È VIETATA LA RIPRODUZIONE DI QUESTO DOCUMENTO SENZA PREVENTIVA AUTORIZZAZIONE DELL'ASS. PROF. DI INGEGNERIA IDRAULICA E AMBIENTALE iIDeA / THE REPRODUCTION OF THIS DOCUMENT IS PROHIBITED WITHOUT WRITTEN PERMISSION BY ASS. PROF. iIDeA

COMUNE di
SIENA
Area Tecnica Gestione del Territorio

REGOLAMENTO URBANISTICO DEL COMUNE DI SIENA

Analisi idrologico-idrauliche a supporto delle previsioni di R.U. adottato

ATI6: Borro del Casino e **ATI7: F.so Bocca di Cane**

ELABORATO: D01

RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA

-

ingegneria IDraulica e Ambientale

Ass. Prof. iIDeA di A. Bastianacci e L. Castellani
Sede legale : via E. Boni, 19 - 59100 PRATO - ITALY | P.I. e C.F. 01795500972
Studio: viale Piave, 20/c - 59100 PRATO - ITALY | Tel +39 0574 33397 - Fax +39 178 6094715| www.iidea.it | iidea@iidea.it

REVISIONE	DESCRIZIONE	DATA
A	PRIMA EMISSIONE	Novembre 2010

SIRU 0610 A - D01.PDF

INDICE

INDICE....1
PREMESSA....3
1 AREALE DI INDAGINE ED APPROCCIO METODOLOGICO....4
1.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO E QUADRO CONOSCITIVO UFFICIALE....4
1.1.1 Legge Regionale 3 gennaio 2005, n. 1 [e s.m.i.]....4
1.1.2 Il Piano di Indirizzo Territoriale [P.I.T._05]....4
1.1.3 Il Piano di Assetto Idrogeologico del F. Ombrone [P.A.I._A.b.R.O._2005] 4
1.1.4 Il Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Siena [P.T.C.P._2009]....4
1.2 BACINI, AREE DI INTERESSE E SPECIFICHE TECNICHE....5
2 SCENARI IDROLOGICI....8
3 MODELLAZIONI IDRAULICHE....14
3.1 CARATTERISTICHE ESSENZIALI DEL MODELLO IDRAULICO....14
3.1.1 Continuità e quantità di moto....14
3.1.1.1 Correnti miste....16
3.1.1.2 Equazioni di base....16
3.1.1.3 Sezioni ordinarie....18
3.1.1.4 Briglie e traverse....18
3.1.1.5 Ponti....18
3.1.1.6 Tombini....20
3.1.1.7 Settaggi principali....20
3.1.2 Definizione della geometria....21
3.1.2.1 Verifiche di coerenza tra rilievi e stima dei differenziali altimetrici correttivi....22
3.1.2.1.1 B.ro del Casino....22
3.1.2.1.2 F.so della Bocca di Cane....22
3.1.2.2 B.ro del Casino [BOCSN]....24
3.1.2.3 F.so della Bocca di Cane [FOBDC]....26
3.1.3 Condizioni al contorno....28
3.2 VERIFICHE DI STATO ATTUALE....28
3.2.1 Il B.ro del Casino....28
3.2.2 Il F.so della Bocca di Cane....39
3.3 SCENARIO DI PROGETTO: INTERVENTI MITIGATORI E CONDIZIONI DI FATTIBILITÀ....45
3.3.1 ATI6 45
3.3.1.1 T. Arbia....45
3.3.1.2 B.ro del Casino....47
3.3.2 ATI7: F.so della Bocca di Cane....48

PREMESSA

La presente analisi idrologico-idraulica è redatta a supporto delle previsioni del **Regolamento Urbanistico** [R.U.] del Comune di Siena -attualmente adottato- denominate **ATI6** (loc. Taverne d'Arbia) e **ATI7** (loc. Isola d'Arbia), aventi quali soggetti di potenziale pericolosità il **Borro del Casino** ed il **F.so Bocca di Cane**, rispettivamente.

Le analisi sono svolte conformemente a quanto disposto dal D.P.G.R. 27 aprile 2007, n. 26/R "*Regolamento di attuazione dell'articolo 62 della Legge Regionale 3 gennaio 2005, n. 1* (Norme per il governo del territorio) *in materia di indagini geologiche*" -tenuto conto dell'*art*. 36 della *Disciplina del Piano*, *All*. A – *Elab*. 2 del P*iano d'Indirizzo* T*erritoriale* 2005-2100 della Regione Toscana, approvato con D.C.R. n. 72 del 24/07/2007 e pubblicati sul B.U.R.T. n. 42 del 17 ottobre 2007-, dalle *Norme di Piano* del *Piano di Assetto Idrogeologico* del Bacino Regionale Ombrone [P.A.I._AbrO_2005] -con specifico riferimento all'*art.* 8- e dal *Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale*, adottato dal Consiglio Provinciale di Siena il 17/03/2010 [P.T.C.P._2010].

In particolare, per le aste idrografiche F.so della Bocca di Cane [ObjectId[1]=9144, 9130, 9126, 9135] e B.ro del Casino [ObjectId=8698 e 8611], afferenti le previsioni di R.U. ATI6 e ATI7, facenti parte del reticolo di riferimento del P.A.I. e non già oggetto di perimetrazione, vengono definite le aree a pericolosità idraulica *Molto Elevata* (P.I.M.E. e I.4) [$T_r \leq 30$ *anni*] ed *Elevata* (P.I.E. e I.3) [$30 < T_r \leq 200$ *anni*] (*art.* 8) -ai sensi P.A.I. e D.P.G.R. n. 26/R/07- oltre che le aree allagabili per $T_r \leq 20$ *anni*, ancora ai fini D.P.G.R. n. 26/R/07. Non si tracciano le aree a pericolosità idraulica *Media* (I.2) [$200 < T_r \leq 500$ *anni*], in quanto non richieste.

Per aste idrografiche minori non ricomprese nel reticolo di riferimento del P.A.I. ovvero nel *Sistema Acque* della Regione Toscana, ci si limiterà a segnalazioni e valutazioni speditive senza esaminarne analiticamente la pericolosità.

Per il F.so della Bocca di Cane -essendone estensione verso monte di poche centinaia di metri- si farà diretto riferimento alla analisi già svolta per il tratto più vallivo nell'ambito del Progetto Esecutivo della *Nuova Strada di Collegamento tra la Zona Industriale di Isola d'Arbia e la S.P. Traversa Romana-Aretina n. 136* del Comune di Siena - Ufficio P.R.U.S.S.T. [*Elab.* 3.1, *Relazione Idrologico-Idraulica*, settembre 2009, Castellani, L.] [NSRA_2009]. Per chiarezza di esposizione, se ne darà qui una descrizione complessiva, integrando quanto già noto con procedura omogenea e rimandando per i maggiori dettagli al lavoro originario.

Per i corsi d'acqua T. Riluogo e T. Arbia -costituenti condizioni di valle e/o soggetti di pericolosità di raccordo- vengono invece integralmente richiamati gli studi di *Lombardi* [2008, 2009][2] e *iIDeA* [2005][3] già facenti parte del *Quadro Conoscitivo* del P.A.I.

Ai fini della fattibilità ed in coerenza con l'intero *Quadro Conoscitivo* già disponibile [in particolare

[1] Codice identificativo univoco dell'archivio digitale del *Sistema Acque* R.T.

[2] "*Studio idrologico-idraulico dei torrenti Tressa, Riluogo, Bozzone, Sorra e Serpenna nel territorio comunale di Siena*" [*Lombardi.* per Comune di Siena a suporto di P.S. e propedeutico al R.U., 2008-2009]. **Nota *prot.* n. 23710 A.b.R.O. del 04/09/2009**.

[3] "*Analisi della pericolosità idraulica del T. Arbia dalla confluenza del T. Massellone a Buonconvento e del F. Ombrone nell'intorno della confluenza con il T. Arbia*" [*iIDeA* per Amm. Provinciale di Siena, 2005]. Nota **A.b.R.O.** del 27/10/2005.

iIDeA, 2008][4], si prospetta, infine, lo scenario di progetto a mitigazione del rischio idraulico (T_r=200 *anni*) indotto dal sistema T. Arbia-B.ro del Casino, definendo le caratteristiche dimensionali essenziali ai fini idraulici dei principali interventi/manufatti.

1 AREALE DI INDAGINE ED APPROCCIO METODOLOGICO

1.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO E QUADRO CONOSCITIVO UFFICIALE

Ai sensi della normativa vigente, sinteticamente richiamata di seguito, i principali quadri conoscitivi ufficiali di riferimento sono gli elaborati/strati informativi di supporto al P.S. e R.U. del Comune di Siena[5], il P.A.I. A.b.R.O., gli strati informativi della Regione Toscana e la *Regionalizzazione delle portate di piena in Toscana* [*PIN-R.T.*, 1996 e s.m.i.]. Altri documenti ufficiali minori verranno citati ove di pertinenza.

1.1.1 Legge Regionale 3 gennaio 2005, n. 1 [e s.m.i.]

L'***All. A*** "***Direttive per le indagini geologico-tecniche***" al *D.P.G.R. 27 aprile 2007, n. 26/R* "*Regolamento di attuazione dell'articolo 62 della legge regionale 3 gennaio 2005, n. 1 (Norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologiche*", costituisce uno dei due principali riferimenti normativi. Esso, limitatamente agli aspetti idraulici, si intende qui integralmente richiamato.

1.1.2 Il Piano di Indirizzo Territoriale [P.I.T._05]

Nessuno dei corsi d'acqua qui oggetto di nuova analisi specifica -B.ro del Casino e F.so della Bocca di Cane- è riportato nell'elenco di *Allegato al Testo* n. 4 del 3. *Quadro Conoscitivo* P.I.T. 2005-2010.

1.1.3 Il Piano di Assetto Idrogeologico del F. Ombrone [P.A.I._A.b.R.O._2005]

L'area oggetto di indagine non è attualmente ricompresa -se non parzialmente in quanto ricompresa nelle aree allagabili dal T. Arbia [*iIDeA*, 2005]- entro aree perimetrate P.I.M.E. o P.I.E. dal P.A.I. Purtuttavia, anche gli studi idrologico-idraulico di: *a) Lombardi* [*op. cit.*, 2008-2009] di approfondimento del *Quadro Conoscitivo* del P.S. del Comune di Siena e *b) Castellani* [op. cit., 2009] a supporto della progettazione della NSRA, sono stati già acquisiti al *Quadro Conoscitivo* del P.A.I. (2009), costituendo di fatto riferimento ufficiale -tra gli altri- per il F.so Riluogo nel tratto qui di interesse e la parte terminale del F.so Bocca di Cane.

Essendo l'idrografia di riferimento del P.A.I. l'archivio del Sistema Acque Superficiali della Regione Toscana -ovvero il reticolo cartografato su C.T.R. in scala 1:10.000- sia il **F.so Bocca di Cane** che il **B.ro del Casino** sono corsi d'acqua rilevanti ai sensi dell'art. 8 delle Norme.

1.1.4 Il Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Siena [P.T.C.P._2009]

Adottato nel marzo 2009, viste normative e specifiche tecniche di settore idraulico del nuovo

[4] "*1^ fase della progettazione preliminare degli interventi di mitigazione del rischio idraulico dei Fiumi Arbia ed Ombrone finalizzata alla determinazione del loro funzionamento idraulico nel contesto del Bacino Ombrone, dei costi di costruzione e delle priorità di intervento*" [*iIDeA* per Amm. Provinciale di Siena, 2008].

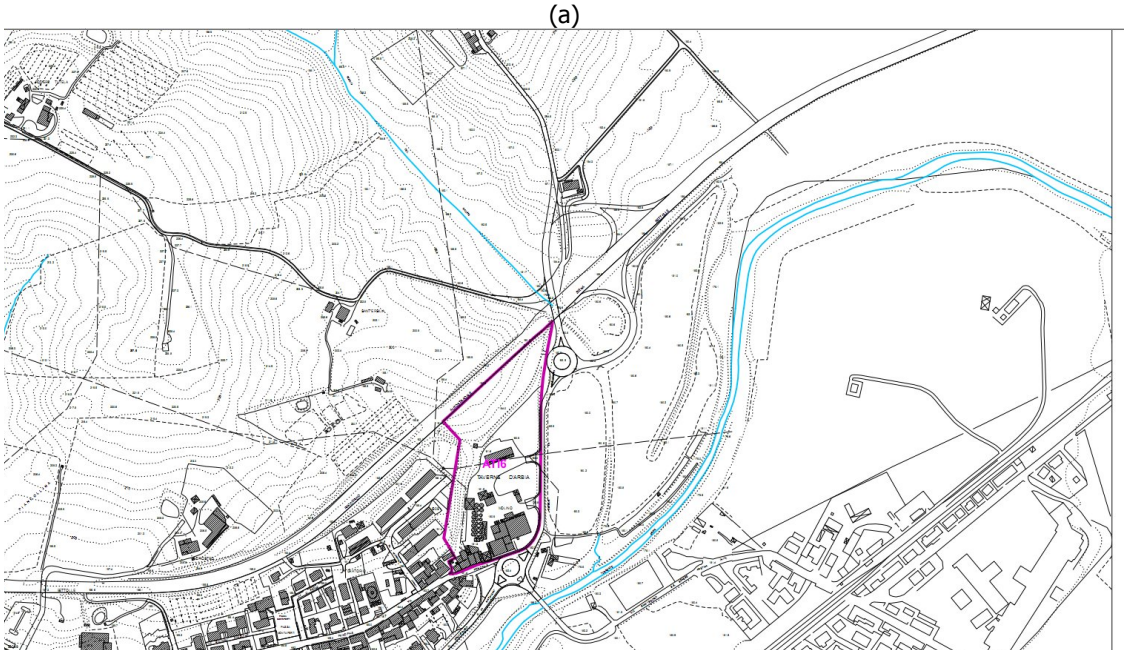
[5] In particolare *Lombardi* e *iIDeA* [*opp. citt.*, 2008-2009 e 2005-2008].

P.T.C.P., non se ne rileva nulla di significativo ai fini in oggetto.

1.2 BACINI, AREE DI INTERESSE E SPECIFICHE TECNICHE

Vengono determinati, con dettaglio coerente alle normative di riferimento già citate, gli elementi di pericolosità idraulica insistenti allo stato attuale sulle aree oggetto di previsione del R.U. ATI6 e ATI7 (Fig. 1).

(a)



(b)

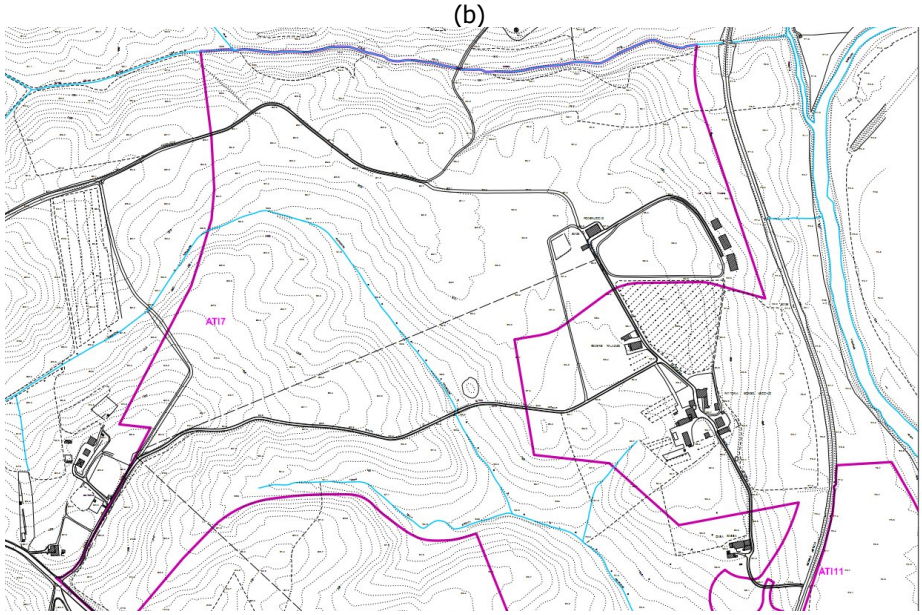


Fig. 1. *Aree di previsione* R.U. *oggetto di analisi di pericolosità idraulica (in magenta): a)* ATI6 - Taverne d'Arbia area *ex Molino Muratori* - B.ro del Casino [e T. Arbia]; *b)* ATI7 - Isola d'Arbia area *Nuovo Stadio* - F.so della Bocca di Cane [, T. Riluogo, T. Arbia e F.so il Fossatone] [tratto da R.U., 2010].

Per quanto riguarda **ATI6**, i corsi d'acqua pertinenti sono dunque B.ro del Casino e T. Arbia. Il

primo è oggetto di specifica analisi in questa sede, mentre per il secondo -poiché gli elementi di pericolosità sono già noti [*iIDeA*, 2005]- ci si limiterà a conformarvisi coerentemente.

Per **ATI7**, i corsi d'acqua determinanti potenziali interferenze per esondazione sono invece più numerosi, *i.e.* F.so della Bocca di Cane, T. Riluogo, T. Arbia e F.so il Fossatone. La presente analisi riguarda il solo F.so della Bocca di Cane, esteso a monte di poche di centinaia di metri rispetto a quanto già verificato in *iIDeA*, 2009 (*op. cit.*), a sua volta coerente con le determinazioni ufficiali relative a T. Riluogo e T. Arbia [*Lombardi*; *iIDeA*, *op. cit.*]. Il F.so il Fossatone -pur necessario per la esaustività dell'analisi relativa ad ATI7- non è tuttavia oggetto del presente lavoro.

La metodologia adottata assume vincolante il requisito di omogeneità e coerenza idrologico-idraulica con i citati studi già approvati a livello ufficiale, sia di respiro generale che a supporto del P.S., non risultando nel frattempo intervenute modifiche significative dei relativi assetti idraulici nei tratti di interesse né nuovi eventi di piena su cui eventualmente ricalibrarne le stime.

I piccoli bacini dei due corsi d'acqua ricadono tutti entro il territorio comunale di Siena, all'interno delle sezioni 297.090 e 297.050 della C.T.R. 1:10.000. I corsi d'acqua sono disposti in direzione W-E, intersecando il tracciato stradale pressoché perpendicolarmente.

La zona di studio del F.so della Bocca di Cane [*Signorelli*, 2005[6]] fa parte del tipico ambiente collinare senese, caratterizzato da basse acclività e da substrati a matrice prevalentemente limo-argillosa di origine sedimentaria marina (-5÷-7 m dal p.c.), appartenenti al Gruppo Neogenico, su cui si inseriscono talvolta anche frazioni a granulometria varia più grossolana (sabbiosa, localmente ghiaio-ciottolosa). Ad esse si sovrappongono nelle aree di fondovalle dei principali corsi d'acqua i terreni alluvionali antichi e recenti, talvolta terrazzati (Fig. 2). Non si rilevano nell'area significativi fenomeni di dissesto gravitativo. Analoghe caratteristiche ha il bacino del B.ro del Casino, con morfologia più allungata e maggior presenza di litotipi a matrice sabbiosa.

[6] *Collegamento viario tra l'area industriale di Isola d'Arbia e la Strada Provinciale Traversa Romana Aretina n. 136* – Relazione geologica", Comune di Siena, 2005.

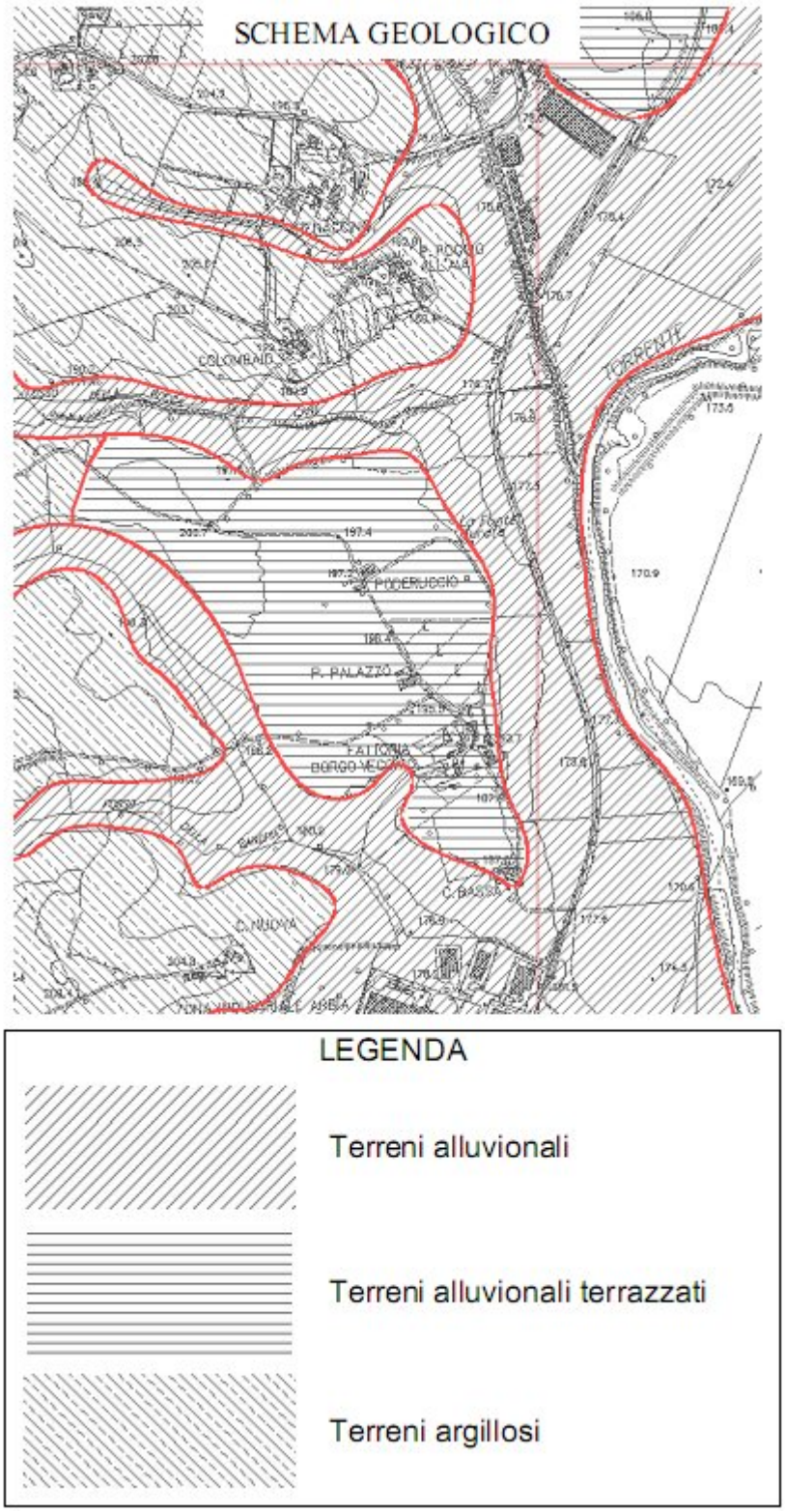


Fig. 2. *Schema litologico dell'areale del F.so della Bocca di Cane* [tratto da *Signorelli*, *op. cit.*, 2005].

L'insieme delle normative di riferimento delle presenti analisi -D.P.G.R. n. 26/R/07 e P.A.I. F. Ombrone- richiede la individuazione del perimetro allagabile per T_r=[20], **30**, **200** [e 500] ***anni***. Data la morfologia dei luoghi e la normativa associata -p. 3.2.2, lett. b) dell'*All.* A del D.P.G.R. n. 26/R/07 e p. 2,

c. 3 dell'*art*. 5 delle *Norme* di P.A.I.- la perimetrazione per T_r=20 *anni* viene per semplicità omessa, potendo essa cautelativamente assimilarsi a quella relativa a T_r=30 *anni.* Data la non significatività ai fini della fattibilità degli interventi di trasformazione integrata di cui trattasi, viene per semplicità omessa anche la perimetrazione per T_r=500 *anni*.

In considerazione della cinematica attesa delle correnti di piena (pendenze medie), della non pensilità degli alvei e dell'ampiezza delle valli di incisione (tipici corsi d'acqua collinari), delle finalità specifiche ed in coerenza con lo studio di riferimento per il F.so Riluogo[7] [*op. cit.*, *Lombardi*], si è adottato per l'analisi idraulica del F.so della Bocca di Cane lo schema di **moto permanente *1-D***.

Per meglio valutare le ipotesi di progetto, lo schema di moto vario viene invece assunto per il B.ro del Casino, seppur in maniera semplificata per il tratto terminale arginato. Infatti, considerazioni cautelativamente semplificative ed ammissibili ai fini in oggetto (dominanza delle dinamiche di piena del T. Arbia, ininfluenza delle quantificazioni di volume esondabile ai fini della determinazione dei principali elementi di pericolosità e delle relative misure di mitigazione, ..), permettono di ritenere ivi non significativo il maggior dettaglio analitico dello schema di moto vario.

Conseguentemente, per la modellazione idrologica viene adottato il classico approccio **ad evento** sintetico, il cui idrogramma di piena alle sezioni di chiusura per lo scenario pluviometrico **critico** viene ricavato con modellistica semi-distribuita di tipo deterministico concettuale.

2 SCENARI IDROLOGICI

Tutti i bacini qui di interesse rientrano nell'ambito idrografico di interesse regionale del F. Ombrone.

Per motivi di coerenza, si è preliminarmente fatto riferimento ai seguenti lavori ufficiali (evidenziati quelli principali ai fini in oggetto):

1. "*Regionalizzazione delle portate di piena in Toscana*" (AlTo) [*PIN*, 1996 e s.m.i.]
2. "*Nuova strada di collegamento tra la zona industriale di Isola d'Arbia e la S.P. Traversa Romana-Aretina n. 136 - Relazione idrologico-idraulica*" [*Castellani, L.* per *Comune di Siena - Direzione Territorio - Ufficio P.R.U.S.S.T.*, 2009] [NSRA_2009]
3. "*Analisi della pericolosità idraulica del T. Arbia dalla confluenza del T. Massellone a Buonconvento e del F. Ombrone nell'intorno della confluenza con il T. Arbia*" [*iIDeA* per Amm. Provinciale di Siena, 2005] [iIDeA_2005]
4. "*1^ fase della progettazione preliminare degli interventi di mitigazione del rischio idraulico dei Fiumi Arbia ed Ombrone finalizzata alla determinazione del loro funzionamento idraulico nel contesto del Bacino Ombrone, dei costi di costruzione e delle priorità di intervento*" [*iIDeA* per Amm. Provinciale di Siena, 2008][8] [[iIDeA_2008]
5. "*Studio idrologico-idraulico dei torrenti Tressa, Riluogo, Bozzone, Sorra e Serpenna nel territorio comunale di Siena*" [*Lombardi*, 2008-2009]

per i cui dettagli metodologici si rimanda direttamente ai lavori originali.

Data la ridotta estensione dei bacini, si è in definitiva utilizzato il metodo del *Soil Conservation Service* (**SCS-CN**) [*S.C.S.*, 1972] per la definizione dell'idrogramma unitario e degli ietogrammi lordi e

[7] I riflessi delle onde di piena del T. Arbia sui corsi d'acqua qui oggetto di analisi sono "filtrati" dalla cinematica del F.so Riluogo, per la cui valutazione si assume qui senz'altro lo studio *Lombardi* (2008, 2009).

[8] Per lo scenario di progetto su B.ro del Casino.

netti, verificando i valori AlTo ai soli fini di confronto[9]. La scelta dei principali parametri idrologici del metodo SCS-CN è stata effettuata ricercando la massima coerenza con i lavori citati.

Di seguito vengono brevemente descritti gli elementi essenziali di queste note metodologie, rimandando invece per i dettagli direttamente alla documentazione ufficiale citata.

AlTo

- modelli *T.C.E.V.* ed *E.V.*I delle distribuzioni probabilistiche regionalizzate dei valori estremi di precipitazione (*L.S.P.P.* a 3 parametri)
- modello afflussi-deflussi lineare del tipo idrogramma unitario istantaneo (*I.U.H.*), nella forma di funzione gamma a due parametri (idrogramma di Nash, I.U.H.$_{\Gamma}$[*n*, *k*]), ottenuti con approccio "geomorfologico"
- metodo dell'evento pluviometrico critico (isoprobabilità ietogramma-idrogramma), che si basa sulla determinazione della durata critica di pioggia efficace che massimizza, per un assegnato tempo di ritorno, la portata al colmo
- determinazione della pioggia efficace per decurtazione dallo ietogramma lordo, assunto costante nel tempo, di una perdita per assorbimento-intercettazione iniziale I_a e di una aliquota per [in]filtrazione K_s costante nel tempo.

Si riportano in Tab. 1 e Tab. 2 i principali parametri per la sezione di calcolo F_ID=5847 relativa al **F.so della Bocca di Cane alla confluenza nel F.so Riluogo** (*a*, *n*, *m*=parametri della *LSPP* $h(t)=a\cdot t^{n}\cdot T_r^{m}$ [*mm*] (agg. 2002), *A*=area del bacino [km^2], *Q*=portata al colmo di piena [m^3/s]), ietogrammi tipo *Chicago* durata 1 *h* e picco a 0.4 – uniforme durata critica). Per evidente insignificatività altrimenti, si assume un'unica sezione di calcolo (quella terminale) per l'intero tratto idrografico analizzato. Dunque i valori delle portate sono i medesimi già riportati in NSRA_2009.

Tab. 1*. Principali parametri idrologici per il bacino del* ***F.so della Bocca di Cane*** *alla sezione di chiusura (sezione* F_ID=5847 *di* AlTo, 2000*). Distribuzione piogge tipo* **Chicago***, durata evento* 1 h*.*

	AlTo [LSPP 2002]											
T$_r$ [*anni*]	***a1*** [*mm/h^n*]	***n1*** []	***m1*** []	***a*** [*mm/h^n*]	***n*** []	***m*** []	***Tl*** [*h*]	***Dcr*** [*h*]	***Ia*** [*mm*]	***Apor*** [km^2]	***Q*** [m^3/s]	***u*** [$m^3/s/km^2$]
20	19.862	0.325	0.180	19.955	0.345	0.201	0.6	-	3.3	2.11	*20.2*	*9.6*
30	19.862	0.325	0.180	19.955	0.345	0.201	0.6	-	3.3	2.11	*22.1*	***10.1***
200	19.862	0.325	0.180	19.955	0.345	0.201	0.6	-	3.3	2.11	*33.1*	***15.7***

Tab. 2*. Principali parametri idrologici per il bacino del F.so della Bocca di Cane alla sezione di chiusura (sezione* F_ID=5847 *di* AlTo, 2000*). Distribuzione piogge* **uniforme***, durata evento* D_{cr}*.*

	AlTo [LSPP 2002]											
T$_r$ [*anni*]	***a1*** [*mm/h^n*]	***n1*** []	***m1*** []	***a*** [*mm/h^n*]	***n*** []	***m*** []	***Tl*** [*h*]	***Dcr*** [*h*]	***Ia*** [*mm*]	***Apor*** [km^2]	***Q*** [m^3/s]	***u*** [$m^3/s/km^2$]
20	19.862	0.325	0.180	19.955	0.345	0.201	0.6	0.7	3.3	2.11	*17.6*	*8.3*
30	19.862	0.325	0.180	19.955	0.345	0.201	0.6	0.7	3.3	2.11	*19.1*	***9.1***
200	19.862	0.325	0.180	19.955	0.345	0.201	0.6	0.7	3.3	2.11	*28.6*	***13.6***

Si noti che i valori di *Q* sono distorti dalla errata valutazione dell'area di bacino, valutata in 2.11 km^2 anziché -da C.T. in scala 1:2.000- 1.47 km^2. Per tale motivo vengono presi a riferimento di massima i soli contributi unitari al colmo di piena.

Analogamente, si riportano in Tab. 3 e Tab. 4 i parametri di calcolo per la sezione F_ID=5347 relativa al **B.ro del Casino alla confluenza nel T. Arbia**, con le medesime considerazioni circa aree (3.20 km^2 in **AlTo** anzichè 2.55 km^2), portate e contributi unitari.

[9] *Cfr.* limiti di applicabilità per bacini di *A*<10 km^2[*op. cit.*].

Tab. 3. *Principali parametri idrologici per il bacino del* ***B.ro del Casino*** *alla sezione di chiusura (sezione* F_ID=5347 *di* **AlTo**, 2000). *Distribuzione piogge tipo* **Chicago**, *durata evento* 1 h.

	AlTo [LSPP 2002]											
T_r [*anni*]	***a1*** [*mm/h^n*]	***n1*** []	***m1*** []	***a*** [*mm/h^n*]	***n*** []	***m*** []	***Tl*** [*h*]	***Dcr*** [*h*]	***Ia*** [*mm*]	***Apor*** [*km^2*]	***Q*** [*m^3/s*]	***u*** [*m^3/s/ km^2*]
20	19.862	0.325	0.180	19.955	0.345	0.201	0.7	-	7.5	3.20	*25.1*	*7.8*
30	19.862	0.325	0.180	19.955	0.345	0.201	0.7	-	7.5	3.20	*27.7*	***8.7***
200	19.862	0.325	0.180	19.955	0.345	0.201	0.7	-	7.5	3.20	*43.2*	***13.5***

Tab. 4. *Principali parametri idrologici per il bacino del B.ro del Casino alla sezione di chiusura (sezione* F_ID=5347 *di* AlTo, 2000). *Distribuzione piogge* **uniforme**, *durata evento* D_{cr}.

	AlTo [LSPP 2002]											
T_r [*anni*]	***a1*** [*mm/h^n*]	***n1*** []	***m1*** []	***a*** [*mm/h^n*]	***n*** []	***m*** []	***Tl*** [*h*]	***Dcr*** [*h*]	***Ia*** [*mm*]	***Apor*** [*km^2*]	***Q*** [*m^3/s*]	***u*** [*m^3/s/ km^2*]
20	19.862	0.325	0.180	19.955	0.345	0.201	0.7	1.0	7.5	3.20	*23.4*	*7.3*
30	19.862	0.325	0.180	19.955	0.345	0.201	0.7	1.0	7.5	3.20	*25.7*	***8.0***
200	19.862	0.325	0.180	19.955	0.345	0.201	0.7	1.0	7.5	3.20	*39.3*	***12.3***

S.C.S.-CN

L'idrogramma unitario assunto è quello *standard* U.S.-S.C.S. [*op. cit.*], predefinito nella forma e funzione del solo parametro cinematico tempo di ritardo t_l [*h*]. Le perdite per infiltrazione sono state computate *step by step* con il metodo del CN. Per la determinazione dei parametri morfometrici di bacino si è utilizzato il DEM passo 10x10 *m* del bacino del F. Ombrone facente parte del *Sistema Acque* della R.T. (Fig. 3), mentre per il calcolo del valore medio di CN per il bacino del F.so della Bocca di Cane è stata per omogeneità adottata direttamente la mappa tematica di CN_{II} di *Lombardi* [*op. cit.*, 2008-2009], mentre per il B.ro del Casino è stata similarmente derivata da *CORINE Land Cover*, mod. R.T., 2004 (Archivio I.F.T.) e *Carta Geologica* in scala 1:10.000 [R.T., in corso di collaudo]. In Fig. 4 ne sono riportati gli stralci.

La perdita di precipitazione iniziale è assunta pari a $\beta \cdot S$ (0.1-0.3 *range* dei valori di β). Per quanto riguarda la scelta delle condizioni iniziali di suolo in eventi pluviometrici critici (CN *I*,*II*,*III*) è noto come le indicazioni generali originarie del SCS non risultino offrire particolare affidabilità per la realtà italiana [ad es. *Borselli*, 1989; *Busoni et al.*, 1990; …]. La procedura *standard* utilizzata prevede l'adozione delle condizione medie AMC *II*. Tuttavia, l'analisi comparativa con AlTo, i riscontri fluvio-morfologici e ragioni di omogeneità con *Lombardi* [*op. cit.*] hanno indotto ad assumere CN_{III} e β**=0.1** per entrambi i bacini.

Utilizzando per la modellazione il noto *software* **HEC-*HMS***[10] ***v.*** **3.3** [www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms], si è altresì adottato l'**idrogramma unitario** *standard* SCS [*S.C.S.*, 1986; *U.S.A.C.E.*, 1998], definito in funzione della sola area di bacino e del **tempo di ritardo** (t_l), qui stimato con la formula di ***Rosso***[11] (2005) (A<10 *km^2*), *i.e.*:

$$t = 0.26L^{0.82}\left[1 + 254\frac{100}{S} - 1\right]^{0.13} \cdot i^{(-0.2)}$$

[10] *Hydrologic Engineering Center* del *U.S. Army Corps of Engineers*, 2006.

[11] In alternativa, stima del tempo di corrivazione secondo ***Kirpich*** e successiva ipotesi di correlazione con il tempo di ritardo. Ipotesi qui scartata perché ritenuta sovrastimante la rapidità di risposta dei bacini in oggetto, stimando per t_c valori analoghi al t_l secondo *Rosso.*

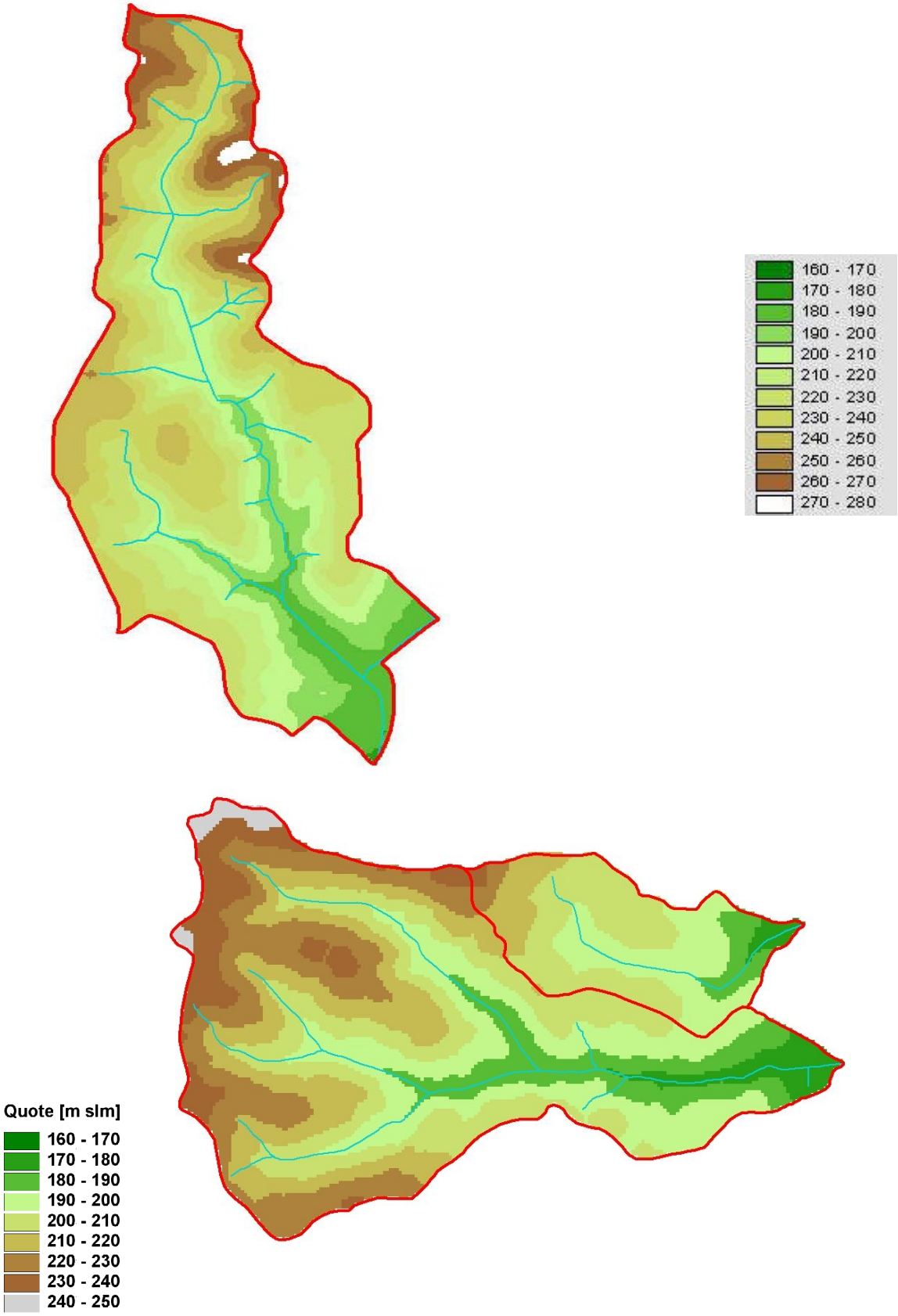


Fig. 3. *Altimetria dei bacini del B.ro del Casino e del F.so della Bocca di Cane* [Sistema Acque R.T.].

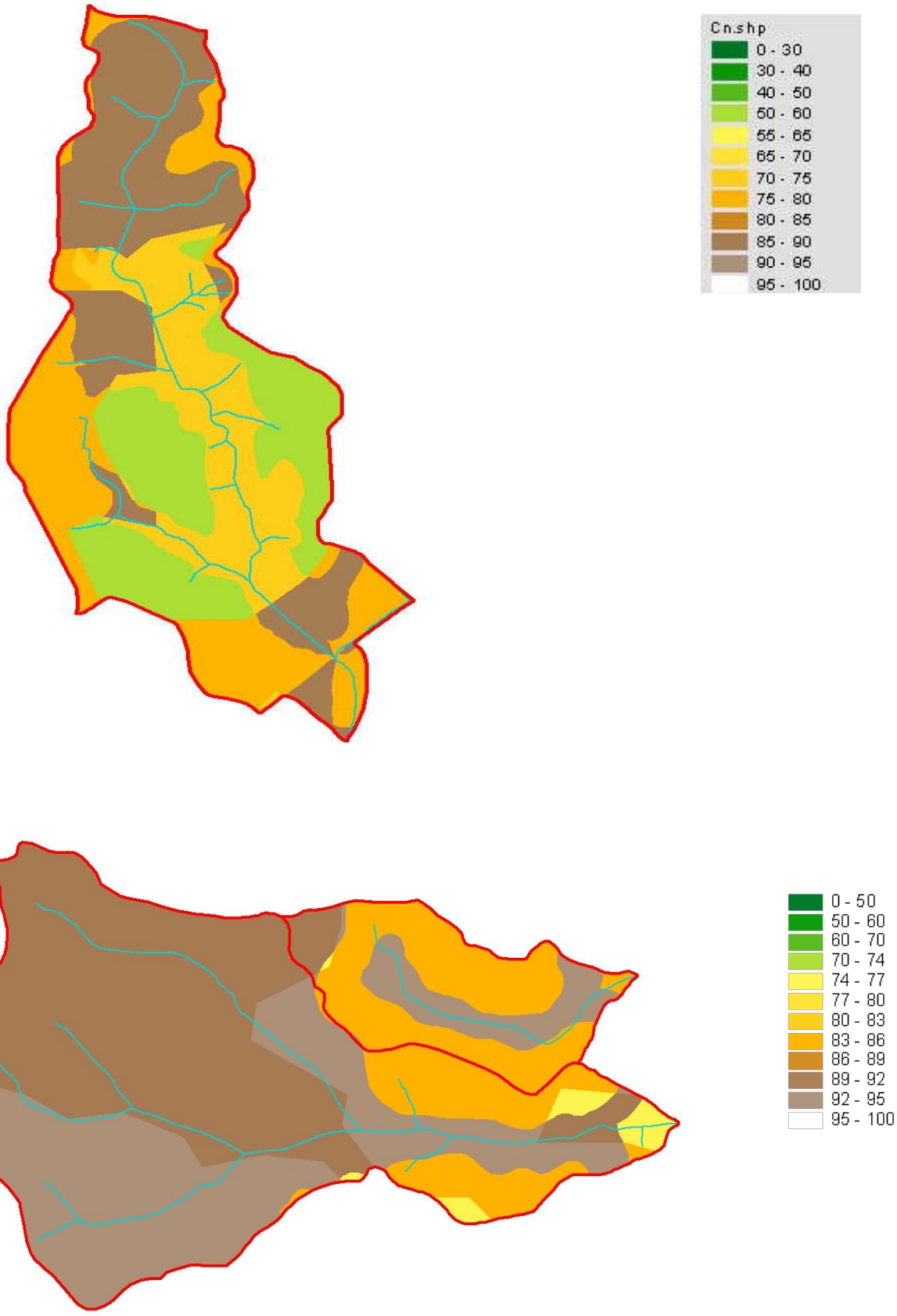


Fig. 4. *Mappa tematica del* CN_{II} *dei bacini* (a) *del B.ro del Casino e* (b) *del F.so della Bocca di Cane* [da Lombardi, *op. cit.*].

Quale ietogramma di progetto si è assunto quello di maggiore cimento in termini di portata la colmo tra lo ***Chicago*** centrato di **durata 1 *h*** -che normalmente ben rappresenta lo scenario critico (sperimentalmente verosimile[12]) per bacini con tempi di risposta inferiori all'ora- e quello **uniforme** per durate **>1 *h***. Per la ***LSPP*** si fa riferimento alla stazione di ***Siena Poggio al Vento*** [Cod. 00-02660] a=19.862 *mm/h*^{n}, n=0.325, m=0.180 (agg. 2007)[13]. In definitiva, date le seguenti caratteristiche fisiografiche dei bacini del B.ro del Casino alla confluenza nel T. Arbia e del F.so della Bocca di Cane alle confluenze nel F.so Riluogo:

B.ro del Casino
- superficie del bacino — A=2.55 *km*^{2}
- lunghezza dell'asta principale — L=3.4 *km*
- tempo di ritardo *Rosso* (2005) — $t_l \cong$0.72 *h*
- tempo di ritardo AlTo — $t_l \cong$0.67 *h*
- valore medio del *Curve Number* — $CN_{III} \cong$90

F.so della Bocca di Cane
- superficie del bacino — A=1.47 *km*^{2}
- lunghezza dell'asta principale — L=2.2 *km*
- tempo di ritardo *Rosso* (2005) — $t_l \cong$0.47 *h*
- tempo di ritardo AlTo — $t_l \cong$0.90 *h*
- valore medio del *Curve Number* — $CN_{III} \cong$95

si ricavano, per lo Chicago, i valori di portata al colmo di piena riportati in Tab. 5. Tuttavia, poichè per il B.ro del Casino le massime portate al colmo si determinano per D=1.5 *h* e ietogramma uniforme, si adottano per esso i valori riportati in Tab. 7.

Tab. 5. *Confronto tra portate al colmo e relativi coefficienti udometrici stimati con i metodi* AlTo *e* SCS-CN. Chicago 1 h. **B.ro del Casino**.

	AlTo					**SCS-CN$_{III}$**				
T$_r$ [*anni*]	***Tl*** [min]	***Ia*** [*mm*]	***Apor*** [*km^2*]	***Q*** [*m^3/s*]	***u*** [*m^3/s/ km^2*]	***Tl*** [min]	***Ia*** [*mm*]	***A*** [*km^2*]	***Q*** [*m^3/s*]	***u*** [*m^3/s/ km^2*]
20	40		3.20	*25.1*	*7.8*	43	2.8	2.55	11.2	4.4
30	40		3.20	*27.7*	*8.7*	43	2.8	2.55	12.7	5.0
200	40		3.20	*43.2*	*13.5*	43	2.8	2.55	22.3	8.8

Tab. 6. *Confronto tra portate al colmo e relativi coefficienti udometrici stimati con i metodi* AlTo *e* SCS-CN. Chicago 1 h. **F.so della Bocca di Cane**.

	AlTo					**SCS-CN$_{III}$**				
T$_r$ [*anni*]	***Tl*** [min]	***Ia*** [*mm*]	***Apor*** [*km^2*]	***Q*** [*m^3/s*]	***u*** [*m^3/s/ km^2*]	***Tl*** [min]	***Ia*** [*mm*]	***A*** [*km^2*]	***Q*** [*m^3/s*]	***u*** [*m^3/s/ km^2*]
20	36		2.11	*20.2*	*9.6*	28	1.4	1.47	11.7	8.0
30	36		2.11	*22.1*	*10.5*	28	1.4	1.47	**12.9**	8.8
200	36		2.11	*33.1*	*15.7*	28	1.4	1.47	**19.9**	13.5

Tab. 7. *Portate al colmo e relativi coefficienti udometrici adottati* per il **B.ro del Casino**. Ietogramma uniforme, D=1.5 h.

	SCS-CN$_{III}$				
T$_r$ [*anni*]	***Tl*** [min]	***Ia*** [*mm*]	***A*** [*km^2*]	***Q*** [*m^3/s*]	***u*** [*m^3/s/ km^2*]
20	43	2.8	2.55	12.2	4.8
30	43	2.8	2.55	**13.7**	5.4
200	43	2.8	2.55	**22.5**	8.9

[12] In Italia ed a differenza di durate di pioggia *qualunque*.

[13] Leggermente diversi da quelli citati in NSRA_2009 per ulteriori aggiornamenti AlTo, di effetto trascurabile.

3 MODELLAZIONI IDRAULICHE

Le modellazioni idrauliche svolte riguardano il B.ro del Casino -nello stato attuale (SA) e modificato a seguito delle opere di progetto di mitigazione qui prefigurate, coerentemente con quanto già previsto in iIDeA_2008 per il T. Arbia a Taverne d'Arbia (SP)- ed il F.so della Bocca di Cane -nello stato attuale (SA) inteso come quello risultante dal completamento della *Nuova Strada*[14] di cui in NSRA_2009.

Le prime sono effettuate in regime di moto vario, mentre le seconde in moto permanente *1-D* a fondo fisso, analizzando gli scenari idrologici di maggior cimento e nella duplice configurazione idraulica di deflusso libero e rigurgitato dai ricettori (F.so Riluogo/T. Arbia).

3.1 CARATTERISTICHE ESSENZIALI DEL MODELLO IDRAULICO

Il programma di calcolo impiegato per la determinazione dei profili della corrente a pelo libero è **HEC-*Ras*[15] *v.* 4.1.0**, *in regime di moto vario e permanente di corrente mista, a fondo fisso*.

Lo schema modellistico adottato risolve il problema della individuazione del livello del pelo libero della corrente in una assegnata sezione nelle seguenti ipotesi di base:

- la geometria è invariabile
- il moto è gradualmente variato
- il flusso è monodimensionale

risolvendo il problema della individuazione del livello del pelo libero della corrente monodimensionale in una rete di canali aperti, in cui la bidimensionalità viene concettualizzata nella separazione delle equazioni di continuità e del momento per l'alveo attivo e le aree golenali. Sezioni particolari in cui non risulti localmente valida l'ipotesi di graduale variazione del moto (ponti, traverse, …) vengono modellate attraverso l'adozione di formulazioni empiriche o integrali.

Il programma di calcolo è composto da 3 moduli che permettono di eseguire l'analisi in moto vario: un *pre*-processore dei dati di geometria, il motore di calcolo in moto vario ed un *post*-processore per analizzare i dati di *output*.

- il *pre*-processore *HTab* è utilizzato per definire una serie di tabelle e curve contenenti le caratteristiche idrauliche delle sezioni del corso d'acqua; in questo modo è possibile velocizzare i calcoli in moto vario, evitando di ricalcolare le caratteristiche di *conveyance* delle sezioni ad ogni iterazione di calcolo, ma ricavandole per interpolazione da quelle calcolate precedentemente
- i *calcoli* idraulici in moto vario vengono eseguiti con una versione modificata del *software UNET* (*Unsteady NETwork model*) sviluppata da *Barkau* (1992)
  - il *post*-processore viene utilizzato per calcolare informazioni idrauliche più dettagliate in corrispondenza di determinati istanti temporali. In generale, infatti, il programma *UNET* calcola soltanto le quote del pelo libero e le portate defluenti nelle sezioni trasversali definite dall'utente; queste informazioni vengono trasmesse al programma di calcolo di moto permanente che calcola le corrispondenti caratteristiche idrauliche e le archivia in formato tabelle e grafici.

Si riportano di seguito le principali caratteristiche del programma di calcolo impiegato e le equazioni di base.

3.1.1 Continuità e quantità di moto

Le equazioni alla base del modello adottato sono le equazioni di De Saint Venant per il moto vario monodimensionale, espresse secondo le variabili dipendenti *Q* e *Z*:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_t = 0$$ equazione di continuità

[14] In corso di realizzazione.

[15] *Hydrologic Engineering Center* del U.S. *Army Corps of Engineers*, 2010.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA\left(\frac{\partial Z}{\partial x} + S_f\right) = 0$$ equazione della conservazione della quantità di moto[16]

dove

Q: portata che all'istante t defluisce attraverso la sezione di ascissa x

A: area della sezione idrica corrispondente all'ascissa x

t: istante considerato

S_f: gradiente medio delle perdite di carico per attrito

V: velocità media della corrente

g: accelerazione di gravità

q_l: portata laterale in ingresso e/o in uscita

(x,Z): sistema di riferimento con ascissa x parallela al fondo alveo e ordinata Z verticale.

La pendenza S_f rappresentativa delle perdite di carico per attrito è calcolata secondo la formula di *Manning*:

$$S_f = \left(\frac{n^2 |Q| Q}{\mu^2 A^2 R^{4/3}}\right)$$

n: coefficiente di *Manning*

μ: coefficiente di viscosità (μ=1 nel S.I., μ=1.49 nel U.S.).

Il modello appartiene alla classe dei "quasi-bidimensionali" che schematizza il territorio come un insieme di canali per ciascuno dei quali il fenomeno di propagazione è monodimensionale. In particolare, individua nella sezione trasversale due ambiti (tubi di flusso) distinti: il canale principale e le golene, definendone separatamente le equazioni di *De Saint Venant* (Fig. 5).

Viene assunta orizzontale la superficie dell'acqua nella sezione ortogonale al flusso, così che la differenza del momento della quantità di moto calcolata nel canale principale e nell'area golenale/alveo di esondazione possa essere considerata trascurabile e la portata distribuita secondo la capacità di deflusso delle due porzioni di sezione, valutata secondo il coefficiente K.

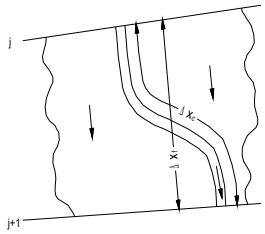


Fig. 5. *Schema della discretizzazione spaziale.*

In particolare:

$$Q_c = \phi \cdot Q$$

dove

Q_c: portata che defluisce attraverso il canale centrale

Q: portata totale

$$\phi = \frac{K_c}{K_c + K_f}$$

K_c: capacità di deflusso nel canale principale

K_f: capacità di deflusso golene/alveo di esondazione

Con tale assunzione, le equazioni per il moto monodimensionale possono essere scritte come segue:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial (\phi Q)}{\partial x_c} + \frac{\partial [(1-\phi) Q]}{\partial x_f} = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left(\phi^2 \frac{Q^2}{A_c}\right)}{\partial x_c} + \frac{\partial \left[(1-\phi)^2 \frac{Q^2}{A_f}\right]}{\partial x_f} + gA_c\left(\frac{\partial z}{\partial x_c} + S_{fc}\right) + gA_f\left(\frac{\partial z}{\partial x_f} + S_{ff}\right) = 0$$

[16] Equazioni ottenute ipotizzando i coefficienti β (di ragguaglio della quantità di moto) e α di ragguaglio della potenza cinetica della corrente) uguali a 1.

dove i pedici *c* e *f* si riferiscono rispettivamente al canale principale e golene.

Le equazioni sono quindi approssimate utilizzando uno schema implicito alle differenze finite e risolte numericamente con il metodo di iterazione di *Newton-Raphson*. In particolare, *Barkau* (1992) combina i termini convettivi della velocità e, definendo un fattore di distribuzione della velocità $\beta = \beta(V_c, A_c, V_f, A_f, V, A)$, trasforma le equazioni alle differenze finite per il canale e le golene in un gruppo di equazioni più conveniente dal punto di vista computazionale.

3.1.1.1 Correnti miste

La transizione di stato della corrente da veloce a lenta determina note difficoltà matematiche legate alle condizioni di stabilità degli algoritmi di risoluzione delle equazioni di *De Saint-Venant* in moto vario. In *HEC-RAS*, viene adottato il metodo denominato della "*Local Partial Inertia*" (LPI), secondo il quale viene applicato un fattore di smorzamento σ riduttivo dei due termini inerziali dell'equazione della quantità di moto, via via crescente secondo l'esponente *m* all'aumentare del numero di *Froude* oltre un prescelto valore di soglia F_T (def=1.0)., *i.e.* (Fig. 6):

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

$$\sigma = F_T - F_r^{\,m} \qquad \text{se} \quad F_r \le F_T \;;\; m \ge 1$$

$$\sigma = 0 \qquad \text{se} \quad F_r \ge F_T$$

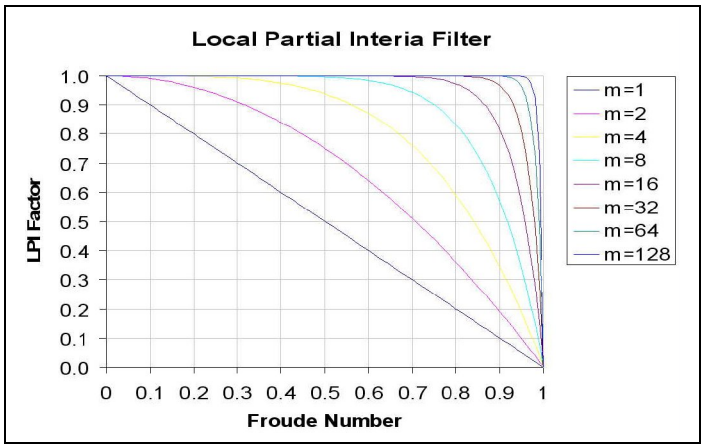


Fig. 6. *LPI Factor al variare di m e F_r.*

3.1.1.2 Equazioni di base

L'unità elementare del sistema fisico, composta da un volume idrico di controllo posto tra 2 generiche sezioni trasversali del corso d'acqua, schematicamente riportata in Fig. 7, è governata dal principio della *conservazione dell'energia*, assunto descrivibile tramite le seguenti due equazioni semplificate:

$$WS_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = WS_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

$$h_e = L\bar{S}_f + C\left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

dove (i pedici 1 e 2 indicano le corrispondenti sezioni):

WS_2 , WS_1	livelli del pelo libero alle estremità del tratto [*m*]
V_2^2 , V_1^2	velocità quadratiche medie [m^2/s^2]
α_1 , α_2	coefficienti ponderali dei termini cinetici []
g	accelerazione di gravità [m/s^2]
h_e	perdite di carico totali [*m*]

L distanza media pesata sulle portate tra le due sezioni [*m*], *i.e.*

$$L = \frac{L_{lo} \cdot \overline{Q}_{lo} + L_{mch} \cdot \overline{Q}_{mch} + L_{ro} \cdot \overline{Q}_{ro}}{\overline{Q}_{lo} + \overline{Q}_{mch} + \overline{Q}_{ro}}$$

$\overline{Q}_{ij}$ portata media nel tratto elementare defluente nei tratti golenali e di *thalweg* [m^3/s]

$\overline{S}_f$ gradiente medio delle perdite di carico per attrito [*m/m*];

C coefficiente di dissipazione energetica per espansione o contrazione [].

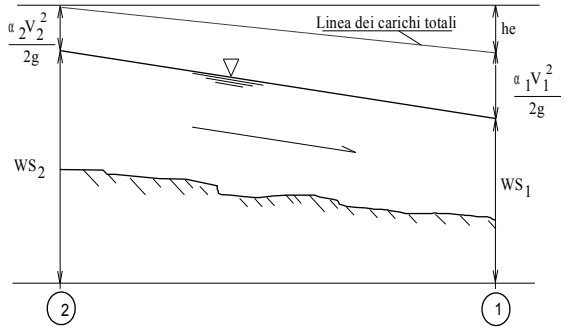


Fig. 7. Rappresentazione in termini energetici dell'equilibrio di volume idrico elementare.

La sezione di deflusso è supposta suddivisibile in 3 ambiti primari in cui sia applicabile l'ipotesi di distribuzione uniforme delle velocità, *i.e.* l'alveo principale o *thalweg* e 2 zone golenali.

I termini di perdita di carico media per ciascun tratto elementare, sia concentrata (α) sia distribuita (S_f), vengono calcolati utilizzando la seguente definizione della capacità di deflusso (portata per unità di pendenza motrice$^{1/2}$) -indipendentemente per ciascun ambito della sezione- (si omettono per brevità i pedici):

$$K = \frac{A \cdot R^{\frac{2}{3}}}{n}$$

dove:

K =capacità di deflusso nell'ambito [m^3/s];
n =coefficiente di scabrezza di Manning [$s/m^{1/3}$]
R=raggio idraulico dell'ambito [*m*]
A=area della sezione bagnata dell'ambito [m^2].

Dipendentemente dal regime della corrente, vengono utilizzate diverse stime del gradiente di carico per attriti medio sul tratto (media aritmetica, geometrica, armonica, ..). In particolare, per i profili di corrente lenta è stato prevalentemente utilizzata la media semplice ponderata sulla capacità di deflusso, *i.e.*:

$$\overline{S}_f = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2$$

Per i carichi cinetici vale invece la seguente espressione (il pedice *t* indica la totalità della sezione):

$$\alpha = \frac{A_t^2 \cdot \left[\frac{K_{lb}^3}{A_{lb}^2} + \frac{K_{mch}^3}{A_{mch}^2} + \frac{K_{rb}^3}{A_{rb}^2} \right]}{K_t^3}$$

I coefficienti di contrazione ***C*** sono stati assunti generalmente pari a **0.1-0.3** per le sezioni a variazioni ordinarie e **0.3-0.5** per le maggiori discontinuità geometriche, per le contrazioni e le espansioni, rispettivamente. Le scabrezze equivalenti sono computate per media ponderata su perimetro bagnato, sia per quelle di ambito che di intera sezione di deflusso.

Le transizioni attraverso lo stato critico della corrente, nel caso dei risalti idraulici e del passaggio attraverso ponti, vengono assunte governate dall'equazione semplificata della quantità di moto applicata al tratto elementare di canale, *i.e.* (*X* è la direzione di deflusso, 1 e 2 sono le sezioni di estremità):

$$P_1 - P_2 + W_x - F_f = Q \cdot \rho \cdot \Delta V_x$$

dove:

P forza idrostatica [*N*]
W_x forza peso della massa idrica compresa nel tratto [*N*]
F_f forza di attrito complessivamente agente sul tratto [*N*]
Q portata in transito [m^3/s]
ρ densità dell'acqua [Ns^2/m^4]

ΔV_x variazione di velocità media tra le sezioni, in direzione X [m/s]

Gli sforzi tangenziali sul perimetro bagnato vengono calcolati secondo la formulazione di moto uniforme e la quantità di moto corretta con coefficienti empirici di letteratura.

3.1.1.3 Sezioni ordinarie

La geometria delle sezioni è descritta per punti e non vincolata nella forma. Per sezioni ordinarie si intendono quelle in cui non è presente un manufatto che interferisca con la corrente alterandone "localmente" in maniera significativa lo stato energetico (*ad es.* ponti, traverse, salti di fondo, tombini, bruschi restringimenti, …).

I principali attributi delle sezioni sono: *a*) limiti del canale principale, *b*) scabrezza, *c*) argini, *d*) limiti delle aree "inefficaci". La sezione è suddivisa in 3 canalizzazioni ideali principali, cui corrispondono dissipazioni energetiche semi-indipendenti.

La scabrezza è variabile nella sezione, diversificata secondo la copertura prevalente del suolo e i livelli idrici raggiunti dalla corrente. Tipologie di alveo e valori dei coefficienti di *Manning* [$s/m^{1/3}$] riportati in Tab. 8 sono corrispondenti ad ipotesi di *media efficienza manutentiva* (evidenziati i valori specificatamente adottati nella modellazione).

In generale, vengono marcate tutte le sommità *"arginali"* anche se non corrispondenti a veri e propri manufatti arginali, significando con ciò semplicemente la funzione di barriera di contenimento della corrente (ad es. dovuti a rilevati stradali, strutture adiacenti al corso d'acqua, scarpate, ...).

Tab. 8. Valori adottati del coefficiente di scabrezza secondo Manning.

Caratteristiche del corso d'acqua		***n*** [$s/m^{1/3}$]
Assetto morfologico	*Assetto ambientale*	
Canale artificiale in calcestruzzo	ghiaia e ciottoli sul fondo	**0.025-**0.030
Canale artificiale in muratura di pietra	ghiaia e ciottoli sul fondo	0.030-0.040
Canale artificiale in terra a sezione regolare	vegetazione assente	0.030
Canale artificiale in terra a sezione regolare	vegetazione bassa	0.035
Canale artificiale in terra a sezione regolare	erbacee e arbusti non tagliati	0.040
Canale artificiale in terra a sezione regolare	arbusti non tagliati e vegetazione arborea	0.045
Condotta artificiale in lamiera ondulata	sabbia e ghiaia sul fondo	**0.025**
Alveo largo naturale in ghiaia e sabbia a sezione irregolare per mobilità del fondo	arbusti non tagliati e vegetazione arborea	0.050
Alveo stretto semi-naturale in ghiaia e sabbia a sezione irregolare per mobilità del fondo	arbusti non tagliati e vegetazione arborea ad alta densità	**0.060**-0.080
Aree di inondazione extra alveo	vegetazione varia	0.080-**0.100**
Aree di inondazione extra alveo	ambito urbano	0.100

3.1.1.4 Briglie e traverse

L'equazione adottata per il deflusso sulle traverse utilizza il valore del carico totale e non del solo tirante idrico. Nel caso di sommergenza, il calcolo della portata totale defluente viene effettuato discretizzando l'area attiva sulla traversa e quindi sommando i contributi parziali. Sono computate correzioni riduttive per effetto sommergenza oltre il 75%. Per sommergenze superiori al 95% l'equazione di bilancio sulla traversa passa a quella ordinaria dell'energia.

3.1.1.5 Ponti

Le perdite di carico in prossimità dei ponti sono costituite da due componenti: quella costituita dalle perdite di carico immediatamente a valle [monte] della struttura per effetto dell'allargamento [restringimento] della sezione, e quella delle perdite di carico che si realizzano per effetto della struttura stessa. Quest'ultima comprende sia le normali perdite per attrito che quelle particolarmente dovute alle pile (assenti nel caso specifico).

Il deflusso attraverso il ponte può avvenire a pelo libero, in pressione, a stramazzo per sormonto dell'impalcato o in condizioni ibride tra le precedenti. Ciascun regime viene modellato adottando diverse specifiche equazioni di deflusso. Le transizioni attraverso le possibili condizioni di moto, in relazione alla portata e all'energia totale della corrente, sono schematicamente descritte in Fig. 8. I metodi più frequentemente utilizzati sono quello dell'*Energia* e della *Quantità di Moto*, di seguito brevemente descritti.

Metodo dell'Energia.

L'equazione di bilancio dei carichi è la medesima già riportata, con le uniche differenze -rispetto alle sezioni fluviali ordinarie- che viene decurtata la superficie del ponte al di sotto del livello idrico e che il perimetro bagnato è incrementato tenendo conto dell'intera geometria del ponte a contatto con la corrente.

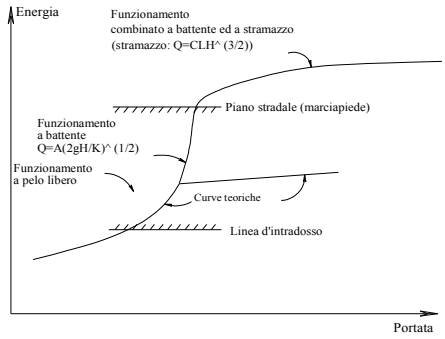


Fig. 8. *Andamento della portata in presenza di un ponte al crescere del carico di monte.*

Metodo della Quantità di Moto

Le sezioni che complessivamente caratterizzano ciascun ponte sono 4 (Fig. 9). Le numero 2 e 3 definiscono le sezioni di monte e valle sul ponte, mentre le 1 e 4 individuano i limiti di perturbazione locale indotti dal ponte per effetto della riduzione della sezione di deflusso e/o delle perdite di carico concentrate. Quest'ultime sono state poste ad una distanza dal ponte non superiore, rispettivamente, a 1 e 2 volte la luce libera sotto l'impalcato.

Viene ricercato il bilancio della quantità di moto tra le sezioni di estremità di valle e monte del ponte. Tale bilancio avviene attraverso tre successive applicazioni dell'equazione della quantità di moto:

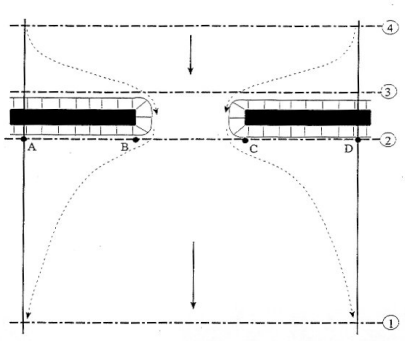


Fig. 9*. Schema della discretizzazione longitudinale nell'intorno di un ponte.*

1- tratto compreso tra le sezioni a valle *del* ponte e di valle *sul* ponte (sezz. 1-2)

$$A_2 \cdot \overline{Y}_2 + \beta_2 \cdot \frac{Q_2^2}{g \cdot A_2} = A_1 \cdot \overline{Y}_1 - A_{p1} \cdot \overline{Y}_{p1} + \beta_1 \cdot \frac{Q_1^2}{g \cdot A_1} + F_f - W_x$$

2- tratto compreso tra le sezioni di valle e di monte *sul* ponte (sezz. 2-3)

$$A_3 \cdot \overline{Y}_3 + \beta_3 \cdot \frac{Q_3^2}{g \cdot A_3} = A_2 \cdot \overline{Y}_2 + \beta_2 \cdot \frac{Q_2^2}{g \cdot A_2} + F_f - W_x$$

3- tratto compreso tra le sezioni di monte *sul* ponte e a monte *del* ponte (sezz. 3-4)

$$A_4 \cdot \overline{Y}_4 + \beta_4 \cdot \frac{Q_4^2}{g \cdot A_4} = A_3 \cdot \overline{Y}_3 + \beta_3 \cdot \frac{Q_3^2}{g \cdot A_3} + A_{p4} \cdot \overline{Y}_{p4} + \frac{1}{2} \cdot C_D \cdot \frac{A_{p4} \cdot Q_4^2}{g \cdot A_4^2} + F_f - W_x$$

dove (il pedice i indica la generica *i*-esima sezione):

A_i superficie attiva [m^2]
A_{pi} superficie di ostruzione delle pile [m^2]
Y_i distanza verticale tra il pelo libero ed il baricentro della A_i [m]
Y_{pi} distanza verticale tra il pelo libero ed il baricentro della A_{pi} [m]

β_i coefficiente riduttore della quantità di moto (1.00÷1.05) []
Q_i portata [m^3/s]
g accelerazione di gravità [m/s^2]
F_f termine dovuto alla forza di attrito sul perimetro bagnato [m^3]
W_x termine dovuto al peso dell'acqua nella direzione del flusso [m^3]
CD coefficiente di resistenza al moto delle pile []

3.1.1.6 Tombini

Analogamente ai ponti il deflusso attraverso i tratti tombati può avvenire a pelo libero, in pressione, a stramazzo per sormonto dell'impalcato o in condizioni ibride tra le precedenti. Il tipo di deflusso può essere imposto dalle condizioni di valle (*outlet control*) o dalle condizioni di monte (*inlet control*). Nei due diversi casi vengono adottate differenti equazioni. Per caratterizzare il tratto tombato vengono definite 4 sezioni che sono posizionate come indicato in Fig. 10. La sezione trasversale del tombino, definita tramite forma e dimensioni principali (*H, L*), è costante su tutta la lunghezza.

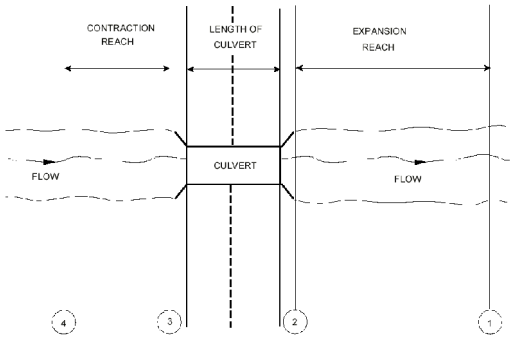


Fig. 10. *Schema della discretizzazione longitudinale nell'intorno di un tombino (culvert).*

Inlet control

Quando il deflusso è regolato dal tirante idrico nei pressi della sezione di ingresso, il tombino viene schematizzato o come una luce a stramazzo (quando la sezione di ingresso non è sommersa) o come luce a battente (quando la sezione di ingresso non è sommersa).

Le equazione utilizzate nei due casi sono le seguenti:

1 - ingresso non sommerso

$$\frac{HW_i}{D} = K\left(\frac{Q}{AD^{0.5}}\right)^M$$

2 - ingresso sommerso

$$\frac{HW_i}{D} = c\left(\frac{Q}{AD^{0.5}}\right)^2 + Y - 0.5S$$

dove

HW_i battente sulla sezione d'ingresso del tombino [m];
D altezza della sezione interna del tombino [m];
H_c carico totale in corrispondenza dell'altezza critica [m];
Q portata [m^3/s]
A area della sezione trasversale del tombino [m^2];
S pendenza del tombino [m/m];
K, M, c, Y costanti dipendenti dalla forma del tombino e della sezione di ingresso.

Outlet control

Quando il deflusso è regolato dal tirante idrico nei pressi della sezione di uscita, il programma utilizza l'equazione di bilancio energetico fra la sezione di monte del tombino (sezione 3) e la sezione di valle (sezione 2) di Fig. 10.

3.1.1.7 Settaggi principali

I principali parametri liberi del metodo di risoluzione delle equazioni di moto e continuità sono descritti di seguito, mentre i valori adottati sono riportati in Tab. 9.

– θ, m [0.6÷1.0], [1÷128]: pesi di smorzamento dei fattori inerziali nella risoluzione alle differenze finite delle equazioni del moto vario

- *water surface calculation tolerance* [10^{-3}÷10^{-1} m]: limite di convergenza del metodo iterativo di soluzione delle equazioni di moto vario, sul pelo libero

– Δt [10^{0}÷10^{3} s]: intervallo temporale di calcolo

- *weir flow submergence decay exponent* [1÷3]: utilizzato per stabilizzare la soluzione numerica in corrispondenza di stramazzi il cui deflusso avviene in condizioni rigurgitate, allorché si possono verificare delle oscillazioni divergenti. Il parametro è un fattore amplificatore della legge base di smorzamento.

Tab. 9. Valori adottati per i principali parametri di calcolo.

F_r [ ]	m [ ]	θ [ ]	W.S. c.t. [m]	Q c.t. [m^3/s]	Δt [s]	W.F. s.d.e. [m]
1.0	**16**	**1.0**	**0.01**	--	**10**	1

3.1.2 Definizione della geometria

I **rilievi** delle sezioni idrografiche e dei principali manufatti risalgono a:

- F.so della Bocca di Cane: *Marzi*, 2005 [MARZ_2005][17], *Marzi*, 2009 [MARZ_2009] e *Area Tecnica Gestione del Territorio del Comune di Siena*, 2010 [CoSI_2010][18]
- B.ro del Casino: *Lunghi*, 2008 [LUNG_2008] e 2010 [LUNG_2010][19]
- F.so Riluogo: Studio Tecnico *Bondi-Sili-Bellavista*, 2004[20] utiliizzato in *Lombardi* [*op. cit.*, 2008-2009] [SILI_2004][21]

Le *sezioni* introdotte nel modello idraulico sono derivate essenzialmente dai suddetti rilievi celerimetrici a terra, solo localmente estese da C.T.R. 1:2.000. Tutti i rilievi sono stati eseguiti con metodologia mista tradizionale e GPS.

Per il B.ro del Casino è stato appositamente integrato un rilievo già effettuato da parte del medesimo *Autore* [LUNG_2008] nel 2008 per conto della *Provincia di Siena* e parzialmente utilizzato in iIDeA_2008. La coerenza con la georeferenziazione altimetrica alla base degli studi sul T. Arbia [iIDeA_2005 e iIDeA_2008] è dunque essenzialmente già stata verificata. Si è comunque proceduto anche qui alle speditive verifiche di coerenza sinteticamente descritte nel paragrafo successivo.

Per quanto invece riguarda il F.so della Bocca di Cane, le metodiche di verifica di coerenza relativa -e con le C.T.R. 1.10.000 e 1:2.000- e di omogeneizzazione dei diversi rilievi susseguitisi nel tempo (T. Riluogo, area di impianto *Nuova Strada*) sono sinteticamente descritte nel *§* 3.1.2.1 della *Relazione Idrologico-Idraulica*, Elab. 3.1 di NSRA_2009, riportato per semplicità di lettura nel paragrafo successivo. L'ulteriore estensione di rilievo resasi necessaria per coprire l'intero tratto idrografico le cui esondazioni potessero potenzialmente afferire l'ATI7, è stata direttamente curata ed eseguita internamente dal *Comune di Siena* (2010). Data la morfologia dei luoghi, per la quale la corrente di piena rimane contenuta nella incisione valliva, le finalità [speditive] dello studio e la garanzia di conformità resa dal *Comune*, non si è ritenuto qui necessario operare ulteriori verifiche di coerenza.

I *ponti* sono stati modellati in *high flow* secondo lo schema *pressure and weir* –se non aggirati-, altrimenti con il metodo dell'energia. Per *traverse e soglie sfioranti* sono stati adottati coefficienti di stramazzo variabili (di "taratura") tra **1.44** e 1.71 $m^{1/2}/s$ (μ=0.385÷0.325), con curva *standard* di riduzione dell'efficienza di deflusso per sommergenza.

[17]Primo rilievo più specificatamente finalizzato alla progettazione definitivo-esecutiva della *Nuova Strada* [NSRA_2009].

[18]Estensione speditiva verso monte del rilievo di *Marzi*, 2009.

[19]Incarico della Provincia di Siena, coordinato con il Comune di Siena.

[20]Incarico del Comune di Siena.

[21]Qui richiamato per sola comodità di lettura.

3.1.2.1 Verifiche di coerenza tra rilievi e stima dei differenziali altimetrici correttivi

3.1.2.1.1 B.ro del Casino

L'ulteriore analisi speditiva (a campione) di confronto tra `LUNGH_2010` e `Lidar` ha sostanzialmente confermato la congruenza tra i 2 rilievi già asserita in `iIDeA_2008`, con scostamenti medi inferiori a 0.10 *m*. Ovviamente meno robusto il quadro di raffronto con la `C.T.R._2000`, che sembra tuttavia evidenziare scostamenti significativi (0.30-0.50 *m*), non sistematici. Purtuttavia, essendo il tracciamento delle aree singolarmente allagabili dal B.ro del Casino essenzialmente avvenuto su rilievo, tali scostamenti nel caso specifico non rilevano.

Ad analoga conclusione di giunge anche in riferimento agli interventi di progetto, le cui quote vanno intese coerenti con quelle di `iIDeA_2008`.

3.1.2.1.2 F.so della Bocca di Cane

La realizzazione da parte del medesimo professionista [*Marzi*] dei 2 rilievi relativi alla geometria di stato attuale della fascia di territorio oggetto di progettazione della *Nuova Strada* e delle successive sezioni integrative relative ai F.si della Bocca di Cane e della Valle dell'Aia, ha permesso di ottenere intrinseca congruenza tra il sistema di riferimento alla base della progettazione stradale e quello delle verifiche idrauliche integrative[22].

Al fine di verificare la coerenza tra i rilievi `MARZ_2005/2009` e `SILI_2004` nella campagna di rilievo 2009 sono stati ribattuti alcuni punti ragionevolmente certi (chiodi, caposaldi, manufatti) già quotati da `SILI_2004`, riportati in Fig. 11 e Tab. 10 (evidenziati quelli di più certa identificazione).

Tab. 10. *Confronto tra quote* [m.s.l.m.] *rilevate da* `MARZ_2009` *e* `SILI_2004` *in alcuni punti di sovrapposizione.*

	CAP01 CHIODO	**CAP03** TERMINE FF.S.	**31**	**45**	**46**	**47**	**90**	**A700** CAP. ABRO[23]
MARZ_2009	177.31	176.84	177.40	177.89	177.53	177.07	190.54	196.82
SILI_2004	177.77	177.25	177.81	178.37	177.96	177.51	190.94	197.20

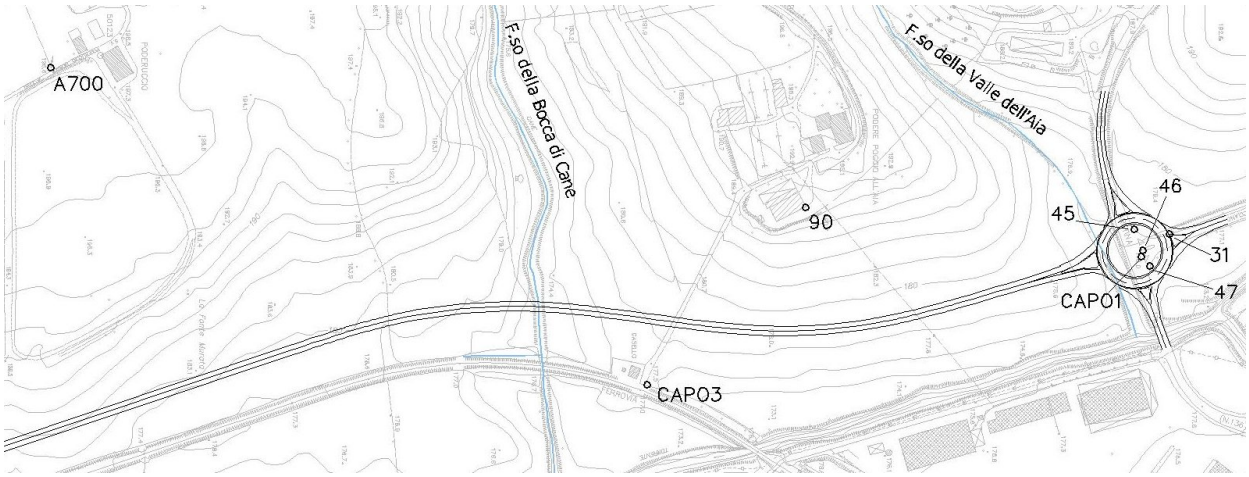


Fig. 11. *Planimetria dei punti celerimetrici di confronto altimetrico* `MARZ_2009` *e* `SILI_2004`.

[22]Il rilievo 2005 è stato infatti riprocessato insieme a quello 2005 dallo stesso *Autore* e riconsegnato integralmente.
[23]Caposaldo CS 408 del 07/2002 dell'*Autorità di Bacino Regionale del F. Ombrone*.

Da tale raffronto si deriva con affidabilità sufficiente agli scopi in oggetto un differenziale altimetrico sostanzialmente costante intorno ai 40÷45 *cm* (max/min/med=0.48/0.38/0.43 *m*). In considerazione dello scarto rilevato sui punti di maggiore certezza -il chiodo CAPO1, il termine FF.S. CAPO3 ed il caposaldo A.b.R.O. A700 (Fig. 12)- si assume Δh**=-0.40** ***m***, *i.e.* MARZ_2005/2009=SILI_2004-0.40 *m*, adottando qui quale riferimento unico la **georeferenziazione Marzi**. Sempre in via speditiva, da analogo confronto con la C.T.R. 1:2.000 si è convenuto per un identico differenziale correttivo (sostanziale coerenza con SILI_2004).

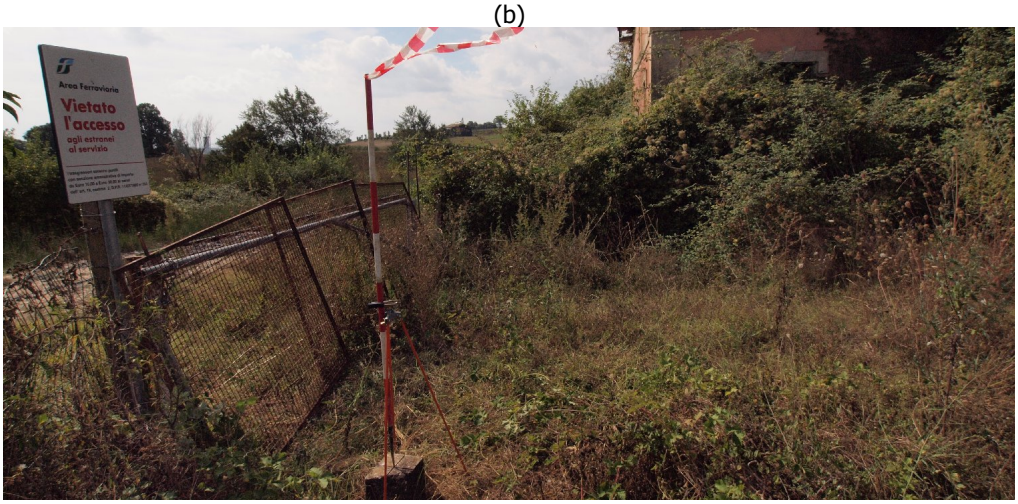
Il successivo rilievo integrativo CoSI_2010 è stato invece assunto tal quale[24].

Dunque, le quote in *m* s.l.m. cui si farà d'ora in avanti riferimento sono le medesime già utilizzate in NSRA_2009 (ovvero coerenti con quelle riportate negli elaborati progettuali della *Nuova Strada*) e vanno intese rigidamente traslate di -0.40 *m* rispetto a quelle di *Lombardi, Sili et al.* e C.T.R. 1:2.000.

Qualora si volesse invece omogeneizzarsi al sistema di riferimento altimetrico dei modelli idraulici originari del T. Riluogo [*Lombardi*, *op.cit.*] e della C.T.R. 1:2.000, le quote del modello del F.so della Bocca di Cane vanno traslate di +0.40 *m* (ferme restando ovviamente le aree allagabili). Per completezza e chiarezza, tra gli elaborati digitali verranno inclusi i modelli idraulici in entrambe le georeferenziazioni.

(a)

(b)



[24] In ogni caso, vista la morfologia dei luoghi, eventuali differenzialii altimetrici tra rilievi di qualche decimetro risulterebbero del tutto insignificanti ai fini delle perimetrazioni delle aree allagabili.

(c)

Fig. 12*. Principali caposaldi di verifica di coerenza tra rilievi* Marzi (2005-2009) *e* Sili et al. (2004): (a) CAPO1 incrocio via di Ribucciano, (b) CAPO3-termine FF.S. in loc. Casello, (c) A700-CS 408 in loc. Poderuccio*.*

3.1.2.2 B.ro del Casino [BOCSN]

Stato Attuale

Il modello geometrico BOCSN di stato attuale (**SA**) comprende il solo corso d'acqua *B.ro del Casino* nel tratto di *ca.* 0.70 *km* dalla confluenza nel T. Arbia a Taverne d'Arbia, definito da n. 26 sezioni e n. 5 manufatti di attraversamento rilevati [LUNG_2010], per un totale di *ca.* 120 sezioni tra rilevate, ricostruite ed interpolate (Fig. 13)**.** La **scabrezza** in termini di *Manning* uniformemente adottata è **0.060** $s/m^{1/3}$, anche per i tombini, considerato lo scarso livello di manutenzione riscontrato (Fig. 14).

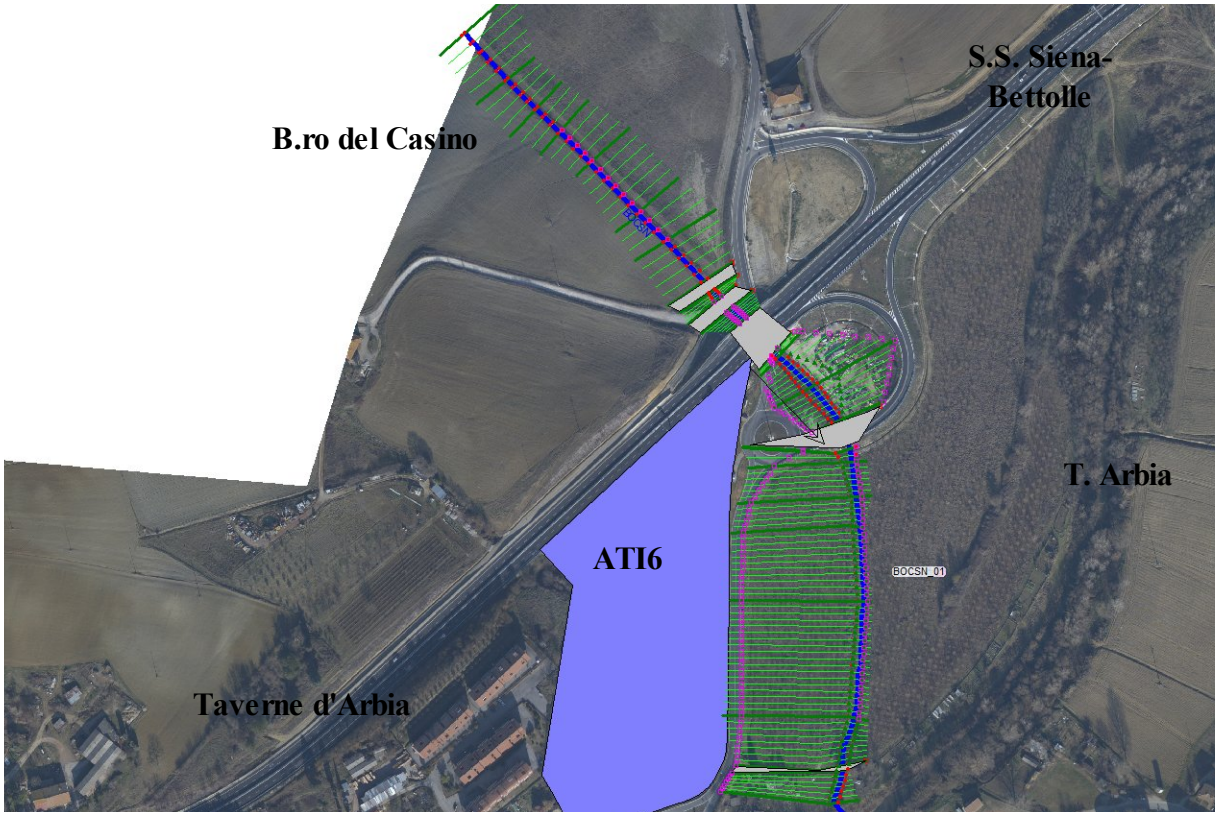


Fig. 13. *Schema planimetrico del modello idraulico* **BOCSN** *di* **SA** *a Taverne d'Arbia* (evidenziate le sezioni rilevate e l'ATI6).

Fig. 14. *Tratto a cielo aperto tra i tombini della S.C. di Presciano e del sottopasso della S.S. Siena-Bettolle* (vista da valle).

Stato di Progetto

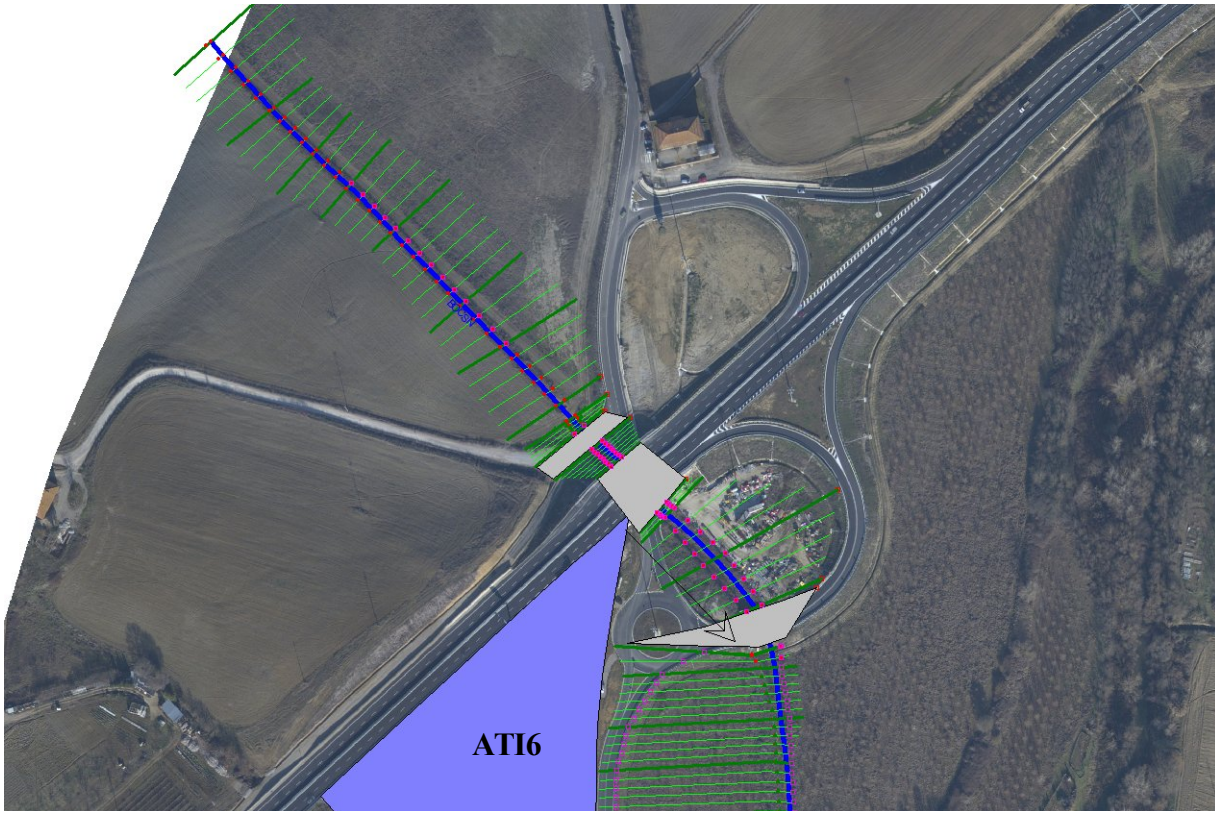


Fig. 15. *Schema planimetrico del modello idraulico* **BOCSN** *di* **SP** *a Taverne d'Arbia nel tratto fuori golena del T. Arbia* (evidenziate le sezioni rilevate e l'ATI6).

Il modello geometrico BOCSN di stato di progetto (**SP**) modifica quello di stato attuale per il solo adeguamento dei contenimenti (spallette, arginature) a monte dell'area golenale del T. Arbia e la eliminazione del guado a monte della S.C. di Sant'Ersilia. Altri interventi minori di progetto (*clapet*, regimazioni di strada, ..) non sono state esplicitamente modellate. Analogamente, la geometria di progetto assume in via speditiva condizioni cautelative nella modellazione dei contenimenti, senza introdurre geometrie arginali di dettaglio, ovviamente rimandate alla successiva fase progettuale. Il tratto a valle dello svincolo della S.S. Siena-Bettolle non viene modificato data la ininfluenza ai fini in oggetto e la assoluta dominanza idraulica delle piene del T. Arbia.

La scabrezza in termini di *Manning* adottata per i tombini è, nello stato di progetto, **0.025 s/m$^{1/3}$**, con ciò significando la inclusione a pieno titolo, tra gli interventi mitigatori, della manutenzione ordinaria e straordinaria.

Per i dettagli si rimanda alle tavole grafiche ed agli allegati numerici.

3.1.2.3 F.so della Bocca di Cane [FOBDC]

Stato Attuale

Il modello geometrico FOBDC di stato attuale (SA) comprende il solo corso d'acqua *F.so della Bocca di Cane* nel tratto di *ca.* 1.1 *km* dalla confluenza nel F.so Riluogo alla loc. Colombaio, definito da n. 22 sezioni e n. 3 manufatti di attraversamento rilevati [MARZ_2009 e CoSI_2010], per un totale di *ca.* 100 sezioni tra rilevate, ricostruite ed interpolate (Fig. 16)**.**

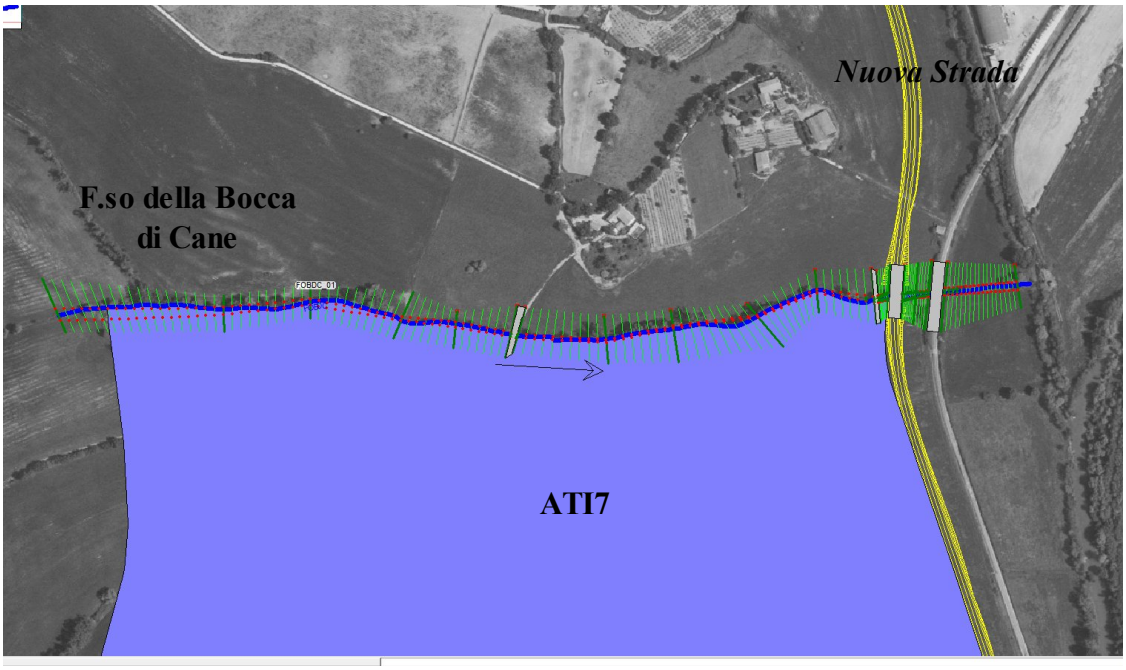


Fig. 16. *Schema planimetrico del modello idraulico* **FOBDC** *di* **SA** *iin loc. Colombaio analizzato in moto permanente* (evidenziate le sezioni rilevate, in giallo il tracciato di progetto della *Nuova Strada*, FF.S. Siena-Buonconvento-Monte Antico e confluenza F.so Riluogo-T. Arbia sulla dx).

Esso include anche la *Nuova Strada*, attualmente già in avanzata fase di realizzazione[25].
La scabrezza in termini di *Manning* uniformemente adottata è **0.060 *s/m*$^{1/3}$**.

Stato di Progetto

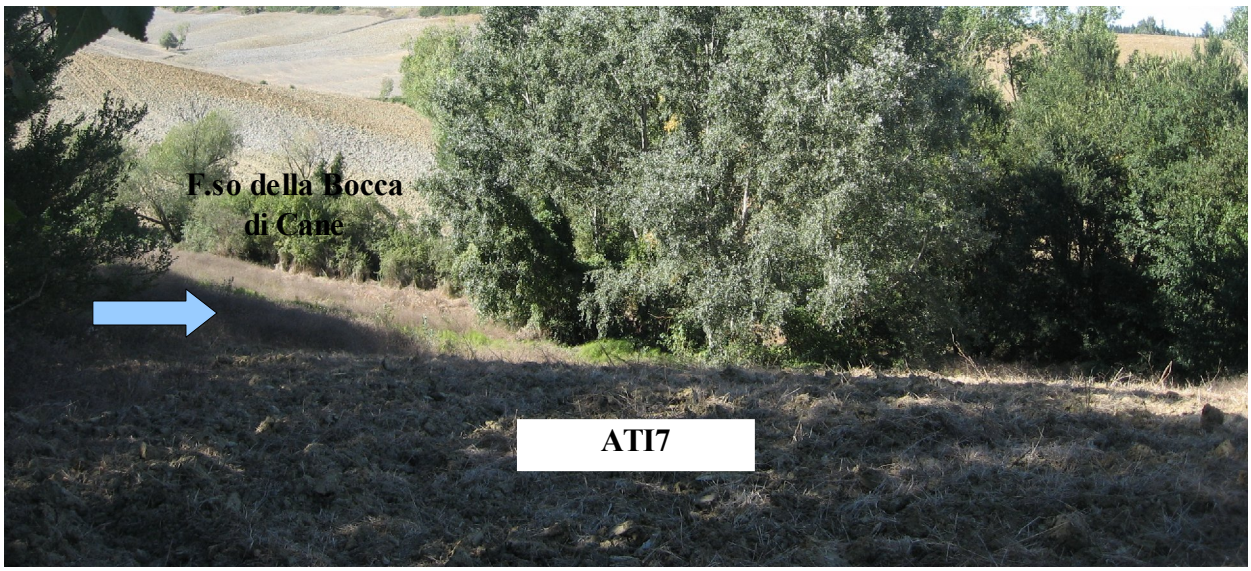


Fig. 17. *Vista esemplificativa da* ATI7 *verso il F.so della Bocca di Cane* (estremità di monte).

Non è stato implementato alcun modello geometrico FOBDC di stato di progetto, data la sufficienza ai fini in oggetto della previsione di una normale fascia di rispetto fluviale da interporre tra corso d'acqua

[25]Dunque, a meno dell'estensione verso monte del tratto analizzato, coincide con l'allora SP di NSRA_2009.

ed ATI7, tale da porre quest'ultimo fuori dalle aree allagabili con sufficiente margine di sicurezza in virtù della tipica morfologia collinare con valle idrografica ben confinata ed incisa (Fig. 17) (*vd.* avanti).

Per tutti i dettagli idraulici inerenti lo stato modificato conseguente alla realizzazione della *Nuova Strada* si rimanda direttamente agli elaborati originali di NSRA_2009.

3.1.3 Condizioni al contorno

Per il *B.ro del Casino* le condizioni di valle sono condizionate dal regime di deflusso del T. Arbia. I 300 m terminali del borro risiedono entro l'area golenale del torrente, in condizioni parzialmente/totalmente rigurgitate per T_r=30/200 *anni*. D'altra parte, ai fini in oggetto nulla rileva la autonoma dinamica del B.ro del Casino nel tratto golenale in assenza di piena del T. Arbia, essendo sempre quest'ultima a dominare in termini di pericolosità. Per tale motivo, quali condizioni di valle sono state assunti i livelli del T. Arbia già stimati in iIDeA_2005 direttamente alla sezione di sbocco del tombino sul ramo di svincolo della S.S. Siena-Bettolle (anzichè porli alla sezione di confluenza nel T. Arbia con contestuale connessione idraulica tramite "sfioratori arginali").

Cautelativamente, per il tracciamento delle aree allagabili sono stati assunte c.c. di valle di tempo di ritorno paritetico (piene di borro e torrente concomitanti), mentre per lo stato di progetto - T_r=200 *anni*- si sono determinati gli elementi protettivi con franco +1.0 *m* con c.c. 30 *anni*, posto il contenimento anche dello scenario con c.c. 200-*ennali* sul T. Arbia e tenendo conto di quanto già determinato in iIDeA_2008. In definitiva:

- ***B.ro del Casino*** alla sezione RS 299.38-S17-17/10, nello SA, 181.78/182.73 *m* s.l.m., rispettivamente per T_r=30/200 *anni* e, nello SP, 181.88 (condizione di valle 30-ennale sul T. Arbia nello stato modificato di progetto di cui in iIDeA_2008) /182.83 (*idem* per T_r=200 *anni*) *m* s.l.m., per i due scenari 200-*ennali*.

Quali condizioni al contorno di monte sono stati assunti gli idrogrammi di massimo cimento, corrispondenti a piogge uniformemente distribuite di durata 1.5 *h*, identici in SA e SP.

Per il *F.so della Bocca di Cane* -analizzato in regime di moto permanente- quali condizioni al contorno sono state imposte, a monte, le condizioni critiche, mentre a valle si sono cautelativamente assunti i massimi livelli di pari tempo di ritorno stimati nel F.so Riluogo da *Lombardi* [*op. cit.*, 2008-2009], *i.e.*:

- ***F.so della Bocca di Cane*** alla confluenza nel F.so Riluogo, RS 200 di tratto RIL02 di *Lombardi*: 172.33/172.33/172.96[26] *m* s.l.m., rispettivamente per T_r=20/30/200 *anni*.

3.2 VERIFICHE DI STATO ATTUALE

Le verifiche di stato attuale sono finalizzate alla determinazione della pericolosità idraulica ai sensi del D.P.G.R. n. 26/R/2007 (Tr_20, I.4 e I.3) e del P.A.I. (P.I.M.E. e P.I.E.) ed alla successiva definizione delle misure di mitigazione necessarie a definire la fattibilità ai fini idraulici per ATI6 e ATI7.

3.2.1 Il B.ro del Casino

Il B.ro del Casino nel tratto di approccio ai tombini di sottopasso stradale in prossimità della S.S. Siena-Bettolle scorre entro un alveo non profondamente inciso e già antropizzato con andamento pressochè rettilineo e deboli rilevati arginali (Fig. 18).

[26] Scenario Max Portata Arbia. *Idem.*

Fig. 18*. B.ro del Casino nel tratto a monte della S.C. di Presciano e Sant'Ersilia. In primo piano il guado di* RS 460.83 *in Tubosider. Immissione fognaria meteorica sulla dx. Vista da valle.*

Il tratto successivo è caratterizzato da totale manomissione antropica, con una prima parte recentemente tombata a tratti con la realizzazione dello svincolo della Siena-Bettolle (Fig. 19) ed una seconda terminale in area golenale del T. Arbia, arginato con discontinuità.

(*a*)

(*b*)

(*c*)

(*d*)

(*e*)

(*f*)

Fig. 19. *B.ro del Casino* (a) *all'attraversamento della S.C. di Sant'Ersilia (vista da monte),* (b) *e* (c) *tra la S.C. ed il sottopasso della S.S. Siena-Bettolle (viste da valle),* (d) *e* (e) *all'uscita ed a valle dal sottopasso,* (f) *all'ultimo attraversamento del ramo di svincolo S.S. (vista da monte).*

Fig. 20. *B.ro del Casino a valle dello svincolo della S.S. Siena-Bettolle. Manufatto di* RS 60.57.

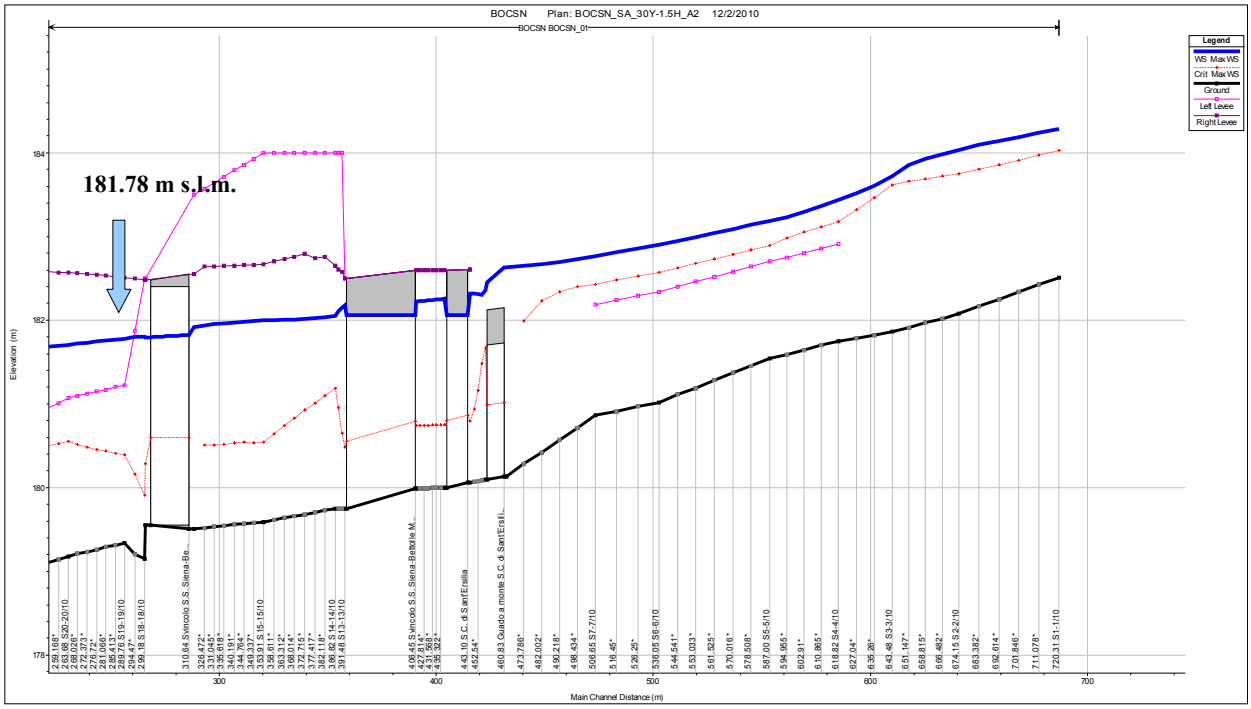
I tombini di attraversamento dello svincolo sono di recente realizzazione, variamente conformati e di incerta manutenibilità (Fig. 21). In essi recapitano anche acque meteoriche di drenaggio stradale (Fig. 22).

L'idraulica del B.ro è fortemente condizionata dai livelli del T. Arbia. Per T_r=200 *anni* il tratto rigurgitato si estende a monte sin'oltre l'intero tratto tombato di svincolo stradale, mentre per piene 30-*ennali* del T. Arbia, il maggiore condizionamento si limita alla parte arginata più valliva, dominando più a monte il controllo dei tombini (Fig. 23 e Fig. 24).

Fig. 21. *B.ro del Casino allo svincolo della S.S. Siena-Bettolle. Manufatti di* RS 443.10, 406.45 *e* 310.64 [LUNG_2010].

Fig. 22. *B.ro del Casino allo svincolo della S.S. Siena-Bettolle. Particolari di immissioni acque fognarie ai manufatti di* RS 443.10 *e* 406.45 [LUNG_2010].

(a)



(b)

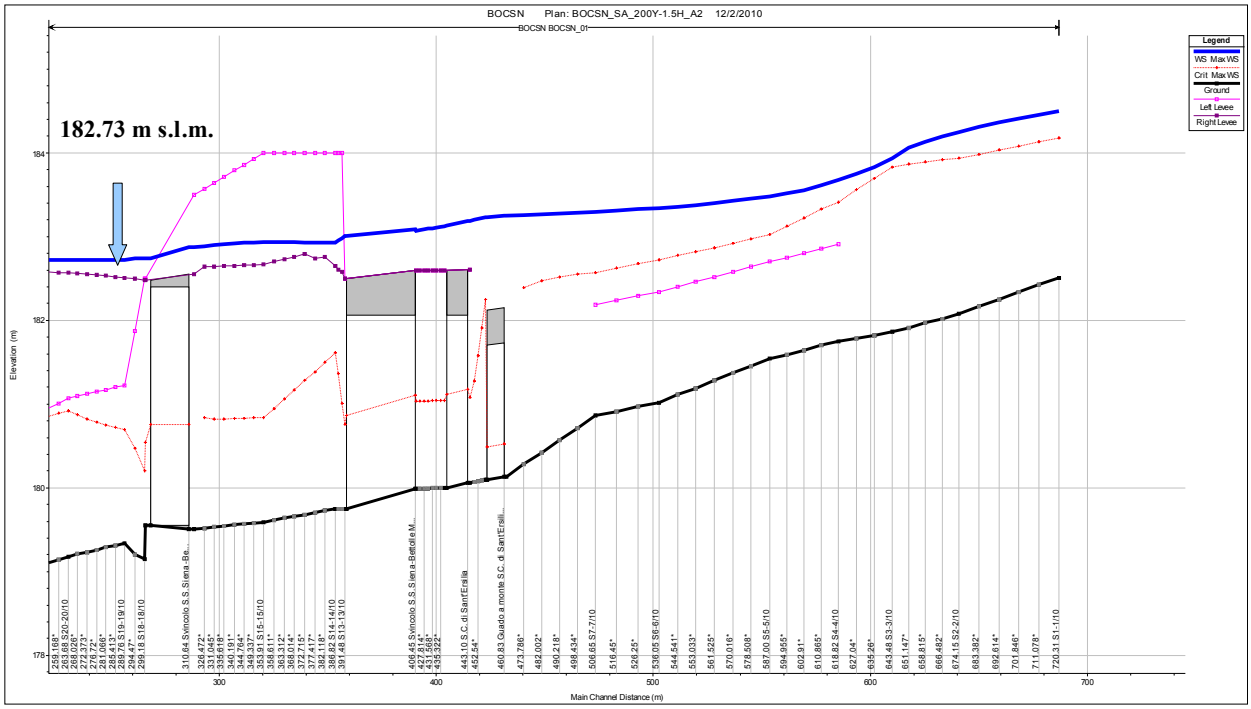


Fig. 23. *Profili di rigurgito del B.ro del Casino nel tratto fuori area golenale del T. Arbia.* (a) *piena 30-ennale del B.ro e condizione di valle pari al massimo livello 30-ennale del T. Arbia* (da `iIDeA_2005`) *e* (b) idem *per T_r=200 anni*.

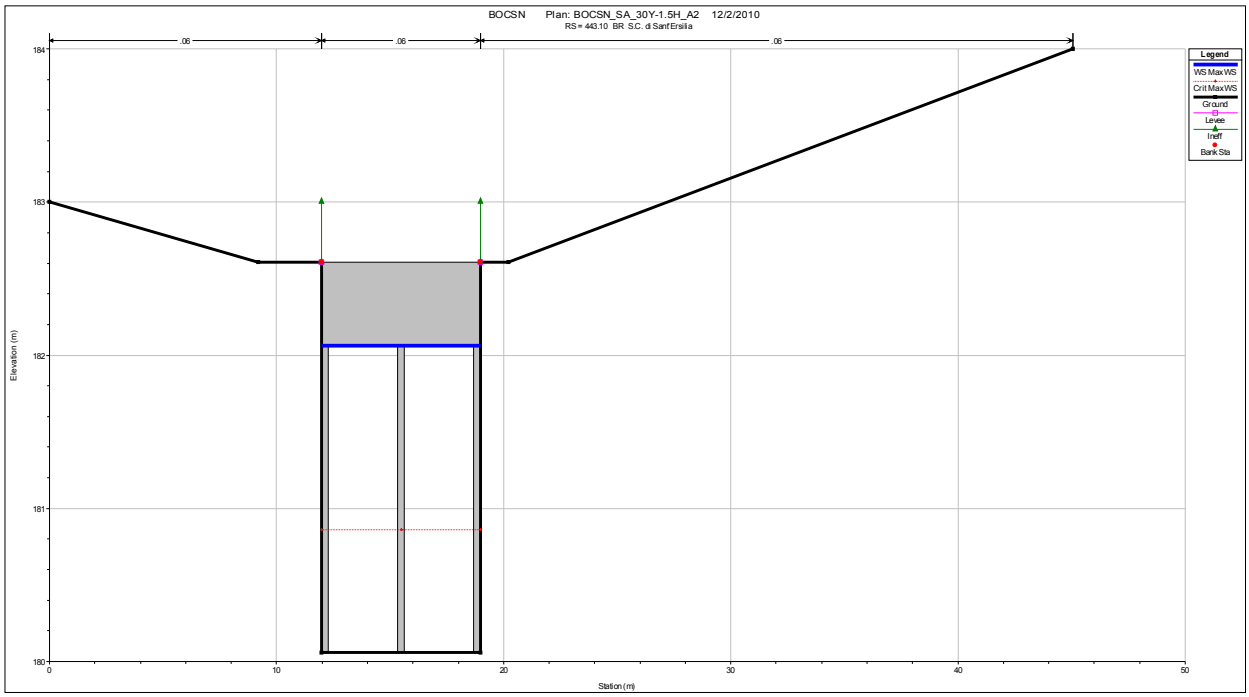


Fig. 24. *Sezione* `RS 443.10`*: max WS 30-ennale*.

Pur andando in pressione i tombini di sottopasso della S.S., non si stimano esondazioni del borro sui piani stradali per ***T_r=[20≡]30 anni***, limitandosi queste alle sole aree agricole di monte, a parte dell'area di cantiere interclusa nello svincolo ed al tratto in golena (Fig. 25).

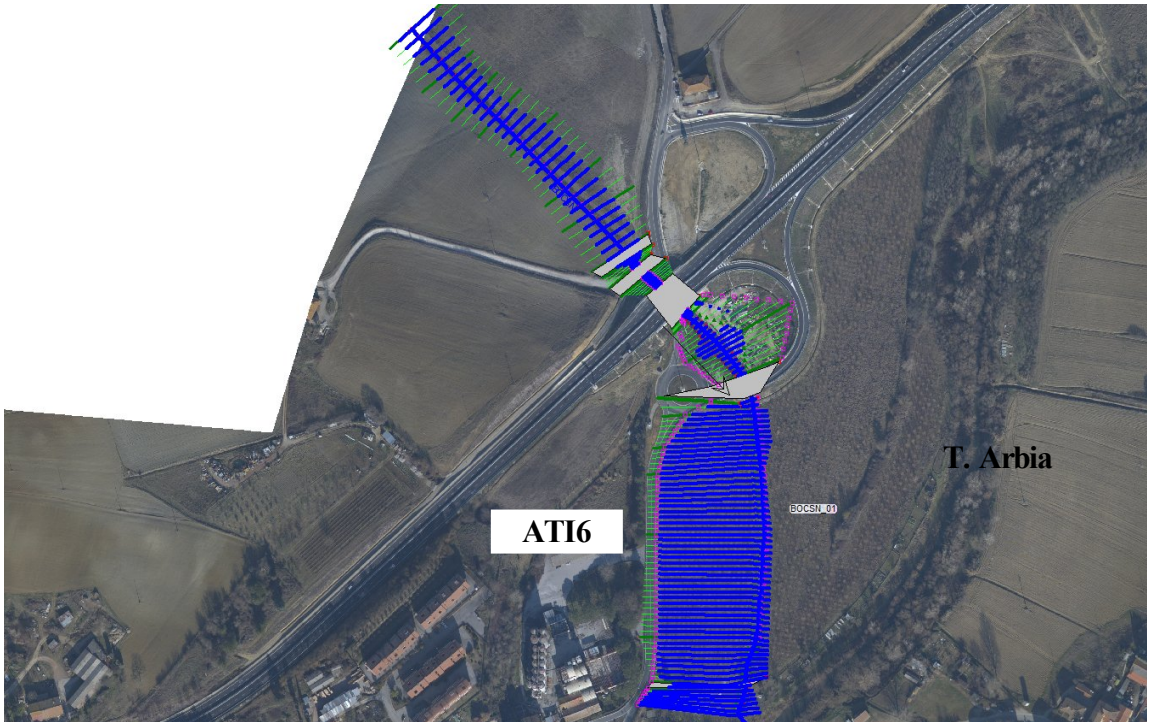


Fig. 25. *Planimetria schematica del fronte di piena 30-ennale del B.ro del Casino.*

Per T_r**=200** ***anni***, con condizione di valle sul T. Arbia di pari tempo di ritorno (*hp.* cautelativa), la cinematica di esondazione del B.ro del Casino si integra con quella propria del T. Arbia, determinando sia allagamenti diretti che indiretti per *by-pass* di rigurgiti del T. Arbia.

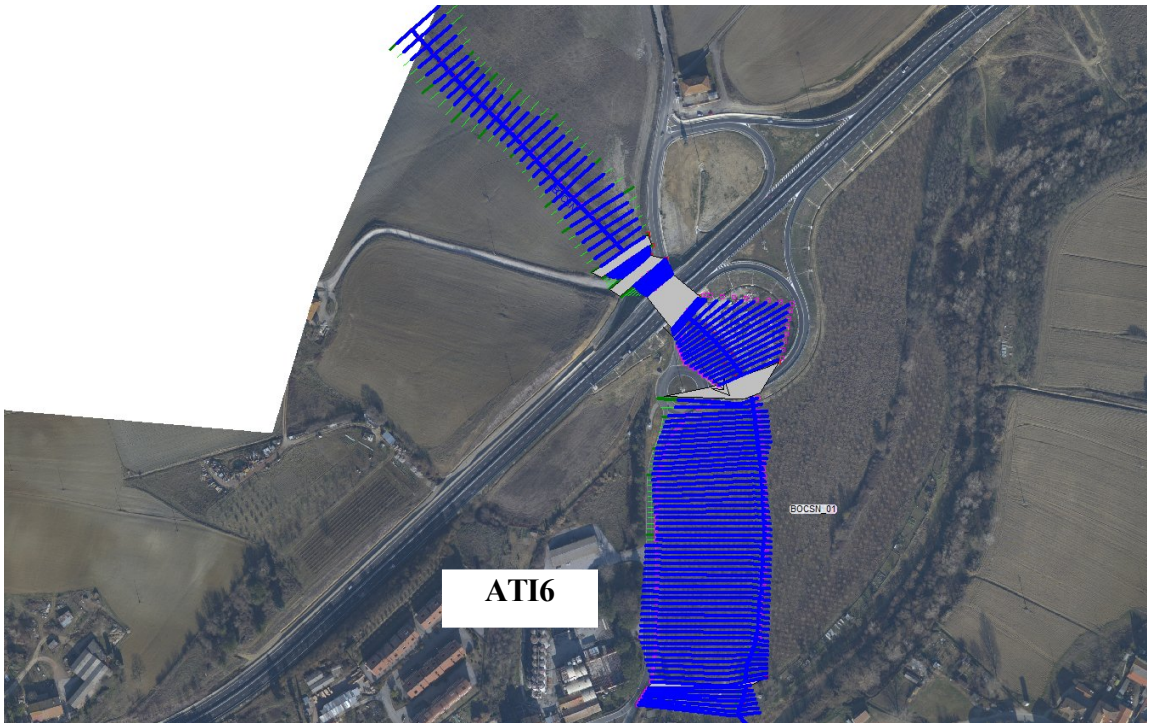


Fig. 26. *Planimetria schematica del fronte di piena 200-ennale del B.ro del Casino.*

Il fronte di piena ovviamente cresce, interessando anche il piano stradale di svincolo della S.S., con contestuale sormonto da parte del T. Arbia della S.C. di Presciano ed allagamento anche di ATI6 [*cfr.* iIDeA_2005 e iIDeA_2008][27] (Fig. 26).

Il primo tombino stradale all'interfaccia con l'area agricola viene sormontato e le acque esondate giungono ad allagare parzialmente la rotatoria lato Taverne (Fig. 27), con tuttavia scarsa possibilità di interessare direttamente la S.C. di Presciano e quindi ATI6 (Fig. 28) e tendenza a rientrare tra i deflussi di golena (Fig. 29). Anche il tratto a cielo aperto adiacente l'incrocio di svincolo viene tracimato, sia in *dx* che *sx.* I massimi battenti idrici temibili sul piano stradale sono 0.50÷0.60 *m*.

Fig. 27. *Sottopasso della S.S. Siena-Bettolle a Taverne d'Arbia. Schema della cinematica di allagamento del B.ro del Casino per T_r=200 anni.*

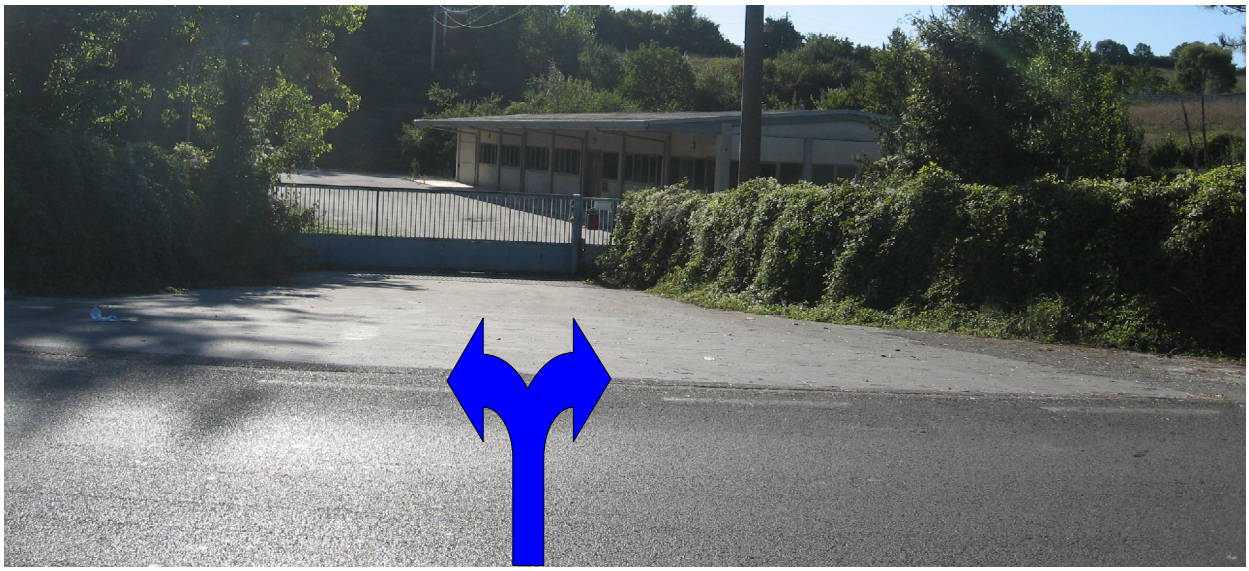


Fig. 28. *Vista dell'*ATI6 *dalla S.C. di Presciano. Allagamento per tracimazione sulla S.C. (area golenale del T. Arbia*

[27]Rispetto a iIDeA_2005 si prende atto della nel frattempo intervenuta realizzazione dello svincolo che, causa rilevato, determina una lieve variazione dei perimetri allagabili dal T. Arbia.

sul lato opposto).

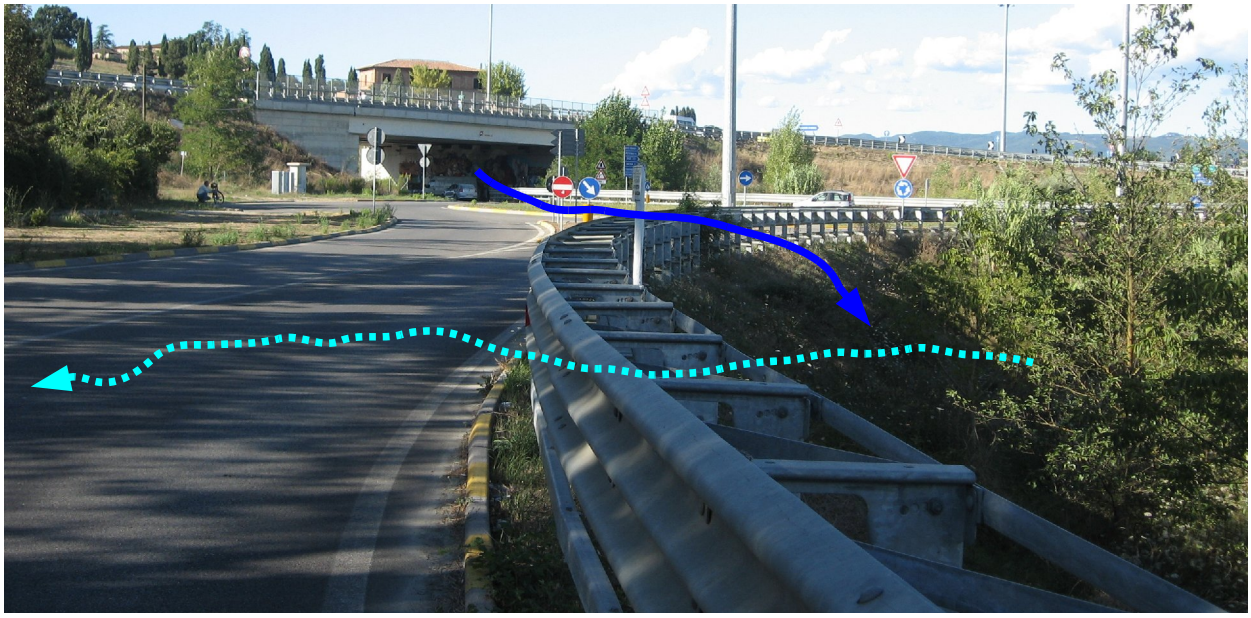


Fig. 29. *Incrocio sullo svincolo della S.S. Siena-Bettolle visto dalla S.C. di Presciano lato Taverne d'Arbia. Schema della cinematica di allagamento del B.ro del Casino e del T. Arbia (in dx, non visibile) per T_r=200 anni.* ATI6 *in sx strada (non visibile).*

Eventuali fenomeni ostruttivi possono indurre maggiori volumi in esondazione, ma senza sostanziali variazioni nella cinematica attesa.

Ulteriori e marginali elementi di pericolosità per l'ATI6 e/o, più in generale, per la sede stradale e quartieri diversi di Taverne d'Arbia sono costituiti da potenziali allagamenti indiretti per rigurgito delle condotte di scarico, attualmente prive di valvole di ritegno.

Infine, va anche segnalata la presenza del c.d. F.so di Sant'Ersilia (Fig. 30) del quale, pur non ricompreso tra i corsi d'acqua di riferimento del P.A.I., ne andrà verificata, in fase attuativa, la regimazione data la collocazione entro l'ATI6 e la particolarmente sfavorevole giacitura (soggiacenza) della stessa.

Fig. 30. *Schema planimetrico interpretativo della topologia di deflusso del c.d. F.so di Sant'Ersilia* [LUNG_2010].

Per ogni dettaglio grafico-numerico si rimanda all'*All.* A, alle specifiche tavole ed agli elaborati digitali.

3.2.2 Il F.so della Bocca di Cane

Le caratteristiche fluvio-morfologiche del F.so della Bocca di Cane quelle tipiche dei rilievi collinari pliocenici con fascia riparia vegetazionalmente consolidata e strutturata di tipo arboreo, seppur in maniera discontinua (Fig. 31). Trattasi infatti di alveo inciso nelle proprie alluvioni, con impluvio capace di contenere le correnti di piena anche rare (a monte della FF.S.), con fronti di larghezza limitata, che nel caso specifico non supera i 50 *m* di ampiezza nello scenario 200-*ennale* (Fig. 32).

Fig. 31. *Vegetazione riparia del F.so della Bocca di Cane nel tratto di studio.*

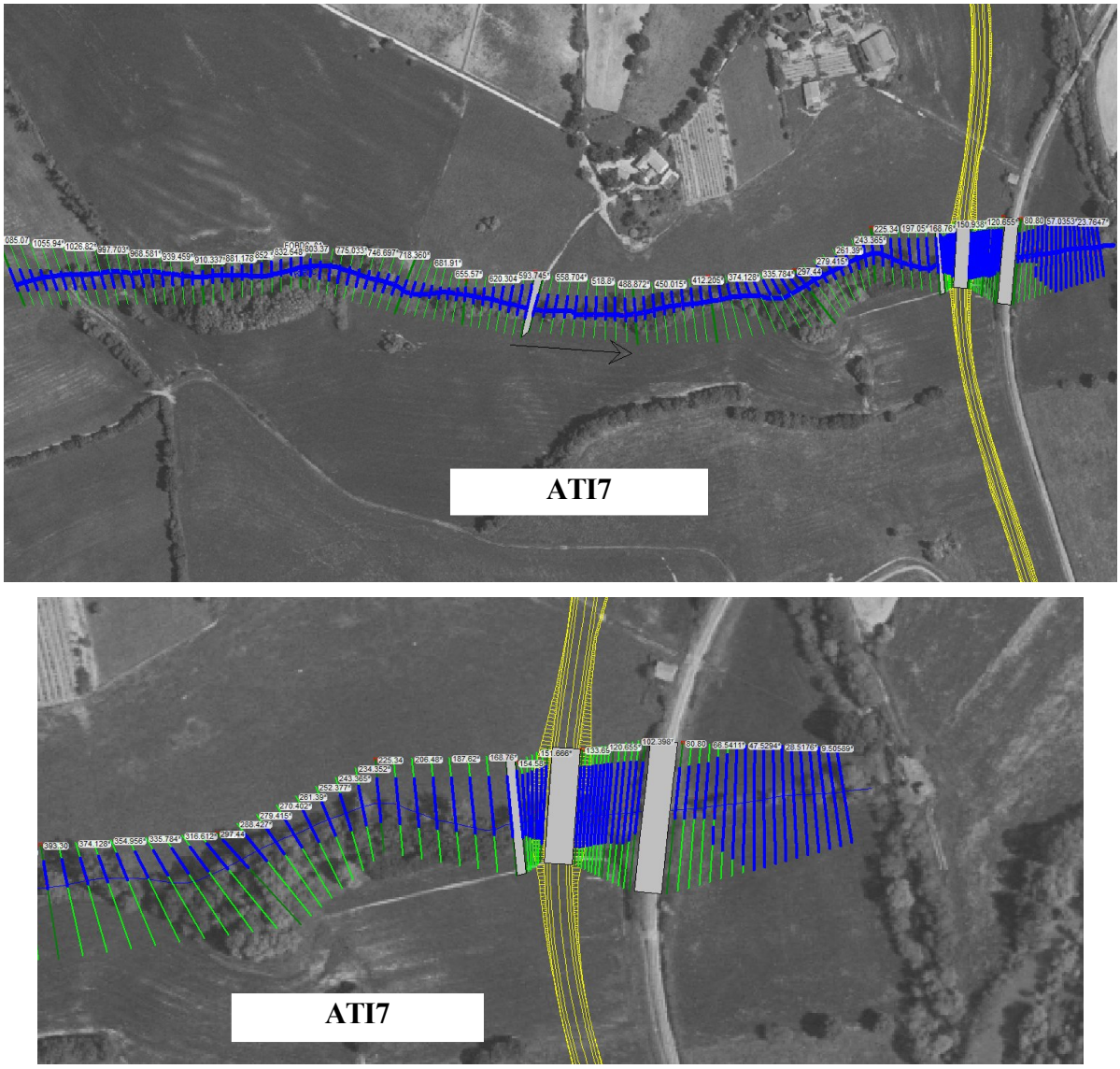


Fig. 32. *Planimetria schematica del fronte di piena* 200-ennale *del F.so della Bocca di Cane allo* SA (condizione di valle maxWs F.so Riluogo). Quadro generale e dettaglio della parte terminale.

Il deflusso di piena nel tratto terminale sino a *ca.* 150 *m* a monte della linea ferroviaria è fortemente condizionato dal rigurgito indotto dalla presenza del tombino FF.S. (punto critico nelle carte di P.A.I.) e dal sistema F.so Riluogo-T. Arbia (Fig. 33), indipendentemente dalla realizzazione della *Nuova Strada*, che anzi ne migliora il deflusso dando maggiore regolarità al profilo di approccio all'imbocco.

Il nuovo attraversamento della *Nuova Strada* sul F.so della Bocca di Cane è infatti costituito da uno scatolare in c.a. di luce netta *B*x*H*=7.0x5.6 *m* con sezione trapezia interna sagomata con pietrame intasato in cls (larghezza al fondo *b*=2.5 *m*, *h*:*v*=1, *h*=0.75 *m*). I tratti di fosso in approccio/esito al/dal tombino, sino ai limiti territoriali di intervento (ponticello della S.V. di Borgovecchio e tombino FF.S.), sono opportunamente sagomati utilizzando scogliera intasata in terra ed inerbita. Il franco sull'intradosso dello scatolare è ben superiore a 1.0 *m* per T_r=200 *anni.* (Fig. 33 e Fig. 34). Tale ampio franco permette di ritenere l'opera sicura anche nei confronti di scenari con ostruzioni detritiche di origine vegetale.

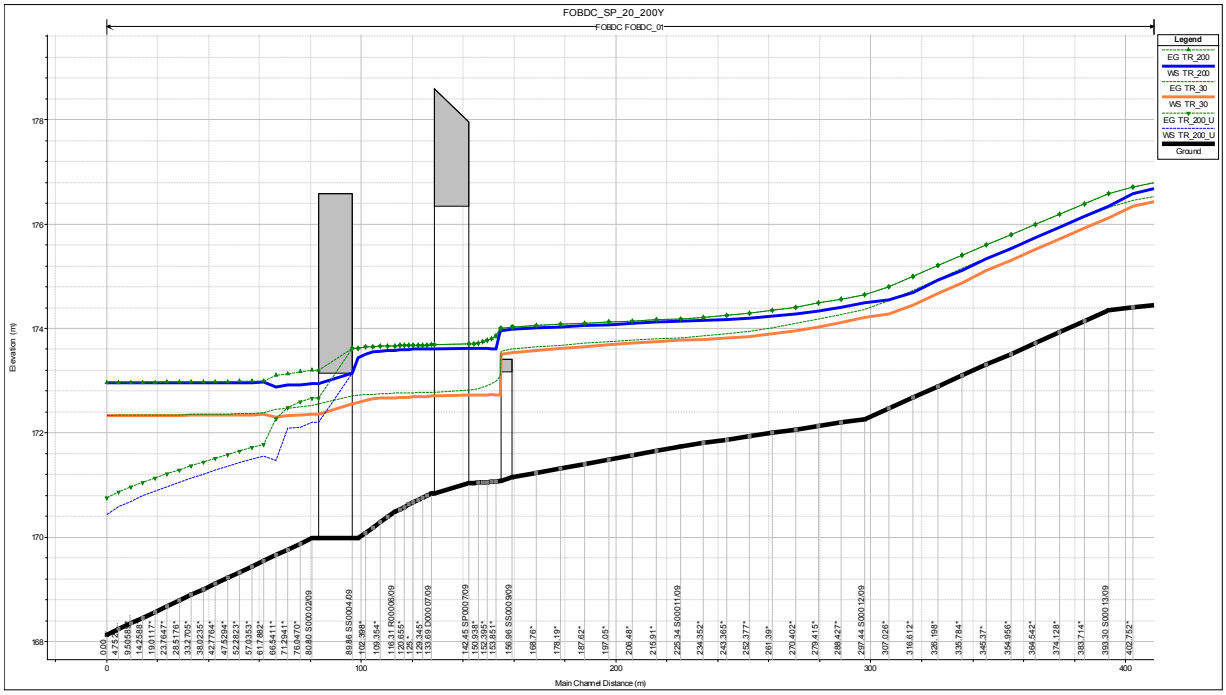


Fig. 33. *Profili longitudinali dei massimi livelli idrici di* SA *e per T_r=30 e 200 anni (in condizione di massimo e nessun* [_U] *rigurgito dal F.so Riluogo) del F.so della Bocca di Cane.*

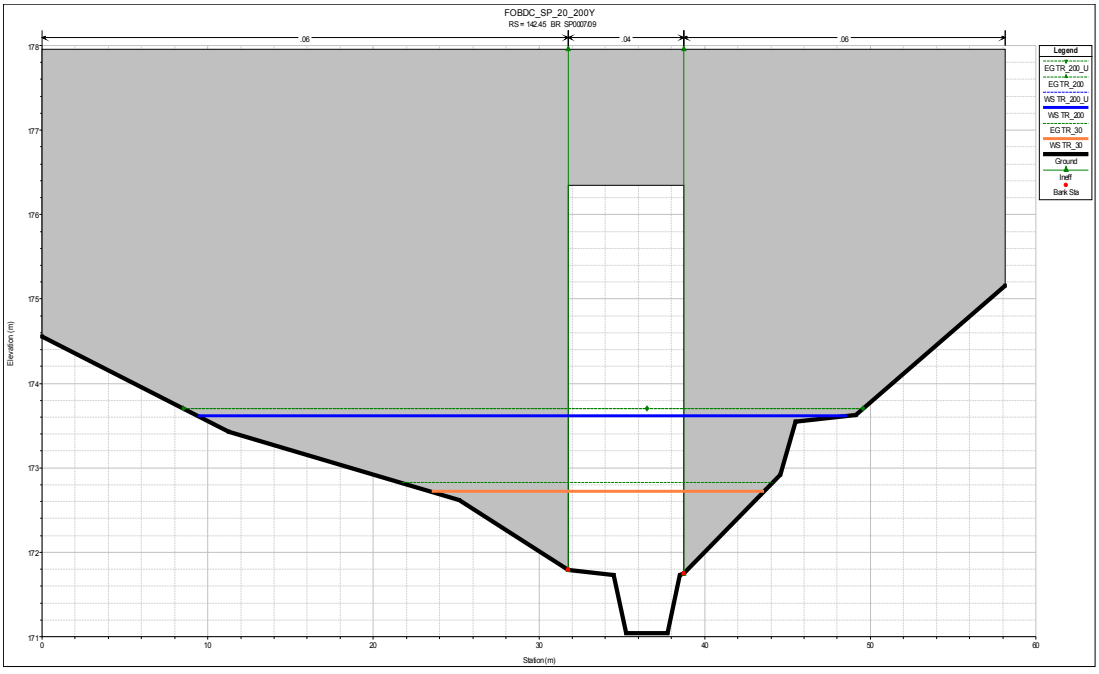


Fig. 34. *Massimi livelli idrici di* SA *e per Tr=200 anni (in condizione di massimo e nessun* [_U] *rigurgito dal F.so Riluogo-T. Arbia) del F.so della Bocca di Cane all'imbocco del nuovo attraversamento dellla Nuova Strada.*

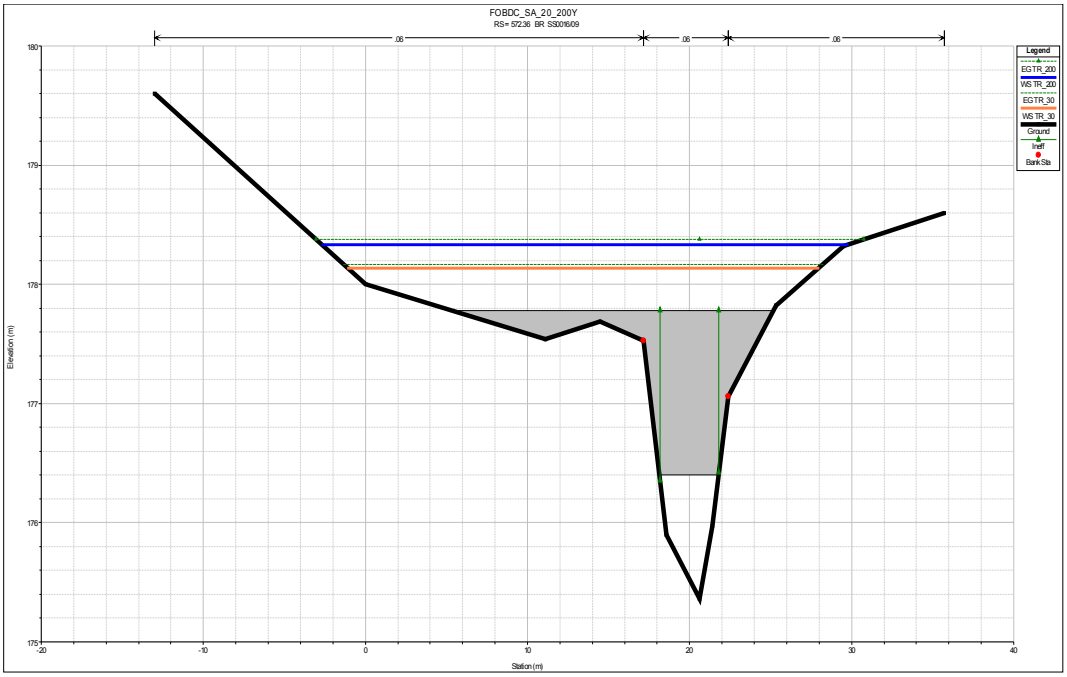
Con i livelli di valle adottati per il F.so Riluogo-T. Arbia l'effetto ostruttivo del tombino è pressochè neutralizzato dal maggiore rigurgito di confluenza, per gli eventi di piena di maggiore frequenza, ma

ancora significativo per T_r=200 *anni*. Per condizioni di valle meno gravose l'effetto tombino rapidamente domina, sino ai valori massimi rappresentati dal profilo `200_U` (Fig. 35).

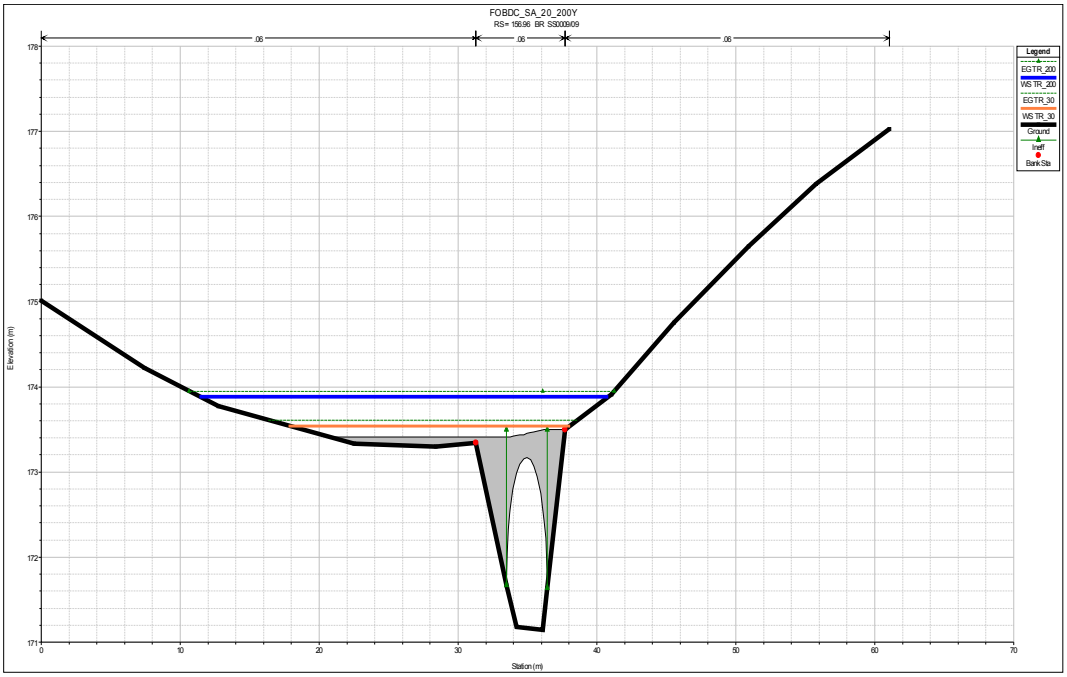
Fig. 35. *Profili longitudinali delle velocità in alveo inciso e di piena di* `SA` *del F.so della Bocca di Cane per* T_r*=200 anni, in condizione di massimo e nessun* [`_U`] *rigurgito dal F.so Riluogo-T. Arbia.*

In ogni caso, il franco sul piano del ferro della `FF.S.` rimane per T_r=200 *anni* superiore a 1.5 *m*. Viceversa i piccoli e residuali attraversamenti della S.V. di Borgovecchio e della pista rurale posta a monte risultano sormontati anche per T_r=30 *anni* (Fig. 36).

(a)



(b)



(c)

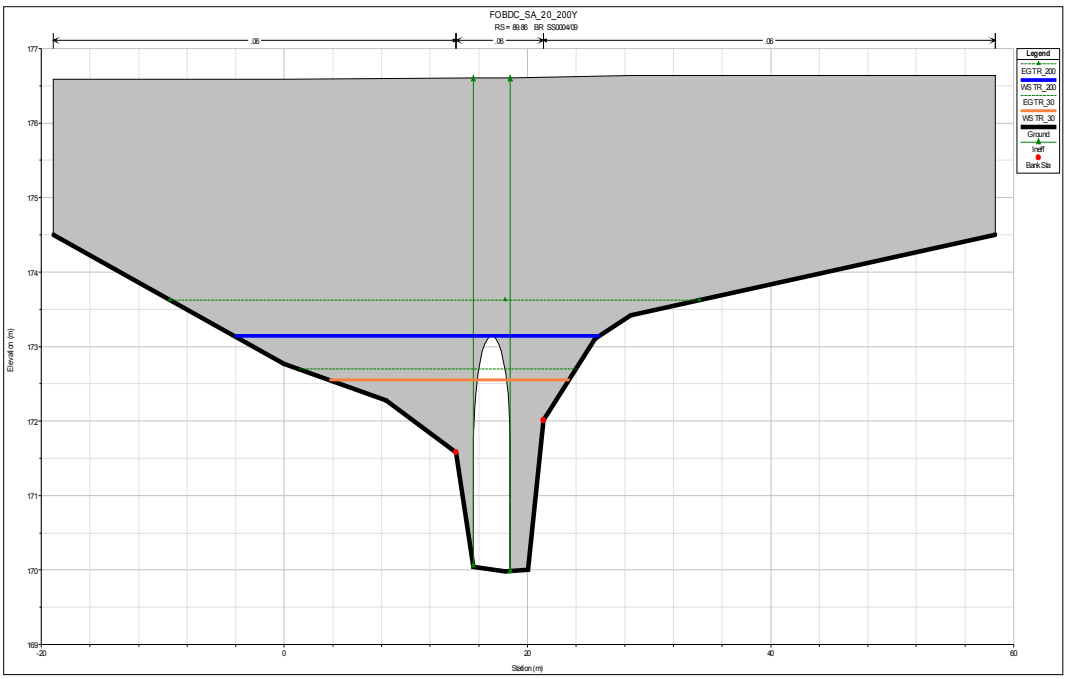


Fig. 36*. Massimi livelli idrici di* SA *e per* T_r*=30 e 200 anni (in condizione di massimo rigurgito dal F.so Riluogo-T. Arbia) nelle sezioni* RS 572.36-SS0016/09 (a), RS 156.96-SS0009/09 (b) e RS 89.86-SS0004/09 (c) *del F.so della Bocca di Cane.*

In definitiva, le aree allagabili per T_r=20/30 e 200 *anni* risultano pressoché totalmente contenute entro strette incisioni fluviali, senza divagazioni né particolari labilità interpretative di origine geometrica (alveo incassato, ..), idrologica (massima portata di piena) o idraulica (schema di moto permanente, scabrezze, manutenzione, fenomeni ostruttivi, ..).

Di qualche significatività possono invece risultare fenomenologie di dinamica fluviale (erosioni localizzate, ..).

Per maggiori dettagli si rimanda all'*All.* A, alle specifiche tavole grafiche ed agli elaborati digitali.

3.3 SCENARIO DI PROGETTO: INTERVENTI MITIGATORI E CONDIZIONI DI FATTIBILITÀ

3.3.1 ATI6

Per la messa in sicurezza idraulica di ATI6 sono necessari interventi strutturali finalizzati sia alla protezione dalle piene del T. Arbia -soprattutto- e anche del B.ro del Casino. A tal fine va rilevata la giacitura dell'area previsionale soggiacente di qualche metro rispetto all'intorno ed alle piene del T. Arbia, costituente particolare elemento intrinseco di pericolosità.

Ulteriori pericolosità secondarie verranno citate a completamento dello scenario progettuale preliminare.

3.3.1.1 T. Arbia

Per quanto riguarda l'analisi idraulica dello stato di progetto correlato alle misure protettive dalle piene del T. Arbia a Taverne d'Arbia-Arbia si rimanda direttamente a iIDeA_2008, limitandosi qui a riportarne il quadro sinottico degli interventi già allora previsti ed uno stralcio descrittivo. Essi sono qui pienamente confermati in tipologia e valori dimensionali caratteristici (Tab. 11 e Fig. 37).

Essi rivestono evidentemente carattere di pubblica utilità, avendo la finalità di proteggere l'intero centro abitato e non meramente ATI6. Purtuttavia, si ritiene che l'intero complesso di interventi -da TA01 a TA05- sia comunque necessario anche ad ATI6.

Tab. 11. *Quadro di sintesi delle caratteristiche dimensionali degli interventi a* Taverne d'Arbia-Arbia [T_r=200 anni].

CODICE	DENOMINAZIONE	FINALITÀ	DIP. FUNZIONALI	ELEMENTI DIMENSIONALI *H_c-BxHxL* [*m*]	MAT[28]
TA01	*Arginatura Taverne d'Arbia monte – Svincolo S.S.*	Difesa Frazione T.d.A., S.C. di Presciano e svincolo S.S. Siena-Bettolle da allagabilità T. Arbia[29]	TA02	**183.80÷183.10** 1.5x3.5x365	T/CA
TA02	*Arginatura Taverne d'Arbia valle*	Difesa Frazione T.d.A., S.C. di Sant'Isidoro da allagabilità T. Arbia	TA01	**182.75÷182.35** 1.5x3.5x420	T
TA03	*Arginatura Arbia monte*	Difesa nuclei abitati Frazione e S.C. Arbia da allagabilità T. Arbia	TA04	**183.70÷183.10** 3.0x3.0x450	T/G
TA04	*Arginatura Arbia valle*	Difesa nuclei abitati Frazione e S.C. Arbia da allagabilità T. Arbia	TA03	**182.75** 3.0x3.5x190	T
TA05	*Opere di sconnessione fognaria Taverne d.A.*	Protezione sistema fognario Frazione da allagamento indiretto T. Arbia	--	--	CA/M/P

"[...] **TA01.** *L'arginatura Taverne d'Arbia monte – Svincolo S.S. è finalizzata alla protezione della Frazione di Taverne d'Arbia e del nuovo svincolo S.S. Siena-Bettolle. La Frazione è allagabile dal T. Arbia con T_r=200 anni.L'opera è in massima parte in terra omogenea, reperita nelle adiacenze onde compensare anche il volume di invaso sottratto, posta in adiacenza alla S.C. di Presciano ed al rilevato della rotatoria-svincolo della S.S. Siena-Bettolle. Lo sviluppo complessivo è di ca. 370 m. La sezione tipo prevede un camminamento in sommità di larghezza 1.5 m, pendenza del paramento 2:3 e pista di servizio al piede di ampiezza 3.0 m. La quota di coronamento è variabile* ***183.80÷183.10 m s.l.m.***

[28] Materiali prevalenti: T=terra omogenea, L=legno, P=pietrame non legato, A=Acciaio, CA=c.a., CAM=c.a. rivestito in mattoni, CAP=c.a. rivestito in pietra, MM=muratura di mattoni, MP=muratura di pietrame, G=gabbioni.

[29] Direttamente e, indirettamente, attraverso il B.ro del Casino.

Per la chiusura della difesa è necessario intervenire anche sul B.ro del Casino che, altrimenti, anche per solo rigurgito costituirebbe by-pass idraulico di aggiramento della difesa lungo strada.

Gli interventi previsti sono: a) prolungamento verso monte del manufatto di imbocco in c.a. ed adeguamento dei relativi coronamenti sino a quote di sicurezza lungo la S.C. di Sant'Ersilia ed il ramo di svincolo S.S., b) tombamento[30] in c.a. del successivo tratto residuale tra la suddetta S.C. ed il sottopasso S.S., c) completamento del manufatto di sbocco dal sottopasso S.S. con spallette di contenimento in c.a. in continuità con arginatura dx (l'area posta in sx idrografica può rimanere allagabile, con eventuale funzione di invaso di sicurezza) e d) completamento del manufatto di sbocco nella golena del T. Arbia, con setti in c.a. di raccordo con l'arginatura in terra.

L'intervento ha funzionalità correlata a `TA02`*.*

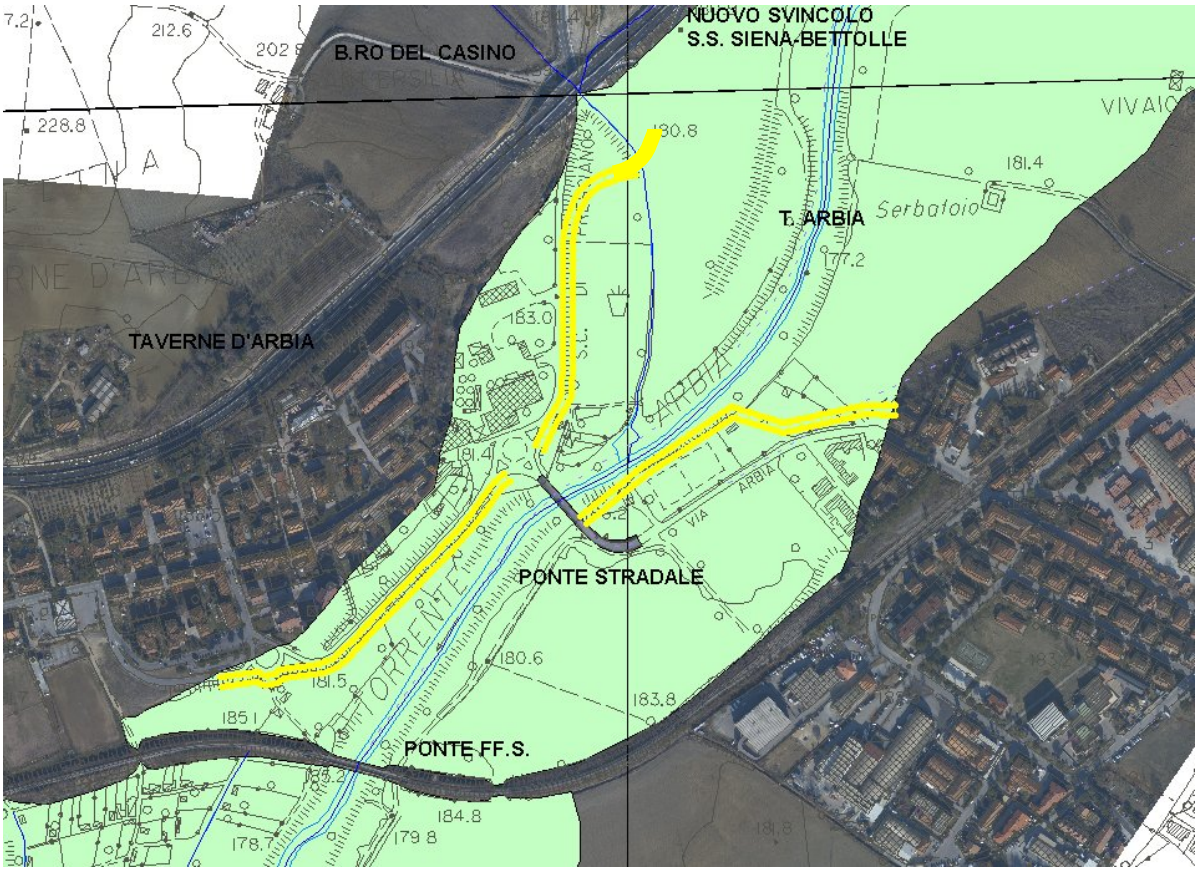


Fig. 37. Planimetria schematica delle arginature di progetto (evidenziate in giallo) a Taverne d'Arbia, con sovrapposta area allagabile per T_r=200 anni [da `iIDeA_2005` e `iIDeA_2008`].

[...] **`TA02`***. L'arginatura Taverne d'Arbia valle è finalizzata alla protezione della Frazione di Taverne d'Arbia (Fig. 29). La Frazione è allagabile dal T. Arbia con T_r=200 anni.*

L'opera è in terra omogenea, reperita nelle adiacenze onde compensare anche il volume di invaso sottratto, posta in adiacenza alla S.C. di Sant'Isidoro, a partire dalla rotatoria al ponte sul T. Arbia. Lo sviluppo complessivo è di ca. 420 m. La sezione tipo prevede un camminamento in sommità di larghezza 1.5 m, pendenza del paramento 2:3 e pista di servizio al piede di ampiezza 3.0 m, ottenuta riprofilando la fascia golena e rimuovendo tratti residuali della vecchia arginatura in terra. La quota di contenimento è variabile 182.75÷182.35 m s.l.m.

All'altezza della rotatoria di valle della S.C. di Sant'Isidoro, in golena dx del T. Arbia, è inoltre previsto l'inserimento di piccolo argine tracimabile per piene straordinarie, atto a proteggere la viabilità secondaria di accesso all'alveo ed indirizzare la corrente verso la luce del ponte FF.S. Esso, di sviluppo ca. 200 m, sarà realizzato in gabbioni rinverditi e/o intasati in terra inerbita, con paramento lato valle a minore pendenza (1:3).

[30] Oppure sole spallette di contenimento, purché venga garantita l'accessibilità per manutenzione al fosso.

L'intervento ha funzionalità correlata a TA01.

[...] **TA03**. *L'arginatura Arbia monte è finalizzata alla protezione dei nuclei abitati più adiacenti via Arbia. Abitazioni e via Arbia sono allagabili dal T. Arbia già per T_r=30 anni, interessando un maggior numero di edifici per T_r=200 anni.*

L'opera è in terra omogenea, ad eccezione del tratto di ca. 200 m tra sponda sx del T. Arbia e campo sportivo ove, per mancanza di spazi vengono utilizzati gabbioni rinverditi. La terra è reperita nelle adiacenze onde compensare anche il volume di invaso sottratto. Lo sviluppo complessivo è di ca. 450 m. [...] *La quota di contenimento è variabile 183.70÷183.10 m s.l.m.*

La sezione in gabbioni è fondata al livello di fondo torrente, con altezza media sul p.c. lato esterno di 3.0 m. I gabbioni saranno rinverditi con talee di salice o intasati in terra inerbita. L'arginatura di raccorda lato monte con quella in terra omogenea, mentre lato valle si attesta alla struttura del ponte stradale.

Il tracciato dell'argine in terra si snoda fino ad attestarsi alla piattaforma di Pod. Ferrovia, passando al margine esterno del nucleo edificato.

L'intervento ha funzionalità correlata a TA04.

[...] **TA04**. *L'arginatura Arbia valle è finalizzata alla protezione dei nuclei abitati più adiacenti via Arbia da allagamenti del T. Arbia da valle del ponte stradale.*

L'opera è in terra omogenea, con terra reperita nelle adiacenze onde compensare anche il volume di invaso sottratto. Lo sviluppo complessivo è di ca. 190 m. La sezione tipo in terra è di tipo standard, di larghezza 3.0 m in testa e pendenza dei paramento 2:3. L'altezza media sul p.c. è 3.0 m. La quota di contenimento è 182.75 m s.l.m.

Il tracciato si pone distante dal T. Arbia, correndo lungo la viabilità campestre di Camposodo in sx via Arbia, chiudendo il fronte di inondazione compreso tra il rilevato di accesso al ponte stradale e quello FF.S. Apposite rampe garantiscono la continuità della viabilità esistente, evitando interclusioni.

L'intervento ha funzionalità correlata a TA03.

[...] **TA05**. *L'intervento Opere di sconnessione fognaria Taverne d'Arbia comprende una serie di opere puntuali riguardanti i punti di recapito nel T. Arbia della rete fognaria meteorica urbana. In generale consistono nell'adeguamento dei manufatti esistenti, funzionale ad evitare allagamenti indiretti in caso di piena fluviale (clapet, ..).*

L'intervento ha funzionalità autonoma ed è complementare a TA01 e TA02. [...]"

Per ogni dettaglio si rimanda a iIDeA_2008 ed alla specifica tavola grafica allegata.

3.3.1.2 B.ro del Casino

Per quanto riportato nel paragrafo precedente risulta evidente come la parte principale degli interventi riguardi il T. Arbia, peraltro sinergicamente ad una prospettiva di pubblica utilità di ben maggiore respiro rispetto al singolo ATI6. Come già prospettato in iIDeA_2008, si precisano qui gli ulteriori interventi complementari sul B.ro del Casino, atti ad impedire sia il *by-pass* delle piene del T. Arbia sia le esondazioni proprie.

Lo scenario di progetto (SP) è tipicamente di adeguamento delle difese arginali, ovvero di contenimento piuttosto che di laminazione. Per l'orizzonte 200-*ennale* infatti il condizionamento dei livelli del T. Arbia sul regime di deflusso del B.ro del Casino è dominante, rendendo di fatto non conveniente l'ipotesi di laminazione a monte dei tombini di sottopasso della S.S. D'altra parte, sebbene non si riesca a garantire il deflusso ottimale ai tombini, tale soluzione appare più ragionevole in termini di rapporto costi/benefici, vista anche la recente realizzazione, dell'altrenativa di adeguamento dimensionale degli stessi.

In ogni caso, in via complementare è prevista la compensazione dei volumi destinando parte dei locali terreni agricoli posti a monte della S.C. di Presciano-Sant'Ersilia ad area vincolata ad allagabilità controllata. L'area comprende l'intera fascia allagabile dal B.ro del Casino per il tratto perturbato dallo stato di progetto, pari a circa 200 *m* (Fig. 38).

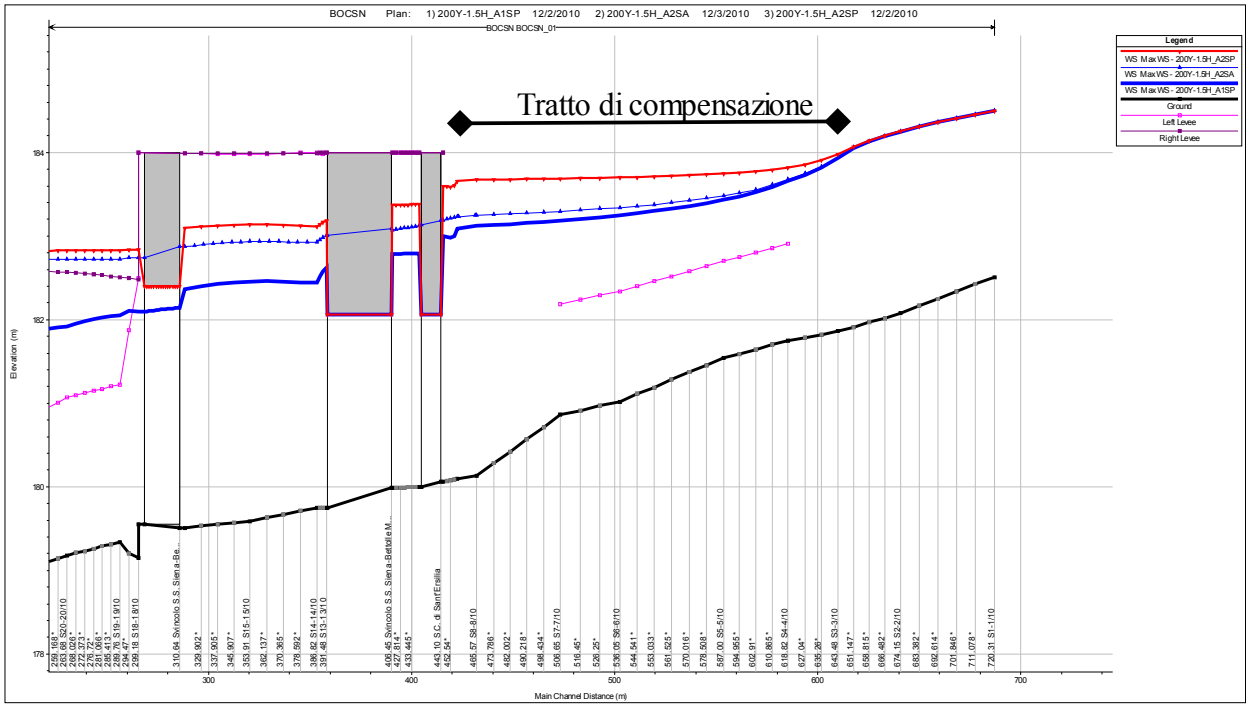


Fig. 38*. Borro del Casino a monte dell'area golenale. Profili di rigurgito nello* SA *e* SP *per* T_r*=200 anni (in rosso con condizioni di valle 200-ennale del T. Arbia).*

Le condizioni di valle imposte sono coerenti con iIDeA_2008. Le quote di progetto dei coronamenti sono definite imponendo franco idraulico di +1.0 *m* sui livelli 200-*ennali* con condizione di valle 30-*ennale* del T. Arbia e contenimento con condizione di valle 200-*ennale* e franco minimo 0.40 *m*.

Le opere specificatamente previste sono le seguenti:

- **CA01**: area ad allagabilità controllata, in area agricola a monte dei tombini
- **CA02**: spallette in c.a. [rivestite] ed arginelli in terra al tombino RS 443.10
- **CA03**: spallette in c.a. [rivestite] tra i tombini RS 443.10 e RS 406.45 o tombamento
- **CA04**: spallette in c.a. [rivestite] ed argini in terra tra i tombini RS 406.45 e RS 310.64
- **CA05**: sconnessione idraulica di tutte le condotte fognarie (*clapet*)
- **CA06**: regimazione acque di strada e c.d. F.so di Sant'Ersilia.

Per i dettagli numerici e tipologici si rimanda direttamente alla relativa tavola grafica.

3.3.2 ATI7: F.so della Bocca di Cane

Per il F.so della Bocca di Cane non si ritiene necessario prefigura e a questo livello specifici interventi mitigatori, bastando la riconduzione del limite di intervento ATI7 opportunamente al di fuori del perimetro allagabile, con franchi di almeno 1.0 *m* sul massimo livello di piena temibile e comunque non meno di 10 *m* dal ciglio di sponda.

In fase di attuazione, specifica attenzione dovrà essere posta alle interazioni corrente idrica-movimenti gravitativi, preferendo fasce di rispetto fluviali maggiori di quelle minime sopra indicate, alla corretta regimazione delle acque meteoriche proprie ed all'interazione con il nuovo rilevato stradale.

==========

Prato, novembre 2010