



COMUNE DI CASOLE D'ELSA

REGOLAMENTO URBANISTICO VARIANTE GENERALE

SINDACO

Piero Pii

ASSESSORE ALL'URBANISTICA

Andrea Pieragnoli

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Responsabile Servizio Urbanistica Edilizia Privata

Arch. Valeria Capitani

COORDINAMENTO URBANISTICO

Arch. Alessandra Sara Blanco

Collaborazione

Rita Schirò

Giada Tincolini

VALUTAZIONE AMBIENTALE STRATEGICA

Ing. Simone Pagni

INDAGINI GEOLOGICHE

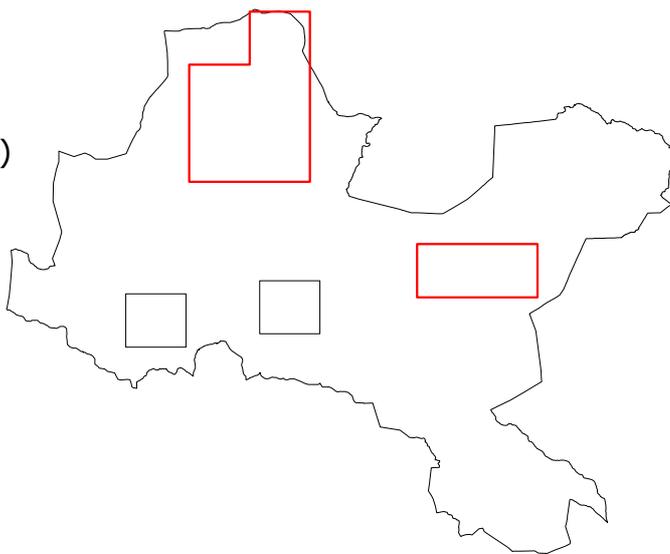
Geologo Mauro Cartocci

Collaborazione

Ing. Alessio Gabrielli (Studio Idraulico)

Dott. Emanuele Capotorti

Dott. Alessandro Ciali



STUDIO IDRAULICO

RELAZIONE ILLUSTRATIVA PER ADEGUAMENTO AL PIANO
DI ASSETTO IDROGEOLOGICO DELL'AUTORITA' DI BACINO
DEL FIUME ARNO

Luglio 2013

INDICE

1. PREMESSE	2
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E NORMATIVO	3
2.1 DESCRIZIONE DELLE AREE E DEI CORSI D'ACQUA OGGETTO DI STUDIO	3
2.2 QUADRO DI RIFERIMENTO NORMATIVO	5
2.3 STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE E CLASSIFICAZIONE IDRAULICA	12
3. VERIFICHE IDRAULICHE ELSA E AFFLUENTI LOC. CAPANNINO DELLA SUVERA - PIEVESCOLA	16
3.1 INTRODUZIONE	16
3.2 MODELLISTICA IDROLOGICA	16
3.3 MODELLISTICA IDRAULICA	24
4. VERIFICHE IDRAULICHE CORSI D'ACQUA INSISTENTI SULL'AREA INDUSTRIALE IL PIANO	31
4.1 INTRODUZIONE	31
4.2 MODELLISTICA IDROLOGICA	34
4.3 MODELLISTICA IDRAULICA	43
5. RISULTATI DELLE VERIFICHE IDRAULICHE	46

1. PREMESSE

Il presente lavoro è redatto a supporto della Variante Generale al Regolamento Urbanistico del Comune di Casole d'Elsa, in Provincia di Siena.

In particolare questa **Relazione Illustrativa**, unitamente agli elaborati grafici di Regolamento Urbanistico contrassegnati con le sigle da **e1** a **e9** e agli allegati **Allegato Idrologico 1**, **Allegato Idraulico 1** e **Allegato Idraulico 2**, ha l'obiettivo di descrivere sinteticamente le verifiche idrauliche svolte sui corsi d'acqua ricadenti in due aree strategiche del territorio comunale di Casole d'Elsa ai fini dell'adeguamento della pericolosità idraulica secondo i criteri del Piano di Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno.

L'adeguamento al P.A.I. rappresenta uno dei passaggi preliminari e propedeutici all'Adozione della Variante al Regolamento Urbanistico, come previsto dal D.P.G.R. n. 53/R del 25 Ottobre 2011, sul quale si basano le indagini geologico-tecniche, compresi gli studi idrologico-idraulici, a supporto della redazione di atti di pianificazione urbanistica a livello comunale.

Le aree oggetto di verifica idraulica finalizzata all'adeguamento al P.A.I. sono il fondovalle del Fiume Elsa in Loc. Capannino della Suvera – Pievescola, presso cui il Fiume Elsa incontra una serie di affluenti, e l'area industriale Il Piano, sulla quale insistono alcuni corsi d'acqua e molti piccoli fossi che costituiscono il reticolo di monte del Botro degli Strulli.

Dei corsi d'acqua ricadenti in queste aree sono state eseguite apposite verifiche idrauliche allo scopo di definire le aree allagate e conseguentemente poter tracciare le pericolosità idrauliche ai sensi del Piano di Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno ed ai sensi del citato Regolamento 53/R/2011.

Le modellazioni idrologico-idrauliche dei bacini e dei corsi d'acqua interessati sono illustrate in forma generale della presente relazione; ad essa potranno fare seguito, qualora richiesti, ulteriori documenti di approfondimento, in quanto la complessità del lavoro soprattutto per l'area industriale Il Piano non ha reso al momento possibile una illustrazione più dettagliata della presente.

La presente relazione consta di una prima breve parte introduttiva di inquadramento normativo con individuazione dei vincoli e delle attuali classificazioni di carattere idraulico delle aree interessate; nella seconda parte sono illustrate separatamente le verifiche idrauliche dei corsi d'acqua insistenti sull'area industriale Il Piano e del Fiume Elsa ed affluenti in Loc. Capannino della Suvera – Pievescola, singolarmente affrontate sia per quanto riguarda la modellistica idrologica sia per quanto riguarda quella idraulica in quanto redatte, in particolare per la parte idrologica, con metodologie differenti, per i motivi di seguito esposti.

In una terza parte conclusiva sono descritti i risultati degli studi idrologico-idraulici con sintetica individuazione delle principali criticità e la descrizione delle modalità di tracciamento delle pericolosità idrauliche ai sensi del P.A.I. dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno e del D.P.G.R. n. 53/R/2011.

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E NORMATIVO

2.1 *Descrizione delle aree e dei corsi d'acqua oggetto di studio*

Le aree oggetto di studio sono situate in punti diversi del Comune di Casole d'Elsa, in zone di fondovalle.

L'area posta in Loc. Capannino della Suvera – Pievescola è collocata nella zona Est del territorio comunale lungo l'asta di monte del Fiume Elsa, in questo punto spesso indicata anche come "Elsa morta", che scorre parallela alla S.P. Traversa Maremmana n. 541.

In corrispondenza del bivio per Pievescola (Loc. Ponti di Pievescola) confluiscono in Elsa due corsi d'acqua denominati Borro Foci (affluente sinistro) e Borro di Mezzo (affluente destro); quest'ultimo presenta, all'altezza della confluenza, un bacino idrografico di dimensioni addirittura leggermente superiori a quello del Fiume Elsa. E' proprio dalla confluenza di questi due corsi d'acqua, entrambi provenienti dai versanti della Montagnola Senese, che nasce il vero e proprio Fiume Elsa.

Nel complesso il bacino del Fiume Elsa a valle della confluenza con il Borro di Mezzo, quindi comprensivo della confluenza con il Borro Foci che vi si innesta qualche metro più a monte, risulta di poco superiore ai 30 kmq.

Un ulteriore affluente dell'Elsa, anche se meno significativo, è il fosso proveniente dall'abitato di Pievescola, in destra idraulica, che attraversa l'area artigianale con un tratto intubato; esso, non classificato e privo di toponimo, in questo lavoro è stato denominato "Fosso Pievescola".

Le due zone urbanizzate interferenti con il reticolo sono rappresentate dal nucleo in Loc. Capannino della Suvera, all'altezza del bivio tra la S.P. n. 541 e la S.P. delle Gallerie n. 3 (che conduce al capoluogo), in sinistra d'Elsa, che consta di una serie di fabbricati a destinazione mista, e dall'area artigianale di Pievescola, affiancata al Fiume Elsa, in destra idraulica.

I corsi d'acqua oggetto di verifica, condotta attraverso una modellazione idrologica dei singoli bacini e una modellazione idraulica di tipo congiunto, sono dunque i seguenti:

- Fiume Elsa;
- Borro di Mezzo;
- Borro Foci;
- Fosso "Pievescola".

Tali corsi d'acqua sono stati studiati per tratti sufficientemente estesi in modo da poter individuare compiutamente il rischio idraulico della zona e poter aggiornare le carte di quadro conoscitivo dello strumento urbanistico comunale e del P.A.I.

L'altra zona oggetto di studio è rappresentata dall'area industriale Il Piano, posta nella parte Nord-Ovest del comune, al confine con il territorio comunale di Colle Val d'Elsa.

In questa area pianeggiante, la cui denominazione è abbastanza eloquente, insistono una serie di corsi d'acqua di piccole dimensioni provenienti dai versanti collinari che la cingono e che confluiscono l'un con l'altro all'altezza della zona industriale. Dalla loro confluenza, già in territorio comunale di Colle Val d'Elsa, ha origine il Botro degli Strulli, affluente sinistro del Fiume Elsa.

Il rilievo collinare che circonda l'area industriale Il Piano, tranne che nella parte Nord-Est lato Colle Val d'Elsa verso cui il reticolo ha sfogo e verso cui si indirizzano le pendenze, presenta quote anche piuttosto elevate, variabili tra 300 e 400 m s.l.m. in sommità.

Sul crinale si trovano il capoluogo (a Sud del Piano), nella parte più alta, e le altre località del Merlo e Cavallano (ad Ovest) e Lucciana (a Nord); tutto il versante collinare è caratterizzato da area agricola,

compresa la parte del Piano, al cui confine, lungo la S.P. di Casole d'Elsa n. 27 e la strada provinciale per Cavallano, si snodano gli insediamenti dell'area industriale.

Il fondovalle pianeggiante presenta quote altimetriche variabili tra 260 e 250 m s.l.m., assai inferiori a quelle di sommità del crinale che lo circonda.

L'importante dislivello che si crea tra il crinale e il fondovalle determina la presenza di un reticolo con notevoli pendenze fino all'inizio della zona pianeggiante, che da qui si riducono sensibilmente generando la piana alluvionale.

Il bacino complessivo dei corsi d'acqua che insistono sull'area del Piano e che vanno a comporre il Botro degli Strulli presenta una superficie di circa 8 kmq valutata all'altezza dell'ultima confluenza prima dell'inizio vero e proprio dell'asta del Botro degli Strulli stesso, in Comune di Colle Val d'Elsa.

Tale bacino è composto da 4 sottobacini principali, corrispondenti a 3 corsi d'acqua individuati (Borro di Fontelata, Fosso Maestro e Botro Maestro Casole) e un quarto sottobacino privo di reticolo ben definito; si tratta del sottobacino nella parte Nord dell'area industriale, che comprende il versante di Lucciana e parte del versante Nord ed Est di Cavallano.

Il Borro di Fontelata è probabilmente l'unico corso d'acqua tra i suddetti che presenta ancora una conferma naturale; esso proviene dal versante Sud di Cavallano e lambisce a Sud il corpo principale dell'area industriale, quello tagliato dalla strada per Cavallano; il Borro di Fontelata è spesso indicato anche come Botro degli Strulli, perché in fondo è da esso che ha origine.

Il Fosso Maestro e il Botro Maestro Casole sono corsi d'acqua "semi-pensili" che provengono da Sud, scendendo dal versante del capoluogo e di Loc. Il Merlo.

Essi attraversano, in direzione da Sud-Ovest a Nord-Est, l'area del Piano, ricongiungendosi al Borro di Fontelata all'altezza dell'area industriale, il primo, ed a valle di essa, il secondo.

Dalla confluenza tra Fontelata e Botro Maestro Casole nasce il Botro degli Strulli.

Tutto il fondovalle risulta estremamente lavorato ai fini agrari e pertanto presenta tutto un reticolo minore assai complesso di fossi che scorrono anch'essi in direzione da Sud-Ovest a Nord-Est e si ricongiungono ai suddetti Fosso Maestro e Botro Maestro Casole verso valle, poco a monte dell'area industriale o proprio in corrispondenza di essa, dove i due corsi d'acqua perdono le caratteristiche di pensilità e tornano a quote di piano campagna; alcuni di questi fossi minori neanche confluiscono nei due fossi suddetti ma sfociano direttamente nel Borro di Fontelata.

Questo sistema idraulico molto complesso è stato oggetto di analisi approfondita e ne è stata ricostruita la geometria in un modello idraulico estremamente articolato.

Il quarto sottobacino del Botro degli Strulli, quello posto a Nord dell'area industriale, sul versante di Lucciana, è, come detto, privo di chiaro reticolo superficiale.

Il motivo di ciò è da attribuirsi sia alle caratteristiche geolitologiche del terreno del versante di Lucciana e Nord-Est di Cavallano (terreno molto permeabile, calcare cavernoso, e presenza di dolina), sia all'antropizzazione del territorio (numerosi tratti tombati).

Gli unici corsi d'acqua, per così dire, riconoscibili risultano dunque un fosso che proviene da Nord-Ovest e passa alle spalle dell'area industriale sotto Lucciana, per poi intubarsi e "sparire" sotto le fabbriche, e il fosso lungo la strada per Cavallano, lato Nord, che da originale fosso di guardia oggi rappresenta l'"asta principale" dell'intero sottobacino, nella quale confluisce il suddetto fosso intubato.

Tutti gli insediamenti che compongono l'area industriale Il Piano, sia quelli posti nel corpo principale lungo la strada per Cavallano sia quelli lungo la S.P. n. 27, risultano interferire con il reticolo superficiale, se consideriamo non solo i 4 principali corsi d'acqua (anche se è stato anticipato come per il sottobacino Nord non si può esattamente parlare di corso d'acqua principale), ma anche tutti gli altri fossi minori che compongono il reticolo, almeno quelli significativi.

In definitiva i corsi d'acqua oggetto di verifica, condotta attraverso una modellazione idrologica dei singoli sotto bacini, come di seguito specificato, e una modellazione idraulica di tipo congiunto e parzialmente "semi-congiunto", sono dunque i seguenti:

- Borro di Fontelata;
- Fosso Maestro;
- Botro Maestro Casole;
- Fosso lungo strada nella parte Nord dell'area industriale;
- Numerosi affluenti minori dei corsi d'acqua suddetti.

Per ulteriori dettagli circa la complessa articolazione dello studio idrologico-idraulico per l'area industriale Il Piano si rimanda alla consultazione del relativo capitolo.

2.2 Quadro di riferimento normativo

Il presente lavoro ha tenuto conto della normativa vigente, inerente le salvaguardie del territorio, il rischio idraulico e l'assetto idrogeologico.

In particolare, si è fatto riferimento al "Regolamento di Attuazione dell'articolo 62 della Legge Regionale 3 gennaio 2005, n. 1 (Norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologiche", approvato con Decreto del Presidente della Giunta Regionale 25 Ottobre 2011, n. 53/R, pubblicato nel BURT n. 51 del 02 Novembre 2011.

Di seguito si riportano alcuni estratti delle principali norme idrauliche nazionali e regionali di riferimento.

R.D. 25 Luglio 1904, n. 523

Capo VII - Polizia delle acque pubbliche - Art. 96 comma f.

"Sono lavori ed atti vietati in modo assoluto sulle acque pubbliche, loro alvei, sponde e difese i seguenti:

f) le piantagioni di alberi e siepi, le fabbriche, gli scavi e lo smovimento del terreno a distanza dal piede degli argini e loro accessori come sopra, minore di quella stabilita dalle discipline vigenti nelle diverse località, ed in mancanza di tali discipline, a distanza minore di metri quattro per le piantagioni e smovimento del terreno e di metri dieci per le fabbriche e per gli scavi".

Tra i corsi d'acqua oggetto di studio ve ne sono alcuni che risultano inseriti nell'elenco delle acque pubbliche fin dalla prima stesura (1899): FIUME ELSA cod. SI718 ambiti AB; BORRO DI MEZZO E DEL ROMITORIO cod. SI3744 ambiti AB; BORRO FOCI cod. SI1171 ambiti AB; BOTRO DEGLI STRULLI E MAESTRO cod. SI471 ambiti AB.

D.C.R. n. 72 del 27 Luglio 2007 "Approvazione del Piano di Indirizzo Territoriale"

Art. 36 della D.C.R. 72/2007, "Lo Statuto del territorio toscano. Misure generali di salvaguardia" del Titolo 2 "Lo statuto del territorio toscano", commi 3, 4 e 5.

3. *Gli strumenti della pianificazione territoriale e gli atti di governo del territorio a far data dalla pubblicazione sul BURT dell'avviso di adozione del piano, non devono prevedere nuove edificazioni, manufatti di qualsiasi natura o trasformazioni morfologiche negli alvei, nelle golene, sugli argini e nelle aree comprendenti le due fasce della larghezza di metri 10 dal piede esterno dell'argine o, in mancanza, dal ciglio di sponda dei corsi d'acqua principali ai fini del corretto assetto idraulico individuati nel Quadro conoscitivo del presente piano come aggiornato dai piani di bacino vigenti e fermo restando il rispetto delle disposizioni in essi contenute.*

4. *La prescrizione di cui al comma 3 non si riferisce alle opere idrauliche, alle opere di attraversamento del corso d'acqua, agli interventi trasversali di captazione e restituzione delle acque, nonché agli adeguamenti di infrastrutture esistenti senza avanzamento verso il corso d'acqua, a condizione che si attuino le precauzioni necessarie per la riduzione del rischio idraulico relativamente alla natura dell'intervento ed al contesto territoriale e si consenta comunque il miglioramento dell'accessibilità al corso d'acqua stesso.*

5. *Sono fatte salve dalla prescrizione di cui al comma 3 le opere infrastrutturali che non prevedano l'attraversamento del corso d'acqua e che soddisfino le seguenti condizioni: a) non siano diversamente localizzabili; b) non interferiscano con esigenze di regimazione idraulica, di ampliamento e di manutenzione del corso d'acqua; c) non costituiscano ostacolo al deflusso delle acque in caso di esondazione per tempi di ritorno duecentennali; d) non siano in contrasto con le disposizioni di cui all'articolo 96 del Regio Decreto 523/1904.*

D.P.G.R. 25 Ottobre 2011, n. 53/R "Regolamento di Attuazione dell'articolo 62 della Legge Regionale 3 gennaio 2005, n. 1 (Norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologiche"

Con riferimento al "Regolamento di Attuazione dell'articolo 62 della Legge Regionale 3 gennaio 2005, n. 1 (Norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologiche", questo è composto dal Decreto del Presidente della Giunta Regionale 25 Ottobre 2011, n. 53/R e dai relativi Allegati, tra cui l'Allegato A "Direttive per le indagini geologico-tecniche".

Tale allegato prevede le disposizioni relative alla pericolosità indicate per i piani strutturali e le disposizioni relative alla fattibilità indicate per i regolamenti urbanistici di cui alle citate direttive.

Le indicazioni di riferimento sono riconducibili agli Artt. B.4 e C.2; di seguito se ne riportano alcuni estratti:

B.4 Elementi per la valutazione degli aspetti idraulici

Vanno considerati gli elementi idrologico-idraulici necessari per caratterizzare la probabilità di esondazione dei corsi d'acqua in riferimento al reticolo d'interesse della difesa del suolo come definito nei piani di assetto idrogeologico (PAI) approvati, oppure come definito nel PIT e ad ogni altro corso d'acqua potenzialmente rilevante, nonché le probabilità di allagamento per insufficienza di drenaggio in zone depresse.

Tenuto conto degli indirizzi tecnici dettati dagli atti di pianificazione di bacino, ed in coerenza con quanto dagli stessi previsto, sono da analizzare gli aspetti connessi alla probabilità di allagamento per fenomeni di:

-inondazione da corsi d'acqua;

-insufficienza di drenaggio.

Con riferimento alle esigenze di sicurezza idraulica e agli obiettivi posti in tal senso, poiché la propensione alla allagabilità comporta diverse condizioni d'uso del territorio sia per le nuove previsioni sia per l'attuazione di quelle esistenti, è necessario definire, almeno per le UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, gli ambiti territoriali interessati da allagamenti in generale riferiti rispettivamente a TR 30 anni, 30 < TR < 200 anni. In presenza di specifiche indicazioni dei PAI o in relazione ad esigenze di protezione civile, possono essere definiti ambiti territoriali interessati da 200 < TR 500 anni.

*Al di fuori delle UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici idraulici, sono comunque definiti gli ambiti territoriali di fondovalle per i quali ricorrano notizie storiche di inondazione e gli ambiti di fondovalle posti in situazione morfologicamente sfavorevole, di norma a quote altimetriche inferiori a metri 2 sopra il piede esterno dell'argine o, in mancanza, sopra il ciglio di sponda.
In caso di varianti generali ai piani strutturali, fatta comunque eccezione per i casi elencati all'articolo 3 comma 4 del regolamento, lo studio idrologico e idraulico deve essere redatto in modo unitario lungo una stessa asta fluviale.*

C.2 Aree a pericolosità idraulica

Pericolosità idraulica molto elevata (I.4): aree interessate da allagamenti per eventi con $Tr > 30$ anni. Fuori dalle UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici e idraulici, rientrano in classe di pericolosità molto elevata le aree di fondovalle non protette da opere idrauliche per le quali ricorrano contestualmente le seguenti condizioni:

- a) vi sono notizie storiche di inondazioni;*
- b) sono morfologicamente in situazione sfavorevole di norma a quote altimetriche inferiori rispetto alla quota posta a metri 2 sopra il piede esterno dell'argine o, in mancanza, sopra il ciglio di sponda.*

Pericolosità idraulica elevata (I.3)

Aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra $30 < TR < 200$ anni. Fuori dalle UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici e idraulici, rientrano in classe di pericolosità elevata le aree di fondovalle per le quali ricorra almeno una delle seguenti condizioni:

- a) vi sono notizie storiche di inondazioni;*
- b) sono morfologicamente in condizione sfavorevole di norma a quote altimetriche inferiori rispetto alla quota posta a metri 2 sopra il piede esterno dell'argine o, in mancanza, sopra il ciglio di sponda.*

Pericolosità idraulica media (I.2)

Aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra $200 < TR < 500$ anni. Fuori dalle UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici e idraulici rientrano in classe di pericolosità media le aree di fondovalle per le quali ricorrano le seguenti condizioni:

- a) non vi sono notizie storiche di inondazioni;*
- b) sono in situazione di alto morfologico rispetto alla piana alluvionale adiacente, di norma a quote altimetriche superiori a metri 2 rispetto al piede esterno dell'argine o, in mancanza, al ciglio di sponda.*

Pericolosità idraulica bassa (I.1)

Aree collinari o montane prossime ai corsi d'acqua per le quali ricorrono le seguenti condizioni:

- a) non vi sono notizie storiche di inondazioni;*
- b) sono in situazioni favorevoli di alto morfologico, di norma a quote altimetriche superiori a metri 2 rispetto al piede esterno dell'argine o, in mancanza, al ciglio di sponda.*

Legge Regionale 21 maggio 2012, n. 21 "Disposizioni urgenti in materia di difesa dal rischio idraulico e tutela dei corsi d'acqua"

Art.2 Interventi nelle aree a pericolosità idraulica molto elevata

1. Nelle aree classificate dai piani strutturali, dai piani regolatori generali (PRG) o dai PAI, come aree a pericolosità idraulica molto elevata, è consentita la realizzazione dei seguenti interventi:

- a) opere di difesa e regimazione idraulica;
- b) infrastrutture di tipo lineare non diversamente localizzabili, a condizione che siano preventivamente o contestualmente realizzate le opere per la loro messa in sicurezza idraulica per tempo di ritorno duecentennale, senza aggravare la pericolosità idraulica al contorno.

2. Nelle aree di cui al comma 1, è consentita, altresì, la realizzazione degli interventi di seguito indicati, a condizione che siano preventivamente realizzate, ove necessarie, le opere per la loro messa in sicurezza per tempo di ritorno duecentennale, comprensive degli interventi necessari per non aggravare la pericolosità idraulica al contorno:

- a) ampliamento e adeguamento di opere pubbliche;
- b) nuovi impianti e relative opere per la raccolta e la distribuzione della risorsa idrica, il convogliamento e la depurazione degli scarichi idrici, lo stoccaggio, il trattamento, lo smaltimento ed il recupero dei rifiuti, la produzione ed il trasporto di energia da fonti rinnovabili o, comunque, al servizio di aziende e insediamenti produttivi previsti dagli strumenti e atti di pianificazione e programmazione regionali, provinciali e comunali vigenti al momento di entrata in vigore della presente legge, non diversamente localizzabili, oppure ampliamento o adeguamento di quelli esistenti;
- c) nuovi edifici rurali ubicati nelle zone con esclusiva o prevalente funzione agricola, oppure ampliamento o modificazione di quelli esistenti, salvo quanto previsto al comma 9, lettera g);
- d) interventi di cui all'articolo 78, comma 1, lettere g) ed h) e all'articolo 79 della l.r. 1/2005, se previsti dal PRG o dal regolamento urbanistico, salvo quanto previsto al comma 3 e al comma 9, lettera a).

3. Nel rispetto delle prescrizioni e delle limitazioni di cui ai commi 4 e 5, sugli immobili esistenti ricadenti nelle aree di cui al comma 1, sono consentiti:

- a) gli interventi necessari al superamento delle barriere architettoniche di cui all'articolo 79, comma 2, lettera a), della l.r. 1/2005;
- b) gli interventi di restauro e risanamento conservativo di cui all'articolo 79, comma 2, lettera c), della l.r. 1/2005;
- c) i mutamenti di destinazione d'uso degli immobili, edifici ed aree anche in assenza di opere edilizie, nei casi individuati dalla disciplina della distribuzione e localizzazione delle funzioni di cui all'articolo 58 della l.r. 1/2005;
- d) gli interventi di ristrutturazione edilizia di cui all'articolo 79, comma 2, lettera d) della l.r. 1/2005, se previsti dal PRG o dal regolamento urbanistico.

4. Gli interventi di cui al comma 3, sono realizzati a condizione che:

- a) sia assicurata l'assenza o l'eliminazione di pericolo per le persone e i beni, anche tramite sistemi di riduzione della vulnerabilità;
- b) non si determini l'aumento dei rischi e della pericolosità idraulica al contorno.

5. Gli interventi di cui al comma 3, lettere b), c), e d) sono realizzati a condizione che non determinino:

- a) creazione di nuove unità immobiliari con destinazione d'uso residenziale o che comunque consenta il pernottamento;
- b) aumento della superficie coperta dell'edificio oggetto di intervento.

6. Nelle aree di cui al comma 1, gli interventi comportanti rimodellazioni del terreno non rientranti nell'articolo 80, comma 1, lettera d), della l.r. 1/2005, oppure la realizzazione di recinzioni o muri di cinta, sono consentiti solo nel caso in cui non determinano aumento del livello di pericolosità in altre aree.

7. Le opere di messa in sicurezza di cui al comma 1, lettera b) e al comma 2, comprensive di quelle necessarie per non aggravare la pericolosità idraulica al contorno, sono definite in uno specifico progetto allegato alla

segnalazione certificata di inizio attività (SCIA), oppure presentato e valutato nel procedimento di rilascio del titolo abilitativo; la realizzazione di tali opere costituisce presupposto per la regolarità degli interventi assentiti dai titoli abilitativi.

8. *Il progettista produce l'asseverazione attestante il rispetto delle condizioni di cui ai commi 2, 4, 5, 6 e comma 9, lettera g).*

9. *Il presente articolo non si applica ... omissis ...*

D.P.C.M. del 06.05.2005 "Piano assetto idrogeologico" dell'Autorità di Bacino del F. Arno

Con riferimento alle Norme di Piano (Titolo II – Aree A Pericolosità Idrogeologica, Capo I – Pericolosità Idraulica), sono da considerarsi l'Articolo 6 "Aree a pericolosità idraulica molto elevata (P.I.4)", l'Articolo 7 "Aree a pericolosità idraulica elevata (P.I.3)" e l'Articolo 8 "Aree a pericolosità idraulica media e moderata (P.I.2 e P.I.1) ed aree di ristagno".

Le perimetrazioni delle aree a pericolosità idraulica sono individuate nelle 2 cartografie di Piano, ovvero la "Perimetrazione delle aree con pericolosità idraulica – Livello di sintesi in scala 1:25.000" e la "Perimetrazione delle aree con pericolosità idraulica – Livello di dettaglio in scala 1:10.000", di cui all'Articolo 5 delle Norme di Piano.

Di seguito se ne riportano gli estratti relativi:

Art. 6 Aree a pericolosità idraulica molto elevata (P.I.4)

Nelle aree P.I. 4, per le finalità di cui al presente PAI, sono consentiti:

a.interventi di sistemazione idraulica approvati dall'autorità idraulica competente, previo parere favorevole dell'Autorità di Bacino sulla compatibilità degli interventi stessi con il PAI;

b.interventi di adeguamento e ristrutturazione della viabilità e della rete dei servizi pubblici e privati esistenti, purché siano realizzati in condizioni di sicurezza idraulica in relazione alla natura dell'intervento e al contesto territoriale;

c.interventi necessari per la manutenzione di opere pubbliche o di interesse pubblico;

d.interventi di ampliamento e di ristrutturazione delle opere pubbliche o di interesse pubblico, riferite a servizi essenziali, nonché la realizzazione di nuove infrastrutture parimenti essenziali e non delocalizzabili, purché siano realizzati in condizioni di sicurezza idraulica in relazione alla natura dell'intervento e al contesto territoriale, non concorrano ad incrementare il carico urbanistico, non precludano la possibilità di attenuare o eliminare le cause che determinano le condizioni di rischio e risultino coerenti con gli interventi di protezione civile. Per tali interventi è necessario acquisire il preventivo parere favorevole dell'Autorità di Bacino;

e.interventi sugli edifici esistenti, finalizzati a ridurre la vulnerabilità e a migliorare la tutela della pubblica incolumità;

f.interventi di demolizione senza ricostruzione, interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, di restauro e di risanamento conservativo, così come definiti alle lettere a), b) e c) dell'art. 3 del D.P.R. n. 380/2001 e successive modifiche e integrazioni e nelle leggi regionali vigenti in materia;

g.adeguamenti necessari alla messa a norma delle strutture, degli edifici e degli impianti relativamente a quanto previsto in materia igienico - sanitaria, sismica, di sicurezza ed igiene sul lavoro, di superamento delle barriere architettoniche nonché gli interventi di riparazione di edifici danneggiati da eventi bellici e sismici;

h.ampliamenti volumetrici degli edifici esistenti esclusivamente finalizzati alla realizzazione di servizi igienici o ad adeguamenti igienico-sanitari, volumi tecnici, autorimesse pertinenziali, rialzamento del sottotetto al fine di renderlo abitabile o funzionale per gli edifici produttivi senza che si costituiscano nuove unità immobiliari, nonché manufatti che non siano qualificabili quali volumi edilizi, a condizione che non aumentino il livello di pericolosità nelle aree adiacenti;

i.interventi di ristrutturazione edilizia, così come definiti alla lettera d) dell'art. 3 del D.P.R. n. 380/2001 e successive modifiche e integrazioni e nelle leggi regionali vigenti in materia, che non comportino aumento della superficie coperta. Qualora gli interventi comportino aumento di carico urbanistico, gli stessi sono ammessi,

purché realizzati in condizioni di sicurezza idraulica. La verifica dell'esistenza di tali condizioni dovrà essere accertata dall'autorità preposta al rilascio del provvedimento autorizzativo;

j.realizzazione, a condizione che non aumentino il livello di pericolosità, di recinzioni, pertinenze, manufatti precari, interventi di sistemazione ambientale senza la creazione di volumetrie e/o superfici impermeabili, annessi agricoli purché indispensabili alla conduzione del fondo e con destinazione agricola vincolata;

k.nuovi interventi e interventi di ristrutturazione urbanistica, a condizione che venga garantita la preventiva o contestuale realizzazione delle opere di messa in sicurezza idraulica per eventi con tempo di ritorno di 200 anni, sulla base di studi idrologici ed idraulici, previo parere favorevole dell'autorità idraulica competente e dell'Autorità di Bacino sulla coerenza degli interventi di messa in sicurezza anche per ciò che concerne le aree adiacenti. In caso di contestualità, nei provvedimenti autorizzativi ovvero in atti unilaterali d'obbligo, ovvero in appositi accordi laddove le Amministrazioni competenti lo ritengano necessario, dovranno essere indicate le prescrizioni necessarie (procedure di adempimento, tempi, modalità, ecc.) per la realizzazione degli interventi nonché le condizioni che possano pregiudicare l'abitabilità o l'agibilità. Nelle more del completamento delle opere di mitigazione, dovrà essere comunque garantito il non aggravio della pericolosità in altre aree.

Salvo che non siano possibili localizzazioni alternative, i nuovi strumenti di governo del territorio non dovranno prevedere interventi di nuova edificazione nelle aree P.I.4.

Art. 7 Aree a pericolosità idraulica elevata (P.I.3)

Nelle aree P.I. 3 sono consentiti i seguenti interventi:

- a.interventi di sistemazione idraulica approvati dall'autorità idraulica competente, previo parere favorevole dell'Autorità di Bacino sulla compatibilità degli interventi stessi con il PAI;*
- b.interventi di adeguamento e ristrutturazione della viabilità e della rete dei servizi pubblici e privati esistenti, purché siano realizzati in condizioni di sicurezza idraulica in relazione alla natura dell'intervento e al contesto territoriale;*
- c.interventi necessari per la manutenzione di opere pubbliche o di interesse pubblico;*
- d.interventi di ampliamento e di ristrutturazione delle opere pubbliche o di interesse pubblico, riferite a servizi essenziali, nonché la realizzazione di nuove infrastrutture parimenti essenziali, purché siano realizzati in condizioni di sicurezza idraulica in relazione alla natura dell'intervento e al contesto territoriale, non concorrano ad incrementare il carico urbanistico, non precludano la possibilità di attenuare o eliminare le cause che determinano le condizioni di rischio e risultino coerenti con gli interventi di protezione civile. Per tali interventi è necessario acquisire il preventivo parere favorevole dell'Autorità di Bacino;*
- e.interventi sugli edifici esistenti, finalizzati a ridurre la vulnerabilità e a migliorare la tutela della pubblica incolumità;*
- f.interventi di demolizione senza ricostruzione, interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, di restauro e di risanamento conservativo, così come definiti alle lettere a), b) e c) dell'art. 3 del D.P.R. n. 380/2001 e successive modifiche e integrazioni e nelle leggi regionali vigenti in materia;*
- g.adeguamenti necessari alla messa a norma delle strutture, degli edifici e degli impianti relativamente a quanto previsto in materia igienico - sanitaria, sismica, di sicurezza ed igiene sul lavoro, di superamento delle barriere architettoniche nonché gli interventi di riparazione di edifici danneggiati da eventi bellici e sismici;*
- h.realizzazione di recinzioni, pertinenze, manufatti precari, interventi di sistemazione ambientale senza la creazione di volumetrie e/o superfici impermeabili, annessi agricoli purché indispensabili alla conduzione del fondo e con destinazione agricola vincolata;*
- i.ampliamenti volumetrici degli edifici esistenti esclusivamente finalizzati alla realizzazione di servizi igienici o ad adeguamenti igienico-sanitari, volumi tecnici, autorimesse pertinenziali, rialzamento del sottotetto al fine di renderlo abitabile o funzionale per gli edifici produttivi senza che si costituiscano nuove unità immobiliari, nonché manufatti che non siano qualificabili quali volumi edilizi, a condizione che non aumentino il livello di pericolosità nelle aree adiacenti;*
- j.interventi di ristrutturazione edilizia, così come definiti alla lett. d) dell'art. 3 del D.P.R. n. 380/2001 e successive modifiche e integrazioni e nelle leggi regionali vigenti in materia, a condizione che non aumentino il livello di pericolosità nelle aree adiacenti;*
- k.interventi di ristrutturazione urbanistica, così come definite alla lettera f) dell'art. 3 del D.P.R. n. 380/2001 e successive modifiche e integrazioni e nelle leggi regionali vigenti in materia che non comportino aumento di*

superficie o di volume complessivo, fatta eccezione per i volumi ricostruiti a seguito di eventi bellici e sismici, purché realizzati nel rispetto della sicurezza idraulica senza aumento di pericolosità per le aree adiacenti;
l.interventi nelle zone territoriali classificate negli strumenti urbanistici, ai sensi del Decreto interministeriale n. 1444 del 1968, come zone A, B, D, limitatamente a quelli che non necessitano di piano attuativo, e F, destinate a parco, purché realizzati nel rispetto della sicurezza idraulica, risultante da idonei studi idrologici e idraulici e a condizione che non aumentino il livello di pericolosità;
m.le ulteriori tipologie di intervento comprese quelle che necessitano di piano attuativo, a condizione che venga garantita la preventiva o contestuale realizzazione delle opere di messa in sicurezza idraulica per eventi con tempo di ritorno di 200 anni, sulla base di studi idrologici ed idraulici, previo parere favorevole dell'autorità idraulica competente e dell'Autorità di Bacino sulla coerenza degli interventi di messa in sicurezza anche per ciò che concerne le aree adiacenti.

Art. 8 Aree a pericolosità idraulica media e moderata (P.I.2 e P.I.1) ed aree di ristagno

Nelle aree P.I.2 e P.I.1 e nelle aree di ristagno sono consentiti gli interventi previsti dagli strumenti di governo del territorio.

Nelle aree P.I.2 e P.I.1 e nelle aree di ristagno il PAI, nel rispetto delle condizioni fissate dagli strumenti di governo del territorio, persegue l'obiettivo di integrare il livello di sicurezza alle popolazioni mediante la predisposizione prioritaria da parte degli enti competenti ai sensi della legge 24 febbraio 1992, n. 225 di programmi di previsione e prevenzione.

Art. 5 Elaborati del PAI

(...)

a) "Perimetrazione delle aree con pericolosità idraulica - Livello di sintesi in scala 1:25.000".

Nella cartografia la pericolosità è così graduata:

- pericolosità idraulica molto elevata (P.I.4), così come definita nel Piano Straordinario approvato con delibera del Comitato Istituzionale n. 137/1999;*
- pericolosità idraulica elevata (P.I.3), corrispondente alla classe B.I. così come definita nel Piano Straordinario di cui sopra;*
- pericolosità idraulica media (P.I.2) relativa alle aree inondate durante l'evento del 1966 come da "Carta guida delle aree inondate" di cui al Piano di bacino, stralcio relativo alla riduzione del "Rischio Idraulico";*
- pericolosità idraulica moderata (P.I.1): rappresentata dall'involuppo delle alluvioni storiche sulla base di criteri geologici e morfologici.*

b) "Perimetrazione delle aree a pericolosità idraulica - Livello di dettaglio in scala 1:10.000".

Nella cartografia la pericolosità è così graduata:

- pericolosità idraulica molto elevata (P.I.4) comprendente aree inondabili da eventi con tempo di ritorno $TR \leq 30$ anni e con battente $h \geq 30$ cm;*
- pericolosità idraulica elevata (P.I.3) comprendente aree inondabili da eventi con tempo di ritorno $TR \leq 30$ anni con battente $h < 30$ cm e aree inondabili da un evento con tempo di ritorno $30 < TR \leq 100$ anni e con battente $h \geq 30$ cm;*
- pericolosità idraulica media (P.I.2) comprendente aree inondabili da eventi con tempo di ritorno $30 < TR \leq 100$ anni e con battente $h < 30$ cm e aree inondabili da eventi con tempo di ritorno $100 < TR \leq 200$ anni ;*
- pericolosità idraulica moderata (P.I.1) comprendente aree inondabili da eventi con tempo di ritorno $200 < TR \leq 500$ anni.*

(...)

2.3 Strumenti di pianificazione e classificazione idraulica

Di seguito si riportano gli estratti della Carta della Pericolosità Idraulica di Piano Strutturale (2010) che riguardano le area oggetto di studio.

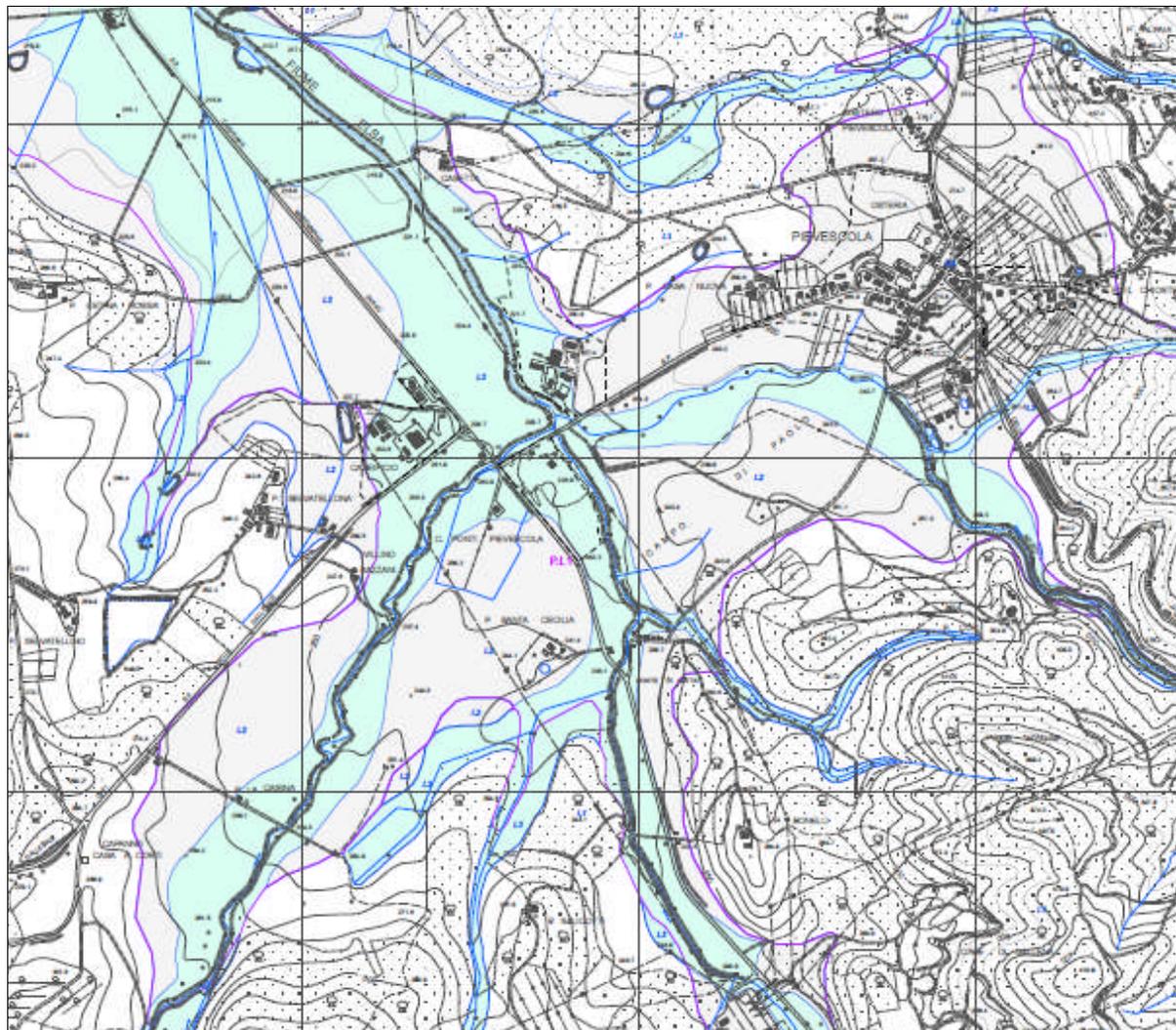


Fig. 1 – Estratto della Carta della Pericolosità Idraulica di Piano Strutturale Loc. Capannino della Suvera – Pievescola
(Tav. 2.5.d)

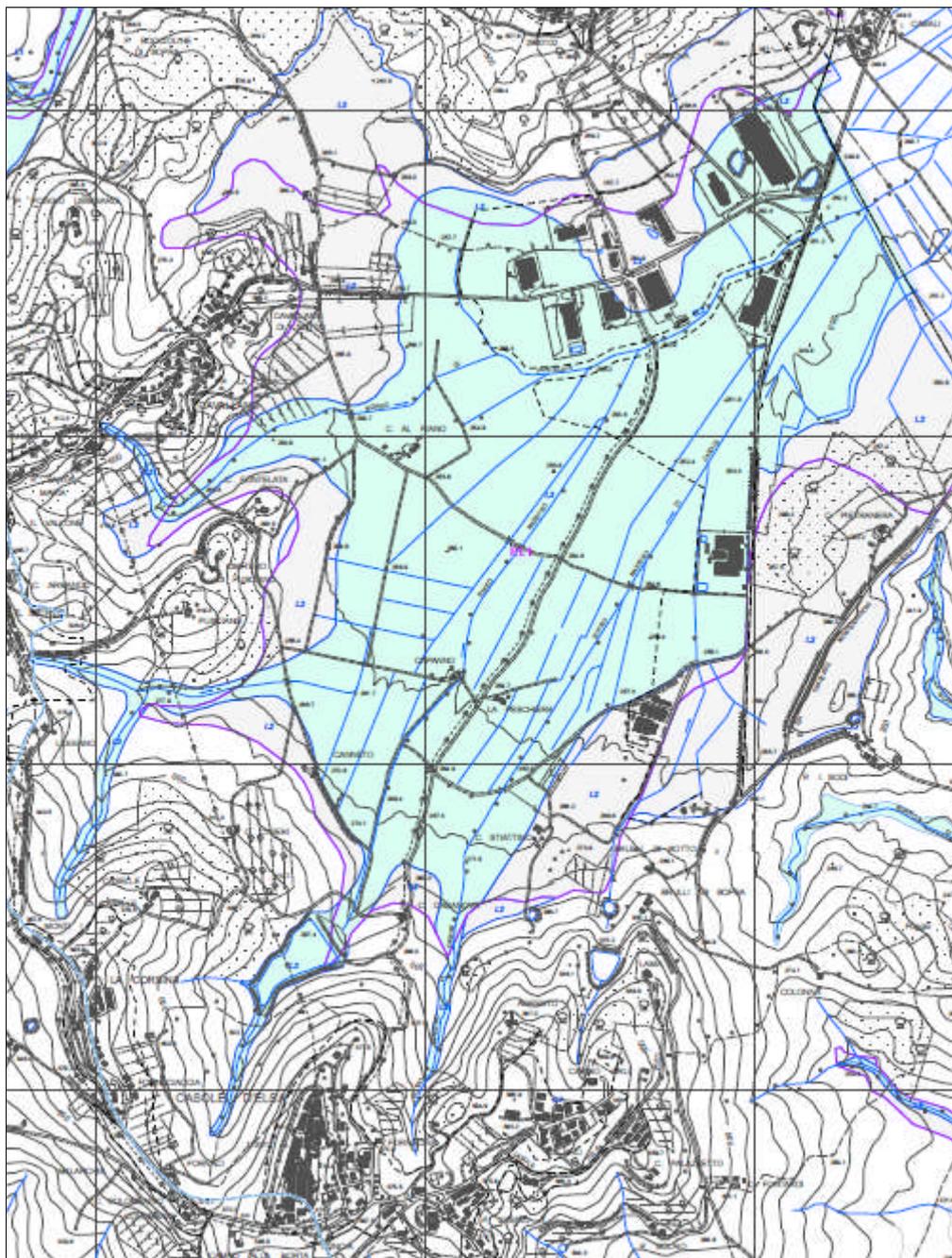


Fig. 2 – Estratto della Carta della Pericolosità Idraulica di Piano Strutturale zona industriale Il Piano (Tav. 2.5.a)

Nelle due precedenti figure le aree campite in colore celeste corrispondono ad aree classificate a pericolosità idraulica elevata (I.3) ai sensi del D.P.G.R. 26/R/2007, al quale sono adeguati gli elaborati di Piano Strutturale.

Di seguito sono invece mostrati gli estratti delle carte di "Perimetrazione delle aree con pericolosità idraulica- livello di sintesi (1:25.000), Fogli n. 135, 143, 144 e 151.

In tutti i casi le aree oggetto di studio sono classificate a pericolosità idraulica moderata (P.I. 1).

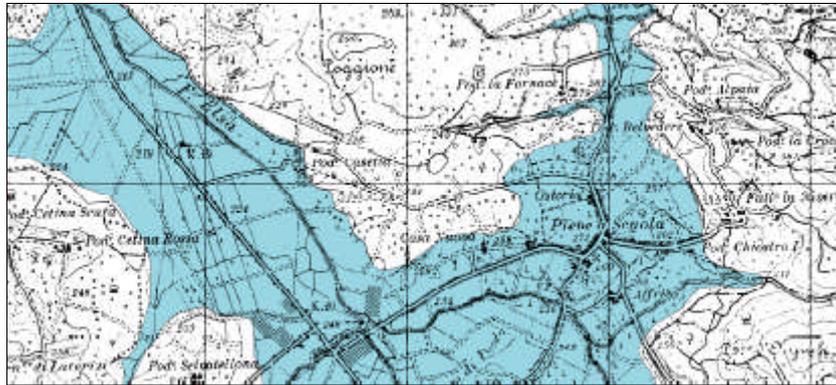


Fig. 3 – Estratto della Carta della Pericolosità Idraulica del P.A.I. livello di sintesi (Fogli n. 144) relativo ad Elsa ed affluenti in Loc. Capannino della Suvera – Pievescola (in questo estratto è mostrata la parte Nord)

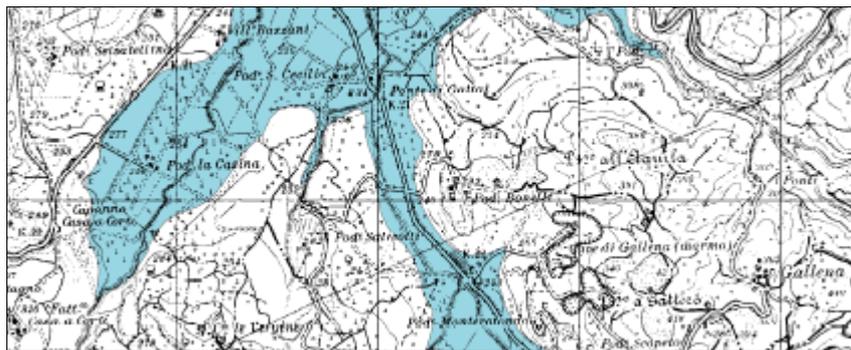


Fig. 4 – Estratto della Carta della Pericolosità Idraulica del P.A.I. livello di sintesi (Fogli n. 151) relativo ad Elsa ed affluenti in Loc. Capannino della Suvera – Pievescola (in questo estratto è mostrata la parte Sud)

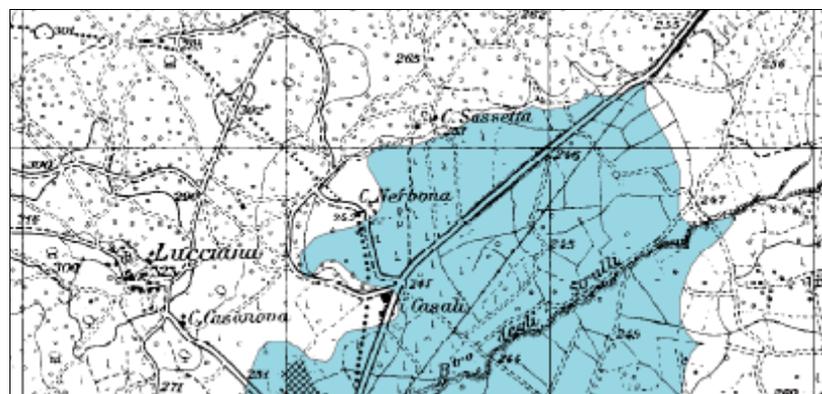


Fig. 5 – Estratto della Carta della Pericolosità Idraulica del P.A.I. livello di sintesi (Fogli n. 135) relativo alla zona dell'area industriale Il Piano (in questo estratto è mostrato solo un piccolo lembo nella parte Nord)

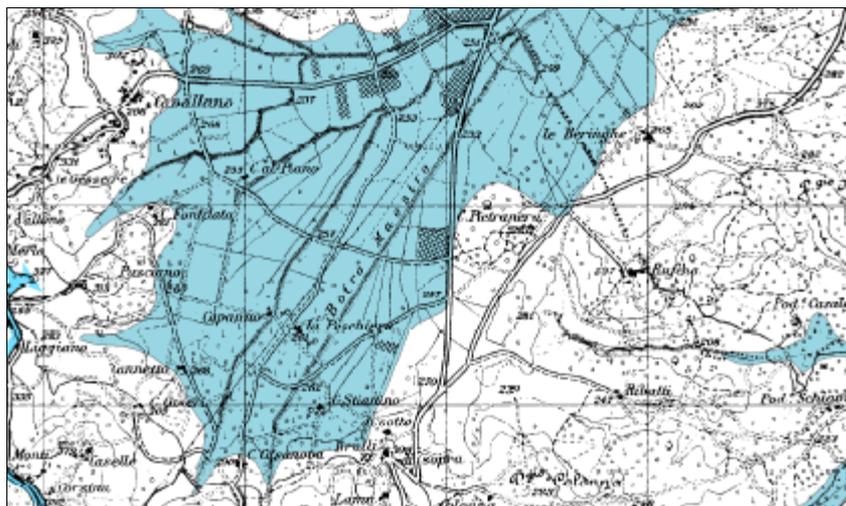


Fig. 6 – Estratto della Carta della Pericolosità Idraulica del P.A.I. livello di sintesi (Fogli n. 143) relativo alla zona dell'area industriale Il Piano (in questo estratto è mostrata l'area quasi nella sua interezza)

3. VERIFICHE IDRAULICHE ELSA E AFFLUENTI LOC. CAPANNINO DELLA SUVERA - PIEVESCOLA

3.1 Introduzione

In questo capitolo sono descritte le verifiche idrologiche e idrauliche eseguite sul Fiume Elsa ed i tre suoi affluenti in Loc. Capannino della Suvera – Pievescola.

L'area di studio è stata descritta nel precedente Cap. 2.

I corsi d'acqua modellati sono i seguenti:

- Fiume Elsa;
- Borro di Mezzo;
- Borro Foci;
- Fosso "Pievescola".

I tratti dei corsi d'acqua modellati sono mostrati nella tavola **e1** allegata al redigendo Regolamento Urbanistico comunale e che costituisce parte integrante, unitamente a tutte le tavole da **e1** a **e9** e ai 3 Allegati, della presente relazione.

La trattazione si suddivide essenzialmente in 2 parti.

Nella prima è descritta la modellistica idrologica, a partire dall'approccio metodologico adottato fino alla definizione degli idrogrammi di piena per gli eventi di piena con tempi di ritorno pari a 30, 100 e 200 anni.

Nella seconda è descritta la modellistica idraulica, dapprima con un'introduzione generale circa la metodologia operativa adottata e successive specifiche tecniche sul modello idraulico elaborato.

L'illustrazione dei risultati e delle modalità di redazione degli elaborati conclusivi (tavola delle aree allagate, tavola di adeguamento al P.A.I.) è rimandata al Cap. 5.

3.2 Modellistica idrologica

La modellistica idrologica ha lo scopo di generare, per tutte le sezioni di interesse dei reticoli idrografici studiati, gli idrogrammi di piena per assegnati tempi di ritorno; per le verifiche idrauliche del Fiume Elsa e dei suoi affluenti in Loc. Capannino della Suvera - Pievescola lavoro sono stati stimati gli idrogrammi relativi ad eventi di piena con tempo di ritorno pari a 30, 100 e 200 anni.

In questo caso, a differenza delle verifiche per l'area industriale Il Piano di cui al successivo Cap. 4, è stata adottata una metodologia di uso frequente e condiviso.

Ci si è avvalsi dell'ausilio del modello di piena concettuale a parametri concentrati ALTO 2000 (Regione Toscana, agg. 2007), attraverso il quale è possibile stimare le portate di piena che si possono generare per eventi meteorici intensi, per differenti tempi di ritorno e durate di precipitazione.

Per tutti i 4 corsi d'acqua oggetto di studio sono state valutate le portate attraverso l'implementazione di ALTO previo affinamento e rivalutazione dei parametri geomorfologici, confermando invece quelli pluviometrici forniti dalla "Regionalizzazione".

La revisione dei parametri geomorfologici è stata condotta allo scopo di verificare la presenza di eventuali difformità geomorfologiche, in particolare dello sviluppo dei reticoli e delle superfici dei sottobacini, tra i dati della "Regionalizzazione", valutati sulla base della cartografia IGM e regionale in scala 1:25.000, e quelli ricalcolati sulla C.T.R. 10.000.

Il codice di calcolo ALTO

L'approccio metodologico di ALTO si basa sulla trasformazione afflussi-deflussi ottenuta tramite la teoria dell'Idrogramma Istantaneo Unitario o IUH, i cui parametri vengono determinati sulla base delle caratteristiche geomorfologiche del bacino attraverso una procedura di regionalizzazione, ottenendo il cosiddetto Idrogramma Unitario Geomorfologico o GIUH.

L'input meteorico è schematizzato mediante uno "ietogramma sintetico" la cui frequenza viene stimata a partire dalle curve di possibilità pluviometrica ricavate con l'adattamento della distribuzione TCEV (Two Components Extreme Value).

Il modello di trasferimento adottato è quello dell'idrogramma unitario di Nash del tipo $\Gamma(n, k)$, dove n e k rappresentano rispettivamente i parametri di forma e di scala, e che ha la seguente espressione:

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

in cui i parametri n e k , i quali hanno le seguenti formulazioni:

$$n = 3.29 \left(\frac{R_b}{R_a}\right)^{0.78} R_l^{0.07}$$

$$k = 0.7 \left[\frac{R_a}{R_b R_l}\right]^{0.48} \frac{L_c}{v}$$

dipendono a loro volta da R_b , rapporto di biforcazione, R_a , rapporto di area, R_l , rapporto di lunghezza, L_c , lunghezza del canale principale, e v , fattore cinematico legato alla velocità della piena; questi ultimi parametri geomorfologici possono essere calcolati sulla base della gerarchizzazione del reticolo idrografico proposta da Horton-Strahler.

In particolare i rapporti di Horton si calcolano secondo le seguenti relazioni:

$$N_u = R_b^{\omega-u}$$

$$\overline{L}_u = \overline{L}_1 R_l^{u-1}$$

$$\overline{A}_u = \overline{A}_1 R_a^{u-1}$$

dove ω è l'ordine massimo del reticolo, N_u il numero delle aste di ordine u ($u=1, 2, 3, \dots$), \overline{L}_u la lunghezza media delle aste di ordine u e \overline{A}_u l'area media sottesa da aste di ordine u .

La "Regionalizzazione" fornisce una legame tra il tempo di ritardo T_l e i parametri di geomorfologici attraverso la relazione:

$$T_l = 0.42 \left(R_b / R_a\right)^{0.3} R_l^{-0.41} \frac{L_{mc}}{A^{0.075}}$$

in cui L_{mc} rappresenta la lunghezza media complessiva del reticolo [km] ed A l'area del bacino [kmq].

La valutazione del contributo netto di pioggia alla formazione del deflusso sul reticolo necessita della stima di ulteriori due parametri che tengano conto delle perdite di infiltrazione; si tratta dell'assorbimento completo della precipitazione durante le prime fasi dell'evento meteorico, I_a [mm], e dell'infiltrazione costante a saturazione, K_s [mm/h].

Il legame tra questi due parametri è il seguente:

$$I_a(t) = I_a(0) + \int_0^{t_a} (P(\tau) - K_s) d\tau$$

dove, per $t < t_a$ abbiamo $P_n(t) = 0$ e $I_a(t) = I_a$

e per $t \geq t_a$ abbiamo $P_n(t) = P(t) - K_s$

Su questa procedura poggiano le elaborazioni del modello di piena ALTO, e grazie ad essa è possibile stimare le portate di piena per i vari corsi d'acqua in esame in condizioni di durata di precipitazione variabile o fissa.

Revisione dei parametri e stima degli idrogrammi di piena

Come detto, l'implementazione del calcolo delle portate di piena è stata anticipata dalla revisione di alcuni parametri geomorfologici rispetto a quelli forniti dalla "Regionalizzazione delle portate di piena del bacino del Fiume Arno".

Sono stati dunque aggiornati alcuni parametri del file *.idr elaborato mediante ALTO.

Innanzitutto sono stati ripermetrati i confini dei bacini dei corsi d'acqua oggetto di studio sulla base della cartografia C.T.R. in scala 1:10.000.

Di seguito è riportata una tabella che mostra le superfici dei 4 sottobacini di studio.

La sezione di chiusura di questi sottobacini è posta in corrispondenza delle confluenze reciproche tra Fiume Elsa e Borro di Mezzo e Fiume Elsa e Borro Foci, distanti tra loro solo pochi metri; per il Fosso "Pievescola" il bacino è stato valutato alla confluenza con il Fiume Elsa.

Lungo il tratto modellato dell'asta del Fiume Elsa (tavola e1) non sono rilevabili ulteriori contributi se non una piccola porzione di sottobacino tra le suddette confluenze e la sezione di chiusura del modello (tavola e3), assai esigua in termini di superficie e quindi trascurata.

Bacini idrografici	Superficie [kmq]
Fiume Elsa	11.953
Borro di Mezzo	12.024
Borro Foci	6.271
Fosso "Pievescola"	0.451

Tab. 1: Superfici ricalcolate dei bacini dei corsi d'acqua oggetto di verifica

In secondo luogo è stata ripermetrata l'area coperta da superficie boscata utilizzando i dati propri della C.T.R. 1:10.000 (layer 702 e 714), piuttosto che il raster 400x400 m di ALTO.

Ciò è finalizzato alla nuova stima del parametro di assorbimento nelle prime fasi della precipitazione I_a [mm] di ALTO che è valutato in funzione della percentuale di copertura boscata dei bacini idrografici, secondo la seguente relazione:

$$I_a = 3.3 + 22 \cdot (\% \text{Sup.boscata})$$

Nella seguente Fig. 7 sono rappresentate le aree boscate che si estendono sui 4 bacini considerati (per la gran parte di essi) e nella successiva Tab. 2 riportate le percentuali di copertura rispetto alla superficie dei bacini stessi.

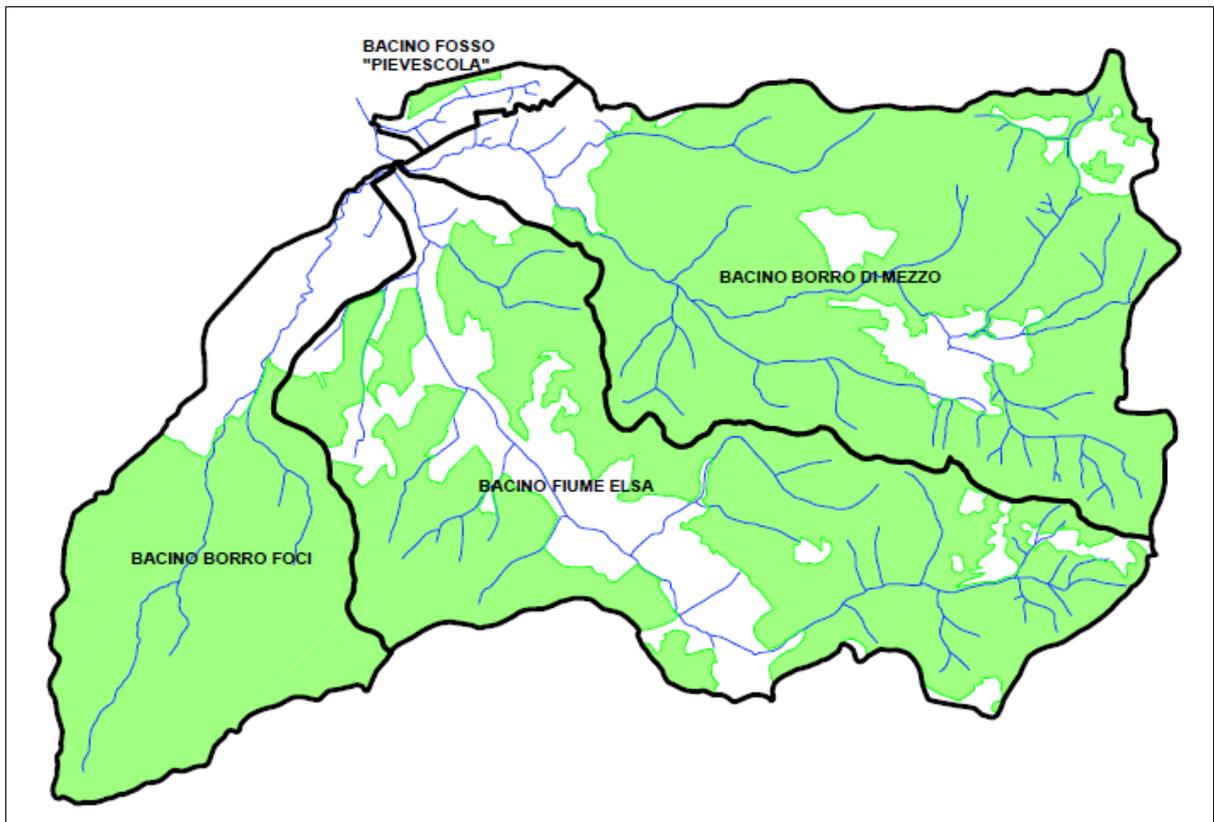


Fig. 7 – Incidenza della superficie boscata sui bacini del Fiume Elsa, del Borro di Mezzo, del Borro Foci e del Fosso "Pievescola" valutata sulla base della C.T.R. 1:10.000

Bacini idrografici	Percentuale di copertura boscata
Fiume Elsa	70%
Borro di Mezzo	82%
Borro Foci	79%
Fosso "Pievescola"	15%

Tab. 2: Percentuali di superficie boscata rispetto alla superficie complessiva dei 4 bacini esaminati

E' stata, infine, eseguita, una nuova gerarchizzazione del reticolo idrografico dei 4 bacini considerati al fine di ricalcolare i parametri n e k , che, come citato in precedenza, dipendono direttamente dai rapporti R_a , R_b e R_l di Horton.

In tal senso è stato nuovamente assegnato l'ordine a ciascuna asta fluviale, secondo il reticolo idrografico della C.T.R. 1:10.000 integrato, ove disponibile, dal reticolo della C.T.R. 1:2.000, valutata la lunghezza di ogni tronco e quella totale di ciascun ordine, e, allo stesso modo, calcolata la superficie di ogni sottobacino incidente su ciascun tronco e la superficie totale per ciascun ordine.

Il reticolo analizzato risulta essere del 4° ordine.

Per facilitare l'illustrazione del lavoro svolto, è stata predisposta la tavola e2 in cui è mostrata la nuova gerarchizzazione dei bacini e del reticolo studiati, alla cui consultazione si rimanda per completezza di trattazione.

Alla luce di questa revisione dei parametri geomorfologici (soltanto per il parametro K_s [mm/h] di infiltrazione a saturazione sono stati confermati i valori della "Regionalizzazione") è stato possibile definire il file aggiornato dei parametri geomorfologici e pluviometrici da elaborare con ALTO.

Di seguito è mostrato detto file dei parametri *.idr.

Corso d'acqua	Area [kmq]	la [mm]	Ks [mm/h]	n	K [h]	a1	n1	m1	a	n	m
Fiume Elsa	11.953	18.733	1.697	2.713	0.554	19.494	0.216	0.17	20.874	0.333	0.199
Borro di Mezzo	12.024	21.417	2.259	2.803	0.632	19.494	0.216	0.17	20.874	0.333	0.199
Borro Foci	6.271	20.648	0	3.032	0.258	19.494	0.216	0.17	20.874	0.333	0.199
Fosso "Pievescola"	0.451	6.637	0	2.004	0.093	19.494	0.216	0.17	20.874	0.333	0.199

Tab. 3: Parametri idrologici e geomorfologici modificati relativi al Fiume Elsa, al Borro di Mezzo, al Borro Foci e al Fosso "Pievescola" valutati nelle sezioni di confluenza reciproca

Considerato che detti bacini hanno durate di precipitazione critica diversa tra loro e che il modello idraulico realizzato (Par. 3.2) è di tipo congiunto (e quindi necessita di input idrologici omogenei), sono stati stimati idrogrammi per durate di precipitazione prestabilite, in modo da ricomprendere tra esse tutte le durate di precipitazione critica di ogni singolo corso d'acqua.

Sono stati così calcolati gli idrogrammi di piena per i tempi di ritorno pari a 30, 100 e 200 per durate fisse di precipitazione, pari a 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 e 3 ore.

Nella seguente tabella sono mostrati i picchi di portata per ciascun evento studiato.

Corso d'acqua	Tempi di ritorno [anni]	D = 0.5 [h]	D = 1 [h]	D = 1.5 [h]	D = 2 [h]	D = 2.5 [h]	D = 3 [h]
Fiume Elsa	200	47.34	64.784	73.623	77.216	77.194	74.885
	100	37.419	52.822	60.861	64.448	64.966	63.532
	30	23.206	35.398	42.362	45.91	47.155	46.828
Borro di Mezzo	200	37.01	52.391	61.099	65.714	67.435	67.166
	100	28.446	41.88	49.614	53.962	55.885	56.069
	30	16.124	26.574	32.973	36.806	38.879	39.705
Borro Foci	200	48.28	62.773	64.329	59.92	54.101	48.683
	100	37.949	51.783	54.409	51.411	46.872	42.308
	30	23.165	35.357	39.5	38.839	36.262	33.077
Fosso "Pievescola"	200	11.006	7.501	5.74	4.738	4.084	3.616
	100	9.517	6.532	5	4.128	3.557	3.15
	30	7.362	5.134	3.935	3.248	2.8	2.479

Tab. 4 – Picchi di portata per eventi con differenti tempi di ritorno, calcolati per durate di precipitazioni predefinite

Nella precedente Tab. 4 sono evidenziati in grassetto i valori di picco di portata per ciascun tempo di ritorno.

La durata di precipitazione critica per il Fiume Elsa risulta pari a 2 - 2.5 ore, a secondo del tempo di ritorno.

La durata di precipitazione critica per il Borro di Mezzo risulta pari a 2.5 - 3 ore, a secondo del tempo di ritorno.

La durata di precipitazione critica per il Borro Foci risulta pari a 1.5 ore, per tutti i tempi di ritorno.

La durata di precipitazione critica per il Fosso "Pievescola" risulta pari a 0.5 ore, per tutti i tempi di ritorno.

Come anticipato, nella modellazione idraulica congiunta dei corsi d'acqua, descritta nel successivo paragrafo, sono stati analizzati tutti gli scenari di precipitazione in modo che le condizioni critiche per ciascun corso d'acqua fossero valutate.

Di seguito sono mostrati gli idrogrammi dei 4 corsi d'acqua per i tempi di ritorno pari a 30, 100 e 200 anni e durate di precipitazione che massimizzano le portate, coincidenti con quelle evidenziate in grassetto nella precedente tabella.

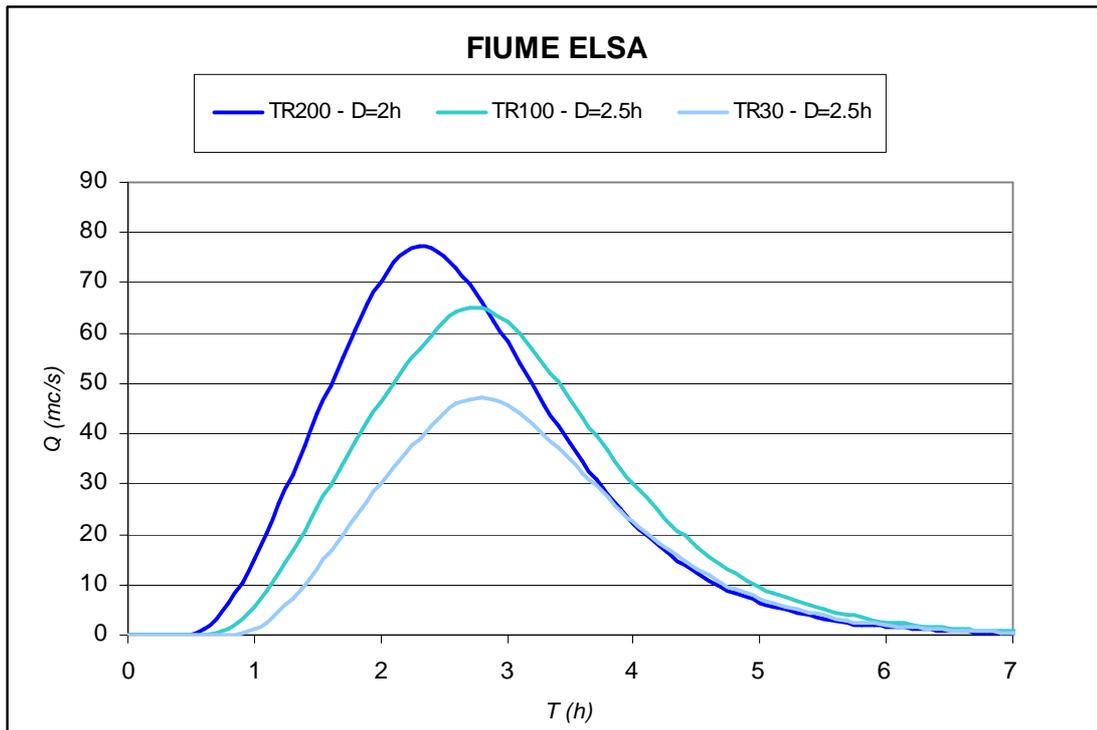


Fig. 8 – Idrogrammi di piena Fiume Elsa

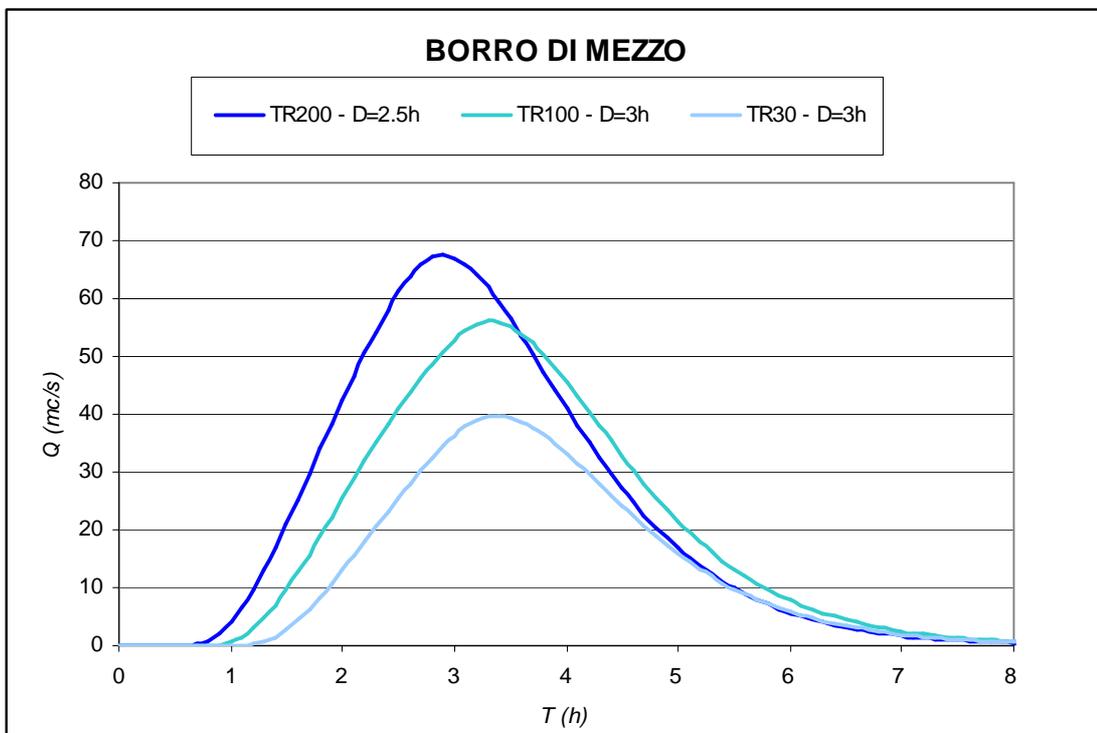


Fig. 9 – Idrogrammi di piena Borro di Mezzo

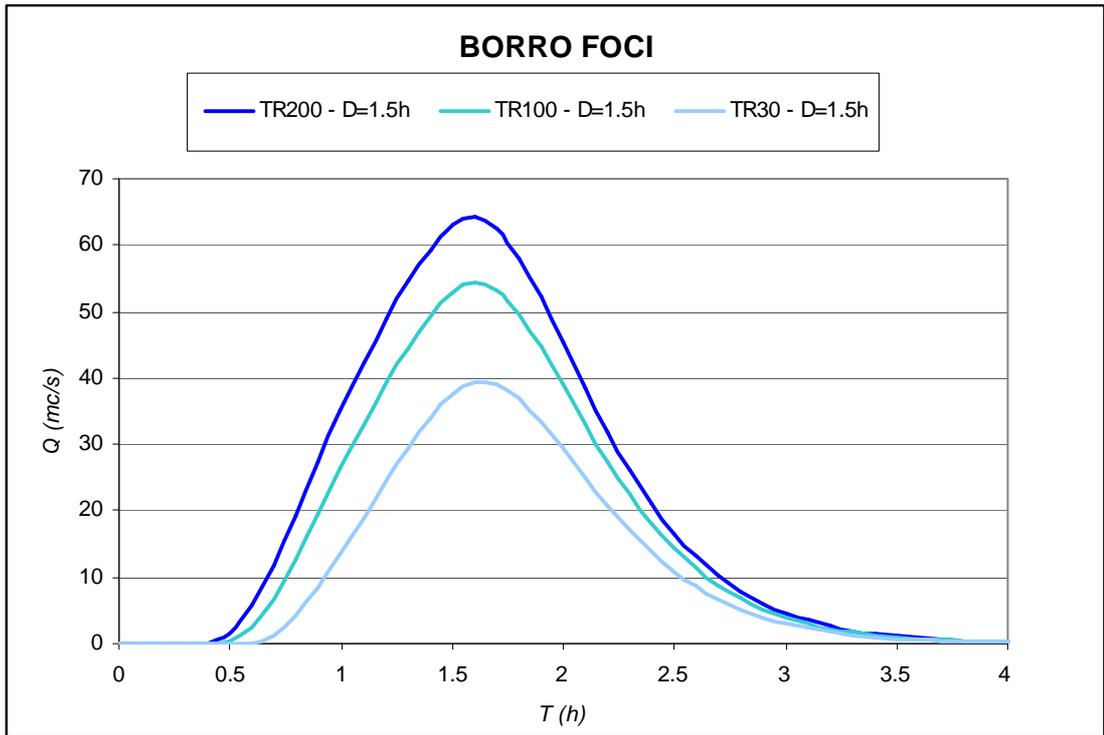


Fig. 10 – Idrogrammi di piena Borro Foci

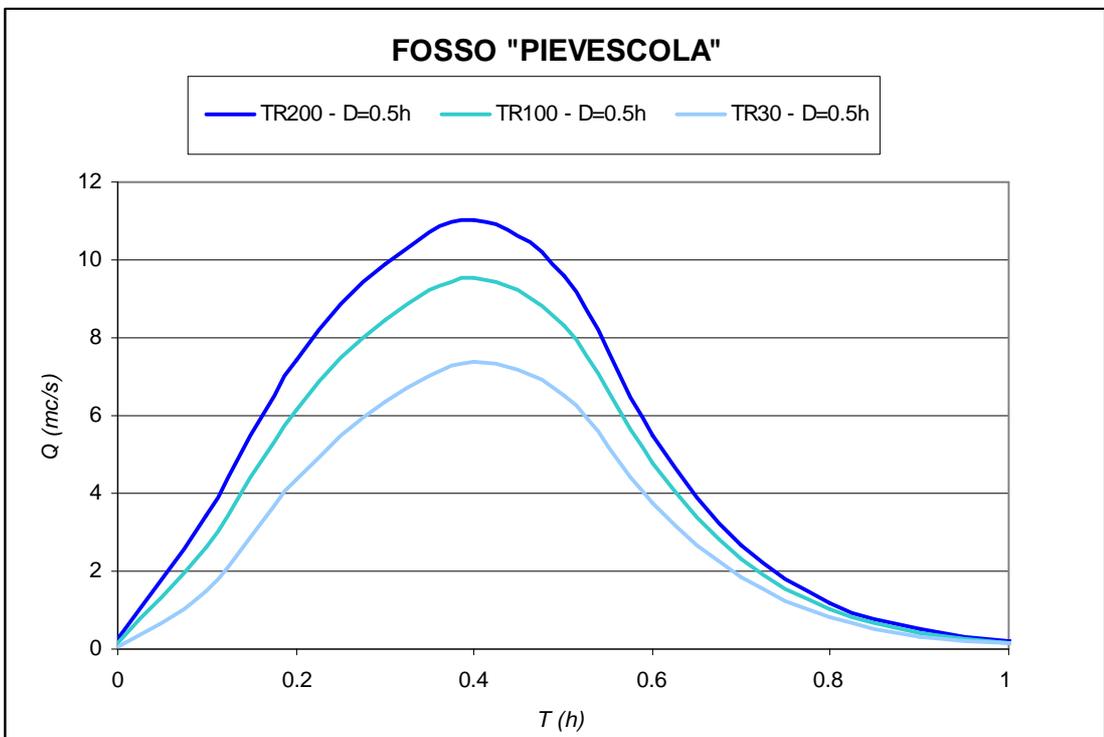


Fig. 11 – Idrogrammi di piena Fosso Pievescola

3.3 Modellistica idraulica

La modellistica idraulica adottata nel presente lavoro si basa su un approccio metodologico condiviso e di diffuso impiego.

Il modello idraulico congiunto del Fiume Elsa, del Borro di Mezzo, del Borro Foci e del Fosso "Pievescola" lungo i tratti di interesse sono stati realizzati in vario, secondo lo schema operativo di seguito descritto.

Dapprima sono approfondite le tematiche legate alla modellazione in moto vario, affrontate dal punto di vista della struttura operativa del codice di calcolo Hec-Ras, versione 4.1.0, utilizzato per la modellazione.

Successivamente è descritto lo specifico modello idraulico realizzato con particolare riferimento alla rappresentazione geometrica dei corsi d'acqua.

Approccio metodologico e codice di calcolo HEC RAS

La modellazione comunemente definita in moto vario si esprime attraverso l'utilizzo di modelli indipendenti nella descrizione della dinamica d'alveo e delle aree contigue inondate, opportunamente connessi da un sistema analitico in grado di descrivere lo spostamento dei volumi straripati; questo schema permette di rappresentare in ambito spazio-temporale la dinamica di propagazione e laminazione delle onde di piena quantificando gli effettivi scambi di massa tra alveo ed aree inondate.

Si tratta di una schematizzazione del moto alveato di tipo monodimensionale vario e una schematizzazione delle aree laterali non direttamente connesse al corso d'acqua, o ai corsi d'acqua, con un classico sistema a celle; le celle laterali definite in funzione della morfologia del territorio e caratterizzate ciascuna da una propria legge di invaso, vengono connesse tra loro e con l'alveo mediante elementi idraulici, quali luci a stramazzo o a battente.

La soluzione delle equazioni che governano il moto monodimensionale vario è ottenuta attraverso un metodo numerico alle differenze finite per la discretizzazione spaziale ed un metodo implicito per l'avanzamento temporale tramite successive iterazioni di calcolo (discretizzazione temporale).

La discretizzazione spaziale del modello è determinata dal numero di sezioni geometriche rilevate e dalla densità ed ampiezza delle celle laterali introdotte, mentre la scansione temporale è quella scelta nella descrizione dei fenomeni tempo-varianti, come gli idrogrammi, e dal passo temporale adottato nelle simulazioni.

Il grado di accuratezza ottenuto dipende, dunque, dal livello di dettaglio nella riproduzione geometrica (densità delle sezioni fluviali rilevate e delle celle), e dalla scansione temporale utilizzata.

La modellazione delle aree adiacenti al corso d'acqua potenzialmente allagabili, e la descrizione delle dinamiche che all'interno di esse si sviluppano, rappresenta il punto nodale di una modellazione idraulica indirizzata a valutare l'entità del fenomeno esondativo in termini di battenti idrici e di estensione.

La schematizzazione a celle interconnesse, che in seguito verranno chiamate "Aree di Potenziale Esondazione", individuate con l'acronimo APE, o, in alternativa, "Storage Area", secondo la dicitura del codice di calcolo HEC-RAS, è comunemente definita come "quasi-bidimensionale" perché consente di studiare il deflusso in alveo mediante la risoluzione delle equazioni del moto e di continuità e la propagazione dei livelli idrici nelle celle utilizzando la sola equazione di continuità; pertanto l'allagamento di ciascuna cella, ogni qualvolta venga superata la capacità di contenimento degli argini fluviali, avviene in modo istantaneo, e l'aumento del battente sul territorio segue la legge di invaso caratteristica della cella stessa.

Anche il trasferimento dei volumi di esondazione tra cella e cella avviene in modo sincrono, regolato da appositi sfioratori o sottopassi (tombini), disposti in base alle caratteristiche del territorio.

L'approssimazione che inevitabilmente porta a trascurare gli effetti della non stazionarietà e bidimensionalità connessi al fenomeno di propagazione dei volumi d'acqua esondati, principalmente legati all'irregolarità e all' antropizzazione del territorio, può essere ridotta attraverso la realizzazione di un modello fortemente discretizzato, con un alto numero di celle laterali di ridotte dimensioni.

Le leggi fisiche che governano il moto di una corrente in un canale in condizioni non stazionarie sono rappresentate dal principio di conservazione della massa (legge di continuità) e dal principio di conservazione del momento della quantità di moto.

Il codice di calcolo Hec-Ras risolve le due equazioni così espresse:

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

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(VQ)}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f + S_h \right) = 0$$

in cui:

t = tempo, [s]

x = distanza lungo il canale, [m]

Q = portata, [m³/s]

A = superficie della sezione che contribuisce al deflusso, [m²]

q_l = portata uscente lateralmente, per unità di lunghezza, [m²/s]

V = velocità, [m/s].

g = accelerazione di gravità, [m/s²]

z = carico totale della corrente [m]

S_f = tasso di perdita di carico per attrito

S_h = tasso di perdita di carico per contrazione/espansione tra sezioni idrauliche successive.

Si osserva come le perdite di carico vengano conteggiate all'interno dell'equazione del moto nei termini che includono S_f e S_h.

Il primo è definito secondo l'equazione di Manning, come:

$$S_f = \left(\frac{Q}{K} \right)^2$$

dove

$$K = \frac{1,486}{n} AR^{\frac{2}{3}} \quad [\text{m}^3/\text{s}],$$

in cui n = coefficiente di attrito di Manning, [s/m^{1/3}]

A = superficie bagnata, [m²]

R = raggio idraulico, [m],

e il secondo come:

$$S_h = \frac{\partial \left(\frac{CV^2}{2g} \right)}{\partial x}$$

in cui C rappresenta il coefficiente di contrazione/espansione, al quale sono stati assegnati i valori di 0.1 e 0.3, rispettivamente.

Le equazioni appena mostrate vengono risolte attraverso un metodo numerico alle differenze finite, e, in quanto non lineari, per la loro soluzione viene adottata una tecnica di linearizzazione.

Nell'ottica della descrizione mediante differenze finite, ad ogni passo temporale è risolto un sistema di equazioni lineari del tipo $Ax=b$, che necessita dell'assegnazione delle opportune condizioni al contorno.

La scelta delle condizioni al contorno costituisce un elemento determinante nella realizzazione di un modello in moto vario; generalmente come condizione di monte è utilizzato l'input idrologico ricavato mediante la modellistica idrologica descritta nel precedente paragrafo, ovvero un'idrogramma di piena. A valle, tra le varie opportunità, si predilige adottare un idrogramma dei livelli, Stage Hydrograph, o una relazione livelli-portata, detta scala di deflusso o Rating Curve, o ancora un semplice Normal Depth, ovvero la pendenza di moto uniforme.

E' importante che la scelta della condizione di valle, e il relativo effetto, non si ripercuotano a monte attraverso fenomeni di rigurgito; se l'imposizione di determinate condizioni a valle tende a "forzare" in qualche modo la propagazione del deflusso in alveo nel tratto terminale, è generalmente consigliato ampliare, ove possibile, verso valle il tratto fluviale modellato in modo da garantire una buona indipendenza dei risultati dalla condizione di valle prescelta.

Nel caso del presente lavoro, trattandosi di un unico modello congiunto di 4 corsi d'acqua, pertanto legati tra loro attraverso l'introduzione di connessioni idrauliche in corrispondenza delle confluenze ("Junction"), l'unica condizione di valle da introdurre è rappresentata da quella sulla sezione terminale del Fiume Elsa.

Ad essa è stata assegnata la semplice condizione di pendenza di moto uniforme, non potendo disporre di altri elementi per l'assegnazione di una tipologia di condizione al contorno diversa.

A scopo cautelativo il modello è stato ampliato a valle con una sezione non rilevata ma interpolata, in modo da minimizzare gli effetti di distorsione lungo il tratto di interesse (area artigianale Pievescola) generati dalla condizione al contorno.

Lo scambio di massa tra il corso d'acqua, o i corsi d'acqua nel presente caso, e le aree adiacenti è conteggiato aggiungendo un termine all'equazione di continuità per un canale in condizioni di moto monodimensionale vario, precedentemente riportata.

Adesso l'equazione di continuità si scrive come:

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

in cui S [m²] rappresenta la superficie della sezione che contribuisce all'accumulo nelle aree inondabili adiacenti.

Grazie a questa relazione è possibile quantificare la portata in uscita verso le aree laterali.

L'accumulo di volume all'interno di ciascuna APE è governato dalla sola legge di invaso, che lega il livello idrico con il volume contenuto, in relazione agli scambi di portata con il fiume o con le celle contigue.

Tali scambi sono regolati da elementi idraulici come gli sfioratori, i quali funzionano secondo la legge di stramazzone in parete grossa e simulano la tracimazione al di sopra di argini, rilevati etc., o da tombini e sottopassi, regolati dalla caratteristica legge delle luci a battente.

Lo stramazzo in parete grossa è espresso secondo la seguente relazione:

$$Q = C_d LH^{\frac{3}{2}}$$

dove con L [m] è indicata la larghezza della soglia, con H [m] l'altezza della vena stramazante e con C_d il coefficiente dimensionale di stramazzo [$m^{1/2}/s$] che corrisponde al termine $\mu\sqrt{2g}$ [$m^{1/2}/s$] di uso comune.

In questo lavoro, data la particolare conformazione dei corsi d'acqua, soprattutto del Borro di Mezzo e del Borro Foci, piuttosto incassati e con pendenze d'alveo significative, sono state tracciate, come evidenziato in seguito, soltanto poche aree di potenziale esondazione lungo il Fiume Elsa, nelle parti più pianeggianti coinvolte da esondazione.

Caratterizzazione geometrica del modello

La ricostruzione geometrica delle aste fluviali e delle aree di potenziale esondazione modellate viene effettuata avvalendosi delle informazioni topografiche a disposizione, ricavate da rilievi eseguiti lungo i corsi d'acqua integrati con i dati di cartografia ufficiale.

Lo sviluppo longitudinale del corso d'acqua è riprodotto attraverso opportune sezioni fluviali rilevate ("River Station", secondo la dicitura di HEC-RAS), poste a distanza variabile l'una dall'altra, comunque sufficientemente vicine da poter rappresentare compiutamente le aste; laddove necessario è possibile provvedere ad un infittimento di sezioni mediante un criterio di interpolazione.

Ciascuna sezione è caratterizzata, nel modello, da una propria scabrezza, espressa tramite il coefficiente n di Manning [s/m^2], riferita alle condizioni vegetative e allo stato di manutenzione del corso d'acqua.

Lungo i corsi d'acqua possono essere presenti manufatti quali ponti o viadotti; la schematizzazione adottata è funzionale agli obiettivi della simulazione, ovvero si incentra su una riproduzione sommaria dei manufatti che definisca principalmente la quota dell'intradosso, la larghezza delle pile e la larghezza dell'intera opera d'arte. In pratica viene rappresentata l'ampiezza delle luci e la loro profondità, comprese le caratteristiche costruttive che determinano le perdite concentrate e distribuite della corrente.

Un'analoga schematizzazione può essere adottata per la rappresentazione delle opere che garantiscono la trasparenza idraulica di rilevati stradali o ferroviari, come i tombini (in questo caso non presenti).

Il codice di calcolo HEC-RAS definisce "Bridge" i ponti e gli attraversamenti fluviali, e "Culvert" i tombini. Possono essere presenti lungo un corso d'acqua (non in questo caso) anche briglie o traverse, che nella modellazione vengono identificate con le "Inline Structure".

Le aree di potenziale esondazione sono definite come quelle porzioni di territorio adiacenti al corso d'acqua coinvolte, eventualmente, dal fenomeno esondativo, e il cui comportamento è sia quello di invadere volumi d'acqua, sia quello di essere interessate dal trasporto dei volumi stessi.

La stazionarietà delle dinamiche fuori alveo fa sì che il fenomeno del trasferimento di volumi esondati sul piano campagna debba essere correttamente interpretato, in quanto ciò rappresenta il punto nodale e il maggior limite della modellazione "quasi bidimensionale".

Le strutture che permettono la quantificazione dei volumi esondati sono definite "Lateral Structure", e corrispondono agli argini fluviali, o alle "teste" di sponda.

Esse sono modellate come veri e propri sfioratori di superficie, che seguono la legge dello stramazzo in parete grossa.

Il fenomeno del trasferimento di volumi all'interno delle "Storage Area" e soprattutto verso le aree contigue è simulato soltanto attraverso l'individuazione dei tratti di confine che, per proprie caratteristiche morfologiche, contribuiscono a suddetto trasferimento, in entrambi i sensi.

Queste connessioni tra "Storage Area", come le suddette connessioni tra "Storage Area" ed i corsi d'acqua ("Lateral Structure"), sono, come detto, modellate mediante sfioratori di superficie o luci a battente, ricostruiti in base al reale andamento plano-altimetrico di rilevati, argini e di ogni altro elemento morfologico, ivi compresi archi viari e ferroviari, che, pur non essendo propriamente barriere idrauliche, consentono il contenimento e la delimitazione di ciascuna cella e della fasce fluviali; il codice di calcolo assegna a questi elementi idraulici il nome di "S.A. Connection".

E' dunque comprensibile l'esigenza di conoscere attentamente le caratteristiche geometriche del territorio in esame, anche al fine di operare una corretta suddivisione in celle elementari, in particolar modo laddove, come nel presente caso, debba essere modellata una porzione di territorio in alcuni punti fortemente urbanizzata.

Sul territorio posto sotto esame è stato costruito un modello digitale del terreno a partire dai dati topografici a disposizione.

In particolare è stato utilizzato il rilievo topografico appositamente eseguito lungo i tratti in esame, riferito essenzialmente agli alvei e alle fasce golenali, che consta di una notevole quantità di sezioni rilevate, integrato con i dati della cartografia C.T.R. in scala 1:2.000 (o 1:10.000 nelle zone non coperte dal 2.000).

Il rilievo topografico, eseguito nel periodo Marzo-Aprile 2013, consta complessivamente di n. 51 sezioni idrauliche rilevate lungo il Fiume Elsa, il Borro di Mezzo, il Borro Foci e il Fosso "Pievescola", per un totale di circa 1.000 punti battuti.

Sono state rilevate non solo le sezioni d'alveo, ma anche gli attraversamenti lungo i tratti esaminati e gli spigoli dei fabbricati più prossimi ai corsi d'acqua, nonché alcuni punti lungo le strade.

I corsi d'acqua studiati sono composti dalle sezioni rilevate, a cui sono state aggiunte alcune sezioni interpolate per l'infittimento o l'estensione dei tratti in esame.

Complessivamente il modello consta delle seguenti sezioni:

- Fiume Elsa – 23 sezioni
- Borro di Mezzo – 8 sezioni
- Borro Foci – 15 sezioni
- Fosso "Pievescola" – 5 sezioni.

Con l'introduzione delle confluenze ("Junction") con gli affluenti, l'asta del Fiume Elsa risulta, nel modello, suddivisa in 4 "sottoaste", denominate e identificate come segue:

- Fiume Elsa "monte" – fino a confluenza con Borro Foci
- Fiume Elsa "confluenze" – tra confluenza con Borro Foci e confluenza con Borro di Mezzo
- Fiume Elsa "valle" – tra confluenza con Borro di Mezzo a confluenza con Fosso "Pievescola"
- Fiume Elsa "fine" – a valle della confluenza con Fosso "Pievescola".

Lungo i corsi d'acqua sono stati inseriti anche gli attraversamenti o altri manufatti trasversali:

- Fiume Elsa – 1 attraversamento e 1 guado
- Borro di Mezzo – 1 attraversamento e 1 guado
- Borro Foci – 1 attraversamento
- Fosso "Pievescola" – 1 attraversamento (tratto intubato)

Il modello idraulico congiunto delle 4 aste studiate è stato infine integrato con l'introduzione di alcune aree di potenziale esondazione, connesse in particolare con il Fiume Elsa e con il Borro Foci; complessivamente sono state modellate n. 4 A.P.E., denominate da "Elsa 1" a "Elsa 4" in quanto poste esclusivamente lungo l'asta del Fiume Elsa, di cui 2 a monte della S.P. della Montagnola Senese che conduce all'abitato di Pievescola ("Elsa 1" e "Elsa 2"), e le altre a valle, in sinistra idraulica.

Dal punto di vista della scabrezza dei corsi d'acqua esaminati, si è tenuto conto del cattivo stato di manutenzione delle sponde e delle aree golenali, con presenza di vegetazione anche fitta e materiale crollato o depositato in alveo.

Per questo motivo sono stati assegnati coefficienti di scabrezza cautelativi, nell'ordine di valori in alveo variabili tra 0.04 sm-1/3 e addirittura 0.055 sm-1/3 in alcuni tratti.

La caratterizzazione geometrica del modello del Fiume Elsa e dei suoi affluenti è mostrata anche nella tavola e3 allegata al presente lavoro.

Input idrologici, condizioni iniziali e opzioni di calcolo

Le sollecitazioni idrologiche al sistema, intese come gli eventi meteorici di intensità e durata variabili che intervengono sul bacino, sono costituiti dagli idrogrammi di piena, relativi agli eventi desiderati, secondo quanto descritto nel precedente paragrafo sulla modellistica idrologica.

Il codice di calcolo Hec-Ras richiede l'immissione di un "Flow Hydrograph", e di tutti i "Lateral Inflow Hydrograph" o "Uniform Lateral Inflow" relativi ai vari affluenti o sottobacini intermedi, se presenti.

In questo lavoro, trattandosi di modellazione congiunta senza ulteriori affluenti lungo i tratti studiati, sono stati inseriti, come "Flow Hydrograph", esclusivamente gli input idraulici in ingresso alle 4 aste.

Gli scenari di studio, come anticipato nel precedente paragrafo, sono riferiti ai 3 tempi di ritorno di riferimento (30, 100 e 200 anni) con idrogrammi relativi a durate di precipitazione pari a 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 e 3 ore.

In totale sono stati quindi riprodotti $3 \times 6 = 18$ scenari di rischio.

Nella seguente tabella sono riportate le sezioni di immissione degli idrogrammi in ingresso al modello per ciascuna asta studiata e la tipologia di input (in questo caso, come detto, si tratta esclusivamente di "Flow Hydrograph").

Corsi d'acqua	Sezione	Tipologia di immissione
Fiume Elsa	E17	Flow Hydrograph
Borro di Mezzo	M8	Flow Hydrograph
Borro Foci	F15	Flow Hydrograph
Fosso "Pievescola"	P5	Flow Hydrograph

Tab. 5 – Sezioni e tipologia di immissione degli idrogrammi nel modello idraulico

Tutti gli idrogrammi in ingresso sono stati stimati con una scansione temporale di 6 minuti. Come richiede il codice di calcolo, all'istante zero della simulazione idraulica è assegnata una portata iniziale ai corsi d'acqua, valutata in 5 mc/s per i 3 corsi d'acqua più importanti e in 1 mc/s per il Fosso "Pievescola"; la stessa portata iniziale deve essere introdotta a valle delle confluenze; sono stati assegnati valori di portata iniziale pari alla somma delle portate iniziali dei corsi d'acqua confluenti.

Anche le "Storage Area" necessitano di un livello iniziale minimo, che coincide con la quota minima dell'area stessa.

L'invaso statico di volumi in aree adiacenti al corso d'acqua, come riferito nel Cap. 5 di illustrazione ed interpretazione dei risultati, rappresenta, nel caso di questo modello, una dinamica di carattere secondario rispetto al trasferimento di volumi in alveo ed extra alveo.

In precedenza è stato sottolineato come la discretizzazione temporale incida sul livello di accuratezza complessivo di un modello di questo tipo.

Le simulazioni idrauliche in moto vario sono state effettuate con un avanzamento temporale ad intervalli di 10 secondi, e la restituzione dei risultati ad intervalli di 6 minuti.

Tra le altre opzioni di calcolo, è stato deciso di assegnare a θ , implicit weighting factor, parametro che determina la modalità di avanzamento temporale della procedura alle differenze finite, il valore di 1; le tolleranze ammesse sui livelli idrici risultanti sul corso d'acqua e nelle aree adiacenti sono state, rispettivamente, pari a 0.006 m e 0.015 m; infine il numero massimo di iterazioni oltre il quale il sistema sarebbe divenuto instabile è stato fissato a 20.

4. VERIFICHE IDRAULICHE CORSI D'ACQUA INSISTENTI SULL'AREA INDUSTRIALE IL PIANO

4.1 Introduzione

Analogamente a quanto fatto per il Fiume Elsa ed i suoi affluenti in Loc. Capannino della Suvera – Pievescola, in questo capitolo sono descritte le verifiche idrologiche e idrauliche eseguite sui vari corsi d'acqua insistenti sull'area industriale il Piano.

L'area di studio è stata descritta nel precedente Cap. 2.

In estrema sintesi, i corsi d'acqua modellati possono essere riassunti come segue:

- Borro di Fontelata;
- Fosso Maestro;
- Botro Maestro Casole;
- Fosso lungo strada nella parte Nord dell'area industriale;
- Numerosi affluenti minori dei corsi d'acqua suddetti.

Proprio perché è stato necessario tenere conto ed introdurre nella modellazione congiunta di questi corsi d'acqua anche una serie notevole di affluenti minori, è indispensabile approfondire l'analisi del reticolo prima ancora di entrare nel merito della modellistica idrologica e idraulica compiuta.

Come anticipato, il reticolo presso l'area del Piano è estremamente complesso e articolato.

Attraverso numerosi sopralluoghi sul posto, è stato possibile ricostruire con un buon grado di precisione l'articolazione del reticolo.

Questi approfondimenti si sono resi "obbligatori" per poter modellare il sistema idraulico del Piano in modo attendibile; infatti l'ipotesi preliminare di ridurre la modellazione del reticolo allo studio dei 3 corsi d'acqua principali (Borro di Fontelata, Fosso Maestro e Botro Maestro Casole) più il Fosso lungo la strada per Cavallano nella parte Nord dell'area industriale, è venuta meno osservando come il reticolo superficiale che effettivamente garantisce il deflusso delle acque è rappresentato non soltanto dai corsi d'acqua principali, ma, soprattutto nella parte a Sud del Piano, per buona parte dai fossi minori.

Infatti, a parte il Borro di Fontelata che scorre nel suo alveo naturale, il Fosso Maestro e il Botro Maestro Casole sono leggermente pensili, quindi contribuiscono a trasportare a valle solo una parte delle acque piovute sul versante collinare; questa funzione, almeno per le precipitazioni che cadono direttamente sulla parte pianeggiante, è invece svolta dal reticolo minore.

Molti di questi fossi minori lambiscono inoltre alcuni insediamenti o aree con previsioni urbanistiche di completamento o trasformazione, quindi non ci si è potuti esimere dall'estendere le modellazioni idrauliche anche a questi corsi d'acqua.

Il reticolo idraulico effettivo, peraltro abbastanza simile a quello rappresentato nella cartografia C.T.R. 1:2.000, è stato quindi ridisegnato, almeno per quanto riguarda le aste che contribuiscono in modo significativo al deflusso delle acque.

L'elenco aggiornato dei corsi d'acqua di cui è stata fatta la modellazione idrologica ed idraulica è pertanto quello riportato nella seguente tabella; ai corsi d'acqua minori, in quanto privi di toponimo, è stato assegnato un codice identificativo legato al bacino dei corsi d'acqua principali a cui afferiscono; il termine "Afi" identifica l'affluente i-esimo, i termini "BF", "FM" o "BMC" identificano rispettivamente il bacino di appartenenza (Borro di Fontelata, Fosso Maestro e Botro Maestro Casole).

Per facilitare la decodifica di queste sigle e individuare il corso d'acqua a cui sono riferite si suggerisce di abbinare alla lettura di questa relazione anche la consultazione degli elaborati grafici allegati, in particolare delle tavole **e5** ed **e6**.

Bacino di riferimento	Codice corsi d'acqua principali	Codice corsi d'acqua secondari	Codice corsi d'acqua di terzo ordine
Borro di Fontelata	BF	Af1_BF	
		Af2_BF	
		Af3_BF	
		Af4_BF	
Fosso Maestro	FM	Af1_FM	
Botro Maestro Casole	BMC	Af1_BMC	Af1_BMC_monte
			Af1_BMC_campo FV
		Af2_BMC	Af2_BMC_sf
		Af3_BMC	
		Af4_BMC	
		Af5_BMC	
Fosso lungo strada parte Nord area industriale	F_str	F_ai	

Tab. 6 – Elenco dei corsi d'acqua studiati e denominazione aste

Nella precedente tabella sono inseriti, con il loro codice identificativo, anche fossi di terzo ordine, che scorrono in prossimità di aree urbanizzate (e per questo è stato necessario studiarli), e che confluiscono in affluenti dei corsi d'acqua principali.

Complessivamente sono state dunque studiate non solo le 4 aste principali, ma anche le tutte le altre aste corrispondenti ad ogni singola sigla indicata nella precedente tabella.

Si tratta dunque di un totale di n. 18 singole aste fluviali, descritte da un modello “semi-congiunto” di tutte le aste di rara complessità e articolazione.

Questa schematizzazione del reticolo si è resa necessaria per rappresentare in modo quanto più verosimile le dinamiche idrauliche di piena di tutta l'area. Infatti le numerose previsioni di completamento dell'area industriale Il Piano non potevano rischiare di essere impedito o favorito da una modellazione idrologica e idraulica semplificata che avrebbe avuto l'effetto non controllabile di sovrastimare o sottostimare localmente il rischio idraulico della zona.

Come per la zona di Pievescola, anche in questo caso la trattazione si suddivide essenzialmente in 2 parti.

Nella prima è descritta la modellistica idrologica, a partire dall'approccio metodologico adottato fino alla definizione degli idrogrammi di piena per gli eventi di piena con tempi di ritorno pari a 30, 100 e 200 anni.

Tale approccio, come anticipato, si diversifica da quello adottato per il Fiume Elsa ed i suoi affluenti, ma è stata eseguita un'analisi idrologica ad hoc compatibile con le esigenze di un modello idraulico composto da una molteplicità di aste e di confluente, e quindi di input idrologici da immettere.

Nella seconda parte è descritta la modellistica idraulica, con un'introduzione generale circa la metodologia operativa adottata e successive specifiche tecniche sul modello idraulico elaborato. Anche in questo caso la metodologia di lavoro è quella del moto vario secondo lo schema di HEC RAS, pertanto sono trascurate le parti in ripetizione di quanto già illustrato nel precedente capitolo.

L'illustrazione dei risultati e delle modalità di redazione degli elaborati conclusivi (tavola delle aree allagate, tavola di adeguamento al P.A.I.) è rimandata al Cap. 5.

I tratti dei corsi d'acqua modellati sono mostrati nella tavola **e1** allegata al redigendo Regolamento Urbanistico comunale e che costituisce parte integrante, unitamente a tutte le altre tavole da **e2** a **e9** ed ai 3 Allegati, della presente relazione.

Gli elaborati di dettaglio per il modello idrologico idraulico dei corsi d'acqua insistenti sull'area industriale Il Piano sono invece le già citate tavole **e5** ed **e6**, richiamate in seguito.

4.2 Modellistica idrologica

La modellistica idrologica per le verifiche idrauliche dei corsi d'acqua precedentemente elencati non ha potuto essere affrontata mediante l'ausilio del modello di piena ALTO, come per il Fiume Elsa ed i suoi affluenti in Loc. Capannino della Suvera – Pievescola.

Infatti tutti i bacini e sottobacini studiati sono di ridotte dimensioni e, alla sezione di apertura dei modelli idraulici di ciascuna asta, presentano un reticolo di monte scarsamente gerarchizzato, o del tutto non gerarchizzato, tanto da non consentire di adottare il modello di trasferimento dell'idrogramma unitario di Nash. Inoltre, date le ridotte superfici, non si è potuto trascurare il contributo degli interbacini lungo le aste studiate; tali contributi non sono valutabili col metodo di Nash in quanto questi interbacini, come del resto mostra bene anche la cartografia C.T.R. 1:2.000, sono molto spesso privi di vero e proprio reticolo ma solo attraversati da fossi paralleli interrotti da strade bianche o rami trasversali che indirizzano il deflusso dapprima verso i corsi d'acqua secondari e da questi ultimo verso quelli principali.

Per questo motivo è stato adottato un sistema semplificato in grado di poter calcolare, e successivamente fornire come input idrologico al modello idraulico, gli idrogrammi anche di piccolissimi interbacini.

In questa trattazione è di notevole aiuto l'analisi della tavola **e6**, in cui sono riportati tutti i sottobacini in base ai quali è stato suddiviso l'intero bacino del Botro degli Strulli, inteso come somma dei 4 bacini dei corsi d'acqua principali, ovvero Borro di Fontelata (BF), Fosso Maestro (FM), Botro Maestro Casole (BMC) e Fosso lungo la strada dell'area industriale (F_str).

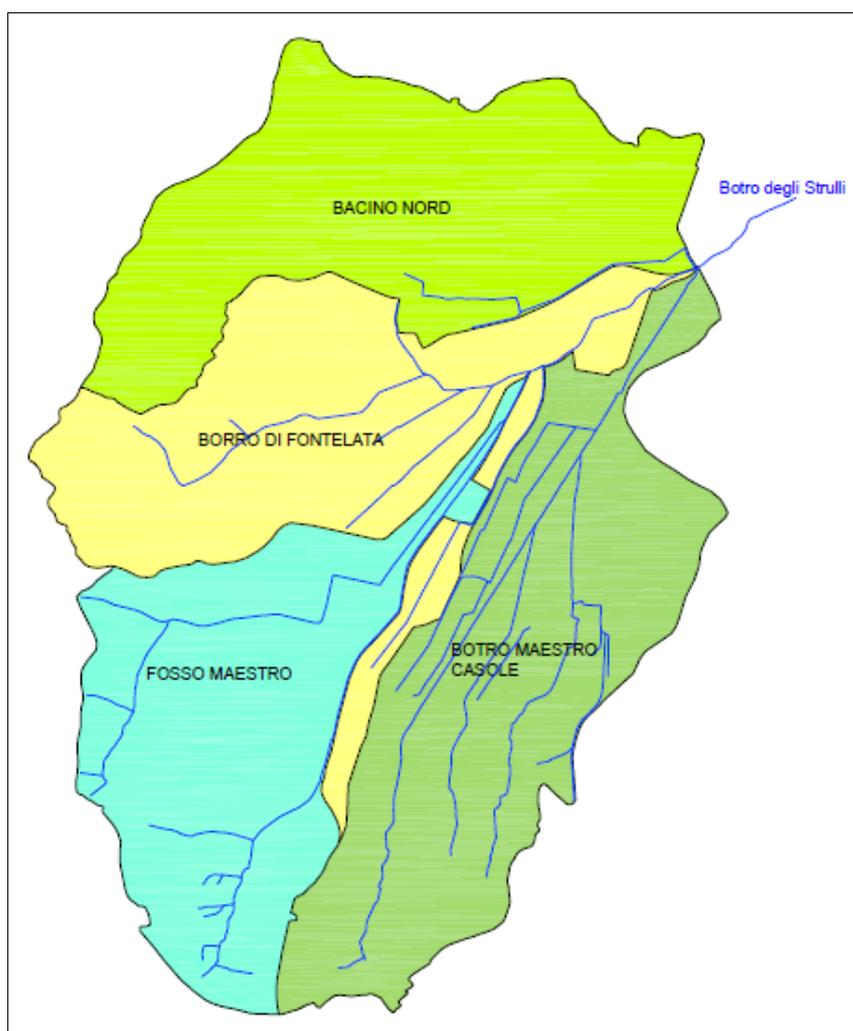


Fig. 12 – Suddivisione dell'area di studio nei 4 sottobacini principali

Nella precedente Fig. 12 sono individuati i 4 bacini principali, aventi le seguenti superfici:

- Borro di Fontelata 1.941 kmq;
- Fosso Maestro 1.858 kmq;
- Botro Maestro Casole 2.227 kmq;
- Bacino Nord 1.989 kmq.

Di seguito è mostrata una tabella "sinottica" dei sottobacini mediante i quali è stato ricostruito il territorio di interesse.

In analogia alla identificazione con sigle delle aste, anche per i sottobacini si sono utilizzati codici legati al bacino principale e secondario di appartenenza.

Tutti i sottobacini identificati nella successiva tabella sono rappresentati anche nella suddetta tavola e6.

Bacino di riferimento	Codice corsi d'acqua principali	Codice corsi d'acqua secondari	Codice corsi d'acqua di terzo ordine	Codice sottobacini	Numero sottobacini
Borro di Fontelata	BF			BAC_BF_i	9
		Af1_BF		BAC_Af1_BF_i	3
		Af2_BF		BAC_Af2_BF_i	3
		Af3_BF		BAC_Af3_BF_i	1
		Af4_BF		BAC_BF_i	1
Fosso Maestro	FM			BAC_FM_i	3
		Af1_FM		BAC_Af1_FM_i	3
Botro Maestro Casole	BMC			BAC_BMC_i	4
		Af1_BMC		BAC_Af1_BMC_i	4
			Af1_BMC_monte	BAC_Af1_BMC_1	*
			Af1_BMC_campo FV	BAC_Af1_BMC_2	**
		Af2_BMC		BAC_Af2_BMC_i	2
			Af2_BMC_sf	BAC_Af2_BMC_2	***
		Af3_BMC		BAC_Af3_BMC_i	5
		Af4_BMC		BAC_Af4_BMC_i	2
		Af5_BMC		BAC_Af5_BMC_i	3
Fosso lungo strada parte Nord area industriale	F_str			BAC_F_str_i	1
		F_ai		BAC_F_ai_i e BAC_Dolina	4

Tab. 7 – Elenco dei sottobacini definiti, con indicazione del bacino di riferimento e codifica

Di ciascun sottobacino è stata calcolata l'area ed implementata l'analisi idrologica descritta di seguito.

Innanzitutto, per la parte legata agli afflussi meteorici, si è fatto ricorso alla curve possibilità pluviometrica fornite da ALTO.

Nonostante il reticolo idrografici di ALTO sia molto meno gerarchizzato rispetto a quello effettivo e differisca anche l'articolazione delle confluenze reciproche di alcuni tratti fluviali, i corsi d'acqua principali, Borro di Fontelata, Fosso Maestro e Botro Maestro Casole, sono comunque individuati, e per ciascuno di essi sono disponibili i parametri geomorfologici e pluviometrici.

Quelli pluviometrici sono assolutamente attendibili, e quindi ai vari sottobacini individuati sono stati attribuiti i parametri a , n e m , ed $a1$, $n1$ e $m1$ della formula trinomia delle curve di possibilità pluviometrica relativa ai bacini principali a cui detti sottobacini appartengono.

Pertanto al Borro di Fontelata ed i suoi affluenti sono assegnati gli stessi valori dei suddetti coefficienti, ed analogamente è stato fatto per il Fosso Maestro ed il Botro Maestro Casole e relativi affluenti.

Ai sottobacini dei fossi della parte Nord dell'area industriale (F_{str} e F_{ai}) sono stati assegnati gli stessi valori dei coefficienti del Borro di Fontelata.

Gli afflussi meteorici sono stati schematizzati mediante uno ietogramma di progetto del tipo rettangolare, ammettendo che la precipitazione avvenga con intensità costante.

Il passaggio da pioggia non depurata a pioggia netta, cioè la determinazione della perdita idrologica per infiltrazione, evotraspirazione, accumulo in piccoli invasi superficiali, è valutato attraverso la stima di un coefficiente di deflusso Φ ; la perdita $1-\Phi$ risulta proporzionale all'intensità di precipitazione e, nel caso di ietogramma rettangolare, risulta costante.

Il coefficiente di deflusso dipende essenzialmente dalla natura della superficie scolante (permeabilità, scabrezza, pendenza, depressioni del terreno, uso del suolo) e dall'entità dell'evento.

Dei molti metodi riportati in letteratura, nel presente studio è stata adottata la procedura proposta dal Soil Conservation Service.

Il coefficiente di deflusso è definito come $C=Q/P$, dove Q rappresenta il deflusso di piena [mm] e P l'afflusso meteorico [mm].

Sotto alcune ipotesi semplificative il parametro C diventa il seguente:

$$C = \frac{(1 - 0,2K)^2}{(1 + 0,8K)}$$

in cui $K=S/P$, dove S rappresenta la ritenzione superficiale [mm].

E' il valore S a includere le caratteristiche dei bacini (tessitura, umidità iniziale, copertura vegetale, permeabilità, uso del suolo).

Esso è espresso dalla formula:

$$S = 25,4 \cdot \left[\frac{1000}{CN} - 10 \right]$$

L'indice CN, Curve Number, è determinato mediante l'assegnazione di un valore tabellato.

Nel presente caso si è fatto riferimento ai valori di CN contenuti nella tabella valida per condizioni medie di umidità del suolo (condizione II).

La seguente Fig. 8 riporta la tabella dei valori di CN presa a riferimento.

TAB. I.VIII. — VALORI DEL *RUNOFF CURVE NUMBER* PER DIFFERENTI SITUAZIONI IDROLOGICHE. CONDIZIONE II DI UMIIDITÀ INIZIALE.

Uso del suolo	Drenaggio	Tipo di terreno (Gruppo)				
		Condizioni idrologiche	A	B	C	D
RESIDENZIALE						
Zone urbane e commerciali	Area impermeabile: 85%		89	92	94	95
Zone industriali	Area impermeabile: 72%		81	88	91	93
Casa a schiera	Area impermeabile: 65%		77	85	90	92
Ville	Area impermeabile: 25%		54	70	80	85
Parcheggi			98	98	98	98
Parchi	Copertura verde: 75%		39	61	74	80
STRADE						
Pavimentate	Cunette e fognatura		98	98	98	98
In macadam			76	85	89	91
Sterrate			72	82	87	89
AGRICOLO						
Prato stabile			77	86	91	94
Seminativo	Solchi a ritto chino	Cattive	65	76	84	88
Seminativo		Buone	63	75	83	87
Seminativo	Solchi traverso chino	Cattive	63	74	82	85
Seminativo		Buone	61	73	81	84
Seminativo	Terrazzato (a fasce)	Cattive	61	72	79	82
Seminativo		Buone	59	70	78	81
Pascolo		Cattive	68	79	86	89
Pascolo		Discrete	49	69	79	84
Pascolo		Buone	39	61	74	80
Erbaio			30	58	71	78
Terreno boschivo		Cattive	45	66	77	83
Terreno boschivo		Discrete	36	60	73	79
Terreno boschivo		Buone	25	55	70	77

Fig. 8 – Tabella dei valori di CN per terreni in condizioni di umidità iniziale media

L'assegnazione dei valori di CN per i sottobacini studiati è stata affrontata in modo estremamente cautelativo.

Innanzitutto, con esclusione del bacino della parte Nord dell'area industriale, quello afferente al fosso lungo strada contrassegnato con il codice F_str e trattato a parte, per tutti i bacini i valori di CN sono riferiti a terreni di Gruppo C, ovvero poco permeabili.

A livello di uso del suolo, tutti i sottobacini studiati possono essere riassunti in 3 classi:

- bacini a prevalente o esclusiva destinazione agricola;
- bacini a destinazione mista (uso agricolo e presenza di insediamenti);
- bacini ricadenti interamente in zona industriale.

A questi bacini sono stati assegnati rispettivamente valori pari a 84 (corrispondente al valore più alto per la destinazione agricola su terreni di Gruppo C), pari a 87 (valore intermedio per aree di tipo misto) e pari a 91 (zone industriali in terreni di Gruppo C).

Come anticipato, per il bacino Nord dell'area industriale, avente caratteristiche particolari, è stata fatta una valutazione di maggior dettaglio al fine di assegnare il valore di CN.

A differenza dei sottobacini del Borro di Fontelata, del Fosso Maestro e del Botro Maestro Casole, aventi terreni omogenei caratterizzati da permeabilità medio-bassa, il bacino Nord ha una composizione meno omogenea e quindi non appare del tutto corretto assegnare al CN valori compresi nella colonna dei terreni di Gruppo C.

Dal punto di vista della permeabilità è da registrare la presenza di una formazione di calcare cavernoso su una porzione molto consistente del bacino; a questo tipo di terreno è sicuramente da attribuire una permeabilità molto elevata.

La formazione di calcare cavernoso di Lucciana è rappresentata in viola nella seguente Fig. 13.

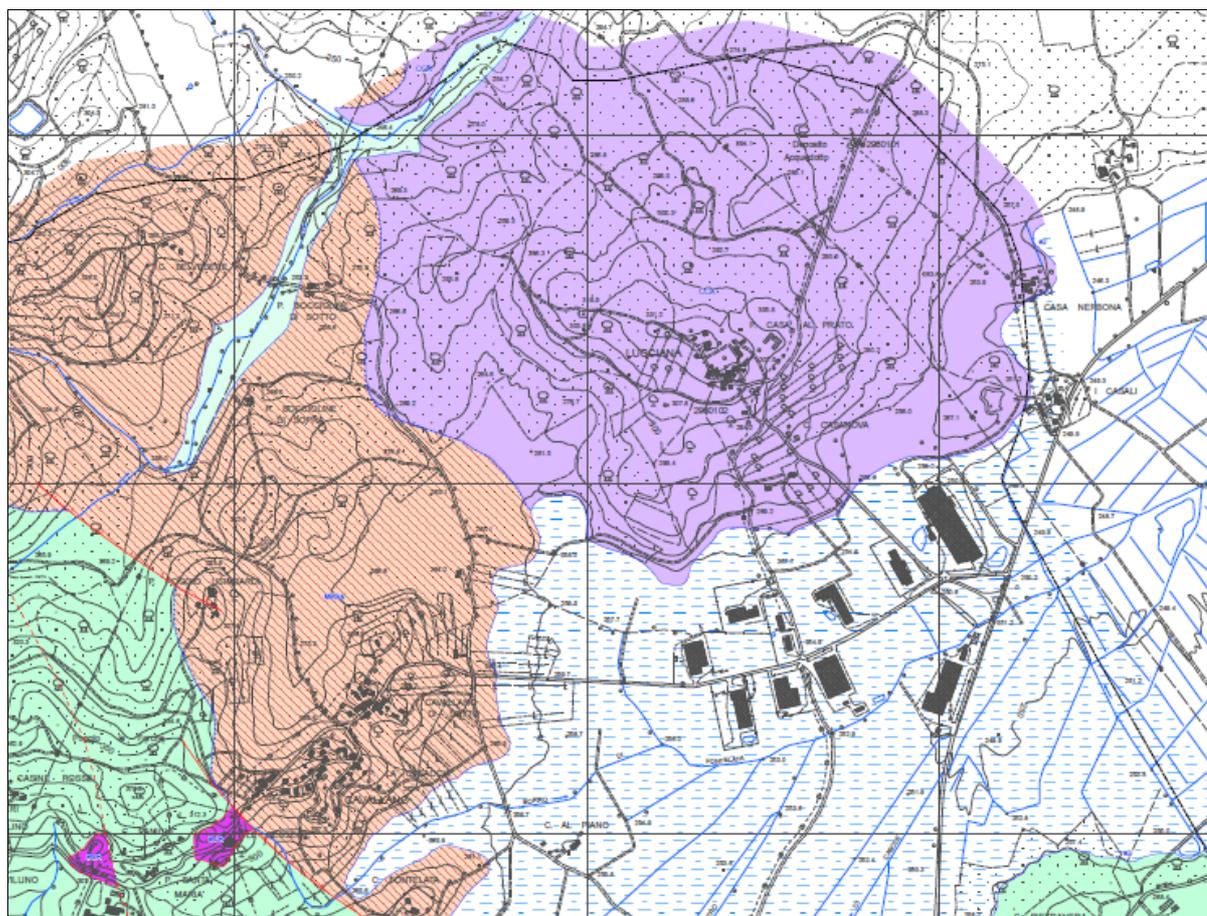


Fig. 13 – Estratto della Carta Geologica di Piano Strutturale (Tav. 2_1_a)

Per di più, nella porzione di bacino afferente al fosso contrassegnato con la sigla F_ai è presente un sottobacino in cui è ubicata una dolina, come mostra la successiva Fig. 14.

La dolina a cui si fa riferimento è quella più grande indicata con colore arancione e ubicata a Nord dell'abitato di Cavallano.

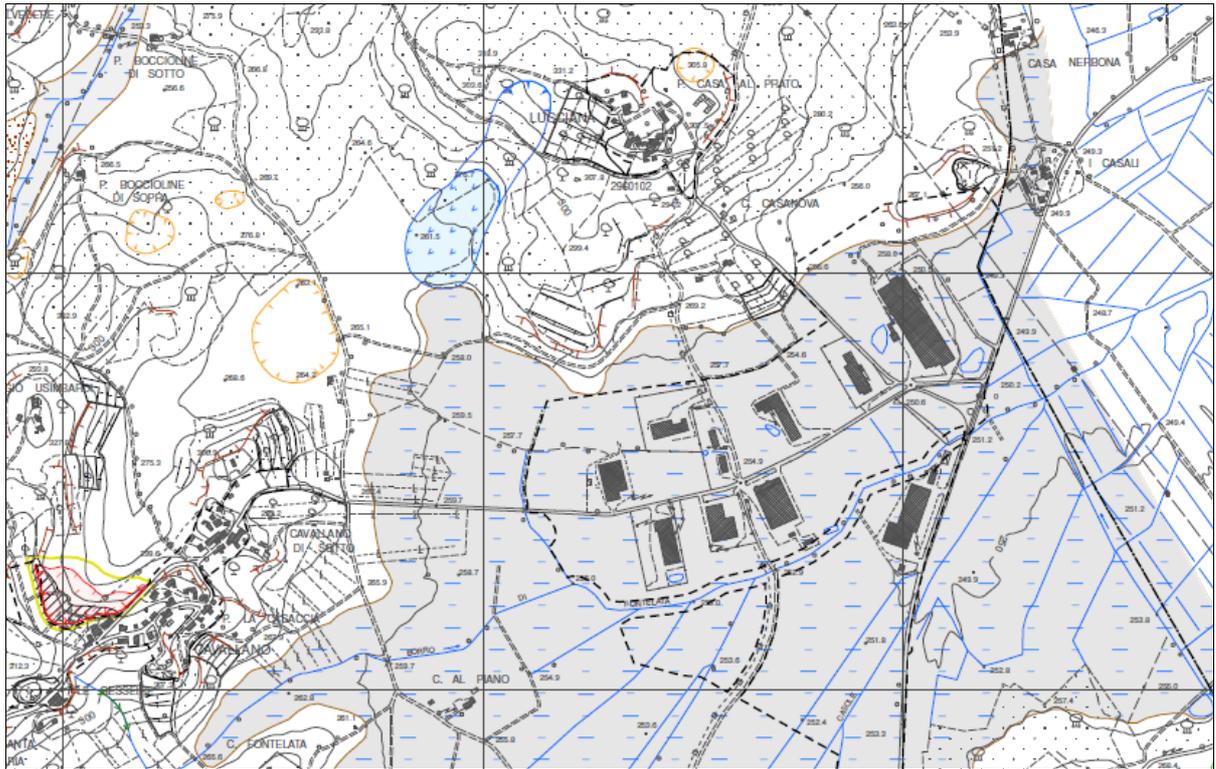


Fig. 14 – Estratto della Carta Geomorfologica di Piano Strutturale (Tav. 2_2_a)

Registrati questi aspetti, e tenuto altresì conto del fatto che una porzione abbastanza rilevante del bacino Nord è occupata dall'area industriale, per la determinazione dei valori di CN dei sottobacini costituenti il bacino Nord si è proceduto come segue.

Si è rilevato che i terreni caratterizzati da presenza di calcare cavernoso sono tutti ad uso prevalentemente agricolo; ad essi è stato assegnato il valore di CN peggiore tra quelli riferiti a terreno agricolo ("seminativo") relativamente al Gruppo A (terreni molto permeabili), ovvero pari a 65.

Alle aree industriali, tutte ricadenti sui depositi alluvionali aventi permeabilità medio-bassa, è stato confermato il valore di CN, Gruppo C, adottato per gli altri bacini, ovvero pari a 91.

Considerato che tutti i sottobacini BAC_F_ai_1, BAC_F_ai_2, BAC_F_ai_3 e BAC_F_str ricadono in parte su terreni agricoli di calcare cavernoso e in parte in area industriale, dei due rispettivi valori di CN 65 e 91 è stata eseguita la media pesata sulla superficie effettivamente occupata per ogni singolo sottobacino.

Il CN finale risultante da questa operazione risulta perciò essere intermedio tra il valore di 65 e quello di 91.

Nella successiva Fig. 15 è mostrata suddivisione in zone agricole su calcare cavernoso e in zone industriali su depositi alluvionali di questi 4 sottobacini.

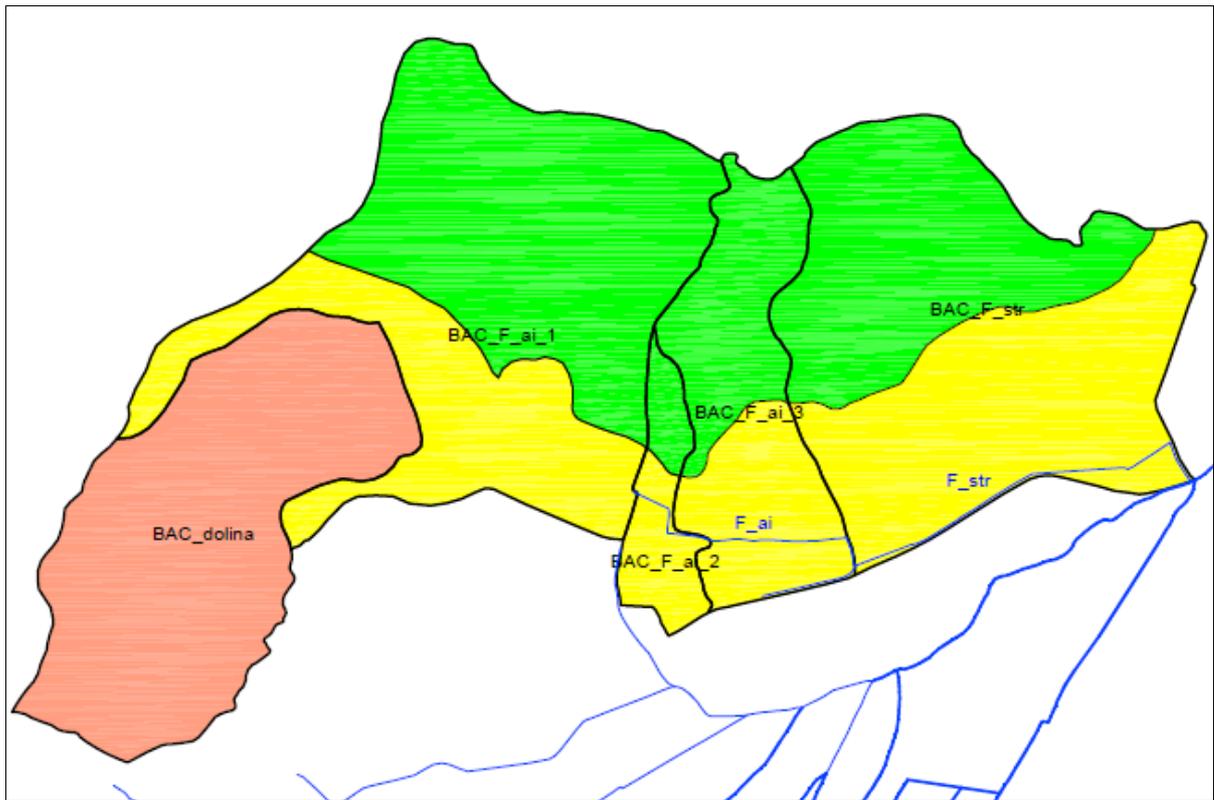


Fig. 15 – Incidenza del calcare cavernoso, in verde, sui sottobacini del bacino Nord dell'area industriale il Piano

Infine, si è rilevato, anche mediante sopralluoghi in situ, che la dolina presente ai piedi del versante Nord di Cavallano effettivamente ha una morfologia tale da agire da “inghiottitore”, pertanto, anche supportati dalle indicazioni in merito ricevute dai tecnici del Genio Civile di Siena, si è ritenuto di escludere il contributo idrologico relativo al sottobacino contrassegnato dalla sigla BAC_dolina.

Completata dunque l'assegnazione di tutti i valori di CN ai sottobacini in esame, è stato possibile valutare, attraverso il metodo S.C.S., il coefficiente di afflusso e quindi la pioggia netta sui bacini.

La modellistica idrologica necessita a questo punto di una opportuna descrizione mediante modelli sintetici di trasformazione degli afflussi meteorici in corrispondenti deflussi di piena.

Si è fatto ricorso al modello dell'Idrogramma Unitario Istantaneo (IUH), applicato allo ietogramma rettangolare di progetto.

Definita $p(t)$ la portata di afflusso efficace su ciascun sottobacino, o pioggia netta, la relativa portata di piena è calcolata mediante la seguente relazione:

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

in cui

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

rappresenta l'integrale di convoluzione valutato sull'area di ciascun sottobacino.

La funzione $U=U(t)$ rappresenta l'idrogramma unitario del singolo bacino; esso può essere interpretato come l'idrogramma della piena generata da una precipitazione di volume unitario e di durata infinitesima.

La forma dell'IUH è legata alla morfologia del bacino e della sua rete idrografica.

Delle numerose modalità di determinazione dell'IUH, è stato adottato il *metodo della corrivazione*.

Esso richiede la valutazione del tempo di corrivazione di ciascun sottobacino.

Anche in questo caso, delle numerose formulazioni empiriche disponibili in letteratura, è stata adottata, previo raffronto con le altre formulazioni su alcuni sottobacini campione, la relazione del tempo di corrivazione proposta da Ventura, di seguito riportata.

$$T_c = 0.127 A^{0.5} I^{-0.5}$$

in cui A rappresenta la superficie del bacino ed I la pendenza media del reticolo.

Questa relazione è apparsa, a confronto con le altre, quella maggiormente svincolata dalle caratteristiche morfologiche del bacino come altitudine media, differenze di quota tra punto più lontano del bacino e sezione di chiusura etc, e da quelle dell'asta principale.

Del resto questi elementi, in sottobacini come quelli nella parte pianeggiante del Piano, di dimensioni estremamente piccole e con un reticolo composto di fossetti e talvolta solo piccoli impluvi, non sarebbero potuti essere stimati.

Pertanto si è preferito adottare una formulazione che avesse un forte legame soprattutto con l'area del bacino, unico parametro sicuramente valutabile con esattezza.

Per quanto riguarda la stima della pendenza media del reticolo I , viste le esigue dimensioni dei sottobacini si è fatto spesso riferimento alla pendenza dell'asta principale, dove individuabile, o alla pendenza "tipica" rilevabile dei fossi, i quali in molti casi attraversano questi sottobacini in modo parallelo.

La metodologia complessivamente descritta è stata attuata in via analitica per quanto riguarda la definizione dei bacini, l'assegnazione dei valori di CN e la stima dei tempi di corrivazione.

Successivamente si è fatto ricorso al codice di calcolo semplificato Urbis (Mignosa-Paoletti, 2003) che consente il calcolo numerico degli idrogrammi di piena.

Gli idrogrammi di tutti i fossi sono stati stimati per i tempi di ritorno pari a 30, 100 e 200.

Le durate di precipitazione valutate sono quelle pari a 30, 60 e 90 minuti.

Una preliminare analisi dei corsi d'acqua principali mediante ALTO, benché non applicabile all'intero sistema per evidenti lacune e difformità sul reticolo, aveva consentito di individuare a livello di massima le durate di precipitazione che potessero essere critiche per i bacini in questione.

In effetti la successiva implementazione del modello idrologico ha confermato come la durata di precipitazione critica dell'intero bacino su cui scorrono il Borro di Fontelata, il Fosso Maestro, il Botro Maestro Casole e fosso lungo strada per la parte Nord (F_{str}) con sezione di chiusura a valle dell'area industriale (dove nasce il Botro degli Strulli) sia pari a circa 1 ora.

Per questo motivo gli idrogrammi di piena inseriti nel modello idraulico di cui al successivo paragrafo sono tutti riferiti alla durata di pioggia pari ad 1 ora, anche per i sottobacini di pochi ettari, in quanto la composizione di tutti questi apporti idrologici massimizza la portata in prossimità degli insediamenti più significativi.

Essendo troppo numerosi per essere rappresentati graficamente, gli idrogrammi stimati sono riportati in forma numerica nell'**Allegato Idrologico 1**.

4.3 Modellistica idraulica

La modellistica idraulica adottata nel presente lavoro si basa sul medesimo approccio metodologico utilizzato per il precedente modello del Fiume Elsa e dei suoi affluenti in Loc. Capannino della Suvera – Pievescola.

Anche in questo caso l'obiettivo è stato quello di riprodurre le dinamiche di piena del sistema mediante la connessione idraulica dei corsi d'acqua analizzati.

A differenza del modello precedente, per l'estrema complessità del reticolo e la mole di dati geometrici, adesso non è stato possibile collegare tutte le aste principali e secondarie in un sistema perfettamente congiunto, ma si è reso necessario compiere alcune approssimazioni, considerate del tutto accettabili.

Di tutto ciò è dato conto nel presente paragrafo, che, per evitare inutili ripetizioni, non affronta le tematiche relative al moto vario e alla struttura operativa del codice di calcolo Hec-Ras, esposte nel precedente Cap. 3, ma tratta esclusivamente gli aspetti inerenti la ricostruzione geometrica del modello l'assegnazione degli input idrologici.

Caratterizzazione geometrica del modello

E' necessario innanzitutto chiarire fin da subito quanto anticipato nella precedente introduzione.

Il modello idraulico del sistema di corsi d'acqua che insistono sull'area industriale Il Piano è formato da un corpo principale costituito dai 3 maggiori corsi d'acqua (Borro di Fontelata, Fosso Maestro e Botro Maestro Casole) e relativi affluenti.

Il Borro di Fontelata ed il Fosso Maestro sono congiunti mediante una connessione idraulica "Junction" posta alla sezione di confluenza reciproca.

Anche tutti gli affluenti sono collegati ai propri rami principali mediante connessioni idrauliche.

Il Borro di Fontelata e il Botro Maestro Casole, che confluiscono a valle dell'area industriale, in territorio comunale di Colle Val d'Elsa, non sono invece fisicamente congiunti ma i loro tratti terminali sono lasciati "liberi" di assestarsi su una semplice condizione al contorno di pendenza di moto uniforme; del resto l'area in prossimità della confluenza è posta al di là della S.P. di Casole d'Elsa il cui rilevato funge da barriera idraulica, quindi, ai fini del rischio idraulico, risulta scarsamente significativa.

Inoltre la rinuncia alla connessione "finale" garantisce una migliore stabilità al modello, che risulta, come facilmente intuibile, assai complicato e macchinoso.

In ogni caso tutta la zona del Piano è stata modellata con aree di potenziale esondazione collegate tra loro e con le aste fluviali studiate, pertanto tutta zona risulta essere idraulicamente connessa e quindi il corpo principale del modello è da considerarsi unico.

Una volta realizzato il corpo principale del modello, sono stati analizzati i sottobacini ed i tratti fluviali periferici, originariamente non modellati.

Il principale blocco periferico è rappresentato dal bacino della parte Nord dell'area industriale, ovvero quello posto ai piedi dell'abitato di Lucciana.

Come per la parte idrologica, anche per la parte idraulica questa zona ha richiesto un "surplus" di analisi.

Se nella parte principale del Piano il reticolo è abbondante e articolato, tanto da richiederne un'attenta ricostruzione sia dei corsi d'acqua principali che di quelli secondari, nella parte Nord il reticolo risulta sostanzialmente assente, a tal punto da essere costretti a considerare "corso d'acqua" principale il fosso di guardia della strada per Cavallano.

L'assenza di reticolo è sicuramente da attribuire alle caratteristiche geolitologiche della zona, ma anche alla presenza di insediamenti cresciuti negli anni senza porre particolare attenzione al sistema di drenaggio superficiale.

Tanto è che ci si è trovati costretti, per completare la modellazione idraulica della zona, a ricondurre l'intero bacino Nord (circa 2 kmq di superficie) al suddetto fosso lungo strada (F_str) e al piccolo fosso che passa alle spalle dell'area industriale per poi finire intubato e riconnettersi col precedente (F_ai).

La modellazione dei questi 2 corsi d'acqua, benché eseguita indipendentemente, è stata sovrapposta a quella del modello del blocco principale con alcune aree di potenziale in comune.

Inoltre, su esplicita richiesta del Genio Civile di Siena, sono stati eseguite delle integrazioni di studio su corsi d'acqua di terzo ordine rispetto alla semplificazione fin qui adottata di corsi d'acqua principali e secondari.

Nella zona produttiva nei pressi del campo sportivo sono stati verificati anche il tratto di monte di un affluente del Botro Maestro Casole (Af1_BMC), identificati con le sigle Af1_BMC_monte e Af1_BMC_campo FV (quest'ultimo è così denominato perché attraversa il campo fotovoltaico).

Senza modificare il modello idrologico realizzato, all'Af1_BMC_monte è stata assegnata la portata di piena relativa al bacino BAC_Af1_BMC_1, mentre all'Af1_BMC_campo FV la portata di piena relativa al bacino BAC_Af1_BMC_2.

Non sono state realizzate confluenze geometriche ("Junction") tra queste aste ed il ricevente Af1_BMC, ma gli input di portata in ingresso a quest'ultimo corrispondono ai contributi trasmessi attraverso le sezioni di chiusura dei due modelli di monte (entrambi vi giungono intubati), nonché sono state realizzate connessioni idrauliche tra Af1_BMC e le aree di potenziale esondazione intorno agli affluenti di monte ("Lateral Structure") e connessioni idrauliche tra queste aree di potenziale esondazione e quelle immediatamente più a valle poste lungo Af1_BMC ("S.A. Connection").

Infine è stato verificato a parte, sempre su esplicita richiesta, anche il piccolo fosso con la sigla Af2_BMC_sf, così denominato perché passa intubato al di sotto di un edificio produttivo sempre nella parte Sud dell'area industriale, ai piedi del versante collinare del capoluogo.

Come in precedenza, anche questo brevissimo tratto modellato è stato sovrapposto con il modello del corpo principale.

Sempre per non modificare il modello idrologico di base, gli idrogrammi di piena assegnati a questo breve tratto fluviale sono stati determinati a partire da quelli stimati per il bacino BAC_Af2_BMC_2 opportunamente ridotti in funzione del peso percentuale di questo sottobacino in termini di superficie rispetto all'intero BAC_Af2_BMC_2.

Il modello idraulico complessivo (blocco principale + blocchi periferici) è da considerarsi, per quanto illustrato, a tutti gli effetti un sistema congiunto in cui tutte le zone e tutti i corsi d'acqua sono messi in relazione in modo sistematico.

La rappresentazione finale che ne scaturisce risulta estremamente realistica e spinge al limite, anche grazie all'elevato grado di discretizzazione e di distribuzione degli input idrologici, le potenzialità di una modellazione in moto vario "quasi bidimensionale".

Avvalendosi del supporto della tavola e5 allegata, sono di seguito ricapitolate le principali caratteristiche geometriche del modello nel suo insieme.

La ricostruzione geometrica del reticolo, ancor prima della stesura del modello, ha la sua origine dai numerosi sopralluoghi e dai rilievi topografici compiuti nell'area industriale Il Piano.

E' stato eseguito un rilievo topografico assai laborioso grazie al quale sono state restituite tutte le sezioni idrauliche che compongono il modello, comprese quelle poste in corrispondenza dei numerosi manufatti di attraversamento dei corsi d'acqua.

Il rilievo topografico, eseguito nel periodo Maggio-Luglio 2013, ha consentito la ricostruzione di quasi 180 sezioni idrauliche (molte delle quali effettivamente rilevate ed altre raddoppiate in corrispondenza di alcuni attraversamenti o interpolate).

Complessivamente sono stati battuti circa 1.800 punti.

Nella tabella seguente sono riportate, in estrema sintesi, le grandezze che distinguono il modello idraulico complessivo.

Elementi geometrici del modello idraulico	Quantità
Aste studiate	18
Lunghezza totale aste	14.930 m
Sezioni idrauliche totali	179
Attraversamenti totali	39
Confluenze ("Junction")	10
Aree di potenziale esondazione	50
Connessioni tra aree di potenziale esondazione	25

Tab. 9 – Principali elementi geometrici del modello idraulico dei corsi d'acqua presso l'area industriale del Piano

E' evidente che questi numeri, se rapportati alla superficie complessiva del bacino esaminato (solo 8 kmq circa) sono assai considerevoli e caratterizzano un modello assai discretizzato.

Dal punto di vista della scabrezza dei corsi d'acqua esaminati, si è tenuto conto del cattivo stato di manutenzione della quasi totalità del reticolo studiato, con presenza di vegetazione infestante anche molto densa.

Per questo motivo sono stati assegnati coefficienti di scabrezza cautelativi, addirittura pari a 0.06 sm-1/3 in alcuni tratti di alveo.

Come anticipato, la caratterizzazione geometrica del modello idraulico dei corsi d'acqua insistenti sull'area industriale Il Piano è mostrata anche nella tavola e5 allegata al presente lavoro.

Input idrologici

La notevole articolazione e discretizzazione dell'analisi idrologica del sistema è stata finalizzata all'individuazione dei singoli apporti idrologici dei 48 sottobacini in cui è stato suddiviso l'intero bacino idrografico ricadente sull'area industriale.

Questi contributi sono stati inseriti nel modello sotto varia forma, secondo le alternative che offre il codice di calcolo Hec Ras; al di là dei contributi in ingresso ai modelli ("Flow Hydrograph"), tutti gli altri apporti sono stati introdotti nel modello in forma puntuale ("Lateral Inflow") laddove vi fosse un punto di immissione o confluenza preciso, altrimenti sono stati inseriti come apporti distribuiti lungo un tratto fluviale ("Uniform Lateral Inflow").

Come detto, gli scenari di studio sono rappresentati dagli eventi di piena con i 3 tempi di ritorno di riferimento (30, 100 e 200 anni), con idrogrammi relativi alla durata di precipitazione critica pari ad 1 ora.

Tutti gli input idrologici al sistema sono riportati nell'**Allegato Idrologico 1**.

Dal punto di vista delle condizioni iniziali, del grado di discretizzazione temporale degli idrogrammi e delle simulazioni numeriche e di tutte le altre opzioni di calcolo, sono confermati i valori già adottati nel modello del Fiume Elsa ed affluenti di cui al precedente Cap. 3.

5. RISULTATI DELLE VERIFICHE IDRAULICHE

Le modellazioni idrauliche condotte sul Fiume Elsa ed affluenti in Loc. Capannino della Suvera – Pievescola e sui corsi d'acqua presso l'area industriale Il Piano hanno consentito di tracciare le perimetrazioni delle aree allagate su queste porzioni di territorio.

Se le operazioni di tracciamento sono apparse abbastanza agevoli per l'Elsa ed affluenti, ciò lo è stato meno per l'area del Piano, in cui il sistema così articolato ha richiesto un'attenta interpretazione dei risultati del modello, in particolare per tutte quelle zone interessate da trasferimento di volumi sul piano campagna.

Da entrambi i modelli sono emerse evidenti criticità di natura idraulica.

Per la zona di Pievescola si segnala in particolare l'inadeguatezza del tombamento del Fosso "Pievescola", che genera allagamento presso l'area artigianale.

Per la zona del Piano gli allagamenti risultano invece molto più estesi, interessando anche le aree edificate e quelle in cui vi sono previsioni di completamento.

Gli aspetti relativi all'interferenza con le aree urbanizzate e la verifica della fattibilità di specifici interventi di messa in sicurezza è rimandata ad una successiva relazione di dettaglio, a supporto del Regolamento Urbanistico.

Le aree allagate risultanti dalle modellazioni sono mostrate nelle tavole **e4** ed **e7** allegate, riguardanti rispettivamente la zona di Pievescola e quella del Piano.

I risultati analitici, i profili dei corsi d'acqua e le sezioni idrauliche con i livelli idrometrici per tutti gli scenari di studio sono riportati rispettivamente nell'**Allegato Idraulico 1** e nell'**Allegato Idraulico 2**.

Attraverso le verifiche idrauliche relative allo stato attuale è stato anche possibile tracciare le carte della pericolosità idraulica ai sensi del Piano di Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno.

Per l'adeguamento al P.A.I. le classi di pericolosità sono state assegnate secondo i criteri riservati alla cartografia "Perimetrazione delle aree a pericolosità idraulica - Livello di dettaglio in scala 1:10.000".

La classe in pericolosità idraulica molto elevata (P.I. 4) corrisponde alle aree allagate per il tempo di ritorno di 30 anni caratterizzate da un battente superiore a 30 cm.

La classe in pericolosità idraulica elevata (P.I. 3) corrisponde alle aree allagate per il tempo di ritorno di 30 anni caratterizzate da un battente inferiore a 30 cm ed alle aree allagate per il tempo di ritorno di 100 anni caratterizzate da un battente superiore a 30 cm.

Le restanti aree allagate per il tempo di ritorno di 100 anni con battente inferiore a 30 cm sommate alle aree allagate per il tempo di ritorno di 200 anni definiscono la classe di pericolosità idraulica media (P.I. 2).

Le perimetrazioni delle aree a pericolosità idraulica secondo i criteri del P.A.I. sono rappresentate nelle tavole **e8** ed **e9**, rispettivamente per la zona di Pievescola e la zona del Piano.