

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-idraulica integrativa
a seguito della nota Provincia di La Spezia n°8038 del 10/02/2009

CODICE PROGETTO		NOME FILE			REVISIONE	SCALA
PROGETTO	LIV. PROG.	T00ID00IDRRE03_A.DWG				
D P G E 0 2 6 6	E 20	CODICE ELAB. T00ID00IDRRE03			A	-
D						
C						
B						
A	EMISSIONE		GIUGNO 2020			
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	



Anas SpA

95

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	LUCIONI	ROCCHI	FIMIANI
REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

TITOLO ELABORATO:

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA INTEGRATIVA
A SEGUITO DELLA NOTA
PROVINCIA di LASPEZIA N°8038 DEL 10/02/2009

Visto: Il Responsabile Unico del Procedimento

CODICE PROGETTO			CODICE ELABORATO																						
L	O	9	0	2	A	E	1	0	0	1	T	0	0	G	E	0	0	I	D	R	R	E	0	3	A
SCALA:		DATA:	marzo 2011	COMMESSA:	C287A	NOME FILE:	T00GE00IDRRE03_A .DWG																		

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO DI IMPRESE

MANDATARIA

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 INTEGRATIVA
A SEGUITO DELLA NOTA PROVINCIA N°8038 DEL 10/02/2009**

N° PROGETTO: C287.A		ELABORATO:			
<i>revisione</i>	<i>data</i>	<i>descrizione</i>	<i>redatto</i>	<i>controllato</i>	<i>approvato</i>
0	04/03/2011	EMISSIONE	Lucioni	Rocchi	Fimiani
1					
2					
3					
4					



INDICE

1 PREMESSA.....	3
2 AMBITO DEL PROGETTO.....	5
2.1 INQUADRAMENTO GENERALE.....	5
2.1 OBIETTIVO DELL'INDAGINE IDROLOGICO-IDRAULICA INTEGRATIVA.....	5
2.2 APPROCCIO METODOLOGICO E CRITERI PROGETTUALI.....	6
3 INPUT IDROLOGICI DI PROGETTO.....	7
4 VERIFICHE IDRAULICHE T. NUOVA DORGIA E PELLIZZARO.....	9
4.1 RILIEVO TOPOGRAFICO DI DETTAGLIO.....	9
4.2 CONDIZIONI AL CONTORNO DELLA MODELLISTICA.....	9
4.3 ANALISI DEI RISULTATI.....	10
5 OPERE DI ATTRAVERSAMENTO MINORI.....	10
APPENDICE 1.	
MODELLISTICA IDRAULICA.....	12

1 Premessa

La presente relazione integra la documentazione progettuale in relazione alle interferenze della variante alla SS n°1 Aurelia – Lotto 3° - Felettino - Raccordo Autostradale con il Torrente Nuova Dorgia e il Fosso Pellizzaro, sulla scorta della nota della Provincia della Spezia prot. nr 8038 del 10/02/2009.

In particolare al fine di verificare in via definitiva la compatibilità fra il Piano di Bacino stralcio da rischio idrogeologico AMBITO 20 - Golfo della Spezia con i lavori di costruzione dell'infrastruttura stradale, è stato chiesto di integrare la documentazione progettuale con i seguenti approfondimenti tecnici:

- modellazione idraulica del T. N. Dorgia in base al valore di portata di riferimento segnalato nel Piano di di Bacino $Q=38.3$ mc/s per l'evento con tempo di ritorno bicentenario;
- adeguamento interferenza fra il Fosso Pellizzardo e la galleria naturale "Pellizzarda", in quanto il sovrappasso si configura quale spostamento d'alveo e, pertanto, incompatibile con le previsioni di cui al Piano di Bacino Ambito 20 – Golfo della Spezia approvato con D.C.P. n. 34 del 31.03.2003.
- verifica dimensioni degli attraversamenti minori interessati dalla realizzazione dell'opera stradale.

A tale scopo sono state condotte indagini idrologiche ed idrauliche integrative sul T. Nuova Dorgia e sul Fosso Pellizzaro in conformità alle norme del Piano di Bacino - Ambito 20 del Golfo di La Spezia, nel quale sono contenute le linee programmatiche di bacino e gli indirizzi tecnici per gli studi e per la progettazione delle opere idrogeologiche.

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).

L'Allegato 2 del Piano di Bacino contiene i valori di portata al colmo di piena per tempi di ritorno duecentennali ed altri tempi di ritorno per i principali corsi d'acqua presenti nel Ambito 20 e i criteri per il calcolo della portata dei bacini con superficie minore di 2 Km². In particolare per il T. Nuova Dorgia e per il Fosso Pellizzaro sono presenti sezioni di calcolo rappresentative cui è stato fatto riferimento per l'analisi idraulica di dettaglio come richiesto nella nota della Provincia sopra richiamata.

Gli studi idraulici sono stati condotti allo stato attuale e di progetto per valutare in non incremento di pericolosità idraulica nella configurazione post operam, in conformità al Piano di Bacino.

Per una valutazione finale della compatibilità delle opere stradali con il reticolo idrografico è stato prodotto l'elaborato di sintesi T00GE00IDR001_A a corredo del progetto esecutivo, contenente la perimetrazione delle aree allagate TR200 ante e post operam in base agli studi effettuati.

Al fine di consentire il deflusso della piena bicentennale del T. N Dorgia in modo da garantire nell'ambito fisico d'intervento i franchi di sicurezza previsti e comunque non inferiori a 0.5 m, è stata prevista una ricalibratura della sezione di deflusso allargando l'alveo rispetto al progetto a base di gara e proteggendo le sponde con gabbioni in pietrame.

In base al rilievo celerimetrico di dettaglio è stato esteso l'ambito di studio sul T. Pellizzaro in modo da individuare sul corso d'acqua un intervento di riassetto idraulico compatibile con l'ambito



fisico d'intervento, con le soggiacenti aree di fondovalle e in grado di mitigare l'interferenza con la galleria naturale "Pellizzarda". L'intervento proposto prevede il rivestimento della sezione idraulica in scogliera rinverdita con la formazione di un alveo di magra in modo da contemperare le esigenze ambientali di rinaturalizzazione dell'alveo con la corretta regimazione del corso d'acqua.

E' stata inoltre verificata per gli attraversamenti minori, la conformità delle dimensioni dei tombini in relazione alle specifiche del Piano di Bacino per le coperture connesse alla realizzazione di infrastrutture viarie sui colatori minori.

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 con le sponde rivestite in gabbioni di pietrame.

Il Torrente Pellizzaro è interessato da un’interferenza con la galleria artificiale Pellizzarda e, pertanto, oggetto di un intervento di sistemazione compatibile con l’assetto idraulico del corso d’acqua.

2.1 OBIETTIVO DELL’INDAGINE IDROLOGICO-IDRAULICA INTEGRATIVA

Riscontrando la nota della Provincia della Spezia prot. n. 8038 del 10/02/2009 e al fine di verificare in via definitiva la compatibilità fra il Piano di Bacino AMBITO 20 - Golfo della Spezia e i lavori di costruzione della variante della S.S. 1 Aurelia - 3° Lotto Felettino ed il raccordo autostradale, con la presente relazione si intende integrare e/o adeguare la documentazione progettuale relativamente ai seguenti punti:

- Modellazione idraulica del T. N. Dorgia in base al valore di portata di riferimento segnalato nel P. di Bacino di 38.3 mc/s per l’evento con tempo di ritorno bicentenario;
- Interferenza fra il Fosso Pellizzardo e la galleria naturale “Pellizzarda”, in quanto il sovrappasso si configura quale spostamento d’alveo e, pertanto, incompatibile con le previsioni di cui al Piano di Bacino Ambito 20 – Golfo della Spezia approvato con D.C.P. n. 34 del 31.03.2003;
- Verifica dimensioni attraversamenti minori.

Relativamente al secondo punto, il tratto del T. Pellizzaro oggetto di studio è stato esteso rispetto al progetto a base di gara in modo da individuare un intervento di riassetto idraulico complessivo del colatore, compatibile con l’infrastruttura in progetto e le aree contermini.

In base a quanto sancito dall’art. 5 – Indirizzi Vincolanti del Piano di Bacino vigente, gli interventi di sistemazione idraulica sono stati progettati, per quanto possibile, ricorrendo all’impiego di tecniche naturalistiche volte della rinaturalizzazione degli alvei dei corsi d’acqua.

2.2 APPROCCIO METODOLOGICO E CRITERI PROGETTUALI

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 idrologiche ed idrauliche a supporto della progettazione esecutiva sono redatte in conformità agli indirizzi tecnici del Piano di Bacino-Ambito 20 del Golfo della Spezia.

Ai sensi dell'art. 7 del Piano di Bacino la portata di piena da assumere nella progettazione relativa ad opere strutturali è quella con tempo di ritorno duecentennale (TR=200 anni).

Uno schema riassuntivo delle portate duecentennali relative al Bacino-Ambito 20 del Golfo della Spezia ed altre indicazioni rilevanti di applicazione delle stesse sono riportate nell'Allegato 2 alle NTA del PdB.

Gli indirizzi di carattere tecnico ed i requisiti minimi degli studi idraulici relativi a progetti di sistemazione idraulica, sono riportati nell'allegato 3 alle NTA del PdB di cui si riporta una sintesi.

Caratteristiche tecniche degli studi

Nel caso della progettazione e della verifica di opere idrauliche deve essere 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/s²) (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:

- 1. deve essere garantita una sezione netta interna di dimensioni minime di 1.60x1.60 metri;*
- 2. 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;*
- 3. 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;*
- 4. devono essere corredate da un programma di mantenimento della sezione di deflusso prevista in progetto;*
- 5. 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.

3 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 $S < 2 \text{ Km}^2$).

Per il dimensionamento degli interventi di sistemazione idraulica sul T. 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 Verifiche idrauliche T. Nuova Dorgia e Pellizzaro

4.1 RILIEVO TOPOGRAFICO DI DETTAGLIO

A supporto del progetto esecutivo e degli studi ad esso propedeutici è stato condotto un rilievo celerimetrico di dettaglio di dettaglio contenente il censimento e il rilievo delle opere e del profilo dell'alveo del T. N. Dorgia e del Pellizzaro; su tali dati sono state implementate le verifiche idrauliche sull'evento TR200.

Sui dati territoriali rilevati è stato elaborato un DTM da cui sono state ricostruite le sezioni fluviali allo stato attuale dei due corsi d'acqua.

In particolare, per il T. Nuova Dorgia sono state elaborate n. 23 sezioni trasversali dalla sezione DG119BB11 alla DG101__11 mentre per il fosso Pellizzaro n. 25 sezioni trasversali dalla PL201__11 alla PL217__11 in modo da caratterizzare i corsi d'acqua in un ambito idraulicamente significativo.

Si rimanda agli elaborati del progetto esecutivo T01OI02IDRPP02_A e T01OI02IDRPP05_A per l'inquadramento planimetrico degli interventi proposti sui due corsi d'acqua con le tracce delle sezioni fluviali. Negli elaborati del progetto esecutivo T01OI02IDRSZ02_A e T01OI02IDRSZ05_A si rappresenta lo stato attuale dei due corsi d'acqua in termini di sezioni fluviali e profili naturali del talveg.

4.2 CONDIZIONI AL CONTERNO DELLA MODELLISTICA

Per la verifica idraulica del tratto di interesse del T. Nuova Dorgia e del Fosso Pellizzaro è stata implementata una verifica in moto permanente attraverso l'utilizzo del software HEC-RAS 4.0. Per i dettagli riguardanti la modellazione adottata si rimanda all'Appendice 1. Modellistica Idraulica.

Gli studi idraulici sui due corsi d'acqua sono stati condotti allo stato attuale e di progetto per valutare la compatibilità idraulica dell'infrastruttura di progetto in termini di incrementi del rischio idraulico attuale nella configurazione post operam.

La simulazione allo stato attuale è stata condotta in base agli input idrologici duecentennali riportati in Tab.3-1, in condizioni di corrente mista, fissando quali condizioni al contorno il valore della cadente della linea dei carichi totali, posto pari alla pendenza del fondo rilevata.

Quale coefficiente di scabrezza associato alle singole sezioni fluviali è stato assunto in coerenza con le indicazioni dell'Allegato 3 del PdB, il valore del coefficiente di Manning pari a 0.03 ms^{-1/3} corrispondente a corsi d'acqua naturali con vegetazione e movimento di materiale sul fondo.

La simulazione allo stato di progetto è stata condotta in base agli input idrologici duecentennali riportati in Tab.3-1, in condizioni di corrente mista, fissando quali condizioni al contorno il valore della cadente della linea dei carichi totali, posto pari alla pendenza del fondo di progetto (assunta pari all'1% per il T. N. Dorgia e 2% per il Pellizzaro).

Per la verifica idraulica della configurazione di progetto, è stata implementata una modellistica di moto permanente relativa allo scenario duecentennale inserendo le sezioni di progetto, caratterizzate da un coefficiente di Manning di 0.025 ms^{-1/3}, corrispondente a tratti urbanizzati di corsi d'acqua naturali con argini cementati (e/o platee) in buono stato.

Per garantire nel tratto oggetto d'intervento la livelletta di progetto sono stati previsti salti di fondo di altezza variabile. Allo scopo di dissipare l'energia della corrente, ove possibile, è stato mantenuto un rapporto fra altezza di salto e interasse fra i salti non superiore a 0.2 .

4.3 ANALISI DEI RISULTATI

Sulla base delle verifiche idrauliche allo stato di progetto sono stati determinati, per ogni corso d'acqua e per ogni sezione trasversale, i franchi e le quote di messa in sicurezza idraulica da garantire sullo scenario duecentennale, in base al criterio proposto dall'Allegato 3 del Piano di Bacino.

Si rimanda alle relazioni di calcolo del progetto esecutivo T01OI02IDRRE02_Ae T01OI02IDRRE05_A per le tabelle riepilogative delle simulazioni idrauliche condotte sul T. N. Dorgia e sul Fosso Pellizzaro.

Per la rappresentazione grafica delle sezioni e dei profili longitudinali allo stato di progetto si rimanda agli elaborati del progetto esecutivo T01OI02IDRSZ02_A e T01OI02IDRSZ05_A.

Gli interventi proposti sul T. N. Dorgia sia sul Fosso Pellizzaro assicurano il transito della piena con TR200 con un franco di sicurezza minimo non inferiore al maggiore fra il carico cinetico e 0.5 m sul livello di piena duecentennale.

In particolare in ogni sezione:

- è garantita la quota di messa in sicurezza idraulica con franco di sicurezza;
- la velocità della corrente è sensibilmente ridotta nella configurazione di progetto soprattutto sul T. Pellizzaro limitando i fenomeni di erosione in alveo;
- essendo allo stato di progetto la portata sempre contenuta in alveo, non si verificano incrementi di rischio idraulico rispetto alla configurazione ante operam ne situazioni di rischio residuo.

Si rimanda a tal proposito all'elaborato di sintesi T00GE00IDRSCO01_A contenente la perimetrazione delle aree allagate TR200 ante e post operam per una valutazione finale della compatibilità delle opere stradali con il reticolo idrografico. In base alle indagini idrologiche ed idrauliche effettuate le inalveazioni proposte oltre a garantire la continuità idraulica dei corsi d'acqua interferenti con le opere stradali, contribuiscono a migliorare l'efficienza idraulica dei colatori risolvendo, in taluni casi, situazioni locali di insufficienza idraulica della sezione dell'alveo.

5 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, in accordo con le raccomandazioni e le linee guida redatte in materia dall'Autorità di Bacino competente territorialmente.

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 tombature 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) quindi maggiore del minimo prescritto dalla norme tecniche di bacino.

Fanno eccezione le seguenti opere:

- tombino 2.5x1.6m Rampa D svincolo su Via del Forno, la cui sezione di deflusso minima è comunque di 4 mq e, quindi, equivalente al tombino di progetto standard 2.0x2.0 m;
- tombino 4.0x2.0m sull'inalveazione denominata "tratto 6" per l'adeguamento del sottopasso esistente (DN1000) alla portata TR200 del Fosso del Buonviaggio. In base alla verifica allo stato attuale sull'inalveazione denominata "tratto 6" la sezione del sottopasso stradale esistente costituito da una condotta DN1000 è insufficiente allo smaltimento della portata di progetto TR200. Tale insufficienza genera un profilo di rigurgito a monte del rilevato stradale con parziale allagamento della viabilità sovrastante. E' stata pertanto proposta nel progetto esecutivo la demolizione del sottopasso esistente risultato insufficiente e la realizzazione di un nuovo sottopasso adeguato all'evento TR200 con franco di sicurezza;
- sostituzione tombino DN1200 con tombino 2x2m alla rampa M-L svincolo di Buonviaggio. Nel progetto esecutivo il tombino DN1200 alla rampa L-M è stato sostituito con un tombino 2.0x2.0m in base al criterio generale suesposto e in base alla nota della Provincia richiamata in premessa.

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.

Per un inquadramento dei bacini imbriferi si rimanda all'elaborato T00GE00IDRCO01_A.

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	3,46	-	3,46
		rampa D				
8	Svincolo Buonviaggio	rampa G principale	tombino scatolare 2x2	0,87	-	0,87
13+14		rampa L	tombino 2x2	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	-
26	principale		tombino scatolare 2x2	2,7	-	2,7
27	principale		tombino scatolare 2x2	3,11	0,15	3,26

TABELLA 5-2: DIMENSIONI ATTRAVERSAMENTI MINORI

Appendice 1. Modellistica idraulica

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;

α 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 Δx diventa:

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

in cui:

H₁ è il carico totale della corrente nella sezione iniziale;

H₂ 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;

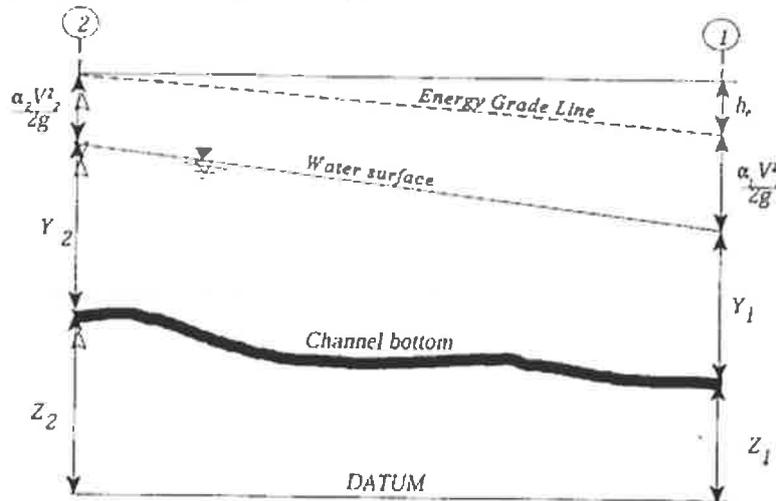
A_1 è l'area liquida della corrente nella sezione iniziale;

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 Δx 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, confluenze, 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.

Dall'esame dei battenti idrici risultanti dalla modellistica idraulica di moto permanente si evidenziano le eventuali sezioni fluviali insufficienti.