

VARIANTE ALLA S.S. 1 "VIA AURELIA"  
Viabilità di accesso all'hub portuale di La Spezia  
Lavori di costruzione della variante alla S.S. 1 Via Aurelia - 3°Lotto  
2° Stralcio Funzionale B dallo Svincolo di Buon Viaggio allo Svincolo di San Venerio  
**COMPLETAMENTO**

PRECEDENTI LIVELLI DI PROGETTAZIONE DELL'APPALTO INTEGRATO ORIGINALE

PD n°1861 del 09/07/03 aggiornato al 10/12/08 - Delibera CIPE n°60 del 02/04/08

PE n° 103 del 14/07/2011 - D.A. CDG-103321-P del 20/07/11

PVT n°112 del 21/01/16 aggiornata al 28/10/16 - D.A. CDG-92950-P del 21/02/17

Progetto Esecutivo Cantierabile Opere da Completare

**PROGETTO ESECUTIVO**

COD. GE266

PROGETTAZIONE: ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI

PROGETTISTA:

*Dott. Ing. Antonio Scalamandrè*  
*Ordine Ing. di Frosinone n. 1063*

IL GEOLOGO

*Dott. Geol. Flavio Capozucca*  
*Ordine Geol. del Lazio n. 1599*

COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

*Geom. Emiliano Paiella*

VISTO IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

*Dott. Ing. Fabrizio Cardone*

PROTOCOLLO

DATA

**IDROLOGIA E IDRAULICA**  
**ELABORATI ALLEGATI AL PROGETTO ESECUTIVO (2011)**

**RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA**

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA
PROGETTO	LIV. PROG.	T00ID00IDRRE01_A.DWG			
<b>D</b> <b>P</b> <b>G</b> <b>E</b> <b>0</b> <b>2</b> <b>6</b> <b>6</b>	<b>E</b> <b>20</b>	CODICE ELAB. <b>T00ID00IDRRE01</b>		<b>A</b>	-
<b>D</b>					
<b>C</b>					
<b>B</b>					
<b>A</b>	EMISSIONE		GIUGNO 2020		
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO



# Anas SpA

93

Compartimento della Viabilita' per la Liguria



## COMUNE DELLA SPEZIA

VARIANTE ALLA SS N° 1 AURELIA (AURELIA BIS)  
VIABILITA' DI ACCESSO ALL' HUB PORTUALE DI LA SPEZIA  
INTERCONNESSIONE TRA I CASELLI DELLA A-12 ED IL PORTO DI LA SPEZIA

LAVORI DI COSTRUZIONE DELLA VARIANTE ALLA S.S. 1 AURELIA - 3° LOTTO  
TRA FELETTINO ED IL RACCORDO AUTOSTRADALE

## PROGETTO ESECUTIVO

C					
B					
A	Marzo 2011	Emissione per consegna	LUCIONI	ROCCHI	FIMIANI
REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

TITOLO ELABORATO:

### IDROLOGIA ED IDRAULICA

Relazione idrologica-idraulica

Visto: Il Responsabile Unico del Procedimento

CODICE PROGETTO

CODICE ELABORATO

L 0 9 0 2 A E 1 0 0 1

T 0 0 - G E 0 0 - I D R - R E 0 1 - A

SCALA: DATA: Marzo 2011 COMMESSA: C287A NOME FILE: T00GE00IDRRE01\_A .DWG

### RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO DI IMPRESE

TOTO S.p.A.  
Viale Abruzzo, 410  
MANDATARIA (CH) 571

MANDANTE

MANDANTE



PROGETTISTA INDICATO

IL PROGETTISTA

IL GEOLOGO

COORDINATORE DELLA SICUREZZA  
IN FASE DI PROGETTAZIONE

**C. LOTTI & ASSOCIATI**  
SOCIETA' DI INGEGNERIA S.p.A. - ROMA



## RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA

N° PROGETTO: <b>C287.A</b>			ELABORATO: <b>T00GE00IDRRE01_A</b>		
0	Marzo 2011	EMISSIONE	Lucioni	Rocchi	Fimiani
1					
2					
3					
4					
<i>revisione</i>	<i>data</i>	<i>descrizione</i>	<i>redatto</i>	<i>controllato</i>	<i>approvato</i>



## INDICE

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2. AMBITO DEL PROGETTO.....</b>	<b>4</b>
2.1 INQUADRAMENTO GENERALE.....	4
2.2 RIFERIMENTO NORMATIVO.....	5
2.2.1 <i>Piano di Bacino-Ambito 20 del Golfo della Spezia</i> .....	5
2.2.2 <i>Il R.D. 523/1904</i> .....	6
<b>3. ANALISI IDROLOGICA.....</b>	<b>7</b>
3.1 INPUT IDROLOGICI DI PROGETTO .....	7
<b>4. ANALISI IDRAULICA .....</b>	<b>9</b>
4.1 RILIEVO TOPOGRAFICO DI DETTAGLIO.....	9
4.2 AMBITO DELLE INDAGINI IDRAULICHE .....	9
4.3 VERIFICHE IDRAULICHE OPERE DI INALVEAZIONE .....	11
4.4 VERIFICHE IDRAULICHE OPERE DI ATTRAVERSAMENTO MINORI .....	13
4.5 ANALISI DEI RISULTATI .....	14
<b>APPENDICE 1. MODELLISTICA IDRAULICA.....</b>	<b>15</b>
4.6 MODELLISTICA IDRAULICA DI MOTO PERMANENTE.....	16

## 1. PREMESSA

Il presente elaborato tecnico definisce l'ambito degli studi idrologici ed idraulici a supporto della progettazione esecutiva delle opere idrauliche a corredo della variante alla SS n°1 Aurelia – Lotto 3° - Felettino- Raccordo Autostradale.

Le opere di inalveazione previste nel progetto definitivo sono state analizzate una per una allo scopo di definire modalità di intervento meno invasive, e ottenerne un miglior inserimento nell'ambito fisico, utilizzando ove possibile tecniche di ingegneria naturalistica a minor impatto ambientale.

Per ogni opera idraulica è stata prodotta una specifica relazione di calcolo contenente le verifiche idrologiche ed idrauliche e geotecniche-strutturali a supporto del corretto dimensionamento delle opere.

Per garantire la piena conformità delle opere del progetto esecutivo al Piano di Bacino Ambito 20 - Golfo della Spezia, i valori di portata di riferimento sono stati determinati in base ai criteri tecnici riportati negli allegati del Piano.

Non è stato svolto uno studio idrologico integrativo per la determinazione di valori di portata, assumendo, dove presenti, i valori di riferimento proposti dall'Autorità di Bacino ( T. N. Dorgia e Pellizzaro) e utilizzando per i colatori minori con bacino imbrifero inferiore a 2 Km<sup>2</sup> il funzionale individuato nell'Allegato 2 del suddetto Piano di Settore.

Per l'analisi di conformità delle opere in progetto al Piano di bacino stralcio da rischio idrogeologico Ambito 20 - Golfo della Spezia si rimanda all'elaborato T00GE00IDRRE03\_A.

Le verifiche idrauliche sono state redatte in conformità all'Allegato 3 del Piano di Bacino secondo le linee guida previste.

Al fine di valutare l'inserimento delle opere in progetto nel contesto territoriale di riferimento, è stato aggiornato il quadro conoscitivo di base, mediante rilievi celerimetrici di dettaglio, contenenti il censimento e il rilievo delle opere e del profilo dell'alveo; su tali dati sono state implementate le verifiche idrauliche sugli eventi di progetto, ovvero portate con Tempo di ritorno pari a 200 anni (di seguito TR200).

Le indagini idrauliche sono state condotte ove possibile in condizioni di moto permanente; sui principali corsi d'acqua ( T. Nuova Dorgia, sul Fosso Pellizzaro ecc ) e in corrispondenza degli attraversamenti minori ciò ha consentito di verificare l'efficienza idraulica delle sezioni a cielo aperto e delle tombinature.

Sulla base della conoscenza topografica delle aree limitrofe e dei battenti in alveo sono state definite le aree a pericolosità idraulica dei corsi d'acqua studiati, allo stato *ante operam* e *post operam*, al fine di valutare la compatibilità idraulica delle opere stradali e garantire il non aggravio del rischio idraulico attuale nelle aree contermini alla nuova viabilità.

Le sistemazioni idrauliche proposte garantiscano il deflusso delle portate due centennali, con i franchi di sicurezza richiesti dalla normativa, e, pertanto, azzerano di fatto la pericolosità idraulica per gli eventi di progetto.

## 2. AMBITO DEL PROGETTO

### 2.1 INQUADRAMENTO GENERALE

Il territorio interessato dai lavori della “Variante alla S.S. 1 Aurelia – 3° Lotto Felettino - Raccordo Autostradale” presenta un’orografia con rilievi che raggiungono i 350 m di altitudine e valli fortemente incise.

La rete idrografica è caratterizzata da corsi d’acqua a carattere torrentizio che danno origine a piene improvvise in occasione di precipitazione piovose di breve durata ed elevata intensità.

Tali effetti sono amplificati dalla natura geologica del sottosuolo, caratterizzato da litotipi prevalentemente impermeabili, che riducono le perdite per infiltrazione e determinano risposte idrologiche impulsive.

Il corso d’acqua più importante è il Torrente N. Dorgia in cui sono state previste inalveazioni in corrispondenza dello svincolo di Via del Forno.

I corsi d’acqua principali interferenti con l’infrastruttura stradale sono oltre al T. N. Dorgia il Fosso Pellizzardo, in corrispondenza della galleria Pellizzarda, il Fosso di Buonviaggio, il Fosso di S. Rosso e il Fosso Polsega.

Tutte le interferenze dei tracciati stradali in progetto con la rete idrografia sono state studiate ed analizzate, attraverso i seguenti passi:

1. determinazione degli input idrologici di progetto, in conformità al Piano di Bacino vigente;
2. progetto delle opere necessarie a conservare la continuità idraulica e a garantire il deflusso dell’evento bicentenario in condizioni di sicurezza idraulica.

## 2.2 RIFERIMENTO NORMATIVO

### 2.2.1 Piano di Bacino-Ambito 20 del Golfo della Spezia

Gli studi idraulici sono stati redatti in conformità all'Allegato 3 del PdB. Si riportano di seguito gli elementi salienti dell'allegato tecnico del Piano di Bacino

#### **Caratteristiche tecniche degli studi**

Nel caso della progettazione e della verifica di opere idrauliche, è stato impiegato lo schema di corrente monodimensionale in condizioni di moto permanente. Lo studio va condotto per tratti idraulicamente significativi del corso d'acqua, delimitati cioè da sezioni in cui sia possibile assegnare il valore del livello idrico della corrente.

#### **Parametro di scabrezza**

I parametri di scabrezza da utilizzare nel calcolo idraulico, ai fini sia delle verifiche idrauliche sia della determinazione delle aree inondabili, devono tenere conto delle reali e documentabili condizioni di manutenzione del corso d'acqua. Tali valori di parametro di scabrezza, di norma assunti con riferimento corsi d'acqua naturali, devono essere desunti da quelli individuati nella tabella nell'Allegato 3 (per semplicità riportati solo in termini di scabrezza di Gauckler-Strickler), tenendo conto che gli stessi dovrebbero essere considerati valori massimi non superabili.

#### **Franchi di sicurezza**

Tutte le opere devono avere franchi adeguati, rispetto al livello di piena previsto per la portata duecentennale. Alla loro valutazione devono concorrere considerazioni sia relative all'opera e 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. In ogni caso i franchi non devono essere inferiori al valore maggiore tra:

a) 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<sup>2</sup>) (valore particolarmente rilevante per correnti veloci) e

b) i valori per categorie di opere di seguito indicati

- argini e difese spondali cm. 50/100,
- ponti e similari fino a larghezze di m. 10 cm. 100/150,
- coperture, ponti e similari oltre m. 10 cm. 150/200,

ove i valori estremi corrispondono a bacini poco dissestati con modesto trasporto solido ed a bacini molto dissestati con forte trasporto solido in caso di piena.

#### **Tombamenti**

In base a quanto stabilito dall'Allegato 4 del PdB, le opere di tombinatura e di copertura, ove ammesse, devono essere realizzate, salvo specifiche integrazioni richieste da parte dell'Autorità di Bacino, secondo i seguenti indirizzi generali:

- . deve essere garantita una sezione netta interna di dimensioni minime di 1.60x1.60 metri;
- . deve essere garantita una sezione di deflusso minima superiore al metro quadrato nel caso di tombinature o coperture connesse alla realizzazione di infrastrutture viarie sui colatori minori;

- devono essere previste opere di intercettazione del materiale nelle zone di imbocco e, in casi specifici per i corsi d'acqua del reticolo principale, apposita vasca di sedimentazione a monte;
- devono essere corredate da un programma di mantenimento della sezione di deflusso prevista in progetto;
- deve essere effettuata almeno due volte all'anno, e comunque ogni qualvolta se ne presenti la necessità, la pulizia degli attraversamenti da parte del proprietario e/o concessionario.

Ai fini dell'applicazione del punto 2 dell'Allegato 4 del PdB sono stati considerati colatori minori gli impluvi con interbacino molto inferiore a 2 kmq in cui non è presente un vero e proprio reticolo idraulico superficiale.

### **2.2.2 Il R.D. 523/1904**

Il Testo Unico delle disposizioni di legge sulle opere idrauliche delle diverse categorie, approvato con R.D. n°523/1904, impone una serie di vincoli di carattere idraulico.

Ai sensi dell'art. 57 del succitato R.D. "i progetti per modificazione di argini e per costruzione e modificazione di altre opere di qualsiasi genere, che possano direttamente o indirettamente influire sul regime dei corsi d'acqua, quantunque di interesse puramente consorziale o privato, non potranno eseguirsi senza la previa omologazione del prefetto".

Ai sensi dell'art. 93 "nessuno può fare opere nell'alveo dei fiumi, torrenti, rivi, scolatoi pubblici e canali di proprietà demaniale, cioè nello spazio compreso fra le sponde fisse dei medesimi, senza il permesso dell'autorità amministrativa. Formano parte degli alvei i rami o canali, o diversivi dei fiumi, torrenti, rivi e scolatoi pubblici, ancorché in alcuni tempi dell'anno rimangono asciutti. "

Ai sensi e per gli effetti dell'art.95 "il diritto dei proprietari frontisti di munire le loro sponde nei casi previsti dall'art. 58, è subordinato alla condizione che le opere o le piantagioni non arrechino né alterazione al corso ordinario delle acque, né impedimento alla sua libertà, né danno alle proprietà altrui, pubbliche o private, alla navigazione, alle derivazioni ed agli opifici legittimamente stabiliti, ed in generale ai diritti dei terzi."

L'art. 96 vieta in modo assoluto sulle acque pubbliche, loro alvei, sponde e difese "le piantagioni di alberi e siepi, le fabbriche, gli scavi e lo smovimento del terreno a distanza dal piede degli argini e loro accessori come sopra, minore di quella stabilita dalle discipline vigenti nelle diverse località, ed in mancanza di tali discipline, a distanza minore di metri quattro per le piantagioni e smovimento del terreno e di metri dieci per le fabbriche e per gli scavi".

Pertanto nella fascia compresa all'interno dei 10 metri, misurati a partire dal piede esterno dell'argine o, in mancanza, dal ciglio di sponda, non è possibile procedere ad alcun tipo di edificazione.



### 3. ANALISI IDROLOGICA

#### 3.1 INPUT IDROLOGICI DI PROGETTO

Per garantire la piena conformità delle opere del progetto esecutivo al Piano di Bacino Ambito 20 - Golfo della Spezia i valori di portata di riferimento sono stati determinati in base ai criteri tecnici individuati negli allegati del Piano.

L'Allegato 2 - Portate di Piena del Piano di Bacino, contiene i valori di portata al colmo di piena per vari probabilità di accadimento dell'evento meteorico; fra questi i valori per tempo di ritorno duecentennali per i principali corsi d'acqua presenti nel Ambito 20.

Per i corsi d'acqua minori, nonché per gli affluenti dei torrenti principali con bacino inferiore a 2 kmq, è indicato il metodo per il calcolo della portata massima, ottenuta utilizzando un contributo unitario pari a 40 mc/s per ogni chilometro quadrato di superficie del bacino sotteso, alla sezione di chiusura di riferimento.

Nelle sezioni dei corsi d'acqua ove il Piano non indica il valore della portata di piena duecentennale, si applica il valore individuato nella sezione di calcolo immediatamente a valle di quella considerata, lungo lo stesso tratto di asta fluviale.

Per i colatori interferenti con l'infrastruttura di progetto sono stati verificati e confermati i valori di portata autorizzati in sede di progetto definitivo, calcolati in base al funzionale proposto dall'Autorità di Bacino (corsi d'acqua minori  $S < 2$  Km<sup>2</sup>).  
Si rimanda all'elaborato grafico T00GE00IDRCO01\_A nel quale sono riportati i bacini imbriferi di tutti i corsi d'acqua interferenti con l'infrastruttura in progetto.

Per il dimensionamento degli interventi di sistemazione idraulica sulla Nuova Dorgia e sul Fosso Pellizzaro, sulla scorta della nota della Provincia della Spezia prot. nr 8038 del 10/02/2009, sono stati utilizzati i valori di portata previsti dal Piano di Bacino (valori evidenziati nella tabella 3-1) essendo presente immediatamente a valle del tratto d'intervento una sezione di calcolo cui far riferimento.

Si rappresenta nella tabella seguente il confronto fra gli input idrologici del progetto definitivo (Progetto a Base di Gara) e i valori di riferimento a base del progetto esecutivo. I valori coincidono a meno dei valori di portata relativi al T. N. Dorgia e al Pellizzaro.

Bacino	Sezione di calcolo Allegato 2 PdB	Portate TR200 PBG [mc/s]	Portata TR200 [mc/s]	Bacino	Portate TR200 PBG [mc/s]	Portata TR200 [mc/s]
1		3,46	3,46	15	1,80	1,80
2 (T.N.Dorgia)	C (T.N. Dorgia)	32,80	38,30	16	1,10	1,10
3		0,42	0,42	17	3,80	3,80
4		2,60	2,60	18	0,40	0,40
5		0,80	0,80	19	3,90	3,90
6 (Pellizzaro)	F (T.N. Dorgia)	9,70	12,90	20	2,20	2,20
7		1,10	1,10	21	7,50	7,50
8		0,87	0,87	22	4,49	4,49
9		0,20	0,20	23	1,81	1,81
10		0,70	0,70	24	1,66	1,66
11		0,60	0,60	25	0,30	0,30
12		12,60	12,60	26	2,70	2,70
13		0,70	0,70	27	3,11	3,11
14		0,40	0,40	28	20,30	20,30

TABELLA 3-1: PORTATE DI PROGETTO TR200

## 4. ANALISI IDRAULICA

### 4.1 RILIEVO TOPOGRAFICO DI DETTAGLIO

A supporto della progettazione esecutiva è stato condotto un rilievo celerimetrico sui principali corsi d'acqua e nei punti di intersezione fra il tracciato stradale e la rete idrografica superficiale.

Il rilievo topografico contiene il censimento e il rilievo delle opere e del profilo dell'alveo, sul quale basare le verifiche idrauliche per le diverse portate. A partire da essi si determinano i livelli idrici attesi in corrispondenza alla portata di piena di progetto.

Per ogni corso d'acqua il rilievo è stato esteso a monte e a valle del tronco oggetto di sistemazione idraulica in modo che il tratto fluviale fosse idraulicamente "significativo", e tale da consentire una completa descrizione dei fenomeni in giuoco (rigurgito, interazioni con opere, ecc...).

L'informazione geo-topografica, è stata elaborata in modelli digitali del terreno o DEM, dai quali sono state estrapolate le informazioni necessarie alla implementazione della modellistica idraulica, quali ad esempio le sezioni trasversali dei colatori

Per ogni inalveazione è stata elaborata una planimetrie di progetto in cui sono riportate le tracce delle sezioni fluviali utilizzate nella modellistica idraulica e a cui fanno riferimento le tabelle riepilogative dei risultati.

### 4.2 AMBITO DELLE INDAGINI IDRAULICHE

Sui corsi d'acqua interferenti con l'infrastruttura di progetto è stata implementata una verifica in moto permanente attraverso l'utilizzo del software HEC-RAS 4.0 a supporto del progetto delle inalveazioni a cielo aperto e degli attraversamenti minori.

Per i dettagli riguardanti la modellazione adottata si rimanda all'Appendice 1. - Modellistica Idraulica di moto permanente.

Per ogni corso d'acqua sono stati redatti i seguenti elaborati:

- una specifica relazione di calcolo con i risultati della modellazione allo stato attuale e modificato
- la planimetria di progetto con la traccia delle sezioni e la specifica degli interventi previsti e dei criteri progettuali adottati ( livelletta di progetto, larghezza di fondo lavelo ecc);
- libretto sezioni e profili contenente:
  - o le sezioni trasversali con i livelli idrometrici attesi per l'evento TR=200 anni, allo stato attuale e di progetto;
  - o i profili longitudinali;
  - o la sezione tipologica d'interevento;
  - o i particolari costruttivi dei manufatti.

Si riporta nella tabella seguente una sintesi delle modellazioni condotte a verifica della compatibilità delle soluzioni progettuali adottate in relazione alla normativa di settore vigente.

Verifiche idrauliche			
Ambito	Modalità indagine	Opera	Elaborato di calcolo
Svincolo Via del Forno	moto permanente	inalveazione + tombino 2,50x1,60	T01OI02IDRRE01_A
	moto permanente	T. N. Dorgia	T01OI02IDRRE02_A
	moto permanente	inalveazione fosso	T01OI02IDRRE03_A
	moto uniforme	attraversamento DN800 Via del Forno	T01OI02IDRRE03_A
Galleria Pellizzarda	moto permanente	sistemazione idraulica in scogliera rinverdita	T01OI02IDRRE04_A
	moto permanente	sistemazione idraulica T. Pellizzaro in scogliera rinverdita	T01OI02IDRRE05_A
Svincolo Buonviaggio	moto permanente	inalveazione in gabbioni sbocco tombino 2x2 m	T02OI02IDRRE01_A
	moto permanente	inalveazione in gabbioni sbocco tombino 2x2 m e attraversamento DN 1200	T02OI02IDRRE02_A
	moto permanente	sistemazione idraulica in scogliera rinverdita tratti 6- 7	T02OI02IDRRE06_A
	moto permanente	inalveazione in gabbioni tratto 1,2 e 4	T02OI02IDRRE03_A
	moto permanente	inalveazione in gabbioni tratto 3	T02OI02IDRRE04_A
	moto permanente	inalveazione in gabbioni tratto 5	T02OI02IDRRE05_A
Svincolo san Venerio	moto permanente	inalveazione 1 in scogliera rinverdita + tombino 2x2 (Viadotto San Venerio I)	T03OI02IDRRE01_A
	moto permanente	inalveazione 2 in scogliera rinverdita (Fosso San Rocco)	T04OI02IDRRE02_A
	moto uniforme	tombino 2x2 Fosso Polsega	T04OI02IDRRE02_A
	moto uniforme	tombino 2x2 ex Fornaci	T04OI02IDRRE02_A

TABELLA 4-1: SPECIFICHE STUDI IDRAULICI A SUPPORTO DELLA PROGETTAZIONE DELLE OPERE

### 4.3 VERIFICHE IDRAULICHE OPERE DI INALVEAZIONE

Il tracciato dell'infrastruttura stradale alterna tratti a cielo aperto dove sono ubicati gli svincoli ( Via del Forno, Buonviaggio, San Venerio ecc) a tratti in galleria. Vista la morfologia del territorio il progetto prevede tratti in viadotto di collegamento fra gli svincoli e le gallerie.

Nei punti in cui il progetto dell'infrastruttura interferisce con il reticolo idrografico sono state previste delle opere di sistemazione della sezione liquida per garantire da un lato la continuità di deflusso del corso d'acqua, dall'altro mitigare gli effetti della dinamica d'alveo sulla nuova infrastruttura.

Gli interventi previsti sui colatori si configurano come vere e proprie opere di riassetto idraulico, in grado di assicurare il deflusso della piena TR200, con i franchi di sicurezza richiesti dal Piano di Bacino.

Sul torrente N. Dorgia sono state previste due inalveazioni con rivestimento delle sponde in gabbioni di pietrame per complessivi 200 metri circa. La sezione di deflusso è stata risagomata in base al rilievo di dettaglio, garantendo la continuità idraulica fra monte e valle e prevedendo la demolizione di un ponticello esistente allo stato attuale.

E' stata completamente riprogettata l'inalveazione conseguente la deviazione del fosso esistente all'imbocco della galleria Pellizzarda, lato svincolo Via del Forno, con rivestimento delle sponde in gabbioni di pietrame.

Le due inalveazioni sulla galleria Pellizzarda sono state integralmente riprogettate sulla base del rilievo celerimetrico di dettaglio e in base al tracciato di variante approvato. Il rivestimento delle sponde è previsto in scogliera rinverdita con tecniche di ingegneria naturalistica.

Anche le inalveazione allo sbocco dei tombini 2x2 m, in corrispondenza dello svincolo di Buonviaggio, sono state integralmente riprogettate, prevedendo il rivestimento delle sponde in gabbioni di pietrame fino al recapito finale. Il tracciato dell'inalveazione denominata "tratto1" è stato ridefinito in funzione dell'imbocco della galleria Felettino I. A corredo dell'inalveazione tratto 5, è stata prevista una paratia di presidio per garantire la fattibilità del tracciato di cui al progetto definitivo.

Per tutti i tratti 1-5 il rivestimento della sezione è stato previsto in gabbioni in pietrame. Nei tratti 1, 3 e 2-4 è stato previsto un tombino 2x2 m per garantire la continuità idraulica dei colatori minori.

Le due inalveazioni loc. Buonviaggio, denominate tratto 6 e 7, sono state integralmente riprogettate prevedendo un rivestimento delle sponde in scogliera rinverdita mediante tecniche di ingegneria naturalistica. Allo stato attuale il sottoattraversamento della strada esistente è insufficiente a smaltire la portata di progetto con TR200 anni allagando la viabilità sovrastante. E' stato previsto pertanto un adeguamento dell'attraversamento esistente mediante realizzazione di manufatto scatolare prefabbricato di dimensioni interne minime 4x2 m.

Le due inalveazioni svincolo San Venerio sono state integralmente riprogettate sia come tracciato che come modalità d'intervento, prevedendo la realizzazione di un nuovo tombino 2x2 m, allo sbocco della galleria Felettino I, e ridefinendo il tratto di sistemazione idraulica sul Fosso San Rocco, mitigando gli effetti della rettifica dell'alveo mediante una sistemazione d'alveo con

tecniche di ingegneria naturalistica, favorendo la rinaturalizzazione del corso d'acqua e la ricostruzione del paesaggio.

Si riporta di seguito, in forma tabellare una sintesi delle opere di sistemazione idraulica proposte a corredo del progetto stradale dove con  $Q_i$  si indica la portata idrologica e  $Q_p$  quella derivante dall'idraulica di piattaforma.

Opere di sistemazione idraulica							
Bacino	Ambito	Asse stradale	Opera	$Q_i200$	$Q_p200$	$Q200$	
-		-	-	[mc/s]	[mc/s]	[mc/s]	
1+2+3	Svincolo Via del Forno	principale	inalveazione in gabbioni	38,3	-	38,3	
1		rampa B		3,46	-	3,46	
		rampa D					
3		viabilità secondaria		0,42	0,2	0,62	
4	Galleria Pellizzarda	principale	sistemazione idraulica in scogliera rinverdita	2,6	-	2,6	
6		principale	sistemazione idraulica T. Pellizzardo in scogliera rinverdita	12,9	-	12,9	
8	Svincolo Buonviaggio	rampa G	inalveazione in gabbioni sbocco tombino 2x2 m	0,87	-	0,87	
		principale					
13+14		rampa L	inalveazione in gabbioni sbocco tombino 2x2 m e attraversamento DN 1200	1,09	-	1,1	
9+10+11+12		viabilità esistente	sistemazione idraulica in scogliera rinverdita tratto 6M	14,1	-	12,6	
9+10+11+12 +13+14		-	sistemazione idraulica in scogliera rinverdita tratto 6V	15,2	-	15,2	
9+10+11+12 +13+14+15+16+17		-	sistemazione idraulica in scogliera rinverdita tratto 7	21,9	-	21,9	
15		rampa M	inalveazione in gabbioni tratto 3A	1,8	-	1,8	
16		rampa M	inalveazione in gabbioni tratto 1	1,1	-	1,1	
17		rampa M	inalveazione in gabbioni tratto 2-4	3,8	-	3,8	
15+16		principale	inalveazione in gabbioni tratto 3B	2,9	-	2,9	
15+16+17		rampa M	inalveazione in gabbioni tratto 5	6,7	-	6,7	
20		Svincolo san Venerio	rampa T	inalveazione 1 in scogliera rinverdita	2,2	-	2,2
22+23			rampa T	inalveazione 2 in scogliera rinverdita	6,3	-	6,3

TABELLA 4-2: SPECIFICHE DELLE OPERE DI SISTEMAZIONE IDRAULICHE A CORREDO DEL PROGETTO STRADALE

#### 4.4 VERIFICHE IDRAULICHE OPERE DI ATTRAVERSAMENTO MINORI

Il dimensionamento delle opere di attraversamento minore dipende da numerosi parametri quali, ad esempio, le condizioni a contorno ( valori di portata di progetto, condizioni di valle e di monte), la pendenza del fondo, la forma e la scabrezza della sezione.

Per la verifica di tali opere sono state implementate analisi in moto uniforme e/o permanente, secondo le specifiche riportate nella tabella 4-1, in accordo con le raccomandazioni e le linee guida redatte in materia dall'Autorità di Bacino.

Il Piano di Bacino prevede che le opere di attraversamento siano progettate in modo da garantire una sezione netta interna di dimensioni minime di 1.60x1.60 metri e una sezione di deflusso minima superiore al metro quadrato, nel caso di tombinature o coperture connesse alla realizzazione di infrastrutture viarie sui colatori minori.

Come criterio generale le opere di attraversamento sul reticolo idrografico presentano una sezione minima interna di 2.00x2.00 metri (Rampa G, Rampa L, tratto 1, 3 e 2-4 svincolo Buonviaggio, inalveazione 1, Fosso Polsega e ex Fornaci svincolo San Venerio).

Fanno eccezione:

- tombino 2.50x1.6m Rampa D svincolo su Via del Forno;
- tombino 4.00x2.00 sul tratto 6 per l'adeguamento del sottopasso esistente (DN1000) alla portata TR200 del Fosso del Buonviaggio;
- tombini DN800 per l'attraversamento della Via del Forno con recapito nel T. N. Dorgia;
- tombino DN1200 rampa L con scarico nel tratto 6 svincolo Buonviaggio.

I tombini DN800 e DN1200 sono stati confermati rispetto al progetto definitivo:

- in quanto afferenti al reticolo minore ( $A \ll 2 \text{Kmq}$ )
- con picchi di portate duecentennali contenute ( $Q < 1.1 \text{ mc/s}$ )
- in grado comunque di garantire una superficie di deflusso netta minima di 1.00 mq
- connessi con la realizzazione di opere viarie come previsto dal Piano di Bacino vigente.

Si riporta di seguito la tabella di sintesi degli interventi con le dimensioni delle opere di attraversamento minori tenendo conto dei contributi di portata relativi all'idraulica di piattaforma.

Opere di attraversamento minore						
Bacino	Area intervento	Asse stradale	Opera	Qi200	Qp200	Q200
-		-	-	[mc/s]	[mc/s]	[mc/s]
1	Svincolo Via del Forno	rampa B	tombino 2,50x1,60 2x2	3,46	-	3,46
		rampa D				
3		viabilità secondaria	tombino DN800	0,42	0,2	0,62
8	Svincolo Buonviaggio	rampa G	tombino scatolare 2x2	0,87	-	0,87
		principale				
13+14		rampa L	tombino 2x2 e DN 1200	1,09	-	1,09
12		viabilità esistente	tombino 4X2	12,6		12,6
15		rampa M	tombino scatolare 2x2	1,8	-	1,8
16		rampa M		1,1		1,1
17		rampa M		3,8	-	3,8
20	Svincolo San Venerio	principale	tombino scatolare 2x2	2,2	-	2,2
26		principale	tombino scatolare 2x2	2,7	-	2,7
27		principale	tombino scatolare 2x2	3,11	0,15	3,26

TABELLA 4-3: DIMENSIONI ATTRAVERSAMENTI MINORI

## 4.5 ANALISI DEI RISULTATI

Le analisi condotte attraverso l'applicazione di un modello di corrente monodimensionale a fondo fisso sono dettagliate, corso d'acqua per corso d'acqua, nelle relative relazioni di calcolo secondo la codifica riportata in tab 4-1 della presente relazione generale.

Sulla base delle verifiche idrauliche condotte, negli scenari stato attuale e di progetto, sono stati determinati per ogni sezione trasversale e secondo la metodologia descritta nelle NTA del PdB, i franchi e le quote di messa in sicurezza idraulica da garantire sullo scenario due centennale; dal confronto con le quote di contenimento delle opere progettate, è stato possibile individuare i franchi di sicurezza idrici effettivamente garantiti.

Si veda l'elaborato T00GE00IDRRE03\_A per la valutazione di conformità del progetto esecutivo al Piano di Bacino.

I progetti di sistemazione idraulica proposti garantiscano il deflusso di portata duecentennale con i franchi di sicurezza richiesti, adottando, ove possibile in relazione alla morfologia del territorio, tipologie costruttive e materiali che garantiscono la minimizzazione dell'impatto ambientale.

Il rimodellamento dell'alveo è stato progettato in funzione del recupero ambientale del corso d'acqua creando le condizioni per la ricostruzione del paesaggio e il recupero di ambienti naturali. Si è cercato di evitare l'appiattimento dell'alveo, favorendo, per quanto possibile, la formazione di un alveo di magra per il deflusso delle portate minime, per consentire la vita biologica del corso d'acqua. Le scarpate spondali saranno riprofilate seguendo un andamento naturale senza rigide rettifiche della pendenza e dell'andamento planimetrico e, dove possibile, agevolando la rinaturalizzazione attraverso la riduzione delle scarpate spondali.

Sulla base della conoscenza topografica delle aree limitrofe e dei battenti in alveo sono state definite le aree a pericolosità idraulica dei corsi d'acqua allo stato *ante operam* e *post operam* e riportate nell'elaborato T00GE00IDRCO01\_A a corredo del progetto esecutivo

Negli ambiti fisici d'intervento le perimetrazioni sullo scenario di progetto sono sempre contenute in alveo o, comunque, all'interno dei perimetri di pericolosità dello scenario stato attuale e, pertanto, non si determinano negli ambiti fluviali oggetto di studio condizioni di incremento del rischio idraulico rispetto alla configurazione *ante operam*.





**APPENDICE 1.**  
**MODELLISTICA IDRAULICA**

#### 4.6 MODELLISTICA IDRAULICA DI MOTO PERMANENTE

La *modellistica idraulica di moto permanente* consente di trasformare le portate associate agli eventi di piena, definiti nella fase di modellazione idrologica, in livelli idrometrici nelle sezioni fluviali.

Per la trasformazione delle portate in livelli idrometrici viene utilizzato il software *HEC-RAS 4.0 (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System)*, prodotto e reso disponibile gratuitamente dall'USACE (*United States Army Corps of Engineering*).

La procedura di calcolo si basa sulla risoluzione, con un metodo alle differenze finite, dell'equazione di moto permanente gradualmente variato, ricavata dal bilancio dell'energia secondo lo schema monodimensionale. Tale equazione è espressa dalla seguente forma differenziale:

$$\frac{dH}{dx} = -S_f$$

con:

$$H = z + y + \frac{\alpha V^2}{2g}$$

in cui:

$H$  è il carico totale della corrente nella sezione generica di ascissa  $x$ , misurato rispetto ad un riferimento orizzontale;

$S_f$  è la perdita di carico unitaria dovuta alle resistenze continue;

$z$  è la quota del fondo alveo rispetto ad un riferimento orizzontale;

$y$  è la profondità della corrente misurata dal fondo dell'alveo;

$V$  è la velocità media della corrente nella sezione generica di ascissa  $x$ ;

$\alpha$  è il coefficiente di ragguglio delle altezze cinetiche;

$g$  è l'accelerazione di gravità.

Passando alle differenze finite, l'equazione del profilo liquido tra due sezioni distanti  $\Delta x$  diventa:

$$H_2 - H_1 = -S_{fm} \cdot \Delta x$$

in cui:

$H_1$  è il carico totale della corrente nella sezione iniziale;

$H_2$  è il carico totale della corrente nella sezione finale;

$S_{fm}$  è la perdita di carico unitaria dovuta alle resistenze continue media tra le due sezioni.

Quindi, per sostituzione, si ottiene:

$$z_1 + y_1 + \frac{\alpha V_1^2}{2g} - z_2 - y_2 - \frac{\alpha V_2^2}{2g} + \frac{J_1 + J_2}{2} \cdot \Delta x = 0$$

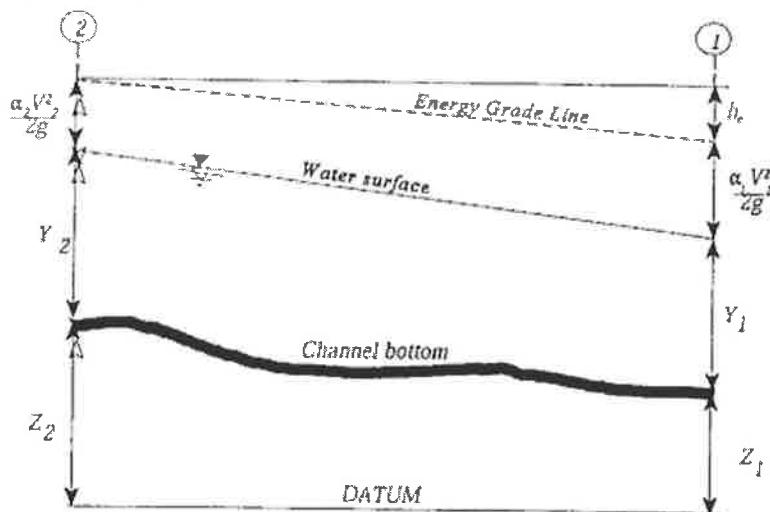
ovvero:

$$z_1 + y_1 + \frac{Q^2}{2gA_1^2} - z_2 - y_2 - \frac{Q^2}{2gA_2^2} + \frac{1}{2} \left( \frac{Q^2 n^2}{A_1^2 R_1^{4/3}} + \frac{Q^2 n^2}{A_2^2 R_2^{4/3}} \right) \cdot \Delta x = 0$$

dove:

$Q$  è la portata;  
 $A_1$  è l'area liquida della corrente nella sezione iniziale;  
 $A_2$  è l'area liquida della corrente nella sezione finale;  
 $n$  è il coefficiente di scabrezza di Manning;  
 $R$  è il raggio idraulico della sezione (rapporto tra area liquida ed contorno bagnato).

I termini del bilancio energetico fra due sezioni trasversali del corso d'acqua sono schematicamente rappresentati nella seguente figura.



Essendo le caratteristiche geometriche di una data sezione funzione della sola altezza liquida, l'equazione non lineare appena trovata permette di determinare la quota liquida nella sezione terminale di un tratto di corrente di lunghezza  $\Delta x$  una volta che sia nota la quota liquida in corrispondenza della sezione iniziale o viceversa (*condizione al contorno*).

La determinazione del profilo liquido di moto permanente relativo ad un tronco fluviale richiede quindi:

- la suddivisione il tronco di interesse in una successione finita di tratti delimitati da sezioni di cui sia nota la geometria;
- l'immissione del valore di portata liquida in ingresso alla sezione di monte ed eventuali variazioni dovute a immissioni localizzate o distribuite;
- l'imposizione delle condizioni al contorno nelle sezioni estreme del tronco in esame.

A partire dunque dalle condizioni al contorno, l'applicazione reiterata dell'equazione dell'energia permette di determinare la quota del pelo liquido in ogni sezione. In particolare, il modello consente di adottare uno dei seguenti schemi di calcolo:

- Corrente lenta (*subcritical flow*), applicabile quando la corrente è ovunque lenta, ossia con un'altezza liquida superiore alla critica in ogni sezione di calcolo; in tal caso la condizione al contorno è richiesta in corrispondenza dell'estremo di valle del tronco fluviale considerato.

- Corrente veloce (*supercritical flow*), applicabile quando la corrente è ovunque veloce, ossia in presenza di un'altezza liquida inferiore alla critica in tutte le sezioni di calcolo; in tal caso la condizione al contorno va imposta sulla sezione di monte del tratto in esame.
- Corrente mista (*mixed flow*), utilizzata quando all'interno del tronco esaminato si verificano transizioni da un tipo di corrente all'altro (es. risalto idraulico), che danno luogo ad una successione di tratti con differenti caratteristiche di moto. Tale schema richiede una condizione al contorno in corrispondenza di entrambe le sezioni estremità (monte e valle).

Va inoltre osservato che, per la soluzione dell'equazione monodimensionale dell'energia, le perdite di carico sono dovute alla *scabrezza*, quindi determinate tramite l'equazione di Manning, e in corrispondenza di brusche variazioni di velocità, dovute ad irregolarità d'alveo, tramite appositi coefficienti di *espansione/contrazione* della vena fluida moltiplicatori della variazione di energia cinetica.

Le irregolarità idrauliche (salti di fondo, confluente, sbarramenti, etc...) nelle quali si viene a determinare un brusca variazione nel profilo del pelo libero della corrente, sono modellate attraverso la conservazione della spinta totale (equazione dei momenti).

In definitiva, i dati da inserire per la costruzione e la successiva implementazione della modellistica idraulica di moto permanente con il software HEC-RAS sono riassunti di seguito.

- 1 *Dati geometrici* relativi alle sezioni trasversali ed alle eventuali strutture presenti (ponti, traverse, sfioratori);
- 2 *Coefficiente di scabrezza* di Manning e *coefficienti di contrazione/espansione*, per il calcolo delle perdite energetiche, rispettivamente, distribuite e concentrate, in corrispondenza di ogni sezione fluviale. Dall'attendibilità di questi dati, definiti sulla base di sopralluoghi e confronti diretti con i valori riportati in letteratura, dipende il grado di risoluzione della simulazione. Le disposizioni tecniche individuano nel testo di Ven Te Chow il riferimento per la scelta delle scabrezze idrauliche in funzione delle caratteristiche della sezione. Tale testo tratta la determinazione del coefficiente di scabrezza in modo esaustivo, descrivendo i fattori che influenzano i coefficienti, e presentando una serie di valori plausibili per sezioni idrauliche con differenti caratteristiche;
- 3 *Portata liquida in ingresso* alla sezione di monte ed eventuali contributi dovuti a *immissioni laterali* sulla base dei risultati della modellistica idrologica.
- 4 *Condizioni al contorno* per le sezioni estreme del tronco in esame, secondo lo schema di calcolo adottato. Le scelte possibili comprendono:
  - *Known Water Surface Elevation*, per cui si immette un valore noto dell'altezza d'acqua;
  - *Critical depth*, si assume il valore di altezza critica calcolato dal programma;
  - *Normal depth*, prevede la definizione del valore della cadente della linea dei carichi totali, che in prima approssimazione può essere approssimabile con la pendenza del tratto di canale;
  - *Rating curve*, che permette la definizione per punti della scala di deflusso.

Attraverso la discretizzazione dell'equazione di moto nel dominio spaziale, la soluzione viene definita solo in corrispondenza delle sezioni trasversali in cui il corso d'acqua è stato schematizzato e non con continuità su tutto il dominio. Il grado di risoluzione conseguibile deriva quindi dalla densità delle sezioni fluviali rilevate.