

COMUNE DI BARBERINO VAL D'ELSA
CITTA' METROPOLITANA DI FIRENZE



**Variante di manutenzione
al Regolamento Urbanistico**

**Variante al PS contestuale
alla Variante di manutenzione
al Regolamento Urbanistico**

RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA

Il Sindaco
Giacomo Trentanovi

Assessore alla Pianificazione Territoriale e Urbanistica
Silvano Bandinelli

Responsabile Unico del Procedimento
Alberto Masoni

Garante dell'informazione e della partecipazione
geom. Loris Agresti

Progettista Variante RU
Arch. Riccardo Luca Breschi
con Arch. Andrea Giraldi

Studi geologici idraulici
Dr. Geol. Simone Raspollini
con Ing. Alessio Gabbrielli

INDICE

| | |
|---|-----------|
| 1. Premessa e articolazione del lavoro..... | 3 |
| 2. Definizione delle aree oggetto di studio e relative condizioni attuali di pericolosità idraulica..... | 4 |
| 3. Zona D1 in Via Colombo - Grillaie..... | 14 |
| 3.1 Modellistica idrologica stato attuale..... | 14 |
| 3.1.1 <i>Introduzione.....</i> | 14 |
| 3.1.2 <i>Approccio metodologico.....</i> | 15 |
| 3.1.3 <i>Stima dell'idrogramma di piena per TR30 e TR200 anni.....</i> | 16 |
| 3.2 Modellistica idraulica stato attuale | 31 |
| 3.2.1 <i>Modellistica monodimensionale Mike 11</i> | 31 |
| 3.2.2 <i>Modellistica bidimensionale Mike 21</i> | 36 |
| 3.2.3 <i>Modellistica monodimensionale-bidimensionale accoppiata Mike Flood.....</i> | 38 |
| 3.2.4 <i>Geometria e parametrizzazioni del modello idraulico del Botro dell'Abese e affluente sinistro.....</i> | 39 |
| 3.3 Considerazioni sulla pericolosità idraulica di stato attuale..... | 44 |
| 3.4 Fattibilità idraulica della previsione e verifiche idrauliche stato di progetto..... | 47 |
| 4. Zona F4 e area D2 nella strada di Chiano - Drove..... | 56 |
| 4.1 Modellistica idrologica ed idraulica | 56 |
| 4.1.1 <i>Idrologia</i> | 56 |
| 4.1.2 <i>Idraulica.....</i> | 66 |
| 4.2 Risultati della modellistica e fattibilità idraulica delle previsioni | 70 |
| 5. Zona D4 sulla strada di Poneta - Zambra..... | 77 |

INDICE DELLE TAVOLE ALLEGATE

- TAVOLA 1 :** Planimetria delle aree allagate allo stato attuale per TR30 e TR200 anni
(Scala 1:2.000)
- TAVOLA 2 :** Planimetria delle aree allagate allo stato di progetto per TR200 anni – Intervento di laminazione sull'affluente sinistro del Botro dell'Abese
(Scala 1:2.000)
- TAVOLA 3 :** Planimetria delle aree allagate allo stato di progetto per TR200 anni – Intervento di laminazione sull'affluente sinistro del Botro dell'Abese e completamento del bypass sul Botro dell'Abese
(Scala 1:2.000)
- TAVOLA 4 :** Planimetria delle aree allagate allo stato di progetto per TR200 anni – Intervento di laminazione sull'affluente sinistro del Botro dell'Abese, completamento del bypass e briglia a bocca a tarata sul Botro dell'Abese
(Scala 1:2.000)

1. PREMESSA E ARTICOLAZIONE DEL LAVORO

Il presente lavoro è redatto a supporto della Variante di Manutenzione al Regolamento Urbanistico del Comune di Barberino Val d'Elsa (FI), e contestuale Variante al Piano Strutturale.

L'incarico per l'esecuzione delle indagini geologico-tecniche ai sensi del D.P.G.R. 53R/2011 è stato affidato al Geol. Simone Raspollini, e, per la parte idraulica, è svolto dal sottoscritto Ing. Alessio Gabbrielli.

La Variante di Manutenzione al Regolamento Urbanistico comunale ha ad oggetto una serie di nuove previsioni urbanistiche sul territorio comunale; alcune di esse presentano interferenze con il reticolo idraulico e/o ricadono parzialmente in aree a pericolosità idraulica secondo l'attuale quadro conoscitivo comunale.

Pertanto risulta necessario eseguire alcuni approfondimenti per valutare la compatibilità idraulica di tali previsioni, e procedere all'aggiornamento di alcune verifiche idrauliche già svolte a supporto dello strumento urbanistico vigente (Regolamento Urbanistico, approvato definitivamente con D.C.C. n. 28 del 21/07/2015).

L'esigenza di aggiornare le verifiche idrauliche svolte in precedenza muove sostanzialmente dal fatto che la Regione Toscana ha reso disponibili a partire dall'anno 2014 i nuovi parametri delle Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica, non utilizzati negli studi per il vigente R.U.; inoltre, anche dal punto di vista della modellistica idraulica, si è ritenuto più appropriato redigere nuovi studi in moto bidimensionale, più adatti a rappresentare le tipologie di dinamica idraulica relative ai corsi d'acqua oggetto di verifica.

La presente relazione illustra singolarmente le verifiche compiute a sostegno delle previsioni urbanistiche aventi problematiche di natura idraulica.

In alcuni casi tali verifiche producono un aggiornamento della Carta della Pericolosità Idraulica comunale, in altri sono semplicemente finalizzate a definire le condizioni di fattibilità idraulica delle previsioni ad esse collegate.

Le indagini idrauliche sono state compiute sulla base dei criteri di cui al D.P.G.R. 53R/2011, e sono state condivise, come metodologia adottata e scenari di studio, con i tecnici del Genio Civile di Firenze, insieme ai quali sono stati svolti alcuni incontri di coordinamento.

2. DEFINIZIONE DELLE AREE OGGETTO DI STUDIO E RELATIVE CONDIZIONI ATTUALI DI PERICOLOSITÀ IDRAULICA

Come anticipato, le aree (o corsi d'acqua) oggetto di studio sono individuate in funzione della loro pericolosità idraulica ed il loro grado di interferenza con le previsioni urbanistiche.

Gli approfondimenti idraulici sono stati eseguiti per le seguenti schede:

- Modifica cartografica n. 3 : zona D1 in Via Colombo – Grillaie;
- Modifica cartografica n. 2 : zona a parcheggio pubblico F4 e area D2 nella strada di Chiano – Drove;
- Modifica cartografica n. 6 : zona D4 sulla strada di Poneta – Zambra.

L'area in cui si sono rese necessarie verifiche più approfondite è quella relativa alla Via Colombo, in loc. Grillaie, ove scorre il Botro dell'Abese, corso d'acqua già studiato in precedenza; in questo caso si è proceduto ad una totale revisione dello studio idrologico-idraulico sull'Abese ed un aggiornamento della Carta della Pericolosità Idraulica, con individuazione delle condizioni di fattibilità idraulica finalizzate all'ampliamento dello stabilimento produttivo (con contestuale ampliamento del perimetro dell'U.T.O.E.).

Anche per quanto riguarda la modifica cartografica n. 2, lungo la strada di Chiano di loc. Drove, è stata eseguita una nuova verifica idraulica, ma solo con l'intento di dimostrare la non sussistenza delle condizioni di pericolosità idraulica definite dall'attuale strumento urbanistico e quindi individuare le effettive condizioni di fattibilità idraulica per le due previsioni (parcheggio pubblico F4 e area produttiva D2), senza modifica della quadro conoscitivo, rimandata a successive revisioni generali dello strumento urbanistico comunale.

Per quanto riguarda infine la previsione in area produttiva lungo la strada di Poneta, in loc. Zambra, si è proceduto con una semplice analisi qualitativa delle condizioni di fattibilità idraulica di supporto all'ampliamento del perimetro D2, senza eseguire verifiche di dettaglio né modellistiche.

Di seguito sono mostrati gli estratti delle modifiche urbanistiche previste nelle 3 aree di previsione suddette, sia nello stato attuale che nello stato modificato.

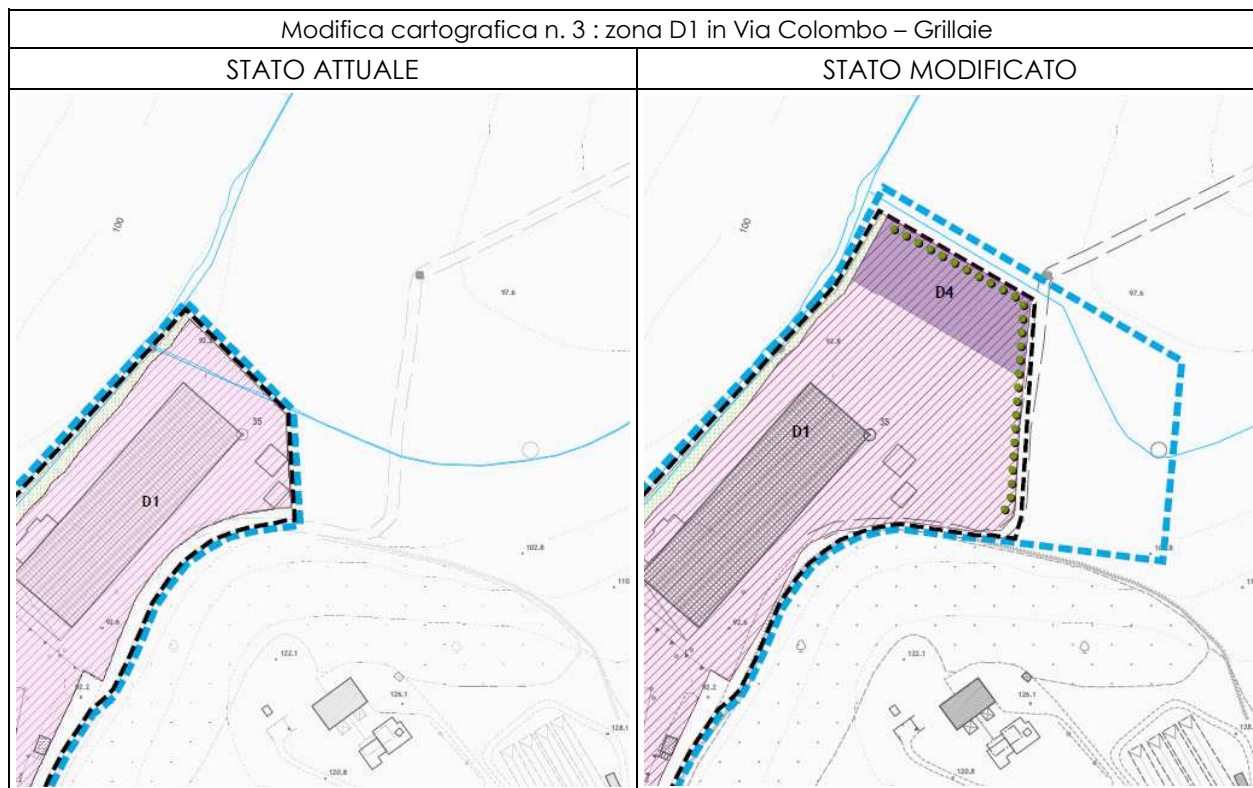


Fig. 1 – Modifica cartografica n. 3

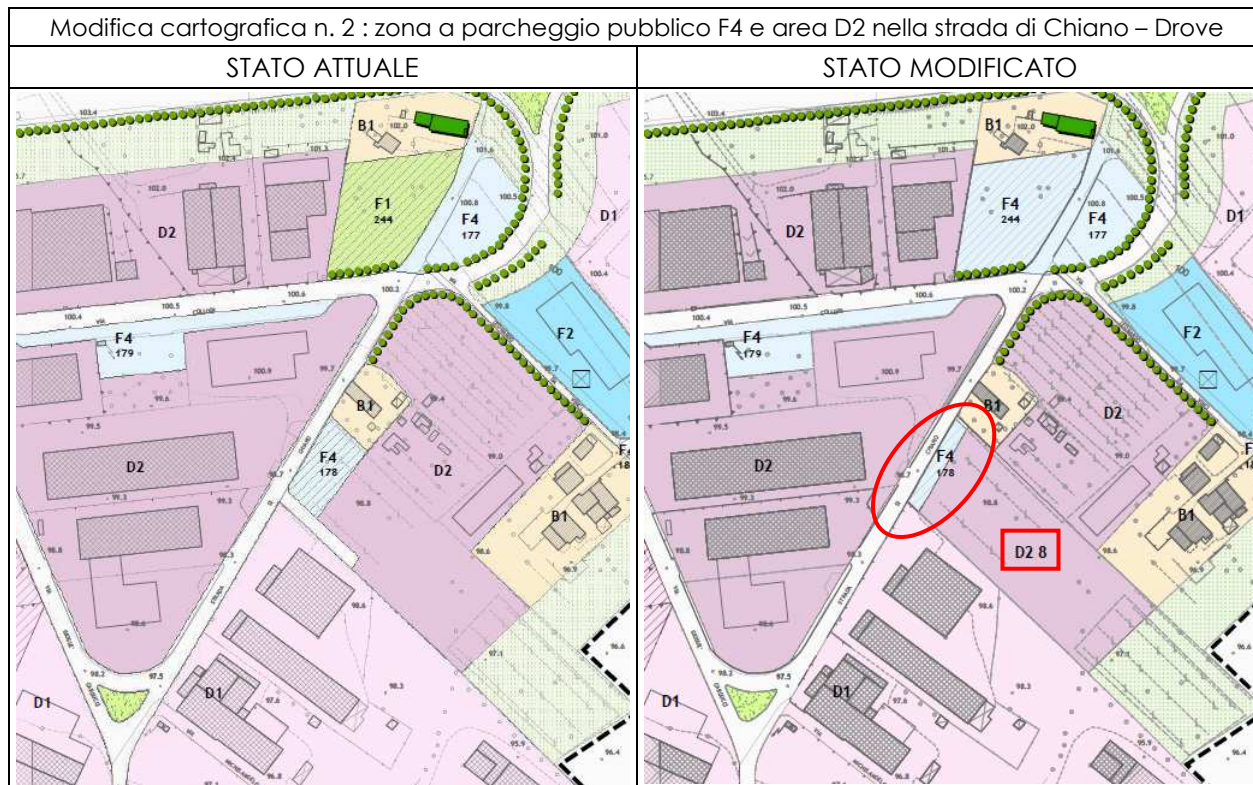


Fig. 2 – Modifica cartografica n. 2 (in rosso sono evidenziate le modifiche)

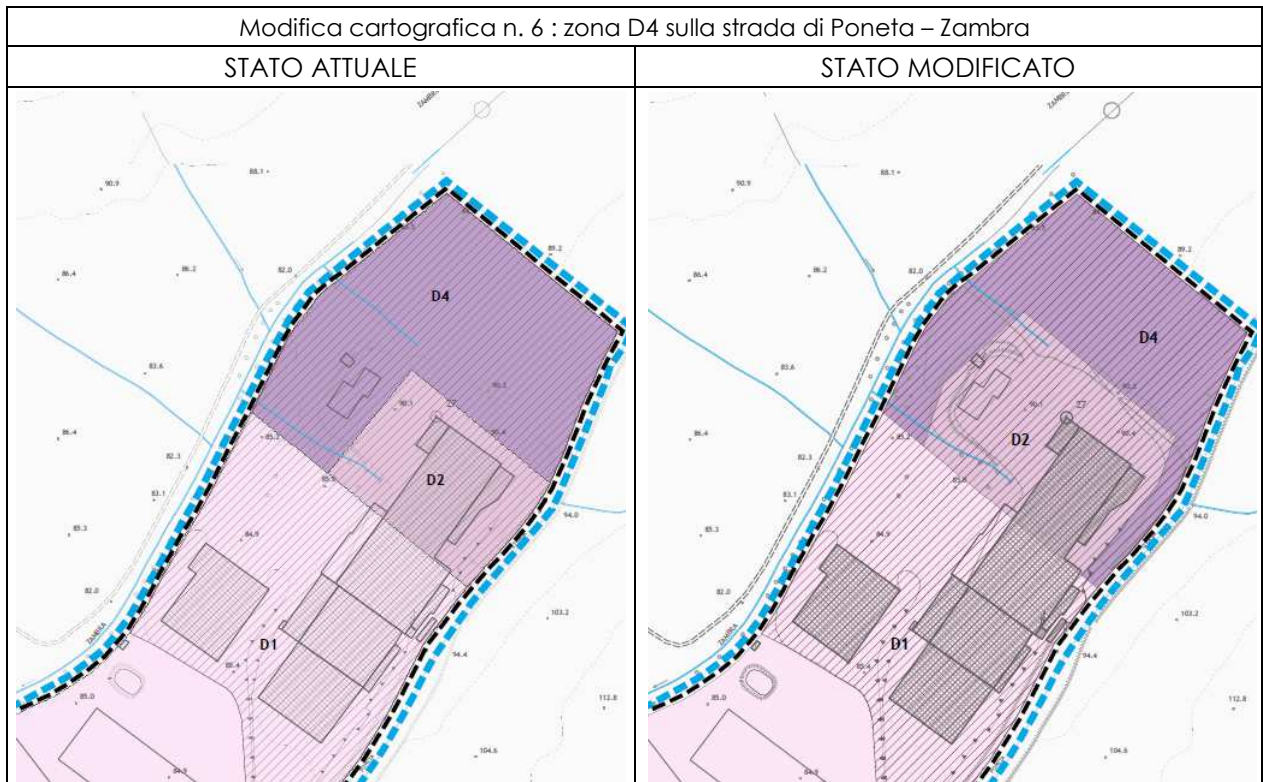


Fig. 3 – Modifica cartografica n. 6

A seguire sono mostrati, per ciascuna delle precedenti aree, gli estratti della pericolosità idraulica ai sensi dello strumento urbanistico comunale e del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni.

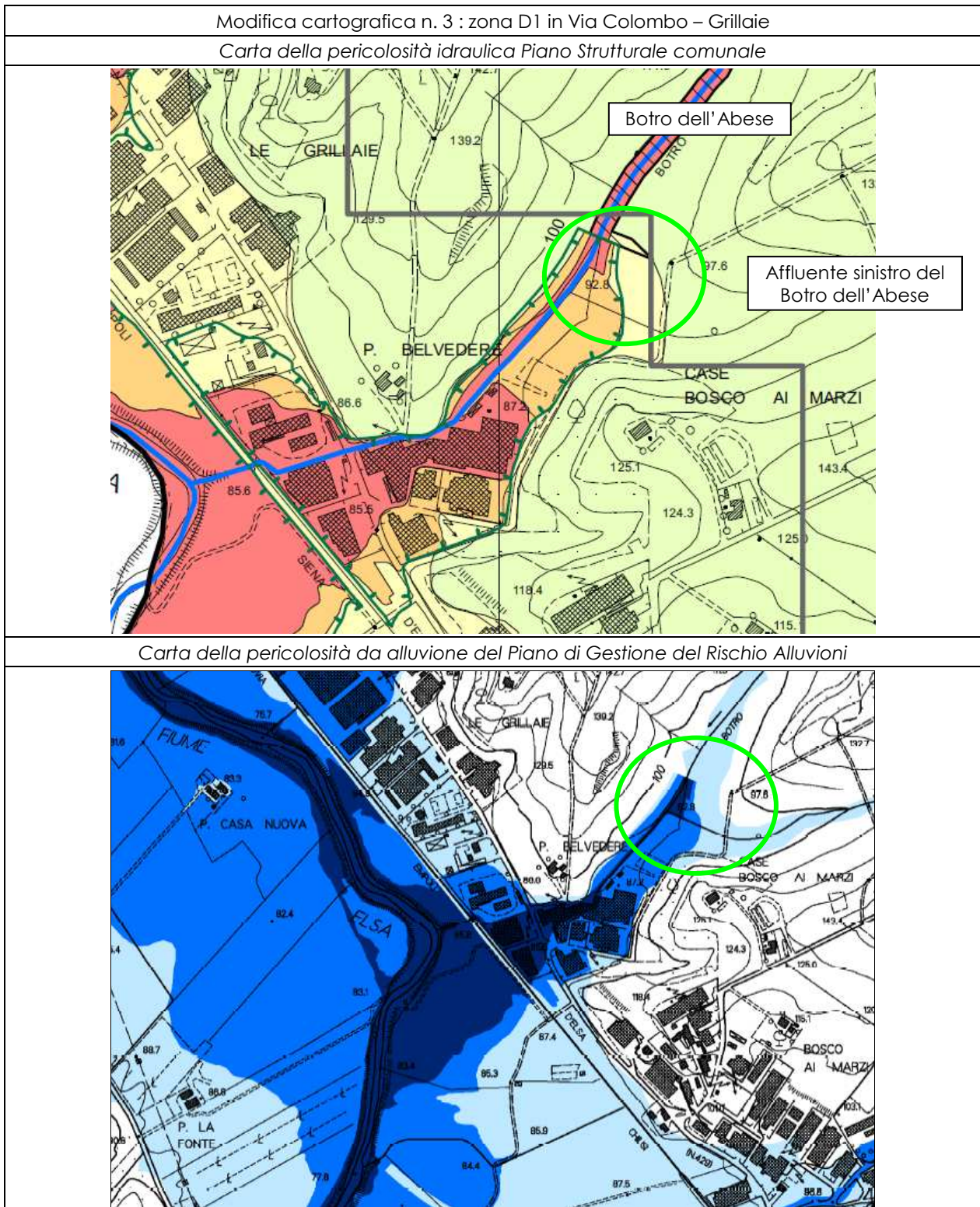


Fig. 4 – Estratti di pericolosità idraulica strumenti vigenti (in verde l'area oggetto di previsione)

Tra le due carte precedenti si osserva una discrepanza di perimetrazione lungo il corso del Botro dell'Abese dovuto al fatto che nella redazione della Variante al R.U. e P.S. del 2014-2015 l'allora Piano per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno (adesso confluito nel P.G.R.A.) non è stato aggiornato alla versione "finale" degli studi idraulici, ovvero quella dell'approvazione dello strumento urbanistico, ma ad una versione intermedia dopo la quale sono intervenute nuove modifiche.

Ai fini della pericolosità idraulica della zona è da considerarsi valido e quindi cogente lo scenario più restrittivo, ovvero quello della Carta della Pericolosità del Piano Strutturale Comunale.

In ogni caso, allo stato attuale, la zona oggetto di previsione risulta in pericolosità idraulica elevata I.3 (o pericolosità idraulica media P2, ai sensi del P.G.R.A.).

E' importante ribadire che lo studio idrologico-idraulico che ha determinato tali perimetrazioni non ha tenuto conto, perché antecedente, dei dati aggiornati delle linee segnalatrici della Regione Toscana, inoltre è stato eseguito in moto vario monodimensionale e ha riguardato esclusivamente il Botro dell'Abese.

In questo lavoro si propone di aggiornare tutti questi aspetti in un nuovo studio sul Botro dell'Abese e sul suo affluente sinistro che transita al margine, ed in parte con tombamento, dell'attuale area produttiva, di cui è adesso previsto l'ampliamento; tale studio consentirà di aggiornare ed uniformare il quadro di pericolosità idraulica della zona.

Riguardo a detta previsione è necessario anche sottolineare il vincolo attualmente posto dallo strumento urbanistico vigente per la realizzazione di interventi edificatori sull'intera area produttiva attraversata dal Botro dell'Abese.

Infatti l'attuale Regolamento Urbanistico (art. 64 N.T.A.) prevede che per una serie di zone gravate da pericolosità idraulica I.3 o I.4, e quindi ricadenti in classe di fattibilità F4, gli interventi siano subordinati alla realizzazione delle opere di messa in sicurezza idraulica previste dal R.U.; per l'area in questione lo strumento vigente prevede la realizzazione di una briglia a bocca tarata lungo il Botro dell'Abese, a monte della zona produttiva.

Di seguito è mostrata la scheda di fattibilità per l'opera idraulica suddetta secondo il R.U. vigente.

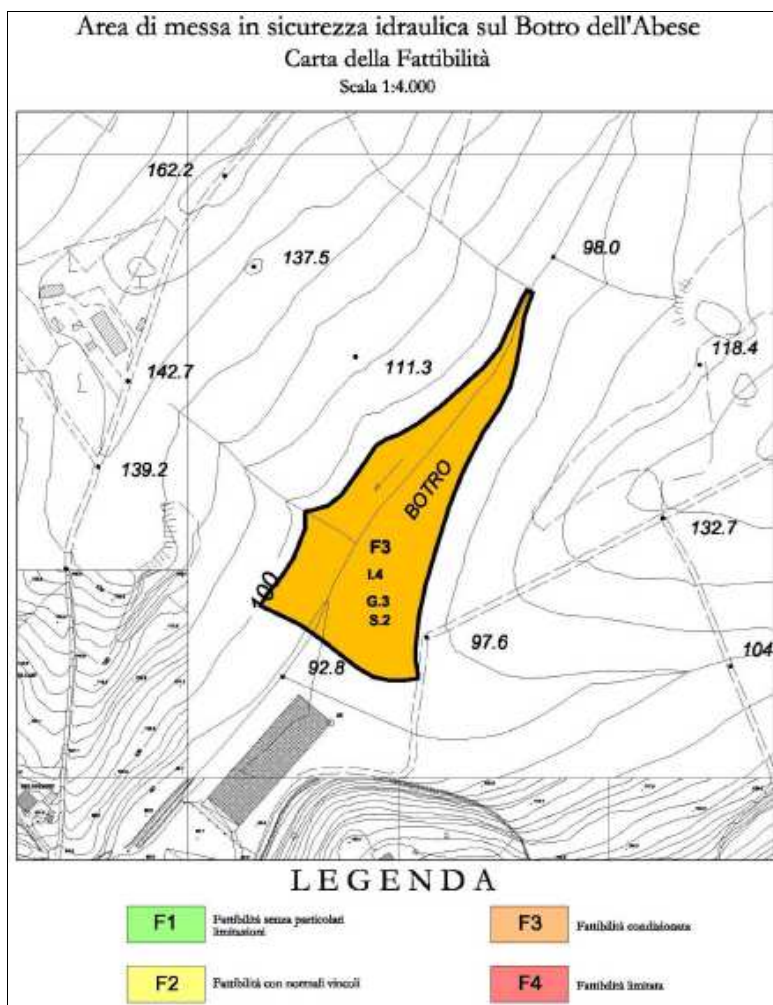


Fig. 5 – Scheda di fattibilità per briglia a bocca a tarata Botro dell'Abese

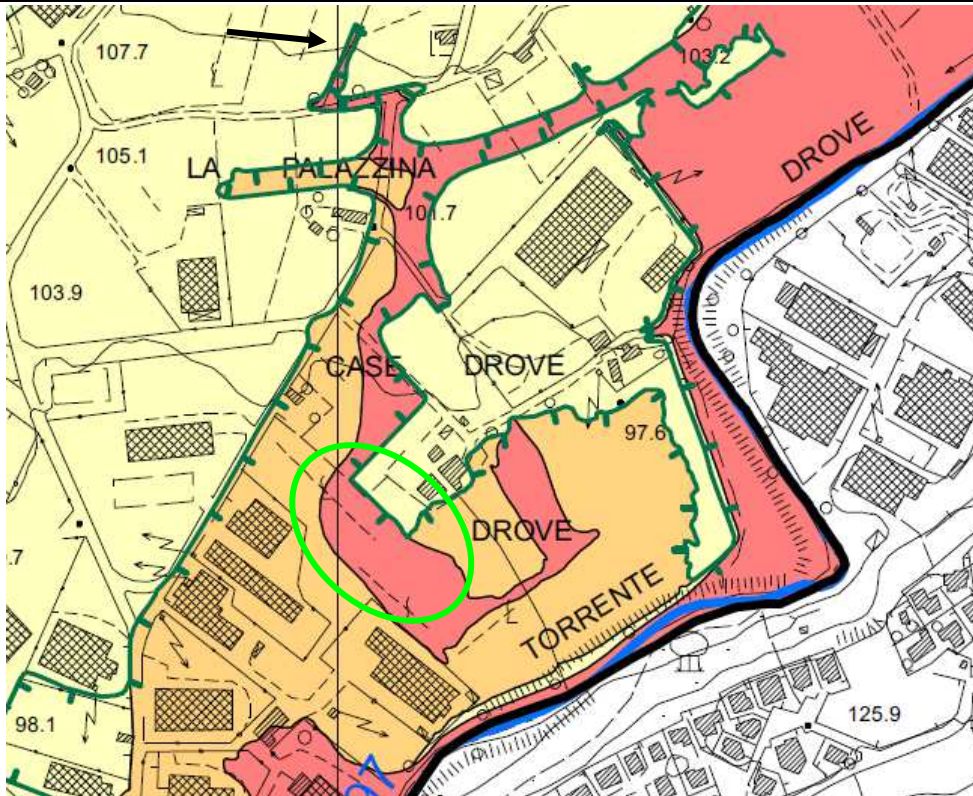
A partire dal 2017 è aperto tra la Regione Toscana, il Consorzio di Bonifica Medio Valdarno, il Comune di Barberino Val d'Elsa e l'azienda Pan Urania S.p.A. (proprietaria dello stabilimento e dei terreni posti immediatamente a valle dell'area destinata alla realizzazione della briglia sul Botro dell'Abese) un tavolo tecnico-politico finalizzato alla definizione di un accordo di programma per stabilire le competenze e le modalità di partecipazione da parte dell'azienda in ordine alla realizzazione dell'opera idraulica, in attuazione di quanto previsto dallo strumento urbanistico comunale.

Contestualmente sono state avviate le nuove verifiche idrologico-idrauliche di supporto alla Variante al R.U. (di cui alla presente relazione), che hanno messo in evidenza uno scenario di pericolosità idraulica leggermente divergente rispetto a quello rappresentato nelle precedenti cartografie. Di conseguenza la fattibilità idraulica dell'ampliamento dello stabilimento industriale ai confini dell'U.T.O.E. ha assunto condizioni differenti.

Di tutto ciò è dato conto nel relativo capitolo.

Modifica cartografica n. 2 : zona a parcheggio pubblico F4 e area D2 nella strada di Chiano – Drove

Carta della pericolosità idraulica Piano Strutturale comunale



Carta della pericolosità da alluvione del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni

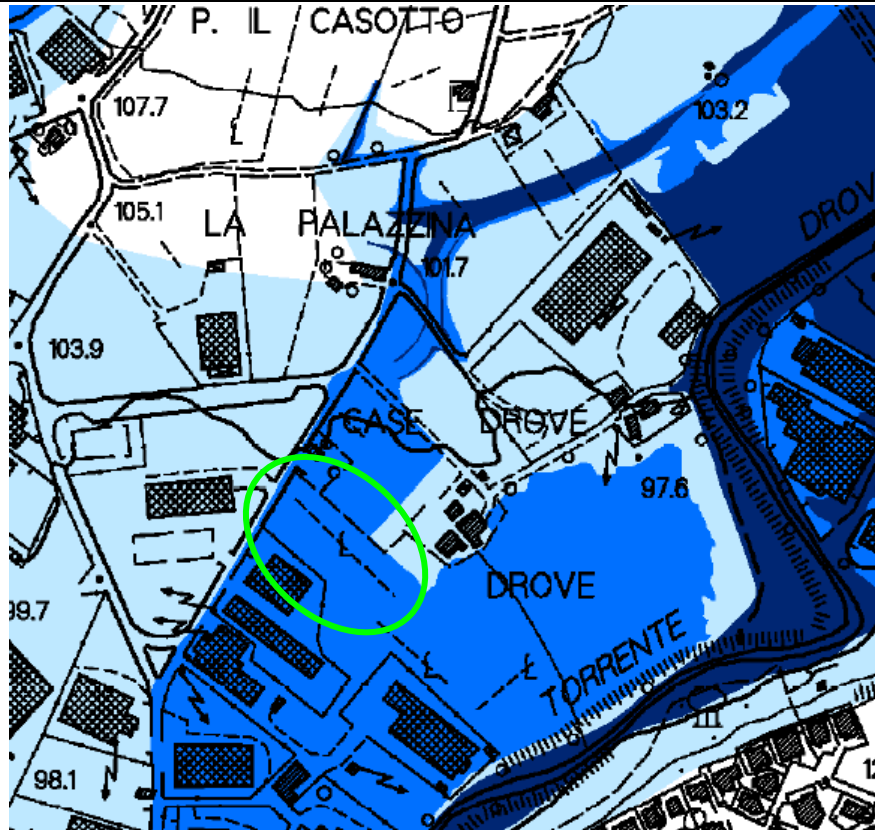


Fig. 6 – Estratti di pericolosità idraulica strumenti vigenti (in verde l'area oggetto di previsione)

Analogamente al caso precedente, e per le medesime motivazioni, anche per l'area produttiva in loc. Drove lo scenario di pericolosità idraulica individuato dal Piano Strutturale comunale diverge da quello indicato dal P.G.R.A.; si assume pertanto come pericolosità di riferimento quella del Piano Strutturale.

Detta pericolosità idraulica (in particolare la pericolosità idraulica I.4 del primo riquadro di Fig. 6), nell'intorno dell'area oggetto di previsione, deriva da una verifica idrologico-idraulica eseguita a seguito dell'evento alluvionale del 21/10/2013. In occasione di tale evento si manifestarono allagamenti nell'area produttiva e lungo lo svincolo di Drove, pertanto si procedette ad un approfondimento del reticolo minore.

Fu allora individuato come potenziale responsabile degli allagamenti verificatisi il piccolo fosso indicato con la freccia nera in Fig. 6; fu quindi redatta una verifica idrologico-idraulica in moto vario di questo corso d'acqua (non appartenente, né allora né adesso, al reticolo regionale), e ne scaturirono le perimetrazioni, assai cautelative, di cui sopra.

Tenuto però conto che lo strumento di indagine allora utilizzato (modello idraulico in moto vario monodimensionale a celle) non risulta del tutto appropriato per la definizione di allagamenti derivanti da fenomeni di ristagno e cattivo drenaggio urbano di questo tipo, si è adesso inteso aggiornare con metodologia idraulica più adeguata e nuovi dati idrologici lo studio sul reticolo minore dell'area di loc. Drove.

La finalità di questa nuova verifica idraulica, adesso condotta in moto bidimensionale con simulazione delle dinamiche di deflusso superficiale a partire direttamente dalle precipitazioni sulla zona, non è tanto quella di aggiornare la Carta della Pericolosità Idraulica di Piano Strutturale (per il cui aggiornamento si rimanda ad una futura variante generale dello strumento urbanistico), quanto quella di fornire supporto per la fattibilità idraulica delle previsioni di cui alla scheda n. 2, inerenti il parcheggio F4 e il lotto produttivo D2/8.

Di tutto ciò è dato conto nel relativo capitolo.

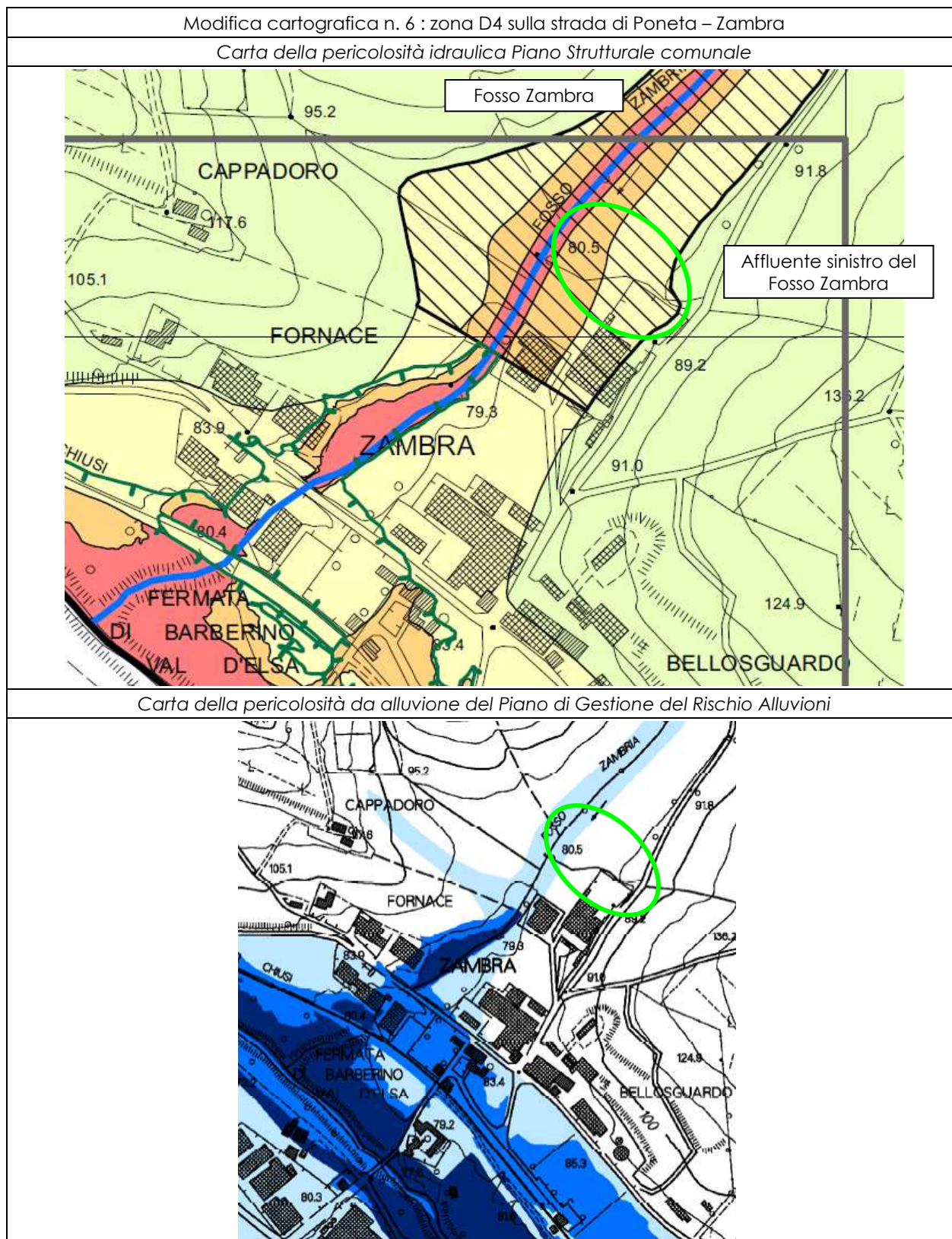


Fig. 7 – Estratti di pericolosità idraulica strumenti vigenti (in verde l'area oggetto di previsione)

Per quanto riguarda la previsione in loc. Zambra, la precedente figura evidenzia una pericolosità idraulica I.3 legata al Fosso Zambra secondo il Piano Strutturale, ed una pericolosità P1 per il P.G.R.A.

La perimetrazione del P.S. è stata redatta su base geomorfologica, come indicato dal tratteggio nero, quindi non sono disponibili verifiche idrauliche aggiornate a cavallo dell'area di previsione. Non sono disponibili neanche verifiche idrauliche sul piccolo affluente sinistro (comunque appartenente al reticolo regionale) che attraversa tombato l'area di previsione.

In questo lavoro ci si è limitati a valutazioni di carattere qualitativo, essendo l'area di previsione posta a quota morfologicamente ben più elevata rispetto all'alveo del Fosso Zambra, ed essendo il bacino del suo affluente sinistro di dimensioni trascurabili.

Peraltro la previsione ha ad oggetto un ampliamento della superficie edificabile D2 da pertinenza produttiva D4 su un'area comunque già edificata, perciò non è prevista alcuna alterazione al reticolo né alle condizioni idrauliche del lotto.

Nel relativo capitolo sono individuate le condizioni idrauliche di fattibilità per la previsione in oggetto.

3. ZONA D1 IN VIA COLOMBO - GRILLAIE

Nonostante gli studi idrologici ed idraulici condotti a supporto del Regolamento Urbanistico del Comune di Barberino Val d'Elsa siano piuttosto recenti, in questo lavoro si è inteso aggiornare interamente sia la modellistica idrologica, finalizzata alla stima degli idrogrammi di piena con tempo di ritorno pari a 30 e 200 anni, sia la modellistica idraulica dello studio sul Botro dell'Abese, insistente sull'area produttiva in loc. Grillaie ed interferente con la previsione urbanistica di Via Colombo, sul margine dell'attuale perimetro dell'U.T.O.E.

Le motivazioni di questa esigenza di revisione sono state già anticipate.

Si è trattato innanzitutto di acquisire i dati idrologici aggiornati messi a disposizione dalla Regione Toscana ("Analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme", Regione Toscana, 2014), e non utilizzati negli studi del R.U.; inoltre si è reso necessario, ai fini di una più congrua ed affidabile definizione della pericolosità idraulica della zona, implementare anche la modellazione dell'affluente sinistro del Botro dell'Abese ed adottare una modellistica idraulica più appropriata, facendo ricorso ad un modello idraulico bidimensionale di tutta l'area di interesse.

L'esito di tale aggiornamento è rappresentato, innanzitutto, dalla revisione della Carta della Pericolosità Idraulica del Piano Strutturale, per quanto attiene la pericolosità del Botro dell'Abese allo stato attuale.

Una volta aggiornato il quadro conoscitivo sono state ridefinite le misure di mitigazione idraulica necessarie per dare fattibilità alla previsione urbanistica.

In questo capitolo è quindi illustrata dapprima la verifica idrologica ed idraulica aggiornata del Botro dell'Abese e suo affluente sinistro allo stato attuale.

Successivamente sono illustrate le verifiche relative allo stato di progetto atte ad individuare le condizioni di fattibilità idraulica a cui subordinare la previsione urbanistica.

3.1 Modellistica idrologica stato attuale

3.1.1 Introduzione

La modellistica idrologica ha lo scopo di generare, per tutte le sezioni di interesse del reticolo idrografico studiato, gli idrogrammi di piena per assegnati tempi di ritorno.

Nel caso di questo studio sono stati individuati gli idrogrammi di piena per TR30 e TR200 da fornire sia come input al modello idraulico in moto bidimensionale successivamente descritto, in corrispondenza della sezione di apertura del modello (Chainage 0 – secondo l'assegnazione del software Mike, o River Station 10 – secondo la vecchia modellistica col software monodimensionale Hec Ras, come da studio idraulico dello Strumento Urbanistico), sia per l'affluente sinistro del Botro dell'Abese nonché quali contributi laterali diffusi lungo l'asta fino alla confluenza con il Fiume Elsa.

Prima di affrontare la trattazione appare necessario ricordare che i precedenti studi redatti sul Botro dell'Abese erano fondati sull'implementazione dei dati del modello di piena concettuale ALTO (ALLuvioni in TOscana, Regione Toscana, 2000), pur non adottando fedelmente i parametri geomorfologici e pluviometrici forniti dalla "Regionalizzazione" bensì applicando correttivi o rivalutandone alcuni (come nello studio del P.S.).

In questa revisione sono stati invece ricalcolati tutti i parametri geomorfologici e pluviometrici necessari alla stima degli idrogrammi di piena, confermando l'approccio metodologico precedente ma eseguendo i calcoli mediante un'apposita procedura in ambiente Excel.

Tutto ciò è illustrato nel prosieguo della trattazione.

3.1.2 Approccio metodologico

La nuova analisi idrologica del bacino del Botro dell'Abese è stata eseguita rivedendo interamente le parametrizzazioni utilizzate negli studi precedenti.

Il superamento di ALTO come "calcolatore" non significa però che siano state applicate metodologie differenti di analisi; infatti, in queste valutazioni idrologiche lo schema operativo e concettuale di ALTO è stato, come detto, pienamente confermato.

In questo sottoparagrafo è quindi illustrato l'approccio metodologico adottato, che 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, 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, i cui parametri aggiornati sono forniti dalla Regione Toscana.

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:

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

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

$$n = 3.29 \left(\frac{R_b}{R_a}\right)^{0.78} R_l^{0.07} \quad (2)$$

$$k = 0.7 \left[\frac{R_a}{R_b R_l}\right]^{0.48} \frac{L_c}{v} \quad (3)$$

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 |
| v | fattore cinematico legato alla velocità della piena. |

I parametri geomorfologici R , rapporti di Horton, sono calcolati sulla base della gerarchizzazione del reticolo idrografico proposta da Strahler.

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:

$$I_a(t) = I_a(0) + \int_0^{t_a} (P(\tau) - K_s) d\tau \quad (4)$$

dove, per $t < t_a$

$$P_n(t) = 0 \text{ e } I_a(t) = I_a$$

mentre per $t \geq t_a$

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

Su questa procedura poggiavano le elaborazioni del codice ALTO, e poggiano adesso le nuove elaborazioni idrologiche condotte; grazie ad essa è possibile stimare preliminarmente gli idrogrammi di un dato corso d'acqua per durate di precipitazione assegnate.

3.1.3 Stima dell'idrogramma di piena per TR30 e TR200 anni

Come anticipato, in questo lavoro è stata messa a punto una procedura più affidabile e rigorosa per la stima degli idrogrammi di piena del Botro dell'Abese.

Tale procedura ha riguardato sia la rivalutazione delle altezze di precipitazione sul bacino del corso d'acqua a partire dai dati regionali del 2014, che la revisione di tutti i parametri geomorfologici e di infiltrazione.

Il bacino idrografico del Botro dell'Abese, alla sezione di confluenza con l'affluente sinistro che attraversa l'area di previsione, ha superficie complessiva pari a circa 1.77 kmq; l'asta principale ha origine meno di 2 km più a monte, tra le colline che scendono verso il fondovalle del Fiume Elsa; l'affluente sinistro possiede invece un bacino di superficie pari a circa 0.41 kmq, mentre il sottobacino di valle (dalla confluenza tra Abese ed affluente sinistro di cui sopra fino al Fiume Elsa) è di superficie pari a circa 0.36 kmq. Complessivamente il bacino del Botro dell'Abese presenta una superficie pari a circa 2.54 kmq.

A cavallo dell'area industriale, e fino alla linea ferroviaria Empoli-Chiusi, l'asta principale risulta tombata; per la precisione sono presenti un tombamento principale ed un secondo tombamento che avrebbe dovuto avere la funzione di by-pass ma che non è mai stato completato pertanto confluisce nel primo all'altezza della S.R. n. 429.

Per ridefinire il perimetro, e di conseguenza la superficie, del bacino del Botro dell'Abese a monte dell'area industriale, nonché del bacino dell'affluente sinistro del sottobacino di valle dell'Abese stesso, si è partiti dall'acquisizione del reticolo idraulico aggiornato delle Regione Toscana (D.C.R. 101/2016).

Sulla C.T.R. sono stati ritracciati manualmente sulle linee di spartiacque, seguendo l'andamento delle curve di livello e gli elementi antropici, i confini dei bacini di interesse.

Nella successiva figura sono mostrati i sottobacini del Botro dell'Abese ed il relativo reticolo.

Per quanto riguarda il reticolo si rileva che l'andamento del tratto finale dell'affluente sinistro del Botro dell'Abese, parzialmente tombato, diverge leggermente da quello reale; questo non ha alcuna influenza sull'analisi idrologica. Nella modellistica idraulica, invece, è stato tenuto conto del tracciato effettivo del fosso.

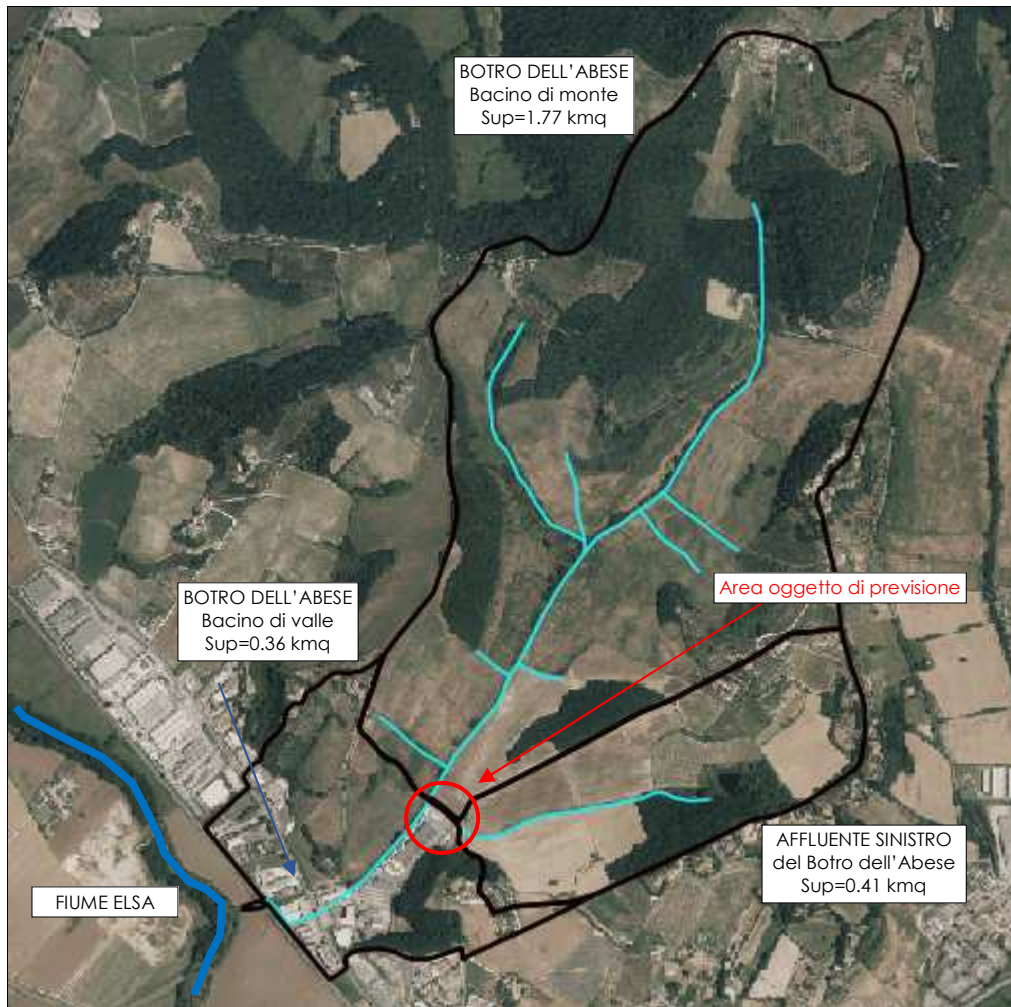


Fig. 8 – Bacino e reticolo Botro dell'Abese

Una volta definito il contorno dei sottobacini di interesse ed il relativo reticolo è stato possibile stimare gli eventi meteorici estremi al loro interno, per i tempi di ritorno considerati (TR30 e TR200 anni).

Lo studio "Analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme" (Regione Toscana, 2014) fornisce i valori di a ed n come griglie in formato *ascii grid*, elaborabili in ambiente Gis, a maglie di 1 kmq.

L'afflusso meteorico (altezza lorda di precipitazione) su un bacino di riferimento, per un dato tempo di ritorno ed una data durata di pioggia, è stimato attraverso la seguente relazione:

$$h = a \cdot t^n \quad (5)$$

con a ed n caratteristiche dell'intero bacino e funzione del tempo di ritorno prescelto.

Si osserva come il citato codice di calcolo ALTO elaborasse non i parametri della precedente relazione binomia (5), bensì i parametri della formula trinomia seguente, cioè:

$$h = a' \times t^{n'} \times Tr^{m'} \quad (6),$$

in cui è presente un terzo parametro (m'), e con Tr si intende il tempo di ritorno, espresso in anni.

Passando dalla rappresentazione delle curve di possibilità pluviometrica in forma trinomia a quelle in forma binomia, è difatti "compromesso" l'utilizzo diretto ed immediato del modello di piena ALTO come solutore delle equazioni e delle relazioni che regolano la trasformazione da afflussi a deflussi e stimano gli idrogrammi di piena.

Considerato che la pubblicazione regionale fornisce i valori di a ed n sotto forma di dati discreti e diversi per ciascuna cella di 1 kmq sul territorio regionale, per definire l'altezza di precipitazione su un determinato bacino idrografico, ovvero uno "ietogramma" di progetto costante sul bacino per durate di precipitazione e tempi di ritorno considerati, risulta necessario valutare la media delle singole altezze di precipitazione di ciascuna cella ricadente all'interno dei bacini stessi (es. Fig. 9).

Infatti non è proceduralmente corretto mediare sul bacino i coefficienti a ed n forniti dalla Regione, bensì mediare, sempre sul bacino, la relativa altezza di pioggia h , e successivamente, se necessario, procedere a ritroso e ricavare i relativi valori di a ed n per così dire "medi" e caratteristici del bacino.

Per questo motivo, per una gamma di durate di pioggia prese a campione (1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 12 e 24 ore) e per la gamma di tempi di ritorno forniti dallo studio regionale (2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200 e 500 anni) sono state stimate, mediante il calcolatore di campi in ambiente Gis (in particolare è stato utilizzato il software open source QGis), le rispettive distribuzioni di altezze di pioggia.

Di tutte queste distribuzioni di altezze di precipitazione riferite alle varie combinazioni durata-tempo di ritorno sono state calcolate le medie su ciascun bacino.

La seguente figura mostra un esempio di distribuzione delle altezze di pioggia per TR200 e durata pari ad 1 ora.

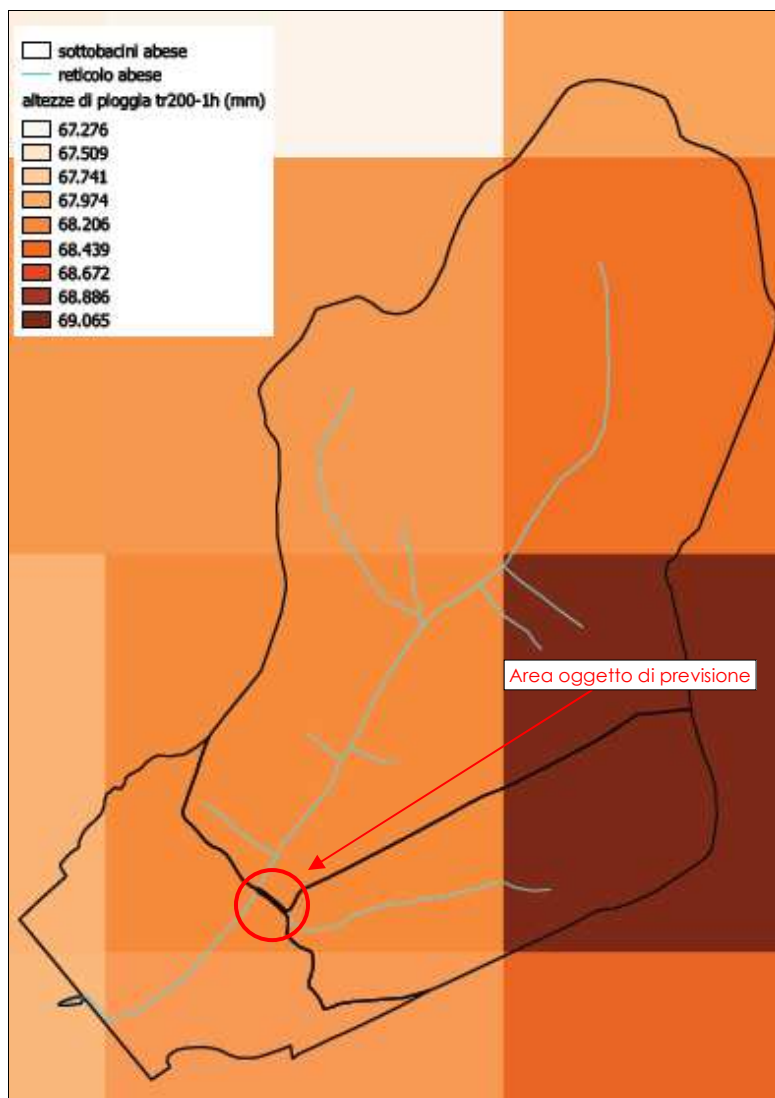


Fig. 9 – Altezza di pioggia sul bacino del Botro dell'Abese da dati Regioni Toscana per TR200 e durata 1 ora

A questo punto, disponendo, per ciascun tempo di ritorno, delle altezze di pioggia h in funzione delle durate di pioggia t , mediante un procedimento di regressione lineare sul piano logaritmico $\log(h) - \log(t)$, sono stati ottenuti i valori dei coefficienti a ed n attraverso la seguente relazione:

$$\log(h) = \log(a) + n \cdot \log(t) \quad (7)$$

Una volta ottenuti detti coefficienti, l'iter di calcolo si è riallineato con quello sviluppato dal software ALTO (dove a' , n' ed m' sono già disponibili in partenza per ciascuna sezione di interesse).

A questo punto l'afflusso meteorico è stato ricostruito mediante uno "ietogramma" costante, nell'ipotesi, semplificata ma comunemente adottata, di pioggia uniforme e costante per tutta la durata dell'evento sul bacino.

Se la procedura di ALTO consentiva automaticamente di calcolare la durata critica di precipitazione, ovvero la durata di pioggia che massimizza la portata di deflusso per bacino, sezione idrografica di riferimento e tempo di ritorno assegnati, in questa analisi sono state invece valutate, per TR30 e TR200, differenti durate di pioggia, alla ricerca di quella a cui corrispondesse il massimo picco di portata.

Nel far ciò, sono state considerate, tutte le durate di pioggia comprese tra 0.5 ora e 2 ore, con intervallo di 15 minuti.

A questo punto l'afflusso meteorico lordo è comunemente ragguagliato alla superficie del bacino.

All'input meteorico è applicato un coefficiente moltiplicativo di ragguaglio areale, Kr , che generalmente aumenta con l'aumentare della durata di pioggia e diminuisce con l'aumentare della superficie del bacino rispetto al quale è calcolato.

Per pervenire a questo valore di Kr è stata utilizzata la seguente relazione:

$$Kr = 1 - \exp(-\alpha t^\beta) + \exp(-\alpha t^\beta - \gamma A) \quad (8)$$

in cui t è la durata di precipitazione [h], A la superficie del bacino [kmq], mentre il parametro α è posto uguale a $0.036 \cdot a'$, dove a' rappresenta il coefficiente della curva di possibilità pluviometrica in forma trinomia (6), il parametro $\beta=0.25$ ed il parametro $\gamma=0.01$.

E' evidente come vi sia necessità, per la valutazione del coefficiente di ragguaglio areale secondo la precedente formulazione, di dover comunque stimare i parametri delle linee segnalatrici in forma trinomia.

L'operazione matematicamente corretta da svolgere è illustrata di seguito.

Ponendo in campo logaritmico la relazione trinomia delle linee segnalatrici ($h = a' \cdot t^{n'} \cdot Tr^{m'}$) si ottiene la seguente relazione:

$$\log(h) = \log(a') + n' \cdot \log(t) + m' \cdot \log(Tr) \quad (9)$$

Essendo $n=n'$, e tenuto conto della formula binomia in campo logaritmico $\log(h) = \log(a) + n \cdot \log(t)$, per sostituzione si ottiene

$$\log(a) = \log(a') + m' \cdot \log(Tr) \quad (10)$$

Mediante regressione lineare applicata alla precedente relazione, si possono dunque determinare i parametri a' ed m' della curva trinomia.

Così facendo, per il bacino oggetto di valutazione, si può ottenere il relativo parametro a' necessario al calcolo, tramite la precedente formula del Kr (8).

Tenuto conto delle ridotte dimensioni dei bacini in esame (bacino di monte e di valle del Botro dell'Abese e bacino dell'affluente sinistro), al coefficiente di ragguaglio Kr è stato cautelativamente assegnato un valore pari ad 1, bypassando i calcoli appena descritti.

Nell'analisi idrologica, una volta ragguagliata, se del caso, la pioggia lorda all'area del bacino, si rende necessario "depurare" tale input meteorico di tutte le perdite a cui va incontro prima di poter contribuire al deflusso.

La trasformazione tra pioggia lorda e pioggia netta, o "efficace", è effettuata, sempre secondo l'approccio metodologico adottato negli studi precedenti, mediante la stima e l'implementazione dei parametri I_a (dell'assorbimento completo della precipitazione durante le prime fasi dell'evento meteorico, mm) e K_s (infiltrazione costante a saturazione, mm/h), legati alla precipitazione dalla relazione precedentemente riportata (4), secondo il metodo asintotico di infiltrazione a soglia.

Il parametro I_a è valutato in base alla percentuale di superficie boscata all'interno del bacino, secondo la seguente relazione:

$$I_a = 3.3 + 22 \cdot (\% \text{Sup. boscata}) \quad (11)$$

Prendendo a riferimento i dati relativi all'uso e copertura del suolo della Regione Toscana (anno 2013), si è stimato la percentuale del bosco sul bacino di interesse (codice 311).

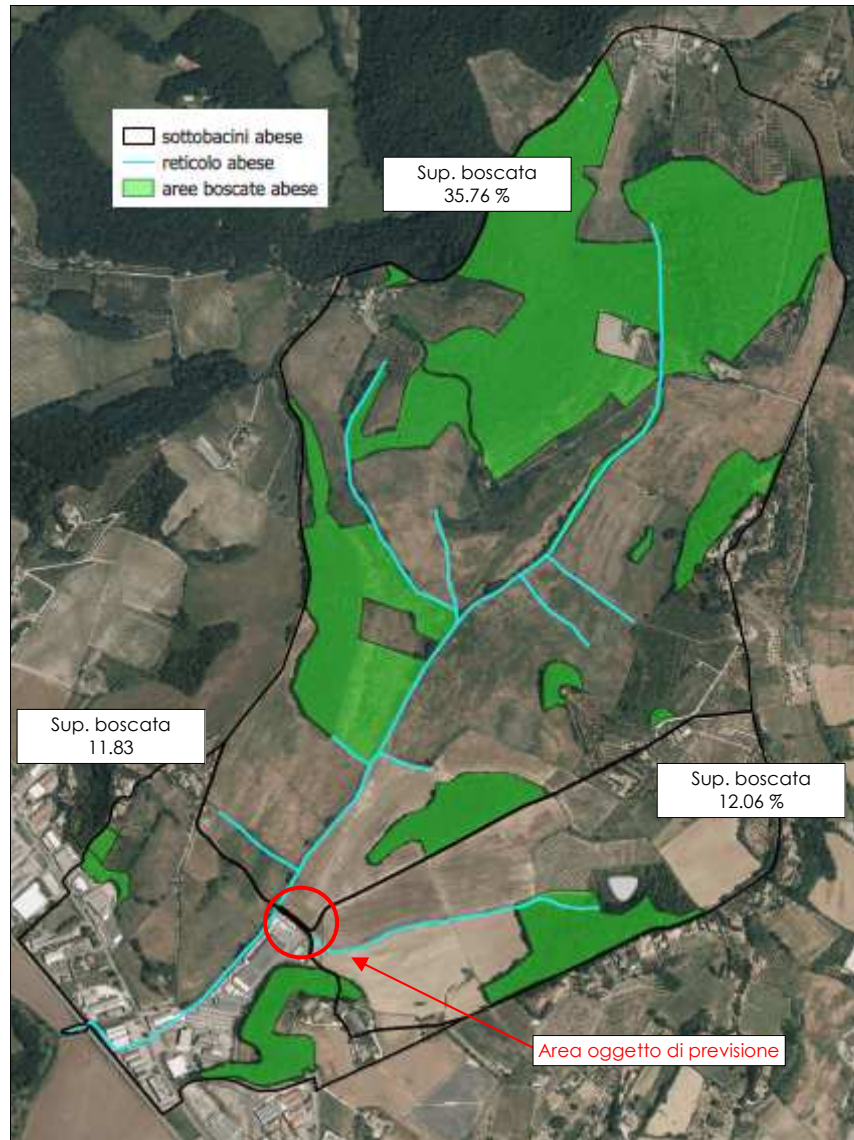


Fig. 10 – Aree boscate sul bacino del Botro dell'Abese da Uso del Suolo (R.T. 2013)

Per quanto riguarda invece l'infiltrazione a saturazione K_s , dipendendo esso dalla geopedologia dei suoli, si è invece fatto riferimento al DataBase Geopedologico della Regione Toscana, messo a disposizione sul portale Geoscopio, e che contiene una vasta serie di informazioni geopedologiche ed idrologiche; il DB valuta anche la distribuzione del parametro K_s , sia ad una profondità di 30 cm dal piano campagna che ad una profondità di 150 cm.

In questo caso, a ciascun bacino, è stato assegnato il valore medio di K_{s30} pesato sulla superficie.

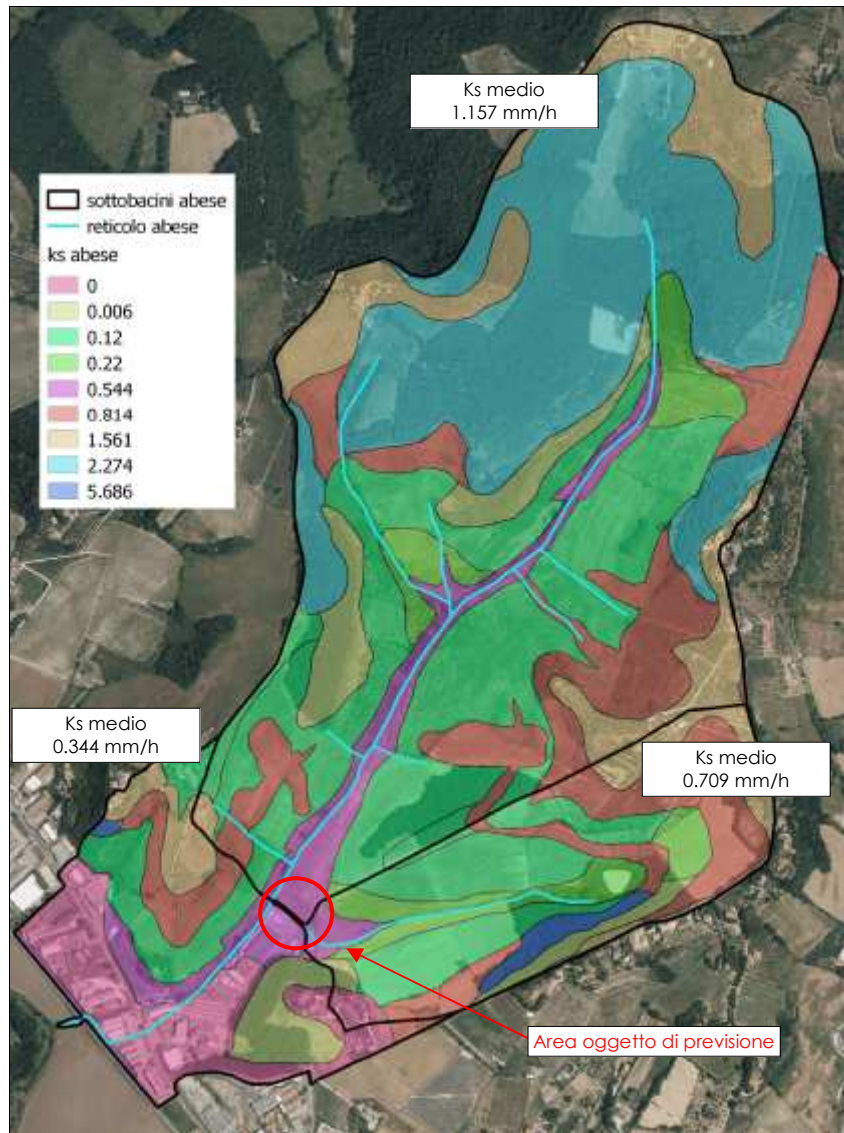


Fig. 11 – Distribuzione del parametro K_s sul bacino totale del Botro dell'Abese da DB Geopedologico (R.T.)

Il procedimento analitico di "depurazione" delle piogge definito dalla seguente, e già citata, relazione, ovvero

$$I_a(t) = I_a(0) + \int_0^{t_a} (P(\tau) - K_s) d\tau \quad (4)$$

dove, per $t < t_a$, $P_n(t) = 0$ e $I_a(t) = I_a$, mentre per $t \geq t_a$, $P_n(t) = P(t) - K_s$.

è stato riprodotto in forma discretizzata in apposito foglio di calcolo, secondo lo schema seguente.

```

IDROLOGIA - SCHEMA DI CALCOLO - da pioggia netta a pioggia efficace - Metodo Ia/Ks

Delta T = i, Passo prescelto per l'idrogramma (h)
PLi = PIOGGIA LORDA RAGGUAGLIATA all'istante "i" (mm)
Pni = PIOGGIA NETTA all'istante "i" (mm)
Ks = VELOCITA' DI INFILTRAZIONE A SATURAZIONE costante per ogni Delta T (mm/Delta T)
IAi = INFILTRAZIONE, o ASSORBIMENTO, INIZIALE (mm)
IA0 = INFILTRAZIONE INIZIALE all'istante T=0 (mm)

CALCOLO ITERATIVO Pni
IF PLi <= IAi-1 THEN Pni=0
    ELSE IF PLi < Ks THEN Pni=0
        ELSE Pni=PLi-IAi-1 -Ks*(1-(IAi-1)/PLi))

CALCOLO ITERATIVO IAi
IF Pni=0 THEN
    IF IAi-1 -(PLi-Ks) >= IA0 THEN IAi=IA0
        ELSE IAi=IAi-1 -(PLi-Ks)
    ELSE
        IF IAi-1 +Ks > PLi THEN
            IF (IAi-1 *Ks)/PLi >= IA0 THEN IAi=IA0
                ELSE IAi=(IAi-1 *Ks)/PLi
            ELSE IAi=0

```

Fig. 12 – Schema di calcolo della “depurazione” delle piogge mediante il metodo asintotico di infiltrazione a soglia

Il procedimento indicato nello schema precedente consente non solo la “depurazione” delle piogge per effetto dell’assorbimento iniziale I_a e dell’infiltrazione a saturazione K_s , ma anche la “ricarica” della capacità di assorbimento del terreno durante le fasi di precipitazione nulla (vedi passaggi del calcolo iterativo di I_{ai}): ciò consente di implementare il calcolo idrologico anche per eventi reali.

Il metodo adottato per la trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi di piena, concordemente con ALTO, è quello dell’idrogramma unitario istantaneo (IUH), ovvero l’idrogramma di piena causato da un evento di pioggia di volume unitario e durata tendente a zero; ipotizzando la risposta del sistema lineare e stazionaria, l’idrogramma viene calcolato mediante la convoluzione tra lo ietogramma efficace (ovvero la distribuzione dell’input meteorico “depurato” e quindi effettivamente contribuente alla formazione del deflusso) e l’idrogramma unitario.

La relazione da applicare risulta la seguente:

$$Q(t) = \int_0^t U(t-\tau) \cdot p(\tau) d\tau \quad (12)$$

in cui Q è la portata, U l’idrogramma unitario e p l’afflusso efficace, quest’ultimo definito come

$$p(t) = [A \cdot i(t)] / 0.0036 \quad (13)$$

in cui A è la superficie del bacino in kmq ed i l'intensità della pioggia netta, media sul bacino, in mm/h; in pratica i è il valore risultante dalle fasi di calcolo precedenti fino alla "depurazione" mediante I_a e K_s .

La convoluzione è risolta discretizzando il calcolo in intervalli di tempo regolari.

Pertanto l'integrale di convoluzione si trasforma nella seguente successione di somme di prodotti incrociati, del tipo:

$$\begin{aligned} Q_1 &= U_1 p_1 \\ Q_2 &= U_1 p_2 + U_2 p_1 \\ Q_3 &= U_1 p_3 + U_2 p_2 + U_3 p_1 \\ &\dots\dots \\ Q_i &= U_1 p_i + U_2 p_{i-1} + \dots + U_n p_{i-n+1}. \end{aligned}$$

A questo punto, disponendo dello ietogramma efficace discretizzato, per ottenere la successione dei valori di Q_i che andranno a formare l'idrogramma di piena per un tempo di ritorno, durata di pioggia e step temporale assegnati, non resta che definire esattamente l'idrogramma unitario U_i .

Come anticipato, si è fatto ricorso all'Idrogramma Unitario Istantaneo di Nash, che risponde alla formulazione precedentemente riportata, ovvero

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

Per la stima dei parametri n e k di Nash (rispettivamente fattore di forma e fattore di scala) valgono le relazioni

$$n = 3.29 \left(\frac{R_b}{R_a}\right)^{0.78} R_l^{0.07} \quad (2)$$

$$k = 0.7 \left[\frac{R_a}{R_b R_l}\right]^{0.48} \frac{L_c}{v} \quad (3)$$

Si osserva come i parametri di Nash siano funzione dei rapporti di biforcazione (R_b), di lunghezza (R_l) e di area (R_a) di Horton.

Per la stima dei rapporti di Horton si procede dapprima ordinando il reticolo idrografico del bacino e le relative aree di alimentazione afferenti in ordini gerarchici, secondo Strahler.

L'intero bacino di monte del Botro dell'Abese è stato nuovamente gerarchizzato, come mostra la seguente figura; il reticolo risulta del 3° ordine gerarchico.

Ovviamente il reticolo di valle dell'Abese ed il reticolo dell'affluente sinistro constano di una sola asta, perciò non si può procedere alla gerarchizzazione secondo Strahler, e, in alternativa, sono state fatte le considerazioni di cui in seguito.

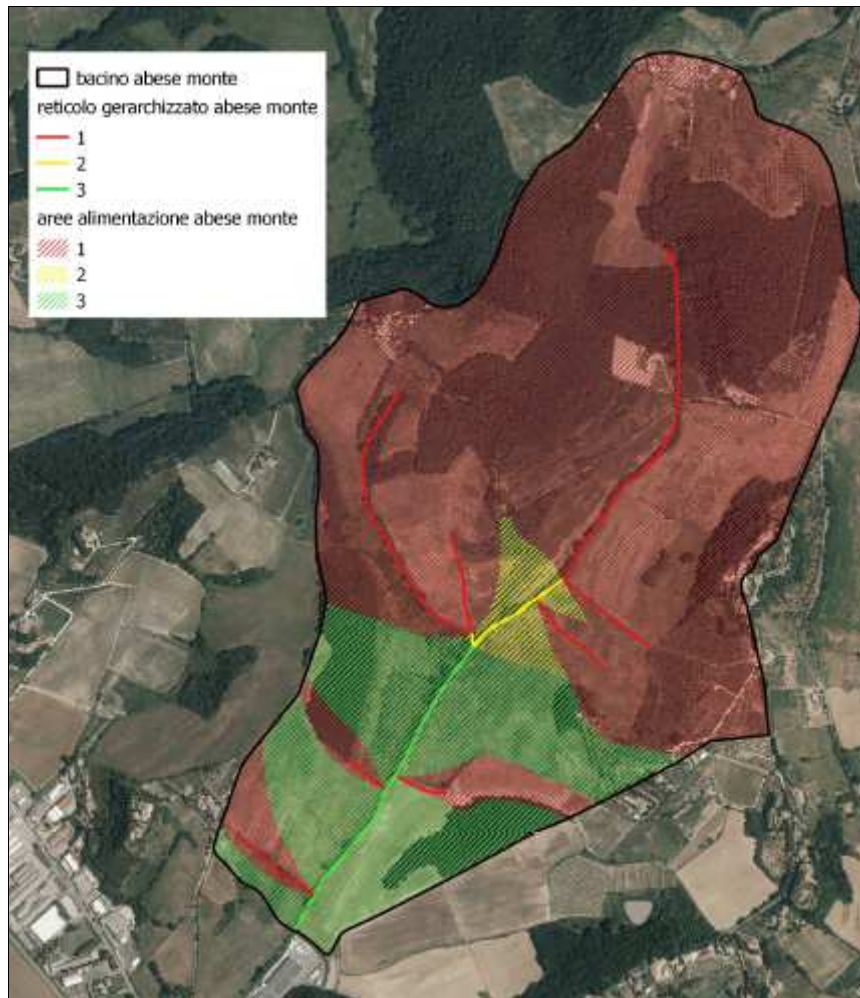


Fig. 13 – Gerarchizzazione secondo Strahler del bacino di monte del Botro dell'Abese

Una volta eseguita la gerarchizzazione, la determinazione dei rapporti di Horton per la successiva stima di n e k di Nash è compiuta mediante regressione delle seguenti espressioni:

$$N_u = R_b^{\omega-u} \quad (14)$$

$$\bar{L}_u = \bar{L}_1 \cdot R_l^{u-1} \quad (15)$$

$$\bar{A}_u = \bar{A}_1 \cdot R_a^{u-1} \quad (16)$$

in cui

ω rappresenta l'ordine massimo del reticolo,

N_u il numero delle aste di ordine u ,

\bar{L}_u la lunghezza media delle aste di ordine u ,

\bar{A}_u l'area media sottesa dalle aste di ordine u .

Considerato poi che il parametro k dipende non solo dai suddetti rapporti di Horton ma anche dai fattori L_c , lunghezza del canale principale, e v , fattore cinematico, e tenuto conto della relazione che lega n con k , ovvero

$$T_l = n \cdot k \quad (17)$$

dove T_l rappresenta il tempo di ritardo e la sua espressione, secondo Nash, è fornita dalla seguente relazione:

$$T_l = 2.3 \left(\frac{R_b}{R_a} \right)^{0.3} R_l^{-0.41} \cdot \frac{L}{v} \quad (18)$$

in cui compaiono ancora L_c , qui espresso semplicemente come L , e v ; però, secondo una procedura di regionalizzazione, il tempo di ritardo è definito anche da

$$T_l = 0.42 \left(\frac{R_b}{R_a} \right)^{0.3} R_l^{-0.41} \cdot \frac{Lmc}{A^{0.075}} \quad (19)$$

dove Lmc rappresenta la lunghezza media complessiva dell'asta.

Pertanto il parametro k viene stimato semplicemente calcolando prima il parametro n mediante (2) ed il parametro T_l mediante (19), e poi applicando l'inversa della precedente espressione (17), ovvero $k=T_l/n$.

Tutti questi passaggi, svolti in ambiente Excel con un semplice foglio di calcolo, hanno permesso di stimare i parametri pluviometrici e geomorfologici necessari e di conseguenza calcolare gli idrogrammi di piena per TR30 e TR200 per il bacino di monte del Botro dell'Abese, da inserire come input in testa al modello idraulico bidimensionale di seguito descritto.

Per la stima degli idrogrammi di piena del bacino di valle del Botro dell'Abese (inserito nel modello idraulico come idrogramma distribuito lungo l'asta di valle) e dell'affluente sinistro (inserito nel modello idraulico come idrogramma puntuale in testa all'asta del fosso) si è proceduto in modo sostanzialmente analogo a quanto appena descritto per il bacino di monte.

L'unica differenza è rappresentata dal fatto che questi due bacini non possiedono un reticolo gerarchizzato, pertanto, in entrambi i casi, al parametro n di Nash è stato assegnato il valore corrispondente a quello del bacino di monte. È noto che questo approccio fornisce una stima assai cautelativa dei valori di portata se adottato per bacini di piccole dimensioni.

I risultati delle elaborazioni suddette, ovvero gli idrogrammi di piena trentennali e duecentennali per i tre sottobacini in esame sono mostrati nelle seguenti figure; essi sono mostrati per tutte le durate di precipitazione da 0.5 ore a 2 ore.

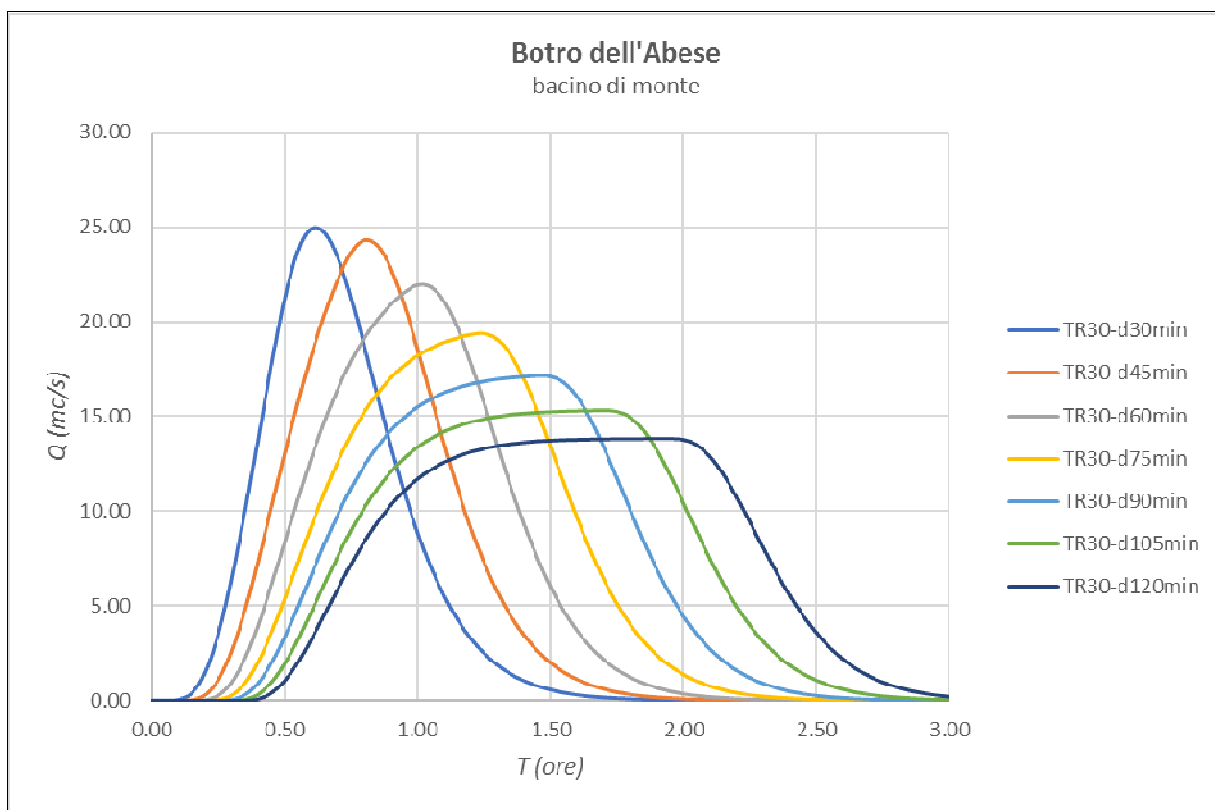


Fig. 14 – Idrogrammi di piena del bacino di monte del Botro dell'Abese per TR30

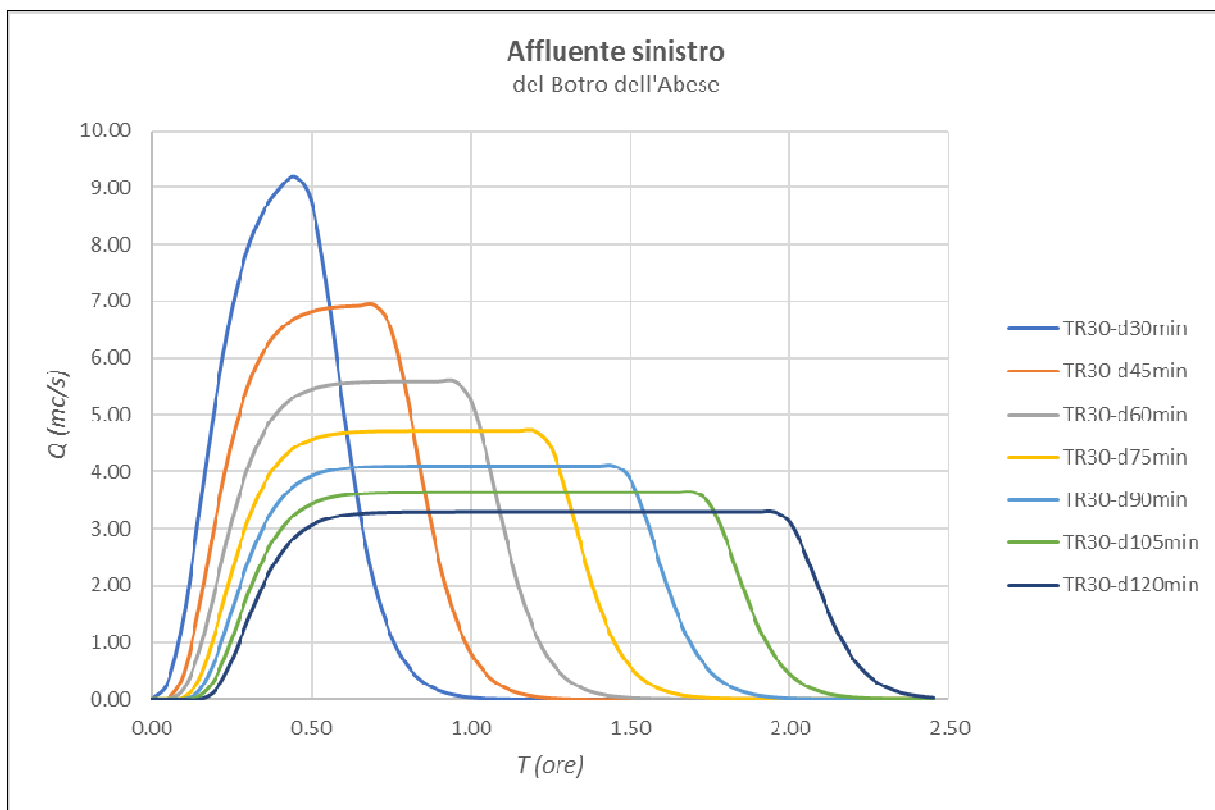


Fig. 15 – Idrogrammi di piena dell'affluente sinistro del Botro dell'Abese per TR30

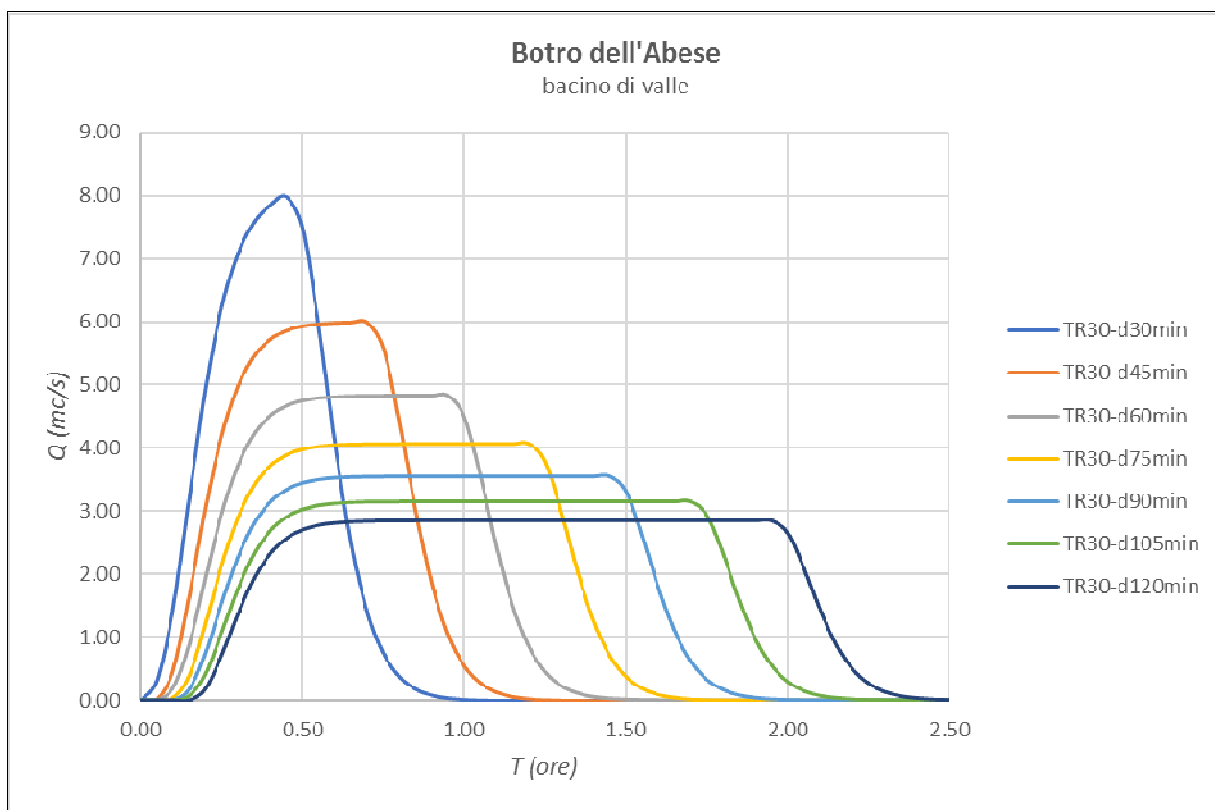


Fig. 16 – Idrogrammi di piena del bacino di valle del Botro dell'Abese per TR30

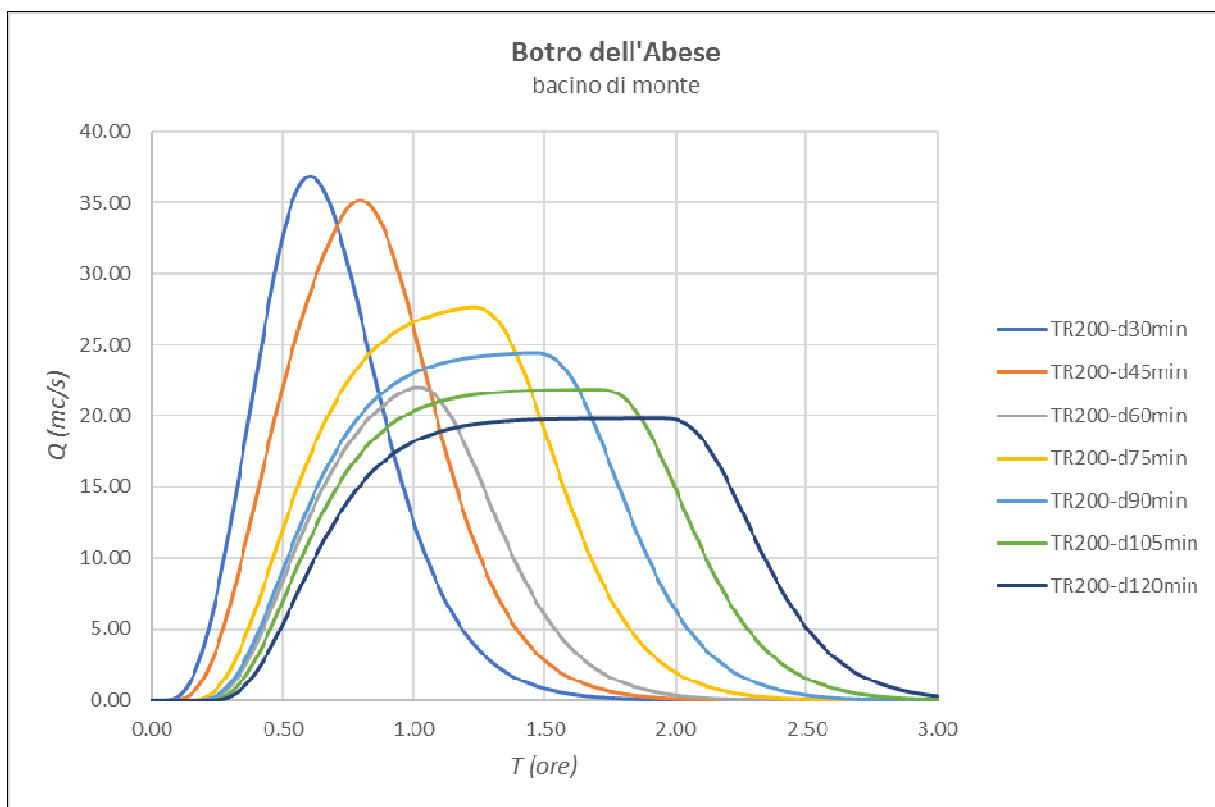


Fig. 17 – Idrogrammi di piena del bacino di monte del Botro dell'Abese per TR200

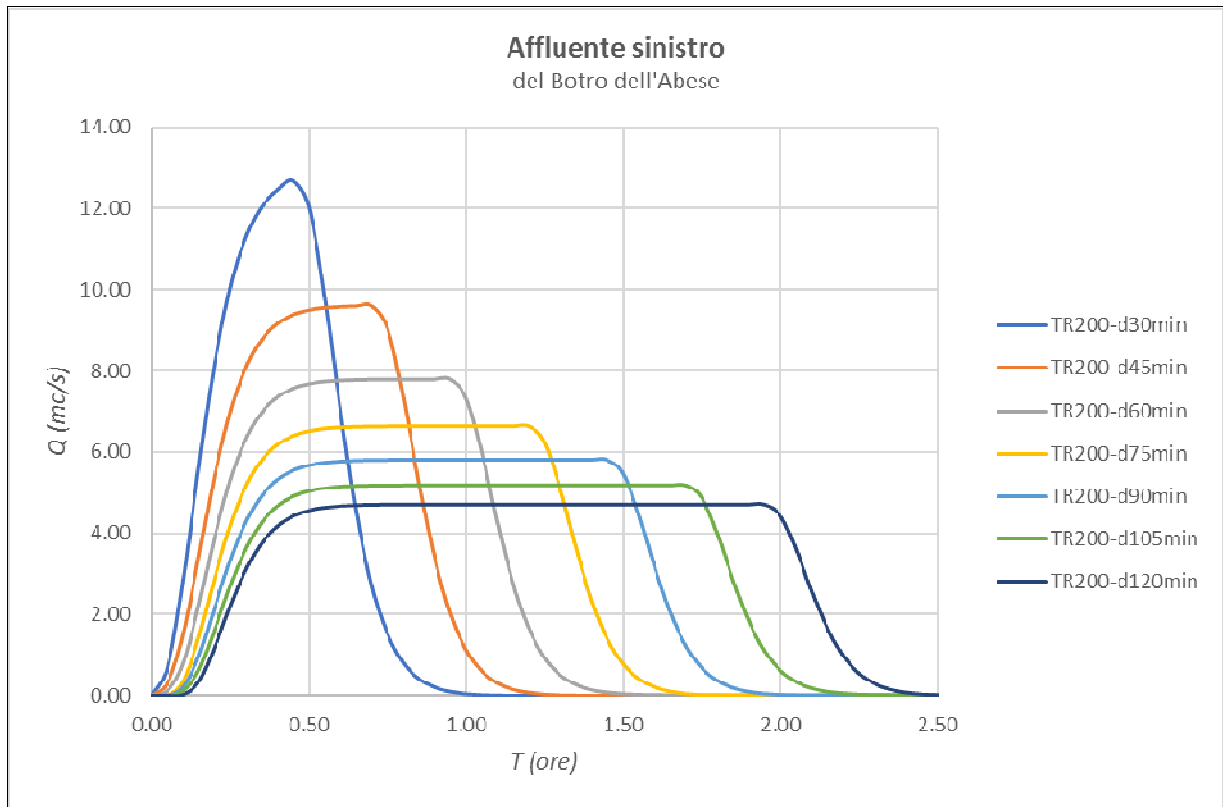


Fig. 18 – Idrogrammi di piena dell'affluente sinistro del Botro dell'Abese per TR200

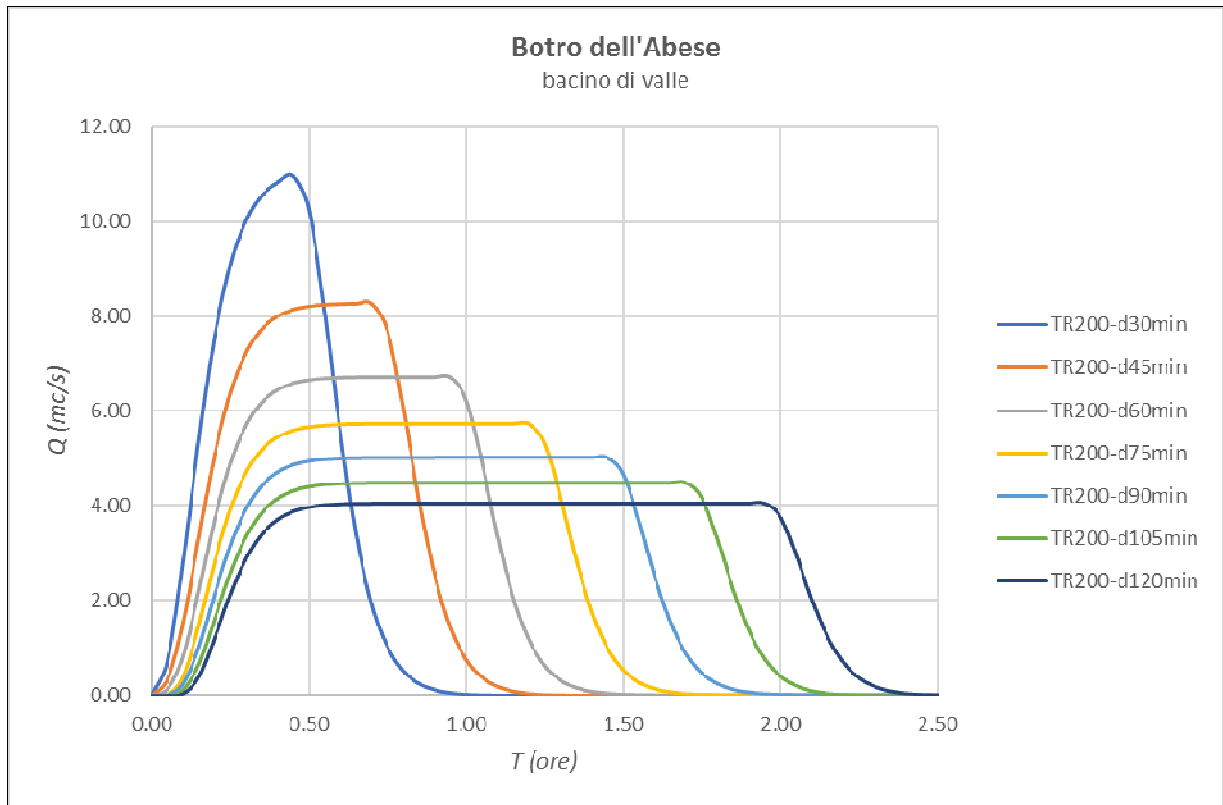


Fig. 19 – Idrogrammi di piena del bacino di valle del Botro dell'Abese per TR200

Dai precedenti idrogrammi emerge che la durata di precipitazione che massimizza la portata alla sezione di chiusura dei bacini esaminati è pari a circa 30 minuti; probabilmente per il bacino dell'affluente sinistro ed il bacino di valle la durata critica può risultare anche inferiore, ma per uniformità con il bacino di monte non sono prese in considerazione durate inferiori a 30 minuti.

La successiva figura mette a confronto il "vecchio" idrogramma duecentennale (relativo agli studi per il Regolamento Urbanistico approvato nel 2015) con il "nuovo" idrogramma appena calcolato, entrambi valutati per la rispettiva durata critica di precipitazione (40 minuti circa per il "vecchio" idrogramma, 30 minuti per il "nuovo" idrogramma).

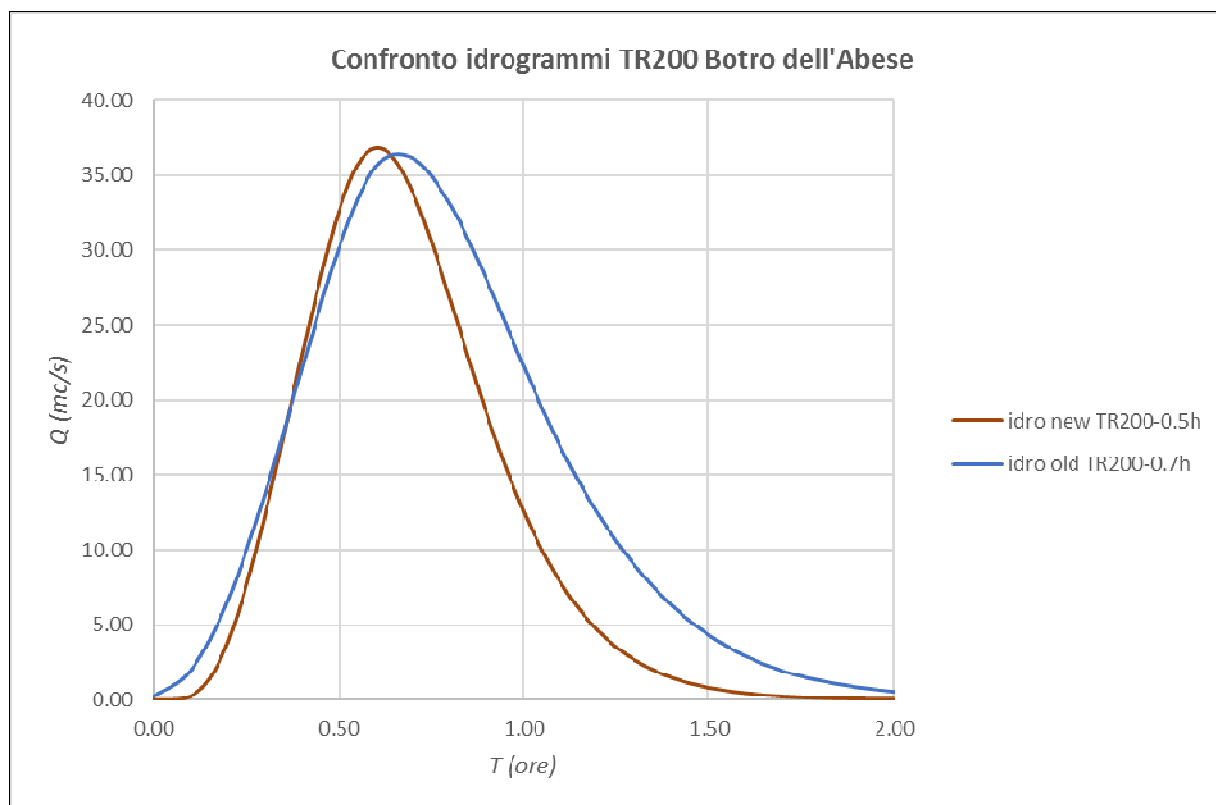


Fig. 20 – Confronto tra l'idrogramma di piena per TR200 aggiornato e quello stimato nello studio del R.U. vigente

Dalla figura precedente emerge come i due idrogrammi siano sostanzialmente identici come picco di portata.

Il "vecchio" idrogramma risulta leggermente più lungo, proprio perché riferito ad una durata di precipitazione maggiore.

E' però importante sottolineare che l'idrogramma dello studio per il R.U. vigente era calcolato sull'intero bacino del Botro dell'Abese fino alla confluenza con il Fiume Elsa, mentre al "nuovo" idrogramma vanno sommati i non trascurabili contributi del bacino dell'affluente sinistro e del bacino di valle dell'Abese.

Alla luce di ciò i valori di portata adottati nel presente studio risultano quanto mai cautelativi e maggiorati rispetto a quelli utilizzati nelle verifiche idrauliche degli anni precedenti.

3.2 Modellistica idraulica stato attuale

Il presente lavoro si basa su un approccio metodologico ormai di diffuso impiego.

Trattasi di un approfondimento grazie al quale è possibile analizzare le dinamiche idrauliche a livello di dettaglio, con precisione assai maggiore rispetto a quanto fatto a supporto dello strumento urbanistico vigente del Comune di Barberino Val d'Elsa.

Il modello idraulico relativo al Botro dell'Abese e del suo affluente sinistro è stato realizzato in moto bidimensionale, secondo lo schema operativo di seguito descritto.

Nei paragrafi che seguono sono approfondite le tematiche legate al moto bidimensionale affrontate nell'ottica della struttura operativa del codice di calcolo Mike di DHI (versione Mike Hydro 2016), utilizzato per la modellazione.

Tale codice di calcolo, di cui lo scrivente è in possesso della licenza MZ 28831, comprende i software Mike 11, Mike 21 e Mike Flood (quest'ultimo rappresenta l'accoppiamento dei primi due).

Il software Mike 11 consente la modellazione monodimensionale dell'alveo, il software Mike 21 la modellazione completamente bidimensionale dell'alveo e delle aree circostanti, mentre il software Mike Flood permette di accoppiare con "link" bidirezionali le due simulazioni.

In questo lavoro sono state implementate modellistiche accoppiate tramite Mike Flood, monodimensionali in alveo e bidimensionali nelle aree contermini, determinando di fatto le aree allagate in termini di battenti e velocità di propagazione.

Nei paragrafi successivi si riportano invece le caratteristiche tecnico scientifiche della modellistica monodimensionale e bidimensionale secondo il software Mike di DHI.

3.2.1 Modellistica monodimensionale Mike 11

MIKE 11 è un software in grado di simulare il flusso monodimensionale, stazionario e non, di fluidi verticalmente omogenei in qualsiasi sistema di canali o aste fluviali.

Sviluppato a partire dagli anni '70 dal DHI (Danish Hydraulic Institute), rappresenta lo stato dell'arte nella modellistica matematica in ambito fluviale e riferimento nell'ambito della modellistica idrodinamica monodimensionale.

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

MODULO IDRODINAMICO (HD)

Il modulo idrodinamico HD (Mike 11) è in grado di simulare il flusso idrico monodimensionale, stazionario e non, di fluidi verticalmente omogenei in qualsiasi sistema di canali o aste fluviali. Attraverso l'utilizzo di HD è possibile simulare:

1. portate laterali;
2. condizioni di corrente veloce o lenta;
3. flusso libero o rigurgitato in corrispondenza di sfioratori;
4. differenti regole operative di funzionamento di serbatoi o invasi;
5. resistenze localizzate e perdite di carico concentrate;
6. casse d'espansione;
7. condizioni di flusso quasi - bidimensionale sulle pianure alluvionali;
8. azione del vento;
9. nodi idraulici (biforcazioni e confluenze).

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

DESCRIZIONE DELLE CONDIZIONI DI MOTO SIMULATE

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

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

In funzione del tipo di problema da risolvere è possibile scegliere la descrizione del moto più appropriata.

Ognuna delle tre formulazioni consente di simulare sia sistemi idrici ramificati che reti idrauliche con maglie chiuse.

EQUAZIONI GENERALI DI DE SAINT VENANT

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

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

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

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

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

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

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

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

dove:

A = area della sezione bagnata (m^2);

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

g = accelerazione di gravità ($m s^{-2}$);

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

Q = portata (m^3/s);

R = raggio idraulico (m);

α = coefficiente di distribuzione della quantità di moto;

q = portata laterale addotta ($m^2 s^{-1}$).

SIMULAZIONE DELLE CORRENTI VELOCI CON L'APPROCCIO DELL'ONDA DINAMICA

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

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

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

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

APPROSSIMAZIONE DELL'ONDA DIFFUSIVA

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

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

Questa formulazione assicura ancora la descrizione dell'effetto di rigurgito attraverso il termine $\partial h / \partial x$.

Per ragioni di stabilità questo termine viene smorzato; ciò significa che vengono risolti soltanto fenomeni di rigurgito relativamente stazionari (confrontati con lo step di tempo utilizzato).

DESCRIZIONE IN CORRISPONDENZA DI STRUTTURE

Dal punto di vista matematico la descrizione della corrente attraverso stramazzi o soglie e sezioni trasversali strette è abbastanza simile.

Sono diversi i tipi di strutture che possono essere simulate:

Stramazzo a larga soglia

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

Relazione Q-h

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

Tombino

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

Relazione Q-t

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

Relazione $Q = A(Zj1) \cdot Zj2$

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

Strutture mobili

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

Ponti

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

RESISTENZA D'ATTRITO

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

$$\tau_r = \frac{gQQ}{C^2 AR}$$

dove C è il coefficiente di attrito di Chezy.

Secondo la formula di Strickler, lo stesso termine diventa:

$$\tau_r = \frac{gQQ}{M^2 AR^{4/3}}$$

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

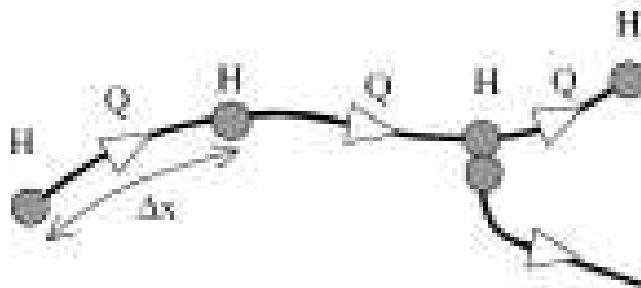
CONDIZIONI INIZIALI

Le condizioni iniziali possono essere specificate dall'utente oppure essere calcolate automaticamente. Nel secondo caso viene usata la formula di Chezy per determinare i livelli idrici e le portate da considerare all'inizio della simulazione su tutta la rete o schema idraulico.

In alternativa a queste due opzioni è possibile anche assumere come condizioni iniziali i risultati di una precedente simulazione effettuata sullo stesso schema idraulico.

METODO DI SOLUZIONE

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



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

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

Condizioni al contorno

In Mike 11 le condizioni al contorno sono distinte in esterne ed interne.

Le condizioni al contorno interne sono: legami tra punti nodali, strutture, portate interne.

Le condizioni al contorno esterne sono: valori costanti di h e Q , valori di h e Q variabili nel tempo, relazioni tra h e Q (ad es. scala di deflusso per una sezione d'alveo).

3.2.2 Modellistica bidimensionale Mike 21

Il Mike 21 è un programma modulare contenente diversi codici per la simulazione di corpi idrici per i quali sia possibile adottare l'approssimazione idrodinamica bidimensionale, piana, per fluidi verticalmente omogenei.

Il numero "21" che contraddistingue il codice indica proprio la bidimensionalità nel piano ("2") e la monodimensionalità lungo la verticale ("1").

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

MODULO IDRODINAMICO (HD)

Il modulo idrodinamico (HD) del codice Mike 21 simula le variazioni di livello e corrente in risposta alle differenti tipologie di forzanti considerate, potendo essere utilizzato da solo o come base per i calcoli effettuati dagli altri moduli disponibili.

In particolare, il modulo HD di Mike 21 permette di tenere in considerazione i seguenti fenomeni:

- flooding and drying;
- perdite di carico;
- attrito al fondo;
- forza di Coriolis;
- effetto del vento;
- gradienti di pressione barometrica;
- coperture di ghiaccio;
- effetto delle maree;
- precipitazioni/evaporazioni;
- radiation stresses;
- pozzi e sorgenti.

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

Il sistema delle equazioni di De Saint Venant è costituito dalle seguenti equazioni.

Equazione di conservazione della massa:

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

Equazione di conservazione della quantità di moto lungo x:

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

Equazione di conservazione della quantità di moto lungo y:

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

$$+\frac{h}{\rho_w} \frac{\partial p_a}{\partial y} + \frac{1}{\rho_w} \left(\frac{\partial S_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial x} \right) = 0$$

nelle quali:

$h(x,y,t)$ = profondità dell'acqua;

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

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

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

g = accelerazione di gravità;

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

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

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

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

ρ_w = densità dell'acqua;

x, y = coordinate spaziali;

t = tempo;

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

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

Il termine di turbolenza è rappresentato dagli sforzi di taglio τ che compaiono nelle equazioni di conservazione della quantità di moto lungo le direzioni x e y .

La formulazione utilizzata prende in considerazione il parametro E "eddy viscosity" che è implementato secondo due modalità:

1. dipendente dal flusso locale (nella direzione x):

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(E \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(E \frac{\partial p}{\partial y} \right)$$

2. dipendente dalla velocità locale (nella direzione x):

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

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

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

nella quale u e v sono le componenti della velocità locale, Δ è la dimensione spaziale della griglia e c_s è una costante compresa tra 0.25 e 1.

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

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

La portata entrante nell'area di calcolo viene assegnata come portata unitaria (m³/s/m) lungo la frontiera libera dalla quale entra il flusso: viene assegnata al modello la portata complessiva (m³/s) che viene poi ripartita automaticamente sui punti di calcolo della griglia.

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

Questa tecnica, detta del "soft start" consente di eliminare eventuali brusche oscillazioni iniziali della soluzione che potrebbero presentarsi per problemi di stabilità numerica.

Al termine del "soft start" la situazione ottenuta è di effettiva stazionarietà.

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

Le equazioni della conservazione della massa e della quantità di moto sono risolte alle differenze finite utilizzando il metodo ADI (Alternating Direction Implicit).

Il sistema di equazioni linearizzate che scaturisce dall'algorithm è risolto con il metodo DS (Double Sweep, Abbott, 1979).

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

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

I risultati di un'applicazione modellistica bidimensionale possono essere rappresentati con i molteplici strumenti di visualizzazione statica e dinamica a corredo dello strumento modellistico utilizzato.

Gli strumenti di post processing consentono di creare animazione 2D da esportare ed utilizzare in ambiente di lavoro esterno alla piattaforma utilizzata per il calcolo numerico.

L'utilizzo di un approccio di tipo bidimensionale, permette di indagare non solo l'intensità del fenomeno ma anche direzione e verso del vettore velocità in ogni cella della matrice.

Ad esempio per ognuno degli elementi della griglia, sono rappresentati le variazioni temporali delle seguenti variabili:

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

3.2.3 Modellistica monodimensionale-bidimensionale accoppiata Mike Flood

Come già anticipato, Mike Flood permette l'accoppiamento tra modello monodimensionale in alveo e bidimensionale nelle aree circostanti.

L'accoppiamento dei modelli di Mike Hydro River e Mike 21 è dinamico, ovvero i modelli compiono simultaneamente le loro elaborazioni, ad ogni istante di simulazione avviene uno scambio di dati, e la loro interazione è mutua e bidirezionale.

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

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

Le aste fluviali modellate con Mike Hydro River sono collegate al modello di Mike 21 attraverso tradizionali connessioni laterali (*lateral link*) o connessioni "frontali" (*standard link*); per connessioni "frontali" si intendono i casi in cui, ad esempio, un corso d'acqua si immette in un'area di invaso o, più semplicemente, i casi in cui si desidera dare continuità di deflusso, a valle di un'asta modellata con Mike Hydro River, verso un'asta rappresentata solo nella base topografica 2D.

3.2.4 Geometria e parametrizzazioni del modello idraulico del Botro dell'Abese e affluente sinistro

Il modello idraulico bidimensionale relativo al Botro dell'Abese ed il suo affluente sinistro allo stato attuale è fondato su una base topografica unica che è stata ricostruita implementando i dati del rilievo LIDAR, ove disponibile, e nuovi dati topografici frutto di un rilievo eseguito ad hoc sul tratto di monte dell'asta dell'Abese, sull'affluente sinistro e su tutta la porzione di area agricola a monte, per un totale di circa 1.500 nuovi punti battuti.

Mediante i numerosi punti rilevati è stato creato un nuovo Modello Digitale del Terreno, che è stato successivamente integrato nella base topografica del LIDAR, fino a costituire una *Bathymetry* complessiva, a maglia quadrata 1x1 mt; dal punto di vista della discretizzazione spaziale del modello 2D, questa configurazione rappresenta il massimo livello di dettaglio raggiungibile.

Il rilievo compiuto nella zona di monte ed a cavallo dello stabilimento oggetto di previsione ha consentito anche di ricavare nuove ed aggiornate sezioni del Botro dell'Abese, che risultano adesso più numerose e più precise rispetto a quelle adottate negli studi del R.U.; per la porzione di valle (ultimo tratto a valle del tombamento fino al Fiume Elsa) sono state confermate le sezioni idrauliche utilizzate in precedenza.

Inoltre sono state rilevate nuove sezioni sull'affluente sinistro dell'Abese, che non era mai stato modellato prima d'ora.

Complessivamente il Botro dell'Abese, nel modello monodimensionale d'alveo, è adesso rappresentato da n. 23 sezioni idrauliche, di cui fanno parte anche le sezioni di ingresso e uscita dei tratti tombati.

Nel modello è rappresentato mediante sezioni chiuse anche il bypass che parte parallelo al tombamento originario e poi è ricondotto nel medesimo in prossimità della S.R. n. 429, in quanto mai completato.

Anche l'affluente sinistro dell'Abese è rappresentato con n. 23 sezioni, comprese quelle di ingresso e uscita dal tombamento che sottopassa il parcheggio attualmente presente nell'area oggetto di previsione.

La seguente figura mostra, su foto aerea, la configurazione del modello idraulico monodimensionale (simulato mediante il software Mike Hydro River) con le relative sezioni idrauliche.



Fig. 21 – Schema del modello idraulico monodimensionale d'alveo del Botro dell'Abese (compreso bypass) ed affluente sinistro

Di seguito sono riportate tutte le sezioni idrauliche utilizzate secondo una numerazione analoga a quelli dei modelli di HecRas, quindi decrescente, e secondo la distanza progressiva, che nel modello idraulico col software Mike diventa l'elemento identificativo principale di ciascuna sezione (*chainage*); sono riportate anche le distanze parziali.

| da | a | distanza parziale | chainage |
|----|----|-------------------|----------|
| 26 | 25 | 151.53 | 0 |
| 25 | 24 | 53.55 | 151.53 |
| 24 | 23 | 46.21 | 205.08 |
| 23 | 22 | 84.43 | 251.29 |
| 22 | 21 | 13.26 | 335.72 |
| 21 | 20 | 7.62 | 348.98 |
| 20 | 19 | 9.67 | 356.6 |
| 19 | 18 | 17.03 | 366.27 |
| 18 | 17 | 30.89 | 383.3 |
| 17 | 16 | 16.68 | 414.19 |
| 16 | 15 | 33.55 | 430.87 |
| 15 | 14 | 44.78 | 464.42 |

| | | | |
|----|----|--------|--------|
| 14 | 13 | 25.07 | 509.2 |
| 13 | 12 | 10.64 | 534.27 |
| 12 | 11 | 28.82 | 544.91 |
| 11 | 10 | 38.52 | 573.73 |
| 10 | 9 | 157.06 | 612.25 |
| 9 | 8 | 1.25 | 769.31 |
| 8 | 7 | 141.84 | 770.56 |
| 7 | 6 | 32.62 | 912.4 |
| 6 | 5 | 10.01 | 945.02 |
| 5 | 4 | 0.81 | 955.03 |
| 4 | 3 | 57.24 | 955.84 |

1013.08**Tab. 1** – Sezioni idrauliche Botro dell'Abese, tratto fino alla confluenza con il Fiume Elsa (sono omesse le sezioni di ingresso ed uscita del bypass)

| da | a | distanza parziale | chainage |
|----|-------|----------------------|----------|
| 23 | 22 | 47.61 | 0 |
| 22 | 21 | 34.21 | 47.61 |
| 21 | 20 | 29.51 | 81.82 |
| 20 | 19 | 43.41 | 111.33 |
| 19 | 18 | 23.91 | 154.74 |
| 18 | 17 | 20.64 | 178.65 |
| 17 | 16 | 20.53 | 199.29 |
| 16 | 15 | 11.59 | 219.82 |
| 15 | 14 | 9.79 | 231.41 |
| 14 | 13 | 50.64 | 241.2 |
| 13 | 12 | 8.32 | 291.84 |
| 12 | 11 | 7.41 | 300.16 |
| 11 | 10 | 23.49 | 307.57 |
| 10 | 9 | 10.44 | 331.06 |
| 9 | 8 | 9.88 | 341.5 |
| 8 | 7 | 3.83 | 351.38 |
| 7 | 6 | 1.78 | 355.21 |
| 6 | 5 | 0.55 | 356.99 |
| 5 | 4 | 3.56 | 357.54 |
| 4 | 3 | 6.19 | 361.1 |
| 3 | 2 | 5.08 | 367.29 |
| 2 | 1 | 7.09 | 372.37 |
| 1 | confl | 4.43 | 379.46 |

383.89**Tab. 2** – Sezioni idrauliche Affluente sinistro del Botro dell'Abese, tratto fino alla confluenza con l'Abese

Complessivamente le aste studiate sono di lunghezza pari a circa 1.000 mt per l'Abese e 380 mt per l'affluente sinistro.

Di seguito è mostrata la base topografica del modello idraulico bidimensionale, ovvero la cosiddetta *Bathymetry* a maglia quadrata con celle 1x1 mt; sono riportate anche le aste fluviali studiate.

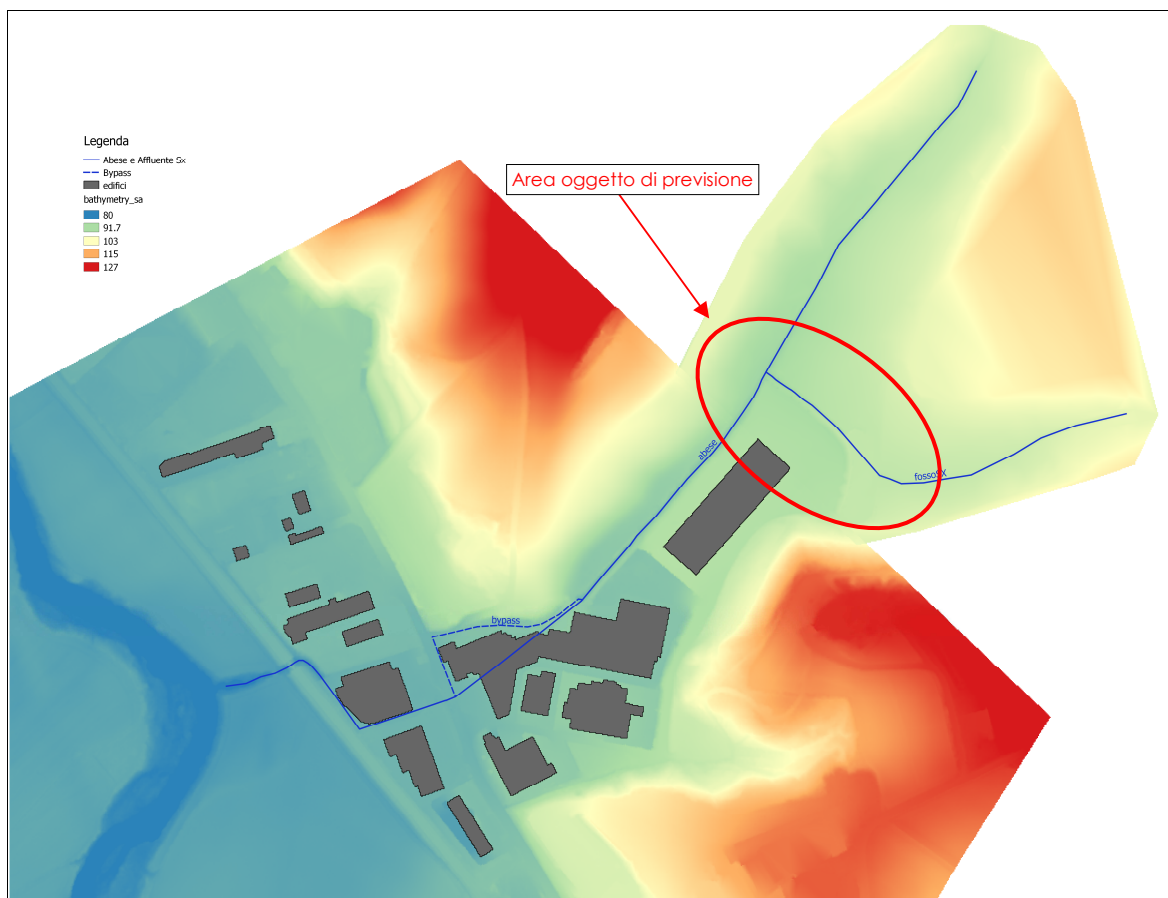


Fig. 22 – *Bathymetry* del modello bidimensionale relativo allo stato attuale

Nella *Bathymetry* sono stati inseriti come volumi chiusi anche gli edifici presenti lungo le aste studiate; ad essi, i cui poligoni sono stati "rasterizzati" ed introdotti nella base 2D, è stato assegnato il valore di *Land Value*, di cui alla Tab. 3, quindi si comportano da barriere impermeabili al deflusso, indirizzando e amplificando cautelativamente battenti e dinamiche idrauliche.

La composizione geometrica del modello accoppiato con il software Mike Flood necessita della definizione dei link bidirezionali con cui sono messi in comunicazione alvei e base topografica.

Nel presente caso, lungo tutti tratti a cielo aperto delle aste modellate, è stato ricostruito in uno *shpfile* l'andamento delle sommità arginali e dei cigli di sponda; tali polilinee sono lette dal software come limite oltre il quale i volumi si spostano dall'alveo verso il piano campagna adiacente, o viceversa. La quota di sormonto di sommità arginali o di sponda è ricavata alternativamente dalla quota locale della *Bathymetry* o dalla quota del profilo di sponda tracciata dal modello d'alveo con interpolazione tra la quota della sezione a monte e della sezione a valle del punto del potenziale sormonto. Il software può anche valutare entrambe le quote e scegliere, prima di attivare il trasferimento da o verso il corso d'acqua, quella maggiore; nel presente modello è stata adottata quest'ultima soluzione.

E' stato rappresentata con apposito collegamento idraulico con la *Bathymetry*, anche il pozzetto a cielo aperto di collegamento tra il tratto di monte e di valle del tombamento originario, posto in prossimità della S.R. n. 429.

Detta interruzione del tombamento determina, come di seguito descritto, i principali problemi di allagamento per l'area di valle, per rigurgito del tratto tombato entrato in pressione.

La seguente tabella, infine, racchiude le principali parametrizzazioni e caratteristiche del modello idraulico bidimensionale.

| Parametri o condizioni di calcolo | Descrizione | Valore e note |
|--|---|---|
| Simulation period | Durata della simulazione dall'inizio dell'evento | 2 |
| Time step interval | Avanzamento temporale della simulazione | 0.1 sec |
| Boundary | Condizioni al contorno | Livello 82.80 m slm alla confluenza con il Fiume Elsa (per TR30), livello 84.00 m slm per TR200 |
| Flood and dry | Livelli di attivazione delle celle: fino al dying depth la cella è secca, tra il dying depth e il flooding depth la cella è bagnata ma il fluido non si sposta, oltre il flooding depth inizia il trasferimento nelle celle adiacenti | d.d. 0.03 m f.d. 0.05 m |
| Initial surface elevation | Livello iniziale sull'area di studio | Nessun livello sulla Bathymetry, 2 cm di livello e 0.05 mc/s nell'alveo dei corsi d'acqua |
| Eddy viscosity | Coefficiente di viscosità turbolenta | 0.5 mq/s |
| Bed resistance | Scabrezza media del piano campagna: da formula di Manning | 0.033 m ^{1/3} /s (area prevalente urbanizzata) |
| Land value | Valore massimo di quota della Bathymetry considerato come valore nullo ed esterno all'area di calcolo (questo valore è stato assegnato anche ai letti dei corsi d'acqua del modello 1D e agli edifici) | 140 m s.l.m. |

Tab. 3 –Individuazione dei principali parametri e condizioni di calcolo del modello bidimensionale

Per il modello idraulico del Botro dell'Abese e del proprio affluente sinistro allo stato attuale sono state eseguite 3 diverse simulazioni idrauliche, sia per l'evento di piena con tempo di ritorno 30 anni che 200 anni, con durate di precipitazione variabili (d=30 min, critica per l'Abese, d=45 min e d=60 min), inserendo nel modello per i 3 bacini in esame (bacino di monte e di valle dell'Abese e bacino dell'affluente sinistro) gli idrogrammi di cui alle precedenti Figg. 14-19.

3.3 Considerazioni sulla pericolosità idraulica di stato attuale

Lo studio idrologico-idraulico aggiornato del Botro dell'Abese e del proprio affluente sinistro ha consentito di aggiornare il quadro conoscitivo relativamente alla pericolosità idraulica dell'intera zona produttiva attraversata da questo corso d'acqua.

Il modello idraulico di cui al precedente paragrafo ha prodotto, in termini di aree allagate, risultati diversi e più accurati rispetto alle perimetrazioni risultanti dagli studi idraulici precedenti.

La seguente figura mostra detti risultati, frutto dell'inviluppo delle aree allagate nei 3 diversi scenari di durata di pioggia, sia per TR30 che per TR200.

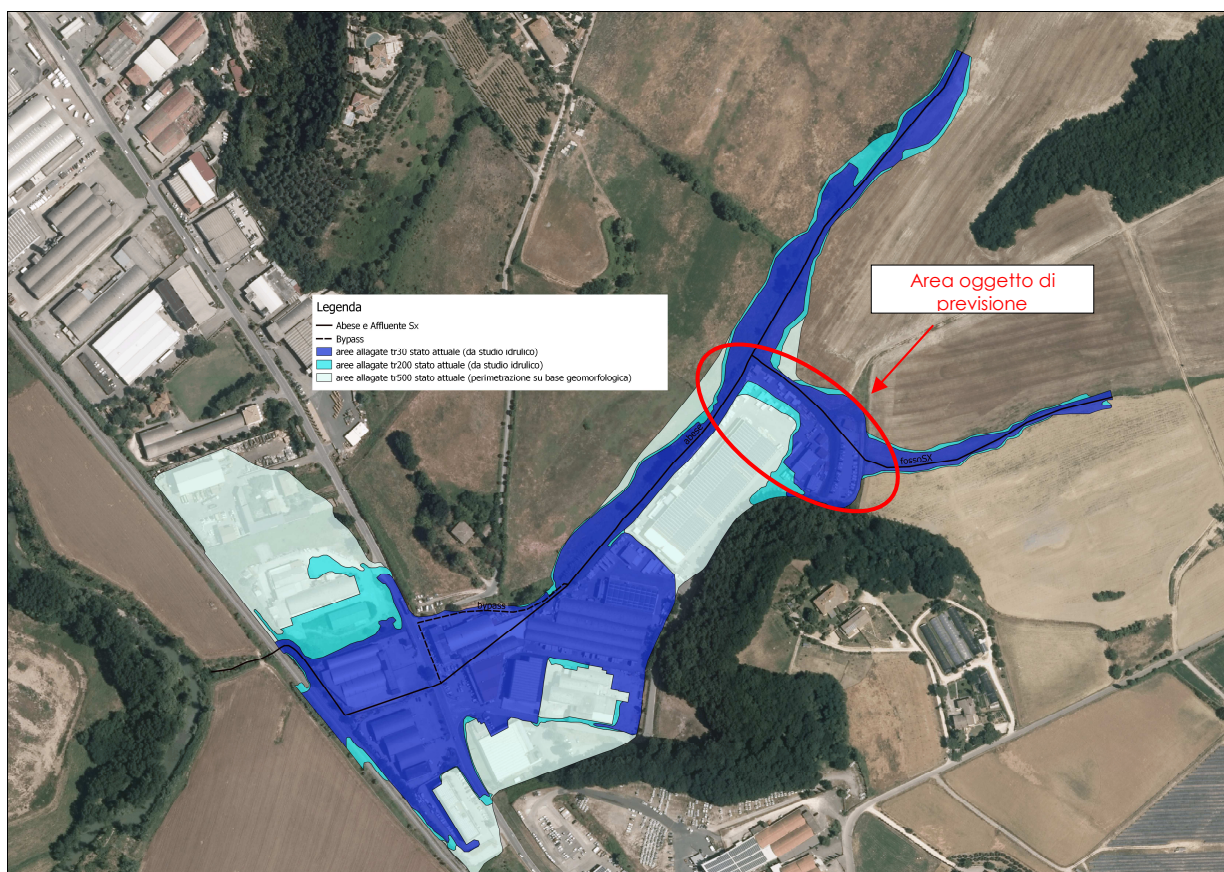


Fig. 23 – Inviluppo delle aree allagate del Botro dell'Abese e affluente sinistro

Nella precedente figura le perimetrazioni trentennali e duecentennali sono integrate con i perimetri allagabili per TR500; questi ultimi non sono relativi ad uno scenario modellato, bensì scaturiscono da una revisione e correzione delle cartografie del R.U. vigente.

Riguardo alle dinamiche idrauliche di allagamento allo stato attuale si possono fare le seguenti considerazioni:

- Per l'area di previsione risulta più significativa l'interferenza con le esondazioni dell'affluente sinistro, che determina allagamenti sia per l'evento con TR30 che TR200;
- Il Botro dell'Abese risulta esondare sullo stabilimento esistente solo parzialmente, nella parte più bassa del piazzale in prossimità della confluenza con l'affluente;
- In linea generale, il Botro dell'Abese, nel suo tratto di monte, è contenuto in alveo o in una ristretta fascia a ridosso di esso; lungo l'attuale stabilimento industriale posto a quota rialzata, il livello idrometrico non eccede la sommità della sponda sinistra;

- La principale criticità si verifica in corrispondenza dell'imbocco del tombamento originale e del bypass mai completato, ove un intenso fenomeno di rigurgito determina la fuoriuscita di volumi che aggirano i fabbricati posti a quote più basse e si propagano verso valle;
- A valle, lungo la S.R. n. 429 è situato un pozzetto a cielo aperto che interrompe la continuità del tombamento originario, causando la fuoriuscita di ingenti volumetrie a cavallo della viabilità per effetto del flusso in transito nel tratto di monte del tombamento, entrato in pressione;
- La quasi totalità dei volumi esondati confluiscono verso il rilevato ferroviario di valle; l'attraversamento della ferrovia risulta sufficientemente ampio, ma i livelli locali sono tali da generare un parziale sormonto del rilevato stesso (localmente più depresso).

I fenomeni appena descritti erano già desumibili dalle verifiche idrauliche precedenti, ma adesso sono confermati da una modellistica che è in grado di riprodurre in modo più appropriato fenomeni di propagazione di questa natura.

Il nuovo modello consente di definire non solo le aree allagate ma anche i battenti di esondazione. Di seguito sono mostrati due estratti delle aree allagate per TR30 e TR200 con relativi battenti massimi di esondazione.



Fig. 24 – Involuppo dei massimi battenti del Botro dell'Abese e affluente sinistro per TR30

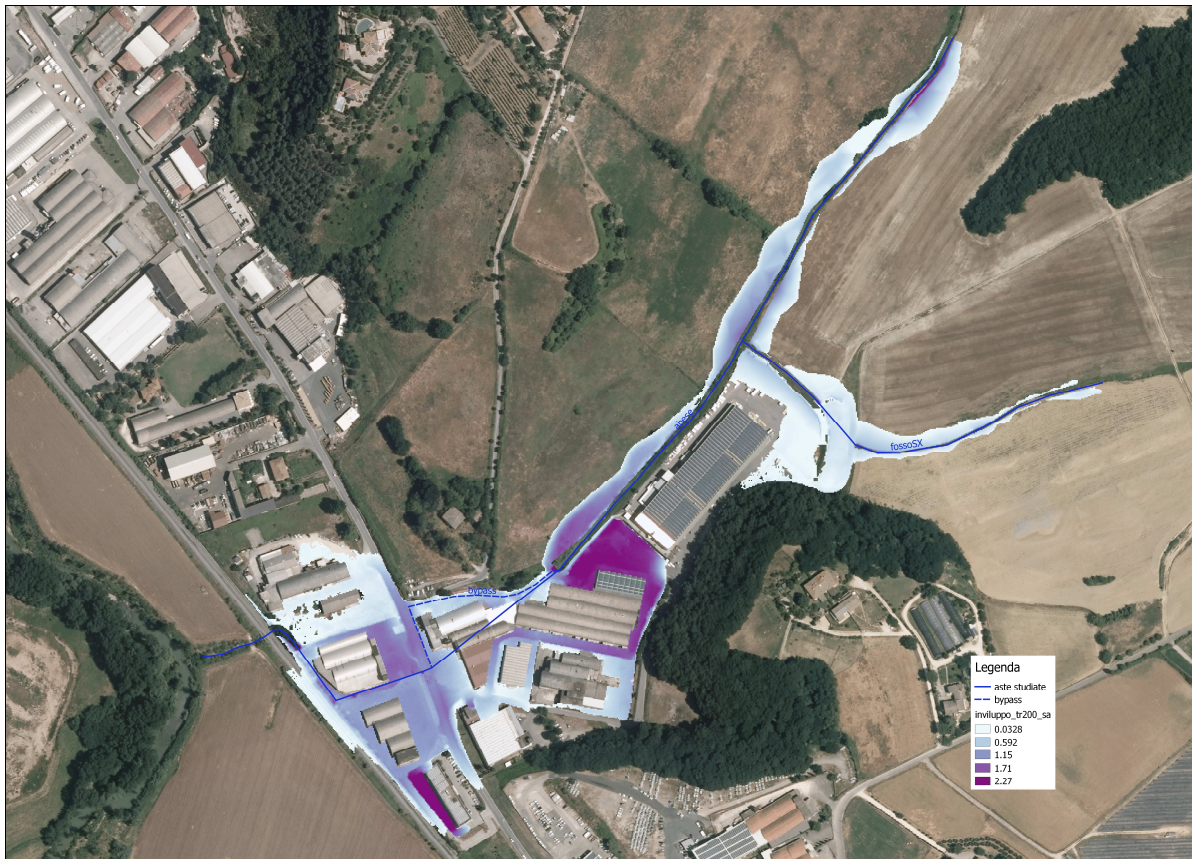


Fig. 25 – Inviluppo dei massimi battenti del Botro dell'Abese e affluente sinistro per TR200

Le precedenti figure mettono in evidenza battenti di allagamento piuttosto significativi soprattutto nel piazzale antistante il fabbricato posto in prossimità dell'imbocco del tombamento di monte e in tutta l'area a cavalla della S.R. n. 429, fino alla ferrovia, ove confluiscono tutti i volumi fuoriusciti da monte.

La Tav. 1 – Planimetria delle aree allagate allo stato attuale per TR30 e TR200 anni allegata al presente studio mostra in modo più chiaro le perimetrazioni di Fig. 23.

Nel successivo capitolo sono illustrate le verifiche idrauliche effettuate con l'obiettivo di ridefinire il dimensionamento delle opere di mitigazione finalizzate alla compatibilità idraulica della previsione urbanistica e, più in generale, alla mitigazione del rischio idraulico sul bacino dell'Abese sulla base del nuovo scenario di pericolosità idraulica di stato attuale.

3.4 Fattibilità idraulica della previsione e verifiche idrauliche stato di progetto

Come anticipato in conclusione del precedente paragrafo, rispetto alle precedenti perimetrazioni, la pericolosità idraulica della zona industriale posta lungo l'asta dell'Abese risulta adesso cambiata, soprattutto nella porzione di monte a cavallo della nuova previsione urbanistica.

Questa divergenza nasce dal maggior livello di dettaglio e appropriatezza della nuova modellistica idraulica e dall'integrazione dello studio sull'affluente sinistro del Botro dell'Abese.

L'attuale strumento urbanistico poneva (in virtù dei precedenti studi) la realizzazione della briglia a bocca tarata sul Botro dell'Abese a monte dell'area produttiva come condizione necessaria per l'attuazione di nuove previsioni edificatorie in tutte le aree interessate da pericolosità idraulica I.3 e I.4 lungo l'asta dell'Abese.

Alla luce dei nuovi studi, sull'area oggetto di previsione non grava più una pericolosità I.3 dovuta all'esondazione del Botro dell'Abese, bensì una pericolosità I.4 derivante dagli allagamenti causati dall'affluente sinistro per eventi di piena con tempi di ritorno trentennali o superiori.

Pertanto è necessario rivedere la tipologia delle opere di mitigazione idraulica da realizzarsi lungo il Botro dell'Abese, e quindi ridefinire la fattibilità idraulica della previsione.

Sono stati quindi ipotizzati, e successivamente verificati con appositi modelli idraulici di progetto, nuovi interventi di mitigazione del rischio, che fossero maggiormente funzionali alla risoluzione delle interferenze idrauliche non solo per l'area di previsione ma anche per tutta l'area produttiva interessata dagli allagamenti del Botro dell'Abese (in analogia con quanto fatto a supporto del vigente strumento urbanistico).

Questi aspetti sono trattati nel presente paragrafo.

INTERVENTO N. 1: Intervento di laminazione sull'affluente sinistro del Botro dell'Abese

Relativamente all'area di previsione, si è preso atto che la pericolosità idraulica principale derivi adesso dalla cattiva regimazione dell'affluente sinistro dell'Abese piuttosto che da esondazione diretta dell'Abese stesso; tale affluente sinistro risulta infatti rigurgitare in corrispondenza dell'imbocco del suo tratto tombato, innalzando il proprio livello idrometrico e quindi riversando ingenti volumetrie dapprima sul parcheggio e successivamente sul piazzale dello stabilimento esistente.

Per prevenire questo tipo di dinamica è necessario prevedere la realizzazione di una piccola opera di sbarramento a monte dell'attuale tombamento che consenta di invasare e laminare le portate in transito, per restituirle in modo controllato al tratto terminale fino alla confluenza con il Botro dell'Abese, risolvendo di fatto i problemi di esondazione.

Con l'occasione si prevede anche di spostare verso monte (sul confine dell'area di previsione) il tratto terminale del fosso, riportandolo a cielo aperto.

Questa tipologia di intervento è stata dimensionata mediante apposita modellistica idraulica di progetto.

Una porzione dell'area di previsione (quella più a Est) è quindi destinata alla realizzazione di tale opera idraulica, per la quale il proponente dovrà procedere alla redazione di apposito progetto esecutivo, conseguire la relativa autorizzazione idraulica, realizzare e infine collaudare l'opera.

In aggiunta a tale intervento dovrà essere previsto, come anticipato, lo spostamento del fosso, o comunque lo "stombamento" del medesimo, nonché la protezione mediante rialzamento dell'argine sinistro o del piano di posa del nuovo fabbricato, sulla sponda sinistra del Botro dell'Abese lungo l'area di ampliamento, al fine di evitare possibili ingressioni d'acqua nella zona edificata.

La realizzazione di tale protezione lungo l'Abese non richiede il reperimento di volumi di compenso in quanto i volumi eventualmente sottratti si intendono compensati attraverso la laminazione delle portate dell'affluente sinistro prodotta dall'invaso a monte dello stabilimento.

Quanto appena descritto è stato oggetto di una serie di verifiche idrauliche successive finalizzate ad accertare l'efficacia e la compatibilità della soluzione proposta.

A partire dal modello idraulico di stato attuale è stato implementato un primo modello idraulico di progetto.

Lavorando in ambito urbanistico e non strettamente progettuale, tale modello idraulico si fonda su alcune assunzioni semplificative:

- a. Come scenario di riferimento per le opere in progetto è stato assunto quello relativo all'evento di piena con tempo di ritorno pari a 200 anni e durata di precipitazione di 30 minuti, ovvero lo scenario duecentennale critico in termini di picco di piena per Abese ed affluente sinistro;
- b. E' stata considerata come condizione di valle del Botro dell'Abese alla confluenza col Fiume Elsa non più quella utilizzata per lo stato attuale (Elsa parzialmente piena) ma semplicemente una condizione di naturale deflusso di moto uniforme (*natural flow*); in questo modo si è potuto esaminare al meglio gli effetti idraulici dell'introduzione delle nuove opere nel modello;
- c. Non è stato simulato lo spostamento né lo "stombamento" del fosso, rimandando questa verifica e questo dimensionamento a fasi successive di progettazione; del resto, pur spostando il fosso, un attraversamento sulla strada di campo dovrà comunque essere presente anche nello scenario di progetto, quindi il nuovo vaso si svuoterà comunque attraverso una luce a battente;
- d. Le sezioni di monte del fosso non sono state modificate, e mantengono i propri collegamenti idraulici laterali (*lateral link*) con le aree adiacenti (adesso sbassate per la presenza dell'opera di vaso).

Fatte queste premesse, le modifiche effettivamente apportate al modello di stato attuale risultano le seguenti:

- A. Modifica della base topografica (*Bathymetry*) con introduzione del nuovo sbarramento e dello scavo per l'opera di vaso a monte;
- B. Riduzione del diametro della sezione dell'attuale tombamento (futura bocca tarata in uscita dall'vaso) da $\Phi=1300$ mm a $\Phi=1000$ mm;
- C. Riproduzione dell'innalzamento della sommità della sponda sinistra del Botro dell'Abese lungo il piazzale parzialmente allagabile in prossimità dell'attuale confluenza con il fosso; questa modifica geometrica, in termini di modellistica, consta semplicemente dell'eliminazione della connessione in sinistra idraulica lungo il tratto di sponda o argine attualmente sormontato.

La modellazione relativa allo stato di progetto con la realizzazione di sbarramento ed vaso sull'affluente dell'Abese mostra come tale intervento, unitamente alle opere integrative di protezione lungo il Botro dell'Abese, riesca a mettere in sicurezza l'area di previsione rispetto agli eventi alluvionali di entrambi i corsi d'acqua.

Di seguito è mostrato un estratto delle aree allagate duecentennali allo stato di progetto, che evidenzia chiaramente quanto appena affermato.

Tenuto conto del fatto che la modellazione non prevede lo spostamento del fosso verso Nord, nel caso si dovesse procedere con questa nuova inalveazione il progetto esecutivo di tali opere dovrà prevederne la verifica e dovrà estendere la protezione lungo l'Abese fino al nuovo confine dell'U.T.O.E.

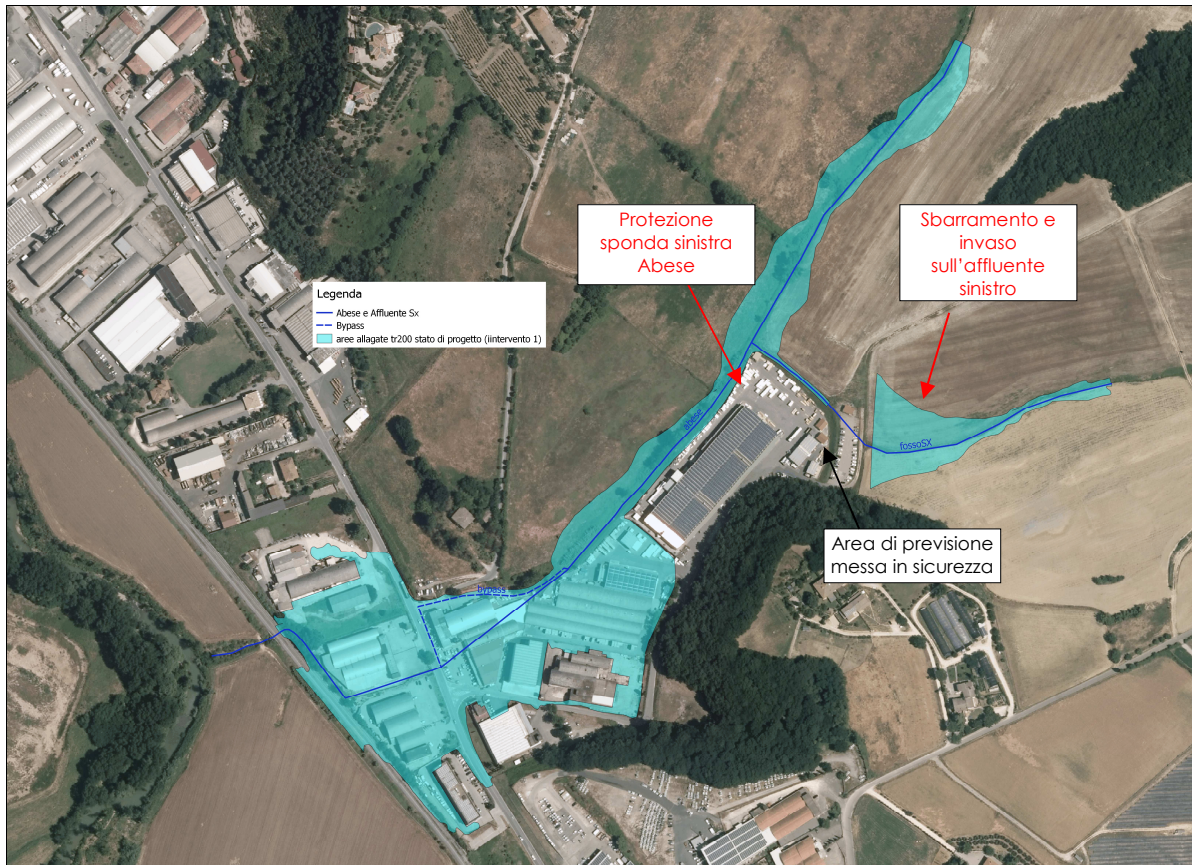


Fig. 26 – Aree allagate del Botro dell'Abese e affluente sinistro per TR200 allo stato di progetto (intervento 1)

Come per il modello di stato attuale, è di seguito riportata anche la carta con i battenti idrometrici allo stato di progetto per TR200 (si ricorda che l'evento con TR30 non è stato implementato negli scenari progettuali).



Fig. 27 – Massimi battenti allo stato di progetto per TR200 – intervento 1

La Tav. 2 - Planimetria delle aree allagate allo stato di progetto per TR200 anni – Intervento di laminazione sull'affluente sinistro del Botro dell'Abese allegata al presente studio idrologico-idraulico di supporto alla Variante esplicita ancor meglio le aree allagate nello scenario di progetto nonché riporta le caratteristiche dimensionali minime delle opere.

Alla luce di questa verifica, si conferma che per la fattibilità idraulica della previsione urbanistica della zona D1 in Via Colombo - Grillaie la realizzazione dell'intervento appena descritto rappresenta la condizione essenziale per l'attuazione della previsione stessa; l'agibilità delle nuove edificazioni sarà quindi subordinata all'avvenuto collaudo di tali opere di mitigazione idraulica.

INTERVENTO N. 2: completamento del bypass sul Botro dell'Abese

Non tanto per la fattibilità della nuova previsione urbanistica, per la quale sono comunque confermate le condizioni di cui sopra nonché quanto previsto dall'art. 42 e art. 64 delle N.T.A. del R.U. così come modificati con la presente Variante, quanto per la mitigazione della pericolosità idraulica lungo tutta l'asta del Botro dell'Abese, sono state condotte apposite verifiche idrauliche al fine di aggiornare il dimensionamento della briglia a bocca tarata già prevista dall'attuale strumento urbanistico sul corso d'acqua, ed individuare eventuali ulteriori interventi mitigativi.

Analizzando le dinamiche di esondazione allo stato attuale si è osservato che la maggior criticità lungo l'intera asta è causata dal sottodimensionamento del tombamento originale e dal mancato completamento del bypass, che, nella conformazione attuale, non garantiscono lo smaltimento delle portate di piena neanche per l'evento trentennale; per di più l'interruzione del tombamento nel pozzetto a cielo aperto a fianco della S.R. n. 429 individua proprio un punto di "sfogo" del flusso proveniente dal tombamento di monte, ormai entrato in pressione.

Ciò detto, per la mitigazione del rischio dell'area produttiva, al di là del primo intervento finalizzato esclusivamente all'attuazione della previsione urbanistica di monte, si prevede di realizzare le seguenti opere:

- Completamento del bypassa dalla S.R. n. 429 fino al fosso di guardia della ferrovia;
- Congiunzione dei due tratti del tombamento originale in corrispondenza del pozzetto lungo la S.R. n. 429 mediante chiusura dello stesso.

Tali opere sono da considerarsi prioritarie rispetto alla realizzazione della briglia a bocca tarata di seguito descritta.

Questa ipotesi di intervento, unitamente all'opera di invaso lungo l'affluente sinistro dell'Abese a monte dell'area di previsione, è stata oggetto di apposita verifica idraulica. Le relative aree allagate di progetto sono mostrate nella Tav. 3 - *Planimetria delle aree allagate allo stato di progetto per TR200 anni – Intervento di laminazione sull'affluente sinistro del Botro dell'Abese e completamento del bypass sul Botro dell'Abese*, in cui sono riportati anche i dimensionamenti degli interventi.

Dal punto di vista geometrico, la verifica idraulica di questo secondo intervento (accorpato con il primo sull'affluente sinistro), ha comportato un semplice adeguamento del modello.

Oltre alle modifiche di cui ai punti da **A.** a **C.** precedenti, si sono compiuti le seguenti ulteriori modifiche geometriche:

- D.** Eliminazione dell'attuale bypass ed introduzione nel modello 1D del nuovo bypass rappresentato da una nuova asta a sezione circolare chiusa avente lo stesso diametro e lo stesso tracciato di quello attuale fino alla S.R. n. 429, ma recapitante direttamente nel tratto a cielo aperto dell'Abese lungo la ferrovia;
- E.** Chiusura del pozzetto aperto tra il tratto di monte e quello di valle del tombamento originario mediante eliminazione del link con il modello 2D.

Questa nuova modellazione di progetto si fonda sulle medesime ipotesi semplificative applicate per il primo intervento, di cui ai precedenti punti da **a.** a **d.**

Come nel caso precedente è di seguito mostrato un estratto delle aree allagate per TR200 in questo secondo scenario progettuale.

La figura successiva mostra invece i battenti idrici duecentennali di progetto.

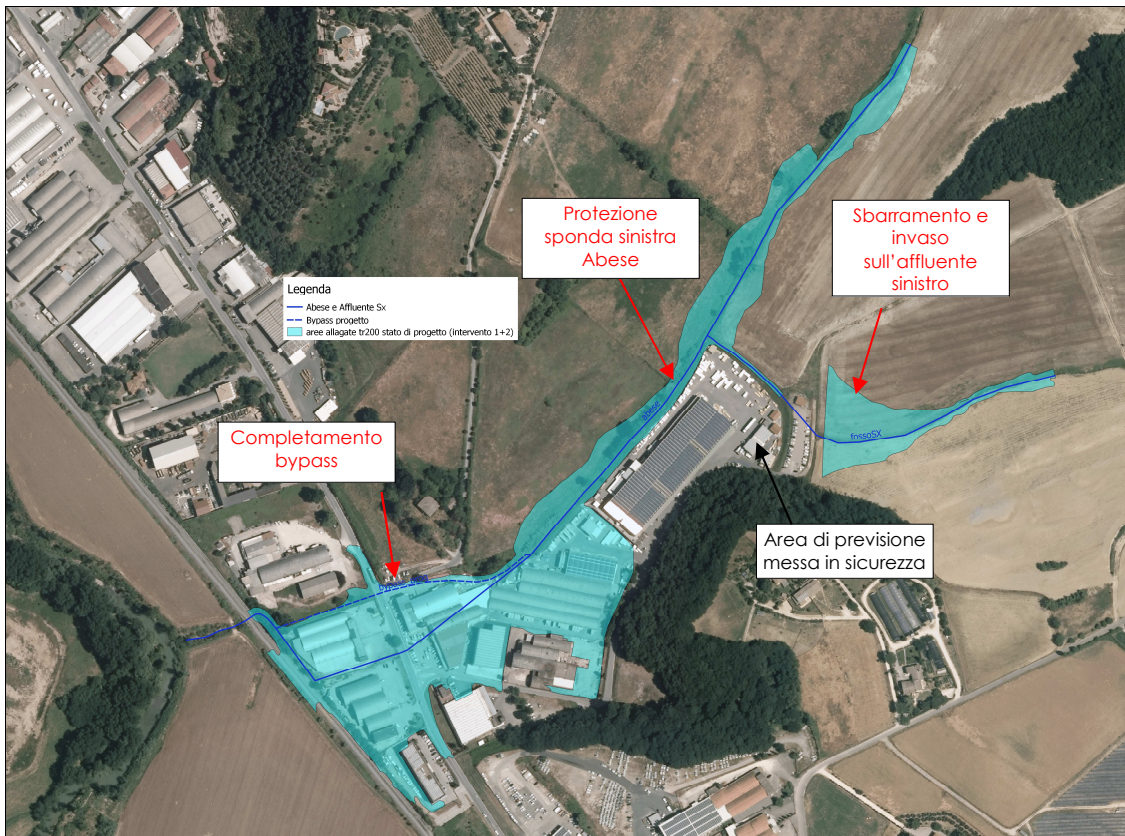


Fig. 28 – Aree allagate del Botro dell' Abese e affluente sinistro per TR200 allo stato di progetto (intervento 1+2)



Fig. 29 – Massimi battenti allo stato di progetto per TR200 – intervento 1+2

Analizzando i risultati di questa modellazione di progetto, si osserva che il completamento del bypass e l'eliminazione del pozzetto aperto tra tratto di monte e tratto di valle del tombamento originale contribuiscano in modo apparentemente non molto significativo alla riduzione del rischio per la zona di valle; il contributo di questi interventi è più evidente in termini di riduzione dei battenti piuttosto che in termini di riduzione dell'estensione delle aree allagate; ingenti volumetrie risultano ancora fuoriuscire in corrispondenza degli ingressi di tombamento e bypass.

Del resto questo intervento non garantisce alcuna laminazione di portata, ma favorisce esclusivamente il deflusso verso valle, ed i benefici si manifestano soprattutto per eventi di piena di minor portata rispetto all'evento duecentennale.

Questa opera risulta però fondamentale per dare compiutezza ed efficacia alle opere di laminazione di monte; trattandosi di un intervento relativamente oneroso e comunque necessario, si ritiene debba avere priorità rispetto alla più complessa realizzazione della briglia a bocca tarata sul Botro dell'Abese.

INTERVENTO N. 3: briglia a bocca a tarata sul Botro dell'Abese

La terza ed ultima fase degli interventi finalizzati alla messa in sicurezza del bacino di valle del Botro dell'Abese è rappresentata dalla realizzazione della briglia a bocca tarata a monte dell'area produttiva.

Tale opera è stata ricalibrata mediante apposita modellistica idraulica di progetto e riposizionata più a monte di quella attualmente prevista dallo strumento urbanistico.

La tipologia di intervento resta però la medesima.

Trattasi di un'opera di sbarramento trasversale del corso d'acqua, da realizzarsi mediante un setto in elevazione in c.a. poggiato su una platea e pali di fondazione dotato di scarico di fondo e soglia di sfioro in sommità; tale manufatto sarà esteso all'alveo e ad una prima fascia laterale, oltre la quale sarà ammorsato in un rilevato in terra che proseguirà alle due estremità fino a ritrovare la quota dei versanti.

Le caratteristiche dimensionali di questa opera, stimate a livello di massima, sono riportate nella Tav. 4 - *Planimetria delle aree allagate allo stato di progetto per TR200 anni – Intervento di laminazione sull'affluente sinistro del Botro dell'Abese, completamento del bypass e briglia a bocca a tarata sul Botro dell'Abese*, in cui, come si evince dal titolo, sono mostrate anche le aree allagate duecentennali nello scenario complessivo di intervento.

Dal punto di vista modellistico la briglia è stata introdotta in modo estremamente semplificato, ovvero ipotizzando la presenza di un semplice sbarramento lineare dotato di luce di fondo. Le modifiche alla geometria risultano dunque le seguenti:

- F.** In alveo è stata duplicata, a monte e valle dell'asse dello sbarramento, la sezione idraulica su cui esso insiste, ed è stato inserito un *culvert* a rappresentare lo scarico di fondo, di sezione quadrata 1x1 mt;
- G.** Esternamente all'alveo attivo sono state innalzate le quote della *Bathymetry* lungo l'asse di sbarramento della briglia fino ad una quota fittizia non sormontabile.

In questa modellazione di progetto sono state confermate le assunzioni semplificate di cui ai precedenti punti da **a.** a **d.**

Le seguenti figure mostrano le aree allagate ed i battenti idrici nello scenario duecentennale del progetto completo, ovvero comprensivo di opera di laminazione sull'affluente sinistro dell'Abese, di completamento del bypass nel tratto di valle e di briglia a bocca tarata nel tratto di monte del corso d'acqua.

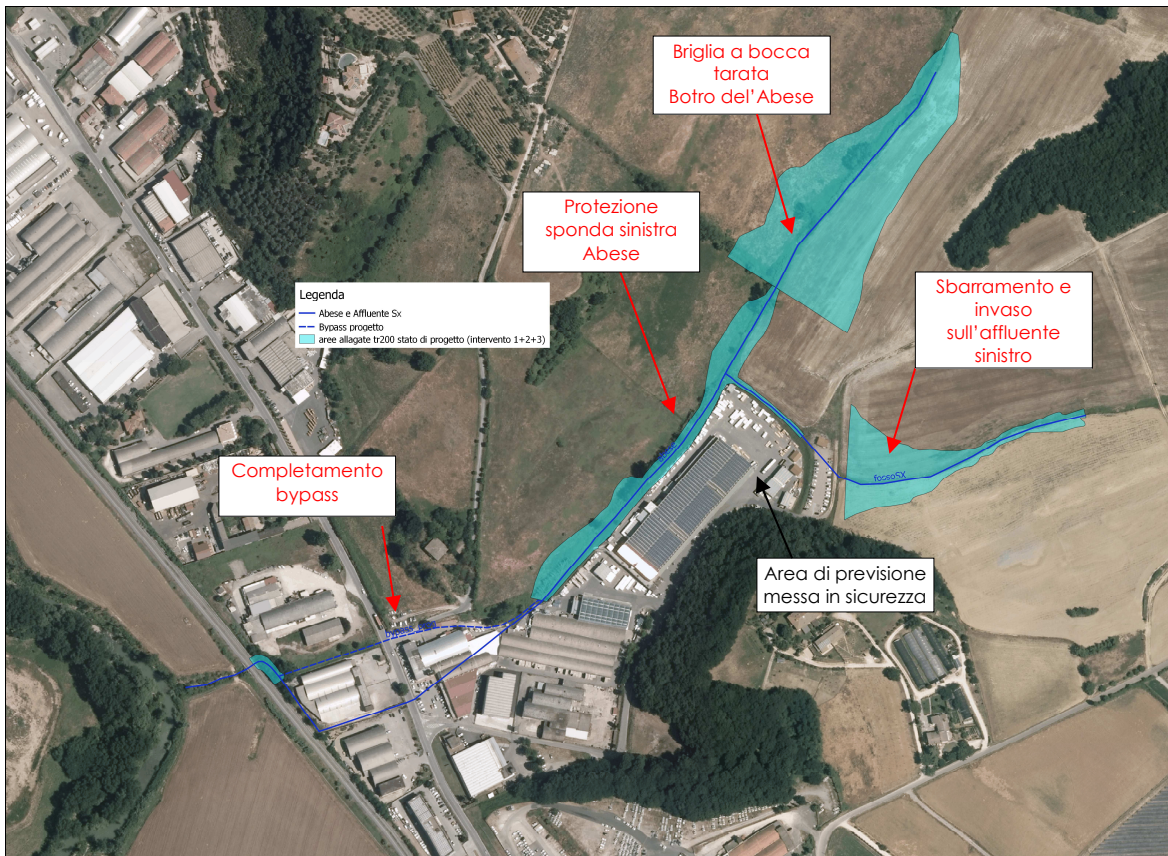


Fig. 30 – Aree allagate del Botro dell'Abese e affluente sinistro per TR200 allo stato di progetto (intervento 1+2+3)



Fig. 31 – Massimi battenti allo stato di progetto per TR200 – intervento 1+2+3

Al di là degli ovvi approfondimenti necessari per le fasi progettuali successive, secondo questo primo dimensionamento di massima, l'insieme di opere proposte garantirebbe la messa in sicurezza dell'area industriale attraversata dal Botro dell'Abese.

Come anticipato, la fattibilità idraulica della nuova previsione di ampliamento dell'area produttiva nel tratto di monte è conseguita mediante la realizzazione del primo intervento sull'affluente sinistro ed opere accessorie.

Restano però valide, anche per l'area in oggetto, le condizioni previste dall'art. 64 delle N.T.A., che si applica a tutte le aree interessate da pericolosità idraulica molto elevata I.4 o elevata I.3 anche a seguito dell'aggiornamento della carta di pericolosità idraulica con il presente lavoro. Per tutti i futuri interventi edificatori in queste aree, i soggetti interessati saranno tenuti a contribuire, nelle forme da stabilirsi mediante apposite convenzioni o accordi tra privati, Comune e Regione Toscana, alla realizzazione di tali opere di mitigazione idraulica. Pertanto la fattibilità dei futuri interventi edificatori ricadenti in I.3 o I.4 resta subordinata alla realizzazione delle opere di mitigazione suddette.

4. ZONA F4 E AREA D2 NELLA STRADA DI CHIANO - DROVE

Lungo la strada di Chiano, in loc. Drove, vi sono due previsioni urbanistiche poste in adiacenza, rappresentate da un parcheggio pubblico F4, di cui viene ridotta l'estensione, ed un lotto produttivo D2.

Nel secondo caso non si tratta di una vera e propria previsione in quanto l'area è già pianificata a destinazione produttiva. Come indicato nella precedente Fig. 6, su di essa persiste però una pericolosità idraulica I.4, ed I.3.

Per la sola area D2 adesso indicata con la sigla D2/8 è eseguita un'apposita verifica idraulica, come anticipato nel capitolo 2, per definire in modo più preciso la pericolosità della zona.

Infatti, come già accennato, la pericolosità idraulica molto elevata di questa porzione di territorio in loc. Drove deriva dallo studio redatto a supporto dell'attuale strumento urbanistico; la modellistica adottata in quell'occasione non risulta del tutto appropriata per rappresentare fenomeni di allagamento localizzato o di ristagno in aree urbane prive di reticolo idraulico, tant'è che ne sono scaturite pericolosità idrauliche piuttosto cautelative.

Il presente approfondimento non ha l'obiettivo di modificare il quadro conoscitivo della pericolosità idraulica della zona in loc. Drove, ma solo quella di supportare la fattibilità dell'intervento nell'area adesso denominata D2/8, prevedendo specifiche opere di mitigazione idraulica.

I paragrafi che seguono illustrano quindi gli approfondimenti modellistici effettuati e definiscono le opere di regimazione idraulica previste affinché gli interventi nelle aree F4 e D2/8 risultino pienamente attuabili ai sensi del D.P.G.R. 53R/2011.

4.1 Modellistica idrologica ed idraulica

A supporto della modifica cartografica n. 2 (zona a parcheggio pubblico F4 e area D2 nella strada di Chiano – Drove) è stato quindi predisposto un nuovo modello idrologico-idraulico volto ad indagare le effettive dinamiche del reticolo minore e di drenaggio urbano.

Per fare ciò è stata compiuta dapprima un'analisi delle precipitazioni e delle possibili portate del versante collinare di Chiano afferenti alla zona in esame, dopodiché è stato ricostruito un modello bidimensionale di questa porzione di territorio, in cui sono stati inseriti anche alcuni elementi e collegamenti idraulici di drenaggio urbano.

In questo paragrafo è illustrata dal punto di vista tecnico e metodologico la modellistica idrologica ed idraulica approntata.

4.1.1 Idrologia

Per quanto riguarda gli aspetti idrologici si è reso necessario innanzitutto definire il bacino che insiste sull'area in esame. Esso è composto da una porzione della collina di Chiano e dalla porzione pianeggiante ove si trova l'area produttiva Drove.

La porzione pianeggiante è coperta dal rilievo LIDAR, mentre sulla porzione collinare il LIDAR non risulta disponibile.

L'intenzione originale era quella di creare un modello puramente bidimensionale basato sulla base topografica del LIDAR in cui inserire un input idrologico omogeneo sull'area di lavoro rappresentato da un'altezza di pioggia ricavata dai dati regionali delle L.S.P.P.

Osservando però che una parte di bacino non è coperta dal LIDAR, è stato necessario calcolare in separata sede il contributo idrologico della collina come portata, ed inserirlo in corrispondenza degli impluvi riconoscibili; infatti, come anticipato, in questa zona non è individuato un vero e proprio reticolo idrografico, ma solo una serie di piccoli impluvi che intercettano le acque lungo il versante collinare.

L'area di studio ed il bacino collinare non coperto dal LIDAR sono mostrati nella successiva figura.



Fig. 32 – Inquadramento dell'area di studio

L'area di lavoro (bacino pianeggiante) è tracciata considerando tutto il territorio potenzialmente interessato dai flussi provenienti dalla collina; la superficie complessiva risulta pari a circa 0.40 kmq.

Invece il bacino collinare ha una superficie pari a circa 0.20 kmq.

In confine tra il bacino collinare ed il bacino pianeggiante coincide con il limite oltre il quale non è più disponibile il rilievo LIDAR, come mostra la successiva figura.

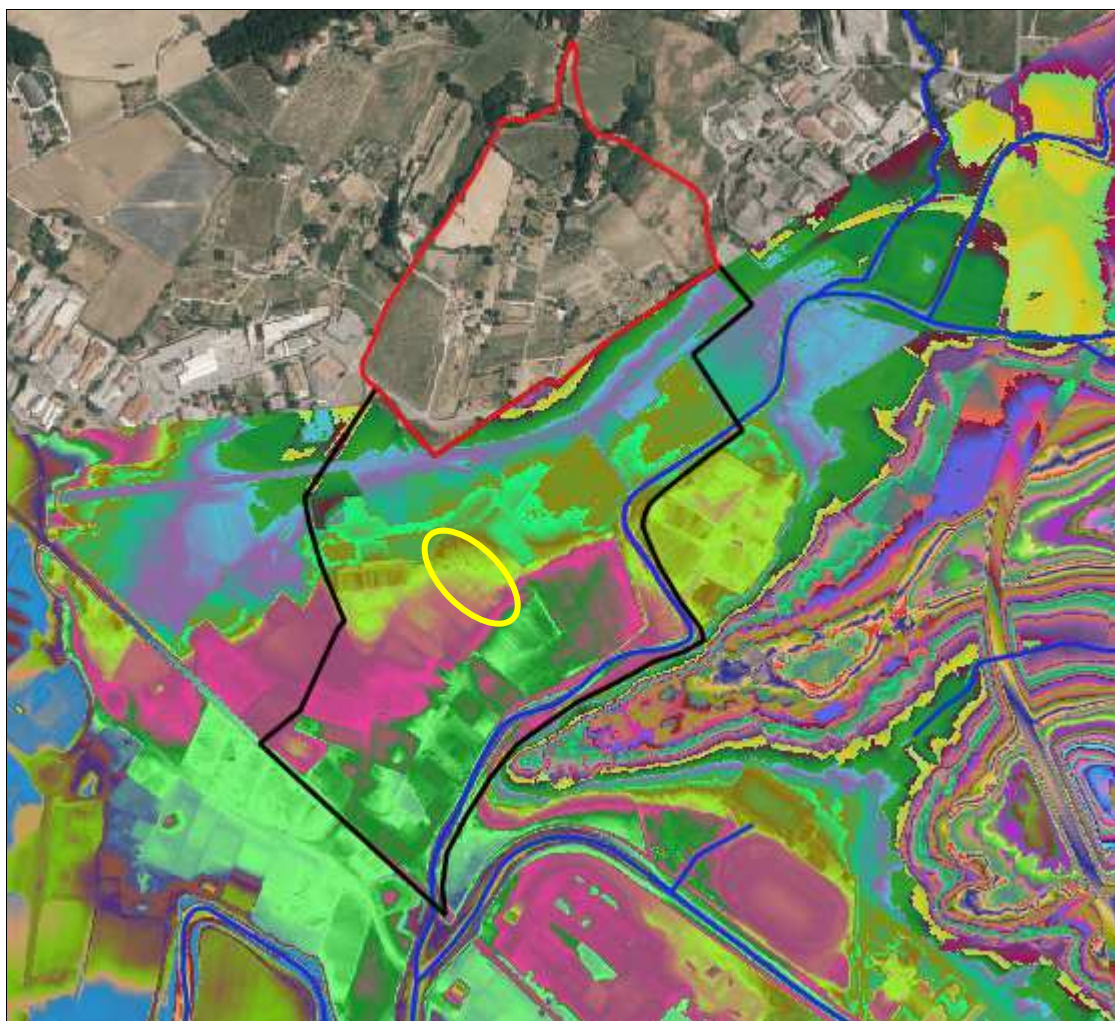


Fig. 33 – Disponibilità del rilievo LIDAR nella zona di studio

Una volta definiti i bacini in esame, sono stati estratti i relativi valori caratteristici dei parametri a e n delle linee segnalatrici regionali, scegliendone, tra quelli ricadenti sui bacini di interesse, i valori più cautelativi.

Nel caso di TR200, per il bacino di valle risulta $a=68.522$ e $n=0.28$, mentre per il bacino di monte $a=68.474$ e $n=0.282$.

Nel caso di TR30, per il bacino di valle risulta $a=49.24$ e $n=0.255$, mentre per il bacino di monte $a=49.206$ e $n=0.256$.

Di conseguenza si stimano, per differenti durate di precipitazione, le seguenti altezze di pioggia omogenee sui due bacini:

| bacino | TR30 | | | | TR200 | | | |
|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | $d=15\text{ min}$ | $d=30\text{ min}$ | $d=45\text{ min}$ | $d=60\text{ min}$ | $d=15\text{ min}$ | $d=30\text{ min}$ | $d=45\text{ min}$ | $d=60\text{ min}$ |
| Bacino di valle | 34.59 | 41.27 | 45.76 | 49.24 | 46.45 | 56.42 | 63.21 | 68.52 |
| Bacino di monte | 34.51 | 41.21 | 45.71 | 49.21 | 46.35 | 56.34 | 63.15 | 68.47 |

Tab. 4 – Altezze di pioggia sui bacini in esame per TR30 e TR200 e diverse durate di precipitazione

Ai fini della modellazione, in considerazione delle dimensioni ridotte dei bacini ed in analogia a quanto fatto negli studi di supporto dal vigente strumento urbanistico, si considera critico, per entrambi i bacini, lo scenario di precipitazione di durata 30 minuti.

Le altezze di pioggia di cui alla precedente tabella sono altezze "lorde", cioè corrispondono alla quantità d'acqua effettivamente piovuta sul territorio.

Tale precipitazione deve essere inizialmente ridotta a quella realmente efficace, ovvero quella che, al netto delle perdite per infiltrazione ed immagazzinamento superficiale, contribuisce al deflusso.

Per fare ciò si è fatto riferimento al metodo SCS, che fornisce un'espressione per la stima della pioggia depurata.

Sui due bacini di studio è stato calcolato il valore medio del *Curve Number*, necessario per la stima delle perdite, a partire dai dati di uso del suolo e geopedologici della Regione Toscana.

La seguente figura mostra l'uso del suolo sull'area di studio, da Uso e Copertura del Suolo - Regione Toscana, 2013.

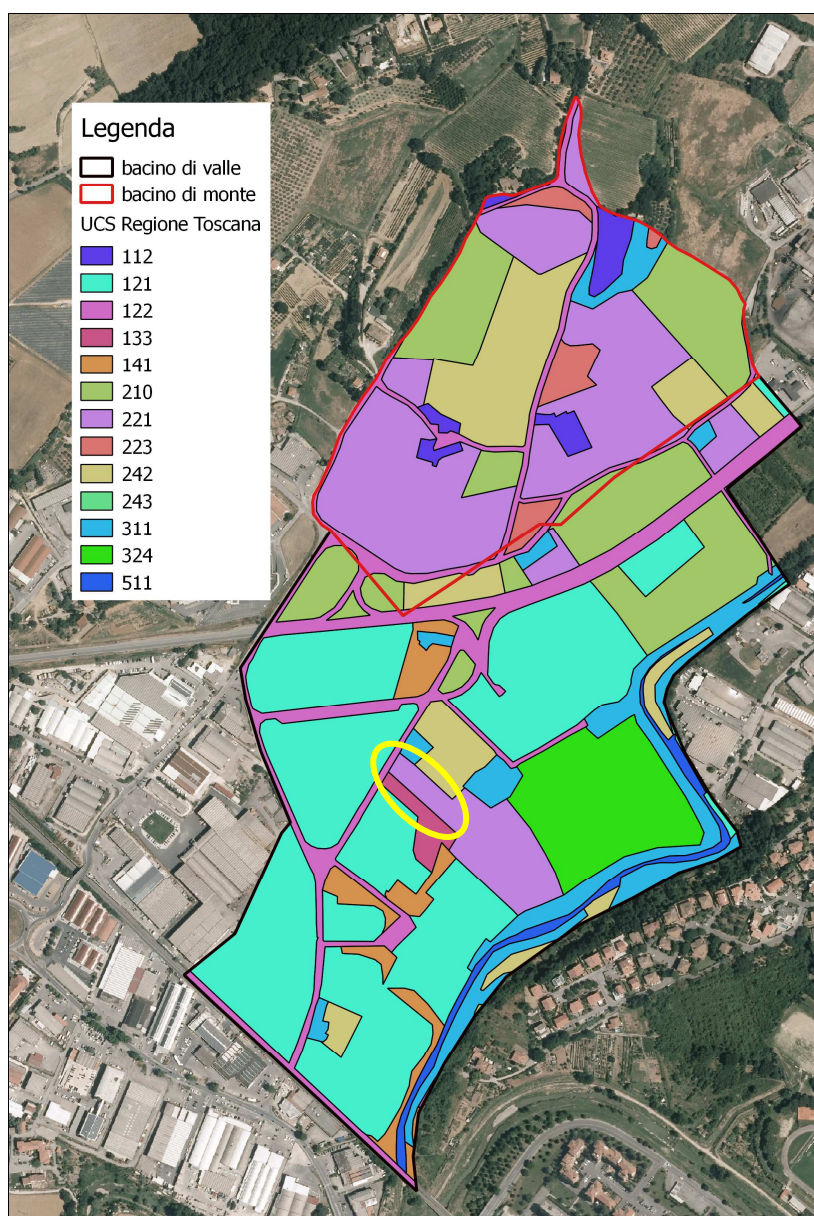


Fig. 34 – Estratto dell'uso e copertura del suolo della RT, anno 2013, sull'area di studio (con relativi codici)

La figura successiva mostra invece la tipologia di suoli classificati in funzione delle proprie caratteristiche di permeabilità, secondo la suddivisione in classi del metodo SCS; tali informazioni provengono dal DataBase Geopedologico della Regione Toscana.

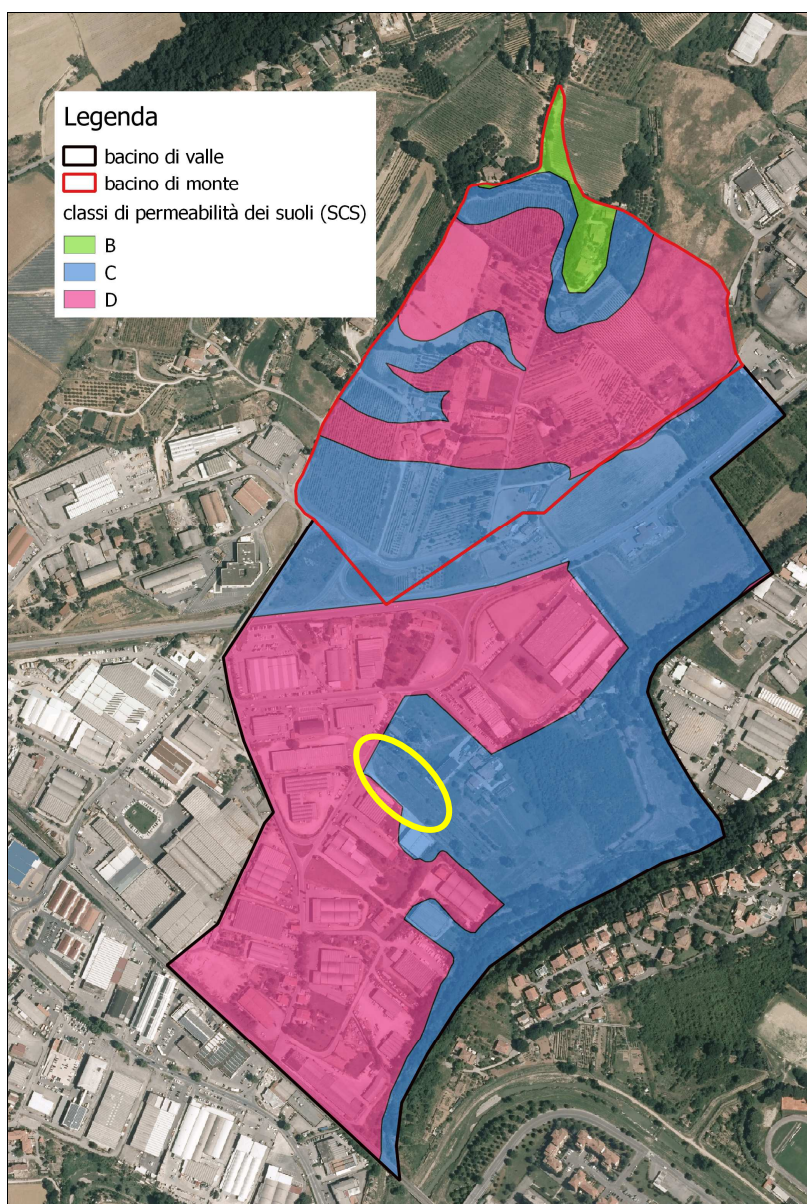


Fig. 35 – Classi di permeabilità dei suoli secondo il metodo SCS secondo il DB Geopedologico della RT

Dalla figura precedente si evince che i suoli che costituiscono il bacino in esame sono classificati in prevalenza come suoli C (poco permeabili) o suoli D (quasi impermeabili), e questo dà la misura di come i coefficienti di afflusso possano essere, in questa zona, piuttosto elevati.

Incrocando adesso i dati di uso del suolo e permeabilità dei terreni di cui alle figure precedenti si ottengono i valori di *Curve Number* per ciascuna sottoarea.

Per fare ciò è sufficiente assegnare i valori di *CN* secondo la seguente tabella di parametrizzazione fornita con lo studio *Implementazione del modello distribuito per la Toscana MOBIDIC* nell'ambito dell'accordo di collaborazione scientifica tra Regione Toscana e Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli Studi di Firenze (2014).

| Corine LIVELLO 3 | SCS-CN per diversi HSG | | | | Rif. USDA 1986 |
|--|------------------------|----|----|----|---|
| | A | B | C | D | |
| 111 - Tessuto urbano continuo | 89 | 92 | 94 | 95 | Commercial and business (85% imp.) |
| 112 - Tessuto urbano discontinuo | 77 | 85 | 90 | 92 | 1/8 acre or less (town houses) (65% imp.)/small> |
| 121 - Unità industriali o commerciali | 81 | 88 | 91 | 93 | Industrial (72% imp.) |
| 122 - Reti di strade e binari e territori associati | 98 | 98 | 98 | 98 | Paved parking lots, roofs, driveways, etc. |
| 123 - Aree portuali | 98 | 98 | 98 | 98 | Paved parking lots, roofs, driveways, etc. |
| 124 - Aeroporti | 98 | 98 | 98 | 98 | Paved parking lots, roofs, driveways, etc. |
| 131 - Luoghi di estrazioni di minerali | 76 | 85 | 89 | 91 | Gravel (including right of way) |
| 132 - Discariche | 81 | 88 | 91 | 93 | Industrial (72% imp.) |
| 133 - Luoghi di costruzione | 77 | 86 | 91 | 94 | Newly graded areas (pervious areas only, no vegetation) |
| 141 - Aree di verde urbano | 49 | 69 | 79 | 84 | Fair condition (grass cover 50 to 75%) |
| 142 - Strutture di sport e tempo libero | 68 | 79 | 86 | 89 | Poor condition (grass cover <50%) |
| 211 - Seminativi non irrigati | 61 | 73 | 81 | 84 | Contoured (C) |
| 212 - Suolo permanentemente irrigato | 67 | 78 | 85 | 89 | Straight row (SR) |
| 213 - Risale | 62 | 71 | 78 | 81 | Contoured & terraced (C&T) |
| 221 - Vigneti | 76 | 85 | 90 | 93 | Crop residue cover |
| 222 - Frutteti e frutti minori | 43 | 65 | 76 | 82 | Woods—grass combination (orchard or tree farm) |
| 223 - Oliveti | 43 | 65 | 76 | 82 | Woods—grass combination (orchard or tree farm) |
| 231 - Pascoli | 49 | 69 | 79 | 84 | Pasture, grassland, or range—continuous forage for grazing. |
| 241 - Colture annuali associate a colture permanenti | 61 | 73 | 81 | 84 | Small grain |
| 242 - Coltivazione complessa | 61 | 73 | 81 | 84 | Small grain |
| 243 - Suoli principalmente occupati dall'agricoltura | 61 | 73 | 81 | 84 | Small grain |
| 244 - Aree di agro-silvicoltura | 43 | 65 | 76 | 82 | Small grain |
| 311 - Foreste a latifoglie | 36 | 60 | 73 | 79 | Woods |
| 312 - Foreste a conifere | 36 | 60 | 73 | 79 | Woods |
| 313 - Foreste miste | 36 | 60 | 73 | 79 | Woods |
| 321 - Praterie naturali | 49 | 69 | 79 | 84 | Pasture, grassland, or range—continuous forage for grazing. |
| 322 - Lande e brugheria | 49 | 69 | 79 | 84 | Pasture, grassland, or range—continuous forage for grazing. |
| 323 - Vegetazione sclerofila | 35 | 56 | 70 | 77 | Brush—brush-weed-grass mixture with brush the major element |
| 324 - Transizione suolo boscoso/arbusti | 35 | 56 | 70 | 77 | Brush—brush-weed-grass mixture with brush the major element |
| 331 - Spiagge, dune e piani di sabbia | 46 | 65 | 77 | 82 | 12% imp. |
| 332 - Roccia nuda | 96 | 96 | 96 | 96 | Artificial desert landscaping |
| 333 - Aree scarsamente vegetate | 63 | 77 | 85 | 88 | Natural desert landscaping (pervious area only) |
| 334 - Aree bruciate | 63 | 77 | 85 | 88 | Natural desert landscaping (pervious area only) |
| 335 - Ghiacciai e nevi perenni | 98 | 98 | 98 | 98 | Impervious surfaces, water bodies |
| 411 - Paludi interne | 98 | 98 | 98 | 98 | Impervious surfaces, water bodies |
| 412 - Torbiere | 98 | 98 | 98 | 98 | Impervious surfaces, water bodies |
| 421 - Paludi di sale | 98 | 98 | 98 | 98 | Impervious surfaces, water bodies |
| 422 - Galine | 98 | 98 | 98 | 98 | Impervious surfaces, water bodies |
| 423 - Piani intertidali | 98 | 98 | 98 | 98 | Impervious surfaces, water bodies |
| 511 - Corsi d'acqua | 98 | 98 | 98 | 98 | Impervious surfaces, water bodies |
| 512 - Corpi d'acqua | 98 | 98 | 98 | 98 | Impervious surfaces, water bodies |
| 521 - Lagune costiere | 98 | 98 | 98 | 98 | Impervious surfaces, water bodies |
| 522 - Estuari | 98 | 98 | 98 | 98 | Impervious surfaces, water bodies |
| 523 - Mare | 98 | 98 | 98 | 98 | Impervious surfaces, water bodies |

Tab. 5 – Tabella di assegnazione dei valori di CN in funzione di uso del suolo e classi di permeabilità

I valori di cui alla precedente tabella si riferiscono a condizioni medie di umidità (o saturazione) dei suoli, il cosiddetto CN (II).

Il metodo consente di applicare un correttivo al valore di CN (II) in base alle condizioni effettive di umidità dei suoli; si tratta di passare ad un valore inferiore di CN, ovvero CN (I), nel caso di suolo asciutto, oppure ad un valore di CN superiore, ovvero CN (III), in caso di suolo saturo.

Trattandosi di uno studio a carattere ricognitivo piuttosto che uno studio di aggiornamento del quadro conoscitivo, si è preferito adottare valori di *CN* maggiormente cautelativi, ovvero passare da *CN (II)* a *CN (III)*.

Ciò è stato possibile semplicemente risolvendo la seguente relazione empirica:

$$CN (III) = 23 CN (II) / (10 + 0.13 CN(II))$$

La seguente figura mostra quindi la distribuzione dei valori del *Curve Number* in condizioni di suolo saturo sull'area di studio.

La media pesata di tali valori risulta pari a 93.80 per il bacino di valle e 94.10 per il bacino di monte.

Questi sono i parametri adottati nelle formulazioni che seguono, finalizzate alla depurazione delle piogge "lorde" sui due bacini.

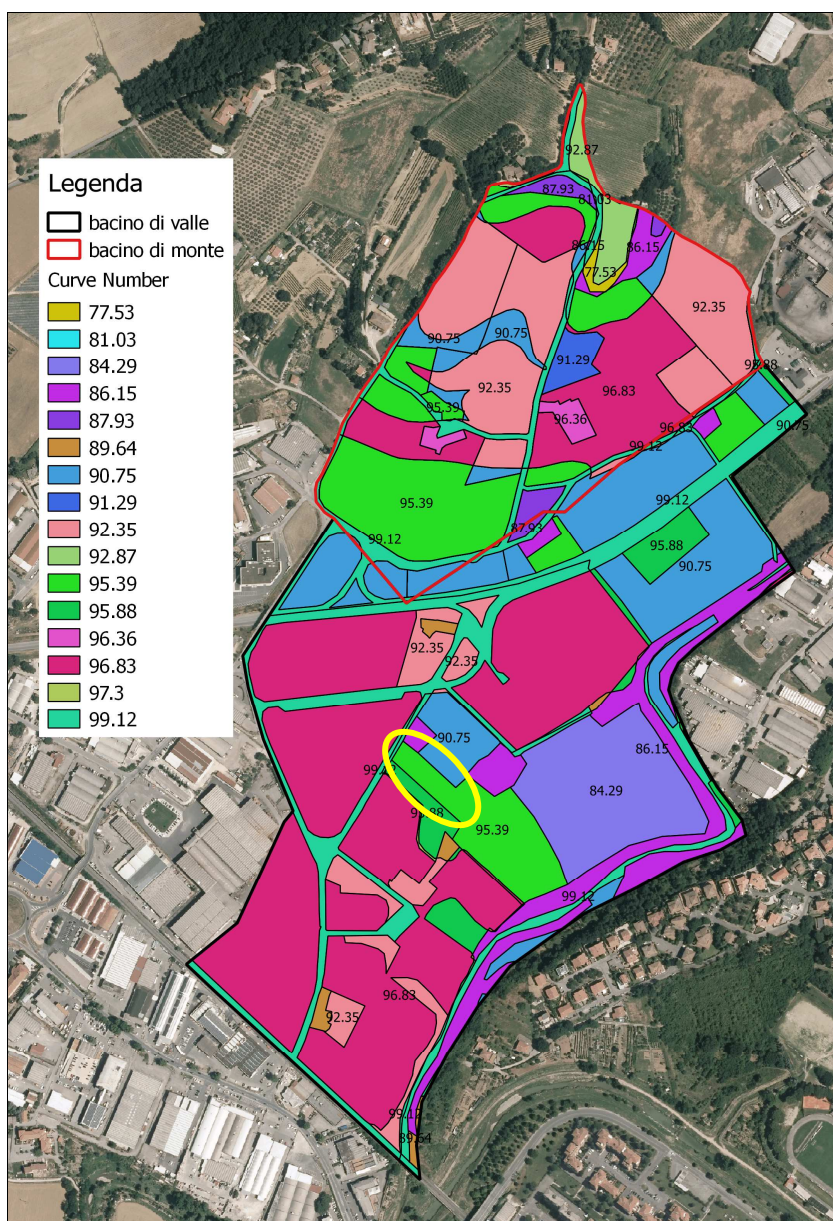


Fig. 36 – Distribuzione dei valori di *CN (III)* sull'area di studio

Secondo il metodo del *Curve Number* la precipitazione efficace è calcolata secondo la seguente formula:

$$P_e = P_n^2 / P_n + S \quad (\text{mm}) \quad (1)$$

in cui

$$P_n = P - IA \quad (\text{mm}) \quad (2)$$

$$IA = k_{IA} \cdot S \quad (\text{mm}) \quad (3)$$

$$S = 25.4 (1000/CN - 10) \quad (4)$$

La (1) è risolta assegnando K_{IA} il valore di 0.2, a CN i valori di CN (III) precedentemente indicati (pari a 93.80 per il bacino di valle e 94.10 per il bacino di monte) e a P le precipitazioni "lorde" medie sull'area di studio, ovvero pari a 41.27 mm e 41.21 mm (rispettivamente per il bacino di valle e quello di monte nello scenario trentennale con durata di pioggia di 30 minuti), o pari a 56.42 mm e 56.34 mm (rispettivamente per il bacino di valle e quello di monte nello scenario duecentennale con durata di pioggia sempre di 30 minuti).

Così facendo si ottengono le seguenti altezze medie di precipitazione "netta", o efficace, sui due bacini di studio.

| bacino | TR30 | TR200 |
|-----------------|-----------------|-----------------|
| | <i>d=30 min</i> | <i>d=30 min</i> |
| Bacino di valle | 26.28 | 40.31 |
| Bacino di monte | 29.49 | 43.67 |

Tab. 6 – Altezze di pioggia "nette" (mm) sui bacini in esame per TR30 e TR200 e $d=30$ minuti

I relativi coefficienti di afflusso sono mostrati nella seguente tabella; i valori oscillano tra 0.64 e 0.81, il che significa che circa il 65-80% dei volumi piovuti sull'area di studio si trasformano in volumi di deflusso.

| bacino | TR30 | TR200 |
|-----------------|-----------------|-----------------|
| | <i>d=30 min</i> | <i>d=30 min</i> |
| Bacino di valle | 0.64 | 0.71 |
| Bacino di monte | 0.72 | 0.78 |

Tab. 7 – Coefficienti di afflusso sui bacini in esame per TR30 e TR200 e $d=30$ minuti

Per quanto riguarda il bacino di valle, ovvero quello coperto dal rilievo LIDAR, l'analisi idrologica si conclude qui; nel modello idraulico bidimensionale è inserita questa altezza di pioggia su tutta l'area di studio per i tempi di ritorno e durata di pioggia considerati.

In realtà l'input idrologico è implementato non tanto come altezza di pioggia, bensì come intensità di pioggia costante durante l'arco dell'evento. Nel caso in esame, trattandosi di evento di durata pari a 30 minuti, sono state inserite intensità di pioggia (mm/h) di valore doppio delle altezze di Tab. 6.

Per quanto riguarda invece gli input idrologici derivanti dalla collina, non potendo distribuire la pioggia sul modello (il versante collinare non è rappresentato dal LIDAR), si è reso necessario un surplus di calcolo per trasformare le altezze di pioggia del bacino di monte appena stimate in portate di piena, da assegnare agli impluvi "in ingresso" all'area modellata di valle.

Per fare ciò si è fatto ricorso al metodo della corrivazione, che consente di trasformare gli afflussi meteorici in deflusso superficiali, ottenendo gli idrogrammi di piena desiderati.

Il procedimento adottato è il medesimo di quello su cui erano basati gli studi redatti a supporto dell'attuale strumento urbanistico e che hanno determinato le perimetrazioni di pericolosità idraulica che adesso si intende verificare.

Nel metodo della corrivazione deve essere preliminarmente valutato il tempo di corrivazione del bacino in esame.

Trattandosi in questo caso di bacino che confluisce in più di un impluvio (e quindi, in realtà, di più sottobacini), il tempo di corrivazione non è stato calcolato mediante le numerose formulazioni empiriche disponibili in letteratura, bensì è stato scelto "a priori", adottando tempi coerenti con la dimensione del bacino stesso.

Negli studi precedenti il tempo di corrivazione risultava pari a 30 minuti, e si riferiva ad un bacino di dimensione minore dell'attuale bacino di monte considerato.

In questo caso gli idrogrammi sono stati stimati sia per il tempo di corrivazione di 15 minuti che di 30 minuti.

Di seguito sono riportati gli idrogrammi del bacino di monte risultanti.

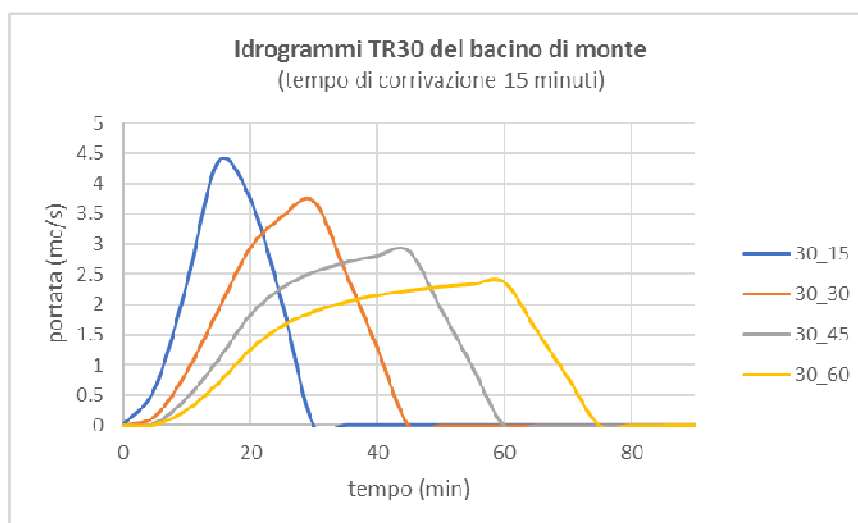


Fig. 37 – Idrogrammi di piena TR30 del bacino di monte (con $T_c=15$ min, varie durate di precipitazione)

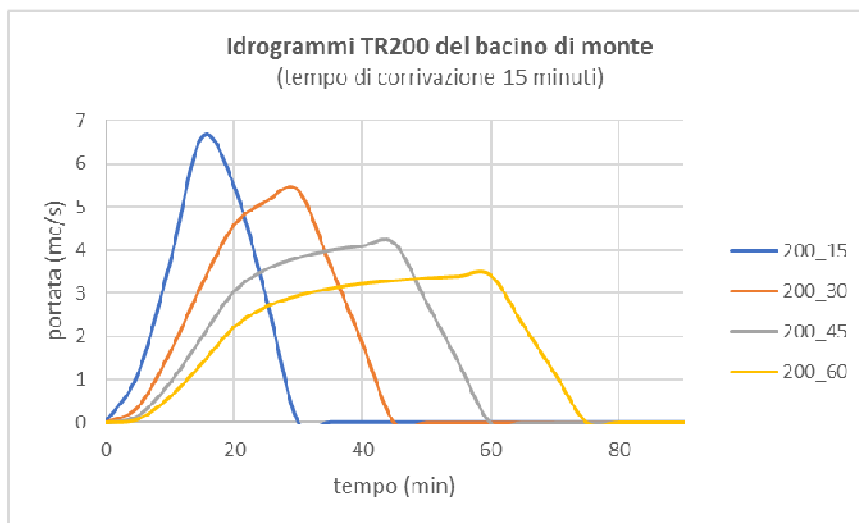


Fig. 38 – Idrogrammi di piena TR200 del bacino di monte (con Tc=15 min, varie durate di precipitazione)

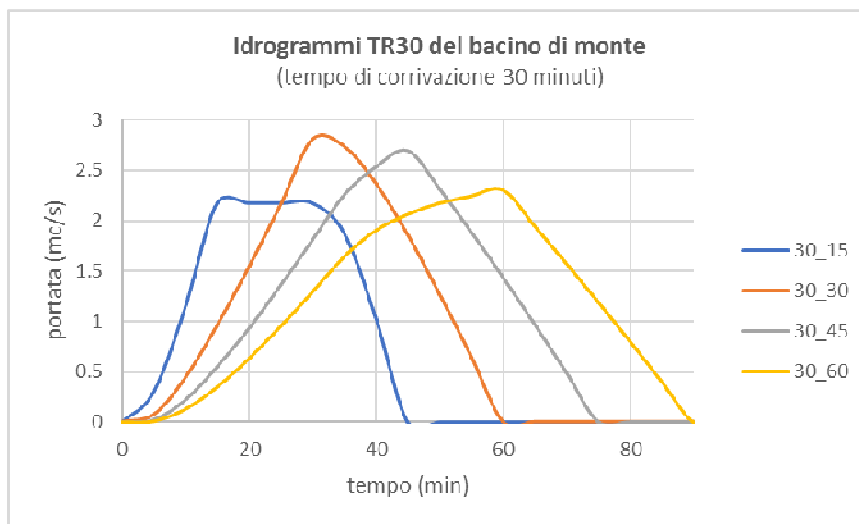


Fig. 39 – Idrogrammi di piena TR30 del bacino di monte (con Tc=30 min, varie durate di precipitazione)

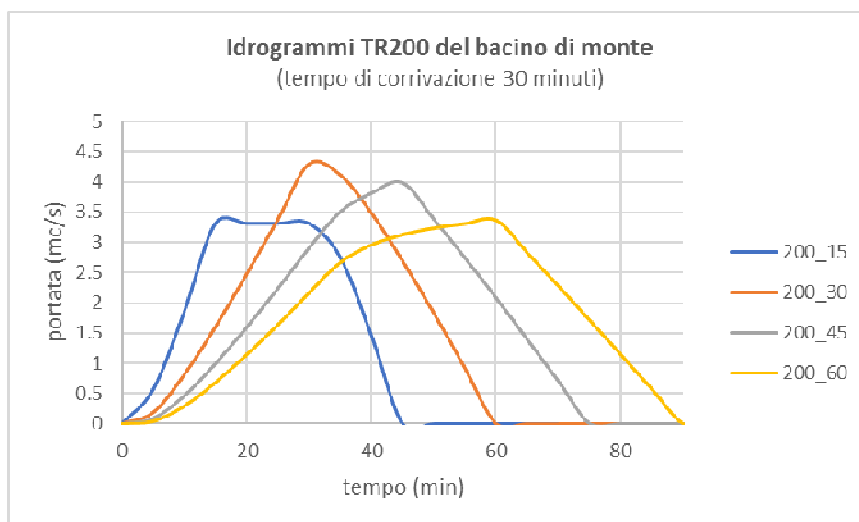


Fig. 40 – Idrogrammi di piena TR200 del bacino di monte (con Tc=30 min, varie durate di precipitazione)

Per coerenza con il bacino di valle, anche in questo caso è stato deciso di uniformare la scelta degli input idrologici allo scenario di piena con durata di pioggia 30 minuti (e analogo tempo di corrivazione).

Come anticipato, i due idrogrammi per TR30 e TR200 sono stati implementati nel modello contributi puntuali. Non essendo presente un'unica asta sulla quale convergono dette portate, ma piuttosto una serie di impluvi, i due idrogrammi sono stati "divisi" in 4 contributi uguali e distinti, ed assegnati a 4 differenti impluvi, intesi come i punti di ingresso di tale contributo idrologico nel modello bidimensionale del bacino di valle.

4.1.2 Idraulica

La modellistica idraulica mediante la quale si sono analizzate le dinamiche di eventuali allagamenti in loc. Drove si fonda sul medesimo approccio di quella adottata per lo studio del Botro dell'Abese di cui al precedente capitolo.

Per quanto riguarda gli aspetti teorici e metodologici di funzionamento del modello si rimanda quindi alla consultazione dei relativi paragrafi.

In questo capitolo sono fornite soltanto le specifiche del modello, sia dal punto di vista geometrico che delle parametrizzazioni adottate.

Come accennato, il cuore del presente studio è rappresentato dalla modellistica puramente bidimensionale (Mike 21) che simula la propagazione dei flussi idrici sul piano campagna a partire da una distribuzione uniforme di pioggia sulla base topografica (bacino di valle).

L'input pluviometrico è integrato con in contributo del bacino di monte, affidato a 4 distinti idrogrammi inseriti in testa a 4 aste "fluviali" che, comunque, si è reso necessario riprodurre in un modello 1D con Mike Hydro River.

L'accoppiamento, tramite il software Mike Flood, della modellistica 1D con la modellistica 2D rende questo modello del tutto analogo a quello di cui al precedente capitolo.

Di seguito è innanzitutto mostrata la base topografica del modello bidimensionale, che coincide con il suddetto bacino di monte.

Essa è corrisponde esattamente alla topografia del rilievo LIDAR, di cui ne è stata confermata l'originaria conformazione (celle quadrate di superficie 1x1 mt).

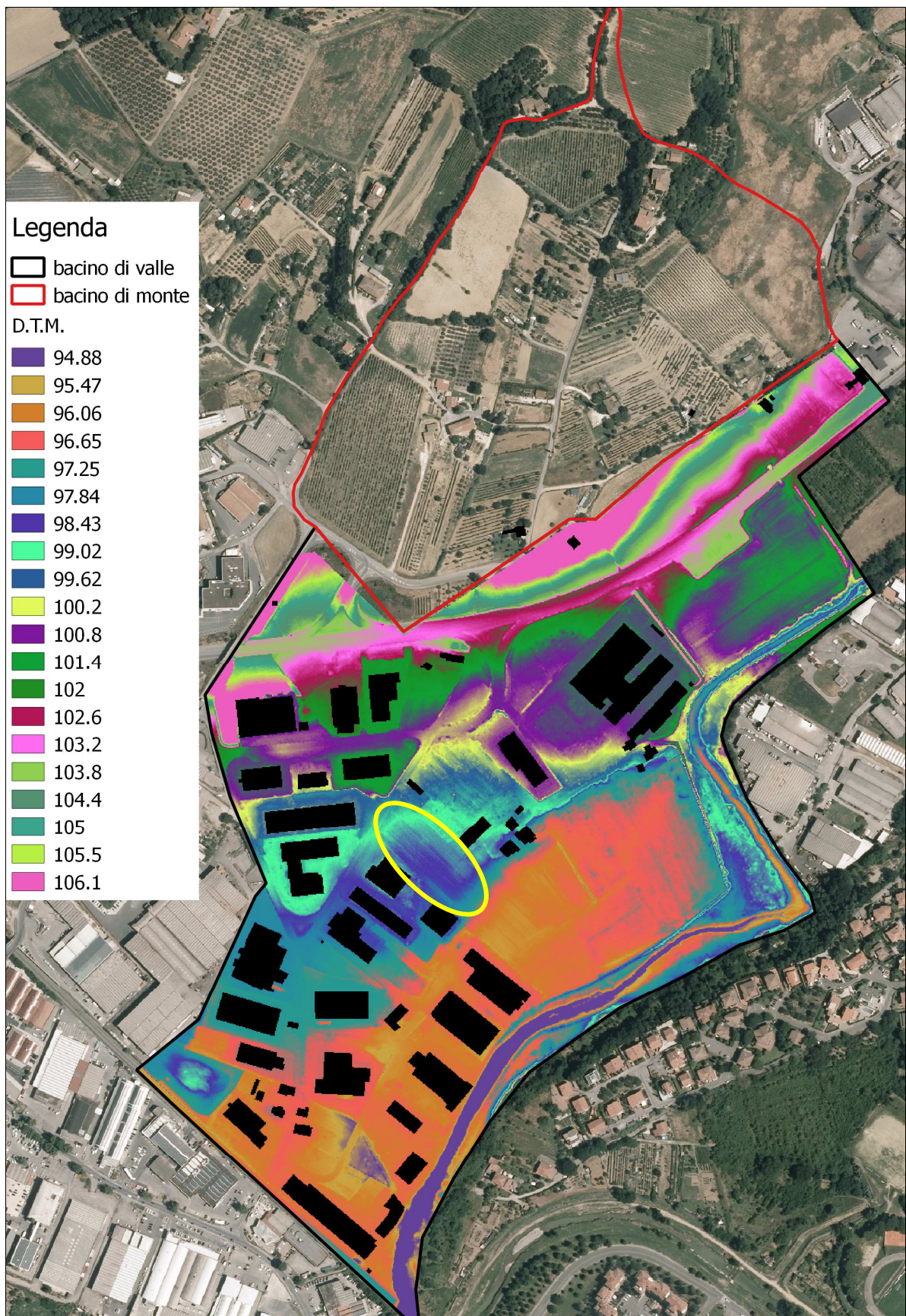


Fig. 41 – D.T.M. (o Bathymetry) del modello bidimensionale

Come per lo studio del Botro dell'Abese, gli edifici presenti nell'area di lavoro sono stati considerati come volumi chiusi.

L'area di studio è priva di vero e proprio reticolo idrografico, ma nella parte Nord sono stati riprodotti con apposita modellistica 1D gli impluvi su cui convergono le acque provenienti dalla collina.

La rappresentazione di detti impluvi è eseguita in modo schematico, funzionale alla modellazione; del resto questo studio ha come principale obiettivo quello di simulare qualitativamente le dinamiche di allagamento o ristagno in atto.

Sono state rappresentate le seguenti aste:

- Fosso 1: fosso di drenaggio della collina posto nella parte Più a Est dell'area di studio, sottopassante lo svincolo di Drove e recapitante nella piana alluvionale del Torrente Drove;
- Fosso 2: fosso di drenaggio della collina posta più ad Ovest del precedente, collegato al tratto terminale della canaletta interrata di raccolta delle acque della strada, sottopassante anch'esso la strada e recapitante le acque verso il Torrente Drove;
- Fosso n. 1: altro fosso di drenaggio della collina posto ancora più a Ovest dei precedenti, che si immette anch'esso a metà del percorso della canaletta di drenaggio della strada;
- Canaletta di drenaggio della strada, posta lungo il lato ai piedi della collina e collegata con il Fosso n. 2 mediante il quale scarica verso il Torrente Drove;
- N. 6 "bocche di lupo" poste lungo la canaletta di cui sopra, che intercettano e smaltiscono le acque piovute sulla sede stradale.

I 4 punti di immissione del contributo idrologico della collina corrispondono alle sezioni di monte dei 3 fossi anzidetti, e, il quarto, alla sezione di inizio della canaletta stradale (nella parte Ovest).

La seguente figura mostra un dettaglio del "reticolo" simulato nel modello idraulico.

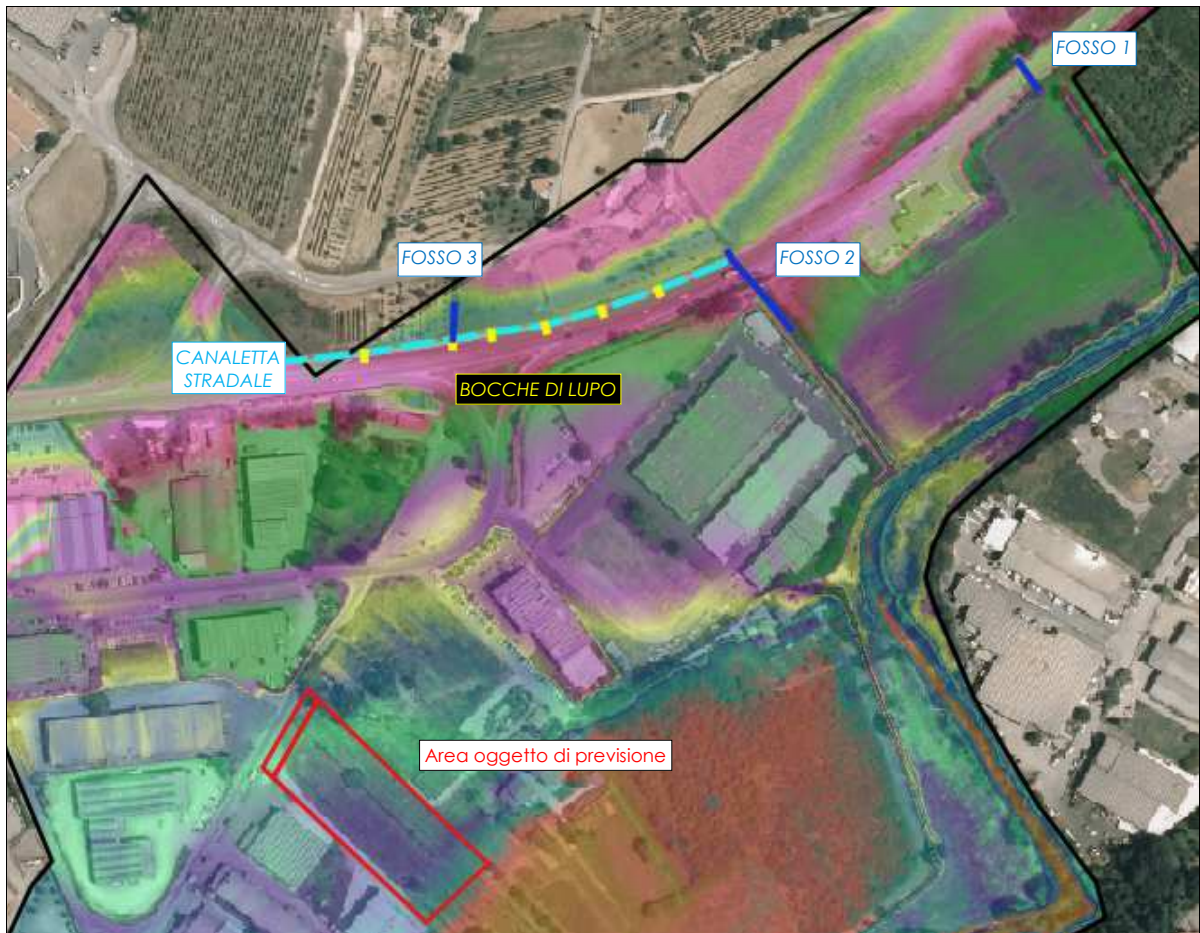


Fig. 42 – Reticolo di drenaggio ricostruito nel modello idraulico

Le sezioni a cielo aperto dei 3 fossi sono state estratte dal LIDAR, i sottopassi stradali sono stati schematizzati con tubazioni circolari di diametro $\Phi 1000$ mm, la canaletta stradale è stata ipotizzata a sezione quadrata 500×500 mm, invece le bocche di lupo con sezione rettangolare 400×200 mm.

Tutti i tratti di asta modellati sono collegati alla *Bathymetry* del modello 2D attraverso *standard link* ai due estremi, e *lateral link* sulle sommità delle sponde destra e sinistra (solo per i tratti a cielo aperto).

Secondo questa configurazione del modello, all'interno di queste aste confluiscono sicuramente le acque provenienti dalla collina, più la quota parte di acque piovute sul territorio e da esse intercettate; tutta la restante dinamica è invece rappresentata esclusivamente dal deflusso superficiale e dalla propagazione delle piogge sulla base topografica.

In conclusione, la seguente tabella, analogamente a quanto fatto per lo studio del Botro dell'Abese, individua i principali parametri e condizioni di modellazione.

| Parametri o condizioni di calcolo | Descrizione | Valore |
|--|---|---|
| <i>Simulation period</i> | Durata della simulazione dall'inizio della precipitazione di 30 minuti | 1 ora |
| <i>Time step interval</i> | Avanzamento temporale della simulazione | 0.1 sec |
| <i>Boundary</i> | Condizioni al contorno | sistema chiuso |
| <i>Flood and dry</i> | Livelli di attivazione delle celle: fino al <i>dying depth</i> la cella è secca, tra il <i>dying depth</i> e il <i>flooding depth</i> la cella è bagnata ma il fluido non si sposta, oltre il <i>flooding depth</i> inizia il trasferimento nelle celle adiacenti | d.d. 0.0025 m f.d. 0.005 m |
| <i>Initial surface elevation</i> | Livello iniziale sull'area di studio | ----- |
| <i>Precipitation</i> | Forzante del modello: intensità di pioggia costante per 30 min | 40.31 mm/h (TR200) 26.28 mm/h (TR30) |
| <i>Infiltration</i> | Depurazione per infiltrazione all'interno del modello | No infiltration (piogge già depurate in ingresso) |
| <i>Eddy viscosity</i> | Coefficiente di viscosità turbolenta | 0.5 mq/s |
| <i>Bed resistance</i> | Scabrezza media del piano campagna: da formula di Manning | 0.032 m ^{1/3} /s (area prevalentemente urbanizzata) |
| <i>Land value</i> | Valore massimo di quota della <i>Bathymetry</i> considerato come valore nullo ed esterno all'area di calcolo | 120 m s.l.m. |

Tab. 8 – Individuazione dei principali parametri e condizioni di calcolo del modello bidimensionale

4.2 Risultati della modellistica e fattibilità idraulica delle previsioni

Il modello idraulico ha consentito di valutare le dinamiche di allagamento e ristagno per l'intera zona industriale Drove, trascurando gli effetti esondativi del reticolo idraulico principale (Torrente Drove), le cui perimetrazioni sono ritenute ancora valide.

Le zone interessate dalla propagazione delle acque piovute direttamente sul territorio risultano adesso definite in modo più appropriato; le aree "bagnate", ovvero quelle ove transitano o ristagnano almeno 5 cm di acqua, risultano assai meno ampie di quelle indicate nelle attuali cartografie di pericolosità idraulica.

Le acque insistenti sulla zona confluiscono nel reticolo di drenaggio (canalette e fossi di guardia delle strade, fossi di scolo dei campi etc) e attraverso di esso sono trasferite principalmente verso la zona più depressa, situata tra l'area di previsione D2/8 ed il Torrente Drove.

Le acque provenienti dalla collina, invece, causano allagamento lungo la viabilità principale, ma poi vengono smaltite (in modo nel del tutto efficace) verso il reticolo facente capo al Fosso n. 2.

Le seguenti figure mostrano le aree allagate sul territorio, sia per TR30 che TR200, da cui si evincono le dinamiche appena descritte.

Queste aree allagate sono differenziate per battente; i battenti inferiori a 5 cm non sono riportati.

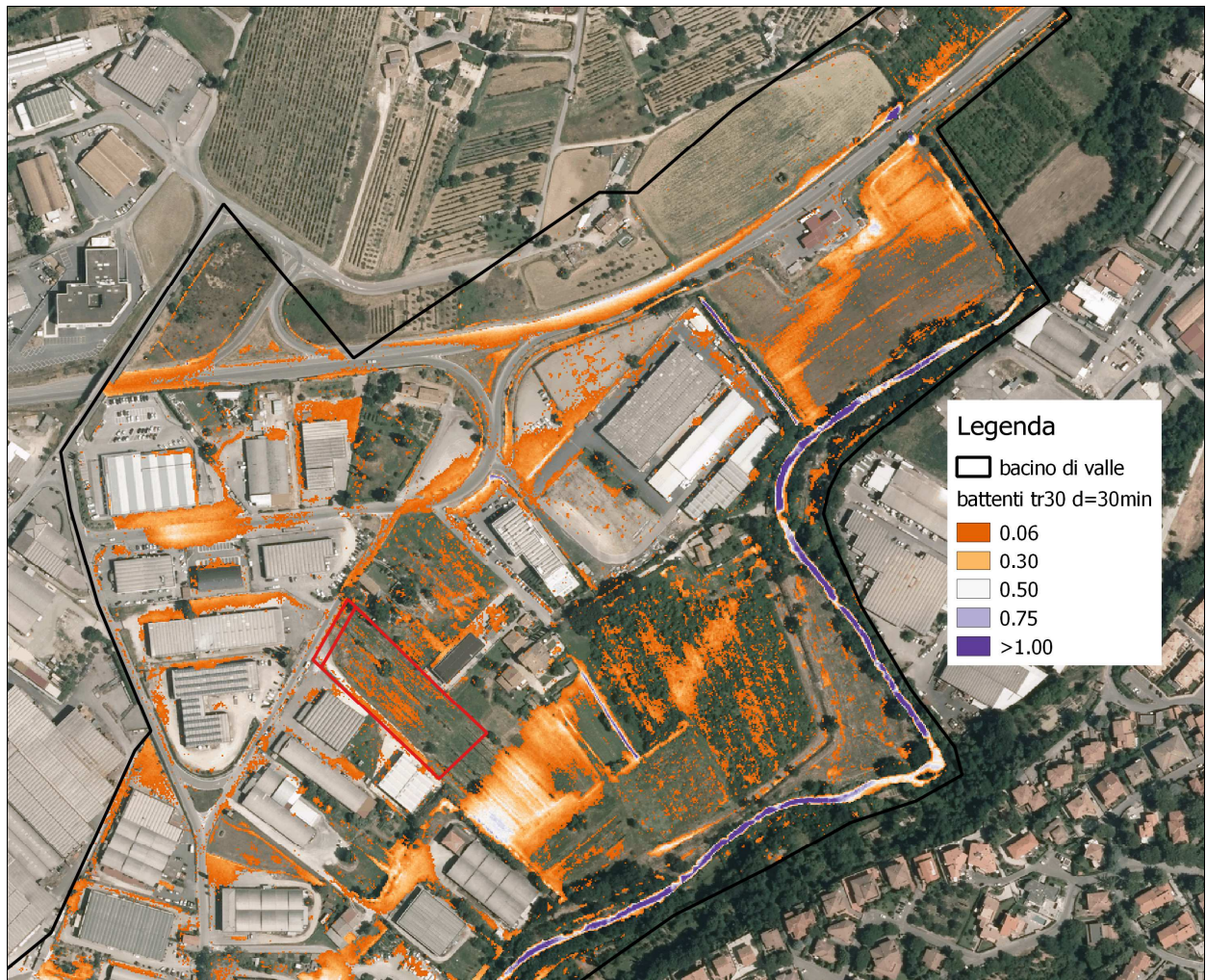


Fig. 43 – Aree allagate e ristagni nella zona di Drove per TR30

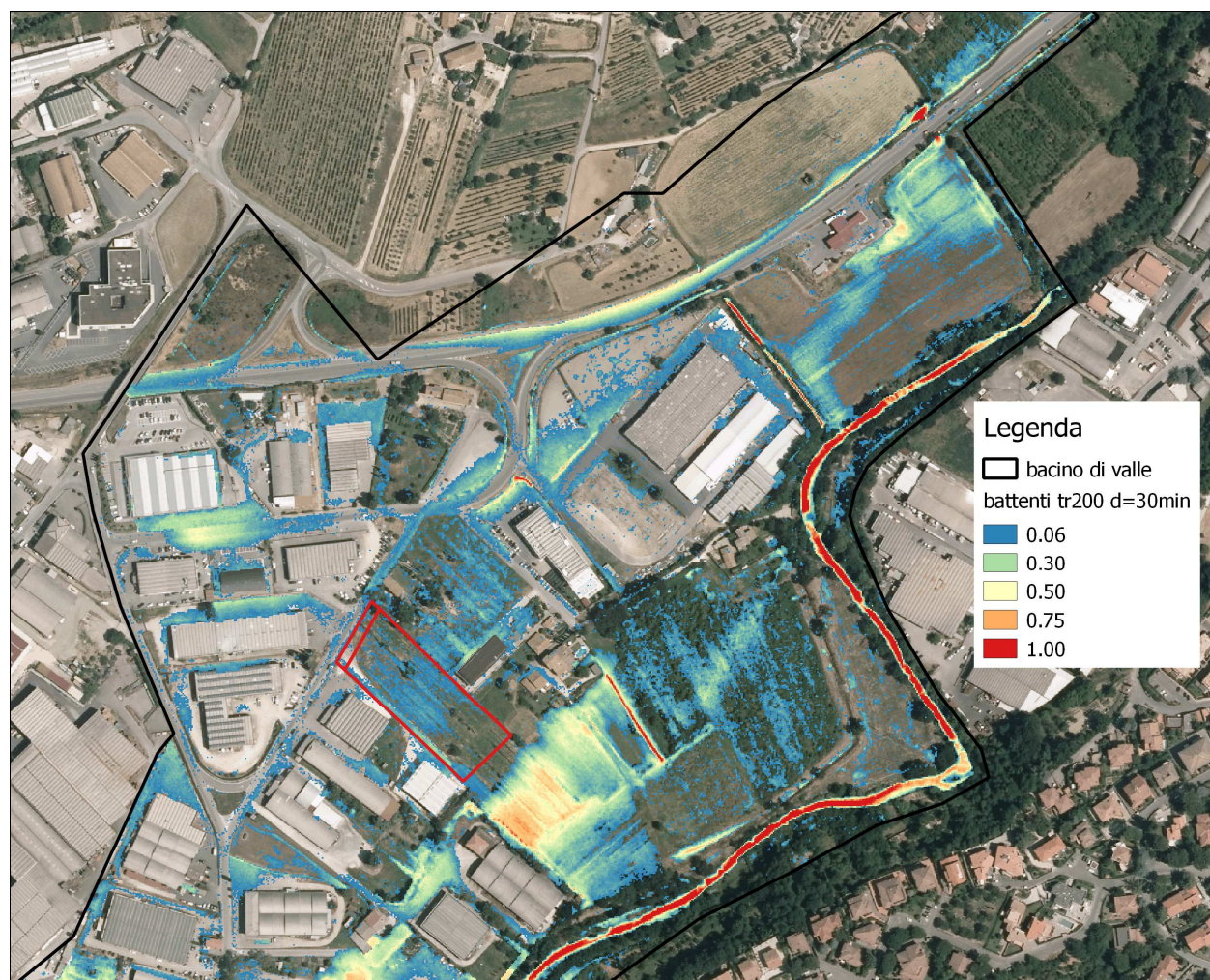


Fig. 44 – Aree allagate e ristagni nella zona di Drove per TR200

Per quanto attiene le due aree di previsione situate lungo la Strada di Chiano ed individuate in rosso nelle precedenti figure, si osserva solo un parziale interessamento in termini di possibili ristagni, ovviamente maggiori nello scenario duecentennale e soprattutto concentrati nelle porzioni a quote più depresse.

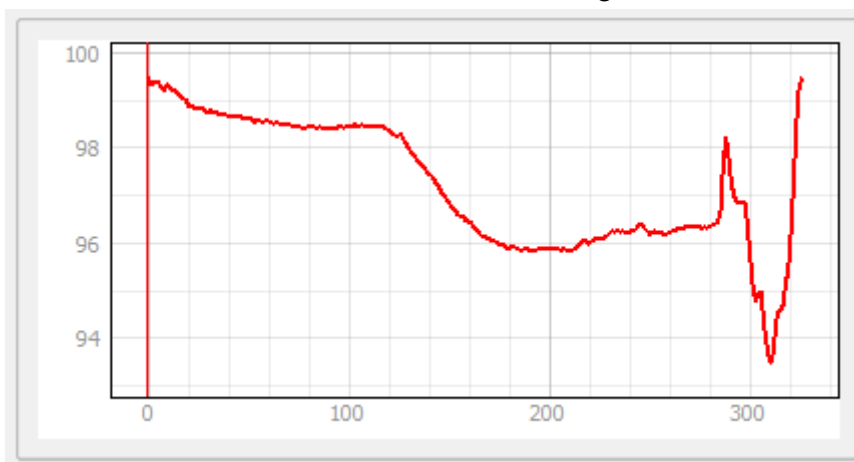
L'area D2/8 si estende, verso Sud, fino alla zona più depressa ove confluiscono i maggiori volumi d'acqua; i ristagni non raggiungono, comunque, battenti oltre i 20-25 cm per TR200.

La seguente figura mostra una sezione semplificata della morfologia dell'area di previsione, a partire dall'area F4 fino al Torrente Drove. Il salto di quota tra l'area di previsione e la zona agricola in prossimità del Torrente Drove appare quanto mai evidente.

In considerazione di questa situazione morfologica, le condizioni idrauliche della porzione a quota più elevata possono essere regimate in modo efficace e non molto oneroso.



Traccia della sezione morfologica



Sezione morfologica

Fig. 45 – Sezione morfologica dell'area di previsione

L'inizio della scarpata ove il terreno comincia a degradare verso il Torrente Drove corrisponde indicativamente con il confine Sud dell'area D2/8.

Le difficoltà di drenaggio urbano che caratterizzano la zona in loc. Drove sono state oggetto di studio da parte del Consorzio di Bonifica Medio Valdarno, che ha prodotto un progetto per la regimazione idraulica della zona al fine di migliorare il deflusso verso il Torrente Drove e limitare i frequenti fenomeni di ristagno.

Tale progetto, denominato *Progetto n. 466 – Sistemazione del Torrente Drove in Località Drove di Sotto*, nei Comuni di Barberino Val d'Elsa e Poggibonsi, prevede uno *Stralcio A: Ripristino drenaggio minore Drove di Sotto*.

Questo *Stralcio A* tratta proprio l'area di interesse, prevedendo la sistemazione del capofosso di smaltimento delle acque della zona fino alla confluenza con il Torrente Drove, ove è prevista la realizzazione di uno scarico protetto con valvola a clapet.

Di seguito è mostrato un estratto della planimetria di questo progetto.

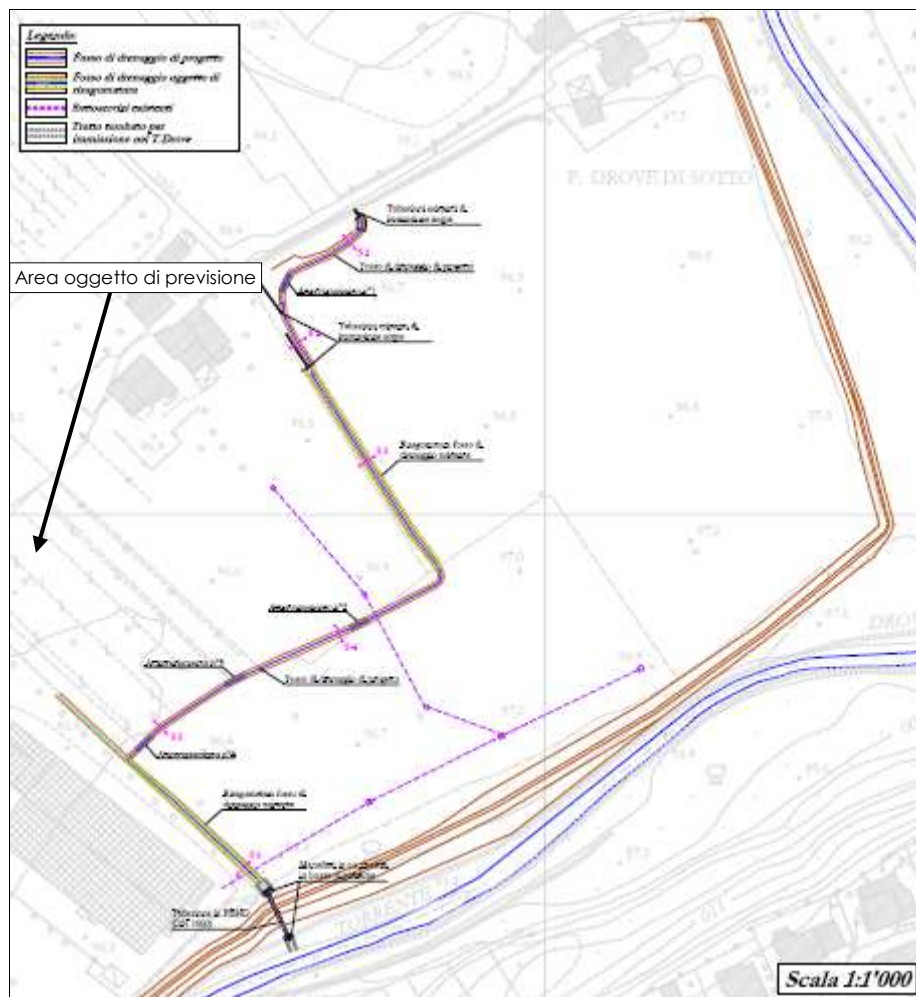


Fig. 46 – Estratto planimetria di progetto del CBMV

Si può vedere che l'area di previsione D2/8 è poco distante dal fosso in progetto.

La proposta di regimazione idraulica sia dell'area F4 che dell'area D2/8 sfrutterà quindi il progetto di sistemazione del Consorzio di Bonifica.

Infatti i ristagni che si generano nelle due aree di previsione non possono essere considerati alla stregua di allagamenti per esondazione di un corso d'acqua, né i relativi volumi possono intendersi come volumi che, se sottratti da una nuova edificazione, debbano essere compensati. Si tratta soltanto di migliorare la regimazione delle acque meteoriche che, con l'intervento previsto dal Consorzio di Bonifica, potrà essere ancora più efficace.

Per la fattibilità idraulica delle nuove previsioni in area F4 e D2/8 si prevedono quindi i seguenti interventi:

1. Rialzamento della quota di posa del parcheggio in F4 almeno alla quota dei marciapiedi;
2. Rialzamento della quota di posa dei nuovi piazzali e fabbricati in D2/8 di almeno 50 cm rispetto al piano campagna attuale;
3. Realizzazione di due fossi di guardia paralleli all'area D2/8 da far confluire nel capofosso di valle, quello di cui è prevista la sistemazione ad opera del Consorzio di Bonifica;
4. Per l'area F4 la pavimentazione del parcheggio dovrà essere di tipo permeabile.

Per quanto attiene al punto 2., il rialzamento è determinato in funzione del maggiore livello idrometrico tra i seguenti:

- Livello idrometrico duecentennale derivante dalla modellazione del Torrente Drove di cui agli studi idraulici a supporto del vigente Regolamento Urbanistico;
- Livello idrometrico duecentennale di ristagno derivante dalla nuova modellazione di cui al presente studio.

Nel primo caso il livello idrometrico duecentennale della cella in cui ricade l'area oggetto di previsione risulta inferiore alle quote stesse del piano campagna, il che sta a significare che le aree allagate non provocano battenti "statici" ma solo allagamenti di transito; generalmente si assegna agli allagamenti per transito un battente standard pari a 30 cm.

Nel secondo caso il massimo livello di ristagno in D2/8 risulta pari a circa 25 cm.

Per quanto detto, in via cautelativa, si suppone che il massimo livello idrometrico raggiungibile sull'area di previsione sia localmente pari a 30 cm.

Il rialzamento di cui al precedente punto 2. dovrà quindi essere pari ad almeno 50 cm rispetto al piano campagna attuale, considerando 20 cm di franco di sicurezza; i volumi sottratti da tale rialzamento non dovranno essere compensati, innanzitutto perché non eccedenti i limiti definiti dal D.P.G.R. 53R/2011 per bacini di superficie inferiore a 1 kmq, ma anche perché trattasi di volumi di ristagno dovuti al cattivo drenaggio urbano piuttosto che dovuti ad esondazione di corsi d'acqua.

Un miglior drenaggio dell'area dovrà essere garantito dai fossi di cui al precedente punto 3.

Tali fossi a cielo aperto avranno indicativamente sezione trapezia, con larghezza alla base pari ad almeno 0.5 mt e pendenza idonea ai fini del drenaggio.

Essi andranno a confluire nel capofosso oggetto di sistemazione da parte del Consorzio di Bonifica, e in essi dovranno essere scaricate le acque meteoriche insistenti sulle due aree di previsione F4 e D2/8.

Di seguito è mostrato uno schema indicativo del sistema di regimazione idraulica per le aree di previsione.

I due fossi sono indicati con tratteggio azzurro più scuro; in celeste è riportato il capofosso oggetto di sistemazione da parte del Consorzio. Il triangolo giallo segnala l'area edificabile soggetta a rialzamento del piano di posa dei nuovi piazzali e fabbricati.



Fig. 47 – Schema planimetrico degli interventi di mitigazione idraulica per la fattibilità delle previsioni

L'attuale pericolosità idraulica molto elevata I.4 (che con questo studio non verrà comunque modificata) non è frutto di esondazione di corsi d'acqua, bensì legata a semplici problematiche di drenaggio, per di più già risapute tant'è che il Consorzio di Bonifica vi ha previsto un intervento di regimazione.

La realizzazione di questi fossi di drenaggio e degli interventi accessori di cui ai punti precedenti sono pertanto da ritenersi sufficienti e risolutivi per la messa in sicurezza, e la conseguente fattibilità idraulica, delle aree di previsione.

5. ZONA D4 SULLA STRADA DI PONETA - ZAMBRA

Per quanto riguarda la previsione di trasformazione di una porzione di area da D4 a D2 nell'ambito di uno stabilimento esistente lungo la strada di Poneta in loc. Zambra le problematiche e le interferenze idrauliche risultano meno significative di quelle di cui ai precedenti capitoli 3 e 4.

Per questo motivo la trattazione che segue è di tipo più descrittivo e qualitativo, non essendo state predisposte modellistiche idrologiche né idrauliche.

L'attuale comparto produttivo è classificato in pericolosità idraulica media I.2, e solo parzialmente, nella fascia più prossima al Fosso Zambra, in pericolosità idraulica elevata I.3.

Dette pericolosità, mostrate nella precedente Fig. 7, non derivano da specifici studi idraulici sul corso d'acqua bensì sono tracciate in base a criteri geomorfologici.

Infatti gli studi a supporto dell'attuale strumento urbanistico hanno previsto la modellazione del Fosso Zambra soltanto a partire da una sezione idraulica posta leggermente più a valle dell'area in esame; la differenza di "forma" dei perimetri delle pericolosità idraulica mostra chiaramente la diversa origine delle due perimetrazioni.

Per la nuova porzione di zona D2 l'interferenza idraulica non è però legata alla pericolosità del Fosso Zambra, piuttosto è riconducibile alla presenza, su cartografia, di un piccolo fosso appartenente al reticolo regionale.

Il tratto di reticolo si limita a quello sovrapposto allo stabilimento produttivo; in realtà questo piccolo fosso, proveniente dalla collina retrostante, attraversa lo stabilimento in tombamento, e risulta a cielo aperto solo negli ultimi metri prima della confluenza con il Fosso Zambra.

La seguente figura mostra un estratto su foto aerea in cui sono individuati il reticolo regionale e le perimetrazioni di aree allagate risultanti dagli studi redatti a supporto del vigente strumento urbanistico.

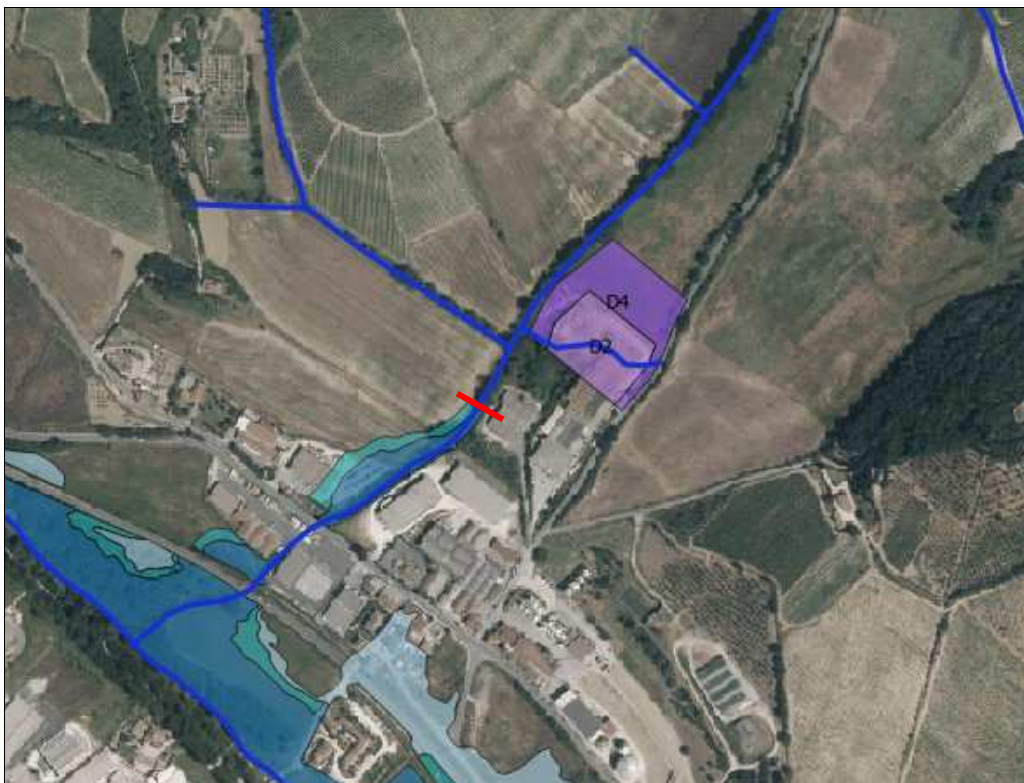


Fig. 48 – Estratto di foto aerea della zona della Zambra con aree allagate da modellistica idraulica, reticolo idraulico regionale e area di previsione urbanistica

La precedente figura mostra in modo chiaro come l'asta appartenente al reticolo regionale si limiti al tratto terminale del fosso, a valle della strada di Poneta.

In Fig. 48 è individuata, con la linea rossa, la traccia della sezione di monte del modello idraulico del Fosso Zambra.

La seguente figura riporta tale sezioni con i relativi livelli idrometrici.

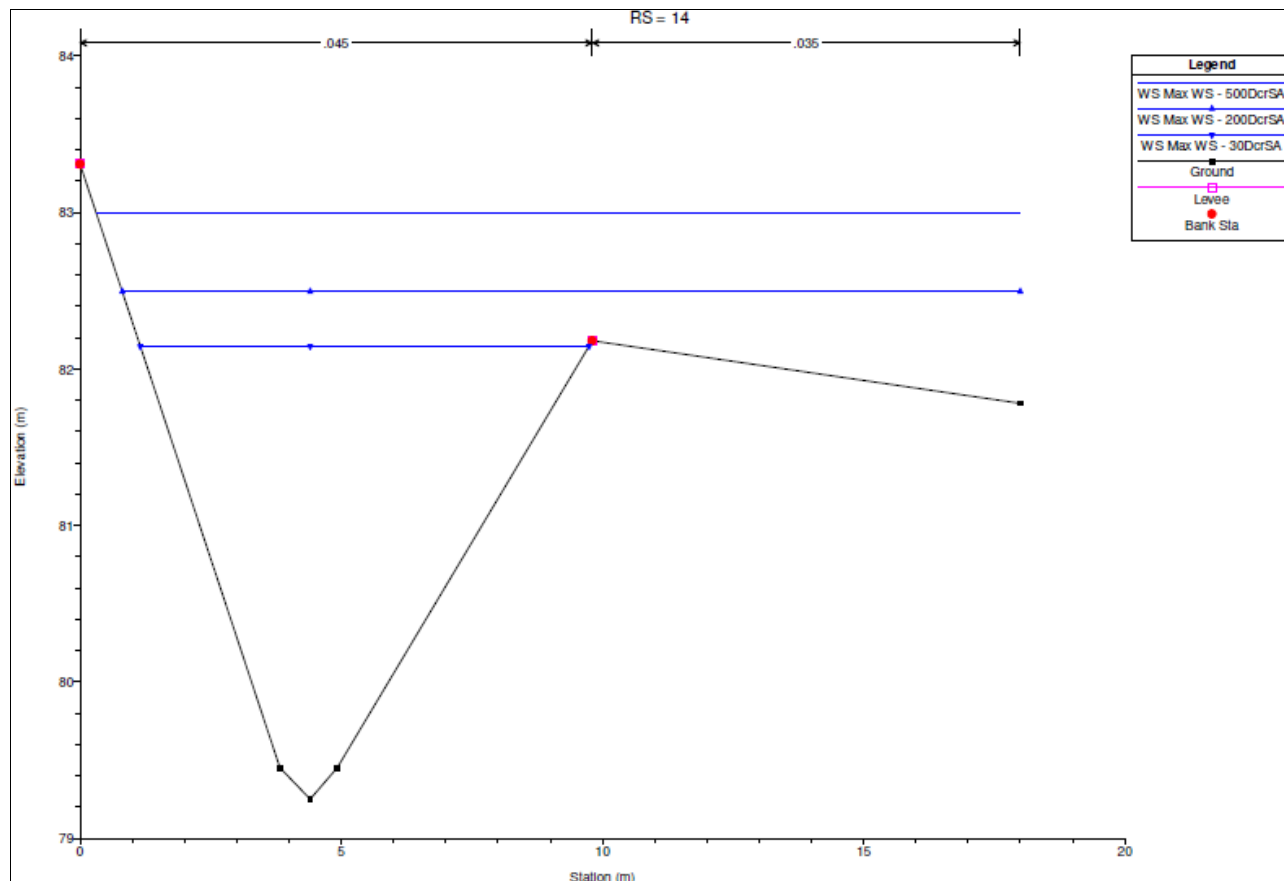


Fig. 49 – Sezione di monte del Fosso Zambra con relativi livelli idrometrici secondo lo studio redatto a supporto del vigente strumento urbanistico comunale

Benché lo studio a cui si riferisce la precedente sezione sia di qualche anno fa e non tenga conto dei dati più aggiornati di precipitazione, appare evidente come la sponda sinistra del Torrente Zambra sia ben più alta della sponda destra.

La medesima situazione morfologica si ha per l'area oggetto di previsione, che è situata in alto morfologico rispetto al corso d'acqua.

Le interferenze con eventuali allagamenti da parte del Fosso Zambra sono quindi assai improbabili.

Per quanto riguarda il fosso minore di cui sopra è stato innanzitutto tracciato, sulla base dell'andamento delle curve di livello della C.T.R. 1:2.000, il relativo bacino idrografico. Esso risulta essere di superficie pari a circa 4.5 ettari.

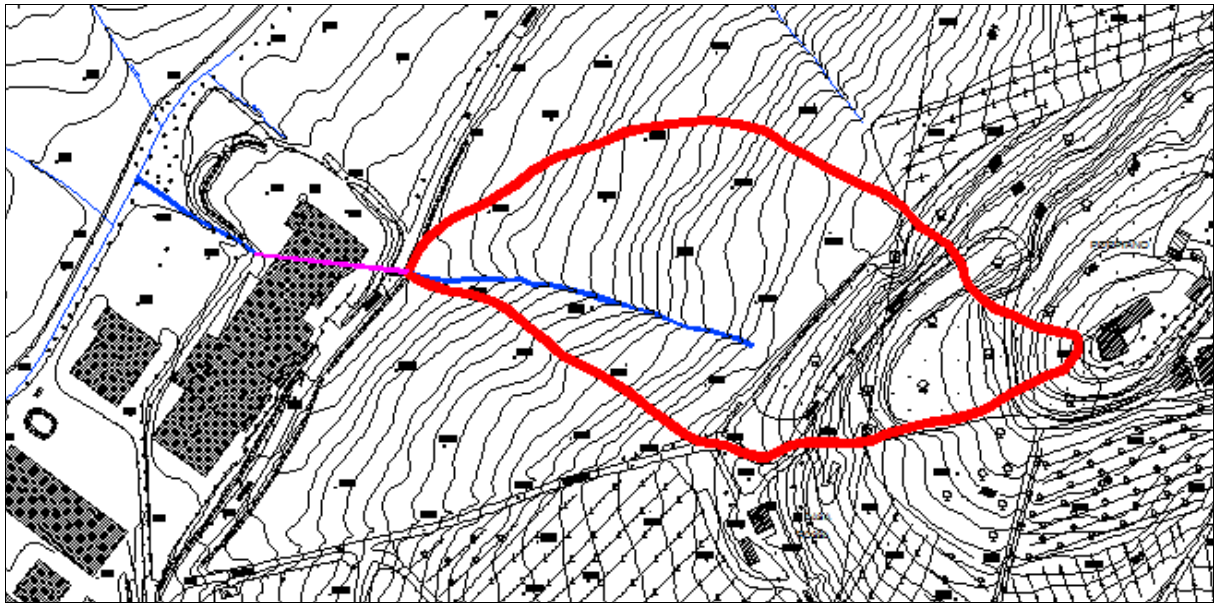


Fig. 50 – Bacino del fosso interferente con l'area di previsione (in rosso); in azzurro è indicato il fosso stesso, in magenta il tratto tombato

Le dimensioni del bacino di questo corso d'acqua sono assai modeste.

Pur essendo esso tombato sotto lo stabilimento esistente, non ha mai dato luogo a fenomeni di allagamento o rigurgito all'ingresso del sottopasso stradale.

L'ampliamento dello stabilimento produttivo a valle di quello esistente non può quindi alterare in alcun modo le dinamiche idrauliche di questo corso d'acqua.

Per la fattibilità idraulica della trasformazione urbanistica in oggetto si prevede di attuare le seguenti misure:

- Mantenere a cielo aperto il tratto terminale del fosso, a valle del tombamento e provvederne alla sistemazione dell'alveo, fino alla confluenza con il Fosso Zambra;
- Realizzare un'adeguata protezione del fosso in corrispondenza della sezione di sbocco a cielo aperto;
- Dotare i nuovi fabbricati di sistemi di autosicurezza come previsto dalla lett. d) del paragrafo 3.2.2.1 dell'Allegato A del D.P.G.R. 53R/2011.