

Comune di Abbadia San Salvatore

Provincia di Siena



PIANO STRUTTURALE

(art. 92 della L.R. 65/2014)

RELAZIONE TECNICA IDROLOGICO-IDRAULICA

MARZO 2022

PIANO STRUTTURALE

(art. 92 della L.R. 65/2014)

RELAZIONE TECNICA IDROLOGICO-IDRAULICA

Sindaco

Fabrizio Tondi

Ufficio di Piano

Antonio Petrucci - *Responsabile del Servizio edilizia e urbanistica*

Andrea Sabatini - *Responsabile del procedimento*

Sabrina Paradisi - *Garante dell'informazione e della partecipazione*

Progetto e

Procedura di VAS

Fabrizio Milesi

Collaborazione al progetto

Tommaso Di Pietro

Aspetti del territorio fisico

Geoeco studio associato:

Roberto Neroni

Enrico Neroni

Studi idraulici

Andrea sorbi

Niccolò Neroni

Aspetti archeologici

Archeòtipo Srl:

Federico Salzotti

Stefano Bertoldi

SOMMARIO

Premessa	5
1. Metodologia di indagine	5
1.1 Vincolistica idraulica	5
1.2 Validazione e aggiornamento del reticolo idraulico	6
1.3 Aree di indagine	6
1.4 Fasi di studio per le aree di dettaglio	7
2. Dati di base	8
3. Bacini idrografici indagati	8
3.1 Area di dettaglio Abbadia Centro	8
3.2 Area di dettaglio Val di Paglia	11
4. Uso del suolo	12
5. Analisi idrologica	15
5.1 Metodo definito all'Appendice A.I.1 degli Allegati alle Norme del PAI	15
5.1.1 Abbadia Centro	16
5.1.1 Val di Paglia	17
5.2 Metodo definito all'Appendice A.I.2. degli Allegati alle Norme del PAI	18
5.2.1 Abbadia Centro	19
5.2.2 Val di Paglia	20
5.3 Valutazione portate di piena tramite software ALTO (v.2.00 aprile 2003)	21
5.3.1 Abbadia Centro	21
5.3.2 Val di Paglia	21
5.4 ALTO con piogge regionalizzate	22
5.4.1 Abbadia Centro	23
5.4.2 Val di Paglia	25
5.5 Confronto con le piogge regionalizzate della Regione Toscana	25
5.5.1 Abbadia Centro	26
5.5.2 Val di Paglia	27
5.6 Analisi dei risultati e scelta del modello idrologico	29
5.6.1 Abbadia Centro	29
5.6.2 Val di Paglia	30
6. Analisi idraulica	32
6.1 Descrizione del modello idraulico	32
6.1.1 Modellazione monodimensionale	32
6.1.2 Modellazione bidimensionale	33
6.1.3 Caratteristiche geometriche dei modelli idraulici	34
6.1.4 Parametri di scabrezza e coefficienti di perdita concentrata	35
6.2 Input idraulici	35
6.2.1 Condizioni al contorno di monte	35
6.2.2 Condizioni al contorno di valle	35
6.3 Area di dettaglio Abbadia Centro	36
6.3.1 Officiosità idraulica del reticolo	36
6.4 Val di Paglia	42
7. Analisi dei risultati	43
7.1 Considerazione sui risultati delle modellazioni idrauliche	43
7.1.1 Abbadia Centro	43
7.1.2 Val di Paglia	44
7.2 Riscontro con eventi alluvionali precedenti	45

7.3	Restituzione cartografica	48
7.3.1	Territorio aperto	48
7.3.2	Zone di dettaglio	49
8.	Conclusioni	50
8.1	Fattibilità idraulica	50
8.2	Indirizzi idraulici per gli strumenti urbanistici	51
8.2.1	Criteri generali	51
8.2.2	Aree soggette ad alluvioni frequenti (P3):	52
8.2.3	Aree soggette ad alluvioni poco frequenti (P2):	52

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1-	Bacino del nuovo canale dei laghi sovrapposto al raster a,n della Regione Toscana	26
Figura 2-	Confronto LSPP ABT e RT per la zona Abbadia Centro	27
Figura 3-	Confronto LSPP ABT e RT per la zona Val di Paglia	28
Figura 4-	Via del Fosso Canali subito a valle dell'imbocco del Fonte Risola	46
Figura 5-	Alcune abitazioni del centro paese	47
Figura 6-	Rotatoria S.P. del Monte Amiata (punto più a valle del Centro Abitato di Abbadia)	47

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 –	Tipologie di suolo nel metodo SCS-CN	12
Tabella 2 –	Valori del Curve Number per suoli agricoli dell'U.S.D.A. Technical Release 55	13
Tabella 3 –	Criteri di scelta classe AMC metodo SCS-CN	13
Tabella 4 –	Valori dei parametri Z/L e Z/Y in funzione della latitudine	16
Tabella 5 –	Valori dei quantili adimensionali Kt	17
Tabella 6 –	Valori dei quantili adimensionali Kt	18
Tabella 7 –	Portate al colmo per i corsi d'acqua afferenti al capoluogo	20
Tabella 8 -	Magnitudo idraulica con velocità determinata	49
Tabella 9 –	Definizione delle fasce di pericolosità idraulica	50

TAVOLE GRAFICHE

Tav. ID.01	Carta dei vincoli e della pericolosità idraulica – Quadro	1 (1:10.000)
Tav. ID.02	Carta dei vincoli e della pericolosità idraulica – Quadro 2	(1:10.000)
Tav. ID.03	Carta dei vincoli e della pericolosità idraulica – Quadro 3	(1:10.000)
Tav. ID.04	Carta dei vincoli idraulici e della pericolosità da alluvione – Quadro 4	(1:10.000)
Tav. ID.05	Carta dei battenti idraulici per t.r. 30 anni	(1:5.000)
Tav. ID.06	Carta dei battenti idraulici per t.r. 200 anni	(1:5.000)
Tav. ID.07	Carta della velocità per tempo di ritorno 200 anni	(1:5.000)
Tav. ID.08	Carta della magnitudo idraulica	(1:5.000)
Tav. ID.09	Carta dei bacini	(1:25.000)

Premessa

La presente indagine idrologica ed idraulica, svolta dagli scriventi Ing. Andrea Sorbi e Ing. Niccolò Neroni, è redatta ai fini dell'aggiornamento del quadro conoscitivo a supporto del Nuovo Piano Strutturale del Comune di Abbadia San Salvatore (SI).

L'indagine costituisce affinamento degli studi già redatti nel 2014 a supporto degli strumenti urbanistici oggi vigenti e analizza i corsi d'acqua, presenti nel reticolo idrologico di cui alla DCRT 81/2021, che interessano le aree già urbanizzate, prevalentemente rappresentate dal capoluogo, e le aree di nuova previsione urbanistica con particolare riferimento all'area produttiva della Val di Paglia.

L'indagine è redatta ai sensi della Legge Regionale 24 luglio 2018, n.41 "*Disposizioni in materia di rischio di alluvioni e di tutela dei corsi d'acqua in attuazione del decreto legislativo 23 febbraio 2010, n. 49 (Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni). Modifiche alla l.r. 80/2015 e alla l.r. 65/2014*" nonché del D.P.G.R. 30 gennaio 2020, n. 5/R "*Regolamento di attuazione dell'articolo 104 della legge regionale 10 novembre 2014, n. 65 (Norme per il governo del territorio) contenente disposizioni in materia di indagini geologiche, idrauliche e sismiche.*"

1. Metodologia di indagine

1.1 Vincolistica idraulica

In prima fase si analizza la vincolistica idraulica sovraordinata costituita, per il territorio comunale di Abbadia San Salvatore, da:

1. Piano Gestione Rischio Idraulico (PGR) ex PAI per il Fiume Tevere recepito dall'Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Centrale (ADAC) che vede la presenza della "Fascia A" del Fiume Tevere. La fascia rappresenta le aree assoggettate a inondazione con tempi di ritorno di 50 anni;
2. Piano Gestione Rischio Alluvioni (PGR) dell'Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale (ADAS), che vede la presenza delle fasce di pericolosità idraulica da alluvione P1 bassa, P2 media e P3 elevata;
3. Reticolo idrologico della Regione Toscana ai sensi della L.R. 79/2012 aggiornato con D.C.R.T. n. 81/2021 e relative fasce di assoluto rispetto ai sensi dell'art. 3 L.R. 41/2018. Il reticolo idrologico considerato è stato validato e revisionato come meglio descritto nel seguito;
4. Specchi d'acqua del database Regione Toscana

Per le zone di cui ai punti 1) e 2) si rimanda ai disposti delle NTA del PAI-ADAC e PGR-ADAS.

In relazione al presente studio la fascia A del Tevere, all'interno dei perimetri studiati in dettaglio, viene assimilata ad area a pericolosità idraulica per alluvioni frequenti (lettera d), comma 1, art. 2 L.R. 41/2018.

1.2 Validazione e aggiornamento del reticolo idraulico

Per le zone di maggiore interesse urbanistico, è stata verificata la validità del reticolo idrografico regionale aggiornato alla DCRT 81/2021 mediante visite e rilievi sul posto.

Dai sopralluoghi effettuati si è riscontrata la sostanziale corrispondenza del reticolo idrografico della Regione Toscana fatti salvi i seguenti casi:

- Abbadia San Salvatore, zona "Altone" presenza di tre fossi a cielo aperto denominati TS45352, TS45446, TS45517. Da un mirato sopralluogo sul posto è stato notato come non risultano alvei incisi dei tre fossi ma la sola presenza di impluvi vallivi. Tutti i fossi sopra nominati si perdono poi nella pianura senza presenza di inghiottitoi. Viene richiesta dismissione dei tre fossi dal reticolo;
- Abbadia San Salvatore, Fosso del Becco (2) tratti TS45442 (porzione) TS45150, TS45151 TS45367, indicati tutti come tratti a cielo aperto, sono da considerare come tratti tombati eccezion fatta per due piccoli tratti a cielo aperto. La revisione del tracciato tiene conto anche del progetto "Realizzazione del canale di by-pass idraulico dell'invaso del Muraglione **Lotto 5 e 6**" a firma dello *Studio Associato Extrò* di prossima realizzazione;
- Abbadia San Salvatore, Fosso di Fonte Risola Tratti TS45914 (porzione), TS45457, TS45404 (porzione) indicati come a cielo aperto risultano tombati come da progetto già realizzato e collaudato "Realizzazione del canale di by-pass idraulico dell'invaso del Muraglione **Lotto 4**" a firma dello *Studio Associato Extrò*;
- Abbadia San Salvatore, Fosso denominato TS45676 (porzione) affluente del Fonte Risola, viene indicato interamente a cielo aperto, mentre una porzione del tratto di valle risulta già tombato. Viene contestualmente proposta anche la modifica di tracciato come da progetto "Implementazione raccolta acque bianche zona alta del Centro Abitato" a firma dello *Studio Associato Extrò*.

Per quanto sopra è stata inoltrata dal Comune di Abbadia San Salvatore alla Regione Toscana istanza di rettifica del reticolo come da prot. 2917/2022 del 04/03/2022.

Ai fini del presente studio si considera come acquisita la proposta di cui sopra.

1.3 Aree di indagine

L'indagine idraulica viene svolta per l'intero territorio comunale tenendo conto delle vulnerabilità delle aree a potenziale rischio di alluvione idraulica.

In tale ottica sono state individuate le aree del:

- centro abitato di Abbadia San Salvatore formate dal capoluogo e dalla località Esasseta (nel seguito *Abbadia Centro*);
- complesso produttivo della Val di Paglia (nel seguito *Val di Paglia*),

per le quali è stata condotta un'analisi idraulica di dettaglio ricorrendo a modellazione idraulica bidimensionale dei corsi d'acqua ivi presenti. Le aree sono di seguito definite come "aree di dettaglio".

Altrove, nel *territorio aperto*, si è condotta un'indagine idraulica speditiva definendo, per i corsi d'acqua del reticolo idrografico regionale:

- le fasce di assoluto rispetto ai sensi dell'art. 3 L.R. 41/2018 e art. 96 R.D. 523/1904;
- le aree di fondovalle suscettibili di alluvionamento per posizione morfologica, individuate come le zone poste a quota inferiore a 2 m dal piede esterno dell'argine (ovvero del ciglio di sponda), riferibili quindi alla lettera s), comma 1, art. 2 L.R. 41/2018.

1.4 Fasi di studio per le aree di dettaglio

Lo studio idrologico-idraulico delle aree di dettaglio è stato articolato nelle seguenti fasi:

- 1) reperimento, integrazione e raccordo dei dati idrologici e morfologici di studi precedenti;
- 2) analisi geomorfologica mediante software di analisi GIS l'individuazione dei bacini idrografici, la definizione delle caratteristiche geomorfologiche di ciascuna area drenante e il calcolo dei relativi tempi di corrivazione;
- 3) rappresentazione tridimensionale delle aree di indagine mediante l'utilizzo dei dati LIDAR della Regione Toscana con definizione 1x1 m;
- 4) analisi dell'uso del suolo;
- 5) definizione degli afflussi di pioggia attraverso il calcolo delle curve di possibilità pluviometriche e gli idrogrammi di progetto, scegliendo il più idoneo tra:
 - a. il metodo definito all'Appendice A.I.1 degli "Allegati alle Norme" del Piano di Stralcio Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino del Fiume Tevere;
 - b. il metodo definito all'Appendice A.I.2 degli "Allegati alle Norme" del Piano di Stralcio Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino del Fiume Tevere;
 - c. il metodo di valutazione delle portate di piena della Regione Toscana tramite l'utilizzo del software ALTO (v.2.00 aprile 2003);
 - d. il metodo di valutazione delle portate di piena della Regione Toscana tramite regionalizzazione delle piogge con durata da 1 a 5 giorni e da 1 a 24 ore così come definito al capitolo 4 del "Quaderno Idrologico del Bacino del Fiume Tevere" dell'Autorità di Bacino del Fiume Tevere.
- 6) definizione dei deflussi netti attraverso il calcolo degli idrogrammi di progetto;
- 7) modellazione idraulica in moto vario monodimensionale o bidimensionale, utilizzando il software HEC-RAS nella versione 6.1.0 tenendo conto dei tombamenti e delle opere d'arte in genere. Nel caso dell'area di dettaglio Abbadia Centro è stata definita la massima portata transitabile nei tratti tombati dei canali del capoluogo per poi indagare la propagazione dell'esondazione mediante modellazione idraulica bidimensionale, di quanto non smaltito dal sistema dei tombamenti;
- 8) analisi dei risultati e sintetizzazione grafica degli stessi negli elaborati cartografici di progetto.

Nel seguito si illustrano le modalità di indagine per le **aree di dettaglio**.

2. Dati di base

Al fine di poter effettuare un'analisi il più dettagliata possibile, sia in fase di modellazione monodimensionale per quanto riguarda le aste fluviali sia in fase di modellazione bidimensionale per quanto riguarda le aree golenali e di esondazione sono stati utilizzati i seguenti dati:

- Reticolo idrografico e di gestione, individuato dalla Regione Toscana attuando quanto disposto dalla Legge Regionale 79/2012 e aggiornato con Delibera di Consiglio 81/2021, utilizzato previa validazione;
- Rilievi LIDAR con risoluzione 1mx1m, disponibili sul portale OpenData della Regione Toscana;
- Carta Tecnica Regionale in scala 1:2.000 e scala 1:10.000;
- Dati geometrici ottenuti da campagne topografiche precedentemente svolte forniti dagli Enti Pubblici;
- Dati geometrici appositamente rilevati per gli studi precedenti mediante campagne topografiche;
- Dati di uso del suolo disponibili sul portale Geoscopio della Regione Toscana;
- Dati pluviometrici sviluppati dalla Regione Toscana e disponibili sui portali del Sistema Informativo Regionale;

Prima di costruire il modello idraulico è stata controllata l'omogeneità delle sezioni e dei modelli digitali del terreno e la georeferenziazione delle quote dei vari rilievi utilizzati.

Le sezioni sono state appoggiate planimetricamente sul sistema di riferimento Gauss-Boaga.

Per ottenere una corretta analisi del comportamento idraulico della corrente in corrispondenza dei manufatti (ponti ed attraversamenti) esistenti, ove necessario, sono state ricostruite alcune sezioni in base a quelle disponibili nelle immediate vicinanze. Ai fini dei calcoli idraulici sono state inoltre definite mediante il software di calcolo una serie di sezioni interpolate.

3. Bacini idrografici indagati

3.1 Area di dettaglio Abbadia Centro

I bacini dei corsi d'acqua in esame si estendono principalmente dal versante est del Monte Amiata, come naturale conseguenza il centro abitato risulta attraversato da una serie di canali interrati in direzione preferenziale est-ovest.

I corsi d'acqua a cielo aperto sono stati infatti sostituiti nel tempo con canali interrati, per consentire un nuovo utilizzo del territorio a discapito della sicurezza idraulica dello stesso.

Lo studio in esame ha quindi analizzato la funzionalità idraulica dei tombamenti sottoposti all'arrivo di piene eccezionali con tempi di ritorno di 30 e 200 anni, distribuendo i volumi d'acqua non recepiti dalla rete dei canali tombati sul territorio mediante modellazione idraulica bidimensionale.

In particolare, sono stati studiati in ordine da nord a sud: il fosso San Pietro all'Esassetta, il nuovo canale a valle della confluenza dei nuovi canali in uscita dal laghetto Verde e dal laghetto Goroncino, il fosso del Becco, il fonte Risola, il fosso San Piero in località Erosa e il fosso dell'Uno.

A seguito degli eventi alluvionali avvenuti nel novembre 2012, l'Amministrazione Comunale di Abbadia ha avviato la realizzazione di un insieme di opere volto ad aumentare la sicurezza idraulica dell'intero centro abitato.

Di tali nuovi interventi alcuni risultano già funzionanti mentre altri sono rimasti, alla data odierna, solo ad un livello progettuale.

Nel presente studio si considera la presenza delle sole opere effettivamente realizzate e collaudate come di seguito meglio descritte:

- tratti in uscita dal laghetto Verde e dal laghetto Goroncino (*progetto "Opere di regimazione idraulica all'interno del perimetro di bonifica dell'area mineraria" a firma degli Ingg. Alberto Bertocci e Fabrizio Bisconti depositato – gennaio 2013*);
- rifacimento dello scatolare del fonte Risola (*progetto di "Realizzazione del canale di by-pass idraulico dell'invaso del Muraglione – Lotto 4" – Extrò studio associato – novembre 2017"*)

Di seguito l'analisi delle caratteristiche morfologiche principali dei bacini con i relativi tempi di corrivazione.

San Pietro all'Esassetta

Area del bacino = 0.43 km²

Lunghezza asta principale = 1.0 km

Quota massima del bacino = 1300 m s.l.m.

Quota massima dell'asta = 1038 m s.l.m.

Quota media del bacino = 1050 m s.l.m.

Quota minima = 896 m s.l.m.

Con tali dati il tempo di corrivazione secondo Giandotti è risultato: $t_c = 0.42$ h

Il tempo di corrivazione secondo Kirpich: $t_c = 0.18$ h

Il tempo di corrivazione secondo Ventura: $t_c = 0.22$ h

Il tempo di corrivazione secondo Alto: $t_{c200} = 0.66$ h;

Laghetto Verde + Goroncino:

Area del bacino = 2.86 km²

Lunghezza asta principale = 3.5 km

Quota massima del bacino = 1738 m s.l.m.

Quota massima dell'asta = 1535 m s.l.m.

Quota media del bacino = 1233 m s.l.m.

Quota minima = 880 m s.l.m.

Con tali dati il tempo di corrivazione secondo Giandotti è risultato: $t_c = 0.80$ h

Il tempo di corrivazione secondo Kirpich: $t_c = 0.34$ h

Il tempo di corrivazione secondo Ventura: $t_c = 0.50$ h

Il tempo di corrivazione secondo Alto: $t_{c200} = 1.18$ h;

Fosso del Becco

Area del bacino = 0.45 km²

Lunghezza asta principale = 1.0 km

Quota massima del bacino = 1102 m s.l.m.

Quota massima dell'asta = 1000 m s.l.m.

Quota media del bacino = 955 m s.l.m.

Quota minima = 866 m s.l.m.

Con tali dati il tempo di corrivazione secondo Giandotti è risultato: $t_c = 0.55$ h

Il tempo di corrivazione secondo Kirpich: $t_c = 0.14$ h

Il tempo di corrivazione secondo Ventura: $t_c = 0.23$ h

Il tempo di corrivazione secondo Alto: $t_{c200} = 0.76$ h;

Fonte Risola

Area del bacino = 2.77 km²

Lunghezza asta principale = 4.7 km

Quota massima del bacino = 1616 m s.l.m.

Quota massima dell'asta = 1400 m s.l.m.

Quota media del bacino = 1070 m s.l.m.

Quota minima = 843 m s.l.m.

Con tali dati il tempo di corrivazione secondo Giandotti è risultato: $t_c = 1.14$ h

Il tempo di corrivazione secondo Kirpich: $t_c = 0.50$ h

Il tempo di corrivazione secondo Ventura: $t_c = 0.62$ h

Il tempo di corrivazione secondo Alto: $t_{c200} = 1.50$ h;

San Piero (loc.Erosa)

Area del bacino = 0.16 km²

Lunghezza asta principale = 0.4 km

Quota massima del bacino = 984 m s.l.m.

Quota massima dell'asta = 867 m s.l.m.

Quota media del bacino = 885 m s.l.m.

Quota minima = 834 m s.l.m.

Con tali dati il tempo di corrivazione secondo Giandotti è risultato: $t_c = 0.39$ h

Il tempo di corrivazione secondo Kirpich: $t_c = 0.09$ h

Il tempo di corrivazione secondo Ventura: $t_c = 0.18$ h

Il tempo di corrivazione di calcolo $t_c = 0.13$ h

Fosso dell'Uno

Area del bacino = 0.20 km²

Lunghezza asta principale = 0.25 km

Quota massima del bacino = 1040 m s.l.m.

Quota massima dell'asta = 905 m s.l.m.

Quota media del bacino = 950 m s.l.m.

Quota minima = 867.4 m s.l.m.

Con tali dati il tempo di corrivazione secondo Giandotti è risultato: $t_c = 0.30$ h

Il tempo di corrivazione secondo Kirpich: $t_c = 0.05$ h

Il tempo di corrivazione secondo Ventura: $t_c = 0.15$ h

Il tempo di corrivazione di calcolo $t_c = 0.10$ h

3.2 Area di dettaglio Val di Paglia

Si analizza il Fiume Paglia chiuso alla confluenza con il Torrente degli Olmarelli con il contributo idraulico degli affluenti minori in destra idraulica (Fosso delle Bugliole, Fosso delle Voltole, e dei fossi minori compresi fra il Bugliole e il Voltole), per i quali si è condotta l'analisi delle caratteristiche morfologiche principali dei bacini tributari.

Fiume Paglia sino alla confluenza del Torrente degli Olmarelli:

Area del bacino = 53.163 km²

Quota minima = 350.2 m s.l.m.

Lunghezza asta principale = 12.358 km

Quota media del bacino = 742.2 m s.l.m.

Con tali dati il tempo di corrivazione secondo Giandotti è risultato: $t_c = 3.01$ h

Fosso delle Bugliole

Area del bacino = 0.872 km²

Quota minima = 377.8 m s.l.m.

Lunghezza asta principale = 1.505 km

Dislivello altimetrico fra gli estremi dell'asta = 212.2 m

Con tali dati il tempo di corrivazione secondo Kirpich è risultato: $t_c = 0.19$ h

Fosso delle Voltole

Area del bacino = 1.013 km²

Quota minima = 352.9 m s.l.m.

Lunghezza asta principale = 1.952 km

Dislivello altimetrico fra gli estremi dell'asta = 200.1 m

Con tali dati il tempo di corrivazione secondo Kirpich è risultato: $t_c = 0.27$ h

Fosso#1 (TS 45631)

Area del bacino = 0.078 km²

Quota minima = 373.0 m s.l.m.

Lunghezza asta principale = 0.650 km

Dislivello altimetrico fra gli estremi dell'asta = 47.0 m

Con tali dati il tempo di corrivazione secondo Kirpich è risultato: $t_c = 0.13$ h

Fosso#2 (TS45770 – sottobacino nord)

Area del bacino = 0.145 km²

Quota minima = 367.7 m s.l.m.

Lunghezza asta principale = 1.050 km

Dislivello altimetrico fra gli estremi dell'asta = 152.4 m

Con tali dati il tempo di corrivazione secondo Kirpich è risultato: $t_c = 0.14$ h

Fosso#3 (TS45770 – sottobacino sud)Area del bacino = 0.107 km²

Quota minima = 367.5 m s.l.m.

Lunghezza asta principale = 0.662 km

Dislivello altimetrico fra gli estremi dell'asta = 82.5 m

Con tali dati il tempo di corrivazione secondo Kirpich è risultato: $t_c = 0.11$ h**4. Uso del suolo**

Per la definizione dell'uso del suolo si è fatto riferimento al metodo del *Curve Number*, proposto dal *Soil Conservation Service* (SCS-CN). Tale procedura, utilizzata per il calcolo delle piogge nette, è di seguito illustrata.

Il metodo consiste nell'assegnare ad una determinata area un numero adimensionale (CN) che varia tra 100 (per corpi idrici e suoli completamente impermeabili) e circa 30 (per suoli con elevati tassi di infiltrazione). Con valori di CN uguali o prossimi allo 0, si è in presenza di una superficie assimilabile alla perfetta "spugna". Viene assorbita e trattenuta la totalità o quasi della precipitazione. Con valori di CN uguali o prossimi a 100, siamo in presenza di terreni o superfici impermeabili dove la precipitazione si trasforma interamente, o quasi, in deflusso.

Il CN è essenzialmente correlato ai seguenti fattori:

- Natura litologica del suolo;
- Tipo di copertura (uso del suolo)
- Condizioni iniziali di umidità del suolo antecedenti un evento meteorico;
- Stagione di riposo o crescita della vegetazione.

L'agenzia del Dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti (USDA) Natural Resources Conservation Service (NRCS), precedentemente nota come Soil Conservation Service, ha fornito nel 1972 delle tabelle per facilitare la determinazione del parametro CN. Innanzitutto, ha suddiviso il suolo in quattro classi in base alla capacità di assorbimento:

Tipo idrologico di suolo	Descrizione
A	Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili
B	Potenzialità di deflusso moderatamente bassa. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione
C	Potenzialità di deflusso moderatamente alta. Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.
D	Potenzialità di deflusso molto alta. Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza delle superfici.

Tabella 1 – Tipologie di suolo nel metodo SCS-CN

Una volta determinata la classe del suolo si consulta la seguente Tabella dove sono riportati, per tali gruppi, i valori del parametro CN in relazione al tipo di copertura (uso del suolo).

Cover description Cover type	Hydrologic condition	Curve numbers for hydrologic soil group			
		A	B	C	D
Pasture, grassland, or range—continuous forage for grazing. ^{2/}	Poor	68	79	86	89
	Fair	49	69	79	84
	Good	39	61	74	80
Meadow—continuous grass, protected from grazing and generally mowed for hay.	—	30	58	71	78
Brush—brush-weed-grass mixture with brush the major element. ^{3/}	Poor	48	67	77	83
	Fair	35	56	70	77
	Good	30 ^{4/}	48	65	73
Woods—grass combination (orchard or tree farm). ^{5/}	Poor	57	73	82	86
	Fair	43	65	76	82
	Good	32	58	72	79
Woods. ^{6/}	Poor	45	66	77	83
	Fair	36	60	73	79
	Good	30 ^{4/}	55	70	77
Farmsteads—buildings, lanes, driveways, and surrounding lots.	—	59	74	82	86

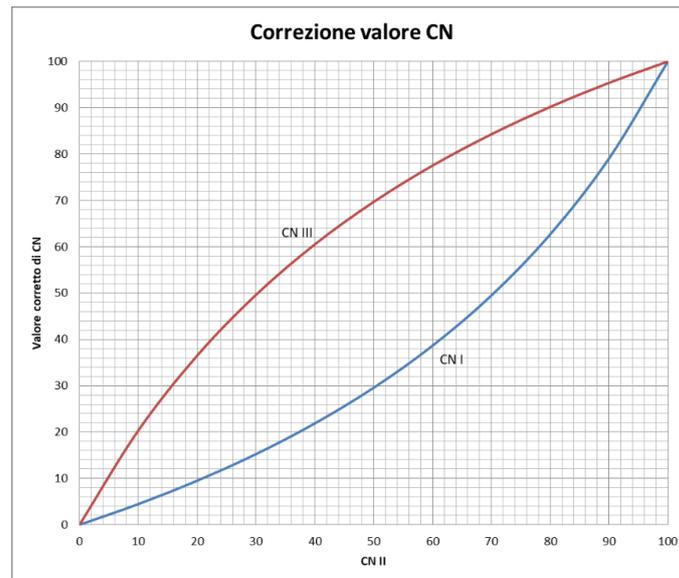
Tabella 2 – Valori del Curve Number per suoli agricoli dell'U.S.D.A. Technical Release 55

Le condizioni di saturazione del terreno sono fondamentali per la corretta valutazione della curva di frequenza delle portate al colmo. Difatti, a parità di precipitazione, le diverse condizioni del terreno incidono sulla risposta del bacino e sulla portata al colmo. Il metodo esprime lo stato di saturazione attraverso le condizioni di umidità del terreno antecedenti l'inizio dell'evento (AMC, Antecedent Moisture Condition). L'SCS individua tre classi, AMC I, AMC II e AMC III, in relazione al valore assunto dall'altezza di pioggia caduta nei 5 giorni precedenti l'evento meteorico. L'attribuzione della classe AMC si basa sui criteri riportati nella tabella di seguito:

Classe AMC	Stagione di riposo	Stagione di crescita
I	< 12.7 mm	<35.5 mm
II	12.7-28.0 mm	35.5-53.3 mm
III	>28.0 mm	>53.3 mm

Tabella 3 – Criteri di scelta classe AMC metodo SCS-CN

Generalmente il CN fornito, e quindi quello scelto nella Tabella 2, si riferiscono alla classe AMC II. Per condizioni antecedenti l'evento molto umide, AMC III, o molto asciutte, AMC I, si possono derivare i relativi valori di CN, determinati con il seguente grafico o le seguenti espressioni:



$$CN I = \frac{4.2 CN II}{10 - 0.058 CN II}$$

$$CN III = \frac{23 CN II}{10 + 0.13 CN II}$$

La Regione Toscana mette a disposizione uno *shape file* da utilizzare in ambiente GIS contenente un *database spatialite* con l'archivio poligonale dell'uso e copertura del suolo. Tra le informazioni consultabili nel database è presente il valore del CN II assegnato per aree omogenee.

Nel caso dei bacini relativi all'area di Abbadia Centro, vista la copertura boschiva superiore al 75% dell'area, e la natura del suolo classificabile come tipo C (media - bassa permeabilità), si assume un valore di CN II = 70.

A favore di sicurezza si ipotizza il suolo completamente saturo quindi, applicando la correzione, si deriva il valore del CN III = 85.

Nel caso dei bacini relativi all'area di Val di Paglia, stante la copertura boschiva dell'area, e la natura del suolo prevalentemente impermeabile, si assume un valore di CN II = 90.

5. Analisi idrologica

Nel presente capitolo vengono determinate le massime portate e gli idrogrammi di massima piena attesi nei tratti di interesse dei corsi d'acqua in esame. È stato calcolato l'idrogramma di piena di ciascun bacino per tempi di ritorno di 30 e 200 anni.

Per la stima della portata di piena dei corsi d'acqua indagati, in mancanza di una serie storica di dati di portata al colmo misurata in prossimità della sezione di chiusura, sono stati confrontati più metodi indiretti.

In particolare, si sono analizzati:

1. il metodo definito all'Appendice A.I.1 degli "Allegati alle Norme" del Piano di Stralcio Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino del Fiume Tevere;
2. il metodo definito all'Appendice A.I.2 degli "Allegati alle Norme" del Piano di Stralcio Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino del Fiume Tevere;
3. il metodo di valutazione delle portate di piena della Regione Toscana tramite l'utilizzo del software ALTO (v.2.00 aprile 2003);
4. il metodo di valutazione delle portate di piena della Regione Toscana tramite regionalizzazione delle piogge con durata da 1 a 5 giorni e da 1 a 24 ore così come definito al capitolo 4 del "Quaderno Idrologico del Bacino del Fiume Tevere" dell'Autorità di Bacino del Fiume Tevere.

I risultati ottenuti mediante i metodi sopramenzionati sono stati poi confrontati fra loro e con i valori utilizzati dai precedenti studi idrologici su tale area.

5.1 Metodo definito all'Appendice A.I.1 degli Allegati alle Norme del PAI

Tale metodo è stato adottato per il calcolo della portata al colmo della piena di riferimento nell'ambito degli studi propedeutici alla redazione del piano di bacino del Fiume Tevere del 1998. Tale valore è fornito dalla formula razionale:

$$Q = (h_{d,t} \cdot k_r \cdot k_d \cdot S) / (3.6 \cdot T_c)$$

dove $k_r = 0.903$, mentre k_d assume il valore derivate dalla tabella seguente:

$k_{d,50}$	0.672
$k_{d,100}$	0.714
$k_{d,200}$	0.756
$k_{d,500}$	0.798

Il calcolo di $h_{d,t}$ è funzione della latitudine del centroide di riferimento del bacino.

Una volta nota la latitudine del centroide secondo il sistema di coordinate UTM è possibile risalire ai valori dei termini Z/L e Z/Y in base alla Tabella 4 seguente:

Latitudine	Z/L	Z/Y	Latitudine	Z/L	Z/Y
41.233	0.02941	0.21948	42.650	0.01903	0.14899
41.283	0.02919	0.21770	42.683	0.01868	0.14684
41.450	0.02838	0.21140	42.717	0.01833	0.14465
41.467	0.02829	0.21073	42.767	0.01779	0.14133
41.617	0.02744	0.20451	42.850	0.01688	0.13569
41.667	0.02714	0.20234	42.867	0.01669	0.13454
41.683	0.02704	0.20160	42.900	0.01631	0.13224
41.750	0.02661	0.19860	42.950	0.01574	0.12873
41.783	0.02639	0.19706	42.967	0.01554	0.12754
41.833	0.02606	0.19471	43.017	0.01495	0.12397
41.900	0.02559	0.19150	43.033	0.01475	0.12277
41.917	0.02547	0.19068	43.050	0.01455	0.12156
41.967	0.02510	0.18819	43.083	0.01415	0.11912
42.417	0.02133	0.16346	43.150	0.01333	0.11418
42.433	0.02117	0.16247	43.167	0.01312	0.11293
42.450	0.02101	0.16147	43.183	0.01291	0.11168
42.467	0.02085	0.16046	43.200	0.01270	0.11041
42.517	0.02037	0.15740	43.233	0.01228	0.10788
42.550	0.02004	0.15533	43.267	0.01184	0.10531
42.567	0.01988	0.15429	43.317	0.01119	0.10142
42.583	0.01971	0.15325	43.350	0.01075	0.09880
42.600	0.01954	0.15219	43.450	0.00940	0.09080
42.633	0.01920	0.15007			

Tabella 4 – Valori dei parametri Z/L e Z/Y in funzione della latitudine

5.1.1 Abbadia Centro

Si sviluppa l'analisi per il fosso a valle della confluenza fra il nuovo canale proveniente dal Laghetto Verde e il nuovo canale proveniente dal laghetto Goroncino. Tale portata si immette poi nel tratto tombato subito a sud-est del Piazzale dei Minatori.

Tale portata è stata scelta come portata di verifica del modello idrologico poiché tale tombamento risulta centrale al fine della determinazione delle mappe di allagabilità relative al centro abitato di Abbadia.

La latitudine del centroide di riferimento è di 42.530 per cui eseguendo un'interpolazione lineare fra i valori di tabella 42.517 e 42.567 si ottiene $Z/L = 0.020$ e $Z/Y = 0.157$.

Tali valori inseriti nella formula

$$S_1 = 90 \cdot Z/L - 11.4 Z/Y$$

forniscono il valore di $S_1 = 0.0366$ che a sua volta fornisce $E_{h1} = (S_1 + 1) \cdot 29 = 30.061$ mm.

Dalla Tabella 5 si ricava il valore del termine K_t in funzione del tempo di ritorno e lo si inserisce nella formula:

$$h_{d,t} = K_t \cdot E_{h1} d^{0.29}$$

dove $h_{d,t}$ è espresso in mm, il pedice d e il termine d rappresentano la durata della pioggia critica espressa in ore pari al tempo di corrivazione e il pedice t è il tempo di ritorno prescelto.

T [anni]	K_T	T [anni]	K_T
5	1.2074	150	2.5666
10	1.4309	200	2.7036
20	1.6803	250	2.8104
25	1.7679	500	3.1442
50	2.0601	750	3.3402
75	2.2427	1000	3.4793
100	2.376		

Tabella 5 – Valori dei quantili adimensionali K_t

Si giunge quindi, noto il tempo di corrivazione, all'altezza di pioggia critica per i vari tempi di ritorno:

$h_{d,50}$	52 mm
$h_{d,100}$	60 mm
$h_{d,200}$	68 mm
$h_{d,500}$	79 mm

Per cui si ottiene i seguenti valori di portata:

$Q_{,50}$	26.691 m^3/s
$Q_{,100}$	29.557 m^3/s
$Q_{,200}$	36.160 m^3/s
$Q_{,500}$	41.236 m^3/s

5.1.1 Val di Paglia

Si sviluppa l'analisi relativamente alla sezione di chiusura del Fiume Paglia.

La latitudine del centroide di riferimento è di 42.300 per cui eseguendo un'interpolazione lineare fra i valori di tabella 41.967 e 42.417 si ottiene $Z/L = 0.022$ e $Z/Y = 0.17$.

Tali valori inseriti nella formula

$$S_1 = 90 \cdot Z/L - 11.4 Z/Y$$

forniscono il valore di $S_1 = 0.042$ che a sua volta fornisce $E_{h1} = (S_1+1) \cdot 29 = 30.218$ mm.

Dalla Tabella 5 si ricava il valore del termine K_t in funzione del tempo di ritorno e lo si inserisce nella formula:

$$h_{d,t} = K_t \cdot E_{h1} d^{0.29}$$

dove $h_{d,t}$ è espresso in mm, il pedice d e il termine t rappresentano la durata della pioggia critica espressa in ore pari al tempo di corrivazione e il pedice t è il tempo di ritorno prescelto.

T [anni]	K_T	T [anni]	K_T
5	1.2074	150	2.5666
10	1.4309	200	2.7036
20	1.6803	250	2.8104
25	1.7679	500	3.1442
50	2.0601	750	3.3402
75	2.2427	1000	3.4793
100	2.376		

Tabella 6 – Valori dei quantili adimensionali K_T

Si giunge quindi, noto il tempo di corrivazione, all'altezza di pioggia critica per i vari tempi di ritorno:

$h_{d,50}$	86 mm
$h_{d,100}$	99 mm
$h_{d,200}$	112 mm
$h_{d,500}$	131 mm

Per cui si ottiene i seguenti valori di portata:

$Q_{,50}$	254.937 m^3/s
$Q_{,100}$	312.407 m^3/s
$Q_{,200}$	376.392 m^3/s
$Q_{,500}$	462.050 m^3/s

5.2 Metodo definito all'Appendice A.I.2. degli Allegati alle Norme del PAI

Il secondo metodo suggerito dall'AdB Tevere risulta quello riportato nel "Quaderno Idrologico del Bacino del Fiume Tevere" dell'Autorità di Bacino del Fiume Tevere.

Tale metodo, che consiste nella definizione della curva di possibilità climatica di assegnato tempo di ritorno in qualunque punto del bacino del Tevere, si basa sulle seguenti relazioni:

$$h = a \cdot D^b \cdot f(K, T)$$

$$f(K, T) = 1 - K \cdot (0.45 + 0.799 \ln(-\ln(1 - 1/T)))$$

essendo h = altezza di pioggia in mm;

a, b = coefficienti della curva di possibilità climatica;

D = durata della precipitazione in ore;

K = coefficiente di variazione;

T = tempo di ritorno in anni.

Questa procedura consente il calcolo di un'altezza di pioggia puntuale che può pertanto riferirsi al baricentro del bacino stesso.

5.2.1 Abbadia Centro

Per il fosso a valle della confluenza fra il nuovo canale proveniente dal Laghetto Verde e il nuovo canale proveniente dal laghetto Goroncino si sviluppano i calcoli per il tempo di corrivazione 0.55h, (proveniente dalla media aritmetica dei tempi calcolati con i metodi di Giandotti, Kirpich e Ventura).

I parametri a, b, K desunti mediante lettura delle carte con le isolinee relative alle piogge orarie, sono per il bacino in oggetto rispettivamente 31.0, 0.33 e 0.40.

Pertanto, l'altezza di pioggia puntuale risulta essere:

h,30	48 mm
h,200	64 mm

Il calcolo della pioggia areale viene effettuato mediante una procedura proposta dal U.S. Weather Bureau che tiene conto sia della durata dell'evento meteorico sia della superficie interessata dallo stesso.

Ha,30	48 mm
Ha,200	63 mm

Il calcolo della pioggia netta, ovvero del volume di piena, viene effettuato in base al metodo del Curve Number, formulato dal Soil Conservation Service nel 1972 che per il corso d'acqua in esame vale CN III = 85.

La pioggia netta che ne deriva risulta essere:

Pn,30	18 mm
Pn,200	29 mm

Per il calcolo della portata al colmo la forma dell'idrogramma proposta è quella del Ghirardelli, ossia il classico idrogramma triangolare avente tempo di risalita e tempo di discesa pari al tempo di corrivazione. Pertanto, il valore della portata al colmo si calcola con la formula:

$$Q = (Pn \cdot A) / (360 \cdot T_c)$$

dove Q portata al colmo (m³/s); Pn pioggia netta areale (mm); T_c tempo di corrivazione (ore); A superficie del bacino (ha).

Si ottiene quindi la portata al colmo per tempo di ritorno 30 e 200 anni:

Q,30	26.03 m ³ /s
Q,200	42.86 m ³ /s

Stesso metodo, sempre tenendo conto del tempo di corrivazione ottenuto come media aritmetica tra le formule di Giandotti, Kirpich e Ventura, si applica ai bacini del Fosso San Pietro all'Esasseta, del Fosso del Becco e del Fonte Risola ottenendo i seguenti risultati:

Nome bacino	Abac [ha]	h 30 [mm]	h 200 [mm]	Ha 30 [mm]	Ha 200 [mm]	Pn,30 [mm]	Pn,200 [mm]	Q30 [mc/s]	Q200 [mc/s]
Laghetto Goroncino+Verde	286	48	64	48	63	18	29	26.03	42.86
San Piero Esassetta	43	38	50	38	50	11	19	5.14	8.93
Fosso Becco	45	40	53	40	53	13	21	5.11	8.76
Fonte Risola	277	54	71	53	70	22	35	22.42	36.17

Tabella 7 – Portate al colmo per i corsi d'acqua afferenti al capoluogo

5.2.2 Val di Paglia

Per la sezione di chiusura del Paglia i parametri a, b, K desunti mediante lettura delle carte con le isolinee relative alle piogge orarie, sono per il bacino in oggetto rispettivamente 32.5, 0.33 e 0.42.

Pertanto, l'altezza di pioggia puntuale risulta essere:

h,30	91 mm
h,200	121 mm

Il calcolo della pioggia areale viene effettuato mediante una procedura proposta dal U.S. Weather Bureau che tiene conto sia della durata dell'evento meteorico sia della superficie interessata dallo stesso.

Ha,30	86 mm
Ha,200	114 mm

La pioggia netta, tenendo conto del valore stimato del CN II, risulta essere:

Pn,30	59 mm
Pn,200	86 mm

Per il calcolo della portata al colmo la forma dell'idrogramma proposta è quella del Ghirardelli, ossia il classico idrogramma triangolare avente tempo di risalita e tempo di discesa pari al tempo di corrivazione. Pertanto, il valore della portata al colmo risulta:

$$Q = (Pn \cdot A) / (360 \cdot T_c)$$

Dove Q portata al colmo (m^3/s); Pn pioggia netta areale (mm); T_c tempo di corrivazione (ore); A superficie del bacino (ha).

Si ottiene infine la portata al colmo per tempo di ritorno 30 e 200 anni:

Q,30	289.583 m^3/s
Q,200	420.353 m^3/s

5.3 Valutazione portate di piena tramite software ALTO (v.2.00 aprile 2003)

5.3.1 Abbadia Centro

Sono state condotte indagini, tramite software ALTO (v.2.00 aprile 2003) della Regione Toscana, relativamente al tratto in esame con sezione di chiusura ubicata subito a monte del tombamento con ingresso a sud-est del Piazzale dei Minatori, (codice asta n°11241 – codice IDRETLR79 TS45099). Di seguito si riportano i valori caratterizzanti l'asta:

Nome asta	Ermete o Elmeta
Numero asta	11241
Area tributaria [Km ²]	2.86
Param. di Horton R _A	5.215
Param. di Horton R _B	2.862
Param. di Horton R _L	1.378
Param. I _a	22.704
Param. di Nash n	2.107
Param. di Nash k	0.340
a ₁ , n ₁ , m ₁	29.067; 0.336; 0.23
a, n, m	32.085; 0.288; 0.22

In particolare, è stata adeguata l'estensione dell'area del bacino in esame da 2.99 a 2.86 mantenendo gli altri parametri invariati.

Come condizioni di partenza per la costruzione dell'idrogramma è stata scelta una durata di evento variabile atta a massimizzare la portata di picco, ietogramma costante e utilizzati i parametri $f_a = 0.036$, $f_b = 0.25$ e $f_c = 0.01$.

Il risultato della modellazione restituisce come valore della portata per tempi di ritorno 30 e 200 anni i seguenti risultati:

Q ₃₀	30.90 m ³ /s
Q ₂₀₀	52.15 m ³ /s

5.3.2 Val di Paglia

Applicando il software ALTO (v.2.00 aprile 2003) della Regione Toscana, al tratto di Paglia con sezione di chiusura ubicata subito a monte della confluenza con il Torrente degli Olmarelli (codice asta n°11874 11241 – codice IDRETLR79 TS46578).

Per analogia con le aste prossime 11507 e 11506, si sono definiti i parametri idrologici in ingresso al software per la modellazione dell'asta 11874 di studio, adeguando l'estensione dell'area

del bacino in esame (53.163 km²) e definendo il parametro la (11.53 mm) come media pesata dei valori del parametro la delle aste 11507 e 11506. Si ottiene così il seguente set di dati in ingresso:

Nome asta	Paglia
Numero asta	11874
Area tributaria [Km2]	53.163
Param. di Horton RA	5.040
Param. di Horton RB	2.893
Param. di Horton RL	1.547
Param. la	11.53
Param. di Nash n	2.200
Param. di Nash k	0.823
a, n, m	30.011; 0.30; 0.215

Come condizioni di partenza per la costruzione dell'idrogramma è stata scelta una durata di evento variabile atta a massimizzare la portata di picco, ietogramma costante e utilizzati i parametri $f_a = 0.036$, $f_b = 0.25$ e $f_c = 0.01$.

Il risultato della modellazione restituisce come valore della portata per tempi di ritorno 30 e 200 anni i seguenti risultati:

Q ₃₀	301.55 m ³ /s
Q ₂₀₀	472.72 m ³ /s

5.4 ALTO con piogge regionalizzate

Si è scelto anche di valutare le portate di piena dei bacini ancora con il software ALTO (v.2.00 aprile 2003) utilizzando però la regionalizzazione delle piogge come definito dall'AdB Tevere.

Per fare ciò sono stati immessi nel software ALTO i coefficienti a, n, m provenienti dai calcoli e valutazioni fatte nel paragrafo 5.2.

Tale operazione è stata condotta conducendo un parallelo tra la formula utilizzata per la definizione della curva di possibilità climatica dell'AdB Tevere e la curva di possibilità climatica della Regione Toscana:

$$h = a \cdot D^b \cdot f(K, T) \quad [\text{AdB Tevere}]$$

essendo h = altezza di pioggia in mm;

a,b = coefficienti della curva di possibilità climatica;

D = durata della precipitazione in ore;

K = coefficiente di variazione;

T = tempo di ritorno in anni.

$$h = a \cdot T_c^n \cdot T^m$$

[Regione Toscana]

a, n, m = coefficienti della curva di possibilità climatica;

T_c = tempo di corrivazione in ore;

T = tempo di ritorno in anni.

In particolare, si può facilmente asserire che attribuendo la durata della precipitazione uguale al tempo di corrivazione i coefficienti a , b della curva di possibilità climatica dell'AdB Tevere sono uguali rispettivamente ai coefficienti a , n della Regione Toscana.

Per quanto riguarda invece il coefficiente m si è dovuto riportare la funzione $f(K, T)$ nella forma T^m ed essendo la formula dell'AdB Tevere funzione di K e T si è giunti ad un valore di m diverso per ogni tempo di ritorno.

5.4.1 Abbadia Centro

Fosso Ermete o Elmeta

Nome asta	Ermete o Elmeta	Nome asta	Ermete o Elmeta
Numero asta	11241	Numero asta	11241
Area tributaria [Km ²]	2.99	Area tributaria [Km ²]	2.86
Param. di Horton R _A	5.215	Param. di Horton R _A	5.215
Param. di Horton R _B	2.862	Param. di Horton R _B	2.862
Param. di Horton R _L	1.378	Param. di Horton R _L	1.378
Param. la	22.704	Param. la	22.704
Param. di Nash n	2.107	Param. di Nash n	2.107
Param. di Nash k	0.340	Param. di Nash k	0.340
a1, n1, m1	29.067; 0.336; 0.23	a1=a, n1=n, m1=m (tr30)	31.0; 0.33; 0.189
a, n, m	32.085; 0.288; 0.22	a1=a, n1=n, m1=m (tr200)	31.0; 0.33; 0.174

Q ₃₀	28.13 m ³ /s
Q ₂₀₀	39.65 m ³ /s

Fosso San Pietro all'Esassetta o della Chiusa:

Nome asta	Chiusa Della	Nome asta	Chiusa Della
Numero asta	10956	Numero asta	10956
Area tributaria [Km ²]	1.40	Area tributaria [Km ²]	0.43
Param. di Horton R _A	3.822	Param. di Horton R _A	3.822
Param. di Horton R _B	2.000	Param. di Horton R _B	2.000
Param. di Horton R _L	3.513	Param. di Horton R _L	3.513
Param. la	8.80	Param. la	8.80
Param. di Nash n	2.618	Param. di Nash n	2.618
Param. di Nash k	0.223	Param. di Nash k	0.223
a1, n1, m1	29.1; 0.336; 0.23	a1=a, n1=n, m1=m (tr30)	31.0; 0.33; 0.189
a, n, m	32.1; 0.288; 0.22	a1=a, n1=n, m1=m (tr200)	31.0; 0.33; 0.174

Q ₃₀	6.40 m ³ /s
Q ₂₀₀	8.64 m ³ /s

Fosso del Becco o del Vivo e Acqua Gialla:

Nome asta	Vivo del e Acqua Gialla	Nome asta	Vivo del e Acqua Gialla
Numero asta	11250	Numero asta	11250
Area tributaria [Km ²]	1.06	Area tributaria [Km ²]	0.45
Param. di Horton R _A	4.263	Param. di Horton R _A	4.263
Param. di Horton R _B	3.000	Param. di Horton R _B	3.000
Param. di Horton R _L	1.621	Param. di Horton R _L	1.621
Param. la	21.625	Param. la	21.625
Param. di Nash n	2.587	Param. di Nash n	2.587
Param. di Nash k	0.188	Param. di Nash k	0.188
a1, n1, m1	29.1; 0.336; 0.23	a1=a, n1=n, m1=m (tr30)	31.0; 0.33; 0.189
a, n, m	32.1; 0.288; 0.22	a1=a, n1=n, m1=m (tr200)	31.0; 0.33; 0.174

Q ₃₀	5.77 m ³ /s
Q ₂₀₀	8.11 m ³ /s

Fonte Risola:

Nome asta	Cocca Della	Nome asta	Cocca Della
Numero asta	11519	Numero asta	11519
Area tributaria [Km ²]	3.70	Area tributaria [Km ²]	2.77
Param. di Horton R _A	3.873	Param. di Horton R _A	3.873
Param. di Horton R _B	2.187	Param. di Horton R _B	2.187
Param. di Horton R _L	1.996	Param. di Horton R _L	1.996
Param. la	24.266	Param. la	24.266
Param. di Nash n	2.211	Param. di Nash n	2.211
Param. di Nash k	0.436	Param. di Nash k	0.436
a1, n1, m1	29.1; 0.336; 0.23	a1=a, n1=n, m1=m (tr30)	31.0; 0.33; 0.189
a, n, m	32.1; 0.288; 0.22	a1=a, n1=n, m1=m (tr200)	31.0; 0.33; 0.174

Q ₃₀	22.95 m ³ /s
Q ₂₀₀	32.32 m ³ /s

5.4.2 Val di Paglia

Per l'asta del fiume Paglia in esame è stato scelto a vantaggio di sicurezza, il valore del coefficiente m più alto per i tempi di ritorno indagati (m = 0.196).

Il risultato della modellazione con ALTO (v.2.00 aprile 2003) ha fornito i seguenti risultati:

Q ₃₀	333.611 m ³ /s
Q ₂₀₀	496.736 m ³ /s

5.5 Confronto con le piogge regionalizzate della Regione Toscana

La scelta di utilizzare le piogge regionalizzate secondo la metodologia dell'Autorità di Bacino del Tevere è dovuta al fatto che LSPP derivate da queste portano a eventi pluviometrici (e quindi di piena) più significativi.

Nel marzo 2014 sono stati pubblicati dalla RT i nuovi dati di regionalizzazione delle piogge che forniscono i parametri a ed n della LSPP con risoluzione di 1 km x 1 km nel territorio regionale.

Grazie a questi valori è stato svolto un confronto delle LSPP utilizzate nel §5.4 per le zone di dettaglio.

5.5.1 Abbadia Centro

Sono stati estrapolati i valori a ed n relativi alle piogge con tempo di ritorno 30 e 200 anni per le celle interessate dal bacino del nuovo canale dei laghi.

Come si riporta nell'immagine sottostante il bacino si estende principalmente su 4 celle per una copertura paragonabile fra cella e cella.

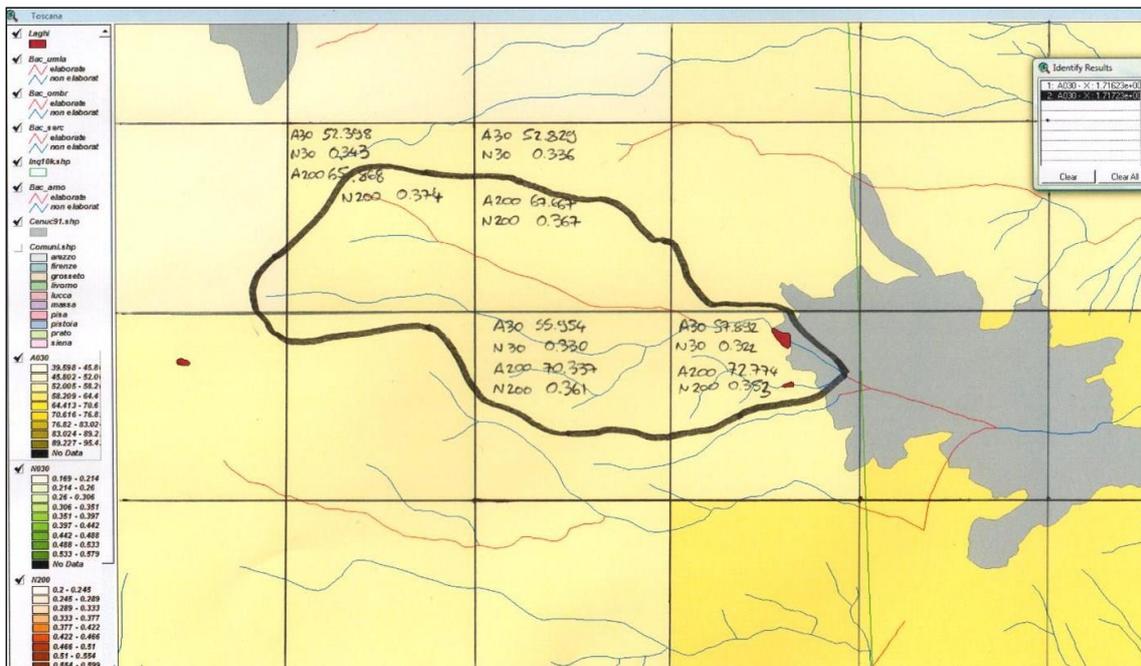


Figura 1- Bacino del nuovo canale dei laghi sovrapposto al raster a,n della Regione Toscana

E' stata quindi fatta una media aritmetica per i valori di a,n delle celle interessate dal bacino.

Coefficiente a		
Tr	30	200
a1	52.398	65.868
a2	52.829	67.667
a3	55.954	70.337
a4	57.892	72.774
a medio	54.768	69.162

Coefficiente n		
Tr	30	200
n1	0.343	0.374
n2	0.336	0.367
n3	0.330	0.361
n4	0.322	0.353
n medio	0.333	0.364

Tali valori sono stati successivamente confrontati con i valori di calcolo riportati al paragrafo 5.4 occupandosi di trasformare il valore a con la formula $A=a*Tr^m$ essendo il secondo fattore integrato nel valore di a per la regionalizzazione della Toscana.

Coefficiente di calcolo		
Tr	30	200
a	31.0	31.0
m	0.189	0.174
A	58.950	77.889
n	0.330	0.330

Dai valori così ottenuti è stato pertanto possibile paragonare le curve di possibilità pluviometrica di calcolo con quelle provenienti dalla nuova regionalizzazione Toscana 2014.

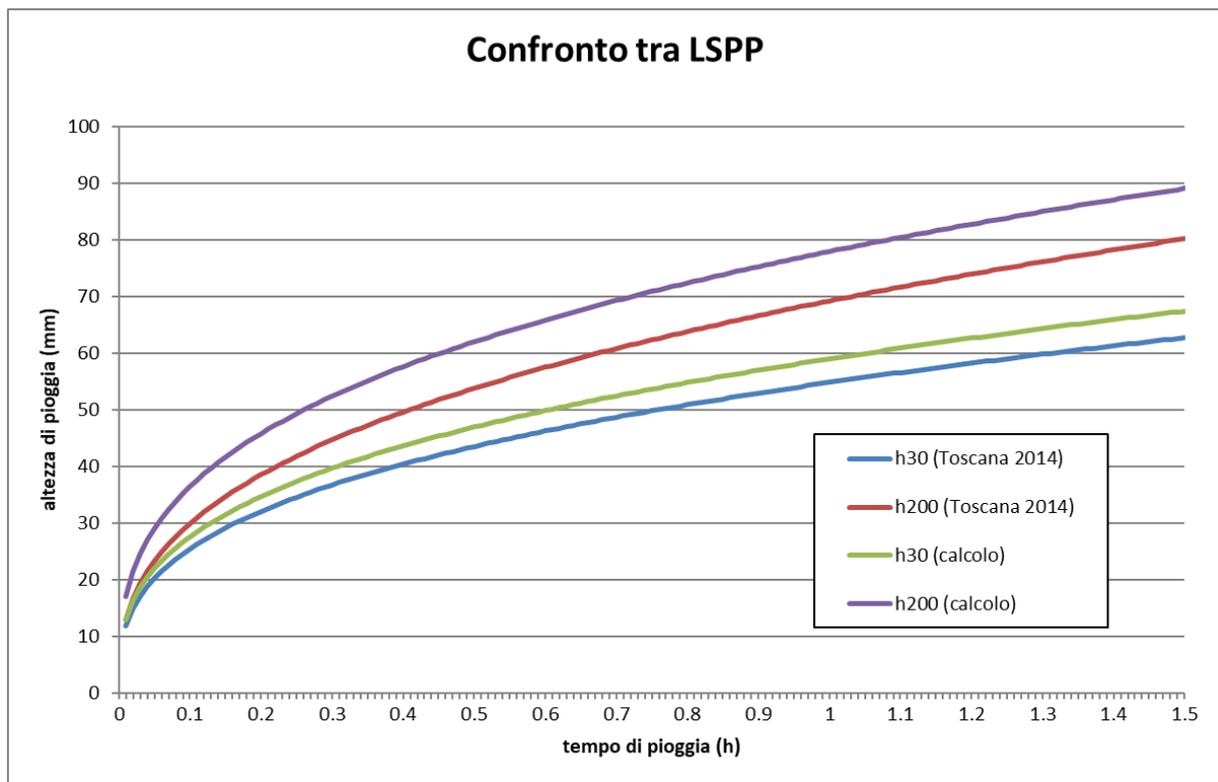


Figura 2- Confronto LSPP ABT e RT per la zona Abbadia Centro

Si evince chiaramente dalla che figura le altezze di pioggia ottenute con la regionalizzazione dell'AdB Tevere risultano più alte e cautelative di quelle provenienti dalla regionalizzazione Toscana del marzo 2014.

5.5.2 Val di Paglia

Sono stati estrapolati i valori a ed n relativi alle piogge con tempo di ritorno 30 e 200 anni per le celle interessate dal bacino del Paglia considerando, a favore di sicurezza, i valori massimi dei singoli parametri.

Coefficiente a		
Tr	30	200
a MAX	59.426	74.703

Coefficiente n		
Tr	30	200
n MAX	0.359	0.391

Tali valori sono stati successivamente confrontati con i valori di calcolo riportati al paragrafo 5.4 occupandosi di trasformare il valore a con la formula $A=a \cdot Tr^m$ essendo il secondo fattore integrato nel valore di a per la regionalizzazione della Toscana.

Coefficiente di calcolo		
Tr	30	200
a	32.5	32.5
m	0.196	0.196
A	63.268	91.738
n	0.330	0.330

Dai valori così ottenuti è stato pertanto possibile paragonare le curve di possibilità pluviometrica di calcolo con quelle provenienti dalla nuova regionalizzazione Toscana 2014.

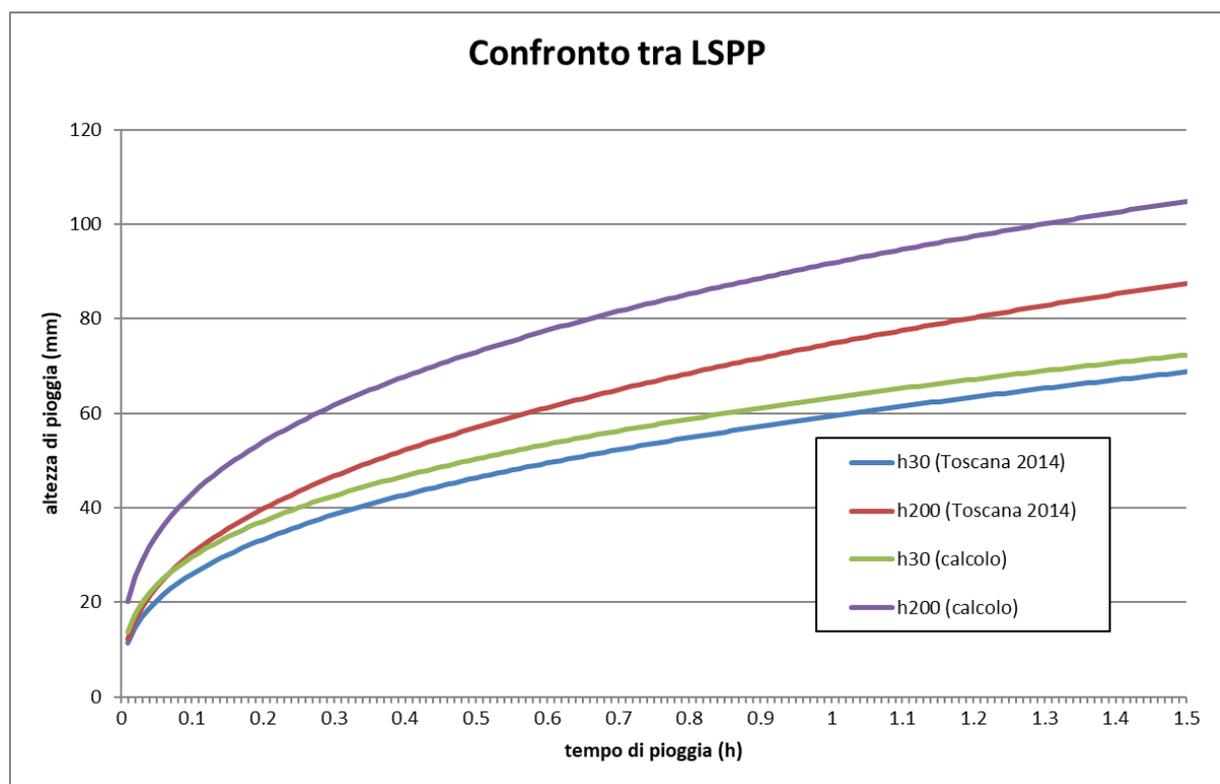


Figura 3- Confronto LSPP ABT e RT per la zona Val di Paglia

Si evince chiaramente dalla figura che le altezze di pioggia ottenute con la regionalizzazione dell'AdB Tevere risultano più alte di quelle provenienti dalla regionalizzazione Toscana del marzo 2014.

5.6 Analisi dei risultati e scelta del modello idrologico

5.6.1 Abbadia Centro

Analizzando i risultati ottenuti si vede che il metodo definito all'Appendice A.I.1 degli Allegati alle Norme del PAI Tevere è il meno cautelativo dei 4 metodi indagati e pertanto risulta preferibile scartarlo.

La scelta del metodo idrologico più idoneo si restringe fra quelli descritti ai paragrafi 5.2 (metodo A.I.2), 5.3 (Alto) e 5.4 (Alto regionalizzato Tevere).

La differenza sostanziale degli ultimi due metodi è rappresentata dalla scelta della curva di possibilità climatica. Nel metodo illustrato al paragrafo 5.4 è stata adottata infatti la curva di possibilità climatica derivante dagli studi svolti dall'AdB Tevere sul proprio bacino (del quale l'intero centro abitato di Abbadia San Salvatore fa parte) in sostituzione della curva utilizzata dalla Regione Toscana.

Ritenendo più cautelativo il calcolo di portata con ALTO regionalizzato, ovvero "personalizzato", con le piogge del bacino del Tevere, si scarta anche il metodo al paragrafo 5.3.

È stato quindi ristretto il campo di scelta del modello idrologico più idoneo fra quello definito all'Appendice A.I.2. e ALTO regionalizzato.

Per il metodo A.I.2., vista la sua forte correlazione e dipendenza con il tempo di corrivazione, è stato approfondito il calcolo di portata tenendo conto di differenti Tc ottenuti come media fra i soli tempi di corrivazione di Kirpich e Ventura, come consigliato nel quaderno AdB Tevere, e come media dei tempi di corrivazione di Giandotti, Kirpich e Ventura (si veda par. 5.2).

Per brevità di relazione si omette di riportare per esteso i calcoli per la stima delle portate con il metodo A.I.2 con Tc dato dalla media dei tempi di corrivazione di Kirpich e Ventura elencandone soltanto i risultati ottenuti nella tabella seguente dove si riportano anche i valori di portata provenienti da ALTO regionalizzato.

Nome bacino	Abac [ha]	Media Giand. Kirpich Ventura [h]	Media Kirpich Ventura [h]	Metodo A.I.2		Metodo A.I.2		ALTO Reg.	
				Q30 con Giandotti [mc/s]	Q30 senza Giandotti [mc/s]	Q200 con Giandotti [mc/s]	Q200 senza Giandotti [mc/s]	Q30 [mc/s]	Q200 [mc/s]
Laghetto Goroncino+Verde	286	0.55	0.42	26.03	28.50	42.86	47.82	28.13	39.65
San Piero Esasseta	43	0.31	0.19	5.14	5.67	8.93	10.16	6.40	8.64
Fosso Becco	45	0.31	0.19	5.11	5.89	8.76	10.55	5.77	8.11
Fonte Risola	277	0.75	0.56	22.42	25.07	36.17	41.21	22.95	32.32

Come si può notare le portate ottenute con l'appendice A.I.2 con Giandotti e le portate ottenute con ALTO regionalizzato sono sostanzialmente equivalenti.

Le portate ottenute invece con il metodo A.I.2 senza Giandotti risultano leggermente superiori ad ALTO regionalizzato.

Tuttavia, indipendentemente dai suggerimenti riportati nel quaderno dell'AdB, si ritiene che i valori di Tc senza Giandotti siano eccessivamente brevi per bacini con caratteristiche geometriche e di uso del suolo come quelli studiati.

Indagando anche ulteriori metodi di calcolo del tempo di corrivazione (Kerby, Puglisi, Pasini), di seguito riportati, questa convinzione appare fondata.

Nome bacino	Abac [ha]	Kerby [h]	Puglisi [h]	Pasini [h]	Giandotti [h]	Kirpich [h]	Ventura [h]	Media Giand. Kirpich Ventura [h]	Media Kirpich Ventura [h]	Media Giand. Kirpich Ventura [min]	Media Kirpich Ventura [min]
Laghetto Goroncino+Verde	286	1.17	1.49	0.54	0.80	0.34	0.50	0.55	0.42	33	25
San Piero Esasseta	43	0.69	0.64	0.22	0.55	0.14	0.23	0.31	0.19	18	11
Fosso Becco	45	0.69	0.63	0.22	0.55	0.14	0.23	0.31	0.19	18	11
Fonte Risola	277	1.49	1.84	0.74	1.14	0.50	0.62	0.75	0.56	45	33

Pertanto, al termine di questa indagine comparativa, si ritiene che il metodo ALTO regionalizzato nonostante non sia il più cautelativo in assoluto, sia quello più valido in quanto in linea con gli studi idraulici condotti per la Val di Paglia e gli altri studi idraulici ricadenti nel bacino del Fiume Tevere e non dissimile dal metodo A.I.2 "con Giandotti".

Le portate di riferimento per le successive verifiche idrauliche saranno quindi:

Bacino	Q30 [mc/s]	Q200 [mc/s]
Laghetto Goroncino+Verde	28.13	39.65
San Piero Esasseta	6.40	8.64
Fosso Becco	5.77	8.11
Fonte Risola	22.95	32.32
Fosso dell'Uno	3.00	5.77

5.6.2 Val di Paglia

Analizzando i risultati ottenuti possiamo asserire che i metodi suggeriti dagli "Allegati alle Norme PAI" dall'AdB Tevere risultano meno cautelativi rispetto ad i risultati ottenuti utilizzando il software ALTO della Regione Toscana.

Si ritiene pertanto preferibile, oltre che più cautelativo, restringere la scelta del metodo idrologico più adatto al presente studio fra quelli descritti al paragrafo 5.3 e 5.4.

Come nel caso precedente si è ritenuto più corretto e cautelativo adottare il metodo ALTO regionalizzato secondo le piogge del bacino del Tevere.

Le portate di riferimento per le successive verifiche idrauliche saranno quindi:

Q,30	333.611	m ³ /s
Q,200	496.736	m ³ /s

Relativamente ai bacini minori della Val di Paglia è stato adottato il metodo illustrato nell'Appendice A.1.2. degli Allegati alle Norme del PAI paragrafo, che l'AdB Tevere suggerisce per il calcolo della portata di piena per piccoli bacini.

Utilizzando per il calcolo del tempo di corrivazione la formula di Kirpich, si ottengono le portate per i vari tempi di ritorno.

Fosso delle Bugliole

Q,30	20.109 m3/s
Q,200	32.296 m3/s

Fosso delle Voltole:

Q,30	20.365 m3/s
Q,200	32.145 m3/s

Fosso#1 (TS45631):

Q,30	2.134 m3/s
Q,200	3.501 m3/s

Fosso#2 (TS45770 – sottobacino nord)

Q,30	3.818 m3/s
Q,200	6.226 m3/s

Fosso#3 (TS45770 – sottobacino sud)

Q,30	3.153 m3/s
Q,200	5.238 m3/s

6. Analisi idraulica

La modellazione idraulica dei tratti fluviali di interesse per la determinazione delle condizioni di pericolosità idraulica è stata condotta mediante il software HEC-RAS 6.1.0 (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System) prodotto dal Corpo degli Ingegneri dell'esercito americano (USACE).

6.1 Descrizione del modello idraulico

Le simulazioni sono state eseguite in regime di moto vario mono e bidimensionale e sono descritte in dettaglio nel seguito. In particolare, si è proceduto ad implementare un'analisi monodimensionale in alveo e bidimensionale al di fuori dell'alveo inciso.

Per la definizione delle condizioni di pericolosità dell'area sono state effettuate più simulazioni, corrispondenti alle durate di pioggia critiche e ai diversi tempi di ritorno per i corsi d'acqua in esame.

Per problemi legati alla mancante totalità di copertura dei modelli digitali del terreno, per agevolare in termini temporali la modellazione, e per la non interferenza idraulica tra zone molto distanti tra loro, è stato creato un modello idraulico per ogni centro abitato.

6.1.1 Modellazione monodimensionale

La forma delle equazioni del moto vario (o equazioni di De Saint Venant) utilizzate in HEC-RAS è la seguente:

Equazione di continuità:

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

Equazione di conservazione della quantità di moto:

$$\frac{(\partial Q)}{(\partial t)} + \frac{(\partial(\Phi^2 Q^2 / A_c))}{(\partial x_c)} + \frac{(\partial((1-\Phi^2) Q^2 / A_f))}{(\partial x_f)} + g A_c \left[\frac{(\partial Z)}{(\partial x_c)} + S_{f_c} \right] + g A_f \left[\frac{(\partial Z)}{(\partial x_f)} + S_{f_f} \right] = 0$$

con:

$$Q_c = \Phi \cdot Q ; \quad \Phi = (K_c) / (K_c + K_f)$$

I pedici c ed f si riferiscono rispettivamente al *main channel* (alveo centrale) ed alle *floodplain* (aree golenali), Q rappresenta la portata, g l'accelerazione di gravità, x l'ascissa, t il tempo, K la conveyance (o fattore di trasporto) della sezione, Z la quota del pelo libero (somma della quota di fondo z e dell'altezza liquida y), A l'area liquida, Sf la pendenza della linea dell'energia. HEC-RAS utilizza generalmente il modello completo delle equazioni di De Saint Venant. Nelle analisi in moto vario le tecniche di soluzione numerica delle equazioni del moto assumono un'importanza maggiore rispetto alle analisi a moto permanente. La soluzione numerica di tali equazioni in regime di corrente lenta è basata su un metodo alle differenze finite di tipo implicito a quattro punti, noto in letteratura come *box scheme*. Dalla discretizzazione alle differenze finite delle equazioni del moto applicate ad un tratto di corso d'acqua, e dall'applicazione delle condizioni al contorno, risulta un sistema lineare

di N equazioni in N incognite, con N pari a 2 volte il numero di sezioni in cui è stato suddiviso il corso d'acqua meno le sezioni in cui sono state assegnate le condizioni al contorno. Tale sistema deve essere risolto ad ogni successivo istante di calcolo. Il sistema di equazioni lineari viene risolto con metodo iterativo, utilizzando l'algoritmo skyline, specificatamente pensato per la soluzione dei problemi di moto vario nelle reti a pelo libero.

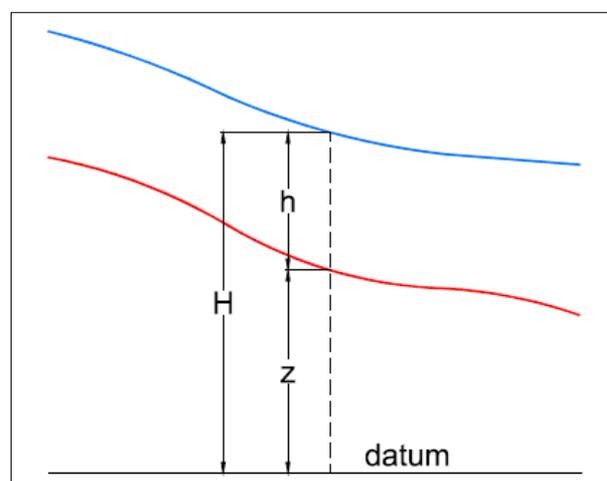
Nel caso di corrente mista lenta o veloce HEC-RAS utilizza la tecnica LPI "Local Partial Inertia", mediante la quale si passa gradualmente dalla soluzione delle equazioni complete del moto alla soluzione del modello parabolico delle equazioni del moto vario. Il modello parabolico viene applicato dal programma soltanto nei tratti di corso d'acqua in cui si ha un numero di Froude maggiore di un valore soglia definibile dall'utente (generalmente si assume $Fr=1$, corrispondente al passaggio della corrente attraverso lo stato critico). Il modello matematico riesce così a garantire una buona stabilità di calcolo anche nei tratti interessati da corrente veloce o mista, pur mantenendo un'adeguata accuratezza di calcolo.

Per ulteriori dettagli sulle equazioni e gli algoritmi di calcolo si rimanda alla manualistica di HECRAS ed in particolare all'Hydraulic Reference Manual.

6.1.2 Modellazione bidimensionale

Il modello matematico bidimensionale utilizza le equazioni di conservazione della massa e della quantità di moto, che vengono risolte con uno schema ai volumi finiti.

Nell'immagine che segue è mostrato il sistema di riferimento di Hec-Ras 2D, la quota del terreno è indicata con $z(x,y)$ l'altezza idrica con $h(x,y,t)$; la quota del pelo libero con $H(x,y,t) = z(x,y) + h(x,y,t)$.



Conservazione della massa: assumendo il fluido incomprimibile, l'equazione differenziale della conservazione della massa (continuità) in moto vario è:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(h \cdot u)}{\partial x} + \frac{\partial(h \cdot v)}{\partial y} + q = 0$$

in cui t è il tempo, u e v sono rispettivamente le componenti di velocità lungo le direzioni x ed y e q è la portata in ingresso ed in uscita dovuta a immissioni od uscite di acqua.

Conservazione della quantità di moto: quando la dimensione orizzontale caratteristica dell'area di studio è molto maggiore della dimensione verticale, gli effetti legati alla componente verticale della velocità possono essere trascurati e si può assumere una distribuzione idrostatica delle pressioni, a partire dalle equazioni di Navier-Stokes. In tali ipotesi e nell'ipotesi di densità del fluido costante, l'equazione di conservazione della quantità di moto assume la seguente forma:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial u}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial v}{\partial y} = -g \cdot \frac{\partial H}{\partial x} + \nu_t \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - c_f \cdot u + f \cdot v$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial v}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial v}{\partial y} = -g \cdot \frac{\partial H}{\partial y} + \nu_t \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - c_f \cdot v - f \cdot u$$

in cui oltre ai simboli già illustrati, g è l'accelerazione di gravità, ν_t è il coefficiente di viscosità turbolenta, c_f è il coefficiente di attrito al fondo, ed f è il coefficiente di Coriolis.

Utilizzando la formula di Chézy il coefficiente di scabrezza sul fondo è dato da:

$$c_f = \frac{g \cdot |V|}{C^2 \cdot R}$$

in cui g è l'accelerazione di gravità, $|V|$ è il modulo del vettore velocità, C è il coefficiente di Chézy ed R è il raggio idraulico. Utilizzando la formula di Manning $C=R^{1/6}/n$, in cui n è il coefficiente di scabrezza di Manning, pertanto si ha:

$$c_f = \frac{n^2 \cdot g \cdot |V|}{R^{4/3}}$$

Per la modellazione del campo di moto HEC-RAS utilizza l'approccio batimetrico *sub-grid* sviluppato da Casulli. Con tale approccio si riesce a sfruttare informazioni topografiche ad alta risoluzione (ad esempio dati Lidar con passo della griglia pari ad 1m) pur utilizzando celle di calcolo a dimensione caratteristica maggiore rispetto alla risoluzione dei dati in ingresso. Per ogni singola cella di calcolo, infatti, in fase di preprocessione viene ricavata la legge di variazione con la quota del pelo libero delle grandezze idrauliche caratteristiche, basandosi sui dati topografici ad alta risoluzione relativi alla cella stessa. Vengono così determinate: curva di vaso della cella, area, contorno bagnato e raggio idraulico su ogni bordo della cella. Tale schema di risoluzione consente di sfruttare al massimo il dettaglio dei dati in ingresso.

6.1.3 Caratteristiche geometriche dei modelli idraulici

La geometria del modello (riportata in allegato) è stata implementata utilizzando rilievi topografici appositamente svolti, dai dati lidar disponibili per l'area in esame e geometrie provenienti da analisi precedenti.

le caratteristiche topografiche della rete di calcolo 2D sono state desunte dal modello digitale del terreno generato dai dati LIDAR della Regione Toscana disponibili per l'area di studio, verificando

la congruenza tra i rilievi disponibili ed i dati LIDAR. La rete di calcolo bidimensionale è stata definita utilizzando le opzioni di discretizzazione automatica del dominio di calcolo presenti in RAS, definendo opportune break lines in corrispondenza di elementi morfologicamente ed idraulicamente significativi, quali strade, corsi d'acqua, rilevati, etc.

6.1.4 Parametri di scabrezza e coefficienti di perdita concentrata

I coefficienti di scabrezza n di Manning sono stati fissati avvalendosi del confronto tra le caratteristiche dei tratti in esame ed altri corsi d'acqua di caratteristiche di scabrezza simili, per cui si hanno a disposizione misure di taratura.

Per l'alveo si è adottato un valore pari a 0.04 nel caso di alvei naturali e 0.03 per i tratti artificiali in calcestruzzo, mentre per le aree golenali si è considerato un valore pari a 0.06, considerando anche la possibilità che la piena possa avvenire in condizioni di non perfetta manutenzione del corso d'acqua. Nei tratti tombati in calcestruzzo si è utilizzato un coefficiente di scabrezza pari a 0.03.

Sono stati inoltre assegnati coefficienti di perdita concentrata per contrazione/espansione variabili tra 0.1/0.3 e 0.3/0.5 a seconda delle caratteristiche di variazione della sezione.

Il coefficiente di scabrezza delle celle bidimensionali è stato assunto pari a 0.06.

6.2 Input idraulici

I modelli idraulici necessitano di condizioni al contorno di monte e di valle. Hec-Ras permette di inserire come input idrologici sia gli idrogrammi nelle sezioni idrauliche che le precipitazioni nelle aree bidimensionali di esondazioni. Per quanto riguarda le condizioni al contorno di valle, al fine di modellare il deflusso delle portate, il software permette di inserire la pendenza dell'alveo o delle aree di esondazione in caso di deflusso libero, oppure una quota fissa del pelo libero nel caso in cui il corso d'acqua sfoci in mare, in un lago o in un invaso.

6.2.1 Condizioni al contorno di monte

Nei modelli idraulici in esame sono state inserite come condizioni al contorno di monte i soli idrogrammi calcolati nell'analisi idrologica. Non sono state inserite le precipitazioni delle aree 2D, poiché già considerate nel calcolo degli idrogrammi, avendo scelto come sezione di chiusura dei bacini idrografici le sezioni a valle dei modelli.

6.2.2 Condizioni al contorno di valle

Trovandoci in zone montane e collinari, come condizioni al contorno di valle si è scelta in via cautelativa una pendenza pari a 0.01, sia per gli alvei incisi che per le aree d'esondazione.

6.3 Area di dettaglio Abbadia Centro

Nello specifico del Capoluogo si è analizzata la funzionalità idraulica dei tombamenti e dei tratti a cielo aperto sottoposti all'arrivo di piene eccezionali con tempi di ritorno di 30 e 200 anni, distribuendo sul territorio i volumi d'acqua non recepiti dalla rete dei canali tombati.

In particolare, sono stati studiati in ordine da nord a sud: il fosso dell'Uno, il fosso San Pietro all'Esassetta, il nuovo canale a valle della confluenza dei nuovi canali in uscita dal laghetto Verde e dal laghetto Goroncino, il fosso del Becco, il fonte Risola, il fosso San Piero in località Erosa.

Ogni fosso è stato quindi verificato per le piene di riferimento precedentemente calcolate.

Laddove i tombamenti risultavano insufficienti al deflusso delle acque è stata svolta un'analisi sulla massima portata smaltibile dal tombamento per ottenere una stima dei volumi d'acqua non recepiti dal sistema, che è avvenuta tagliando l'idrogramma di piena costruito dal software ALTO, con il valore di massima portata smaltita dal tombamento.

Tali volumi d'acqua, valutati caso per caso, sono stati distribuiti sul territorio creando un modello idraulico bidimensionale in HEC-RAS, sulla base cartografica LIDAR Regione Toscana, con piena in ingresso definita dagli idrogrammi non smaltiti dai tratti tombati.

Per la zona dell'Esassetta (Fosso San Pietro all'Esassetta e fosso dell'Uno) è stata scelta una modellazione dei tombamenti come culvert all'interno del modello bidimensionale, facendo calcolare direttamente al modello la portata d'acqua non smaltita dai tombamenti.

Il modello del terreno usato per le modellazioni idrauliche bidimensionali è stato creato partendo da una base LIDAR Regione Toscana e inserendo opportune break-line per simulare i corretti percorsi dell'acqua in corrispondenza del perimetro dello Stadio Comunale.

La presenza degli edifici è invece stata modellata assegnando agli stessi un coefficiente di scabrezza 'n' di Manning pari a 10, per simulare una significativa difficoltà da parte della piena di invaderli nel breve periodo senza perdere la loro potenziale capacità di invaso.

Tutte le successive analisi sono state condotte tenendo conto che i tombamenti siano puliti e liberi da ostruzioni. Tale condizione può ritenersi accettabile in quanto nei tratti precedenti l'ingresso al tombamento sono spesso presenti situazioni atte a trattenere i sedimenti flottanti ovvero si è in presenza di una geometria, per dimensioni e pendenze elevate, tale da non destare preoccupazioni circa i potenziali sedimenti e/o ostruzioni.

La stessa Amministrazione Comunale dichiara che nei precedenti eventi alluvionali non si sono rilevate situazioni di criticità idraulica imputabili a problematiche di sedimentazione e/o ostruzione, ovvero le stesse sono già state affrontate e risolte.

Fatte salve situazioni eccezionali ed imprevedibili.

6.3.1 *Officiosità idraulica del reticolo*

Fosso dell'Uno

Percorrendo la Strada Provinciale del Monte Amiata provenendo da nord in ingresso ad Abbadia San Salvatore in località Esasseta, esiste un tombamento alla S.P. del Monte Amiata (n. 18 A) per consentire l'attraversamento del fosso dell'Uno.

La sezione di imbocco di tale tombamento risulta essere un tubolare in cls di diametro 800 mm. Tale sezione è stata riscontrata anche a metà percorso in un tratto del tombamento esplosa per eccesso di pressione. La pendenza media del tombamento è infatti del 14%.

Una verifica della sezione evidenzia la corretta capacità di smaltimento della portata anche duecentennale.

In cartografia si riporta pertanto, per il corso d'acqua in questione, la sola pericolosità idraulica di tipo geometrico coincidente con la fascia di assoluto rispetto del corso d'acqua.

San Pietro all'Esasseta

Proseguendo l'avvicinamento al Capoluogo sulla SP 18A si incontra un ulteriore tombamento per consentire l'attraversamento del fosso San Pietro.

La sezione di imbocco di tale tombamento risulta essere un tubolare in cls di diametro 1000 mm, mentre lo sbocco risulta essere in sezione scatolare in cls delle dimensioni 1.5 m x 1.5 m.

E' stata pertanto verificata la sezione di imbocco.

Per la verifica in moto uniforme sono stati quindi adottati i seguenti parametri:

<i>Diametro</i>	<i>1000 mm</i>
<i>Pendenza</i>	<i>0.15 m/m</i>
<i>Coefficiente di Manning</i>	<i>0.020</i>
<i>Q max</i>	<i>4.93 m³/s</i>
<i>Q 30</i>	<i>6.40 m³/s</i>
<i>Q 200</i>	<i>8.64 m³/s</i>

Il tombamento sotto la S.P. del Monte Amiata risulta quindi insufficiente sia per il transito della portata con tempo di ritorno 30 anni sia per il transito della portata con tempo di ritorno 30 e 200 anni.

La portata, distribuita mediante modellazione bidimensionale idraulica, causa un allagamento prevalentemente localizzato sulla strada provinciale del Monte Amiata per richiudersi subito dopo averla attraversata trattandosi di alveo fortemente inciso.

Nuovo canale Laghetto Verde + Goroncino

Subito a sud dell'attacco della Strada Provinciale Vetta dell'Amiata (n.81 A) esiste un laghetto artificiale denominato Laghetto Verde.

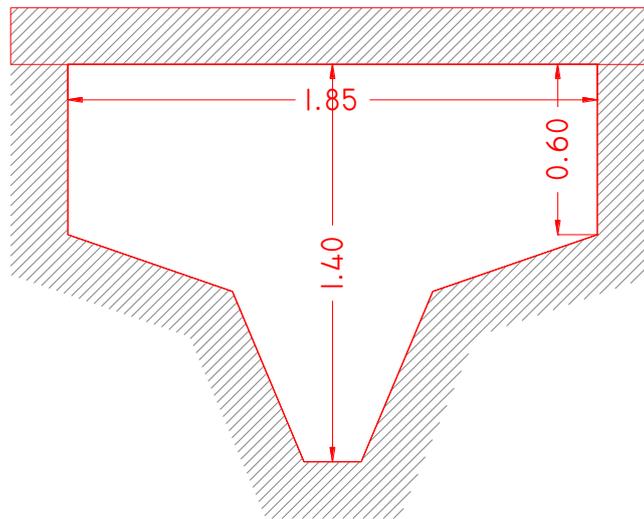
Da questo si diparte un canale di recente costruzione, quasi esclusivamente a cielo aperto, che confluisce nel canale di scarico del Laghetto Goroncino.

Dalla confluenza tramite un canale a sezione ad "U" a cielo aperto di ampie dimensioni si giunge all'imbocco del vecchio tombamento, che si trova a circa 100 m a sud-est del Piazzale dei Minatori.

Tale tombamento è stato ispezionato per un lungo tratto dall'imbocco, la sezione più piccola risulta essere la sezione denominata S-9 a circa 70 m dall'imbocco.

Tale sezione risulta avere le dimensioni sotto riportate.

Sezione S-9



Ipotizzando il riempimento della vasca a monte dell'ingresso al tombamento, la sezione S-9 funzionerà in pressione.

L'altezza d'acqua relativa risulta di circa 5 m in corrispondenza del baricentro della sezione.

Per la verifica in moto uniforme è stata adottata quindi la formula della forometria con tubo addizionale esterno.

$$Q = \mu S \sqrt{2gh}$$

Dove

μ = coefficiente di contrazione da assumere pari a 0.82;

S = area della sezione;

g = accelerazione di gravità

Inserendo i seguenti parametri:

Area di deflusso	1.63 m ²
Altezza d'acqua	5 m
Q max	13.23 m ³ /s
Q 30	28.13 m ³ /s
Q 200	39.65 m ³ /s

Il tombamento risulta quindi insufficiente sia per il transito della portata con tempo di ritorno 30 anni sia per il transito della portata con tempo di ritorno 200 anni.

L'insufficienza causa quindi un allagamento superficiale provocato dall'acqua non smaltita dal tombamento, che è stata modellata mediante software HEC-Ras in moto vario bidimensionale.

Costruendo con il software ALTO un idrogramma dell'evento di piena con tempo di ritorno 30 anni e un idrogramma per l'evento di 200 anni, e tagliando gli idrogrammi in corrispondenza del valore massimo di portata smaltibile dal tombamento ($13.23 \text{ m}^3/\text{s}$), è possibile risalire al volume d'acqua non smaltito dal tombamento.

Nel caso di evento con tempo di ritorno 30 anni il volume d'acqua non recepito dal tombamento risulta essere di circa 40000 mc.

Nel caso di evento con tempo di ritorno 200 anni il volume d'acqua non recepito dal tombamento risulta di 80000 mc.

Fosso del Becco

Circa 100 m a sud del laghetto Goroncino, esiste un'altra piccola valle che dà vita al fosso del Becco.

Tale fosso dopo un breve percorso a cielo aperto, scorre interamente tombato sottoattraversando il campo sportivo fino a confluire nel tombamento del Laghetto Verde + Goroncino.

Il tombamento all'imbocco risulta essere un tubolare in cls del diametro del 1000 mm. Dopo circa 40 m dalla sezione di imbocco la sezione diventa una galleria in muratura di ben più ampie dimensioni.

All'ingresso del tombamento è presente un'area di ampie dimensioni fortemente depressa, confinata da due lati dall'andamento naturale della valle e nella direzione di scorrimento dell'acqua dall'alto rilevato costituito dai depositi minerari succedutisi nel tempo. Questa morfologia costituisce in sostanza una cassa di espansione in linea con scarico a bocca tarata e secondo tale schema idraulico verranno condotte le verifiche successive.

Per semplicità di elaborazione, rimanendo comunque a vantaggio di sicurezza, si è considerato che la portata smaltita dal tratto tombato fosse costante nella fase di moto in pressione.

Per il calcolo di tale valore è stata adottata la formula per le condotte in pressione derivante dal teorema di Bernulli immettendo perdite concentrate all'imbocco perdite allo sbocco e perdite distribuite lungo la condotta secondo la formula di Hazen-Williams e considerando come altezza piezometrica – in via cautelativa – la differenza fra la quota di scorrimento all'imbocco del tombamento e la quota strada in corrispondenza dello sbocco posto alla confluenza con il tratto tombato in arrivo dal laghetto Verde e dal laghetto Goroncino.

Non si tiene quindi conto dell'eventuale battente idraulico che si crea a monte dell'imbocco al tombamento derivante dall'accumulo di volume d'acqua nella cassa di espansione naturale e si considera che a valle, anche in caso di esondazione per fuoriuscita da pozzetti e/o tombini, non venga a crearsi una colonna d'acqua tale da superare la quota del piano strada

Sotto tali ipotesi deriva che la portata massima smaltibile dal tratto tombato sia pari a $4.86 \text{ m}^3/\text{s}$, come riportato nella seguente tabella.

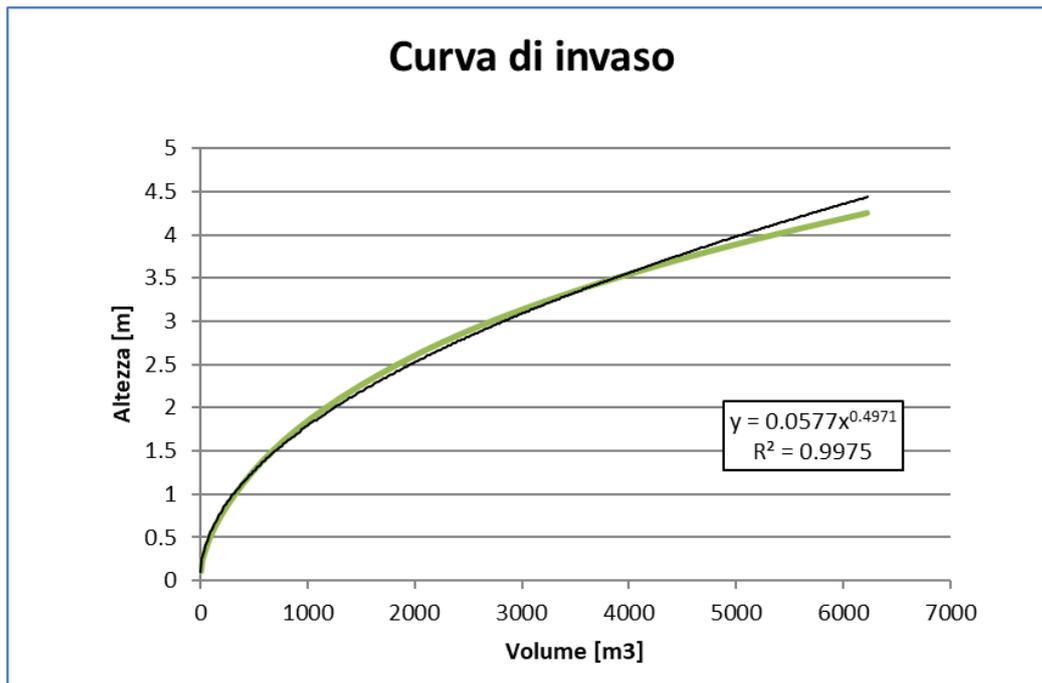
<i>Diametro</i>	<i>1000 mm</i>
<i>Quota imbocco</i>	<i>865.9 m s.l.m.</i>
<i>Quota strada (in corrispondenza della confluenza)</i>	<i>847.6 m s.l.m.</i>
<i>L</i>	<i>389 m</i>
<i>Coefficiente scabrezza</i>	<i>100</i>
<i>Q max</i>	<i>4.86 m³/s</i>
<i>Q 30</i>	<i>5.77 m³/s</i>
<i>Q 200</i>	<i>8.11 m³/s</i>

Risultando la portata smaltita con funzionamento in pressione del tombamento non sufficiente al completo smaltimento delle portate di riferimento si avrà il verificarsi di un accumulo delle piene nella cassa di espansione in linea posta subito a monte dello stesso, della quale si approfondisce il funzionamento idraulico.

Tramite rilievo topografico di dettaglio è stato possibile risalire alla curva di invaso della cassa in oggetto.

Per ogni curva di livello del rilievo (una ogni 25 cm) è stato calcolato il volume invasabile dalla cassa, si riportano di seguito i valori ottenuti:

H (m)	A (m²)	V parziali (m³)	Vtotali (m³)
0.1	27	3	3
0.25	211	18	21
0.5	337	69	89
0.75	479	102	191
1	584	133	324
1.25	686	159	483
1.5	834	190	673
1.75	1002	230	902
2	1165	271	1173
2.25	1335	313	1486
2.5	1521	357	1843
2.75	1740	408	2250
3	2023	470	2721
3.25	2334	545	3265
3.5	2627	620	3885
3.75	2929	695	4580
4	3292	778	5357
4.25	3624	865	6222



Curva di invaso fosso del Becco

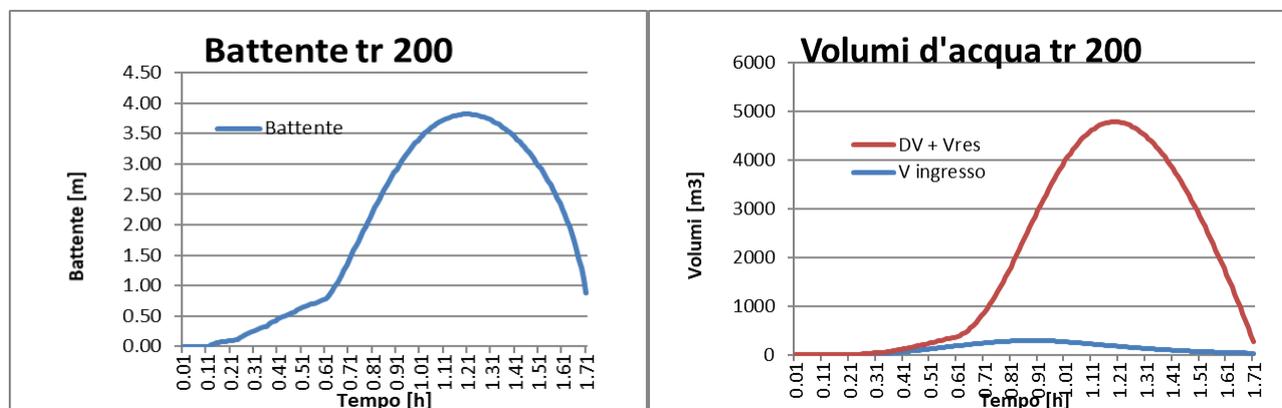
Come appare dal grafico soprastante la curva d'invaso può essere rappresentata dalla funzione $h=0.0577 V^{0.4971}$ con scarto quadratico medio di 0.9988.

Con il software ALTO sono stati calcolati gli idrogrammi degli eventi di piena con tempo di ritorno 30 e 200 anni, per valutare, passo passo, i volumi entranti ed uscenti dalla cassa, tenuto conto di una portata massima smaltibile dal tombamento di 4.86 m³/s, durante la fase in pressione.

La valutazione è stata condotta mediante l'ausilio di un foglio di calcolo discretizzando il calcolo con passo di 0.01 h

Nel caso di evento con tempo di ritorno 30 anni il volume d'acqua massimo in accumulo a monte dal tombamento risulta di 890 mc corrispondenti ad un battente massimo di 1.69 m.

Nel caso di evento con tempo di ritorno 200 anni il volume d'acqua massimo in accumulo a monte dal tombamento risulta di 4597 mc corrispondenti ad un battente massimo di 3.82 m, come graficamente illustrato nelle seguenti figure.



Andamento dei volumi d'acqua in accumulo e relativi battenti TR 200 anni

Considerando che dal rilievo l'altezza massima invasabile risulta di 4.34 m a partire dalla quota di scorrimento del tombamento, il franco di sicurezza sulla quota d'invaso con tempo di ritorno 30 anni sarà di 2.65 m e di 0.52 m per la 200 anni.

Pertanto, è possibile asserire che i volumi d'acqua non transitanti dal tombamento con funzionamento in pressione, rimarranno confinati dalla locale morfologia del terreno nella vasca che si creerà subito a monte dell'ingresso al tombamento.

Si ritiene che lo schema proposto costituisca una discreta approssimazione del reale funzionamento fermo restando il corretto mantenimento e pulizia dell'opera di imbocco e del tratto tombato.

Fonte Risola

In arrivo da sud rispetto all'abitato di Abbadia, il Fonte Risola risulta tombato a partire da una curva di via Fosso Canali fino alla confluenza nel laghetto Muraglione.

Il canale interrato è stato oggetto di recente rifacimento con dimensioni tali da garantire il transito con adeguato franco idraulico della portata duecentennale pertanto non crea problemi di inondazione.

San Piero (loc.Erosa)

Al confine sud del centro abitato in località Erosa scorre un piccolo fosso che nasce dalla località Casa S'Andrea.

Tale fosso risulta intubato per un lungo tratto di circa 700 m a partire da via della Rupe fino a lambire il lato ovest del Cimitero di via Castagnucci.

Negli studi precedenti era stata condotta un'analisi in moto permanente per quanto riguarda un tratto di fosso a cielo aperto subito a monte del tombamento che non aveva evidenziato particolari problemi al deflusso delle portate di riferimento e definito delle aree allagabili pienamente compatibili con le fasce di assoluto rispetto del corso d'acqua.

6.4 Val di Paglia

Per l'area in esame si è sviluppato un modello del terreno con i dati Lidar effettuando un riscontro puntuale con le sezioni trasversali del fiume Paglia, del Fosso delle Bugliole e del Fosso delle Voltole, disponibili dai precedenti studi idraulici.

Il modello Lidar è stato puntualmente editato per rappresentare l'attuale situazione che vede il ponte della s.s. 2 Cassia demolito e sostituito da ponte temporaneo posto poco a valle.

I tombamenti e ponti rilevati nella precedente campagna topografica sono stati inseriti nel modello idraulico bidimensionale come "culvert".

Il riscontro ha fornito risultati estremamente soddisfacenti e ha quindi suggerito la possibilità di poter condurre uno studio idraulico puramente bidimensionale.

In tale ottica sono state inserite, quali condizioni al contorno, gli idrogrammi di piena derivati dalla precedente analisi idrologica per i corsi d'acqua:

- Fiume Paglia
- Fosso delle Bugliole
- Fosso delle Voltole
- Fosso#1 (TS45631):
- Fosso#2 (TS45770 – sottobacino nord)
- Fosso#3 (TS45770 – sottobacino sud)

Per tenere conto dei differenti tempi di corrivazione gli idrogrammi dei corsi d'acqua sono stati tra di loro sfalsati per creare una coincidenza temporale dell'arrivo dei picchi di piena nel fiume Paglia, massimizzando quindi gli effetti dannosi dell'evento meteorico di progetto.

7. Analisi dei risultati

7.1 Considerazione sui risultati delle modellazioni idrauliche

7.1.1 Abbadia Centro

Le verifiche idrauliche svolte sulla capacità, dei tratti tombati e su alcuni tratti a cielo aperto, di smaltire piene con tempo di ritorno 30 e 200 anni hanno messo in luce i seguenti aspetti.

I tombamenti alla Strada Provinciale del Monte Amiata dei **fossi Uno e San Piero** in località **Erosa** sono entrambi verificati e le aree allagabili risultano comprese nelle fasce di assoluto rispetto del corso d'acqua.

Il **Fosso del Becco** pur avendo un tombamento non sufficiente al deflusso delle piene di riferimento sotto al Campo Sportivo, presenta all'imbocco del tombamento un'area depressa che funziona da cassa d'espansione naturale.

Tale cassa risulta capace di contenere i volumi non defluenti all'interno del tombamento con un sufficiente franco idraulico di 0.50 m.

Il tombamento funzionerà quindi da bocca tarata con deflusso in pressione. Non sono conseguentemente prevedibili allagamenti del centro abitato in provenienza dal Fosso del Becco.

Il tombamento del fosso **San Pietro** in località **Esassetta**, in corrispondenza del sottoattraversamento della strada Provinciale del Monte Amiata risulta idraulicamente insufficiente.

L'insufficienza causa quindi un allagamento superficiale localizzato della S.P. del Monte Amiata provocato dall'acqua non smaltita dal tombamento, tuttavia, date le notevoli pendenze in gioco, l'esondazione tenderà a richiudersi subito dopo l'attraversamento stradale trattandosi di valle fortemente incisa.

Il fosso di **Fonte Risola** risulta recentemente aggiornato con sezione adeguata al transito della portata duecentennale, e griglia coanda all'imbocco del tombamento.

Discorso a parte per quanto riguarda il nuovo canale in uscita dal **Laghetto Verde** e dal **Laghetto Goroncino**. Il tombamento non risulta verificato al transito delle piene di riferimento e i volumi d'acqua in esondazione interesseranno porzione del centro abitato.

La loro diffusione tramite modellazione idraulica bidimensionale consente un attendibile valutazione dei percorsi dell'acqua con relativi battenti idraulici e velocità.

7.1.2 Val di Paglia

Per il **Fosso delle Bugliole** sia l'attraversamento delle S.S. Cassia che il lungo tratto tombato al di sotto dell'area industriale non risultano verificati per le portate indagate.

In tal caso il volume d'acqua non smaltito dal tratto tombato risulta defluire verso il Paglia interessando una porzione della S.S. Cassia e gran parte della zona industriale Val di Paglia nord.

Il tombamento del **fosso#1** sotto il complesso industriale val di Paglia Nord risulta insufficiente sia per il transito della portata con tempo di ritorno 30 anni sia per la portata con tempo di ritorno 200 anni.

L'insufficienza causa quindi un allagamento superficiale provocato dall'acqua non smaltita dal tombamento, in transito verso il Fiume Paglia.

Il sottoattraversamento della S.S. Cassia del diametro dell'800 mm in corrispondenza dei **fosso#2** e **fosso#3** risulta inadeguato sia al transito di una portata trentennale sia al transito della duecentennale.

Il volume d'acqua non smaltito dal tombamento risulta inizialmente, grazie anche alla locale morfologia, contenuto da una vasca di compensazione naturale a monte della S.S. Cassia, per poi sormontare la S.S. Cassia con il transito del picco di piena.

Dal lato a monte (rispetto al Paglia) della Cassia l'esondazione si propaga poi in direzione valle interessando marginalmente le viabilità dell'area industriale.

Per il **Fosso delle Voltole** sia l'attraversamento carrabile che il sistema arginale risultano insufficienti a contenere portate con tempo di ritorno di 30 e 200 anni. Il cono alluvionale, pertanto, si estende in destra e in sinistra idraulica fino alla confluenza con il Paglia.

7.2 Riscontro con eventi alluvionali precedenti

Nella notte fra il 27 e il 28 luglio del 2019 si è abbattuto su Abbadia San Salvatore un evento meteorico di carattere eccezionale.

Nel capoluogo le precipitazioni sono iniziate intorno alle ore 21 con un crescendo dell'intensità della pioggia fino ad avere un picco intorno alle ore 22, quando la stazione meteorologica del CFR (Centro Funzionale Regionale) ha registrato **un picco di 17,2 mm in soli 5 minuti**. La pioggia ha continuato a cadere, seppur con minor intensità, fino alle ore 1.00 di domenica 28 notte, per un totale finale di 210,7 mm. Il fronte freddo in transito tra le ore 3.00 e le ore 5.00 del mattino ha portato nuove precipitazioni di debole/moderata intensità, fino ad un **cumulato finale di 239,8 mm**. Il CFR ha calcolato che i tempi di ritorno per un evento del genere su Abbadia **siano superiori ai 50 anni**, anche se va detto che la serie storica dei dati pluviometrici inizia solamente nel 2010.

Dati pluviometrici rete CFR (Centro Funzionale Regionale):

Abbadia S.Salvatore 239,8 mm di cui 82,8 mm tra le ore 21 e le ore 22 (17,2 mm in 5 minuti)

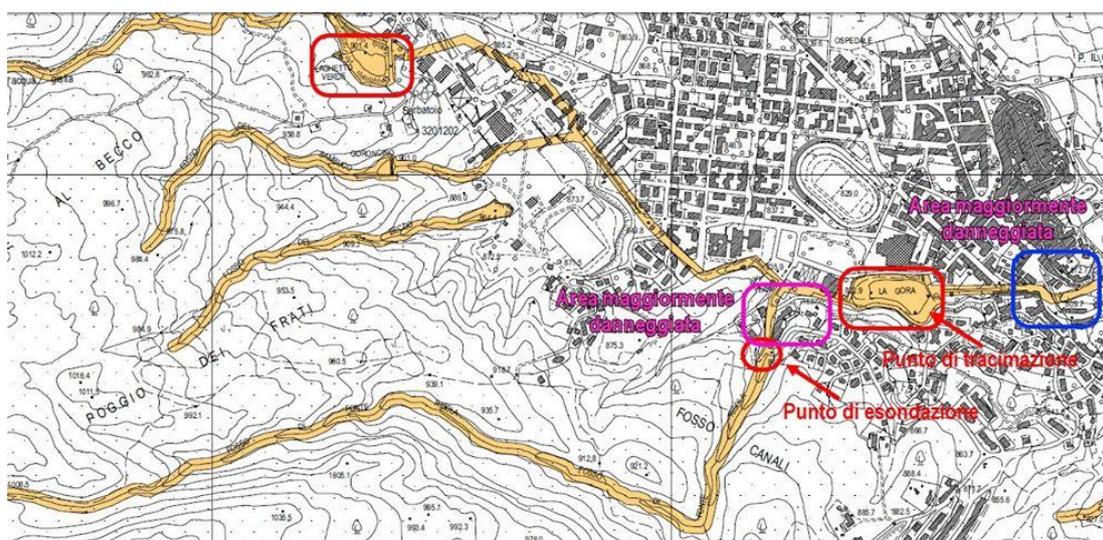
Abbadia S.Salvatore Laghetto Verde 153,6 mm (37 mm in 15 minuti tra le 22 e le 22.15)

Vetta Amiata 161 mm (23 mm in 15 minuti tra le 22 e le 22.15).

L'evento meteorologico ha messo in crisi l'imbocco del tombamento del fosso di fonte Risola (prima dell'adeguamento) e il canale di scolo del laghetto Verde a monte del paese in prossimità della miniera, causando la tracimazione delle acque.

Questa tracimazione, di conseguenza, ha avuto ripercussioni sul fosso canali che, non sopportando la mole d'acqua in arrivo, ha riversato verso il paese tutto il contenuto di acqua fango e massi.

La stessa tracimazione ha poi provocato parte dell'esondazione del laghetto "la Gora" presente nel paese alle spalle della piscina, con conseguente inondazioni dell'abitato a valle di questo, come da figura sottostante.



Elaborazione grafica fonte <https://magazine.meteosiena24.it/nubifragio-di-abbadia-salvatore-2019/>

Di seguito si riportano alcune fotografie dell'evento meteorico sopra descritto.



Figura 4- Via del Fosso Canali subito a valle dell'imbocco del Fonte Risola



Figura 5- Alcune abitazioni del centro paese



Figura 6- Rotatoria S.P. del Monte Amiata (punto più a valle del Centro Abitato di Abbadia)

Da quanto asserito dai tecnici del Comune di Abbadia, e da quanto è stato possibile riscontrare con le testimonianze sul posto e con la documentazione fotografica reperita, l'evento del 2019 ha confermato la "bontà" delle precedenti mappature del rischio idraulico del 2014.

La nuova analisi in moto bidimensionale ha corroborato e dettagliato ulteriormente le mappe di allagabilità, tenendo presente anche le modifiche apportate al Fosso di Fonte Risola dal progetto già realizzato e collaudato "Realizzazione del canale di by-pass idraulico dell'invaso del Muraglione **Lotto 4**".

7.3 Restituzione cartografica

7.3.1 Territorio aperto

Per il territorio comunale di Abbadia San Salvatore, esternamente alle aree studiate in dettaglio, è stata definita la pericolosità idraulica sulla base degli elementi conoscitivi pregressi e dei dati geometrici.

In particolare, sono stati definiti:

- le aree di assoluto rispetto dei corsi d'acqua definite ai sensi dell'art. 96 del R.D. 523/1904 nonché ai sensi dell'art. 3 della L.R. 41/2018. In tali aree l'edificazione è vietata fatto salvo quanto previsto dal citato articolo della legge regionale ovvero, in sintesi non esaustiva, interventi di natura idraulica, reti di servizi essenziali, opere di derivazione, itinerari ciclopedonali, interventi di riqualificazione ambientale, conservazione e manutenzione dei manufatti esistenti legittimi senza frazionamenti o cambi di destinazione d'uso, interventi di adeguamento delle infrastrutture esistenti;
- gli ambiti territoriali di fondovalle posti in situazione morfologicamente sfavorevole coincidenti con le aree presidiate da sistemi arginali per il contenimento delle alluvioni, come definite dall'articolo 2, comma 1, lettera s) della l.r.41/2018 "*aree situate a quote altimetriche inferiori alla quota posta a 2 m sopra il piede esterno dell'argine*". A tali aree viene assegnata pericolosità equivalente P2 "aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti" ai sensi della L.R. 41/2018.
- fascia "A" del Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico (PAI) per il Fiume Tevere recepito dall'Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Centrale (ADAC). La fascia rappresenta le aree assoggettate a inondazione con tempi di ritorno di 50 anni e viene assimilata pericolosità equivalente P3 "area a pericolosità idraulica per alluvioni frequenti" ai sensi della L.R. 41/2018;
- Piano Gestione Rischio Alluvioni (PGRA) dell'Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale (ADAS), che vede la presenza delle fasce di pericolosità idraulica da alluvione P1 bassa, P2 media e P3 elevata che trovano preciso riscontro nella L.R. 41/2018;
- In particolare, in merito alle aree a pericolosità da alluvione P1 bassa, interessate potenzialmente da eventi esondativi per tempi di ritorno superiori a 200 anni, visto il tenore della relativa disciplina d'uso previsto dalla normativa vigente (sostanzialmente di Protezione Civile) non è stata effettuata la modellazione idraulica esplicita per $T_r=500$ anni.

7.3.2 Zone di dettaglio

Nelle zone di dettaglio già descritte, grazie ai modelli idraulici bidimensionali sviluppati, sono stati ottenuti i seguenti strati informativi:

- aree interessate dalle alluvioni frequenti con tempo di ritorno 30 anni (P3) e dalle alluvioni poco frequenti con tempo di ritorno 200 anni, riportate nella **Carta dei vincoli idraulici e della pericolosità da alluvione**. La carta comprende anche i vincoli e le pericolosità individuate per il territorio aperto;
- battenti idraulici per le aree P3 e P2 riportati nelle relative **Carte dei battenti di esondazione**;
- velocità dell'esondazione nelle aree P3 e P2 riportati nelle **Carte delle velocità dell'esondazione**;

Dalla combinazione dei dati di cui sopra relativi alle aree P2 è stata ottenuta la **Carta della magnitudo idraulica**, questa meglio definita alla lettera h) comma 1) dell'art. 2 come:

h) “magnitudo idraulica”: la combinazione del battente e della velocità della corrente in una determinata area, associata allo scenario relativo alle alluvioni poco frequenti:

h1) “magnitudo idraulica moderata”: valori di battente inferiore o uguale a 0,5 metri e velocità inferiore o uguale a 1 metro per secondo (m/s). Nei casi in cui la velocità non sia determinata, battente uguale o inferiore a 0,3 metri;

h2) “magnitudo idraulica severa”: valori di battente inferiore o uguale a 0,5 metri e velocità superiore a 1 metro per secondo (m/s) oppure battente superiore a 0,5 metri e inferiore o uguale a 1 metro e velocità inferiore o uguale a 1 metro per secondo (m/s). Nei casi in cui la velocità non sia determinata, battente superiore a 0,3 metri e inferiore o uguale a 0,5 metri;

h3) “magnitudo idraulica molto severa”: battente superiore a 0,5 metri e inferiore o uguale a 1 metro e velocità superiore a 1 metro per secondo (m/s) oppure battente superiore a 1 metro. Nei casi in cui la velocità non sia determinata battente superiore a 0,5 metri;

Di seguito si riassume la definizione di magnitudo idraulica in forma grafica:

CON VELOCITA' DETERMINATA		
	$V \leq 1$ m/s	$V > 1$ m/s
$Y \leq 0.5$ m	MAGNITUDO IDRAULICA MODERATA	MAGNITUDO IDRAULICA SEVERA
$0.5 \text{ m} < Y \leq 1$ m	MAGNITUDO IDRAULICA SEVERA	MAGNITUDO IDRAULICA MOLTO SEVERA
$Y > 1$ m	MAGNITUDO IDRAULICA MOLTO SEVERA	MAGNITUDO IDRAULICA MOLTO SEVERA

Tabella 8 - Magnitudo idraulica con velocità determinata

Si pone rilievo al fatto che, lungo il corso del Paglia, ancorché la modellazione bidimensionale sia riferita alla portata con tempo di ritorno 30 anni, la perimetrazione delle fasce di pericolosità P3 ha tenuto conto anche dell'estensione della fascia “A” definita a seguito di alluvioni con Tr 50 anni.

8. Conclusioni

8.1 Fattibilità idraulica

Per il territorio comunale sono state definite le fasce di pericolosità idraulica coerenti con le norme della Regione Toscana (RT) DPGR n.5/2020, Regolamento di attuazione dell'art. 104 della LR n.65/2014 e LR n.41/2018.

Sono definite le seguenti fasce di pericolosità di pericolosità idraulica:

Fascia	Nomenclatura RT	Tempo di ritorno (Tr)
P3	aree a pericolosità per alluvioni frequenti	Tr ≤ 30 anni
P2	aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti	30 < Tr ≤ 200 anni
P1	aree a pericolosità da alluvione bassa	200 < Tr ≤ 500 anni

Tabella 9 – Definizione delle fasce di pericolosità idraulica

Aree soggette ad alluvioni frequenti (P3): aree interessate da allagamenti per eventi con $Tr \leq 30$ anni. Fuori dalle SUB-UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici e idraulici, rientrano nelle aree soggette ad alluvioni frequenti le aree di fondovalle non protette da opere idrauliche per le quali ricorrano contestualmente le seguenti condizioni:

- Tutte le fasce di assoluto rispetto dei corsi d'acqua (art. 3 L.R. 41/2018 e art. 96 R.D. 523/1904) per i tratti a cielo aperto e tombati o intubati;
- La Fascia A dell'Autorità di Bacino del Fiume Tevere;
- La pericolosità idraulica da alluvione elevata (P3) definita dall'Autorità Distretto Appennino Settentrionale

Aree soggette ad alluvioni poco frequenti (P2): aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra $30 < TR \leq 200$ anni. Fuori dalle SUB-UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici e idraulici, rientrano nelle aree soggette ad alluvioni poco frequenti le aree di fondovalle per le quali ricorra almeno una delle seguenti condizioni:

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

Aree a pericolosità idraulica bassa (P1): aree collinari o montane prossime ai corsi d'acqua per le quali ricorrono le seguenti condizioni:

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

8.2 Indirizzi idraulici per gli strumenti urbanistici

8.2.1 Criteri generali

Si dovranno rispettare i seguenti indirizzi:

- restituire ai corsi d'acqua, anche se canalizzati, le funzioni di sistema naturale complesso e non considerarli come semplici collettori idraulici;
- garantire che le nuove localizzazioni insediative ed infrastrutturali nel fondovalle siano in sicurezza idraulica almeno per piene con tempo di ritorno duecentennale;
- favorire interventi di sistemazione idraulica, idraulico-agraria e idraulico-forestale finalizzati a contenere i picchi di piena, aumentando i tempi di corrivazione e riducendo il coefficiente di deflusso e la produzione di sedimenti;
- vietare interventi che possano arrecare danno alla qualità dei corpi idrici superficiali e sotterranei favorendone invece il miglioramento.

Tutti gli interventi che direttamente o indirettamente vanno a modificare lo stato di efficienza del reticolo idraulico minore dovranno garantire un'efficacia almeno pari a quella posseduta dallo schema idraulico preesistente. In particolare:

- le superfici destinate ad attività agricola nelle aree pianeggianti sono da dotare di un'adeguata rete di fossi e capifossi allo scopo di aumentare la capacità d'invaso e di eliminare i fenomeni di ristagno;
- per gli interventi che vadano ad impermeabilizzare aree di estensione significativa sono da intraprendere studi idrologici e idraulici che dimostrino l'invarianza idraulica dell'intervento rispetto all'assetto originario.

Su ambedue le sponde dei corsi d'acqua facenti parte del reticolo idrografico di interesse (individuato ai sensi della LR 79/2012, e come aggiornato dai successivi decreti) è istituita una fascia di assoluto rispetto di larghezza minima pari a 10 ml a partire dal piede dell'argine per i corsi d'acqua incanalati e a partire dal ciglio di sponda per i corsi d'acqua non arginati come previsto dall'art. 3 della L.R. 41/2018.

Questa fascia oltre a garantire la conservazione delle funzioni biologiche caratteristiche dell'ambito ripariale serve a garantire la piena efficienza delle sponde, la funzionalità delle opere idrauliche e a facilitare le operazioni di manutenzione.

Per la costruzione delle nuove strutture di attraversamento dei corsi d'acqua arginati si dovrà evitare il restringimento della sezione dell'alveo assicurando il mantenimento di una luce libera di deflusso pari a quella posta a monte dell'attraversamento stesso; la base dell'impalcato dovrà sempre svilupparsi ad una quota superiore rispetto alle sommità arginali tale da consentire un agevole passaggio dei materiali flottanti in caso di piena così come prescritto dalle NTC 2018.

Per la disciplina relativa ai tombamenti consistenti in qualsiasi intervento di copertura del corso d'acqua si rinvia a quanto stabilito dalla LR 41/2018 "Disposizioni in materia di rischio di alluvione e di tutela dei corsi d'acqua in attuazione al D.lgs. 49/2010. Modifiche alla LR 80/2015 e LR 60/2014"

In genere la sicurezza idraulica dovrà essere conseguita nei confronti del livello di inondazione di riferimento prevedendo un franco di almeno 30 centimetri.

8.2.2 Aree soggette ad alluvioni frequenti (P3):

- a) sono da evitare le previsioni di:
 - nuove opere pubbliche e di interesse pubblico riferite a servizi essenziali;
 - nuovi impianti di cui all'allegato VIII alla parte seconda del decreto legislativo 152/2006;
 - sottopassi e volumi interrati
- b) sono da subordinare, se non diversamente localizzabili, al rispetto delle condizioni di gestione del rischio, le previsioni di
 - nuove infrastrutture e opere pubbliche o di interesse pubblico;
 - interventi di ampliamento della rete infrastrutturale primaria, delle opere pubbliche e di interesse pubblico riferite a servizi essenziali e degli impianti di cui all'allegato VIII alla parte seconda del decreto legislativo 152/2006;
 - nuovi impianti di potabilizzazione e depurazione;
 - nuove edificazioni.
- c) sono da subordinare al rispetto delle condizioni di gestione del rischio le previsioni di interventi di ristrutturazione urbanistica;
- d) sono da privilegiare le previsioni di trasformazioni urbanistiche tese al recupero della funzionalità idraulica, alla riqualificazione e allo sviluppo degli ecosistemi fluviali esistenti, nonché le destinazioni ad uso agricolo, a parco e ricreativo – sportive.

8.2.3 Aree soggette ad alluvioni poco frequenti (P2):

- a) sono da subordinare, se non diversamente localizzabili, al rispetto delle condizioni di gestione del rischio, le previsioni di:
 - nuove opere pubbliche e di interesse pubblico riferite a servizi essenziali;
 - nuovi impianti di cui all'allegato VIII alla parte seconda del decreto legislativo 152/2006;
 - sottopassi e volumi interrati
- b) sono da subordinare al rispetto delle condizioni di gestione del rischio le previsioni di:
 - nuove infrastrutture e opere pubbliche o di interesse pubblico;
 - interventi di ampliamento della rete infrastrutturale primaria, delle opere pubbliche e di interesse pubblico riferite a servizi essenziali e degli impianti di cui all'allegato VIII alla parte seconda del decreto legislativo 152/2006;
 - nuovi impianti di potabilizzazione e depurazione;
 - nuove edificazioni
- c) sono da privilegiare le trasformazioni urbanistiche tese al recupero della funzionalità idraulica alla riqualificazione e allo sviluppo degli ecosistemi fluviali esistenti, nonché le destinazioni ad uso agricolo, a parco e ricreativo – sportive.

Firenze, marzo 2022

I tecnici incaricati

ing. Andrea Sorbi – Ing. Niccolò Neroni

firme assolute in forma digitale