



COMUNE DI SIENA

STUDI IDROLOGICI E IDRAULICI INERENTI I CORSI D'ACQUA CHE ATTRAVERSANO O SONO SITUATI NELLE IMMEDIATE VICINANZE DI AREE OGGETTO DI PREVISIONE DA PARTE DEL REGOLAMENTO URBANISTICO ADOTTATO

E78 GROSSETO - FANO

ADEGUAMENTO A 4 CORSIE DEL TRATTO COMPRESO TRA LO SVINCOLO CON LA SIENA-FIRENZE (km 63.561 del tratto Grosseto-Siena) E LO SVINCOLO DI RUFFOLO (km 2.800 del tratto Siena-Bettolle) - LOTTO 0

d.01

STUDIO IDROLOGICO E RELAZIONE GENERALE

Novembre 2010 Rev.0

Il tecnico incaricato

Dott. Ing. CLAUDIO LOMBARDI

Collaboratori

Dott. Ing. ALESSIO MAGAZZINI

Dott. Ing. ALBERTO NASTASI

Dott. Ing. RICCARDO RICCI

Indice

PREMESSA	3
STUDIO IDROLOGICO	4
PIOGGE DI PROGETTO	4
CALCOLO DELLE PORTATE DI PROGETTO	5
<i>Stima del coefficiente di deflusso – metodo Curve Number</i>	6
<i>Portate di piena del Torrente Tressa e del Torrente Rilugo - Metodo GIUH</i>	13
<i>Portate di progetto corsi d’acqua secondari con il “Metodo Razionale”</i>	21
STUDIO IDRAULICO	24
APPLICATIVO HEC RAS 3.1.3.....	25
COEFFICIENTI UTILIZZATI PER LE VERIFICHE IDRAULICHE	26
CONDIZIONI AL CONTORNO	27
MODELLAZIONE DI CONFLUENZE CON APPLICATIVO HEC RAS.....	28
MODELLAZIONE DEI PONTI CON APPLICATIVO HEC RAS	28
MODELLAZIONE DI CULVERT (TOMBINI) CON APPLICATIVO HEC RAS	29
RISULTATI DELLE VERIFICHE IDRAULICHE	29

Premessa

Su incarico del Comune di Siena è stato redatto il presente studio idrologico idraulico integrativo a corredo del Regolamento Urbanistico adottato dal Comune di Siena, per l'individuazione delle aree allagate e dei livelli di rischio idraulico per tempi di ritorno di 20, 30 e 200 anni.

Tale studio rappresenta l'estensione dello *Studio idrologico e idraulico dei Torrenti Tressa, Riluogo, Bozzone, Sorra e Serpenna nel territorio comunale di Siena*, redatto dallo scrivente nell'anno 2008, approvato dal Comitato di Tecnico del Bacino Regionale Ombrone in data 11/03/2009 (*Approfondimento del Quadro Conoscitivo del Piano Strutturale propedeutico all'adozione del Regolamento Urbanistico del Comune di Siena*) e con successiva comunicazione in data 04/09/2009 (*Comunicazione inerente l'approfondimento del Quadro Conoscitivo del Piano Strutturale propedeutico all'adozione del Regolamento Urbanistico del Comune di Siena*).

I tratti dei corsi d'acqua oggetto di studio risultano elencati di seguito, con riferimento agli interventi previsti dal Regolamento urbanistico adottato:

- F.sso del Castagno - zona MPS San Miniato (zona TU36);
- F.sso del Bolgione - zona impianti sportivi San Miniato (zona AR9);
- F.sso in zona Botteganuova (zone Rp 28 e AR28);
- F.sso in zona loc. La Veloce Due Ponti – affluente in sx idraulica T. Riluogo (zona Rp5);
- F.sso in zona Pian delle Fornaci - affluente sx idraulica T. Sorra (zone Rp56, Rp57 e TU21);
- F.sso Santa Lucia (zona ATI 11);
- F.sso del Fossatone e F.sso della Bandita (zona ATI 7 e zona dell'ATI 11);
- T. Riluogo (scheda progetto TU17);

Lo studio comprende inoltre i corsi d'acqua ricadenti nel reticolo di riferimento del PAI interessati dai lavori di adeguamento a 4 corsie del tratto della E78 Grosseto - Fano compreso tra lo svincolo con la Siena-Firenze (km 63.561 del tratto Grosseto-Siena) e lo svincolo di Ruffolo (km 2.800 del tratto Siena-Bettolle), denominato "Lotto 0", di seguito elencati:

- T. Tressa in loc. Cerchiaia;
- F.sso Ribucciano;
- F.sso delle Luglie;
- F.sso di Valli;
- F.sso del Casone;
- F.sso del viadotto Ribucciano - affluente in sinistra idraulica F.sso Ribucciano;
- F.sso Borrino in loc. Ruffolo.

Studio idrologico

Piogge di progetto

Per la ricostruzione delle piogge di progetto sono state utilizzate le linee segnalatrici di probabilità pluviometrica, basate sull'analisi delle serie storiche disponibili (dati aggiornati al 1998), desunte dall'*Analisi delle precipitazioni intense delle stazioni del compartimento di Pisa*, pubblicate a cura della Presidenza del Consiglio dei Ministri – Dipartimento dei Servizi Tecnici Nazionali, secondo la forma:

$$h = a t^n T_r^m$$

con

h = altezza di precipitazione [mm]

t = durata [ore]

T_r = tempo di ritorno [anni]

I dati riassuntivi per la stazione di riferimento (Siena Poggio al Vento) sono riportati nella tabella seguente:

cod.	Descrizione	$t < 1 \text{ ora}$			$t > 1 \text{ ora}$		
		a	n	m	a	n	m
2660	Siena – Poggio al Vento	28,747	0,499	0,178	23,972	0,300	0,209

Calcolo delle portate di progetto

Per il calcolo delle portate di progetto con tempo di ritorno 20, 30 e 200 anni sono stati utilizzati i seguenti metodi di ricostruzione delle portate:

- per il T. Tressa e il T. Riluogo è stato applicato il metodo GIUH (Idrogramma unitario di piena geomorfologico) con coefficiente di deflusso stimato con il metodo CN (Curve Number), utilizzando i dati dello “Studio Idrologico Idraulico dei Torrenti Tressa, Riluogo, Bozzone, Sorra e Serpenna nel territorio comunale di Siena” redatto nel 2008 dallo scrivente. Lo studio del T. Riluogo è stato esteso fino a valle della confluenza del F.sso Borrino.
- per i corsi d’acqua secondari è stato applicato il metodo razionale, stimando il coefficiente di deflusso con il metodo CN.

I corsi d’acqua esaminati nel presente studio fanno tutti parte del bacino del T. Arbia, affluente del Fiume Ombrone; nella tabella seguente, per ogni tratto in studio si riporta ai fini dell’inquadramento il corso d’acqua ricettore di valle.

CORSO D’ACQUA TRIBUTARIO	CORSO D’ACQUA RICEVENTE
T. TRESSA	T. ARBIA
T. RILUOGO	T. ARBIA
F.SSO DEL CASTAGNO	F.SSO DEL BOLGIONE
AFFLUENTE IN SINISTRA F.SSO DEL BOLGIONE	F.SSO DEL BOLGIONE
F.SSO DEL BOLGIONE	T. BOZZONE
F.SSO IN ZONA ‘BOTTEGA NUOVA’	T. RILUOGO
AFFLUENTE IN SINISTRA T. RILUOGO IN ZONA ‘LA VELOCE’	T. RILUOGO
AFFLUENTE IN SINISTRA T. SORRA IN ZONA ‘PIAN DELLE FORNACI’	T. SORRA
F.SSO S. LUCIA	T. FOSSATONE
F.SSO FOSSATONE	T. ARBIA
F.SSO RIBUCCIANO	T. RILUOGO
F.SSO DELLE LUGLIE	F.SSO RIBUCCIANO
F.SSO DI VALLI	F.SSO RIBUCCIANO
F.SSO DEL CASONE	F.SSO RIBUCCIANO
AFFLUENTE IN SINISTRA F.SSO RIBUCCIANO ZONA ‘VIADOTTO RIBUCCIANO’	F.SSO RIBUCCIANO
F.SSO BORRINO	T. RILUOGO

Stima del coefficiente di deflusso – metodo Curve Number

Il coefficiente di deflusso è stato individuato utilizzando il metodo del Curve Number (CN), sviluppato dal *Soil Conservation Service* americano (SCS).

Tale metodo si colloca a metà strada fra i modelli basati sul calcolo delle perdite per infiltrazione in un punto, quindi coerentemente utilizzabili in approcci distribuiti e semidistribuiti, ed i modelli formulati in maniera da essere specificatamente utilizzati in approcci integrati, secondo la teoria esposta di seguito.

Il metodo CN si basa su una semplice equazione di bilancio fra i valori cumulati nel tempo, a partire dall'inizio dell'evento di precipitazione, della pioggia $P(t)$, del deflusso superficiale $Q(t)$, delle perdite iniziali $I_a(t)$ prima della produzione di deflusso e di quelle successive $I(t)$:

$$P(t) = I_a(t) + I(t) + Q(t)$$

esprese in termini di volume per un'unità di area, ovvero di un'altezza (mm)

L'ipotesi di base del metodo è che il rapporto fra il volume di deflusso ed il volume di pioggia depurato delle perdite iniziali rimanga, ad ogni istante, uguale al rapporto tra il volume delle perdite successive ed il volume massimo teorico delle perdite (a saturazione), indicato con il simbolo S:

$$\frac{Q}{P - I_a} = \frac{I}{S}$$

Viene inoltre supposto che le perdite iniziali siano proporzionali alle perdite massime possibili S (a saturazione):

$$I_a = \beta S$$

con valori tipici di β compresi tra 0,1 e 0,3. Il SCS propone per l'intercettazione iniziale: $I_a = 0.2 S$

Il nucleo fondamentale di tutto il metodo è costituito dal parametro S, che a sua volta viene espresso in funzione di un indice dimensionale CN, detto appunto curve number, che a sua volta viene tabulato in funzione del tipo di suolo, per tenere conto delle capacità di infiltrazione, e dell'uso del suolo, che influenzerà sia l'ammontare della quota delle perdite iniziali dovute a intercettazione che la capacità di infiltrazione stessa del suolo.

I valori CN hanno come limite inferiore 0 (superficie totalmente permeabile, con nessuna produzione di deflusso) e come limite superiore 100 (superficie totalmente impermeabile, con nessuna perdita e deflusso uguale alla precipitazione). Il termine curve number deriva dal fatto che a ciascun valore di CN corrisponde una diversa curva che rappresenta il rapporto tra i volumi di deflusso e di precipitazione (*coefficiente di deflusso cumulato*) in funzione del volume della precipitazione.

Definendo il coefficiente di deflusso come:

$$C = Q / P$$

Dove:

Q (mm) è il deflusso di piena

P (mm) è l'afflusso meteorico

Il coefficiente di afflusso viene fatto dipendere dall'afflusso meteorico P, secondo l'espressione:

$$C = \frac{(1 - 0.2 K)^2}{(1 + 0.8 K)}$$

dove $K = S / P$

dipende dalla grandezza S (mm), definita *ritenzione potenziale* del bacino, che risulta funzione, attraverso "runoff curve number" (CN), della tessitura e dell'umidità iniziale del suolo, della sua copertura vegetale, ecc., secondo l'espressione:

$$S = 254 \left[\frac{100}{CN} - 1 \right]$$

I valori dell'indice CN sono tabulati in letteratura per differenti tipi di copertura del suolo, diverse caratteristiche del terreno e per condizioni medie di umidità iniziale del suolo (condizione II), secondo 4 gruppi principali di terreno¹:

- *gruppo A*: terreni sabbiosi molto permeabili
- *gruppo B*: terreni franchi moderatamente permeabili, depositi sabbiosi superficiali;
- *gruppo C*: terreni franco – limosi poco permeabili: argille di medio impasto, ad elevato tenore di argilla;
- *gruppo D*: terreni argillosi quasi impermeabili.

Le condizioni di umidità iniziale del suolo risultano tre:

- *condizione I*: il terreno è secco pur senza raggiungere il punto di appassimento e le colture o la vegetazione sono ben sviluppate;
- *condizione II*: il terreno è mediamente umido;
- *condizione III*: il terreno è saturo di umidità a causa di intense precipitazioni con almeno 50 mm di altezza di pioggia nei 5 giorni precedenti l'evento considerato; nella stagione fredda si considera raggiunta la saturazione dopo 25 mm di pioggia in 5 giorni.

Le relazioni tra le condizioni medie CN II e la condizione I e III sono basate sulle seguenti relazioni semplificate:

$$CN_I = \frac{CN_{II}}{2.3 - 0.013CN_{II}}$$

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0.43 + 0.0057CN_{II}}$$

¹ Vedi Manuale di Ingegneria Civile, Ed.ni ESA C- Zanichelli, Vol. I - Sezione Idraulica – Idrologia Tecnica.

Pr la determinazione del CN2 dei bacini dei fossi esaminati sono stati utilizzati i dati provenienti dalla carta di uso del suolo², corretta con la carta litologica³ per l'individuazione del gruppo (A, B, C, D) del terreno previsto dal metodo.

Nelle pagine successive si riportano le carte tematiche della litologia, uso del suolo e CN2 dei bacini studiati con l'indicazione dei corsi d'acqua principali.

² Copertura della Provincia di Siena, scala 1:25.000.

³ Copertura della Provincia di Siena, scala 1:25.000.

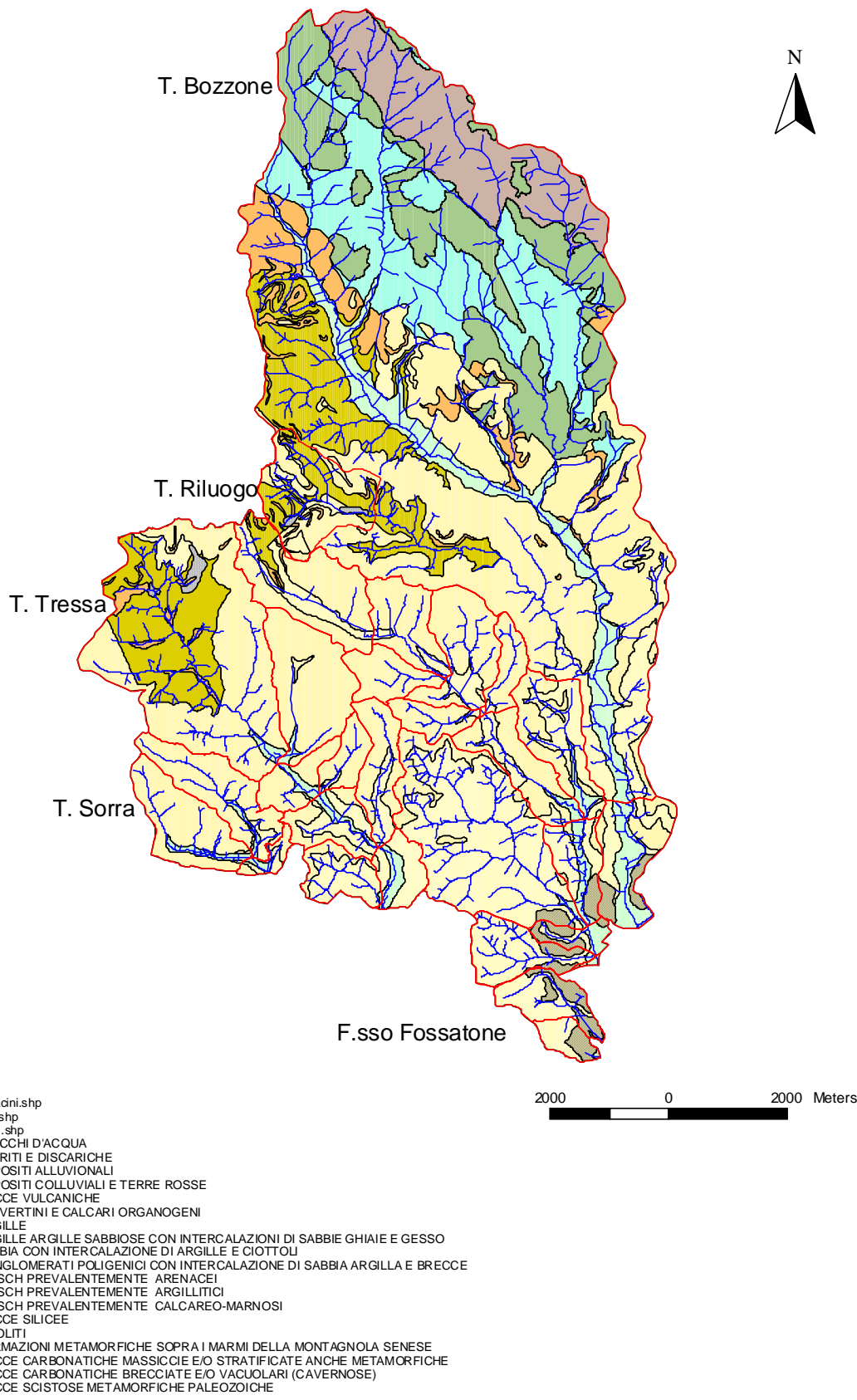


Figura 1 –carta della litologia

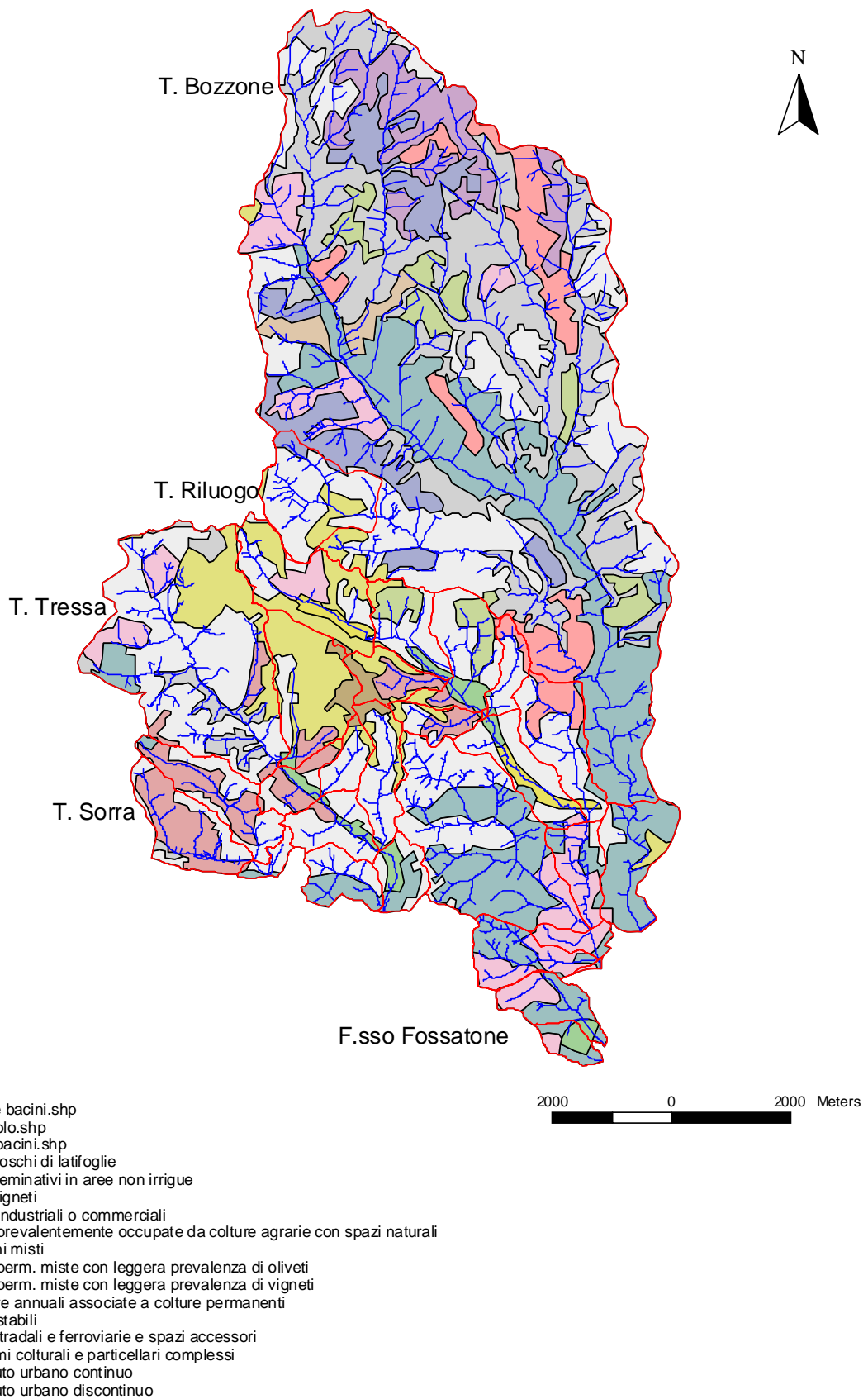


Figura 2 - carta dell'uso del suolo

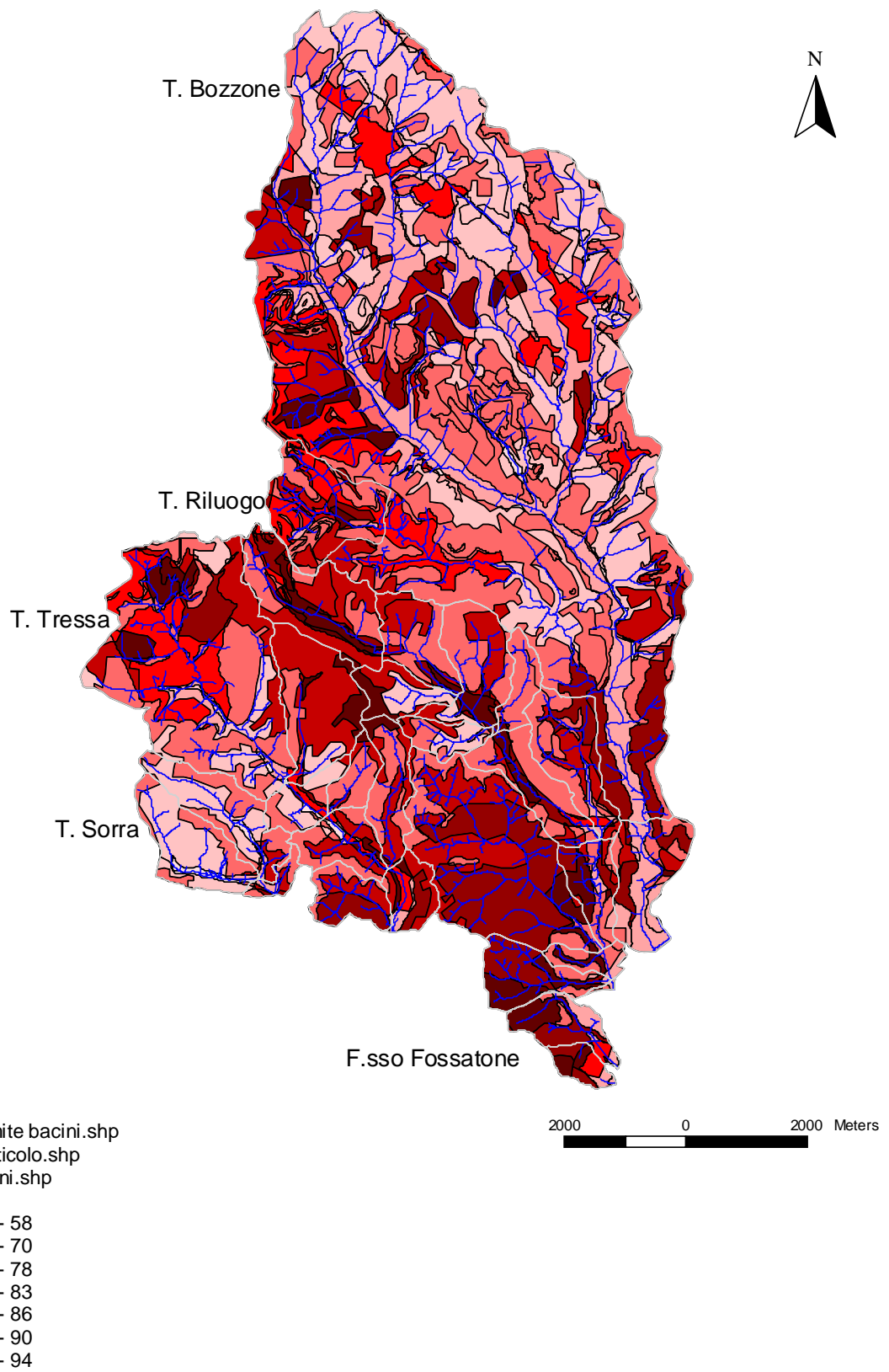


Figura 3 - carta del Curve Number

Nelle tabelle successive si riportano i valori di CN1, CN2 e CN3 individuati.

Torrente Tressa

Cod.	Descrizione	Area [Kmq]	CN1	CN2	CN3
Tre01.a	a monte del F.sso dei Tufi	13.189	57.8	75.9	88.0
Tre01.b	a monte del F.sso Valdimontone	15.060	58.0	76.0	88.1
Tre01.c	a valle del F.sso di Valdimontone	17.300	58.8	76.7	88.4
Tre01.d	a chiusura tratto studio	19.700	60.1	77.6	89.0

Torrente Riluogo

Cod.	Descrizione	Area [Kmq]	CN1	CN2	CN3
Ril01.a	a monte del complesso ex-Socini	2.844	66.8	82.2	91.5
Ril01.b	a monte del F.sso di Ravacciano	4.297	65.5	81.4	91.0
Ril01.c	a monte del F.sso della Tombola	7.240	63.1	79.7	90.1
Ril01.d	a monte del F.sso del Paradiso	7.929	61.8	78.8	89.7
Ril01.e	a valle dei F.ssi Tombola e Paradiso	8.647	61.4	78.5	89.5
Ril01.f	a monte del F.sso Borrino	10.267	61.7	78.7	89.6
Ril01.g	a valle del F.sso Borrino	12.283	61.8	78.8	89.6

Corsi d'acqua secondari

Cod.	Descrizione	Area [Kmq]	CN1	CN2	CN3
Cast.	F.sso del Castagno	0.536	63.9	80.3	90.4
Bolg.	F.sso del Bolgione	2.684	63.7	80.1	90.4
Aff. Sin. Bolg	Affluente in sinistra F.sso del Bolgione	0.216	57.85	75.94	88.0
Bott. Nuova	F.sso in zona 'Bottega Nuova'	0.081	60.7	78.1	89.2
Aff. Ril.	Affluente in sinistra T. Riluogo in zona 'La veloce'	0.680	56.3	74.7	87.3
Aff. Sorra	Affluente in sinistra T. Sorra in zona 'Pian delle Fornaci'	0.027	67.8	82.9	91.8
S. Lucia	F.sso di S. Lucia	0.504	69.7	84.1	92.5
Fos.	F.sso Fossatone e F.sso La Bandita	1.131	67.6	82.8	91.8
Ribuc.	F.sso Ribucciano	0.094	58.9	76.8	88.5
Lugl.	F.sso delle Luglie	0.348	64.6	80.8	90.7
Val.	F.sso di Valli	1.227	66.8	82.2	91.5
Cas.	F.sso del Casone	0.513	70.9	84.9	92.9
Aff. Rib.	Affluente in sinistra F. Ribucciano zona 'Viad. Ribucciano'	0.095	70.5	84.6	92.7
Borr.	F.sso del Borrino	1.925	60.7	78.0	89.2

Gli idrogrammi di piena e le portate al colmo sono stati calcolati in riferimento alle condizioni idrologiche di suolo saturo (CN3).

Tali condizioni risultano particolarmente cautelative, considerando che l'evento di piena si realizzi con scrosci di massima intensità (basati sulle curve di possibilità pluviometrica con assegnato tempo di ritorno) applicati su un bacino idrografico con condizioni di suolo saturo.

Portate di piena del Torrente Tressa e del Torrente Riluogo - Metodo GIUH

Per i bacini del T. Tressa e del T. Riluogo gli idrogrammi di piena sono stati calcolati mediante il metodo del GIUH (*idrogramma unitario di piena geomorfologico*), considerando i sottobacini principali di interesse.

Il coefficiente di deflusso è stato ottenuto tramite il metodo del Curve Number (CN), mentre i parametri geomorfologici sono stati calcolati attraverso le formule del Rosso, mediante i parametri di Horton, determinati dalle informazioni contenute sulla cartografica tecnica regionale.

Si riportano di seguito i tratti per cui è stato utilizzato il metodo del GIUH:

- Torrente Tressa Tre.01:
 - T. Tressa Tre01.a - a monte del Fosso dei Tufi
 - T. Tressa Tre01.b - a monte del Fosso di Valdimontone
 - T. Tressa Tre01.c - a valle del Fosso di Valdimontone
 - T. Tressa Tre01.d - a chiusura del tratto di studio

- Torrente Riluogo Ril.01:
 - T. Riluogo Ril01.a - a monte complesso ex-Socini
 - T. Riluogo Ril01.b - a monte del Fosso di Ravacciano
 - T. Riluogo Ril01.c - a monte del Fosso della Tombola
 - T. Riluogo Ril01.d - a monte del Fosso del Paradiso
 - T. Riluogo Ril01.e - a valle dei Fossi Tombola e Paradiso
 - T. Riluogo Ril01.f - a monte del Fosso Borrino
 - T. Riluogo Ril01.g - a valle del Fosso Borrino a chiusura del tratto di studio

Applicazione del modello di Nash e determinazione dell'idrogramma di piena

L'idrogramma unitario di piena (IUH) può essere interpretato formalmente come l'idrogramma della piena provocata da una precipitazione di durata infinitesima e di volume unitario. La forma dell'IUH è legata alla morfologia del bacino e della sua rete idrografica e può essere descritta attraverso diversi tipi di modelli.

Per la scelta del modello che si presta a descrivere matematicamente il bacino idrografico, si fa riferimento a quello di NASH (1957), che ipotizza una cascata di n serbatoi tutti uguali, con costante di invaso K .

Il sistema idrologico può essere descritto da un'equazione di continuità del tipo:

$$\frac{dV(t)}{dt} = I(t) - Q(t)$$

dove:

$V(t)$ = volume

$I(t)$ = input

$Q(t)$ = output

Le ipotesi di risposta lineare del bacino e l'uniformità e la costanza dell'intensità della precipitazione su tutto il bacino permettono di ricavare una relazione tra input e output (run-off), tramite l'integrale di convoluzione tra la funzione di trasferimento del sistema (I.U.) e gli afflussi ($p(t)$):

$$Q(t) = \int_0^t U(t-\tau) \cdot p(\tau) d\tau$$

dove:

$U(t)$ = IU (idrogramma istantaneo unitario di piena)

$p(t)$ = afflusso efficace (o precipitazione netta)

$Q(t)$ = portata in uscita (run-off)

Il modello di Nash porta a una funzione di trasferimento $U(t)$, avente le dimensioni dell'inverso di un tempo del tipo di distribuzione gamma a due parametri, funzione solo delle caratteristiche fisiche del sistema.

In particolare il parametro di forma n è uguale al numero di serbatoi e il parametro di scala K alla loro costante di tempo.

Un serbatoio lineare è caratterizzato dalla relazione lineare tra volume e output:

$$V(t) = kQ(t)$$

e la risposta impulsiva di ciascun serbatoio è :

$$U(t) = \frac{1}{K} e^{-\frac{t}{K}}$$

Essendo tutti i serbatoi in serie l'uno con l'altro e avendo tutti la stessa costante di tempo, per la cascata di n serbatoi si ottiene la funzione di trasferimento data da:

$$U(t) = \frac{1}{K \Gamma(n)} \left(\frac{t}{K} \right)^{n-1} e^{-\frac{t}{K}} \quad n > 1, \quad K \geq 0$$

L'integrale di convoluzione può essere sostituito da una sommatoria discreta di valori medi su intervalli di tempo discreti e alle variabili continue t e τ i numeri di ordine k e j , secondo l'espressione seguente:

$$q(k) = \sum_{j=1}^k p(j) h(k-j+1) \Delta t$$

per $k = 1 \dots n$ e $j = 1 \dots m$

Mentre i parametri n e K possono variare in funzione del tipo di evento, il loro prodotto (tempo di ritardo, distanza tra i baricentri dello ietogramma e dell'idrogramma) è più stabile e risulta caratteristico per il bacino in esame.

Per la stima dei parametri n e k sono stati utilizzati i valori desunti dallo Studio di Regionalizzazione delle portate di piena in Toscana (tramite AlTo2000), ad esclusione del bacino del Torrente Rilugo, dove sono stati stimati tramite le formule di Rosso, effettuando la gerarchizzazione di Horton del reticolo idrografico utilizzando la carta tecnica regionale in formato digitale, secondo le relazioni seguenti:

$$n = 3.29 \left(\frac{R_b}{R_a} \right)^{0.78} R_l^{0.07} \quad e \quad k = 0.7 \left(\frac{R_a}{R_b R_l} \right)^{0.48} \cdot \frac{L_c}{V_m}$$

Dove:

R_b rapporto di biforcazione
 R_l rapporto di lunghezza
 R_a rapporto areale

Di seguito sono riportati i parametri caratteristici dei bacini e la sintesi dei risultati calcolati nello *Studio idrologico e idraulico dei Torrenti Tressa, Rilugo, Bozzone, Sorra e Serpenna nel territorio comunale di Siena*, redatto dallo scrivente nell'anno 2008; per l'asta del T. Rilugo la sezione di chiusura finale è stata spostata a valle della confluenza con il F.sso Borrino (Ril01.G).

Torrente Tressa

Cod.	Descrizione	Area [Kmq]	n	k	n*K
Tre01.a	a monte F.sso dei Tufi	13.189	2.702	0.522	1.410
Tre01.b	a monte F.sso Valdimontone	15.060	2.683	0.650	1.744
Tre01.c	a valle del F.sso di Valdimontone	17.300	2.696	0.744	2.020
Tre01.d	a chiusura tratto studio	19.700	2.719	0.789	2.146

Torrente Riluogo

Cod.	Descrizione	Area [Kmq]	n	k	n*K
Ril01.a	a monte complesso ex-Socini	2.844	3.931	0.214	0.841
Ril01.b	a monte del F.sso di Ravacciano	4.297	3.931	0.214	0.841
Ril01.c	a monte del F.sso della Tombola	7.240	2.645	0.337	0.891
Ril01.d	a monte del F.sso del Paradiso	7.929	2.653	0.342	0.907
Ril01.e	a valle dei F.ssi Tombola e Paradiso	8.647	2.653	0.342	0.907
Ril01.f	a monte del F.sso Borrino	10.267	2.696	0.522	1.407
Ril01.g	a valle del F.sso Borrino	12.283	2.678	0.650	1.741

Si riportano di seguito le portate di piena calcolate nei vari tratti di interesse in riferimento ai Tr di 20, 30 e 200 anni:

Torrente Tressa

		Tr [anni]	Dcr [h]	Tp [h]	Qvalle [mc/s]	q unitaria [mc/s kmq]
Tre01.a	T. Tressa a monte F. dei Tufi	20	2.6	2.86	44.7	3.39
		30	2.6	2.86	50.8	3.85
		200	2.6	2.86	89.1	6.75
Tre01.b	T. Tressa a monte F. Valdimontone	20	2.6	2.86	47.6	3.15
		30	2.6	2.86	54.1	3.58
		200	2.6	2.86	94.7	6.27
Tre01.c	T. Tressa a valle del Fosso di Valdimontone	20	2.6	3.12	52.9	3.06
		30	2.6	3.12	60	3.47
		200	2.6	3.12	104.6	6.05
Tre01.d	T. Tressa nella sez. chiusura tratto in studio	20	2.6	3.12	59.5	3.02
		30	2.6	3.12	67.4	3.42
		200	2.6	3.12	116.2	5.90

Torrente Riluogo

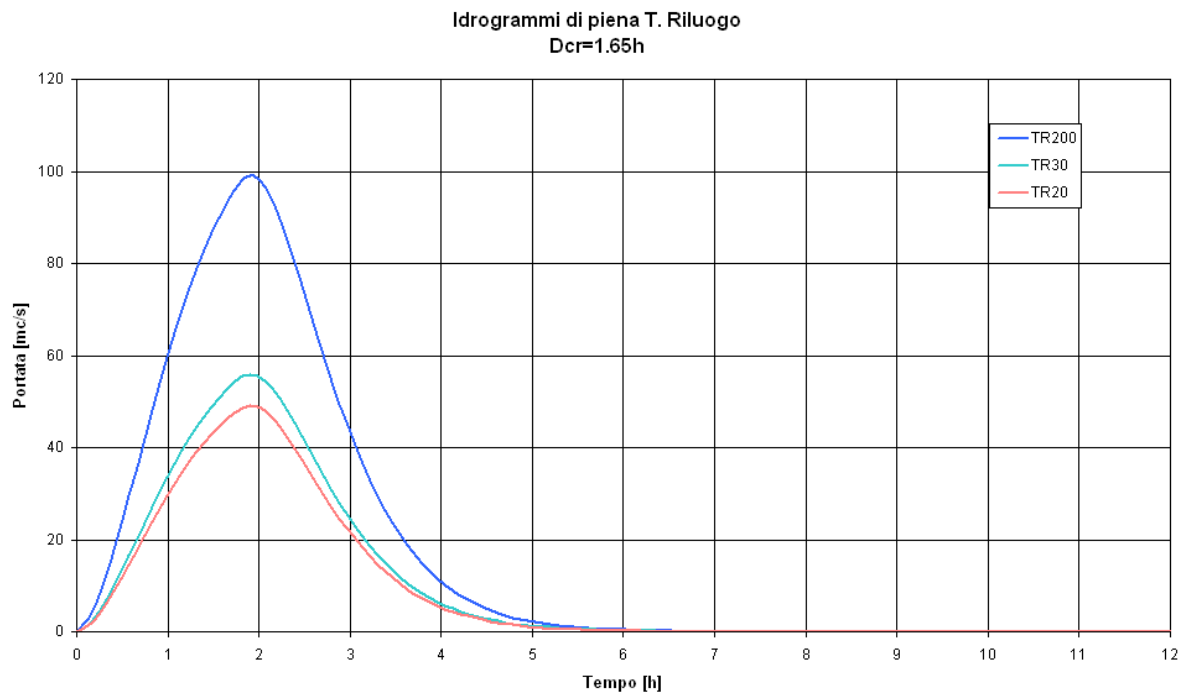
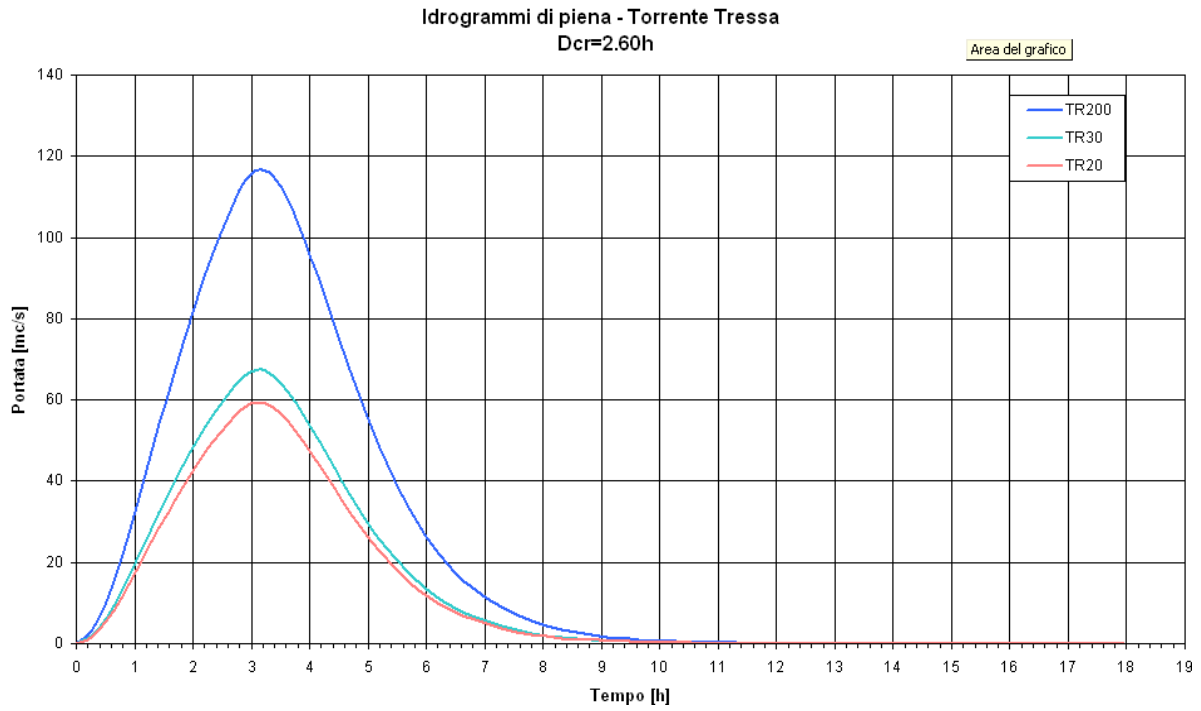
		Tr [anni]	Dcr [h]	Tp [h]	Qvalle [mc/s]	q unitaria [mc/s kmq]
Ril01.a	T. Riluogo a monte ex-Socini	20	0.96	1.248	20.1	7.18
		30	0.96	1.248	22.3	7.96
		200	0.96	1.248	35.5	12.68
Ril01.b	a monte F. di Ravacciano	20	0.96	1.248	27.4	6.37
		30	0.96	1.248	30.5	7.09

	Tr [anni]	Dcr [h]	Tp [h]	Qvalle [mc/s]	q unitaria [mc/s kmq]
	200	0.96	1.248	48.7	11.33
Ril01.c a monte F. della Tombola	20	0.96	1.344	37.3	5.18
	30	0.96	1.344	41.6	5.78
	200	0.96	1.344	67.5	9.38
Ril01.d a monte F. del Paradiso	20	0.96	1.344	38.7	4.90
	30	0.96	1.344	43.2	5.47
	200	0.96	1.344	70.6	8.94
Ril01.e a valle dei F. Tombola e Paradiso	20	0.96	1.344	40.6	4.72
	30	0.96	1.344	45.4	5.28
	200	0.96	1.344	74.4	8.65
Ril01.f a monte F.Borrino	20	1.65	1.98	40.7	3.95
	30	1.65	1.98	46.4	4.50
	200	1.65	1.98	82.3	7.99
Ril01.g a valle F.Borrino. Chiusura	20	1.65	1.98	48.8	3.97
	30	1.65	1.98	55.6	4.52
	200	1.65	1.98	98.5	8.01

dove:

- Tr tempo di ritorno dell'evento di piena;
- Dcr durata critica della pioggia che massimizza l'evento di piena, di intensità uniforme secondo le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica;
- Tp tempo di picco dell'idrogramma (corrispondente alla portata di massima piena).

Si allegano di seguito gli idrogrammi di piena con tempo di ritorno 20, 30 e 200 anni ottenuti nelle sezioni di chiusura del T. Tressa e del T. Riluogo.



A titolo di confronto si allega le tabelle di sintesi delle portate al colmo nelle sezioni di chiusura del T. Tressa e del T. Riluogo elaborate con l'applicativo AITo2000 GIS in ambiente ESRI ,sviluppato dalla regione Toscana.

Come già anticipato e verificato nello studio consegnato nell'anno 2008, i risultati della regionalizzazione delle portate di piena non risultano sempre attendibili a causa della inesatta individuazioni dei bacini idrografici, delle aste del reticolo e di conseguenza nella stima dei parametri geomorfologici principali.

SIMBOLOGIA TABELLE RIASSUNTIVE

Parametri del bacino

ID	ID asta
Codice	Codice della D.C.R.T. 230/94
Nome	Denominazione del corso d'acqua;
Area	Area sottesa [kmq];
la	Perdita iniziale media sul bacino [mm];
Ks	Infiltrazione a saturazione media sul bacino [mm/ora];
N	parametro di forma dell'idrogramma di Nash;
K	parametro di scala dell'idrogramma di Nash [ore];
a1	parametro a1 della curva di possibilità pluviometrica per durate inferiori all'ora [mm/y ^m *h ⁿ];
n1	parametro n1 della curva di possibilità pluviometrica per durate inferiori all'ora;
m1	parametro m1 della curva di possibilità pluviometrica per durate inferiori all'ora;
a	parametro a della curva di possibilità pluviometrica per durate superiori all'ora [mm/y ^m *h ⁿ];
n	parametro n della curva di possibilità pluviometrica per durate superiori all'ora;
m	parametro m della curva di possibilità pluviometrica per durate superiori all'ora;
Qbase	portata di base [mc/s kmq];
Qmax	portata massima limite [mc/s] (se non indicata si assume che non vi sia limite).

Risultati elaborazione

ID	ID asta
Codice	Codice della D.C.R.T. 230/94;
Nome	Denominazione del corso d'acqua;
Tr[anni]	Tempo di ritorno;
Durata [h]	Durata evento;
Forma ieto	Intensità costante (0), Ietogramma Chicago (1);
Picco ieto	Tempo di picco dello ietogramma tipo Chicago;
Afflusso [mm]	Afflusso meteorico;
Intensità [mm/h]	Intensità media dell'evento;
Fa	Parametro a della formula di ragguglio areale;
Fb	Parametro b della formula di ragguglio areale;
Fc	Parametro c della formula di ragguglio areale;
Tipo calcolo Kr	Singola sezione (0), Globale (1), Fisso (2), Area fissa (3)
Area fissa [kmq]	Area fissa su cui calcolare il Kr
Kr	Valore del coefficiente di ragguglio areale;
Prec	precipitazione
Vol. lib.	volume libero nel suolo [mm]
Inf.tot.[mm]	Quantità di acqua che si infila nel suolo;
Defl.tot. [mm]	Deflusso, Afflusso ridotto meno Infiltrazione;
Q [mc/s]	Portata al colmo;
Max vol. [mc]	Massimo volume invasato nell'opera di laminazione [mc];
Max liv. [m]	Massimo livello nell'opera di laminazione [m];
Q valle [mc/s]	Portata al colmo a valle dall'opera di laminazione [mc/s].

Torrente Tressa – tratto Tre01

Parametri del bacino

ID	CODICE	NOME	Area [kmq]	la	Ks	N	K [h]	a1	n1	m1	a	n	m
5831	0	TRESSA	14.432	3.837	0.99	2.719	0.789	28.747	0.499	0.18	24.462	0.31	0.22

Portate calcolate

ID	CODICE	NOME	Tr	Durata [h]	Forma leto	Picco leto	Afflusso [mm]	Intensità [mm]	Fa	Fb	Fc	Kr	Prec	Vol lib [mm]	Inf tot [mm]	Defi tot [mm]	Qvale [mc/s]
5831	0	TRESSA	20	2.36	1	0.4	62.101	26.316	0.036	0.25	0.01	0.955	59.299	2.612	5.896	53.882	66.678
5831	0	TRESSA	30	2.289	1	0.4	67.345	29.421	0.036	0.25	0.01	0.955	64.281	2.63	5.834	58.926	73.495
5831	0	TRESSA	200	2.289	1	0.4	102.81	44.914	0.036	0.25	0.01	0.955	98.133	2.625	5.834	92.778	115.009

Torrente Rilugo – tratto Ril01

Parametri del bacino

ID	CODICE	NOME	Area [kmq]	la	Ks	N	K [h]	a1	n1	m1	a	n	m
5727	0	RILUGO	11.44	3.96	1.825	2.678	0.65	28.747	0.499	0.18	24.462	0.307	0.223

Portate calcolate

ID	CODICE	NOME	Tr	Durata [h]	Forma leto	Picco leto	Afflusso [mm]	Intensità [mm]	Fa	Fb	Fc	Kr	Prec	Vol lib [mm]	Inf tot [mm]	Defi tot [mm]	Qvale [mc/s]
5727	0	RILUGO	20	1.915	1	0.4	58.241	30.417	0.036	0.25	0.01	0.962	56.007	3.705	7.049	49.428	59.625
5727	0	RILUGO	30	1.915	1	0.4	63.753	33.295	0.036	0.25	0.01	0.962	61.307	3.705	7.049	54.728	65.875
5727	0	RILUGO	200	1.675	1	0.4	93.406	55.773	0.036	0.25	0.01	0.96	89.698	3.725	6.663	83.505	103.978

Portate di progetto corsi d'acqua secondari con il "Metodo Razionale"

Per il calcolo delle portate di progetto dei bacini dei corsi d'acqua secondari è stato applicato il metodo razionale, secondo la relazione:

$$Q = \frac{C \cdot A \cdot h(t_c)}{3,6 \cdot t_c}$$

essendo:

- h altezza di precipitazione[mm], (vedi paragrafo piogge di progetto);
- A area del bacino;
- C coefficiente di deflusso, dato dal rapporto tra la pioggia che dà origine al deflusso e la pioggia totale;
- t_c tempo di corrivazione caratteristico del bacino.

Tale metodo prevede quindi una pioggia di intensità i costante, riferita al tempo di ritorno considerato, di durata pari al tempo di corrivazione del bacino in oggetto.

Vista la limitata estensione dei bacini in questione, il tempo di corrivazione è stato calcolato secondo la seguente relazione, come somma di due contributi:

$$t_c = t_{ss} + t_{sa}$$

essendo:

- t_{ss} il tempo di scorrimento superficiale corrispondente all'intervallo di tempo misurato dall'inizio della pioggia in cui inizia il deflusso nell'asta principale (tempo di saturazione + tempo di trasferimento alla rete principale), stimato nell'ordine di 10 minuti;
- t_{sa} il tempo di scorrimento lungo il corso d'acqua, calcolato dividendo la lunghezza dell'asta principale per la velocità media lungo l'asta V_k ; come valore di riferimento della velocità è stata impiegata la formula di Kirpich:

$$V_k = \frac{L}{3,6 \cdot 0,0662 * L^{0,77} * (10^3 * L / (H_{max} - H_{min}))^{-0,385}}$$

Di seguito si riporta la tabella di sintesi delle caratteristiche dei bacini idrografici e le altezze di pioggia per tempi di ritorno 20, 30 e 200 anni.

	Area bacino	L	Hmax	Hmin	tc	h ₂₀	h ₃₀	h ₂₀₀
	Kmq	km	m slm	m slm	ore	mm	mm	mm
F.SSO DEL CASTAGNO	0.536	1.10	356.0	305.0	0.40	38.0	33.3	46.7
F.SSO DEL BOLGIONE	2.684	2.41	403.0	285.0	0.58	37.3	40.1	56.2
AFFLUENTE IN SINISTRA F.SSO DEL BOLGIONE	0.216	0.84	360.0	283.0	0.31	27.31	29.35	41.14

	Area bacino	L	Hmax	Hmin	tc	h ₂₀	h ₃₀	h ₂₀₀
	Kmq	km	m slm	m slm	ore	mm	mm	mm
F.SSO IN ZONA 'BOTTEGA NUOVA'	0.081	0.17	332.0	293.0	0.20	21.4	23.6	33.1
AFFLUENTE IN SINISTRA T. RILUOGO IN ZONA 'LA VELOCE'	0.680	1.58	325.0	226.0	0.44	26.9	35.0	49.0
AFFLUENTE IN SINISTRA T. SORRA IN ZONA 'PIAN DELLE FORNACI'	0.027	0.37	272.0	232.0	0.24	27.3	25.8	36.2
F.SSO S. LUCIA	0.504	1.02	222.4	167.0	0.37	22.5	32.1	44.9
F.SSO DEL FOSSATONE	1.131	2.43	233.0	167.5	0.69	38.0	43.8	61.3
F.SSO RIBUCCIANO	0.094	0.16	269.0	220.0	0.19	21.4	23.0	32.2
F.SSO DELLE LUGLIE	0.348	0.83	287.0	205.0	0.31	26.9	28.9	41.1
F.SSO DI VALLI	1.227	1.23	276.0	197.0	0.39	30.6	32.9	46.1
F.SSO DEL CASONE	0.513	0.89	289.0	194.0	0.31	27.3	29.3	41.1
AFFLUENTE IN SINISTRA F.SSO RIBUCCIANO ZONA 'VIADOTTO RIBUCCIANO'	0.095	0.28	262.0	200.0	0.21	22.5	24.2	33.9
F.SSO BORRINO	1.925	2.19	274.0	190.0	0.60	38.0	40.8	57.2

Il coefficiente C di deflusso è stato calcolato utilizzando il metodo del *Curve Number* (già esposto in precedenza), considerando come condizioni idrologiche di riferimento quelle di suolo saturo (CN3), ricavando per ogni bacino i valori della ritenzione potenziale "S", dell'infiltrazione iniziale "I_a" e quindi la stima per i vari tempi di ritorno del coefficiente di deflusso "C".

	CN3	S	I _a	C ₂₀	C ₃₀	C ₂₀₀
		mm	mm	-	-	-
F.SSO DEL CASTAGNO	90.4	26.8	5.4	0.40	0.43	0.54
F.SSO DEL BOLGIONE	90.4	27.1	5.4	0.46	0.48	0.59
AFFLUENTE IN SINISTRA F.SSO DEL BOLGIONE	88.0	34.6	6.9	0.27	0.301	0.42
F.SSO IN ZONA 'BOTTEGA NUOVA'	89.2	30.7	6.1	0.24	0.27	0.38
AFFLUENTE IN SINISTRA T. RILUOGO IN ZONA 'LA VELOCE'	87.3	36.9	7.4	0.31	0.34	0.45
AFFLUENTE IN SINISTRA T. SORRA IN ZONA 'PIAN DELLE FORNACI'	91.8	22.6	4.5	0.38	0.40	0.51
F.SSO S. LUCIA	92.5	20.7	4.1	0.48	0.50	0.60
F.SSO DEL FOSSATONE	91.8	22.7	4.5	0.55	0.57	0.66
F.SSO RIBUCCIANO	88.5	33.1	6.6	0.21	0.24	0.35
F.SSO DELLE LUGLIE	90.7	26.0	5.2	0.37	0.39	0.51
F.SSO DI VALLI	91.5	23.6	4.7	0.44	0.47	0.57
F.SSO DEL CASONE	92.9	19.5	3.9	0.47	0.49	0.59
AFFLUENTE IN SINISTRA F.SSO RIBUCCIANO ZONA 'VIADOTTO RIBUCCIANO'	92.7	19.9	4	0.40	0.42	0.53
F.SSO BORRINO	89.2	30.8	6.2	0.43	0.45	0.56

Nella tabella successiva si riportano per i vari corsi d'acqua studiati i valori delle portate di piena al colmo ricavate con il metodo razionale, per tempi di ritorno 20, 30 e 200 anni.

	Q_{20}	Q_{30}	Q_{200}
	mc/s	mc/s	mc/s
F.SSO DEL CASTAGNO	4.66	5.31	9.34
F.SSO DEL BOLGIONE	22.20	25.10	42.6
AFFLUENTE IN SINISTRA F.SSO DEL BOLGIONE	1.46	1.71	3.29
F.SSO IN ZONA 'BOTTEGA NUOVA'	0.60	0.71	1.41
AFFLUENTE IN SINISTRA T. RILUOGO IN ZONA 'LA VELOCE'	4.37	5.06	9.47
AFFLUENTE IN SINISTRA T. SORRA IN ZONA 'PIAN DELLE FORNACI'	0.28	0.32	0.57
F.SSO S. LUCIA	5.39	6.07	10.25
F.SSO DEL FOSSATONE	10.11	11.30	18.47
F.SSO RIBUCCIANO	0.63	0.74	1.54
F.SSO DELLE LUGLIE	3.17	3.64	6.50
F.SSO DI VALLI	11.8	13.4	23.04
F.SSO DEL CASONE	5.88	6.63	11.25
AFFLUENTE IN SINISTRA F.SSO RIBUCCIANO ZONA 'VIADOTTO RIBUCCIANO'	1.12	1.28	2.25
F.SSO BORRINO	14.4	16.3	28.37

Studio idraulico

Le verifiche idrauliche sono state realizzate utilizzando l'applicativo HEC RAS 3.1.3, sviluppato dall'US Corps of Engineers, in regime di moto permanente.

Le sezioni idrauliche utilizzate nei modelli sono state rilevate topograficamente dal Comune di Siena con stazione totale e strumentazione GPS, con restituzione in coordinate Gauss Boaga e quota altimetrica assoluta in m slm, o estratte da modelli digitali del terreno ricavati:

- dal rilievo aerofotogrammetrico in scala 1:1000 (con precisione altimetrica dell'ordine di +/-10 cm) in formato numerico 3D, con restituzione in coordinate Gauss Boaga e quota altimetrica assoluta in m slm, realizzato dal Comune di Siena per la progettazione del Lotto 0 della E78 GROSSETO – FANO;
- dal rilievo topografico realizzato dal Comune di Siena per la progettazione dell'area del Nuovo Stadio e della Nuova Strada di Collegamento tra la Zona Industriale di Isola d'Arbia e la S.P. Traversa Romana Aretina n. 136 (bretella di Renaccio).

E' stata inoltre utilizzata la cartografia tecnica regionale in scala 1:2.000 in formato numerico 3D per l'estensione dei dati topografici non rilevati direttamente.

In alcuni tratti, riscontrando una difformità tra la CTR 1:2000 disponibile e la situazione reale rilevata topograficamente, dovuta sicuramente alla notevole presenza di vegetazione che ha alterato la restituzione aerofotogrammetrica, l'andamento del corso d'acqua è stato confrontato con quello riportato nei rilievi aerofotogrammetrici dell'anno 1963 del Comune di Siena, disponibili in formato cartaceo scala 1:4000, maggiormente rispondenti rispetto la CTR.

Con riferimento ai tratti in studio:

- le verifiche idrauliche del T. Tressa e T. Riluogo sono state eseguite integrando lo studio idraulico redatto nel 2008 per i tratti Tre.01 e Ril.01 con le nuove sezioni idrauliche, estratte dal modello digitale del terreno ricavato dal rilievo aerofotogrammetrico del Lotto 0;
- per i corsi d'acqua secondari che interessano le aree oggetto di previsione da parte del regolamento urbanistico sono state rilevate topograficamente dal Comune di Siena le sezioni introdotte nei modelli idraulici; per il Fosso del Fossatone e il Fosso della Bandita è stato utilizzato il rilievo del Comune di Siena per l'area del nuovo stadio e per la bretella di Renaccio;
- per i tratti dei fossi interferenti con i lavori di adeguamento a 4 corsie del tratto E78 Grosseto – Fano le sezioni idrauliche sono state estratte dal modello digitale del terreno ricavato dal rilievo aerofotogrammetrico del Lotto 0.

Al presente studio risultano allegati in formato digitale (*.dwg) come parte integrante, in modo da consentire l'aggiornamento del quadro conoscitivo del PAI del Fiume Ombrone:

- i punti rilevati, assieme alle sezioni e ai profili topografici restituiti dal Comune di Siena;

- il rilievo aerofotogrammetrico del Lotto 0;
- il rilievo topografico per il nuovo stadio e per la bretella di Renaccio,
- le sezioni e i profili idraulici inseriti e simulati con l'applicativo HEC RAS.

Applicativo Hec Ras 3.1.3

L'equazione del moto, in regime permanente, può essere scritta nella forma:

$$-\frac{dH}{ds} = \frac{\tau_0}{\gamma R} = J$$

Nel caso invece di regime di moto vario le equazioni di continuità e di moto (o dell'energia), scritte nella forma indefinita per una corrente gradualmente variata monodimensionale, sono le seguenti:

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

$$\frac{\partial H}{\partial x} = -\frac{1}{g} \frac{\partial U}{\partial t} - J$$

dove:

- A è l'area della sezione liquida [m²]
- Q è la portata [m³/s]
- q(x) è la portata laterale [m²/s], positiva se entrante
- H è il carico totale della corrente [m]
- g è l'accelerazione di gravità [m/s²]
- U è la velocità media della corrente [m/s]
- J è la perdita di carico effettivo per unità di lunghezza
- x è l'ascissa lungo l'alveo [m]
- t è il tempo [s]

La perdita di carico effettivo può essere stimata con un'equazione analoga a quella adottata per il moto uniforme:

$$J = \frac{U|U|}{\chi^2 R} \quad \text{equazione di Chezy}$$

con:

$$\chi = \frac{1}{n} R^{1/6} \quad \text{coefficiente di resistenza secondo l'espressione di Manning}$$

indicando con R il raggio idraulico della sezione.

Coefficienti utilizzati per le verifiche idrauliche

La scabrezza, ossia il parametro di resistenza che determina le perdite per attrito durante il moto della corrente, è introdotta nel modello utilizzando il parametro di Manning (n , in $1/m^{1/3} s^{-1}$)⁴.

A maggiori scabrezze corrispondono maggiori perdite per attrito e quindi minori velocità e maggiori profondità di moto.

Per i coefficienti di scabrezza si è fatto riferimento ai valori indicati in "Open Channel Hydraulics", Ven Te Chow, Mc Graw Hill 1959.

Sono stati inoltre consultate altre fonti di letteratura in materia (vedi "Open-Channel Flow, M.H. Chaudhry 1993), oltre ai valori riportati nell'"Hydraulic Reference Manual di HEC – RAS, Chapter 3 – Energy loss Coefficients – Manning's n".

In particolare, i valori di riferimento, riportati nella trattazione del Chow, trattandosi di corsi d'acqua naturali con larghezze di piena inferiori a 30 metri, irregolari e con presenza di vegetazione, risultano compresi tra 0,035 e 0,1 $[1/m^{1/3} s^{-1}]$ ⁵. (vedi Table 5-6 Value of Roughness - coefficient n).

Nella modellazione idraulica, alla luce di quanto esposto, sono stati assunti i seguenti valori di scabrezza (coefficiente di Manning):

— alveo inciso	0,035 - 0,07	$[1/(m^{1/3} s^{-1})]$
— alveo inciso – rivestimento in calcestruzzo	0,015 - 0,025	$[1/(m^{1/3} s^{-1})]$
— alveo inciso – rivestimento in lamiera ondulata	0,025	$[1/(m^{1/3} s^{-1})]$
— golene	0,05 – 0,1 ⁶	$[1/(m^{1/3} s^{-1})]$

⁴ Il coefficiente di Manning corrisponde all'inverso del coefficiente di scabrezza di Gauckler Strickler Ks (vedi anche *Sistemazione dei Corsi d'acqua*, L. Da Deppo, C. Datei e P. Salandin, Ed.ni Cortina 1997.

⁵ vedi Table 5-6 Value of Roughness - coefficient n.

⁶ Il valore di scabrezza superiore adottato rispetto quelli indicati per aree coltivate (valori di 0,025 – 0,035) garantisce un fattore di sicurezza nelle verifiche effettuate, giustificato dall'osservazione che nelle aree golenali di espansione l'acqua risulta effettivamente rallentata, a differenza dell'alveo centrale in cui le velocità risultano maggiori. Tale ipotesi può essere verificata controllando che i valori di portata e di

Per i coefficienti di espansione e contrazione della corrente sono stati utilizzati i seguenti valori (perdite localizzate in termini dell'altezza cinetica), applicati in corrispondenza dei principali allargamenti / restringimenti:

<i>Modalità di transizione</i>	<i>Contrazione</i>	<i>Espansione</i>
Graduale	0,1	0,3
Brusca	0,3	0,5

Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno sono state introdotte attraverso le pendenze dei tratti a monte e a valle dei corsi d'acqua studiati.

La tabella seguente sintetizza le condizioni per i tratti in studio.

<i>tratto</i>	<i>corso d'acqua</i>	<i>Condizioni al contorno</i>
Tre.01	T. Tressa	moto uniforme a monte T. Tressa – p = 0,70 % moto uniforme a valle T. Tressa – p = 0,60 %
Ril.01	T. Riluogo	moto uniforme a monte T. Riluogo – p = 0,40 % moto uniforme a valle T. Riluogo – p = 0,86 %
Cast.	F.sso del Castagno	moto uniforme a monte F.sso Castagno – p = 1,95 % moto uniforme a valle F.sso Castagno – p = 1,40 %
Bolg.	F.sso del Bolgione	moto uniforme a monte F.sso. Bolgione – p = 1,00 % moto uniforme a valle F.sso Bolgione – p = 1,70 %
Aff. Sin. Bolg	Affluente in sinistra F.sso del Bolgione	moto uniforme a monte affluente in sinistra F.sso. Bolgione – p = 06,83 % moto uniforme a valle confluenza F.sso. Bolgione – p = 1,76 %
Bott. Nuova	F.sso in zona 'Bottega Nuova'	moto uniforme a monte F.sso in zona 'Bottega Nuova' – p = 6,00 % moto uniforme a valle F.sso in zona 'Bottega Nuova' – p = 6,70 %
Aff. Ril.	Affluente in sinistra T. Riluogo in zona 'La veloce'	moto uniforme a monte affluente in sinistra T. Riluogo – p = 3,60 % moto uniforme a valle affluente in sinistra T. Riluogo' – p = 0,53 %
Aff. Sorra	Affluente in sinistra T. Sorra in zona 'Pian delle Fornaci'	moto uniforme a monte affluente in sinistra T. Sorra' – p = 1,50 % moto uniforme a valle affluente in sinistra T. Sorra' – p = 3,00 %
S. Lucia	F.sso di S. Lucia	moto uniforme a monte F.sso S. Lucia – p = 2,50 % moto uniforme a valle F.sso S. Lucia – p = 1,70 %

velocità dell'alveo (*main channel*) risultino superiori a quelli calcolati nelle aree golenali (*left e right overbanks*), in modo da riprodurre condizioni di moto permanente verosimili.

<i>tratto</i>	<i>corso d'acqua</i>	<i>Condizioni al contorno</i>
Fos.	F.sso Fossatone e F.sso La Bandita	moto uniforme a monte F.sso Fossatone – p = 4,30 % moto uniforme a monte F.sso La Bandita – p = 6,00 % moto uniforme a valle F.sso Fossatone – p = 0,30 %
Ribuc.	F.sso Ribucciano	moto uniforme a monte F.sso Ribucciano – p = 2,50 % moto uniforme a valle F.sso Ribucciano – p = 5,00 %
Lugl.	F.sso delle Luglie	moto uniforme a monte F.sso delle Luglie – p = 1,80 % moto uniforme a valle F.sso delle Luglie – p = 2,30 %
Val.	F.sso di Valli	moto uniforme a monte F.sso di Valli – p = 1,60 % moto uniforme a valle F.sso di Valli – p = 1,40 %
Cas.	F.sso del Casone	moto uniforme a monte F.sso del Casone – p = 1,20 % moto uniforme a valle F.sso del Casone – p = 1,80 %
Aff. Rib.	Affluente in sinistra F. Ribucciano zona 'Viad. Ribucciano'	moto uniforme a monte affluente in sinistra F.sso Ribucciano – p = 7,40 % moto uniforme a valle affluente in sinistra F.sso Ribucciano – p = 4,90 %
Borr.	F.sso del Borrino	moto uniforme a monte F.sso Borrino – p = 1,50 % moto uniforme a valle F.sso Borrino – p = 0,80 %

Modellazione di confluenze con applicativo Hec Ras

Le confluenze dei tratti modellati sono state simulate utilizzando i seguenti metodi:

- il metodo dell'energia (*standard method*);
- il metodo del momento (*momentum method*), basato sull'equazione del momento della quantità di moto della corrente, che considera le perdite legate all'angolo del tributario, non valutabili con il metodo dell'energia.

Modellazione dei ponti con applicativo Hec Ras

Trattandosi nella maggior parte dei casi di condizioni di moto per portate notevoli (*high flow method*), il programma consente di scegliere tra il metodo dell'energia (*Energy Equation*⁷), valido nei casi in cui il manufatto non entra in pressione (pelo libero della corrente inferiore alla quota di intradosso dell'impalcato), o il metodo basato sul teorema della quantità di moto (*Momentum Balance Method*).

⁷ Si tratta dello "standard step method" del programma, che viene applicato di default.

Nelle sezioni a monte e a valle dei ponti, sono state inserite aree di moto ineffettivo (*ineffective flow area*) per simulare correttamente il restringimento e il successivo allargamento della sezione, con le conseguenti perdite di energia della corrente (contrazione ed espansione).

Modellazione di culvert (tombini) con applicativo Hec Ras

La modellazione dei culvert, che richiede la definizione di una geometria simile a quella richiesta per i ponti, consente di definire il tipo di funzionamento del tombino:

- tombino non rigurgitato da valle (*inlet control*);
- tombino rigurgitato da valle (*outlet control*).

I tombini simulati sono stati calcolati considerando la condizione che produce i maggiori livelli idraulici a partire dalle due condizioni (*highest criteria*).

Nelle sezioni a monte e a valle dei ponti, sono state inserite aree di moto ineffettivo (*ineffective flow area*) per simulare correttamente il restringimento e il successivo allargamento della sezione, con le conseguenti perdite di energia della corrente (contrazione ed espansione).

Risultati delle verifiche idrauliche

I risultati delle verifiche idrauliche, la documentazione fotografica e gli allegati di calcolo (output applicativi Hec Ras) sono riportati nell'elaborato d.02.