



Anas SpA

Direzione Progettazione e Realizzazione Lavori

PIANO SULCIS - S.S. 195 "SULCITANA" - INTERVENTI DI ADEGUAMENTO STRADA DI COLLEGAMENTO S. GIOVANNI SUERGIU-GIBA DAL KM 91+100 AL KM 94+600; S.S. 293 "DI GIBA" - MESSA IN SICUREZZA STRADA GIBA-NUXIS DAL KM 60+100 AL KM 63+700 E DAL KM 64+200 AL KM 65+500

PROGETTO DEFINITIVO

IMPRESA ESECUTRICE:

Delta Lavori S.p.A.



II RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

Dott. Ing. Edoardo Antonio Quattrone
Responsabile Tecnico Nuove Costruzioni
Compartimento Territoriale Sardegna
Area Compartimentale Cagliari
Via Biasi, 27 09131 - CAGLIARI

PROGETTISTI:



Il Direttore Tecnico

Progettista responsabile dell'integrazione fra le varie prestazioni specialistiche. Progettazione classe e categoria V.02
Coordinatore Sicurezza in fase di progett.

Responsabile geologia

Progettazione strutture o parti di strutture in c.a., classe e categoria S.03

Progettazione fondazioni speciali, classe e categoria S.05

Ing. Francesco Frassinetti

Ing. Marcello Mancone

Dott. Geol. Pietro Accolti Gil

Ing. Andrea Lucarelli

Ing. Fabio Camorani

05 IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica

NOME FILE:	T00 ID00 IDR RE02_D	REVISIONE:	FORMATO:	SCALA:
CODICE ELABORATO	T00 ID00 IDR RE02	D	A4	—

ELABORATO EMESSO A SEGUITO DI RECEPIMENTO ISTRUTTORIA ANAS - GIUGNO 2019



GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

1 di 75

Relazione Idraulica

INDICE

1.	PREMESSA	2
2.	IDRAULICA FLUVIALE	2
	2.1. Introduzione	2
	2.2. Riferimenti normativi	3
	2.2.1. Prescrizioni normative del Ministero dei Lavori Pubblici	3
	2.2.2. Prescrizioni normative ABPO.....	4
	2.2.3. Prescrizioni normative dell'Autorità di Bacino della Regione Sardegna	6
	2.3. Metodo di Calcolo	8
	2.3.1. Il Programma MIKE FLOOD.....	9
	2.3.2. Il Programma HEC-RAS	20
3.	ANALISI DELLE INTERFERENZE IDRAULICHE	22
	3.1. Attraversamenti principali.....	22
	3.1.1. Riu Palmas	22
	3.1.2. Franchi di sicurezza Riu di Piscinas, Gora di Piscinas, Riu Mannu Santadi	25
	3.1.3. Aree di esondazione Riu di Piscinas, Gora di Piscinas, Riu Mannu Santadi.....	32
	3.1.4. Interventi di protezione idraulica.....	40
	3.2. Attraversamenti secondari: tombini idraulici	44
	3.2.1. Franchi di sicurezza Tombini	58
4.	IDRAULICA DI PIATTAFORMA	60
	4.1. Stima delle piogge di progetto	60
	4.2. Opere di drenaggio.....	61
	4.2.1. Sezioni in rilevato	61
	4.2.2. Sezioni in trincea	62
	4.2.3. Sezioni in viadotto e ponte.....	62
	4.3. Verifiche idrauliche delle opere di drenaggio	63
	4.3.1. Calcolo dell'interasse degli embrici in rilevato.....	64
	4.3.2. Calcolo dell'interasse delle caditoie in trincea.....	67
	4.3.3. Verifica dei tratti in viadotto	68
	4.3.4. Verifica idraulica dei collettori	69
	4.3.5. Verifica dei fossi di guardia.....	69
	APPENDICE: EVOLUZIONE TEMPORALE DEI BATTENTI IDRAULICI	72



GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

2 di 75

Relazione Idraulica

1. PREMESSA

La presente relazione riferisce lo studio idraulico eseguito nell'ambito della progettazione definitiva della S.S.195 "Sulcitana" - Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

Il presente studio tratterà la verifica delle interferenze del tracciato con il reticolo idrografico superficiale e la definizione generale del sistema di drenaggio della piattaforma stradale dell'infrastruttura.

Nei primi due capitoli verranno esposte le impostazioni teoriche adottate per la schematizzazione dei fenomeni naturali, le ipotesi semplificative assunte e le metodologie di calcolo utilizzate rispettivamente per l'idraulica fluviale e per i fenomeni fisici propri dell'interferenza tra le strutture di attraversamento e corso d'acqua.

Successivamente, tali metodologie saranno applicate all'analisi idraulica degli attraversamenti stradali dei corsi d'acqua principali e secondari.

Infine verrà affrontato il tema dell'idraulica di piattaforma, definendo i criteri di progetto e le caratteristiche dimensionali e tecniche degli elementi idraulici previsti per il drenaggio della superficie stradale e delle opere idrauliche necessarie al presidio idraulico dell'infrastruttura.

Si precisa che nella presente relazione REV D sono comunque riportate le analisi idrauliche in moto vario sviluppate per la precedente revisione del Progetto Definitivo. Tale impostazione di studio è stata modificata a seguito delle Osservazioni espresse da ADIS con prot n 2782 del 28/03/2019.

A seguito di tali osservazioni gli studi idrologici idraulici dei corsi d'acqua e dei tombini sono stati condotti in moto permanente seguendo quanto citato nelle NTA e nelle Linee Guida del PAI.

2. IDRAULICA FLUVIALE

2.1. Introduzione

L'analisi delle interazioni che si verificano fra la corrente idrica, l'alveo del corso d'acqua in cui questa defluisce e le strutture in alveo degli attraversamenti fluviali è stata oggetto negli ultimi anni di una rinnovata attenzione da parte di progettisti e ricercatori.

La presenza di un attraversamento, infatti, quand'anche si prescindano dai problemi derivanti da un suo eventuale collasso o danneggiamento, può indurre conseguenze rilevanti sulla morfologia dell'alveo fluviale, sulle caratteristiche idrauliche della corrente e sullo stesso regime delle portate di piena. Ad esempio, si possono verificare migrazioni laterali d'alveo indotte dalla presenza in alveo delle infrastrutture del ponte, in particolare dei rilevati di accesso, riduzione della capacità di deflusso e conseguente rialzo dei livelli del pelo libero di monte, e formazione di invasi a monte del manufatto di attraversamento che possono essere amplificati dalla parziale ostruzione delle luci del ponte ad opera di detriti lapidei e vegetali trasportati dalla corrente. La formazione di tali invasi temporanei può avere



GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

Relazione Idraulica

3 di 75

conseguenze particolarmente rilevanti, poiché da un lato può provocare un sensibile rialzamento dei livelli a monte e conseguente sormonto dell'impalcato, dall'altro l'insorgenza di sollecitazioni anomale sia sulle pile dei ponti che soprattutto sull'impalcato. Ciò può portare al collasso del ponte, fenomeno che si sviluppa usualmente in tempi piuttosto brevi; si verifica così lo svaso rapido del volume idrico accumulato a monte, che si traduce in un incremento anche notevole del valore di portata del colmo di piena transitante a valle rispetto alla situazione di alveo indisturbato.

Nei paragrafi seguenti, dopo una sintesi dei principali riferimenti normativi relativi alla progettazione ed alla verifica della sicurezza degli attraversamenti fluviali, sono brevemente descritti gli approcci metodologici, i parametri idraulici e le formule applicative utilizzate per la valutazione quantitativa dei fenomeni di rigurgito della corrente a monte degli attraversamenti e dei fenomeni erosivi alla base delle strutture in alveo.

2.2. Riferimenti normativi

2.2.1. Prescrizioni normative del Ministero dei Lavori Pubblici

In Italia i riferimenti normativi ai quali si deve attenere il progettista degli attraversamenti fluviali sono contenuti nel Decreto Ministeriale del 2 agosto 1980 e in quello del 4 maggio 1990, ai quali ha fatto seguito la Circolare n. 34233 emanata in data 25 febbraio 1991 dal Ministero dei Lavori Pubblici, recante "Istruzioni relative alla normativa tecnica dei ponti stradali". Recentemente il DM 14/01/08 più noto come "Norme Tecniche per le Costruzioni" e successivamente la Circolare esplicativa n. 617 del 2-2-2009 ha integrato in alcune parti, riguardanti prevalentemente le azioni da prevedere per i calcoli statici, le norme dei precedenti decreti.

Le norme prescrivono di assumere normalmente quale portata di progetto quella corrispondente a un tempo di ritorno non inferiore a duecento anni per la quale i calcoli idraulici dovranno verificare la sussistenza di un franco minimo tra il livello di massima piena e l'impalcato del ponte (di 1,5÷2 m).

Nel 2018 sono entrate in vigore le Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni con DM 17 gennaio 2018 al quale è seguita la Circolare 21 gennaio 2019, n.7/CSLLPP.

Ai sensi di tale normativa, al capitolo 5 è previsto un franco idraulico non inferiore a 1.5m

Viene inoltre suggerito di stimare la frequenza probabile dell'evento di piena che dà luogo all'annullamento del franco ed in ogni caso si stabilisce che, per i corsi d'acqua arginati, la quota di sottotrave del ponte deve essere non inferiore a quella della sommità arginale.

Di norma il manufatto non dovrà interessare con spalle, pile e rilevati il corso d'acqua attivo (anche se non viene fornita alcuna indicazione su quale parte dell'alveo debba intendersi come corso d'acqua attivo) e, se arginato, i corpi arginali. Qualora eccezionalmente fosse necessario realizzare pile in alveo, la luce minima tra pile contigue, misurata ortogonalmente al filone principale della corrente, non dovrà essere inferiore a 40 metri. Soluzioni con luci inferiori potranno essere autorizzate dall'Autorità competente, previo parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Nello studio idraulico dell'opera, devono essere oggetto d'indagine i seguenti problemi: classificazione del corso d'acqua ai fini dell'esercizio della navigazione interna; valutazione dello scavo localizzato con



GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

Relazione Idraulica

4 di 75

riferimento alle forme ed alle dimensioni delle pile, delle spalle, delle fondazioni nonché dei rilevati; valutazione degli effetti dovuti all'eventuale presenza di correnti veloci; esame delle conseguenze della presenza di eventuali corpi natanti, flottanti e trasportati dalle acque, ove ricorra detta possibilità, nonché delle conseguenze di eventuali ostruzioni delle luci, specie se queste possono creare invasi anche temporanei a monte, sia in fase costruttiva, sia durante l'esercizio delle opere. In situazioni particolarmente complesse si suggerisce di sviluppare le indagini anche con l'ausilio di modelli fisici in scala ridotta.

Nel complesso, le norme emanate dal Ministero dei Lavori Pubblici fissano il quadro di riferimento per lo sviluppo della relazione sugli aspetti idrologici, idrografici ed idraulici prescritta a corredo della progettazione dell'attraversamento fluviale, delineando anche i criteri generali che devono guidare l'articolazione di tale relazione.

2.2.2. Prescrizioni normative ABPO

Per quanto riguarda i criteri di progetto e di compatibilità adottati nella progettazione delle opere di attraversamento, per quanto non specificatamente indicato nelle Norme di attuazione del PAI della Regione Sardegna, si è fatto riferimento a quanto espresso nella "Direttiva n. 4 –Criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B" allegata alle Norme di Attuazione dell'Autorità di Bacino del fiume PO.

Lo studio di compatibilità è stato pertanto finalizzato a valutare che l'inserimento della struttura sia coerente con l'assetto idraulico del corso d'acqua e non comporti alterazioni delle condizioni di rischio idraulico, ed al contempo sono state valutate in modo adeguato le sollecitazioni di natura idraulica cui è sottoposta l'opera, in rapporto alla sicurezza della stessa.

I criteri di compatibilità adottati possono essere pertanto sintetizzati in quanto segue:

1. *Portata di piena di progetto.*

Per quanto riguarda gli scenari di riferimento presi in considerazione nelle verifiche di compatibilità idraulica degli attraversamenti principali, in ottemperanza a quanto stabilito dalle norme, è stato assunto il Tempo di ritorno di 200 anni.

2. *Franco minimo.*

Il minimo franco tra la quota idrometrica relativa alla piena di progetto e la quota di intradosso del ponte è stato assunto non inferiore a 0.5 volte l'altezza cinetica della corrente e comunque non inferiore a un 1.00 m; il valore del franco è assicurato per almeno 2/3 della luce quando l'intradosso del ponte non sia rettilineo e comunque per almeno 40 m, nel caso di luci superiori a tale valore.

3. *Posizionamento del ponte rispetto all'alveo.*

L'insieme delle opere costituenti l'attraversamento non deve comportare condizionamenti al deflusso della piena e indurre modificazioni all'assetto morfologico dell'alveo. L'orientamento delle pile (ed



GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

Relazione Idraulica

5 di 75

eventualmente delle spalle) deve essere parallelo al filone principale della corrente. In particolare devono essere rispettate le seguenti condizioni:

- per i corsi d'acqua non arginati le pile e le spalle devono essere poste al di fuori delle sponde incise dell'alveo; in via eccezionale la pila può interessare la sponda, purché sia integrata con opportuni accorgimenti di difesa e di rivestimento;
- nei casi in cui il ponte sia inserito in un tratto di corso d'acqua interessato da altre opere di attraversamento poste in adiacenza, a monte o a valle, è necessario che le pile in alveo (ed eventualmente le spalle) siano allineate con quelle esistenti in modo che le pile presenti, considerate congiuntamente, non riducano la luce effettiva disponibile, anche ai fini del rischio di ostruzione da parte del materiale trasportato in piena;
- la struttura deve consentire il mantenimento della continuità della pista di servizio in fregio al corso d'acqua ovvero sul rilevato arginale.

4. Effetti idraulici indotti dal ponte.

La soluzione progettuale per il ponte e per i relativi rilevati di accesso deve garantire l'assenza di effetti negativi indotti sulle modalità di deflusso in piena; in particolare il profilo idrico di rigurgito eventualmente indotto dall'insieme delle opere di attraversamento deve essere compatibile con l'assetto difensivo presente e non deve comportare un aumento delle condizioni di rischio idraulico per il territorio circostante. Vanno inoltre verificati seguenti aspetti aggiuntivi:

- assenza di riduzione della superficie delle aree allagabili per effetto del ponte al fine di evitare effetti di minore laminazione della piena lungo l'asta fluviale;
- compatibilità dell'opera e delle eventuali sistemazioni idrauliche connesse con gli effetti indotti da possibili ostruzioni delle luci ad opera di corpi flottanti trasportati dalla piena ovvero di deposito anomalo di materiale derivante dal trasporto solido, soprattutto nel caso possano realizzarsi a monte invasi temporanei di dimensione significativa.

5. Opere idrauliche collegate al ponte.

Nel caso in cui l'inserimento o la presenza del ponte comporti la realizzazione di opere idrauliche con funzioni di sistemazione dell'alveo nel tratto interessato dall'attraversamento, il progetto deve comprendere la definizione delle opere stesse con lo stesso livello di dettaglio relativo all'opera principale.

6. Condizioni di sicurezza idraulica del ponte e delle opere collegate.

Il progetto del manufatto e delle opere connesse deve contenere la verifica della stabilità strutturale rispetto ai seguenti aspetti:

- scalzamento massimo sulle fondazioni delle pile, delle spalle;
- urti e abrasioni provocate dalla corrente sulle pile in alveo;
- scalzamento massimo sui rilevati di accesso per effetto dell'erosione della corrente;



GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

Relazione Idraulica

6 di 75

- spinta idrodinamica per effetto del sovralzato idrico indotto dalla struttura; ove opportuno la valutazione deve essere condotta anche con riferimento a condizioni di tracimazione del ponte per effetto di ostruzione delle luci.

2.2.3. Prescrizioni normative dell'Autorità di Bacino della Regione Sardegna

Premesso che, come già accennato nella Relazione Idrologica, dall'analisi della documentazione cartografica allegata al PAI (inclusi gli aggiornamenti dello "Studio CINSAs" e del PSFF) si è riscontrato che l'intervento in progetto risulta interessare alcune aree perimetrate a pericolosità o rischio idraulico, assoggettabili alle disposizioni di cui al Titolo III delle Norme di Attuazione del PAI.

E' stata pertanto condotta un'attenta analisi idraulica volta a dimostrare la compatibilità idraulica delle soluzioni proposte per risolvere le interferenze idrauliche del tracciato nel seguito dettagliate, riguardanti non solo i corsi d'acqua perimetrati nel PAI ma anche quelli non inclusi nelle aree di pericolosità o rischio idraulico.

In tale analisi sono stati tenuti in debita considerazione gli obiettivi, finalità, indirizzi e raccomandazioni contenute nel PAI e di seguito brevemente citati.

In particolare l'Allegato E alle Norme del PAI, dà indicazioni circa i criteri per la predisposizione degli studi di compatibilità idraulica di cui all'articolo 24 delle norme stesse, come riportato di seguito:

"Nei casi in cui è espressamente richiesto dalle norme di attuazione del PAI, i progetti preliminari, ai sensi della Legge n. 109 del 11 febbraio 1994, degli interventi da realizzarsi nelle aree di pericolosità idraulica sono corredati da uno studio di compatibilità idraulica in cui si dimostri la coerenza con le finalità indicate nell'articolo 23, comma 6, e nell'articolo 24 delle norme di attuazione del PAI e si dimostri in particolare che l'intervento sottoposto all'approvazione è stato progettato rispettando il vincolo di non aumentare il livello di pericolosità e di rischio esistente - fatto salvo quello eventuale intrinsecamente connesso all'intervento ammissibile - e di non precludere la possibilità di eliminare o ridurre le condizioni di pericolosità e rischio.

La compatibilità idraulica dell'intervento proposto: a) è verificata in funzione degli effetti dell'intervento sui livelli di pericolosità rilevati dal PAI; b) è valutata in base agli effetti sull'ambiente tenendo conto dell'evoluzione della rete idrografica complessiva e del trasferimento della pericolosità a monte e a valle.

Lo studio di compatibilità idraulica non sostituisce ma integra tra l'altro i criteri e gli strumenti di valutazione previsti dalla Legge n. 64 del 2 febbraio 1974, dal D.M. 12 dicembre 1985, dal D.M. LL.PP 11 marzo 1988 e dalla Circolare esplicativa n. 30483 del 24 settembre 1988, dalla Legge n. 109 del 11 febbraio 1994 (Norme urgenti in materia di lavori pubblici) e s.m.i., dalle norme nazionali in materia di valutazione di impatto ambientale e di valutazioni di incidenza, dalle disposizioni dell'ordinamento della Regione Sardegna.

Lo studio di compatibilità idraulica deve contenere e illustrare:

- *l'analisi idrologica finalizzata alla definizione della piena di riferimento completa di caratterizzazione geopedologica del bacino sotteso dalla sezione di controllo. La stima della piena di riferimento va condotta per i tempi di ritorno relativi al livello di pericolosità dell'area interessata dall'intervento e per i tempi di ritorno superiori tra quelli indicati dalla relazione del PAI;*
- *l'analisi idraulica dell'asta fluviale e dell'area di allagamento compresa tra due sezioni caratterizzate da condizioni al contorno definibili;*



GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

7 di 75

Relazione Idraulica

- *l'analisi dei processi erosivi in alveo e nelle aree di allagamento;*
- *l'analisi dei processi erosivi e delle sollecitazioni nei manufatti.*

Per quanto attiene le metodologie di analisi idrologica e idraulica si applicano almeno i criteri indicati nelle Linee Guida allegate alla Relazione del PAI.

Lo studio deve essere corredato da:

- *relazione tecnica illustrativa ed esplicativa delle procedure adottate e delle analisi svolte;*
- *risultati delle elaborazioni numeriche;*
- *elaborati grafici di dettaglio almeno alla scala della cartografia del PAI consegnati anche su supporto informatico; i relativi dati devono essere georeferenziati secondo standard opportuni per consentire l'aggiornamento del SIT della Regione Sardegna;*
- *documentazione grafica con apposite sezioni e profili idraulici a scala adeguata atti ad identificare i livelli di piena;*
- *piano di manutenzione degli interventi;*
- *piano di monitoraggio per il controllo della efficacia degli interventi".*

Per quanto riguarda gli scenari di riferimento presi in considerazione nelle verifiche di compatibilità idraulica degli attraversamenti è stata assunta la portata di progetto relativa al tempo di ritorno di 200 anni ed un franco minimo, tra il livello di massima piena e la quota di intradosso, calcolato secondo le indicazioni contenute all'interno dell'art. 21 comma 2 lettera d "Indirizzi per la progettazione, la realizzazione e manutenzione delle infrastrutture" delle Norme del PAI aggiornate al 2018:

2. Le disposizioni e norme tecniche tendono a stabilire principi generali e prescrizioni affinché le attività di progettazione, realizzazione e manutenzione di cui al precedente comma:

.....omissis

d. garantiscano un franco sul livello della portata di progetto, per velocità medie della corrente inferiori a 8 m/s, pari a quanto indicato dall'analisi modellistica sul franco idraulico approvata dal Comitato istituzionale dell'Autorità di Bacino, corrispondente al massimo tra:

- 1) $0,7v^2/2g$, dove indica la velocità media della corrente;*
- 2) un metro;*
- 3) $0,87 \cdot \nu y + \alpha y'$, dove y è la profondità media della corrente, y' è l'altezza della corrente areata ed α un coefficiente che varia linearmente tra 0 e 1 quando la velocità varia tra 5 m/s e 15 m/s, con le limitazioni che il valore $0,87 \cdot \nu y$ sarà assunto al massimo pari a 1,5 ed y' viene assunto pari a 2 metri o alla profondità media , se questa risulta minore di 2.*

Per velocità superiori a 8 m/s il franco sarà almeno pari all'intera altezza cinetica $v^2/2g$;

(lettera così modificata dal Decreto del Presidente della Regione Sardegna n° 148 del 26 ottobre 2012)



GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

Relazione Idraulica

8 di 75

Sono inoltre state tenute in debito conto le indicazioni contenute nell'Allegato alla Deliberazione n. 3 del 18.12.2014, ovvero Indirizzi relativi all'applicazione del D.M. 14 gennaio 2008 "Nuove norme tecniche per le costruzioni" inerenti al franco idraulico degli attraversamenti dei corsi d'acqua.

2.3. Metodo di Calcolo

Lo schema metodologico adottato si basa essenzialmente su criteri analitici che conducono alla definizione delle aree soggette ad inondazione attraverso la simulazione dei fenomeni di formazione e propagazione dell'onda di piena.

L'approccio deve necessariamente considerare un corso d'acqua nella sua più completa caratterizzazione spaziale, sia in termini d'estensione, sia in termini di contributi laterali provenienti dagli affluenti considerati.

È pertanto necessario, da un lato, stimare gli idrogrammi di piena in arrivo al corso d'acqua e, dall'altro, analizzarne la propagazione e laminazione per effetto di esondazioni, opere, diversivi ed immissioni laterali. Di qui la necessità di un approccio integrato di tipo idrologico-idraulico che consideri l'asta fluviale d'interesse, il relativo bacino afferente e le eventuali connessioni idrauliche laterali.

Le sollecitazioni idrologiche al sistema, costituite in generale da eventi caratterizzati da intensità di pioggia variabili nel tempo e nello spazio e dalle "condizioni iniziali" del bacino idrografico, vengono rappresentate da ietogrammi sintetici definiti in base alle Curve di Possibilità Pluviometrica per preassegnata durata di pioggia e tempo di ritorno. Attraverso la modellistica idrologica, vengono definiti gli idrogrammi di piena nelle sezioni prescelte del corso d'acqua considerato.

La propagazione dei deflussi di piena così generati e la valutazione dei fenomeni esondativi lungo l'asta fluviale considerata avviene tramite modelli idraulici, in grado di fornire in ogni sezione dell'asta fluviale l'idrogramma di piena in transito ed il massimo battente idraulico atteso, in modo tale da poter verificare l'efficienza delle strutture di contenimento o, in caso contrario, la sussistenza di fenomeni esondativi.

In questo studio è stato implementato un modello idraulico integrato che permette di combinare l'approccio monodimensionale, per la modellazione idraulica in alveo, a quello bidimensionale per la modellazione idraulica delle aree inondabili. L'integrazione tra i modelli avviene in modo dinamico, garantendo quindi la conservazione di massa e quantità di moto tra i vari sistemi. Gli alvei dei corsi d'acqua vengono modellati attraverso l'inserimento di sezioni trasversali, ricostruite a partire dai rilievi topografici e comprensive di tutte quelle strutture che interferiscono con il deflusso di piena, mentre le aree inondabili sono caratterizzate da un modello digitale del terreno che deriva dal rilievo lidar. L'accoppiamento dei due modelli avviene attraverso degli appositi elementi che definiscono in ogni

	<p>GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500</p> <p style="text-align: center;">Relazione Idraulica</p>	<p>9 di 75</p>
---	--	----------------

sezione fluviale la quota di sfioro in destra e sinistra idraulica e che quindi collegano il modello monodimensionale a quello bidimensionale.

Per migliorare l'affidabilità dei risultati della modellazione idraulica ed in particolare per fornire delle aree di esondazione precise e dettagliate ante e post operam, sia a monte sia a valle degli attraversamenti, si è proceduto all'implementare della modellistica di moto vario mediante Software MIKE del DANISH HYDRAULIC INSTITUTE – DHI, certificato dalla F.E.M.A. (Federal Emergency Management Agency). Il software Mike permette la modellazione monodimensionale dell'alveo (Mike 11), completamente bidimensionale delle aree contermini (Mike 21), ma soprattutto permette di accoppiare con "link" bidirezionali le due simulazioni (Mike FLOOD).

I franchi di sicurezza sulla portata con Tempo di Ritorno 200 anni per i tre nuovi attraversamenti sulla SS293 sono stati invece individuati mediante modellazione monodimensionale in moto permanente con software HEC-RAS per non tenere in considerazione delle esondazioni che avvengono a monte della SS293, poiché gli attraversamenti di progetto dovranno avere il corretto franco di sicurezza non solo allo stato attuale, ma anche quando eventualmente verranno adeguati idraulicamente alla portata duecentennale i tratti di monte dei tre corsi d'acqua. Per tali modellazioni si sono riportati i profili longitudinali, nell'elaborato T02 ID00 IDR SZ01 B.

All'interno del succitato elaborato, i livelli presenti nelle sezioni fluviali sono associati alla modellistica accoppiata 1D/2D implementata in MIKE per la determinazione delle aree allagate.

Per quanto riguarda i tombini minori, a differenza di quanto fatto nel progetto preliminare, le verifiche sono state condotte in moto permanente per tenere conto oltre che della geometria del tombino anche delle condizioni di imbocco e sbocco, che vanno a determinare il battente idraulico a monte e a valle dell'attraversamento.

Nei paragrafi seguenti verranno esposte le metodologie impiegate per le verifiche idrauliche oggetto della presente relazione, evidenziando le ipotesi adottate di semplificazione teorica delle schematizzazioni concettuali dei fenomeni idraulici, ed i criteri di valutazione assunti per la quantificazione dei parametri sintetici.

2.3.1. Il Programma MIKE FLOOD

L'implementazione della modellistica idraulica, è stata effettuata attraverso il Software MIKE del DANISH HYDRAULIC INSTITUTE – DHI, certificato dalla F.E.M.A. (Federal Emergency Management Agency).

Gli scriventi sono in possesso infatti della licenza MIKE FLOOD Chiave MZ 26392 che comprende i software MIKE 11 – MIKE 21 – MIKE FLOOD.

	<p>GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500</p> <p style="text-align: center;">Relazione Idraulica</p>	<p>10 di 75</p>
---	--	-----------------

Il software Mike permette la modellazione monodimensionale dell'alveo (Mike 11), completamente bidimensionale dell'alveo e delle aree contermini (Mike 21), ma soprattutto permette di accoppiare con "link" bidirezionali le due simulazioni.

L'implementazione di una modellistica esclusivamente bidimensionale necessita di informazioni topografiche di elevato dettaglio. Mentre nelle aree contermini ai corsi d'acqua è possibile l'utilizzo del Lidar, questo non lo è in alveo, in quanto il rilievo Laser Scanner non è in grado di rilevare quanto sotto al pelo libero.

Per quanto sopra, saranno implementate modellistiche accoppiate tramite Mike Flood, monodimensionali in alveo e bidimensionali nelle aree contermini, determinando di fatto le aree allagate in termini di battenti e velocità di propagazione.

Nei paragrafi successivi si riportano invece le caratteristiche tecnico scientifiche della modellistica mono e bidimensionale.

Modellistica Monodimensionale Mike 11

MIKE 11 è un software in grado di simulare il flusso monodimensionale, stazionario e non, di fluidi verticalmente omogenei in qualsiasi sistema di canali o aste fluviali. Sviluppato a partire dagli anni '70 dal DHI (Danish Hydraulic Institute), rappresenta lo stato dell'arte nella modellistica matematica in ambito fluviale e riferimento nell'ambito della modellistica idrodinamica monodimensionale.

Caratteristiche del codice sono la velocità di calcolo e l'efficienza del robusto motore di simulazione idrodinamica (risolve le equazioni complete del De St.Venant), la struttura logica e sequenziale per l'inserimento e gestione dei dati di input (geometrie, serie storiche ecc.) ed i molteplici strumenti di interpretazione e visualizzazione dei risultati, in grado di garantire un'ottima rappresentazione degli studi condotti (rappresentazione di sezioni, profili, piani quotati, anche in ambiente GIS).

A.2.1.1 Modulo Idrodinamico (Hd)

Il modulo idrodinamico HD rappresenta il "cuore" del codice di calcolo MIKE 11 ed è in grado di simulare il flusso idrico monodimensionale, stazionario e non, di fluidi verticalmente omogenei in qualsiasi sistema di canali o aste fluviali. Attraverso l'utilizzo di HD è possibile simulare:

- portate laterali;
- condizioni di corrente veloce o lenta;
- flusso libero o rigurgitato in corrispondenza di sfioratori;
- differenti regole operative di funzionamento di serbatoi o invasi;
- resistenze localizzate e perdite di carico concentrate;
- casse d'espansione;
- condizioni di flusso quasi - bidimensionale sulle pianure alluvionali;
- azione del vento;

	<p>GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500</p> <p style="text-align: center;">Relazione Idraulica</p>	<p>11 di 75</p>
---	--	-----------------

- nodi idraulici (biforcazioni e confluenze).
-

L'adozione del programma di simulazione MIKE 11 consente la soluzione del problema idrodinamico di moto vario con uno schema di soluzione numerica molto efficiente, che limita i tempi di calcolo consentendo una adeguata rappresentazione dell'evolversi temporale dei transitori idraulici legati al passaggio dell'onda di piena.

Descrizione Delle Condizioni Di Moto Simulate

Il modello consente di attivare tre diverse descrizioni del moto, mediante tre differenti formulazioni matematiche:

- Approccio dell'"onda cinematica". Le condizioni di moto sono calcolate imponendo il bilancio tra le forze di gravità e di attrito. Questa semplificazione non permette di simulare gli effetti di rigurgito.
- Approccio dell'"onda diffusiva". Oltre alle forze di gravità ed attrito viene tenuto conto del gradiente idrostatico in modo tale da poter valutare anche gli effetti a monte delle condizioni al contorno di valle e quindi simulare i fenomeni di rigurgito.
- Approccio dell'"onda dinamica". Utilizzando le equazioni complete del moto, comprese le forze di accelerazione, è possibile simulare con questa formulazione transitori veloci, flussi di marea ecc.

In funzione del tipo di problema da risolvere è possibile scegliere la descrizione del moto più appropriata. Ognuna delle tre formulazioni consente di simulare sia sistemi idrici ramificati che reti idrauliche con maglie chiuse.

Equazioni Generali Di De Saint Venant

MIKE 11, risolve le equazioni di conservazione del volume e della quantità di moto (equazioni di De Saint Venant) che sono derivate sulla base delle seguenti assunzioni:

- il fluido (acqua) è incomprimibile ed omogeneo, cioè senza significativa variazione di densità;
- la pendenza del fondo è piccola;
- le lunghezze d'onda sono grandi se paragonate all'altezza d'acqua, in modo da poter considerare in ogni punto parallela al fondo la direzione della corrente: è cioè trascurabile la componente verticale dell'accelerazione e su ogni sezione trasversale alla corrente si può assumere una variazione idrostatica della pressione.

Integrando le equazioni di conservazione della massa e della quantità di moto si ottiene:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0$$



GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

12 di 75

Relazione Idraulica

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} = 0$$

ed introducendo la resistenza idraulica (attrito) e le portate laterali addotte:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQQ}{C^2AR} = 0$$

dove:

A = area della sezione bagnata (m²);

C = coefficiente di attrito di Chezy (m^{1/2} s⁻¹);

g = accelerazione di gravità (m s⁻²);

h = altezza del pelo libero rispetto ad un livello di riferimento orizzontale (m);

Q = portata (m³/s);

R = raggio idraulico (m);

α = coefficiente di distribuzione della quantità di moto;

q = portata laterale addotta (m² s⁻¹).

Simulazione Delle Correnti Veloci Con L'approccio Dell'onda Dinamica

Per le correnti veloci viene applicata una equazione "ridotta" del moto, ottenuta trascurando il termine non lineare:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQQ}{C^2AR} = 0$$

La descrizione del moto è tanto più accurata quanto meno rapidamente variabile è la velocità della corrente.

Il vantaggio di questa schematizzazione è rappresentato dal fatto che è possibile ottenere una soluzione stabile con la stessa metodologia usata per le correnti lente. Nella transizione tra corrente lenta e veloce viene applicata una riduzione graduale del termine non lineare.

Approssimazione Dell'onda Diffusiva

L'approssimazione dell'"onda diffusiva" consiste nel trascurare, nelle equazioni generali di De Saint Venant, tutti i termini legati alla quantità di moto:

$$gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQQ}{C^2AR} = 0$$

Questa formulazione assicura ancora la descrizione dell'effetto di rigurgito attraverso il termine $\partial h / \partial x$. Per ragioni di stabilità questo termine viene smorzato; ciò significa che vengono risolti soltanto fenomeni di rigurgito relativamente stazionari (confrontati con lo step di tempo utilizzato).

	<p>GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500</p> <p style="text-align: center;">Relazione Idraulica</p>	<p>13 di 75</p>
---	--	-----------------

Descrizione In Corrispondenza Di Strutture

Dal punto di vista matematico la descrizione della corrente attraverso stramazzi o soglie e sezioni trasversali strette è abbastanza simile. Sono diversi i tipi di strutture che possono essere simulate:

Tipo 1. Stramazzo a larga soglia

Il programma automaticamente determina le caratteristiche di funzionamento standard dello stramazzo sulla base della geometria e dei coefficienti di perdita di carico specificati dall'utente. Viene assunta una distribuzione idrostatica delle pressioni sulla soglia e vengono utilizzati diversi algoritmi per la simulazione del deflusso libero e di quello rigurgitato.

Tipo 2. Relazione Q-h

Nel caso in cui le condizioni standard di funzionamento (tipo 1) dello stramazzo non risultino adeguate (ad esempio quando è evidente una significativa curvatura delle linee di corrente) è possibile specificare le relazioni Q-h (portate-livelli) valide per la data struttura. La relazione Q-h viene utilizzata per il deflusso libero in condizioni critiche, mentre per il deflusso rigurgitato (o sommerso) vengono utilizzati gli stessi algoritmi della struttura "tipo 1".

Tipo 3. Tombino

Un tombino può essere descritto mediante diversi algoritmi validi per condizioni di deflusso critico, rigurgitato o a "tubo pieno". Il funzionamento a "tubo pieno" è a sua volta suddiviso in deflusso libero a valle, flusso rigurgitato e flusso sommerso: il codice calcola in automatico una relazione Q-h che contempla tutti i casi di deflusso critico allo sbocco del tombino. La portata critica è determinata da una formulazione di stramazzo a larga soglia quando l'imbocco è libero e da una formulazione di luce sotto battente quando l'imbocco è sommerso.

Tipo 4. Relazione Q-t

E' possibile inserire una qualsiasi relazione Q-t esterna per descrivere ad esempio il deflusso da una diga o un pompaggio. Questa relazione sostituisce localmente l'equazione di conservazione della quantità di moto.

Tipo 5. Relazione $Q = A(Zj1) \cdot Zj2$

Il deflusso nell'ambito di una struttura può essere posto in relazione, in modo dinamico, a due qualsiasi variabili indipendenti del sistema consentendo di simulare regole operative particolari. Il deflusso da un invaso può per esempio essere correlato alla portata in ingresso e al livello nell'invaso (o al livello a valle di esso).

Tipo 6. Strutture mobili



GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

14 di 75

Relazione Idraulica

E' possibile simulare la presenza di strutture mobili con condizioni di deflusso di tipo sfioro o luce sotto battente. Viene assegnata la geometria fissa della struttura (larghezza, quota del fondo per sistemi a sfioro tipo ventola, quota del livello massimo della paratoia per sistemi con luce sotto battente) ed una regola operativa che determina la quota della parte mobile della struttura in funzione di una delle seguenti condizioni idrodinamiche calcolate dal modello: un livello, una differenza di livelli, una portata, una differenza di portate, il tempo. Il modulo simula dinamicamente la variazione della geometria della struttura ed il flusso che ne consegue.

Tipo 7. Ponti

In MIKE 11 possono essere utilizzate diverse formulazioni da letteratura per il calcolo del deflusso attraverso i ponti e del conseguente effetto di rigurgito. In particolare sono implementati i modelli della FHWA (Federal Highway Administration USA, WSPRO method) e della USBPR (US Bureau of Public Roads), modelli per la simulazione della presenza delle pile (Nagler e Yarnell), modelli per il libero deflusso attraverso ponti ad arco (Biery & Delour, HR method). Tutti i precedenti metodi di calcolo possono essere integrati con il calcolo del moto in pressione e con il calcolo del sormonto della struttura (tombini e stramazzi).

Resistenza D'attrito

MIKE 11 consente di utilizzare due diverse formulazioni della resistenza d'attrito: l'espressione di Chezy e quella di Strickler. Secondo la formula di Chezy, nell'equazione del moto il termine di resistenza risulta pari a:

$$\tau_r = \frac{g C Q^2}{C^2 A R}$$

dove C è il coefficiente di attrito di Chezy.

Secondo la formula di Strickler, lo stesso termine diventa:

$$\tau_r = \frac{g C Q^2}{M^2 A R^{4/3}}$$

dove M è il coefficiente di Strickler, pari a $1/n$, essendo n il coefficiente di Manning.

Condizioni Iniziali

Le condizioni iniziali possono essere specificate dall'utente oppure essere calcolate automaticamente. Nel secondo caso viene usata la formula di Chezy per determinare i livelli idrici e le portate da considerare all'inizio della simulazione su tutta la rete o schema idraulico. In alternativa a queste due opzioni è possibile anche assumere come condizioni iniziali i risultati di una precedente simulazione effettuata sullo stesso schema idraulico.

Metodo Di Soluzione

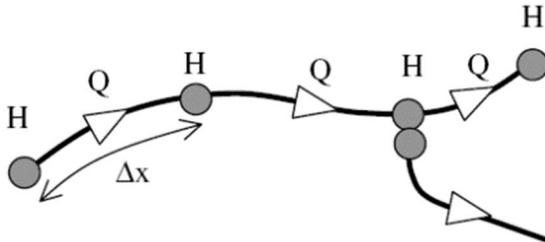


GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

15 di 75

Relazione Idraulica

La soluzione del sistema di equazioni è indipendente dall'approccio modellistico seguito (cinematico, diffusivo, dinamico). Le equazioni generali di De Saint Venant sono trasformate in un sistema di equazioni implicite alle differenze finite secondo una griglia di calcolo con punti Q e h alternati tra loro, nei quali la portata Q e il livello idrico h, rispettivamente, sono determinati ad ogni passo temporale (schema di Abbott a 6 punti).



La griglia di calcolo viene generata dal modello in base alle richieste dell'utente:

- i punti Q sono posizionati sempre a metà tra due punti h vicini;
- la distanza tra due punti h può essere variabile;
- ad ogni sezione trasversale d'alveo viene assegnato un punto h;
- ad ogni struttura viene assegnato un punto Q.

Condizioni Al Contorno

In MIKE 11 le condizioni al contorno sono distinte in esterne ed interne. Le condizioni al contorno interne sono: legami tra punti nodali, strutture, portate interne. Le condizioni al contorno esterne sono: valori costanti di h e Q, valori di h e Q variabili nel tempo, relazioni tra h e Q (ad es. scala di deflusso per una sezione d'alveo).

Modellistica bidimensionale Mike 21

Il MIKE 21 è un programma modulare contenente diversi codici per la simulazione di corpi idrici per i quali sia possibile adottare l'approssimazione idrodinamica bidimensionale, piana, per fluidi verticalmente omogenei. Infatti, il numero "21" che contraddistingue il codice indica proprio la bidimensionalità nel piano ("2") e la monodimensionalità lungo la verticale ("1").

Il sistema modellistico è stato sviluppato per la simulazione delle correnti a pelo libero e dei fenomeni correlati all'idraulica in fiumi, laghi o invasi, così come in ambito costiero e offshore.

Modulo Idrodinamico (HD)

Il modulo idrodinamico (HD), cuore del codice MIKE 21, simula le variazioni di livello e corrente in risposta alle differenti tipologie di forzanti considerate, potendo essere utilizzato da solo o come base per i calcoli effettuati dagli altri moduli disponibili. In particolare, il modulo HD di MIKE 21 permette di tenere in considerazione i seguenti fenomeni:

- flooding and drying;
- perdite di carico;



GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

16 di 75

Relazione Idraulica

- attrito al fondo;
- forza di Coriolis;
- effetto del vento;
- gradienti di pressione barometrica;
- coperture di ghiaccio;
- effetto delle maree;
- precipitazioni/Evaporazioni;
- radiation stresses;
- pozzi e sorgenti.

Il modulo idrodinamico HD del Mike 21 risolve le equazioni complete del moto di De St.Venant in un caso bidimensionale piano (la terza dimensione - asse z - è implicitamente integrata nelle equazioni considerando un mezzo verticalmente omogeneo), non stazionario. Il sistema delle equazioni di De St.Venant è costituito dalle seguenti equazioni.

Equazione di conservazione della massa:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = 0$$

Equazione di conservazione della quantità di moto lungo x:

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) \right] - \Omega q - fVV_x + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} p_a + \frac{1}{\rho_w} \left(\frac{\partial \mathcal{S}_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \mathcal{S}_{xy}}{\partial y} \right) = 0$$

Equazione di conservazione della quantità di moto lungo y:

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gq\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega p - fVV_y + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial y} p_a + \frac{1}{\rho_w} \left(\frac{\partial \mathcal{S}_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \mathcal{S}_{xy}}{\partial x} \right) = 0$$

nelle quali:

$h(x,y,t)$ = profondità dell'acqua;

$\zeta(x,y,t)$ = quota del pelo libero;

$p,q(x,y,t)$ = portate unitarie nelle direzioni x e y;

$C(x,y)$ = coefficiente di scabrezza di Chezy;

G = accelerazione di gravità;

$f(V)$ = fattore d'attrito del vento;

$V, V_x, V_y(x,y,t)$ = velocità del vento e componenti lungo le direzioni x e y;

$\Omega(x,y)$ = parametro di Coriolis;



GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

17 di 75

Relazione Idraulica

$p_a(x,y,t)$ = pressione atmosferica;

ρ_w = densità dell'acqua;

x,y = coordinate spaziali;

t = tempo;

$\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$ = componenti dello sforzo di taglio che tengono conto della turbolenza e del profilo verticale delle velocità;

S_{xx}, S_{xy}, S_{yy} = componenti del radiation stress (nel caso la forzante idrodinamica derivi dall'interazione tra il moto ondoso ed il fondo).

Il termine di turbolenza è rappresentato dagli sforzi di taglio τ che compaiono nelle equazioni di conservazione della quantità di moto lungo le direzioni x e y . La formulazione utilizzata prende in considerazione il parametro E "eddy viscosity" che è implementato secondo due modalità:

1. dipendente dal flusso locale:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(E \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(E \frac{\partial p}{\partial y} \right) \quad (\text{nella direzione } x);$$

2. oppure dipendente dalla velocità locale:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(hE \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(hE \frac{\partial u}{\partial y} \right) \quad (\text{nella direzione } x);$$

Le due equazioni rappresentano il termine di sforzo di taglio nelle equazioni di conservazione della quantità di moto. Il coefficiente E può essere specificato come costante su tutta la griglia, variabile da punto a punto, o come funzione del campo di velocità locale secondo la formulazione di Smagorinski:

$$E = c_s^2 \Delta^2 \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right]$$

nella quale u e v sono le componenti della velocità locale, Δ è la dimensione spaziale della griglia e c_s è una costante compresa tra 0,25 e 1.

In questo caso il termine di sforzo di taglio nelle equazioni di conservazione della quantità di moto (asse x) è dato da:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(hE \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{2} hE \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right)$$

La portata entrante nell'area di calcolo viene assegnata come portata unitaria ($m^3/s/m$) lungo la frontiera libera dalla quale entra il flusso: viene assegnata al modello la portata complessiva (m^3/s) che viene poi ripartita automaticamente sui punti di calcolo della griglia.

La condizione iniziale è rappresentata da una situazione di "quiete", nel senso che tutte le componenti delle forzanti sono nulle (portate, velocità, livelli) e variano poi linearmente nel tempo fino a raggiungere il valore assegnato in un tempo prefissato. Questa tecnica, detta del "soft start" consente di

	<p>GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500</p> <p style="text-align: center;">Relazione Idraulica</p>	<p>18 di 75</p>
---	--	-----------------

eliminare eventuali brusche oscillazioni iniziali della soluzione che potrebbero presentarsi per problemi di stabilità numerica. Al termine del "soft start" la situazione ottenuta è di effettiva stazionarietà.

Le equazioni di continuità del moto sono risolte con una tecnica implicita alle differenze finite su una griglia rettangolare, uniforme su tutto il dominio di calcolo, costituita da celle di dimensioni tali da poter descrivere in maniera sufficientemente corretta le variazioni plano-altimetriche della batimetria.

Le equazioni della conservazione della massa e della quantità di moto sono risolte alle differenze finite utilizzando il metodo ADI (Alternating Direction Implicit). Il sistema di equazioni linearizzate che scaturisce dall'algoritmo è risolto con il metodo DS (Double Sweep, Abbott, 1979).

Il modello MIKE 21 HD necessita di una serie di dati di input che si possono raggruppare in differenti categorie, ovvero:

- parametri temporali e del dominio (risoluzione della griglia di calcolo, time step, durata simulazione);
- fattori di calibrazione (bed resistance, viscosità turbolenta);
- condizioni iniziali (livelli e campi di corrente);
- condizioni al contorno (livelli, portate);
- altre forzanti (campi di vento, radiation stresses, sorgenti o pozzi).

I risultati di un'applicazione modellistica bidimensionale possono essere rappresentati con i molteplici strumenti di visualizzazione statica e dinamica a corredo dello strumento modellistico utilizzato. Gli strumenti di post processing consentono di creare animazione 2D da esportare ed utilizzare in ambiente di lavoro esterno alla piattaforma modellistica utilizzata per il calcolo numerico.

L'utilizzo di un approccio di tipo bidimensionale, permette di indagare non solo l'intensità del fenomeno ma anche direzione e verso del vettore velocità in ogni cella della matrice. Ad esempio per ognuno degli elementi della griglia, sono rappresentati le variazioni temporali delle seguenti variabili:

- profondità e livelli idrici;
- flussi di corrente nelle direzioni principali;
- velocità di corrente e direzione.

Modellistica Mike Flood

Come già specificato **Mike Flood** permette l'accoppiamento tra modello monodimensionale in alveo e bidimensionale nelle aree contermini.

L'Accoppiamento dei modelli è dinamico:

- I modelli "girano" simultaneamente
- Ad ogni istante di simulazione avviene uno scambio di dati
- La mutua interazione è bidirezionale

L'integrazione tra i diversi modelli avviene in modo totalmente dinamico, garantendo quindi la conservazione di massa e quantità di moto tra i diversi sistemi ed è impostata attraverso un'interfaccia grafica comune.

	<p>GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500</p> <p style="text-align: center;">Relazione Idraulica</p>	<p>19 di 75</p>
---	--	-----------------

L'accoppiamento tra mono e bidimensionale può avvenire in maniera puntuale, Oppure l'accoppiamento può avvenire in maniera distribuita.

Il corso d'acqua viene simulato attraverso sezioni fluviali, esistenti o di rilievo. Le acque esondate e la loro propagazione viene effettuata con un modello bidimensionale.

I risultati sono espressi in battenti e livelli nelle aree allagate.



GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

20 di 75

Relazione Idraulica

2.3.2. Il Programma HEC-RAS

Profili di corrente

Data la forte monodimensionalità del moto all'interno del corso d'acqua di interesse, in cui lo sviluppo pressoché rettilineo dell'asse domina per diversi ordini di grandezza sulle dimensioni della sezione trasversale interessata dal moto della corrente, ed in considerazione della regolarità della forma morfologica d'alveo, il calcolo dei profili di corrente è stato effettuato, ove permesso dal modello, adottando le ipotesi di monodimensionalità e di regime permanente del moto.

Le verifiche idrauliche sono state quindi condotte con un modello numerico monodimensionale per il calcolo dei profili di corrente in moto permanente implementato dal U.S. Army Corps of Engineers in un programma per elaboratore elettronico di ampia diffusione e di consolidata pratica d'uso quale HEC-RAS River Analysis System.

Il modello prescelto simula il moto permanente gradualmente variato in canali aperti con contorni fissi. L'equazione base è quella della continuità dell'energia:

$$Z_1 + Y_1 + \alpha V_1^2/2g = Z_2 + Y_2 + \alpha V_2^2/2g + h_e$$

dove Z è la quota del fondo del canale ed Y il tirante idrico in corrispondenza delle sezioni, α è un coefficiente che tiene conto della distribuzione non uniforme della velocità dell'acqua, V è la velocità media dell'acqua, g l'accelerazione di gravità, h_e è la perdita di carico tra le sezioni 1 e 2. Nel caso di distribuzione uniforme della velocità e di assenza di perdita di carico la precedente si trasforma nell'equazione di Bernouille:

$$Z_i + Y_i + V_i^2/2g = Costante$$

L'equazione precedente è applicabile a canali a moderata pendenza, ovvero a corsi d'acqua con pendenza di fondo tale che il $\cos\theta$ sia circa pari all'unità. Il metodo di soluzione adottato da HEC-RAS per l'equazione di continuità dell'energia applicata al moto permanente gradualmente vario richiede l'assunzione che la perdita di carico in una sezione sia la stessa che si avrebbe in moto uniforme a parità di sezione e velocità dell'acqua. HEC-RAS usa la formula del moto uniforme di Manning per valutare le perdite di carico:

$$V = (1/n) R^{2/3} S_f^{1/2}$$

dove V (m/s) è la velocità media dell'acqua nella sezione, n è il coefficiente di scabrezza, R (m) il raggio idraulico della sezione bagnata ed S_f la pendenza della linea piezometrica dovuta alle perdite di carico ripartite lungo l'alveo. Le due equazioni consentono la determinazione del profilo idrico della corrente una volta note la geometria e la scabrezza dell'alveo e le condizioni del moto alla sezione dalla quale deve iniziare il calcolo del profilo. Poiché due differenti altezze idriche possono produrre la stessa energia specifica (carico cinetico più altezza idrica), è necessario specificare lo stato iniziale della corrente (lenta o veloce).

	<p>GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500</p> <p style="text-align: center;">Relazione Idraulica</p>	<p>21 di 75</p>
---	--	-----------------

Metodo di risoluzione

HEC-RAS impiega lo "standard stepmethod" per risolvere l'equazione di conservazione dell'energia in alvei a sezione variabile. Il programma quindi per approssimazioni successive determina l'altezza dell'acqua alla successiva sezione di calcolo. In generale la procedura è la seguente:

- a) la quota dell'acqua e la portata sono note alla sezione di inizio calcolo (sez. 1)
- b) si calcola l'energia della sezione sulla base dei dati a) e della geometria della sezione
- c) la geometria della sezione successiva (sez. 2) è nota insieme alla distanza tra le due sezioni
- d) si assume una quota dell'acqua alla successiva sezione 2 e se ne calcola il raggio idraulico e l'area sulla base della geometria della sezione stessa. Quindi si determina un valore medio della capacità di deflusso delle due sezioni. La capacità di deflusso di una sezione di un alveo è, per una determinata altezza d'acqua, la portata che può transitare nell'alveo con una pendenza piezometrica unitaria
- e) si calcola la perdita di carico ripartita sulla base del valore medio della capacità di deflusso, della lunghezza del tratto e della portata
- f) si calcola il carico cinetico pesato, $\alpha V^2/2g$, nella seconda sezione.
- g) si calcolano le ulteriori perdite di carico dovute alla contrazione ed all'allargamento della sezione sulla base di quanto determinato in f)
- h) si calcola la variazione della quota dell'acqua tra le due sezioni, come variazione della somma del carico cinetico e delle perdite di carico
- i) si calcola la quota dell'acqua nella seconda sezione come somma del primo livello idrico e delle variazioni di quota calcolata in h)
- j) si calcola l'errore tra il livello d'acqua nella sezione 2 assunto in d) e quello calcolato in i)

se l'errore è minore di 1 cm la procedura è ripetuta per le sezioni successive dell'alveo, altrimenti è ripetuta per le stesse due sezioni ma con una nuova stima iniziale dell'altezza d'acqua nella sezione 2 (punto d))

	<p>GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500</p> <p style="text-align: center;">Relazione Idraulica</p>	<p>22 di 75</p>
---	--	-----------------

3. ANALISI DELLE INTERFERENZE IDRAULICHE

Nel presente paragrafo vengono riportati e commentati i risultati delle modellazioni idrauliche eseguiti sia per i tre corsi d'acqua principali sia per i tombini relativi alle interferenze minori.

Per le motivazioni dettagliatamente descritte nei paragrafi precedenti, sono state utilizzate le seguenti metodologie di modellazione idraulica:

- Aree di esondazione ante e post operam per Riu di Piscinas, Gora di Piscinas e Riu Mannu Santadi: modellazione di moto vario, monodimensionale in alveo e bidimensionale nelle aree contermini - Software MIKE FLOOD (come da Progetto Definitivo REV C.)
- Aree di esondazione ante e post operam per Riu di Piscinas, Gora di Piscinas e Riu Mannu Santadi: modellazione di moto permanente monodimensionale - Software HEC-RAS
- Franchi di sicurezza attraversamenti su Riu di Piscinas, Gora di Piscinas e Riu Mannu Santadi: modellazione di moto permanente monodimensionale - Software HEC-RAS
- Verifica dei tombini delle interferenze minori: modellazione di moto permanente monodimensionale - Software HEC-RAS

3.1. Attraversamenti principali

Le verifiche idrauliche sono state eseguite utilizzando le portate e gli idrogrammi calcolati nella Relazione Idrologica, alla quale si rimanda per i dettagli.

3.1.1. Riu Palmas

Come anticipato l'interferenza della SS195 con il Riu Palmas costituisce l'interferenza idraulica principale. Il progetto non interviene sull'opera (a meno di alcuni interventi accessori per i quali si rimanda agli elaborati stradali e strutturali) in quanto non compatibile con le risorse finanziarie disponibili in relazione alle priorità di intervento per la messa in sicurezza stradale. Pertanto lungo la tratta di intervento il progetto prevede la sola messa in sicurezza stradale escludendo l'allargamento della sezione stradale del tratto e la messa in sicurezza idraulica, che nel caso di intervento vedrebbe la necessità di una demolizione e ricostruzione per garantire la sicurezza idraulica.

Pertanto in corrispondenza dell'opera viene mantenuta l'attuale larghezza di piattaforma, pari a 7.50 m, raccordando opportunamente ai tratti a monte e valle dell'opera.

Il tratto di corso d'acqua che va dalla diga alla foce è stato ampiamente studiato nell'ambito della redazione dello studio denominato Progetto di Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF).

L'assetto attuale del Riu Palmas è caratterizzato dall'invaso di Monte Pranu, costituito da uno sbarramento a gravità massiccia in muratura di pietrame con malta di cemento, che, realizzato per fini



GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

Relazione Idraulica

23 di 75

irrigui tra il 1948 e il 1951, raccoglie le acque del bacino montano e condiziona il regime dei deflussi nel tratto vallivo. Il tratto di corso d'acqua in esame, compreso tra lo sbarramento e lo sbocco a mare (lunghezza complessiva 8 km), si presenta in condizioni prevalentemente naturali e stabili fino all'attraversamento della SS Sulcitana; a valle vi sono gli interventi di arginatura continua lungo entrambe le sponde fino alla foce, funzionali alla bonifica e all'utilizzazione agricola della pianura, realizzati negli anni '50.

Lungo lo sviluppo del corso d'acqua, la pressione antropica è modesta; se si esclude la viabilità locale ed alcuni insediamenti isolati, non sono presenti elementi sensibili in corrispondenza della fascia d'esondazione del corso d'acqua. In prossimità della costa, in area inondabile, si sviluppano in destra le Saline di S. Antioco e in sinistra un impianto di ittiocoltura.

L'alveo del Palmas presenta una pendenza di fondo costante, mediamente pari allo 0,25% e una larghezza, crescente verso valle, compresa tra 25 e 50 m. Il tratto tra la diga e il ponte della S.S. Sulcitana è prevalentemente in secca, con una significativa presenza di vegetazione in alveo, in buona parte arbustiva, che costituisce ostacolo al deflusso della corrente in corso di piena.

In questo tratto la fascia d'esondazione, in occasione di eventi estremi, tende a coinvolgere l'intero fondovalle raggiungendo una larghezza pari a 800 – 1000 m, senza tuttavia interessare aree urbanizzate. A valle del ponte della Sulcitana, le simulazioni hanno evidenziato l'inadeguatezza delle arginature presenti, caratterizzate peraltro da uno sviluppo irregolare in senso sia longitudinale che trasversale. Per tempi di ritorno superiori a 50 anni si riscontra il sormonto delle stesse con il conseguente allagamento di un'ampia porzione del territorio retrostante, con livelli anche superiori a 1,5 m per i tempi di ritorno più elevati.

Il Riu Palmas presenta, per tutto il tratto d'interesse (dalla diga di Monte Pranu al Golfo di Palmas), un alveo - tipo monocursale sinuoso, quasi meandriforme; il corpo idrico mantiene un profilo di fondo regolare con pendenze modeste, dell'ordine del 2,5 ‰.

L'assetto attuale del Palmas è fortemente condizionato dalla diga realizzata nei primi anni '50 in corrispondenza del centro di Tratalias; la diga ha modificato in maniera sostanziale il regime idrologico del corso d'acqua nel tratto a valle di essa, condizionando la dimensione degli eventi di piena e trattenendo completamente il trasporto solido di fondo proveniente dalla parte alta del bacino. In queste condizioni il corso d'acqua si è stabilizzato nella posizione occupata attualmente, rielaborando i sedimenti presenti all'interno del proprio alveo, operando una selezione delle granulometrie in funzione della competenza della corrente nei vari tratti.

Nel tratto compreso tra la diga e la statale SS 195 S. Giovanni Suergiu – Cagliari, il Palmas presenta un alveo tipo monocursale sinuoso, con sezione di deflusso dell'alveo inciso di modesta larghezza (larghezza media di deflusso in magra inferiore a 5 m) ed incisa tra il terrazzo alluvionale in sponda destra e il versante collinare in sinistra; entrambe le sponde appaiono per lunghi tratti in erosione.

Nel tratto di valle, dopo l'attraversamento della strada statale SS 195, che scorre parallela alla costa, l'asta palea gli interventi di regimazione eseguiti a cavallo dell'ultimo conflitto mondiale, finalizzati alla bonifica della zona; il rio procede arginato sia in destra che in sinistra mantenendo una larghezza



GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

24 di 75

Relazione Idraulica

costante e uniforme della sezione di deflusso. La pendenza del profilo di fondo è modesta e i depositi fluviali sono prevalentemente limoso-sabbiosi.

La realizzazione delle arginature ha stabilizzato in maniera definitiva sia il tracciato planimetrico dell'alveo, nel tratto terminale della piana alluvionale, sia la sua posizione nell'ambito dell'apparato deltizio. Tutta l'area costiera è caratterizzata da un complesso sistema di aree umide (la Salina Manna e di S. Antioco, in destra idrografica, e lo Stagno di Mulargia in sinistra idrografica) ad elevato valore naturalistico.

Nel tratto che compreso tra loc. Is Garaus e il ponte della SS 195. Il riu Palmas, ricevute le acque del riu s'Arriaxiu, la sezione di deflusso del corso d'acqua aumenta; in corso di piena la fascia d'esondazione coinvolge ampie aree golenali sia in sinistra, dove raggiunge le pendici dei rilievi esistenti, che in destra, dove si spinge fino alla strada comunale per Is Garaus. L'inondazione di queste aree è favorita dall'evidente interferenza con i deflussi dell'attraversamento della SS 195, che palesa l'inadeguatezza già al transito della piena cinquantennale. Per eventi estremi i rilevati di accesso e l'impalcato vengono sormontati e l'abitato di is Achenzas, posto a ridosso del ponte, in destra, è inondato con tiranti idrici dell'ordine di 0,5 m.

A valle del ponte della SS 195, il Palmas entra nel tratto focivo, storicamente interessato da rilevanti interventi di regimazione idraulica, finalizzati alla bonifica delle terre paludose limitrofe; i rilevati arginali esistenti, in cattivo stato di manutenzione, sono inadeguati a contenere eventi di piena con tempi di ritorno pari o superiori a 50 anni, le aree retrostanti sono inondate con tiranti fino a 2 m, coinvolgendo le saline di S. Antioco e lo stabilimento ittico in sinistra.

In estrema sintesi, l'assetto attuale del Riu Palmas è caratterizzato dagli interventi di sistemazione idraulica eseguiti a cavallo dell'ultimo conflitto mondiale; la realizzazione della diga di monte Pranu da un lato e le opere di regimazione del tratto focivo dall'altro hanno profondamente mutato il regime naturale dei deflussi: il trasporto solido dell'intero bacino montano è stato arrestato in corrispondenza dell'invaso mentre le zone paludose del golfo di Palmas sono state bonificate e convertite in aree agricole, regimando il corpo idrico che oggi, con un lungo tratto risezionato e arginato, è convogliato direttamente a mare.

La stabilità dell'assetto geomorfologico-idraulico attuale è confermata dalle analisi eseguite nonostante la modesta tendenza all'erosione e all'approfondimento del profilo di fondo riscontrabile nel tratto vallivo.

Il deflusso della piena di riferimento determina esondazioni significative, raggiungendo una larghezza prossima a 1000 m nel tratto compreso tra la diga e l'inizio delle arginature (attraversamento SS195 Sulcitana); nel tratto regimato l'assetto del sistema difensivo è inadeguato al contenimento dei livelli di piena e le inondazioni coinvolgono tutte le terre basse tra mare e fiume (saline di S. Antioco e stagno di Mulargia).

La pressione antropica lungo le sponde si mantiene modesta pertanto le inondazioni interessano solo qualche insediamento isolato e, in occasione di eventi estremi, l'abitato di Is Achenzas che, posto in



GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

25 di 75

Relazione Idraulica

sponda destra immediatamente a valle del rilevato della SS 195, viene inondato a causa dell'inefficienza del sistema difensivo esistente (arginature lungo il Palmas e rilevato stradale).

Le criticità più evidenti sono da ricondursi all'interferenza con i deflussi di piena dei due attraversamenti principali esistenti: il ponte per Tratalias e il manufatto della SS 195 Sulcitana.



Il ponte della SS 195 ha franco idraulico negativo già per l'evento con TR 50 anni e può essere sormontato in occasione degli eventi più estremi. La messa in sicurezza idraulica rimane un tema oggetto di considerazione a livello di pianificazione di intervento, correlato alla disponibilità di adeguate risorse finanziarie.

La fascia d'esondazione a monte coinvolge i rilevati per il loro intero sviluppo (500 m in destra e 400 in sinistra) con tiranti idrici in golena fino a 3 m.

3.1.2. Franchi di sicurezza Riu di Piscinas, Gora di Piscinas, Riu Mannu Santadi

La verifica dei franchi di sicurezza per TR200 sugli attraversamenti oggetto di studio è stata condotta ai sensi delle nuove NTC (DM Infrastrutture e Trasporti 17/01/2018 e Circolare 21 Gennaio 2019, n. 7/CSLLPP) e ai sensi dell'art21 delle NTA del PAI. Si precisa che la suddetta circolare specifica quanto segue:

"[.....]. Restano esclusi dal punto 5.1.2.3 della Norma i tombini, intendendosi per tombino un manufatto totalmente rivestito in sezione, eventualmente suddiviso in più canne, in grado di condurre complessivamente portate fino a 50 mc/s. [.....]"

Alla luce di quanto esposto si specifica che per i ponti su Riu Piscinas, Gora Piscinas e Mannu du Santadi valgono sia le NTC sia le norme PAI, mentre per tutti i tombini valgono solo le norme PAI.



GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

26 di 75

Relazione Idraulica

Nelle tabelle seguenti si riportano le verifiche dei franchi e si indica con:

y (m) la profondità media della corrente per eventi TR200 anni

alfa (-) un coefficiente che varia linearmente tra 0 e 1 quando la velocità varia tra 5 m/s e 15 m/s

v (m/s) velocità media della corrente per eventi TR200 anni

1, 2, 3 sono le 3 formulazioni per il calcolo del franco indicate nelle Linee Guida del PAI

FS MIN (m) franco minimo da verificare derivante da NTC o PAI in funzione di quanto specificato sopra

FS franco di sicurezza garantito

livello monte (mslm) livello idraulico nella sezione di monte dell'attraversamento per eventi TR200 anni

fondo monte (mslm) quota del fondo della sezione a monte dell'attraversamento

intradosso (mslm) quota dell'intradosso dell'attraversamento di progetto

altezza massima (m) altezza massima della corrente a monte dell'attraversamento (solo per alfa diverso da 0)

FS PONTI							
SANTADI							
y	v (m/s)	1	2	3	livello monte (mslm)	fondo monte (mslm)	intradosso (mslm)
2.15	5.48	1.07	1	1.59	74.31	70.78	76.12
alfa		FS MIN	1.59		altezza massima (m)		
0.09		FS	1.81	OK	3.53		
RIU PISCINAS							
y	v (m/s)	1	2	3	livello monte (mslm)	fondo monte (mslm)	intradosso (mslm)
1.71	4.7	0.79	1	1.14	61.24	59.23	64.94
alfa		FS MIN	1.50				
0		FS	3.70	OK			
GORA PISCINAS							
y	v (m/s)	1	2	3	livello monte (mslm)	fondo monte (mslm)	intradosso (mslm)
1.70	0.46	0.01	1	1.13	61.78	59.85	63.36
alfa		FS MIN	1.50				
0		FS	1.58	OK			

Rio Piscinas

Il modello implementato comprende un tratto complessivo di circa 2.3 km, 18 sezioni, 3 attraversamenti e pendenza media 0.7%.

Allo stato attuale I parametri idraulici implementati sono i seguenti:

- scabrezza in alveo come da tabella seguente; si riportano di seguito alcune foto del sopralluogo scattate dalla SS293, verso monte e verso valle)



GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

27 di 75

Relazione Idraulica

River Station	n #1	n #2	n #3
16	0.04	0.04	0.04
15	0.04	0.04	0.04
14	0.04	0.04	0.04
13	0.04	0.04	0.04
12	0.04	0.04	0.04
11	0.04	0.04	0.04
10	0.035	0.035	0.035
9.9	0.025	0.025	0.025
9.8	0.025	0.025	0.025
9	0.035	0.035	0.035
8	0.035	0.035	0.035
7	0.035	0.035	0.035
6	0.025	0.025	0.025
5	0.025	0.025	0.025
4	0.04	0.04	0.04
3	0.04	0.04	0.04
2	0.04	0.04	0.04
1	0.04	0.04	0.04



- scabrezza dell'opera $0.03 \text{ s/m}^{1/3}$
- come condizioni al contorno di monte e di valle sono stati imposti i valori del gradiente energetico pari alla pendenza media del corso d'acqua nel tratto rispettivamente iniziale e terminale del tronco studiato, pari a rispettivamente 0.013 m/m e 0.006 m/m .
- sezioni fluviali derivate da rilievo topografico, con codifica come da tabella seguente



GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

28 di 75

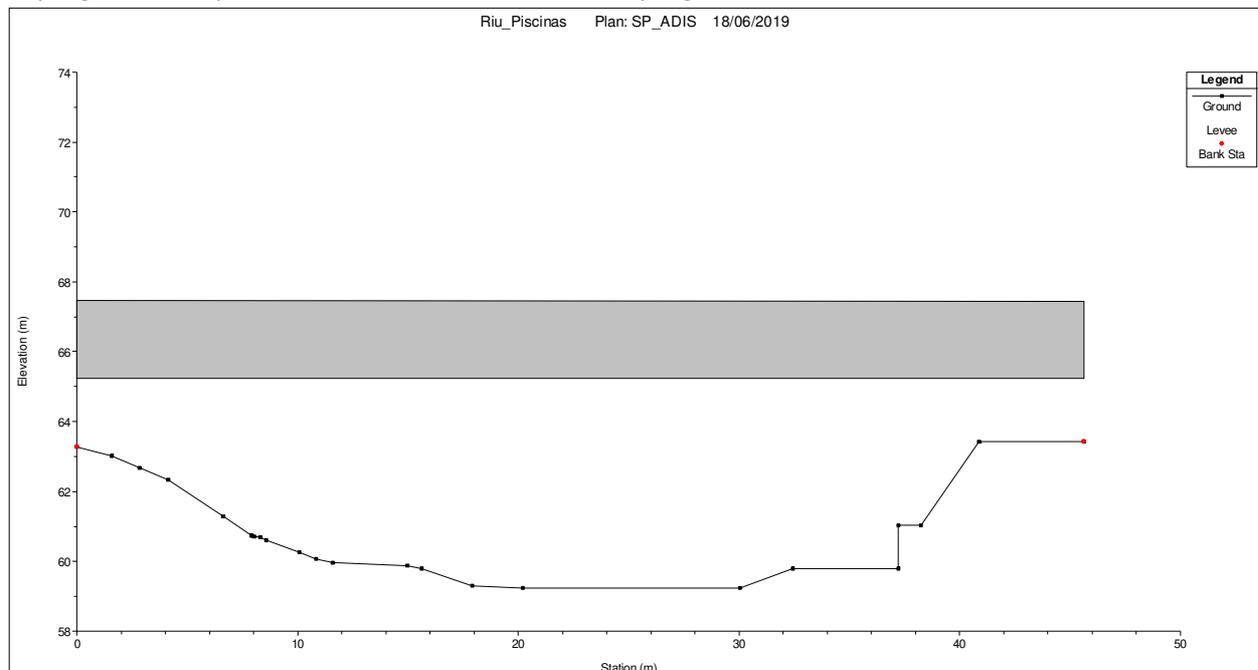
Relazione Idraulica

HYDROGEO	HEC
P117P	16
P18PP	15
P19PP	14
P20PP	13
P21PP	12
P22PP	11
P23PP	10
P23PPM	9.9
P23PPV	9.8
P24PP	9
P25PP	8
P26PP	7
P26PPM	6
P26PPV	5
P27PP	4
P28PP	3
P29PP	2
P30PP	1

Allo stato di progetto i parametri idraulici implementati sono i seguenti:

- scabrezza come stato ante-operam
- scabrezza dell'opera $0.025 \text{ s/m}^{1/3}$
- come condizioni al contorno di monte e di valle sono stati imposti i valori del gradiente energetico pari alla pendenza media del corso d'acqua nel tratto rispettivamente iniziale e terminale del tronco studiato, pari a rispettivamente 0.013 m/m e 0.006 m/m .

Di seguito si riporta la sezione del ponte nella configurazione post operam. Per ogni dettaglio in merito al progetto dell'opera si rimanda ai relativi elaborati progettuali.





GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

29 di 75

Relazione Idraulica

Gora Piscinas

Il modello implementato comprende un tratto complessivo di circa 0.7 km, 7 sezioni, 1 attraversamento e pendenza media 0.5%.

Allo stato attuale I parametri idraulici implementati sono i seguenti:

- scabrezza in alveo come da tabella seguente; si riportano di seguito alcune foto del sopralluogo scattate dalla SS293, verso monte e verso valle)

River Station	Frctn (n/K)	n #1	n #2	n #3
1 7.00	n	0.035	0.035	0.035
2 6.00	n	0.04	0.04	0.04
3 5.00	n	0.035	0.035	0.035
4 4.00	n	0.035	0.035	0.035
5 3.5	Bridge			
6 3.00	n	0.035	0.035	0.035
7 2.00	n	0.035	0.035	0.035
8 1.00	n	0.04	0.04	0.04



- scabrezza dell'opera $0.03 \text{ s/m}^{1/3}$
- come condizioni al contorno di monte e di valle sono stati imposti i valore del gradiente energetico pari alla pendenza media del corso d'acqua nel tratto rispettivamente iniziale e terminale del tronco studiato, pari a rispettivamente 0.006 m/m e 0.004 m/m .
- sezioni fluviali derivate da rilievo topografico, con codifica come da tabella seguente



GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

30 di 75

Relazione Idraulica

HYDROGEO	HEC
P01PP	9
P02PP	8
P03PP	7
P03PPM	6
P03PPV	5
P04PP	4
P05PP	3
P06PP	2
P07PP	1

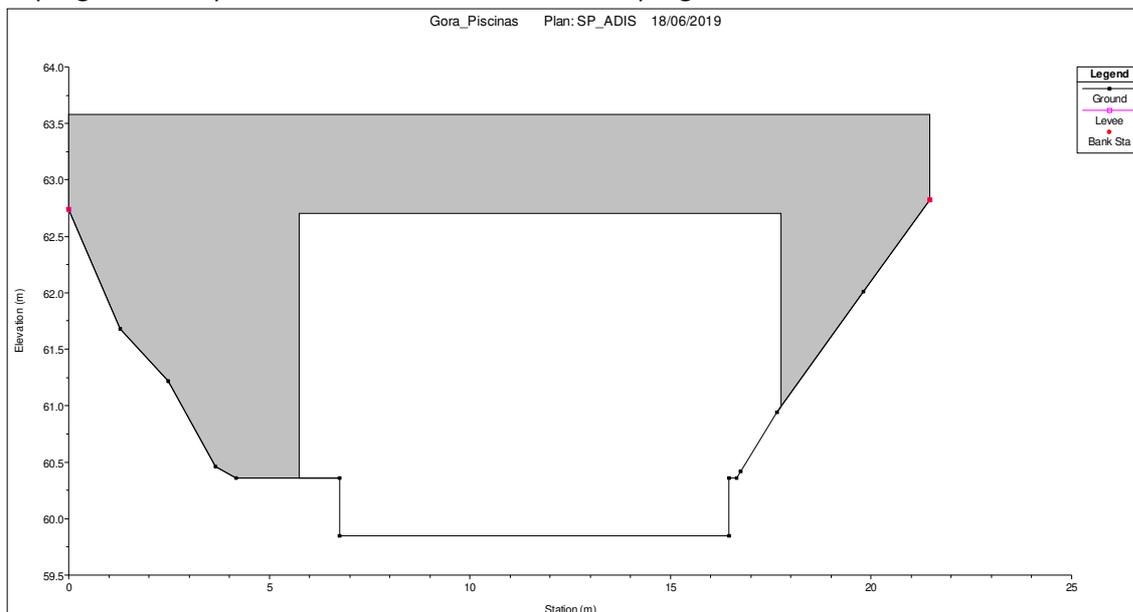
Allo stato di progetto i parametri idraulici implementati sono i seguenti:

- scabrezza come tabella seguente

	River Station	Frctn (n/K)	n #1	n #2	n #3
1	7.00	n	0.035	0.035	0.035
2	6.00	n	0.04	0.04	0.04
3	5.00	n	0.03	0.03	0.03
4	4.00	n	0.025	0.025	0.025
5	3.5	Bridge			
6	3.00	n	0.025	0.025	0.025
7	2.00	n	0.03	0.03	0.03
8	1.00	n	0.04	0.04	0.04

- scabrezza dell'opera $0.025 \text{ s/m}^{1/3}$
- come condizioni al contorno di monte e di valle sono stati imposti i valore del gradiente energetico pari alla pendenza media del corso d'acqua nel tratto rispettivamente iniziale e terminale del tronco studiato, pari a rispettivamente 0.006 m/m e 0.004 m/m .

Di seguito si riporta la sezione del ponte nella configurazione post operam. Per ogni dettaglio in merito al progetto dell'opera si rimanda ai relativi elaborati progettuali.





Relazione Idraulica

Rio Mannu di Santadi

Il modello implementato comprende un tratto complessivo di circa 1.9 km, 9 sezioni, 1 attraversamento e pendenza media 0.7%.

Allo stato attuale I parametri idraulici implementati sono i seguenti:

- scabrezza in alveo $0.04 \text{ s/m}^{1/3}$ (si riporta di seguito alcune foto del sopralluogo scattate dalla SS293, verso monte e verso valle)



- scabrezza dell'opera $0.03 \text{ s/m}^{1/3}$
- come condizioni al contorno di monte e di valle sono stati imposti i valore del gradiente energetico pari alla pendenza media del corso d'acqua nel tratto rispettivamente iniziale e terminale del tronco studiato, pari a rispettivamente 0.009 m/m e 0.004 m/m .
- sezioni fluviali derivate da rilievo topografico, con codifica come da tabella seguente

HYDROGEO	HEC
P24SA	7
P25SA	6
P26SA	5
P26SAM	4
P26SAV	3
P27SA	2
P28SA	1

Allo stato di progetto i parametri idraulici implementati sono i seguenti:

- scabrezza come da tabella seguente

	River Station	Frctn (n/K)	n #1	n #2	n #3
1	9.00	n	0.04	0.04	0.04
2	8.00	n	0.04	0.04	0.04
3	7.00	n	0.04	0.04	0.04
4	6.00	n	0.035	0.035	0.035
5	5.5	Bridge			
6	5.00	n	0.035	0.035	0.035
7	4.00	n	0.04	0.04	0.04
8	3.00	n	0.04	0.04	0.04
9	2.00	n	0.04	0.04	0.04
10	1.00	n	0.04	0.04	0.04

- scabrezza dell'opera $0.025 \text{ s/m}^{1/3}$



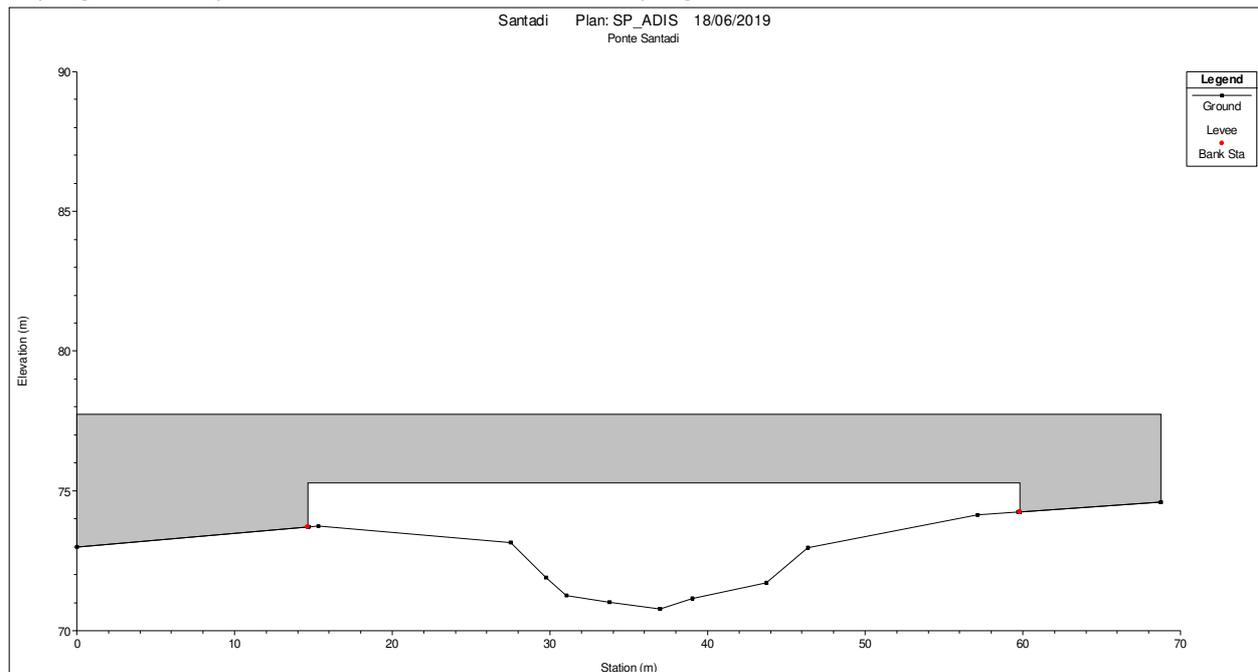
GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

32 di 75

Relazione Idraulica

- come condizioni al contorno di monte e di valle sono stati imposti i valore del gradiente energetico pari alla pendenza media del corso d'acqua nel tratto rispettivamente iniziale e terminale del tronco studiato, pari a rispettivamente 0.009 m/m e 0.004 m/m.

Di seguito si riporta la sezione del ponte nella configurazione post operam. Per ogni dettaglio in merito al progetto dell'opera si rimanda ai relativi elaborati progettuali.



Per tutti i dettagli sugli attraversamenti si rimanda agli elaborati stradali e strutturali.

3.1.3. Aree di esondazione Riu di Piscinas, Gora di Piscinas, Riu Mannu Santadi

Riu di Piscinas

Di seguito si riporta la descrizione dei modelli di MIKE FLOOD in moto vario con portata con Tr 50-100-200-500 anni monodimensionali in alveo e bidimensionali nelle aree contermini utilizzati per l'individuazione delle aree di esondazione allo stato attuale ed allo stato di progetto. In quest'ultimo, rispetto allo stato attuale, è stato inserito nel modello monodimensionale il ponte di progetto e nel modello bidimensionale il rilevato stradale di progetto.

Il modello implementato comprende un tratto complessivo di circa 2.3 km, 16 sezioni, 3 attraversamenti e pendenza media 0.7%.

I parametri in ingresso alla modellistica idraulica, oltre agli input idrologici, sono costituiti essenzialmente da tre tipologie di parametri:

- *scabrezza*, parametro di resistenza al moto per la valutazione delle perdite di carico distribuite;



GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

33 di 75

Relazione Idraulica

- *coefficienti di espansione/contrazione*, necessari per la valutazione di perdite di carico effettivo indotte da variazioni di sezione, quali allargamenti o restringimenti;
- *condizioni al contorno*.

Per ciò che attiene ai coefficienti di scabrezza da associare alle singole sezioni fluviali, attraverso il confronto con i parametri riportati in letteratura ed il supporto dei sopralluoghi effettuati è stato possibile associare, ad ogni sezione fluviale, il coefficiente di scabrezza secondo Manning più appropriato, che è risultato pari a $0.03 \text{ s/m}^{1/3}$.

I valori utilizzati per i coefficienti di contrazione ed espansione sono stati ricavati dalla letteratura disponibile.

Come condizioni al contorno di monte sono stati utilizzati gli idrogrammi calcolati nella relazione idrologica, mentre come condizione di valle una scala di deflusso per la sezione di chiusura.

Di seguito si riportano in tabella i risultati della modellazione idraulica ed un estratto della planimetria dei battenti idraulici. Si rimanda per tutti i dettagli, i battenti, le aree allagate e le sezioni idrauliche all'appendice e alle Tavole T02 ID00 IDR PE01B, T02 ID00 IDR PE02B, T02 ID00 IDR PE03A e T02 ID00 IDR SZ01B.

Per i commenti ai risultati per tutti e tre i corsi d'acqua si rimanda al paragrafo dedicato.

RIU PISCINAS - SA						
HYDROGEO SA	HYDROGEO SP	HEC	MIKE	h max (mslm)	Q max (mc/s)	Vel (m/s)
				SA_TR200	SA_TR200	SA_TR200
P17SA	P17PD	16.0	0	70.68	227.70	3.82
P18SA	P18PD	15.0	142.02	69.21	183.04	5.95
P19SA	P19PD	14.0	331.36	67.44	177.12	3.37
P20SA	P20PD	13.0	492.47	66.91	200.68	1.66
P21SA	P21PD	12.0	527.35	65.42	199.13	3.14
P22SA	P22PD	11.0	667.43	64.85	216.94	2.80
P23SA	P23PD	10.0	898.70	64.13	209.44	2.99
P24SA	P24PD	9.0	947.37	63.85	179.79	3.86
P25SA	P25PD	8.0	1064.80	63.64	157.21	2.53
P26SA	P26PD	7.0	1246.62	63.38	217.57	2.10
P26SAM	P26PDM	6.0	1255.21	63.42	221.14	1.77
P26SAV	P26PDV	5.0	1263.64	61.53	220.76	2.79
P27SA	P27PD	4.0	1295.33	61.34	219.86	3.44
P28SA	P28PD	3.0	1585.49	60.05	186.49	5.91
P29SA	P29PD	2.0	1925.79	57.73	110.42	6.92
P30SA	P30PD	1.0	2248.11	54.45	78.54	7.13

Tabella 1 - Risultati modello MIKE FLOOD Stato Attuale Riu di Piscinas - Tr 200 anni



Relazione Idraulica

RIU PISCINAS - SP						
HYDROGEO SA	HYDROGEO SP	HEC	MIKE	h max (mslm)	Q max (mc/s)	Vel (m/s)
				SP_TR200	SP_TR200	SP_TR200
P17SA	P17PD	16.0	0	70.68	227.70	3.82
P18SA	P18PD	15.0	142.02	69.21	183.01	5.95
P19SA	P19PD	14.0	331.36	67.45	180.67	3.37
P20SA	P20PD	13.0	492.47	66.91	201.40	1.66
P21SA	P21PD	12.0	527.35	65.41	199.10	3.16
P22SA	P22PD	11.0	667.43	64.81	216.99	2.84
P23SA	P23PD	10.0	898.70	64.05	204.29	2.96
P24SA	P24PD	9.0	947.37	63.51	174.07	4.12
P25SA	P25PD	8.0	1064.80	62.73	150.14	2.78
P26SA	P26PD	7.0	1246.62	62.12	218.80	3.28
P26SAM	P26PDM	6.0	1255.21	62.14	223.02	2.89
P26SAV	P26PDV	5.0	1263.64	61.55	223.02	7.41
P27SA	P27PD	4.0	1295.33	61.35	222.51	3.46
P28SA	P28PD	3.0	1585.49	60.06	188.67	5.96
P29SA	P29PD	2.0	1925.79	57.71	110.83	7.05
P30SA	P30PD	1.0	2248.11	54.45	76.68	7.07

Tabella 2 - Risultati modello MIKE FLOOD Stato di Progetto Riu di Piscinas - Tr 200 anni

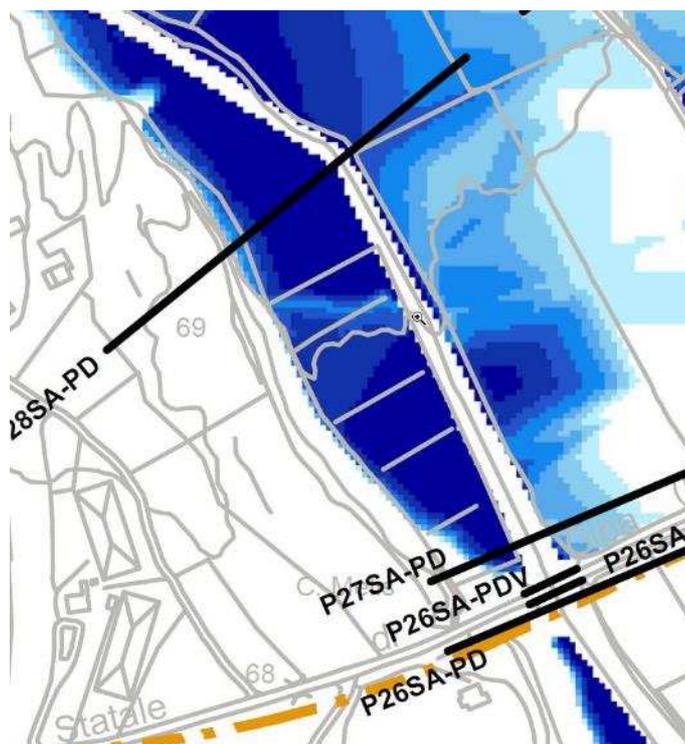


Immagine 4 - Estratto battenti area Riu Piscinas - Tr 200 Stato di Progetto

	<p>GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500</p> <p style="text-align: center;">Relazione Idraulica</p>	<p>35 di 75</p>
---	--	-----------------

Gora di Piscinas

Di seguito si riporta la descrizione dei modelli di MIKE FLOOD in moto vario con portata con Tr 50-100-200-500 anni monodimensionali in alveo e bidimensionali nelle aree contermini utilizzati per l'individuazione delle aree di esondazione allo stato attuale ed allo stato di progetto. In quest'ultimo, rispetto allo stato attuale, è stato inserito nel modello monodimensionale il ponte di progetto e nel modello bidimensionale il rilevato stradale di progetto.

Il modello implementato comprende un tratto complessivo di circa 0.7 km, 7 sezioni, 1 attraversamento e pendenza media 0.5%.

I parametri in ingresso alla modellistica idraulica, oltre agli input idrologici, sono costituiti essenzialmente da tre tipologie di parametri:

- *scabrezza*, parametro di resistenza al moto per la valutazione delle perdite di carico distribuite;
- *coefficienti di espansione/contrazione*, necessari per la valutazione di perdite di carico effettivo indotte da variazioni di sezione, quali allargamenti o restringimenti;
- *condizioni al contorno*.

Per ciò che attiene ai coefficienti di scabrezza da associare alle singole sezioni fluviali, attraverso il confronto con i parametri riportati in letteratura ed il supporto dei sopralluoghi effettuati è stato possibile associare, ad ogni sezione fluviale, il coefficiente di scabrezza secondo Manning più appropriato, che è risultato pari a $0.03 \text{ s/m}^{1/3}$.

I valori utilizzati per i coefficienti di contrazione ed espansione sono stati ricavati dalla letteratura disponibile.

Come condizioni al contorno di monte sono stati utilizzati gli idrogrammi calcolati nella relazione idrologica, mentre come condizione di valle una scala di deflusso per la sezione di chiusura.

Di seguito si riportano in tabella i risultati della modellazione idraulica ed un estratto della planimetria dei battenti idraulici. Si rimanda per tutti i dettagli, i battenti, le aree allagate e le sezioni idrauliche all'appendice e alle Tavole T02 ID00 IDR PE01B, T02 ID00 IDR PE02B, T02 ID00 IDR PE03A e T02 ID00 IDR SZ01B.

Per i commenti ai risultati per tutti e tre i corsi d'acqua si rimanda al paragrafo dedicato.



GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

36 di 75

Relazione Idraulica

GORA PISCINAS - SA						
HYDROGEO SA	HYDROGEO SP	HEC	MIKE	h max (mslm)	Q max (mc/s)	Vel (m/s)
				SA_TR200	SA_TR200	SA_TR200
P24SA	P24PD	7.00	0	63.25	14.80	1.51
P25SA	P25PD	6.00	118.17	62.84	14.69	2.54
P26SA	P26PD	5.00	281.91	61.74	14.42	4.65
P26SAM	P26PDM	4.00	298.66	61.32	14.50	0.78
P26SAV	P26PDV	3.00	305.63	61.27	14.53	0.82
P27SA	P27PD	2.00	330.10	61.22	13.61	2.60
P28SA	P28PD	1.00	682.73	59.98	8.90	1.84

Tabella 3 - Risultati modello MIKE FLOOD Stato Attuale Gora di Piscinas - Tr 200 anni

GORA PISCINAS - SP						
HYDROGEO SA	HYDROGEO SP	HEC	MIKE	h max (mslm)	Q max (mc/s)	Vel (m/s)
				SP_TR200	SP_TR200	SP_TR200
P24SA	P24PD	7.00	0	63.25	14.80	1.52
P25SA	P25PD	6.00	118.17	62.83	14.69	2.54
P26SA	P26PD	5.00	281.91	61.73	14.55	4.76
P26SAM	P26PDM	4.00	298.66	61.28	14.56	0.81
P26SAV	P26PDV	3.00	305.63	61.27	14.56	0.82
P27SA	P27PD	2.00	330.10	61.22	13.63	2.61
P28SA	P28PD	1.00	682.73	59.98	8.90	1.84

Tabella 4 - Risultati modello MIKE FLOOD Stato di Progetto Gora di Piscinas - Tr 200 anni



GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

37 di 75

Relazione Idraulica

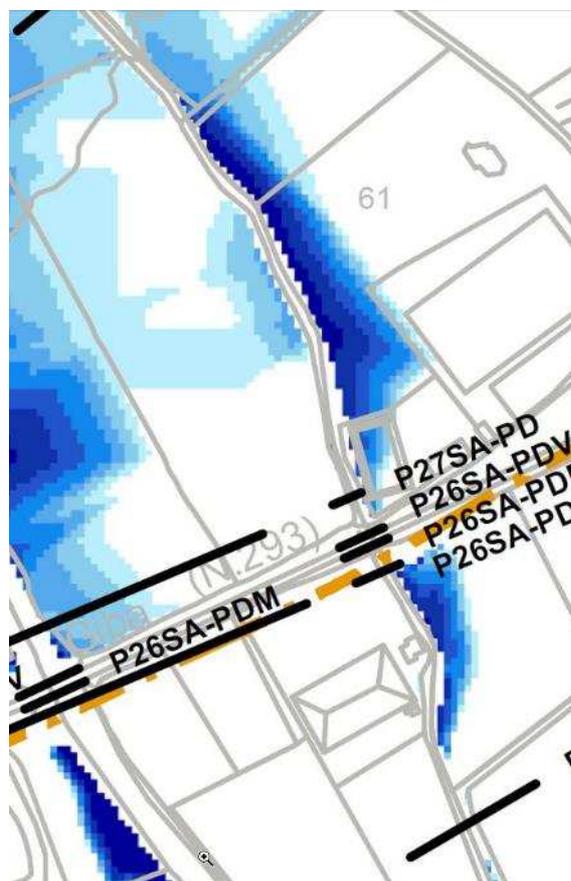


Immagine 5 - Estratto battenti area Gora Piscinas - Tr 200 Stato di Progetto

Riu Mannu Santadi

Di seguito si riporta la descrizione dei modelli di MIKE FLOOD in moto vario con portata con Tr 50-100-200-500 anni monodimensionali in alveo e bidimensionali nelle aree contermini utilizzati per l'individuazione delle aree di esondazione allo stato attuale ed allo stato di progetto. In quest'ultimo, rispetto allo stato attuale, è stato inserito nel modello monodimensionale il ponte di progetto e nel modello bidimensionale il rilevato stradale di progetto.

Il modello implementato comprende un tratto complessivo di circa 1.9 km, 9 sezioni, 1 attraversamento e pendenza media 0.7%.

I parametri in ingresso alla modellistica idraulica, oltre agli input idrologici, sono costituiti essenzialmente da tre tipologie di parametri:

- *scabrezza*, parametro di resistenza al moto per la valutazione delle perdite di carico distribuite;
- *coefficienti di espansione/contrazione*, necessari per la valutazione di perdite di carico effettivo indotte da variazioni di sezione, quali allargamenti o restringimenti;
- *condizioni al contorno*.



GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

38 di 75

Relazione Idraulica

Per ciò che attiene ai coefficienti di scabrezza da associare alle singole sezioni fluviali, attraverso il confronto con i parametri riportati in letteratura ed il supporto dei sopralluoghi effettuati è stato possibile associare, ad ogni sezione fluviale, il coefficiente di scabrezza secondo Manning più appropriato, che è risultato pari a $0.03 \text{ s/m}^{1/3}$.

I valori utilizzati per i coefficienti di contrazione ed espansione sono stati ricavati dalla letteratura disponibile.

Come condizioni al contorno di monte sono stati utilizzati gli idrogrammi calcolati nella relazione idrologica, mentre come condizione di valle una scala di deflusso per la sezione di chiusura.

Di seguito si riportano in tabella i risultati della modellazione idraulica ed un estratto della planimetria dei battenti idraulici. Si rimanda per tutti i dettagli, i battenti, le aree allagate e le sezioni idrauliche all'appendice e alle Tavole T02 ID00 IDR PE01B, T02 ID00 IDR PE02B, T02 ID00 IDR PE03A e T02 ID00 IDR SZ01B.

Per i commenti ai risultati per tutti e tre i corsi d'acqua si rimanda al paragrafo dedicato.

SANTADI - SA						
HYDROGEO SA	HYDROGEO SP	HEC	MIKE	h max (mslm)	Q max (mc/s)	Vel (m/s)
				SA_TR200	SA_TR200	SA_TR200
P01SA	P01PD	9.0	0	80.94	285.00	3.16
P02SA	P02PD	8.0	447.57	77.64	281.87	2.67
P03SA	P03PD	7.0	939.10	74.57	164.53	3.77
P03SAM	P03PDM	6.0	950.82	74.47	161.78	3.35
P03SAV	P03PDV	5.0	959.25	73.57	161.79	4.63
P04SA	P04PD	4.0	974.63	73.41	158.16	4.58
P05SA	P05PD	3.0	1186.88	71.33	108.20	2.94
P06SA	P06PD	2.0	1484.06	68.86	108.22	3.72
P07SA	P07PD	1.0	1865.98	66.15	108.19	1.88

Tabella 5 - Risultati modello MIKE FLOOD Stato Attuale Riu Mannu di Santadi - Tr 200 anni

SANTADI - SP						
HYDROGEO SA	HYDROGEO SP	HEC	MIKE	h max (mslm)	Q max (mc/s)	Vel (m/s)
				SP_TR200	SP_TR200	SP_TR200
P01SA	P01PD	9.0	0	80.95	285.00	3.15
P02SA	P02PD	8.0	447.57	77.59	282.01	2.77
P03SA	P03PD	7.0	939.10	74.46	213.80	4.18
P03SAM	P03PDM	6.0	950.82	74.29	210.24	4.51
P03SAV	P03PDV	5.0	959.25	73.95	210.21	5.14
P04SA	P04PD	4.0	974.63	73.78	209.11	4.24
P05SA	P05PD	3.0	1186.88	70.99	117.57	21.25
P06SA	P06PD	2.0	1484.06	68.39	70.22	3.26
P07SA	P07PD	1.0	1865.98	65.89	72.96	1.66

Tabella 6 - Risultati modello MIKE FLOOD Stato di Progetto Riu Mannu di Santadi - Tr 200 anni



GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

39 di 75

Relazione Idraulica

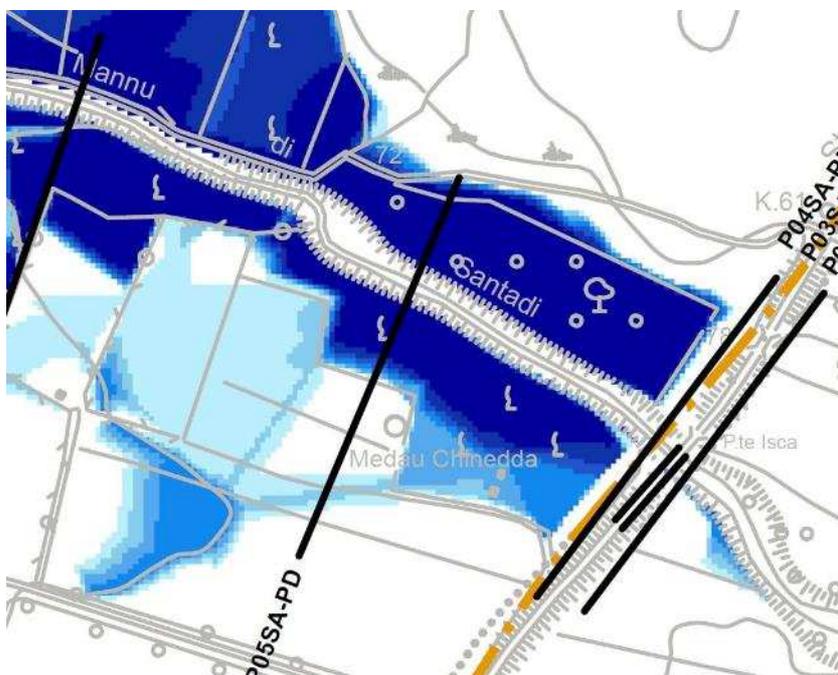


Immagine 6 - Estratto battenti area Riu Mannu Santadi - Tr 200 Stato di Progetto

Commento dei risultati

I risultati della modellazione bidimensionale hanno permesso di individuare nel dettaglio le aree di esondazione per portate con vari Tempi di Ritorno, sia allo Stato Attuale sia allo Stato di Progetto.

Per tutti e tre i corsi d'acqua si ottengono risultati simili.

Infatti a monte dei nuovi attraversamenti si ottengono generalmente delle diminuzioni di aree allagate allo stato di progetto rispetto all'attuale o al massimo una sostanziale invarianza.

Per quanto riguarda i tratti di valle le differenze fra stato attuale e progetto sono minime e tendenzialmente si ha una diminuzione delle aree allagate, soprattutto lungo il Riu Mannu Santadi.

Solo puntualmente in alcune aree a valle della SS293 si evidenziano minimi aumenti delle aree allagate, ma otteniamo nel complesso su tutti i corsi d'acqua una sostanziale riduzione del rischio idraulico, nella logica seguita dalla Direttiva 2000/60/CE e di tutte le normative idrauliche ad essa successive, che mirano non alla riduzione della pericolosità, bensì alla riduzione del rischio. Nelle aree a valle della SS293, infatti non sono presenti abitazioni o altri elementi sensibili, ma solamente aperta campagna.

Nella zona di monte invece si riduce la pericolosità (e di conseguenza il rischio) in un'area in cui sono presenti alcune abitazioni. Inoltre nel caso del Riu Mannu Santadi, con le modifiche apportate nella configurazione di progetto, viene messa in sicurezza anche la SS293 stessa, che allo Stato Attuale è interessata da forti allagamenti, mentre allo Stato di Progetto viene completamente salvaguardata.



GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

40 di 75

Relazione Idraulica

3.1.4. Interventi di protezione idraulica

L'implementazione di una modellazione bidimensionale delle aree circostanti ai tre corsi d'acqua ha permesso, oltre all'individuazione delle corrette aree di esondazione ante e post operam, anche di prevedere degli interventi di sicurezza idraulica mirati nelle zone più critiche ed in particolare in quelle dove si manifestano le esondazioni più rilevanti, sia in termini di battenti sia in termini di velocità di flusso.

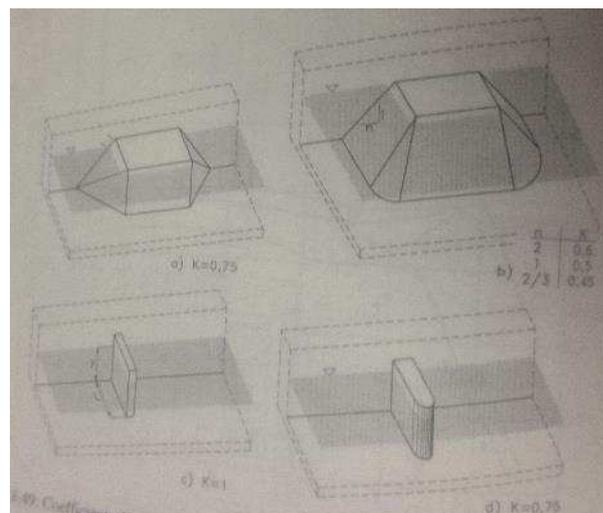
Le aree più critiche sono tipicamente quelle in corrispondenza degli attraversamenti, nella quale si generano i fenomeni di rigurgito e quindi di erosione più pericolosi per la stabilità delle opere.

Dalla modellazione idraulica monodimensionale risulta che per i ponti sul Santadi e Riu Piscinas le spalle non sono interessate da dinamica d'alveo, a differenza del Gora Piscinas per il quale si è determinato un possibile scalzamento della spalla del ponte, su una portata duecentennale.

La profondità dello scavo in un materiale è funzione di numerose variabili, tra le quali, altezza della corrente indisturbata y e velocità della corrente indisturbata v , caratteristiche del materiale d'alveo d e della geometria dell'ostacolo in termini di sporgenza L . V. Fiorotto (1992), analizzando risultati sperimentali ha rappresentato il legame funzionale di ds/d (profondità di scavo e diametro rappresentativo del materiale d'alveo) con la seguente relazione:

$$\frac{ds}{d} = f\left(\frac{L}{d}, \frac{\rho v^2}{(\rho_s - \rho)gd}, r, \varphi\right)$$

Nella seguente figura sono riportate le curve per la stima della massima profondità di scavo nel caso di ostacolo di tipologia c), come da figura seguente, configurazione più cautelativa in quanto l'ostacolo non è sagomato





GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

41 di 75

Relazione Idraulica

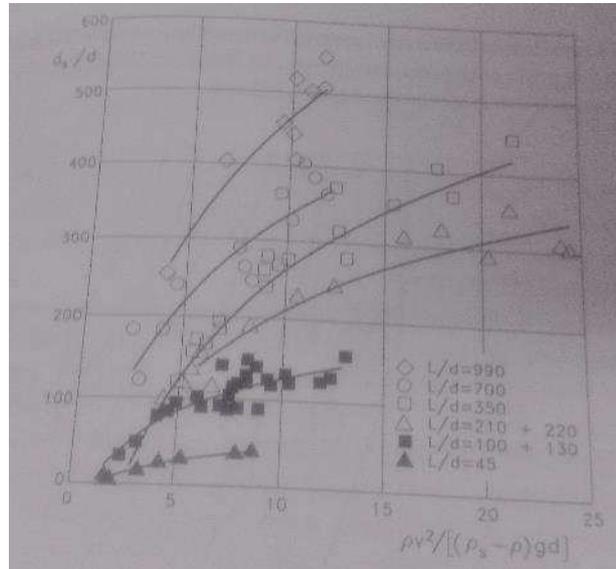


Immagine 7 – curve per stima scavo massimo

L'applicazione di tale metodologia, considerando:

$$v = 1.7 \text{ m/s}$$

$$L = 4 \text{ m}$$

$$d = 0.02 \text{ m}$$

$$L/d = 200$$

Si ottiene dalla precedente figura un rapporto ds/d pari a 120, al quale corrisponde uno scavo massimo di 2.40m

Considerando che le spalle sono fondate su pali non si ritiene di dover prevedere protezioni.

Dai risultati della modellazione bidimensionale sono state poi individuate le opere che sono maggiormente soggette all'azione dell'acqua esondata e che quindi necessitano di una protezione. In particolare sono stati evidenziati dalla modellazione i tratti di rilevato stradale interessati da esondazione con battenti e velocità significative. Per tali tratti sono state previste protezioni al piede del rilevato in gabbioni metallici o massi in scogliera. Tali interventi di protezione idraulica permettono di prevenire fenomeni di erosione del piede del rilevato che potrebbero minarne la stabilità durante eventi alluvionali.

In termini di battenti idraulici in prossimità dei rilevati si precisa che i battenti risultano inferiori ad 1.00 m.

Cautelativamente nelle verifiche è stato assunto un battente massimo pari ad 1.00m

Al fine del dimensionamento della scogliera sommersa è stata sviluppata una verifica di stabilità nei confronti dell'azione fluviale riferita all'evento di piena duecentennale.



GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

42 di 75

Relazione Idraulica

La verifica di stabilità in questione consiste nel dimostrare la validità della condizione:

$$\tau_m \leq \tau_s$$

dove

τ_m è la tensione a taglio esercitata dall'acqua sulle sponde in caso di evento con tempo di ritorno 200 anni e τ_s la tensione di taglio critica di inizio moto dei massi costituenti la scogliera.

La tensione a taglio esercitata dall'acqua sul rivestimento in scogliera è data, in unità congruenti, da:

$$\tau_m = 0.75 \cdot \gamma_w \cdot Y \cdot i$$

con:

γ_w peso specifico dell'acqua, pari a 1000 kg/mc;

Y altezza d'acqua TR200 (assimilabile al raggio idraulico) posta pari a 1 m;

i gradiente idraulico, pari a 0.01 m/m.

Risulta $\tau_m = 73.6$ N/mq

La tensione di taglio critica di inizio moto del rivestimento in scogliera, τ_s , è invece data, in unità congruenti, da:

$$\tau_s = \tau_c \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \Phi}}$$

dove τ_c è la tensione critica di incipiente moto al fondo data, in unità congruenti, da:

$$\tau_c = 0.10(\gamma_s - \gamma_w)d_m$$

γ_w il peso specifico dell'acqua;

γ_s il peso specifico della scogliera posto pari a 2650 kg/mc;

θ la pendenza del rivestimento in scogliera, pari a 34°;

ϕ l'angolo attrito del materiale costituente la scogliera, posto cautelativamente pari a 35°;

d_m il diametro dei massi costituenti la scogliera.

Il diametro medio dei massi costituenti la scogliera è stato ricavato ipotizzando forma sferica dei massi e un peso di 1000 kg ottenendo un diametro pari a 0.9m

Sostituendo i parametri di progetto, si è pervenuti ai seguenti risultati:

$\tau_c = 1485$ N/mq

$\tau_s = 330$ N/mq

Risulta quindi soddisfatta la condizione

$$\tau_m \leq \tau_s$$

e pertanto verificata la stabilità della scogliera di massi nei confronti dell'azione di trascinamento della piena duecentennale.



GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

43 di 75

Relazione Idraulica

La verifica a trascinamento è stata inoltre effettuata sui gabbioni ed è riportata di seguito

La tensione tangenziale massima è pari a

$$\tau_m = 0.75 \cdot \gamma_w \cdot Y \cdot i$$

e risulta pari a 73.6 N/mq

La tensione tangenziale resistente al fondo (tensione tangenziale critica), è data da:

$$\tau_c = C_* (\gamma_s - \gamma_w) d_m$$

dove :

γ_s è il peso specifico dell'inerte;

d_m il diametro medio del materiale litoide che costituisce il rivestimento pari a 0.15 m

γ_w è il peso specifico dell'acqua;

Il coefficiente C_* di Shields per il pietrame contenuto da rete metallica (materassi Reno e gabbioni) vale $C_* = 0.14$ (a parità di dimensioni il pietrame di riempimento di materassi e gabbioni sopporta una tensione tangenziale superiore rispetto al rip-rap, grazie all'azione di contenimento della rete metallica).

Risulta $\tau_s = 350.5$ N/mq

La verifica risulta soddisfatta in quanto $\tau_m = 73.6$ N/mq < τ_s

Per tutti i dettagli, sezioni tipologiche e lunghezze degli interventi si vedano:

Tavola T02 ID00 IDR PE03A

Tavola T02 ID00 IDR DI01A

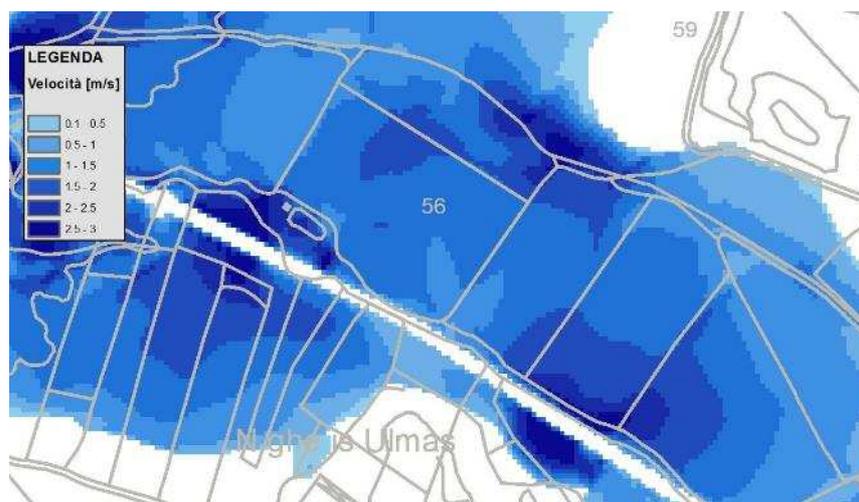


Immagine 8 - Esempio di mappa velocità - Tr 500 Stato di Progetto



GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

Relazione Idraulica

44 di 75

3.2. Attraversamenti secondari: tombini idraulici

Nell'ambito di questa fase progettuale si è scelto di verificare idraulicamente i tombini interferenti con l'opera di progetto per i quali già in fase preliminare era stato previsto il rifacimento. Nel Progetto Preliminare erano stati verificati idraulicamente soltanto 2 tombini e per i restanti era stato effettuato un dimensionamento di massima. In questa fase, oltre alla verifica idraulica di tutti i tombini si è verificato la compatibilità degli stessi con la livelletta stradale. Anche quest'ultima verifica era assente nel progetto preliminare.

La verifica dei tombini è stata condotta con il software HEC-RAS in moto permanente in quanto le condizioni del moto sono determinate oltre che dalla geometria dei tombini stessi dalle sezioni di imbocco e sbocco.

Si descrive quindi l'implementazione dei modelli idraulici ante e post operam dettagliando i parametri utilizzati nelle due configurazioni.

Per i tombini sulla SS293 alle progressive 64+870, 63+530, 61+400 si riporta la sola configurazione di progetto per TR200 anni non essendo soggetti a verifica di compatibilità idraulica ai sensi delle NTC del PAI

Dovendo modificare le quote di fondo dei tombini, in modo tale da garantire compatibilità con la viabilità in progetto, si rende necessaria una riprofilatura a monte e a valle del tombino, con sezioni trapezie con sponde 3:2 e sezione paragonabile a quella del tombino stesso.

I criteri di progetto seguiti nel dimensionamento delle opere di attraversamento e presidio in corrispondenza dei corsi d'acqua minori realizzati con tombini consistono essenzialmente nel ottenere un franco di sicurezza sulla portata con Tr 200 anni coerente con quanto specificato dalle normative di riferimento, ed un ricoprimento minimo pari a 0.30 m, in modo tale da garantire compatibilità con le quote della viabilità in progetto.

Tombino SS195 al km 94+020

Allo stato attuale è presente un tombino di dimensioni 2.50 x 1.20m. I parametri idraulici implementati sono i seguenti:

- scabrezza in alveo $0.035 \text{ s/m}^{1/3}$
- scabrezza del tombino $0.03 \text{ s/m}^{1/3}$
- coefficiente di perdita ingresso: 0.5
- coefficiente di perdita uscita: 1.00
- condizioni al contorno di monte e di valle i valori del gradiente energetico pari alla pendenza del corso d'acqua a monte e a valle
- sezioni fluviali derivate da rilievo lidar e aerofotogrammetrico, con codifica come da tabella seguente



Relazione Idraulica

HYDROGEO	HEC
SEZ14	16
SEZ13	15
SEZ12	14
SEZ09	11
	10
SEZ07	9
SEZ06	8
SEZ05	7
SEZ04	6
SEZ03	5
SEZ1A	2
SEZ1B	1

Allo stato di progetto è presente un tombino di dimensioni 3.50 x 2.00m. I parametri idraulici implementati sono i seguenti:

- scabrezza in alveo $0.035 \text{ s/m}^{1/3}$ nelle due sezioni di monte e di valle e $0.025 \text{ s/m}^{1/3}$ nelle restanti
- scabrezza del tombino $0.025 \text{ s/m}^{1/3}$
- coefficiente di perdita ingresso: 0.5
- coefficiente di perdita uscita: 1.00
- condizioni al contorno di monte e di valle i valori del gradiente energetico pari alla pendenza del corso d'acqua a monte e a valle
- pendenza di progetto del tombino 0.5%

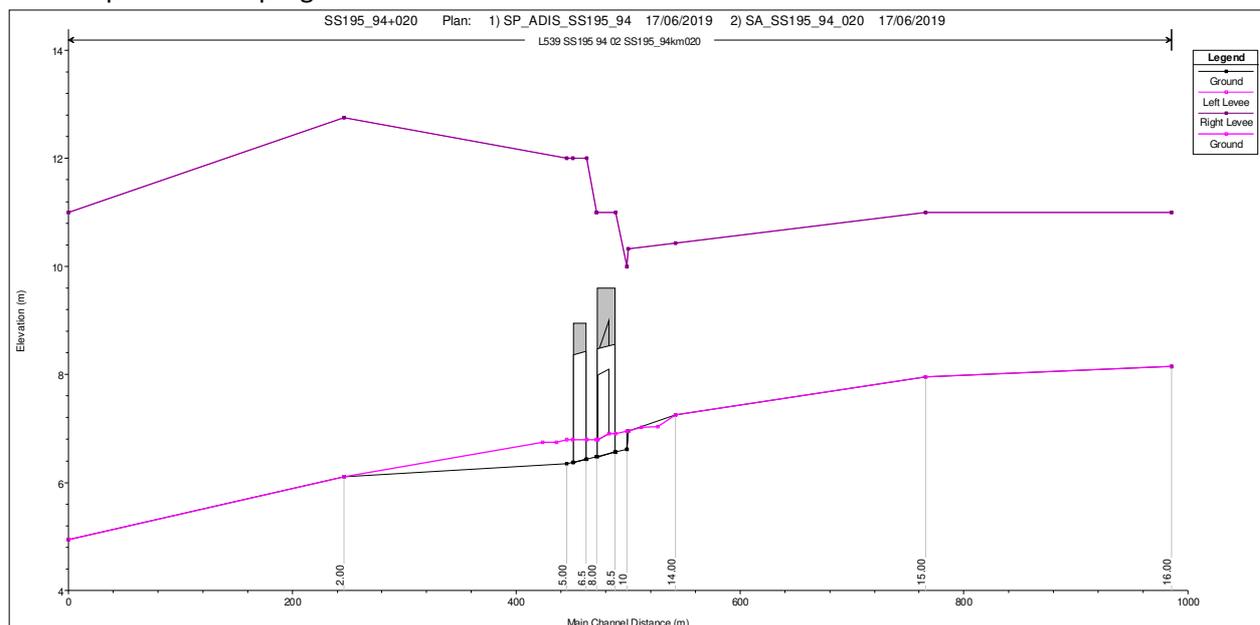


Figura 1: Profilo longitudinale – Stato Sovrapposto

Tombino SS195 al km 93+610

Allo stato attuale è presente un tombino di dimensioni DN1100. I parametri idraulici implementati sono i seguenti:

- scabrezza in alveo $0.035 \text{ s/m}^{1/3}$



Relazione Idraulica

- scabrezza del tombino $0.03 \text{ s/m}^{1/3}$
- coefficiente di perdita ingresso: 0.5
- coefficiente di perdita uscita: 1.00
- condizioni al contorno di monte e di valle i valori del gradiente energetico pari alla pendenza del corso d'acqua a monte e a valle
- sezioni fluviali derivate da rilievo lidar e aerofotogrammetrico, con codifica come da tabella seguente

HYDROGEO	HEC
SEZ10	11
SEZ09	10
SEZ08	9
SEZ07	8
SEZ06	7
SEZ05	6
SEZ04	5
SEZ03	4
SEZ02	3
SEZ01	2

Allo stato di progetto è presente un tombino di dimensioni 3.00 x 1.50m. I parametri idraulici implementati sono i seguenti:

- scabrezza in alveo $0.025 \text{ s/m}^{1/3}$
- coefficiente di perdita ingresso: 0.5
- coefficiente di perdita uscita: 1.00
- condizioni al contorno di monte e di valle i valori del gradiente energetico pari alla pendenza del corso d'acqua a monte e a valle
- pendenza di progetto del tombino 0.5%

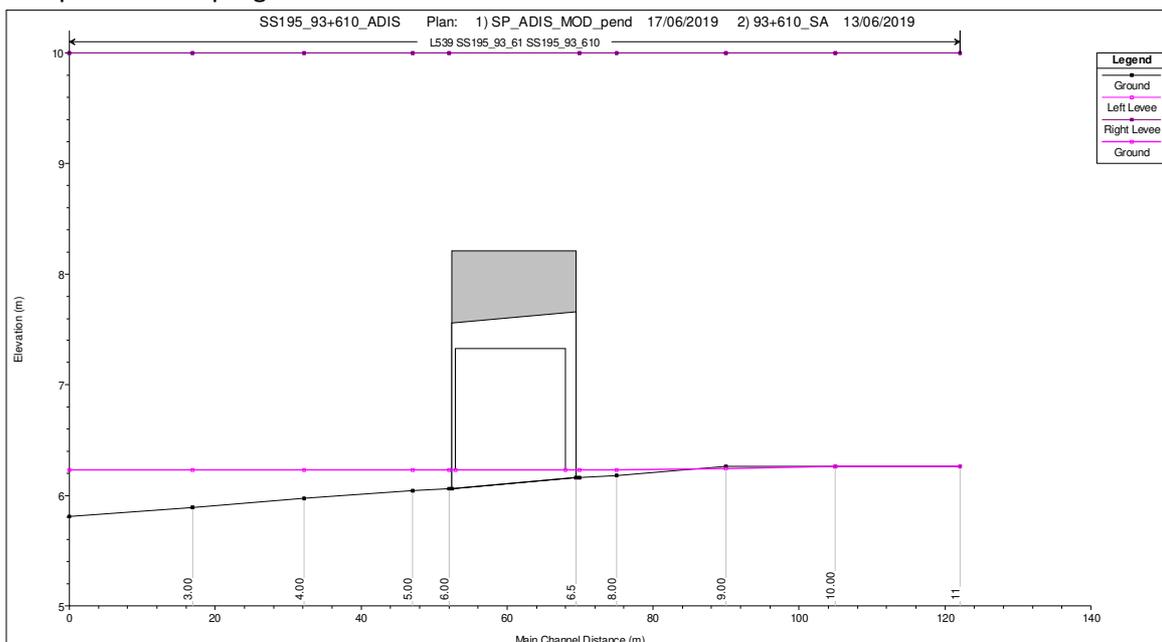


Figura 2: Profilo longitudinale – Stato Sovrapposto



GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

47 di 75

Relazione Idraulica

Tombino SS195 al km 93+200

Allo stato attuale è presente un tombino di dimensioni 2.50 x 0.90m. I parametri idraulici implementati sono i seguenti:

- scabrezza in alveo $0.035 \text{ s/m}^{1/3}$
- scabrezza del tombino $0.03 \text{ s/m}^{1/3}$
- coefficiente di perdita ingresso: 0.5
- coefficiente di perdita uscita: 1.00
- condizioni al contorno di monte e di valle i valori del gradiente energetico pari alla pendenza del corso d'acqua a monte e a valle
- sezioni fluviali derivate da rilievo lidar e aerofotogrammetrico, con codifica come da tabella seguente

HYDROGEO	HEC
SEZ10	10
SEZ09	9
SEZ08	8
SEZ07	7
SEZ06	6
SEZ05	5
SEZ04	4
SEZ03	3
SEZ02	2
SEZ01	1

Allo stato di progetto è presente un tombino di dimensioni 3.00 x 1.50m. I parametri idraulici implementati sono i seguenti:

- scabrezza in alveo $0.025 \text{ s/m}^{1/3}$
- scabrezza del tombino $0.025 \text{ s/m}^{1/3}$
- coefficiente di perdita ingresso: 0.5
- coefficiente di perdita uscita: 1.00
- condizioni al contorno di monte e di valle i valori del gradiente energetico pari alla pendenza del corso d'acqua a monte e a valle
- pendenza di progetto del tombino 0.5%



Relazione Idraulica

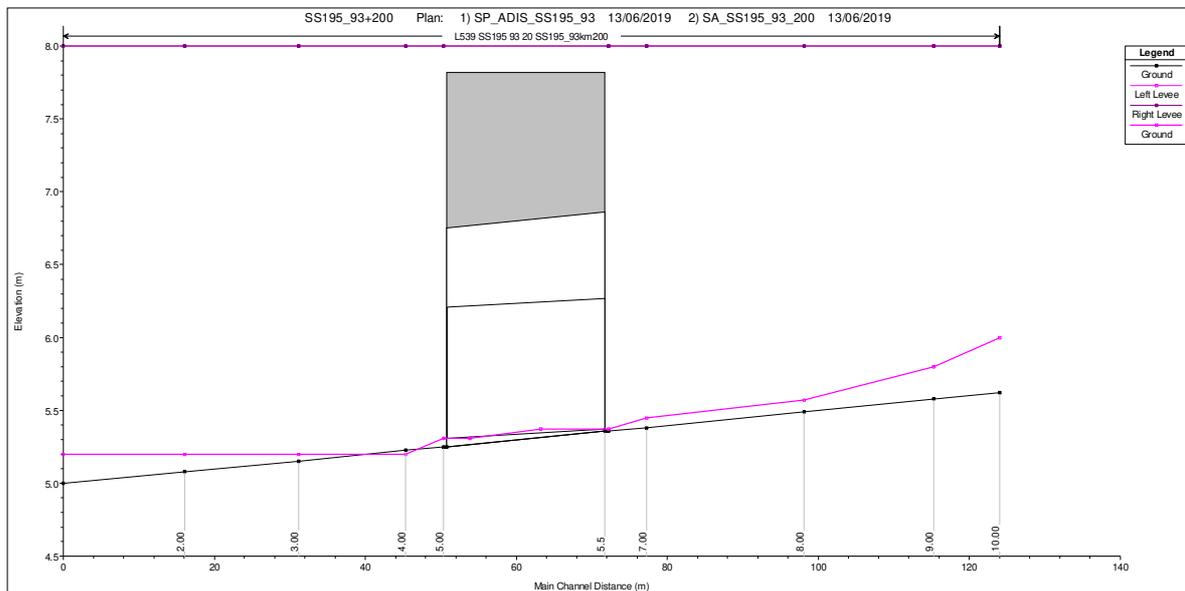


Figura 3: Profilo longitudinale – Stato Sovrapposto

Tombino SS195 al km 92+660

Allo stato attuale è presente un tombino di dimensioni 2.60 x 2.40m. I parametri idraulici implementati sono i seguenti:

- scabrezza in alveo $0.035 \text{ s/m}^{1/3}$
- scabrezza del tombino $0.03 \text{ s/m}^{1/3}$
- coefficiente di perdita ingresso: 0.5
- coefficiente di perdita uscita: 1.00
- condizioni al contorno di monte e di valle i valori del gradiente energetico pari alla pendenza del corso d'acqua a monte e a valle
- sezioni fluviali derivate da rilievo lidar e aerofotogrammetrico, con codifica come da tabella seguente

HYDROGEO	HEC
SEZ10	10
SEZ09	9
SEZ08	8
SEZ07	7
SEZ06	6
SEZ05	5
SEZ04	4
SEZ03	3
SEZ02	2
SEZ01	1

Allo stato di progetto è presente un tombino di dimensioni 4.00 x 2.50m. I parametri idraulici implementati sono i seguenti:

- scabrezza in alveo $0.025 \text{ s/m}^{1/3}$
- scabrezza del tombino $0.025 \text{ s/m}^{1/3}$
- coefficiente di perdita ingresso: 0.5



Relazione Idraulica

- coefficiente di perdita uscita: 1.00
- condizioni al contorno di monte e di valle i valori del gradiente energetico pari alla pendenza del corso d'acqua a monte e a valle
- pendenza di progetto del tombino 0.5%

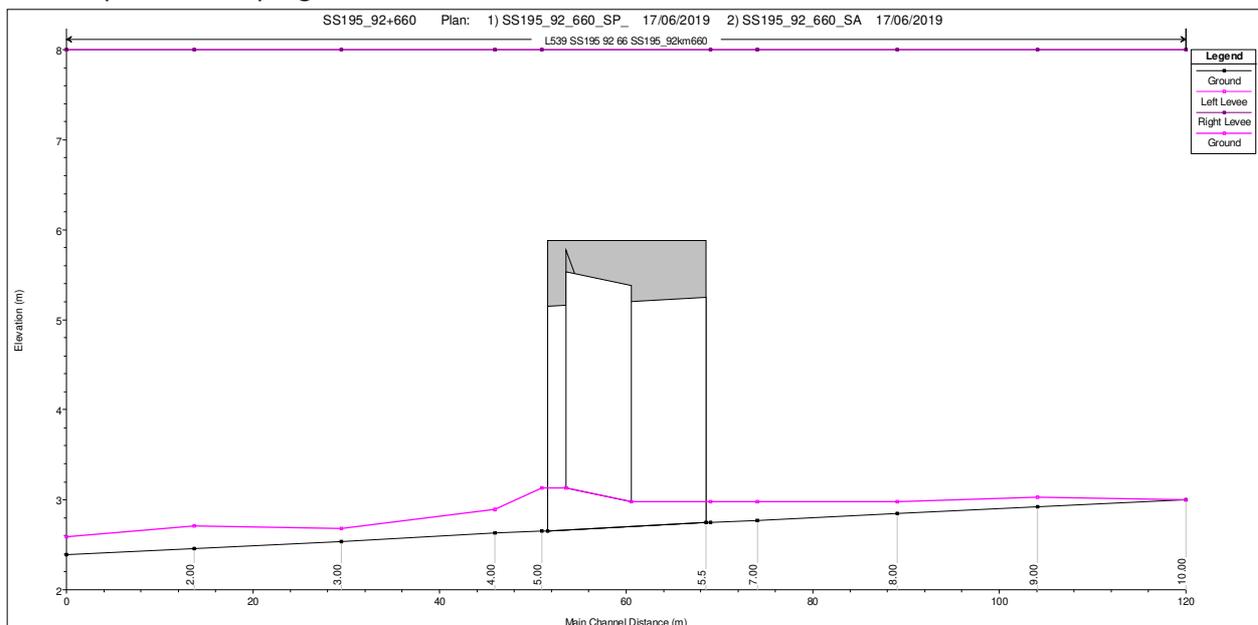


Figura 4: Profilo longitudinale – Stato Sovrapposto

Tombino SS195 al km 91+335

Allo stato attuale è presente un tombino di dimensioni 2.50 x 1.40m. I parametri idraulici implementati sono i seguenti:

- scabrezza in alveo $0.04 \text{ s/m}^{1/3}$
- scabrezza del tombino $0.03 \text{ s/m}^{1/3}$
- coefficiente di perdita ingresso: 0.5
- coefficiente di perdita uscita: 1.00
- condizioni al contorno di monte e di valle i valori del gradiente energetico pari alla pendenza del corso d'acqua a monte e a valle
- sezioni fluviali derivate da rilievo lidar e aerofotogrammetrico, con codifica come da tabella seguente



Relazione Idraulica

HYDROGEO	HEC
SEZ13	15
SEZ12	14
SEZ11	13
SEZ10	12
	11.9
SEZ09	11
SEZ08	10
SEZ07	9
SEZ06	8
SEZ05	7
SEZ04	6
SEZ03	5
SEZ02	4
SEZ01	3
SEZ1A	2
SEZ1B	1

Allo stato di progetto è presente un tombino di dimensioni 4.00 x 2.50m. I parametri idraulici implementati sono i seguenti:

- scabrezza in alveo $0.035 \text{ s/m}^{1/3}$ nelle due sezioni di monte e di valle e $0.025 \text{ s/m}^{1/3}$ nelle restanti
- scabrezza del tombino $0.025 \text{ s/m}^{1/3}$
- coefficiente di perdita ingresso: 0.5
- coefficiente di perdita uscita: 1.00
- condizioni al contorno di monte e di valle i valori del gradiente energetico pari alla pendenza del corso d'acqua a monte e a valle
- pendenza di progetto del tombino 0.5%

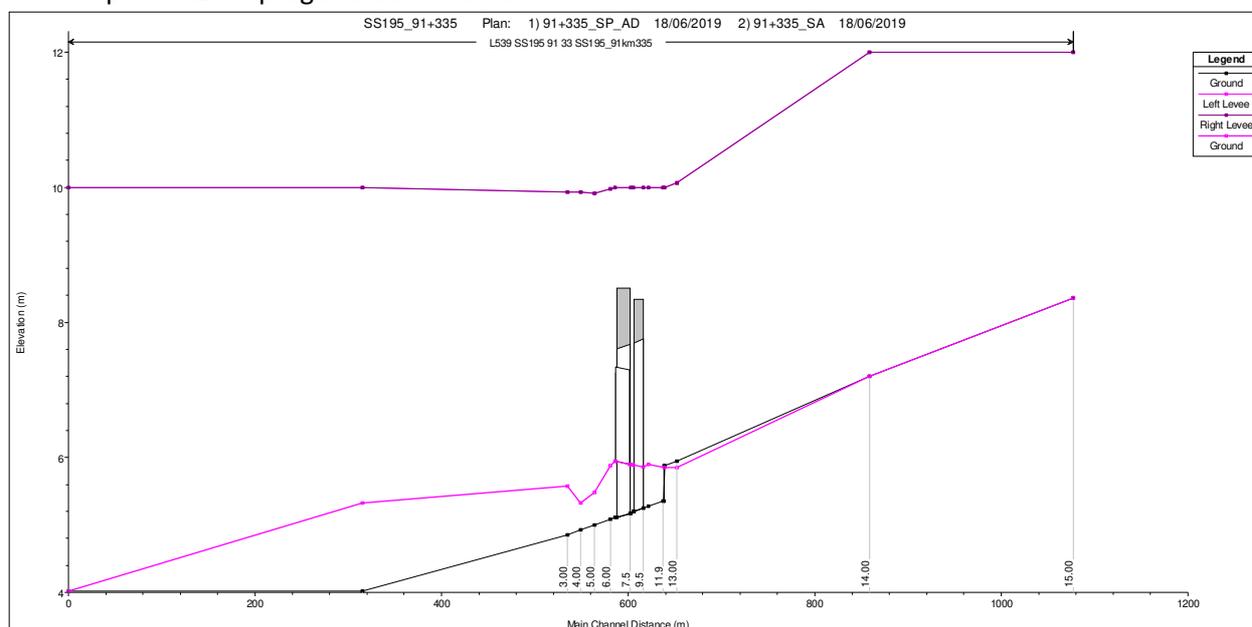


Figura 5: Profilo longitudinale – Stato Sovrapposto



GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

51 di 75

Relazione Idraulica

Tombino SS293 al km 60+340

Allo stato attuale è presente un tombino di dimensioni 1.50 x 1.00m. I parametri idraulici implementati sono i seguenti:

- scabrezza in alveo $0.035 \text{ s/m}^{1/3}$
- scabrezza del tombino $0.03 \text{ s/m}^{1/3}$
- coefficiente di perdita ingresso: 0.5
- coefficiente di perdita uscita: 1.00
- condizioni al contorno di monte e di valle i valori del gradiente energetico pari alla pendenza del corso d'acqua a monte e a valle
- sezioni fluviali derivate da rilievo lidar e aerofotogrammetrico, con codifica come da tabella seguente

HYDROGEO	HEC
SEZ11	11
SEZ10	10
SEZ09	9
SEZ08	8
SEZ07	7
SEZ06	6
SEZ05	5
SEZ04	4
SEZ03	3
SEZ02	2
SEZ01	1

Allo stato di progetto è presente un tombino di dimensioni 3.00 x 1.50m. I parametri idraulici implementati sono i seguenti:

- scabrezza in alveo $0.025 \text{ s/m}^{1/3}$
- scabrezza del tombino $0.025 \text{ s/m}^{1/3}$
- coefficiente di perdita ingresso: 0.5
- coefficiente di perdita uscita: 1.00
- condizioni al contorno di monte e di valle i valori del gradiente energetico pari alla pendenza del corso d'acqua a monte e a valle
- pendenza di progetto del tombino 0.5%



Relazione Idraulica

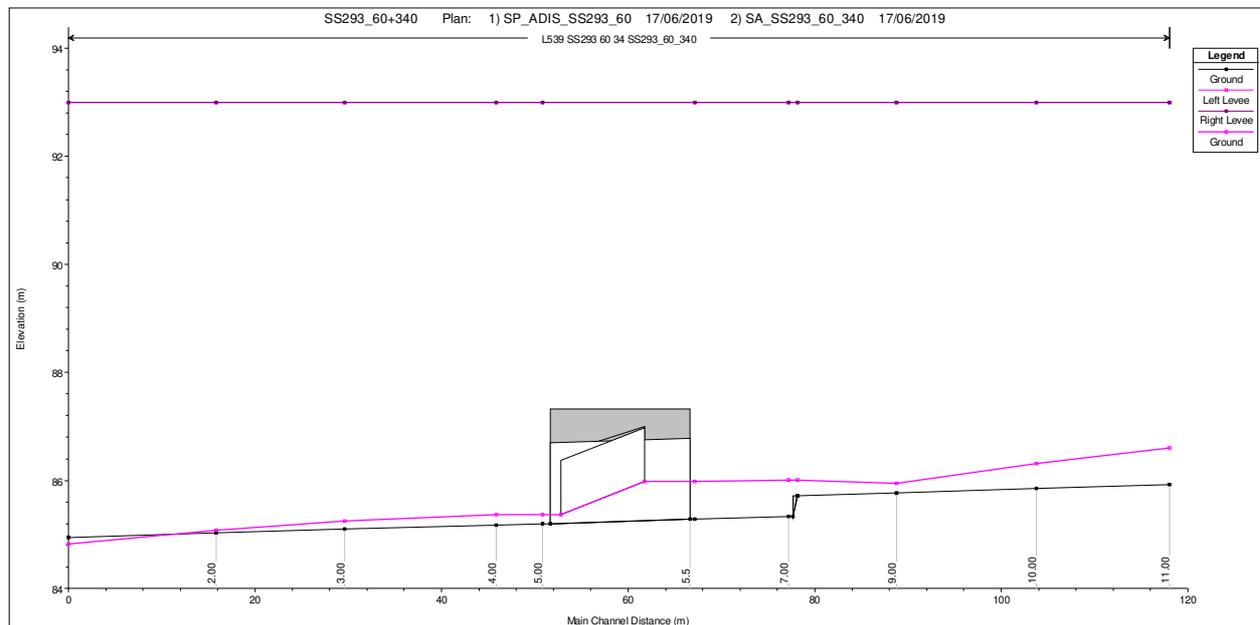


Figura 6: Profilo longitudinale – Stato Sovrapposto

Tombino SS293 al km 61+610

Allo stato attuale è presente un tombino di dimensioni 1.50 x 1.00m. I parametri idraulici implementati sono i seguenti:

- scabrezza in alveo $0.035 \text{ s/m}^{1/3}$
- scabrezza del tombino $0.03 \text{ s/m}^{1/3}$
- coefficiente di perdita ingresso: 0.5
- coefficiente di perdita uscita: 1.00
- condizioni al contorno di monte e di valle i valori del gradiente energetico pari alla pendenza del corso d'acqua a monte e a valle
- sezioni fluviali derivate da rilievo lidar e aerofotogrammetrico, con codifica come da tabella seguente

HYDROGEO	HEC
SEZ01	10
SEZ02	9
SEZ03	8
SEZ04	7
SEZ05	6
SEZ06	5
SEZ07	4
SEZ08	3
SEZ09	2
SEZ10	1

Allo stato di progetto è presente un tombino di dimensioni 1.50 x 1.50m. I parametri idraulici implementati sono i seguenti:

- scabrezza in alveo $0.025 \text{ s/m}^{1/3}$



Relazione Idraulica

- scabrezza del tombino $0.025 \text{ s/m}^{1/3}$
- coefficiente di perdita ingresso: 0.5
- coefficiente di perdita uscita: 1.00
- condizioni al contorno di monte e di valle i valori del gradiente energetico pari alla pendenza del corso d'acqua a monte e a valle
- pendenza di progetto del tombino 1%

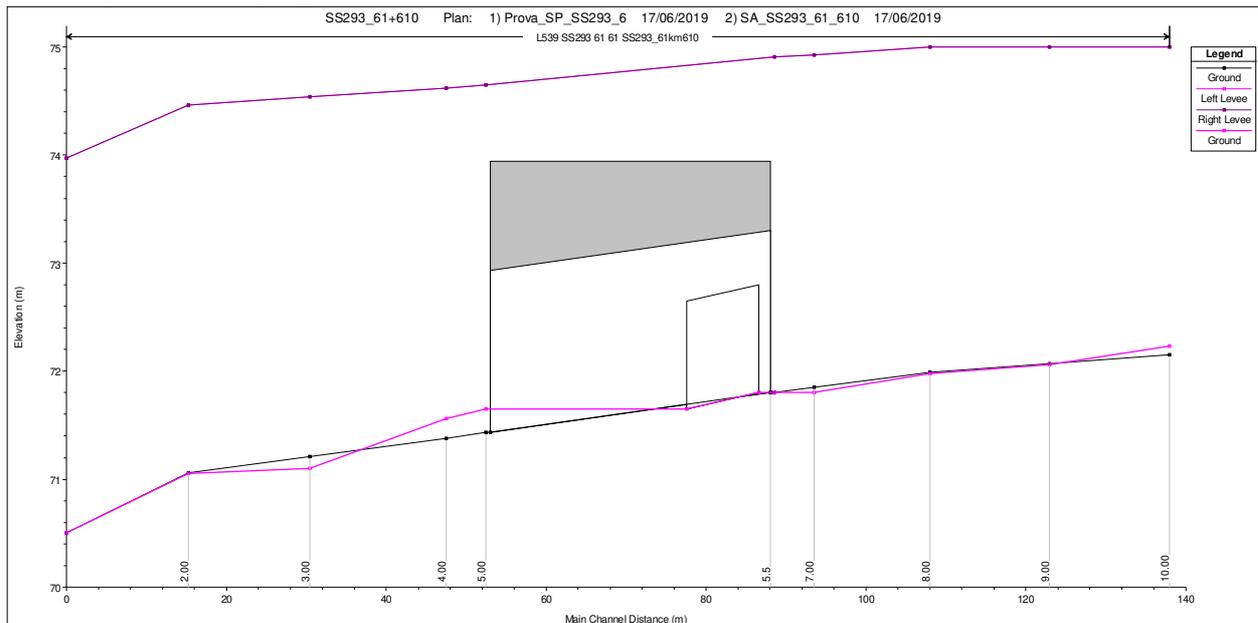


Figura 7: Profilo longitudinale – Stato Sovrapposto

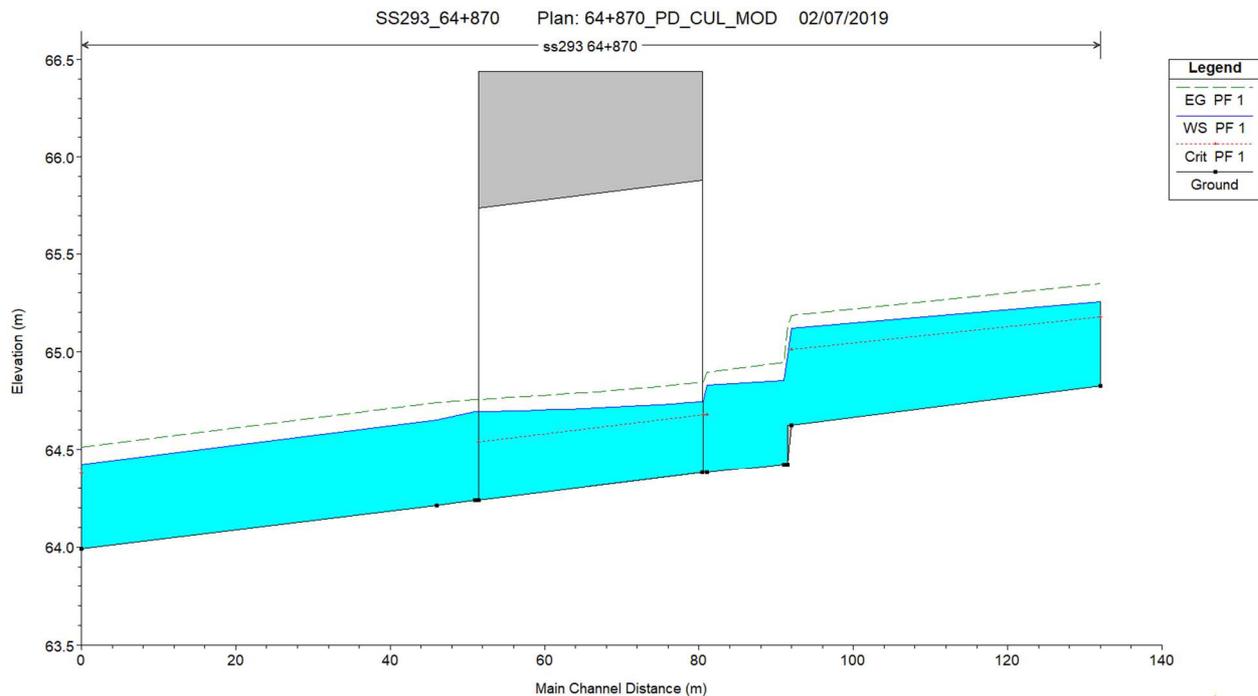
Tombino SS293 al km 64+870

Allo stato di progetto è presente un tombino di dimensioni 3.00 x 1.50m. I parametri idraulici implementati sono i seguenti:

- scabrezza in alveo $0.025 \text{ s/m}^{1/3}$
- scabrezza del tombino $0.025 \text{ s/m}^{1/3}$
- coefficiente di perdita ingresso: 0.5
- coefficiente di perdita uscita: 1.00
- condizioni al contorno di monte e di valle i valori del gradiente energetico pari alla pendenza del corso d'acqua a monte e a valle
- pendenza di progetto del tombino 0.5%



Relazione Idraulica



Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
64+870	6	PF 1	1.53	64.82	65.26	65.18	65.35	0.005106	1.34	1.14	3.29	0.73
64+870	5.1	PF 1	1.53	64.62	65.12	65.01	65.19	0.003083	1.12	1.36	3.49	0.57
64+870	5.05		Inl Struct									
64+870	5	PF 1	1.53	64.42	64.85		64.95	0.005179	1.35	1.14	3.29	0.73
64+870	4	PF 1	1.53	64.38	64.83	64.68	64.89	0.003340	1.14	1.35	3.00	0.54
64+870	3.5		Culvert									
64+870	3	PF 1	1.53	64.24	64.69		64.76	0.003227	1.12	1.36	3.00	0.53
64+870	2	PF 1	1.53	64.21	64.65		64.74	0.004610	1.29	1.18	3.33	0.69
64+870	1	PF 1	1.53	63.99	64.42	64.38	64.51	0.005002	1.33	1.15	3.30	0.72

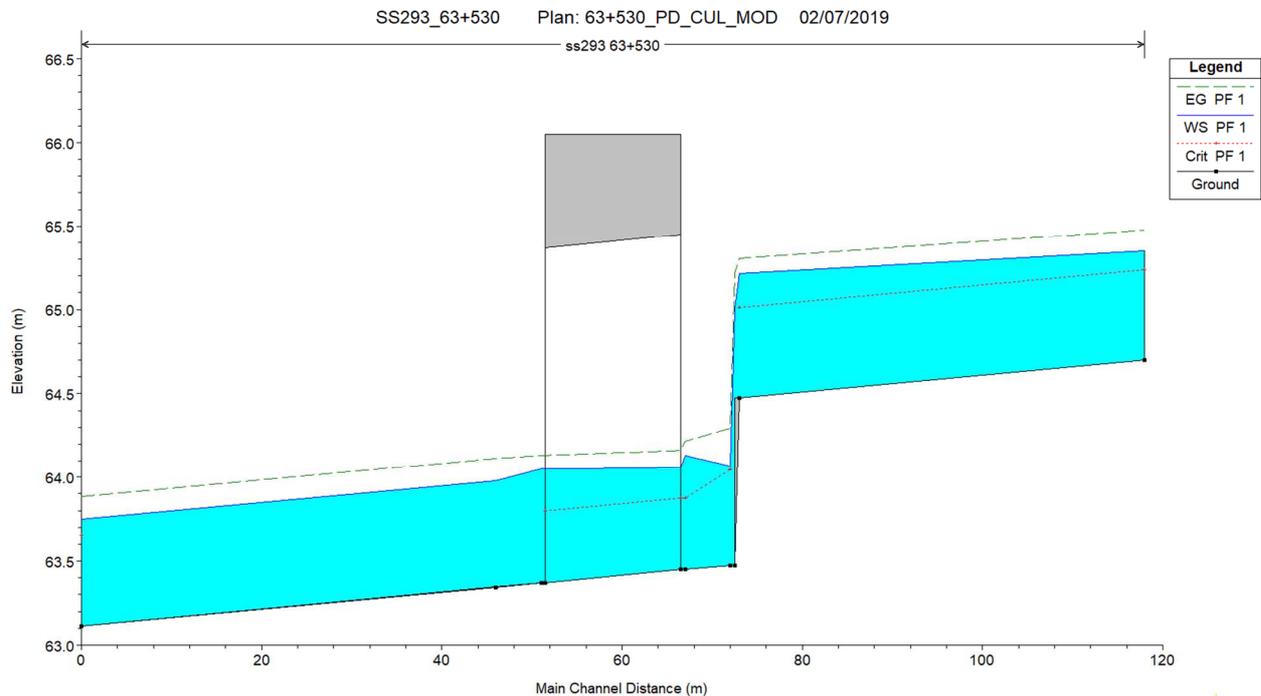
Tombino SS293 al km 63+530

Allo stato di progetto è presente un tombino di dimensioni 3.00 x 1.00m. I parametri idraulici implementati sono i seguenti:

- scabrezza in alveo $0.025 \text{ s/m}^{1/3}$
- scabrezza del tombino $0.025 \text{ s/m}^{1/3}$
- coefficiente di perdita ingresso: 0.5
- coefficiente di perdita uscita: 1.00
- condizioni al contorno di monte e di valle i valori del gradiente energetico pari alla pendenza del corso d'acqua a monte e a valle
- pendenza di progetto del tombino 0.5%



Relazione Idraulica



Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
63+530	6	PF 1	3.05	64.70	65.35	65.24	65.48	0.004618	1.58	1.93	3.94	0.72
63+530	5.1	PF 1	3.05	64.47	65.22	65.01	65.30	0.002815	1.32	2.30	4.22	0.57
63+530	5.05	Inl Struct										
63+530	5	PF 1	3.05	63.47	64.07	64.05	64.29	0.008947	2.11	1.45	2.89	0.95
63+530	4	PF 1	3.05	63.45	64.13	63.88	64.22	0.002629	1.28	2.39	3.50	0.49
63+530	3.5	Culvert										
63+530	3	PF 1	3.05	63.37	64.05		64.13	0.002666	1.28	2.38	3.50	0.50
63+530	2	PF 1	3.05	63.35	63.98		64.11	0.005003	1.63	1.87	3.90	0.75
63+530	1	PF 1	3.05	63.11	63.75	63.65	63.88	0.005002	1.63	1.87	3.90	0.75

Tombino SS293 al km 61+400

Allo stato di progetto è presente un tombino di dimensioni 1.50 x 1.50m. I parametri idraulici implementati sono i seguenti:

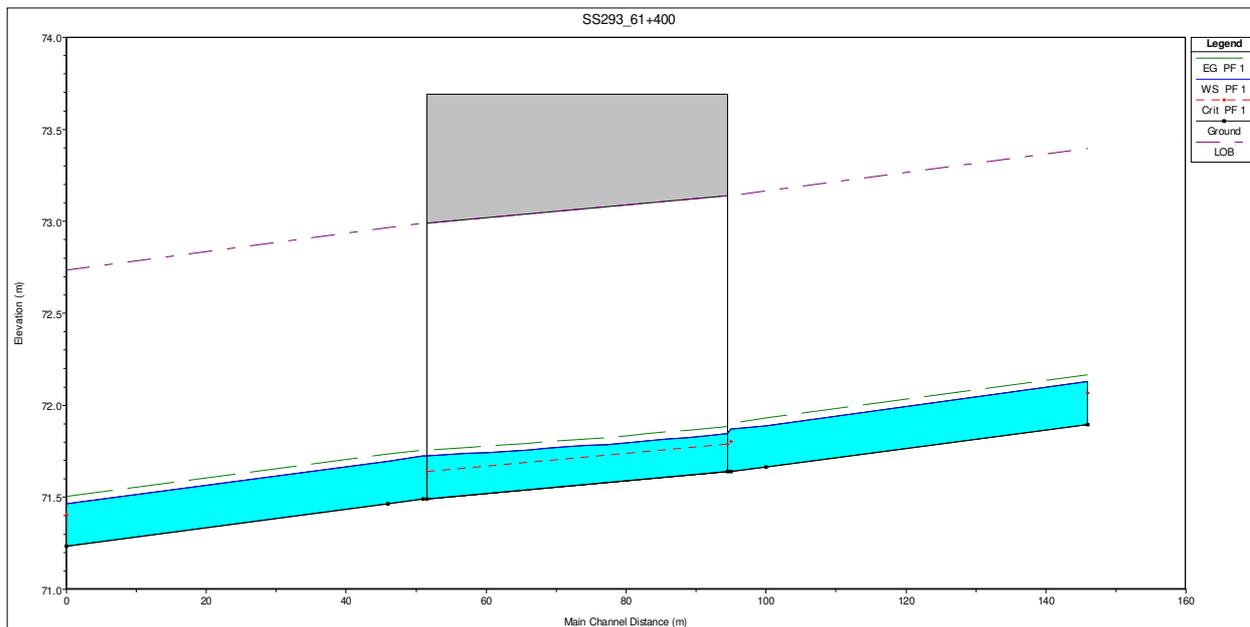
- scabrezza in alveo $0.025 \text{ s/m}^{1/3}$
- scabrezza del tombino $0.025 \text{ s/m}^{1/3}$
- coefficiente di perdita ingresso: 0.5
- coefficiente di perdita uscita: 1.00
- condizioni al contorno di monte e di valle i valori del gradiente energetico pari alla pendenza del corso d'acqua a monte e a valle
- pendenza di progetto del tombino 0.5%



GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

56 di 75

Relazione Idraulica



Reach	River Sta	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
61+400	6	0.27	71.90	72.13	72.07	72.17	0.004724	0.85	0.32	1.70	0.63
61+400	5	0.27	71.66	71.89		71.93	0.005625	0.90	0.30	1.67	0.68
61+400	4	0.27	71.64	71.87	71.81	71.90	0.003763	0.77	0.35	1.50	0.51
61+400	3.5	Culvert									
61+400	3	0.27	71.49	71.73		71.76	0.003575	0.76	0.35	1.50	0.50
61+400	2	0.27	71.46	71.70		71.73	0.004962	0.86	0.31	1.70	0.64
61+400	1	0.27	71.24	71.47	71.41	71.50	0.005009	0.87	0.31	1.69	0.65



GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

57 di 75

Relazione Idraulica

Nella seguente tabella sono riportate le caratteristiche geometriche degli attraversamenti e il dimensionamento degli stessi:

TOMBINI S.S.195													
Progressiva	Dimensioni (L;H)		Lunghezza [m]	Pendenza [%]	Livellina stradale [m s.l.m.]	Livello idraulico [m s.l.m.]	Battente [m]	FS PAI [m]	FS [m]	Fondo monte [m s.l.m.]	Fondo valle [m s.l.m.]	Spessore scatolare [m]	Ricoprimento [m]
SS195 91Km+335	4	2.5	9.5	0.50%	8.34	6.69	1.43	1.04	1.07	5.26	5.2	0.25	0.33
			15.5	0.50%	8.51	6.59	1.41	1.03	1.09	5.18	5.11	0.25	0.58
SS195 92Km+660	4	2.5	16.5	0.50%	5.88	2.92	0.17	1	2.33	2.75	2.65	0.25	0.38
SS195 93Km+220	3	1.5	20.5	0.50%	7.82	5.6	0.24	1	1.26	5.36	5.25	0.25	0.71
SS195 93Km+610	3	1.5	16.5	0.50%	8.21	6.54	0.38	1	1.12	6.16	6.06	0.25	0.3
			16	0.50%	9.6	7.34	0.78	1	1.22	6.56	6.47	0.25	0.79
SS195 94Km+020	3.5	2	11	0.50%	8.95	7.35	0.91	1	1.09	6.4	6.37	0.25	0.3
TOMBINI S.S.293													
Progressiva	Dimensioni (L;H)		Lunghezza [m]	Pendenza [%]	Livellina stradale [m s.l.m.]	Livello idraulico [m s.l.m.]	Battente [m]	FS PAI [m]	FS [m]	Fondo monte [m s.l.m.]	Fondo valle [m s.l.m.]	Spessore scatolare [m]	Ricoprimento [m]
SS293 60Km+340	3	1.5	15	0.50%	87.33	85.6	0.32	1	1.18	85.28	85.2	0.25	0.3
SS293 61Km+610	1.5	1.5	35	0.50%	73.94	72.25	0.45	1	1.05	71.8	71.43	0.25	0.39
SS293 62Km+020	3.5	2	15	1.00%	74.7	73.1	0.95	1	1.05	72.15	72.07	0.25	0.3
SS293 64Km+870	3	1.5	28	0.50%	66.44	64.83	0.45	1	1.05	64.38	64.24	0.25	0.31
SS293 63Km+530	3.5	2	15	0.50%	66.05	64.13	0.68	1	1.32	63.45	63.37	0.25	0.35
SS293 61Km+400	1.5	1.5	43	0.50%	73.69	71.87	0.23	1	1.27	71.64	71.49	0.25	0.3

Tabella 7: Dimensionamento degli attraversamenti secondari e franchi di sicurezza

I tombini risultano verificati per portate duecentennali ma si rende necessaria una riprofilatura a monte e a valle per ritrovare le quote naturali dei fossi.



GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

58 di 75

Relazione Idraulica

3.2.1. Franchi di sicurezza Tombini

In analogia a quanto riportato per i 3 corsi d'acqua Gora Piscinas, Riu Piscinas e Santadi si mostra di seguito la tabella di verifica dei franchi di sicurezza

FS TOMBINI SS195							
91km+335 primo tombino		1	2	3	livello monte (mslm)	fondo monte (mslm)	intradosso (mslm)
y	v (m/s)	0.19	1	1.04	6.69	5.25	7.75
1.44	2.32						
alfa		FS MIN	1.04				
0		FS	1.06	OK			
91km+335 secondo tombino		1	2	3	livello monte (mslm)	fondo monte (mslm)	intradosso (mslm)
y	v (m/s)	0.20	1	1.03	6.59	5.18	7.68
1.41	2.36						
alfa		FS MIN	1.03				
0		FS	1.09	OK			
92km+660		1	2	3	livello monte (mslm)	fondo monte (mslm)	intradosso (mslm)
y	v (m/s)	0.02	1	0.36	2.92	2.75	5.25
0.17	0.67						
alfa		FS PAI	1.00				
0		FS PD	2.33	OK			
93km+200		1	2	3	livello monte (mslm)	fondo monte (mslm)	intradosso (mslm)
y	v (m/s)	0.03	1	0.43	5.60	5.36	6.86
0.24	0.85						
alfa		FS MIN	1.00				
0		FS	1.26	OK			
93km+610		1	2	3	livello monte (mslm)	fondo monte (mslm)	intradosso (mslm)
y	v (m/s)	0.04	1	0.54	6.54	6.16	7.66
0.38	1.03						
alfa		FS MIN	1.00				
0		FS	1.12	OK			
94km020 primo tombino		1	2	3	livello monte (mslm)	fondo monte (mslm)	intradosso (mslm)
y	v (m/s)	0.03	1	0.77	7.35	6.56	8.56
0.79	0.88						
alfa		FS MIN	1.00				
0		FS	1.21	OK			
94km020 secondo tombino		1	2	3	livello monte (mslm)	fondo monte (mslm)	intradosso (mslm)
y	v (m/s)	0.02	1	0.83	7.34	6.43	8.43
0.91	0.77						
alfa		FS MIN	1.00				
0		FS	1.09	OK			



GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

59 di 75

Relazione Idraulica

FS TOMBINI SS293							
60km+340		1	2	3	livello monte (mslm)	fondo monte (mslm)	intradosso (mslm)
y	v (m/s)	0.03	1	0.49	85.60	85.28	86.78
0.32	0.89						
alfa		FS MIN	1.00	OK			
0		FS	1.18				
61km+610		1	2	3	livello monte (mslm)	fondo monte (mslm)	intradosso (mslm)
y	v (m/s)	0.04	1	0.58	72.25	71.80	73.30
0.45	1.06						
alfa		FS MIN	1.00	OK			
0		FS	1.05				
62km+020		1	2	3	livello monte (mslm)	fondo monte (mslm)	intradosso (mslm)
y	v (m/s)	0.13	1	0.85	73.10	72.15	74.15
0.95	1.88						
alfa		FS MIN	1.00	OK			
0		FS	1.05				
64km+870		1	2	3	livello monte (mslm)	fondo monte (mslm)	intradosso (mslm)
y	v (m/s)	0.05	1	0.58	64.83	64.38	65.88
0.45	1.14						
alfa		FS MIN	1.00	OK			
0		FS	1.05				
63km+530		1	2	3	livello monte (mslm)	fondo monte (mslm)	intradosso (mslm)
y	v (m/s)	0.06	1	0.72	64.13	63.45	65.45
0.68	1.28						
alfa		FS MIN	1.00	OK			
0		FS	1.32				
61km+400		1	2	3	livello monte (mslm)	fondo monte (mslm)	intradosso (mslm)
y	v (m/s)	0.02	1	0.42	71.87	71.64	73.14
0.23	0.77						
alfa		FS MIN	1.00	OK			
0		FS	1.27				



GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

60 di 75

Relazione Idraulica

4. IDRAULICA DI PIATTAFORMA

Nel presente paragrafo si fornisce una descrizione delle opere di drenaggio della piattaforma stradale, fornendo gli elementi e i criteri utili per il corretto dimensionamento e verifica delle stesse.

Gli schemi della rete di smaltimento sono studiati per consentire lo scarico a gravità delle acque di drenaggio verso i recapiti finali costituiti prevalentemente dai fossi scolanti e i corsi d'acqua naturali limitrofi al tracciato e/o interferenti.

In merito al dimensionamento, è opportuno, tenuto conto dell'importanza delle opere da realizzare e della necessità di garantire un facile allontanamento delle acque dalle pavimentazioni, assumere dati di progetto che assicurino le migliori condizioni di esercizio.

Nel calcolo del drenaggio delle acque di piattaforma, la sollecitazione meteorica da assumere alla base del progetto dovrà essere quella corrispondente ad un tempo di ritorno pari a 25 anni; per essa si dovrà verificare che tutti gli elementi idraulici di drenaggio raggiungano un grado di riempimento massimo compatibile con la funzione svolta.

Fanno eccezione i fossi di guardia dell'asse principale che dovranno essere verificati per un Tr pari a 50 anni.

I criteri progettuali da rispettare sono i seguenti:

- mantenimento della sicurezza sul piano viario anche in caso di apporti meteorici eccezionali;
- protezione dall'erosione di trincee, rilevati e opere d'arte che possono essere interessate dal deflusso di acque canalizzate;
- protezione dall'erosione e mantenimento della sicurezza a valle dei recapiti della rete di drenaggio.

4.1. Stima delle piogge di progetto

Per giungere al dimensionamento di tutti i rami della rete di drenaggio occorre preventivamente definire, sulla base degli elementi idrologici, idraulici e geometrici disponibili, le portate generate da un evento meteorico, di pre-assegnata frequenza probabile, assunto come sollecitazione di progetto.

Come già illustrato in precedenza, le ipotesi alla base del progetto sono quelle di considerare un evento corrispondente ad un tempo di ritorno pari a 25 anni e proporzionare la rete di drenaggio in modo che tutti gli elementi della rete raggiungano un grado di riempimento accettabile.

Per la valutazione delle massime portate, affluenti nelle tubazioni e nelle canalizzazioni dei diversi tronchi del sistema di drenaggio, può essere utilizzata la formula, derivata dal metodo razionale:

$$Q_p = \frac{\phi_c \times b_c + \phi_s \times b_s + \phi_e \times b_e}{3600} \times L \times i_c \quad (l/s)$$

in cui:

- Q_p = portata massima di pioggia (l/s)
- $\phi_c = 0.9$ coefficiente di deflusso della piattaforma stradale (adim.);



GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

61 di 75

Relazione Idraulica

- $\phi_s = 0.5$ coefficiente di deflusso delle scarpate (adim.);
- $\phi_e = 0.4$ coefficiente di deflusso delle aree esterne (adim.);
- bc = larghezza della piattaforma stradale (mq);
- bs = larghezza della scarpata stradale (mq);
- be = larghezza della fascia esterna (mq);
- L = lunghezza tratto (m);
- I_c = intensità della pioggia critica (mm/h) ($T_r=25$ anni, $T_c=5$ minuti e $T_r=50$ anni, $T_c=10$ minuti per i fossi di guardia dell'asse principale).

Per il calcolo dell'intensità di pioggia si farà riferimento alla metodologia regionalizzata indicata nelle Linee Guida del PAI , e già descritta nella Relazione Idrologica.

La forma della curva di possibilità pluviometrica è del tipo:

$$h(\text{mm}) = a t^n$$

e quindi

$$i(\text{mm/h}) = h/t = a t^{n-1}$$

dove:

t è la durata della pioggia critica;

a è coefficiente della curva di possibilità climatica

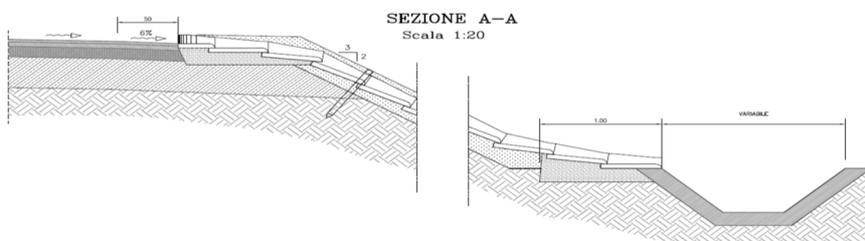
n è l'esponente della curva di possibilità climatica

4.2. Opere di drenaggio

Nel seguito vengono delineate le principali tipologie di opere di drenaggio in relazione alle specifiche applicazioni.

4.2.1. Sezioni in rilevato

La soluzione adottata consiste nello scarico dei deflussi meteorici provenienti dalla piattaforma, attraverso gli embrici, in fossi di guardia rivestiti in cls collocati al piede dei rilevati. In generale, la



geometria del fosso è di tipo trapezoidale, con larghezza di base ed altezza pari a 50 cm e sponde aventi pendenza pari a 1/1 (fosso tipo F1). Gli embrici vengono sistemati lungo le scarpate

ad interasse costante paria 8 m.



Relazione Idraulica

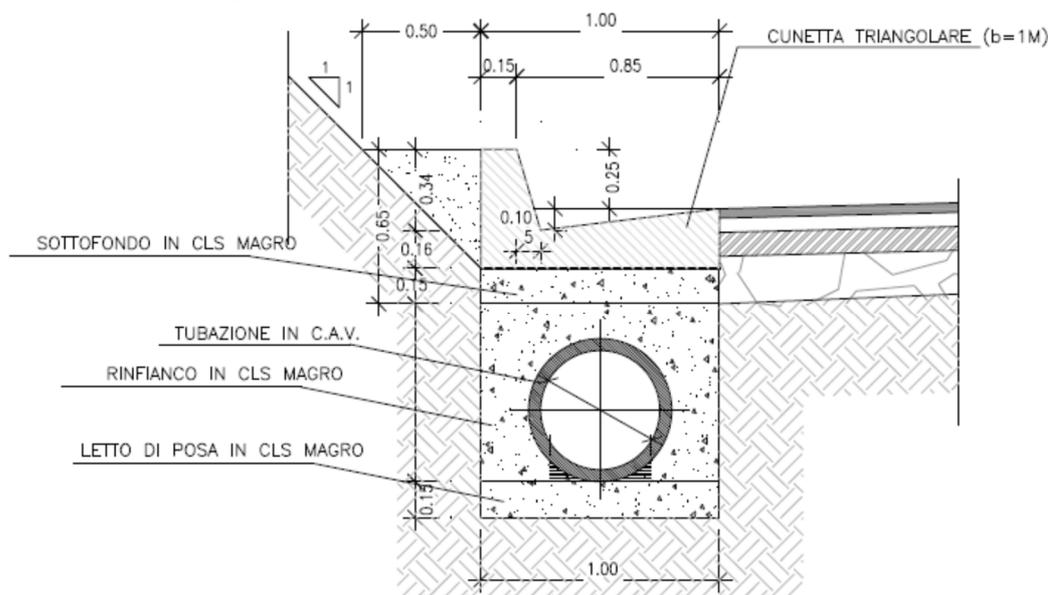
In alcuni tratti si è reso necessario incrementare o diminuire per questioni di ingombro le dimensioni dei fossi che assumono le caratteristiche dimensionali indicate nelle planimetrie idrauliche.

4.2.2. Sezioni in trincea

Nei tratti al piede delle trincee è prevista l'esecuzione, in fregio alla pavimentazione stradale, di cunette alla francese in cls di larghezza 1,0 m, con eventuale sottostante tubazione di collettamento.

Le acque raccolte dalla cunetta, saranno trasferite per mezzo di caditoie poste ad interasse pari a 25 m, protette da griglie carrabili sagomate come la stessa cunetta, alla sottostante tubazione di allontanamento in cls. Per i particolari costruttivi dei pozzetti di raccolta si rimanda ai relativi allegati grafici.

Lungo il ciglio delle scarpate artificiali, per il drenaggio delle acque provenienti dai versanti naturali, sono previsti fossi di guardia rivestiti in cls di tipo trapezoidale.



Nel caso in cui sia previsto un muro di controripa, oltre al fosso di guardia lungo il ciglio della scarpata verrà realizzata una canaletta in cls a tergo del muro per la raccolta delle acque scolanti lungo la scarpata stessa.

4.2.3. Sezioni in viadotto e ponte

Nel caso dei viadotti e dei ponti sono previste lungo le banchine, alloggiata in uno scasso del marciapiede, delle caditoie stradali con sottostanti bocchettoni munite di griglie realizzate mediante una lamiera mandorlata forata, collegate alla sottostante tubazione di raccolta in acciaio ancorata all'impalcato mediante staffaggi. Tale tubazione, di diametro minimo Φ 300 mm, consentirà di addurre i

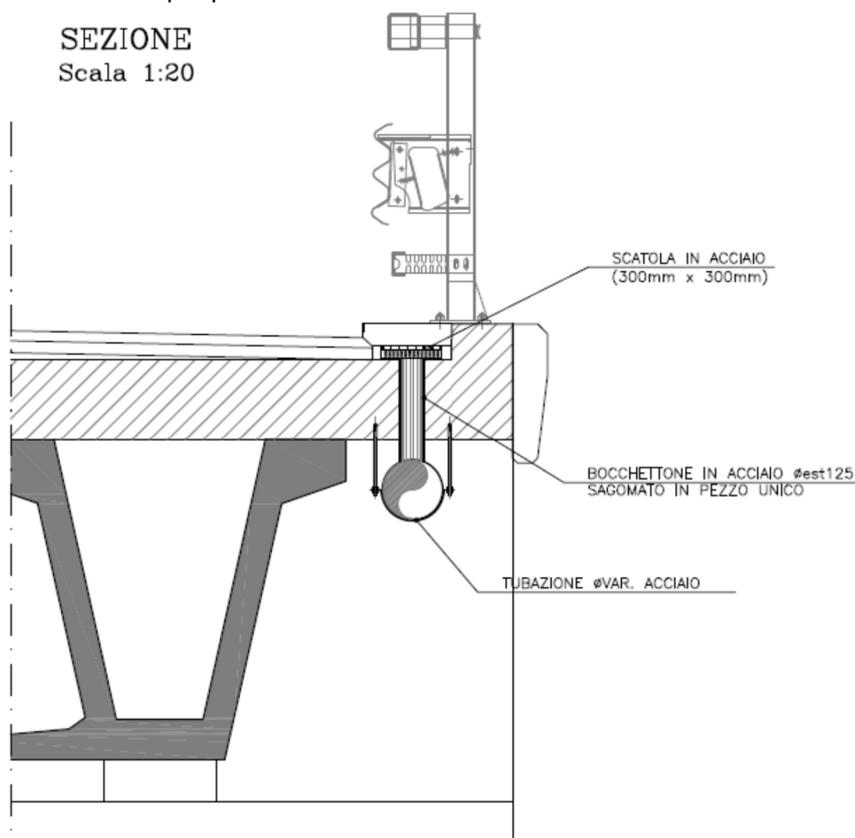


GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

63 di 75

Relazione Idraulica

drenaggi in corrispondenza delle pile e/o delle spalle dove saranno disposte le tubazioni discendenti per il recapito al colatore più prossimo.



L'interasse massimo degli scarichi è stato posto cautelativamente pari a 8 m.

4.3. Verifiche idrauliche delle opere di drenaggio

La verifica di un idoneo dimensionamento delle canalizzazioni di drenaggio dovrà essere effettuato, facendo riferimento alle condizioni di moto uniforme, attraverso la relazione di Chezy:

$$V = K \times R_i^{2/3} \times J^{1/2}$$

in cui:

- V= velocità media del flusso (m/s)
- K= coefficiente di scabrezza di Gaucker - Strickler ($m^{1/3}/s$)
- R_i = raggio idraulico (m), rapporto tra sezione idraulica $A(m^2)$ e contorno bagnato $C(m)$;
- J = pendenza longitudinale (m/m)

associata all'equazione di continuità:



GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

64 di 75

Relazione Idraulica

$$Q_p = V \times A$$

ove:

- Q_p = portata (m^3/s)
- A = area bagnata (m^2).

Per quanto riguarda i valori dei coefficienti di scabrezza è stato assunto:

- $K=70 m^{1/3}/s$ per le canalizzazioni aperte in C.A.
- $K=70 m^{1/3}/s$ per le tubazioni in cls.
- $K=90 m^{1/3}/s$ per le tubazioni in acciaio.

4.3.1. Calcolo dell'interasse degli embrici in rilevato

Sulle scarpate dei rilevati delle rampe sono previste canalette di scarico, costituite da embrici, per l'allontanamento dalla sede stradale delle acque meteoriche che si raccolgono nella banchina limitata all'estremità esterna dall'arginello.

Si realizza così un canale di bordo triangolare con una larghezza $b = 1 m$, avendo previsto una tale ampiezza massima d'impegno della banchina, e con un tirante d'acqua dipendente dalla pendenza trasversale i della carreggiata.

Il dimensionamento di tali elementi avviene facendo il rapporto tra la portata massima transitante in un'ipotetica canaletta triangolare delimitata dal manto stradale e dal cordolo, e la massima portata defluente dalla falda piana per unità di larghezza (q_0).

Quest'ultima è data dalla formula:

$$q_0 = \varphi b i = \varphi b a t^{n-1}$$

con b larghezza della falda, φ coefficiente di deflusso ed i intensità di pioggia.

Il coefficiente di deflusso è stato posto pari ad 0.9 per le superfici pavimentate.

Si riporta nella tabella a seguire i parametri a e n relativa ad un tempo di ritorno di 25 anni relativa a durate inferiori all'ora.

VIAB.	SZO	TR	a	n
			[m]	[-]
195	I	25	38.23	0.366
293	II	25	40.43	0.40

Tabella 8: Parametri della a e n per $TR=25$ anni $d < 1$ ora

In base alla teoria dell'onda cinematica si ha che la condizione più gravosa è quella per cui il tempo di pioggia è pari al tempo di corrivazione. Trascurando il tempo di percorrenza dell'elemento da



GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

65 di 75

Relazione Idraulica

dimensionare si ha che il tempo di corrivazione è pari al tempo di afflusso da una falda piana che è dato dalla seguente formula:

$$t_a = t_c = 3.26 (1.1 - \varphi) \frac{L_{eff}^{0.5}}{j^{1/3}}$$

dove:

$j = \sqrt{j_l^2 + j_t^2}$ pendenza della strada lungo la linea di corrente (j_l pendenza longitudinale; j_t pendenza trasversale);

$L_{eff} = b \left[1 + \left(\frac{j_l}{j_t} \right)^2 \right]^{1/2}$ lunghezza del percorso dell'acqua prima di raggiungere le canalizzazioni a lato della carreggiata.

Il dimensionamento dell'interasse degli elementi puntuali si ottiene facendo il rapporto tra la portata massima transitante in un'ipotetica canaletta triangolare delimitata dal manto stradale e dal cordolo, e la massima portata defluente dalla falda piana per unità di larghezza (q_0).

Per il calcolo della portata massima transitante nella banchina si è utilizzata la formula di Chézy ponendo come parametro di Strickler il valore di 70 ($n = 0.0143$).

La portata massima smaltibile dalla cunetta in funzione della pendenza longitudinale della strada è stata calcolata con la legge di Gauckler-Strickler, avendo fissato il massimo riempimento $y = 10$ cm.

La portata vale:

$$Q_s = K \cdot A_c \cdot R_l^{2/3} \cdot j_c^{1/2};$$

$K = 70 \text{ m}^{1/3}/\text{sec}$ (Coefficiente di Gauckler - Strickler);

$j_c =$ pendenza longitudinale

$A_c =$ Area Bagnata in mq

$P =$ perimetro bagnato in m

$R =$ Raggio idraulico in m

VIAB.	A	P	Rh
	[mq]	[m]	[m]
Curva	0.040	1.33	0.03
Rettilineo	0.019	1.28	0.015

Tabella 9: Caratteristiche idrauliche del margine della strada

Come ampiezza massima di fascia allagata si è considerata la larghezza della banchina.

Nella tabella a seguire si riportano i valori degli interassi calcolati, l'interasse è stato posto a favore di sicurezza pari a 8 m.



GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

66 di 75

Relazione Idraulica

VIAB.	n° Sez.	Prog. Iniz.	Progr. Fin.	And. pla.	b	ilong	itrasv	ieff	Leff	tc	i	q0	Q	iembr calc
					[m]	[m/m]	[m/m]	[%]	[m]	[s]	[mm/h]	[l/s/m]	[l/s]	[m]
SS195	6	0.0	100.0	cu	9.5	0.0014	0.049	0.049	9.50	123.01	325.14	0.77	10.2	13
SS195	17	100.0	280.0	cu	9.5	0.0012	0.049	0.049	9.50	123.02	325.13	0.77	9.6	12
SS195	28	280.0	580.0	r	4.75	0.0012	0.025	0.025	4.76	170.42	264.44	0.31	3.0	9
SS195	39	580.0	620.0	cu	9.5	0.0012	0.049	0.049	9.50	123.02	325.13	0.77	9.6	12
SS195	63	620.0	1080.0	r	4.75	0.0033	0.025	0.025	4.79	169.78	265.07	0.31	4.8	15
SS195	92	1080.0	1080.0	r	4.75	0.0073	0.025	0.026	4.95	167.09	267.77	0.32	7.2	22
SS195	96	1080.0	1740.0	r	4.75	0.0026	0.025	0.025	4.78	170.07	264.78	0.31	4.3	14
SS195	103	1740.0	1880.0	r	4.75	0.0031	0.025	0.025	4.79	169.87	264.97	0.31	4.7	15
SS195	114	1880.0	2000.0	cu	9.5	0.0182	0.025	0.031	11.76	216.79	227.01	0.54	36.8	68
SS195	128	2000.0	2200.0	r	4.75	0.0077	0.025	0.026	4.97	166.72	268.14	0.32	7.3	23
SS195	141	2200.0	2460.0	cu	9.5	0.0002	0.025	0.025	9.50	241.15	212.19	0.50	3.9	8
SS195	157	2460.0	2760.0	r	4.75	0.0007	0.025	0.025	4.75	170.48	264.37	0.31	2.2	7
SS195	177	2760.0	3160.0	r	4.75	0.0035	0.025	0.025	4.80	169.69	265.15	0.31	5.0	16
SS195	190	3160.0	3420.0	r	4.75	0.0015	0.025	0.025	4.76	170.37	264.49	0.31	3.2	10
SS195	204	3420.0	3697.0	r	4.75	0.0049	0.025	0.025	4.84	168.92	265.92	0.32	5.9	19

Tabella 10: Calcolo interasse degli embri SS195

VIAB.	n° Sez.	Prog. Iniz.	Progr. Fin.	And. pla.	b	ilong	itrasv	ieff	Leff	tc	i	q0	Q	iemb, calc
					[m]	[m/m]	[m/m]	[%]	[m]	[s]	[mm/h]	[l/s/m]	[l/s]	[m]
SS293 - T1	3	0.0	20.0	r	4.75	0.0030	0.025	0.025	4.78	169.92	252.93	0.30	4.6	15
SS293 - T1	9	20.0	100.0	cu	9.5	0.0030	0.049	0.049	9.52	122.92	307.21	0.73	14.9	20
SS293 - T1	15	100.0	180.0	r	4.75	0.0206	0.025	0.032	6.15	149.83	272.78	0.32	12.0	37
SS293 - T1	20	180.0	240.0	cu	9.5	0.0054	0.049	0.049	9.56	122.67	307.59	0.73	19.9	27
SS293 - T1	30	240.0	400.0	r	4.75	0.0193	0.025	0.032	6.00	151.67	270.79	0.32	11.7	36
SS293 - T1	33	400.0	440.0	r	4.75	0.0064	0.025	0.026	4.90	167.85	254.80	0.30	6.7	22
SS293 - T1	43	440.0	600.0	cu	9.5	0.0064	0.049	0.049	9.58	122.52	307.82	0.73	21.8	30
SS293 - T1	51	600.0	740.0	cu	9.5	0.0022	0.049	0.049	9.51	122.97	307.13	0.73	12.8	18
SS293 - T1	64	740.0	980.0	r	4.75	0.0028	0.025	0.025	4.78	170.01	252.85	0.30	4.4	15
SS293 - T1	72	980.0	1140.0	r	4.75	0.0063	0.025	0.026	4.90	167.96	254.70	0.30	6.6	22
SS293 - T1	79	1140.0	1262.0	r	4.75	0.0370	0.025	0.045	8.48	127.64	300.35	0.36	16.1	45
SS293 - T2	5	0.0	80.0	r	4.75	0.0130	0.025	0.028	5.35	160.62	261.63	0.31	9.6	31
SS293 - T2	14	80.0	260.0	r	4.75	0.0171	0.025	0.030	5.75	154.92	267.36	0.32	11.0	35
SS293 - T2	18	260.0	340.0	r	4.75	0.0030	0.025	0.025	4.78	169.91	252.94	0.30	4.6	15
SS293 - T2	23	340.0	440.0	r	4.75	0.0259	0.025	0.036	6.84	142.11	281.59	0.33	13.5	40



Relazione Idraulica

VIAB.	n° Sez.	Prog. Iniz.	Prog. Fin.	And. pla.	b	ilong	itrasv	ieff	Leff	tc	i	q0	Q	iemb, calc
					[m]	[m/m]	[m/m]	[%]	[m]	[s]	[mm/h]	[l/s/m]	[l/s]	[m]
SS293 -T2	35	440.0	680.0	r	4.75	0.0201	0.025	0.032	6.09	150.54	272.01	0.32	11.9	37
SS293 -T2	42	680.0	800.0	r	4.75	0.0201	0.025	0.032	6.09	150.54	272.01	0.32	11.9	37
SS293 -T2	45	800.0	860.0	cu	9.5	0.0150	0.041	0.044	10.11	141.85	281.90	0.67	33.4	50
SS293 -T2	56	860.0	1040.0	cu	9.5	0.0030	0.036	0.036	9.53	166.26	256.26	0.61	14.9	25
SS293 -T2	63	1040.0	1140.0	r	4.75	0.0030	0.025	0.025	4.78	169.91	252.94	0.30	4.6	15
SS293 -T2	72	1140.0	1300.0	cu	9.5	0.0030	0.476	0.476	9.50	12.67	1202.63	2.86	14.9	5
SS293 -T2	77	1300.0	1380.0	r	4.75	0.0030	0.025	0.025	4.78	169.91	252.94	0.30	4.6	15
SS293 -T2	90	1380.0	1620.0	r	4.75	0.0100	0.025	0.027	5.12	164.31	258.08	0.31	8.4	27
SS293 -T2	92	1620.0	1660.0	cu	9.5	0.0100	0.025	0.027	10.23	232.37	209.59	0.50	27.2	55
SS293 -T2	101	1660.0	1780.0	cu	9.5	0.0030	0.025	0.025	9.57	240.29	205.41	0.49	14.9	31
SS293 -T2	105	1780.0	1840.0	r	4.75	0.0080	0.025	0.026	4.99	166.41	256.12	0.30	7.5	25
SS293 -T2	115	1840.0	2040.0	r	4.75	0.0028	0.025	0.025	4.78	169.99	252.87	0.30	4.4	15
SS293 -T2	122	2040.0	2179.8	r	4.75	0.0150	0.025	0.029	5.54	157.90	264.32	0.31	10.3	33
SS293 -T2	131	2179.8	2320.0	cu	9.5	0.0150	0.038	0.040	10.23	154.91	267.37	0.64	33.4	53
SS293 -T2	139	2320.0	2460.0	r	4.75	0.0150	0.025	0.029	5.54	157.90	264.32	0.31	10.3	33
SS293 -T2	146	2460.0	2600.0	r	4.75	0.0296	0.025	0.039	7.36	136.97	287.88	0.34	14.4	42
SS293 -T2	163	2600.0	2920.0	r	4.75	0.0085	0.025	0.026	5.02	165.92	256.57	0.30	7.7	25
SS293 -T2	173	2920.0	3060.0	cu	9.5	0.0206	0.054	0.058	10.16	107.36	333.23	0.79	39.1	49
SS293 -T2	180	3060.0	3180.0	r	4.75	0.0206	0.025	0.032	6.15	149.80	272.81	0.32	12.0	37
SS293 -T2	190	3180.0	3380.0	r	4.75	0.0048	0.025	0.025	4.84	168.98	253.77	0.30	5.8	19
SS293 -T2	198	3380.0	3538.2	r	4.75	0.0073	0.025	0.026	4.95	167.07	255.51	0.30	7.2	24

Tabella 11: Calcolo interasse degli embrici SS293

4.3.2. Calcolo dell'interasse delle caditoie in trincea

Le cunette sono previste sul margine esterno della strada ed hanno le caratteristiche geometriche indicate nelle sezioni tipo. La loro funzione è quella di raccogliere le sole acque provenienti dalla piattaforma stradale.

Per la determinazione dell'interasse dei pozzetti sono state utilizzate le stesse formulazioni adottate per il calcolo degli interassi degli embrici.

In ogni caso per provvedere alla pulizia e manutenzione della tubazione tra due pozzetti contigui, nel caso sotto la cunetta ci sia una tubazione corrente tale interasse viene limitato a 25 m a prescindere dalla pendenza longitudinale di progetto.

VIAB.	A	P	Rh
	[mq]	[m]	[m]
Cunetta	0.114	2.27	0.015

T Tabella 12: Caratteristiche idrauliche del margine della strada



Relazione Idraulica

Nella tabella a seguire si riportano i valori degli interassi calcolati.

VIAB.	n° Sez.	Prog. Iniz.	Progr. Fin.	b	ilong	itrasv	ieff	Leff	tc	q0	Q	Interasse
				[m]	[m/m]	[m/m]	[%]	[m]	[s]	[l/s/m]	[l/s]	[m]
SS195	90	1040.0	1620.0	4.75	0.0073	0.025	0.026	4.95	167.08	0.32	92.7	291
SS293 -T2	101	1640.0	1800.0	9.5	0.0030	0.025	0.025	9.57	240.29	0.49	59.5	122

Tabella 13: Calcolo interasse delle caditoie SS195 e SS293

4.3.3. Verifica dei tratti in viadotto

Per i tratti in viadotto, analogamente a quanto esposto per la verifica degli interassi degli embrici, si è considerato ammissibile l'allargamento di un metro di piattaforma a margine della carreggiata.

Si realizza così un canale di bordo triangolare con una larghezza $B = 1.25$ m, avendo previsto una tale ampiezza massima d'impegno della banchina, e con un tirante d'acqua dipendente dalla pendenza trasversale i della carreggiata.

Lo scarico dell'acqua di raccolta è affidato a bocchettoni posti ad opportuno interasse tra loro, che convogliano l'acqua in un tubo posto sotto l'impalcato stesso dell'opera.

Fissando la larghezza massima impegnata dal canale di bordo pari a 1.0m ed una pendenza trasversale cautelativamente fissata al 2,5% dal calcolo si ottiene che gli interassi massimi assegnabili in funzione della pendenza longitudinale sono sempre superiori a 25m che è l'interasse di progetto che è stato adottato.

VIAB.	A	P	Rh
	[mq]	[m]	[m]
Viadotto	0.028	1.29	0.022

Tabella 14: Caratteristiche idrauliche del margine della strada

Nella tabella a seguire si riportano i valori degli interassi calcolati.

VIAB.	n° Sez.	Prog. Iniz.	Progr. Fin.	b	ilong	itrasv	ieff	Leff	tc	q0	Q	Interasse
				[m]	[m/m]	[m/m]	[%]	[m]	[s]	[l/s/m]	[l/s]	[m]
SS195	128	2000.0	2200.0	4.75	0.0077	0.025	0.026	4.97	166.7187	0.32	13.4	42
SS293 -T1	33	380.0	440.0	4.75	0.0064	0.025	0.026	4.90	167.85	0.30	86.7	287
SS293 -T2	63	1085.0	1130.0	4.75	0.0030	0.025	0.025	4.78	169.91	0.30	8.4	28

Tabella 15: Calcolo interasse delle caditoie SS195 e SS293



Relazione Idraulica

4.3.4. Verifica idraulica dei collettori

Il diametro D dei tubi di collegamento tra i pozzetti di raccolta sottostanti la cunetta o attraversanti la carreggiata o quelli di allontanamento e dei collettori dei viadotti, dovrà essere effettuata con la formula di Gauckler-Strickler con

$K = 1/n = 90 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ per le tubazioni in acciaio

$K = 70 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ per le tubazioni in cls

ed ipotizzando un grado di riempimento massimo delle tubazioni pari al 70%, al fine di garantire un sensibile margine di sicurezza.

$$Q = K \cdot A \cdot R^{2/3} i^{1/2} \frac{mc}{sec}$$

con:

i = pendenza longitudinale della tubazione

A = $\pi D^2/4$ = Area bagnata in mq

C = πD = Contorno bagnato in m

R = $D/4$ = Raggio idraulico in m

I collettori usati hanno diametri minimi pari a $\phi 400$ (utilizzati sui viadotti) in acciaio e $\phi 400$ mm in cls utilizzati sotto le cunette nei tratti in trincea.

Si riporta nella tabella di seguito la verifica delle tubazione maggiormente sollecitata per ogni tratto.

VIAB.	n° Sez.	Prog. Iniz.	Prog. Fin.	L	Tipo	D	A	P	Rh	i	Qp	G.d.R.
						[m]	[mq]	[m]	[m]	[%]	[l/s]	[%]
SS195	90	1040.0	1620.0	580.0	Trincea	0.40	0.064	0.632	0.101	0.73%	82.00	50%
SS195	128	2000.0	2200.0	200.0	Viadotto	0.40	0.024	0.415	0.058	0.77%	28.28	25%
SS293 -T1	33	380.0	440.0	60.0	Viadotto	0.40	0.011	0.309	0.035	0.64%	8.46	14%
SS293 -T2	63	1085.0	1130.0	45.0	Viadotto	0.40	0.012	0.316	0.037	0.30%	6.34	15%
SS293 -T2	101	1640.0	1800.0	160.0	Trincea	0.40	0.047	0.548	0.086	0.30%	45.10	40%

Tabella 16: Verifica collettori SS195 e SS293

4.3.5. Verifica dei fossi dei guardia

Le acque provenienti dalla sede stradale e da certe zone laterali, strade a mezza costa o in trincea, sono di regola raccolte, con continuità da un fossato laterale, detto fosso di guardia, anch'esso parallelo all'asse stradale.

I fossi di guardia rappresentano un'importante opera a difesa del corpo stradale; essi servono per convogliare negli impluvi naturali le acque superficiali che, per la naturale conformazione del terreno,

	<p>GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500</p> <p style="text-align: center;">Relazione Idraulica</p>	<p>70 di 75</p>
---	--	-----------------

verrebbero altrimenti a raccogliersi ai piedi del rilevato od a invadere le trincee provocando, così, cedimenti dei rilevati o delle scarpate delle trincee.

In generale, la sezione di un fosso di guardia ha forma trapezia. A differenza del progetto preliminare, i fossi verranno realizzati in terra e non il cls. Tale scelta rientra nell'ottica di realizzare interventi a minor carattere antropico e maggiormente inseriti nel paesaggio. Inoltre i fossi in terra permettono una maggior permeabilità, minori velocità di flusso e non incorrono nell'inevitabile deterioramento al quale va incontro il cls nel corso degli anni.

Dal punto di vista esecutivo è opportuno realizzare canali non molto profondi, in modo da mantenere la velocità massima della corrente entro limiti accettabili e contenere, al tempo stesso, le spese di costruzione; è altresì preferibile adoperare una larghezza non eccessiva per evitare che si verifichino velocità troppo basse per le portate più piccole.

Nei tratti di rilevato in cui non è presente un nuovo fosso di guardia si riutilizzerà quello esistente e si procederà ad una risagomatura puntuale dove necessario.

Per il calcolo della portata massima transitabile nello speco può essere utilizzata la formula di Gauckler – Strickler

$$Q_s = K \cdot A_c \cdot R_f^{2/3} \cdot j_c^{1/2};$$

ipotizzando il moto della corrente uniforme e a superficie libera ed assumendo $K = 35 \text{ m}^{1/3}/\text{sec}$.

Nella figura di seguito riportata è rappresentato schematicamente un bacino imbrifero ed il percorso compiuto dal volume dell'acqua partito dal punto A distante più di ogni altro dalla sezione di chiusura C, per defluire attraverso quest'ultima, scorrendo dapprima lungo il versante AB e defluendo poi nel fosso lungo BC.

La verifica del fosso di guardia può essere condotta determinando dalla curva di probabilità pluviometrica riferita ad un tempo di ritorno di 50 anni, l'intensità di pioggia relativa ad una durata di 10 min.

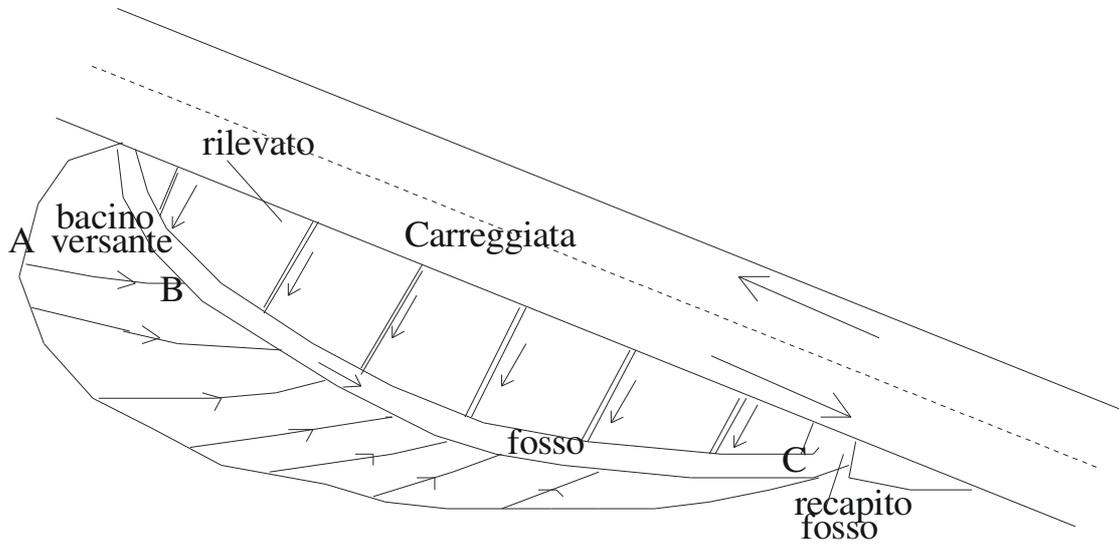
Inoltre, nel computo del bacino scolante va considerato, oltre alla larghezza della carreggiata, l'estensione della scarpa del rilevato. Ancora, per mettere in conto eventuali acque provenienti dal bacino esterno dominante occorrerà considerare una fascia di competenza pari ad almeno 50 m.



GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

71 di 75

Relazione Idraulica



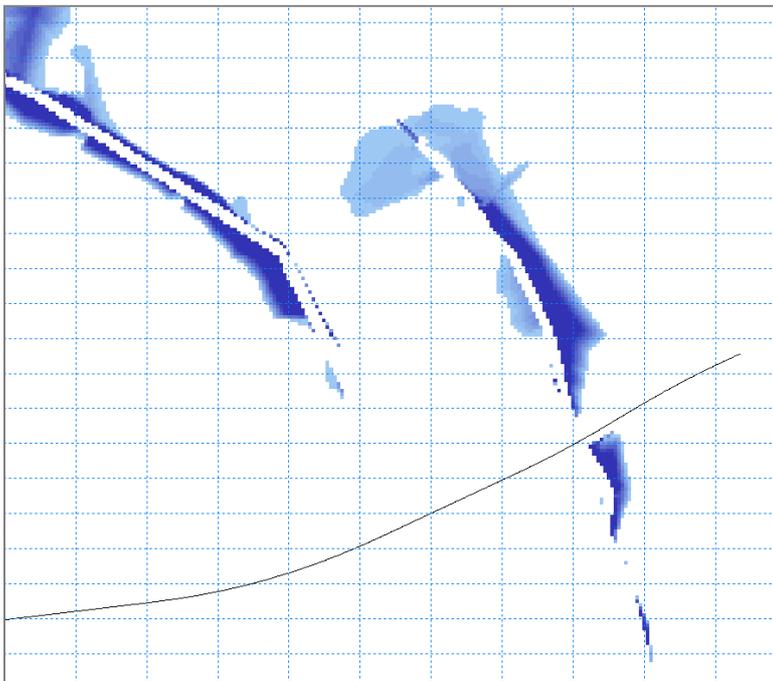


GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

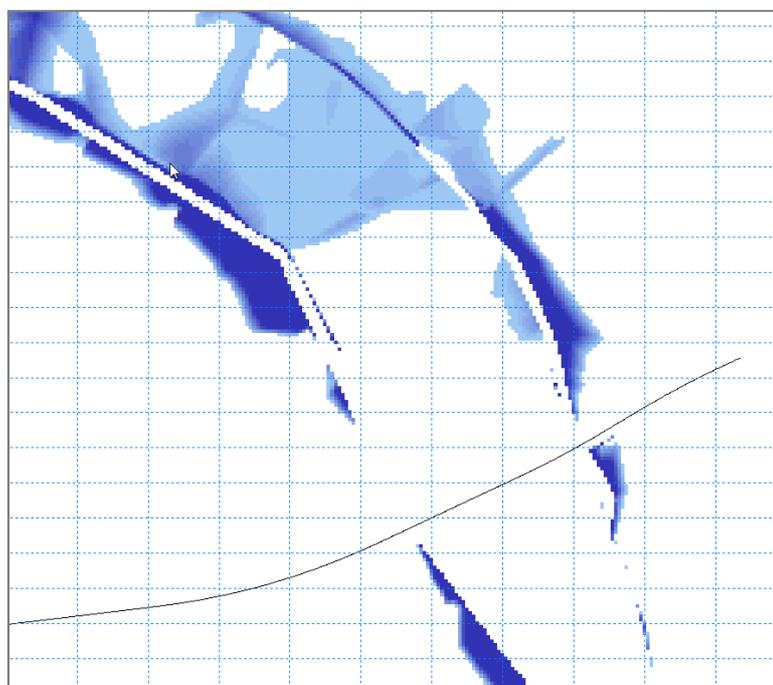
72 di 75

Relazione Idraulica

APPENDICE: EVOLUZIONE TEMPORALE DEI BATTENTI IDRAULICI



Battenti idrici area Riu di Piscinas e Gora di Piscinas - Tr 200 Stato di Progetto - Time step 1h



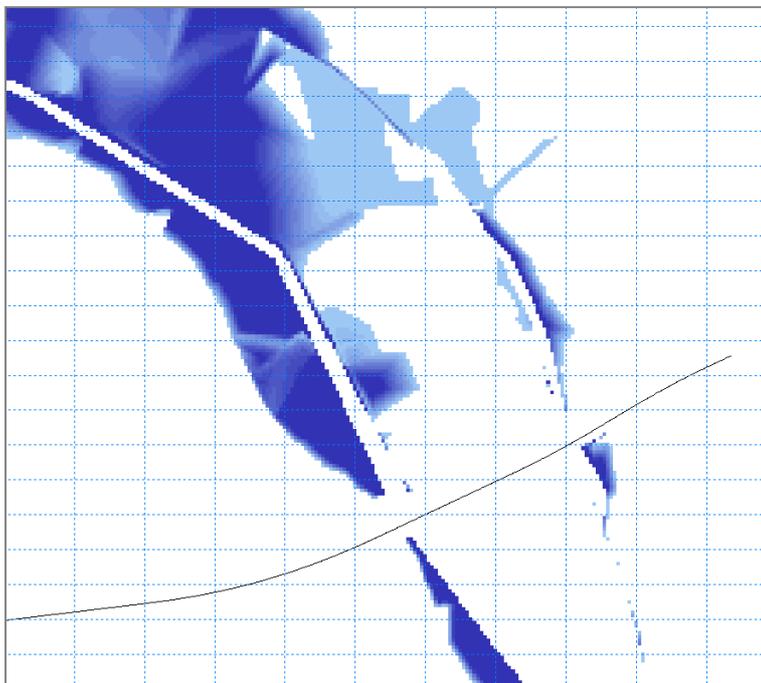
Battenti idrici area Riu di Piscinas e Gora di Piscinas - Tr 200 Stato di Progetto - Time step 1.5h



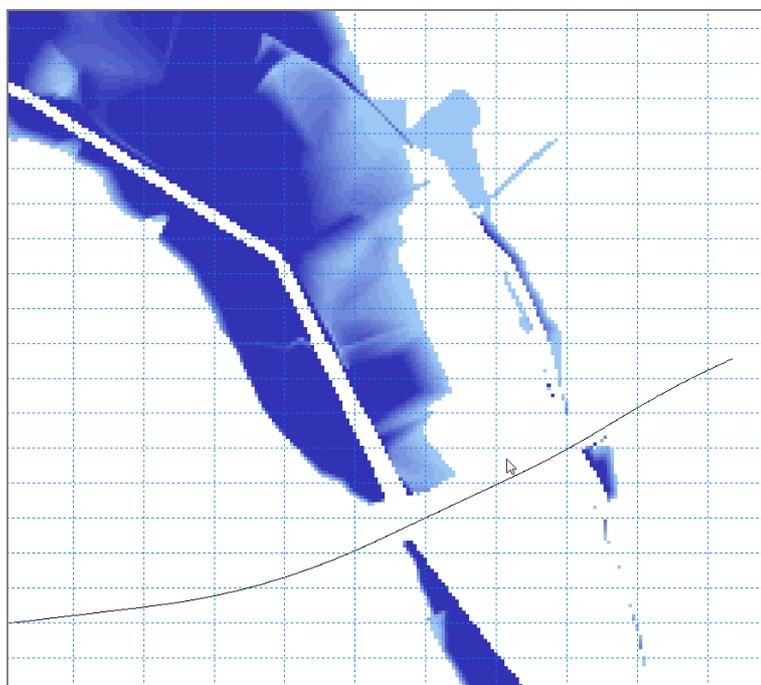
GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

73 di 75

Relazione Idraulica



Battenti idrici area Riu di Piscinas e Gora di Piscinas - Tr 200 Stato di Progetto - Time step 2h



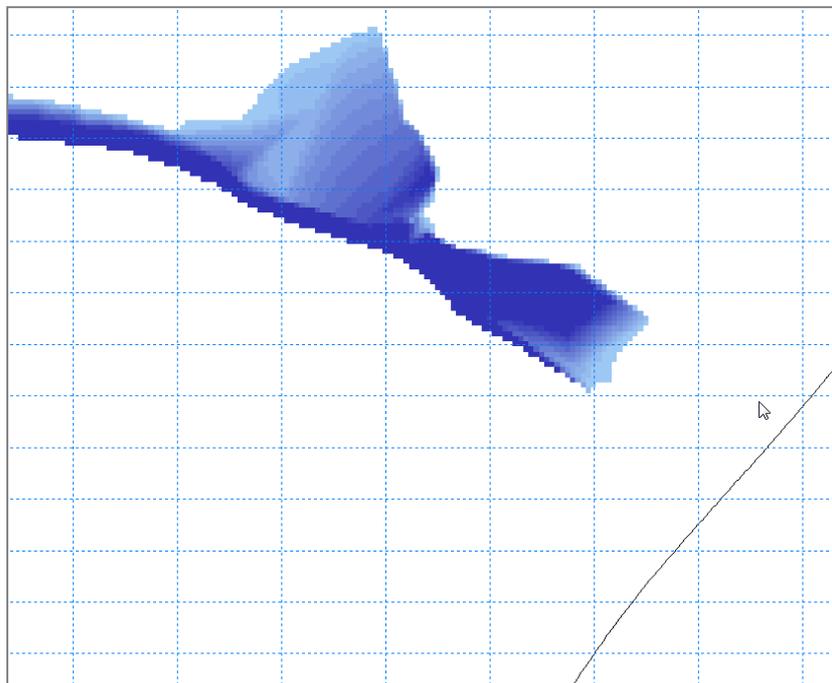
Battenti idrici area Riu di Piscinas e Gora di Piscinas - Tr 200 Stato di Progetto - Time step 3h



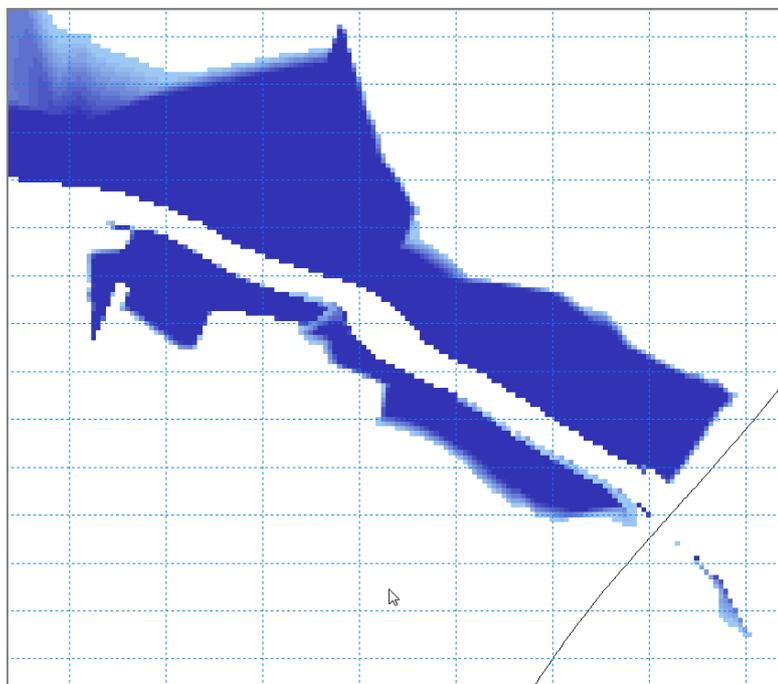
GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

74 di 75

Relazione Idraulica



Battenti idrici area Riu Mannu Santadi - Tr 200 Stato di Progetto - Time step 1h



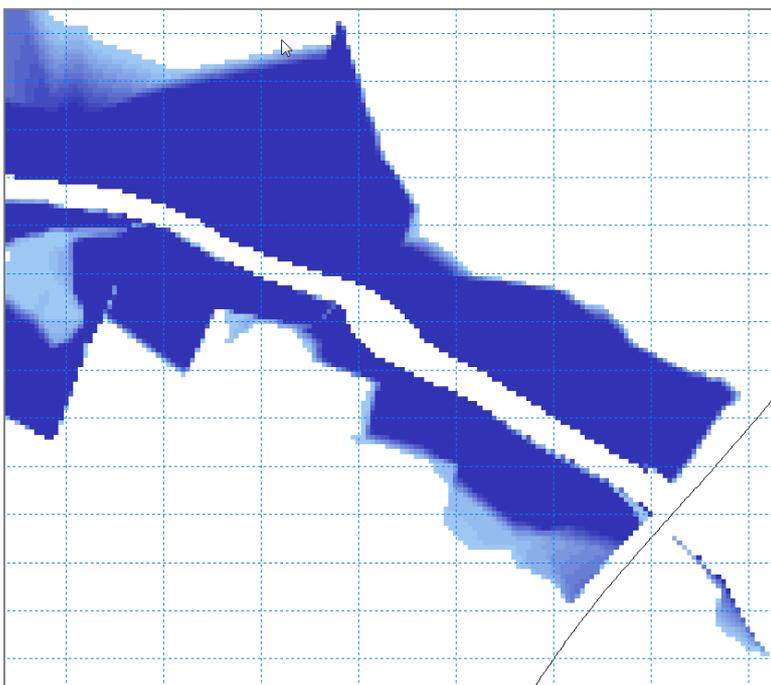
Battenti idrici area Riu Mannu Santadi - Tr 200 Stato di Progetto - Time step 2h



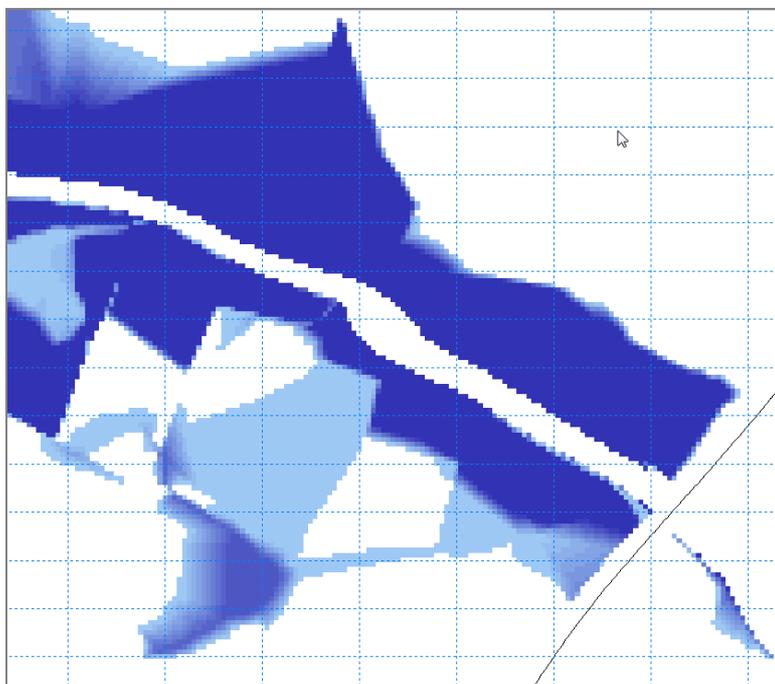
GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

75 di 75

Relazione Idraulica



Battenti idrici area Riu Mannu Santadi - Tr 200 Stato di Progetto - Time step 2.5h



Battenti idrici area Riu Mannu Santadi - Tr 200 Stato di Progetto - Time step 3h