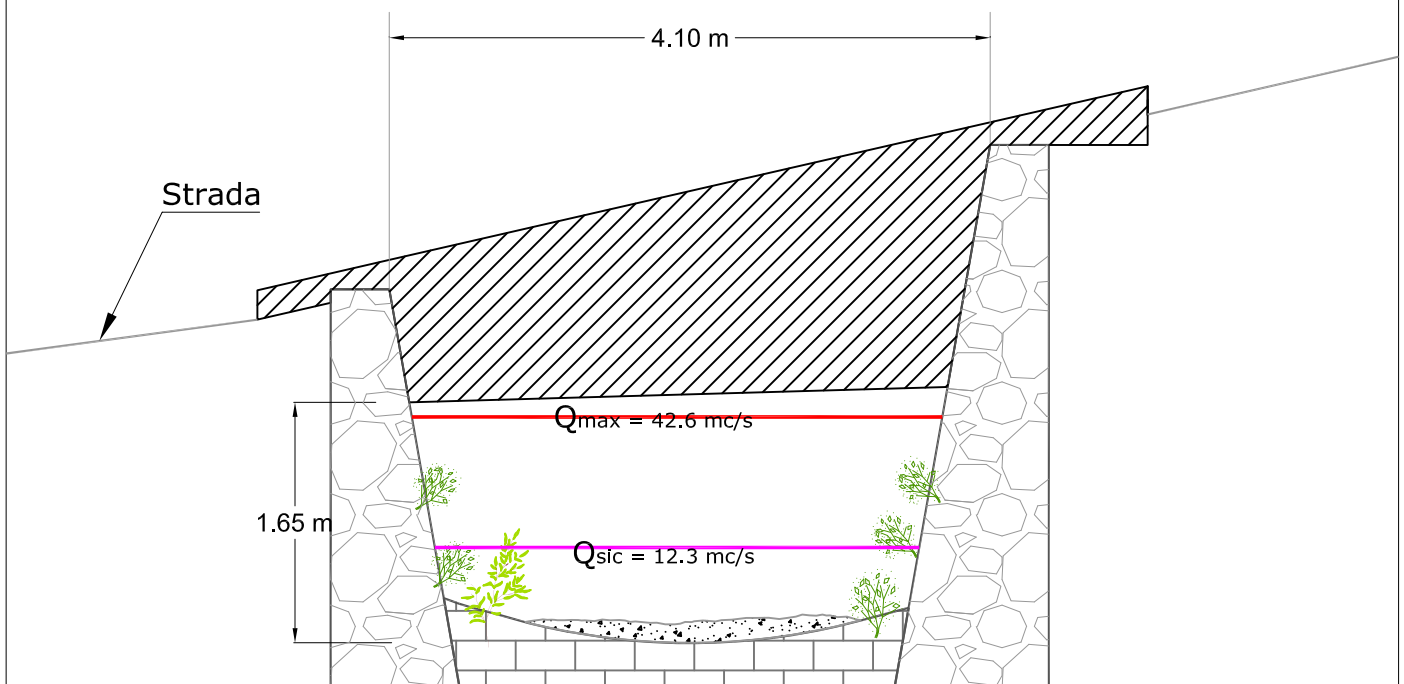
scala 1:50



Ripresa da monte

SX

DX



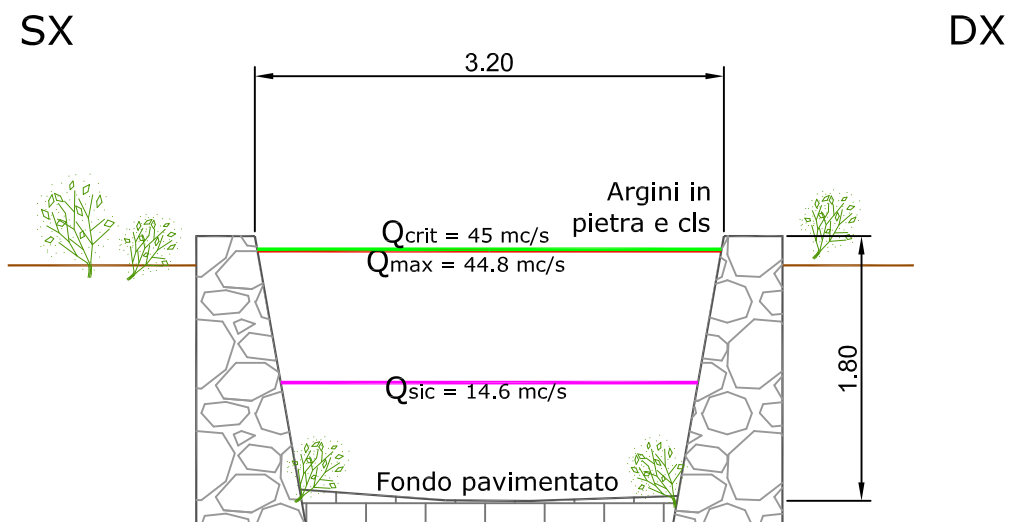
Q_{crit} non passa all'interno della sezione

SEZIONE 8bis

scala 1:50



Ripresa da valle



SEZIONE 9 - Tombotto via Donatori

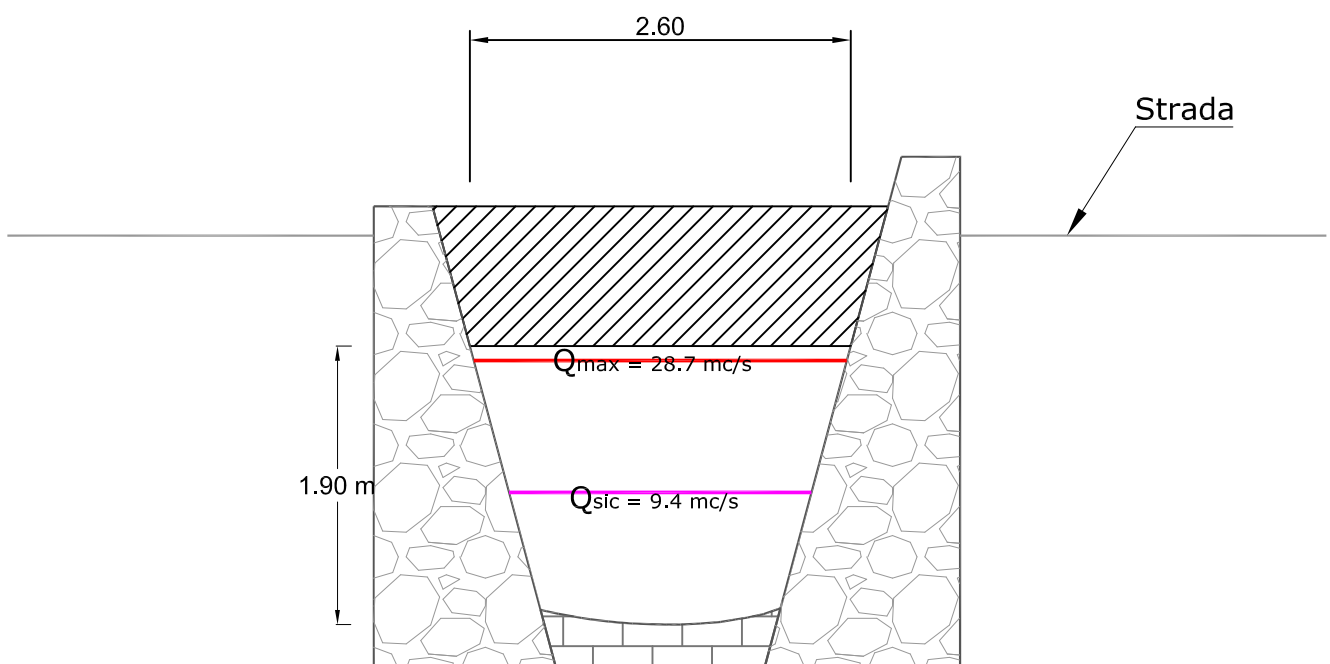
scala 1:50



Ripresa da monte

SX

DX



Q_{crit} non passa all'interno della sezione

SEZIONE 10

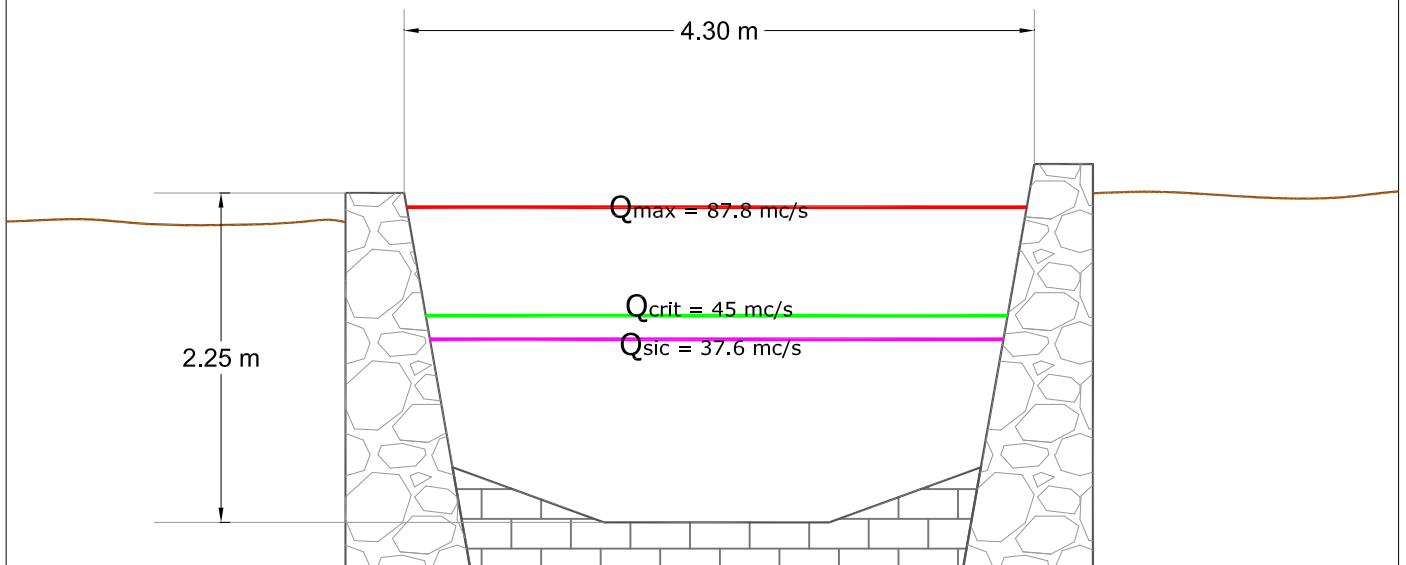
scala 1:50



Ripresa da monte

SX

DX



SEZIONE 11 - Tombotto ferrovia

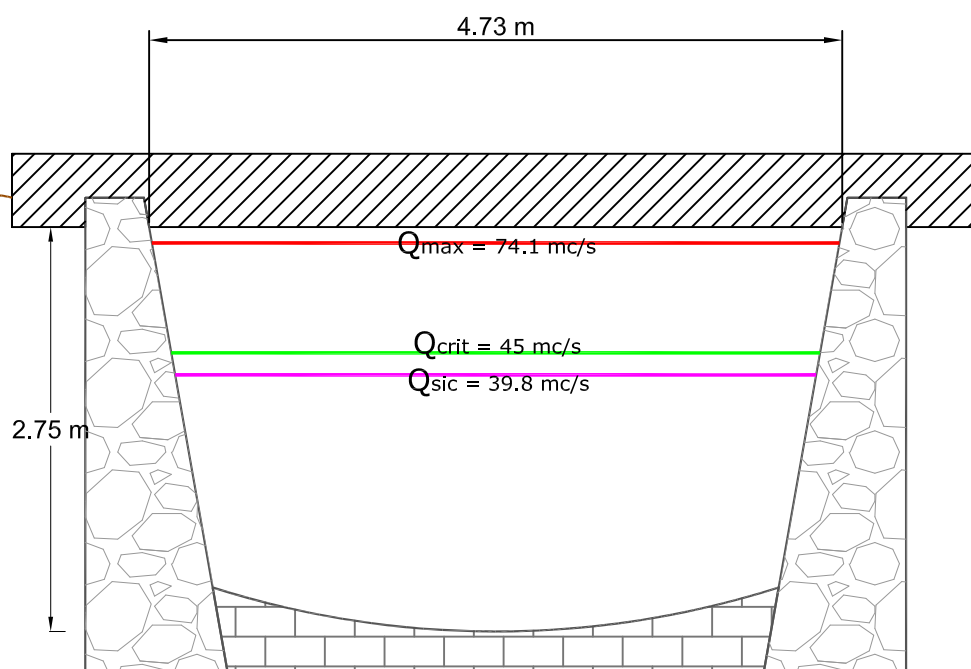
scala 1:50



Ripresa da valle

SX

DX



SEZIONE 12 - Tombotto Ex SS42

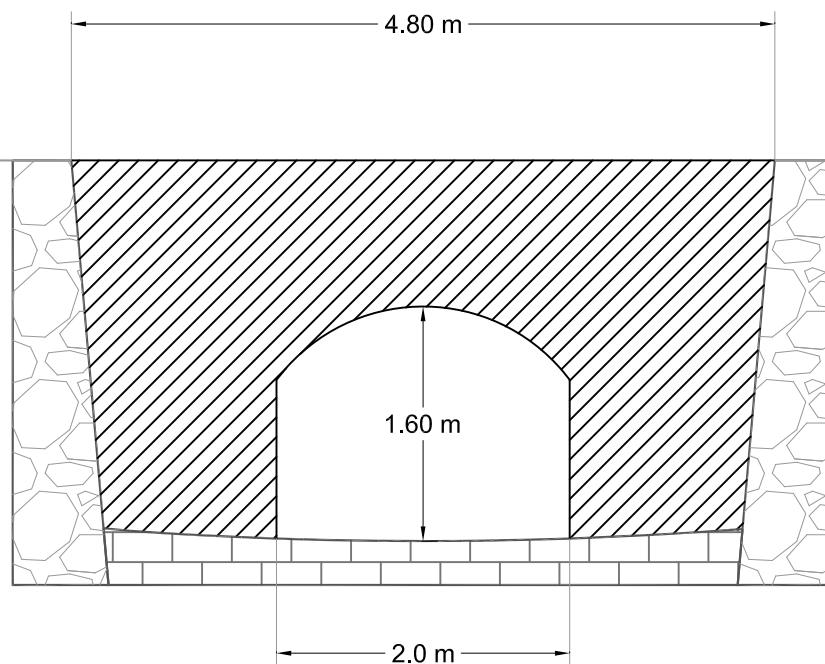
scala 1:50



Ripresa da monte

SX

DX



Q_{crit} non passa all'interno della sezione

Torrente FIGNA

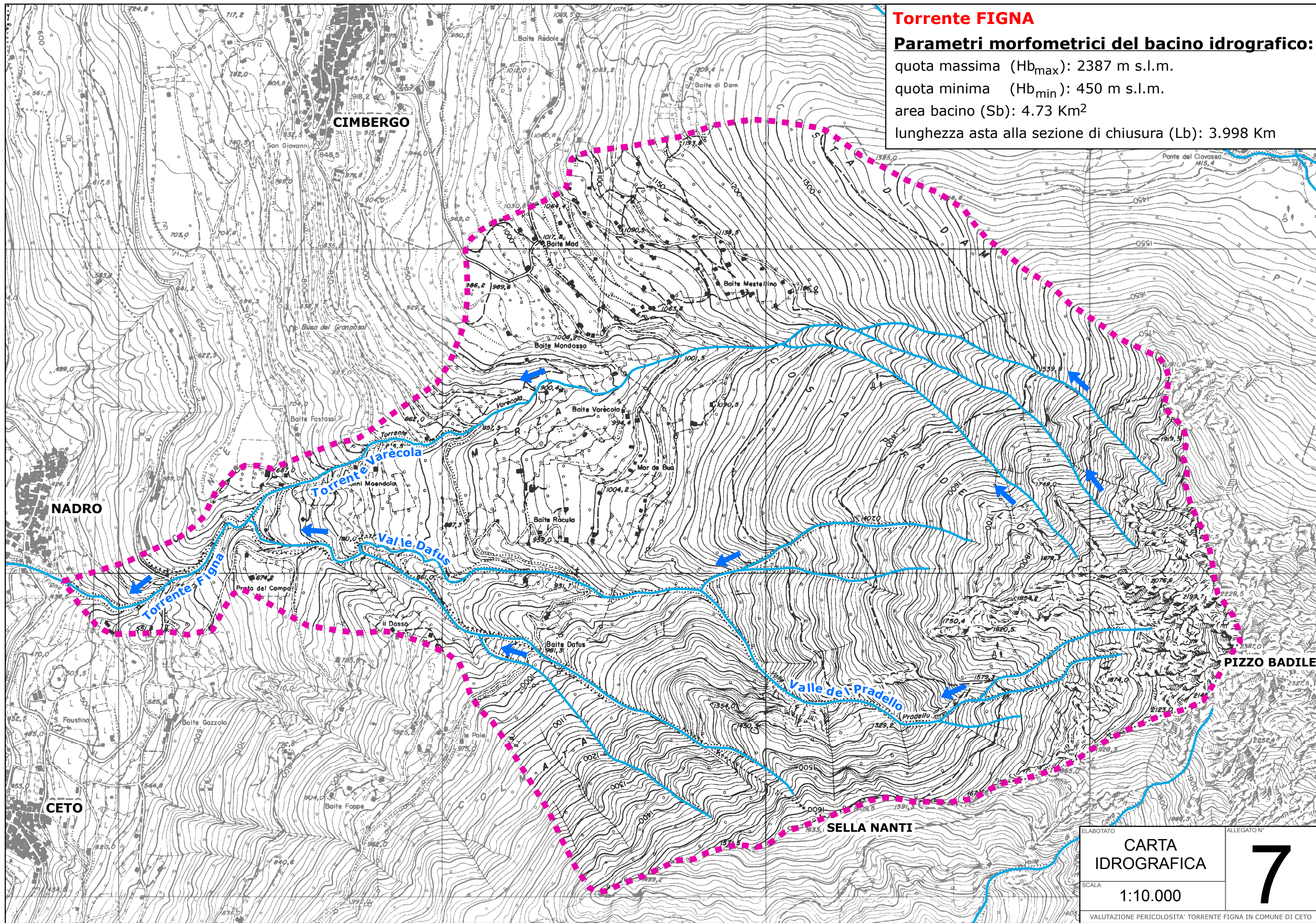
Parametri morfometrici del bacino idrografico:

quota massima ($H_{b_{max}}$): 2387 m s.l.m.

quota minima ($H_{b_{min}}$): 450 m s.l.m.

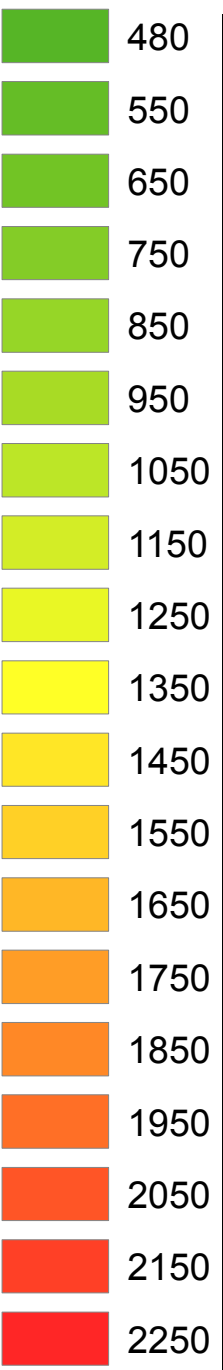
area bacino (S_b): 4.73 Km²

lunghezza asta alla sezione di chiusura (L_b): 3.998 Km

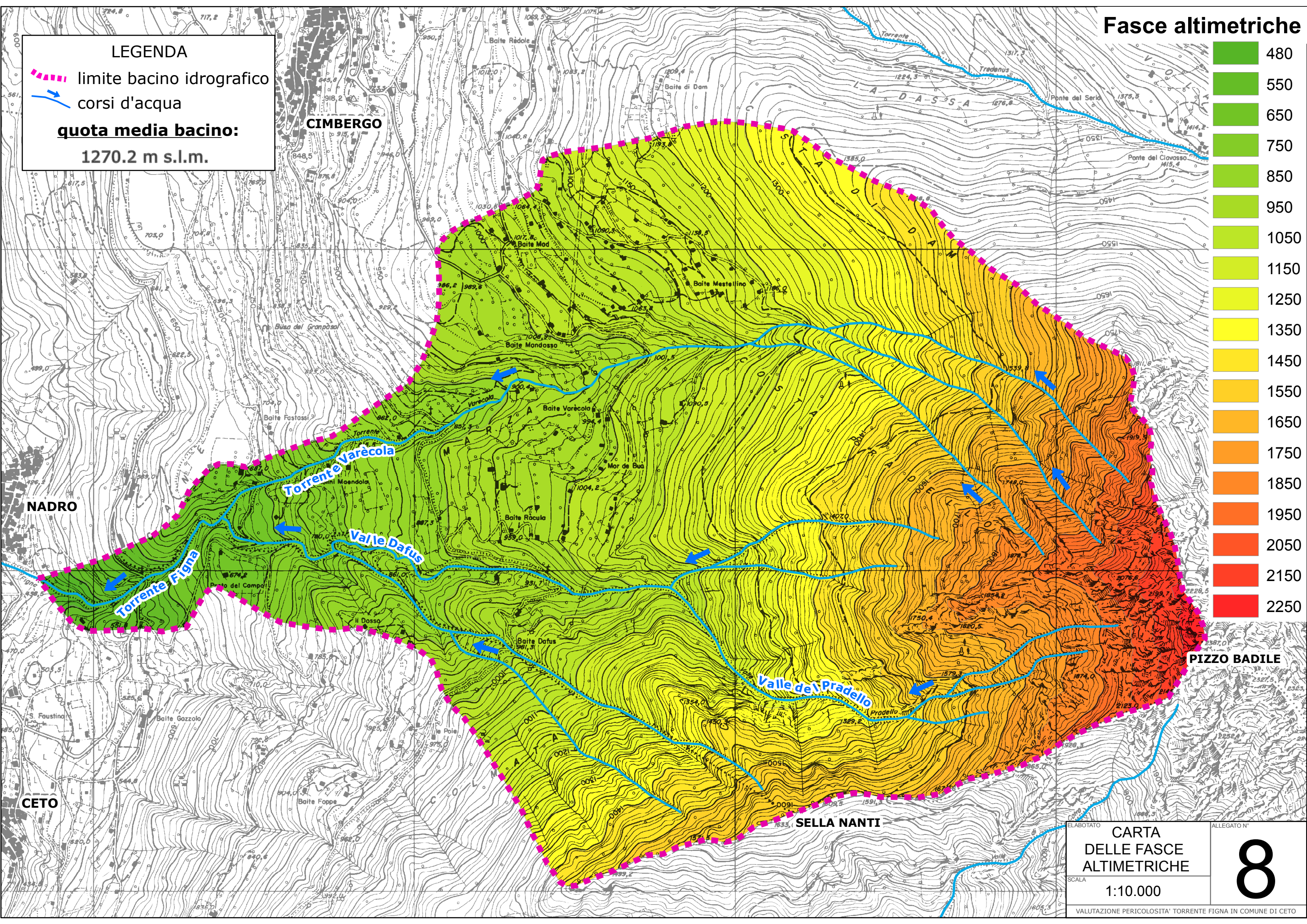


ELABORATO	CARTA IDROGRAFICA	ALLEGATO N°
SCALA	1:10.000	7
VALUTAZIONE PERICOLOSITA' TORRENTE FIGNA IN COMUNE DI CETO		

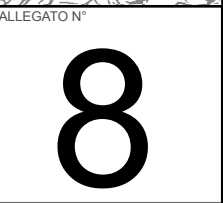
Fasce altimetriche



LEGENDA
- - - limite bacino idrografico
- - - corsi d'acqua
quota media bacino:
1270.2 m s.l.m.



ELABORATO
**CARTA
DELLE FASCE
ALTIMETRICHE**
SCALA
1:10.000
VALUTAZIONE PERICOLOSITA' TORRENTE FIGNA IN COMUNE DI CETO



COMUNE DI CETO

PROVINCIA DI BRESCIA

VALUTAZIONE DELLA PORTATA LIQUIDA
TORRENTE FIGNA

Parametri morfometrici alla sezione di riferimento

Area del bacino sotteso	S _b =	4,73 kmq
Lunghezza dell'asta	L =	3,998 km
Quota minima	H _{min} =	450 m s.l.m.
Quota massima	H _{max} =	2387 m s.l.m.
Quota media	H _{med} =	1270,2 m s.l.m.
Quota media relativa	H _{med} =	820,2 m s.l.m.
Pendenza media bacino	i med =	0,67 %

1 METODO DI GIANDOTTI

$$Q_c = 0,278 \times \frac{\gamma \times \psi}{\lambda \times t_c} \times h_{cr} \times S_b = \boxed{60,69} \text{ mc/sec}$$

dove:

$$\psi = 0,0667 + 0,0543 \times \ln TR = 0,317$$

$$\gamma = \boxed{9,00}$$

$$\lambda = \boxed{4,00}$$

$$TR = \boxed{100} \text{ anni} \quad \text{tempo di ritorno}$$

$$h_{cr} = a \times t_c^n = \boxed{41,54} \text{ mm} \quad \text{altezza di pioggia critica}$$

$$a = \boxed{47,29} \quad \text{Parametri della retta di possibilità}$$

$$n = \boxed{0,29} \quad \text{climatica riferiti alla stazione di BRENO}$$

$$t_c = \frac{4 \times \sqrt{S_b} + 1,5 \times L}{0,8 \times \sqrt{H_m}} = \boxed{0,64} \text{ ore} \quad \text{tempo di corrivazione}$$

2 METODO di GIANDOTTI PERFEZIONATO DA VISENTINI (1938)

$$Q_c = \frac{\lambda \times S_b \times h_c}{0,8 \times t_c} \times Cd = \boxed{31,78} \text{ mc/sec}$$

dove:

$$\lambda = 166$$

$$\text{Coefficiente di deflusso} = \boxed{0,500}$$

3 METODO EMPIRICO PROPOSTO DA A.FORTI (1920)

$$Q_c = q_{\max} \times S_b = \boxed{45,21} \text{ mc/sec}$$

$$q_{\max} = \alpha \times \frac{500}{S_b + 125} + \beta = 9,56 \text{ mc/sec} \cdot \text{kmq}$$

dove:

$$a = 2,35$$

$$b = 0,50$$

4 METODO EMPIRICO PROPOSTO MYER

$$Q_c = \left(\frac{a \times S_b}{3,6} \right) \times 1,115 \times (S_b)^{-0,193} = \boxed{38,97} \text{ mc/sec}$$

$$a = 35,9$$

5 METODO DELLA PORTATA INDICE TARATO SULLA PROVINCIA DI BRESCIA

E' basato sulla stima della legge di distribuzione di probabilità del rapporto tra la portata al colmo e la sua media, supposta uniformemente distribuita

La relazione ottenuta ha la forma:

$$Q_{c,T} = \mu(Q_c) X_T = \boxed{27,71} \text{ m}^3/\text{sec} \quad \text{per } 1 < A < 40 \text{ km}^2$$

$\mu(Q_c)$ = media della distribuzione

$Q_{c,T}$ = portata al colmo di assegnato tempo di ritorno (T)

X_T = coefficiente di crescita

$$X_T = \frac{Q_c}{\mu(Q_c)} = 1 + 0,53 \frac{(\exp(0,0521 * Y_G) - 1033)}{0,072} = 2,75067$$

$$Y_G = -\text{Ln} \left(-\text{Ln} \left(\frac{T-1}{T} \right) \right) = 4,60015$$

T (tempo di ritorno) = **100** anni

Il valore di $\mu(Q_c)$ può essere stimato con le seguenti relazioni:

$$\mu(Q_c) = 3,24 * A^{0,73} = 10,0738$$

per $1 < A < 40 \text{ km}^2$

A (area del bacino) = **4,73** km^2

La curva di crescita è in genere dipendente dal valore dell'asimmetria, g, e dal coefficiente di variazione, CV, delle portate al colmo nelle varie sezioni.

6 METODO RAZIONALE (Afflussi/Deflussi)

$$Q_{c,T} = \frac{1}{3.6} \times \Phi \times r(A,d) \times A \times a_T \times t_c^{n_1-1} = \boxed{36,03} \text{ m}^3/\text{sec}$$

Linea segnalatrice media puntuale:

$$h(t, T) = a_T d^{n_1} = 39,69 \text{ mm} \quad \text{altezza di pioggia media puntuale sul bacino}$$

con

$$a_T = m_1 \left\{ 1 - \frac{CV\sqrt{6}}{\pi} \left[0,5772 + \text{LnLn} \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] \right\} = \boxed{40,45} \text{ mm/h}^n$$

- CV = **0,288** - coefficiente di variazione medio areale, sul bacino, delle precipitazioni massime annuali di durata compresa fra 1 e 24 ore, tarato sulla stazione di BRENO
- $m_1 = \boxed{21,25}$ mm - media areale delle precipitazioni massime annuali di durata 1 ora, tarato sulla stazione di BRENO
- $n_1 = \boxed{0,313}$ - media areale dell'esponente di scala delle altezze medie dei massimi annuali delle piogge di durata d compresa fra 1 e 24 ore, interpolate con la relazione $md = m_1, n_1$ ove i parametri introdotti sono stati dedotti da quelli forniti nello studio Bacchi ed al., 1999

Il valore medio areale della pioggia sul bacino viene definito introducendo il fattore di ragguglio r, definito con il metodo di Moisello e Papiri (1986) che fornisce il coefficiente in funzione dell'area A e della durata di pioggia d:

$$r(A,d) = 1 - \exp \left[-2,472A^{-0,242} d^{0,6} - \exp(-0,643A^{0,235}) \right] = \boxed{0,81}$$

d = 0,94 durata della pioggia

$$T_c = \frac{3,3\sqrt{A} + 3,2L}{\sqrt{H_{med} - H_{idr}}} = 0,94 \text{ ore}$$

$$\Phi = 0,298 \cdot T^{0,052} \cdot A^{0,085} = 0,43 \quad \text{coefficiente di afflusso locale valido per } 20 < A < 300 \text{ km}^2 \text{ per } 10 < T < 200 \text{ anni}$$

Φ rappresenta il valore del coefficiente di deflusso, assunto pari a:

$$\Phi = \boxed{0,80}$$

- A = 4,73 km² area del bacino
- L = 3,998 km lunghezza dell'asta idrometrica principale
- $H_{med} = 1270,2$ m s.l.m. quota geodetica media del bacino
- $H_{idr} = 820,2$ m s.l.m. quota geodetica della sezione idrometrica di chiusura del bacino
- T = **100** anni tempo di ritorno

Portata della miscela liquido solido

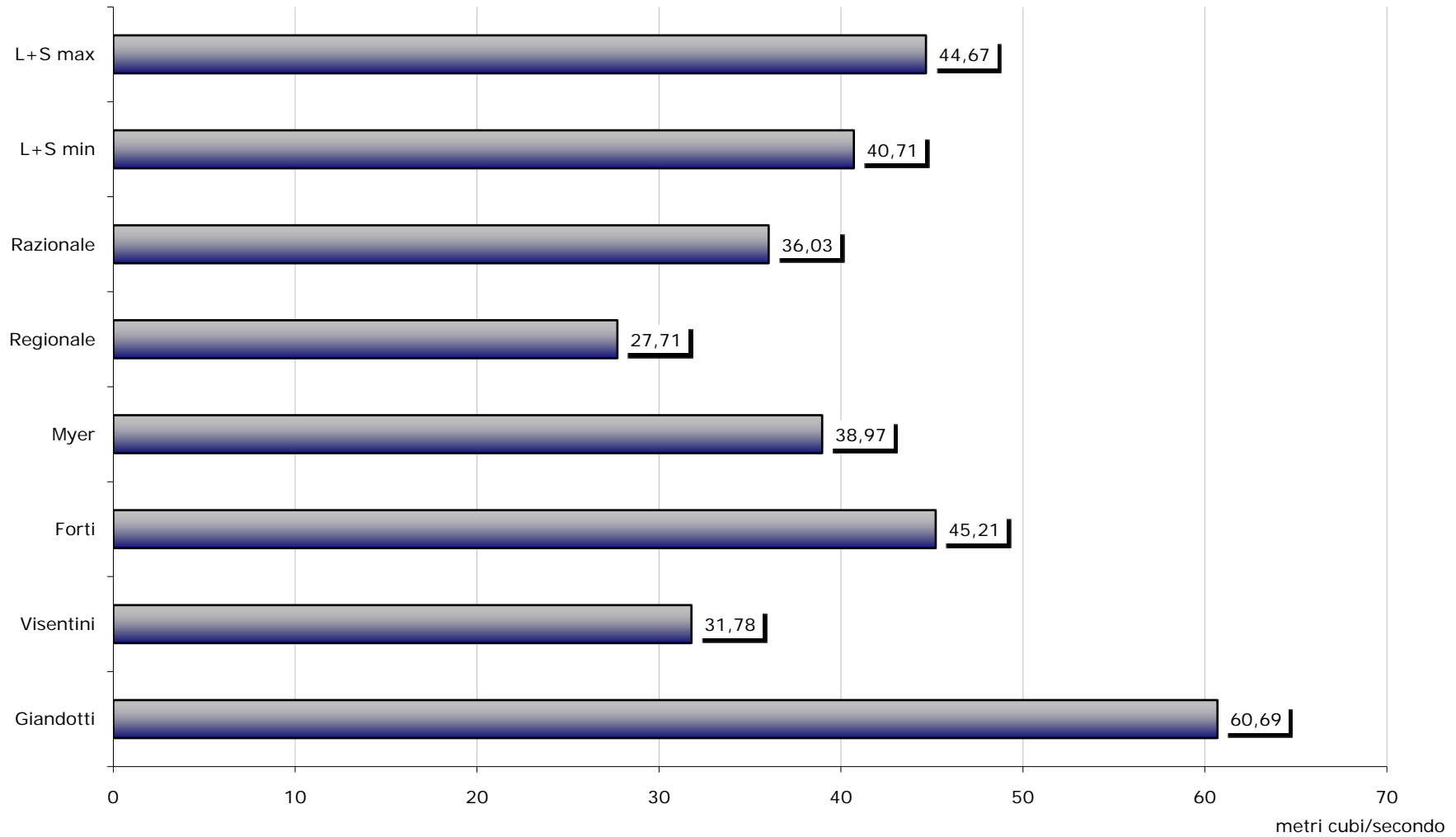
Portata definita con il Modello Razionale

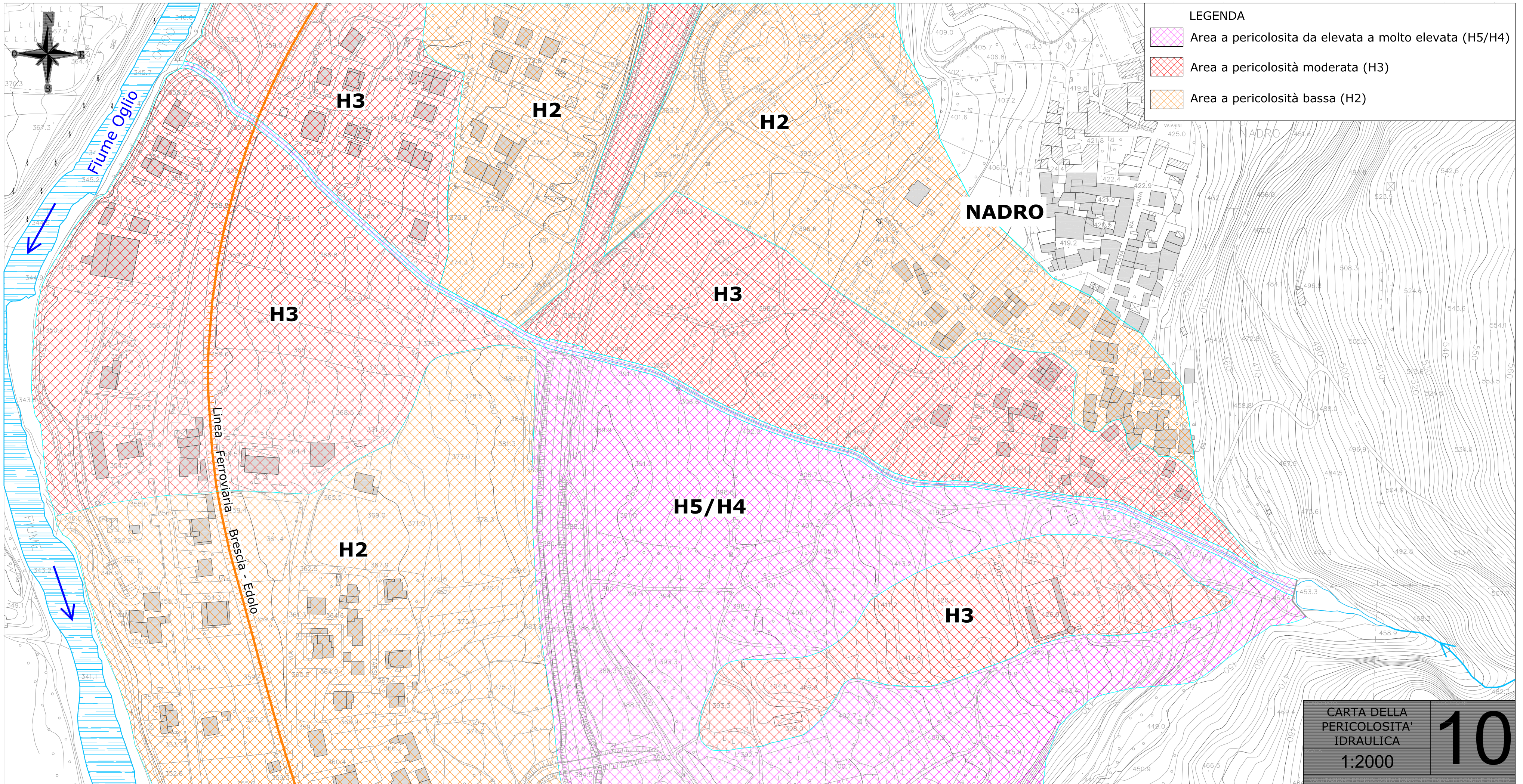
$$Q_{liq} = 36,03 \text{ mc/sec} \quad Q_{liq/sol} = 1,13 - 1,24 \cdot Q_{liq} = 40,71 \text{ mc/sec} \quad \text{minima } \boxed{44,67} \text{ mc/sec } \text{massima}$$

$$Q_{max} = 1,88 \cdot Q_{liq} = \boxed{67,73} \text{ mc/sec} \quad \text{Portata massima per evento estremo}$$




TORRENTE FIGNA

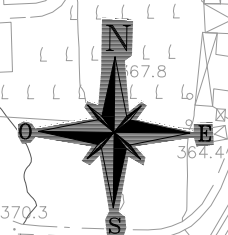
Stima delle portate di massima piena
per un tempo di ritorno TR 100 anni





LEGENDA

-  Area a pericolosità da elevata a molto elevata (H5/H4)
-  Area a pericolosità moderata (H3)
-  Area a pericolosità bassa (H2)



Fiume Oglio

Linea Ferroviaria
Brescia - Edolo

H3

H2

H2

NADRO

H3

H3

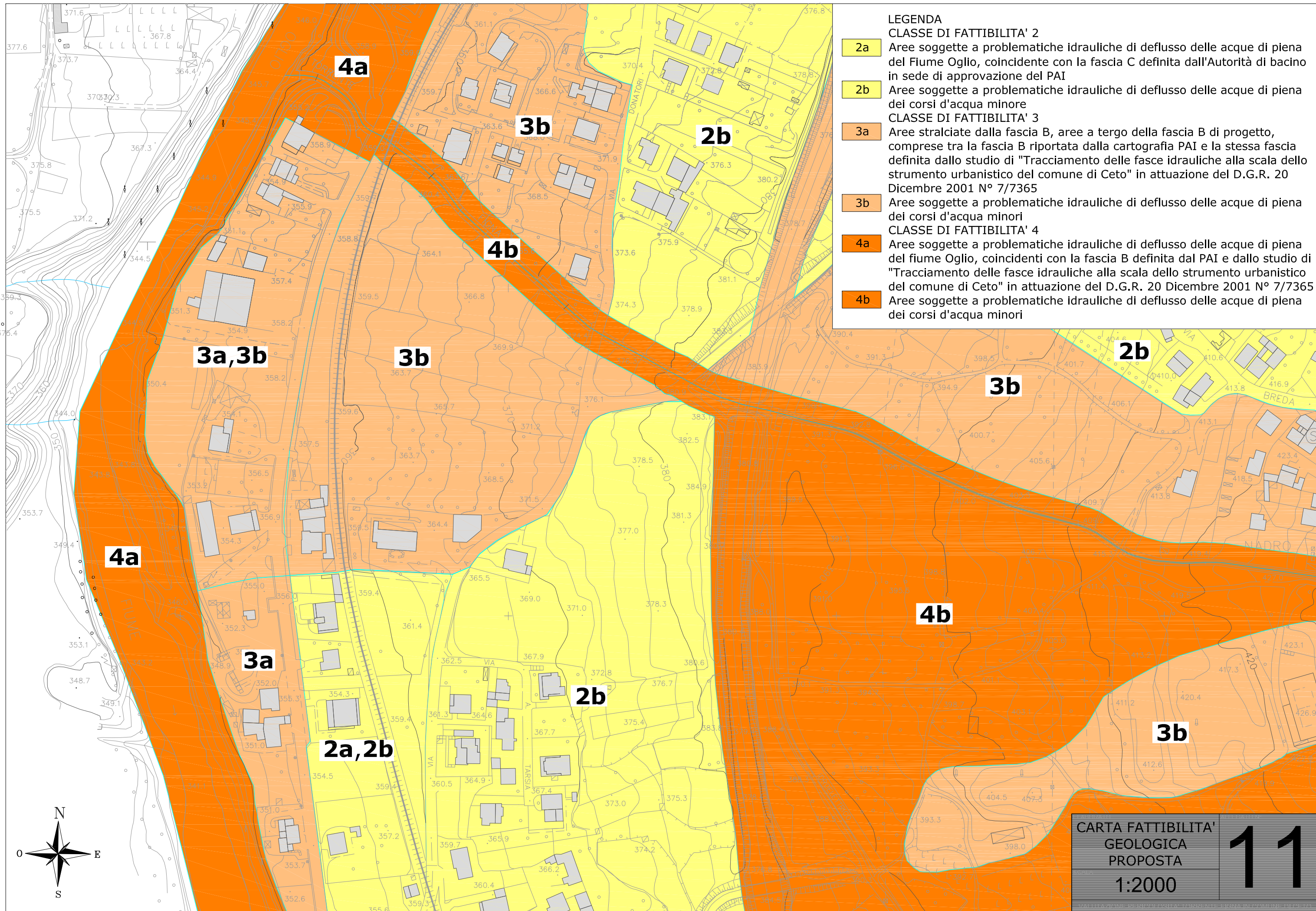
H5/H4

H2

H3

CARTA DELLA
PERICOLOSITA'
IDRAULICA
1:2000

10



LEGENDA

CLASSE DI FATTIBILITA' 2

2a Aree soggette a problematiche idrauliche di deflusso delle acque di piena del Fiume Oglio, coincidente con la fascia C definita dall'Autorità di bacino in sede di approvazione del PAI

2b Aree soggette a problematiche idrauliche di deflusso delle acque di piena dei corsi d'acqua minore

CLASSE DI FATTIBILITA' 3

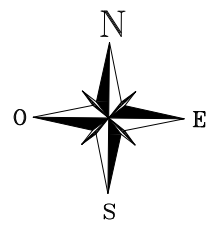
3a Aree stralciate dalla fascia B, aree a tergo della fascia B di progetto, comprese tra la fascia B riportata dalla cartografia PAI e la stessa fascia definita dallo studio di "Tracciamento delle fasce idrauliche alla scala dello strumento urbanistico del comune di Ceto" in attuazione del D.G.R. 20 Dicembre 2001 N° 7/7365

3b Aree soggette a problematiche idrauliche di deflusso delle acque di piena dei corsi d'acqua minori

CLASSE DI FATTIBILITA' 4

4a Aree soggette a problematiche idrauliche di deflusso delle acque di piena del fiume Oglio, coincidenti con la fascia B definita dal PAI e dallo studio di "Tracciamento delle fasce idrauliche alla scala dello strumento urbanistico del comune di Ceto" in attuazione del D.G.R. 20 Dicembre 2001 N° 7/7365

4b Aree soggette a problematiche idrauliche di deflusso delle acque di piena dei corsi d'acqua minori






**CARTA FATTIBILITA'
GEOLOGICA
PROPOSTA
1:2000**

11



LEGENDA PAI

-  Area di conoide attiva non protetta (Ca)
-  Area di conoide attiva parzialmente protetta (Cp)
-  Area di conoide non recentemente attivatasi o completamente protetta (Cn)

ELABORATO
CARTA DEI DISSESTI
 PAI (Piano di Assetto
 Idrogeologico) **PROPOSTA**

SCALA
1:5.000

ALLEGATO N°
12