

REGIONE
TOSCANA



Allegato 32/39 alla deliberazione

n. 83/CC del 29.09.08

**Ufficio Tecnico del Genio Civile
di Area Vasta Firenze-Prato-Pistoia-Arezzo**

**Comune di
Certaldo**

VARIANTE AL P.R.G.C. PER LE ATTIVITA' DI IMPRESA

STUDIO IDROLOGICO IDRAULICO
(L.R. n°1 03/01/2005 - D.P.G.R. n°26/R 27/04/2007)

Relazione idrologica idraulica

**Dirigente Ufficio Tecnico
del Genio Civile**

Ing. G. Fianchisti

Gruppo di Lavoro

Ing. F. Baroni

Ing. F. Martelli

Ing. V. Nencini

Ing. N. Pasotti

Geol. C. Simoncini

**Dirigente Settore Programmazione,
Pianificazione, Governo del Territorio
Comune di Certaldo**

Ing. P.G. Spannocchi

**Responsabile Assetto del Territorio
e Urbanistica Comune di Certaldo**

Arch. C. Vanni

Settembre 2008

INDICE

PREMESSA.....	2
1 DEFINIZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO.....	2
2 IMPOSTAZIONE METODOLOGICA.....	3
3 ANALISI IDROLOGICA.....	4
3.1 DESCRIZIONE DEL BACINO IDROGRAFICO.....	5
3.2 MODELLISTICA IDROLOGICA.....	11
3.3 APPLICAZIONE DEL MODELLO IDROLOGICO.....	18
4 ANALISI IDRAULICA.....	19
4.1 MODELLISTICA IDRAULICA.....	20
4.2 VERIFICHE IDRAULICHE DELLO STATO ATTUALE.....	23
4.3 ANALISI DEI RISULTATI.....	25
4.4 DEFINIZIONE DEGLI INTERVENTI IDRAULICI.....	27
5 CONCLUSIONI.....	28

Premessa

Il presente studio idrologico-idraulico è redatto a supporto della Variante Urbanistica al Piano Regolatore Generale del Comune di Certaldo ai sensi del Regolamento n. 26R/2007 della Regione Toscana in attuazione della L.R. 1/2005. La collaborazione tra l'Ufficio Tecnico del Genio Civile di Area Vasta Firenze-Prato-Pistoia-Arezzo e il Comune di Certaldo si inserisce nel percorso che la Regione Toscana ha intrapreso con il Comune per la sperimentazione della suddetta legge. Gli ambiti e le forme di collaborazione sono stati concordati e sintetizzati nella proposta tecnica del 06.11.2007 prot. n. A00GRT\286200.47.5 della Regione Toscana.

Lo studio risulta articolato nelle seguenti fasi:

- 1) fase conoscitiva: acquisizione della cartografia in scala 1:2.000, 1:10.000, di rilievo topografico e del modello digitale del terreno;
- 2) elaborazione idrologica: stima delle portate di piena per i tempi di ritorno di 20, 30 e 200 anni attraverso l'utilizzo di un modello di piena a parametri concentrati;
- 3) analisi idraulica dello stato attuale con un modello idraulico in moto vario e individuazione delle criticità;
- 4) definizione degli interventi necessari per l'attuazione delle previsioni.

1 Definizione del quadro conoscitivo

Per la redazione del presente studio sono stati acquisiti i dati territoriali disponibili presso le pubbliche Amministrazioni, nonché è stata eseguita una campagna di rilievi topografici. In particolare sono stati acquisiti:

- CTR vettoriale in scala 1:2.000 [Regione Toscana, in seguito R.T.];
- CTR vettoriale in scala 1:10.000 [R.T.];
- modello digitale del terreno con celle 1x1 m [R.T.];
- progetti di opere idrauliche e di attraversamento dei corsi d'acqua [Ufficio Tecnico del Genio Civile di Firenze];
- reticolo superficiale delle acque [R.T.];
- reticolo idrografico allegato alla D.C.R. 230/1994 e al P.I.T.[R.T.];

-
- annali e dati idrologici (1921 - 2006) forniti dal Servizio Idrologico della Regione Toscana;
 - studio idraulico a supporto del progetto definitivo approvato della variante alla strada SRT 429 e relativi rilievi topografici [R.T., Provincia di Siena];
 - Studio di Area Vasta del bacino del fiume Elsa [R.T., Provincia di Siena, Circondario Empolese Valdelsa];
 - Sezioni fluviali disponibili presso l'Autorità di Bacino del Fiume Arno;
 - Sezioni fluviali disponibili presso gli atti del Comune di Certaldo;
 - rilievo topografico, condotto nell'ambito del presente studio, di sezioni fluviali aggiuntive sul fiume Elsa e sui suoi affluenti ricadenti nel Comune di Certaldo;
 - rilievo topografico, condotto nell'ambito del presente studio, delle quote di contenimento di tutte le arginature del fiume Elsa presenti nel Comune di Certaldo per una densità media di circa 1 punto ogni 50 m;
 - rilievo topografico, condotto nell'ambito del presente studio, delle dimensioni e quote di tutti i sottopassi delle ferrovie nel territorio comunale di Certaldo;
 - le informazioni desumibili dalla cartografia e dal rilievo topografico sono state integrate attraverso sopralluoghi e indagini sul posto.

Nelle tavole allegate sono indicate le sezioni fluviali utilizzate nei modelli idraulici dei corsi d'acqua di interesse.

2 Impostazione metodologica

Il presente lavoro è finalizzato alla verifica idraulica del tratto medio-vallivo del Fiume Elsa e di tutti i suoi affluenti che ricadono all'interno del Comune di Certaldo e alla conseguente definizione, in funzione del tempo di ritorno, del livello di pericolosità e degli interventi necessari alla messa in sicurezza idraulica.

Tenendo presente che le perimetrazioni delle aree allagabili sono eseguite sulla base dei risultati delle modellazioni matematiche, è indispensabile che l'approccio metodologico utilizzato sia congruente con quello adottato dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno. Di qui la necessità di stimare i livelli idrometrici per eventi di varia durata e tempo di ritorno e, conseguentemente, di assumere come riferimento per le perimetrazioni quelli determinabili dall'involuppo dei risultati ottenuti.

Gli idrogrammi di piena sono stati stimati con lo stesso modello idrologico utilizzato nell'ambito degli studi condotti dall'Autorità di Bacino per la redazione del Piano di Assetto Idrogeologico.

La propagazione dei deflussi di piena lungo il Fiume Elsa avviene tramite un modello idraulico di moto vario in grado di fornire in ogni sezione i livelli idrometrici. La scelta di adottare tale tipologia di modello nasce dalla necessità di determinare le portate smaltibili dal corso d'acqua e i volumi d'acqua che esondano nelle aree adiacenti (le cosiddette *aree di potenziale esondazione APE*).

In modo analogo anche per gli affluenti del fiume Elsa sono stati implementati modelli in moto vario ad eccezione del fosso in loc. P.re Piano.

Per determinare la pericolosità idraulica delle aree in esame sono stati realizzati i seguenti modelli idraulici:

1) Fiume Elsa è stato studiato dalla confluenza con il T. Drove presso Poggibonsi (SI) fino allo scolmatore di Castelfiorentino considerando gli apporti dei numerosi affluenti;

2) Torrente Agliena è stato modellato nel suo tratto terminale, dal Piano d'Agliena fino alla confluenza con il Fiume Elsa;

3) Borro Corniola;

4) Borro del Vicariato

5) Borro dell'Inferno;

6) Fosso in loc. P.re Piano;

7) Borro della Zufola.

Il Borro di Casanova, il fosso Giuncaia e il torrente Avanella non sono stati considerati nel presente studio in quanto oggetto di altri studi. Il torrente Avane non è stato studiato poiché la variante urbanistica non localizza nuove previsioni nelle aree contermini.

3 Analisi idrologica

Gli idrogrammi di piena con cui cimentare il modello idraulico del fiume Elsa sono stati stimati attraverso il modello a parametri concentrati denominato Alto [1 - 2 - 6], utilizzando i parametri già elaborati dalla Regione Toscana e aggiornando le aree dei singoli sottobacini. Il modello si basa sull'ipotesi di stima indiretta dei deflussi, cioè assumendo che il tempo di

ritorno dei deflussi di piena fosse lo stesso degli eventi meteorici utilizzati in ingresso al modello. Quest'ultimi sono stati ricavati dalle curve di possibilità pluviometrica delle stazioni della Regione Toscana. Il modello è stato cimentato con ietogrammi sintetici a intensità costante per vari tempi di ritorno e durate.

Per le verifiche dei singoli affluenti nel Comune di Certaldo l'analisi idrologica è stata condotta attraverso una preliminare analisi geomorfica e idrografica del reticolo e dei bacini per la stima dei parametri da utilizzare nel modello idrologico Alto.

3.1 Descrizione del bacino idrografico

Inquadramento territoriale

Il fiume Elsa si trova sul versante tirrenico dell'Appennino settentrionale ed è un affluente di sinistra del fiume Arno. Il suo bacino è compreso tra 43° 15' 57" e 34° 38' 47" di latitudine Nord e tra 1° 31' 44" e 1° 07' 00" di longitudine Ovest da Monte Mario, ed ha una superficie di 860 Km². Il bacino si inserisce all'interno delle Province di Firenze, Siena e Pisa.

L'Elsa nasce sul versante occidentale della Montagnola Senese nel comune di Sovicille in provincia di Siena da tre sorgenti situate a quote comprese tra 550 e 630 m s.l.m. Le tre sorgenti si riuniscono dopo poche centinaia di metri a formare un unico corso d'acqua che assume il nome di Elsa Morta. Il corso del fiume prosegue attraversando il Pian della Speranza ed il Pian dell'Olmino e si ingrossa ricevendo le acque della Senna e del botro degli Strulli, fino a raggiungere il centro abitato di Colle Val d'Elsa. Proseguendo il suo corso verso Nord, il fiume incontra l'abitato di Poggibonsi, nei pressi del quale l'Elsa vede incrementata in maniera netta la sua portata grazie al contributo del torrente Staggia, in destra idrografica da Sud-Est, e del torrente Foci, in sinistra idrografica da Sud-Ovest, che per dimensioni e volumi d'acqua sono paragonabili all'Elsa stessa.

Una volta superato il centro di Poggibonsi, il fiume prosegue nella bassa Valdelsa in direzione Nord-Ovest entrando nel comune di Barberino, dove riceve le acque di numerosi piccoli affluenti come l'Abese, lo Zambra e l'Avane, fino a giungere a Certaldo, dove incontra il torrente Agliena in destra ed il torrente Casciani in sinistra.

Superato Certaldo, l'Elsa prosegue il suo corso ricevendo il contributo di affluenti quali la Pesciola e il rio Pietroso, nei pressi dell'abitato di Castelfiorentino, per poi giungere fino a Ponte a Elsa, senza ricevere ulteriori apporti significativi, ed immettersi in Arno, alla quota di 15 m s.l.m., dopo aver compiuto un percorso di circa 82 Km.

L'intero bacino dell'Elsa è composto da tre parti fondamentalmente diverse fra loro per aspetti che riguardano la loro geomorfologia ed il ruolo che rivestono nella formazione delle piene (Autorità di Bacino, 1996).

- Il tratto più a monte comprende tutto il territorio dell'alta Valdelsa. La zona è costituita da un ventaglio di vallate i cui corsi d'acqua, quali lo Staggia, il Drove ed il Foci, confluiscono in Elsa nei pressi del centro abitato di Poggibonsi. Una simile conformazione determina un vistoso aumento dei deflussi nel medio e basso corso del fiume, ed è la causa di fenomeni alluvionali ed allagamenti frequenti per tutta la zona della bassa Valdelsa, fino alla confluenza in Arno. A Poggibonsi, infatti, iniziarono i primi straripamenti sia durante la piena del 1949 che durante l'evento del 1966.
- Il secondo tratto dell'Elsa si estende da Poggibonsi fino a Castelfiorentino ed è caratterizzato da un tracciato piuttosto ampio, alimentato da affluenti di breve percorso, tra i quali si ritrovano i già citati Agliena e Casciani, che confluiscono a Certaldo, e la Pesciola ed il Rio Pietroso, che si immettono presso Castelfiorentino.
- Il tratto terminale, da Castelfiorentino fino allo sbocco in Arno, è caratterizzato da versanti brevi e da quote basse. In questa zona si rilevano, pertanto, incrementi minimi di deflusso e di portata al colmo.

Parametri morfologici

Per bacino idrografico si intende "il territorio dal quale le acque pluviali o di fusione delle nevi e dei ghiacciai, defluendo in superficie, si raccolgono in un determinato corso d'acqua direttamente o a mezzo di affluenti, nonché il territorio che può essere allagato dalle acque del medesimo corso d'acqua, ivi compresi i suoi rami terminali con le foci in mare ed il litorale marittimo prospiciente" (Legge 183/89).

Il bacino idrografico è delimitato dallo spartiacque, che può essere definito come la linea più elevata che separa il bacino imbrifero dai bacini contermini, unendo le massime quote secondo la minore pendenza. In pratica, per tracciare lo spartiacque si individuano i picchi delle curve di livello e si uniscono con una linea, sempre perpendicolare ad esse, secondo il versore di minima pendenza.

Si definisce lunghezza del bacino, L , la lunghezza dell'asta fluviale principale, dalla sezione di chiusura fino allo spartiacque.

Il perimetro del bacino, P , non è altro che la lunghezza dello spartiacque.

Per superficie di drenaggio, A, si intende, invece, l'area della proiezione orizzontale del bacino delimitato dallo spartiacque.

La forma del bacino idrografico viene individuata attraverso una serie di indici, dipendenti dall'area, dal perimetro e dalla lunghezza del bacino, che indicano di quanto il bacino si discosta dalla forma circolare. In particolare, si possono definire:

$$\text{fattore di forma (Horton)} \quad F = \frac{A}{L^2} \quad (1.1)$$

$$\text{rapporto di circolarità (Miller)} \quad R_c = 4\pi \frac{A}{P^2} \quad (1.2)$$

$$\text{rapporto di allungamento} \quad E = \frac{2\sqrt{A}}{L\sqrt{\pi}} \quad (1.3)$$

$$\text{rapporto di uniformità} \quad R_U = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} \quad (1.4)$$

Tutte le proprietà lineari ed areali citate sono state calcolate per il bacino del fiume Elsa a partire dal DTM a maglia 10 x 10 metri del bacino dell'Arno, fornito dall'Autorità di Bacino, e sono riportati in Tabella 1.

Superficie di drenaggio	A [km ²]	860
Perimetro	P [km]	254
Lunghezza	L [km]	82
Fattore di forma	F [-]	0.13
Rapporto di circolarità	R _c [-]	0.17
Rapporto di allungamento	E [-]	0.40
Coefficiente di uniformità	R _U [-]	2.44

Tabella 1 – Caratteristiche lineari ed areali del bacino dell'Elsa alla sezione di chiusura

Uso del suolo

Per la definizione dell'uso del suolo dell'intero bacino idrografico dell'Elsa è stato utilizzato il raster 400x400 del programma di calcolo idrologico ALTO 2000 della Regione Toscana.

La carta di copertura utilizzata fa riferimento alle categorie della seguente Tabella:

1	Aree residenziali	14	Formazioni vegetali lineari
2	Aree commerciali e servizi	15	Rimboschimento
3	Aree industriali	16	Aree boschive transitoriamente prive di vegetazione
4	Trasporti, comunicazioni	17	Castagneti da frutto

5	Verde pubblico, giardini, parchi	18	Cespugliati arbusteti macchia mediterranea
6	Colture erbacee	19	Corsi d'acqua
7	Colture orto-floro-vivaistiche e frutteti in genere	20	Laghi, bacini artificiali
8	Allevamenti zootecnici specializzati - Impianti agro industriali	21	Baie, estuari, lagune
9	Pertinenze agricole	22	Aree paludose con vegetazione arborea ed arbustiva
10	Praterie, pascoli, incolti erbacei	23	Aree paludose con vegetazione erbacea
11	Praterie, pascoli, incolti con alberi, arbusti e cespugli sparsi	24	Spiagge, dune costiere, litorali salati, scogliere marine
12	Soprassuoli boschivi	25	Affioramenti rocciosi, calanchi, aree denudate per erosione
13	Boschetti	26	Aree estrattive, cave, miniere, discariche

Tabella 2

Per la stima dei parametri idrologici del reticolo idraulico secondario nel Comune di Certaldo è stata utilizzata la Carta dell'uso del suolo Corinne.

Caratteristiche geolitologiche

All'interno del bacino del fiume Elsa è possibile riconoscere quattro grandi unità morfologiche (Canuti e Tacconi, 1975):

- la dorsale dei Monti del Chianti, che occupa la parte meridionale del bacino, costituita da rocce arenacee e calcareo-marnose e caratterizzata da valli con versanti ripidi e profili a "V" asimmetrici con frequenti rotture di pendio;
- la dorsale della Montagnola Senese, presente anch'essa nella parte più meridionale del bacino, composta prevalentemente da rocce calcaree dalle forme arrotondate e di morfologia carsica;
- le zone collinari, che occupano la gran parte del bacino, formate da sabbie, argille e conglomerati di origine pliocenica, di forma arrotondata o piatta, con orli incisi da calanchi, nel caso delle argille, oppure con fianchi a gradinata, in caso di presenza di ciottolami o sabbie;
- le spianate di travertino, che occupano il territorio compreso fra Colle Val d'Elsa e Monteriggioni, incise da gole profonde.

Le formazioni geologiche presenti all'interno del bacino risalgono, per la gran parte, al periodo Terziario ed, in particolare, sono del Paleogene il Monte Maggio e la Montagnola Senese, mentre tutti gli altri rilievi della Valdelsa vengono fatti risalire al Neogene.

I fenomeni tettonici e paleografici che hanno determinato la formazione della Valdelsa fanno parte del complesso di deformazioni che portarono all'orogenesi della dorsale appenninica Tosco-Emiliana. L'Appennino Centroseptentrionale trae origine da una progressiva emersione delle terre, dovuta a deformazioni compressive delle formazioni terziarie del territorio toscano. Tali movimenti hanno determinato la formazione dei crinali che delimitano le valli in cui oggi scorrono i principali affluenti di sinistra dell'Arno, di cui fa parte anche l'Elsa.

Alla fase compressiva è seguito poi un fenomeno rigido distensivo che ha determinato la formazione di strutture ad Horst e Graben con sviluppo prevalente in direzione Nord-Ovest Sud-Est, la frammentazione in blocchi rigidi della crosta terrestre con generazione di faglie dirette e ripetuti movimenti alterni di sollevamento e sprofondamento.

I segni di questa evoluzione tettonica sono rilevabili nel bacino dell'Elsa negli affioramenti dei terreni più grossolani posti a quote più elevate e nell'andamento del corso del fiume, che segue lo sviluppo appenninico (NO-SE).

A partire dal Miocene Superiore si è avuta una fase di sprofondamento, che ha generato diversi bacini lacustri e salmastro-marini. Il mare andò ad occupare gran parte del territorio toscano, fino ai piedi dei monti del Chianti. Nel Pliocene Superiore ha avuto inizio una fase di sollevamento non uniforme, con oscillazioni successive, che hanno determinato una rapida regressione marina ed influenzato notevolmente gli ambienti di sedimentazione. Risalgono a questa fase tettonica le formazioni litologiche delle sabbie e delle argille presenti nel bacino dell'Elsa. Nel Pleistocene la zona è stata caratterizzata da fenomeni erosivi lungo i versanti ed alluvionali nelle depressioni.

Attualmente la successione stratigrafica del bacino è costituita, dall'alto verso il basso, dalle seguenti unità litologiche:

- depositi alluvionali,
- complesso dei terreni autoctoni marino-lacustri (argille, sabbie e conglomerati pliocenici),
- unità liguri (alberese, formazione di Silliano, ofioliti, pietraforte),
- falda toscana (arenarie, calcare cavernoso, macigno),

- serie metamorfica toscana (calcari cristallini, calcari stratificati, scisti silicei, diaspri, calcescisti).

La stima del parametro di infiltrazione a saturazione da utilizzare nel modello idrologico delle portate di input per il fiume Elsa è stata effettuata tramite la consultazione del raster 400x400 del programma di calcolo idrologico ALTO 2000 della Regione Toscana. Per gli affluenti nel Comune di Certaldo è stato invece utilizzato la cartografia litologica fornita dall'Autorità di bacino del Fiume Arno.

Caratteristiche morfologiche

L'analisi idrologica è stata approfondita attraverso la rigerarchizzazione del reticolo idrografico e delle relative aree afferenti: tutti i rami del reticolo individuato e le corrispondenti aree drenate sono stati gerarchizzati secondo il metodo Horton-Strahler [1]. Sono stati quindi calcolati il numero delle aste fluviali, la lunghezza e l'area relativi ad ogni ordine gerarchico, nonché i rapporti di biforcazione (Rb), di lunghezza (Rl) e di area (Ra) attraverso regressione logaritmica [1]. Sono stati inoltre determinati la lunghezza dell'asta principale L, la lunghezza media cumulata del reticolo (Lmc), calcolata come cumulata delle lunghezze medie per i vari ordini gerarchici, la densità di drenaggio (D), la frequenza di drenaggio (Fd) e la frequenza delle aste di ordine 1 (Fa)[1].

I parametri morfologici Rb, Rl e Ra sopra elencati possono essere calcolati, una volta ordinato il reticolo idrografico secondo Strahler, sulla base delle regressioni delle seguenti note relazioni:

$$\begin{aligned} N_u &= R_b^{\omega-u} \\ \bar{L}_u &= \bar{L}_1 R_l^{u-1} \\ \bar{A}_u &= \bar{A}_1 R_a^{u-1} \end{aligned} \quad [2]$$

dove:

ω = ordine massimo del reticolo;

N_u = numero delle aste di ordine u ;

\bar{L}_u = lunghezza media delle aste di ordine u ;

\bar{A}_u = area media sottesa da aste di ordine u .

3.2 Modellistica idrologica

A seguito della preliminare analisi geomorfica e idrografica del bacino e del reticolo idrografico, è stata condotta l'analisi idrologica per la stima degli idrogrammi di piena. Questi sono stati stimati attraverso il modello di piena concettuale a parametri concentrati AITo [2], basato sull'idrogramma istantaneo unitario di Nash, di cui riportiamo di seguito le linee principali.

L'input meteorico è rappresentato da uno "ietogramma sintetico" la cui frequenza viene stimata a partire dalle curve di possibilità climatica, ricavate con l'adattamento della TCEV [1].

Le curve di possibilità pluviometrica sono espresse dalla seguente formula:

$$h = a \times t^n \times T^m \quad [2]$$

dove a , n e m sono i parametri, t [h] la durata dell'evento, T [anni] il tempo di ritorno e h [mm] l'altezza di pioggia.

Qualora siano necessarie più stazioni di misura per caratterizzare il regime pluviometrico del bacino di interesse, lo ietogramma sintetico è calcolato attraverso il metodo dei topoi di Thiessen delle altezze di pioggia stimate per ciascuna stazione.

Il modello è strutturato in modo da ricercare, per un dato tempo di ritorno, il valore critico della durata di pioggia che massimizza la portata di piena, in funzione delle caratteristiche geomorfologiche del bacino idrografico. Viene in tal modo definita una pioggia di determinata durata con intensità costante. In alternativa è possibile definire ietogrammi di qualsiasi forma e durata.

L'input pluviometrico è stato ragguagliato al bacino attraverso il metodo del coefficiente di ragguaglio areale K_r . Questo è espresso nel modo seguente:

$$K_r = 1 - \exp(-\alpha t^\beta) + \exp(-\alpha t^\beta - \gamma A) \quad [2]$$

dove α , β e γ sono i parametri della formula, t [h] la durata della precipitazione e A [km²] l'area del bacino.

Per la Regione Toscana sono stati stimati i seguenti valori dei parametri [2]:

$$\alpha = 0.036 \text{ a}$$

$$\beta = 0.25$$

$$\gamma = 0.01$$

dove a è il parametro della curva di possibilità pluviometrica utilizzata.

Le opzioni di calcolo del programma utilizzato permettono inoltre il ragguaglio areale per mezzo di un coefficiente K_r , costante definito dall'utente, oppure di tipo "globale".

L'opzione "globale" calcola il coefficiente di ragguaglio areale K_r , considerando che i deflussi del bacino in oggetto si sommino a quelli di un bacino principale di monte. Pertanto, considerando tale bacino come sottobacino del sistema complessivo, il coefficiente di ragguaglio K_r è calcolato affinché il coefficiente del bacino di valle (somma di quello principale e del sottobacino) sia uguale a quello stimabile con la formula sopra presentata. Ciò equivale ad imporre che l'altezza di pioggia calcolata sul bacino complessivo coincida con quella ricavabile dalla sommatoria delle altezze calcolate singolarmente per il bacino di monte ed il sottobacino.

In pratica si assume per il sottobacino un coefficiente di ragguaglio K_r , che mantenga inalterato il valore del coefficiente di ragguaglio K_r pertinente al bacino di valle assumendo come peso l'area dei bacini stessi secondo la seguente formula:

$$K_r = \frac{K_v A_v - K_m A_m}{(A_v - A_m)} \quad [3]$$

dove: K_v = coefficiente di ragguaglio areale per il bacino di valle; A_v = area del bacino di valle; K_m = coefficiente di ragguaglio areale per il bacino di monte; A_m = area del bacino di monte.

Il metodo per studiare la risposta idrologica in termini di deflussi è quello basato sul cosiddetto *idrogramma istantaneo unitario* (*Instantaneous Unit Hydrograph, IUH*), vale a dire l'idrogramma di piena causato da un evento impulsivo di pioggia di volume unitario e durata tendente a zero. Infatti, con le ipotesi di linearità e stazionarietà della risposta, l'idrogramma di piena può essere calcolato tramite la convoluzione fra idrogramma efficace e IUH:

$$Q(t) = \int_0^t U(\tau) p(t - \tau) d\tau \quad [4]$$

dove:

$Q(t)$ è la portata defluente;

$p(t) = A i(t)$ con A area del bacino e $i(t)$ intensità di pioggia netta ragguagliata sul bacino;

$U(t)$ = idrogramma unitario per cui $\int_0^{\infty} U(t) dt = 1$

Il momento di primo ordine dell'IUH rispetto all'origine (baricentro) e definito dalla

$$Tl = \int_0^{\infty} U(t) t dt = 1$$

viene detto *tempo di ritardo* Tl .

Il modello di trasferimento adottato è quello dell'idrogramma unitario di tipo $\Gamma(n, k)$ introdotto da Nash e caratterizzato dal parametro di forma (n) e da quello di scala (k).

$$U(t) = \frac{1}{k\Gamma(n)} \left(\frac{t}{k}\right)^{(n-1)} e^{-\left(\frac{t}{k}\right)} \quad [4]$$

In questo schema il tempo di ritardo è dato dal prodotto nk (pari proprio alla media dell'idrogramma unitario).

I parametri n , k e Tl dell'idrogramma unitario di Nash possono essere ricavati sulla base delle caratteristiche geomorfologiche del reticolo idrografico, mediante le seguenti espressioni:

$$n = 3.29 (Rb/Ra)^{0.78} Rl^{0.07}$$

$$k = 0.7 [Ra/(Rb Rl)]^{0.48} L/v \quad [2]$$

$$Tl = 2.3 \left(\frac{Rb}{Ra}\right)^{0.3} Rl^{-0.41} \frac{L}{v}$$

dove, oltre ai simboli noti, v è il fattore cinematico legato alla velocità della piena ("media spazio-temporale di scorrimento dell'acqua o di propagazione dell'onda di piena").

La trasformazione da pioggia reale a netta adottata richiede la stima di due parametri: I_a perdita iniziale è schematizzata introducendo un *volume unitario di perdita iniziale* (indicato con I_a) che assorbe completamente la precipitazione durante i primi momenti dell'evento (dall'istante iniziale dell'evento $t=0$ sino all'istante $t=t_a$), mentre la perdita durante l'evento viene schematizzata con una *infiltrazione costante a saturazione* (indicata con K_s):

$$I_a(t) = I_a(0) + \int_0^t (P(\tau) - K_s) d\tau \quad [2]$$

se $t < t_a$

$$P_n(t) = 0$$

$$I_a(t) = I_a$$

se $t \geq t_a$

$$P_n(t) = P(t) - K_s$$

dove:

$P(t)$ intensità di precipitazione ragguagliata sul bacino [mm/h];

$P_n(t)$ intensità di precipitazione netta sul bacino [mm/h];

$I_a(t)$ perdita iniziale all'istante t dell'evento [mm];

$I_a = I_a(t_a)$ volume di perdita iniziale per unità di area [mm];

K_s = velocità di infiltrazione a saturazione [mm/h].

I parametri utilizzati per il calcolo delle portate di piena risultano, in sostanza, i seguenti:

- I_a volume unitario di perdita iniziale [mm];
- K_s velocità di infiltrazione a saturazione [mm/h];
- n parametro di forma dell'idrogramma di Nash [-];
- k parametro di scala dell'idrogramma di Nash [h].

Lo studio di regionalizzazione [2], attraverso la taratura sistematica dei dati relativi ad eventi registrati nei 42 bacini strumentati dal Servizio Idrografico, ha fornito una relazione fra i valori di TI [ore] ed i parametri geomorfici:

$$TI = 0.42 \left(\frac{Rb}{Ra} \right)^{0.3} RI^{-0.41} \frac{Lmc}{A^{0.075}} \quad [2]$$

Nello studio di regionalizzazione [1], i valori di I_a e K_s sono calcolati in funzione della litologia dei bacini, resi indipendenti dalle dimensioni del bacino idrografico. In particolare I_a è correlato alla percentuale di superficie boscata del bacino idrografico secondo la relazione:

$$I_a = 3.3 + 22 \cdot P_{ab}$$

(P_{ab} = percentuale di superficie boscata del bacino)[2]

mentre K_s dipende dalle caratteristiche litologiche (TABELLA 3 seguente).

TABELLA 3 Velocità di infiltrazione per classe litologica

Classi	Descrizione	Ks min [mm/h]	Ks max [mm/h]
1	Sabbie di spiaggia e dune costiere recenti ed attuali	1.4	4.8
2	Depositi alluvionali recenti ed attuali, depositi di coimata, depositi palustri, terreni torbosi	0	0
3	Travertini attuali e recenti, calcari detritico-organogeni	3.5	12
4	Depositi fluviali, lacustri e marini antichi, terrazzati	0	0
5	Conglomerati poligenici con intercalazioni di sabbie ed argille, brecce sedimentarie poligeniche	0.35	1.2
6	Depositi argillosi di origine fluvio-lacustre o marina, con intercalazioni di argille, ghiaie ed altri materiali	0	0
7	Depositi sabbiosi di origine fluvio-lacustre o marina, con intercalazioni di argille, ghiaie ed altri materiali; arenarie poco cementate, "panchina", dune antiche, molasse	1.05	3.6
8	Marne, argilliti, argiloscisti (argille varicolori e scisti policromi) talvolta con intercalazioni di altri litotipi	0	0
9	Arenarie quarzoso-feldspatiche, spesso turbiditiche, con intercalazioni di marne ed argilliti (Macigno del Chianti "Macigno A", Pietraforte, Arenarie di Monte Senario, formazione Marnoso Arenacea	0.7	2.4
10	Scisti siltosi, marne, argilliti ed arenarie spesso turbiditiche (Macigno di Londa, Macigno del Mugello "Macigno B")	0	0
11	Alternanze di calcari, calcareniti, calcari marnosi e marne spesso gradate, brecciole calcaree (Alberese, calcareniti degli scisti policromi, "Brecciole nummulitiche", calcari e brecciole di Monte Senario, formazione di Sillano)	2.1	7.2
12	Calcari massicci o grossolanamente stratificati (Calcere massiccio, marmi calcari saccaroidi, calcari ceroidi) con rare intercalazioni	3.5	12
13	Calcari ben stratificati con intercalazioni, calcari litografici, calcari selciferi, subordinatamente calcareniti, calcari marnosi (Calcari selciferi, Maiolica, Calcari di Figline, Calcere a Calpionelle)	3.5	12
14	Calcari stratificati nodulari, calcari marnosi con intercalazioni marnose (Rosso ammonitico, Marne a posidonia, Calcari ad Avicula)	0	0
15	Calcari cavernosi (calcari e dolomie), anidriti, dolomie e calcari dolomitici (Grezzoni)	1.75	6
16	Diaspri, radiolariti e scisti silicei	1.75	6
17	Scisti metamorfici, filladi, anageniti (Verrucano, formazione di Torchi)	0	0
18	Rocce ignee intrusive acide, graniti, granodioriti, quarzomonzoniti, apliti, rocce filoniane	0	0

19	Rocce ignee effusive acide: ignimbriti, reoignimbriti, tufi vulcanici, vulcaniti (lipariti, trachiti, quarzolatiti, trefriti fonolitiche)	0	0
20	Rocce ofiolitiche: diabasi, gabbrì, serpentini, peridotiti, pillow lavas; rocce ignee effusive basiche: trachibasalti, basaniti, leucititi	0	0
21	Gessi, anidriti con intercalate argille, marne, sabbie (formazione Gessoso-solfifera)	0	0
22	Complesso caotico: masse interamente scompaginate a matrice argillosa inglobante blocchi o pacchi di strati di calcari marnosi, breccie ofiolitiche, calcareniti, calcari (Argille scagliose). Complesso indifferenziato costituito da alternanze di argilloscisti e calcari silicei talora caotizzati, con presenza di intercalazioni di arenarie calcaree, calcari marnosi, argilliti	0	0

3.3 Applicazione del modello idrologico

Gli idrogrammi di piena sono stati calcolati relativamente al tempo di ritorno 20, 30 e 200 anni per i vari ietogrammi in ingresso sotto indicati:

- evento a intensità costante e durata critica per i modelli idraulici del T. Agliena, Borro Corniola, Borro del Vicariato, Borro dell'Inferno, F.so in loc. P.re Piano e Borro della Zufola;
- eventi a intensità costante e durata pari a 9 e 12 ore per il modello idraulico F. Elsa.

La sollecitazione pluviometrica che caratterizza il bacino di interesse è stata stimata sulla base delle curve di possibilità pluviometrica di stazioni incidenti sull'area di interesse, aggiornate al 2002 e fornite dal Servizio Idrologico della Regione Toscana. Le curve sono state stimate attraverso il metodo di regionalizzazione di adattamento della TCEV [2-6].

Con il metodo dei topoietsi si è proceduto alla stima dell'altezza di pioggia per i vari tempi di ritorno a partire dalle curve delle seguenti stazioni:

COD	NOME	a	n	m	a ₁	n ₁	m ₁
1300	S.ANDREA IN FABBRICA	20.967	0.262	0.174	19.874	0.384	0.18
1410	POGGOBONSI (STROZZAVOLPE)	22.392	0.269	0.198	22.975	0.289	0.175
1420	S.GIMIGNANO	22.755	0.251	0.186	23.601	0.363	0.157
1430	CERTALDO	22.217	0.23	0.181	22.338	0.333	0.153
1450	CASTELFIORENTINO	22.013	0.271	0.229	24.077	0.36	0.188
1680	LA MADONNINA	20.59	0.295	0.181	19.581	0.319	0.152
2634	MADONNA A BROLIO	25.188	0.275	0.198	26.412	0.329	0.148
2660	SIENA	19.955	0.345	0.201	19.862	0.325	0.18
2740	COTORNIANO (FATTORIA)	22.019	0.308	0.187	21.863	0.272	0.154

TABELLA 4 Stazioni pluviometriche ($h = a_t t^n Tr^m$ per $t < 1$ ora - $h = a t^n Tr^m$ per $t > 1$ ora)

All'altezza di pioggia stimata è stato applicato il coefficiente di ragguglio areale determinato in funzione dell'area e della durata degli eventi simulati.

Sulla base delle relazioni tra le grandezze e i parametri geomorfici e idrologici di cui al paragrafo precedente, sono stati stimati per ciascun bacino di interesse il tempo di ritardo caratteristico T_I [ore] e i parametri n [] e k [sec] del IUH di Nash.

Per il modello afflussi-deflussi, basato sulla perdita unitaria iniziale I_s [mm] e sulla velocità di infiltrazione K_s [mm/s] sono stati utilizzati valori di regionalizzazione (vedi Allegato 3).

L'applicazione del modello idrologico sopra descritto ha fornito gli idrogrammi di piena utilizzati nella modellazione idraulica, i cui parametri caratteristici sono riportati nell'Allegato 3.

4 Analisi idraulica

I corsi d'acqua oggetto della modellazione idraulica sono i seguenti:

- Il Fiume Elsa è stato studiato per una lunghezza complessiva di quasi 24 km (23899,74 m), con l'utilizzo di 159 sezioni, a partire dalla confluenza con il Torrente Drove (comune di Poggibonsi) con la sezione 357.3 per terminare a valle della confluenza con il T. Pesciola (comune di CastelFiorentino) alla sezione 224. Esso presenta un andamento "irregolare" che potremmo definire meandriforme data la presenza di numerose anse per tutto il tratto di studio. A conferma di tale andamento planimetrico vi è la scarsa pendenza del corso d'acqua che è pari a 0.17%.

Sono presenti quattro ponti con pile in alveo (sez. 353.5, sez. 330.5, sez. 312.5 e sez. 281..5) e due briglie (sez. 315.5 e sez. 287.5), l'ultima delle quali si trova nell'abitato di Certaldo nei pressi del vecchio Molino Landi. Lungo il tratto studiato afferiscono numerosi affluenti non modellati idraulicamente ma il cui contributo, in termini di portata, viene immesso nel modello di calcolo. Gli apporti considerati (da monte verso valle) sono: il Torrente Foci (sez. 349), il Fosso Abese (sez. 339), il Botro del Bachereto (sez. 334), il Fosso Zambra (sez. 327), il Fosso delle Avane (sez. 311), il Borro delle Rocche o di Forciano (sez. 310), il Borro dell'Avanella (sez. 306), il Borro dell'Inferno o delle Lupiche (sez. 299) che è stato modellato idraulicamente a parte, il Borro delle Rote (sez. 293), il Torrente Agliena (sez. 280), il Torrente dei Casciani (sez. 276), il Borro del Vicariato (sez. 261), il Borro Casanuova (sez. 257), il Rio Renaccio (sez. 248), il Borro Corniola (sez. 245), il Rio Valle Buia (sez. 232) ed il Torrente Pesciola (sez. 227). Oltre agli apporti degli affluenti come *lateral inflow*, si tiene conto dei contributi dei vari interbacini presenti immessi nel modello con l'opzione di *Uniform laterl inflow*.

- Il fosso in loc. P.re Piano è stato analizzato per circa 400 m con l'ausilio di 5 sezioni rilevate con pendenza media pari all'1,1%. È
- Il Borro dell'Inferno è stato modellato per una lunghezza di circa 950 m fino all'immissione nel Fiume Elsa utilizzando 10 sezioni con una pendenza media del fondo alveo dell'1%. Le opere idrauliche trasversali sono tre ponti ed un tratto tombato

lungo circa 395 m; è presente una cassa di espansione a monte dell'area industriale Bassetto.

- Il Borro della Zufola è stato studiato nel tratto terminale, fino cioè alla confluenza con il Fiume Elsa, per una lunghezza pari a circa 380 m e con una pendenza rilevata dell'2,2%. Sono presenti numerosi attraversamenti, 6, con un tratto tombato di 44 m;
- Il Torrente Agliena è stato modellato per un tratto di circa 3400 m fino allo sbocco nel Fiume Elsa con pendenza media del fondo dell'0,56% tramite il rilievo di 51 sezioni idrauliche. Le interferenze idrauliche sono costituite da sette ponti;
- Il Borro del Vicariato è stato modellato per una lunghezza di circa 2.5 km (2478,47 m) comprensivo della cassa di laminazione presente; Si considerano inoltre i contributi degli affluenti presenti (La Valle alla sez. 40 e le Forche alla sez. 34) modellati separatamente per determinare la portata idraulica effettivamente smaltita;
- Il Borro Corniola è stato modellato nel suo tratto terminale, fino cioè all'immissione nel Fiume Elsa, per una lunghezza di 1150 m e con pendenza media del fondo alveo dell'0,5%, utilizzando 16 sezioni idrauliche. Sono presenti due attraversamenti stradali.

Si riporta di seguito una tabella riassuntiva nella quale si riportano per corso d'acqua le caratteristiche salienti.

Corso d'acqua	Lunghezza [km]	Pendenza [%]	n° sezioni	Ponti	Briglie
Elsa	23.89	0.17	159	4	2
Piano	0.4	1.1	5	5	-
Inferno	0.95	1	10	4	-
Zufola	0.38	2.2	21	6	-
Agliena	3.4	0.56	51	7	-
Corniola	1.15	0.5	16	2	-
Vicariato	2.48	0.7	62	9	1

Tabella 5

4.1 Modellistica idraulica

Le simulazioni idrauliche in moto vario sono state condotte attraverso il programma di calcolo Hec-Ras [7] che, sulla base della discretizzazione numerica delle equazioni di moto, fornisce i livelli idrici in ciascuna sezione di calcolo tenendo conto delle eventuali transizioni tra corrente veloce e corrente lenta.

Il modello matematico di moto vario unidimensionale a fondo fisso risolve, in forma numerica, le equazioni di continuità e del moto per una corrente liquida in condizioni non stazionarie. Assumendo la gradualità spazio-temporale del fenomeno, la perdita di carico effettivo sono stimate con una delle equazione di moto uniforme disponibili (Manning o Gauckler-Strickler). Per includere nel modello gli effetti dissipativi indotti da variazioni di sezione, quali allargamenti o restringimenti, sono valutate le perdite di carico localizzate attraverso i coefficienti contrazione ed espansione.

Al modello unidimensionale, capace di rappresentare adeguatamente il moto in alveo e in aree golenale di limitata dimensione, è accoppiato un sistema di celle di invaso secondo lo schema di Cunge [8]: il modello matematico di moto vario simula i processi di trasferimento e laminazione in alveo cui sono soggetti i volumi di piena durante il verificarsi degli eventi; l'accumulo dei volumi di esondazione nelle aree golenali più ampie o arginate viene invece studiato attraverso la definizione di celle caratterizzate da una propria legge d'invaso, che scambiano volumi d'acqua tra loro e con il corso d'acqua attraverso collegamenti schematizzati come soglie sfioranti libere o rigurgitate. Le celle di accumulo sono definite sulla base delle caratteristiche morfologiche del territorio in modo che lo schema di stramazzo in parete grossa possa essere considerato valido.

Per quelle aree golenali in cui, per le ridotte dimensioni trasversali, per la morfologia del piano campagna e per l'assenza di arginature, non appariva adeguata una modellazione con celle di accumulo, all'interno di ciascuna sezione idraulica sono state opportunamente definite un'area attiva e una inattiva: la prima contribuente al deflusso, la seconda preposta all'accumulo temporaneo di volumi d'acqua. Il modello matematico di moto vario utilizza nell'equazione di continuità l'area totale e nell'equazione del moto la sola area attiva, con l'accorgimento di non considerare come perimetro bagnato la superficie di contatto tra i due tipi di area.

In corrispondenza dei ponti e per livelli idrici inferiori all'intradosso, il programma permette il calcolo con il metodo del bilancio energetico e con il teorema della quantità di moto. Il primo, basato sulla risoluzione delle suddette equazioni di continuità e del moto, sottrae nel calcolo dell'area liquida delle sezioni del ponte le parti occupate dalla struttura, ed aggiunge, nella determinazione del perimetro bagnato, le superficie del ponte in contatto con l'acqua.

Il teorema della quantità di moto, particolarmente appropriato in presenza di pile, applica l'equazione di conservazione della quantità di moto.

Nel caso di livelli idrometri che superino le quote di intradosso o di estradosso dei ponti, le simulazioni idrauliche dei ponti possono essere effettuati con il bilancio energetico o usando le equazioni di deflusso, libero o rigurgitato, per luce a battente e/o per luci sfioranti.

Per la simulazione delle condotte (opere di altezza limitata rispetto ai livelli idrometri attesi alla sezione di ingresso) Hec-Ras calcola l'energia necessaria a monte per avere una determinata portata attraverso l'opera, sia nei casi in cui la sezione di controllo si trovi all'ingresso (*inlet control*), sia quando detta sezione è posta all'uscita (*outlet control*).

Nel primo caso le equazioni adottate sono quelle emerse dai test di laboratorio effettuati dal NBS (1961) e BPR degli Stati Uniti [7], distinguendo i casi di imbocco sommerso e imbocco non sommerso. Nel secondo l'equazione di Bernoulli è applicata al fine di compiere un bilancio energetico fra le sezioni di imbocco e di uscita.

Tra le condizioni di inlet e outlet control è in generale quella che possiede il carico di monte più alto a determinare il tipo di moto all'interno della condotta per una data condizione di valle. Se, durante l'elaborazione, la domanda energetica del funzionamento in inlet control risulta maggiore di quella di outlet control, il programma valuta se le condizioni di controllo in ingresso possono effettivamente persistere attraverso il condotto senza porlo in pressione. Infatti, se questo funziona completamente in pressione, il programma adotta necessariamente il metodo di outlet control.

Per la risoluzione del sistema di equazioni è necessario conoscere le condizioni al contorno sia a monte che a valle. Le prime sono imposte attraverso un idrogramma di piena. Le seconde possono invece essere costituite da un idrogramma di livelli o da una scala di deflusso.

La condizione di valle può essere costituita da un idrogramma di livelli idrometrici, oppure da un legame funzionale tra portata e livelli ovvero una scala di deflusso.

A monte invece è necessario imporre una condizione sulla portata in ingresso attraverso un idrogramma di piena che è ricavato sulla base dell'analisi idrologica già descritta al paragrafo precedente

4.2 Verifiche idrauliche dello stato attuale

Modello idraulico Fiume Elsa

L'analisi idraulica del F. Elsa è stata condotta per durate dell'evento meteorico pari a 9 e 12 ore per i tempi di ritorno Tr 200, Tr 30 e Tr 20. Infatti da studi precedenti [Studio di Area Vasta – Circondario Empolese Valdelsa; studio SRT429 – Provincia di Siena] è emerso che i due eventi considerati rappresentano, in funzione del tratto di interesse, quelli di maggiore pericolosità di esondazione.

Per ciascuno scenario di verifica il modello idraulico è stato cimentato con gli idrogrammi stimati secondo la procedura descritta nei paragrafi precedenti.

Come condizione al contorno di valle è stata fissato un livello idrico costante di piene rive; avendo prolungato il modello geometrico del fiume sufficientemente a valle rispetto alle aree di interesse, nelle stesse i livelli idrici sono totalmente indipendenti dalla particolare condizione scelta.

Tutti gli idrogrammi sono riportati tabulati negli Allegati.

I coefficienti medi di resistenza al moto nelle varie sezioni sono stati stimati negli studi idraulici a supporto del progetto approvato della variante alla SRT429 e riutilizzati nel presente studio. In particolare le sezioni d'alveo sono caratterizzate da un coefficiente di scabrezza secondo Manning (n) di $0.037 \text{ s}^{1/2}/\text{m}$, mentre per le aree golenali di $0.04 \text{ s}^{1/2}/\text{m}$.

Le curve di invaso delle aree di potenziale esondazione sono state stimate sulla base dei rilievi topografici disponibili [studio SRT 429] da Poggibonsi fino a Certaldo. Nel tratto di valle si invece fatto ricorso al modello digitale del terreno con cluster 1×1 disponibile presso la Regione Toscana.

Modello idraulico Torrente Agliena, Borro dell'Inferno e Borro della Zufola, Borro Corniola

L'analisi idraulica del Torrente Agliena, del Borro dell'Inferno, Borro della Zufola e del Borro del Vicariato è stata condotta per l'evento critico dei rispettivi bacini alla sezione di chiusura (rispettivamente 3, 0.9, 0.5 e 1 ore) e per tempi di ritorno Tr 200, Tr 30 e Tr 20. Sono state quindi immesse:

- la condizione al contorno di monte, data dall'idrogramma di piena

- la condizione al contorno di valle corrispondente ad un livello idrico costante (63.9 m s.l.m per il T. Agliena, 68 m s.l.m. per il Borro dell'Inferno, 66 m s.l.m. per il Borro della Zufola, 59.5 m s.l.m. per il Borro del Vicariato).

Si precisa che i livelli idrici in corrispondenza delle aree di variante sono indipendenti dalla condizione al contorno.

I valori del coefficiente di Manning utilizzati sono:

Corso d'acqua	numero di Manning [$s/m^{1/3}$]		
	LOB	Alveo inciso	ROB
Agliena	0.04	0.04	0.04
Inferno	0.025÷0.04	0.025÷0.04	0.025÷0.04
Vicariato	0.04	0.03÷0.035	0.04
Corniola	0.04	0.04	0.04
Zufola	0.04	0.025÷0.04	0.04

Tabella 6

Come coefficienti per il calcolo delle perdite concentrate (ξ), sono stati utilizzati i seguenti valori [3 - 7]:

$\xi = 0.1$ per contrazione (sezioni e ponti);

$\xi = 0.3$ per espansione (sezioni e ponti);

Le curve di invaso delle aree di potenziale esondazione sono state stimate sulla base del modello digitale del terreno con cluster 1x1 disponibile presso la Regione Toscana.

La capacità di invaso delle casse di espansione sul Borro della Zufola, sul Borro del Vicariato e sul Borro delle Forche (affluenti del Borro del Vicariato) sono state stimate sulla base della cartografia tecnica 1:2.000.

Quest'ultime due casse, in corso di realizzazione o in corso di approvazione dei progetti sono state ipotizzate completate e funzionanti.

Modello idraulico Fosso in loc. P.re Piano

Per il fosso in loc. P.re Piano È stata condotta una analisi in moto permanente viste le ridotte dimensioni del corso d'acqua. Anche in questo caso la condizione al contorno di valle è stata posta sufficientemente lontano dall'area di interesse. Sono stati assunti

coefficienti medi di resistenza al moto pari a 0.035 e 0.04 s^{1/2}/m a seconda delle condizioni dei singoli tratti.

4.3 Analisi dei risultati

La valutazione dei risultati ottenuti dalle simulazione numeriche nelle attuali condizioni di assetto idraulico del corso d'acqua ha portato alle considerazioni e all'individuazione delle criticità di seguito riportate relativamente alle aree oggetto di variante.

Nelle tavole allegate sono indicate le aree soggette ad allagamento per i vari tempi di ritorno con riferimento alla quote del modello digitale del terreno cluster 1x1.

Fiume Elsa

- In corrispondenza dell'area industriale Bassetti – Lupinaia, le estense esondazioni del fiume Elsa nell'area golenale, nonché la presenza nel rilevato ferroviario dell'opera di scarico priva di clapet antiriflusso del Borro dell'Inferno, del ponte sul Borro della Zufola e del sottopasso in corrispondenza della Fattoria Bassetto, che costituiscono elementi di connessione idraulica tra le aree adiacenti alla ferrovia, determina esondazioni nell'area industriale a partire dal tempo di ritorno di 20 anni. Per il tempo di ritorno duecentennale è stato calcolato un battente nell'area oltre la ferrovia di 70.66 m s.l.m. per un volume complessivo di circa 100.000 mc.
- La parte nord-occidentale dell'UTOE 14 è interessata per modesti battenti delle esondazioni duecentennali del fiume Elsa che si propagano attraverso i sottopassi ferroviari. Il volume complessivo è di circa 1.000 mc.
- L'edificio industriale e il relativo piazzale in loc. Il Casino (UTOE 1) è soggetto ad allagamenti con tempo di ritorno duecentennale con battenti medi di circa 50 cm e per un volume complessivo di 5.000.

I risultati ottenuti, così come quelli degli altri corsi d'acqua modellati, sono riportati negli Allegati 1 e 2 e negli elaborati grafici (profili longitudinali e sezioni trasversali con livelli idrometrici).

T. Agliena

- Si verificano esondazioni in destra idraulica tra le sezioni 22 e 21 che interessano una porzione dell'abitato.

Borro Corniola

- Le aree allagabili del fosso non interessano aree in variante.

Borro dell' Inferno

- La cassa di espansione contribuisce in modo determinante al completo affrancamento dell'area industriale dal rischio idraulico del borro. Si rileva che il franco dell'argine della cassa sui massimi livelli di piena duecentennale appare inferiore a quello normalmente richiesto (1 m).

Borro della Zufola

- Si rileva l'insufficienza di tutti gli attraversamenti a monte della ferrovia anche per il tempo di ritorno ventennale, con conseguente allagamento delle aree circostanti.

Fosso in loc. P.re Piano

- Il tombino di attraversamento della strada SRT 429 risulta insufficiente e pertanto i deflussi di piena, rigurgitati a monte, defluiscono verso valle attraverso il piano viario della strada.

Borro del Vicariato

- L'asta principale del Borro a monte della linea ferroviaria risulta in condizioni di sicurezza idraulica per il tempo di ritorno 200 anni, ad eccezioni di marginali allagamenti in prossimità del previsto centro commerciale e della ferrovia. Si sottolinea che il contributo del bacino del Borro del Vicariato e del sottobacino del Borro delle Forche sono stati laminati in coerenza con i progetti di bocca tarata prevista su ciascuno dei due corsi d'acqua. Sebbene sul Borro delle Forche la bocca tarata sia in corso di realizzazione e sul Borro del Vicariato sia in avanzata fase di progettazione, al momento non è stato cautelativamente tenuto conto nei calcoli del volume di scavo che dovrà essere realizzato a monte delle opere di regolazione.
- Relativamente alle previsioni urbanistiche dell'area industriale di Montebello, per le aree prossime al Borro del Vicariato, si evidenzia che, per l'insufficienza del tombino di immissione nel Borro stesso, i deflussi duecentennali del Borro La Valle sormontano

l'opera di tombatura e si propagano verso valle fino all'area di interesse seguendo lungo la viabilità esistente (volume circa 1000 mc).

4.4 Definizione degli interventi idraulici

Esaminate le criticità idrauliche che interessano le aree oggetto di variante, si propongono di seguito gli interventi la cui esecuzione condiziona la fattibilità delle previsioni urbanistiche ai sensi della normativa vigente. In particolare gli interventi sono finalizzati a garantire le condizioni di sicurezza idraulica per le nuove previsioni e il non aggravio del rischio nelle aree contermini.

Area industriale Bassetti

L'attuazione delle nuove previsioni è condizionata ad imporre il piano di calpestio dei nuovi edifici ad una quota 50 cm sopra i livelli idrici calcolati (70.66 m s.l.m.) per l'evento duecentennale. Il volume sottratto dalla sopraelevazione del l'attuale piano campagna alla naturale laminazione delle piene dovrà essere compensato attraverso una cassa di laminazione sul Borro della Zufola a monte dell'area industriale. E' in ogni caso esclusa l'edificazione delle aree soggette ad allagamento per il tempo di ritorno 20 anni. Con le portate laminate dalla suddetta cassa dovranno essere verificati tutti gli attraversamenti sul Borro della Zufola a monte della ferrovia che allo stato attuale risultano totalmente insufficienti. Qualora necessario gli stessi dovranno essere adeguati.

In alternativa alla messa in sicurezza delle sole nuove previsioni tramite il rialzamento del piano campagna, al fine di porre definitivamente in condizioni di non allagabilità tutto il comparto industriale si propone il contenimento del deflusso del fiume Elsa attraverso la chiusura idraulica dei sottopassi alla ferrovia del Borro dell'Inferno, del Borro della Zufola e del vicino sottopasso stradale. L'utilizzo di clapet antiriflusso permetterà lo scarico dei Borri qualora i livelli del fiume Elsa lo permettano; in caso contrario le acque dei Borri potranno essere contenute nelle casse di espansione esistenti (Borro dell'Inferno) o di progetto (Borro della Zufola).

Il volume sottratto alla naturale esondazione del fiume Elsa (circa 100.000 mc) dovrà essere compensato nella vicina area golenale, già vincolata dal Piano di Bacino, previo parere di conformità dell'intervento agli obiettivi del Piano stesso.

Località P.re Piano

Data l'insufficienza del tombino di attraversamento della SRT 429, si ritiene necessario l'adeguamento dello stesso o, in alternativa, la riduzione delle portate di picco tramite la predisposizione di adeguate aree di accumulo dei deflussi di piena.

Area industriale Montebello UTOE 14

La quota di sicurezza per le nuove previsioni nella parte nord-occidentale dell'UTOE è pari a 58.35 m s.l.m., compreso un franco di sicurezza di 0.5 m. Il volume da compensare nelle aree contermini è pari a 1000 mc.

Relativamente alla porzione sud-orientale dell'UTOE, attualmente soggetta all'accumulo delle acque esondate dal Borro La Valle, si propongono due possibili soluzioni alternative:

1. adeguamento del tombino esistente;
2. potenziamento della cassa di espansione prevista sul Borro del Vicariato al fine di ridurre le portate, e quindi i livelli, in corrispondenza dell'opera di immissione del Borro La Valle: ciò permetterebbe di ridurre il rigurgito del Borro aumentando la capacità di deflusso del tombino.

Resta inteso che gli interventi rimangono comunque condizionati al completamento delle casse di espansione già previste sul Borro del Vicariato e sul Borro delle Forche.

Edificio industriale nell'UTOE 1

La previsione è condizionata alla chiusura idraulica dell'area con muri perimetrali e dossi stradali a quota 59.00 m s.l.m.. Il non aggravio del rischio potrà essere garantito attraverso lo scavo di 5.000 mc nelle aree golenali contermini.

5 Conclusioni

Nel presente studio sono state eseguite le stime degli idrogrammi di piena e le verifiche idrauliche dei corsi d'acqua le cui esondazioni avrebbero potenzialmente interessato le aree oggetto della variante al Piano Regolatore Generale del Comune di Certaldo. Sono stati presi in considerazione il fiume Elsa, il Borro in località P.re Piano, il Borro dell'Inferno, il Borro della Zufola, il torrente Agliena, il Borro del Vicariato e i suoi affluenti, il Borro Corniola. Gli altri corsi

d'acqua potenzialmente pericolosi per le nuove previsioni sono stati presi in considerazione da altri studi.

Stimate le portate e i livelli idrici nei corsi d'acqua e nelle aree contermini per i tempi di ritorno 20, 30 e 200 anni, si è proceduto alla perimetrazione delle aree allagabili. Valutato quindi la necessità di condizionare alcuni interventi alla realizzazione di interventi di messa in sicurezza idraulica e compenso dei volumi sottratti alla naturale laminazione delle piene, sono stati definiti le quote di sicurezza e i volumi necessari a garantire il non aggravio del rischio idraulico ai sensi del Regolamento regionale 26/R/2007 in attuazione della L.R. 1/2005, del Piano di Assetto Idrogeologico e del Piano di Bacino del Fiume Arno.

Bibliografia

- [1] Regione Toscana, "Regionalizzazione delle portate di piena in Toscana", 1998
- [2] PIN, "Regionalizzazione delle portate di piena in Toscana", 1996
- [3] Rossi e Salvi, "Manuale dell'Ingegnere Civile", 1996
- [4] Maione, "Le piene fluviali", 1998
- [5] Da Deppo, Datei, Saladin, "Sistemazione dei corsi d'acqua", 2000
- [6] Regione Toscana, "Aggiornamento e sviluppo del sistema di regionalizzazione delle portate di piena in Toscana", 2003
- [7] US Army Corps of Engineers, "Hec-Ras - Hydraulic Reference Manual", 2002
- [8] Chow, "Open channel hydraulics", , 1973