StAigeS Ingegneria S.r.l.
Corso Italia 22/6 - 17100 Savona (SV) - email: info@staiges.com
tel. 019.80.54.20 p.iva/c.f.: 01582920094

Provincia di Savona

Comune di Quiliano

UFFICIO LAVORI PUBBLICI

committente

Comune di Quiliano

UFFICIO LAVORI PUBBLICI

Loc. Massapè, 21

Responsabile di servizio

Geom. Genta Luigi



ADEGUAMENTO IDRAULICO DEL TRATTO TERMINALE DEL RIO SANTO FINALIZZATO ALLA MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO

progettista

Ing. Roberto Desalvo

Corso Italia 22/6 17100 Savona

B

LIVELLO: **PROGETTO DI FATTIBILITA'**		
Aggiorn. 1	Aggiorn. 2	Aggiorn. 3
OGGETTO: RELAZIONE TECNICA IDRAULICA		
SCALA:	DATA: MARZO 2017	
FORMATO:	CODICE:	

Sommario

PREMESSA....3

DESCRIZIONE DELLO STATO ATTUALE DEI LUOGHI....3

IL BACINO DEL RIO SANTO E DEL TORRENTE QUAZZOLA....4

RELAZIONE IDRAULICA....5

PROPOSTA PROGETUALE DI INTERVENTO E COMPATIBILITA' IDRAULICA....26

CONCLUSIONI....31

PREMESSA

Il sottoscritto Ing. Desalvo Roberto, rappresentante legale della StAigeS Ingegneria S.r.l. con sede in Savona Corso Italia 22/6, ed iscritto all'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Savona alla posizione n. 1228, redige la presente relazione tecnica idraulica allegata al progetto di fattibilità tecnica ed economica per l'adeguamento idraulico del tratto terminale del rio Santo finalizzato alla mitigazione del rischio idraulico.

DESCRIZIONE DELLO STATO ATTUALE DEI LUOGHI

Il progetto di adeguamento idraulico proposto ha come oggetto il tratto terminale del rio Santo, per una lunghezza pari a circa 200 m.

Come visibile dalla documentazione fotografica allegata, allo stato attuale la parte terminale del rio, fino alla confluenza con il torrente Quazzola, è sostanzialmente assimilabile ad una strada vicinale, utilizzata come via di accesso ad abitazioni e terreni privati, nonché come pista di avvicinamento e manutenzione al viadotto "Passeggi" dell'autostrada A6 Torino-Savona. Inoltre in corrispondenza dello sbocco del rio Santo nel torrente Quazzola è presente l'attraversamento di via Tecci, che costeggia la sponda sinistra del torrente Quazzola. L'opera risulta palesemente insufficiente a garantire il corretto deflusso delle portate di piena

La commistione tra corso d'acqua e viabilità, unitamente alle evidenti carenze geometriche dell'attraversamento di via Tecci si traducono nella presenza di un **rischio idraulico molto elevato**. L'attuale strada e le aree circostanti ricadono infatti in **fascia A** (inondabile per tempi di ritorno pari a 50 anni, come evidenziato nella carta delle fasce di inondabilità del torrente Quiliano riportata nell'inquadramento cartografico) e presentano inoltre **elementi a rischio sensibili** (**abitazioni e relative vie di accesso carrabili e pedonali**).

Si impone pertanto la realizzazione di interventi di mitigazione del rischio a tutela della pubblica e privata incolumità.

IL BACINO DEL RIO SANTO E DEL TORRENTE QUAZZOLA

Il rio Santo è un affluente di sinistra del torrente Quazzola, che a sua volta confluisce nel torrente Quiliano immediatamente a valle dell'abitato di Quiliano. Il rio nasce ad una quota di circa 240 m s.l.m. e sottende un bacino pari a circa **0,37 km²**, chiuso alla confluenza con il torrente Quazzola. Pertanto il rio Santo risulta classificato come **corso d'acqua di secondo livello** secondo la definizione riportata all'art. 3 del Regolamento Regionale n. 3 del 11/07/2011 e s.m.i.

Il bacino idrografico, riportato in **Figura 1** su CTR 1:10000, risulta prevalentemente boscato e caratterizzato da una ridotta antropizzazione del territorio, limitata unicamente al tratto terminale del corso d'acqua. La lunghezza del ramo principale è pari a 0,96 km.

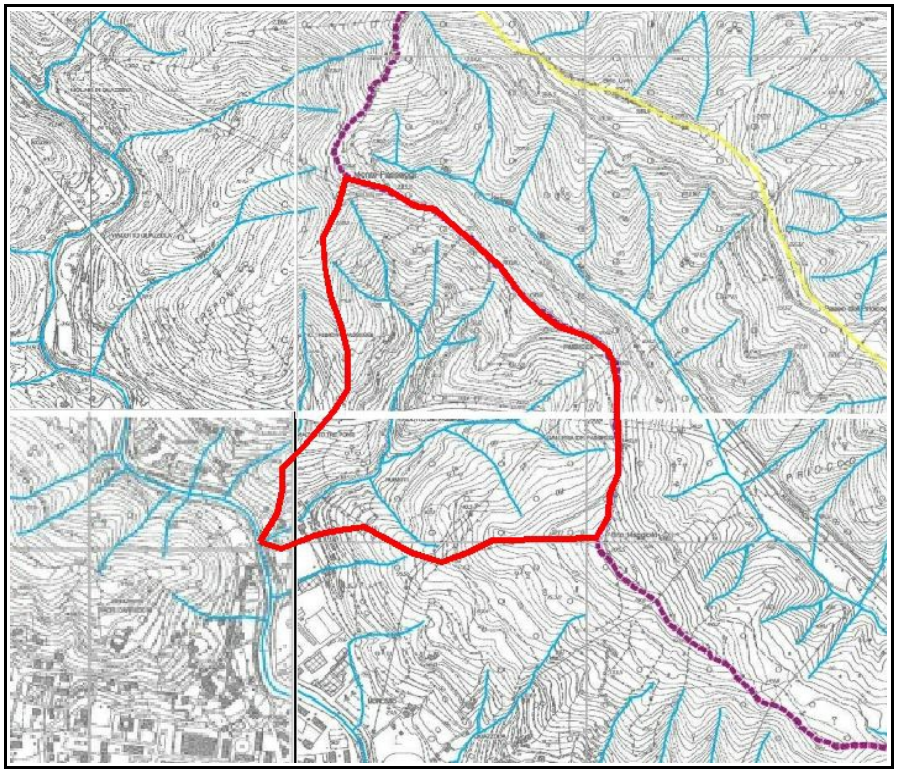


Figura 1: Bacino idrografico Rio Santo

Il torrente Quazzola è un affluente di sinistra del torrente Quiliano. Il ramo principale nasce ad una quota di circa 740 m s.l.m dalle pendici del Monte Burotto, posto sullo spartiacque tra il versante tirrenico ed iil versante padano della Val Bormida, in prossimità di Altare, e percorre all'incirca 7 km all'interno di valli scarsamente antropizzate, caratterizzate da una forte presenza boschiva (cfr. **Figura 2**).

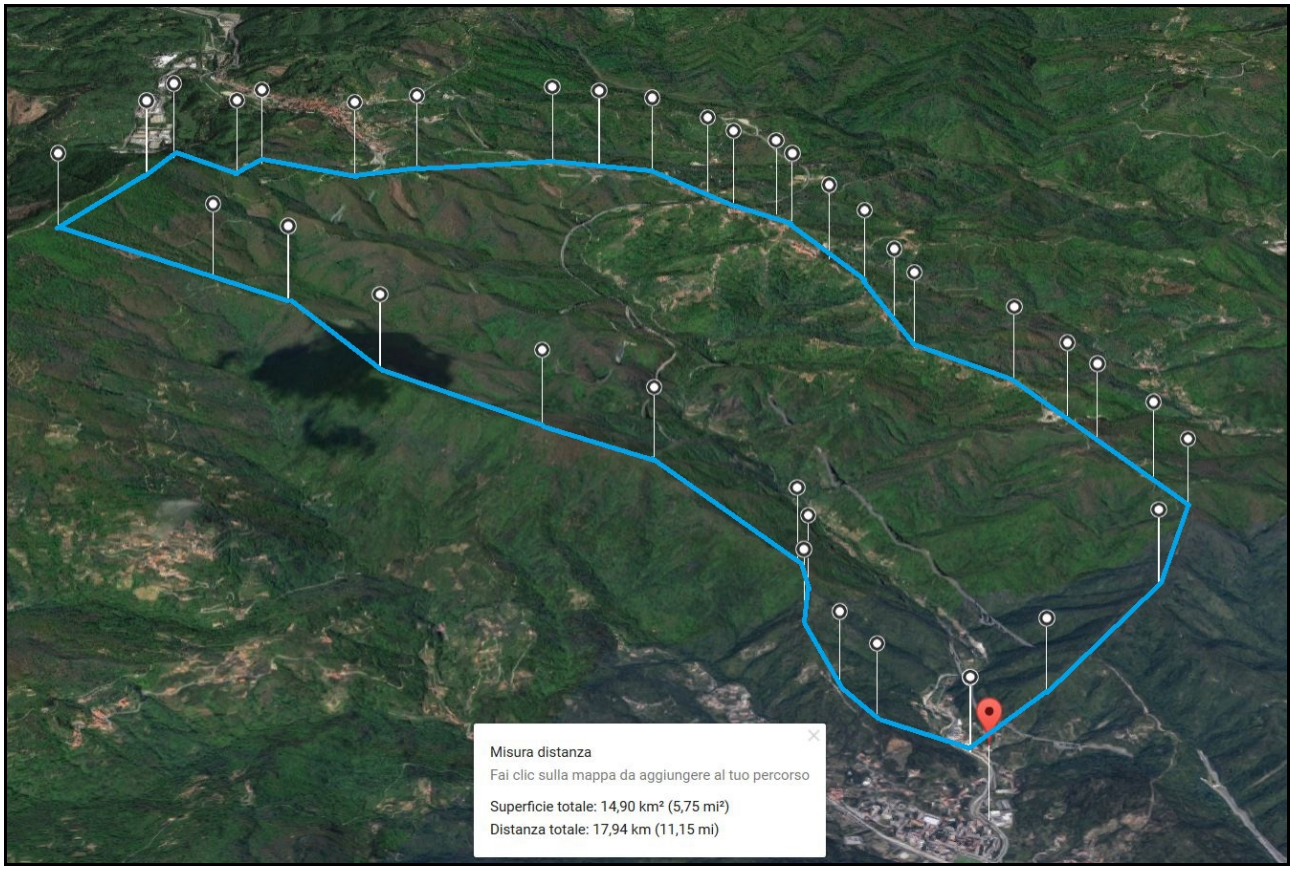


Figura 2: Bacino del Torrente Quazzola

L'area sottesa dal bacino è pari a circa 16 km^2, quindi decisamente superiore al bacino del rio Santo.

RELAZIONE IDRAULICA

Ai fini della verifica idraulica descritta nel prosieguo della presenza relazione, risulta necessario modellare la confluenza del rio Santo e del torrente Quazzola, calcolando le portate di piena dei singoli bacini.

1) Bacino idrografico del Torrente Quazzola

Per la valutazione della portata di piena del torrente Quazzola, sono stati utilizzati i valori desunti dalla relazione generale facente parte del Piano di Bacino del torrente Quiliano. I valori sono riportati nella seguente **Tabella 1** e sono riferiti alla sezione di confluenza tra il torrente Quiliano e il torrente Quazzola.

PORTATA AL COLMO DI PIENA, quantile 50% Q[m^3s^{-1}]									
IDENTIFICAZIONE DELLA SEZIONE			VALORI DI Q [m^3s^{-1}]						
Torrente	SEZIONE A MONTE DELLA CONFLUENZA CON	AREA DRENATA [Km2]	Tindice	T=30 anni	T=50 anni	T=100 anni	T=200 anni	T=500 anni	Curva di inviluppo (CATI)
Quiliano	Mar Tirreno	52	170	490	590	720	850	1030	750
Quiliano	Torrente Quazzola	30	100	290	340	420	490	590	520
Quazzola	Torrente Quiliano	16	60	160	190	240	280	340	360

Tabella 1: Portate al colmo di piena per il torrente Quazzola secondo il Piano di Bacino del torrente Quiliano

La confluenza con il rio Santo è ubicata a monte della sezione di chiusura del torrente Quazzola, ma data la reciproca vicinanza le portate utilizzate per le verifiche idrauliche sono state considerate coincidenti con i valori riportati nella tabella precedente.

Il tempo di corrivazione del bacino del torrente Quazzola, espresso in ore, è stato valutato adottando le formulazioni standard previste da diversi autori (Giandotti, Ventura, Pezzoli, Puglisi, Kirpich, Tournon e Merlo), ricavate sulla base delle caratteristiche del bacino idrografico riportate nella **Tabella 2**.

Lunghezza asta fluviale [km]	0.88
Quota massima bacino [m]	234
Quota alla sezione di chiusura [m]	24
Superficie [kmq]	0.33
Pendenza media versanti	0.35
Quota media bacino [m]	129
Pendenza media asta fluviale	0.24

Tabella 2: Caratteristiche geometriche del bacino

Formulazione	**Tempo [h]**
Giandotti [h]	1.74
Ventura [h]	1.57
Pezzoli [h]	1.27
Puglisi [h]	2.51
Kirpich [h]	3.07
Tournon [h]	4.88
Merlo [h]	2.36

Tabella 3: Tempi di corrivazione calcolati

Per il calcolo del tempo di corrivazione del bacino si è effettuata una media dei valori ottenuti dall'applicazione delle formulazioni sopra elencate, riportati in Tabella 3, previa eliminazione degli estremi inferiore e superiore, ottenendo quindi un valore pari a **2,25 h**.

2) Bacino idrografico del Rio Santo

Il bacino idrografico del rio Santo presenta una superficie compresa tra 0,25 e 1 km^2.

Le portate al colmo dell'onda di piena del rio Santa Brigida per i tempi di ritorno T di progetto corrispondenti a 50, 200 e 500 anni sono state calcolate con il metodo individuato all'interno dello studio "*Caratterizzazione delle precipitazioni intense e delle portate di piena per i bacini liguri"* realizzato dal CIMA, valido per la stima delle portate di piena per bacini aventi area inferiore a 2 km^2.

Il valore della portata per assegnato tempo di ritorno è ottenuto a partire dalla conoscenza del tipo di bacino, della sua posizione geografica e dalla dimensione del bacino sotteso dalla sezione per la quale si vuole calcolare il valore di portata per assegnato periodo di ritorno.

Il valore di portata è calcolato in base alla seguente relazione:

$$Q_T = K_T \cdot A \cdot U_{A=2}$$

dove:

- A: superficie drenata espressa in km^2, pari a circa 0,37 km^2;
- $U_{A=2}$: [$m^3s^{-1}km^{-2}$] contributo unitario per area pari a 2 km^2 fornito in funzione del tipo di bacino e della sua posizione geografica;
- K_T: fattore di frequenza delle portate fornito in funzione del tempo di ritorno dell'evento di progetto che assume i valori di seguito riportati:

Tr [anni]	5	10	30	50	100	200	500
Kt	1.29	1.79	2.90	3.47	4.25	5.02	6.04

Tabella 4: Fattore di frequenza delle portate

Per il calcolo della portata di progetto si è assunto un bacino di tipo ***D*** (estesa copertura arborea), con longitudine pari a 8° 25', pertanto il contributo unitario $U_{A=2}$ assume un valore pari a 5,09 $m^3s^{-1}km^{-2}$. Le portate di piena così calcolate sono riportati nella seguente Tabella 5:

Tr [anni]	5	10	30	50	100	200	500
Qt	2.30	3.19	5.17	6.18	7.57	8.94	10.76

Tabella 5: Portate di piena per assegnato tempo di ritorno

Il tempo di corrivazione del rio Santo, calcolato analogamente a quanto fatto per il torrente Quazzola, ottenendo un valore pari a **0,31 h**.

Lunghezza asta fluviale [km]	0.88
Quota massima bacino [m]	234
Quota alla sezione di chiusura [m]	24
Superficie [kmq]	0.33
Pendenza media versanti	0.35
Quota media bacino [m]	129
Pendenza media asta fluviale	0.24

Tabella 6: Caratteristiche geometriche bacino rio Santo

Formulazione	Tempo [h]
Giandotti [h]	0.44
Ventura [h]	0.15
Pezzoli [h]	0.10
Puglisi [h]	0.93
Kirpich [h]	0.25
Tournon [h]	0.37
Merlo [h]	0.34

Tabella 7: Tempi di corrivazione rio Santo

3) Valutazione del trasporto solido

La valutazione del trasporto solido è un passo necessario per la definizione dell'erodibilità del bacino e stima del conseguente volume di materiale che può esser mobilitato nel corso di un determinato periodo di riferimento, generalmente un anno solare. Esso dipende dalle caratteristiche geolitologiche del bacino e della sua conformazione morfologica, quale pendenze dei versanti, quote, copertura boschiva ecc.

La stima del volume solido annuo eroso è stato eseguita tramite la formula empirica di Gavrilovic, basata su parametri geo-morfologici.

La formulazione utilizzata è la seguente:

$$W = S\, h\, \pi\, (0{,}1 + T / 10)^{0,5}\, [(m_1+m_2+m_3)^3]^{0,5} \qquad [m^3/anno]$$

con:

***S** = superficie del bacino = 0.37 km²*

***h** = precipitazione media annua da carte di piovosità = 950 mm/y*

***T** = temperatura media annua da carte termiche della provincia di Savona = 15 °C*

m_1 *= fattore uso suolo*

m_2 *= fattore litologia superficie*

m_3 *= fattore acclività superficie*

I tre fattori sono dipendenti dalla geomorfologia del bacino, in particolare dall'**uso del suolo**, **litologia superficiale**, **acclività dei versanti** e **dissesto** e sono ricavabili dalle seguenti espressioni:

$m_1 = (0.2\, A + 0.5\, B + 0.8\, C + D) / S$

Coefficiente	% Superficie	Superficie [kmq]	Superficie adibita a:
A	86.9%	0.31	Boschi / Frutteti
B	0.0%	0	Prati / Pascoli
C	13.1%	0.05	Coltivi
D	0.0%	0	Priva di vegetazione

Tabella 2: Uso del suolo per il coefficiente m_1

m2 = (1.6 J + 0.8 K + 0.3 L + 1.6 M) / S

Coefficiente	% Superficie	Superficie [kmq]	Litologia superficie:
J	100.0%	0.36	Rocce incoerenti affioranti
K	0.0%	0	Rocce semi-incoerenti
L	0.0%	0	Rocce coerenti
M	0.0%	0	Sviluppo faglie

Tabella 3: Litologia superficiale per il coefficiente m_2

m3 = ϑ + I 0.5

ϑ è un parametro tabellato funzione del rapporto V/S, visibile nella seguente tabella:

V/S	θ
0	0
0.5	0.2
2	0.4
4	0.6
6	0.8
7	0.9
7.5	0.95

Tabella 4: Stima del parametro ϑ

mentre I è funzione dell'acclività del bacino, ricavabile da

$$I = \text{sommatoria} [I_m i_m] / S = 0,48$$

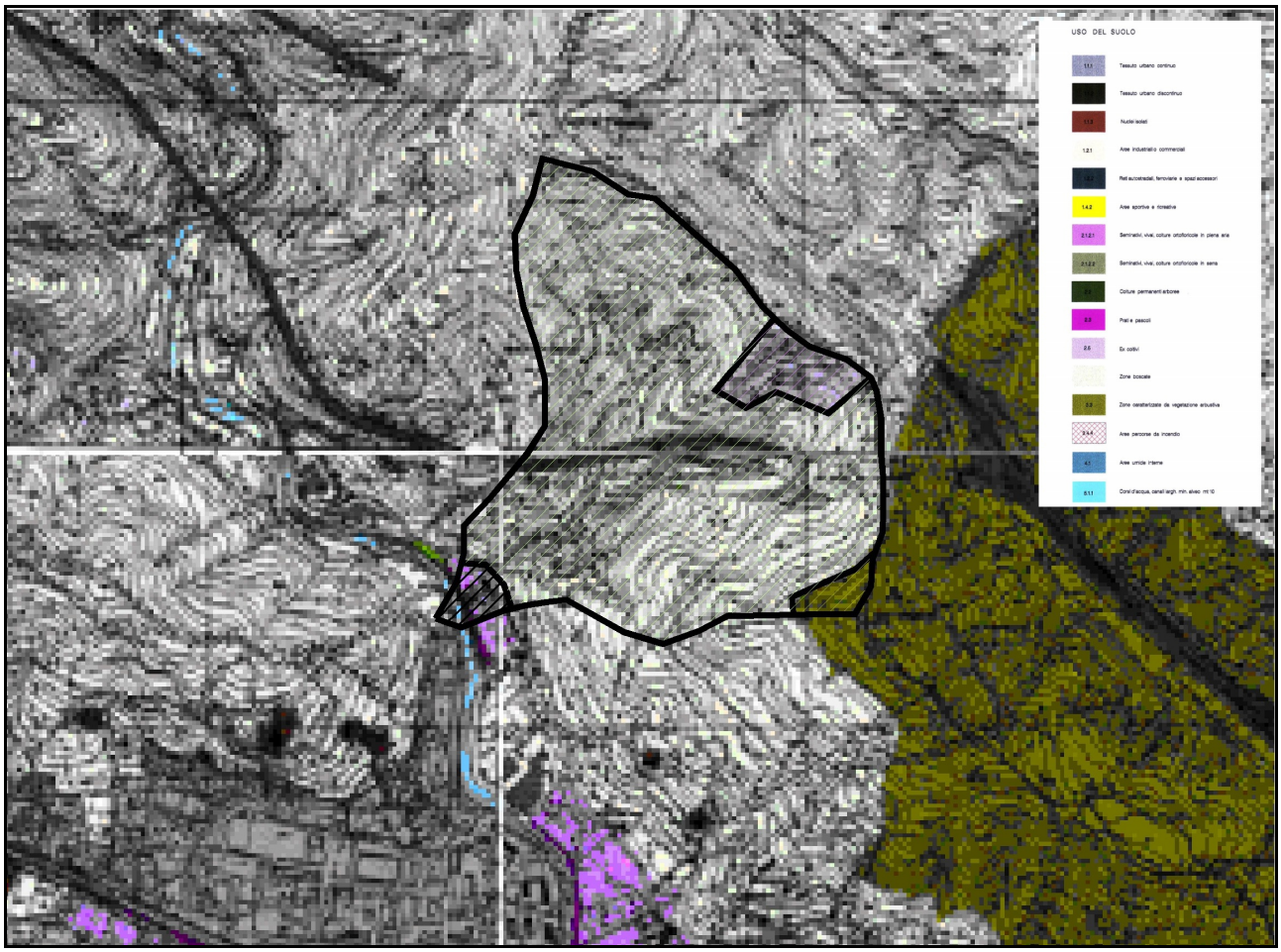


Figura 3: Carta dell'uso del suolo

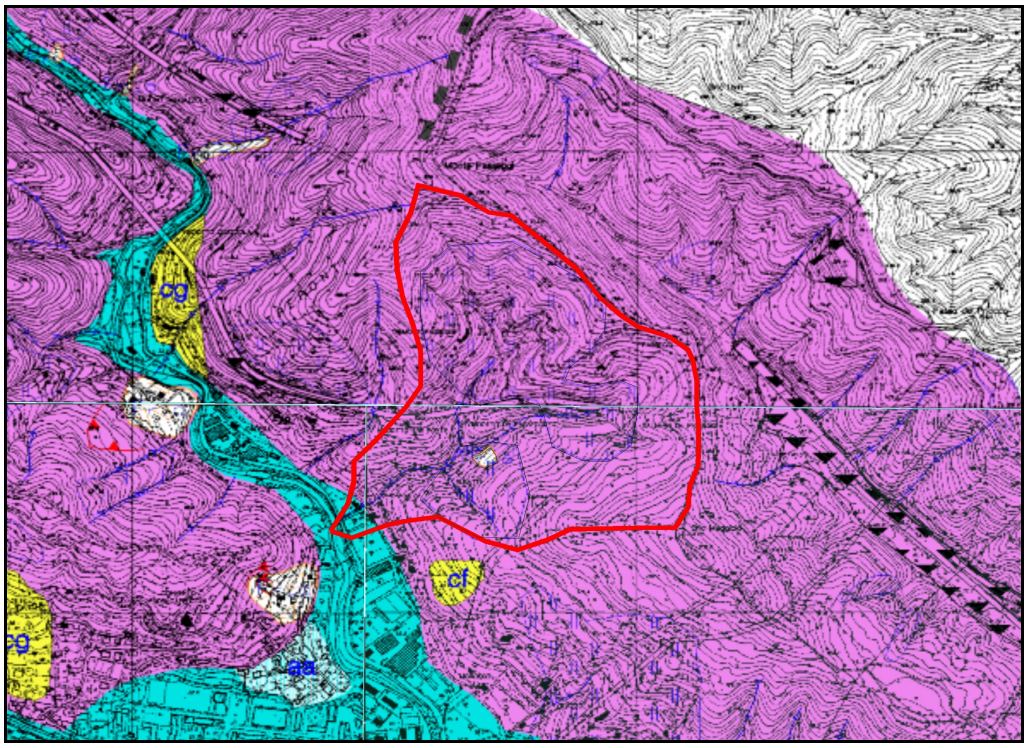


Figura 4: Carta geomorfologica – prevalenza di rocce affioranti e subaffioranti

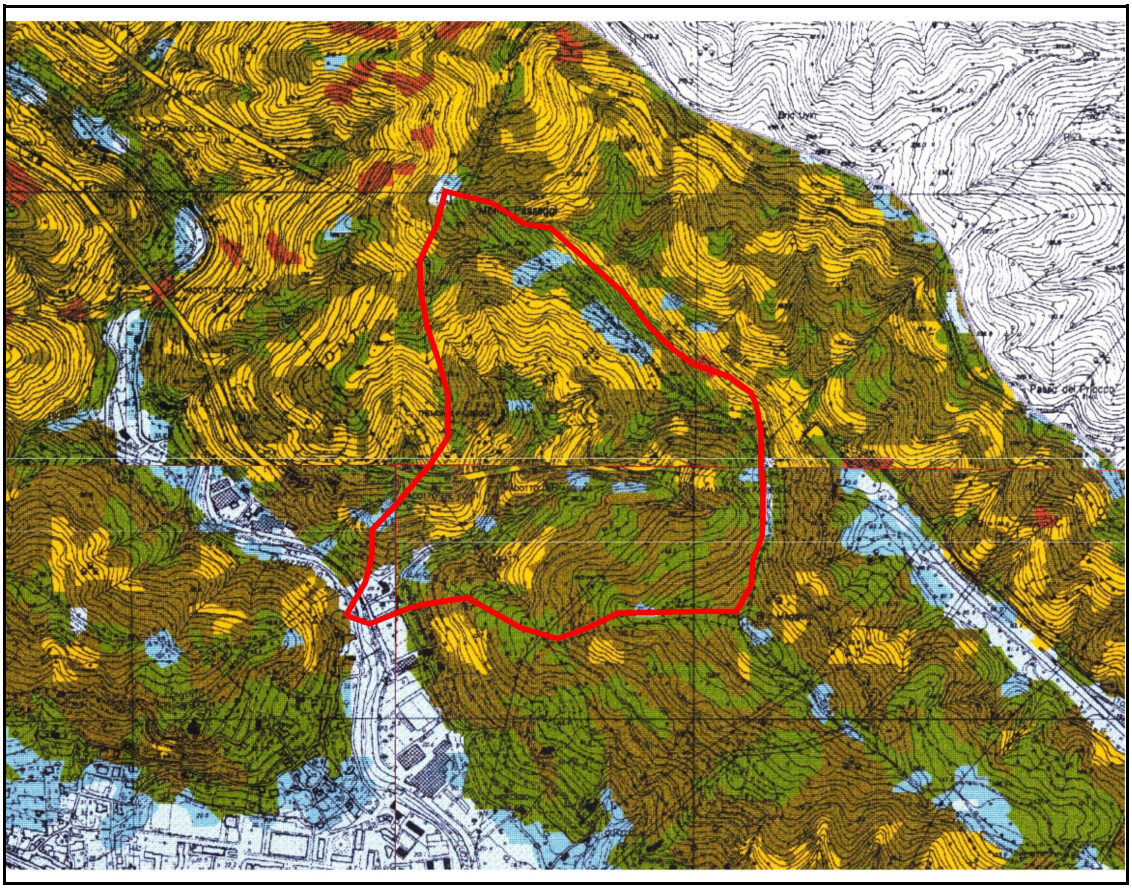


Figura 5: Carta dell'acclività dei versanti

Acclività superficie	% Superficie	Superficie corrispondente I_m [kmq]	Parametro i_m
0-10%	1.6%	0.01	0.05
10-20%	3.9%	0.01	0.15
20-40%	26.0%	0.09	0.3
40-60%	39.9%	0.14	0.5
60-80%	28.6%	0.1	0.7
>80%	0.0%	0	2

Tabella 5: Acclività superficie per parametro m_2

$$V = 0.2\,N + 4.2\,P + 4.9\,Q + 2.25\,R + 0.75\,S_1 + 2\,U$$

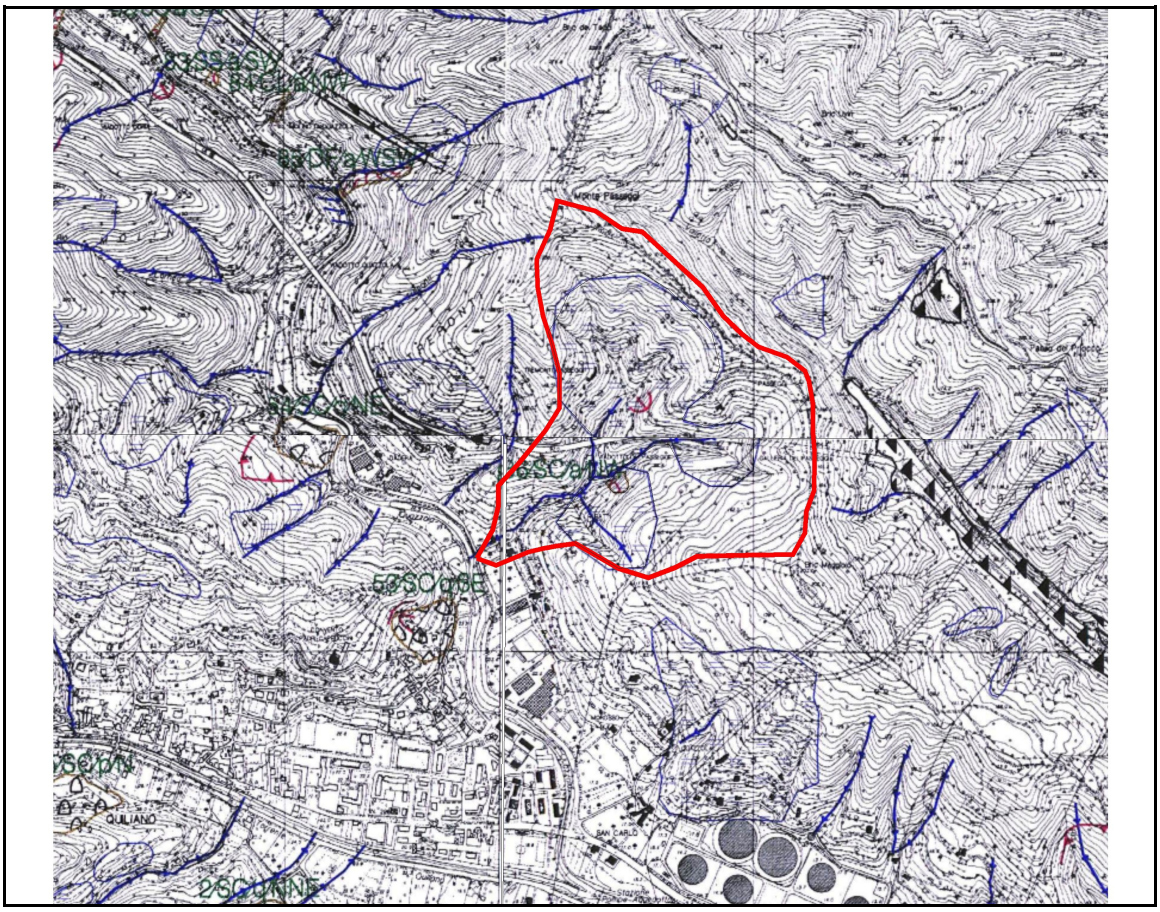


Figura 6: Carta del dissesto

Dalla carta del dissesto riportata in **Figura 6**, si individua unicamente una piccola frana attiva (**36/SC/a/NW**), posta in sponda sinistra del rio Santo. Come si osserva inoltre dalla carta della suscettività al dissesto di versante (**Figura 7**), il bacino è interessato prevalentemente da un livello di **suscettività media (Pg2)**, mentre solo una parte limitata presenta una **suscettività elevata**, caratterizzata da movimenti gravitativi attivi e quiescenti (**Pg3b**). L'unica area a **suscettività al dissesto molto elevata (Pg4)** si riscontra in corrispondenza della frana sopra menzionata.

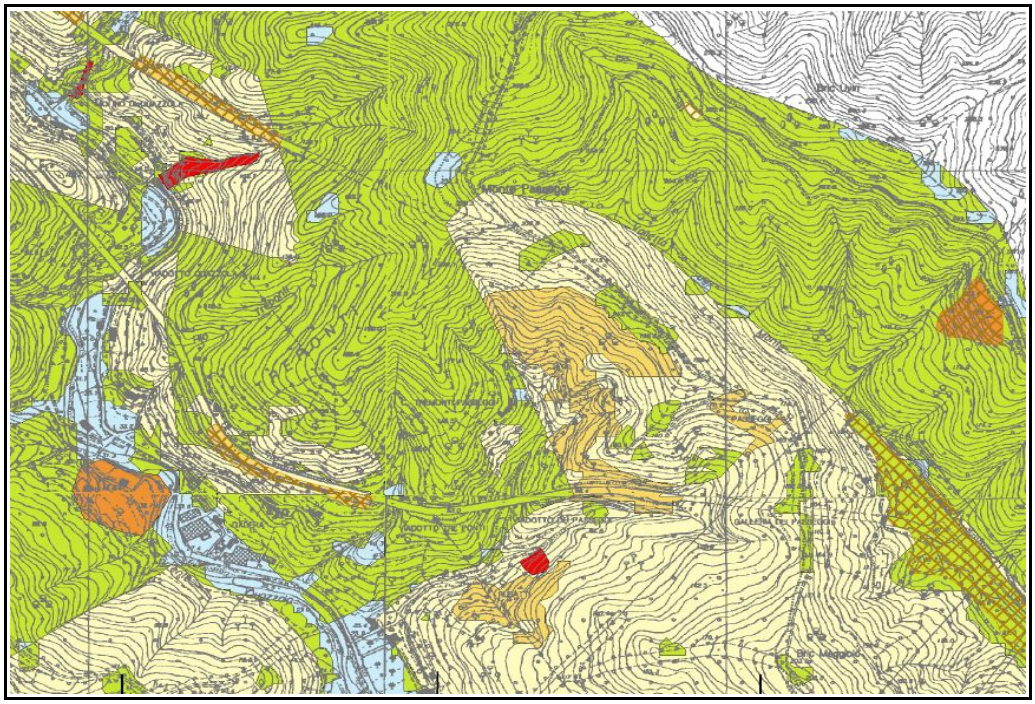


Figura 7: Carta della suscettività al dissesto di versante

Coefficiente	% Superficie	Superficie corrispondente [kmq]	Dissesto:
N	0.4%	0.002	generalmente franose
P	0.0%	0.000	frane in rocce sciolte
Q	0.0%	0.000	Pseudo calanchive – tettonizzazione in rocce coerenti
R	0.0%	0.000	numerosi crolli
S_1	0.0%	0.000	crolli diffusi
U	0.0%	0.000	valanghe

Tabella 6: Dissesto per il coefficiente m_3

I parametri ottenuti sono i seguenti:

m_1	0.28
m_2	1.60
m_3	0.70

Tabella 7: Parametri per il calcolo del volume annuo in erosione

Il volume totale erodibile calcolato risulta pari a circa **2235 m³/anno**. Determinata l'erodibilità del bacino, la quantità effettiva di materiale solido Q_s che transita attraverso la sezione di interesse (confluenza torrente Quazzola – rio Santo) viene valutata attraverso la seguente formula:

$$Q_s = 4\ W\ (P\ H)^{0.5} / (L + 10) \qquad [m^3/anno]$$

dove P è il perimetro del bacino (pari a 2,5 km), L è la lunghezza dell'asta principale e H è la quota media del bacino pari a 141,50 m s.l.m. La portata solida totale risulta esser pari a **485 m³ / anno**.

Il trasporto solido avviene sia in sospensione che per trascinamento sul fondo dell'alveo. Generalmente il trasporto solido in sospensione è di un ordine di grandezza superiore al trasporto al fondo: tale rapporto tende ad aumentare per corsi d'acqua a regime torrentizio con pendenze del fondo elevate. In prima approssimazione è possibile assumere che la portata solida al fondo sia pari a 20% della portata solida totale, ottenendo un valore pari a **97 m³**.

Il valore sopra indicato è stato utilizzato per il dimensionamento della vasca di sedimentazione posta immediatamente a monte del nuovo attraversamento previsto dal progetto al fine di garantire l'accesso all'abitazione posta in sponda sinistra del rio, come meglio descritto nei paragrafi seguenti.

Si tenga inoltre presente che al di sotto della pila del viadotto autostradale è già presente una vasca di sedimentazione dotata di briglia selettiva, in grado di trattenere parte del materiale solido proveniente da monte. Operando tuttavia a favore di sicurezza si è optato per trascurare la presenza di tale opera nella fase di dimensionamento della nuova vasca.

4) Determinazione dei profili di corrente

- Codice di calcolo utilizzato

La determinazione dei profili di rigurgito è stata condotta mediante lo specifico pacchetto software HEC-RAS (U.S. Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Center, versione 5.3.0), che prevede la risoluzione dell'equazione del moto delle correnti a pelo libero nella schematizzazione monodimensionale.

La soluzione dell'equazione dei profili di rigurgito avviene nel software mediante l'applicazione dello schema di Euler-Cauchy, noto nella letteratura anglosassone con il nome di "Standard Step Method".

Il profilo è determinato in modo iterativo risolvendo l'equazione dell'energia tra due sezioni trasversali successive.

L'equazione dell'energia utilizzata dal programma è:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + \Delta H \qquad (1)$$

dove:

- Y_1, Y_2 : tirante idrico nelle sezioni considerate;
- Z_1, Z_2 : quote del fondo alveo;
- V_1, V_2 : velocità medie (portata totale/area bagnata);
- α_1 , α_2 : coefficienti riduttori dell'energia cinetica;
- g : accelerazione di gravità;
- ΔH : perdita di carico.

Le condizioni al contorno sono applicate all'estremo di monte o di valle del tronco fluviale a seconda che ci si trovi nel caso di correnti rispettivamente veloci o lente. La soluzione si propaga alla sezione successiva dopo che il carico fra le due sezioni contigue risulta bilanciato con una tolleranza assegnata.

Qualora si verifichi una transizione da regime supercritico a subcritico, o viceversa, si è in presenza di moto rapidamente variato, l'equazione precedente non è più applicabile. Tale passaggio può essere causato da diversi fattori, quali per esempio un cambio significativo della pendenza del fondo, brusche variazioni di sezione o restringimenti determinati ad esempio dalla presenza di ponti con pile in alveo, confluenze, ecc.

In alcuni di questi casi è possibile fare uso di equazioni empiriche, in altri è necessario applicare l'equazione del Momento. L'espressione per la variazione del Momento nell'unità di tempo può essere scritta come:

$$P_2 - P_1 + W_x - F_f = Q \cdot \rho \cdot \Delta V_x \qquad (2)$$

dove:

- *P* : pressione idrostatica nelle due sezioni consecutive del corso d'acqua;
- W_x : forza peso dell'acqua nella direzione x (direzione del moto);
- F_f : forza d'attrito;
- *Q* : portata del corso d'acqua;
- ρ : densità dell'acqua;
- DV_x : variazione della velocità tra le due sezioni consecutive.

Il pacchetto di calcolo richiede diversi dati di input tra i quali:

- descrizione geometrica completa del tronco fluviale, costituita dalla rappresentazione geometrica delle sezioni trasversali e dal loro posizionamento plano – altimetrico, dalle lunghezze dei singoli tratti e dalle quote del fondo alveo e delle altezze arginali;
- caratterizzazione della resistenza dell'alveo mediante la definizione del coefficiente di scabrezza di Manning *n* e dei coefficienti di contrazione *Cc* e di espansione *Ce*;
- condizioni idrauliche al contorno di valle o di monte per correnti lente o veloci all'inizio e alla fine del tratto analizzato;
- definizione geometrica ed idraulica di eventuali singolarità presenti in alveo (ponti, confluenze, etc.);

- definizione della portata di progetto.

5) Definizione geometrica del corso d'acqua

Il calcolo dei profilo di rigurgito ha richiesto come prima cosa la definizione geometrica del corso d'acqua. Nella presente modellazione il rio Santo è stato modellato mediante 17 sezioni trasversali nel tratto terminale fino allo sbocco, per una lunghezza di circa 253 m. Al fine di modellare correttamente la confluenza tra rio Santo e torrente Quazzola, si è provveduto ad effettuare un rilievo plano-altimetrico dell'alveo del torrente Quazzola, mediante la definizione di 9 sezioni trasversali poste a monte ed a valle della sezione di confluenza tra i due corsi d'acqua (**Figura 8**).

Per maggiori dettagli si rimanda alle tavole grafiche allegate alla presente progettazione preliminare (Tavola 01).

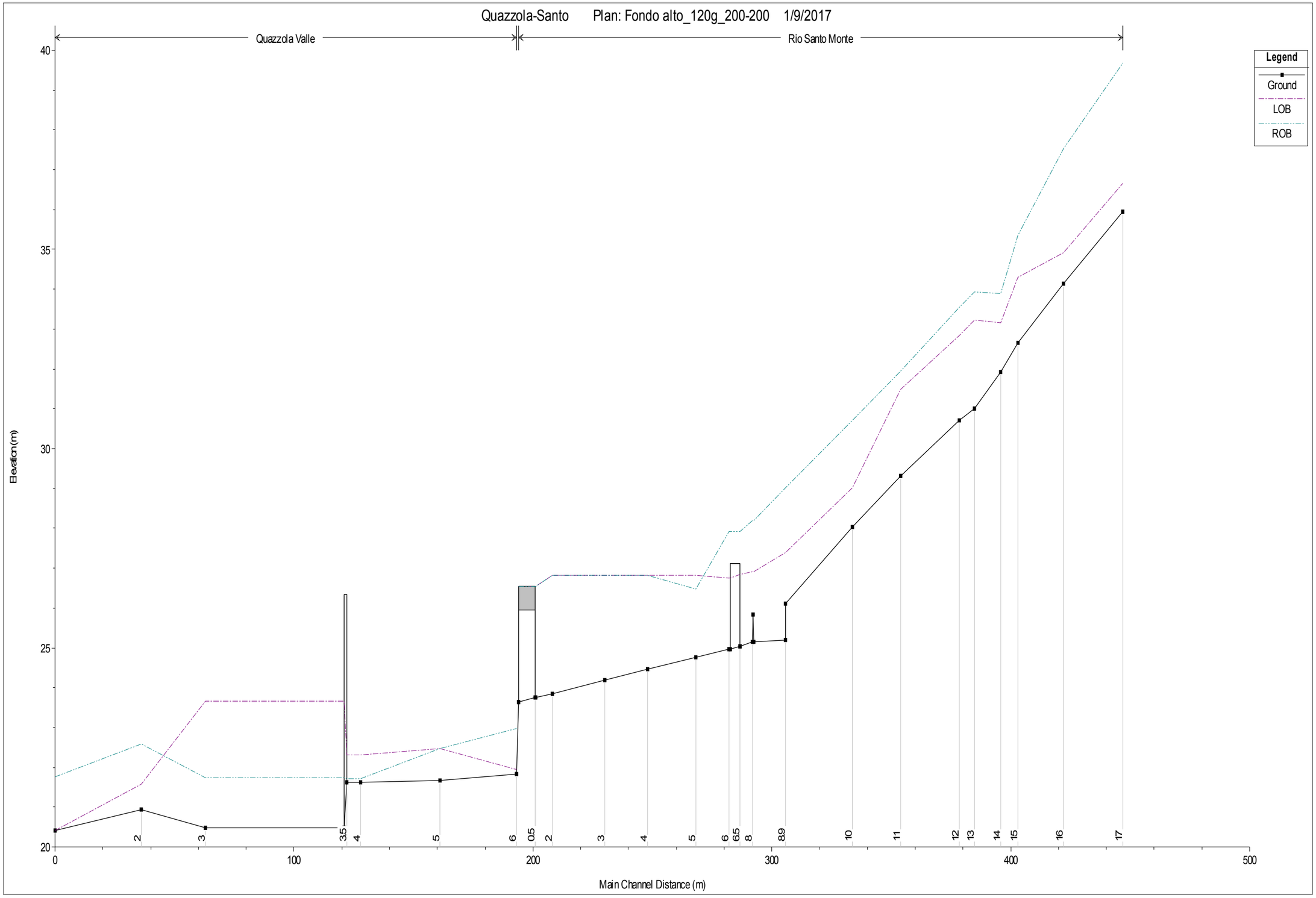


Figura 8: Profilo Longitudinale Rio Santo - Quazzola

6) Parametri idraulici

- Coefficiente di scabrezza: nella modellazione in moto permanente monodimensionale il parametro di scabrezza per il tronco fluviale compreso fra due sezioni di calcolo porta in conto la natura, le condizioni vegetazionali e di manutenzione dell'alveo e delle sponde e le macroresistenze dovute alla variabilità longitudinale della geometria o a possibili variazioni brusche del perimetro bagnato al crescere della portata.

Il parametro di scabrezza di Gauckler-Strickler è stato calibrato per ogni sezione in base alle reali caratteristiche dell'alveo e delle sponde. Nella seguente **Tabella 8** si riportano i valori del coefficiente di Manning (tra parentesi Gauckler-Strickler espresso in $m^{1/3}s^{-1}$) utilizzati nella modellazione idraulica;

- I coefficienti di contrazione ed espansione: i coefficienti di contrazione ed espansione vengono usati per il calcolo delle perdite dovute alle transizioni d'alveo, intendendo con il termine "transizione" cambiamenti nella geometria delle sezioni d'alveo, siano essi restringimenti, allargamenti o presenza di manufatti, quali ponti o coperture.

In particolare si definisce un coefficiente di contrazione quando il carico cinetico nella sezione a valle di un ponte è maggiore del carico cinetico nella sezione a monte del restringimento. Viceversa, quando il carico cinetico nella sezione del restringimento è maggiore del carico cinetico della sezione dell'allargamento, ovvero della sezione di valle, si ha un'espansione del flusso della corrente: si definisce in questo caso un coefficiente di espansione;

	River Station	Frctn (n/K)	n #1	n #2	n #3
1	17	n	0.1	0.07	0.1
2	16	n	0.1	0.07	0.1
3	15	n	0.1	0.07	0.1
4	14	n	0.1	0.07	0.1
5	13	n	0.1	0.07	0.1
6	12	n	0.1	0.07	0.1
7	11	n	0.017	0.03	0.017
8	10	n	0.017	0.03	0.017
9	9	n	0.017	0.03	0.017
10	8.9	n	0.017	0.03	0.017
11	8.3	n	0.017	0.03	0.017
12	8.2	n	0.017	0.03	0.017
13	8.1	n	0.017	0.03	0.017
14	8	n	0.017	0.03	0.017
15	7	n	0.017	0.03	0.017
16	6.5	Bridge			
17	6	n	0.017	0.03	0.017
18	5	n	0.017	0.03	0.017
19	4	n	0.017	0.03	0.017
20	3	n	0.025	0.03	0.025
21	2	n	0.025	0.03	0.025
22	1	n	0.025	0.03	0.025
23	0.5	Bridge			
24	0	n	0.025	0.03	0.025

Tabella 8: Coefficienti n di Gauckler Strickler utilizzati nella simulazione

n = 0.025 (ks = 40) tratti urbanizzati di corsi d'acqua naturali con argini cementati (e/o platee) in buono stato;

n = 0.03 (ks = 35) corsi d'acqua naturali con vegetazione e movimento di materiale sul fondo;

n = 0.07 (ks = 15) tratti di corsi d'acqua naturali con salti, rocce o vegetazione anche arbustiva-arborea in alveo;

I tipici valori assunti in regime subcritico dai coefficienti di contrazione ed espansione sono riportati in **Tabella 9**:

	Contrazione	Espansione
Assenza di transizioni	0	0
Transizioni graduali	0.1	0.3
Sezioni in prossimità di ponti	0.3	0.5
Cambiamenti repentini	0.6	0.8

Tabella 9: Coefficienti di espansione e contrazione - Regime Subcritico

Per un regime supercritico, invece, i valori dei coefficienti risultano inferiori (cfr. **Tabella 10**):

	Contrazione	Espansione
Assenza di transizioni	0	0
Transizioni graduali	0.1	0.15
Sezioni in prossimità di ponti	0.1	0.2
Cambiamenti repentini	0.3	0.5

Tabella 10: Coefficienti di espansione e contrazione - Regime Supercritico

- Modellazione dei ponti: il calcolo dei profili di rigurgito, attraverso i manufatti presenti in alveo, fa esplicito riferimento all'impalcato del ponte, quindi alla definizione delle geometrie.

Per la determinazione delle procedure da utilizzare va fatta una distinzione tra regime di moto subcritico o supercritico; i metodi utilizzati per il calcolo della corrente a pelo libero e delle perdite di carico attraverso il ponte sono tre:

- *l'equazione dell'energia – il metodo di Eulero-Cauchy*: il metodo è anche noto nella letteratura anglosassone con il nome di Standard Step Method. Il codice di calcolo utilizzato nella presente relazione genera due sezioni, riportate a titolo di esempio in **Figura 6**, comprendenti la geometria del ponte e chiamate BD (Bridge Downstream) e la BU (Bridge Upstream), che sono viste come due qualsiasi sezioni d'alveo, ma l'area del ponte è sottratta all'area totale ed il perimetro bagnato viene incrementato tenendo conto che la corrente è in contatto con la struttura del ponte. In caso di moto subcritico l'integrazione del profilo procede con un metodo iterativo da valle verso monte, viceversa, nel caso di moto supercritico, il calcolo del profilo procede da monte verso valle. Le perdite di carico tra le due sezioni successive vengono calcolate con un analogo procedimento iterativo e sono in diretta dipendenza con la scabrezza dell'alveo. In altre parole la risoluzione dell'equazione richiede la definizione del coefficiente di Manning e dei coefficienti di espansione e contrazione. Nei casi in cui il profilo libero dell'acqua passa attraverso la profondità critica,

l'equazione dell'energia non è più applicabile. L'equazione dell'energia può essere infatti risolta solo in condizioni di moto gradualmente variato, mentre il passaggio da regime supercritico a subcritico, o viceversa, rappresentano condizioni di moto rapidamente variato;

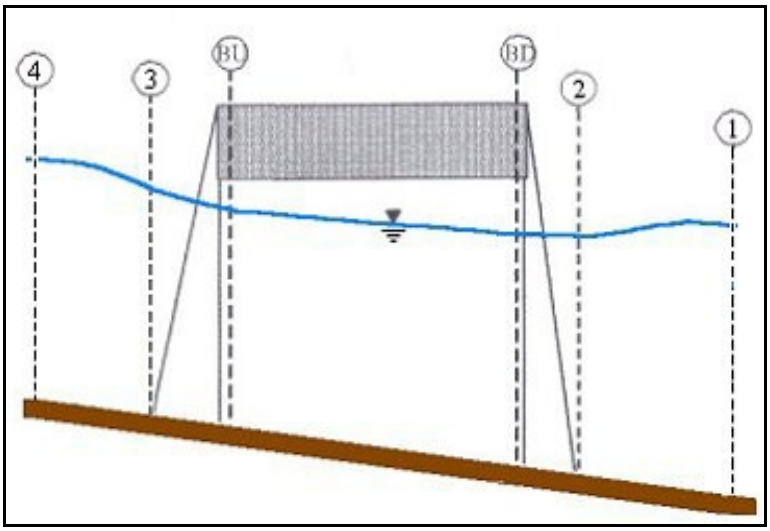


Figura 9: Rappresentazione delle sezioni utilizzate per il calcolo del profilo di rigurgito attraverso i ponti

- *il metodo del bilancio dei momenti:* applicato nel caso di moto rapidamente variato. Questo metodo opera, in tre step successivi, un bilancio sui momenti tra la sezione 2 e la sezione BD, tra la sezione BD e la sezione BU, quindi tra le sezioni BU e 3. Esso richiede, come il metodo precedente, l'utilizzo del coefficiente di scabrezza di Manning, ma necessita della definizione di un coefficiente di resistenza empirico C_D relativo alla forma della pila. I parametri vengono utilizzati per il calcolo della forza esercitata dall'acqua sulle pile, per il calcolo della separazione del flusso d'acqua e per il rigurgito a valle della pila. L'equazione non può essere utilizzata qualora il pelo libero entri in contatto con l'intradosso del ponte.

- *formula di Yarnell (1934):* è un'equazione empirica applicabile solo nel caso di corrente lenta in regime subcritico, che calcola le variazioni del pelo libero tra la sezione immediatamente a valle del ponte (**Figura 9**, sezione 2) e la sezione immediatamente a monte (**Figura 9**, sezione 3). Il metodo è piuttosto sensibile alla forma delle pile, quindi al coefficiente *K*, all'area occupata dalle stesse e alla

velocità dell'acqua attraverso il ponte;

- Modellazione della *junction*: nel codice di calcolo utilizzato, la confluenza tra due corsi d'acqua è modellabile mediante l'opzione *junction.* Nel caso in esame, l'immissione del rio Santo nel torrente Quazzola è stata modellata utilizzando l'equazione della quantità di moto, che richiede anche la definizione dell'angolo tra il ramo principale ed il ramo secondario;

- Regime di moto e condizioni al contorno: definite le geometrie, resta da stabilire il tipo di regime di moto con cui effettuare il calcolo del profilo di rigurgito. Poiché non è possibile ipotizzare a priori un regime prettamente subcritico o supercritico per tutta la lunghezza del tratto d'alveo considerato, la scelta è ricaduta su un regime di moto di tipo misto, che richiede la definizione delle condizioni al contorno sia di monte che di valle.

La scelta delle condizioni al contorno è necessaria per determinare l'altezza che il pelo libero raggiunge in alveo. Nel caso in esame, è stata impostata, come condizione al contorno di monte la profondità di moto uniforme, mentre a valle la condizione al contorno viene automaticamente impostata dalla presenza della *junction*;

- Franchi di sicurezza idraulici: tutte le opere idrauliche presenti in alveo devono garantire franchi adeguati rispetto al livello di piena previsto per la portata duecentennale. Alla loro valutazione devono concorrere considerazioni sia relative all'opera ed alla sua rilevanza determinata anche dalla vulnerabilità delle zone limitrofe, sia relative alle caratteristiche cinetiche della corrente, con la distinzione dei casi di correnti lente e di correnti veloci.

Per i corsi d'acqua appartenenti al reticolo idrografico principale e secondario i franchi non devono essere inferiori al valore maggiore tra (v. Allegato 3 alla Normativa di Piano) il carico cinetico della corrente (determinabile come $U^2/2g$) ed i valori riportati nella sottostante tabella. I due valori indicati in tabella fanno riferimento a bacini poco dissestati con modesto trasporto solido (valore inferiore) ed a bacini molto dissestati con forte trasporto solido in caso di piena (valore superiore).

argini e difese spondali	cm **50**/100
ponti e strutture di attraversamento fino a estensioni longitudinali di m 12	cm **100**/150
coperture o tombinature, ponti e strutture di attraversamento di estensione oltre m 12	cm **150**/200

Nel caso in esame, per quanto detto ai paragrafi precedenti e per quanto indicato nella relazione geologica a firma del dott. Geol. Dario Costantini, il bacino del rio Santo risulta classificabile come poco dissestato con previsione di un trasporto solido contenuto.

Pertanto nelle modellazioni idrauliche e nella successiva definizione geometrica delle nuove opere proposte si è tenuto conto dei valori inferiori relativi ai franchi idraulici previsti dalla normativa.

PROPOSTA PROGETTUALE DI INTERVENTO E COMPATIBILITA' IDRAULICA

La proposta progettuale volta all'adeguamento idraulico del tratto terminale del rio Santo si compone di diversi interventi, di seguito elencati a partire dallo sbocco nel torrente Quazzola (cfr. tavole di progetto):

- reinalveazione della parte terminale del rio Santo (dalla progressiva +0,00 alla progressiva +82,00) mediante realizzazione di un nuovo canale in sinistra rispetto alla posizione attuale, e mantenimento dell'alveo attuale come viabilità. L'intervento prevede necessariamente la realizzazione di un nuovo sbocco nel torrente Quazzola con angolo di immissione maggiore rispetto all'attuale;
- costruzione di un nuovo by-pass stradale (tra le progressive +82,00 e +195,00) lungo la sponda destra del rio Santo, di congiunzione tra i due tratti di monte e di valle esistenti;
- realizzazione di un nuovo attraversamento del rio Santo al fine di garantire l'accesso all'immobile sito in sponda sinistra del corso d'acqua;

- inserimento di una vasca di sedimentazione immediatamente a monte del nuovo attraversamento di cui al punto precedente, dotata di briglia selettiva in profili metallici finalizzata all'intercettazione dei corpi flottanti;
- Innalzamento della sede stradale di Via Tecci di 1,30 m in corrispondenza dell'attraversamento sul rio Santo, con conseguente creazione di rampe di raccordo di pendenza adeguata.

La verifica idraulica relativa alla proposta di intervento è stata eseguita mediante il software HEC-RAS, utilizzando i valori di portata indicati nei paragrafi precedenti.

La modellazione di calcolo è stata effettuata ponendosi a favore di sicurezza nell'ipotesi di vasca di sedimentazione e briglia selettiva completamente colmate dai sedimenti, al fine di definire i franchi di sicurezza spondali nella configurazione geometrica più gravosa.

La verifica è avvenuta ipotizzando la **contemporaneità delle piene 200-ennali** su entrambi i corsi d'acqua. La contemporaneità delle piene duecentennali in corrispondenza della confluenza tra rio Santo e torrente Quazzola, utilizzata per il dimensionamento delle nuove opere di adeguamento idraulico, si verifica in concomitanza di eventi piovosi intensi aventi durata minima pari al tempo di corrivazione del bacino del torrente Quazzola (2,25 h). Si tratta quindi di un evento che ha una propria probabilità di accadimento, e non può essere escluso a priori, essendo inoltre il bacino idrografico del rio Santo ricompreso nel bacino del torrente Quazzola: un evento meteorico che interessa il bacino del torrente Quazzola coinvolgerà ragionevolmente anche il bacino del rio Santo, determinando quindi il raggiungimento dei livelli di portata duecentennali su entrambe le aste fluviali.

La concomitanza delle piene duecentennali, tuttavia, rende particolarmente gravoso il dimensionamento delle strutture previste dal progetto proposto secondo la vigente normativa idraulica, a causa degli elevati livelli idrici raggiunti nell'alveo del rio Santo in corrispondenza della confluenza. I due corsi d'acqua, infatti, presentano valori di portata 200-ennali che si differenziano di due ordini di grandezza.

I risultati completi della modellazione sopra descritta (riportati nell'**Allegato 1** in termini di sezioni, tabelle e

profilo longitudinale), evidenziano infatti come, a causa della notevole differenza tra le portate dei due corsi d'acqua, il livello idrico che si instaura nell'alveo del torrente Quazzola sia tale da determinare un consistente rigurgito delle portate sul rio Santo con conseguente rallentamento della corrente ed innalzamento del pelo libero. In particolare si osserva il deflusso in pressione della portata 200-ennale in corrispondenza dell'attraversamento di via Tecci così come dimensionato nella configurazione di progetto proposta, nonostante l'innalzamento del piano stradale rispetto alla quota attuale che tuttavia risulta il massimo possibile. La definizione geometrica del nuovo attraversamento, infatti, deve necessariamente soddisfare, oltre i criteri di sicurezza idraulica, anche le norme relative alla sicurezza stradale. Non risulta pertanto raccomandabile realizzare un dosso di altezza superiore a quanto previsto nel progetto (+1,30 m rispetto alla quota del piano viabile attuale), al fine di evitare un inaccettabile incremento del livello di rischio legato alla circolazione stradale. Risulta infine fondamentale garantire anche un accesso sicuro alle proprietà private che si affacciano su via Tecci.

Si sottolinea come l'attraversamento di via Tecci rappresenti l'unica criticità residua. Per quanto riguarda invece le altre nuove opere previste dal progetto (muri d'argine, nuovo attraversamento di monte), queste risultano dimensionate in modo da soddisfare i criteri richiesti dalla normativa.

La realizzazione del nuovo attraversamento, tuttavia, rappresenta un evidente miglioramento delle condizioni di deflusso delle portate del rio Santo, come dimostrato dalle ulteriori analisi idrauliche effettuate. La modellazione è stata infatti implementata valutando la risposta della confluenza ad eventi di piena caratterizzati da diverse combinazioni di portate sui due corsi d'acqua, in particolare:

- *caso 1:* la verifica è stata eseguita considerando la *portata 200-ennale sul rio Santo*, mentre per il torrente Quazzola la portata è stata valutata dal confronto tra gli dell'idrogrammi di piena considerando un tempo pari al tempo di corrivazione del rio Santo (0,30 h). Tale configurazione di prova simula l'accadimento di un evento meteorico di durata molto contenuta ma di elevata intensità in grado di causare la risposta immediata dei piccoli bacini (rio Santo).

  Gli idrogrammi di piena dei due corsi d'acqua, ipotizzati di forma triangolare (ipotesi comunque a

favore di sicurezza), sono riportati nella seguente **Figura 10**. Dall'analisi della suddetta figura, si osserva come, data la notevole differenza in termini di superficie tra i due bacini idrografici, quanto il rio Santo raggiunge il picco di piena 200-ennale, sul torrente Quazzola la portata si attesta intorno ai **37 m3/s** circa (corrispondente all'incirca ad una portata con tempo di ritorno ventennale). In tali condizioni, la verifica idraulica (i cui risultati sono riportati nell'**Allegato 2**) evidenzia come il livello idrico nell'alveo del torrente Quazzola si mantenga ad una quota tale da non influire sul deflusso del rio Santo, anche grazie alla differenza di quota di cira 1,80 m tra il fondo alveo del rio Santo e del torrente Quazzola.

In questa configurazione, pertanto, il nuovo attraversamento di via Tecci risulta assolutamente verificato dal punto di vista idraulico;

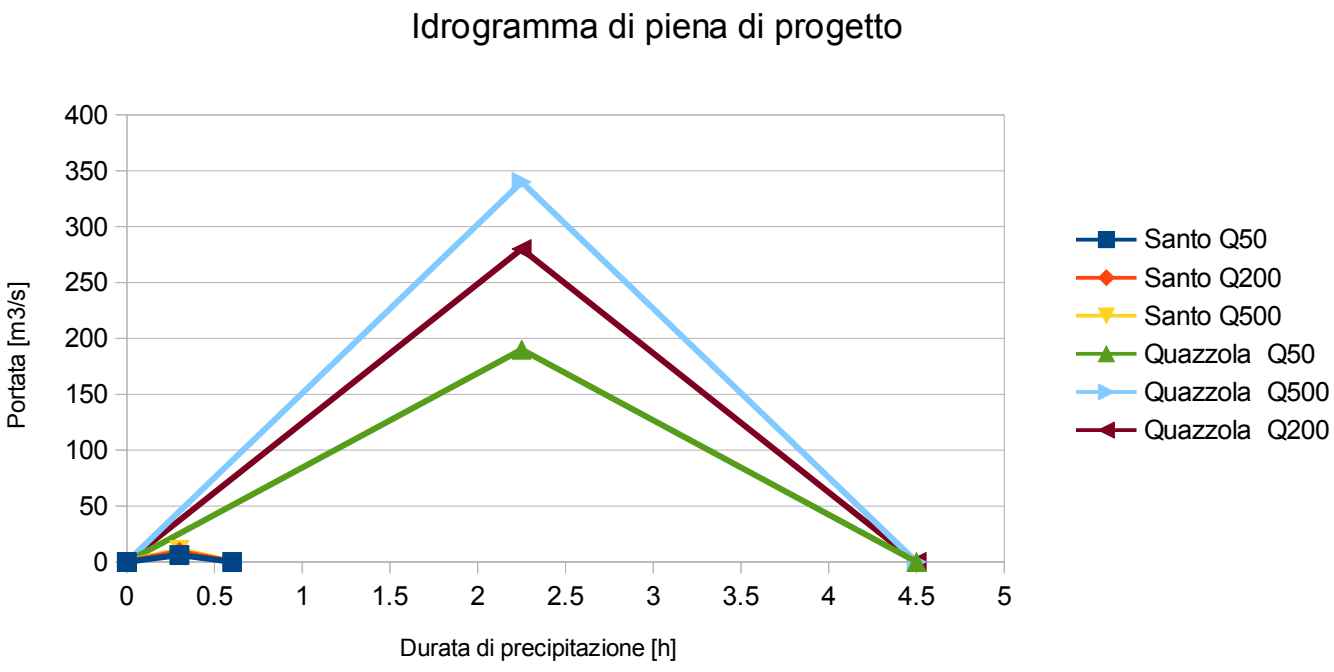


Figura 10: Idrogrammi di piena triangolari torrente Quazzola - rio Santo

- *caso 2:* il secondo caso di studio ha analizzato la risposta della confluenza nell'ipotesi che sul rio Santo si instauri la portata 200-ennale, mentre sul torrente Quazzola si verifichi la piena 50-ennale. In tale configurazione (i cui risultati sono riportati nell'**Allegato 3**), i livelli idrici raggiunti sono tali da garantire il rispetto del franco idraulico di sicurezza richiesto dalla normativa anche in corrispondenza dell'attraversamento di via Tecci.

L'insieme degli interventi proposti garantirà un deciso miglioramento delle condizioni dei deflusso delle portate del rio Santo già in riferimento alla portata 50-ennale (cfr. **Allegato 1**), che risulterà ovunque contenuta in alveo. Ciò consentirà di predisporre una nuova perimetrazione delle fasce di inondabilità, con eliminazione della fascia A.

CONCLUSIONI

Allo stato attuale il tratto terminale del rio Santo, affluente di sinistra del torrente Quazzola, presenta pesanti criticità idrauliche dovute all'utilizzo di una parte dell'alveo come viabilità vicinale volta a garantire l'accesso ad abitazioni e terreni privati, nonché utilizzata come strada di avvicinamento alle pile di sostegno del viadotto “Passeggi” dell'autostrada A6 Torino -Savona.

L'utilizzo improprio dell'alveo fluviale, unitamente alla presenza di elementi a rischio (quali abitazioni e vie di comunicazione) determina l'esistenza di un **rischio idraulico molto elevato**.

La configurazione progettuale proposta, volta all'adeguamento idraulico del tratto terminale del rio Santo finalizzato alla mitigazione del rischio idraulico, consentirà di **eliminare gran parte delle criticità attualmente presenti**. In particolare, sarà garantita la **totale separazione tra corso d'acqua e viabilità comunale**, che attualmente risultano pericolosamente interferenti, mediante reinalveazione del tratto terminale del rio fino alla confluenza con il torrente Quazzola. Tale soluzione risulta l'unica perseguibile, in quanto la creazione di una nuova strada alternativa a quella esistente risulta impossibilitata dall'orografia dei luoghi e dalla presenza di edifici, a cui peraltro è necessario garantire un accesso carrabile.

Il dimensionamento delle nuove opere afferenti al rio Santo, avvenuto com'è prassi sulla base dell'ipotesi di concomitanza delle portate 200-ennali su entrambi i corsi d'acqua, ha consentito di ottenere il **rispetto della normativa idraulica per quanto riguarda i franchi idraulici arginali ed in corrispondenza del nuovo attraversamento di monte**. I valori dei franchi considerati risultano essere compatibili con l'ipotesi di **bacino ben sistemato**, con previsione di scarso trasporto solido in caso di evento alluvionale. Tale asserzione risulta assolutamente plausibile, date le caratteristiche geomorfologiche del bacino stesso. Il progetto prevede comunque la realizzazione di una **vasca di sedimentazione** immediatamente a monte del nuovo attraversamento previsto sul rio Santo, dimensionata in modo da captare un volume di sedimenti di circa 100 m^3 (pari cioè al volume annuo potenzialmente erodibile nell'ambito dell'intero bacino, determinato secondo le modalità descritte ai paragrafi precedenti). Al fine di mantenere il corretto funzionamento della

vasca si dovrà provvedere alla stesura di un piano di manutenzione che preveda la pulizia della vasca con cadenza almeno annuale e comunque dopo ogni evento di piena.

L'unica criticità idraulica residua permarrà in corrispondenza del nuovo attraversamento di via Tecci, ubicato in corrispondenza della confluenza tra rio Santo e torrente Quazzola. L'evidente differenza in termini di superficie tra i bacini idrografici dei due corsi d'acqua si traduce infatti in portate molto diverse, a parità di periodo di ritorno, nonché in tempi di risposta dei bacini decisamente differenti. Il deflusso delle portate del rio Santo risente in maniera inevitabile e molto pesantemente dei livelli idrici che si instaurano nell'alveo del torrente Quazzola. Di conseguenza, in corrispondenza del nuovo ponte di via Tecci, nonostante l'innalzamento della quota del piano viabile di 1,30 m rispetto allo stato attuale, non si ottiene il raggiungimento del franco idraulico di 1 m, a causa del rigurgito del pelo libero del rio Santo: il passaggio della portata 200-ennale avviene in pressione, senza tuttavia che si abbia l'esondazione della stessa.

Si sottolinea che **l'innalzamento dell'impalcato di via Tecci risulta il massimo possibile**, compatibilmente con la necessità di garantire un adeguato livello di sicurezza stradale, evitando quindi la realizzazione di dossi di altezza eccessiva che potrebbero causare un inaccettabile incremento del livello di rischio, oltre che problemi di raccordo geometrico con le quote circostanti. L'entità dell'innalzamento proposto costituisce un buon compromesso tra mantenimento della sicurezza stradale e compatibilità geometrica con le aree circostanti.

Si evidenzia inoltre come **il nuovo attraversamento**, pur non essendo verificato nell'ipotesi di contemporaneità delle portate 200-ennali, **garantisca comunque il transito della portata 200-ennale del rio Santo con adeguato franco di sicurezza nell'ipotesi che nel torrente Quazzola si verifichi la piena 50-ennale**. L'opera inoltre presenta un **interesse pubblico essendo parte della viabilità comunale e va pertanto obbligatoriamente conservata, non essendo possibile una sua delocalizzazione.**

Il rifacimento dell'attraversamento costituisce un deciso miglioramento delle condizioni di deflusso delle portate che, unitamente alla realizzazione degli altri interventi proposti, garantirà la concreta mitigazione del rischio idraulico e consentirà di ridefinire la mappatura delle fasce di inondabilità afferenti al rio

Santo.

Dato il permanere di un rischio residuo, sarà comunque necessario provvedere alla predisposizione di specifiche norme di protezione civile a tutela della pubblica e privata incolumità in occasione dell'emanazione di stati di allerta meteo da parte delle autorità competenti.

Per quanto sopra detto, il progetto proposto risulta compatibile con l'**art. 10 della Normativa di Piano di Bacino**, nonché con l'allegato alla **D.G.R. 1321/2015**.

Savona, Marzo 2017

IL TECNICO

Ing. Roberto Desalvo

ALLEGATO 1

ALLEGATO 2

ALLEGATO 3