REGIONE LIGURIA

COMUNE DI NOLI

Esecuzione di un insieme di opere di ingegneria naturalistica ed idraulica atte a stabilizzare l'area franosa PG4 in Loc. Mazzeno ed a regolarizzare ed adeguare l'alveo del Rio Mazzeno mitigandone il rischio di esondazione e la pericolosità in termini di trasporto solido 2° Lotto Funzionale



COMMESSA

20945

ELABORATO

R4

SCALA

-

DATA

Ottobre 2021

RELAZIONE IDRAULICA

PROGETTO DEFINITIVO/ESECUTIVO

Stato		Data	Annotazioni	DIS.	VERIF.	APPR.
Emissione	0	Ottobre 2021	EMISSIONE			
Revisioni	1					
	2					

PROGETTO : IG INGEGNERIA GEOTECNICA srl

C.so Montevecchio, 50 - 10129 Torino
Tel. (011) 5611811/fax (011) 5620568
e-mail: ig@ingegneriageotecnica.com
Valter PEISINO Ingegnere

ISO 9001:2015
ISO14001:2015

I. G. INGEGNERIA GEOTECNICA s.r.l.
Dott. Ing. Valter PEISINO
ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI CUNEO
n° 753

Timbro e firma del responsabile dell'elaborato

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Geom. Massimiliano Cinoglossa

Diritti riservati ex art. 2578 C.C. - Riproduzione e consegna a terzi solo su specifica autorizzazione.

IG **INGEGNERIA GEOTECNICA**

Provincia di Savona



COMUNE DI NOLI

ESECUZIONE DI UN INSIEME DI OPERE DI INGEGNERIA NATURALISTICA ED IDRAULICA ATTE A STABILIZZARE L'AREA FRANOSA PG4 IN LOC. MAZZENO ED A REGOLARIZZARE ED ADEGUARE L'ALVEO DEL RIO MAZZENO MITIGANDONE IL RISCHIO DI ESONDAZIONE E LA PERICOLOSITA' IN TERMINI DI TRASPORTO SOLIDO

2° LOTTO FUNZIONALE

PROGETTO DEFINITIVO/ESECUTIVO

RELAZIONE IDRAULICA

Ricerca progettazione e consulenza nel campo della meccanica delle terre e dell'ingegneria delle fondazioni
Sede legale e uffici: Corso Montevecchio, 50 - 10129 Torino / Tel. 0115611811 / Fax 0115620568
E-mail: ig@ingegneriageotecnica.com PEC: ig.pec@pec.ingegneriageotecnica.com
S.r.l. - Capitale sociale € 50.000,00 - Codice Fiscale /Partita IVA 04023250014

ISO 9001:2008
ISO 14001:2004

INDICE

1. PREMESSA 2

2. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI IN PROGETTO 4

3. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO 5

4. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO, CARATTERISTICHE DEL BACINO IDROGRAFICO E DELL'ASTA TORRENTIZIA 6

5. PROPENSIONE AI DISSESTI ED EVENTI TIPICI 10

6. CALCOLO DELLE PORTATE DI PIENA 14

6.1 PORTATA LIQUIDA 14

6.2 PORTATA SOLIDA E VOLUMI TRASPORTABILI DI SEDIMENTI 15

7. VERIFICHE IDRAULICHE 19

7.1 STRATEGIA DI MODELLAZIONE 19

7.2 MODELLO IDRAULICO 19

7.3 VERIFICHE IDRAULICHE 25

7.3.1 Razionale della presentazione dei risultati 25

7.3.2 TR=50 anni 27

7.3.3 TR=200 anni 29

7.3.4 TR=500 anni 30

8. CONCLUSIONI 33

9. BIBLIOGRAFIA 34

E' vietata la riproduzione di questo documento senza preventiva autorizzazione scritta IG / Reproduction of this document is forbidden without prior written permission of IG

1. PREMESSA

La presente relazione idraulica è parte del progetto esecutivo della sistemazione idraulica del Rio Mazzeno in Comune di Noli (SV).

Si tratta di un impluvio nella zona centro occidentale del territorio comunale, caratterizzato da deflussi idrici in occasione di eventi meteorici; i deflussi idrici ed il trasporto solido sono significativi a seguito di piogge intense.

La ridotta dimensione del bacino idrografico, inferiore a 1 km^2, la pendenza dei versanti, la forma del bacino stretta ed allungata verso mare, determinano la formazione di portate critiche a seguito di piogge intense e di breve durata.

La figura 1 riporta una vista aerea tridimensionale del bacino idrografico del rio Mazzeno estratta da Google Earth



Figura 1- vista tridimensionale aerea tratta da Google Earth, la linea gialla delimita approssimativamente il bacino del rio Mazzeno oggetto della presente relazione idraulica.

Le portate idriche di piena e soprattutto l'elevato trasporto solido connesso, rappresentano fattori di rischio per la formazione di eventi di piena con conseguenze per le persone e per le cose, nonostante le infrastrutture di deflusso in corrispondenza dell'abitato e delle infrastrutture viarie siano attualmente oggetto di adeguamento.

E' vietata la riproduzione di questo documento senza preventiva autorizzazione scritta IG / Reproduction of this document is forbidden without prior written permission of IG

La relazione esamina gli aspetti idrologici ed idraulici relativi alla verifica delle soluzioni progettuali adottate finalizzate a ridurre le situazioni di rischio sopra descritte.
In riferimento alla cartografia regionale il rio in questione prede il nome di rio San Michele nella parte alta del bacio e prosegue nell'abitato di Noli e fino al mare come Rio Mazzeno a partire dalla confluenza con un impluvio laterale in destra idraulica noto appunto come rio Mazzeno.
La Relazione Idraulica illustra i seguenti argomenti:

- sintesi degli interventi in progetto;
- documentazione di riferimento;
- inquadramento geografico e caratteristiche del bacino idrografico e dell'asta torrentizia;
- propensione ai dissesti ed eventi tipici;
- calcolo delle portate solide e liquide in caso di piena;
- verifiche idrauliche nella configurazione di progetto.

E' vietata la riproduzione di questo documento senza preventiva autorizzazione scritta IG / Reproduction of this document is forbidden without prior written permission of IG

2. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI IN PROGETTO

I fenomeni di dissesto geo-idrologico ricorrenti nel comune di Noli (si veda la documentazione fotografica riportata al capitolo 5 della presente relazione) sono dovuti all'elevato apporto di materiale solido al rio Mazzeno a seguito di piogge intense. La passata insufficienza idraulica di alcuni tratti di alveo a valle dell'ex cava Mazzeno e nella zona di monte dell'abitato di Noli sono attualmente in fase di soluzione.

Il progetto prevede di ridurre drasticamente l'apporto di materiale solido dai versanti al corso d'acqua principalmente mediante 2 macro interventi:

- sistemazione spondale lungo i versanti del rio Mazzeno (dove si trova fra l'altro l'ex-cava Mazzeno) ed immediatamente a monte dell'abitato di Noli;
- realizzazione di una serie di briglie selettive lungo il rio San Michele atte a regolarizzare la pendenza controllando i fenomeni erosivi e trattenendo il materiale in eccesso anche movimentato occasionalmente a seguito di eventi meteorici estremi. La principale briglia selettiva sarà realizzata in corrispondenza dell'attuale magazzino comunale (e x cava Mazzeno), attualmente in fase di demolizione. Tale briglia è costituita da tre vasche che, operando in serie, raccolgono le acque provenienti dai rii San Michele e Mazzeno, rallentano la corrente per mezzo di strozzature

La presente relazione illustra gli aspetti idraulici relativi alla principale briglia selettiva sopra descritta.

E' vietata la riproduzione di questo documento senza preventiva autorizzazione scritta IG / Reproduction of this document is forbidden without prior written permission of IG

3. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

La documentazione di riferimento, Relazioni e cartografia, è ripresa dal sito del Comune di Noli ed in particolare:

- Autorità di bacino regionale (Regione Liguria) – Piano di bacino stralcio sul rischio idrogeologico, bacino del Noli, comuni di Noli e Finale Ligure (pubblicato sul BURL n.5 parte II del 01/02/2017 e s.m.i.) – Relazione e Carta del Rischio Idraulico;
- Autorità di bacino regionale (Regione Liguria) – Piano di bacino stralcio sul rischio idrogeologico, bacino del Noli, comuni di Noli e Finale Ligure– Carta della suscettività al dissesto dei versanti tavola 8 (codice bacino 511) (Carta del dissesto 1 e Carta del dissesto 2);
- Autorità di bacino regionale (Regione Liguria) – Piano di bacino stralcio sul rischio idrogeologico, bacino del Noli, comuni di Noli e Finale Ligure– Carta delle fasce di inondabilità tavola 9 (codice bacino 511);
- Regione Liguria, Dipartimento Ambiente, Settore Assetto del territorio Tavole del Reticolo idrografico Regionale in scala 1:10000 (DGR n. 507 del 21/06/2019 – Allegato 1), in particolare Tavole "229130 - Noli-Vezzi-Portio" e "246010 - Finale Ligure";
- Regione Liguria - Regolamento Regionale 14 luglio 2011, n.3 (Regolamento recante disposizioni in materia di tutela delle aree di pertinenza dei corsi d'acqua) coordinato con il Regolamento Regionale 16 Marzo 2016 n.1 (Modifiche al Regolamento Regionale 14 luglio 2011, n. 3).

E' vietata la riproduzione di questo documento senza preventiva autorizzazione scritta IG / Reproduction of this document is forbidden without prior written permission of IG

4. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO, CARATTERISTICHE DEL BACINO IDROGRAFICO E DELL'ASTA TORRENTIZIA

Il bacino idrografico del rio Mazzeno è ubicato nella parte centro-occidentale del territorio comunale di Noli a sud dell'abitato; è parte del più ampio bacino del Noli – Armareo, Ambito di bacino di rilievo Regionale del Pora. Il bacino ad ovest, nord ovest confina con il bacino del rio Acquaviva, affluente del Rio Noli.

In Figura 2 è riportato un estratto della cartografia regionale relativa al reticolo idrografico (DGR n. 507 del 21/06/2019 Tavole "229130 - Noli-Vezzi-Portio" e "246010 - Finale Ligure") con l'indicazione dei limiti del bacino idrografico in giallo e con il reticolo in blu. Il tratto azzurro chiaro è stato aggiunto dagli scriventi ad indicare il tracciato approssimativo di un affluente anch'esso oggetto di una serie di interventi volti a limitare il formarsi di colate detritiche a seguito di precipitazioni intense attualmente regolato dalla presenza di un vallo.

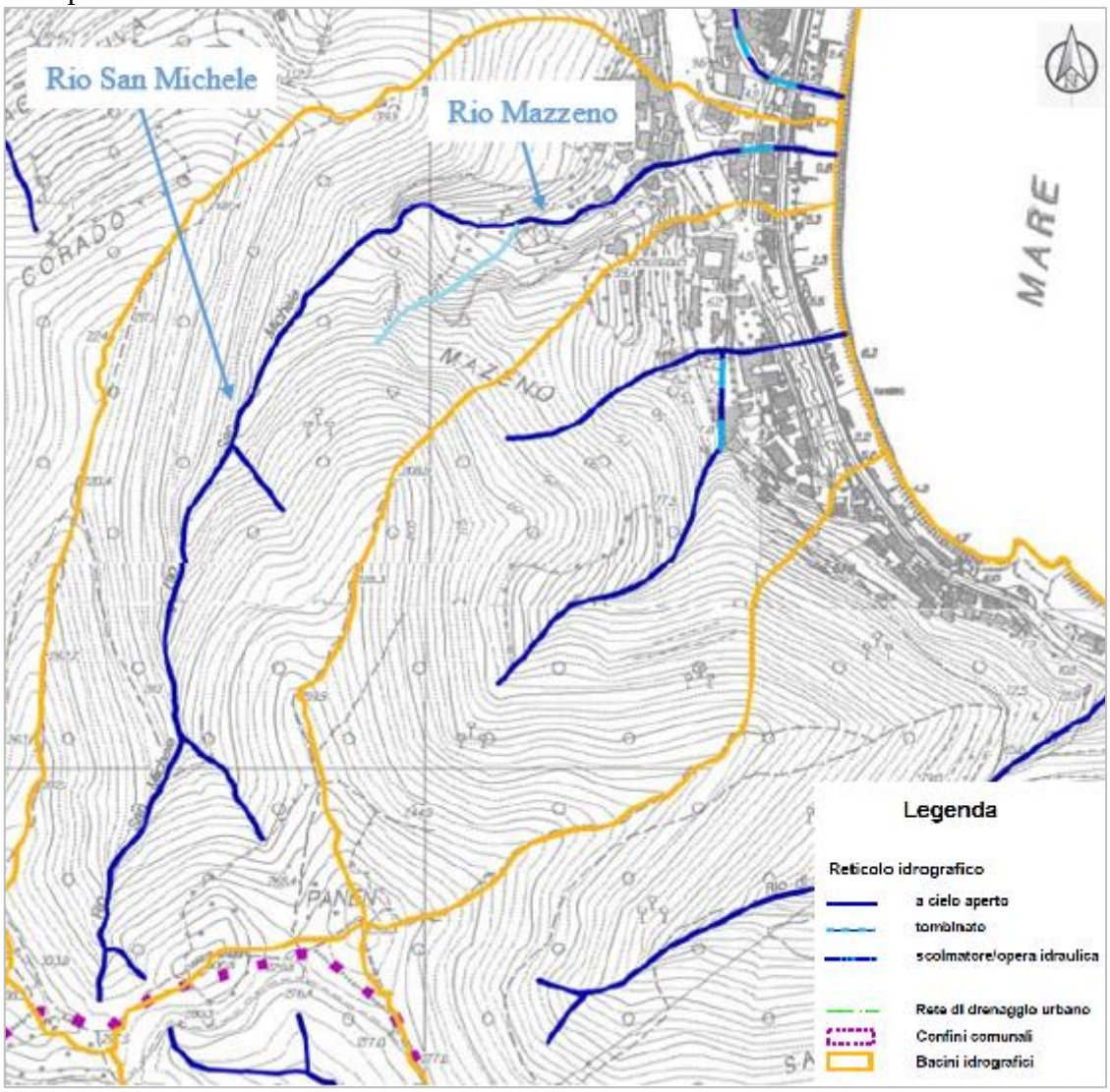


Figura 2 – reticolo idrografico e delimitazione del bacino oggetto di studio tratta dalla cartografia vigente (DGR n. 507 del 21/06/2019).

E' vietata la riproduzione di questo documento senza preventiva autorizzazione scritta IG / Reproduction of this document is forbidden without prior written permission of IG

Il bacino idrografico (sezione terminale sbocco a mare) si estende per 0,3406 km^2. Per tanto, ai sensi del citato Regolamento Regionale n. 1 del 16/03/2016, il tratto fluviale in oggetto è classificabile come "reticolo idrografico di secondo livello" (bacino compreso tra 0,25 e 1 km^2).

Dal punto di vista altimetrico, la testata del bacino, posta a sud di Noli, ha quota topografica assoluta compresa fra 285 m s.l.m. (Cima Panen) e 300 m s.l.m. (cime adiacenti), la conformazione del bacino è prevalentemente montuosa e collinare fatta salva la zona costiera. Subito a monte dell'abitato di Noli le quote topografiche del bacino sono dell'ordine di 35-30 m s.l.m.. L'asta principe del reticolo ha una lunghezza in pianta di 1,36 km, pari a circa 1,4 km effettivi. La differenza di quote topografiche fra testata del bacino e zona di valle condiziona la pendenza dell'alveo: quasi per l'intero percorso il rio scorre con forte pendenza, secondo la naturale morfologia della collina Mazzeno che estende le sue pendici sino alla prossimità della costa. Le pendenze del rio variano dal 27 % circa (valore medio nel tratto montano e collinare) al 8% nel tratto urbano, sino al 2% nel tratto terminale tra la SS Aurelia ed il mare. Nel seguito si riportano alcune viste aeree del rio che illustrano quanto descritto per il tratto di alveo a monte dell'abitato e oggetto degli interventi qui descritti (Figura 3e Figura 4).

E' vietata la riproduzione di questo documento senza preventiva autorizzazione scritta IG / Reproduction of this document is forbidden without prior written permission of IG

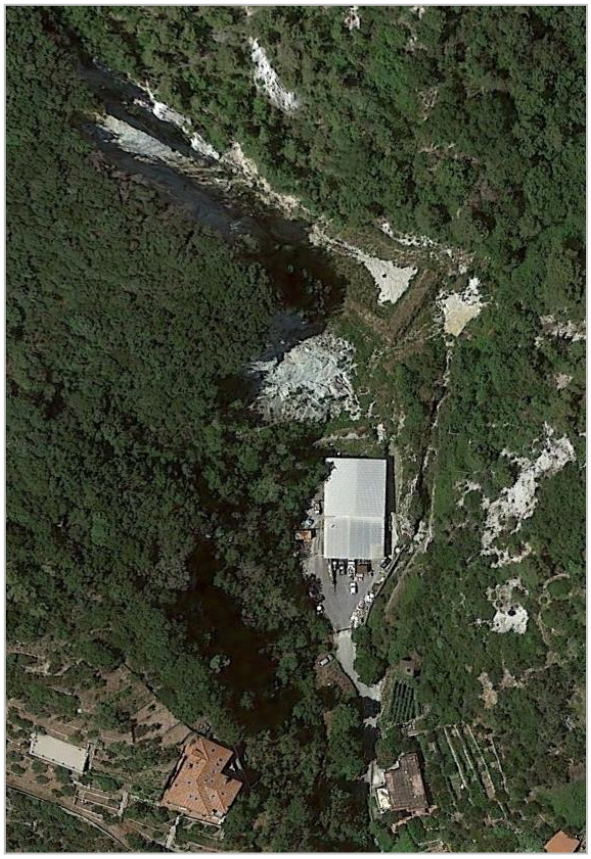


Figura 3 – Vista aerea da monte in corrispondenza della ex cava Mazzeno; si osserva la presenza del vallo esistente.



Figura 4 – Vista a valle della ex cava Mazzeno verso l'abitato di Noli, si osserva l'assenza di alveo naturale.

E' vietata la riproduzione di questo documento senza preventiva autorizzazione scritta IG / Reproduction of this document is forbidden without prior written permission of IG

E' vietata la riproduzione di questo documento senza preventiva autorizzazione scritta IG / Reproduction of this document is forbidden without prior written permission of IG

5. PROPENSIONE AI DISSESTI ED EVENTI TIPICI

Dalla carta della suscettività al dissesto (si veda l'elaborato grafico di dettaglio) emerge che:

- la zona di crinale è caratterizzata da suscettività ai dissesti molto bassa;
- la zona di versante è caratterizzata da suscettività bassa e media verso la linea di impluvio, ossia verso il fondo valle;
- la zona a monte del centro abitato è caratterizzata da suscettività molto alta, zona di frana attiva (zona della ex cava Mazzeno);
- la zona lungo il perimetro nord del bacino ha suscettività elevata.

Eventi meteorici intensi anche recenti dimostrano come il rio Mazzeno possa essere caratterizzato da situazioni di criticità per il trasporto di detriti, con danni alle proprietà private ed alle infrastrutture pubbliche.

La morfologia e le dimensioni del bacino idrografico, la pendenza dei versanti e del piano di scorrimento Rio fanno sì che piogge intense e di breve durata (inferiore ai 60 minuti) possano formare portate critiche lungo il Rio.

Il tempo di corrivazione, calcolato con la formula di Giandotti, è pari a 0,45 ore (27 minuti). Questo valore rappresenta ragionevolmente una sovrastima dell'effettivo tempo di risposta del bacino poiché tale formula è idonea per bacini con superficie > 100 km^2.

Data l'estensione assai modesta del bacino si ritiene opportuno riportare i risultati ottenuti anche con altre formule presenti in letteratura e proposte dai rispettivi autori per bacini con area inferiore a 40 km^2 (Pasini e Ventura), area inferiore a 0,43 km^2 (Kirpich) o per corsi d'acqua pedemontani (Viparelli):

$$t_c = \frac{0{,}108\ \sqrt[3]{A \cdot L}}{\sqrt{i_a}} = 0{,}20\ ore = 12\ minuti \qquad \text{(Pasini)}$$

$$t_c = 0{,}127\sqrt{\frac{A}{i_a}} = 0{,}17\ ore = 10\ minuti \qquad \text{(Ventura)}$$

$$t_c = 0{,}000325\left(\frac{1000 \cdot L}{\sqrt{i_a}}\right)^{0.77} = 0.17\ ore = 10\ minuti \qquad \text{(Kirpich)}$$

$$t_c = \frac{L}{3.6 \cdot v} = 0.26\ ore = 16\ minuti \qquad \text{(Vipartelli)}$$

Nelle suddette formule empiriche A è l'area del bacino (A = 0,3406 km^2), L è la lunghezza dell'asta principale (L = 1,40 km), i_a è la pendenza dell'asta principale (i_a = 18%) e v è la velocità di deflusso solitamente compresa tra 1 m/s e 1.5 m/s (qui assunta pari a 1.5 m/s).

Il ridotto tempo di corrivazione determina la formazione di portate idriche di piena in tempi molto rapidi rispetto al verificarsi della pioggia critica.

Piogge intense e prolungate possono generare fenomeni di instabilità dei versanti, già in condizioni di degrado, determinando un importante trasporto.

E' vietata la riproduzione di questo documento senza preventiva autorizzazione scritta IG / Reproduction of this document is forbidden without prior written permission of IG

A titolo indicativo si riportano alcune immagini delle conseguenze dell'evento meteorico del 15 novembre 2014, e testimonianti l'elevata propensione al trasporto solido del Rio.



Figura 5 – Immagini scattate a seguito dell'evento meteorico del 15/11/2014. Dissesto di versante e conseguente trasporto solido in corrispondenza di un ponticello lungo il rio Mazzeno e tratto di alveo in erosione lungo il rio San Michele.

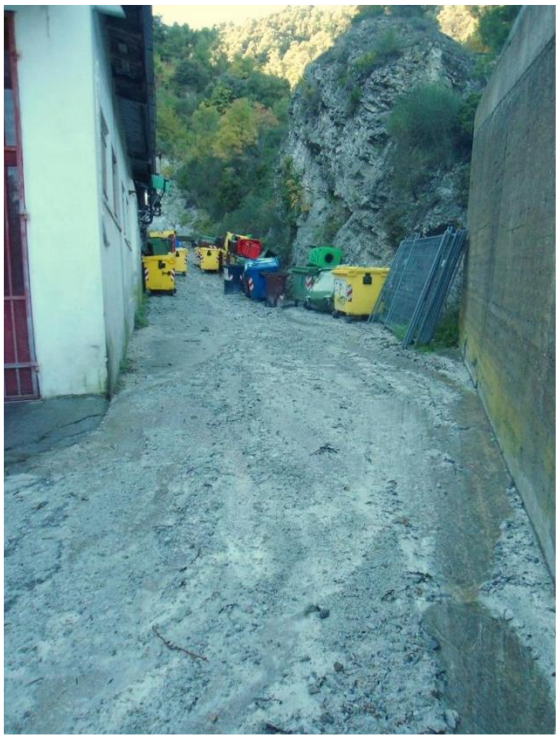


Figura 6 - Immagine scattata a seguito dell'evento meteorico del 15/11/2014. Colata di detriti e fango all'altezza del primo edificio a monte di Via Mazzeno (vista da valle).

E' vietata la riproduzione di questo documento senza preventiva autorizzazione scritta IG / Reproduction of this document is forbidden without prior written permission of IG



Figura 7 - Immagini scattate a seguito dell'evento meteorico del 15/11/2014. Effetti del dissesto presso le abitazioni in via Mazzeno. Si osserva in sinistra il corso d'acqua che scorre sul sedime stradale.



Figura 8 - Immagini scattate a seguito dell'evento meteorico del 15/11/2014. Detriti e fango su sedime stradale nell'abitato a valle di via Mazzeno in corrispondenza del parcheggio di via San Francesco.

Analoghi effetti si sono verificati anche recentemente a seguito degli eventi alluvionali del mese di novembre 2019 come documentato nelle fotografie seguenti.



Figura 9 - Immagini scattate a seguito dell'evento meteorico del novembre 2019. A sinistra: primo fabbricato a monte di via Mazzeno (vista da monte). A destra: parcheggio di via San Francesco.

E' vietata la riproduzione di questo documento senza preventiva autorizzazione scritta IG / Reproduction of this document is forbidden without prior written permission of IG



Figura 10 – Immagine scattate a seguito dell'evento meteorico del novembre 2019. Tratto a valle di via Mazzeno verso il parcheggio di Via San Francesco.

E' vietata la riproduzione di questo documento senza preventiva autorizzazione scritta IG / Reproduction of this document is forbidden without prior written permission of IG

6. CALCOLO DELLE PORTATE DI PIENA

6.1 Portata liquida

Il calcolo della portata di piena è sviluppato secondo i criteri descritti nel documento, citato al capitolo 2, "Autorità di bacino regionale (Regione Liguria) – Piano di bacino stralcio sul rischio idrogeologico, bacino del Noli, comuni di Noli e Finale Ligure (pubblicato sul BURL n.5 parte II del 01/02/2017 e s.m.i.) – Relazione – paragrafo 2.7.4

Le portate di piena sono calcolate utilizzando il metodo proposto dal CIMA nel 1999, in particolare si fa riferimento al metodo ottimizzato per bacini di piccola dimensione inferiore a 2 km^2. Tale metodo di calcolo consente di stimare le portate di piena correlate al periodo di ritorno, alla posizione geografica ed alle caratteristiche della superficie del bacino idrografico.

Per evitare la tendenza, determinata dalla formulazione matematica delle curve di possibilità climatica, a generare piogge di intensità tendenti ad infinito in corrispondenza di durate tendenti a zero, il metodo suggerisce di adottare per bacini inferiori a 2 km^2, un contributo unitario costante, pari a quello ottenuto con riferimento a superfici scolanti aventi area drenata pari a 2 km^2.

Nel dettaglio il valore di portata è calcolato con la seguente formula:

$$Q_T = K_T * A * U_{A=2}$$

dove

Q_T = portata in m^3/s per un determinato periodo di ritorno T;

K_T = fattore di frequenza funzione del periodo di ritorno;

A = superficie del bacino idrografico espressa in km^2;

$U_{A=2}$ = contributo unitario espresso in $m^3/s*km^2$.

Per i valori K_T e $U_{A=2}$ vengono fornite dagli autori del metodo delle tabelle in funzione rispettivamente del periodo di ritorno T (Tabella 1) e delle caratteristiche del bacino (Tabella 2Tabella 2 e Tabella 3).

Tabella 1 - Fattore di frequenza K_T per diversi periodi di ritorno T.

T (anni)	5	10	30	50	100	200	500
K_T	1,29	1,79	2,90	3,47	4,25	5,02	6,04

Tabella 2 - Contributo unitario $U_{A=2}$ in funzione del tipo di bacino e della sua posizione.

Longitudine		**Bacino tipo**			
gradi	primi	A	B	C	D
8	17,5	8,74	7,29	5,58	4,90
8	20	8,85	7,39	5,66	4,97
8	22,5	8,96	7,48	5,73	5,03
8	25	9,07	7,57	5,79	5,09

E' vietata la riproduzione di questo documento senza preventiva autorizzazione scritta IG / Reproduction of this document is forbidden without prior written permission of IG

Tabella 3 - Tipologie di bacino in funzione dell'uso del suolo.

Tipo	Descrizione
A	Bacini di tipo residenziale, industriale o commerciale con elevato grado di urbanizzazione. Estensione superfici impermeabili > 60%.
B	Bacini con medio grado di urbanizzazione. Estensioni superfici impermeabili comprese fra 30% e 60%.
C	Bacini con basso grado di urbanizzazione. Estensioni superfici impermeabili comprese fra 5% e 30%.
D	Bacini con estesa copertura arborea. Estensione superfici impermeabili < del 5%.

Considerando che il bacino in questione si avvicina maggiormente alla longitudine 8°25' e che in funzione dell'uso del suolo corrisponde ad una tipologia C "*Bacini con basso grado di urbanizzazione. Estensioni superfici impermeabili comprese fra 5% e 30%."* (Tabella 3) il valore del coefficiente udometrico è $U_{A=2}$= 5,79 (Tabella 2).
Come da indicato dal sopra citato piano di bacino, il calcolo della portata di progetto è riferito ad un periodo di ritorno di 200 anni pertanto è K_T= 5,02 (Tabella 1).
L'area del bacino è 0,3406 km^2. Si ha dunque:

$$Q_{T=200} = 5{,}02 * 0{,}3406 * 5{,}79 = \mathbf{9{,}90\ m^3/s}.$$

A titolo di completezza si riportano in Tabella 4 anche i valori di portata per tutti i periodi di ritorno indicati in Tabella 1.

Tabella 4 – Portate per il bacino del rio Mazzeno per diversi periodi di ritorno T.

T (anni)	5	10	30	50	100	200	500
Q (m^3/s)	2,54	3,53	5,72	6,84	8,38	9,90	11,91

6.2 Portata solida e volumi trasportabili di sedimenti

La portata solida è valutata con la formula di Schoklitsch (1962), che recita

$$Q_s = 0.94\left(Q - Q_c\right) i_a^{3/2}$$

Dove Q_s è la portata solida in m^3/s, Q è la portata liquida in m^3/s Q_c è la portata liquida critica, ovvero la portata liquida per cui si ha iniziazione del trasporto di materiale solido, sempre espressa in m^3/s. In queste analisi si è assunto cautelativamente Q_c=0. Infine $i_a = 0,27$ è la pendenza dell'alveo. Con questi valori, si hanno le portate solide di Tabella 5.

Tabella 5 – Portate solide per il bacino del rio Mazzeno per diversi periodi di ritorno T.

T (anni)	5	10	30	50	100	200	500
Q_s (m^3/s)	0,33	0,47	0,75	0,90	1,10	1,30	1,57

Per il calcolo dei volumi solidi disponibili a scala di bacino, si fa uso, in via cautelativa, del metodo proposto da Hungr et al. (1984) per la stima dei massimi volumi movimentabili da colate detritiche, che hanno potere erosivo nettamente superiore a

E' vietata la riproduzione di questo documento senza preventiva autorizzazione scritta IG / Reproduction of this document is forbidden without prior written permission of IG

quello di semplici correnti liquide qui considerate. Tale metodo prevede che il massimo volume solido movimentabile V_s sia

$$V_s = \sum_i L_i \cdot e_i$$

Dove L_i è la lunghezza (in metri) dei collettori suscettibili di erosione spondale/del fondo e e_i (valutato in m^3/m) è il contributo unitario alla disponibilità di materiale solido erodibile dai collettori. Il valore di tale contributo unitario è riportato in Tabella 6

Tabella 6 – Portate solide per il bacino del rio Mazzeno per diversi periodi di ritorno T.

Classe	*Pendenza alveo (°)*	*Materiale alveo*	*Sponde*	*Condizioni di stabilità*	*Apporto detritico unitario (m^3/m)*
A	20 - 35	Roccia	Non erodibili	Stabile (virtuale assenza di detrito)	0 - 5
B	10 - 20	Sottile strato di detrito o suolo sciolto su roccia	Non erodibili (roccia)	Stabile	5 - 10
C	10 - 20	Copertura deritica o morenica	Altezza < 5m	Stabile	10 - 15
D	10 - 20	Copertura deritica o morenica	Detrito, altezza > 5m	Angolo di riposo del materiale	15 - 30
E	10 - 20	Copertura deritica o morenica	Detrito, altezza > 20m	Sponde potenzialmente instabile (area di frana)	Fino a 200 (sorgente di detrtito localizzata)

Nel caso in esame, e a seguito delle opere di stabilizzazione dei versanti in frana/suscettibili di erosione previsti da altre attività del presente lotto progettuale, il collettore ancora suscettibile di fenomeni di erosione è quello evidenziato in Figura 11Figura 11 – Vista aerea del rio San Michele, unico collettore ancora suscettibile di contribuire significativamente alla produzione di materiale solido trasportabile dalla corrente.. Tale collettore ha lunghezza $L \sim 650$ m, e pendenza di circa il 27%, ed è caratterizzato da un alveo prevalentemente in roccia, con sponde ben vegetate in grado di stabilizzare il poco materiale sciolto. Alla luce di ciò, si può ritenere che l'alveo sia di Classe "A" secondo Tabella 6 e che il contributo unitario alla disponibilità di materiale solido erodibile da tale collettore sia $e \sim 1{,}5$ m^3/m. Applicando la formula prima introdotta, in definitiva, si ha che

$$V_s = L \cdot e = 650 \times 1{,}5 = 975 \ m^3.$$

Tale valore è in linea anche con analisi di trasporto solido effettuate su bacini limitrofi. A titolo di esempio, il confinante bacino "Acquaviva", di caratteristiche geologiche e topografiche simili e avente area pari a 1,2 km^2 è caratterizzato da un trasporto solido mobilizzabile da piene significative compreso tra i 2000 e i 5000 m^3 (si veda la relazione "Lavori di mitigazione del rischio idraulico e messa in sicurezza della viabilità comunale nel centro abitato di Noli" redatta dall' Ing. Mauro Marchiano e collaboratori). Il bacino in esame ha area pari a 0,34 km^2 (0,27 km^2 considerando la sola

E' vietata la riproduzione di questo documento senza preventiva autorizzazione scritta IG / Reproduction of this document is forbidden without prior written permission of IG

porzione di bacino a monte della briglia). Applicando le dovute proporzioni, si ha che il trasporto solido mobilizzabile da piene significative nel rio Mazzeno è compreso tra i 450 e i 1125 m^3. A ulteriore riprova e verifica della corretta stima di questo dato, si stima ora il materiale solido depositato nel centro abitato durante gli eventi del 2014 e del 2019. Figura 12 riporta qualitativamente le aree interessate da tali eventi (circa 1300 m^2), in cui si è verificato un accumulo di detriti medio di spessore non superiore a 0,50 m, ottenendo quindi un volume di circa 650 m^3, di nuovo dello stesso ordine di grandezza dei valori sopra riportati.

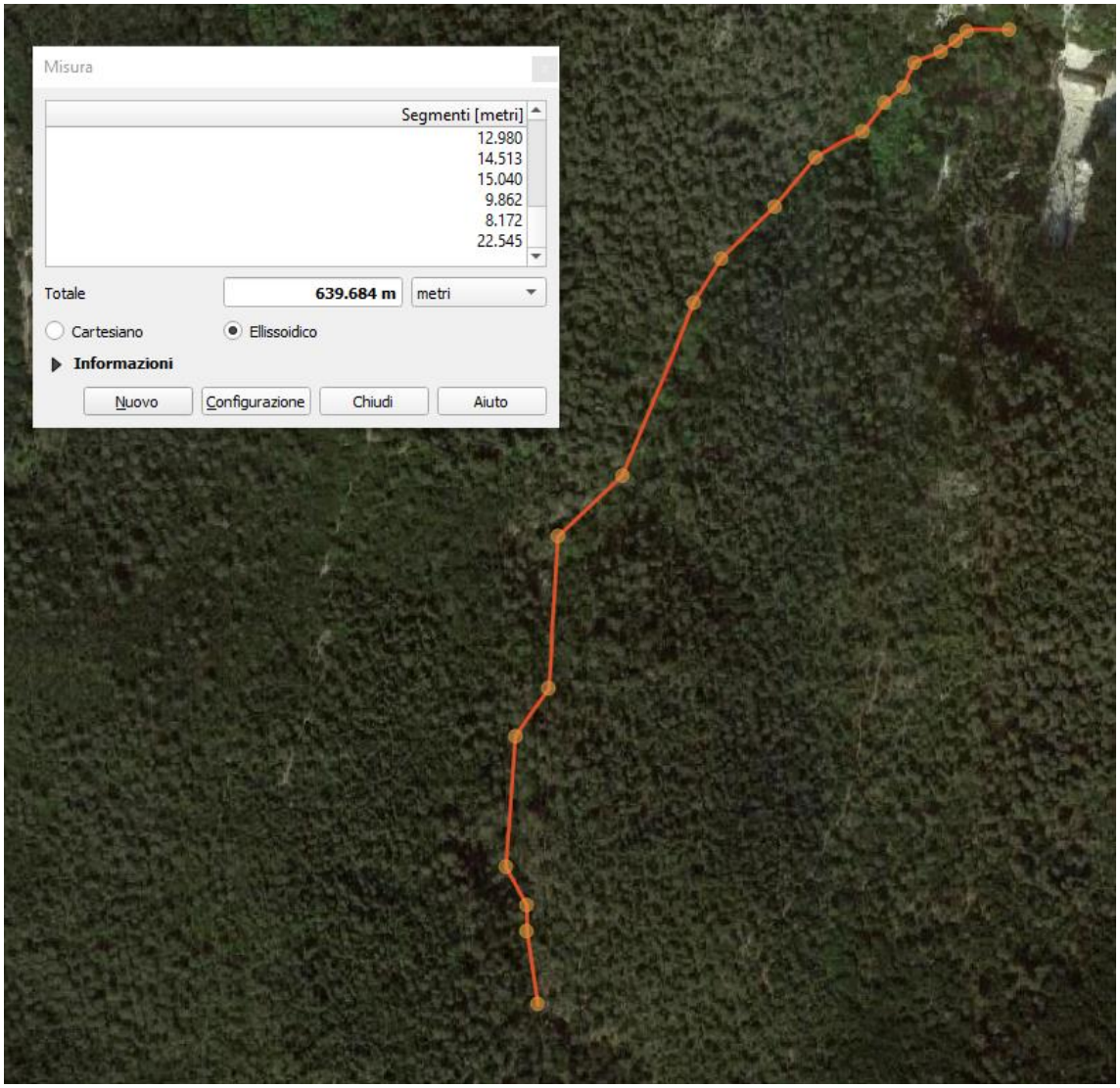


Figura 11 – Vista aerea del rio San Michele, unico collettore ancora suscettibile di contribuire significativamente alla produzione di materiale solido trasportabile dalla corrente.

E' vietata la riproduzione di questo documento senza preventiva autorizzazione scritta IG / Reproduction of this document is forbidden without prior written permission of IG

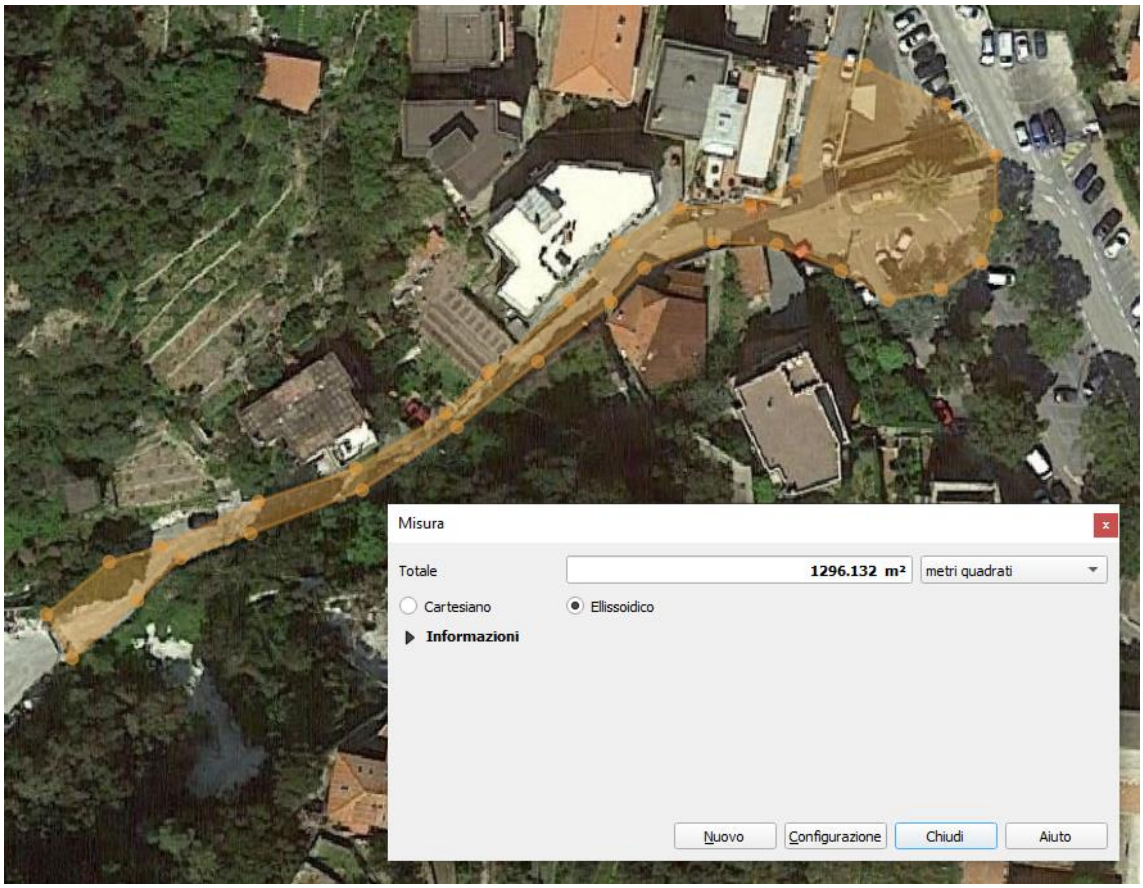


Figura 12 – Estensione areale semi-quantitativa dei depositi di materiale solido portati dalla corrente durante gli eventi del 2014 e 2019.

E' vietata la riproduzione di questo documento senza preventiva autorizzazione scritta IG / Reproduction of this document is forbidden without prior written permission of IG

7. VERIFICHE IDRAULICHE

7.1 Strategia di modellazione

- Elevata complessità idraulica

  Il sistema di ritenuta del materiale solido è caratterizzato da un'elevata complessità idraulica. Tale complessità è dovuta in primo luogo a forti variazioni di pendenza, che fanno presagire transizioni del regime di moto della corrente da veloce a lenta e viceversa. In secondo luogo, si rileva una complessa disposizione planimetrica caratterizzata da curve, spigoli vivi e gomiti. In terzo luogo, si segnala la presenza di numerose strutture poste trasversalmente (gavete e stramazzi).
- Strategia di modellazione
  La presenza di numerosi elementi di irregolarità planimetrica (curve, spigoli vivi e gomiti) rendono necessario un approccio modellistico bidimensionale. Tale approccio permette di valutare in modo corretto le dinamiche della corrente (perdite di carico, velocità, tiranti) anche in una struttura di tale complessità, in cui evidentemente le ipotesi di moto 1D non sono più valide.
- Modello 2D del sistema di ritenuta del materiale solido.

  Gli input del modello sono le caratteristiche geometriche e la scabrezza di progetto del manufatto. I limiti del modello sono a monte l'opera di presa delle portate solide e liquide provenienti dal rio San Michele. A valle il modello termina in prossimità dell'imbocco della nuova tombinatura attualmente in costruzione. Gli output saranno mappe delle profondità e delle velocità della corrente nella struttura e profili della corrente, da relazionarsi ai profili delle sponde per la verifica dei franchi idraulici richiesti. Tali mappe saranno prodotte per i tempi di ritorno di 50 200 e 500 anni.

7.2 Modello idraulico

- Aspetti computazionali e numerici
  - Tecnica di calcolo.

    Il calcolo viene effettuato attraverso la soluzione numerica delle cosiddette "unsteady two-dimensional (2-D) Saint-Venant equations".
  - Software utilizzato.

    La soluzione numerica viene implementata con il software "BASEMENT", sviluppato dall'ETH Zurich, ampiamente utilizzato nell'ambito dell'ingegneria civile idraulica, anche per scopi di ricerca, e solidamente validato. Il software richiede come input la topografia del dominio di calcolo, la scabrezza delle aree considerate, le condizioni al contorno nelle sezioni di monte e di valle, eventuali condizioni al contorno interne, derivanti da strutture idrauliche. L'output del software è il tirante e la velocità del flusso in ogni punto di calcolo del modello.

E' vietata la riproduzione di questo documento senza preventiva autorizzazione scritta IG / Reproduction of this document is forbidden without prior written permission of IG

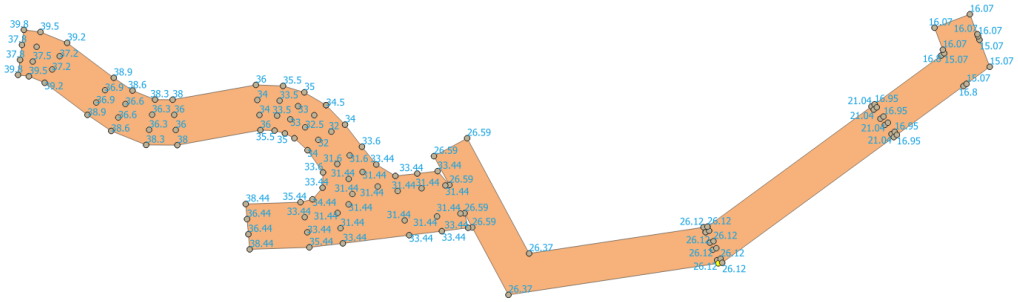
- Topografia del dominio di calcolo.
  La topografia della struttura idraulica è riportata in Figura 13.

E' vietata la riproduzione di questo documento senza preventiva autorizzazione scritta IG / Reproduction of this document is forbidden without prior written permission of IG

Modello di calcolo



Quote fondo (vedi tavola allegata per versione più ingrandita)



E' vietata la riproduzione di questo documento senza preventiva autorizzazione scritta IG / Reproduction of this document is forbidden without prior written permission of IG

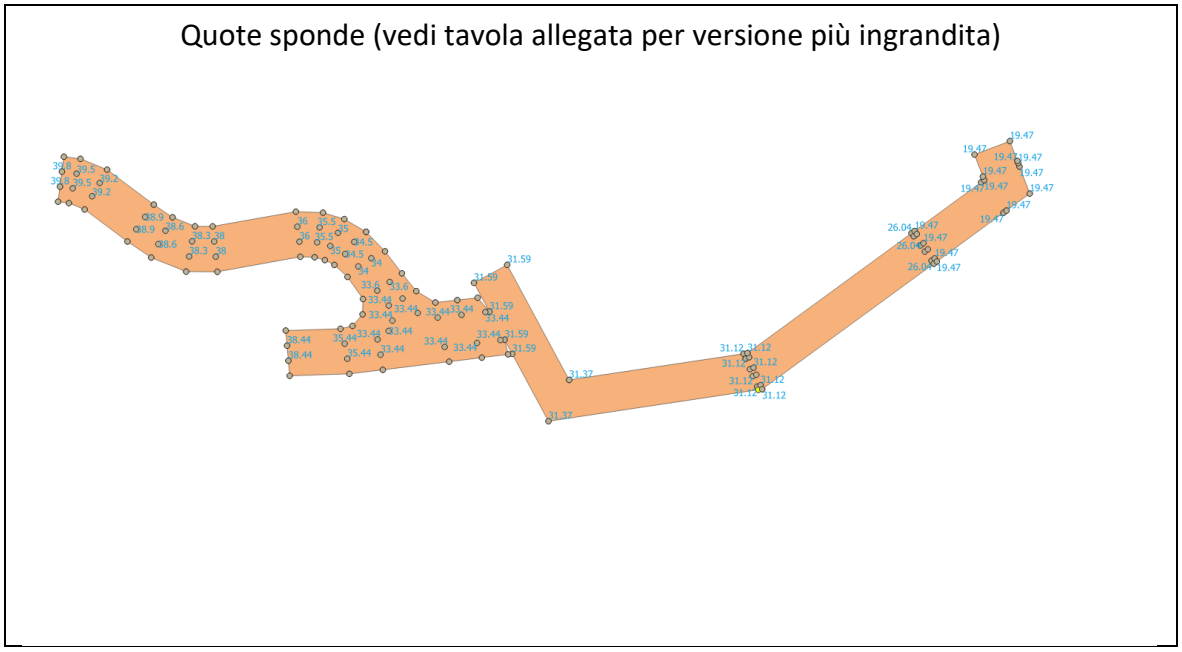


Figura 13. Topografia della struttura idraulica.

- Discretizzazione del dominio computazionale spaziale.

  Il dominio spaziale di calcolo (vedi Figura 13) è stato discretizzato in elementi di calcolo di area non superiore a 0.1 m^2 (Figura 14).



Figura 14. Domino spaziale di calcolo discretizzato per la costruzione del modello numerico.

- Scabrezza delle superfici lambite dalla corrente.

E' vietata la riproduzione di questo documento senza preventiva autorizzazione scritta IG / Reproduction of this document is forbidden without prior written permission of IG

CANALI RIVESTITI IN			
acciaio (canalette)	0.011	0.012	0.017
lamiera ondulata	0.021	0.025	0.030
legno con buon grado di finitura	0.010	0.012	0.015
legno grezzo	0.012	0.015	0.018
calcestruzzo lisciato	0.011	0.013	0.015
calcestruzzo grezzo	0.014	0.017	0.020
conglomerato bituminoso lisciato		0.013	
conglomerato bituminoso grezzo		0.016	
mattoni vetrificati	0.011	0.013	0.015
mattoni con intonaco	0.012	0.015	0.018
pietrame con giunti stilati	0.018	0.025	0.030
scogliera	0.023	0.032	0.035

Figura 15. Valori del coefficiente di Manning, espressi in s/m$^{1/3}$.

Il valore di scabrezza, secondo la formulazione di Manning, è stato considerato posto pari a n=0,020 s/m$^{1/3}$ per le vasche di calcestruzzo e pari a n=0,035 s/m$^{1/3}$ per il canale in massi cementati (Figura 15**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

- Condizioni al contorno monte.

  Nella sezione A riportata in Figura 16 viene imposto l'ingresso di una portata costante per tutta la durata delle simulazioni. Viene inoltre imposto un gradiente della superficie libera in quella sezione pari a 0,05.



Figura 16. Condizioni al contorno di monte.

- Condizioni al contorno valle.

  Nella sezione OUT riportata in Figura 17 viene imposto uno stramazzo di larghezza 3 m e quota del fondo pari a 16,91 m, e rappresentante l'ingresso della corrente nella nuova tombinatura di sezione 300×300 cm in costruzione sotto via Mazzeno.

E' vietata la riproduzione di questo documento senza preventiva autorizzazione scritta IG / Reproduction of this document is forbidden without prior written permission of IG



Figura 17. Condizioni al contorno di valle.

- Condizioni al contorno interne.

  Il software permette di modellare la presenza di stramazzi con quota dello stramazzo uniforme nello spazio. Gli stramazzi sono utilizzati per modellare la presenza delle briglie nella struttura di ritenzione dei sedimenti. Il dettaglio di tutti gli elementi considerati è riportato nella sezione "Strutture idrauliche interne" che segue.
- Durata delle simulazioni.

  Le simulazioni hanno durata compresa di 500 s. Durante tutto il corso della simulazione la portata agli ingressi è mantenuta costante. Tali condizioni permettono al sistema di raggiungere una condizione di moto permanente: tutta la portata immessa dalle sezioni di monte è scaricata dalla sezione di valle, e tirante e velocità della corrente rimangono costanti in ogni punto in cui sono stati calcolati.

- Portate considerate.

  Nella sezione A riportata in Figura 16 viene imposto l'ingresso della portata collettata dall'alto rio San Michele, e riportata in Tabella 7.

Tabella 7. Portate utilizzate nelle condizioni al contorno del modello numerico.

T (anni)	500	200	50

E' vietata la riproduzione di questo documento senza preventiva autorizzazione scritta IG / Reproduction of this document is forbidden without prior written permission of IG

Portate (m^3/s) nei corsi d'acqua			
Mazzeno	11,91	9,90	8,38

- Strutture idrauliche interne.
  - Briglia A

    In prossimità della briglia A (Figura 18) si considera la presenza di tre stramazzi. Un primo stramazzo, di larghezza 1 m e posto alla quota 26,12 m slm.

    Altri due stramazzi, di larghezza di larghezza 2 m in testa e 1,5 m alla base sono invece posti alla quota 28.97 m slm.

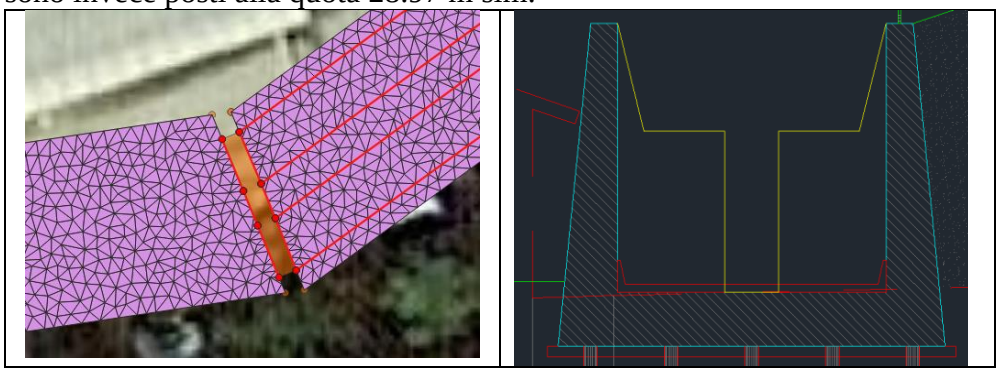


Figura 18. Briglia A

  - Briglia B

    In prossimità della briglia B (Figura 19) si considera la presenza di tre stramazzi. Un primo stramazzo, di larghezza 1 m e posto alla quota 21,04 m slm. Altri due stramazzi, di larghezza 2 m in testa e 1,5 m alla base sono invece posti alla quota 23,89 m slm.

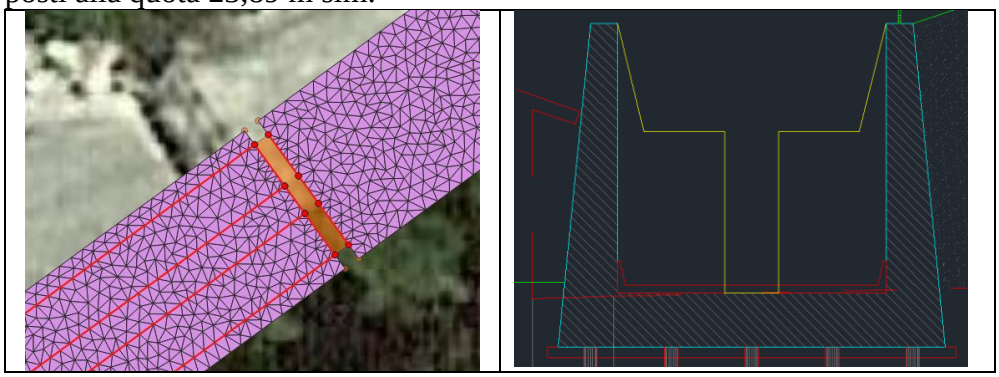


Figura 19. Briglia B

7.3 Verifiche idrauliche

7.3.1 Razionale della presentazione dei risultati

Nei paragrafi seguenti sono riportati i risultati delle simulazioni numeriche. Vengono riportate, per ogni tempo di ritorno, 4 figure.

- Mappa delle profondità, utile a verificare la fondatezza fisica e la validità dei risultati.

E' vietata la riproduzione di questo documento senza preventiva autorizzazione scritta IG / Reproduction of this document is forbidden without prior written permission of IG

- Mappa delle velocità, utile a verificare la fondatezza fisica e la validità dei risultati.
- Mappa delle tensioni tangenziali τ, utile a valutare l'effettiva capacità delle briglie di rallentare la corrente e portare alla sedimentazione del solido trasportato. A tale proposito si utilizza la teoria di Shields (Meyer-Peter E., Müller R., 1948), che prevede la deposizione dei sedimenti di diametro d e densità relativa $\rho_s - \rho = 1650$ kg/m^3, in funzione del diametro, quando

$$\tau < \theta_c(\rho_s - \rho)gd \sim 0{,}047(\rho_s - \rho)gd .$$

In Figura 20 è riportato il valore di τ per la quale si ha sedimentazione del solido trasportato in funzione del diametro d.

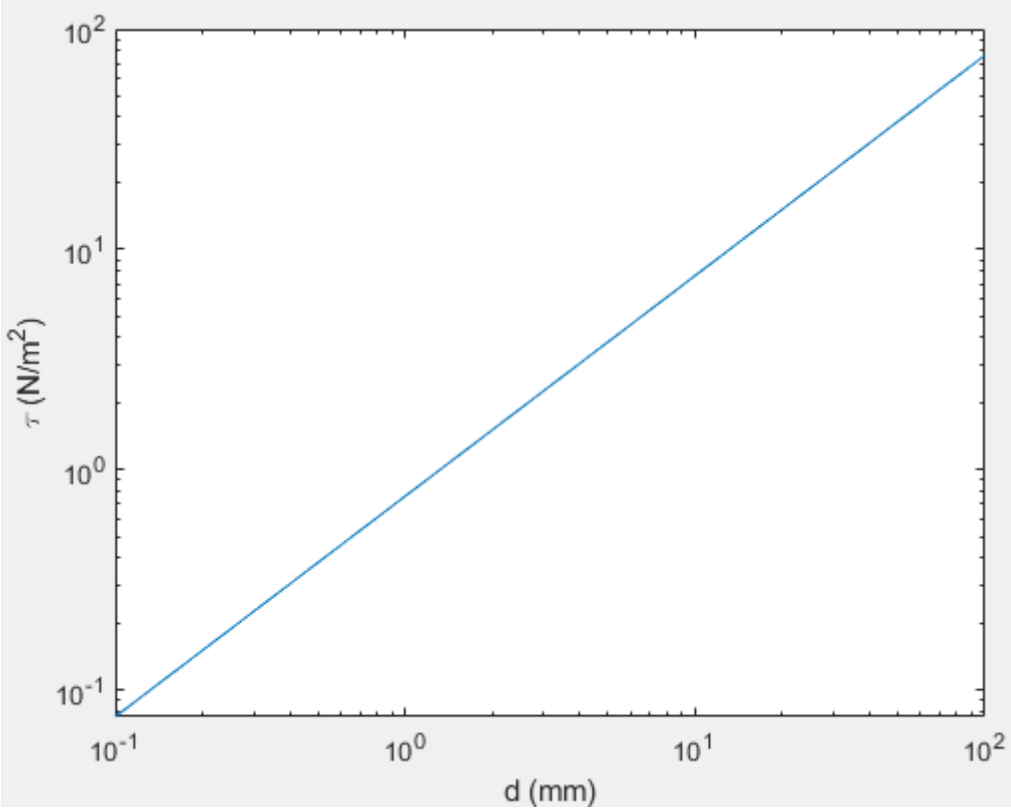


Figura 20 – Valore di τ per la quale si ha sedimentazione del solido trasportato in funzione del diametro d.

- Profili della corrente lungo le sponde, il cui sviluppo è indicato in Figura 21

E' vietata la riproduzione di questo documento senza preventiva autorizzazione scritta IG / Reproduction of this document is forbidden without prior written permission of IG

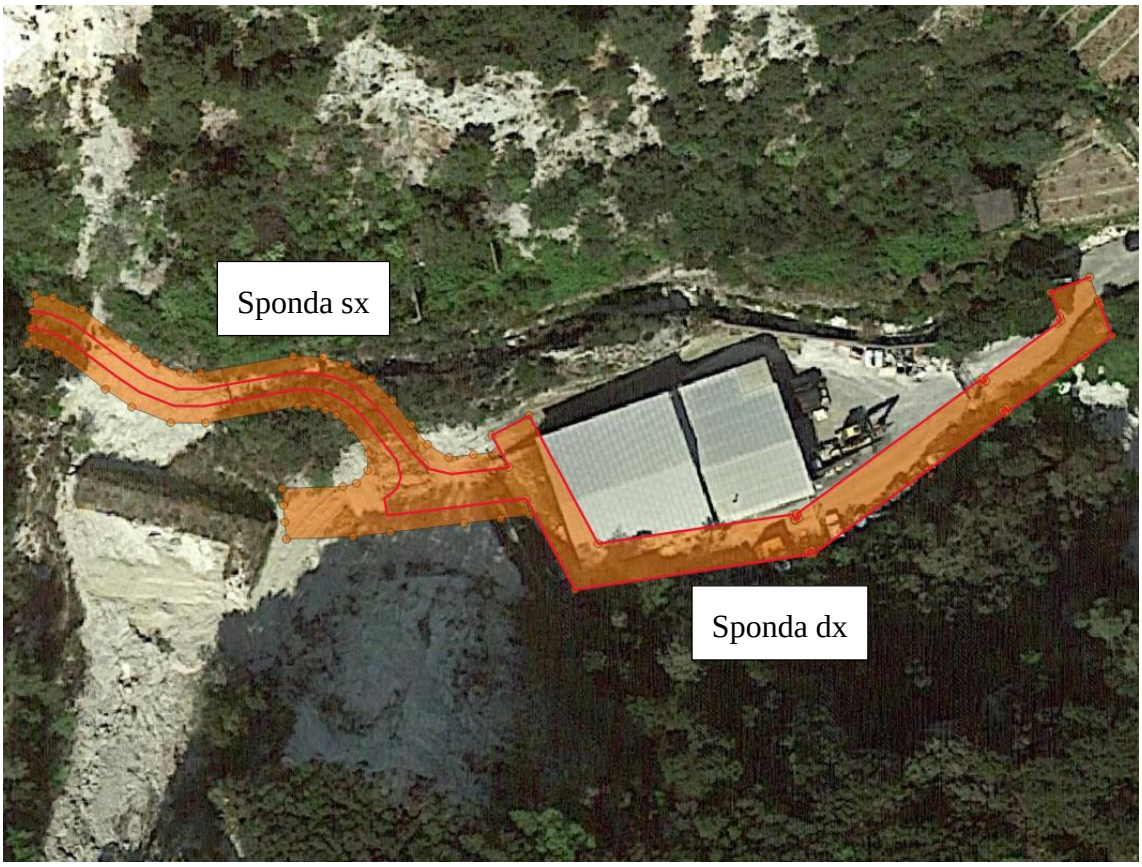


Figura 21 – Sviluppo delle sponde lungo le quali sono valutati i profili

7.3.2 TR=50 anni



Figura 22 – Mappa delle profondità

E' vietata la riproduzione di questo documento senza preventiva autorizzazione scritta IG / Reproduction of this document is forbidden without prior written permission of IG

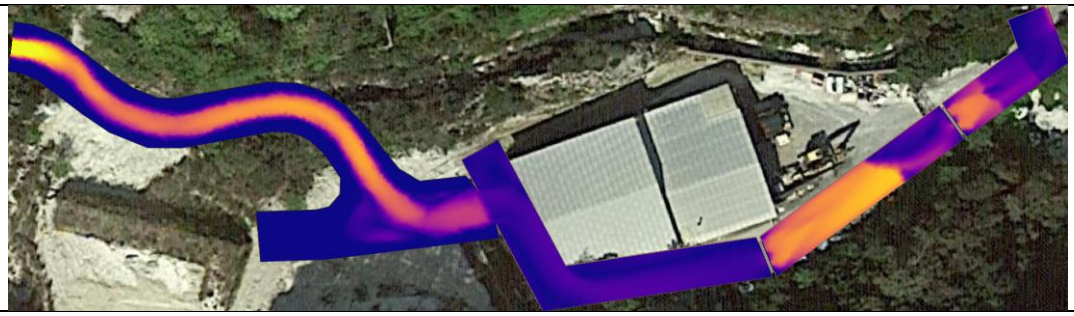


Figura 23 – Mappa delle velocità



Figura 24 – Mappa delle tensioni tangenziali

E' vietata la riproduzione di questo documento senza preventiva autorizzazione scritta IG / Reproduction of this document is forbidden without prior written permission of IG

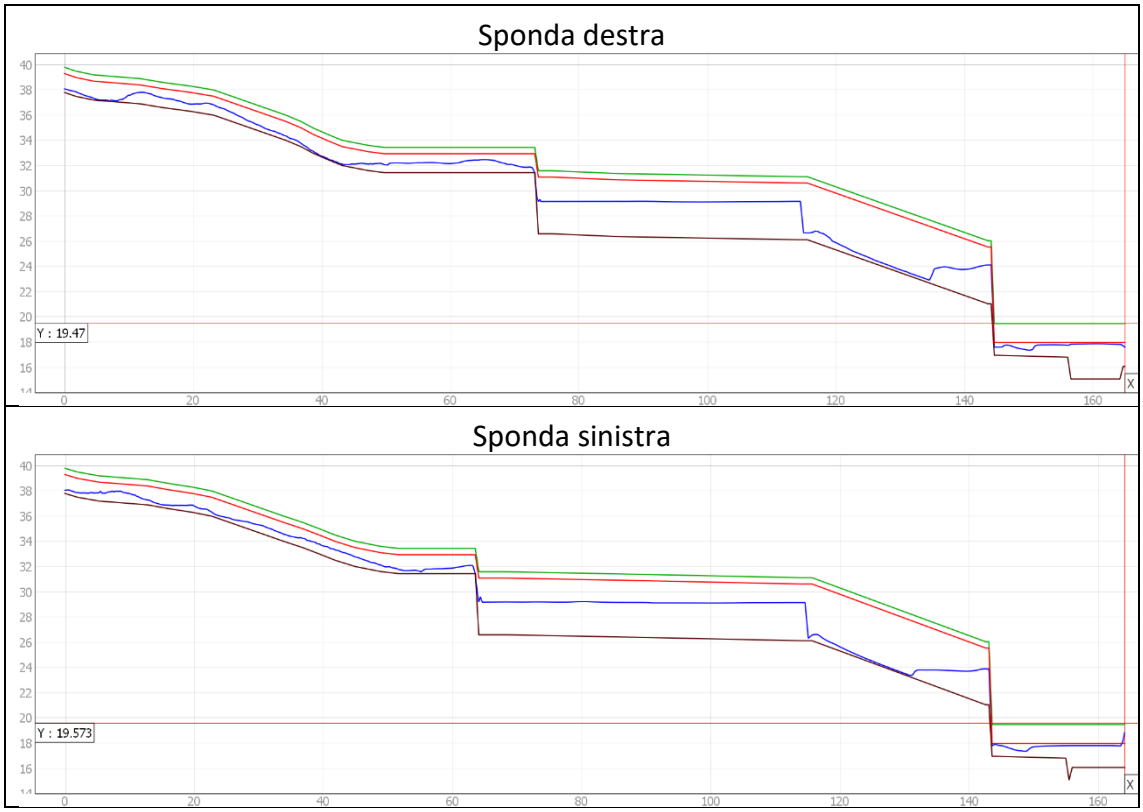
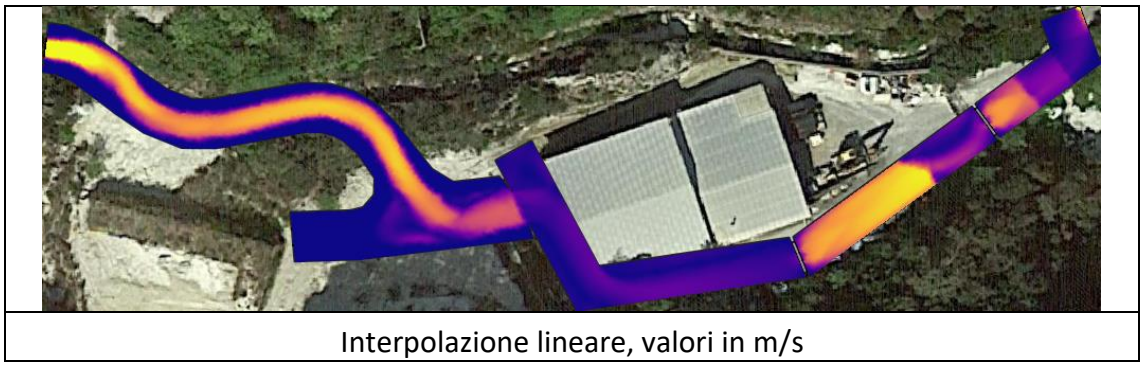


Figura 25 – Profilo della corrente. In marrone, il profilo del fondo; in blu il profilo della corrente; in verde, il profilo delle sponde; in rosso, il profilo delle sponde al netto del franco idraulico (0,5 m nelle arginature, 1,5 m nella parte tombinata)

7.3.3 TR=200 anni



Figura 26 – Mappa delle profondità



E' vietata la riproduzione di questo documento senza preventiva autorizzazione scritta IG / Reproduction of this document is forbidden without prior written permission of IG



Figura 27 – Mappa delle velocità

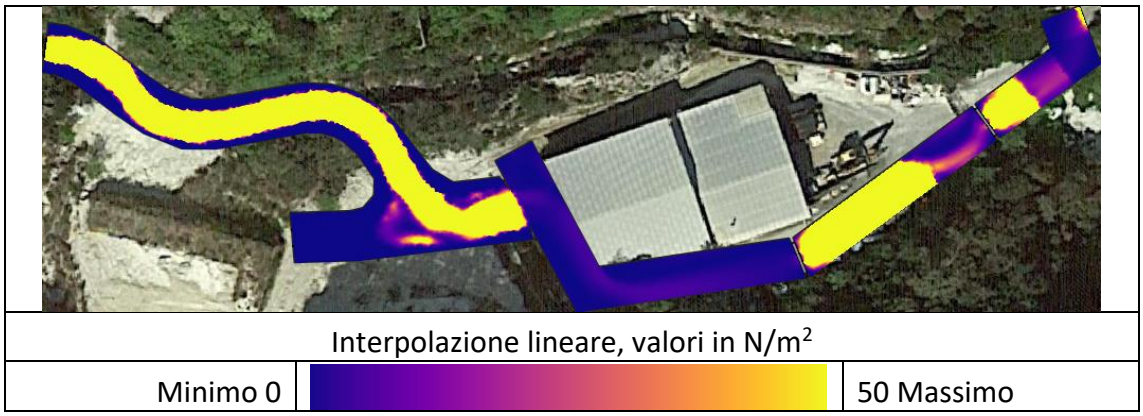


Figura 28 – Mappa delle tensioni tangenziali

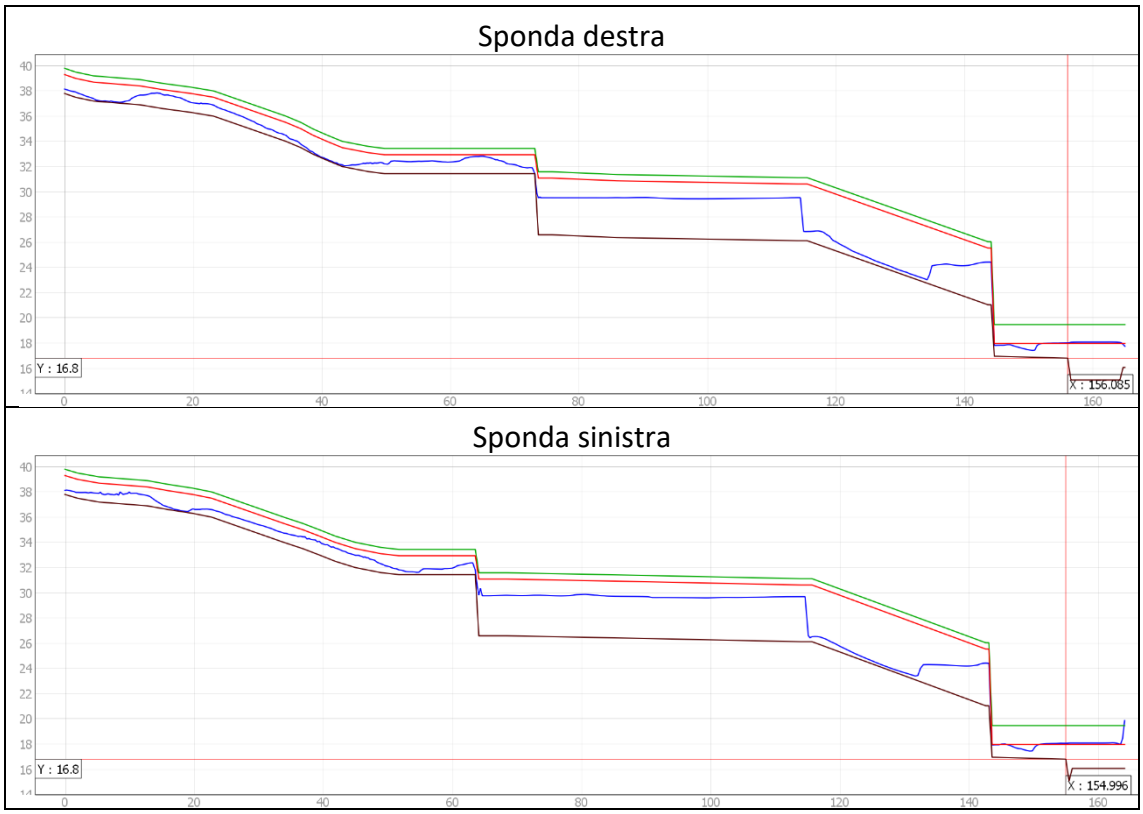


Figura 29 – Profilo della corrente. In marrone, il profilo del fondo; in blu il profilo della corrente; in verde, il profilo delle sponde; in rosso, il profilo delle sponde al netto del franco idraulico (0,5 m nelle arginature, 1,5 m nella parte tombinata)

7.3.4 TR=500 anni

E' vietata la riproduzione di questo documento senza preventiva autorizzazione scritta IG / Reproduction of this document is forbidden without prior written permission of IG



Figura 30 – Mappa delle profondità

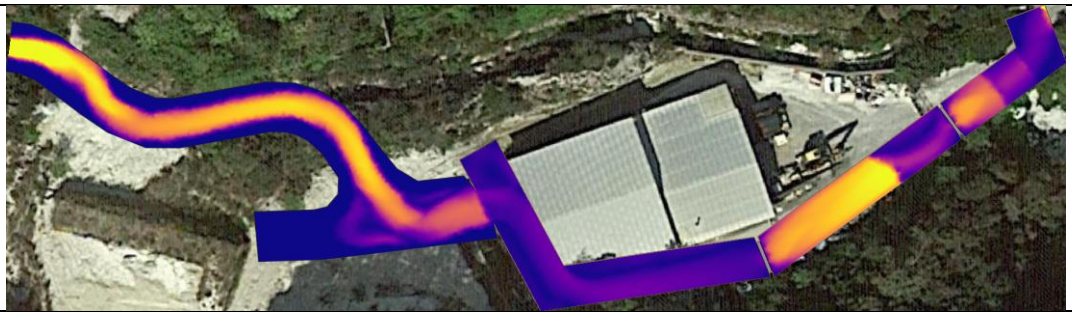


Figura 31 – Mappa delle velocità



Figura 32 – Mappa delle tensioni tangenziali

E' vietata la riproduzione di questo documento senza preventiva autorizzazione scritta IG / Reproduction of this document is forbidden without prior written permission of IG

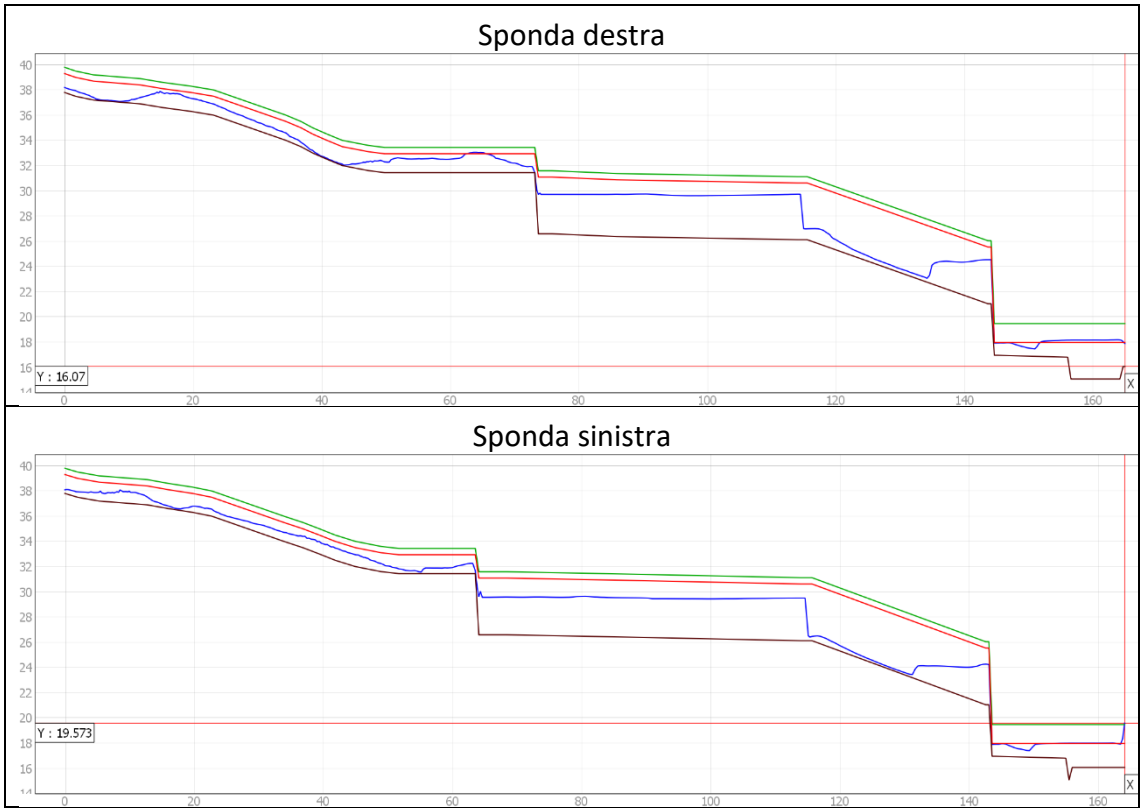


Figura 33 – Profilo della corrente. In marrone, il profilo del fondo; in blu il profilo della corrente; in verde, il profilo delle sponde; in rosso, il profilo delle sponde al netto del franco idraulico (0,5 m nelle arginature, 1,5 m nella parte tombinata)

E' vietata la riproduzione di questo documento senza preventiva autorizzazione scritta IG / Reproduction of this document is forbidden without prior written permission of IG

8. CONCLUSIONI

Per i tre periodi di ritorno considerati i profili della corrente sono sempre contenuti nelle sezioni da realizzarsi, e i franchi idraulici previsti dalle norme sono sempre rispettati. Inoltre, nelle vasche a monte delle briglie selettive si hanno valori di tensione tangenziale inferiori a 10 N/m^2, che garantiscono l'intercettazione di tutto il solido sospeso con diametro superiore a 10 mm (TR=50 anni), a mm (TR=200 anni), a mm (TR=500 anni). Da ultimo, si evidenzia che la capacità delle vasche, pari a circa 1500 m^3 è ben superiore al volume movimentabile dopo gli interventi di stabilizzazione dei versanti, quantificato in 975 m^3.

E' vietata la riproduzione di questo documento senza preventiva autorizzazione scritta IG / Reproduction of this document is forbidden without prior written permission of IG

9. BIBLIOGRAFIA

Hungr, O., Morgan, G. C., and Kellerhals, R. (1984) - Quantitative analysis of debris torrent hazard for design of remedial measures, Canadian Geotechnical Journal, 21, 4, 663–677.

Schoklitsch A. (1962) - Handbuch des Wasserbaues, 3rd edn. Springer, Vienna, 1-475.

Meyer-Peter E., Müller R. (1948) - Formulas for bed-load transport. In: "Proceedings of the 2nd Meeting of the International Association for Hydraulic Structures Research", Delft, Netherlands, 39-64.

E' vietata la riproduzione di questo documento senza preventiva autorizzazione scritta IG / Reproduction of this document is forbidden without prior written permission of IG