REGIONE LIGURIA
Dipartimento Programmi Regionali,
Porti, Trasporti, Lavori Pubblici ed Edilizia
Settore Progetti Infrastrutture Viabilità
Porti e Logistica

Anas S.p.A.
Direzione Centrale Progettazione

InfrastruttureLiguria
GRUPPO FILSE

CONVENZIONE DEL 14 SETTEMBRE 2009 TRA REGIONE LIGURIA E INFRASTRUTTURE LIGURIA S.R.L. PER LA REALIZZAZIONE DI ATTIVITÀ PER L'ATTUAZIONE DEL PROGRAMMA DI STUDI E PROGETTAZIONI INFRASTRUTTURALI STRATEGICHE

Oggetto:

VARIANTE DI TRACCIATO ALLA S.S.1 AURELIA – CAPO NOLI

PROGETTO DEFINITIVO

Titolo:

RELAZIONE IDROLOGICO - IDRAULICA

Doc. n: 02A\DEF\IDR\R001

Rev.	Data	Sez.	Pag.	Redatto	Controllato	Approvato	Descrizione
1	15/11/2011	*3*	*39*	EB	FB	SB	Per Emissione
2	15/06/2012	*3*	*30*	EB	FB	SB	Per Emissione
3	15/04/2013	3	*27*	FB	FB	SB	Per Emissione

Spazio riservato alla codifica ANAS

CODICE PROGETTO	CODICE ELABORATO	RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
DP GE05 D 11 01	T 00 ID 00 IDR RE 01	*Ing. Nicola Dinnella*

INDICE

1 PREMESSA 3

1.1 OGGETTO DELLA RELAZIONE 3

1.2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO 5

1.2.1 Autorità di Bacino 5

1.2.2 Linee guida ANAS 6

2 RIO PRETE BERNARDINI 8

2.1 DESCRIZIONE DELLO STATO DI FATTO 8

2.2 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI IN PROGETTO 10

2.3 ANALISI IDROLOGICA 11

2.4 ANALISI IDRAULICA 13

2.4.1 Premessa 13

2.4.2 Profilo di moto permanente 13

3 SISTEMA DI RACCOLTA E SMALTIMENTO DELLE ACQUE 16

3.1 SCENARI DI RIFERIMENTO ASSUNTI A BASE DELLA PROGETTAZIONE 16

3.1.1 Contributo meteorico 16

3.1.2 Sversamento accidentale 16

3.1.3 Incendio 16

3.1.4 Lavaggio 17

3.2 ACQUE DI PIATTAFORMA 17

3.2.1 Acque di percolazione e di drenaggio dell'arco rovescio 18

3.3 DIMENSIONAMENTI IDRAULICI 19

3.3.1 Elementi di captazione 19

3.3.2 Collettori 22

3.4 RACCOLTA ACQUE DI SCARPATA 22

3.5 VASCA DI SICUREZZA 23

APPENDICI:

Appendice - CODICE DI CALCOLO

1 PREMESSA

1.1 OGGETTO DELLA RELAZIONE

Nell'ambito della convenzione del 14 settembre 2009 tra Regione Liguria e Infrastrutture Liguria S.r.l., finalizzata alla realizzazione di attività per l'attuazione di programmi di studio e progettazioni infrastrutturali strategiche, in data 1 ottobre 2009 Infrastrutture Liguria è stata incaricata dalla Regione Liguria della progettazione della "Variante di Tracciato alla S.P.1 Aurelia – Capo Noli" finalizzata a bypassare l'area di Capo Noli oggetto di recenti dissesti geologici.

La fragilità di tale segmento di Aurelia, che unisce i Comuni di Noli e Finale, ha imposto periodi di chiusura che isolano i due comuni richiedendo alla popolazione residente e ai turisti pronunciati sforzi per la mobilità quotidiana lungo percorsi collinari lunghi e poco agevoli oppure l'utilizzo del percorso autostradale a pagamento.

L'iniziativa della Regione Liguria nasce quindi dalla esigenza, fortemente sentita a livello locale, di garantire la transitabilità in sicurezza del tratto di Aurelia che attraversa Capo Noli interessato da eventi franosi, e da un progetto di collaborazione tra Regione Liguria e la Soprintendenza per i Beni Archeologici per la Liguria per la valorizzazione paesistica del tracciato storico dell'Aurelia nel tratto ligure.

A seguito dell'analisi delle possibili opzioni di intervento, dato il contesto geomorfologico, il collegamento viario costiero esistente fra i comuni di Noli e Finale Ligure sarà costituito da una nuova galleria di attraversamento del capo che possa assicurare al contempo il superamento in sicurezza di Capo Noli in maniera efficace e costante nonché la salvaguardia del patrimonio storico culturale rappresentato da uno dei più suggestivi tratti di Aurelia esistente.

Nello specifico (vedi Figura 1 e Figura 2) mentre l'attuale tracciato corre lungo la costa ed è caratterizzato dalla sola galleria in corrispondenza di Capo Noli (peraltro di lunghezza limitata), la soluzione progettuale prevede il superamento di Capo Noli interamente in galleria con ingresso (lato Finale) in prossimità della località Malpasso, tracciato che si snoda verso nord/nord-ovest per tornare in superficie poco prima dell'abitato di Noli e nello specifico in prossimità di Villa Mayer e dell'hotel capo Noli, per una lunghezza complessiva del tratto in galleria pari a circa 1 km.

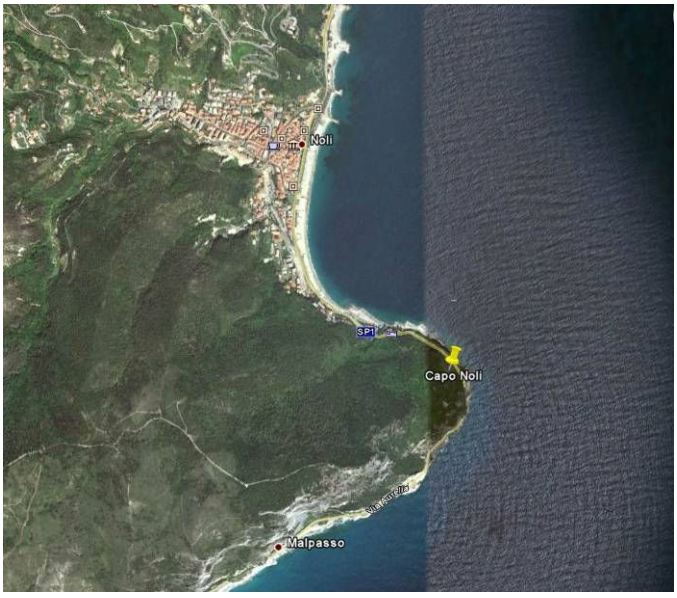


Figura 1: Vista dell'area oggetto di intervento (fonte Google Earth ™)

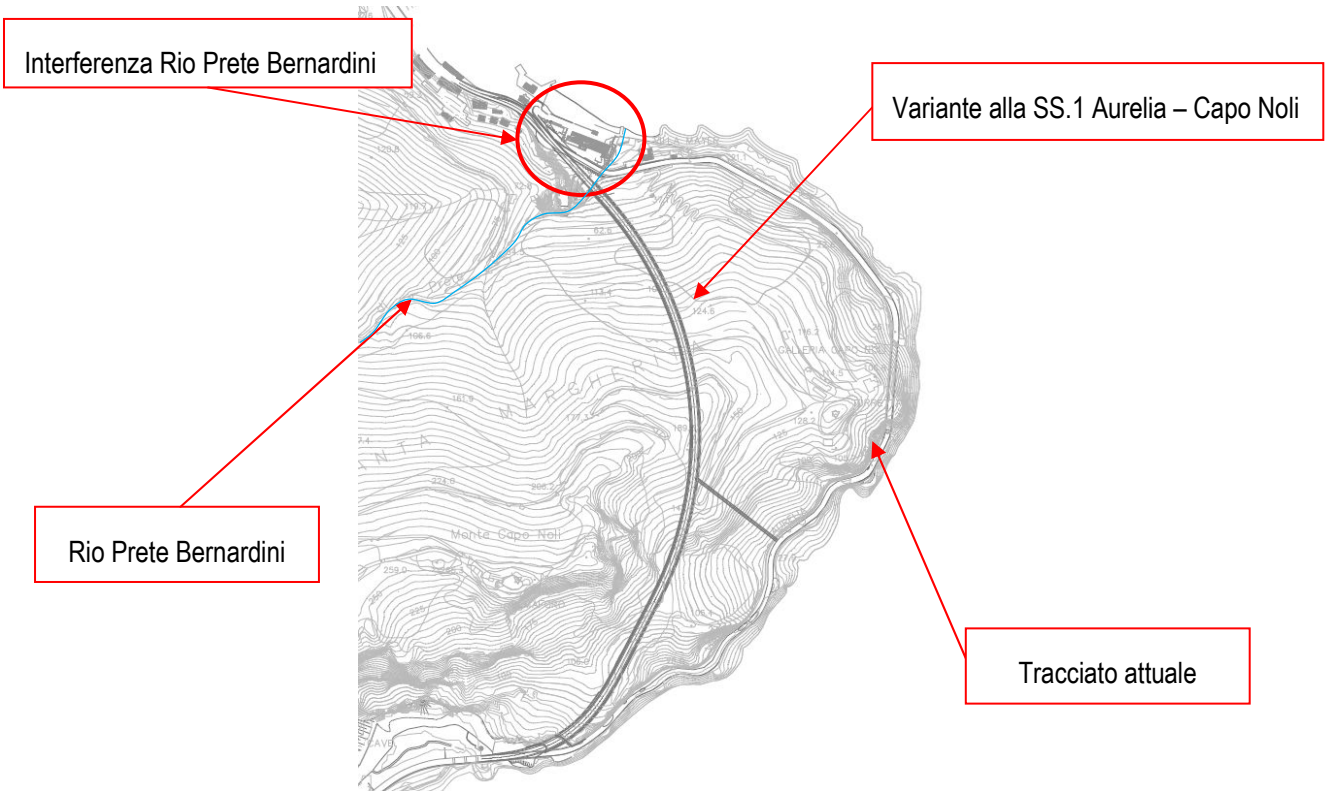


Figura 2: Comparazione tra l'attuale soluzione viabilistica e la variante in progetto

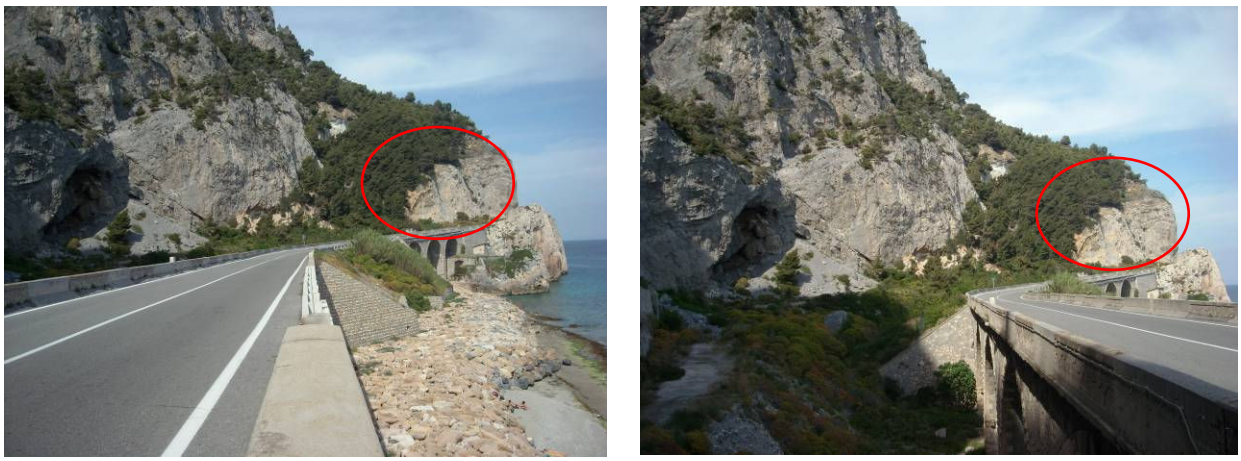


Figura 3: Nelle immagini il tracciato esistente che segue la linea di costa, evidenziata con contorno rosso la zona di ingresso della galleria prevista nella variante in progetto.

Nell'ambito della suddetta attività di progettazione definitiva la presente relazione ne costituisce l'analisi degli aspetti idrologici ed idraulici riscontrati, con particolare riferimento :

- alla risoluzione dell'interferenza idraulica rappresentata dal Rio Prete Bernardini (Cap. 2)
- alla raccolta e smaltimento delle acque di piattaforma per il tratto in galleria (Cap. 3).

1.2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

1.2.1 Autorità di Bacino

La Regione Liguria ha emesso il **Regolamento n. 3 del 14/07/2011** recante disposizioni in materia di tutela delle aree di pertinenza dei corsi d'acqua. Il Regolamento disciplina, ai sensi dell'art. 91 comma 1, lettera 1 bis della L.R. n. 18/1999 (Adeguamento delle discipline e conferimento delle funzioni agli enti locali in materia di ambiente, difesa del suolo ed energia) e dell'art. 115 del D.LGS. n. 152/2006 (Norme in material ambientale), le aree di pertinenza dei corsi d'acqua, in coerenza e in continuità con le previsioni dei piani di bacino.

Si riportano di seguito stralci degli articoli significativi ai fini del presente progetto.

Art. 3 - Definizioni

> *"Ai fini del presente regolamento valgono le seguenti definizioni:*
>
> *a) Reticolo idrografico regionale: reticolo idrografico che comprende tutti i corsi d'acqua presenti sul territorio regionale, ovvero quelli già iscritti agli ex elenchi delle acque pubbliche e quelli per i quali la declaratoria di pubblicità è intervenuta con l'entrata in vigore del D.P.R. 18 febbraio 1999, n. 238 (Regolamento recante norme per l'attuazione di talune disposizioni della legge 5 gennaio 1994, n. 36 in materia di risorse idriche). Il reticolo idrografico è articolato nei seguenti livelli:*
>
> *1) reticolo idrografico di primo livello: porzione del reticolo idrografico comprendente le aste fluviali con bacino sotteso con superficie maggiore di 1 Km^2;*
>
> *2) reticolo idrografico di secondo livello: porzione del reticolo idrografico comprendente le aste fluviali con bacino sotteso compreso tra 1 e 0,25 Km^2*
>
> *3) reticolo idrografico di terzo livello: porzione del reticolo idrografico comprendente le aste fluviali con bacino sotteso compreso tra 0,25 e 0,1 Km^2;*
>
> *4) reticolo idrografico minuto: porzione del reticolo idrografico regionale comprendente le aste fluviali non appartenenti alle articolazioni definite alle lettere precedenti:"*

Art.8 – *Tombinature e coperture*:

> *"Sui corsi d'acqua del reticolo idrografico regionale, ad esclusione del reticolo minuto, non sono ammesse le tombinature e coperture dei corsi d'acqua del reticolo significativo, né l'estensione di quelle esistenti, salvo il caso, previo parere della Provincia, di quelle dirette ad ovviare a situazioni di pericolo, a garantire la tutela della pubblica incolumità".*
>
> *"Le tombinature o coperture ammesse devono comunque garantire il deflusso della portata duecentennale con adeguato franco di sicurezza,come riportato nell'allegato 2. Devono, in ogni caso, essere previste adeguate dimensioni minime della sezione di deflusso, che consentano l'ispezionabilità e le necessarie attività di manutenzione, di norma non inferiori a:*
>
> - *2 x 2 metri per i corsi d'acqua del reticolo significativo definiti come principali e secondari;*
> - *3 m^2 per i corsi d'acqua del reticolo significativo definiti come minori.*
>
> *Resta ferma la possibilità per la Provincia, qualora ne ravveda la necessità, di prescrivere dimensioni superiori al fine di consentire manutenzioni anche con macchine operatrici o ovviare ad specifiche situazioni e problematiche.*

Alleagto 2 - *Franchi idraulici*

> *"Tutte le opere devono avere franchi adeguati rispetto al livello di piena previsto per la portata*

duecentennale, portata di riferimento per la progettazione di opere idrauliche od opere interferenti con l'alveo….

(a) Per i tratti di corsi d'acqua del reticolo di primo e secondo livello i franchi non devono essere inferiori al valore maggiore tra:

- *il carico cinetico della corrente determinabile come $U^2/2g$, dove U è la velocità media della corrente (m/s) e g è l'accelerazione di gravità (m/s^2) (valore particolarmente rilevante percorrenti veloci) e*
- *i valori per di seguito indicati:*

I. argini e difese spondali: *cm. 50/100*

II. ponti e similari fino a estensioni longitudinali di m. 10^6: *cm. 100/150*

III. coperture o tombinature (ove ammesse), ponti e similari oltre m. 10: *cm. 150/200*

ove i due valori estremi corrispondono rispettivamente a bacini poco dissestati con previsione di modesto trasporto solido ed a bacini molto dissestati con previsione di forte trasporto solido in caso di piena, e/o a bacini di maggiore o minore estensione.

Per le opere di cui al punto III, nel caso di modesta rilevanza dell'opera stessa e di bacini ben sistemati, il valore minimo del franco come sopra indicato può essere derogato dall'amministrazione competente fino a 100 cm.

(b) Per i tratti di corsi d'acqua del reticolo di terzo livello i franchi non devono essere inferiori al valore maggiore tra i seguenti:

- *il valore di 0,5 volte il carico cinetico della corrente determinabile come $U^2/2g$, dove U è la velocità media della corrente (m/s) e g è l'accelerazione di gravità (m/s2), e*
- *i valori per di seguito indicati:*

I. argini e difese spondali: *cm. 50*

II. ponti e similari fino a estensioni longitudinali di m. 10: *cm. 75*

III. coperture o tombinature (ove ammesse), ponti e similari oltre m. 10:cm. 100"

(c) Per i tratti di corsi d'acqua del reticolo minuto i più adeguati franchi potranno essere determinati in sede di autorizzazione idraulica sulla base della tipologia dell'opera, del suo inserimento territoriale, delle caratteristiche della corrente e delle potenziali conseguenze in caso di insufficienza al deflusso, prevedendo comunque un valore minimo di 30 cm per le arginature e di 50 cm per ponti, attraversamenti e tombinature.

1.2.2 Linee guida ANAS

Per quanto riguarda gli indirizzi tecnici e legislativi connessi allo smaltimento delle acque in galleria, ci si è riferiti alle vigenti "*Linee guida per la progettazione e realizzazione della sicurezza nelle gallerie stradali secondo la normativa vigente – Seconda edizione 2009*", con particolare riferimento al Cap. 3.1.1.6 di seguito riportato.

3.3.1.6 Sistema di drenaggio

Il sistema di drenaggio della piattaforma stradale in galleria assume anche il ruolo di impianto di sicurezza.

Il suo dimensionamento deve garantire la rapida intercettazione e l'allontanamento dei liquidi defluenti in carreggiata, siano essi oli e liquidi infiammabili originati da sversamenti accidentali, reflui dei lavaggi,

reflui dell'impianto antincendio, acque di percolazioni o infiltrazione, nonché acque meteoriche in prossimità degli imbocchi.

Sulla piattaforma all'interno delle gallerie non è utilizzabile asfalto drenante oltre 50 m dagli imbocchi.

La rete idraulica di raccolta e smaltimento delle acque di piattaforma deve essere separata dal sistema di raccolta dei drenaggi a tergo del rivestimento definitivo, ove previsto, con collettori disposti in prossimità dei margini della carreggiata al fine di agevolare le operazioni di manutenzione ordinaria e straordinaria. Il progetto della rete deve evitare il collettamento all'interno della galleria di drenaggi di piattaforma raccolti a monte in tratti stradali esterni alla galleria o in altre gallerie.

Le caditoie di raccolta, posizionate normalmente ad interasse non superiore a 25m, devono garantire anche l'ispezione e la manutenzione dei collettori di smaltimento. Deve, inoltre, essere attentamente valutata la necessità di installare caditoie munite di dispositivi atti ad evitare la propagazione della fiamma.

La necessità di installare vasche di intercettazione e/o accumulo a valle della rete di drenaggio della piattaforma, deve essere valutata in relazione anche al contesto ambientale ove inserita la galleria. Ove prevista, la vasca dovrà essere posizionata all'esterno della galleria in area ad accesso carrabile e garantire semplicità di ispezione e manutenzione. E' necessario valutare la necessità di installare sistemi di monitoraggio e controllo del livello idrico nelle vasche.

Se è autorizzato il trasporto di merci pericolose, il sistema di drenaggio deve essere progettato e mantenuto in funzione in modo da impedire la propagazione degli incendi nonché per intercettare rapidamente i liquidi infiammabili e tossici sversati sulla piattaforma stradale, riducendone la propagazione all'interno della canna. Le caditoie dovranno essere dotate di dispositivi anti-fiamma e dovrà essere prevista una vasca di intercettazione e accumulo.

2 RIO PRETE BERNARDINI

2.1 DESCRIZIONE DELLO STATO DI FATTO

L'intervento interferisce con il reticolo idrografico superficiale unicamente in prossimità dell'imbocco lato Noli, dove il tracciato stradale, attuale e di progetto, interseca perpendicolarmente la tombinatura del rio Prete Bernardini.

Il rio, classificato come secondario ai sensi della D.G.R. 1360 del 19.11.2010, e con sbocco diretto a mare, è individuato fra i corsi d'acqua significativi nella Cartografia Catastale 1:5000 della Regione Liguria, mentre non rientra né nell'elenco delle acque pubbliche del territorio della Provincia di Savona né fra quelli indagati dal Piano di Bacino.

Il suddetto Rio (vedi tavola I1 - "Corografia dei bacini") sottende un bacino a vocazione naturale in quanto prevalentemente boscato, dell'estensione di 0.311 km^2, fa quindi parte del reticolo idrografico di secondo livello.

Il territorio del bacino è caratterizzato da una decisa predominanza di condizioni di substrato roccioso affiorante/subaffiorante al di sotto di coperture submetriche rispetto alle coperture sciolte, comunque di potenze modeste.

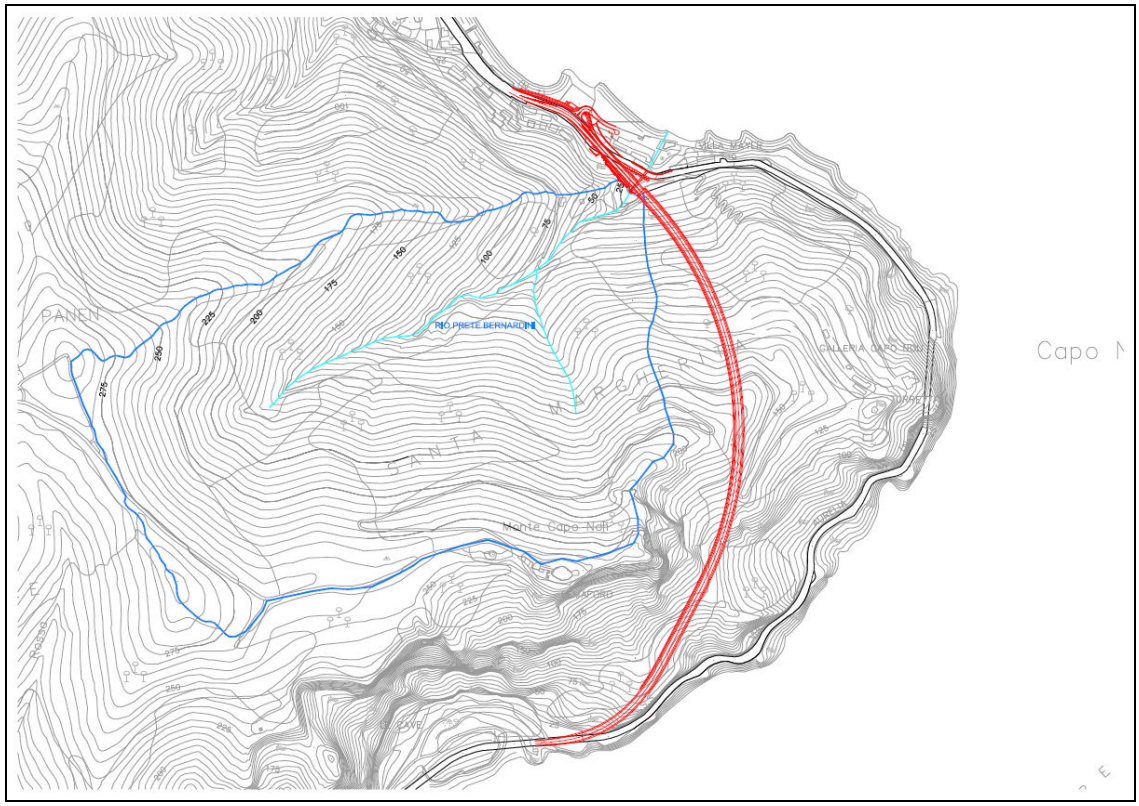


Figura 4: Corografia del rio Prete Bernardini

Il rio Prete Bernardini nasce a quota 120 m s.l.m. scorre con direzione SO-NE per ricevere, dopo circa 300 m le acque del tributario di sponda destra, prosegue quindi mantenendo le stesse caratteristiche di naturalità e con la medesima direzione per circa 180 m.

Nell'ultimo tratto a monte della S.S.1 l'alveo del corso d'acqua perde di fatto consistenza, che coincide in parte con i camminamenti di un complesso ricreativo in abbandono (cfr Figura 5), e giunto in prossimità dell'attuale

tracciato dell'Aurelia a quota 14,00 s.l.m. supera tale interferenza con una tombinatura di lunghezza pari a circa 15 m posta ad una quota di circa 2 m dal piano stradale. L'attuale tombinatura è costituita da un manufatto a volta, largo ca 100 cm e di altezza in chiave pari a 85 cm. L'opera di captazione delle acque, che allo stato attuale defluiscono liberamente nell'area semipianeggiante utilizzata come parcheggio privato, è costituita da un pozzo verticale sormontato da una griglia.

Il rio prosegue quindi verso mare con un breve tratto a cielo aperto con una sezione del tutto irregolare (tra l'altro in buona parte occupata da depositi di vario genere) fra l'Hotel Capo Noli ed il muro perimetrale della Villa Mayer, per venire finalmente convogliato in un collettore di piccolo diametro (cfr. Figura 6) fino allo sbocco a mare.



Figura 5: Nella foto di sinistra tratto a cielo aperto del rio prete Bernardini (vista da monte), nell'immagine di destra tratto terminale del rio tra il muro di villa Mayer e l'hotel capo Noli (vista da nord)



Figura 6: Nella foto di sinistra canalizzazione del rio tra il muro di villa Mayer e l'hotel capo Noli (vista da valle) nell'immagine di destra lo sbocco a mare tramite tubazione (vista da monte).

2.2 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI IN PROGETTO

Gli interventi di sistemazione in progetto prevedono:

1. la realizzazione di un nuovo manufatto di convogliamento delle acque di versante, oggi disperse lungo il tratto antropizzato, con funzione anche di vasca di sedimentazione / controllo del trasporto solido;
2. La sostituzione del tratto attualmente tombinato con un attraversamento funzionale ai nuovi ingombri trasversali delle opere in progetto;
3. il rifacimento del tratto a cielo aperto nell'area compresa tra il muro di delimitazione di villa Mayer e l'Hotel Capo Noli, compreso il tratto finale di attraversamento della struttura sottostante l'area piscina della villa e lo sbocco a mare.

Di seguito la descrizione in dettaglio delle opere sopra menzionate (vedi tavole I2 – "Sistemazione rio Prete Bernardini – Planmimetria" e I3 – "Sistemazione rio Prete Bernardini – Profilo e sezioni").

Gli interventi sono finalizzati in primo luogo alla reinalveazione del rio Prete Bernardini, che viene intercettato in corrispondenza del nuovo muro di delimitazione della variante, ca. 10 metri a nord rispetto all'imbocco della galleria lato Noli. Il manufatto di convogliamento è costituito da un imbocco a pianta semiesagonale che nel lato a monte è dotato di una canale (largo un metro) che raccoglie i contributi dei due canali di gronda (in destra ed in sinistra idraulica) che permettono il controllo delle acque di ruscellamento sulla scarpata. Tale manufatto ha inoltre funzioni di sedimentatore e di trattenuta del materiale flottante / grossolano che viene fermato da una batteria di pali in acciaio (profili a sezione circolare con D=200 mm). Tale manufatto è poi dotato di una gàveta centrale dimensionata per il transito della portata due centennale di riferimento (vedi Cap.2.3).

A valle del manufatto di imbocco la portata liquida viene quindi convogliata nel tratto di attraversamento attraverso un immissione opportunamente sagomata e raccordata, che prevede anche una zona di accumulo e sedimentazione come richiesto da ANAS. Occorre qui precisare che l'intervento in questione costituisce l'adeguamento della tombinatura esistente alle nuove esigenze viabilistiche ed alla portata di riferimento, per la quale si sono tenute in debito conto le prescrizioni di cui al Regolamento. L'adeguamento prevede una sezione rettangolare di dimensioni nette interne pari a 2.50 x 2.50 m, che consente il transito della portata di piena con tempo di ritorno duecentennale con un franco di sicurezza di 150 cm (nello specifico lo scatolare è dotato di pendenza longitudinale pari all' 1.7% per una lunghezza di 34.30 m ed una pendenza del 3.5% nel tratto terminale per una lunghezza di 1.83 m). E' inoltre previsto un pozzetto per l'areazione e l'accesso dei mezzi per la manutenzione, protetto da un grigliato in acciaio.

A valle dell'attraversamento dell'attuale sede stradale della S.S.1, è previsto un tratto di raccordo dalla sezione rettagolare a quella a cielo aperto, con larghezza che passa da 2.50 a 2.00 m in corrispondenza della rampa carrabile a servizio dell'Hotel Capo Noli. Tale larghezza viene mantenuta fino al termine dell'intervento, mentre l'altezza delle sponde laterali è variabile in modo da raccordarsi con l'attuale quota del piano campagna.

In questo tratto sono previsti 5 salti di fondo in modo da mantenere la pendenza di progetto e contestualmente perdere quota fino allo sbocco a mare; una volta raggiunto il risvolto del muro di recinzione dell'area deposito/piscina di Villa Mayer (che attualmente costituisce un vero e proprio sbarramento frontale e conseguente ostacolo al deflusso) se ne prevede la demolizione parziale per ottenere una luce di dimensioni non inferiori a 2.00x1.97 m e quindi il passaggio all'interno di tale area che andrà liberata dagli ostacolo al deflusso, tornando di fatto ad essere parte dell'alveo. Tale soluzione consente, in altri termini, di ripristinare le "naturali" condizioni di deflusso e sbocco a mare del rio Prete Bernardini. All'interno dell'ultimo tratto non si operano interventi se non l'adeguamento in quota della soletta di fondo del canale ed in corrispondenza della parete lato spiaggia (su cui attualmente è posta la porta di accesso al deposito) si procederà in maniera analoga al muro lato monte, mediante demolizione parziale ad ottenere una luce di dimensioni non inferiori a 2.00x1.97 m. La pendenza in questo tratto sarà pari al 3.5% nel tratto che va dall'uscita dello scatolare al primo salto di fondo, per poi attestarsi sull' 1.7% fino all'uscita dall'area deposito/piscina di Villa Mayer.

L'intervento termina con lo sbocco a mare che verrà rivestito con massi di I e II categoria (peso non inferiore a 1.000 kg/cad) sagomati superiormente in modo tale da convogliare le acque del rio e contestualmente garantire la percorribilità della battigia.



Figura 7: Interventi di sistemazione del rio Prete Bernardini in progetto

2.3 ANALISI IDROLOGICA

Il Regolamento rimanda ai Piani di Bacino le valutazioni finalizzate alla redazione degli studi idraulici.

La Normativa di Piano del "Piano di Bacino Stralcio sul Rischio Idrogeologico della Provincia di Savona" riporta nell'Allegato 2 le indicazioni per l'applicazione delle metodologie per la determinazione delle portate di massima piena:

> *"I valori di portata al colmo di piena per tempi di ritorno T = 200 anni ed altri tempi di ritorno rilevanti nel bacino (almeno T = 50 e T= 500 anni) fanno riferimento ai valori indicati nella Relazione generale del*

Piano (Rif. Idrologia di Piena).

Per i tratti non indagati e non riportati in relazione si farà riferimento allo Studio sulla caratterizzazione spaziale delle piogge intense e la regionalizzazione delle portate dei corsi d'acqua liguri realizzato dal C.I.M.A dell'Università di Genova per conto della Regione Liguria e datato 1999 (riferimento Provincia di Savona Settore Difesa del Suolo).

Il valore delle portate determinate con il metodo C.I.M.A. per i piccoli bacini (area compresa tra 0 e 10 Km²) dovrà essere corredato dell'indicazione di tutti i parametri utilizzati per il calcolo.

Il metodo C.I.M.A. suggerisce di adottare, per bacini aventi area minore di 2 chilometri quadrati, un contributo unitario costante pari a quello ottenuto con riferimento a superfici scolanti aventi area drenata pari a 2 chilometri quadrati ($U_{A=2}$). Pertanto il valore di portata per assegnato periodo di ritorno T è definibile come:

$$Q_T = K_T \cdot A \cdot U_{A=2} \; [m^3 s^{-1}],$$

nella quale A è la superficie drenata espressa in chilometri quadrati, $U_{A=2}$ è il contributo unitario per area pari a 2 chilometri quadrati, espresso in $m^3\ s^{-1}\ km^{-2}$, tabellato in funzione del tipo di bacino e della sua posizione geografica (vedi Tabella 1) e K_T è il fattore di frequenza delle portate, tabellato in funzione del periodo di ritorno T (vedi Tabella 2).

Tabella 1 Fattore di frequenza delle portate per i tempi di ritorno di interesse tecnico

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
7	57.5	7.77	6.49	4.97	4.36
8	0	7.90	6.59	5.05	4.43
8	2.5	8.02	6.70	5.12	4.50
8	5	8.14	6.80	5.20	4.57
8	7.5	8.27	6.90	5.28	4.64
8	10	8.39	7.00	5.36	4.70
8	12.5	8.51	7.10	5.43	4.77
8	15	8.62	7.20	5.51	4.84

Il bacino drenante è stato definito individuando gli spartiacque e ponendo la sezione di chiusura in corrispondenza della S.P. 1 Aurelia (vedi Figura 4 e tavola I1 - Corografia), ed ha un'estensione, come precedentemente riportato, di 0,311 km². Assumendo una longitudine del bacino pari a 8°2.5', ed essendo il bacino in esame caratterizzato da un grado di urbanizzazione pressoché nullo (tipologia di bacino D, vedi **Tabella 3**), si determina un contributo unitario U_A=2 pari a 4,50 metri cubi al secondo per chilometro quadrato. Il fattore di frequenza delle portate duecentennali è pari a 5,02.

Tabella 3: Classificazione dei bacini regionali

Tipo	Descrizione
A	Bacini di tipo residenziale, industriale o commerciale caratterizzati da un elevato grado di urbanizzazione. Estensione delle aree impermeabili superiore al 60%
B	Bacini caratterizzati da un medio grado di urbanizzazione. Estensione delle aree impermeabili compresa tra 30 e 60%
C	Bacini caratterizzati da un basso grado di urbanizzazione. Estensione delle aree impermeabili compresa tra 5 e 30%
D	Bacini caratterizzati da estesa copertura arborea. Estensione delle aree impermeabili inferiore al 5%

La portata duecentennale per il Bacino del Rio Prete Bernardini, stimata con il metodo C.I.M.A., risulta quindi essere pari a **7,02 m³/s**.

2.4 ANALISI IDRAULICA

2.4.1 Premessa

Per il caso oggetto di studio è stata predisposta una modellazione idraulica, mediante il codice di calcolo HEC-RAS River Analysis System, sviluppato dall'U.S. Army Corps of Engineering – Hydrologic Engineering Center (vedi Appendice) in regime di moto permanente, nel tratto del rio Prete Bernardini che va dal piede del manufatto di presa fino allo sbocco a mare. Il funzionamento idraulico del suddetto manufatto, anche in relazione alle osservazioni emerse in sede di validazione ANAS in data 21.03.2012, dovrà essere opportunamente valutato nelle successive fasi progettuali ricorrendo ad un modello fisico in modo da ottimizzare la dissipazione energetica e quindi l'avvio del deflusso nel tratto tombinato. L'ipotesi di abbassare il fondo del pozzo in modo da disporre di un volume morto per la raccolta dei sedimenti, avanzata dal validatore, appare inappropriata in relazione ai ridotti spazi in gioco al piede dell'opera di sostegno, alla conseguente possibilità di ostruzione dell'imbocco, nonché alle difficoltà esecutive che implicherebbero un costo ben maggiore, fatto salvo eventuali necessità dissipative.

Per la descrizione del corso d'acqua si sono inserite 24 sezioni in modo da descriverne il più accuratamente possibile l'andamento. Come valore di scabrezza si è utilizzato il coefficiente di Manning assunto pari a 0.0222 [$s \cdot m^{-1/3}$], corrispondente ad un K_s di Strickler di 45 [$\cdot m^{1/3} \cdot s^{-1}$], come da prescrizione normativa coerente con le prescrizioni del Regolamento.

2.4.2 Profilo di moto permanente

Per il calcolo del profilo in moto permanente sono state inserite nel modello le seguenti condizioni:

- una condizione iniziale assunta come portata alla sezione di monte (sezione -3), posta pari ad 7,02 [m^3/s]:
- una condizione al contorno di monte, ovvero la pendenza dello scatolare assunta pari a 1.7% (inserita alla sezione -3);
- una condizione al contorno di valle, ovvero la pendenza del tratto terminale pari a 1.7% (inserita alla

sezione -13).

Le simulazioni sono state condotte in condizione di moto "mixed flow". Questa opzione di calcolo permette infatti di descrivere meglio il comportamento della corrente in quanto consente di cogliere eventuali passaggi di stato tra corrente lenta e veloce mediante un continuo confronto tra le spinte idrauliche nelle sezioni di monte e di valle.

Si riporta di seguito il profilo del rio Prete Bernardini così ottenuto.

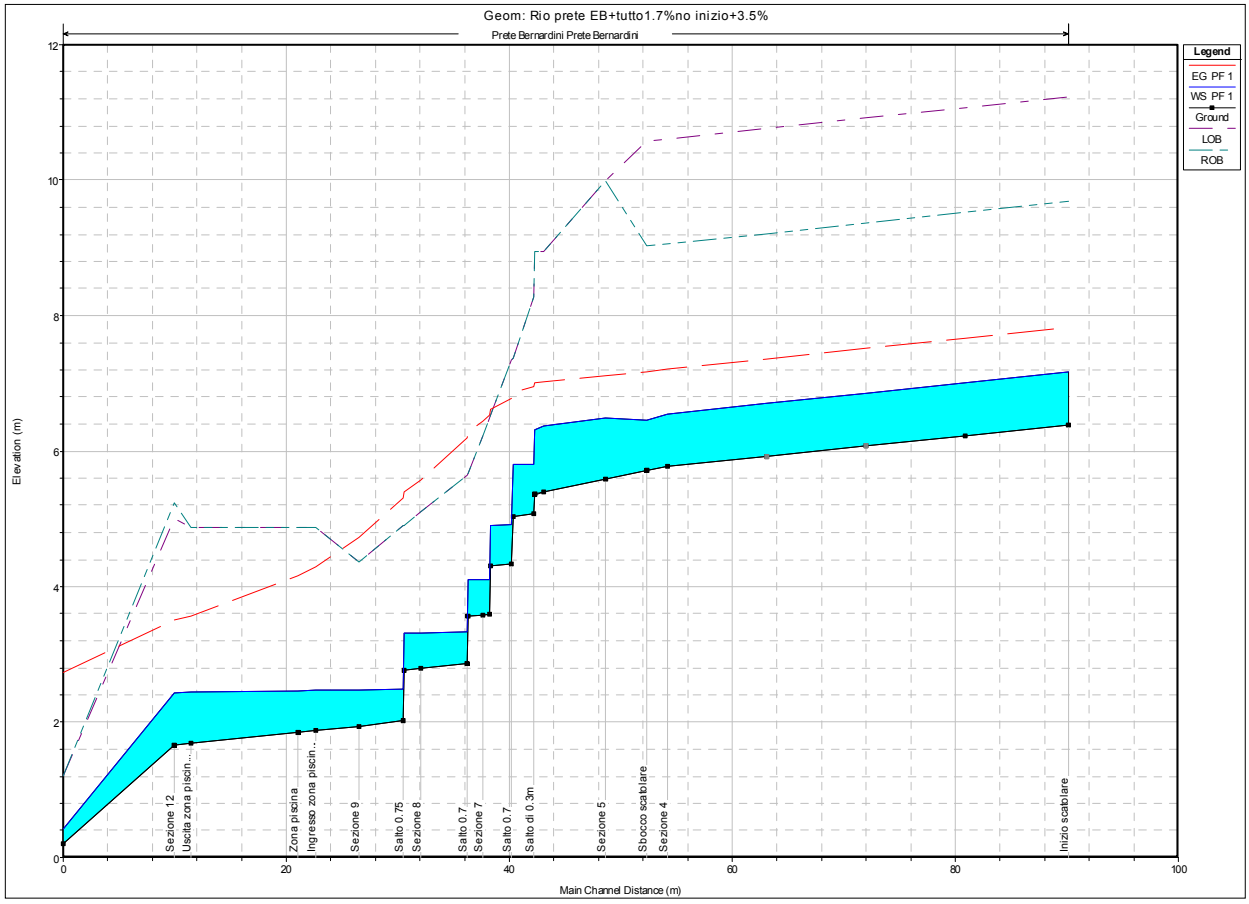


Figura 8: Profilo del rio Prete Bernardini in moto permanente

Tabella 4:Tabella riassuntiva della simulazione condotta in moto permanente

Sezione	Quota fondo	Quota pelo libero	Altezza di sponda	Franco	Velocità	Energia	N° Froude
	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m)	(m)	(m/s)	(m s.l.m.)	(-)
-3	6.39	7.17	2.50	1.72	3.60	7.83	1.30
-3.5	6.23	7.01	2.50	1.72	3.60	7.67	1.30
-4	5.77	6.55	2.50	1.72	3.61	7.21	1.31
-4.5	5.71	6.46	2.50	1.75	3.75	7.18	1.38
-5	5.58	6.49	4.41	3.50	3.50	7.11	1.18

Sezione	Quota fondo	Quota pelo libero	Altezza di sponda	Franco	Velocità	Energia	N° Froude
	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m)	(m)	(m/s)	(m s.l.m.)	(-)
-6	5.39	6.37	3.55	2.57	3.57	7.02	1.15
-6.35	5.36	6.31	3.58	2.63	3.71	7.01	1.22
-6.4	5.07	5.81	3.11	2.37	4.75	6.96	1.76
-6.46	5.04	5.81	2.34	1.57	4.56	6.87	1.66
-6.5	4.34	4.92	3.00	2.42	6.05	6.79	2.54
-6.9	4.30	4.91	2.23	1.62	5.79	6.61	2.37
-6.95	3.59	4.10	2.89	2.38	6.92	6.53	3.10
-7	3.58	4.10	2.94	2.42	6.79	6.45	3.01
-7.1	3.56	4.10	2.12	1.58	6.55	6.28	2.85
-7.7	2.86	3.33	2.79	2.32	7.51	6.20	3.50
-8	2.79	3.32	2.31	1.78	6.66	5.57	2.93
-8.2	2.77	3.31	2.14	1.60	6.39	5.40	2.75
-8.4	2.02	2.49	2.88	2.41	7.45	5.31	3.46
-9	1.94	2.47	2.43	1.90	6.66	4.73	2.93
-9.5	1.88	2.47	1.97	1.38	5.99	4.29	2.50
-10	1.85	2.46			5.77	4.16	2.36
-11.6	1.69	2.44			4.69	3.56	1.73
-12	1.66	2.42			4.60	3.50	1.68
-13	0.20	0.42			6.74	2.74	4.55

I risultati della simulazione evidenziano **che i franchi sono ovunque idonei ai sensi della normativa vigente** (vedi Cap. 1): in particolare, nel tratto tombinato il franco **è superiore ad 1,50 m**, mentre nel tratto a cielo aperto (a partire dalla sezione -4.5) il franco **risulta ampiamente superiore a 0,5 m richiesti da normativa**. Le velocità della corrente si mantengono sempre entro valori accettabili, anche se si è ritenuto opportuno prevedere il rivestimento del fondo in corrispondenza dello sbocco a mare. Per quanto riguarda **la cinetica risulta contenuta nello scatolare nel tratto di monte**, rispettando quanto richiesto, nonché inferiore alle sponde nel tratto a cielo aperto ad eccezione di un breve tratto tra le sezioni 7 e 9, in corrispondenza dei salti, dove eccede il valore di sponda di massimo 0,6 m.

3 SISTEMA DI RACCOLTA E SMALTIMENTO DELLE ACQUE

3.1 SCENARI DI RIFERIMENTO ASSUNTI A BASE DELLA PROGETTAZIONE

3.1.1 Contributo meteorico

Il contributo meteorico al sistema di smaltimento delle acque di piattaforma viene considerato ipotizzando un coefficiente udometrico pari a 300 l/s*ha uniformemente distribuito sull'intera area contribuente ad una data sezione di riferimento.

Sulla base del valore di portata ottenuto, vengono quindi dimensionati gli elementi di raccolta (area minima dell'elemento drenante, interasse) e la tubazione preposta al trasferimento sino al punto di recapito.

Nel caso specifico, il contributo meteorico al sistema di smaltimento delle acque di piattaforma non viene considerato per le aree di imbocco del tratto in galleria in quanto il profilo stradale di progetto prevede un colmo posizionato circa 100 m dall'imbocco lato Finale, che non consente pertanto alcun accumulo all'interno della galleria stessa.

Tale contributo viene viceversa considerato per i tratti di collegamento tra la galleria e la fine dell'intervento su entrambi i lati (Finale / Noli).

3.1.2 Sversamento accidentale

In caso di sversamento accidentale lo scenario peggiore è la fuoriuscita di liquido da un foro avente diametro 50 mm, una perdita in massa di liquido pari a 5.6 kg/s, equivalenti ad una portata liquida di 6.7 l/s (sostanza di riferimento gasolio con densità pari a 0.835 kg/l).

Tuttavia, al fine di adottare uno scenario ancora più cautelativo sono state considerate le seguenti ipotesi:

- volume nominale autocisterna: 30 m^3;
- volume liquido contenuto nell'autocisterna di riferimento: 24 m^3;
- tempo di svuotamento cisterna: 10 minuti;
- portata liquida di fuoriuscita dalla cisterna: 40 l/s.

Nel caso di semplice sversamento accidentale, ai fini del calcolo del massimo volume di sostanza pericolosa da ritenere all'interno della cisterna di accumulo (vasca di sicurezza, cfr Capitolo 0) prevista in fregio al sistema di trattamento in continuo delle acque di piattaforma, si considera un volume di 24 m^3.

Nel caso in esame, il contributo dato dallo sversamento accidentale viene considerato solo per il tratto in galleria, ad esclusione (come richiesto dal committente, anche in considerazione delle difficoltà tecniche nel posizionamento della vasca di sicurezza nella zona di imbocco galleria lato Finale) del breve tratto compreso tra il colmo della stessa e l'imbocco della galleria lato Finale.

3.1.3 Incendio

All'accadere di un evento con sviluppo di incendio si ipotizza l'utilizzo immediato e contemporaneo di n°3 idranti del sistema antincendio fisso presente in galleria (attacco UNI 45, portata di progetto pari a 168.05 l/min cad). La portata complessiva risulta quindi di 8.4 l/s, approssimata a 10 l/s a favore di sicurezza.

Inoltre, si ipotizza anche il concomitante sversamento di liquido infiammabile dalla cisterna secondo quanto riportato nel precedente paragrafo "Sversamento accidentale". Complessivamente, quindi, si ottiene una portata di "liquido sversato + acqua di spegnimento" pari a 50 l/s.

Tale valore di portata è stato adottato come riferimento per il dimensionamento del sistema di captazione ed allontanamento delle acque di piattaforma, considerando che tale portata debba poter essere captata interamente da due elementi consecutivi di captazione.

In questo scenario, ai fini del calcolo del massimo volume di sostanza pericolosa da ritenere all'interno della cisterna di accumulo si devono considerare i seguenti volumi:

- 24 m^3 presenti nella autocisterna "incidentata";
- 6 m^3 di acqua disponibile sui mezzi di soccorso dei vigili di del fuoco appositamente predisposti per l'intervento in ambienti confinati come la galleria;
- un ulteriore volume di riserva pari a 20 m^3.

Complessivamente, quindi, la vasca di sicurezza deve presentare un volume utile di accumulo pari a 50 m^3.

Vale quanto precisato al paragrafo precedente, relativamente al tratto di intervento su cui si prevede un sistema di raccolta e smaltimento di tipo "chiuso", con recapito costituito dalla vasca di sicurezza.

3.1.4 Lavaggio

Con riferimento allo scenario di manutenzione relativo alle operazioni di lavaggio periodico di carreggiata e pareti laterali della galleria si ipotizza l'utilizzo contemporaneo di n. 2 idranti con attacco UNI 45, ciascuno erogante una portata pari a 168.05 l/min. Complessivamente, quindi, essi erogano una portata pari a 336 l/min=6 l/s. Tale valore risulta molto ridotto se paragonato agli altri scenari sopra considerati.

3.2 ACQUE DI PIATTAFORMA

Il sistema di captazione delle acqua di piattaforma in galleria è costituito da griglie con relativi pozzetti sifonati come di seguito descritto (vedi tavola I4 – "Raccolta e smaltimento delle acque di piattaforma - Sezioni tipo e particolari").

Il pozzetto sifonato in galleria assume una valenza fondamentale in quanto, evitando il passaggio dell'aria, impedisce la propagazione dell'incendio lungo la tubazione, nel pieno rispetto di quanto prescritto dalle linee guida ANAS.

L'elemento di captazione, interamente contenuto in banchina, è costituito da un pozzetto prefabbricato in c.a. dotato internamente di un setto separatore che consente la realizzazione di due comparti separati da sifone:

- il comparto preposto alla raccolta è dotato di una griglia di presidio in ghisa sferoidale (classe D400) con superficie aperta disponibile per il deflusso delle acque pari a 703 cm^2;
- il comparto destinato all'ispezione sulla tubazione di collettamento (in polipropilene, DN250 mm) è dotato di chiusino in ghisa sferoidale Ø 600 mm (classe D400).

In caso di sversamento accidentale con incendio dei liquidi sversati, essi rimangono quindi confinati a monte (in senso idraulico) del comparto di ispezione sulla tubazione, evitando quindi il propagarsi dell'incendio all'interno di essa. E' evidente che tale sistema di compartimentazione funziona esclusivamente in presenza di acqua nel pozzetto, che permette l'attivazione del sifone idraulico: sarà pertanto indispensabile prevedere nel programma di manutenzione il lavaggio ordinario della galleria o analogo sistema di riempimento dei pozzetti, operazione da prevedere con cadenze temporali ravvicinate, specialmente in periodi siccitosi.

Poiché il pozzetto sifonato può trovarsi a funzionare anche in prossimità di un ipotetico focolare di incendio derivante dallo scenario di incidente in galleria, sarà cura del produttore dei pozzetti produrre idonea certificazione attestante il comportamento del calcestruzzo in relazione alle caratteristiche di resistenza al fuoco.

Per la raccolta delle acque di piattaforma in galleria è prevista l'installazione di un elemento di captazione come sopra descritto con passo medio pari a 25 metri, per un totale di 30 unità in tutta la galleria: più in particolare, saranno posizionate 28 griglie con relativo pozzetto lungo il ciglio ovest) e 2 lungo quello est (posizionati nel

tratto con pendenza trasversale a doppia falda).

Lungo entrambi i cigli sono previsti collettori per l'evacuazione all'esterno della galleria delle acque di piattaforma previsti mediante tubazione in polipropilene (classe di rigidezza SN 16 kN/m^2, a doppia parete corrugate esternamente e lisce internamente, prodotte secondo la norma europea EN 13476-3, DN 250 mm), fino al sistema di trattamento in continuo posta nei pressi dell'edificio servizi (vedi tavole I5 – "Raccolta e smaltimento delle acque di piattaforma - Profilo ciglio ovest" e I6 – "Raccolta e smaltimento delle acque di piattaforma – Vasca di sicurezza e recapito lato Noli") il raccordo tra le tubazioni avviene all'esterno dell'imbocco lato Noli è la tubazione sul ciglio est verrà collegata al ciglio ovest con un collettore sempre in polipropilene DN250 e con pendenza dello 1.0%.

Tale materiale presenta caratteristiche prestazionali particolarmente elevate sia a livello di resistenza all'attacco chimico, che a livello di resistenza meccanica. La scelta del massimo grado di rigidezza disponibile deriva dalla non elevata profondità di posa della tubazione per la presenza dell'arco rovescio. In tale configurazione, è infatti necessario offrire le massime garanzie in termini di assenza di cedimenti dovuti a deformazioni delle condotte.

Il sistema di giunzione si realizza tramite un bicchiere preformato ed integrato nella barra senza punti di saldatura avente la stessa rigidità del tubo SN16 kN/m^2. Il tubo deve essere rispondente alla Normativa UNI EN 13476-3 classe di rigidità SN16 kN/m^2 misurata secondo UNI EN ISO 9969, con marchio di conformità di prodotto rilasciato dall'Istituto Italiano dei Plastici IIP.

Il Tubo dovrà essere fornito in barre di lunghezza totale pari a 6 m, ogni barra sarà dotata di speciale guarnizione in EPDM secondo Norma UNI EN 681/1 WC.

Per quanto attiene la posa in opera delle condotte dovranno essere seguite puntualmente le istruzioni di installazione che saranno fornite dal il produttore dei tubi, unitamente alle indicazioni di progetto. In particolare, la superficie del letto di posa in corrispondenza dell'appoggio del tubo dovrà essere continua, liscia e priva di sassi o altri oggetti che potrebbero provocare sollecitazioni anormali per la tubazione.

Per quanto riguarda il sistema di captazione delle acqua di piattaforma all' esterno alla galleria in corrispondenza dei tratti di raccordo da entrambi i lati dell'intervento (vedi tavole I6 – "Raccolta e smaltimento delle acque di piattaforma - Vasca di sicurezza e recapito lato Noli" e I7 – "Raccolta e smaltimento delle acque di piattaforma - Recapito lato Finale"), la raccolta avviene per mezzo di canali grigliati di area minima di scorrimento pari a 367cm^2 (apertura minima della griglia 1260 cm^2) collegati al collettore di trasferimento, sempre in polipropilene: DN 250 mm (lato Noli - tratto da imbocco galleria a vasca di sicurezza, lato Finale tratto da imbocco a inizio intervento) e DN 300 mm (lato Noli - tratto da vasca di sicurezza a recapito finale).

A causa della non elevata profondità di posa, per le tubazioni nei tratti di raccordo da entrambi i lati dell'intervento, deve essere prevista l'adozione della classe di rigidità SN 16 kN/m^2, a doppia parete corrugate esternamente e lisce internamente, prodotte secondo la norma europea EN 13476-3.

I recapiti finali di tali collettori sono:

- lato Noli: il tombino esistente presso la sez. -8;
- lato Finale: l'attuale recapito, costituito dal terreno sottostante l'impalcato del viadotto esistente.

3.2.1 Acque di percolazione e di drenaggio dell'arco rovescio

Limitatamente al tratto in galleria è necessario provvedere alla raccolta e smaltimento delle acque di percolazione e di drenaggio dell'arco rovescio (vedi tavola I4 - "Raccolta e smaltimento delle acque di piattaforma – Sezioni tipo e particolari").

Nello specifico, le acque di percolazione (filtrazione attraverso le pareti della galleria) vengono raccolte su entrambi i lati della galleria mediante tubazioni in PE corrugato fessurato DE160 mm; ad interasse pari a 50 m si prevede il collegamento di tale tubazione con il collettore di collettamento in polipropilene DE200 mm posta al di

sotto dell'impronta della barriera laterale in un pozzetto di ispezione. In corrispondenza di tale immissione/ispezione si prevede quindi l'interruzione della sicurvia.

La raccolta delle acque di drenaggio dell'arco rovescio avviene mediante una tubazione in PE corrugato fessurato DE400 mm posta sul fondo ed al centro dell'arco rovescio stesso; il rinfianco della tubazione con materiale arido assicura la corretta filtrazione verso la tubazione. I pozzetti di ispezione su tale linea sono posti ad interasse di 100 m.

I recapiti finali di tali collettori sono:

- lato Noli: il rio Prete Bernardini (vedi Cap. 2);
- lato Finale: l'attuale recapito, costituito dal terreno sottostante l'impalcato in prossimità dell'inizio dell'intervento in progetto.

3.3 DIMENSIONAMENTI IDRAULICI

3.3.1 Elementi di captazione

Il dimensionamento degli elementi di captazione a servizio del sistema di smaltimento delle acque di piattaforma è stato svolto con un diverso approccio per il tratto in galleria e per il tratto di raccordo esterno

Per il tratto in galleria, infatti, si è ipotizzata la captazione dello sversamento da parte di due caditoie, e pertanto la capacità di drenaggio della griglia è riconducibile allo studio dello svuotamento di un serbatoio attraverso una luce a battente posta sul fondo. Applicando il teorema di Bernoulli ad una generica traiettoria che parte da un punto sufficientemente lontano dalla luce in modo da poter trascurare la velocità, e raggiunge un punto della sezione contratta in corrispondenza della luce, si ottiene la velocità di efflusso, meglio definita come velocità torricelliana:

$v = \mu (2 \cdot g \cdot h)^{1/2}$

dove h esprime il carico idrico sulla luce e μ il coefficiente di deflusso.

Dall'equazione della portata:

$Q = v \cdot A$

si ricava l'area A di efflusso minima del canale grigliato.

Nel caso specifico, ipotizzando una larghezza di allagamento pari a 1.25 m a bordo strada, cioè la banchina, si ha un carico sulla caditoia di circa 0.0316 m in corrispondenza della sezione a pendenza trasversale 2.5% (sezione sfavorevole ai fini del calcolo dello svuotamento del serbatoio). Dagli studi di Von Mises, considerando il valore del rapporto tra l'area della sezione contratta e l'area della sezione libera pari a 0, l'angolo che le pareti del fondo formano con l'asse verticale della sezione contratta pari a 180°, si assume un valore del coefficiente di efflusso μ pari a 0.5.

Pertanto, sostituendo nell'equazione della portata i suddetti valori, si ottiene un'area minima di efflusso necessaria allo smaltimento di eventuali sversamenti del valore di 0.1270 m^2 (valore minimo commerciale 0.0703 m^2).

Per i tratti di raccordo esterni, al fine di stabilire quale sia l'interasse da assegnare alle caditoie è stato ipotizzato che la banchina funzioni come un canale a pelo libero con pendenza trasversale *j*=2.5%, larghezza allagabile *b* variabile tra 1.20 m e 0.80 m sulla base dell'effettiva larghezza della banchina, un coefficiente di scabrezza di Gauckler – Strickler *c* pari a 60 $m^{1/3}$ s^{-1}, ed una pendenza longitudinale della strada *i*=0.0335% (valore minimo adottato nei tratti esterni alla galleria, come indicato nel profilo longitudinale di progetto).

Detta $y=b*j$ l'altezza idrica massima in cunetta (m); la portata *Qm* transitabile nella singola cunetta, utilizzando la

formula del moto uniforme risulta, essere pari a:

$$Q_m = AcR^{2/3}\sqrt{i}$$

Si è poi calcolata la portata *q* per unità di lunghezza del corpo stradale adottando un coefficiente udometrico pari a 300 l/s ha.

Assegnando alle caditoie un passo *d,* e supponendo che la portata transitante in banchina sia captata da due caditoie nel caso di rettilineo (pendenza doppia della carreggiata), mentre una singola in curva (pendenza trasversale unica), si trova che:

$Q \cong q \cdot d$, cioè lungo la carreggiata scorre la massima portata ammissibile.

Le caditoie sono state previste a griglia piana, di forma quadrata oppure rettangolare. E' stata effettuata una verifica idraulica dell'efficienza di queste caditoie[1], al fine di verificare che siano effettivamente in grado di intercettare tutta la portata che vi affluisce (vedi Figura 9).

Relativamente alle caditoie, una prima verifica da effettuare è quella sulla velocità. Dette quindi:

l e L: rispettivamente la larghezza e la lunghezza della grata;
Q la portata totale proveniente da monte;
Q_1 la portata intercettata;
Q_2 quella proveniente da monte e fluente nella larghezza *b-l*,

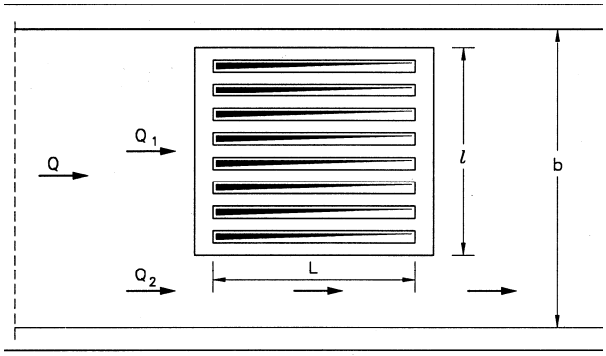


Figura 9 – Schema di deflusso in prossimità di una caditoia.

si definisce efficienza della caditoia E_0 il rapporto Q_1/Q. Sostituendo alle portate le formule del moto uniforme si ottiene che:

$$E_0 = 1 - \left(1 - \frac{l}{b}\right)^{8/3} \qquad \text{(a)}$$

E_0 fornisce una misura dell'efficienza della griglia nell'ipotesi che la portata Q_1 venga captata integralmente; ciò può non verificarsi quando la velocità di afflusso sia maggiore di un valore limite v_0, al di sopra del quale una parte della corrente oltrepassa la grata. Per la stima di v_0 esistono le seguenti formule sperimentali in cui v_0 è in *m/s* se *L* è in *m*:

- per grate a barre normali alla direzione della corrente: $v_0 = 1.86L^{0.79}$ (b)

[1] cfr L. Da Deppo, C. Datei, Le opere idrauliche nelle costruzioni stradali, Ed. BIOS, 1998.

- per grate parallele alla direzione della corrente: $v_0 = 2.54L^{0.51}$ (c)

Anche una parte della portata laterale Q_2 può essere derivata in funzione dei valori di velocità v e della lunghezza L. Indicata con Q_2^* vale la seguente relazione (emipirica):

$$\frac{Q_2^*}{Q_2} = \left(1 + \frac{0.083v^{1.8}}{jL^{2.3}}\right)^{-1} \quad \text{(d)}$$

La portata complessiva derivata dalla grata Q_{der} è dunque pari a:

$$Q_{der} = Q_1 + Q_2^*$$

Per il caso in esame si riporta di seguito la tabella riassuntiva dei risultati ottenuti per i singoli tratti considerati:

Tabella 5: Idraulica delle cunette

Tratto	*Tipologia cunetta*	*b*	*y*	*Qm*
		(m)	(m)	(l/s)
Sezz. 16÷4	Cunetta L=1.0m	1.20	0.03	**11.82**
Sezz. 4÷0	Cunetta L=1.0m	1.20	0.03	**11.82**
Sezz. 0÷(8)	Cunetta L=0.8m	0.80	0.02	**4.01**
Sezz. 39÷46	Cunetta L=1.0m	1.20	0.03	**11.82**

Tabella 6: Idraulica delle caditoie

Tratto	*Tipologia caditoia*	*d*	*l*	*q*	*Q*	*Q_1*	*Q_2*	*Q_{der}*
		(m)	(m)	(l/(sxm))	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)
Sezz. 16÷4	Canale grigliato L=2m	30	0.20	0.17	**5.18**	4.55	7.27	**10.08**
Sezz. 4÷(-1)	Griglia 60x60cm	30	0.60	0.35	**10.35**	9.96	1.86	**10.27**
Sezz. (-1)÷(-5)	Canale grigliato L=2m	10	0.20	0.35	**3.45**	2.15	1.86	**3.71**
Sezz. 39÷46	Canale grigliato L=2m	20	0.20	0.35	**6.90**	4.55	7.27	**10.08**

Per tutti i tratti considerati, la velocità di deflusso risulta inferiore ai valori limite

Si desume dai risultati ottenuti che le portate stimate (***Q***) adottando un coefficiente udometrico pari a 300l/s ha sono pressoché interamente intercettate dagli elementi di captazione.

3.3.2 Collettori

La portata massima scaricabile da una condotta viene calcolata tramite la formula di moto uniforme:

$Q = A \bullet C\ (Ri)^{1/2}$

dove A è l'area bagnata, R è il raggio idraulico, i è la pendenza e C è il coefficiente di Chèzy, calcolato con la nota formula di Strickler:

$C = Ks\ R^{1/6}$

dove Ks è il coefficiente di scabrezza di Strickler assunto pari a 90 $m^{1/3}/s$ come previsto da letteratura per le condotte in polipropilene.

I dimensionamenti idraulici sopra descritti sono riportati nella tabella seguente.

Tabella 7: Dimensionamento idraulico dei collettori circolari utilizzati

Collettore	*Recapito*	*Pendenza*	*Portata*	*Diam. Est.*	*Diam. Int.*	*Riemp.*	*Velocità*
		-	(l/s)	(m)	(m)	-	(m/s)
Acque di piattaforma (tratto in galleria, collettore ciglio ovest)	Vasca di sicurezza	0.009	50	0.2826	0.250	72%	1.35
Acque di piattaforma (tratto in galleria, attraversamento)	Collettore ciglio ovest	0.010	50	0.2826	0.250	68%	1.40
Acque di piattaforma (tratto esterno – lato Noli)	Tombino esistente sez. -8	0.0335	160(*)	0.338	0.300	72.5%	2.94
Acque di piattaforma (tratto esterno – lato Finale)	Esistente sez. 46	0.040	100	0.338	0.300	50%	2.85

(*) 160 l/s deriva dalla sommatoria di due contributi: 73.8 l/s provenienti dal versante (acque di scarpata, vedi paragrafo successivo) e 86.2 l/s dalla piattaforma esterna.

3.4 RACCOLTA ACQUE DI SCARPATA

Per il dimensionamento dei fossi di guardia per la raccolta di acque di versante si è valutata l'ampiezza del bacino posto a tergo del muro di contenimento del versante lato Noli (vedi Figura 10, bacino in magenta). L'area del bacino è pari a 2.463 m^2 e considerando un coefficiente udometrico di 300 l/s*ha è risultata una portata pari a 73.8 l/s. Per il convogliamento della suddetta portata si è valutata la possibilità di inserire una canaletta rettangolare in calcestruzzo di base 0,5 m ed altezza 0,5 m. La suddetta canaletta presenta un riempimento pari al 26%, ma vista l'eventuale possibilità di materiale trasportato a valle (rami, ciottoli…), con conseguente riduzione dell'area disponibile al deflusso, si è ritenuto più corretto porsi in una condizione di sicurezza anche in relazione all'importanza dell'arteria in progetto.

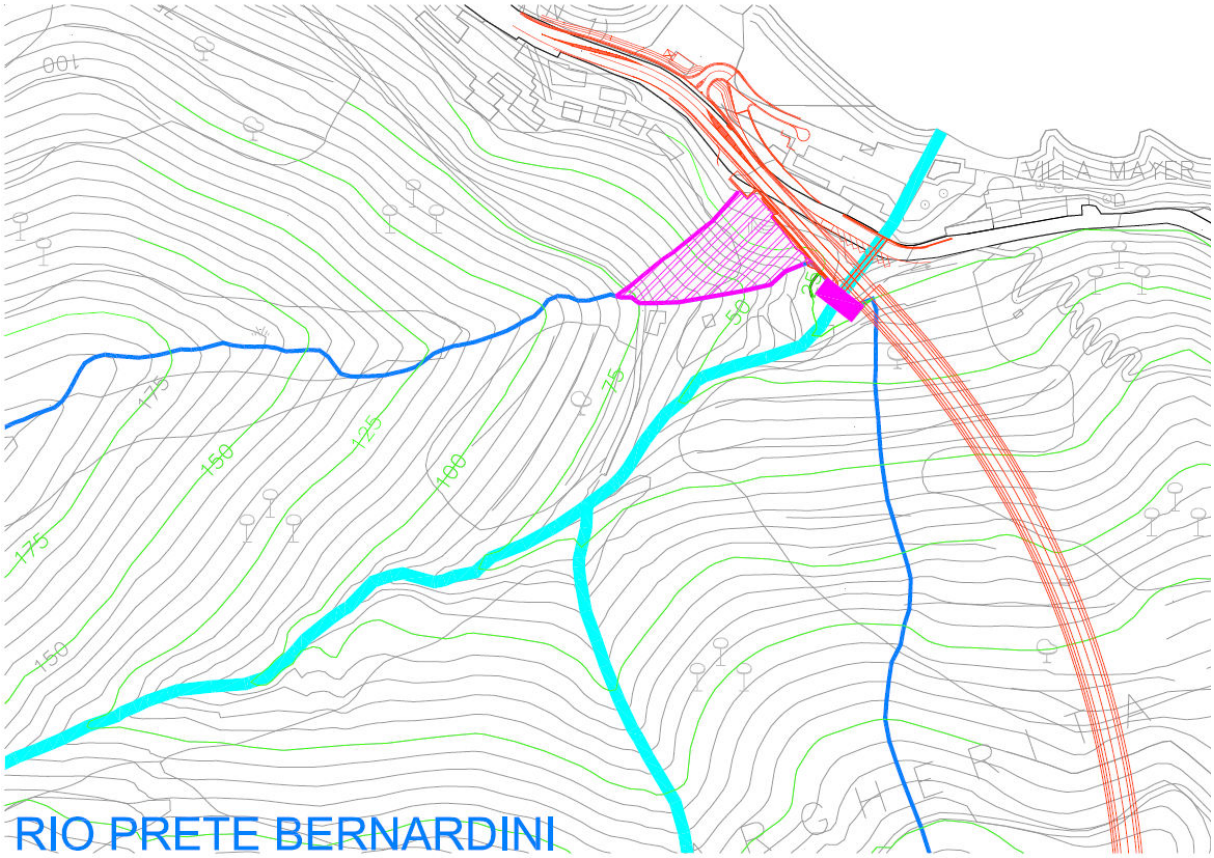


Figura 10: In magenta il bacino residuo ubicato a monte del muro di contenimento del versante.

3.5 VASCA DI RACCOLTA DEGLI SVERSAMENTI ACCIDENTALI

Per il contenimento degli eventuali sversamenti accidentali di sostanze pericolose provenienti dalla galleria è stata prevista la realizzazione posa in opera, di una vasca di accumulo dotata di due pozzetti di ispezione (vedi Tavola I6). La vasca è collegata in linea e prevede un setto di desoleazione.

APPENDICE - CODICE DI CALCOLO

Caratteristiche generali del modello numerico impiegato

Per lo studio idraulico del sistema è stato utilizzato il modello matematico-numerico HEC-RAS River Analysis System, sviluppato dall'U.S. Army Corps of Engineering – Hydrologic Engineering Center.

La versione del software utilizzata è la 4.0, aggiornata al marzo 2008. HEC-RAS consente il calcolo idraulico monodimensionale di canali naturali e artificiali, sia in condizioni di moto permanente che di moto vario, tenendo conto dell'influenza sul moto di manufatti di vario tipo (ponti, tombini, briglie, sfioratori ecc.) eventualmente presenti nel sistema.

Possono essere modellati sia canali singoli che reti di canali naturali o artificiali, chiusi o aperti, con l'integrazione di profili di corrente lenta, veloce o di tipo "misto". Concluse le operazioni di calcolo è possibile ottenere una serie di elaborati finali per la consultazione dei risultati ottenuti e per la visualizzazione grafica in formati compatibili con i software di disegno automatico o quelli relativi a sistemi informativi territoriali.

La prima fase necessaria all'implementazione del modello consiste nel creare la geometria del sistema, ossia nel disegnare l'alveo da analizzare, tracciando il sistema dei corsi d'acqua e le loro connessioni, secondo la direzione di scorrimento dell'acqua.

Successivamente si provvede ad inserire le sezioni trasversali, definendo le quote e le distanze progressive dal punto di origine della sezione e indicando le distanze reciproche, procedendo in senso contrario a quello dello scorrimento dell'acqua.

Per ogni sezione si identificano, mediante l'inserimento della distanza progressiva specifica, l'alveo e le zone golenali. L'operazione termina con l'inserimento dei dati di scabrezza dell'alveo e delle sponde, secondo il coefficiente n di Manning o il Ks di Strickler. In Figura 11 è riportata la schematizzazione della geometria del sistema studiato mentre in Figura 12 è esemplificata la finestra in cui vengono immessi i dati relativi alle sezioni trasversali.

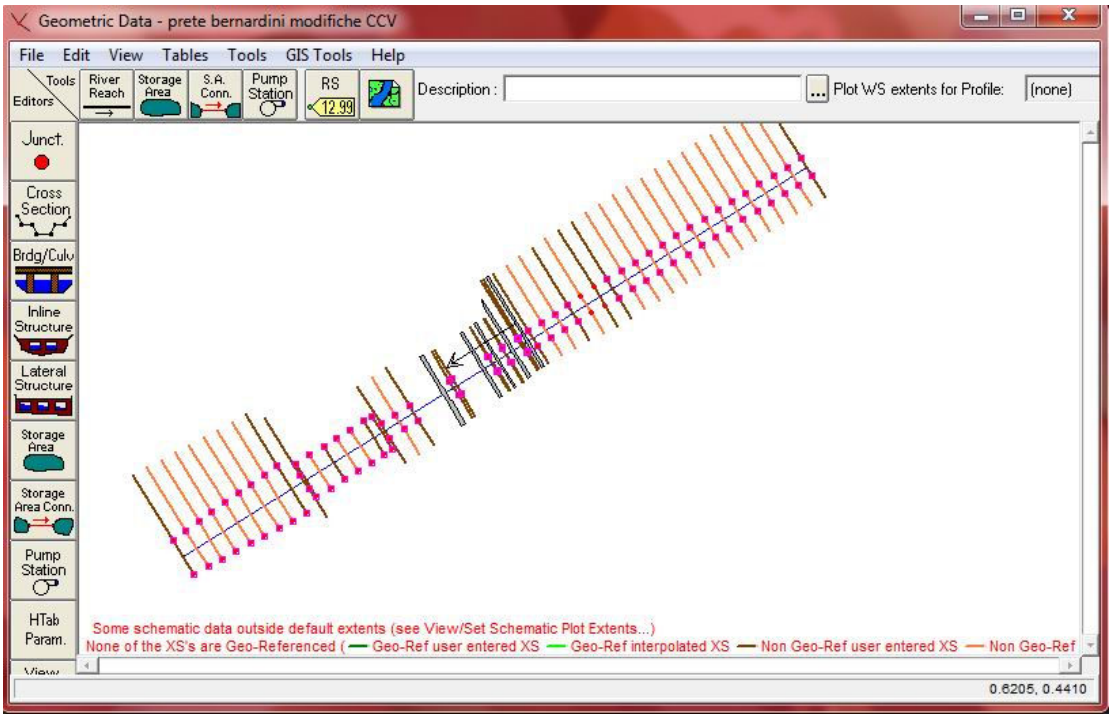


Figura 11: Descrizione della geometria del sistema

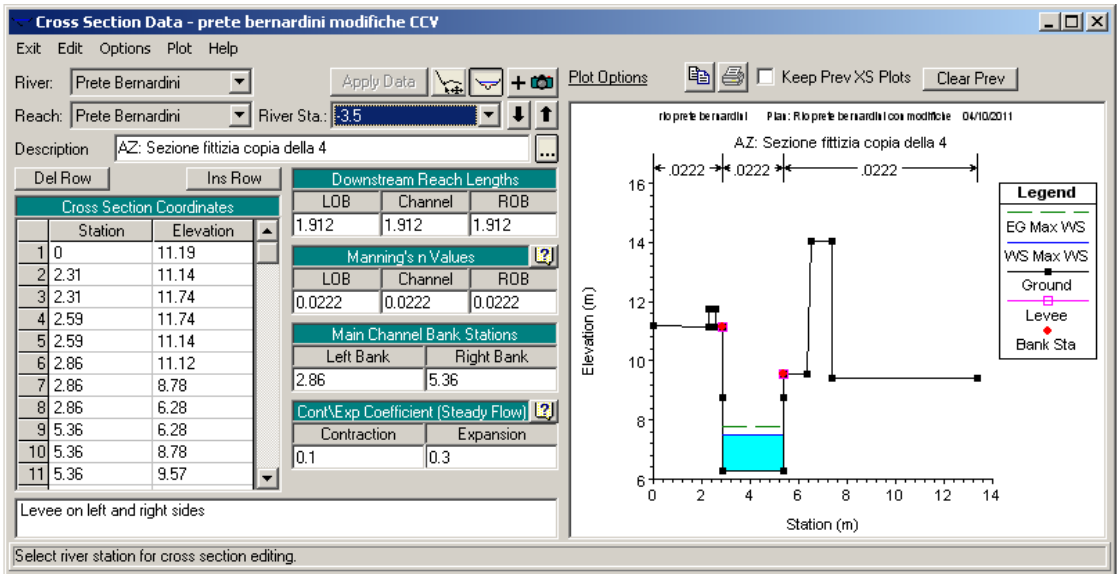


Figura 12: Editor delle sezioni trasversali

Il programma, al termine dell'inserimento delle informazioni geometriche e delle condizioni al contorno, restituisce il grafico delle sezioni e il profilo altimetrico dell'alveo. All'interno della geometria che schematizza il sistema è possibile inserire le strutture eventualmente presenti lungo il corso d'acqua (ponti, restringimenti…)

Calcolo del profilo idraulico a moto permanente

Il calcolo del livello del pelo libero si basa sulla risoluzione dell'equazione monodimensionale dell'energia, valuta le perdite di carico mediante l'equazione di Manning e tiene conto di perdite localizzate a mezzo di opportuni coefficienti moltiplicativi del carico cinetico. L'equazione del momento è utilizzata ogni volta in cui il profilo del moto subisce brusche variazioni, ad esempio in corrispondenza di ponti, confluenze o risalti idraulici.

L'applicazione del modello si basa sulla divisione del corso d'acqua in esame in tronchi di ampiezza tale da poter approssimare i valori medi della sezione e delle velocità a quelli presenti gli estremi e quindi di eseguire i calcoli su aree il cui flusso è assimilabile a quello del moto uniforme.

L'equazione applicata tra due sezioni consecutive è la seguente:

$$h_{i-1} = h_i + h_e + h_f$$

ovvero:

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

dove:

V = velocità media della sezione,

$V_{1,2}$ = velocità medie calcolate,

$a_{1,2}$=coefficiente di Coriolis,

h_e = perdita di energia relativa alla variazione del corso d'acqua,

h_f = perdita di energia per attrito,

$z_{1,2}$ = termini geodetici agli estremi del tronco in esame.

I valori di h_e e h_f sono così calcolati:

$$h_f = S_f \Delta\chi = \frac{1}{2}(S_{f(i)} - S_{f(i-1)})\Delta\chi$$

dove:

$$S_f = \frac{V^2}{\chi^2 R} = \frac{V^2}{c^2 R^{\frac{4}{3}}}$$

$$h_e = C_i \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \approx C_i \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g}$$

in cui C_i rappresenta un coefficiente relativo alle perdite di carico per espansione e contrazione i cui valori variano tra 0 per alveo prismatico e 0.5 per allargamento a 90°.

Il programma, partendo dalle caratteristiche di una sezione nota, determina il termine geodetico incognito in una sezione successiva attraverso la soluzione iterativa delle tre equazioni elencate in precedenza: viene ipotizzato un livello z_{ip} del pelo libero della sezione incognita di cui si conoscono solo geometria, distanza e valori di scabrezza, che viene utilizzato per calcolare tutti i parametri necessari ad applicare l'equazione dell'equilibrio energetico. In tale equazione viene considerata come incognita il valore di z_2, di cui viene calcolato un valore di prima approssimazione z_c. Dal confronto tra i valori z_{ip} e z_c emerge l'entità dell'errore: se risulta maggiore di 0.003 m la z_{ip} viene corretta ed il procedimento ripetuto; l'operazione viene reiterata fino a quando non si rientra nei valori di tolleranza definiti ed il risultato viene accettato.