

**STUDIO IDROLOGICO IDRAULICO DI SUPPORTO
AL PUC 12.12 AI SENSI DELL'ART. 121 DELLA L.R. 65/2014.
IN APPLICAZIONE DELLA SCHEDA NORMA 12.12 DELLA
VARIANTE SECONDO REGOLAMENTO URBANISTICO DEL
COMUNE DI EMPOLI VIA DEL CASTELLUCCIO**

STUDIO IDROLOGICO IDRAULICO

RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA

COMMITTENTE:

ZIGNAGO VETRO S.p.A.

PROGETTISTI:

ING. GIACOMO GAZZINI

CODICE ELABORATO:

PROGETTO	LOTTO	FASE	DOC	ELABORATO	REV
L 7 6 9	0 1	S 0 6	T	R I I I	A

REV.

DATA EMISSIONE

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

A

Dicembre 2020

G.Gazzini

G.Gazzini

G.Gazzini

Indice generale

1. INTRODUZIONE	2
2. INQUADRAMENTO DELL'AREA DI INTERESSE	4
2.1 L'AREA OGGETTO DI OSSERVAZIONE PER AMPLIAMENTO	4
2.2 MODELLO IDRAULICO AREA EMPOLI OVEST	4
3. ANALISI IDROLOGICA	6
3.1 REGIME PLUVIOMETRICO – STUDIO REGIONALE LSPP	6
3.1.1 Calcolo della pioggia di progetto su un bacino idrografico	6
3.2 CALCOLO DEGLI IDROGRAMMI DI PROGETTO	7
3.3 IDROGRAMMI DI CALCOLO	9
4. ANALISI IDRAULICA	14
4.1 MODELLISTICA IDRAULICA MONODIMENSIONALE.....	14
4.2 MODELLISTICA IDRAULICA BIDIMENSIONALE.....	15
5. RISULTATI DELL'ANALISI IDRAULICA	17
6. NORMATIVA IDRAULICA	17
6.1 IL D.P.G.R. 53/R DEL 2011	17
6.2 LA L.R. 41 DEL 2018.....	18
6.3 LA L.R. 7R DEL 2020.....	19
7. INTERVENTI DI PROGETTO	19

Indice delle figure

Figura 2-1: Inquadramento dell'area estratto da Google Maps	4
Figura 3-1: Idrogrammi Tr 30 Anni D = 36h.....	9
Figura 3-2: Idrogrammi Tr 200 Anni D = 1h.....	10
Figura 3-3: Idrogrammi Tr 200 Anni D = 2h.....	10
Figura 3-4: Idrogrammi Tr 200 Anni D = 3h.....	11
Figura 3-5: Idrogrammi Tr 200 Anni D = 7h.....	11
Figura 3-6: Idrogrammi Tr 200 Anni D = 14h.....	12
Figura 3-7: Idrogrammi Tr 200 Anni D = 18h.....	12
Figura 3-8: Idrogrammi Tr 200 Anni D = 24h.....	13
Figura 3-9: Idrogrammi Tr 200 Anni D = 36h.....	13
Figura 4-1: 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.	16
Figura 7-1: Determinazione della Magnitudo Idraulica	19
Figura 7-2: INVILUPPO BATTENTI TR200 STATO ATTUALE.....	20
Figura 7-3: LIDAR.....	20
Figura 7-4: VELOCITA'.....	21
Figura 7-5: Calcolo sottrazione dei volumi di esondazione	22
Figura 7-6: Idrogramma Battenti Stato Attuale e di Progetto in aree limitrofe	23
Figura 7-7: Idrogramma Battenti Stato Attuale e di Progetto in area ampliamento	23
Figura 7-8: Idrogramma Battenti Stato Attuale e di Progetto in aree di compenso	24

Indice delle tabelle

Tabella 4-1: Valori suggeriti da assegnare alla costante D.	16
--	----

1. INTRODUZIONE

La Società Zignago Vetro SPA, in applicazione della Scheda Norma 12.12 della Variante al Regolamento Urbanistico del Comune di Empoli intende presentare il "PUC 12.12 AI SENSI DELL'ART. 121 DELLA L.R. 65/2014 IN APPLICAZIONE DELLA SCHEDA NORMA 12.12 DELLA VARIANTE SECONDO REGOLAMENTO URBANISTICO DEL COMUNE DI EMPOLI VIA DEL CASTELLUCCIO".

Il presente Studio Idrologico idraulico di supporto al PUC deriva dallo Studio Idraulico di supporto alla Osservazione al piano Strutturale e regolamento urbanistico presentata da Zignago Vetro Spa, redatto da Hydrogeo Ingegneria Srl, che è stata poi recepita e approvata dal Comune di Empoli.

Hydrogeo Ingegneria Srl è stata pertanto incaricata di implementare uno studio idrologico idraulico, per verificare la pericolosità dell'area oggetto di ampliamento, e nel caso, di definire gli interventi necessari dal punto di vista idraulico per garantire la Fattibilità della stessa.

La presente relazione, prende in esame il profilo idraulico dell'area ed è condotta a seguito della presa visione di quanto presente nel

1. Regolamento Urbanistico
2. Piano Strutturale

ed in ottemperanza al:

- D.P.G.R. 53/R del 25.10.2011 vigente al momento della approvazione del regolamento urbanistico
- L.R. 41/2018 e s.m.i.

Si fa presente che la scheda Norma 12.12 individua la tipologia di trasformazione come "Nuova edificazione di completamento".

Il presente studio di supporto al PUC è stato condiviso oltre che con gli Uffici del Comune di Empoli anche con gli Uffici del Genio Civile Valdarno Superiore.

Il presente studio, mutuato dalle Osservazioni presentate e successivamente recepite dal Comune, al fine di renderlo confrontabile con lo studio effettuato sia nel Regolamento Urbanistico dagli Uffici del Genio Civile di Firenze nel 2013, sia nella variante al Piano Strutturale e al Regolamento Urbanistico del Comune di Empoli adottati con delibera del consiglio comunale n.24 del 19/03/2018, redatto da H.S. Ingegneria Srl, ha replicato lo studio dell'area denominata Empoli Ovest, con le stesse caratteristiche, modalità di calcolo, parametri in input, estensioni geometriche e condizioni al contorno, ed in particolare:

- Idrologia con parametri derivanti dallo studio del Genio Civile, aggiornati con le nuove Linee Segnalatrici di possibilità pluviometrica della Regione Toscana.
- Geometria dei corsi d'acqua afferenti l'area Empoli Ovest, derivante dallo Studio del Genio Civile e messa a disposizione da H.S. Ingegneria Srl
- Rappresentazione del Modello Digitale del Terreno, per la modellistica bidimensionale, ricavata dal **Rilievo Lidar con celle di dimensione 1 x 1 metri**
- Condizioni al Contorno della modellistica idraulica derivante dallo Studio del Genio Civile e da H.S. Ingegneria Srl
- Modellistica Idraulica implementata con Software Hec Ras 5.0.4

Nell'ambito del presente studio pertanto le attività che si sono susseguite e che saranno descritte nei paragrafi successivi, sono le seguenti:

- Descrizione del sistema Empoli Ovest e del Modello Idraulico
- Analisi Idrologica
- Analisi Idraulica
- Analisi dei risultati
- Individuazione degli interventi di messa in sicurezza idraulica

Di seguito è riportato l'elenco degli elaborati costituenti lo Studio Idrologico Idraulico.

Per quanto attiene all'inquadramento urbanistico dell'area oggetto di ampliamento, si faccia riferimento agli elaborati relativi e la scheda Norma 12.12 della Seconda variante al regolamento Urbanistico di Via del Castelluccio.

STUDIO IDROLOGICO IDRAULICO DI SUPPORTO AL PUC 12.12 AI SENSI DELL'ART. 121 DELLA L.R. 65/2014. IN APPLICAZIONE DELLA SCHEDA NORMA 12.12 DELLA VARIANTE SECONDO REGOLAMENTO URBANISTICO DEL COMUNE DI EMPOLI VIA DEL CASTELLUCCIO		
ELENCO ELABORATI		
codice	scala	descrizione
Elaborati testuali		
L76901S06TRII_B	-	Relazione Idrologica Idraulica
Elaborati grafici		
L76901S06D001_A	1:10000	Tavola 1 - Corografia
L76901S06D002_A	1:5000	Tavola 2 - Planimetria Modello Idraulico
L76901S06D003_A	1:5000	Tavola 3 - Planimetria delle Aree Allagate - Battenti idraulici massimi TR30 anni d=36h - Stato Attuale
L76901S06D004_A	1:5000	Tavola 4 - Planimetria delle Aree Allagate - Battenti idraulici massimi TR200 anni d=1h - Stato Attuale
L76901S06D005_A	1:5000	Tavola 5 - Planimetria delle Aree Allagate - Battenti idraulici massimi TR200 anni d=2h - Stato Attuale
L76901S06D006_A	1:5000	Tavola 6 - Planimetria delle Aree Allagate - Battenti idraulici massimi TR200 anni d=3h - Stato Attuale
L76901S06D007_A	1:5000	Tavola 7 - Planimetria delle Aree Allagate - Battenti idraulici massimi TR200 anni d=7h - Stato Attuale
L76901S06D008_A	1:5000	Tavola 8 - Planimetria delle Aree Allagate - Battenti idraulici massimi TR200 anni d=14h - Stato Attuale
L76901S06D009_A	1:5000	Tavola 9 - Planimetria delle Aree Allagate - Battenti idraulici massimi TR200 anni d=18h - Stato Attuale
L76901S06D010_A	1:5000	Tavola 10 - Planimetria delle Aree Allagate - Battenti idraulici massimi TR200 anni d=24h - Stato Attuale
L76901S06D011_A	1:5000	Tavola 11 - Planimetria delle Aree Allagate - Battenti idraulici massimi TR200 anni d=36h - Stato Attuale
L76901S06D012_A	1:5000	Tavola 12 - Planimetria delle Aree Allagate - Inviluppo battenti idraulici massimi TR200 anni - Stato Attuale
L76901S06D013_A	1:2000	Tavola 13 - Planimetria della Pericolosità Idraulica Stato Attuale ai sensi del DPGR 53R/2011
L76901S06D014_A	varie	Tavola 14 - Planimetria Aree Allagate con Intervento di Ampliamento in Sicurezza Idraulica TR 200 anni d=36h
L76901S06D015_A	varie	Tavola 15 - Planimetria Aree Allagate con Intervento di Ampliamento in Sicurezza Idraulica e Opere di Compensazione TR 200 anni d=36h

2. INQUADRAMENTO DELL'AREA DI INTERESSE

2.1 L'AREA OGGETTO DI OSSERVAZIONE PER AMPLIAMENTO

L'ipotesi di ampliamento si attesterà sul limite fisico del nuovo tracciato di via del Castelluccio dei Falaschi, parallelo al Rio Stella e al Rio di Pagnana, mantenendo la fascia di tutela assoluta dei corsi d'acqua.

Nella Figura che segue si riporta l'inquadramento dell'area estratta da Google Maps.



Figura 2-1: Inquadramento dell'area estratta da Google Maps

Per gli specifici dettagli sull'area, sulla proposta di ampliamento e sulla progettazione della stessa si rimanda agli elaborati urbanistici.

2.2 MODELLO IDRAULICO AREA EMPOLI OVEST

I rii Sant'Anna (o S. Maria), Stella, Vitiana, Pagnana e Friano sono stati oggetto di verifica come unico sistema idrografico in quanto le loro esondazioni vanno ad interessare le medesime aree di pianura, ed interessano l'area oggetto di ampliamento. Inoltre, due canali diversivi derivano le portate di piena dal Rio Sant'Anna e dal Rio Stella, confluiscono in una cassa di espansione presso il nuovo svincolo di Empoli che a sua volta rilascia le portate laminate nel Rio Vitiana.

Relativamente al Rio Friano le verifiche idrauliche sono state condotte esclusivamente a valle della linea ferroviaria, essendo stato il tratto di monte studiato nell'ambito degli "Interventi per il superamento del rischio idraulico dovuto ai rii minori Volpi e Friano nella zona industriale del Terrafino nel Comune di Empoli", peraltro già realizzati e collaudati; si rimanda agli specifici studi disponibili presso il Comune di Empoli.

Per lo stesso motivo il Rio Volpi non è stato oggetto di studio in quanto messo in sicurezza fino alla sua confluenza nel Fiume Elsa.

Le sezioni fluviali del Rio Sant'Anna, Rio Stella a monte della SGC FI-PI-LI e quelle dei restanti corsi d'acqua in corrispondenza delle opere d'arte sono state rilevate durante una campagna topografica del 2012. La caratterizzazione geometrica del reticolo è inoltre stata completata con sezioni fluviali ricavate dal rilievo laser-scanning a celle 1x1, essendo le sponde prive di vegetazione e di forma regolare.

Al riguardo è stato verificato una buona approssimazione rispetto alle sezioni topografiche rilevate nello stesso punto.

Tutti i corsi d'acqua alla confluenza con il Fiume Arno sono dotati di paratoia manovrabile. Come per il sistema "Empoli est", anche in questo caso è stato ipotizzato che le paratoie rimangano chiuse fin tanto che i livelli del Fiume Arno sono superiori al fondo alveo dei tributari, con conseguente intermittenza di scolo.

Esiste inoltre una paratoia normalmente chiusa in ausilio alla soglia di stramazzo libera tra il Rio Sant'Anna e il suo diversivo, la cui apertura permette di aumentare le portate derivate verso la cassa di espansione di S. Maria e il Rio Vitiana anziché farle attraversare l'abitato di Empoli. E' stato quindi ipotizzato che l'apertura di tale paratoia avvenga 1 ora prima della chiusura delle paratoie del Rio Sant'Anna alla confluenza.

I coefficienti medi di resistenza al moto sono stati valutati variabili tra 0.022 e 0.032 s/m^{1/3} in funzione delle specifiche caratteristiche dell'alveo: inerbato, parzialmente o completamente rivestito in cls.

Il modello idraulico implementato con la traccia delle sezioni e il modello DTM (Digital Terrain Model) usato sono riportati in Tavola L76901S06D002_A - Tavola 2 - Planimetria Modello Idraulico.

Il modello idraulico è stato cimentato con gli idrogrammi definiti nei paragrafi successivi per tutte le combinazioni tra i tempi di ritorno 30, 200 anni e le durate di pioggia 1, 2, 3, 7, 14, 18, 24 e 36 ore.

Le esondazioni del fiume Arno stimate attraverso il corrispondente modello del genio Civile sono state inserite nelle aree studiate in Bidimensionale.

In accordo con il progetto "Interventi per il superamento del rischio idraulico dovuto ai rii minori Volpi e Friano nella zona industriale del Terrafino nel Comune di Empoli", la presenza sul Rio Friano di una bocca tarata con paratoia presso la SGC FI-PI-LI, di una soglia in derivazione a monte, di un sistema casse di espansione di idrovore per 2 mc/s, limita la portata a valle a 1.8 mc/s. In caso di intermittenza di scolo per piene del Fiume Arno è stato ipotizzato la completa chiusura della paratoia presso la SGC FI-PI-LI e il completo invaso delle piene nelle casse di espansione con eventuale sollevamento con idrovore nel Fiume Elsa.

Per tutti i corsi d'acqua la condizione di moto uniforme rappresenta la condizione di valle, salvo prevedere la chiusura delle portelle per le durate 18, 24 e 36 ore in funzione dei livelli del Fiume Arno.

3. ANALISI IDROLOGICA

Per quanto attiene alla modellistica idrologica, come specificato in premessa, si è provveduto ad utilizzare gli stessi parametri (n e k di Nash, Intercettazione Iniziale, Coefficiente di Infiltrazione) dello studio del Genio Civile e di H.S. Ingegneria, provvedendo ad aggiornare esclusivamente le piogge.

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 (T_r evento di pioggia = T_r idrogramma di piena).

3.1 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.

3.1.1 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 utilizzare due metodologie per la valutazione delle altezze di pioggia.

A. **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 $t=t_{cr}$ (tempo critico), solitamente assunto pari al tempo di corrivazione t_c . È possibile quindi trovare l'altezza di pioggia in ogni cella tramite la relazione:

$$h(t) = a t_c^n \quad (4)$$

con: h = altezza di pioggia [mm]; t_c = tempo di corrivazione [ore], a e n parametri caratteristici.

La stima dell'altezza di pioggia con l'equazione (4) 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 (v. punti AB1-AB2).

3.2 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, i parametri necessari alla determinazione e formazione dell'onda di piena non sono stati ricalcolati**, ma derivano dai parametri determinati dallo studio del Genio Civile. Si è provveduto a ricalcolare esclusivamente le piogge per ogni durata e per ogni bacino di studio.

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).

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

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

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].

I valori di I_a e K_s , per ogni bacino e sottobacino studiato sono stati dedotti dagli studi già effettuati.

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.

Osservando infine, 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 ragguglio 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 ragguglio, si è operato come segue:

Dalle nuove LSPP sono stati calcolati per ogni "Tr" e per ogni durata "D" l'altezza di pioggia "h".

Dalle altezze di pioggia, tramite regressione lineare nel piano $\log(h) - \log(t)$, sono stati determinati i coefficienti "a" e "n" per ciascun Tr della formula $\log(h) = \log(a) + n \log(t)$ (CPP a 2 parametri).

Dalla formula a 3 parametri $h = a' t^n \text{Tr}^m$ in campo logaritmico si ottiene $\log(h) = \log(a') + n \log(t) + m \log(\text{Tr})$. Poiché $n' = n$, per sostituzione si ottiene $\log(a) = \log(a') + m \log(\text{Tr})$ che tramite regressione lineare permette di determinare "a'" e "m'" della CPP a 3 parametri.

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

Determinato il coefficiente di ragguglio della sezione di monte e della sezioni di valle, si assume per l'interbacino un coefficiente di ragguglio K_a , che mantenga inalterato il valore del coefficiente di ragguglio K_v pertinente al bacino di valle assumendo come peso l'area dei bacini stessi, secondo la formulazione:

$$\frac{K_v A_v - K_m A_m}{A_v - A_m}$$

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 raggugliata 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 nk (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:

$$n = 3.29 (R_b / R_a)^{0.78} R_l^{0.07}$$

$$k = 0.7 (R_a / (R_b \cdot R_l))^{0.48} L_c / v$$

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:

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

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

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

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 $u=1, 2, 3, \dots$

3.3 IDROGRAMMI DI CALCOLO

In analogia con gli studi effettuati si è provveduto a implementare idrogrammi per Tempi di Ritorno 30 e 200 anni, e durate di pioggia di 1, 2, 3, 7, 14, 18, 24, 36 ore.

Per eventi con T_r 30 anni è stato verificato il solo scenario più gravoso, ossia l'evento di durata 36 ore, al fine di verificare se l'area di ampliamento fosse interessata da allagamenti trentennali, e quindi caratterizzata da una pericolosità idraulica 1.4 Molto elevata, e soggetta ai disposti del D.P.G.R. 53/r relativi al punto 3.2.2.1 - Situazioni caratterizzate da pericolosità idraulica molto elevata (DPGR 53/r vigente al momento della realizzazione dello studio e della Approvazione del Regolamento Urbanistico).

Nei grafici che seguono si riportano gli idrogrammi di calcolo.

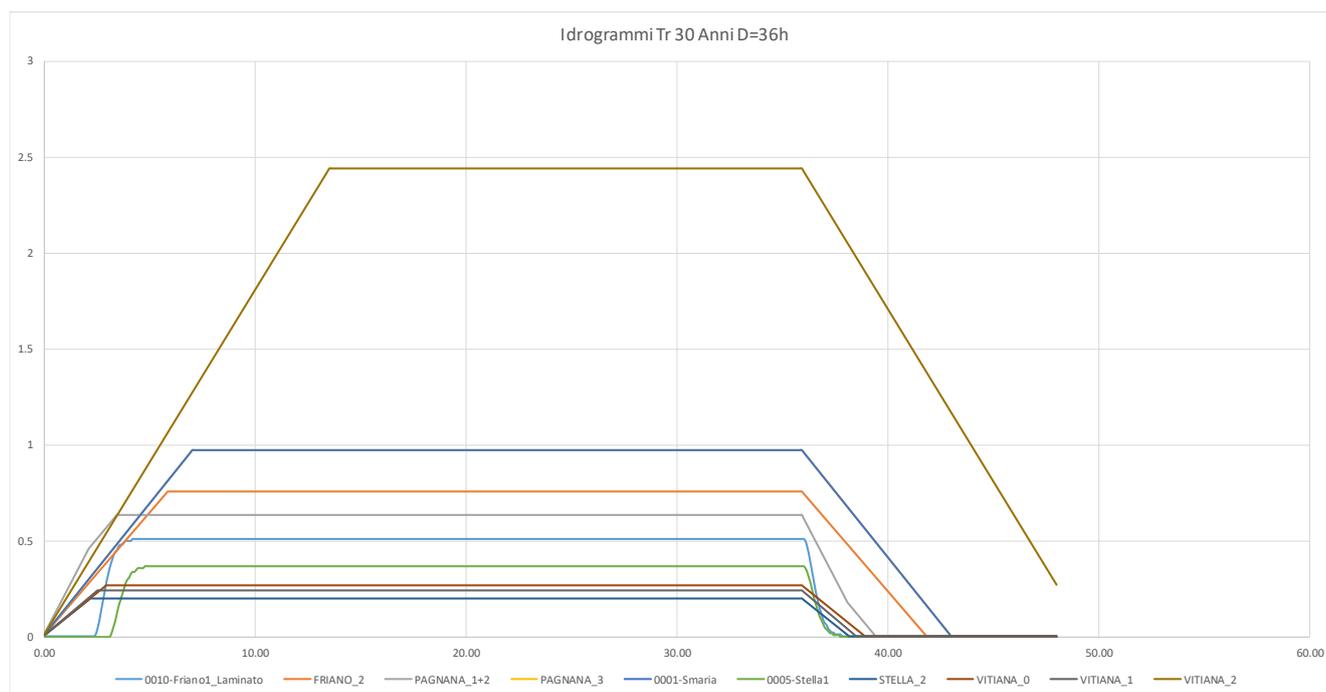


Figura 3-1: Idrogrammi Tr 30 Anni D = 36h

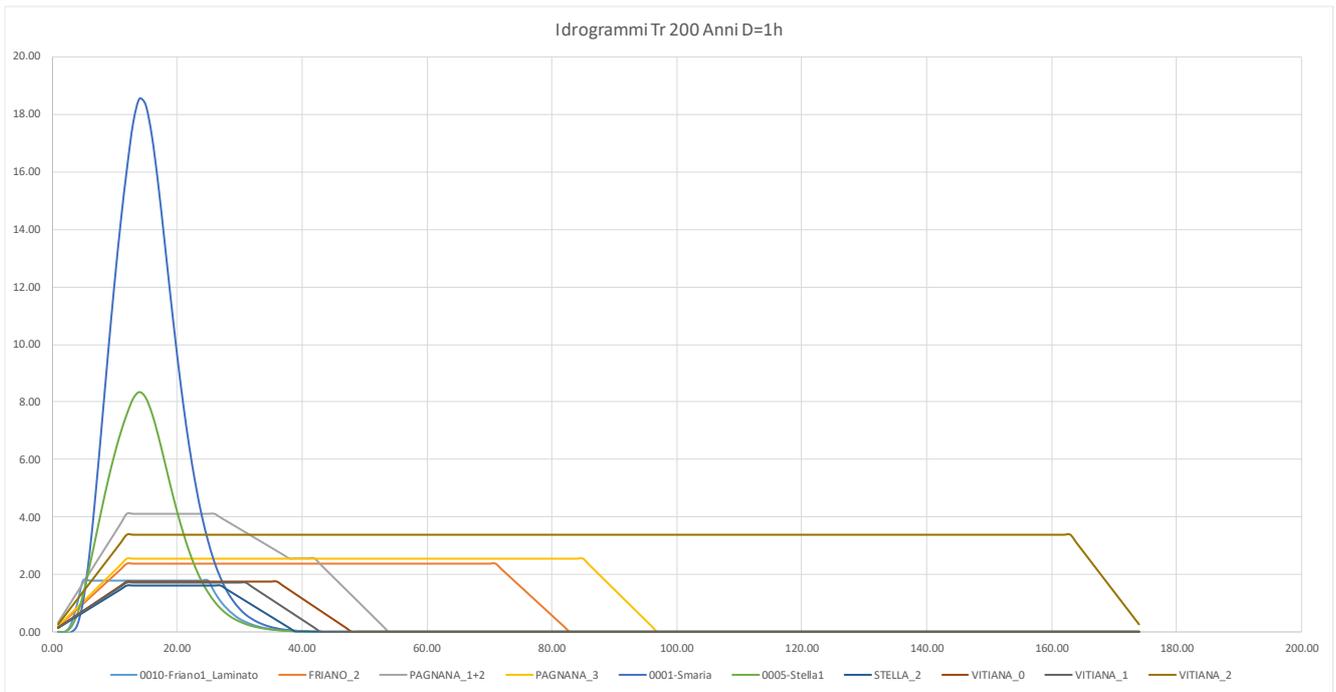


Figura 3-2: Idrogrammi Tr 200 Anni D = 1h

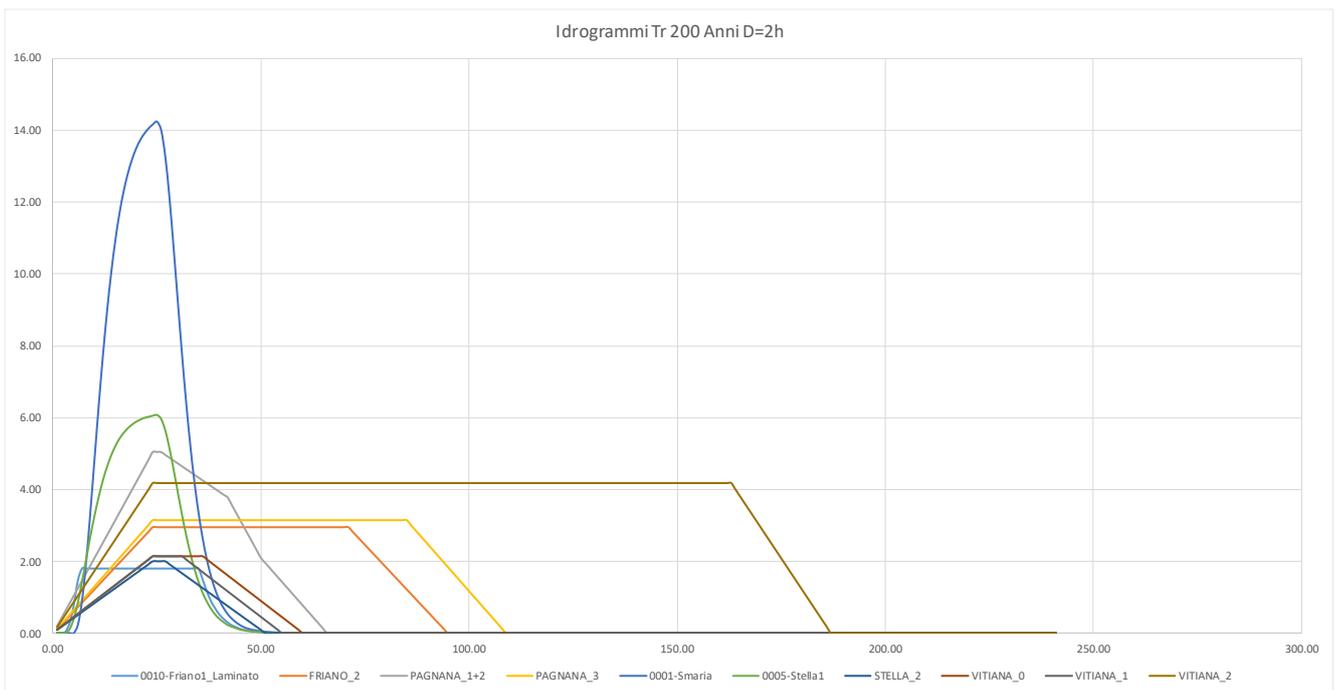


Figura 3-3: Idrogrammi Tr 200 Anni D = 2h

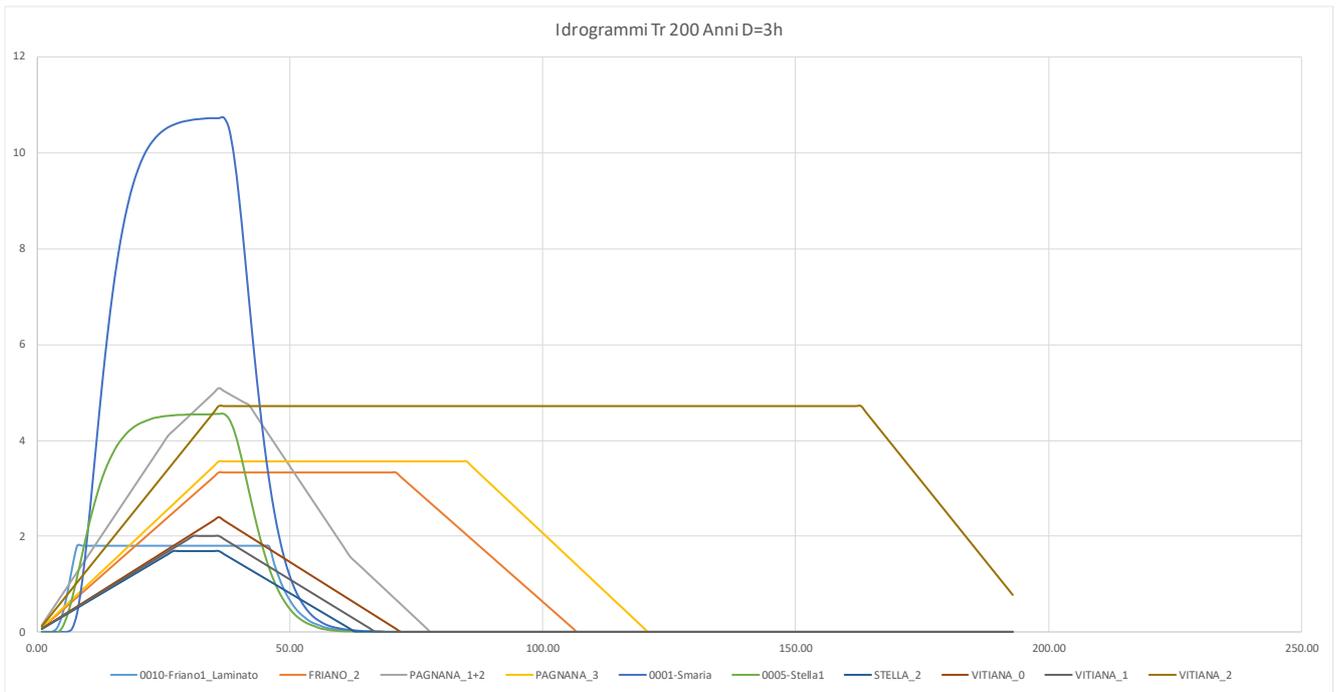


Figura 3-4: Idrogrammi Tr 200 Anni D = 3h

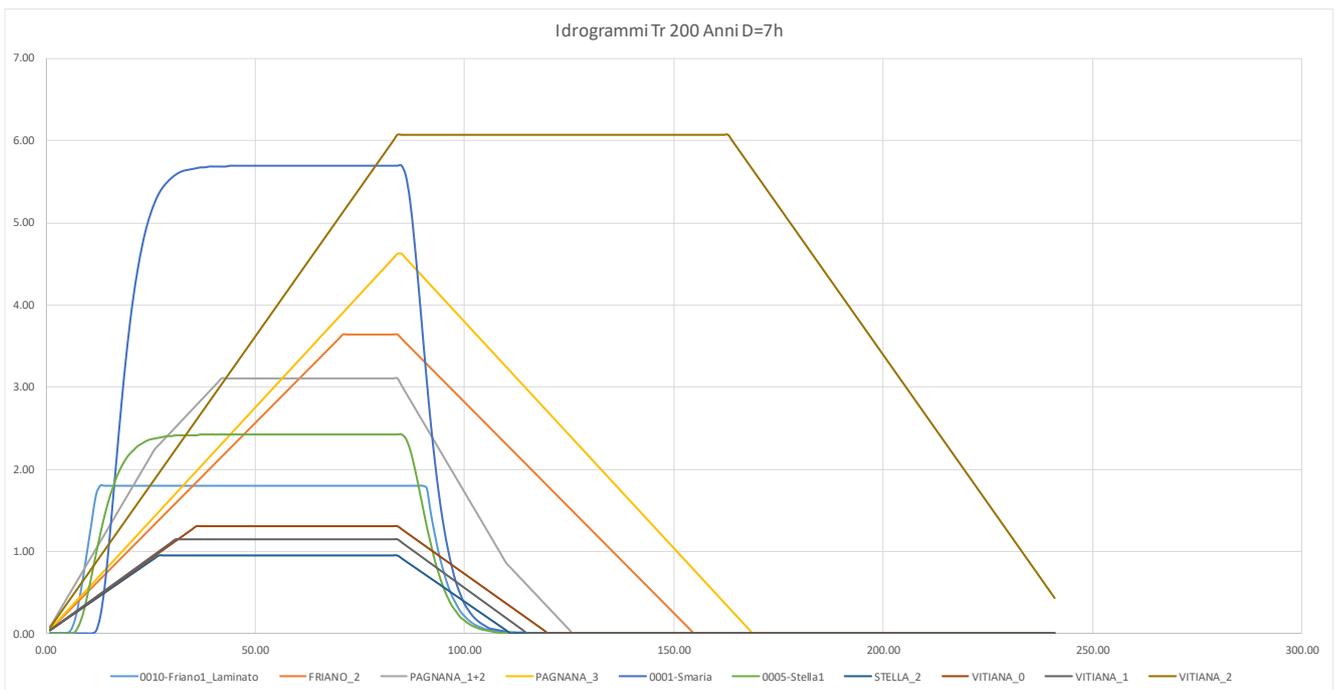


Figura 3-5: Idrogrammi Tr 200 Anni D = 7h

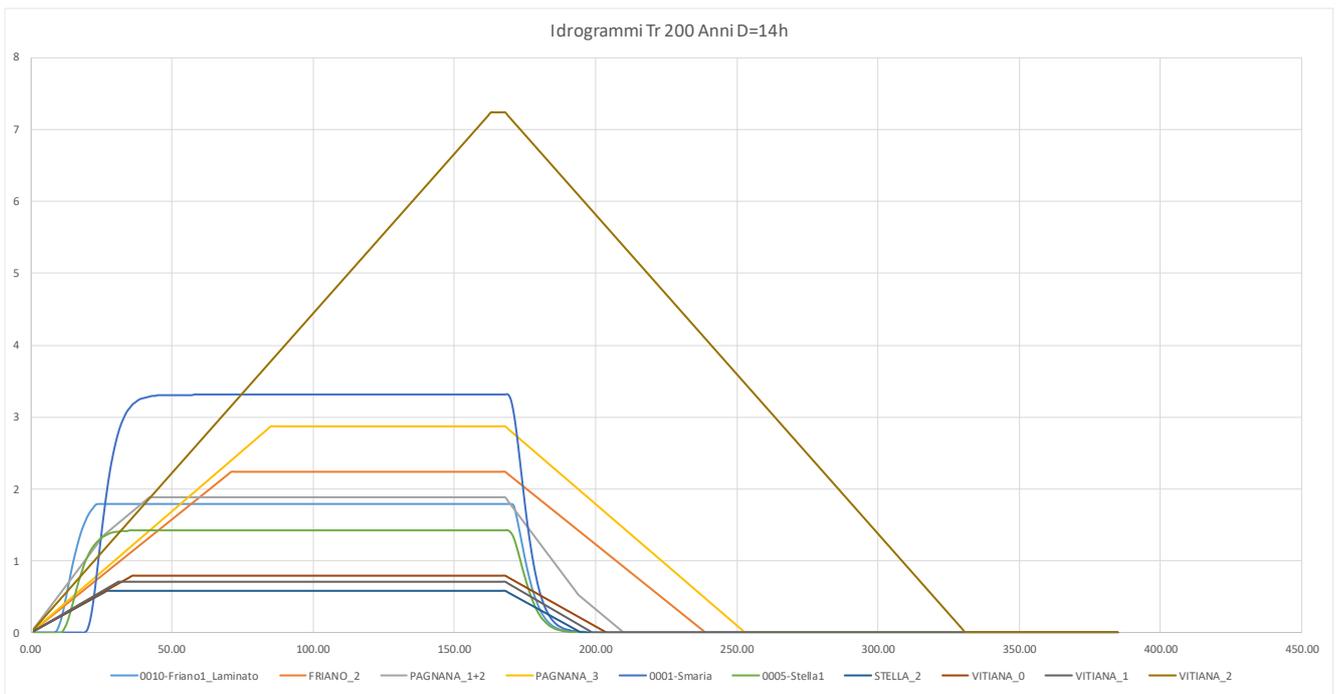


Figura 3-6: Idrogrammi Tr 200 Anni D = 14h

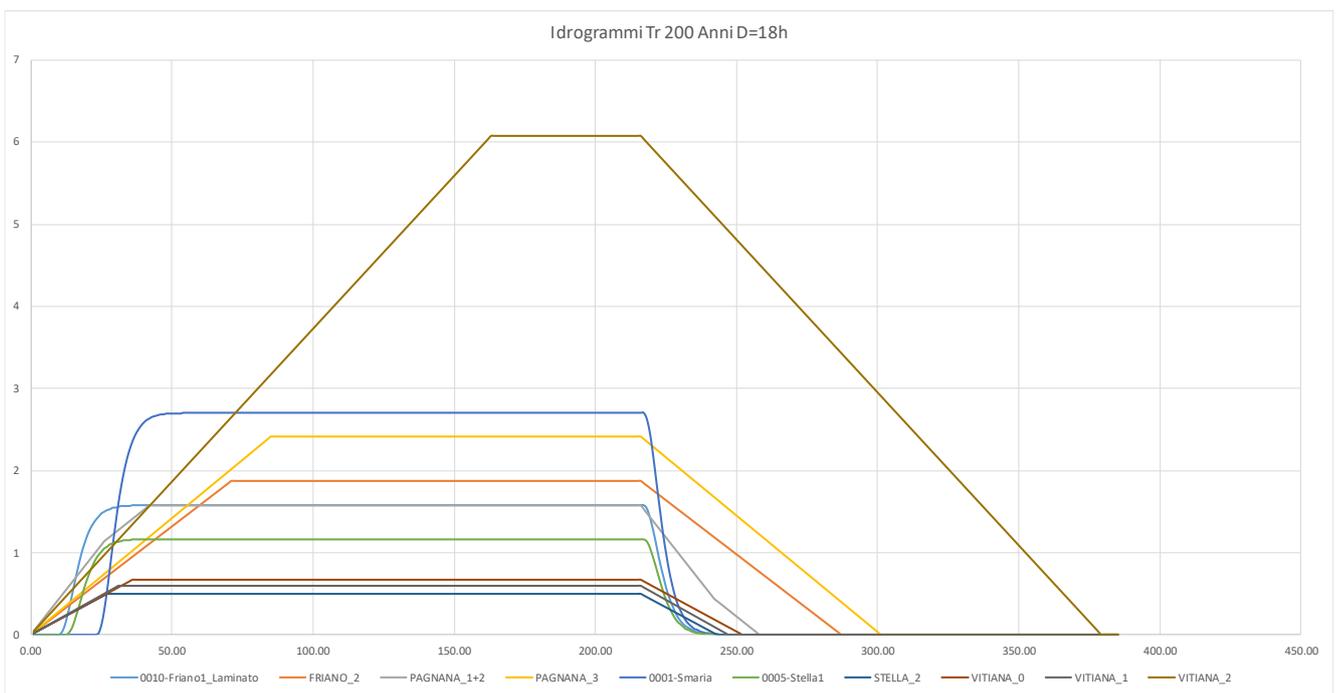


Figura 3-7: Idrogrammi Tr 200 Anni D = 18h

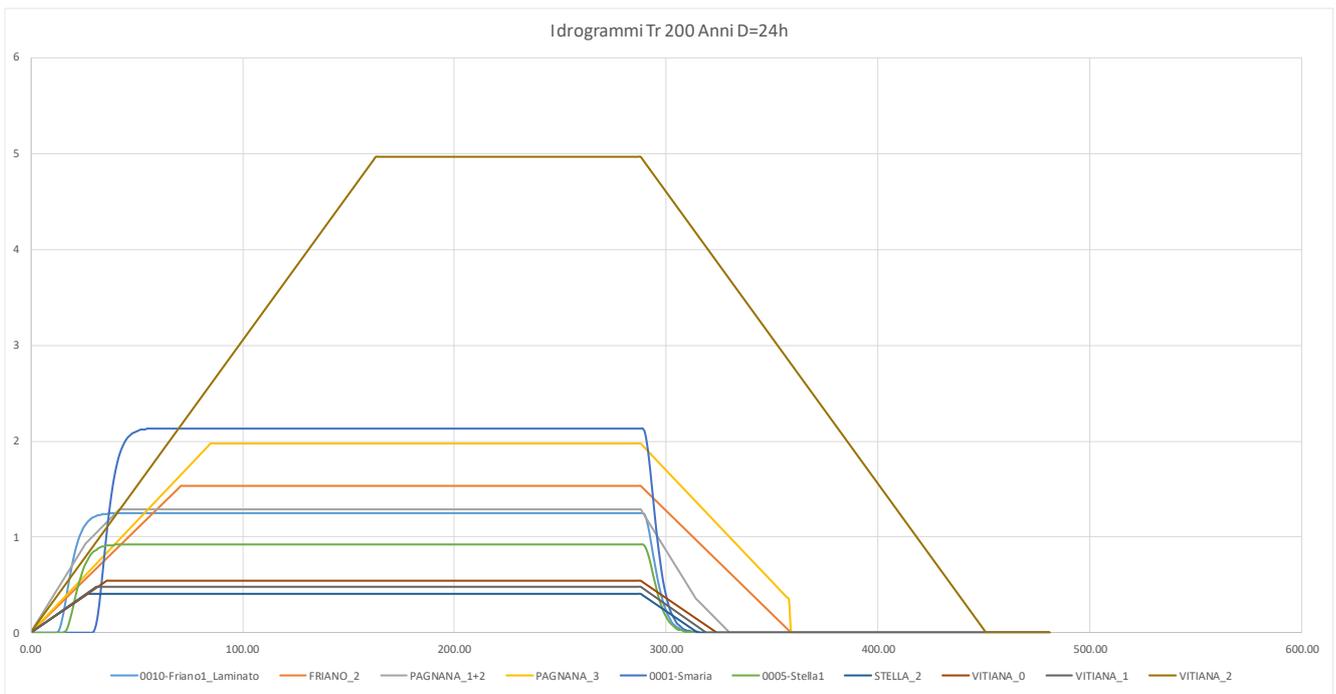


Figura 3-8: Idrogrammi Tr 200 Anni D = 24h

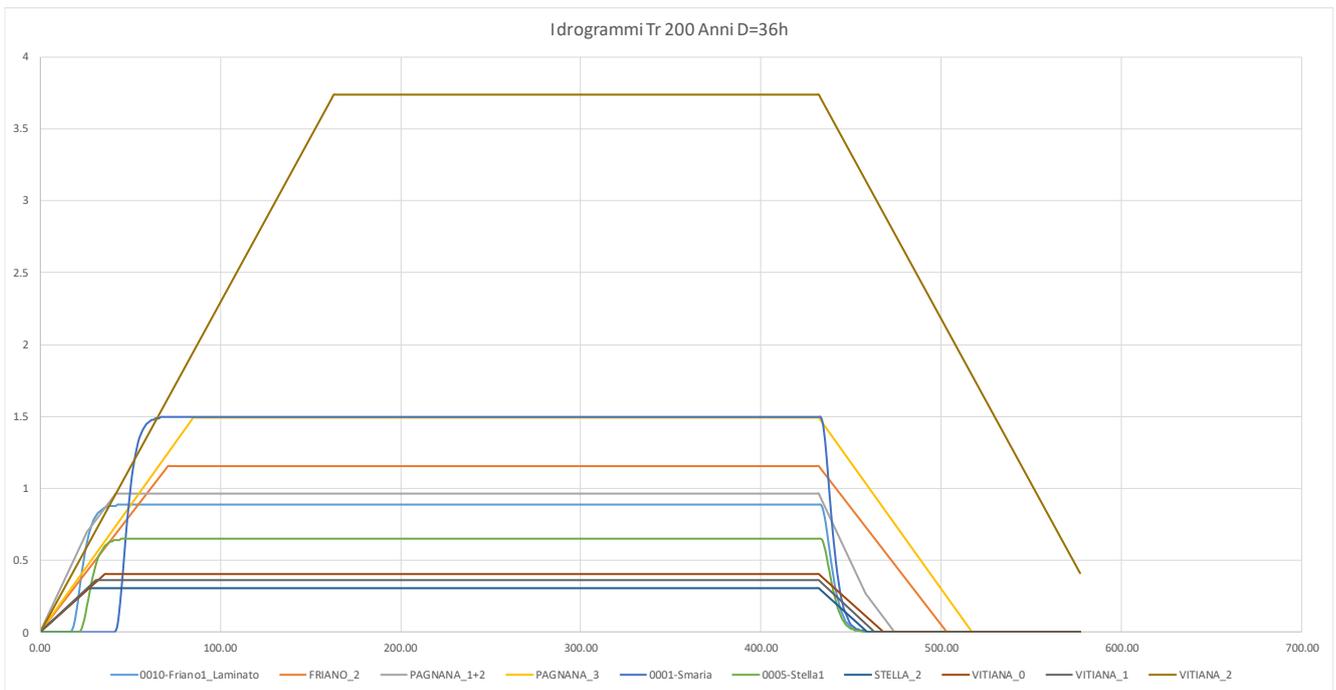


Figura 3-9: Idrogrammi Tr 200 Anni D = 36h

4. ANALISI IDRAULICA

La modellazione idraulica dei corsi d'acqua di interesse per la determinazione delle condizioni di pericolosità idraulica è stata condotta mediante il software HEC-RAS 5.0.4. Le simulazioni sono state eseguite in regime di moto vario mono in alveo e bidimensionale al di fuori dell'alveo inciso.

La base di partenza per l'esecuzione delle simulazioni idrauliche è stata la modellazione realizzata su HEC-RAS dal Genio Civile a supporto del II RU, fornita dal Genio Civile, e la geometria fornita da H.S. Ingegneria.

4.1 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:

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

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 e n è 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 già descritta al paragrafo precedente.

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

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 dinamica in alveo alle aree inondabili simulate attraverso celle di accumulo vengono utilizzate le cosiddette "Lateral Structure" che simulano il comportamento di uno stramazzo a cui possono essere associate diverse caratteristiche di funzionamento.

4.2 MODELLISTICA IDRAULICA 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 ed 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 sia \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 I componente 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 **Errore**. **L'origine riferimento non è stata trovata.**

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 4-1: 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 (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**) 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 (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**b, c).

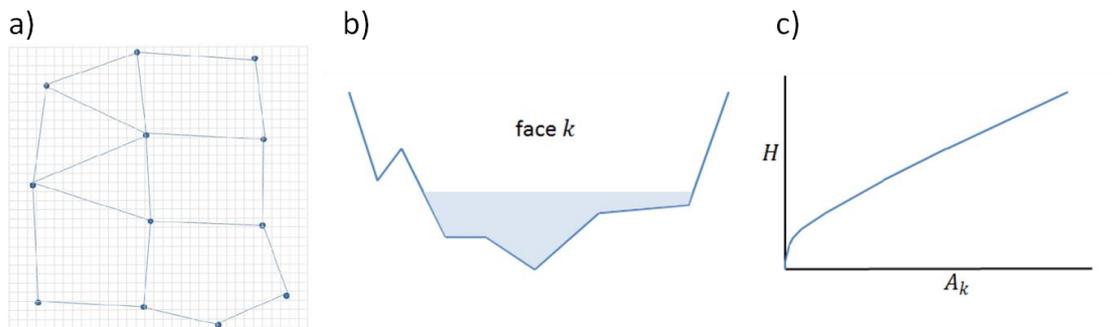


Figura 4-1: a) Esempio di "sotto-griglia". b) Area bagnata associata ad una faccia della cella di calcolo k . c) Curva di invaso associata ad una cella di calcolo.

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 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 compresenza di aree 2D e celle di accumulo, queste vengono messe in comunicazione da "2D/SA connection", anch'esse oggetti che simulano il funzionamento idraulico di uno stramazzo.

5. RISULTATI DELL'ANALISI IDRAULICA

I modelli idraulici sono stati implementati per i tempi di ritorno di 30 e 200 anni e per le durate descritte in precedenza.

In particolare per la Tr 30 anni è stata implementata la sola $D = 36$ h che risulta la più gravosa, al fine di verificare se la possibile area di ampliamento fosse interessata da allagamenti e quindi da inserire in pericolosità idraulica I.4 molto elevata.

In Tavola 3 - Planimetria delle Aree Allagate - Battenti idraulici massimi TR30 anni $d=36$ h - Stato Attuale sono riportati i battenti nelle aree allagate. La simulazione conferma come l'area del possibile ampliamento sia interessato anche da eventi trentennali.

Dalla tavola 4 alla Tavola 11 sono riportati gli allagamenti per Tr 200 anni e per le durate di 1, 2, 3, 7, 14, 18, 24 e 36 h mentre in Tavola 12 è riportato l'involuppo di tali simulazioni.

Il Sistema Empoli Ovest, come per altro emerso anche dagli studi precedenti presenta criticità non particolarmente rilevanti per le durate brevi, ossia le durate per le quali risultano picchi di portata critici per i fossi minori studiati.

Per durate di eventi lunghe, le portelle sul Fiume Arno rimangono chiuse, e le portate transitanti nei fossi, pur con valori di picco minori, presentano idrogrammi con volumi significativi che non riescono a defluire in Arno, causando allagamenti maggiormente diffusi.

6. NORMATIVA IDRAULICA

6.1 IL D.P.G.R. 53/R DEL 2011

Come già specificato lo studio per l'osservazione, poi recepita, e pertanto quanto previsto per l'area di ampliamento di cui alla Scheda Norma 12.12 era fatto ai sensi del vigente D.P.G.R. 53/r del 2011

Il DPGR 53/r stabilisce che debbano essere considerati gli elementi idrologico-idraulici necessari per caratterizzare la probabilità di esondazione dei corsi d'acqua in riferimento al reticolo d'interesse della difesa del suolo come definito nei piani di assetto idrogeologico (PAI) approvati, oppure come definito nel PIT e ad ogni altro corso d'acqua potenzialmente rilevante, nonché le probabilità di allagamento per insufficienza di drenaggio in zone depresse.

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

- inondazione da corsi d'acqua;
- insufficienza di drenaggio.

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

Al di fuori delle UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici idraulici, sono comunque definiti gli ambiti territoriali di fondovalle per i quali ricorrano notizie storiche di inondazione e gli ambiti di fondovalle posti in situazione morfologicamente sfavorevole, di norma a quote altimetriche inferiori a metri 2 sopra il piede esterno dell'argine o, in mancanza, sopra il ciglio di sponda.

Le pericolosità idrauliche in particolare vengono così definite:

Pericolosità idraulica molto elevata (I.4): aree interessate da allagamenti per eventi con Tr30 anni.

Fuori dalle UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici e idraulici, rientrano in classe di pericolosità molto elevata le aree di fondovalle non protette da opere idrauliche per le quali ricorrano contestualmente le seguenti condizioni:

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

Pericolosità idraulica elevata (I.3): aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra $30 < TR < 200$ anni.

Fuori dalle UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici e idraulici, rientrano in classe di pericolosità elevata le aree di fondovalle per le quali ricorra almeno una delle seguenti condizioni:

- a) vi sono notizie storiche di inondazioni;

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

Pericolosità idraulica media (I.2): aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra $200 < TR < 500$ anni.

Fuori dalle UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici e idraulici rientrano in classe di pericolosità media le aree di fondovalle per le quali ricorrano le seguenti condizioni:

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

Pericolosità idraulica bassa (I.1): aree collinari o montane prossime ai corsi d'acqua per le quali ricorrono le seguenti condizioni:

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

In Tavola 13 - Planimetria della Pericolosità Idraulica Stato Attuale ai sensi del DPGR 53R/2011, è riportata la pericolosità idraulica esclusivamente nell'area del possibile ampliamento. Si evidenzia come l'area sia interessata da pericolosità I.4 molto elevata e I.3 elevata, e pertanto per i criteri di fattibilità idraulica valeva quanto espresso 3.2.2.1 del DPGR 53/r, ed in particolare:

Situazioni caratterizzate da pericolosità idraulica molto elevata

Nelle situazioni caratterizzate da pericolosità idraulica molto elevata è necessario rispettare i seguenti criteri:

- a) sono da consentire nuove edificazioni o nuove infrastrutture per le quali sia prevista **la preventiva o contestuale realizzazione di interventi strutturali** per la riduzione del rischio sui corsi d'acqua o sulle cause dell'insufficiente drenaggio finalizzati alla messa in sicurezza idraulica per eventi con tempi di ritorno di 200 anni;
- b) è comunque da consentire la realizzazione di brevi tratti viari di collegamento tra viabilità esistenti, con sviluppo comunque non superiore a 200 ml, assicurandone comunque la trasparenza idraulica ed il non aumento del rischio nelle aree contermini;
- c) gli interventi di messa in sicurezza, definiti sulla base di studi idrologici e idraulici, **non devono aumentare il livello di rischio in altre aree** con riferimento anche agli effetti dell'eventuale incremento dei picchi di piena a valle;

Trattandosi di nuova edificazione in ampliamento pertanto ai sensi del D.P.G.R 53/r del 2011 l'intervento di messa in sicurezza doveva configurarsi come Intervento Strutturale sul corso d'acqua.

6.2 LA L.R. 41 DEL 2018

La nuova legge 41/2018, approvata successivamente, riporta agli articoli 8 i possibili interventi di messa in sicurezza, e all'art. 11 i criteri di fattibilità per gli interventi di nuova costruzione.

Art. 8

Opere per la gestione del rischio di 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.

Art. 11

Interventi di nuova costruzione in aree a pericolosità per alluvioni frequenti o poco frequenti

1. **Nelle aree a pericolosità per alluvioni frequenti**, indipendentemente dalla magnitudo idraulica, possono essere realizzati interventi di nuova costruzione a condizione che sia realizzata almeno una delle opere idrauliche di cui **all'articolo 8, comma 1, lettere a) o b).**

Trattandosi di nuova edificazione in ampliamento pertanto ai sensi della L.R. 41/2018 l'intervento di messa in sicurezza doveva configurarsi come Intervento Strutturale sul corso d'acqua.

6.3 LA L.R. 7R DEL 2020

La nuova L.R. 7R del 2020 apporta alcune modifiche alla L.R. 41/2018 ed in particolare:

Interventi di nuova costruzione in aree a pericolosità per alluvioni frequenti. Modifiche all'[articolo 11 della l.r. 41/2018](#)

1. Il comma 1 dell'[articolo 11 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"), è sostituito dal seguente:

1. Nelle aree a pericolosità per alluvioni frequenti possono essere realizzati interventi di nuova costruzione alle seguenti condizioni:
- se ricadenti in aree caratterizzate da magnitudo severa o molto severa è realizzata almeno una delle opere idrauliche di cui all'articolo 8, comma 1, lettere a) o b);
 - se ricadenti in aree caratterizzate da magnitudo moderata è realizzata almeno una delle opere di cui all'articolo 8, comma 1, lettere a), b) o c).**

Questo significa che se la magnitudo è moderata, anche in aree per alluvioni frequenti, è possibile prevedere opere di sopraelevazione, senza aggravio delle condizioni di rischio in altre aree.

7. INTERVENTI DI PROGETTO

Come specificato nel paragrafo precedente, con le modifiche apportate dalla LR 7R, in aree interessate da alluvioni frequenti, come il caso della nuova costruzione in Ampliamento Zignago, se la magnitudo è moderata, è possibile prevedere opere di sopraelevazione, senza aggravio delle condizioni di rischio in altre aree.

La Magnitudo è data da involuppo di battenti di alluvione e velocità come riportato nella immagine seguente. Se i battenti < 0.50 m e velocità < 1 m/s la Magnitudo è Moderata.

CON BATTENTI E VELOCITA' DETERMINATI			VELOCITA' NON DETERMINATA	
	v < 1 m/s	v > 1 m/s		
y ≤ 0.5 m	MAGNITUDO IDRAULICA MODERATA	MAGNITUDO IDRAULICA SEVERA	y ≤ 0.3 m	MAGNITUDO IDRAULICA MODERATA
0.5 m < y ≤ 1 m	MAGNITUDO IDRAULICA SEVERA	MAGNITUDO IDRAULICA MOLTO SEVERA	0.3 m < y ≤ 0.5 m	MAGNITUDO IDRAULICA SEVERA
y > 1 m	MAGNITUDO IDRAULICA MOLTO SEVERA	MAGNITUDO IDRAULICA MOLTO SEVERA	y > 0.5 m	MAGNITUDO IDRAULICA MOLTO SEVERA

Figura 7-1: Determinazione della Magnitudo Idraulica

Nella zona di ampliamento, I battenti che sono calcolati in celle di 1x1, sono un po' sopra i 50 cm (in corrispondenza scoline di campo) e un po' sotto i 50 cm.. La media sull'area è sotto questo valore e si attesta a 40 cm circa e pertanto la zona è caratterizzata da **Magnitudo Moderata**.

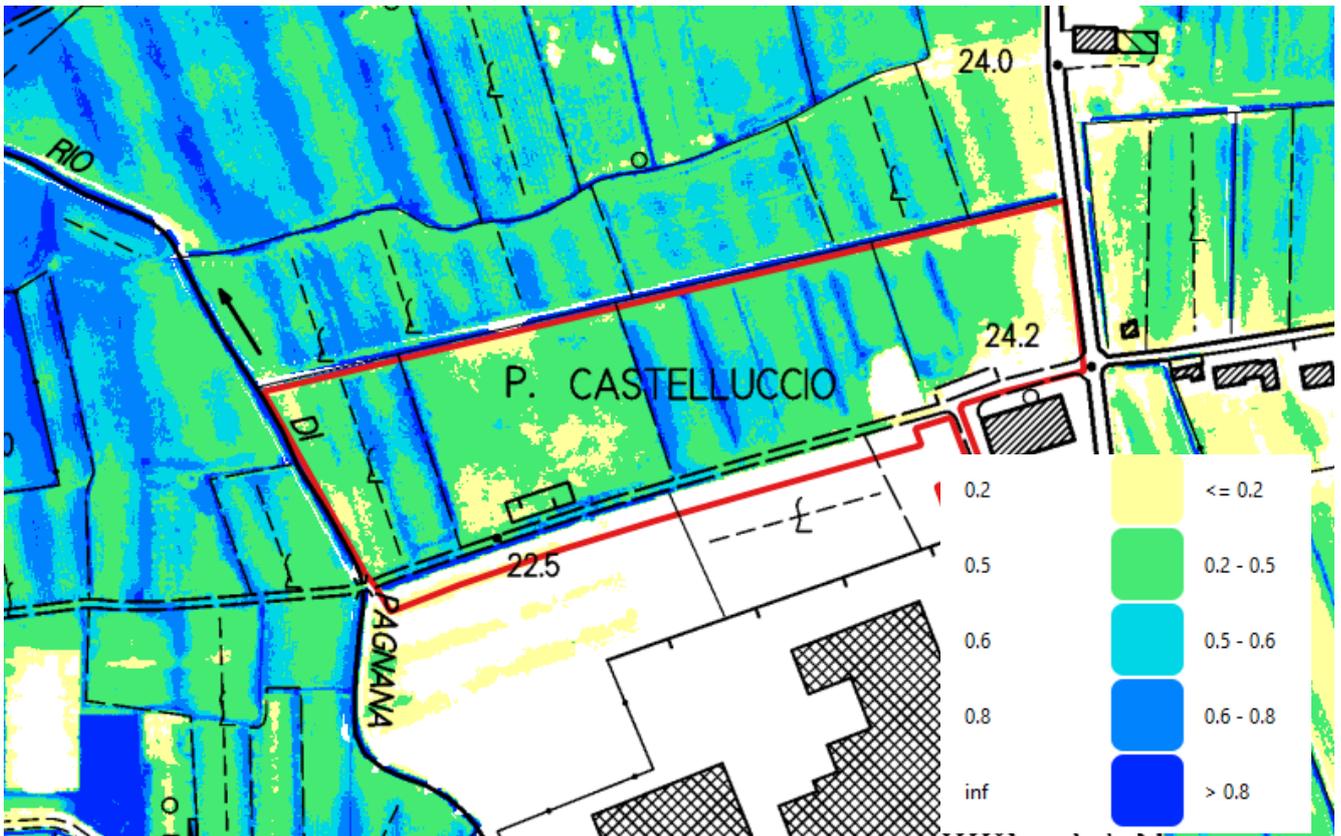


Figura 7-2: INVILUPPO BATTENTI TR200 STATO ATTUALE

Il Battente TR200 medio su area ampliamento 40 cm. Si hanno battenti superiori in corrispondenza delle canaline di campo come evidenziato nell'immagine Lidar sotto evidenziata.

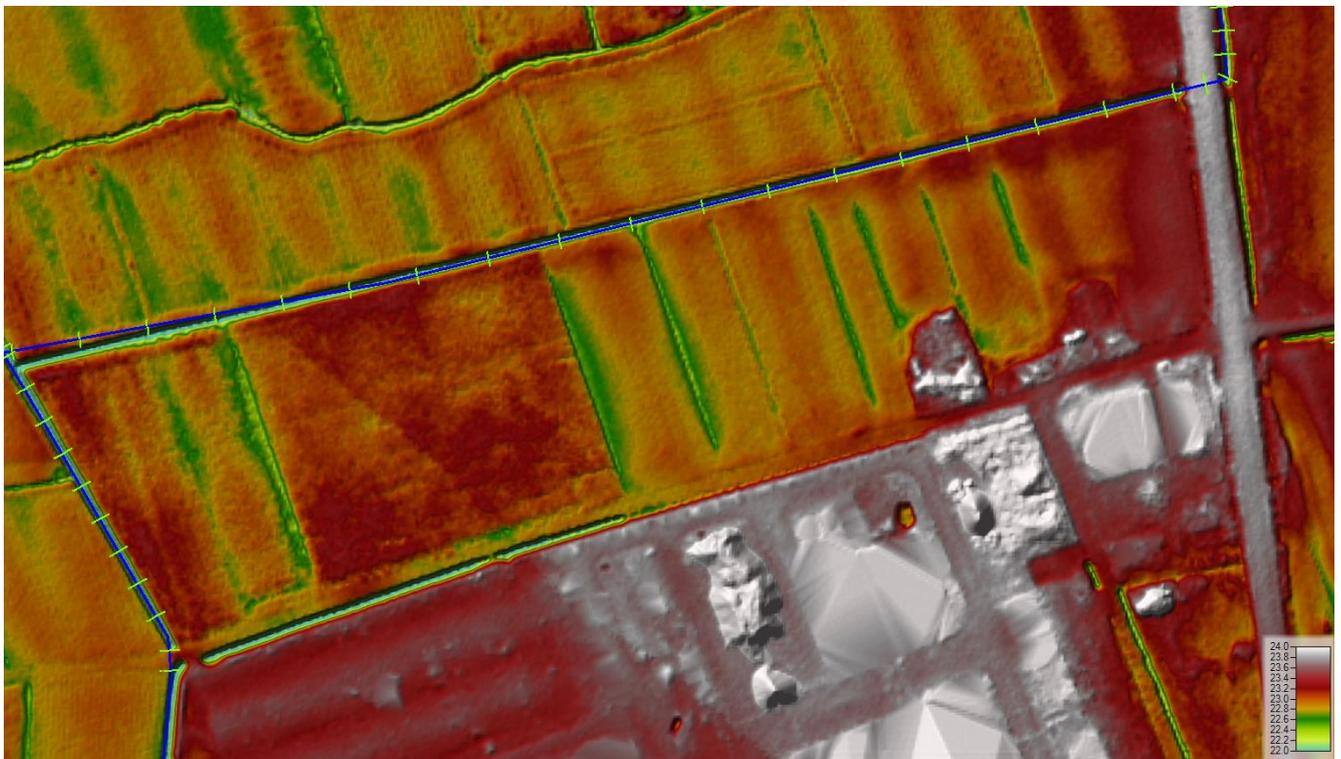


Figura 7-3: LIDAR

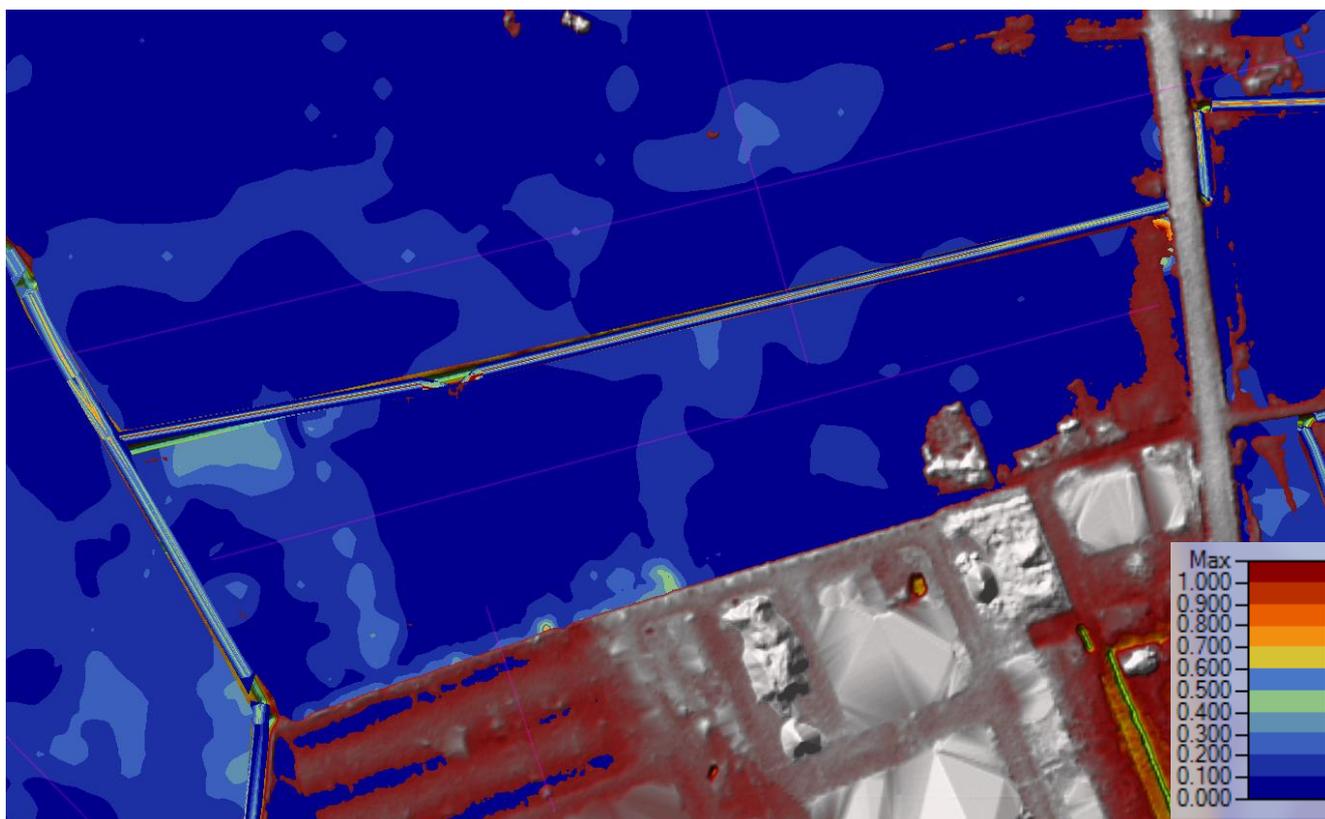


Figura 7-4: VELOCITA'

Come si ricava dalle Velocità queste risultano ampiamente inferiori a 1 m/s.

Essendo la zona di Nuova Costruzione in ampliamento caratterizzata da Magnitudo moderata è possibile prevederne la sopraelevazione senza aggravare il rischio in altre aree.

La quota di sicurezza idraulica è pari a livello idrometrico massimo TR200 anni 23.37 mslm + franco sicurezza 0.20m = 23.57 mslm.

In Tavola L76901S06D014_A_Planimetria_Aree_Allagate_con_Ampliamento_TR200_36h è riportato il modello idraulico per eventi con tempo di Ritorno 200 anni e durata 36 ore, considerando la zona di ampliamento in sicurezza idraulica.

Dall'analisi dei battenti si ricava una invarianza idraulica nelle altre aree dovuto al rialzamento dell'ampliamento, anche senza interventi di compensazione.

Nonostante la NON Necessità di compensazione, la Zignago intende comunque procedere ad una compensazione dei volumi sottratti alla libera espansione delle acque.

Per il calcolo dei volumi si è proceduto come di seguito riportato.

Le zone dei fabbricati sono state considerate alla quota di sicurezza idraulica TR200 + 0.20m = 23.57 mslm (evidenziati in nero).

Le viabilità e parcheggi sono state considerate a quota di sicurezza idraulica TR200 = 23.37 mslm (evidenziate in grigio).

Le zone a verde sono state considerate alla quota di 23.07 mslm da progetto, ma a favore di sicurezza ne è stato comunque calcolata la sottrazione di volume (evidenziate in verde).

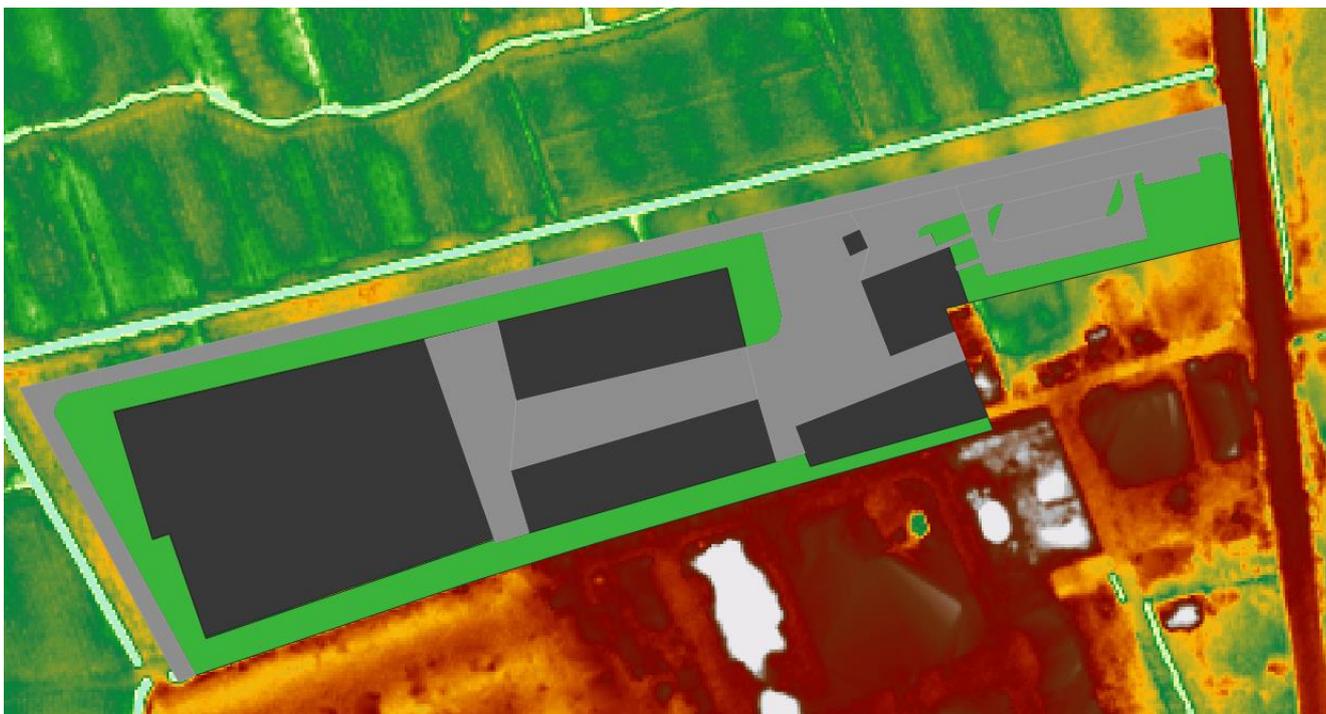


Figura 7-5: Calcolo sottrazione dei volumi di esondazione

COMPENSO DEI VOLUMI SOTTRATTI

La sopraelevazione del comparto riportato nell'immagine precedente comporta una sottrazione di volumi al libero deflusso delle esondazioni come di seguito descritto:

- fabbricati 6270 mc
- viabilità 5026 mc
- aree verdi 3629 mc

per un totale di 14925 mc, che non generano in ogni caso aggravio del rischio nelle aree limitrofe come dimostrato dalla modellazione idraulica.

In Tavola L76901S06D015_A_Planimetria_Aree_Allagate_con_Ampliamento_e_Compensazione_TR200_36h sono riportati i risultati della modellistica idraulica per eventi con Tr 200 anni e Durata 36 h, considerando l'area di ampliamento in sicurezza idraulica e la realizzazione di due aree di compenso (descritte negli elaborati del PUC) per 15.000 mc.

Come riportato nei grafici seguenti si evidenzia una **Invarianza Idraulica** nelle aree limitrofe (vedi figura idrogramma battenti Stato Attuale Stato di Progetto in aree limitrofe) garantendo di fatto il non aggravio del rischio.

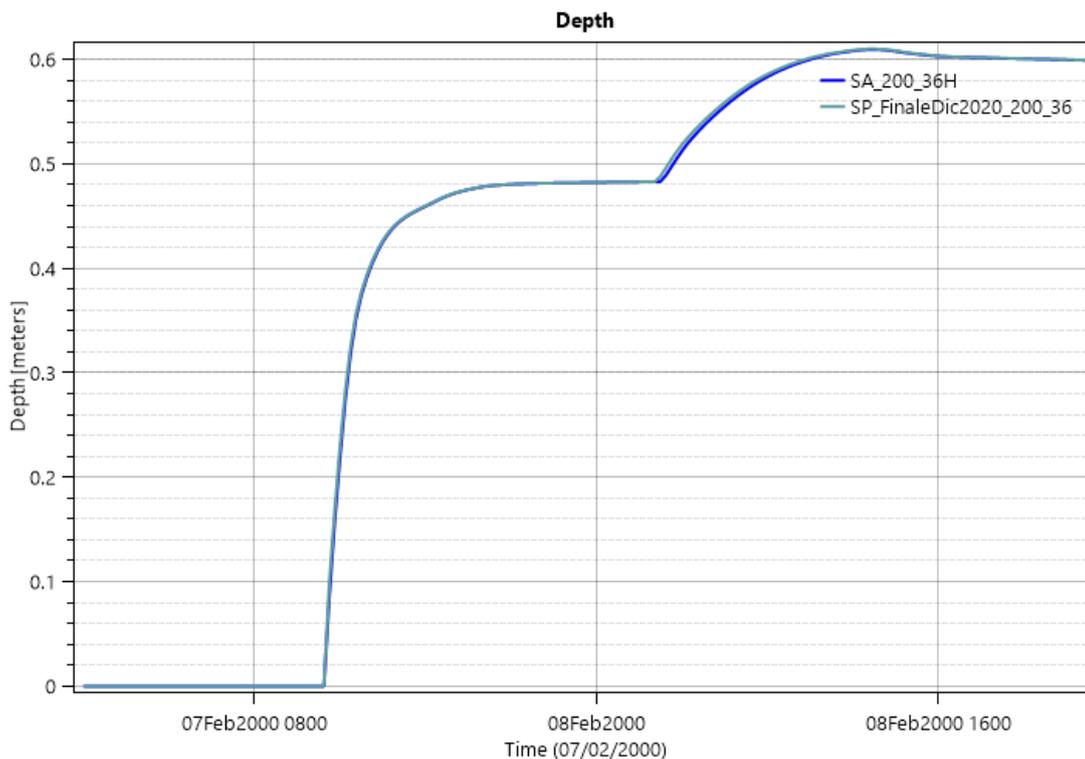


Figura 7-6: Idrogramma Battenti Stato Attuale e di Progetto in aree limitrofe

Si riporta di seguito l'idrogramma dei Battenti nell'area di ampliamento, in cui si evidenzia l'annullamento dei battenti di allagamento allo stato di progetto, e l'idrogramma dei battenti nelle aree destinate al compenso in cui si riscontra maggiori battenti (come naturale) allo stato di progetto.

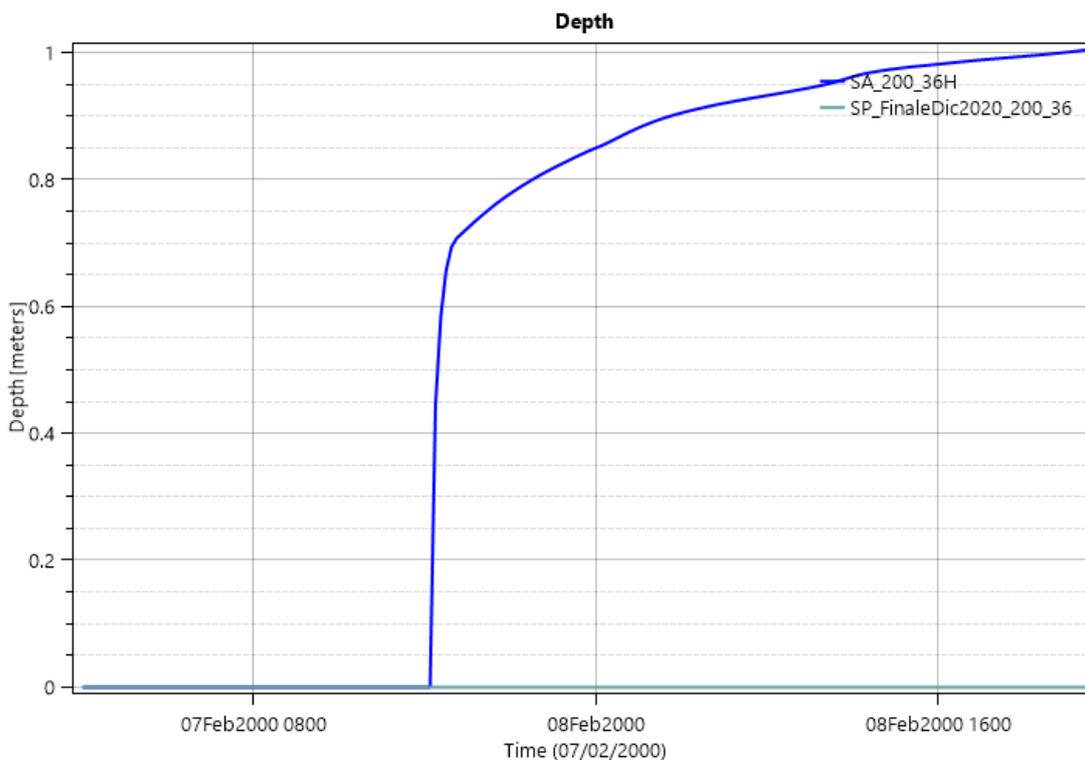


Figura 7-7: Idrogramma Battenti Stato Attuale e di Progetto in area ampliamento

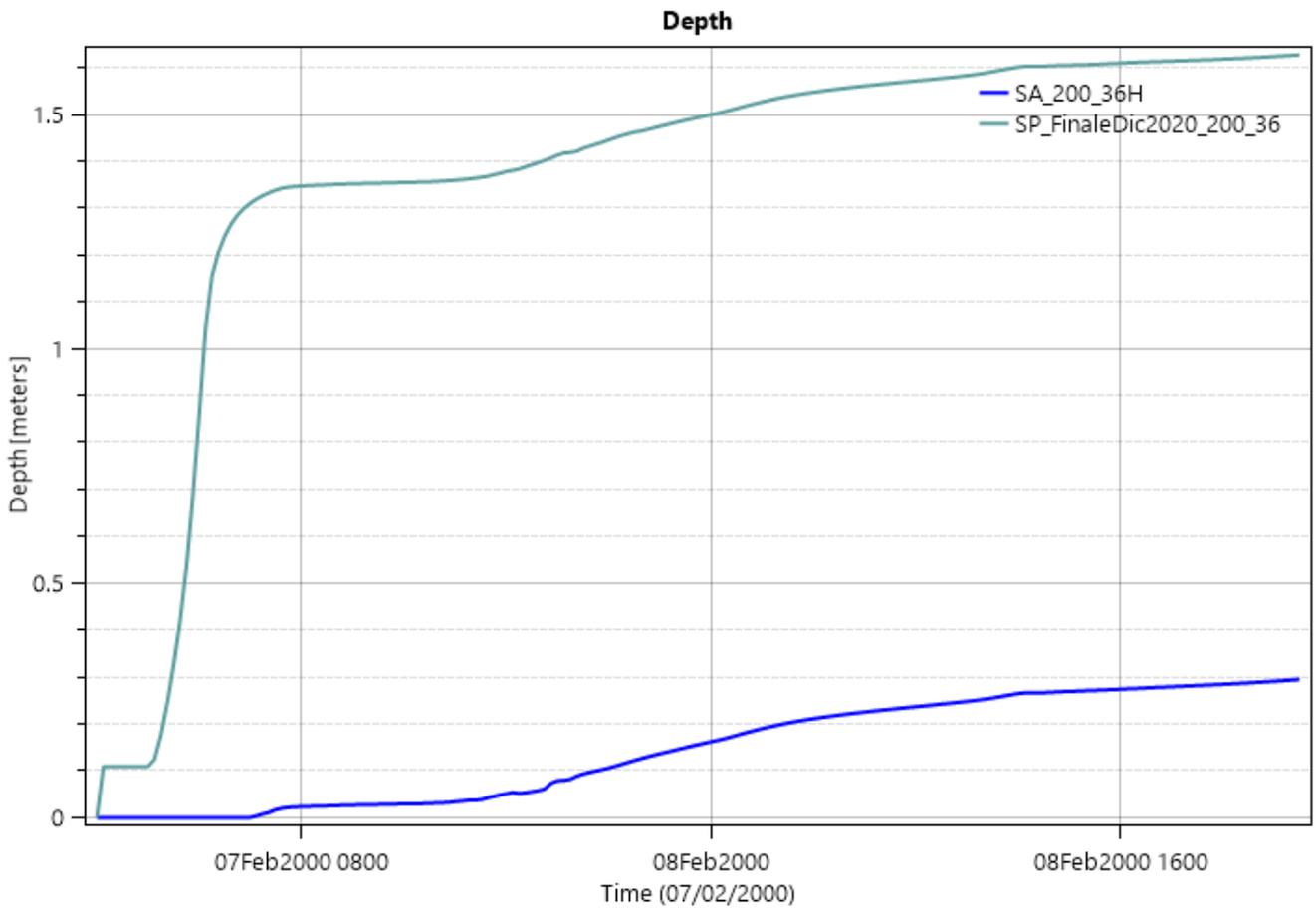


Figura 7-8: Idrogramma Battenti Stato Attuale e di Progetto in aree di compenso