

STUDIO IDROLOGICO E IDRAULICO AI SENSI DEL DPGR 53/R, DI
SUPPORTO ALLA VARIANTE DEL REGOLAMENTO URBANISTICO
PER L'AREA INDIVIDUATA AL CATASTO TERRENI FOGLIO DI
MAPPA 95, PARTICELLE 97, 218 E 224 DEL COMUNE DI
PONTASSIEVE - LOCALITÀ SIECI

RELAZIONE TECNICA

COMMITTENTE:

Marchesi Frescobaldi Società Agricola s.r.l.

PROGETTISTI:

ING. TIZIANO STAIANO

CODICE ELABORATO:

PROGETTO	LOTTO	FASE	DOC	ELABORATO	REV
L 6 5 5	0 1	S 0 6	T	R T C	C

REV.	DATA EMISSIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
C	Febbraio 2020	T.Staiano	T.Staiano	T.Staiano
D	Giugno 2021	T.Staiano	T.Staiano	T.Staiano
E	Luglio 2021	T.Staiano	T.Staiano	T.Staiano

Indice generale

1. PREMESSA	3
2. DESCRIZIONE DELLO STATO ATTUALE E DELL'INTERVENTO IN PROGETTO	4
3. INQUADRAMENTO NORMATIVO	5
3.1 <i>PIANO DI GESTIONE RISCHIO ALLUVIONE (PGRA)</i>	5
3.2 <i>D.P.G.R. 5/R/2020</i>	5
3.3 <i>LEGGE REGIONALE 24 LUGLIO 2018, N. 41</i>	6
3.4 <i>PIANO STRUTTURALE DEL COMUNE DI PONTASSIEVE</i>	6
4. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ	9
4.1 <i>STUDIO IDROLOGICO IDRAULICO DI SUPPORTO ALLA 21^ VARIANTE AL REGOLAMENTO URBANISTICO – “S9-FORTUNA” – FOSSO DEL PELACANE</i> 9	
4.1.1 <i>CORSI D'ACQUA OGGETTO DI STUDIO, RILIEVI TOPOGRAFICI E DATI DEL QUADRO CONOSCITIVO</i>	9
4.1.2 <i>APPROCCIO METODOLOGICO</i>	10
4.1.3 <i>Implementazione del Modello Idrologico</i>	10
4.1.3.1 <i>Parametri idrologici</i>	11
4.1.3.2 <i>Regime Pluviometrico</i>	12
4.1.3.3 <i>Risultati della Modellistica Idrologica</i>	13
4.1.4 <i>Implementazione del Modello Idraulico</i>	14
4.1.4.1 <i>Caratterizzazione geometrica dei corsi d'acqua e dell'area di studio</i>	14
4.1.4.2 <i>Eventi Simulati, Condizioni al Contorno a Parametri del Modello Idraulico</i>	16
4.1.4.3 <i>Analisi dei Risultati</i>	17
5. SINTESI DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA	20
6. STUDIO IDROLOGICO E IDRAULICO SUL FOSSO ADIACENTE ALL'AREA DI STUDIO	21
7. FATTIBILITÀ	23
APPENDICE A: MODELLISTICA IDROLOGICO-IDRAULICA - STUDIO DI SUPPORTO ALLA 21^ VARIANTE AL REGOLAMENTO URBANISTICO – “S9-FORTUNA”	24
A.1 <i>MODELLISTICA IDROLOGICA</i>	24
A.1.1 <i>Regime pluviometrico – Studio Regionale LSPP</i>	24
A.1.2 <i>Calcolo della pioggia di progetto su un bacino idrografico</i>	24
A.1.3 <i>Calcolo degli idrogrammi di progetto</i>	24
A.2 <i>MODELLISTICA IDRAULICA</i>	28
A.2.1 <i>Modellistica Idraulica Monodimensionale</i>	28
A.2.2 <i>Modellistica Bidimensionale</i>	29
APPENDICE B: MODELLISTICA IDROLOGICO-IDRAULICA - STUDIO FOSSO LATO NORD AREA DI INTERESSE	31
B.1 <i>MODELLISTICA IDROLOGICA – METODO RAZIONALE</i>	31
B.2 <i>MODELLISTICA IDRAULICA – METODO PERMANENTE</i>	32
ALLEGATO 1: MODELLO DIGITALE DEL TERRENO	35
ALLEGATO 2: PLANIMETRIA MODELLO IDRAULICO - RETICOLO NON CLASSIFICATO	36
ALLEGATO 3: LIBRETTO SEZIONI CON LIVELLI IDROMETRICI - RETICOLO NON CLASSIFICATO	37
ALLEGATO 4: PROFILO LONGITUDINALE CON LIVELLI IDROMETRICI - RETICOLO NON CLASSIFICATO	38

Indice delle figure

Figura 1: Inquadramento area Proposta Variante RU con reticolo LR79/2012 e colatori minori	3
Figura 2: Modello Digitale del Terreno su area di studio	4
Figura 3: Estratto PGRA Fiume Arno – Pericolosità da Alluvione – Carta dei battenti	5
Figura 4: Estratto cartografico Elaborato B3.14 -S del Piano Strutturale	7
Figura 5: Sezioni AdB Arno e area Proposta Variante Regolamento Urbanistico	9
Figura 6: Idrogrammi di piena Tr 30 anni al variare della durata dell'evento meteorico (m ³ /s)	13
Figura 7: Idrogrammi di piena Tr 200 anni al variare della durata dell'evento meteorico (m ³ /s)	14
Figura 8: Idrogrammi di piena Tr 500 anni al variare della durata dell'evento meteorico (m ³ /s)	14
Figura 9: Scala di deflusso del Fiume Arno in corrispondenza del Fosso Pelacane	17
Figura 10: Sezione ferrovia, da DTM.	18
Figura 11: Estratto di mappa dalla Planimetria dei battenti idraulici – Inviluppo Tr 30 anni con evidenza dell'area di interesse	18
Figura 12: Estratto di mappa dalla Planimetria dei battenti idraulici – Inviluppo Tr 200 anni con evidenza dell'area di interesse	19
Figura 13: Estratto di mappa dalla Planimetria dei battenti idraulici – Inviluppo Tr 500 anni con evidenza dell'area di interesse	19
Figura 14: Perimetrazione dell'area Proposta Variante RU con curva di livello 78.88 m s.l.m.	20
Figura 15: Fosso lato nord area interesse e bacino idrografico	21
Figura 1: a) Esempio di “sotto-griglia”. b) Area bagnata associata ad una faccia della cella di calcolo k. c) Curva di invaso associata ad una cella di calcolo k.	30

Indice delle tabelle

Tabella 1: Tabella di associazione tra formazione geologica e Ks	12
Tabella 2: riepilogo dei parametri idrologici	12
Tabella 3: Altezze di pioggia lorda (mm)	13
Tabella 4: Parametri della LSPP trinomia e valori dei coefficienti di ragguaglio Kr	13
Tabella 5: Portate al colmo (m ³ /s)	14
Tabella 6: Sezioni implementate nel modello idraulico	16
Tabella 7: Parametri idrologici	21
Tabella 8: Parametri regionalizzazione e portata stimata	21
Tabella 1: Valori Ks utilizzati nel presente studio	26
Tabella 2: Valori suggeriti da assegnare alla costante D.	29

1. PREMESSA

Lo Studio Hydrogeo Ingegneria srl è stato incaricato di redigere uno studio di supporto alla Proposta di Variante Normativa al Regolamento Urbanistico, in merito all'area individuata al Catasto Terreni del Comune di Pontassieve foglio di mappa 95, particelle 97, 218 e 224 ed ha come obiettivo l'individuazione dei criteri di fattibilità idraulica per gli interventi previsti in progetto.

Lo studio è redatto ai sensi del DECRETO DEL PRESIDENTE DELLA GIUNTA REGIONALE 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.

Per la definizione della pericolosità idraulica ai sensi del 5/r abbiamo considerato i corsi d'acqua significativi (ex LR 79/12) che possono dare effetti sull'area di interesse; nel caso di studio questi sono Il Fosso del Pelacane e Il Fiume Arno.

Nella redazione delle indagini di fattibilità idraulica, oggetto del presente elaborato, faremo riferimento a studi esistenti, già valutati ed approvati dagli enti preposti. In particolare, nell'ambito della Variante al Regolamento Urbanistico, approvata con Delibera del Consiglio Comunale n. 27 del 29.05.2018 e denominata "21^ Variante semplificata ai sensi dell'art. 30 della LR 65/2014 inerente nuovo ambito produttivo S9-Fortuna a Sieci", è stato svolto lo studio idrologico idraulico afferenti all'abitato di Sieci, ed in particolare al Fosso di Pelacane; tali studi sono stati approvati dal Genio Civile all'interno del procedimento previsto dal Regolamento 53/R.

Faremo poi riferimento agli studi idrologici idraulici esistenti, sul fiume Arno implementati a supporto del Progetto Definitivo "Casse di Espansione di Figline - Lotto Prulli".

In ultimo valuteremo le condizioni di pericolosità indotte dai colatori minori presenti in prossimità dell'area di interesse, ancorchè non siano reticoli individuati ai sensi della LR79/12.



Figura 1: Inquadramento area Proposta Variante RU con reticolo LR79/2012 e colatori minori

Il lavoro si articola nelle seguenti fasi operative:

- analisi degli studi disponibili per quanto riguarda i corsi d'acqua che potrebbero generare pericolosità;
- individuazione e caratterizzazione dell'ambito fisico oggetto di studio: raccolta ed analisi dei dati disponibili, caratterizzazione topografica dei corsi d'acqua;
- modellazione idrologica e modellazione idraulica;
- analisi dei risultati e perimetrazione delle aree allagabili; definizione dei criteri di fattibilità idraulica.

2. DESCRIZIONE DELLO STATO ATTUALE E DELL'INTERVENTO IN PROGETTO

L'area è situata nel Comune di Pontassieve, località Sieci, in zona definita dal vigente regolamento urbanistico (approvato con Delibera di Consiglio Comunale n. 154 del 29.12.2005) in "Subsistema dei fondovalle principali a prevalente utilizzazione agricola", ricadente nella UTOE n. 4.

Il progetto interessa un'area di pertinenza fluviale dell'Arno posta a margine del centro abitato di Sieci in località Castellare, confinante ad ovest con la zona produttiva e ad est con l'impianto di depurazione delle acque reflue di Aschietto, mentre i tracciati della linea ferroviaria e della SS 67 la separano a nord dal territorio rurale. L'area è individuata dalla II invariante strutturale del PIT "I caratteri eco sistemici del paesaggio" come appartenente alla "Matrice agroecosistemica di pianura urbanizzata" ed al "Corridoio ecologico da riqualificare" in relazione alle criticità per la funzionalità della rete ecologica rappresentante dall'elevata artificializzazione delle aree di pertinenza fluviale. In particolare, il lotto risulta a ridosso della zona produttiva che chiude l'insediamento di Sieci verso Est, caratterizzata dalla presenza di piccoli e medi insediamenti artigianali e di capannoni più consistenti.

L'area interessata dal progetto ricade per una porzione nella parte sud dell'ambito in zona di vincolo paesaggistico ai sensi dell'art. 142 del D.Lgs. n. 42/2004 comma 1 lettera c) "I fiumi, i torrenti, i corsi d'acqua iscritti negli elenchi previsti dal R.D. 11 dicembre 1933, n. 1775, e le relative sponda o piedi degli argini per una fascia di 150 metri ciascuno".

L'area, di dimensioni di circa 350 ml di lunghezza per circa 90 ml di larghezza, ha una forma rettangolare e pianeggiante con un dislivello di circa 7 ml da via Aretina verso il fiume Arno.

Tra la fine del 2018 e inizio 2019 è stato eseguito sull'area di interesse un rilievo di dettaglio del terreno e del piccolo fosso che scorre adiacente a tale area, il confronto con i dati LIDAR resi disponibili dalla Regione Toscana ha confermato la bontà di tali rilevazioni.

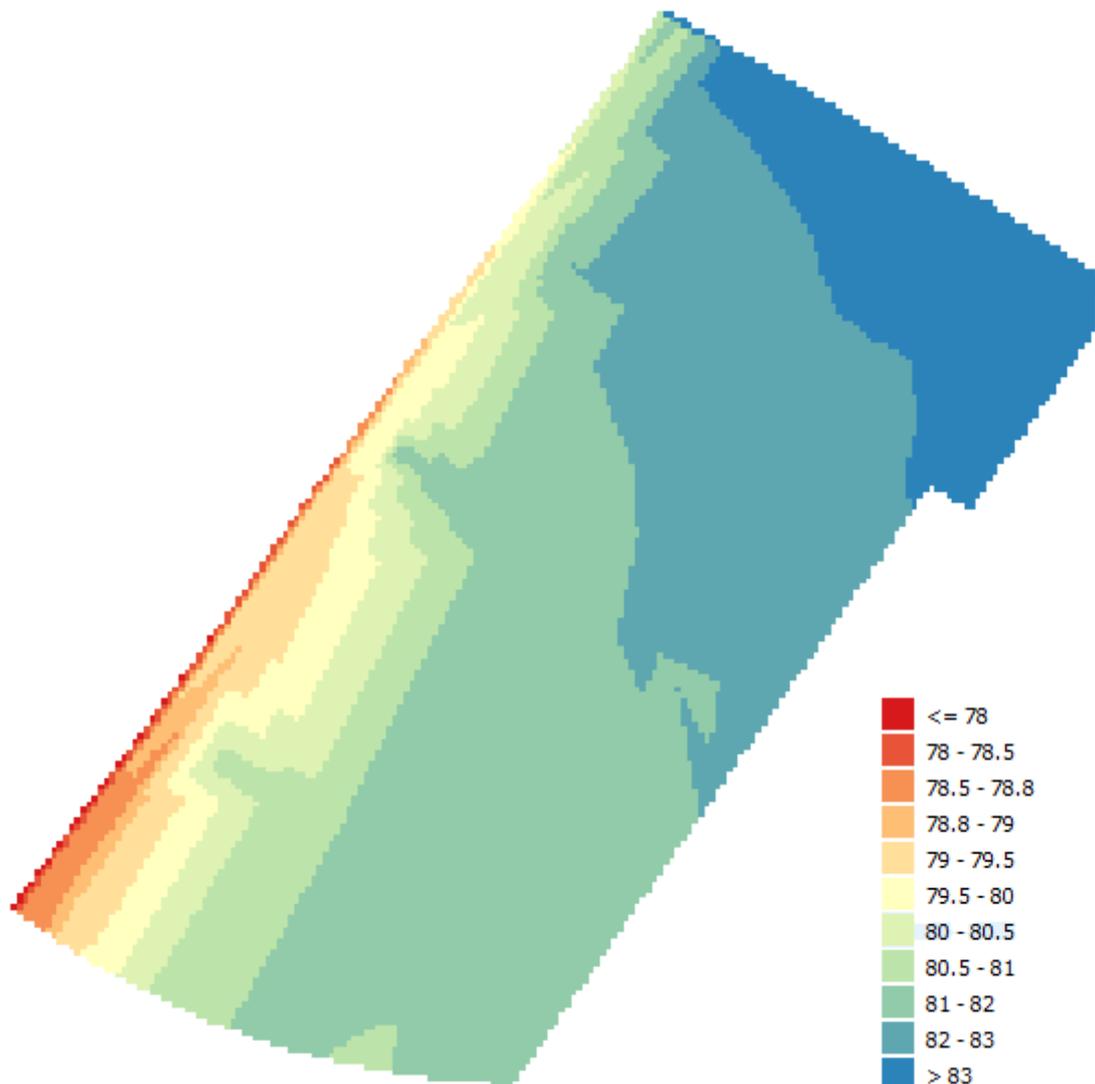


Figura 2: Modello Digitale del Terreno su area di studio

3. INQUADRAMENTO NORMATIVO

3.1 PIANO DI GESTIONE RISCHIO ALLUVIONE (PGRA)

Il Piano di gestione del rischio di alluvioni (PGRA) delle Units of Management (U.O.M.) è redatto ai sensi della direttiva 2007/60/CE e del decreto legislativo 23 febbraio 2010, n. 49 ed è finalizzato alla gestione del rischio di alluvioni nel territorio di ciascuna U.O.M. Per il bacino dell'Arno il PGRA sostituisce a tutti gli effetti, con una nuova cartografia e nuove norme, il PAI (Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico) riguardante la pericolosità ed il rischio idraulico.

In particolare, fra gli elaborati costituenti il PGRA si segnala la "Mappa della pericolosità da alluvione fluviale".

In essa le aree con pericolosità da alluvione fluviale sono rappresentate su tre classi, secondo la seguente gradazione:

- pericolosità da alluvione elevata (P3), corrispondenti ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno minore/uguale a 30 anni;
- pericolosità da alluvione media (P2), corrispondenti ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno maggiore di 30 anni e minore/uguale a 200 anni;
- pericolosità da alluvione bassa (P1) corrispondenti ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno superiore a 200 anni e comunque corrispondenti al fondovalle alluvionale.

L'area in oggetto è classificata come **classe di pericolosità da alluvione media P2**, ovvero è soggetta ad allagabilità per eventi caratterizzati da tempi di ritorno inferiori o uguali a 200 anni (si veda Figura 3). Dalla carta dei battenti del Fiume Arno, risulta un livello idrometrico massimo pari a 78.29 mslm (si veda Figura 3) associato all'area di potenziale esondazione V3-002

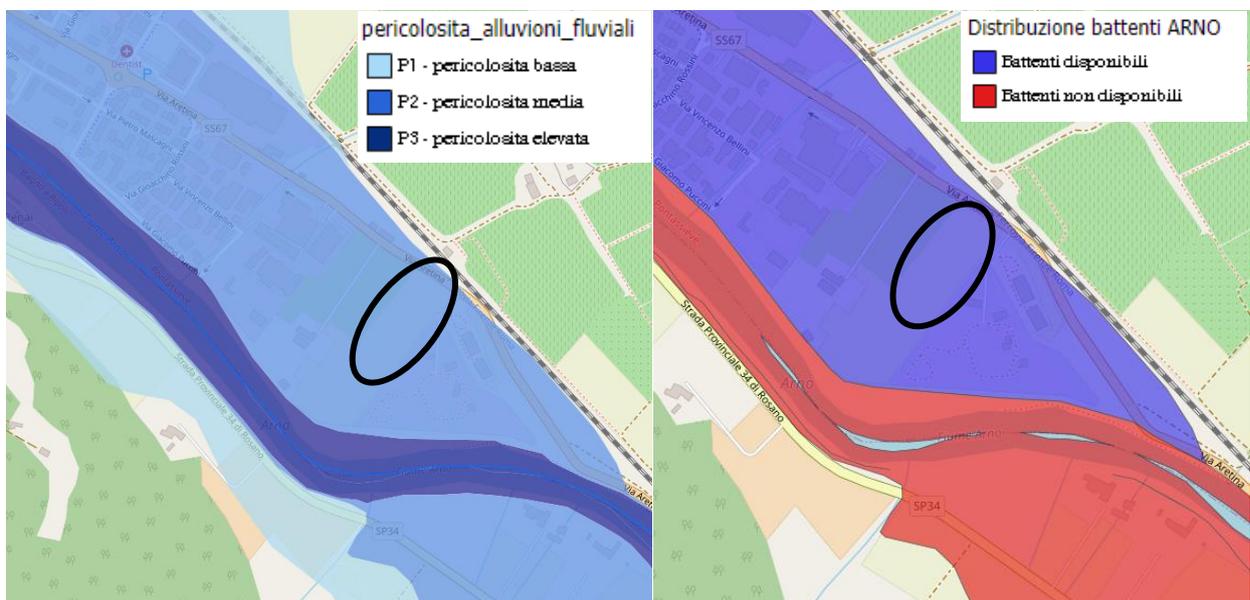


Figura 3: Estratto PGRA Fiume Arno – Pericolosità da Alluvione – Carta dei battenti

3.2 D.P.G.R. 5/R/2020

In attuazione dell'articolo 104 della legge regionale 10 novembre 2014 n.65 (Norme per il governo del territorio), il presente regolamento contiene le disposizioni in materia di indagini geologiche, idrauliche e sismiche.

Art.1 Oggetto

1. In attuazione dell'articolo 104 della legge regionale 10 novembre 2014, n.65 (Norme per il governo del territorio), il presente regolamento, nel rispetto della normativa nazionale e regionale di riferimento ed in coerenza con gli strumenti della pianificazione di bacino, disciplina in sede di formazione degli strumenti della pianificazione territoriale e urbanistica:

- a) le direttive per la predisposizione delle indagini che verificano la pericolosità del territorio sotto il profilo geologico, idraulico e sismico, le aree esposte a rischio e la fattibilità degli interventi di trasformazione in relazione all'obiettivo della mitigazione dei rischi;
- b) le procedure per il deposito delle indagini presso le strutture regionali competenti;
- c) le procedure per lo svolgimento del controllo delle indagini da parte della struttura regionale competente;
- d) i criteri per l'individuazione delle classi di pericolosità o di rischio, sotto il profilo geologico e sismico.

4. L'individuazione delle aree a pericolosità per alluvioni è effettuata ai sensi dell'articolo 2, comma 1, lettere d) ed e) 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.

L'allegato A riporta le Direttive tecniche per lo svolgimento delle indagini geologiche, idrauliche e sismiche.

C.2) Aree a pericolosità da alluvioni

La caratterizzazione delle aree a pericolosità da alluvioni è effettuata secondo la seguente classificazione:

- Aree a pericolosità per alluvioni frequenti (P3), come definite dall'articolo 2, comma 1, lettera d) della l.r.41/2018
- Aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti (P2), come definite dall'articolo 2, comma 1, lettera e) della l.r.41/2018
- Aree a pericolosità da alluvioni rare o di estrema intensità (P1), come classificate negli atti di pianificazione di bacino in attuazione del d.lgs.49/2010

3.3 Criteri generali di fattibilità in relazione al rischio di alluvioni

Nelle aree caratterizzate da pericolosità per alluvioni frequenti e poco frequenti la fattibilità degli interventi è perseguita secondo quanto disposto dalla l.r. 41/2018, oltre a quanto già previsto dalla pianificazione di bacino.

[.....]

Nel caso di interventi in aree soggette ad allagamenti, la fattibilità è subordinata a garantire, durante l'evento alluvionale l'incolumità delle persone, attraverso misure quali opere di sopraelevazione, interventi di difesa locale e procedure atte a regolare l'utilizzo dell'elemento esposto in fase di evento. Durante l'evento sono accettabili eventuali danni minori agli edifici e alle infrastrutture tali da essere rapidamente ripristinabili in modo da garantire l'agibilità e la funzionalità in tempi brevi post evento.

3.3 LEGGE REGIONALE 24 LUGLIO 2018, N. 41

La LR 41/2018 Disposizioni in materia di rischio alluvioni e di tutela dei corsi d'acqua in attuazione del D.lgs. 49/2010 disciplina la gestione del rischio di alluvioni in relazione alle trasformazioni del territorio e la tutela dei corsi d'acqua.

L'art. 8 definisce le Opere per la gestione del rischio alluvioni.

1. La gestione del rischio di alluvioni è assicurata mediante la realizzazione delle seguenti opere finalizzate al raggiungimento almeno di un livello di rischio medio R2:

- a) opere idrauliche che assicurano l'assenza di allagamenti rispetto ad eventi poco frequenti;
- b) opere idrauliche che riducono gli allagamenti per eventi poco frequenti, conseguendo almeno una classe di magnitudo idraulica moderata, unitamente ad opere di sopraelevazione, senza aggravio delle condizioni di rischio in altre aree;
- c) opere di sopraelevazione, senza aggravio delle condizioni di rischio in altre aree;
- d) interventi di difesa locale.

2. Il non aggravio delle condizioni di rischio in altre aree è assicurato attraverso la realizzazione delle seguenti opere:

- a) opere o interventi che assicurino il drenaggio delle acque verso un corpo idrico recettore garantendo il buon regime delle acque;
- b) opere o interventi diretti a trasferire in altre aree gli effetti idraulici conseguenti alla realizzazione della trasformazione urbanistico-edilizia, a condizione che:
 1. nell'area di destinazione non si incrementi la classe di magnitudo idraulica;
 2. sia prevista dagli strumenti urbanistici la stipula di una convenzione tra il proprietario delle aree interessate e il comune prima della realizzazione dell'intervento.

L'art. 11 disciplina gli Interventi di nuova costruzione in aree a pericolosità per alluvioni frequenti o poco frequenti.

[.....]

2. Fermo restando quanto disposto dagli articoli 10, 12 e 13, nelle aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti, indipendentemente dalla magnitudo idraulica, possono essere realizzati interventi di nuova costruzione a condizione che sia realizzata almeno una delle opere di cui all'articolo 8, comma 1, lettere a), b) o c).

3. L'adeguamento e l'ampliamento di infrastrutture a sviluppo lineare esistenti e delle relative pertinenze può essere realizzato nelle aree a pericolosità per alluvioni frequenti o poco frequenti, indipendentemente dalla magnitudo idraulica, a condizione che sia assicurato il non aggravio delle condizioni di rischio in altre aree, che non sia superato il rischio medio R2 e che siano previste le misure preventive atte a regolarne l'utilizzo in caso di eventi alluvionali.

4. Nelle aree a pericolosità per alluvioni frequenti o poco frequenti, indipendentemente dalla magnitudo idraulica, gli interventi di seguito indicati possono essere realizzati alle condizioni stabilite:

[.....]

- b) parcheggi in superficie, a condizione che sia assicurato il non aggravio delle condizioni di rischio in altre aree, che non sia superato il rischio medio R2 e che siano previste le misure preventive atte a regolarne l'utilizzo in caso di eventi alluvionali;

[.....]

3.4 PIANO STRUTTURALE DEL COMUNE DI PONTASSIEVE

Per completezza Sono stati consultati gli elaborati del Piano Strutturale Comunale, approvato con deliberazione C.C. n.66 del 27.04.2004 (BURT del 1.6.2004), dai quali si identificano, per l'area in oggetto, le seguenti classi di pericolosità idraulica, come mostrato nell'estratto cartografico di Figura 4:

Pericolosità Bassa 2:

Aree di fondovalle e comunque poste all'esterno dell'ambito definito "A1" all'art 75 della CR n12/2000, per le quali ricorrono le seguenti condizioni:

- non vi sono notizie storiche di precedenti inondazioni

- non si riscontrano condizioni favorevoli al ristagno
- sono in situazione favorevole di alto morfologico rispetto alla piana alluvionale adiacente, ossia posta a quote altimetriche superiori a 2 m rispetto al piede esterno dell'argine o, in mancanza dell'argine, rispetto al ciglio di sponda;

Pericolosità Media 3:

Aree di fondovalle per le quali ricorre una delle seguenti condizioni:

- vi sono notizie storiche di inondazioni
- sono in situazione sfavorevole dal punto di vista morfologico, ossia poste a quote altimetriche inferiori rispetto alla quota posta a 2 m sopra al piede esterno dell'argine o, in mancanza dell'argine, sopra al ciglio di sponda e poste ad oltre 300 m dal piede esterno dell'argine o, se mancante dal ciglio di sponda.
- Aree collinari e/o montane nella zona di svaso di laghi e invasi in cui il rischio idraulico dipende dalla tenuta del paramento di valle e dal suo stato di manutenzione.
- Aree in cui il recapito della fognatura da zona urbanizzate può essere influenzato dalle condizioni idrauliche del sistema idrologico generale (F Arno e i suoi affluenti).

Pericolosità Elevata 4:

Aree di fondovalle non protette da opere idrauliche per le quali ricorrono entrambe le seguenti condizioni:

- vi sono notizie storiche di inondazioni
- sono morfologicamente in situazione sfavorevole, di norma a quote altimetriche inferiori rispetto alla quota posta a 2 m sopra il piede esterno dell'argine o, in mancanza, sopra il ciglio di sponda
- Aree ricadenti in ambito "A1" come definito dall'art 75 del CR n12/2000
- Aree soggette alle norme 2 e 3 (aree destinate ad opere per la riduzione del rischio idraulico) del DPCM n. 226/99 "Approvazione del piano stralcio relativo alla riduzione del rischio idraulico del Fiume Arno"
- Aree collinari e montane con presenza di corpi d'acqua (laghi e/o invasi)

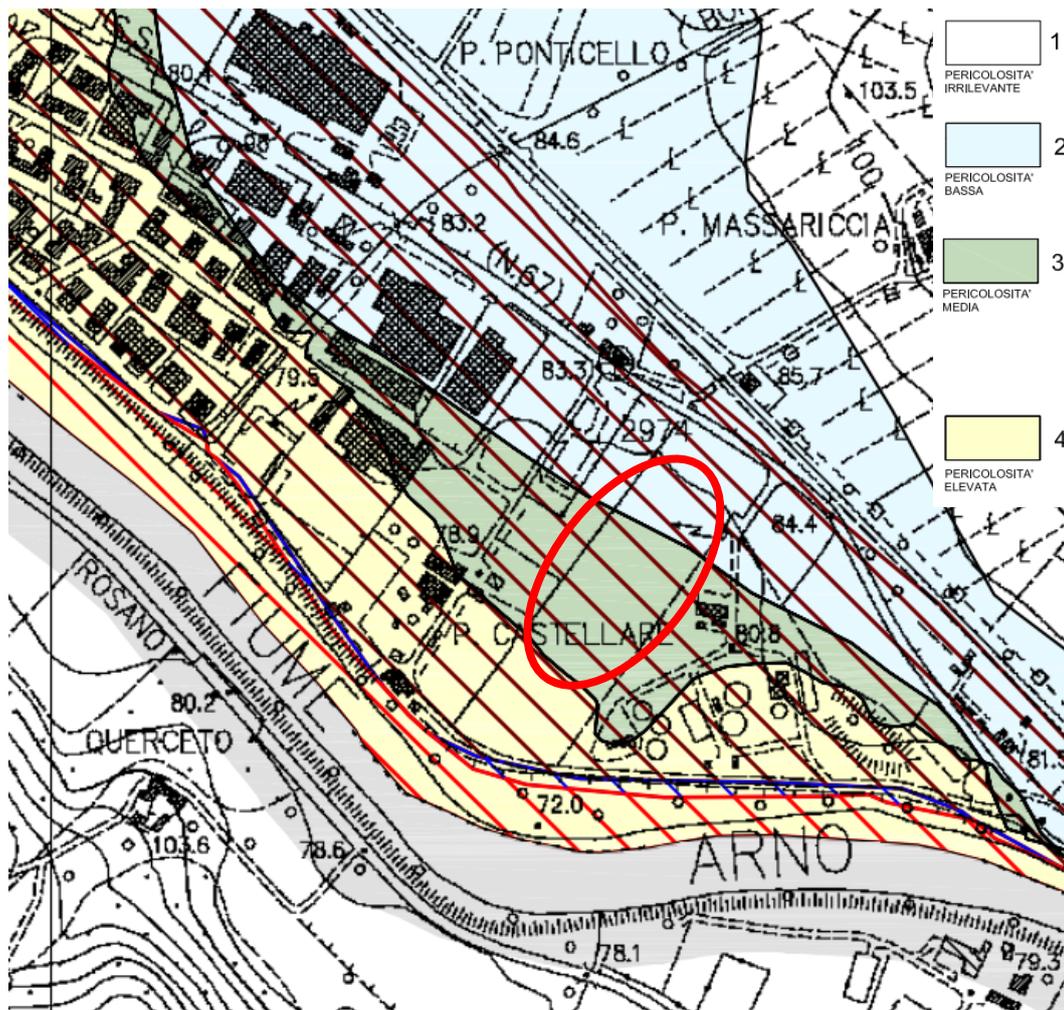


Figura 4: Estratto cartografico Elaborato B3.14 -S del Piano Strutturale

Le NTA all'art 8 - Classi di pericolosità idraulica media ed elevata prevede quanto segue:

1. Ferme e prevalenti restando, relativamente alle aree e agli ambiti a cui si riferiscono, le disposizioni di cui ai precedenti articoli della presente Sezione, le trasformazioni, fisiche e funzionali, subordinate a provvedimenti abilitativi, anche taciti, nelle aree ricadenti nelle classi

di pericolosità idraulica media e elevata sono prescritte, ovvero dichiarate ammissibili, dal regolamento urbanistico, previa l'effettuazione di studi idrologico-idraulici idonei alla definizione delle classi di fattibilità nel rispetto dei seguenti commi del presente articolo.

2. Relativamente alle aree ricadenti nella classe di pericolosità idraulica media (3), individuate e perimetrare dalle tavole contrassegnate con 3.14, lo studio idrologico-idraulico, che può essere anche di tipo qualitativo, deve illustrare lo stato di efficienza e lo schema di funzionamento delle opere idrauliche, ove presenti, e comunque definire il grado di rischio. Esso, ove necessario, deve altresì indicare soluzioni progettuali tese a ridurre al minimo possibile il livello di rischio e i danni ai manufatti risultanti dalle trasformazioni per episodi di sormonto o di esondazione con tempo di ritorno $T=200$ anni.

3. Relativamente alle aree ricadenti nella classe di pericolosità idraulica elevata (4), individuate e perimetrare dalle tavole contrassegnate con 3.14, lo studio idrologico-idraulico deve definire con precisione, attraverso i normali metodi dell'idrologia, il livello di rischio relativo all'area nel suo complesso. Nel caso in cui dallo studio risulti che l'area interessata è soggetta a fenomeni di inondazione con tempi di ritorno compresi tra 0 e 20 anni non devono essere prescritte, ovvero dichiarate ammissibili, nuove costruzioni, salvo che di infrastrutture a rete non diversamente localizzabili a condizione che si attuino tutte le precauzioni necessarie per la riduzione del rischio idraulico a livelli compatibili con le specifiche caratteristiche dell'infrastruttura considerata. Nel caso in cui dallo studio risulti invece che l'area interessata è soggetta a fenomeni di inondazione con tempi di ritorno superiori a 20 anni devono essere previsti interventi atti a raggiungere la messa in sicurezza dal rischio di inondazione, dei manufatti risultanti dalle trasformazioni, per piene con tempo di ritorno superiore a duecento anni, e al contempo tali da non aumentare il livello di rischio nelle aree adiacenti. Tali interventi devono inoltre essere coordinati con le analoghe previsioni di altri eventuali piani, idraulici o di bonifica, vigenti o in corso di formazione.

Per la caratterizzazione dell'area di studio è stato effettuato un rilievo topografico del corso d'acqua e delle principali opere antropiche presenti: viabilità, ponti, tombamenti, opere e manufatti di contenimento, ovvero tutte quelle opere che possono interferire con il deflusso delle acque.

Il rilievo topografico è stato poi integrato con il rilievo Lidar della regione Toscana, funzionale alla caratterizzazione delle aree contermini il corso d'acqua. Dall'analisi dei dati topografici, è emersa una buona conformità tra i rilievi eseguiti in campo dagli scriventi, e il rilievo Lidar della Regione Toscana.

Oltre ai dati necessari alla caratterizzazione geometrica dei corsi d'acqua, nell'ambito del presente lavoro sono stati consultati, utilizzati ed elaborati una serie di dati geografici, resi disponibili dalle Amministrazioni sovracomunali che li hanno realizzati ed in particolare:

- LIDAR (1x1 m) del Ministero dell'Ambiente, Fonte dei dati: Regione Toscana – “Rilievi LIDAR”;
- Shape file della Carta Geologica Regionale. Fonte: Regione Toscana – DG Governo del Territorio - Sistema Informativo Territoriale ed Ambientale. Il dataset “Continuum Geologico – aggiornamento del 15/11/2013” è rilasciato con licenza CC BY 3.0 IT Il dataset è rilasciato in formato esri-shapefiles e dbf. I dati sono espressi nel sistema di riferimento Gauss-Boaga Fuso Ovest (EPSG:3003).
- Shape file dell'Uso e copertura del suolo. Fonte: Regione Toscana - Il dataset “Uso e copertura del suolo 2007-2013” è rilasciato con licenza CC BY 3.0 IT Il dataset è rilasciato in formato esri-shapefiles e dbf. I dati sono espressi nel sistema di riferimento Gauss-Boaga Fuso Ovest (EPSG:3003);
- Cartografia Tecnica Regionale in scala 1:10000 e 1:2000 ove presente. Fonte: Regione Toscana - Carta Tecnica Regionale;
- Shape file del Reticolo Idrografico, approvato da Regione Toscana con Legge regionale 27 dicembre 2012, n. 79; Fonte dei dati: Regione Toscana <http://www.regione.toscana.it/-/consorzi-di-bonifica-reticolo-idrografico-e-di-gestione>;
- Griglie dei parametri caratteristici delle LSPP, a ed n, pubblicate dalla Regione Toscana nell'ambito dello Studio di Regionalizzazione delle Precipitazioni. Fonte: Regione Toscana <http://www.regione.toscana.it/-/nuovi-dati-sulla-regionalizzazione-delle-precipitazioni>

4.1.2 APPROCCIO METODOLOGICO

Lo schema metodologico adottato si basa essenzialmente su criteri analitici che, partendo dagli eventi di precipitazione, conduce alla definizione delle aree soggette ad inondazione attraverso la simulazione dei fenomeni di formazione e propagazione dell'onda di piena.

Ai fini dell'individuazione delle aree allagabili, l'approccio deve necessariamente considerare un corso d'acqua nella sua più completa caratterizzazione spaziale, sia in termini d'estensione, sia in termini di contributi laterali provenienti dagli affluenti considerati. La determinazione delle aree soggette ad inondazione dipende, in sostanza, dalla distribuzione spazio-temporale dei volumi di piena; pertanto, in ogni sezione del corso d'acqua, i volumi d'esondazione dipendono, a parità d'evento che li genera, dalla dinamica di propagazione e di laminazione verificatasi nelle sezioni precedenti.

È pertanto necessario, da un lato, stimare gli idrogrammi di piena in arrivo al corso d'acqua e, dall'altro, analizzarne la propagazione e laminazione per effetto di esondazioni, opere, diversivi ed immissioni laterali. Di qui la necessità di un approccio integrato di tipo idrologico-idraulico che consideri l'asta fluviale d'interesse, il relativo bacino afferente e le eventuali connessioni idrauliche laterali.

Le sollecitazioni idrologiche al sistema, costituite in generale da eventi caratterizzati da intensità di pioggia variabili nel tempo e nello spazio e dalle “condizioni iniziali” del bacino idrografico, vengono rappresentate da ietogrammi sintetici definiti in base alle Curve di Possibilità Pluviometrica per preassegnata durata di pioggia e tempo di ritorno. Attraverso la modellistica idrologica, vengono definiti gli idrogrammi di piena nelle sezioni prescelte del corso d'acqua considerato.

La propagazione dei deflussi di piena così generati e la valutazione dei fenomeni esondativi lungo l'asta fluviale considerata avviene tramite modelli idraulici, in grado di fornire in ogni sezione dell'asta fluviale l'idrogramma di piena in transito ed il massimo battente idraulico atteso, in modo tale da poter verificare l'efficienza delle strutture di contenimento o, in caso contrario, la sussistenza di fenomeni esondativi.

In questo studio è stato implementato un modello idraulico integrato che permette di combinare l'approccio monodimensionale, per la modellazione idraulica in alveo, a quello bidimensionale per la modellazione idraulica delle aree inondabili. L'integrazione tra i modelli avviene in modo dinamico, garantendo quindi la conservazione di massa e quantità di moto tra i vari sistemi. Gli alvei dei corsi d'acqua vengono modellati attraverso l'inserimento di sezioni trasversali, ricostruite a partire dai rilievi topografici e comprensive di tutte quelle strutture che interferiscono con il deflusso di piena, mentre le aree inondabili sono caratterizzate da un modello digitale del terreno che deriva dal rilievo lidar e da rilievo topografico. L'accoppiamento dei due modelli avviene attraverso degli appositi elementi che definiscono in ogni sezione fluviale la quota di sfioro in destra e sinistra idraulica e che quindi collegano il modello monodimensionale a quello bidimensionale.

4.1.3 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO IDROLOGICO

Per l'implementazione del modello idrologico si è in prima fase definito l'estensione del bacino idrografico analizzando la morfologia dell'area in esame che ha portato a definire la sezione di chiusura del bacino in corrispondenza della ferrovia.

Il modello numerico utilizzato consente la determinazione dei contributi idrologici al reticolo idraulico oggetto di studio ed è composto da un modello per il calcolo delle perdite del bacino idrografico (modello di infiltrazione) e da un modello afflussi-deflussi per la trasformazione degli input pluviometrici, depurati dalle perdite succitate, in idrogrammi sollecitanti il reticolo idraulico.

Il modello di infiltrazione utilizzato è il modello di infiltrazione asintotico a soglia, il quale richiede la stima di due parametri:

- la (mm), volume unitario di perdita iniziale che il terreno assorbe durante i primi istanti di precipitazione;
- Ks (mm/h), coefficiente di infiltrazione a saturazione.

Il modello di trasformazione afflussi-deflussi utilizzato è il modello di Nash, che schematizza i bacini idrografici in una serie di serbatoi lineari disposti in serie e che dipende dai seguenti parametri:

- n (-), numero di serbatoi lineari che rappresentano il bacino nella schematizzazione del modello di Nash;
- k (h), tempo caratteristico che rappresenta il tempo di svuotamento del serbatoio.

A valle della parametrizzazione idrologica sono state determinate le piogge insistenti sul bacino considerato (piogge lorde, non depurate dalle perdite)

Osservando sperimentalmente le piogge intense è possibile affermare che, all'interno di una certa area, l'intensità di precipitazione durante l'evento piovoso varia da punto a punto, anche in maniera sensibile, e questa variazione è tanto maggiore quanto maggiore è l'estensione dell'area considerata. Per questo alla precipitazione lorda, calcolata rispetto alla sezione di calcolo, è stato applicato un coefficiente di ragguaglio dipendente dall'area del bacino e dalla durata dell'evento, in linea con la trattazione riportata nella Regionalizzazione delle Portate di Piena della Regione Toscana, secondo la seguente formulazione:

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

dove t è la durata dell'evento, A è l'area del bacino sotteso e α , β , γ sono parametri dipendenti dal bacino considerato.

4.1.3.1 Parametri idrologici

Sul bacino idrografico oggetto di studio è stata effettuata una classificazione geomorfologica del reticolo fluviale secondo il criterio di Horton-Strahler

Per la stima delle perdite è stato adottato il metodo di infiltrazione asintotico a soglia. Il parametro la (mm) è stato determinato in funzione della percentuale di area boscata presente nel bacino considerato (derivata dall'Uso e Copertura del Suolo).

Il parametro Ks (mm/h) è stato determinato a partire dalla Carta Geologica Regionale assegnando ad ogni formazione geologica un coefficiente di infiltrazione, secondo quanto riportato in Tabella 1 e calcolando un coefficiente medio per il bacino.

CODICE	DESCRIZIONE	KS [mm/h]
aC	("arenarie di Monte Cervarola"); arenarie turbiditiche quarzoso-feldspatiche a grana fine, in strati sottili; talora lenti di selci (sel) Aquitaniano-Langhiano superiore	1.55
alb	("alberese" e "formazione di Lanciata") calcari a grana fine grigio chiari, calcari marnosi scuri e arenarie calcaree gradate Paleocene-Eocene medio	4.65
all	alluvioni recenti e attuali Olocene	0
aS	("arenaria di Monte Senario") arenarie quarzoso-feldspatiche tipo "macigno", ma in generale più grossolane e contenenti ciottoli di quarzo, micasisti, filladi, calcari Paleogene	1.55
at	alluvioni terrazzate; ove distinte at1, at2, at3 Pleist. sup.	0
bn	(brecciole nummulitiche) brecciole poligeniche e calcareniti da torbide Paleogene	4.65
bw	conglomerati e arenarie di materiale ofiolitico alla base di cb.Paleocene-Eocene medio	0.775
cb	argille e marne con calcari, calcari marnosi, arenarie e calcareniti intercalate talora brecce sedimentarie costituite da rocce verdi, diaspri e calcari litografici	1.55
dt	detriti	2.325
fh	("formazione marno-siltose = flysch ad Elmintoidi"): calcari marnosi scuri, marne e arenarie calcaree Cretaceo superiore	4.65
fP1	("argilliti di Fiumalbo -marne di Le Piastre") argilliti varicolori, siltiti e marne grigie Oligocene superiore	0
fPaC	intervalli frequenti o potenti di marne siltose e siltiti in aC Aquitaniano-Langhiano superiore	0
fVc	(formazione di Vallina formazione di Sillano) argilloscisti variegati, calcari marnosi verdastri o grigi, calcareniti minute e arenarie calcarifere Cret. sup.-Eocene inf.	4.65
fVR	(formazione di Villa a Radda) argilloscisti talora siltosi, prevalentemente rossi, con pochi strati calcari marnosi verdastri o arenarie calcarifere, intercalati nella parte alta di pf o al tetto di questa Cretaceo sup.-Eocene inf.	0
mg	argille con lenti di gesso e di salgemma Messiniano sup.	0
Nu	calcareniti e calciruditi grigie, gradate Eocene	4.65
ol	a luoghi intercalazioni di materiale ligure in aC (olistostromi) Aquitaniano-Langhiano superiore	1.55
Pag	argille azzurre e cinerine Plioc. inf.-medio	0
pb	("argille a palombini") argilliti e marne fogliettate con intercalazioni di calcari a palombini Cretaceo inf.	0
Pcg	conglomerati e ghiaie prevalentemente argillose, con sabbie e sabbie argillose (al tetto e laterale di Ps) Plioc. inf.-medio	0.775
pf	("pietraforte") arenarie calcaree alternate ad argilliti subordinatamente livelli di marne varietà ofiolitifera Cretaceo superiore-Eocene inf.	1.55
Ps	sabbie gialle, arenarie Pliocene inf.-medio	1.55
sc	("scaglia toscana") argilliti rosse e varicolori con intercalazioni di calcari silicei grigi, marne rosse e calcareniti; al tetto marne siltose grigie, subordinatamente varicolori; Cretaceo inf. p.p.-Oligocene	0
Vs	("sabbie del Tasso") sabbie con lenti di ciottoli e sabbie argillose Pleist. inf.	2.325
VVB	("formazione di Villa Babbiani") sabbie con tasche e lenti di ciottoli di "macigno" Pleist. inf.	2.325

Tabella 1: Tabella di associazione tra formazione geologica e Ks

Il modello di trasformazione afflussi-deflussi adottato è quello di Nash, i cui parametri n e k sono ricavati in funzione della classificazione geomorfologica di Horton-Strahler.

I risultati delle parametrizzazioni appena descritte sono riportati di seguito:

Nome	k (h)	n (-)	la (mm)	Ks (mm/h)	Area (kmq)
Borro del Pelacane	0.257	2.894	14.153	3.601	3.241

Tabella 2: riepilogo dei parametri idrologici

4.1.3.2 Regime Pluviometrico

Gli eventi meteorici studiati fanno riferimento a tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni con un set di durate dell'evento meteorico sintetico a cavallo della "durata critica" (durata che massimizza la portata al colmo). Questa scelta ci consente di studiare anche gli eventi che possono avere maggiori esondazioni in termini di volumi, anche se caratterizzati da picchi dell'onda di piena minori.

Nello specifico gli eventi meteorici studiati, sono i seguenti: Tr30, 200 e 500 anni con durate pari a 0.75 h, 1.00 h, 1.25 h e 1.50 h.

L'aggiornamento dell'analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme fino all'anno 2012, di recente pubblicazione da parte della Regione Toscana costituisce la nuova base dati su cui implementare le analisi idrologiche (elaborati nell'ambito dell'Accordo di collaborazione tra Regione Toscana e Università di Firenze di cui alla DGRT 1133/2012 al fine di procedere ad un'implementazione e un aggiornamento del quadro conoscitivo idrologico del territorio toscano).

I risultati di tale studio hanno portato alla determinazione delle curve segnalatrici di possibilità pluviometrica (LSPP), cioè della relazione che lega l'altezza di precipitazione alla durata dell'evento meteorico che l'ha generata, per un assegnato tempo di ritorno.

La LSPP è comunemente descritta da una legge di potenza del tipo:

$$h(t) = a t^n$$

con: h = altezza di pioggia [mm]; t = durata [ore], a e n parametri caratteristici per i tempi di ritorno considerati.

La nuova pubblicazione dei dati ha imposto un sostanziale superamento di AITo, modello idrologico comunemente utilizzato e riferimento per il territorio Toscano negli ultimi dieci anni. Rimane invece valido il metodo di calcolo, trattandosi di un modello cosiddetto "lamped" di trasformazione afflussi deflussi, solido e collaudato.

In Tabella 3, sono riportate le altezze di pioggia (in mm) calcolate secondo la metodologia individuata dalla Regione Toscana. Per ogni tempo di ritorno considerato sono riportate le altezze di pioggia al variare della durata dell'evento meteorico considerato.

Tr	Durata evento meteorico (h)				
	0.75	1	1.2	1.5	2.0
30	47.2	51.0	53.6	57.0	61.6
200	64.4	70.2	74.1	79.2	86.3
500	72.9	79.7	84.3	90.2	98.6

Tabella 3: Altezze di pioggia lorda (mm)

In linea con la trattazione riportata nella Regionalizzazione delle Portate di Piena della Regione Toscana, la pioggia lorda, calcolata rispetto alla sezione di calcolo, viene ragguagliata tramite il coefficiente K_r , dipendente dall'area del bacino e dalla durata dell'evento. Per il caso in esame, data la ridotta estensione del bacino, il coefficiente è risultato essere prossimo all'unità

a'	n'	m'	α	β	μ	A (kmq)	K_r d=0.75h	K_r d=1h	K_r d=1.2h	K_r d=1.5h	K_r d=2h
20.841	0.276	0.244	0.750	0.250	0.010	3.241	0.984	0.985	0.985	0.986	0.987

Tabella 4: Parametri della LSPP trinomia e valori dei coefficienti di ragguaglio K_r

4.1.3.3 Risultati della Modellistica Idrologica

Per ognuno degli eventi meteorici, dall'applicazione del modello idrologico descritto nei paragrafi precedenti, si sono determinati i rispettivi idrogrammi di piena, alla sezione di chiusura del bacino. La durata critica, ovvero quella che massimizza la portata al colmo, come si evince dai grafici seguenti, risulta pari a **dcr = 1.00 h**.

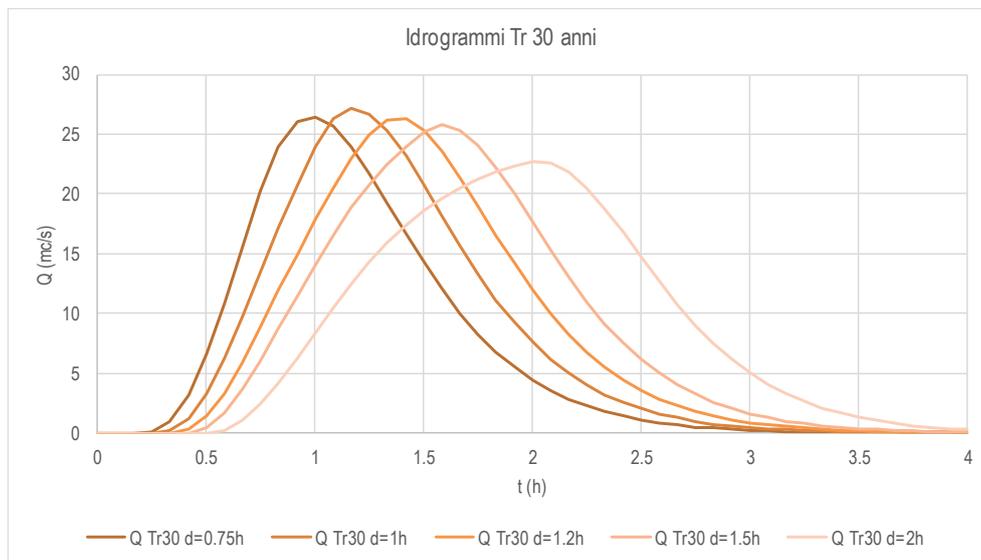


Figura 6: Idrogrammi di piena Tr 30 anni al variare della durata dell'evento meteorico (m^3/s)

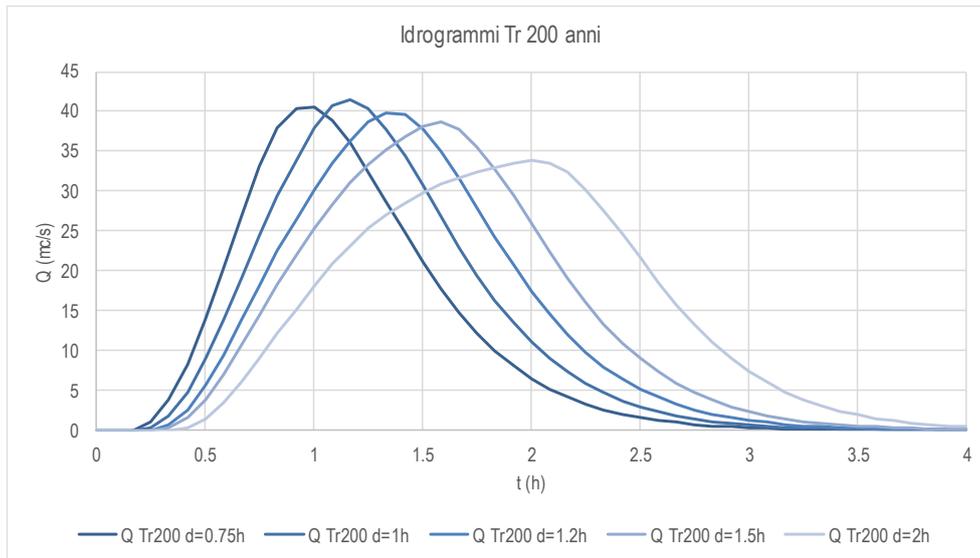


Figura 7: Idrogrammi di piena Tr 200 anni al variare della durata dell'evento meteorico (m^3/s)

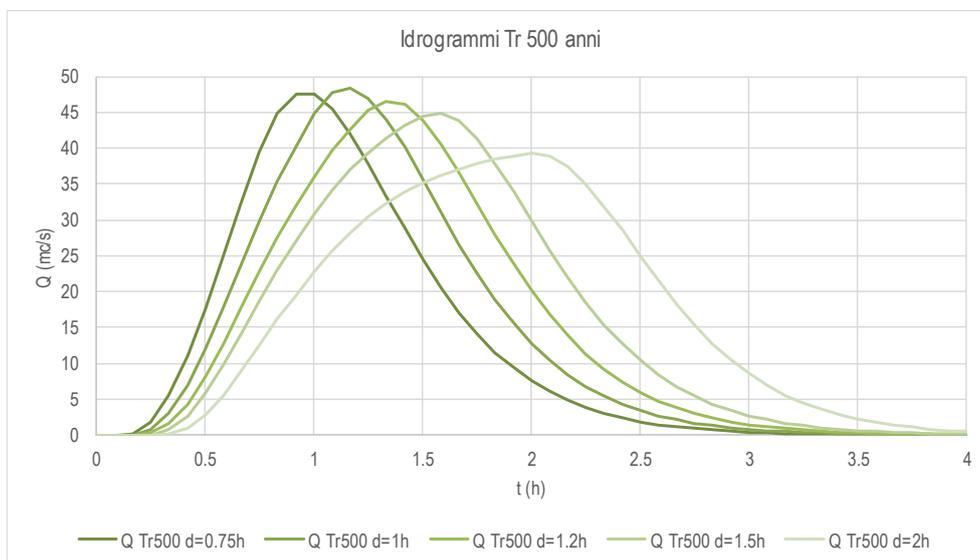


Figura 8: Idrogrammi di piena Tr 500 anni al variare della durata dell'evento meteorico (m^3/s)

Tr	d=0.75h	d=1h	d=1.2h	d=1.5h	d=2h
30	26.45	27.18	26.29	25.75	22.66
200	40.55	41.45	39.89	38.61	33.79
500	47.5	48.43	46.52	44.89	39.22

Tabella 5: Portate al colmo (m^3/s)

4.1.4 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO IDRAULICO

L'implementazione della modellistica idraulica è stata effettuata con il software *HEC-RAS 5.0.3 (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System)*, prodotto e reso disponibile gratuitamente dall'*USACE (United States Army Corps of Engineering)*. Il codice di calcolo permette la simulazione accoppiata mono-bidimensionale. La risoluzione dello schema di moto viene ottenuta per via numerica, discretizzando le equazioni nel dominio spazio-temporale mediante opportuni schemi numerici. La soluzione viene pertanto ottenuta solo nei punti di discretizzazione (e non con continuità su tutto il dominio). Tali punti sono rappresentati dalle sezioni trasversali (discretizzazione spaziale) e dalla scansione temporale utilizzata nella rappresentazione dei fenomeni (discretizzazione temporale).

Il modello idraulico implementato si estende circa 1000 m a monte dalla confluenza con il Fiume Arno, ed attraversa, a sud-est l'abitato di Sieci. Il corso d'acqua è stato schematizzato da 39 sezioni fluviali, costruite a partire dal rilievo topografico.

4.1.4.1 Caratterizzazione geometrica dei corsi d'acqua e dell'area di studio

La caratterizzazione geometrica del corso d'acqua studiato è stata ricavata a partire dal rilievo topografico. Le sezioni fluviali sono individuate attraverso un codice alfanumerico che contiene al proprio interno le seguenti informazioni:

(Esempio: sezione 01542PB03)

- 5 caratteri (Esempio: 00100) identificativo del codice della sezione, in questo caso è la 100

- 2 caratteri (Esempio: PB) identificativo delle opere idrauliche; se non presenti si utilizzano i caratteri: __
- 2 caratteri (Esempio:17) identificativo dell'anno del rilievo topografico

In Tabella 6 si riportano le codifiche delle sezioni fluviali utilizzate nel modello numerico, comprensive di, distanza dalla foce e coordinate dei pilastri delle stesse.

Su ciascuna sezione è stata individuata la quota di "sfioro" (quote del massimo contenimento delle acque in alveo), in destra e sinistra idraulica, che rappresenta l'informazione necessaria al software per l'accoppiamento del modello monodimensionale a quello bidimensionale.

La caratterizzazione delle aree limitrofe al corso d'acqua, potenzialmente allagabili, è schematizzata attraverso un modello bidimensionale, per la cui caratterizzazione geometrica è stato utilizzato un modello digitale del terreno determinato a partire dai seguenti elementi:

- Rilievo Lidar della Regione Toscana;
- Cartografia Tecnica Regionale in scala 1:2000;
- Cartografia Tecnica Regionale in scala 1:10000;
- Rilievo topografico.

Il modello digitale del terreno è stato costruito con una risoluzione spaziale delle celle di 1x1 metri, successivamente ricampionato, nell'ambito della simulazione idraulica, con celle di dimensioni 2 x 2 metri.

La discretizzazione spaziale a 2 metri consente in ogni caso di mantenere inalterate le informazioni spaziali principali; sono infatti leggibili, cambi morfologici, rilevati stradali e ferroviari.

Legenda:

- SEZIONE: lista delle sezioni codificate
- RIVER: nome del corso d'acqua
- COORD: sistema di coordinate
- DP_FOCE: distanze progressive delle sezioni dalla foce
- SX_E: coordinata Est del pilastrino sinistro
- SX_N: coordinata Nord del pilastrino sinistro
- DX_E: coordinata Est del pilastrino destro
- DX_N: coordinata Nord del pilastrino destro

SEZIONE	RIVER	COORD	DP_FOCE	SX_E	SX_N	DX_E	DX_N
00105__17	Borro del Pelacane	Gauss-Boaga > Roma 40	1049.73	1693907.99	4851160.10	1693890.83	4851169.76
00103BB17	Borro del Pelacane	Gauss-Boaga > Roma 40	1025.91	1693884.74	4851144.19	1693878.50	4851158.55
00103BC17	Borro del Pelacane	Gauss-Boaga > Roma 40	1025.41	1693884.28	4851143.99	1693878.04	4851158.35
00100PB17	Borro del Pelacane	Gauss-Boaga > Roma 40	1000.09	1693869.61	4851137.30	1693850.79	4851141.83
00100PC17	Borro del Pelacane	Gauss-Boaga > Roma 40	995.79	1693865.27	4851133.97	1693848.01	4851137.99
00092BB17	Borro del Pelacane	Gauss-Boaga > Roma 40	923.83	1693816.28	4851077.25	1693794.83	4851100.74
00092BC17	Borro del Pelacane	Gauss-Boaga > Roma 40	923.33	1693815.91	4851076.92	1693794.47	4851100.40
00089BB17	Borro del Pelacane	Gauss-Boaga > Roma 40	888.36	1693788.20	4851052.37	1693771.87	4851074.49
00089BC17	Borro del Pelacane	Gauss-Boaga > Roma 40	887.86	1693787.80	4851052.08	1693771.46	4851074.19
00085BB17	Borro del Pelacane	Gauss-Boaga > Roma 40	850.36	1693758.93	4851028.24	1693740.13	4851053.46
00085BC17	Borro del Pelacane	Gauss-Boaga > Roma 40	849.86	1693758.53	4851027.94	1693739.73	4851053.16
00078__17	Borro del Pelacane	Gauss-Boaga > Roma 40	782.73	1693703.02	4850984.00	1693689.55	4851009.51
00065__17	Borro del Pelacane	Gauss-Boaga > Roma 40	650.66	1693586.97	4850921.86	1693571.62	4850949.83
00063__17	Borro del Pelacane	Gauss-Boaga > Roma 40	625.05	1693567.53	4850912.39	1693546.50	4850937.38
00062BB17	Borro del Pelacane	Gauss-Boaga > Roma 40	616.25	1693557.89	4850908.78	1693539.42	4850933.49
00062BC17	Borro del Pelacane	Gauss-Boaga > Roma 40	615.74	1693557.49	4850908.49	1693539.02	4850933.19
00052BB17	Borro del Pelacane	Gauss-Boaga > Roma 40	517.14	1693465.80	4850865.73	1693454.28	4850885.70
00052BC17	Borro del Pelacane	Gauss-Boaga > Roma 40	516.64	1693465.37	4850865.48	1693453.85	4850885.45
00048__17	Borro del Pelacane	Gauss-Boaga > Roma 40	482.87	1693434.89	4850851.51	1693423.04	4850870.61
00045PB17	Borro del Pelacane	Gauss-Boaga > Roma 40	448.34	1693403.53	4850839.25	1693393.96	4850849.48
00045PC17	Borro del Pelacane	Gauss-Boaga > Roma 40	442.32	1693398.88	4850835.48	1693385.79	4850849.23
00044PB17	Borro del Pelacane	Gauss-Boaga > Roma 40	437.60	1693397.70	4850830.26	1693381.94	4850845.84
00044PC17	Borro del Pelacane	Gauss-Boaga > Roma 40	428.71	1693388.69	4850826.56	1693375.75	4850839.78
00042__17	Borro del Pelacane	Gauss-Boaga > Roma 40	418.85	1693390.43	4850814.17	1693372.78	4850827.17
00041__17	Borro del Pelacane	Gauss-Boaga > Roma 40	411.29	1693386.09	4850808.94	1693368.52	4850820.58
00038__17	Borro del Pelacane	Gauss-Boaga > Roma 40	376.80	1693346.35	4850799.66	1693339.19	4850828.07
00034BB17	Borro del Pelacane	Gauss-Boaga > Roma 40	336.89	1693316.48	4850785.94	1693299.93	4850799.42
00034BC17	Borro del Pelacane	Gauss-Boaga > Roma 40	336.39	1693316.17	4850785.56	1693299.61	4850799.03
00032PB17	Borro del Pelacane	Gauss-Boaga > Roma 40	321.26	1693316.15	4850770.18	1693288.63	4850786.00
00032PC17	Borro del Pelacane	Gauss-Boaga > Roma 40	312.02	1693304.64	4850766.66	1693282.77	4850778.92
00027__17	Borro del Pelacane	Gauss-Boaga > Roma 40	273.38	1693280.16	4850729.66	1693256.05	4850757.00
00021__17	Borro del Pelacane	Gauss-Boaga > Roma 40	211.71	1693242.59	4850686.78	1693217.15	4850705.26
00018PB17	Borro del Pelacane	Gauss-Boaga > Roma 40	182.57	1693209.49	4850675.10	1693200.10	4850681.69
00018PC17	Borro del Pelacane	Gauss-Boaga > Roma 40	170.09	1693202.43	4850664.91	1693193.07	4850671.48
00017__17	Borro del Pelacane	Gauss-Boaga > Roma 40	169.59	1693202.15	4850664.50	1693192.78	4850671.07
00014__17	Borro del Pelacane	Gauss-Boaga > Roma 40	140.54	1693182.54	4850642.66	1693173.09	4850649.84
00007PB17	Borro del Pelacane	Gauss-Boaga > Roma 40	71.09	1693132.50	4850593.80	1693122.19	4850602.79
00007PC17	Borro del Pelacane	Gauss-Boaga > Roma 40	58.49	1693124.70	4850583.97	1693109.43	4850597.40
00004__17	Borro del Pelacane	Gauss-Boaga > Roma 40	42.30	1693111.12	4850574.52	1693094.33	4850589.28

Tabella 6: Sezioni implementate nel modello idraulico

4.1.4.2 Eventi Simulati, Condizioni al Contorno a Parametri del Modello Idraulico

Gli scenari simulati sono rappresentati da eventi caratterizzati da tempo di ritorno T_r pari a 30, 200 e 500 anni per durate di 1.00h, 1.20h, 1.50h e 2.00h.

La scelta di simulare idraulicamente gli eventi a partire dalla durata di 1.00h, che rappresenta la durata critica, consente di studiare anche gli eventi che possono avere maggiori esondazioni in termini di volumi, anche se caratterizzati da picchi dell'onda di piena minori.

Sono stati esclusi dalle simulazioni idrauliche gli eventi con durata di 0.75h, inferiore alla durata critica e quindi caratterizzati da portate al colmo e volumi inferiori.

Le condizioni al contorno del modello idraulico sono rappresentate da:

- Sollecitazioni idrologiche in testa al tratto simulato idraulicamente
- Livello idraulico costante alla confluenza con il Fiume Arno, pari a 78.03 m slm.

La condizione di valle è rappresentata dal massimo livello idraulico duecentennale del Fiume Arno in corrispondenza della confluenza con il Fosso del Pelacane. Tale condizione è stata estrapolata da una scala di deflusso calcolata mediante il software Hec-Ras 4.1.0 e fornita dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno

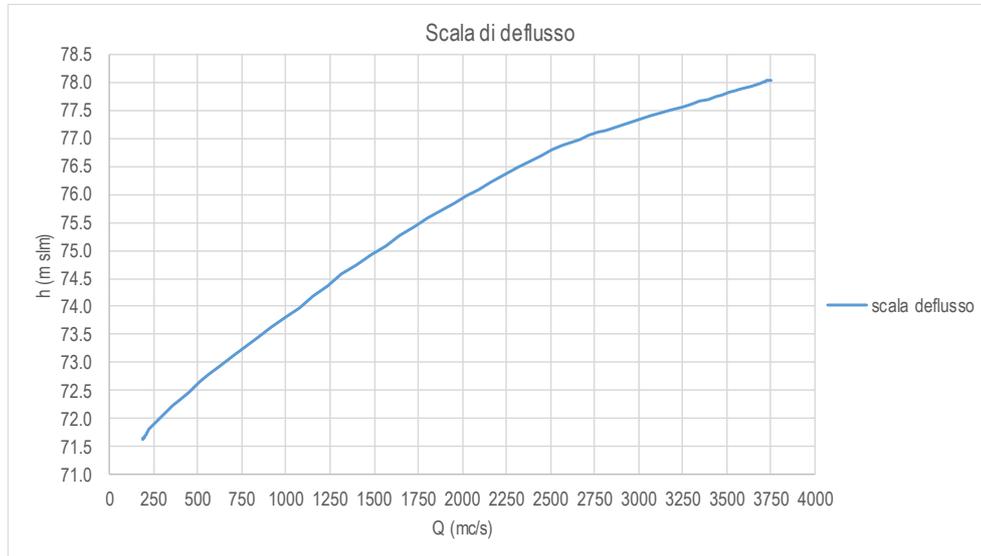


Figura 9: Scala di deflusso del Fiume Arno in corrispondenza del Fosso Pelacane

La condizione di valle implementata risulta estremamente cautelativa in quanto si sta ipotizzando uno scenario, fisicamente non realistico, nel quale Arno e Fosso Pelacane presentano entrambi condizioni di deflusso critiche. Questa assunzione ci permette di capire quanto il rigurgito indotto dall'Arno influisce sul corso d'acqua oggetto di studio.

Per ciò che attiene ai coefficienti di scabrezza da associare alle singole sezioni fluviali, attraverso il confronto con i parametri riportati in letteratura ed il supporto dei sopralluoghi effettuati, è stato possibile associare il coefficiente di scabrezza, secondo Manning, più appropriato. In considerazione di ciò, si è scelto un coefficiente pari a $0.04 \text{ s/m}^{1/3}$.

Per quanto riguarda la scabrezza delle aree contermini il corso d'acqua, simulate dal modello bidimensionale, si è scelto di adottare una scabrezza di $0.050 \text{ s/m}^{1/3}$.

In merito alle perdite di carico nelle strutture, i coefficienti utilizzati sono stati ricavati dalla letteratura disponibile. Tali valori, influenzano il modello in corrispondenza degli attraversamenti fluviali, che generano una brusca variazione di sezione. In particolare, si è utilizzato un coefficiente di contrazione di 0.1 e un coefficiente di espansione di 0.3.

4.1.4.3 Analisi dei Risultati

Il tratto fluviale a monte della ferrovia è caratterizzato da esondazioni diffuse, seppure contenute, in destra idraulica, in quanto i contenimenti in sinistra risultano sensibilmente maggiori, come deducibile dalle tavole del rilievo topografico.

In questo tratto la criticità maggiore si riscontra a monte del ponte tra le sezioni 00100PB17 e 00100PC17, che considerata la sezione libera, risulta insufficiente, provocando rigurgito a monte che dà luogo ad esondazioni.

In prossimità della ferrovia si riscontra un rigurgito provocato dal ponte tra le sezioni 00045PB17 e 00045PC17. Le esondazioni generate, vanno ad interessare in parte la sinistra idraulica, rimanendo comunque contenute e concentrate a monte della sede ferroviaria. Risultano più marcate le esondazioni in destra idraulica, le quali vanno ad occupare la sede ferroviaria, che risulta, per circa 250 m dal corso d'acqua, confinata tra un rilevato in terra ed un muro, come mostrato in Figura 10.

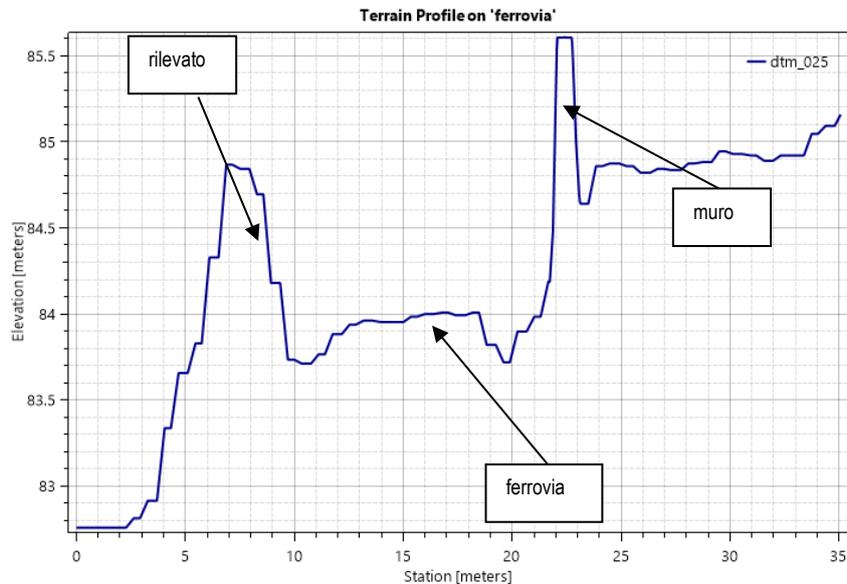


Figura 10: Sezione ferrovia, da DTM.

In prossimità della fine del muro, dove termina anche il rilevato, i deflussi che erano confinati nella sede ferroviaria, vanno ad interessare l'abitato di Sieci, con una direzione preferenziale est-ovest, dovuta alla morfologia del terreno.

A valle della sezione 00027__17, le esondazioni, generate dal rigurgito dell'Arno, vanno ad interessare per la maggior parte le aree poste in destra idraulica, perché caratterizzate da quote inferiori rispetto alle aree in sinistra.

In linea generale le esondazioni sono più contenute in sinistra idraulica in quanto i contenimenti, sono generalmente posti a quote superiori rispetto alla destra idraulica. Considerando che i volumi esondati sono comunque moderati, e considerando la morfologia del territorio adiacente al corso d'acqua, i battenti che si generano risultano essere per la maggior parte inferiori a 40 cm, trattandosi per lo più di volumi di transito e non di ristagno.

In merito al comparto urbanistico oggetto di studio, non si riscontrano allagamenti.

In figure seguenti sono mostrati degli estratti di mappa dalle planimetrie dei battenti idraulici per TR30, 200 e 500 anni.



Figura 11: Estratto di mappa dalla Planimetria dei battenti idraulici – Inviluppo Tr 30 anni con evidenza dell'area di interesse



Figura 12: Estratto di mappa dalla Planimetria dei battenti idraulici – Inviluppo Tr 200 anni con evidenza dell'area di interesse

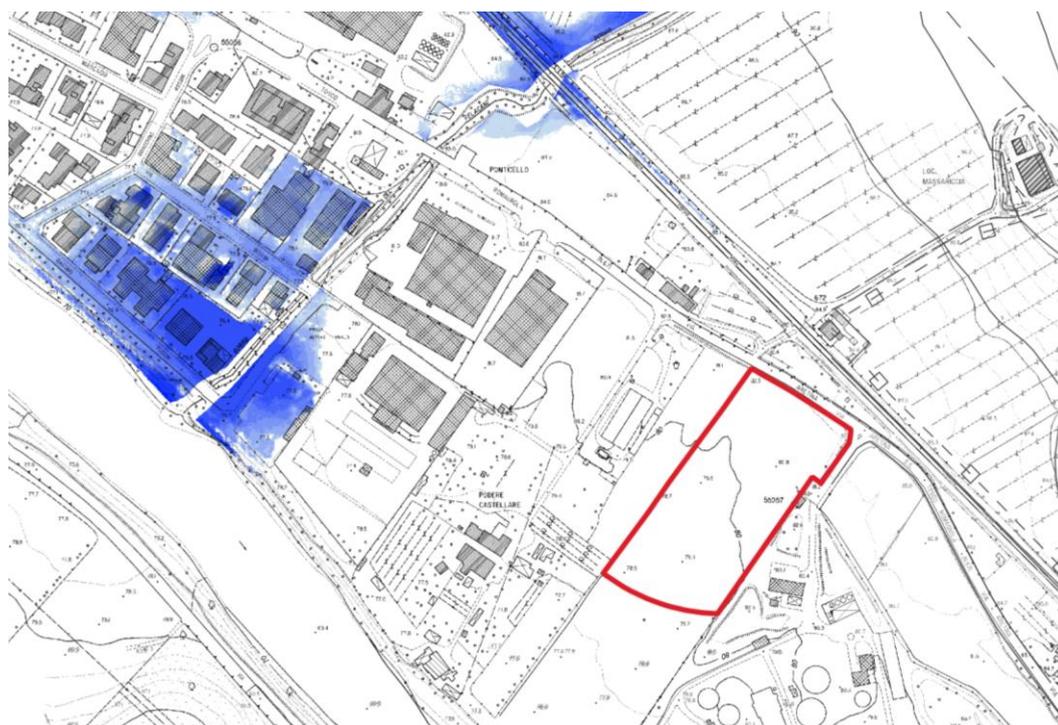


Figura 13: Estratto di mappa dalla Planimetria dei battenti idraulici – Inviluppo Tr 500 anni con evidenza dell'area di interesse

5. SINTESI DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA

Le aree oggetto di Proposta di Variante al Regolamento Urbanistico risultano parzialmente interessate da esondazioni indotte dal F. Arno, essendo poste a quote sia superiori che inferiori al massimo livello idrometrico raggiunto in alveo.

In figura seguente è rappresentata in rosso l'area ricadente nella Proposta di Variante al Regolamento Urbanistico; in celeste si riporta la curva di livello a 78.88 m s.l.m., così come desunta dal rilievo topografico di dettaglio, e coincidente con il livello della piena duecentennale nel Fiume Arno.

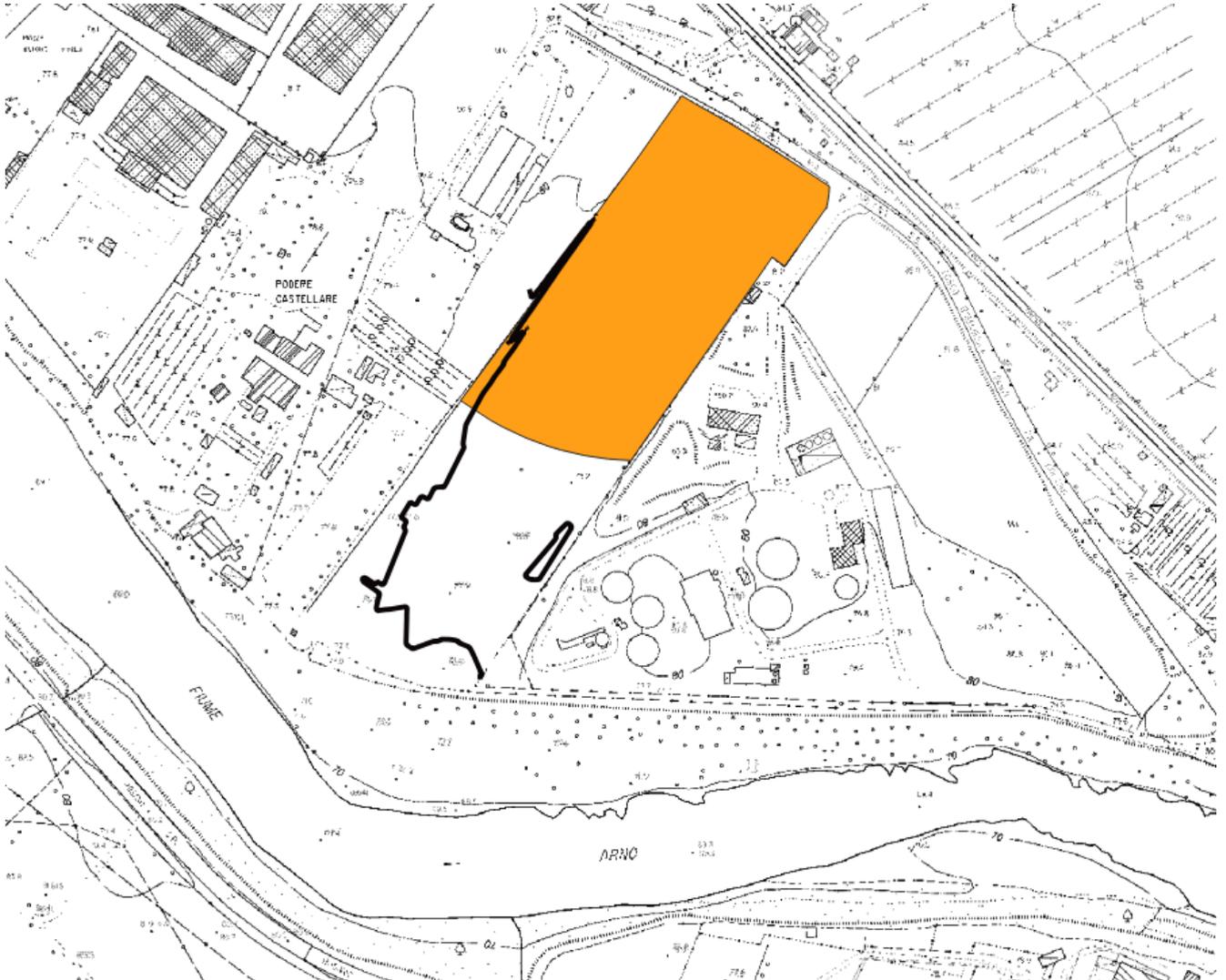


Figura 14:: Perimetrazione dell'area Proposta Variante RU con curva di livello 78.88 m s.l.m.

Le aree di interesse risultano interessate dalle sole Aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti (P2); tali aree riguardano solo una piccola porzione del comparto edificatorio in corrispondenza di un reticolo idraulico non classificato.

I battenti registrati nell'area allagabile dalla piena duecentennale dell'Arno risultano contenuti e sempre inferiori a 50cm e con valori medi pari a 0.27cm circa, si può presumere che le velocità in tali aree siano inferiori ad 1 m/s in quanto aree di margine e di ristagno delle esondazioni.

L'articolo 2, comma 1, lettera h1) della LR 41/2018 definisce aree a magnitudo idraulica moderata quelle caratterizzate da: "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."

L'area di esondazione situata a una quota inferiore a 78.88 m s.l.m. e indicata in Figura 14:: Perimetrazione dell'area Proposta Variante RU con curva di livello 78.88 m s.l.m. ricade pertanto in area a **magnitudo idraulica moderata**.

6. STUDIO IDROLOGICO E IDRAULICO SUL FOSSO ADIACENTE ALL'AREA DI STUDIO

In aggiunta alle suddette analisi è stato effettuato uno studio idrologico-idraulico inerente al piccolo corso d'acqua adiacente all'area oggetto di studio; tale fosso, benché non rientrante nel reticolo della LR 79/2012, potrebbe generare problemi di esondazione e data la vicinanza alla futura previsione di insediamento contribuire in maniera importante alla pericolosità dell'area.

In

si riporta l'andamento del fosso adiacente all'area di interesse e il bacino idrografico dello stesso.

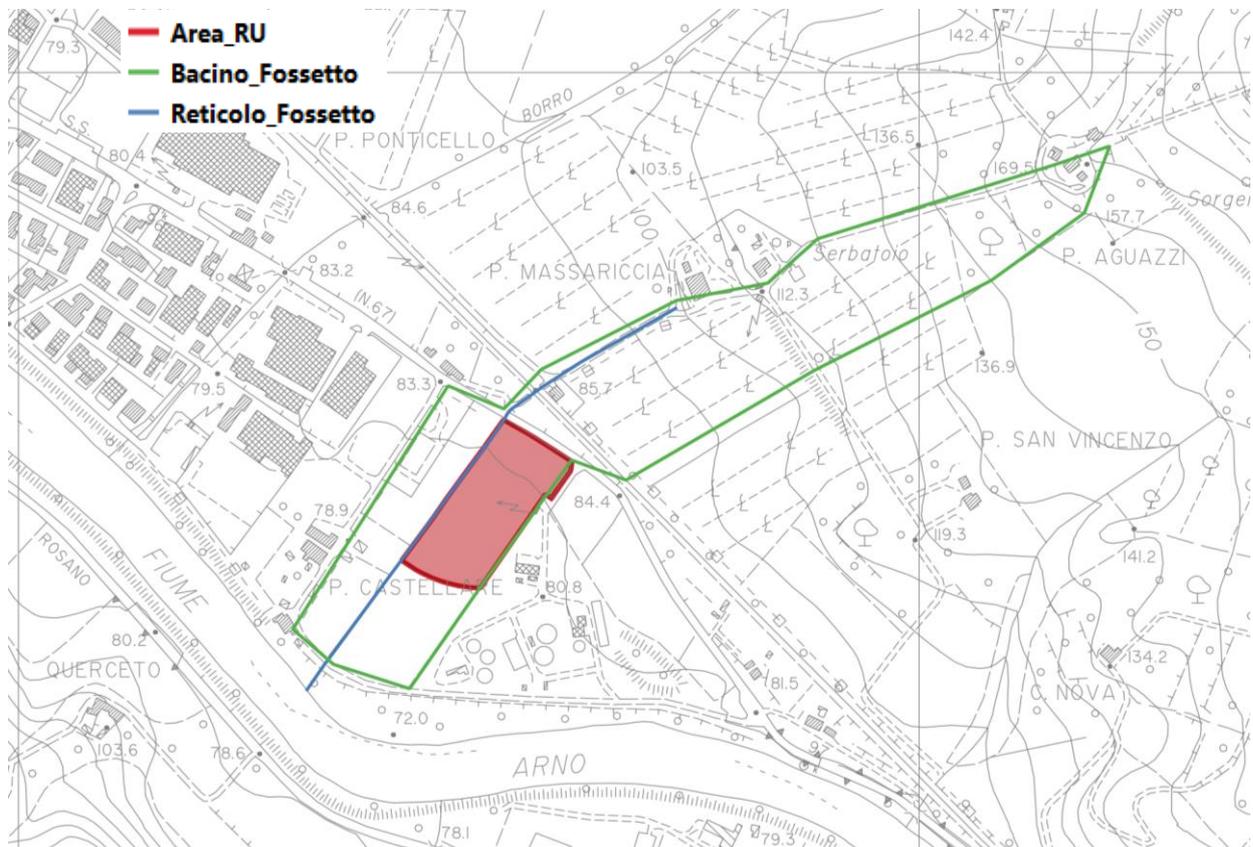


Figura 15: Fosso lato nord area interesse e bacino idrografico

Dato il modesto areale costituente il bacino idrografico in esame, è stata effettuata un'analisi idrologica di tipo empirico, utilizzando il Metodo Razionale.

L'evento meteorico sintetico prescelto è rappresentato da uno ietogramma ad intensità costante e durata pari al tempo di corrivazione, uniformemente distribuito sul bacino. La portata al colmo è proporzionale al prodotto fra intensità di pioggia e l'area del bacino, attraverso un coefficiente di deflusso che stima l'effetto delle perdite per infiltrazione.

Per la stima del tempo di corrivazione è stata utilizzata la formula di Giandotti.

In tabella seguente si riporta una sintesi dei parametri idrologici utilizzati.

A [kmq]	L [km]	H [m]	tc [ore]	C
0.130	0.601	21.80	0.63	0.50

Tabella 7: Parametri idrologici

Per ciò che riguarda la stima della portata con tempo di ritorno duecentennale, è opportuno rifarsi alle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica (LSPP) ottenute dalla "Regionalizzazione delle precipitazioni" della Regione Toscana, reperibili sul sito internet della stessa Regione. I parametri scelti per la modellazione sono riferiti alla stazione di Nave a Rosano (FI).

TR (anni)	a	n	h[mm]	i[mm/h]	Q[m ³ /s]
20	47.934	0.277	42.125	67.15	1.21
30	52.206	0.285	45.709	72.87	1.31
200	72.651	0.31	62.872	100.23	1.81
500	82.863	0.317	71.476	113.94	2.06

Tabella 8: Parametri regionalizzazione e portata stimata

Dalla Tabella 8 si deduce che la portata con la quale viene cementato il fosso adiacente l'area di studio è pari a 1.81 m³/s.

A partire dalla schematizzazione geometrica derivata dai rilievi topografici disponibili, è stata effettuata la verifica idraulica per il corso d'acqua oggetto di studio, dato il breve tratto in esame si è proceduto ad una verifica in moto permanente.

Il modello idraulico è stato sviluppato, sul tratto terminale del corso d'acqua, da valle dell'attraversamento stradale fino alla confluenza col Fiume Arno, attraverso il software Hec-Ras 4.1.0.

Le condizioni al contorno utilizzate sono:

- Portata idrologica in arrivo a valle dell'attraversamento stradale (a vantaggio di sicurezza non si considera tale sottoattraversamento)
- Arno a rive piene come condizione di valle (livello 78.29 m s.l.m.)

Tali condizioni al contorno risultano essere cautelative vista la differenza sostanziale fra tempi di corrivazione fra il piccolo borro (1h) ed il Fiume Arno (circa 18 h).

Il modello idraulico utilizzato con le tracce delle sezioni è riportato in Allegato 2.

Le analisi idrauliche hanno evidenziato le seguenti criticità:

- L'area di interesse non risulta allagabile per eventi con TR 200 anni;
- Il corso d'acqua risulta sufficiente al transito dell'intera portata idrologica, ancorché a monte della zona di interesse sussistano sottoattraversamenti di modesta dimensione della SS67 e della ferrovia (approssimativamente tubazioni DN 600)

Il libretto delle sezioni e il profilo longitudinale sono riportati rispettivamente in Allegato 3 e 4.

7. FATTIBILITÀ

Considerando che l'area risulta parzialmente allagabile con TR \leq 200 anni e tenuto conto delle perimetrazioni del PGRA, le aree oggetto di Proposta di Variante al Regolamento Urbanistico Comunale ricadono interamente, ai sensi del DPGR 5R/2011, in:

- **Area a Pericolosità interessate da alluvioni Poco Frequenti**

L'intervento risulta quindi fattibile con condizionamenti (fattibilità F3); ed in particolare:

- **il piano di imposta** del fabbricato, delle viabilità e dei parcheggi dovrà essere posto ad una quota superiore al massimo livello duecentennale di 78.88 m s.l.m. cui si somma un franco di sicurezza minimo di 50 cm; il piano di imposta del fabbricato dovrà quindi essere **posto a quote minime di 79.40 m s.l.m.**;

Si evidenzia che il piano attuativo non prevede la realizzazione di interventi edilizi o manufatti nelle aree allagabili da Fiume Arno. Non si prevedono quindi opere di compensazione idraulica

APPENDICE A: MODELLISTICA IDROLOGICO-IDRAULICA - STUDIO DI SUPPORTO ALLA 21^A VARIANTE AL REGOLAMENTO URBANISTICO – “S9-FORTUNA”

A.1 MODELLISTICA IDROLOGICA

La modellistica idrologica per la determinazione dell'idrogramma di piena in una o più sezioni fluviali di un bacino idrografico deve significativamente rappresentare tutte le fasi che si hanno a partire dalla distribuzione delle piogge insistenti sul bacino, fino alla valutazione dell'onda di piena.

La trasformazione da pioggia al suolo a portata nella sezione di chiusura avviene secondo una cascata di processi. L'ingresso principale al modello è costituito da una serie di misurazioni di pioggia. La quota parte di tali precipitazioni che andrà in scorrimento superficiale, detta anche precipitazione efficace (netta), viene valutata con un opportuno *modello di trasformazione afflussi-deflussi*, per la stima della produzione di deflusso idealmente in ciascun punto del bacino, avente la dimensione di una portata per unità di area. Infine, il processo di concentrazione dei deflussi nel reticolo idrografico e di trasferimento lungo questo fino alla sezione di chiusura verrà rappresentato tramite un opportuno *modello di formazione dell'onda di piena*.

La metodologia alla base degli studi effettuati mira ad un'agevole caratterizzazione degli eventi in termini di tempi di ritorno e durata dell'evento meteorico; conseguenza diretta, la possibilità di definire i livelli di rischio in funzione della probabilità di accadimento. Ciò si ottiene facilmente attraverso una procedura semplificata di generazione di eventi sintetici, che si basa sulle seguenti ipotesi:

- isofrequenza fra evento meteorico e portata in alveo (Tr evento di pioggia = Tr idrogramma di piena).

A.1.1 REGIME PLUVIOMETRICO – STUDIO REGIONALE LSPP

Il regime pluviometrico è stato caratterizzato sulla base dei risultati prodotti dal gruppo di lavoro dell'attività “Modellazione idrologica”, nell'ambito dell'Accordo stipulato tra la Regione Toscana e il Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli Studi di Firenze, per lo sviluppo di attività di ricerca sulla Mitigazione del Rischio Idraulico nella Regione Toscana.

Nell'ambito di tale lavoro è stata fornita la stima dell'altezza di pioggia per le diverse durate caratteristiche (1, 3, 6, 12 e 24 ore e giornaliera) e i diversi tempi di ritorno fissati (2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200 e 500 anni). Per le durate caratteristiche, sono state elaborate le griglie di risoluzione 1 km dei valori estremi delle altezze di pioggia, per i tempi di ritorno.

La previsione quantitativa dei valori estremi di pioggia in un determinato punto è stata effettuata anche attraverso la determinazione della curva o linea segnalatrice di probabilità pluviometrica (LSPP), cioè della relazione che lega l'altezza di precipitazione alla sua durata, per un assegnato tempo di ritorno.

La LSPP è comunemente descritta da una legge di potenza del tipo:

$$h(t) = a t^n$$

con: h = altezza di pioggia [mm]; t = durata [ore], a e n parametri caratteristici per i tempi di ritorno considerati.

Note le altezze di pioggia per durate e tempi di ritorno fissati, attraverso una regressione logaritmica è possibile determinare le griglie di 1 km su tutta la regione dei parametri a e n .

Una volta noti i parametri a e n della LSPP per i tempi di ritorno fissati è possibile calcolare l'altezza di pioggia di durata desiderata in punto della Regione Toscana.

A.1.2 CALCOLO DELLA PIOGGIA DI PROGETTO SU UN BACINO IDROGRAFICO

Dalle linee guida della Regione Toscana è possibile definire la metodologia di calcolo delle altezze di pioggia su un bacino idrografico.

Per calcolare l'altezza di pioggia su un bacino idrografico è necessario individuare lo spartiacque del bacino imbrifero e, una volta scelto il tempo di ritorno, è possibile valutare le altezze di pioggia.

Utilizzo dei parametri a e n della LSPP - Noti i parametri a e n della LSPP per assegnato T_r , viene definita la durata t dell'evento. Per un bacino idrografico si usa $t = T_r$ (durata dell'evento meteorico). È possibile quindi trovare l'altezza di pioggia in ogni cella tramite la relazione:

$$h(t) = a t^n$$

con: h = altezza di pioggia [mm]; t = durata dell'evento meteorico [ore], a e n parametri caratteristici.

La stima dell'altezza di pioggia con l'equazione può essere effettuata tramite software GIS con un *tool* tipo **Raster Calculator**.

Una volta trovata l'altezza di pioggia h in ogni cella, per la durata e il tempo di ritorno stabilito, è sufficiente calcolare il valore medio sul bacino idrografico.

A.1.3 CALCOLO DEGLI IDROGRAMMI DI PROGETTO

La determinazione degli idrogrammi di piena è stata effettuata secondo lo schema e la procedura che comunemente veniva utilizzata dalla *Regionalizzazione delle Portate di Piena della Regione Toscana*. **Nel caso specifico del presente studio, tutti i parametri necessari alla determinazione e formazione dell'onda di piena sono stati ricalcolati.**

Tale procedura parte dalla teoria dell'*Idrogramma Istantaneo Unitario (Instantaneous Unit Hydrograph, IUH)* dove i parametri in gioco sono ricavati dalle caratteristiche geomorfologiche del bacino, ottenendo così un *Idrogramma Istantaneo Unitario Geomorfologico* di cui vengono riportate di seguito le linee principali. Il modello di formazione dell'onda di piena adottato è quello proposto da Nash.

L'input meteorico è rappresentato da uno "ietogramma sintetico ad intensità costante" con il quale si assume che l'intensità di precipitazione sia costante durante l'intera evoluzione del fenomeno. Tale ietogramma consente la determinazione della portata al colmo di assegnato tempo di ritorno e durata dell'evento.

Il valore della pioggia lorda deve essere depurato delle perdite. La trasformazione afflussi-deflussi adottata prevede l'adozione di un "approccio asintotico a soglia" che richiede la stima di due parametri: la *perdita iniziale*, schematizzata introducendo un *volume unitario di perdita iniziale* (indicato con I_a) che il terreno assorbe completamente durante i primi istanti di precipitazione (dall'inizio dell'evento $t=0$ all'istante $t=t_a$) e la perdita per infiltrazione nel suolo durante l'evento, schematizzata con una *infiltrazione cumulata costante a saturazione* (indicata con K_s).

$$\begin{cases} I_a(t) = I_a(0) + \int_0^{t_a} (P(\tau) - K_s) d\tau \\ P_n(t) = 0 \end{cases} \quad \text{per } t < t_a$$

$$\begin{cases} I_a(t) = I_a \\ P_n(t) = P(t) - K_s \end{cases} \quad \text{per } t \geq t_a$$

dove:

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

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

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

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

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

In particolare, per la stima del coefficiente I_a si è utilizzata la formula $I_a = 3.3 + 22S_b$,

In cui S_b rappresenta la percentuale di superficie boscata presente sul bacino considerato.

Per quanto riguarda invece il valore del coefficiente K_s adottato, nella tabella seguente si riportano i valori dello stesso in funzione della classe geolitologica.

CODICE	DESCRIZIONE	KS [mm/h]
aC	("arenarie di Monte Cervarola"); arenarie turbiditiche quarzoso-feldspatiche a grana fine, in strati sottili; talora lenti di selci (sel) Aquitaniano-Langhiano superiore	1.55
alb	("alberese" e "formazione di Lanciata") calcari a grana fine grigio chiari, calcari marnosi scuri e arenarie calcaree gradate Paleocene-Eocene medio	4.65
all	alluvioni recenti e attuali Olocene	0
aS	("arenaria di Monte Senario") arenarie quarzoso-feldspatiche tipo "macigno", ma in generale più grossolane e contenenti ciottoli di quarzo, micascisti, filladi, calcari Paleogene	1.55
at	alluvioni terrazzate; ove distinte at1, at2, at3 Pleist. sup.	0
bn	(breccie nummulitiche) breccie poligeniche e calcareniti da torbide Paleogene	4.65
bw	conglomerati e arenarie di materiale ofiolitico alla base di cb.Paleocene-Eocene medio	0.775
cb	argille e marne con calcari, calcari marnosi, arenarie e calcareniti intercalate talora brecce sedimentarie costituite da rocce verdi, diaspri e calcari litografici	1.55
dt	detriti	2.325
fh	("formazione marno-siltose = flysch ad Elmintoidi"): calcari marnosi scuri, marne e arenarie calcaree Cretaceo superiore	4.65
fP1	("argilliti di Fiumalbo -marne di Le Piastre") argilliti varicolori, siltiti e marne grigie Oligocene superiore	0
fPaC	intervalli frequenti o potenti di marne siltose e siltiti in aC Aquitaniano-Langhiano superiore	0
fVc	(formazione di Vallina formazione di Sillano) argilloscisti variegati, calcari marnosi verdastri o grigi, calcareniti minute e arenarie calcarifere Cret. sup.-Eocene inf.	4.65
fVR	(formazione di Villa a Radda) argilloscisti talora siltosi, prevalentemente rossi, con pochi strati calcari marnosi verdastri o arenarie calcarifere, intercalati nella parte alta di pf o al tetto di questa Cretaceo sup.-Eocene inf.	0
mg	argille con lenti di gesso e di salgemma Messiniano sup.	0
Nu	calcareniti e calciruditi grigie, gradate Eocene	4.65
ol	a luoghi intercalazioni di materiale ligure in aC (olistostromi) Aquitaniano-Langhiano superiore	1.55
Pag	argille azzurre e cinerine Plioc. inf.-medio	0
pb	("argille a palombini") argilliti e marne fogliettate con intercalazioni di calcari a palombini Cretaceo inf.	0
Pcg	conglomerati e ghiaie prevalentemente argillose, con sabbie e sabbie argillose (al tetto e laterale di Ps) Plioc. inf.-medio	0.775
pf	("pietraforte") arenarie calcaree alternate ad argilliti subordinatamente livelli di marne varietà ofiolitifera Cretaceo superiore-Eocene inf.	1.55
Ps	sabbie gialle, arenarie Pliocene inf.-medio	1.55
sc	("scaglia toscana") argilliti rosse e varicolori con intercalazioni di calcari silicei grigi, marne rosse e calcareniti; al tetto marne siltose grigie, subordinatamente varicolori; Cretaceo inf. p.p.-Oligocene	0
Vs	("sabbie del Tasso") sabbie con lenti di ciottoli e sabbie argillose Pleist. inf.	2.325
VVB	("formazione di Villa Babbiani") sabbie con tasche e lenti di ciottoli di "macigno" Pleist. inf.	2.325

Tabella 1: Valori Ks utilizzati nel presente studio

Osservando sperimentalmente le piogge intense è possibile affermare che, all'interno di una certa area, l'intensità di precipitazione durante l'evento piovoso varia da punto a punto, anche in maniera sensibile, e questa variazione è tanto maggiore quanto maggiore è l'estensione dell'area considerata. Per questo alla precipitazione lorda, calcolata rispetto alla sezione di calcolo, è stato applicato un coefficiente di ragguaglio dipendente dall'area del bacino e dalla durata dell'evento, in linea con la trattazione riportata nella Regionalizzazione delle Portate di Piena della Regione Toscana, secondo la seguente formulazione:

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

dove t è la durata dell'evento, A è l'area del bacino sotteso e α , β , γ sono parametri dipendenti dal bacino considerato.

Il parametro α della formula sopra riportata dipende dal coefficiente a' della curva di possibilità pluviometrica a tre parametri. Poiché le curve delle nuove LSPP sono rappresentate con la formula a due parametri nella formulazione $h(t) = a t^n$, al fine di determinare il corrispettivo valore di a' da utilizzare nella stima del coefficiente di ragguaglio, si è operato come segue:

- dalle nuove LSPP sono stati calcolati per ogni "Tr" e per ogni durata "D" l'altezza di pioggia "h";
- dalla formula a 3 parametri $h = a' \cdot t^{n'} \cdot Tr^{m'}$ in campo logaritmico si ottiene $\log(h) = \log(a') + n' \cdot \log(t) + m' \cdot \log(Tr)$;
- tramite regressione lineare, sulle altezze di pioggia h , funzione della durata e del tempo di ritorno, si ottengono i parametri a' , m' ed n' della formula a 3 parametri.

Il coefficiente a' così calcolato è stato utilizzato per la determinazione del coefficiente di ragguaglio "Kr".

L'Idrogramma Istantaneo Unitario rappresenta l'idrogramma di piena causato da un evento impulsivo di pioggia di volume unitario e durata tendente a zero. Ipotizzando un comportamento del sistema bacino idrografico lineare e stazionario, la risposta $Q(t)$ ad una sollecitazione

meteorica di intensità $p(t)$, supposta costante su tutti i punti del bacino (approccio di tipo integrato), è data dall'integrale di convoluzione fra ietogramma di pioggia efficace e IUH:

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

dove:

$Q(t)$ è la portata defluente;

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

$U(t)$ è l'idrogramma unitario

$$\begin{cases} U(0) = 1 \\ U(t > 0) = 0 \end{cases} \quad \int_0^{\infty} U(t) dt = 1$$

La caratterizzazione di un modello di formazione della piena basato su tale principio consiste quindi essenzialmente nella determinazione della forma della funzione $U(t)$, che può essere stimata fissandone la struttura sulla base di considerazioni teoriche, e stimandone i parametri o per taratura, utilizzando dati sperimentali contemporanei di afflussi sul bacino e deflussi nella sezione di chiusura, o sulla base di caratteristiche geomorfologiche del bacino. Uno dei più diffusi modelli concettuali utilizzati per determinare la forma della funzione $U(t)$ è quello basato sull'ipotesi che il bacino idrografico si comporti come un insieme di n serbatoi lineari disposti in serie. L'espressione dell'idrogramma istantaneo unitario che ne deriva per un singolo serbatoio lineare è:

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

dove k è la costante del serbatoio che rappresenta il tempo caratteristico di svuotamento del serbatoio.

Supponendo che il bacino si comporti come una serie di n serbatoi, ciascuno con uguale tempo caratteristico k , la portata in uscita dall'intero bacino come risposta ad un input impulsivo distribuito sul bacino rappresenterà l'idrogramma istantaneo unitario del bacino alla sua chiusura, nota come *Idrogramma Istantaneo Unitario di Nash*:

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

dove la funzione $\Gamma(n) = (n-1)!$.

Il momento di primo ordine dell'IUH rispetto all'origine viene detto *tempo di ritardo (lag) Tl* ed è dato da:

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

In questo schema il tempo di ritardo è dato dal prodotto $n \cdot k$ (pari proprio alla media dell'idrogramma unitario). I parametri n, k dell'IUH di Nash sono stati ricavati sulla base delle caratteristiche geomorfologiche del reticolo idrografico, mediante le seguenti espressioni:

$$\begin{aligned} n &= 3.29(Rb/Ra)^{0.78} Rl^{0.07} \\ k &= 0.7(Ra/(Rb \cdot Rl))^{0.48} Lc/v \end{aligned}$$

in unità congruenti, dove:

R_b = rapporto di biforcazione;

R_l = rapporto di lunghezza;

R_a = rapporto di area;

L_c = lunghezza del canale principale (dalla sorgente alla sezione di interesse);

v = fattore cinematico legato alla velocità della piena ("media spazio-temporale di scorrimento dell'acqua o di propagazione dell'onda di piena").

I parametri geomorfologici sopra elencati permettono di rappresentare lo sviluppo della rete idrografica mediante una descrizione gerarchica e possono quindi essere calcolati, una volta ordinato il reticolo idrografico secondo il metodo di gerarchizzazione e classificazione geomorfologica di Horton e Strahler.

La gerarchizzazione di una rete idrografica si esegue attribuendo un ordine a ciascun segmento fluviale; un'asta che non nasce dalla confluenza di altre due è di primo ordine; un'asta di ordine n e un'asta di ordine $n-1$ congiungendosi danno origine a un'asta di ordine n ; due aste di ordine n congiungendosi danno origine a un'asta di ordine $n+1$. Per ogni bacino idrografico esiste una relazione fra il numero dei rami fluviali aventi un certo ordine e l'ordine stesso: in genere, il valore del primo diminuisce all'aumentare del secondo.

L'organizzazione della rete idrografica e quindi il suo grado di gerarchizzazione possono essere espressi mediante parametri quantitativi che definiscono la geometria del reticolo idrografico e il suo grado di organizzazione gerarchica. Il parametro di base è il rapporto di biforcazione R_b , che esprime il rapporto fra il numero di segmenti fluviali di un certo ordine ed il numero dei segmenti dell'ordine immediatamente successivo. Considerando invece la lunghezza media delle aste di un certo ordine si ottiene il rapporto fra le lunghezze, R_l . Analogamente, si definisce anche il rapporto fra le aree, R_a .

I tre parametri appena descritti vengono determinati sulla base delle seguenti relazioni:

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

dove

ω è l'ordine massimo del reticolo;

N_u il numero delle aste di ordine u , con $u=1, 2, 3, \dots$;

\bar{L}_u la lunghezza media delle aste di ordine u , con $u=1, 2, 3, \dots$;

\bar{A}_u l'area media sottesa da aste di ordine u , con $u=1, 2, 3, \dots$

A.2 MODELLISTICA IDRAULICA

Il modello idraulico è stato sviluppato attraverso il software HEC-RAS 5.0.2, brevemente descritto nei paragrafi seguenti.

A.2.1 MODELLISTICA IDRAULICA MONODIMENSIONALE

La dinamica fluviale in alveo è stata modellata con schema monodimensionale in moto vario attraverso le equazioni di De Saint Venant. In particolare il modello di moto vario risolve in forma numerica le equazioni di continuità e della quantità di moto che risultano:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_L &= 0 \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QU}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial H}{\partial x} + S_f + S_h \right) &= 0 \end{aligned} \right.$$

in cui:

- A = area della sezione liquida [m²];
- Q = portata [m³/s];
- $q_L(x)$ = portata laterale (positiva se entrante) [m²/s];
- $H = z+h$ è la quota del pelo libero (z quota del fondo e h battente idraulico) [m];
- g = accelerazione di gravità [m/s²];
- U = velocità media della corrente [m/s];
- S_f = perdite di carico distribuite per unità di lunghezza [m/m];
- S_h = perdite di carico concentrate [m/m].

Assumendo la gradualità spazio-temporale del fenomeno, la perdita di carico effettivo può essere stimata con un'equazione analoga a quella adottata per il moto uniforme:

$$S_f = \frac{Q|Q|n^2}{R^{4/3}A^2}$$

dove R [m] è il raggio idraulico ed n rappresenta il coefficiente di Manning [s/m^{1/3}].

Per includere nel modello gli effetti dissipativi indotti da variazioni di sezione, quali allargamenti o restringimenti, si valutano le perdite di carico effettivo addizionali, S_h , mediante la formula:

$$S_h = \frac{d}{dx} \left(C \frac{Q^2}{2g} \frac{1}{A^2} \right)$$

in cui C è un coefficiente funzione della velocità, del battente e delle proprietà geometriche della sezione.

Per la risoluzione del sistema di equazioni è necessario conoscere le condizioni al contorno di ciascun tratto sia a monte che a valle. La condizione di valle può essere costituita da un idrogramma di livelli idrometrici, oppure da un legame funzionale tra portata e livelli ovvero una scala di deflusso.

A monte invece è necessario imporre una condizione sulla portata in ingresso attraverso un idrogramma di piena, che è stato ricavato sulla base dell'analisi idrologica.

Dal punto di vista numerico, il sistema di equazioni monodimensionali viene risolto con uno schema implicito alle differenze finite.

A.2.2 MODELLISTICA BIDIMENSIONALE

La modellistica bidimensionale prevede la risoluzione numerica delle equazioni "Shallow Water", le quali risultano da un'approssimazione delle equazioni di Navier-Stokes in cui le velocità in direzione x e y sono mediate sulla verticale e l'effetto delle tensioni turbolente di Reynolds è simulato attraverso l'introduzione un parametro di viscosità turbolenta. Inoltre si assumono valide le seguenti ipotesi:

- scala spaziale verticale \ll scala spaziale orizzontale;
- fluido incomprimibile;
- componente verticale della velocità trascurabile;
- distribuzione della pressione idrostatica lungo la verticale.

L'equazione di continuità risulta:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial hu}{\partial x} + \frac{\partial hv}{\partial y} + q = 0$$

dove $H(x,y,t) = z(x,y) + h(x,y,t)$ con z la quota del fondo ed h il battente idraulico, u e v rispettivamente le componenti lungo x e lungo y della velocità mediata sulla verticale e q il termine che tiene conto di possibili immissioni/rimozioni di portata.

L'equazione della quantità di moto risulta:

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial x} + \nu_t \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - c_f u + fv \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial y} + \nu_t \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - c_f v + fu \end{cases}$$

dove g è l'accelerazione di gravità, ν_t è il coefficiente di viscosità turbolenta orizzontale, c_f è il coefficiente di resistenza ed f è il parametro di Coriolis. Il coefficiente di viscosità turbolenta è a sua volta calcolato come:

$$\nu_t = Dhu_s$$

in cui D è una costante empirica adimensionale e u_s è la velocità di attrito che può essere calcolata come segue:

$$u_s = \sqrt{gRS} = \frac{\sqrt{g}}{C} |U| = \frac{n\sqrt{g}}{R^{1/6}} |U|$$

con R il raggio idraulico, S la pendenza della linea dell'energia, n il numero di Manning ed $|U|$ il modulo della velocità. I valori da assegnare alla costante D sono riportati in Tabella 2.

Il coefficiente di attrito c_f è ottenuto attraverso la formula di Manning:

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

mentre il parametro di Coriolis è:

$$f = 2\omega \sin \varphi$$

con ω la velocità angolare della terra e φ la latitudine.

D	Intensità di mescolamento	Geometria e superficie
0.11 – 0.26	bassa	canali rettilinei, superfici lisce
0.30 – 0.77	moderata	meandri poco accentuati, irregolarità moderate
2.0 – 5.0	alta	meandri molto accentuati, superfici scabre

Tabella 2: Valori suggeriti da assegnare alla costante D .

Le equazioni "Shallow Water" possono essere ulteriormente semplificate quando, nell'equazione della quantità di moto, i termini associati all'accelerazione di gravità ed all'attrito sono predominanti rispetto a quelli inerziali. Attraverso opportune manipolazioni algebriche sostituendo la versione semplificata dell'equazione della quantità di moto nell'equazione di continuità, si ottiene la forma approssimata detta "Diffusion Wave Approximation":

$$\frac{\partial H}{\partial t} - \nabla \cdot \beta \nabla H + q = 0$$

dove:

$$\beta = \frac{R(H)^{5/3}}{n|\nabla H|^{1/2}}$$

Le condizioni al contorno da assegnare sui bordi del dominio di calcolo possono essere di tre differenti tipologie:

- livello della superficie libera;
- gradiente della superficie libera in direzione perpendicolare al dominio di calcolo;
- portata che attraversa il bordo del dominio.

La griglia di calcolo è non strutturata e può essere utilizzato un approccio con “sotto-griglia” (Casulli, 2008) per cui le celle di calcolo hanno passo maggiore rispetto alla batimetria impiegata (Figura 1a) e contengono informazioni aggiuntive quali raggio idraulico e area bagnata delle varie facce e curva di invaso dei volumi. Tali grandezze possono essere pre-calcolate prima della simulazione per ridurre il tempo di calcolo. In questo modo si perdono i dettagli ad alta risoluzione, ma l'informazione derivante da essi rimane disponibile (Figura 1b, c).

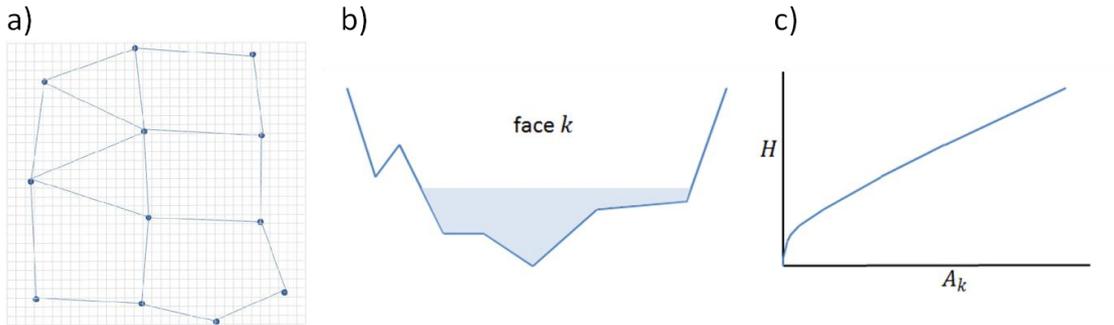


Figura 1: a) Esempio di “sotto-griglia”. b) Area bagnata associata ad una faccia della cella di calcolo k. c) Curva di invaso associata ad una cella di calcolo k.

Dal punto di vista della risoluzione numerica, viene impiegata una discretizzazione ibrida che combina differenze finite e volumi finiti. Nello specifico le differenze finite sono utilizzate per le derivate temporali mentre un'approssimazione ibrida viene impiegata per le derivate spaziali.

Per quel che riguarda le aree simulate attraverso celle di accumulo, il fenomeno non stazionario è descritto attraverso la sola legge d'invaso:

$$A_{ck} \frac{\partial h_k}{\partial t} = \sum_i Q_{ki}(h_k, h_i)$$

dove A_{ck} e h_k rappresentano rispettivamente l'area e il livello idrico della cella k -esima, h_i il livello idrico nella generica cella i -esima circostante, e Q_{ki} la portata scambiata con detta cella.

Per accoppiare la modellazione monodimensionale a quella bidimensionale vengono utilizzate le cosiddette “Lateral Structure” che simulano il comportamento di uno stramazzo a cui possono essere associate diverse caratteristiche di funzionamento.

Quando una simulazione prevede inoltre la presenza di aree 2D e celle di accumulo, queste vengono messe in comunicazione da “2D/SA connection”, anch'essi oggetti che simulano il funzionamento idraulico di uno stramazzo.

APPENDICE B: MODELLISTICA IDROLOGICO-IDRAULICA - STUDIO FOSSO LATO NORD AREA DI INTERESSE

B.1 MODELLISTICA IDROLOGICA – METODO RAZIONALE

Il Metodo Razionale è un procedimento semplice ed efficace per il calcolo della portata al colmo Q con tempo di ritorno T_R assegnato, basato sull'uso della curva di possibilità pluviometrica.

La portata al colmo, Q , risulta causata da un evento di precipitazione rappresentato da uno ietogramma ad intensità costante, i , di durata pari al tempo di corrivazione, t_c , ed è proporzionale al prodotto dell'intensità di pioggia e dell'area del bacino, attraverso un coefficiente di deflusso, C , che stima l'effetto delle perdite.

In definitiva, la formula utilizzata è la seguente:

$$Q = \frac{CiA}{3.6} \quad [1.1]$$

dove:

Q = portata al colmo con tempo di ritorno T_R [m^3/s]

C = coeff. di deflusso

i = intensità di pioggia ricavata dalla curva di possibilità pluviometrica con tempo di ritorno T_R e durata pari al tempo di corrivazione t_c [mm/h]

A = area del bacino [km^2]

Per stimare il tempo di corrivazione t_c si possono utilizzare varie formule empiriche, con campi di applicazione diversi. Di seguito se ne riportano alcune fra le più comuni.

Formula di Giandotti:

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H}}$$

dove:

t_c = tempo di corrivazione del bacino [h]

A = area del bacino [Km^2]

L = lunghezza dell'asta principale [Km]

H = altezza media del bacino rispetto alla sezione di chiusura [m s.l.m.]

Formula di Kirpich:

$$t_c = L^{0.77} \left(\frac{L}{(H_{MAX} - H_{MIN})} \right)^{0.385}$$

dove:

L = lunghezza dell'asta principale [Km]

H_{MAX} = altezza massima del bacino [m s.l.m.]

H_{MIN} = altezza minima del bacino [m s.l.m.]

Formula di Ventura:

$$t_c = 0.1272 \left(\frac{A}{i} \right)^{0.5}$$

dove:

A = area del bacino [Km^2]

i = pendenza media del bacino

Formula di Pasini:

$$t_c = \frac{0.108}{(i)^{0.5}} (AL)^{\frac{1}{3}}$$

dove:

A = area del bacino [Km^2]

i = pendenza media del bacino

L = lunghezza dell'asta principale [Km]

La stima dell'intensità di pioggia, i , richiede la determinazione dell'altezza di pioggia critica, ovvero l'altezza di precipitazione che, per un assegnato tempo di ritorno T_R , mi individua l'evento critico in termini di portata al colmo. Tale altezza di pioggia, h , si determina a partire dai parametri della curva segnalatrice di possibilità pluviometrica, che fornisce una relazione tra la durata della pioggia, il tempo di ritorno e la relativa altezza di precipitazione.

La formula per ricavare l'altezza di pioggia è la seguente:

$$h = at_C^n T_R^m \quad [1.6]$$

dove:

h = altezza di pioggia [mm]
 t_c = tempo di corrivazione del bacino [h]
 T_R = tempo di ritorno [anni]
 a, n, m = parametri della curva di possibilità pluviometrica.

L'intensità di pioggia si ricava semplicemente a partire dall'altezza di pioggia critica divisa per la durata critica, assunta, in tale modellazione, pari al tempo di corrivazione, t_c :

$$i = \frac{h}{t_c} \quad [1.7]$$

Il Coefficiente di Deflusso C si ricava normalmente dall'uso della copertura del suolo, che può essere ricavata dalla letteratura, da opportune cartografie o da sopralluoghi.

B.2 MODELLISTICA IDRAULICA – METODO PERMANENTE

La modellistica idraulica di moto permanente consente di trasformare le portate associate agli eventi di piena, definiti nella fase di modellazione idrologica, in livelli idrometrici nelle sezioni fluviali.

Per la trasformazione delle portate in livelli idrometrici viene utilizzato il software HEC-RAS 4.0 (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System), prodotto e reso disponibile gratuitamente dall'USACE (United States Army Corps of Engineering).

La procedura di calcolo si basa sulla risoluzione, con un metodo alle differenze finite, dell'equazione di moto permanente gradualmente variato, ricavata dal bilancio dell'energia secondo lo schema monodimensionale. Tale equazione è espressa dalla seguente forma differenziale:

$$\frac{dH}{dx} = -S_f$$

con:

$$H = z + y + \frac{\alpha V^2}{2g}$$

in cui:

H è il carico totale della corrente nella sezione generica di ascissa x , misurato rispetto ad un riferimento orizzontale;
 S_f è la perdita di carico unitaria dovuta alle resistenze continue;
 z è la quota del fondo alveo rispetto ad un riferimento orizzontale;
 y è la profondità della corrente misurata dal fondo dell'alveo;
 V è la velocità media della corrente nella sezione generica di ascissa x ;
 α è il coefficiente di ragguglio delle altezze cinetiche;
 g è l'accelerazione di gravità.

Passando alle differenze finite, l'equazione del profilo liquido tra due sezioni distanti Δx diventa:

$$H_2 - H_1 = -S_{fm} \cdot \Delta x$$

in cui:

H_1 è il carico totale della corrente nella sezione iniziale;
 H_2 è il carico totale della corrente nella sezione finale;
 S_{fm} è la perdita di carico unitaria dovuta alle resistenze continue media tra le due sezioni.

Quindi, per sostituzione, si ottiene:

$$z_1 + y_1 + \frac{\alpha V_1^2}{2g} - z_2 - y_2 - \frac{\alpha V_2^2}{2g} + \frac{J_1 + J_2}{2} \cdot \Delta x = 0$$

ovvero:

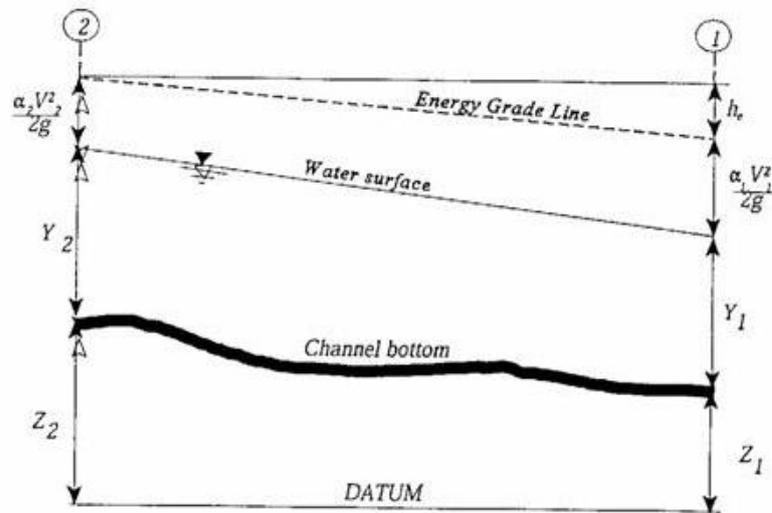
$$z_1 + y_1 + \frac{Q^2}{2gA_1^2} - z_2 - y_2 - \frac{Q^2}{2gA_2^2} + \frac{1}{2} \left(\frac{Q^2 n^2}{A_1^2 R_1^{4/3}} + \frac{Q^2 n^2}{A_2^2 R_2^{4/3}} \right) \cdot \Delta x = 0$$

dove:

Q è la portata;
 A_1 è l'area liquida della corrente nella sezione iniziale;
 A_2 è l'area liquida della corrente nella sezione finale;
 n è il coefficiente di scabrezza di Manning;

R è il raggio idraulico della sezione (rapporto tra area liquida ed contorno bagnato).

I termini del bilancio energetico fra due sezioni trasversali del corso d'acqua sono schematicamente rappresentati nella seguente figura.



Essendo le caratteristiche geometriche di una data sezione funzione della sola altezza liquida, l'equazione non lineare appena trovata permette di determinare la quota liquida nella sezione terminale di un tratto di corrente di lunghezza Δx una volta che sia nota la quota liquida in corrispondenza della sezione iniziale o viceversa (*condizione al contorno*).

La determinazione del profilo liquido di moto permanente relativo ad un tronco fluviale richiede quindi:

- la suddivisione il tronco di interesse in una successione finita di tratti delimitati da sezioni di cui sia nota la geometria;
- l'immissione del valore di portata liquida in ingresso alla sezione di monte ed eventuali variazioni dovute a immissioni localizzate o distribuite;
- l'imposizione delle condizioni al contorno nelle sezioni estreme del tronco in esame.

A partire dunque dalle condizioni al contorno, l'applicazione reiterata dell'equazione dell'energia permette di determinare la quota del pelo liquido in ogni sezione. In particolare, il modello consente di adottare uno dei seguenti schemi di calcolo:

- Corrente lenta (subcritical flow), applicabile quando la corrente è ovunque lenta, ossia con un'altezza liquida superiore alla critica in ogni sezione di calcolo; in tal caso la condizione al contorno è richiesta in corrispondenza dell'estremo di valle del tronco fluviale considerato.
- Corrente veloce (supercritical flow), applicabile quando la corrente è ovunque veloce, ossia in presenza di un'altezza liquida inferiore alla critica in tutte le sezioni di calcolo; in tal caso la condizione al contorno va imposta sulla sezione di monte del tratto in esame.
- Corrente mista (mixed flow), utilizzata quando all'interno del tronco esaminato si verificano transizioni da un tipo di corrente all'altro (es. risalto idraulico), che danno luogo ad una successione di tratti con differenti caratteristiche di moto. Tale schema richiede una condizione al contorno in corrispondenza di entrambe le sezioni estremità (monte e valle).

Va inoltre osservato che, per la soluzione dell'equazione monodimensionale dell'energia, le perdite di carico sono dovute alla *scabrezza*, quindi determinate tramite l'equazione di Manning, e in corrispondenza di brusche variazioni di velocità, dovute ad irregolarità d'alveo, tramite appositi coefficienti di *espansione/contrazione* della vena fluida moltiplicatori della variazione di energia cinetica.

Le irregolarità idrauliche (salti di fondo, confluenze, sbarramenti, etc...) nelle quali si viene a determinare un brusca variazione nel profilo del pelo libero della corrente, sono modellate attraverso la conservazione della spinta totale (equazione dei momenti).

In definitiva, i dati da inserire per la costruzione e la successiva implementazione della modellistica idraulica di moto permanente con il software HEC-RAS sono riassunti di seguito.

- 1 *Dati geometrici* relativi alle sezioni trasversali ed alle eventuali strutture presenti (ponti, traverse, sfioratori);
- 2 *Coefficiente di scabrezza* di Manning e *coefficienti di contrazione/espansione*, per il calcolo delle perdite energetiche, rispettivamente, distribuite e concentrate, in corrispondenza di ogni sezione fluviale. Dall'attendibilità di questi dati, definiti sulla base di sopralluoghi e confronti diretti con i valori riportati in letteratura, dipende il grado di risoluzione della simulazione. Le disposizioni tecniche individuano nel testo di Ven Te Chow il riferimento per la scelta delle scabrezze idrauliche in funzione delle caratteristiche della sezione. Tale testo tratta la determinazione del coefficiente di scabrezza in modo

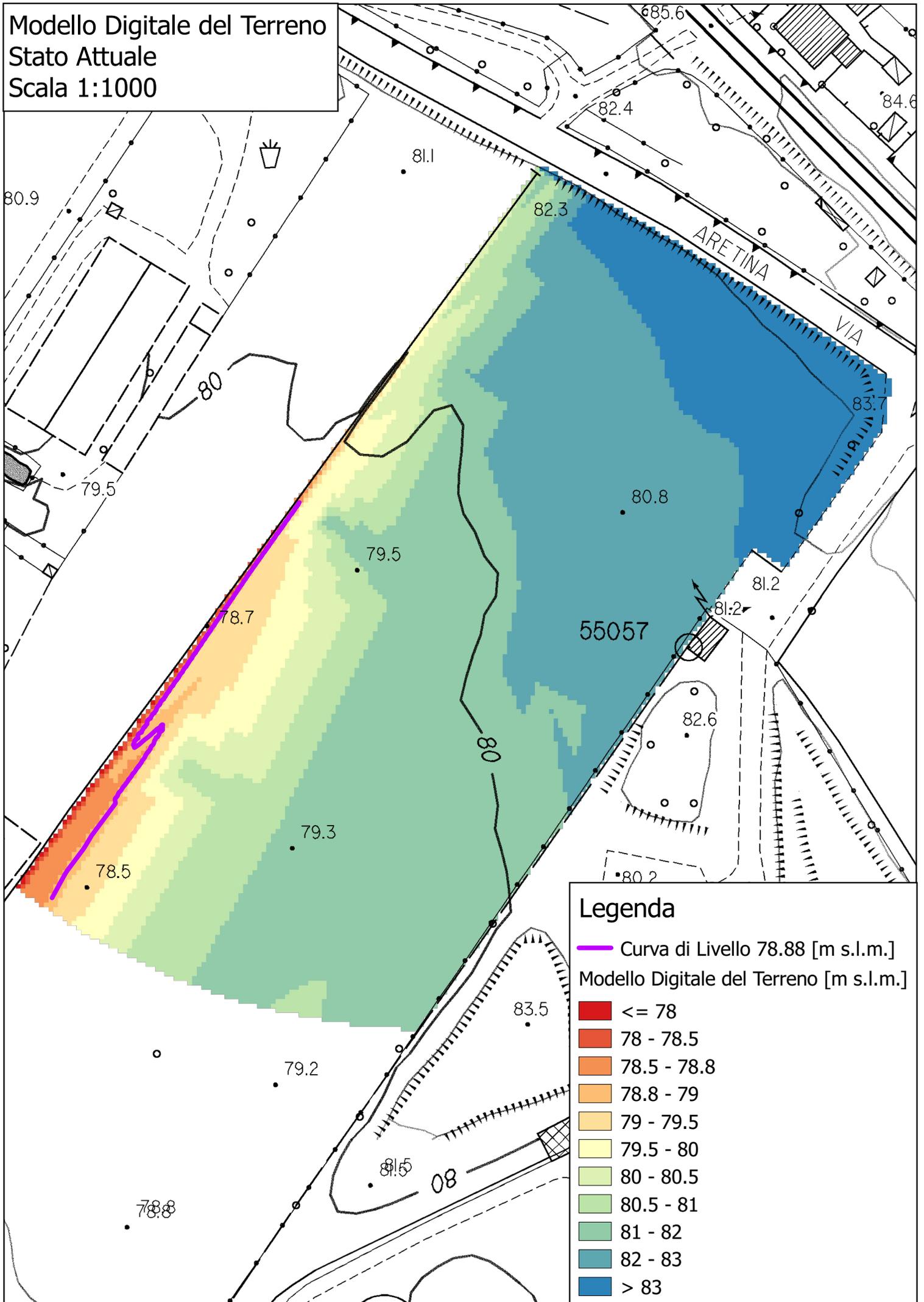
- esaustivo, descrivendo i fattori che influenzano i coefficienti, e presentando una serie di valori plausibili per sezioni idrauliche con differenti caratteristiche;
- 3 *Portata liquida in ingresso* alla sezione di monte ed eventuali contributi dovuti a *immissioni laterali* sulla base dei risultati della modellistica idrologica.
- 4 *Condizioni al contorno* per le sezioni estreme del tronco in esame, secondo lo schema di calcolo adottato. Le scelte possibili comprendono:
- *Known Water Surface Elevation*, per cui si immette un valore noto dell'altezza d'acqua;
 - *Critical depth*, si assume il valore di altezza critica calcolato dal programma;
 - *Normal depth*, prevede la definizione del valore della cadente della linea dei carichi totali, che in prima approssimazione può essere approssimabile con la pendenza del tratto di canale;
 - *Rating curve*, che permette la definizione per punti della scala di deflusso.

Attraverso la discretizzazione dell'equazione di moto nel dominio spaziale, la soluzione viene definita solo in corrispondenza delle sezioni trasversali in cui il corso d'acqua è stato schematizzato e non con continuità su tutto il dominio. Il grado di risoluzione conseguibile deriva quindi dalla densità delle sezioni fluviali rilevate.

Dall'esame dei battenti idrici risultanti dalla modellistica idraulica di moto permanente si evidenziano le eventuali sezioni fluviali insufficienti.

ALLEGATO 1: MODELLO DIGITALE DEL TERRENO

Modello Digitale del Terreno
Stato Attuale
Scala 1:1000



Legenda

— Curva di Livello 78.88 [m s.l.m.]
Modello Digitale del Terreno [m s.l.m.]

- <= 78
- 78 - 78.5
- 78.5 - 78.8
- 78.8 - 79
- 79 - 79.5
- 79.5 - 80
- 80 - 80.5
- 80.5 - 81
- 81 - 82
- 82 - 83
- > 83

ALLEGATO 2: PLANIMETRIA MODELLO IDRAULICO - RETICOLO NON CLASSIFICATO

Allegato 1 - Planimetria Modello Idraulico
Scala 1:2000

Legenda

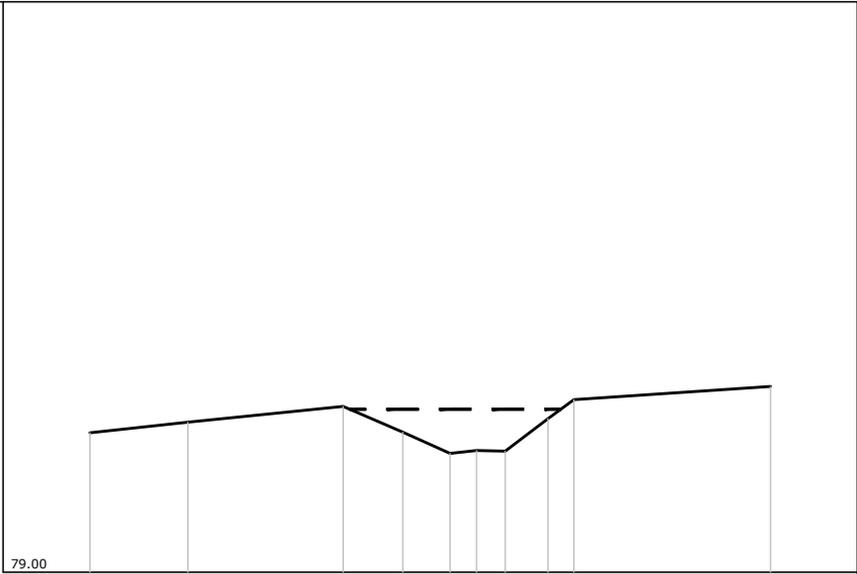
- 00035_19 Traccia Sezioni Fluviali
- Area proposta variante Regolamento Urbanistico



ALLEGATO 3: LIBRETTO SEZIONI CON LIVELLI IDROMETRICI - RETICOLO NON CLASSIFICATO

Fosso lato nord area di interesse
 SEZIONE N° 00037PC19

LEGENDA:
 Livelli idrometrici Tr200 anni H=81.14 m s.l.m.



SCALA DISTANZE 1:100
 SCALA QUOTE 1:100

PUNTI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
QUOTE [m s.l.m.]	80.83	80.97	81.18	80.84	80.56	80.60	80.59	81.02	81.27	81.44
DISTANZE PROGRESSIVE [m]	0.00	1.30	3.36	4.15	4.78	5.13	5.51	6.08	6.42	9.03
DISTANZE PARZIALI [m]		1.30	2.06	0.79	0.63		0.57		2.61	

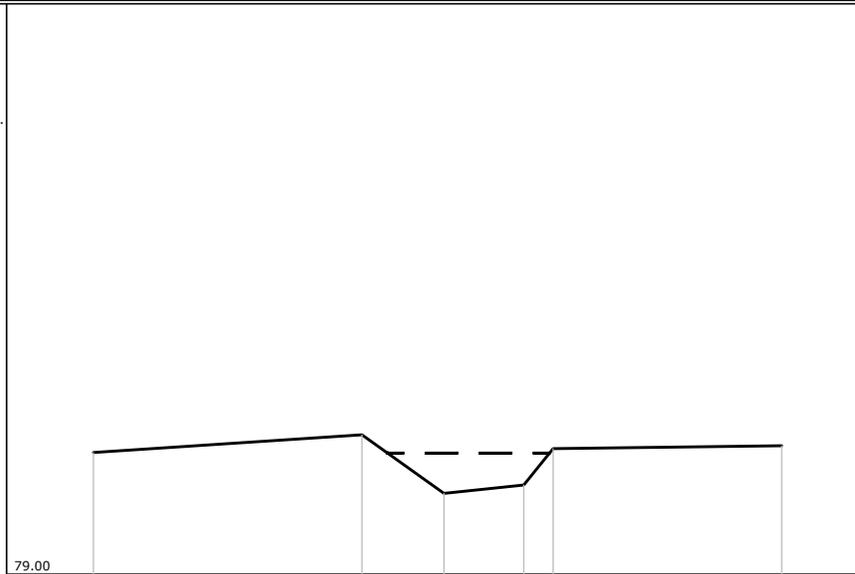
Fosso lato nord area di interesse
 SEZIONE N° 00035__19

LEGENDA:

Livelli idrometrici Tr200 anni H=80.59 m s.l.m.



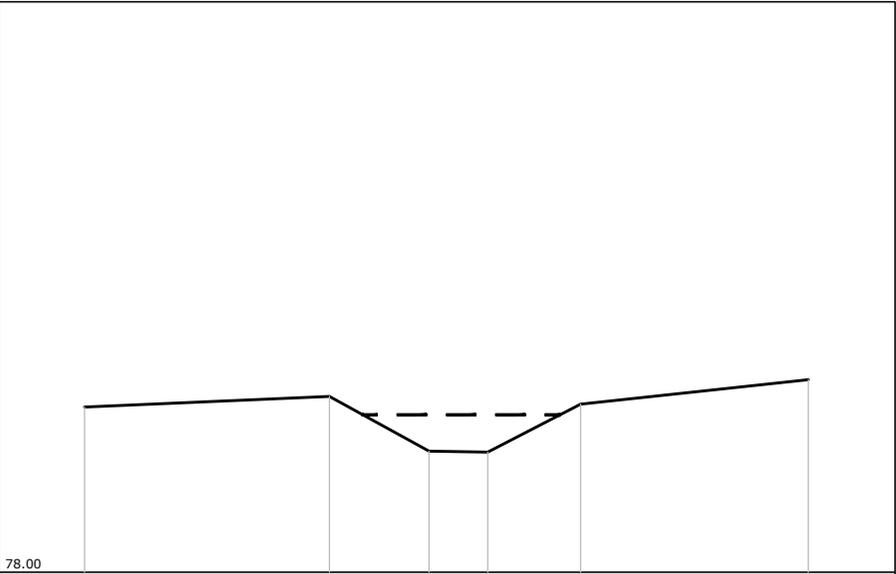
SCALA DISTANZE 1:100
 SCALA QUOTE 1:100



PUNTI	1	2	3	4	5	6
QUOTE [m s.l.m.]	80.60	80.83	80.06	80.17	80.65	80.69
DISTANZE PROGRESSIVE [m]	0.00	3.56	4.65	5.71	6.10	9.13
DISTANZE PARZIALI [m]		3.56	1.09	1.06		3.03

Fosso lato nord area di interesse
 SEZIONE N° 00032__19

LEGENDA:
 Livelli idrometrici Tr200 anni H=80.07 m s.l.m.,
 - - - - -



SCALA DISTANZE 1:100
 SCALA QUOTE 1:100

PUNTI	1	2	3	4	5	6
QUOTE [m s.l.m.]	80.17	80.31	79.59	79.58	80.21	80.53
DISTANZE PROGRESSIVE [m]	0.00	3.25	4.57	5.35	6.58	9.60
DISTANZE PARZIALI [m]		3.25	1.32	0.78	1.23	3.02

Fosso lato nord area di interesse
 SEZIONE N° 00031__19

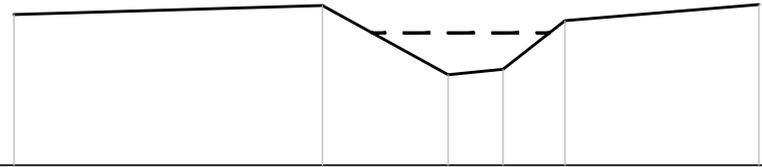
LEGENDA:

Livelli idrometrici Tr200 anni H=79.74 m s.l.m.



SCALA DISTANZE 1:100
 SCALA QUOTE 1:100

78.00



PUNTI	1	2	3	4	5	6
QUOTE [m s.l.m.]	79.98	80.10	79.19	79.26	79.90	80.11
DISTANZE PROGRESSIVE [m]	0.00	4.09	5.76	6.49	7.31	9.88
DISTANZE PARZIALI [m]		4.09	1.67	0.73	0.82	2.57

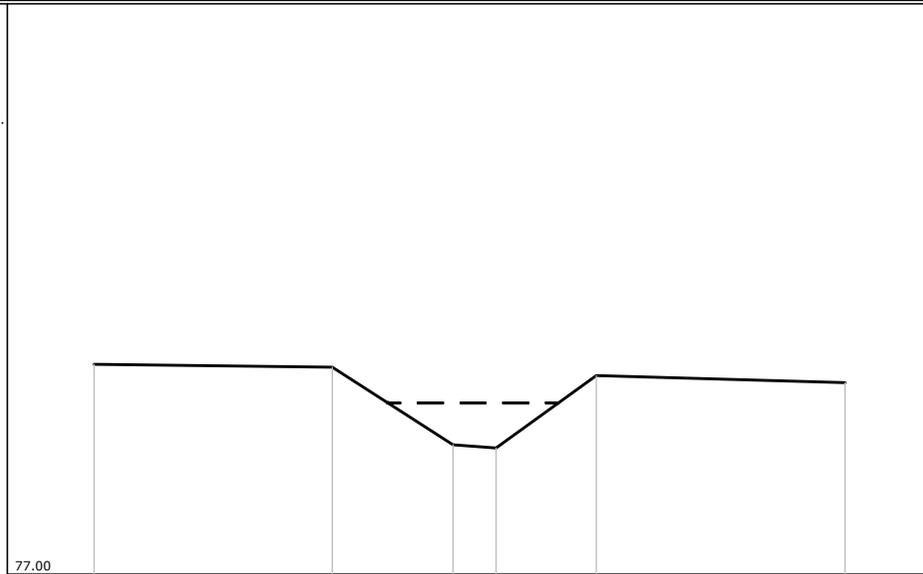
Fosso lato nord area di interesse
 SEZIONE N° 00029__19

LEGENDA:

Livelli idrometrici Tr200 anni H=79.25 m s.l.m.



SCALA DISTANZE 1:100
 SCALA QUOTE 1:100



PUNTI	1	2	3	4	5	6
QUOTE [m s.l.m.]	79.76	79.72	78.70	78.66	79.61	79.52
DISTANZE PROGRESSIVE [m]	0.00	3.16	4.76	5.33	6.66	9.96
DISTANZE PARZIALI [m]		3.16	1.60	0.57	1.33	3.30

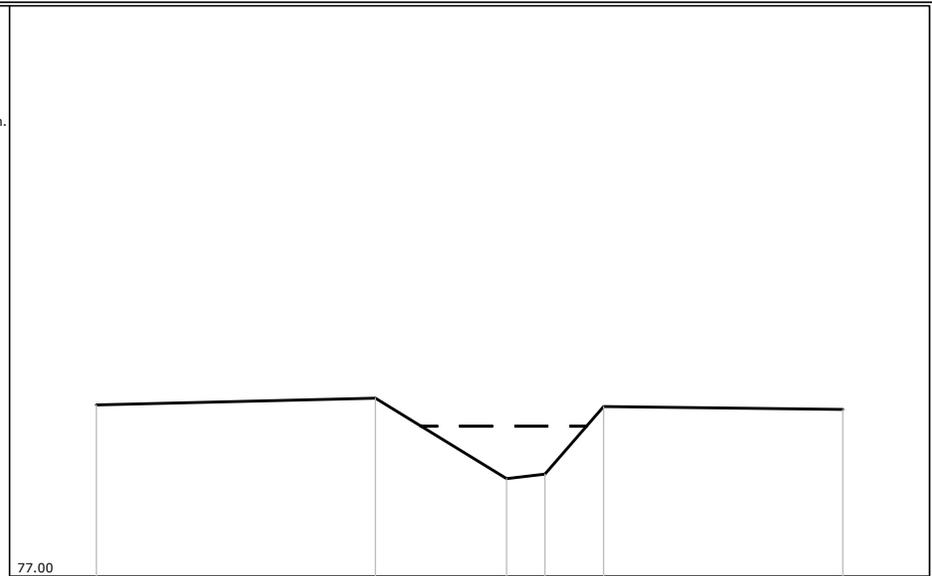
Fosso lato nord area di interesse
 SEZIONE N° 00026__19

LEGENDA:

Livelli idrometrici Tr200 anni H=78.97 m s.l.m.



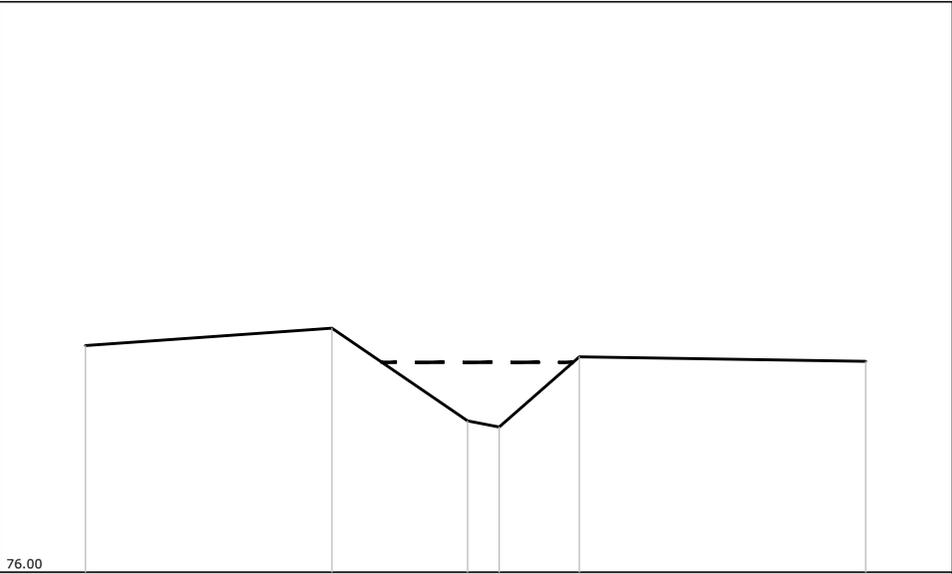
SCALA DISTANZE 1:100
 SCALA QUOTE 1:100



PUNTI	1	2	3	4	5	6
QUOTE [m s.l.m.]	79.25	79.34	78.28	78.34	79.23	79.19
DISTANZE PROGRESSIVE [m]	0.00	3.70	5.44	5.95	6.73	9.90
DISTANZE PARZIALI [m]		3.70	1.74	0.51	0.78	3.17

Fosso lato nord area di interesse
 SEZIONE N° 00024__19

LEGENDA:
 Livelli idrometrici Tr200 anni H=78.76 m s.l.m.
 - - - - -



SCALA DISTANZE 1:100
 SCALA QUOTE 1:100

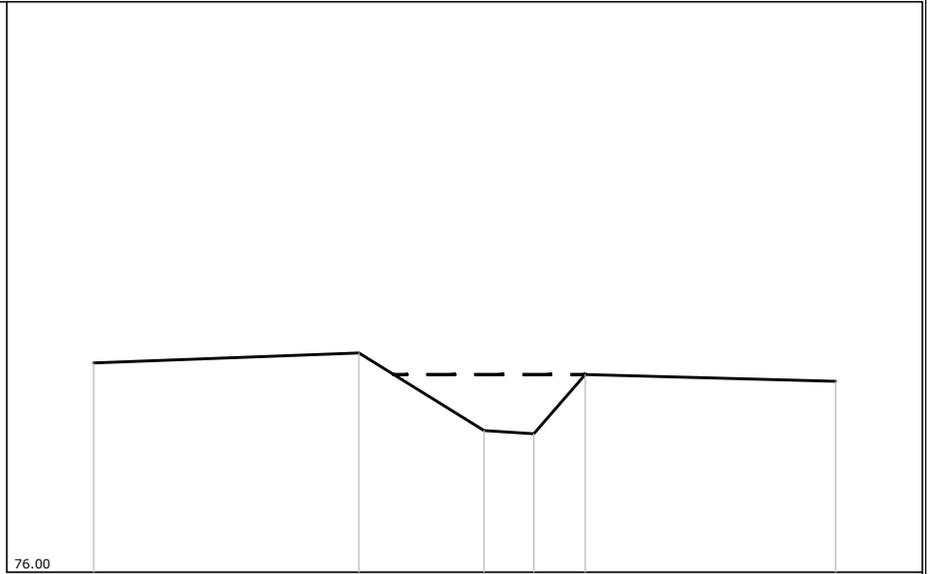
PUNTI	1	2	3	4	5	6
QUOTE [m s.l.m.]	78.98	79.21	77.99	77.91	78.83	78.77
DISTANZE PROGRESSIVE [m]	0.00	3.27	5.07	5.49	6.55	10.35
DISTANZE PARZIALI [m]		3.27	1.80	1.06	3.80	

Fosso lato nord area di interesse
 SEZIONE N° 00022__19

LEGENDA:

Livelli idrometrici Tr200 anni H=78.6 m s.l.m.

SCALA DISTANZE 1:100
 SCALA QUOTE 1:100



PUNTI	1	2	3	4	5	6
QUOTE [m s.l.m.]	78.75	78.88	77.86	77.82	78.60	78.51
DISTANZE PROGRESSIVE [m]	0.00	3.52	5.18	5.84	6.52	9.84
DISTANZE PARZIALI [m]		3.52	1.66	0.66	0.68	3.32

Fosso lato nord area di interesse
 SEZIONE N° 00019__19

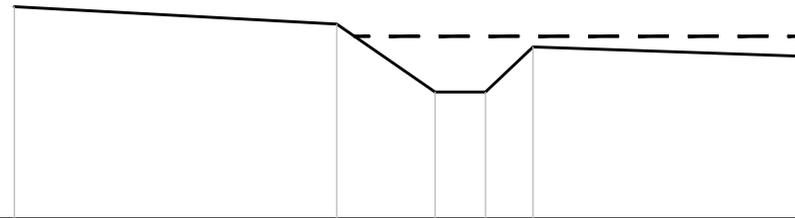
LEGENDA:

Livelli idrometrici Tr200 anni H=78.39 m s.l.m.



SCALA DISTANZE 1:100
 SCALA QUOTE 1:100

76.00



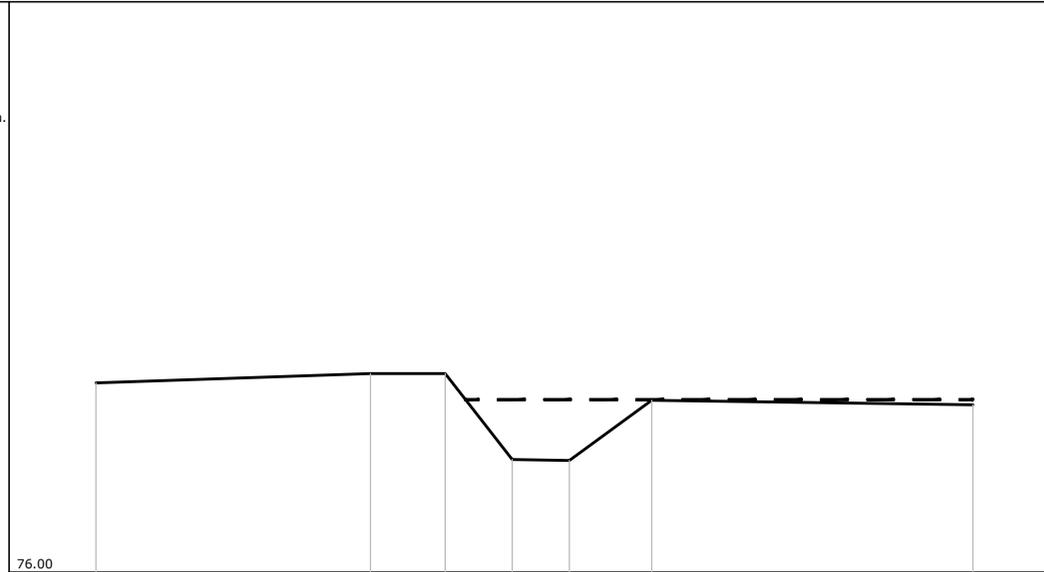
PUNTI	1	2	3	4	5	6
QUOTE [m s.l.m.]	78.78	78.55	77.66	77.66	78.25	78.13
DISTANZE PROGRESSIVE [m]	0.00	4.28	5.58	6.25	6.88	10.46
DISTANZE PARZIALI [m]		4.28	1.30	0.67	0.63	3.58

Fosso lato nord area di interesse
 SEZIONE N° 00017__19

LEGENDA:

Livelli idrometrici Tr200 anni H=78.27 m s.l.m.

SCALA DISTANZE 1:100
 SCALA QUOTE 1:100



PUNTI	1	2	3	4	5	6	7
QUOTE [m s.l.m.]	78.49	78.61	78.61	77.48	77.47	78.26	78.20
DISTANZE PROGRESSIVE [m]	0.00	3.64	4.63	5.52	6.28	7.37	11.63
DISTANZE PARZIALI [m]		3.64	0.99	0.89	0.76	1.09	4.26

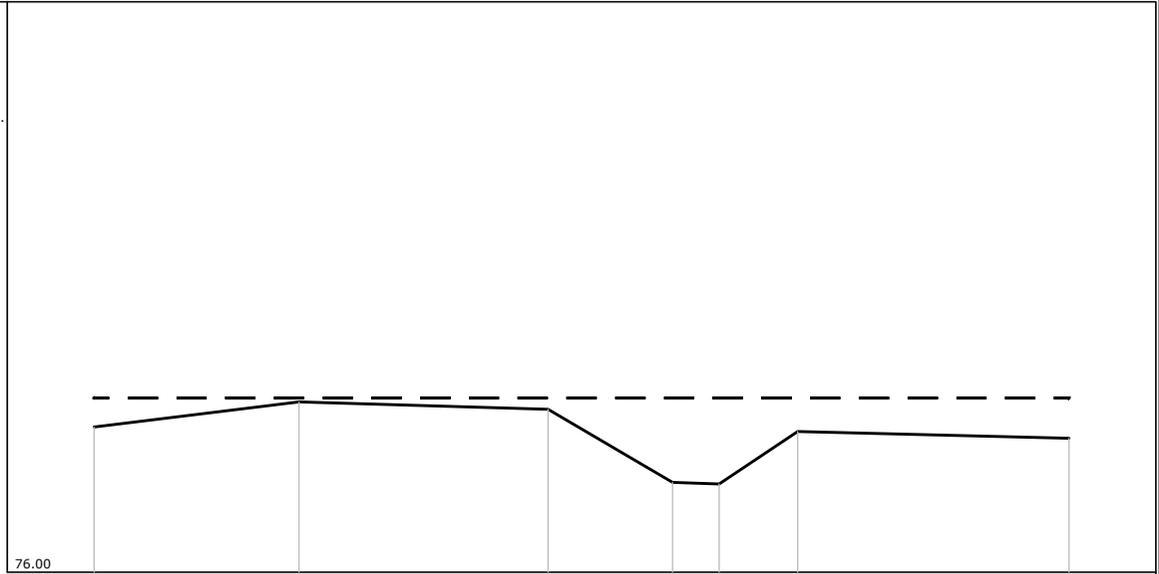
Fosso lato nord area di interesse
 SEZIONE N° 00015__19

LEGENDA:

Livelli idrometrici Tr200 anni H=78.29 m s.l.m.



SCALA DISTANZE 1:100
 SCALA QUOTE 1:100

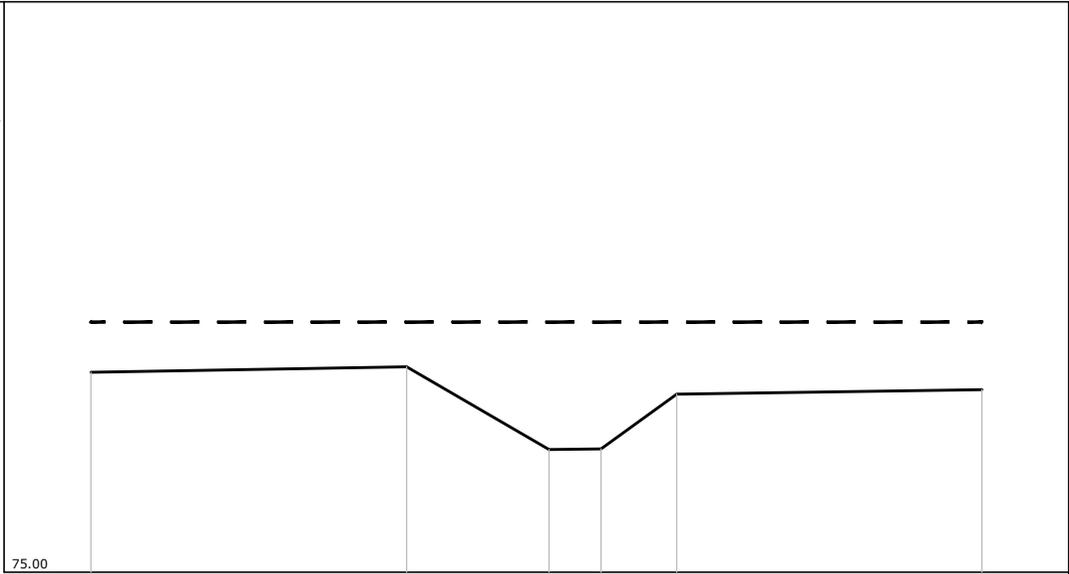


PUNTI	1	2	3	4	5	6	7
QUOTE [m s.l.m.]	77.91	78.24	78.14	77.18	77.16	77.85	77.76
DISTANZE PROGRESSIVE [m]	0.00	2.72	6.02	7.67	8.29	9.33	12.93
DISTANZE PARZIALI [m]		2.72	3.30	1.65	0.62	1.04	3.60

Fosso lato nord area di interesse
 SEZIONE N° 00011__19

LEGENDA:

Livelli idrometrici Tr200 anni H=78.29 m s.l.m.
 - - - - -



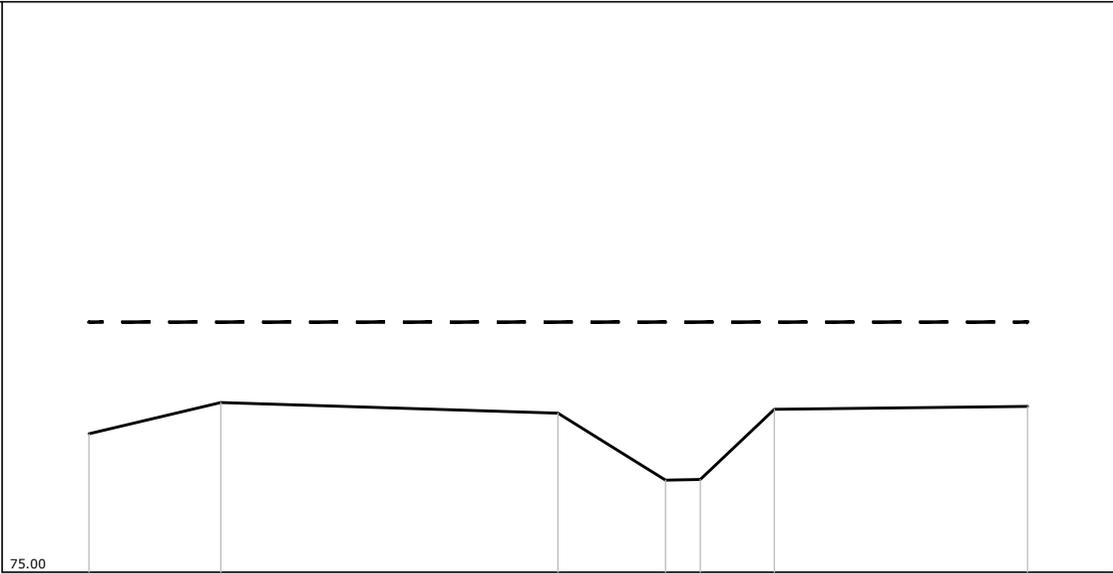
SCALA DISTANZE 1:100
 SCALA QUOTE 1:100

PUNTI	1	2	3	4	5	6
QUOTE [m s.l.m.]	77.63	77.70	76.61	76.62	77.34	77.40
DISTANZE PROGRESSIVE [m]	0.00	4.19	6.08	6.77	7.77	11.82
DISTANZE PARZIALI [m]		4.19	1.89	0.69	1.00	4.05

Fosso lato nord area di interesse
 SEZIONE N° 00008__19

LEGENDA:
 Livelli idrometrici Tr200 anni H=78.29 m s.l.m.
 - - - - -

SCALA DISTANZE 1:100
 SCALA QUOTE 1:100



PUNTI	1	2	3	4	5	6	7
QUOTE [m s.l.m.]	76.82	77.23	77.09	76.21	76.22	77.14	77.18
DISTANZE PROGRESSIVE [m]	0.00	1.75	6.22	7.65	8.11	9.09	12.45
DISTANZE PARZIALI [m]		1.75	4.47	1.43	0.98	3.36	

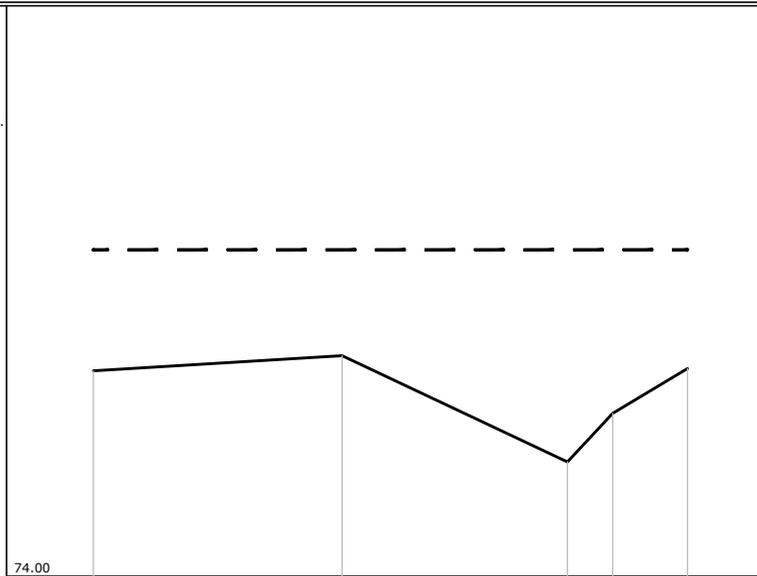
Fosso lato nord area di interesse
 SEZIONE N° 00005__19

LEGENDA:

Livelli idrometrici Tr200 anni H=78.29 m s.l.m.



SCALA DISTANZE 1:100
 SCALA QUOTE 1:100



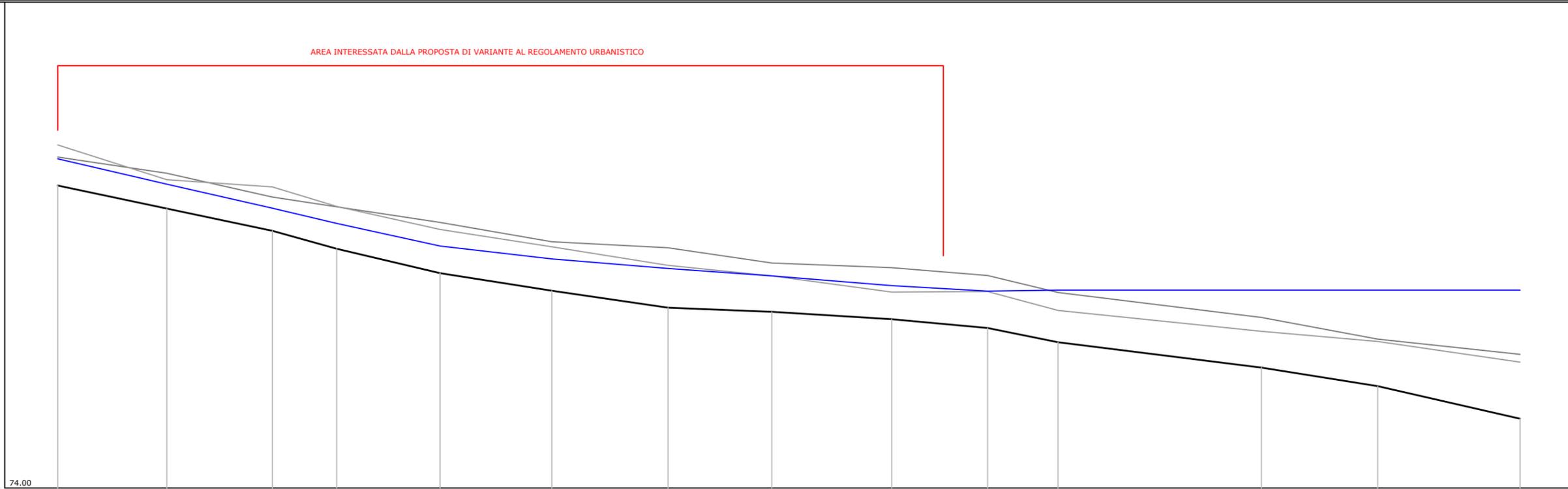
PUNTI	1	2	3	4	5
QUOTE [m s.l.m.]	76.70	76.90	75.50	76.14	76.73
DISTANZE PROGRESSIVE [m]	0.00	3.30	6.29	6.89	7.88
DISTANZE PARZIALI [m]		3.30	2.99	0.60	0.99

ALLEGATO 4: PROFILO LONGITUDINALE CON LIVELLI IDROMETRICI - RETICOLO NON CLASSIFICATO

Profilo Longitudinale
Fosso lato nord area di interesse

AREA INTERESSATA DALLA PROPOSTA DI VARIANTE AL REGOLAMENTO URBANISTICO

SCALA DISTANZE 1:1000
SCALA QUOTE 1:100



SEZIONI	00037PC19	00035_19	00032_19	00031_19	00029_19	00026_19	00024_19	00022_19	00019_19	00017_19	00015_19	00011_19	00008_19	00005_19
LIVELLI IDROMETRICI TR200 [m s.l.m.]	81.14	80.59	80.07	79.74	79.25	78.97	78.76	78.60	78.39	78.27	78.29	78.29	78.29	78.29
QUOTE FONDO ALVEO [m s.l.m.]	80.56	80.06	79.58	79.19	78.66	78.28	77.91	77.82	77.66	77.47	77.16	76.61	76.21	75.50
QUOTE ARGINE SX [m s.l.m.]	81.18	80.83	80.31	80.10	79.76	79.34	79.21	78.88	78.78	78.61	78.24	77.70	77.23	76.90
QUOTE ARGINE DX [m s.l.m.]	81.44	80.69	80.53	80.11	79.61	79.23	78.83	78.60	78.25	78.26	77.85	77.40	77.18	76.73
DISTANZE PROGRESSIVE [m]	371.46	347.80	324.89	310.91	288.45	264.20	238.98	216.46	190.41	169.65	154.35	110.19	84.94	54.05
DISTANZE PARZIALI [m]		23.66	22.91	13.98	22.46	24.25	25.22	22.52	26.05	20.76	15.30	44.16	25.25	30.89