



REGIONE TOSCANA

Giunta Regionale

DIREZIONE DIFESA DEL SUOLO E PROTEZIONE CIVILE
SETTORE GENIO CIVILE VALDARNO SUPERIORE

DIGA DI LEVANE

PROGETTO DI SOPRALZO AI FINI DI LAMINAZIONE

PROGETTO DEFINITIVO

DIRIGENTE RESPONSABILE DEL CONTRATTO

Ing. Gennarino Costabile

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO

Ing. Marianna Bigiarini

GdL VIA

Coordinamento VIA

ENKI
INGEGNERIA

Ing. Andrea Mazzetti
Ing. Stefano Perilli

Componente suolo e sottosuolo

SINERGIA
progettazione e consulenza ambientale srls

Geol. Luca Gardone
Geol. Emanuele Montini

Componente paesaggio

FRANCHI+ASSOCIATI
Landscape and urban design

Arch. Gianfranco Franchi
Arch. Chiara Tesi

Componente ambiente

AMBIENTA

Monitoraggi Ambientali

erse
environment

Dott. Filippo Ferrantini

Componente acustica

Studio Poliedro
INGEGNERI ASSOCIATI

Ing. Massimiliano Galletti

Componente Flora, Fauna ed Ecosistemi

Biologo Marco Lucchesi

Studio Idraulico e idrologico

Settore Genio Civile Valdarno
Superiore
Ing. Michele Catella

Archeologia

Dott. Hermann Salvadori

CUP PROGETTO

D97B15000170003

OGGETTO ELABORATO

SIA 02

CONTRIBUTO IDROLOGICO E IDRAULICO

redatto	controllato	approvato	scala	emissione/revisione
MA	MA	MA	-	01
----	----	----	----	----
----	----	----	----	----
----	----	----	----	----

ELABORATO

SIA_02

INDICE

1 INDAGINI IDROLOGICHE E IDRAULICHE.....	2
1.1 QUADRO CONOSCITIVO.....	3
1.1.1 STUDI E PROGETTI.....	3
1.1.2 DATI GEOMETRICI FIUME ARNO TRA LA DIGA DI LA PENNA E LA DIGA DI LEVANE.....	4
1.1.3 DATI IDROLOGICI FIUME ARNO TRA LA DIGA DI LA PENNA E LA DIGA DI LEVANE.....	4
1.1.4 DATI IDRAULICI.....	6
1.1.5 PARAMETRI IDRAULICI DEGLI ORGANI DI REGOLAZIONE.....	8
1.2 INCREMENTO DELLA SICUREZZA IDRAULICA DELLA DIGA.....	9
1.3 MODALITÀ DI GESTIONE DELLE PARATOIE DELLA DIGA DI LEVANE.....	11
1.4 BENEFICI ATTESI A SCALA DI BACINO NELLA PIANA FIORENTINA.....	24
1.5 ANALISI DELLA VULNERABILITÀ DEI TERRITORI A MONTE DELLO SBARRAMENTO.....	28

1 INDAGINI IDROLOGICHE E IDRAULICHE

Nel presente capitolo sono esaminati gli aspetti di natura idraulica del progetto di sopralzo della diga di Levane, che persegue l'obiettivo di conferire all'invaso una capacità di laminazione delle piene e di migliorare la sicurezza idraulica delle diga stessa secondo il D.M. 26/06/2014.

In estrema sintesi, gli interventi di progetto prevedono le seguenti modifiche allo sbarramento:

- sopralzo di 5,0 m della quota di coronamento da 169,0 m s.l.m. a 174,0 m s.l.m.;
- sostituzione degli organi di intercettazione dello scarico di superficie;
- sopralzo dei muri d'ala dello scivolo e della vasca di dissipazione a valle della soglia di sfioro dello scarico di superficie.

In particolare, non è prevista alcuna modifica geometrica o funzionale delle luci dello scarico di superficie e delle relative paratoie, ma è prevista la sola sostituzione delle paratoie e degli organi di comando e movimentazione.

Lo scarico di superficie, posizionato approssimativamente nella parte centrale dello sbarramento, è composto da n. 2 luci presidiate da altrettante paratoie piane in acciaio ad elementi sovrapposti aventi ciascuna una larghezza netta di 12,0 m e un'altezza complessiva di 14,5 m. Ogni paratoia a presidio della rispettiva luce è composta da n. 2 elementi parzialmente sovrapponibili con movimentazione indipendente su ruote. I due elementi che compongono ciascuna paratoia hanno una larghezza di 12,0 m, un'altezza di circa 8,84 m per l'elemento inferiore e di circa 6,25 m per l'elemento superiore. La sovrapposizione tra i due elementi è di circa 70 cm, necessaria per garantire la dovuta continuità idraulica e strutturale tra gli elementi. La massima apertura delle paratoie, con il sollevamento di entrambi gli elementi, è pari a 11,83 m.

Allo stato attuale la quota di massima regolazione e di massimo invaso coincidono e sono pari a 167,5 m s.l.m.. Nello stato di progetto la quota di massima regolazione rimane a 167,5 m s.l.m., mentre quella di massimo invaso assume il valore di 172,0 m s.l.m..

Nei paragrafi seguenti sono analizzate le interazioni tra l'intervento di rialzamento della diga di Levane ed il territorio a valle e a monte della stessa con particolare riferimento ai seguenti aspetti:

- a) valutazione dei benefici indotti dal sopralzo della diga sia in termini di riduzione dei colmi di piena in arrivo a Firenze sia in termini di riduzione dei volumi esondati nella piana fiorentina;
- b) valutazione della capacità di laminazione tenendo conto dello stato di attuazione degli interventi strutturali previsti nel «*Piano stralcio Rischio Idraulico del bacino del fiume Arno*» (PSRI), approvato con D.P.C.M. 05/11/1999, e delle misure di regolazione dei deflussi idrici individuate nel «*Piano di Gestione del rischio di Alluvioni 2021-2027*» (PGR), adottato con delibera n. 26 del 20/12/2021 (G.U.R.I. n. 2 del 04/01/2022);
- c) valutazione delle variazioni di vulnerabilità dei territori a monte della diga di Levane in seguito alla attuazione dell'intervento di sopralzo;
- d) valutazione delle interazioni tra la nuova quota di massimo invaso e gli interventi di riduzione del rischio idraulico previsti nella piana di Laterina e Pergine Valdarno.

Lo studio idrologico ed idraulico risulta articolato nelle seguenti fasi fondamentali:

- FASE 1 – definizione del quadro conoscitivo: in tale fase sono acquisiti ed esaminati gli studi, i progetti, la documentazione ed i dati disponibili riguardanti il corso d'acqua considerato;
- FASE 2 – analisi idrologica: l'analisi idrologica è finalizzata all'individuazione degli idrogrammi di piena da utilizzare nella successiva analisi idraulica con riferimento ai tempi di ritorno di 30 e 200

anni e le durate di 12, 18 e 24 ore. Tali idrogrammi sono acquisiti da studi disponibili nei tratti oggetto di analisi;

- FASE 3 – analisi idraulica: il fenomeno della propagazione degli eventi di piena lungo il corso d'acqua è simulato attraverso differenti modelli idraulici definiti in funzione degli obiettivi di indagine e dell'area di studio. I modelli utilizzati derivano da quelli messi a punto nell'ambito degli studi di aggiornamento delle mappe di pericolosità del PGRA o della progettazione del sistema di casse di espansione nel Medio Valdarno col fine di preservare la coerenza tra i differenti risultati;
- FASE 4 – verifica dell'intervento di sopralzo: sulla base dei risultati delle analisi idrauliche dello stato attuale e di progetto sono valutati i benefici del sopralzo attesi Firenze e nella piana fiorentina, nonché gli effetti che la nuova quota di massimo invaso determina a monte dello sbarramento e nella piana di Laterina.

Di seguito si illustrano i criteri e le attività svolte per le singole fasi sopra descritte.

1.1 QUADRO CONOSCITIVO

1.1.1 STUDI E PROGETTI

La valutazione degli aspetti di natura idraulica del progetto di sopralzo della diga di Levane è condotta tenendo conto di quanto riportato nei seguenti studi e progetti:

- [1] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti – Direzione generale per le dighe e le infrastrutture idriche ed elettriche – Divisione 7 – Ufficio Idraulica e Geologia Applicata (dicembre, 2014), *"Diga di Levane (n. arch. SND 684) sul fiume Arno – Verifica della sicurezza idrologica dell'invaso"*, relazione istruttoria.
- [2] Enel Produzione Spa – Unità di business Emilia Toscana – Impianto idroelettrico di Levane – Diga di Levane (settembre, 2015), *"Sopralzo della diga a scopo di laminazione"*, progetto definitivo.
- [3] Università degli Studi di Firenze – Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale (dicembre, 2017), *"Servizio di valutazione di aspetti idrologici e idraulici inerenti al progetto di sopralzo della diga di Levane. 2 - Modellazione idraulica bidimensionale del fiume Arno tra ponte Buriano e la diga di Levane"*, relazione tecnica preliminare.
- [4] Università degli Studi di Firenze – Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale (dicembre, 2017), *"Servizio di valutazione di aspetti idrologici e idraulici inerenti al progetto di sopralzo della diga di Levane. 3 - Modalità di gestione delle paratoie della diga di Levane per ottimizzare la laminazione"*, relazione tecnica.
- [5] Università degli Studi di Firenze – Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale (luglio, 2018), *"Servizio di valutazione di aspetti idrologici e idraulici inerenti al progetto di sopralzo della diga di Levane. 3 - Modalità di gestione delle paratoie della diga di Levane per ottimizzare la laminazione - Aggiornamento fase II"*, relazione tecnica.
- [6] Università degli Studi di Firenze – Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale (luglio, 2018), *"Servizio di valutazione di aspetti idrologici e idraulici inerenti al progetto di sopralzo della diga di Levane"*, relazione finale.
- [7] Regione Toscana – Direzione difesa del suolo e Protezione Civile – Settore Genio Civile Valdarno Superiore (novembre, 2018), *"Casse di espansione di Figline - Lotto Prulli"*, progetto definitivo (accor-

do di programma D.M. n. 550 del 25/11/2015).

- [8] Enel Green Power Srl – Power Generation Italy – O&M Hydro Italy – Northern Central Area Territorial Unit Lucca – UE Levane (giugno, 2020), "Progetto di sopralzo della diga ai fini di laminazione", aggiornamento progetto definitivo.
- [9] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti – Direzione generale per le dighe e le infrastrutture idriche ed elettriche – Divisione 7 – Ufficio Idraulica e Geologia Applicata (ottobre, 2020), relazione istruttoria relativa all'esame degli elaborati del "Progetto di sopralzo della diga ai fini di laminazione".
- [10] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti – Direzione generale per le dighe e le infrastrutture idriche ed elettriche – Ufficio Coordinamento e Controllo Dighe in Esercizio (novembre, 2020), relazione istruttoria relativa all'esame degli elaborati del "Progetto di sopralzo della diga ai fini di laminazione";
- [11] Regione Toscana – Direzione difesa del suolo e Protezione Civile – Settore Genio Civile Valdarno Superiore (marzo, 2022), "Riduzione del rischio idraulico nella piana di Laterina e Pergine Valdarno", progetto esecutivo (09IR003/G4-DODS2017AR0077).

1.1.2 DATI GEOMETRICI FIUME ARNO TRA LA DIGA DI LA PENNA E LA DIGA DI LEVANE

Di seguito sono elencati i dati alla base delle analisi di natura idraulica del progetto di sopralzo della diga di Levane:

- 1) base cartografica CTR2K della Regione Toscana in formato vettoriale;
- 2) base cartografica CTR10K della Regione Toscana in formato vettoriale;
- 3) rilievo batimetrico con tecnologia *multi-beam* del fondo alveo del fiume Arno condotto nel 2017 da Oikos Engineering Srl per conto della Regione Toscana. Il rilievo ha riguardato un tratto di circa 7 km compreso tra la confluenza del torrente L'Oreno e la diga di Levane. È disponibile con griglia 25×25 cm e con griglia 1×1 m;
- 4) rilievo fotogrammetrico topografico dell'invaso di Levane e La Penna eseguito nei mesi di ottobre e novembre 2017 da DroneArezzo Srl per conto della Regione Toscana. Il rilievo ha interessato una superficie di circa 17'000 ha del fiume Arno e delle aree circostanti nel tratto compreso tra il ponte a Buriano e la diga di Levane ed è suddiviso in tre zone: zona A (dalla diga di Levane al ponte del Romito), zona B (dal ponte del Romito alla diga di La Penna) e zona C (dalla diga di La Penna al ponte a Buriano). I DSM e DTM prodotti hanno passo 25×25 cm e 1×1 m;
- 5) rilievi LIDAR 1×1 m e 2×2 m realizzati nel 2004, 2008 e 2009/2010 dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM);
- 6) sezioni trasversali del fiume Arno rilevate dall'Ufficio Speciale Idraulico del Provveditorato regionale OO.PP nel 2002 nell'ambito della Perizia 106/USI.

1.1.3 DATI IDROLOGICI FIUME ARNO TRA LA DIGA DI LA PENNA E LA DIGA DI LEVANE

I dati idrologici adottati come base per le considerazioni di natura idraulica corrispondono a quelli trasmessi dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale per la redazione degli studi [3], [4], [5] e [6], nonché per la realizzazione del progetto [11].

Gli idrogrammi di piena considerati sono quelli stimati per i tempi di ritorno pari a 30 e 200 anni e le durate di precipitazione pari a 12, 18 e 24 ore per il fiume Arno e i principali affluenti nei seguenti punti di interesse elencati da monte verso valle (Figura 1):

- 1) fiume Arno in uscita dalla diga di La Penna;

- 2) borro del Palazzone alla confluenza (in sinistra) con il fiume Arno;
- 3) torrente Bregine alla confluenza (in destra) con il fiume Arno;
- 4) borro del Ganascione alla confluenza (in sinistra) con il fiume Arno;
- 5) torrente L'Oreno alla confluenza (in destra) con il fiume Arno;
- 6) fosso di Rimaggio alla confluenza (in sinistra) con il fiume Arno;
- 7) torrente Agna alla confluenza (in destra) con il fiume Arno;
- 8) torrente Ascione alla confluenza (in destra) con il fiume Arno.

A titolo di esempio, nella Figura 2 sono rappresentati gli idrogrammi del fiume Arno e del canale Maestro della Chiana per il tempo di ritorno di 200 anni e il tempo di pioggia di 12 ore, mentre nella Figura 3 sono riportati gli idrogrammi di piena degli affluenti.

Si ricorda che il tempo critico dell'evento di piena con tempo di ritorno di 200 anni nel tratto di interesse compreso tra la diga di La Penna e la diga di Levane è pari a 12 ore, così come individuato anche nello studio [6] e nel progetto [11].

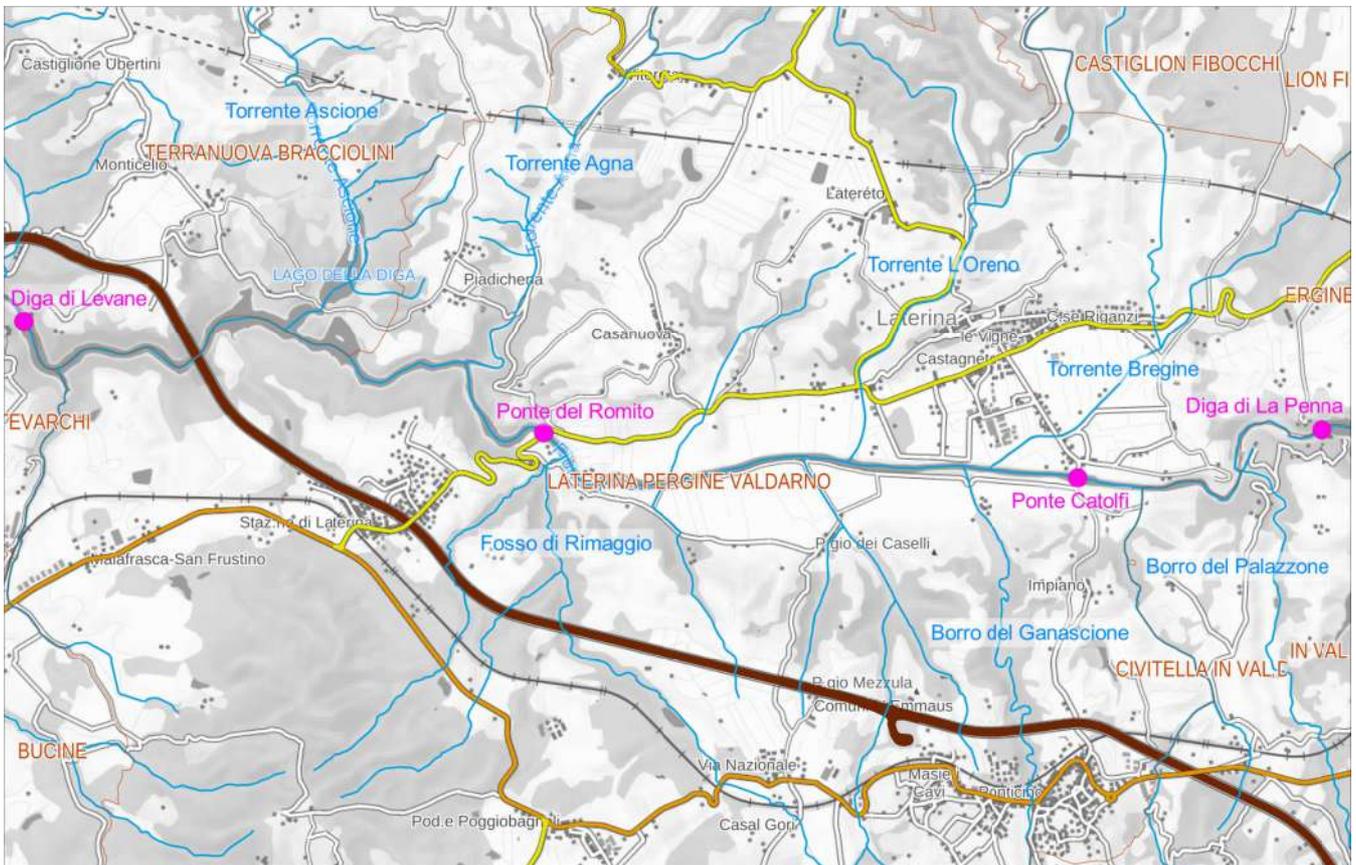


Figura 1: Inquadramento del tratto di fiume Arno compreso tra la diga di La Penna e la diga di Levane.

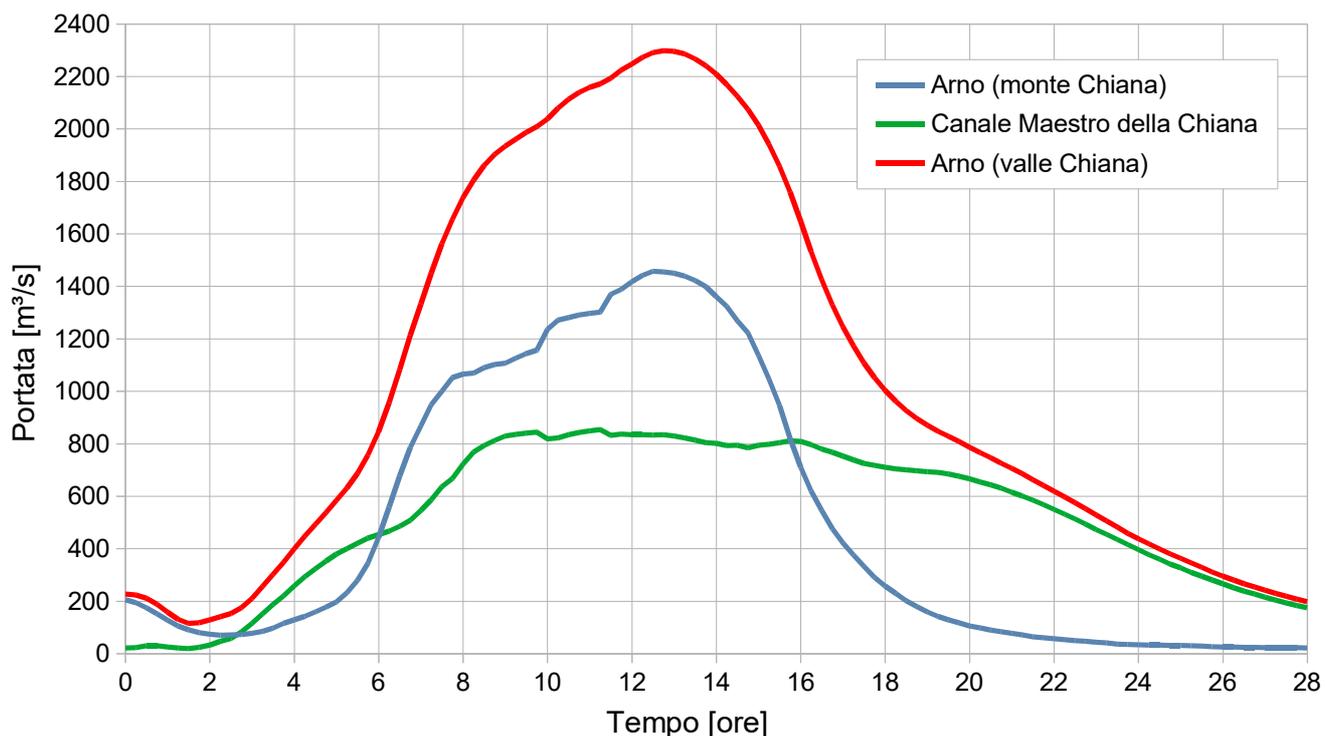


Figura 2: Idrogrammi fiume Arno e canale Maestro della Chiana per $T_r=200$ anni e $d=12$ ore.

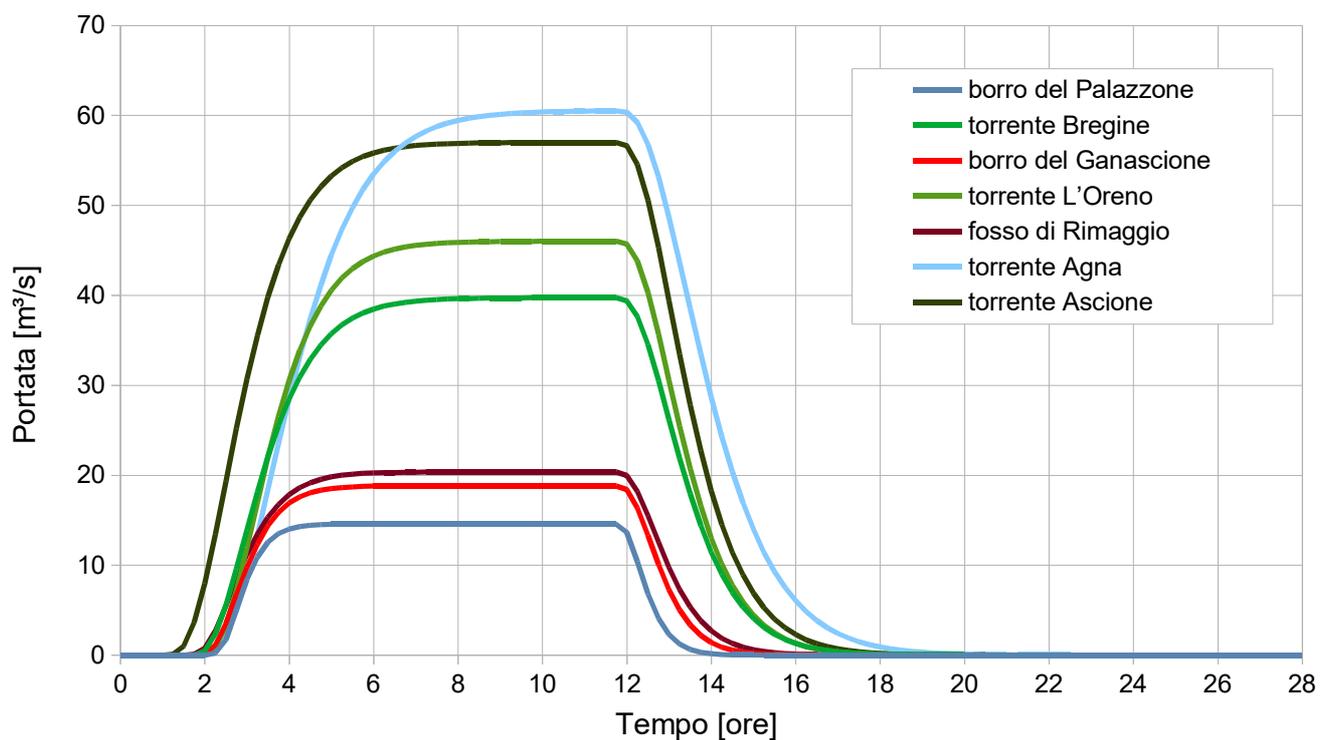


Figura 3: Idrogrammi degli affluenti del fiume Arno per $T_r=200$ anni e $d=12$ ore.

1.1.4 DATI IDRAULICI

Allo scopo di garantire la coerenza tra la documentazione disponibile (cfr. §1.1.1) ed i risultati conseguiti nel corso delle attività svolte per l'analisi degli aspetti di natura idraulica dovuti al soprizzo

della diga di Levane, sono acquisiti i seguenti modelli numerici messi a punto con il *software* Hec-Ras, distribuito da *US Army Corps of Engineer*:

- 1) modello numerico di moto vario unidimensionale a fondo fisso dell'alveo accoppiato ad un modello bidimensionale delle aree di esondazione, predisposto nell'ambito della progettazione esecutiva [11] degli interventi per la riduzione del rischio idraulico nella piana di Laterina (Hec-Ras v. 6.1). Il modello idraulico interessa un tratto di fiume Arno lungo 10 km compreso tra la diga di La Penna e la diga di Levane;
- 2) modello numerico di moto vario unidimensionale a fondo fisso dell'alveo con schematizzazione delle aree inondabili mediante "celle di accumulo", predisposto nell'ambito della progettazione definitiva [7] della cassa di espansione di Prulli (Hec-Ras v. 4.1). Il modello interessa un tratto di fiume Arno lungo 41,3 km dalla diga di Levane all'idrometro di Rosano, nonché i principali affluenti nel tratto di rigurgito (i.e. torrente Ambra; borro del Giglio; torrente Ciuffenna; borro del Quercio; borro dei Frati; borro delle Ville; borro Riofi; torrente San Cipriano; torrente Faella; torrente Cesto; torrente Resco; torrente Resco; torrente Ponterosso; borro Gaglianella; torrente Chiesimone; borro Moriano; fosso del Burchio; fosso del Selceto; fosso Tornia; fosso Tornia; torrente Leccio; fiume Sieve);
- 3) modello numerico in moto vario monodimensionale a fondo fisso dell'alveo con schematizzazione delle aree inondabili mediante "celle di accumulo" elaborato dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale nell'ambito della redazione delle mappe del P.G.R.A. per la piana fiorentina (Hec-Ras v. 4.1). Il modello idraulico riguarda un tratto di fiume Arno lungo 37,3 km compreso tra l'idrometro di Rosano e quello di Brucianesi, compreso i relativi affluenti (i.e. torrente Mugnone; torrente Terzolle; fiume Greve; torrente Vingone; fosso Reale; fiume Bisenzio; torrente Ombrone).

Per la descrizione completa del codice di calcolo si rimanda alla documentazione tecnica fornita a corredo del programma e consultabile *on line*¹, mentre per la caratterizzazione dei succitati modelli numerici si rinvia per sintesi agli elaborati tecnici pertinenti gli studi e/o i progetti di riferimento. Preme osservare che tutti i modelli matematici adottati sono stati calibrati sulla base di dati disponibili di eventi osservati e/o registrati col fine di tarare i principali parametri di calcolo.

Si ricorda, inoltre, che il modello numerico messo a punto nel progetto esecutivo [11] deriva dal modello idraulico elaborato dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale per l'aggiornamento delle mappe del PGRA nella piana di Laterina.

Come precedentemente riportato, ogni modello matematico è utilizzato in funzione dell'obiettivo di indagine e dell'area di studio:

- con il modello idraulico di cui al punto 1) sono individuate le possibili modalità di gestione delle paratoie della diga di Levane in funzione della migliore ottimizzazione definita sia in termini della massima riduzione del picco di piena rilasciato a valle dello sbarramento sia in termini della massima riduzione delle portate di piena in transito nel fiume Arno a valle della confluenza con il fiume Sieve in analogia con quanto previsto nel corso della progettazione [7].

Con tale modello, inoltre, sono valutati gli effetti dell'intervento di soprizzo della diga di Levane sulla vulnerabilità dei territori a monte dello sbarramento sia nello scenario di stato attuale sia nello scenario di progetto rappresentato dagli interventi di riduzione del rischio idraulico previsti nella piana di Laterina e Pergine Valdarno così come individuati nel progetto [11];

¹ <https://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/>

- con il modello idraulico di cui al punto 2) è valutata l'efficacia delle differenti modalità di gestione delle paratoie della diga di Levane, precedentemente individuate, nell'ottimizzare la riduzione dei colmi di piena in arrivo all'abitato di Firenze tenendo conto dell'attuazione delle opere idrauliche previste per il potenziamento della capacità di laminazione delle aree fluviali lungo il fiume Arno nel Valdarno Superiore nel PSRI e nel PGRA. Le opere idrauliche considerate sono rappresentate dalle seguenti misure di protezione definite nel PGRA con codice M32 (regolazione dei deflussi idrici) e livello di priorità "very high": cassa di espansione di Pizziconi, per la quale sono conclusi i lavori del primo lotto e sono in corso di realizzazione i lavori del secondo lotto relativi all'opera di presa; cassa di espansione di Restone, per la quale sono in corso le procedure di gara per l'affidamento dei lavori; cassa di espansione di Prulli, per la quale è completata la progettazione esecutiva ed è in corso di svolgimento la fase di verifica; cassa di espansione di Leccio, per la quale è concluso il progetto preliminare approvato in linea tecnica. Le suddette opere idrauliche sono schematizzate idraulicamente in modo analogo a quanto compiuto nel progetto [7];
- con il modello idraulico di cui al punto 3) è valutata l'efficacia della migliore modalità di gestione delle paratoie della diga di Levane, individuata al punto precedente, nella mitigazione del rischio idraulico nei territori della piana fiorentina in termini di riduzione dei volumi esondati per le piene del fiume Arno nei comuni di Firenze, Sesto F.no, Scandicci, Campi Bisenzio, Lastra a Signa e Signa.

1.1.5 PARAMETRI IDRAULICI DEGLI ORGANI DI REGOLAZIONE

La legge di dipendenza della portata esitata Q da ciascun organo di scarico della diga di Levane dal livello H immediatamente a monte dell'invaso e dal grado di apertura A delle paratoie è fornita da Enel Green Power Srl.

Tale legge, rappresentata nella Figura 4, ha le seguenti caratteristiche:

$$Q = L \sqrt{2g} \times \left\langle \begin{array}{l} 0 \\ C_s (H - H_s)^{3/2} \\ \min [C_b A (H - H_s - A/2)^{1/2}, C_s (H - H_s)^{3/2}] \end{array} \right\rangle \begin{array}{l} \text{se } H < H_s \\ \text{se } H_s \leq H < H_s + A \\ \text{se } H_s + A \leq H \end{array}$$

dove:

- $L = 12,0$ m sviluppo della soglia
- $H_s = 153,0$ m slm quota della soglia di sfioro;
- A apertura della paratoia ($A_{max} = 11,83$ m);
- $C_b = 0,7$ coefficiente di efflusso per funzionamento a battente;
- C_s coefficiente di efflusso per funzionamento a stramazzo:

$$Q = \left\langle \begin{array}{l} 0,42 \\ 0,42 + 0,01(H_s - 160) \\ 0,44 \end{array} \right\rangle \begin{array}{l} \text{se } H < 160 \\ \text{se } 160 \leq H < 162 \\ \text{se } H \geq 162 \end{array}$$

I coefficienti di efflusso sopra riportati sono validati dai risultati ottenuti dalle prove sperimentali condotte con un modello fisico degli scarichi messo a punto nel corso della redazione del progetto definitivo [8] dal Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università di Firenze nell'ambito di una convenzione stipulata nel 2019 con Enel Green Power finalizzata alla verifica del funzionamento dell'opera di scarico in conseguenza del sopralzo della diga.

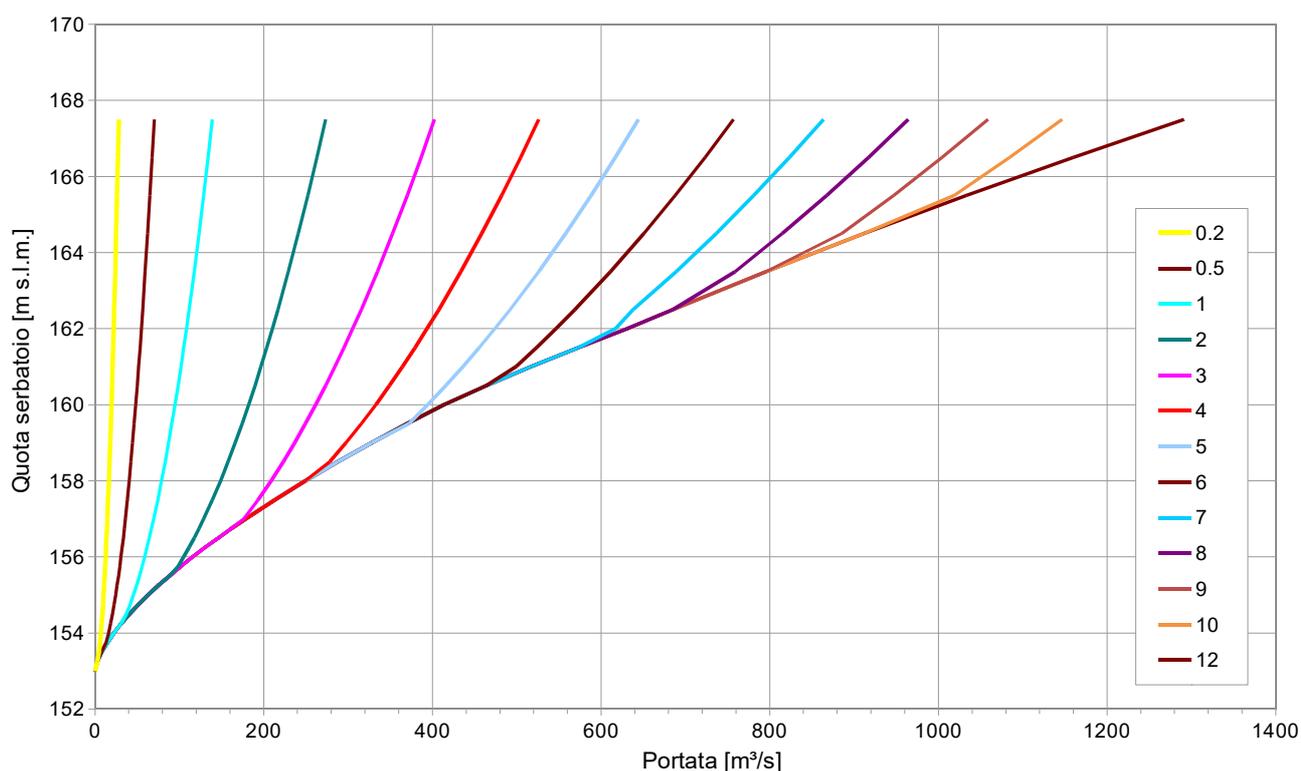


Figura 4: Legge di regolazione di una singola opera di scarico della diga di Levane.

La velocità di manovra delle paratoie pari a 0.24 m/minuto, fornita da Enel Green Power Srl, consente di ottenere variazioni di portata esitata a valle in grado di seguire senza ritardi rilevanti le variazioni di portata caratteristiche degli idrogrammi di piena in ingresso.

1.2 INCREMENTO DELLA SICUREZZA IDRAULICA DELLA DIGA

L'intervento in oggetto si inquadra come un intervento miglioramento della sicurezza idraulica dell'opera stessa, mediante l'adeguamento della capacità degli scarichi al valore della portata al colmo associata all'evento con tempo di ritorno di 1000 anni.

Infatti, con nota prot. n. 25820 del 23/12/2014, la Direzione generale per le dighe e le infrastrutture idriche ed elettriche aveva evidenziato che lo sbarramento allo stato attuale non è in grado di esitare in sicurezza, secondo il D.M. 2014, le portate estreme con tempi di ritorno di 500 e 1000 anni, così come riportato nell'istruttoria della Divisione 5 (rif. prot. n. 17788 del 02/08/2017): «*Deve inoltre rivelarsi che nell'ambito dell'attività di riqualificazione della sicurezza delle dighe esistenti la Direzione generale per le dighe e gli impianti idrici ed elettrici con lettera del 23/12/2014, n. 25820, ha chiesto al concessionario dell'opera di realizzare degli interventi di miglioramento della sicurezza idraulica della diga e ciò in quanto l'opera risulta dimensionata per una portata al colmo con tempo di ritorno di circa 500 anni. Quindi l'intervento in progetto non consegue solo l'obiettivo di avere una capacità di laminazione disponibile per i territori di valle, ma anche di migliorare la sicurezza dell'impianto nel suo complesso.*».

Quindi, i lavori oggetto di progettazione sono conseguenza della accertata condizione di mancata sicurezza idraulica prevista dall'attuale normativa tecnica in vigore costituita dal D.M. del 26/06/2014.

La soluzione progettuale prevede di smaltire la piena di progetto millenaria utilizzando solamente gli scarichi di superficie. Si ricorda che l'idrogramma preso a riferimento per le analisi idrauliche del

franco di sicurezza della diga corrisponde a quello della piena millenaria stimato dall'Ufficio idraulica e Geologia Applicata, Divisione 7, Direzione generale per le dighe e le infrastrutture idriche ed elettriche. Tale idrogramma, contenuto nella relazione istruttoria del 2014 (nota succitata), è caratterizzato da un colmo di 3283 m³/s ed un volume di circa 177,28 Mm³ sulle 48 ore.

Mediante un'apertura graduale delle paratoie dello scarico di superficie seguendo l'onda crescente della piena fino al valore massimo di 11,83 m, il livello massimo raggiunto nell'invaso nello stato di progetto risulta essere pari a 171,52 m s.l.m. e, quindi, inferiore a quello di massimo invaso di progetto pari a 172,0 m s.l.m..

In conclusione la verifica del franco secondo il D.M. 2014 risulta soddisfatta, in quanto il franco netto rispetto al coronamento di progetto (174,0 m s.l.m.) risulta essere pari a 2,177 m e, pertanto, maggiore del franco minimo richiesto dalla normativa pari a 1,303 m, determinato incrementando il franco netto legato alla tipologia dello sbarramento dei contributi dell'onda generata dal vento e dei fenomeni generati dall'interazione tra moto ondoso e diga.

Inoltre, nel caso di soglie presidiate con paratoie, il D.M. 2014 richiede che il franco netto non si riduca più di 1/3 di quello minimo da normativa nell'ipotesi del mancato funzionamento di almeno il 20% delle paratoie nel caso di dighe in calcestruzzo. Tale verifica è svolta valutando la laminazione dell'idrogramma della piena millenaria di progetto che permetta il mantenimento di un franco netto residuo non inferiore a 1/3 di quello da normativa. Da tale simulazione emerge che l'idrogramma che soddisfa la verifica del mancato funzionamento del 20% delle paratoie è quello ottenuto scalando l'idrogramma della millenaria del 92,4%, con una portata al colmo di 3033 m³/s e un volume sulle 48 ore di circa 164 Mm³.

Tale verifica è ritenuta dalla Direzione generale per le dighe e le infrastrutture idriche ed elettriche soddisfatta e congruente con quanto richiesto dal D.M. 2014, dal momento che le ipotesi alla base del calcolo sono cautelative e la portata che verifica la condizione in esame di poco inferiore a quella assegnata.

Infine, si riporta di seguito quanto emerso dalle prove su modello fisico:

- 2583 m³/s è la portata esitata dagli scarichi di superficie con la massima apertura delle paratoie (11,83 m) ed il livello nell'invaso alla quota di massima regolazione di 167,5 m s.l.m.;
- 169,9 m s.l.m. è il livello che si instaura nell'invaso al passaggio dagli scarichi di superficie con la massima apertura delle paratoie (11,83 m) del colmo di piena con tempo di ritorno di 500 anni (2964 m³/s);
- 172,2 m s.l.m. è il livello che si instaura nell'invaso al passaggio dagli scarichi di superficie con la massima apertura delle paratoie (11,83 m) del colmo di piena con tempo di ritorno di 1000 anni (3283 m³/s), superiore di 20 cm rispetto a quella di massimo invaso;
- 3235 m³/s è la massima portata esitata dagli scarichi di superficie con la massima apertura delle paratoie (11,83 m) ed il livello nell'invaso alla quota di massimo invaso di 172,0 m s.l.m.;
- per esitare la portata di 3283 m³/s dagli scarichi di superficie mantenendo il livello nell'invaso alla quota di massimo invaso di 172,0 m s.l.m. occorrerebbe alzare le paratoie fino ad un'altezza di 12,0 m, 17 cm in più dell'attuale altezza massima. In tal caso il livello nell'invaso si attesta a 171,9 m s.l.m..

1.3 MODALITÀ DI GESTIONE DELLE PARATOIE DELLA DIGA DI LEVANE

Nel presente paragrafo sono valutate le possibili modalità di gestione delle paratoie della diga di Levane al fine di ottimizzare i maggiori volumi di invaso, determinati dal sopralzo della diga, per la laminazione degli idrogrammi di piena e la mitigazione del rischio idraulico nei territori di valle.

La valutazione dell'efficacia delle suddette modalità di regolazione è condotta considerando gli idrogrammi di piena stimati per i tempi di ritorno pari a 30 e 200 anni e le durate di 12, 18 e 24 ore per il fiume Arno e i principali affluenti (§1.1.3) forniti dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale.

Il sopralzo della diga di Levane è inserito tra gli interventi strutturali previsti nella fase I del PSRI (D.P.C.M. 05/11/1999) e tra le misure di regolazione dei deflussi idrici individuate con priorità di attuazione "very high" nel PGRA (delibera n. 26 del 20/12/2021, G.U.R.I. n. 2 del 04/01/2022).

Tale intervento è ricompreso, inoltre, tra le opere idrauliche prioritarie per il conseguimento di uno degli obiettivi specifici della UoM Arno (ITN002), finalizzato alla mitigazione del rischio idraulico nel centro storico di Firenze e, in generale, nella piana fiorentina, ovvero in quella porzione di territorio lungo il corso del fiume Arno compresa tra le confluenze del fiume Sieve e del torrente Ombrone Pistoiese, ove sono maggiori le criticità sia in termini di pericolosità, perché interessate da eventi di piena ad elevata probabilità di accadimento, sia in termini di rischio, perché caratterizzate da una forte urbanizzazione con importanti e diversificati insediamenti abitativi e produttivi, oltreché infrastrutture strategiche di interesse nazionale (Figura 5).

Allo stato attuale, per il raggiungimento del suddetto obiettivo, oltre al sopralzo della diga di Levane, è prevista l'attuazione delle seguenti misure di regolazione dei deflussi idrici con livello di priorità da PGRA "very high":

- cassa di espansione di Pizziconi nel Comune di Figline e Incisa Valdarno (~124 ha);
- cassa di espansione di Resone nel Comune di Figline e Incisa Valdarno (~110 ha);
- cassa di espansione di Prulli nel Comune di Figline e Incisa Valdarno (~134 ha);
- cassa di espansione di Leccio in parte nel Comune di Reggello e in parte nel Comune di Figline e Incisa Valdarno (~169 ha).

Il suddetto sistema di casse di espansione, attraverso l'azionamento di paratoie mobili, consente di gestire l'invaso di 25-30 Mm³. Nel corso della progettazione definitiva [7], il massimo volume invasato per le alluvioni frequenti è stimato in circa 14 Mm³, mentre circa 26 Mm³ è quello massimo invasato per le alluvioni poco frequenti.

Oltre ai suddetti interventi, per la regimazione dei deflussi del sistema idrografico costituito dai fiumi Arno e Sieve, riveste particolare importanza l'invaso di Bilancino, realizzato a fine anni '90 sul corso del fiume Sieve nel Comune di Barberino del Mugello, avente una capacità complessiva di 84 Mm³, di cui 69 Mm³ di ritenuta con funzione di riserva idrica per uso potabile (62.5 Mm³ per la regolazione e 6.5 Mm³ al di sotto del minimo invaso di esercizio a 234.5 m s.l.m.) e 15 Mm³ destinati alla laminazione delle piene (compresi fra la quota di massima regolazione di 252.0 m s.l.m. e quella di massimo invaso di 254.5 m s.l.m.).

Per l'invaso di Bilancino la Regione Toscana ha approvato con D.G.R.T. n. 1139/2017 lo «Stralcio di piano di laminazione», che definisce le modalità di gestione statica dell'invaso tenendo conto della necessità di bilanciare i due obiettivi contrapposti di laminazione delle piene ed utilizzo idropotabile.

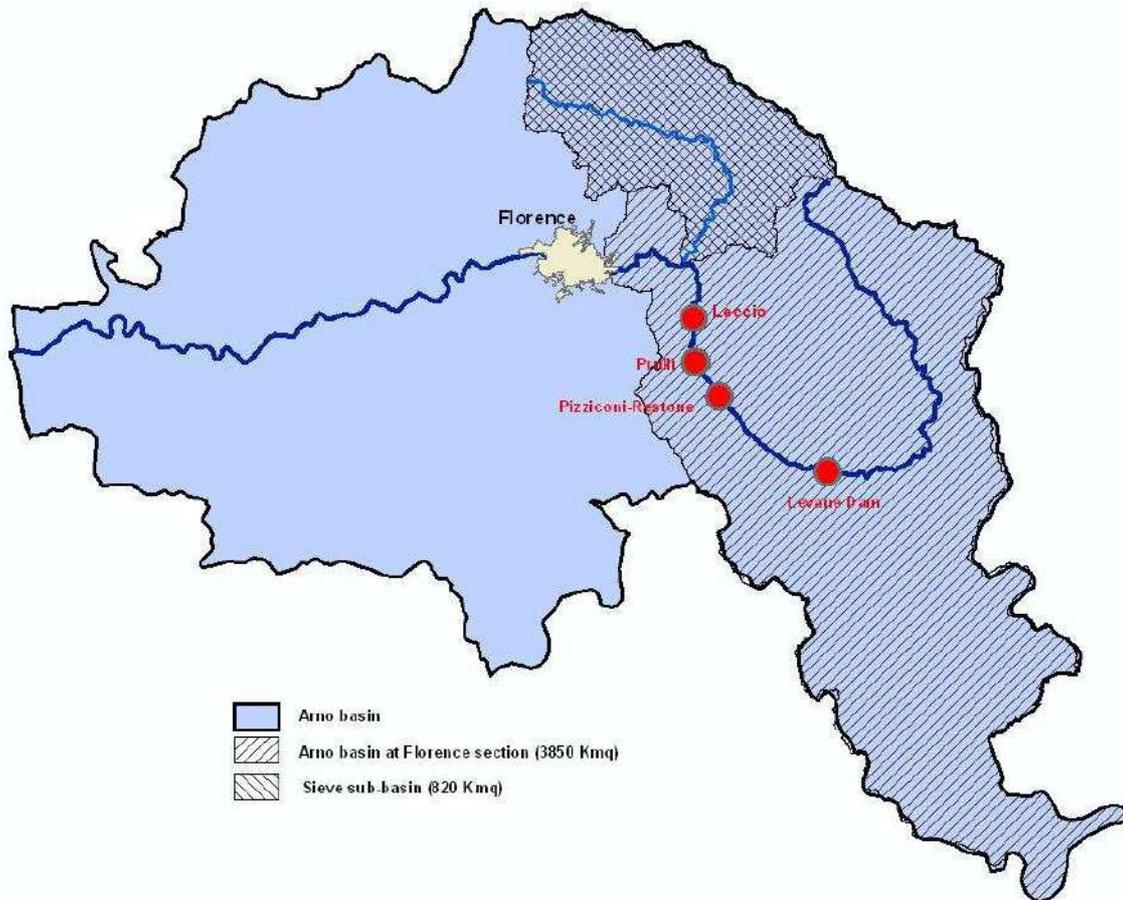


Figura 5: Inquadramento del sistema di interventi a monte di Firenze.

In particolare, il succitato piano di laminazione definisce una gestione statica dell'invaso con il mantenimento di un livello idrometrico di 250.0 m s.l.m. nel periodo da Ottobre a Gennaio, di 251 m s.l.m. nel periodo Febbraio-Marzo e di 252.0 m s.l.m. nei restanti mesi. In questo modo, nel periodo statisticamente più critico in termini di afflussi meteorici è reso disponibile un volume di laminazione aggiuntivo di 10 Mm³, mentre nel periodo che solitamente presenta picchi di precipitazioni inferiori a quelli autunnali (Febbraio-Marzo) è mantenuto comunque un volume di laminazione aggiuntivo di 5 Mm³.

In sintesi, l'intervento di soprizzo della diga di Levane costituisce un elemento di un più ampio sistema di laminazione, la cui efficacia, in termini di laminazione delle piene del fiume Arno in arrivo alla piana fiorentina, deve essere inquadrata e progettata nell'ambito della capacità complessiva di laminazione dell'intero sistema.

In altri termini, la capacità di laminare le piene a monte di Firenze risulterà tanto maggiore quanto più le singole opere saranno coordinate tra loro nella gestione, ponendosi come obiettivo non tanto di massimizzare l'efficienza dei singoli interventi, quanto di massimizzare l'efficacia di laminazione dell'idrogramma di piena lungo il corso del fiume Arno a valle della confluenza del fiume Sieve.

Pertanto, le analisi idrauliche condotte per l'individuazione delle possibili modalità di gestione delle paratoie della diga di Levane, oggetto del presente paragrafo, hanno tenuto conto degli effetti a regime dell'intero sistema di casse di espansione, cioè ipotizzando queste ultime tutte completamente realizzate, nonché dell'invaso di Bilancino alla quota di 250.0 m s.l.m. all'inizio dell'evento di piena.

Per il raggiungimento dell'obiettivo di minimizzare la portata al colmo a valle della confluenza del fiume Sieve e massimizzare l'efficacia dell'intero sistema di interventi, sono individuate ed analizzate n. 3 differenti modalità di gestione delle paratoie della diga di Levane definite sulla base dei seguenti criteri:

- laminazione ottimale del picco di piena rilasciato immediatamente a valle dello sbarramento;
- laminazione della quota parte di idrogramma di piena del fiume Arno che garantisce il miglior sfasamento con quello del fiume Sieve, tenendo conto altresì dell'attuazione delle casse di espansione nel Valdarno e del piano di laminazione per l'invaso di Bilancino.

Il maggior effetto di laminazione locale del picco di piena a valle dello sbarramento, ampiamente trattato negli studi [4] e [6], si ottiene eseguendo un taglio orizzontale dell'idrogramma alla portata più bassa possibile compatibilmente con il non superamento della quota di massimo invaso. In tal caso il volume totale disponibile per la laminazione è interamente sfruttato per l'invaso dei volumi di piena in transito al di sopra della portata di taglio ed il livello di massimo invaso è raggiunto teoricamente in un solo istante quando il taglio orizzontale interseca l'idrogramma di piena nella fase decrescente.

Con il secondo criterio, viceversa, la laminazione dell'idrogramma non avviene necessariamente in corrispondenza del picco di piena e, pertanto, la massima portata esitata a valle dello sbarramento potrebbe rimanere sostanzialmente invariata rispetto a quella in arrivo allo stesso.

La maggior efficienza di utilizzo del volume di laminazione per il taglio dell'idrogramma di piena è ottenuto mediante le seguenti leggi di manovra che ipotizzano una movimentazione differenziata degli organi mobili a presidio delle n. 2 luci della diga (regolazione 1):

- paratoia 1: movimentata a partire dal livello di 167.5 m s.l.m. tra 1 m e 8 m per l'evento con tempo di ritorno di 200 anni e tra 1 m e 6 m per quello con tempo di ritorno di 30 anni;
- paratoia 2: movimentata a partire dal livello di 167.5 m s.l.m. tra 0 ed un valore ottimizzato per ciascuno scenario con l'obiettivo di minimizzare il valore atteso della massima portata esitata a valle. Per l'evento duecentennale i valori di massima apertura sono: 6.0 m per la durata di 12 ore; 5.8 m per la durata di 18 ore; 4.8 m per quella di 24 ore. Per l'evento trentennale la massima apertura è pari a: 4.0 m per la durata di 12 ore; 3.6 m per la durata di 18 ore; 2.8 m per quella di 24 ore.

I risultati ottenuti con tale modalità di gestione forniscono valori per la massima portata rilasciata a valle della diga comparabili con quelli ottenuti negli studi [4] e [6] con il modello ivi implementato (LEVANE_LAM_MO) in presenza di incertezza.

Nella Tabella 1.1 è riportato il confronto tra i valori al colmo della portata esitate a valle della diga di Levane, per il tempo di ritorno di 200 anni e le durate di 12, 18 e 24 ore, stimate con il modello predisposto nello studio [6] e nelle presenti simulazioni nell'ipotesi di laminazione ottimale del picco di piena.

Tabella 1.1: Confronto tra i colmi di portata esitati a valle della diga per il tempo di ritorno di 200 anni e le varie durate stimate con il modello predisposto nello studio [6] e nelle presenti simulazioni nell'ipotesi di laminazione ottimale del picco di piena.

Modello numerico	Q 12 ore [m ³ /s]	Q 18 ore [m ³ /s]	Q 24 ore [m ³ /s]
LEVANE_LAM_MO	2069	2029	1876
Hec-Ras v. 6.1	2045	2013	1880

Lo scenario idrologico di riferimento, per ogni combinazione di tempo di ritorno e durata, adottato per la valutazione dell'efficacia delle modalità di gestione delle paratoie della diga di Levane ai fini della mitigazione del rischio idraulico nella piana fiorentina, corrisponde a quello stabilito nel corso della progettazione definitiva [7].

Pertanto, la definizione delle modalità di gestione delle paratoie, mirate al miglior sfasamento tra gli idrogrammi di piena del fiume Arno e del fiume Sieve, ha tenuto conto delle seguenti deduzioni emerse e messe in evidenza nell'ambito della redazione del suddetto progetto definitivo [7]:

- gli organi mobili a presidio delle casse di espansione sono manovrati in modo da massimizzare le portate derivate nella parte ascendente dell'idrogramma del fiume Arno che si sovrappone ai colmi del fiume Sieve a discapito del picco di piena;
- la minima efficacia del sistema di casse di espansione si registra per l'evento con durata di 12 ore, per il quale le casse di espansione non sono in grado di laminare a sufficienza il ramo ascendente dell'idrogramma del fiume Arno a causa dei modesti battenti idrometrici sulle soglie di sfioro;
- per l'evento con tempo di ritorno di 30 anni e durata di 12 ore, a valle del fiume Sieve si osserva un modesto incremento della portata al colmo (~14 m³/s) dovuto all'impossibilità di provvedere ad una maggiore laminazione del sistema di casse dato che le paratoie sono poste alla massima apertura fin dall'istante in cui i livelli idrometrici in alveo raggiungono la quota della soglia di sfioro.

Quindi, in analogia con la movimentazione degli organi mobili a presidio delle opere di presa delle casse di espansione, la metodologia adottata per la definizione delle ulteriori modalità di gestione delle paratoie della diga è sviluppata col fine di migliorare l'efficacia di laminazione dell'intero sistema di interventi concentrando gli effetti sul ramo ascendente dell'idrogramma di piena del fiume Arno che si sovrappone a quello del fiume Sieve e, in particolare, nella parte iniziale della piena in cui le casse presentano il minor beneficio.

In particolare, la movimentazione ipotizzata prevede una prima fase in cui avviene un'apertura progressiva di una delle due paratoie fintantoché non viene raggiunta la desiderata portata di taglio, in questo modo viene esitata tutta la portata in arrivo allo sbarramento mantenendo costante il livello di invaso al valore di massima regolazione di 167.5 m s.l.m.. Una volta raggiunto tale valore, la paratoia viene bloccata determinando un incremento dei livelli di invaso e, conseguentemente, la laminazione dell'idrogramma di piena fino all'istante in cui non viene raggiunto il livello di soglia per l'apertura della seconda paratoia che impedisce il superamento del livello massimo di invaso di 172.0 m s.l.m., che viene aperta progressivamente all'aumentare della portata fino al raggiungimento del colmo di piena. In questo caso il valore della portata di taglio è inferiore a quello ottimale procurando un prematuro riempimento del volume di laminazione e, quindi, con una portata massima esitata sostanzialmente invariata rispetto a quella in arrivo da monte.

Di seguito sono riportate le condizioni individuate per la movimentazione delle paratoie della diga di Levane con l'obiettivo di massimizzare la laminazione dell'idrogramma del fiume Arno a valle della confluenza con il fiume Sieve per l'evento con durata di 12 ore (regolazione 3):

- paratoia 1: movimentata a partire dal livello di 167.5 m s.l.m. tra 1 m e 10 m per l'evento con tempo di ritorno di 200 anni e tra 1 m e 5.5 m per quello con tempo di ritorno di 30 anni;
- paratoia 2: movimentata tra 0 e 6.5 m per mantenere i livelli compresi tra 171.9 m s.l.m. e 172.0 m s.l.m..

Per l'evento duecentennale, indipendentemente dalla sua durata, il valore della portata di taglio per cui inizia l'invaso dei volumi di piena è pari a circa 1150 m³/s, mentre al valore di circa 1400 m³/s

inizia l'apertura della seconda paratoia. Per l'evento trentennale la portata di taglio è circa 700 m³/s, mentre l'apertura della seconda paratoia avviene a circa 830 m³/s.

Data l'incertezza sui reali tempi di trasferimento dei picchi di piena sul fiume Arno, anche in relazione alle differenti modalità di immissione dei contributi di piena degli affluenti in seguito alle modifiche di regimazione indotte dagli organi mobili delle opere idrauliche modellate, è verificata un'ulteriore modalità di regolazione analoga alla precedente ma con portate di taglio di poco superiori, ottenute incrementando di 1 m la massima apertura della paratoia 1 e riducendo della medesima quantità quella della paratoia 2 (regolazione 2):

- paratoia 1: movimentata a partire dal livello di 167.5 m s.l.m. tra 1 m e 11 m per l'evento con tempo di ritorno di 200 anni e tra 1 m e 6.5 m per quello con tempo di ritorno di 30 anni;
- paratoia 2: movimentata tra 0 e 5.5 m per mantenere i livelli compresi tra 171.9 m s.l.m. e 172.0 m s.l.m..

In questo caso la portata di taglio vale circa 1250 m³/s per l'evento duecentennale e circa 810 m³/s per quello trentennale.

Nelle figure seguenti sono raffrontati gli idrogrammi di piena del fiume Arno esitati a valle della diga di Levane nello stato attuale, in cui la quota di massima regolazione coincide con quella di massimo invaso, e nello stato di progetto con l'intervento di sopralzo, in cui la quota di massimo invaso viene incrementata a 172,0 m s.l.m., considerando le diverse regolazioni ipotizzate. I confronti sono eseguiti per gli eventi con tempi di ritorno di 30 e 200 anni e le durate di 12, 18 e 24 ore.

Nella Tabella 1.2 e nella Tabella 1.3 sono riportati i confronti tra le portate al colmo esitate dallo sbarramento per lo stato attuale e per quello di progetto con le varie modalità di regolazione analizzate rispettivamente per i tempi di ritorno di 30 e 200 anni e le durate di 12, 18 e 24 ore. A titolo di confronto sono riportate anche i colmi di portata immessi nel sistema idraulico ottenuti dalla somma algebrica dei singoli contributi di piena (vedere §1.1.3).

Dal confronto tra gli idrogrammi di piena esitati a valle della diga di Levane nelle varie condizioni analizzate, emerge che la maggiore laminazione di volume ottenuta con il sopralzo dello sbarramento rispetto allo stato attuale è di circa 3 Mm³.

A tal proposito si ricorda che il volume di laminazione stimato nel PSRI è pari a 9.5 Mm³, valore definito sulla base della differenza tra il volume totale di invaso "statico" dello stato attuale, pari a 4.9 Mm³ per la quota di massimo invaso di 167.5 m s.l.m., ed il volume totale di invaso "statico" dello stato di progetto, pari a 14.4 Mm³ per la quota di massimo invaso revisionata a 172.0 m s.l.m..

Negli studi [4] e [6] il valore del volume di laminazione è aggiornato sulla base dell'applicazione di un approccio semplificato "quasi statico", per il quale viene adottata una relazione univoca tra volume invasato a monte della diga (incluse le parti di rigurgito fluviale) ed il livello del lago in prossimità della diga stessa in cui, fino alla quota di massima regolazione sono considerati volumi "statici" e per i livelli idrometrici superiori volumi "pseudo-statici" stimati per il tempo di ritorno di 200 anni sulla base del ramo crescente dell'onda di piena (le simulazioni effettuate mettono in evidenza una scarsa sensibilità della curva dinamica d'invaso alla durata della piena). Nello studio [6] il volume di laminazione, aggiornato con la suddetta metodologia, vale 13.2 Mm³, avendo stimato un volume "dinamico" di circa 19.0 Mm³ per il livello idrometrico alla diga di 172.0 m s.l.m. ed un volume "statico" di 5.8 Mm³ alla quota di 167.5 m s.l.m..

Occorre osservare che anche allo stato attuale sono presenti effetti dinamici durante il transito di onde di piena consistenti, che aumentano la capacità di invaso oltre i livelli statici di massimo invaso di 167.5 m s.l.m.. Con le presenti simulazioni è stimato un volume "dinamico" di circa 15.0 Mm³ per un livello idrometrico alla diga di 167.5 m s.l.m. ed il tempo di ritorno di 200 anni.

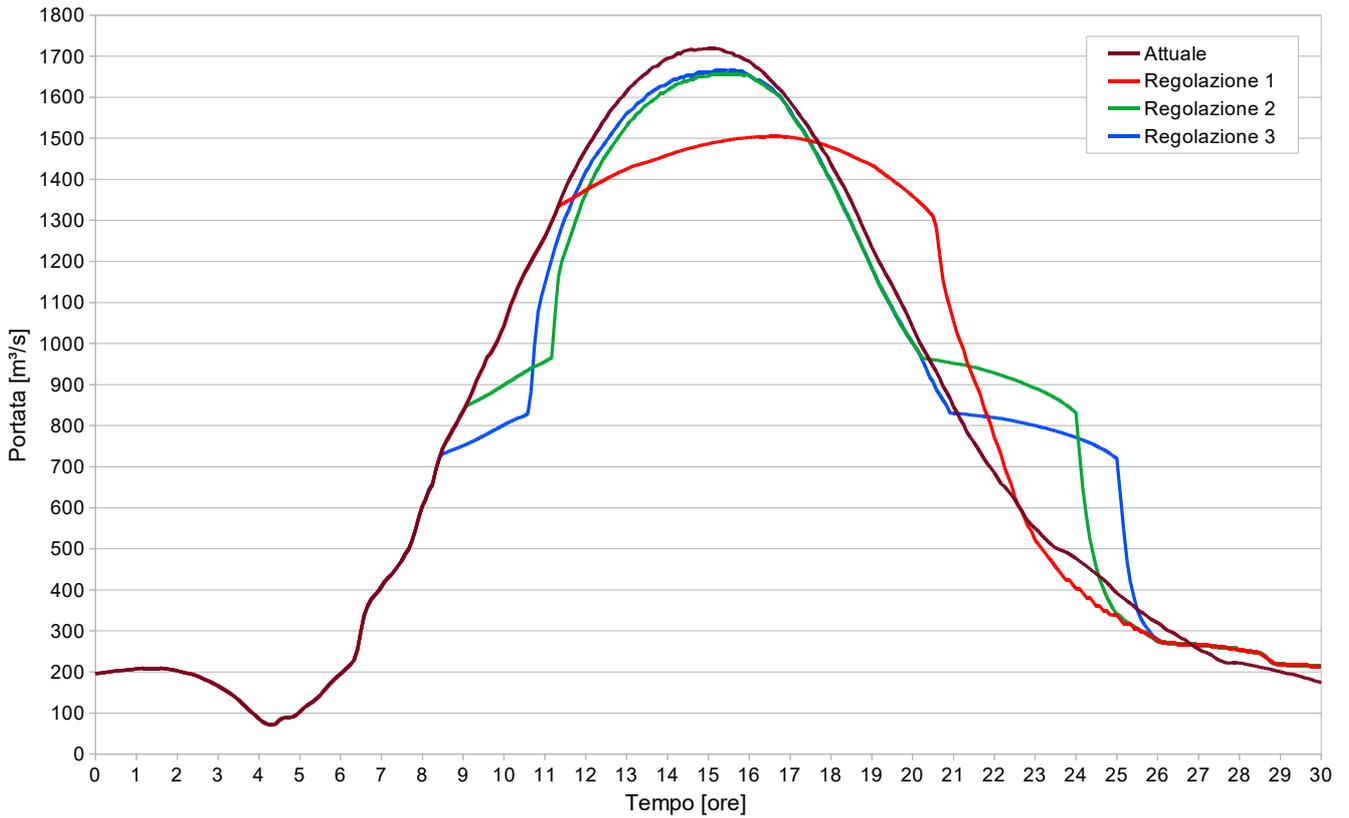


Figura 6: Confronto idrogrammi di piena esitati a valle della diga di Levane per $Tr=30$ anni e $d=12$ ore.

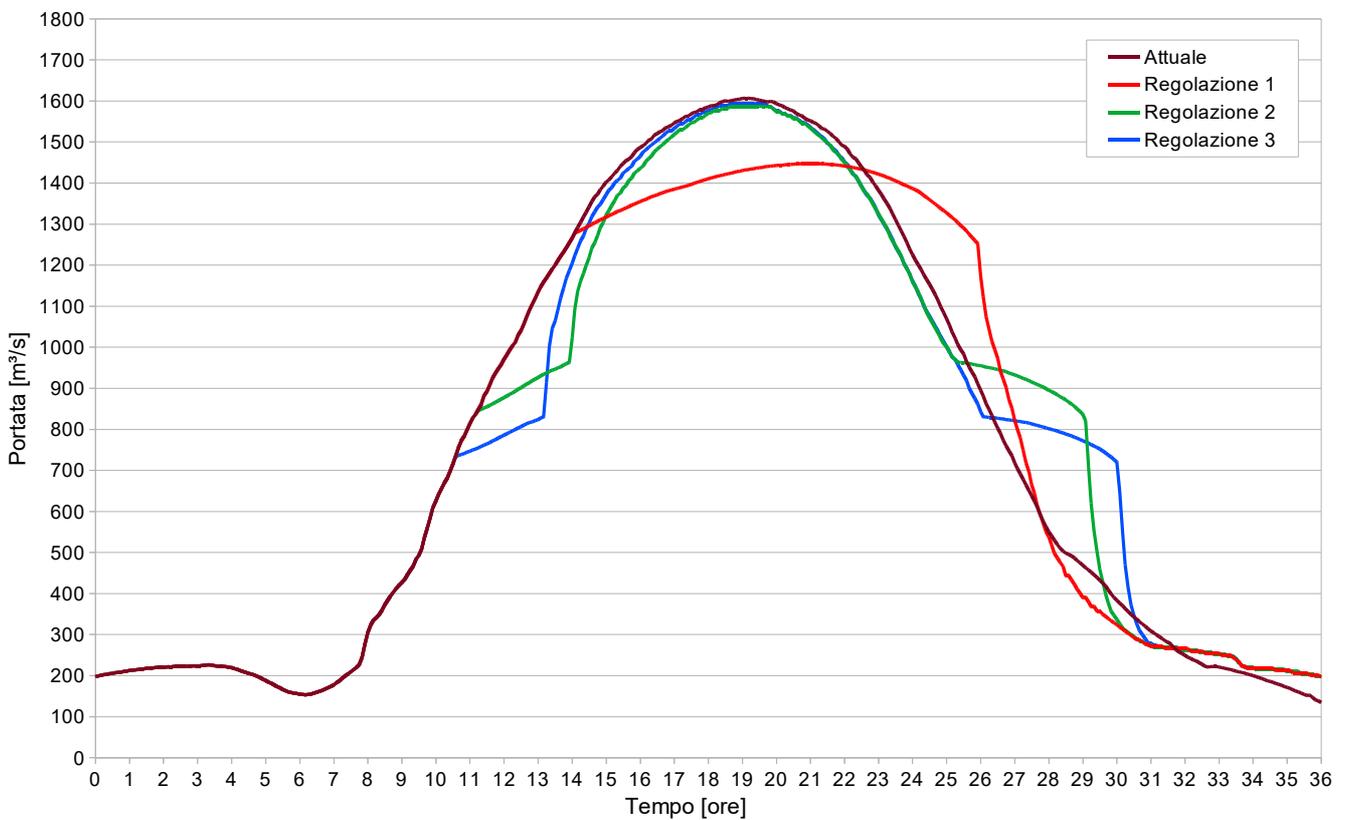


Figura 7: Confronto idrogrammi di piena esitati a valle della diga di Levane per $Tr=30$ anni e $d=18$ ore.

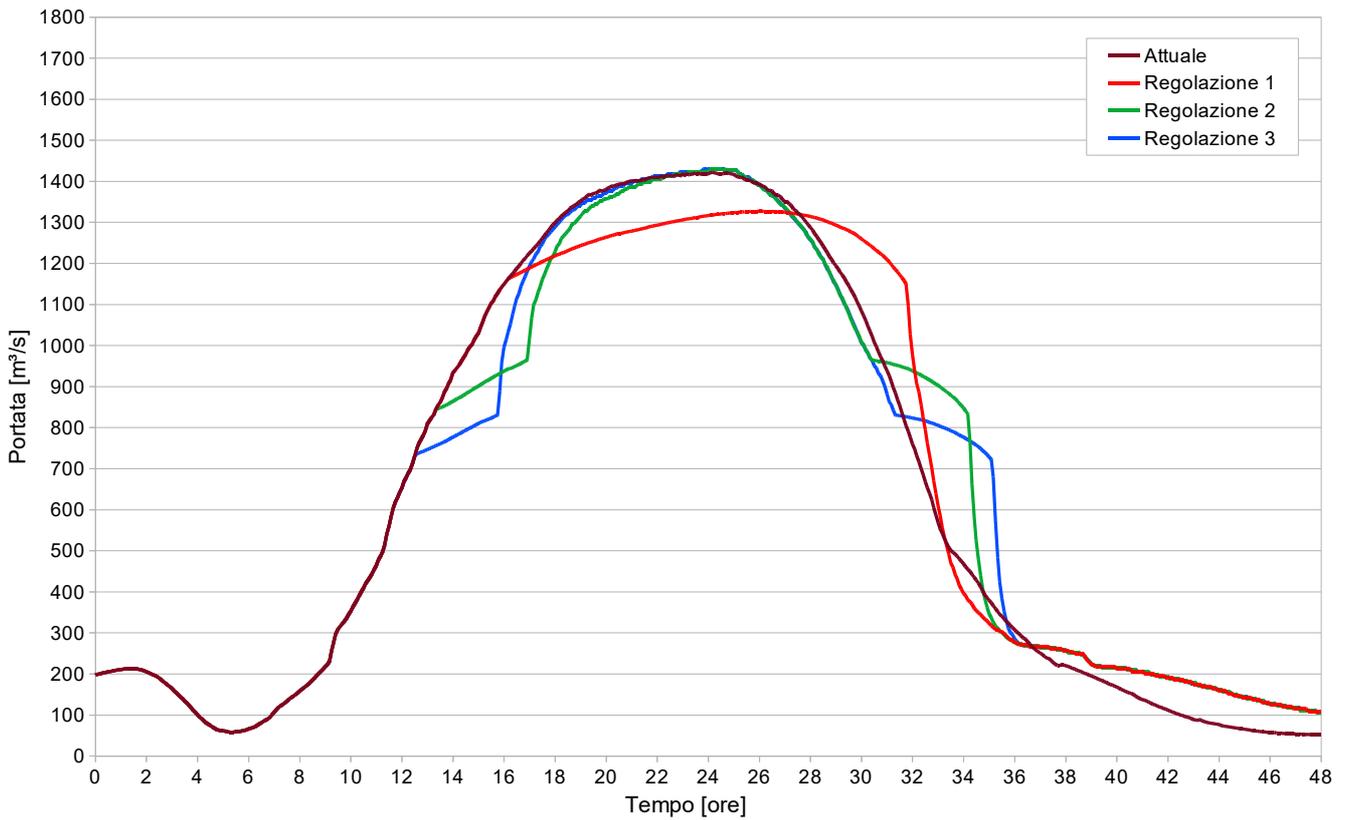


Figura 8: Confronto idrogrammi di piena esitati a valle della diga di Levane per $Tr=30$ anni e $d=24$ ore.

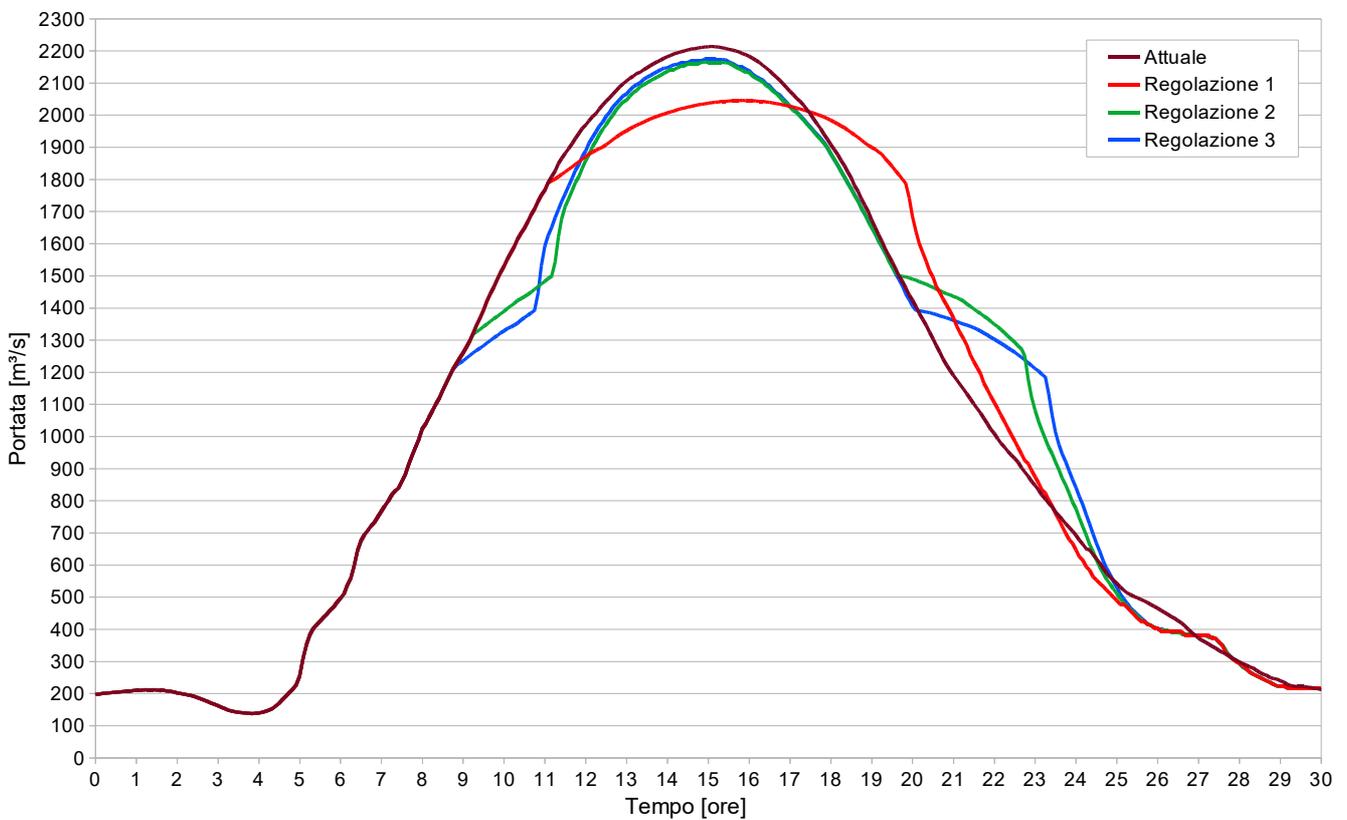


Figura 9: Confronto idrogrammi di piena esitati a valle della diga di Levane per $Tr=200$ anni e $d=12$ ore.

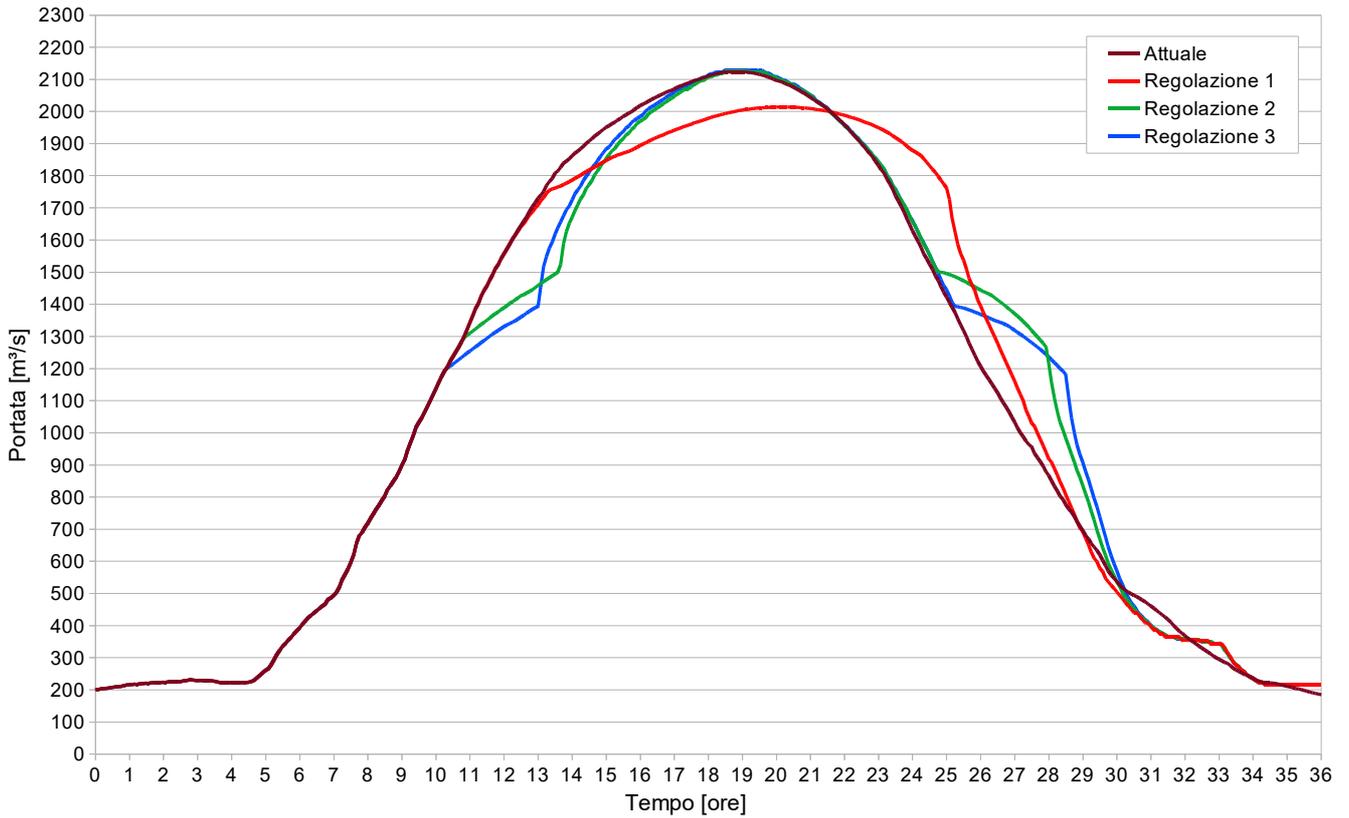


Figura 10: Confronto idrogrammi di piena esitati a valle della diga di Levane per $Tr=200$ anni e $d=18$ ore.

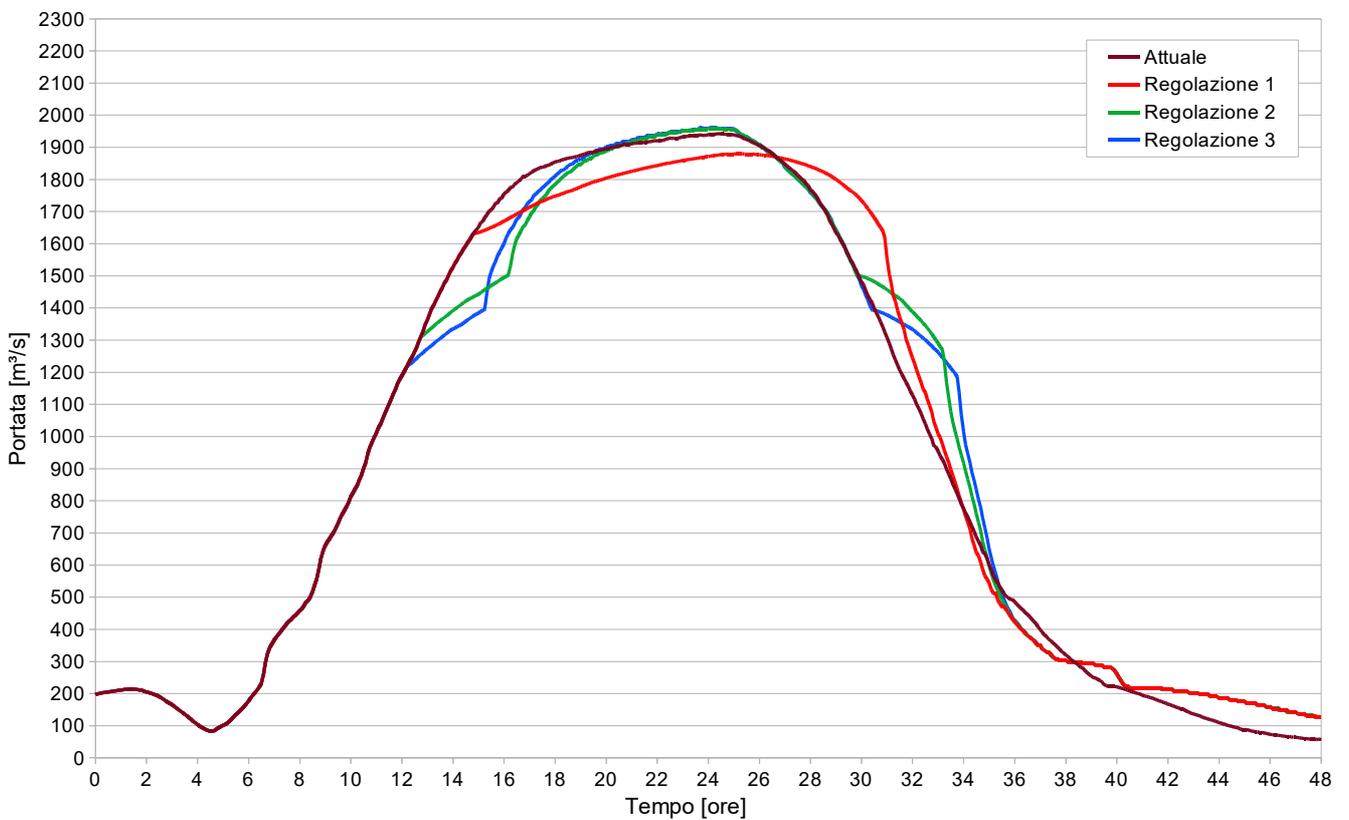


Figura 11: Confronto idrogrammi di piena esitati a valle della diga di Levane per $Tr=200$ anni e $d=24$ ore.

Tabella 1.2: Confronto tra i valori al colmo della portata esitata dalla diga di Levane per il tempo di ritorno di 30 anni e le durate di 12, 18 e 24 ore nei vari scenari di verifica.

Durata [ore]	Q ingresso [m ³ /s]	Attuale [m ³ /s]	Reg. 1 [m ³ /s]	Reg. 2 [m ³ /s]	Reg. 3 [m ³ /s]
12	1950	1718	1504	1656	1665
18	1666	1606	1447	1587	1594
24	1437	1421	1327	1429	1429

Tabella 1.3: Confronto tra i valori al colmo della portata esitata dalla diga di Levane per il tempo di ritorno di 200 anni e le durate di 12, 18 e 24 ore nei vari scenari di verifica.

Durata [ore]	Q ingresso [m ³ /s]	Attuale [m ³ /s]	Reg. 1 [m ³ /s]	Reg. 2 [m ³ /s]	Reg. 3 [m ³ /s]
12	2512	2213	2045	2165	2174
18	2206	2123	2013	2124	2129
24	1975	1942	1880	1957	1960

Pertanto, il beneficio del sopralzo della diga di Levane in termini di incremento di volume di invaso destinato alla laminazione per il tempo di ritorno duecentennale è pari a circa 4.0 Mm³.

Alla luce di quanto riportato, non risulta del tutto corretta l'affermazione per cui il volume di laminazione della diga di Levane allo stato attuale è nullo, essendo coincidenti la quota di massima regolazione e quella di massimo invaso, in quanto la morfologia della valle a monte dello sbarramento, e in particolare a monte della stretta del Romito, determina importanti effetti dinamici per le piene maggiori anche allo stato attuale.

Si ricorda che il volume idrico presente nel tratto compreso tra le dighe di La Penna e Levane dipende dal livello di invaso in prossimità dello sbarramento di Levane, dalla modalità di azionamento dei suoi organi di regolazione e dalle portate immesse nel tratto e, pertanto, le considerazioni sopra riportate possono variare in funzione del tempo di ritorno considerato.

Ad esempio per l'evento trentennale l'incremento di volume di invaso destinato alla laminazione in seguito al sopralzo della diga vale 4.5 Mm³, essendo circa 10.5 Mm³ il volume "dinamico" dello stato attuale con il livello idrometrico alla diga di 167.5 m s.l.m. e circa 15 Mm³ il volume "dinamico" dello stato di progetto con il livello idrometrico alla diga di 172.0 m s.l.m. (regolazione 3).

Al fine di valutare la migliore modalità di gestione delle paratoie della diga di Levane tra quelle sopra individuate, si è cimentato il modello numerico predisposto nell'ambito della progettazione definitiva [7] con gli idrogrammi delle portate di piena stimati con le varie regolazioni per i tempi di ritorno di 30 e 200 anni e le durate di 12, 18 e 24 ore.

Al fine di comparare l'efficacia dei vari interventi previsti a monte di Firenze, nel seguito sono riportati i risultati ottenuti per i seguenti scenari di verifica:

- 1) configurazione "originaria" del fiume Arno senza la realizzazione di alcuna cassa di espansione prevista nel Medio Valdarno e con il livello idrometrico dell'invaso di Bilancino a quota 252,0 m s.l.m.. Il volume di invaso destinato alla laminazione delle piene è pari a 15 Mm³;
- 2) configurazione "originaria" senza la realizzazione di alcuna cassa di espansione prevista nel Medio Valdarno e con il livello idrometrico dell'invaso di Bilancino a 250,0 m s.l.m. secondo

quanto stabilito nelle procedure codificate nello «Stralcio di piano di laminazione per l'invaso di Bilancino». In questo caso il volume destinato alla laminazione delle piene è pari a 25 Mm³;

- 3) configurazione con tutte le casse di espansione previste nel Medio Valdarno realizzate (capacità di invaso 25/30 Mm³) e con il livello idrometrico dell'invaso di Bilancino a 250,0 m s.l.m.;
- 4) configurazione con tutte le casse di espansione previste nel Medio Valdarno, livello idrometrico dell'invaso di Bilancino a 250,0 m s.l.m. e realizzazione del sopralzo della diga di Levane in grado di garantire un volume di laminazione di 13.2 Mm³, con un incremento del volume netto di invaso rispetto allo stato attuale di circa 4 Mm³:
 - a) regolazione 1: laminazione ottimale del picco di piena esitato a valle dello sbarramento;
 - b) regolazione 2: laminazione della parte ascendente dell'idrogramma in arrivo alla diga (Q taglio 810 m³/s per Tr=30 anni e 1250 m³/s per Tr=200 anni);
 - c) regolazione 3: laminazione della parte ascendente dell'idrogramma in arrivo alla diga (Q taglio 700 m³/s per Tr=30 anni e 1150 m³/s per Tr=200 anni).

Nelle figure seguenti sono rappresentati gli idrogrammi di piena calcolati per gli scenari analizzati nella sezione 672 del fiume Arno a Pontassieve, dopo la confluenza del fiume Sieve, per gli eventi con tempi di ritorno di 30 e 200 anni e le durate di 12, 18 e 24 ore.

Nella Tabella 1.4 e nella Tabella 1.5 sono riportati i confronti tra le portate al colmo in transito nella sezione 672 a Pontassieve per i vari scenari di verifica ipotizzati rispettivamente per i tempi di ritorno di 30 e 200 anni e le durate di 12, 18 e 24 ore.

Dal confronto tra gli idrogrammi di piena esitati a valle della diga di Levane nelle varie condizioni analizzate, emerge che la regolazione ottimale, con un taglio orizzontale del picco di piena, non genera a valle del fiume Sieve, per lo scenario idrologico considerato, alcuna variazione dei colmi di piena duecentennali rispetto a quanto calcolato nello stato senza sopralzo della diga. Analogamente, tale regolazione non determina alcun beneficio in termini di laminazione del colmo di piena per l'evento più critico associato al tempo di ritorno di 30 anni, relativo all'evento con durata di 12 ore, per il quale rimane un modesto incremento di portata rispetto allo scenario senza casse.

Viceversa la maggiore riduzione del colmo di piena sul fiume Arno a Pontassieve, per lo scenario idrologico di riferimento, si ottiene con una regolazione che anticipa il taglio delle portate, in modo da far coincidere alla confluenza tra i due corsi d'acqua il tratto maggiormente laminato dell'idrogramma del fiume Arno ed il colmo di piena del fiume Sieve. Tali regolazioni presentano una minore efficienza nella laminazione degli eventi di piena per il tempo di ritorno trentennale e le durate di 18 e 24 ore, i cui colmi non producono comunque esondazioni nella città di Firenze.

In ogni caso occorre evidenziare che la gestione ottimale delle paratoie della diga di Levane, così come quelle del sistema di casse di espansione, non può essere definita in modo univoco, ma deve essere valutata in funzione di ciascun evento in modo da garantire la maggiore efficienza del sistema nello sfasare gli idrogrammi di piena dei fiumi Arno e Sieve.

In conclusione i risultati mettono in evidenza che l'intervento di sopralzo della diga di Levane è in grado di incrementare la capacità totale di laminazione dei colmi piena da parte del complesso sistema di interventi con conseguente beneficio per i territori posti a valle. In particolare, la flessibilità della gestione delle paratoie a presidio degli organi di scarico della diga consente di ottimizzare l'efficienza di laminazione negli istanti in cui è minima l'efficienza del sistema di casse di espansione in corso di realizzazione sul corso del fiume Arno.

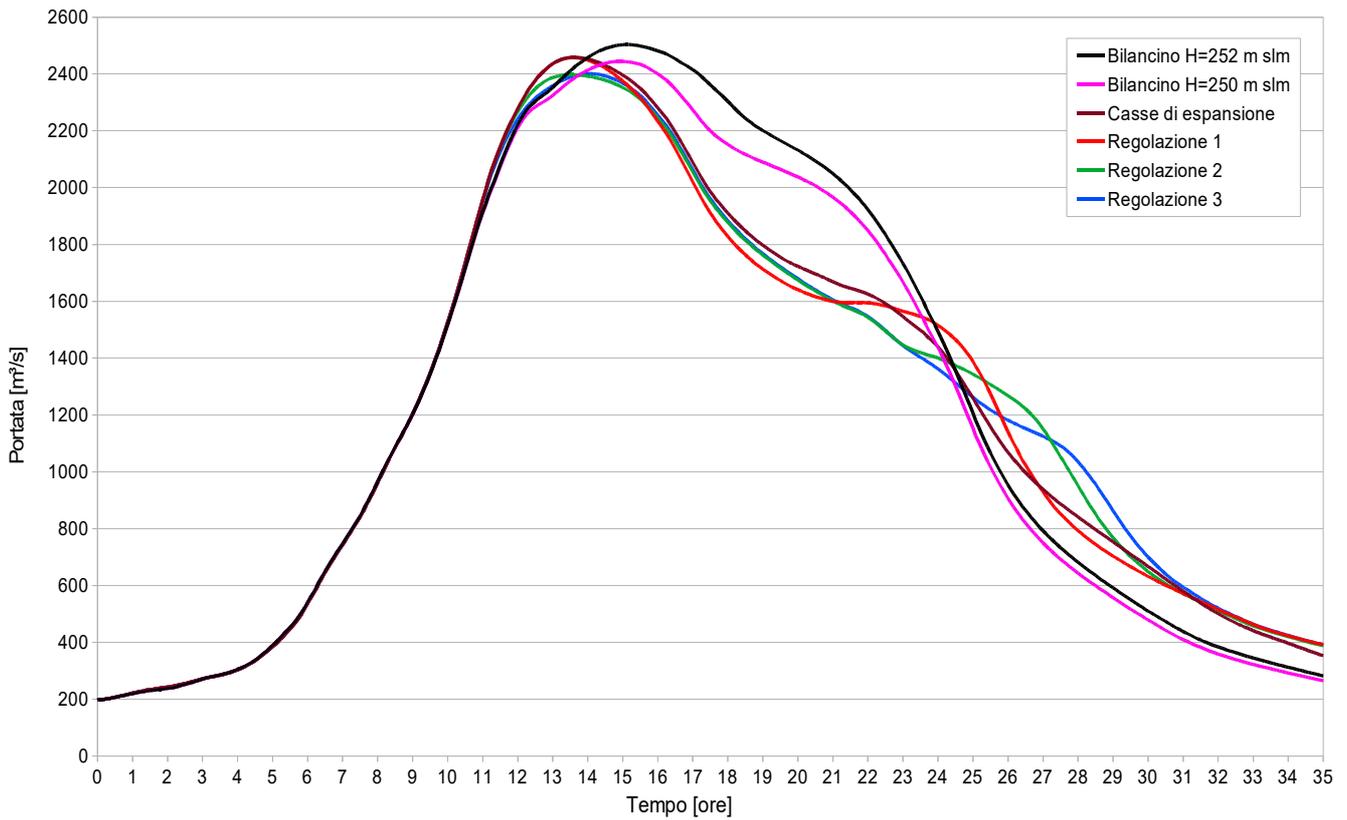


Figura 12: Confronto idrogrammi di piena stimati nella sezione 672 del fiume Arno per $Tr=30$ anni e $d=12$ ore.

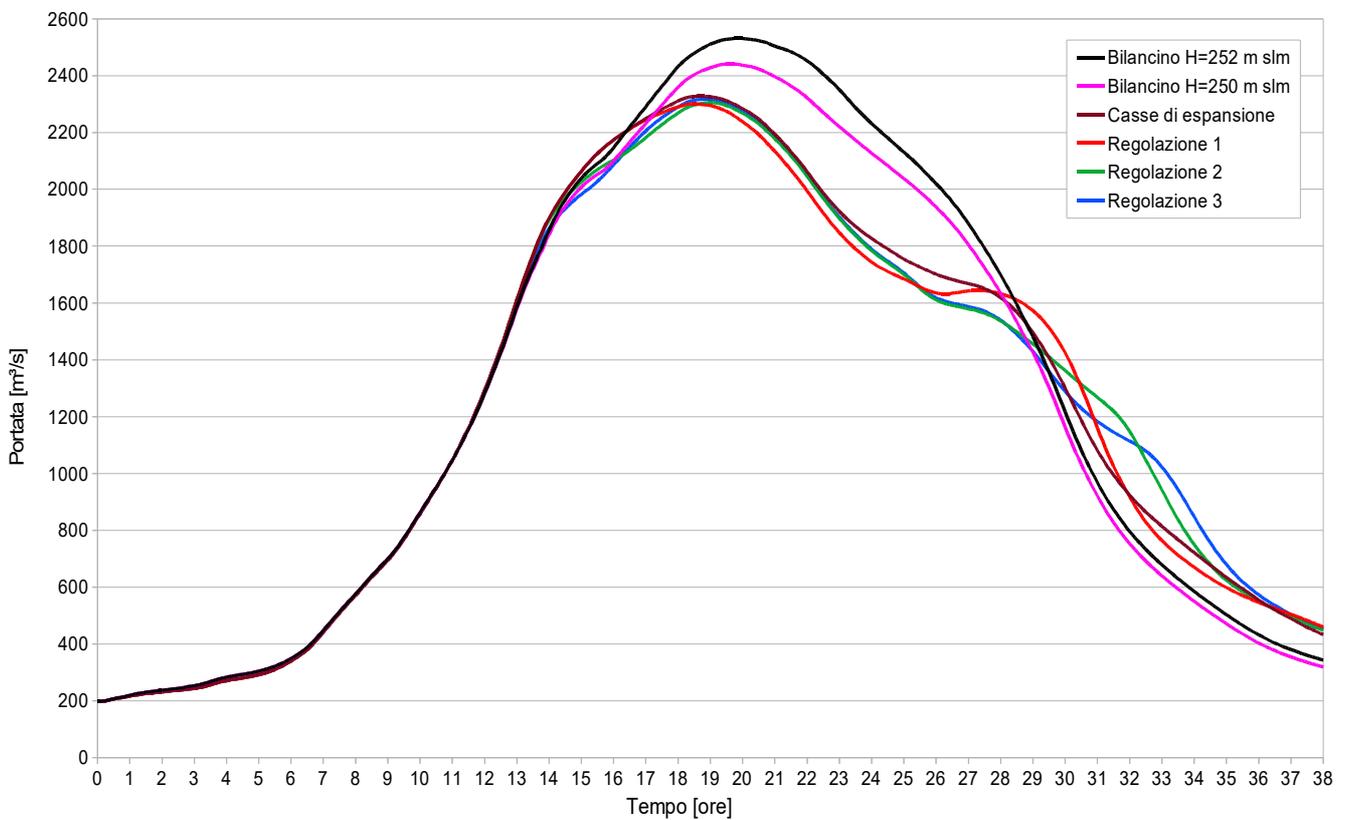


Figura 13: Confronto idrogrammi di piena stimati nella sezione 672 del fiume Arno per $Tr=30$ anni e $d=18$ ore.

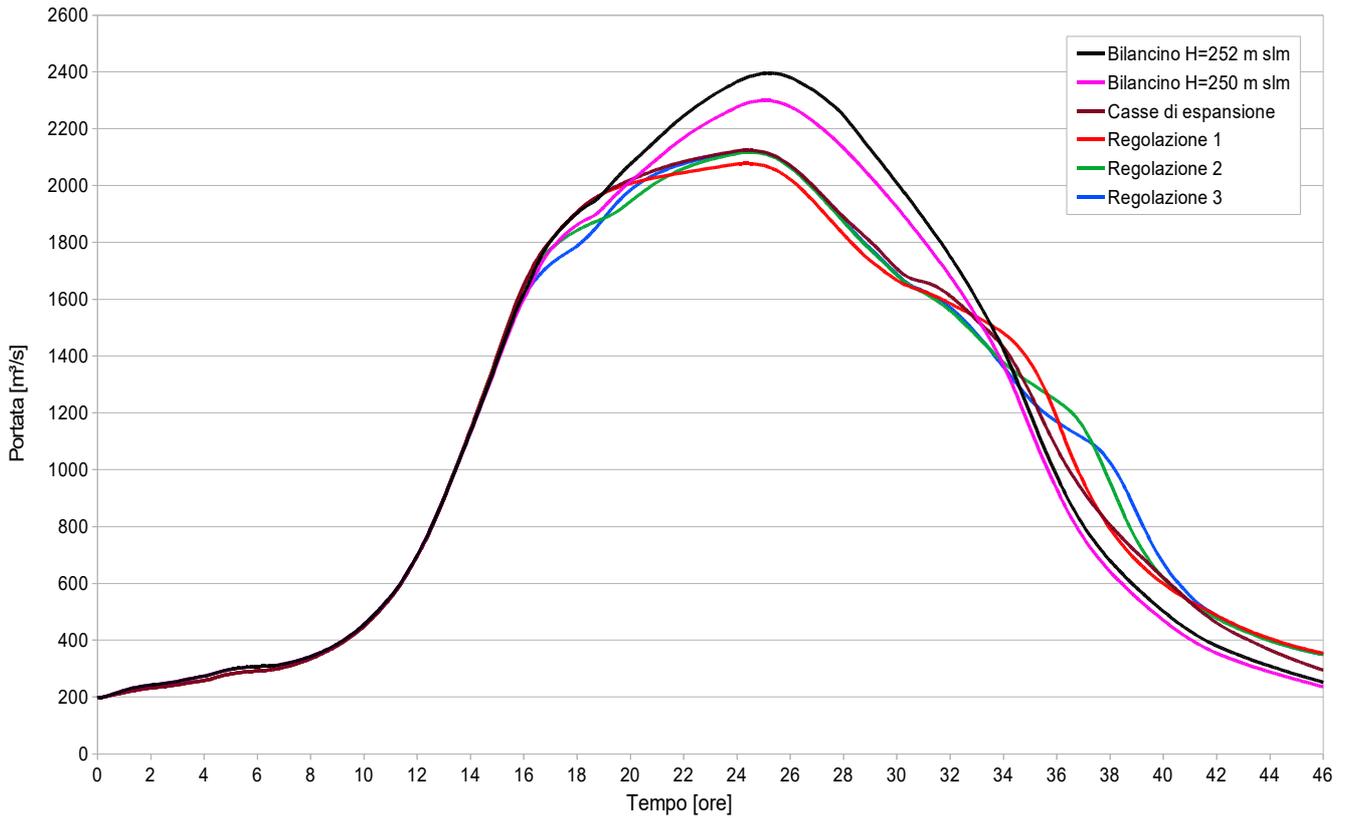


Figura 14: Confronto idrogrammi di piena stimati nella sezione 672 del fiume Arno per Tr=30 anni e d=24 ore.

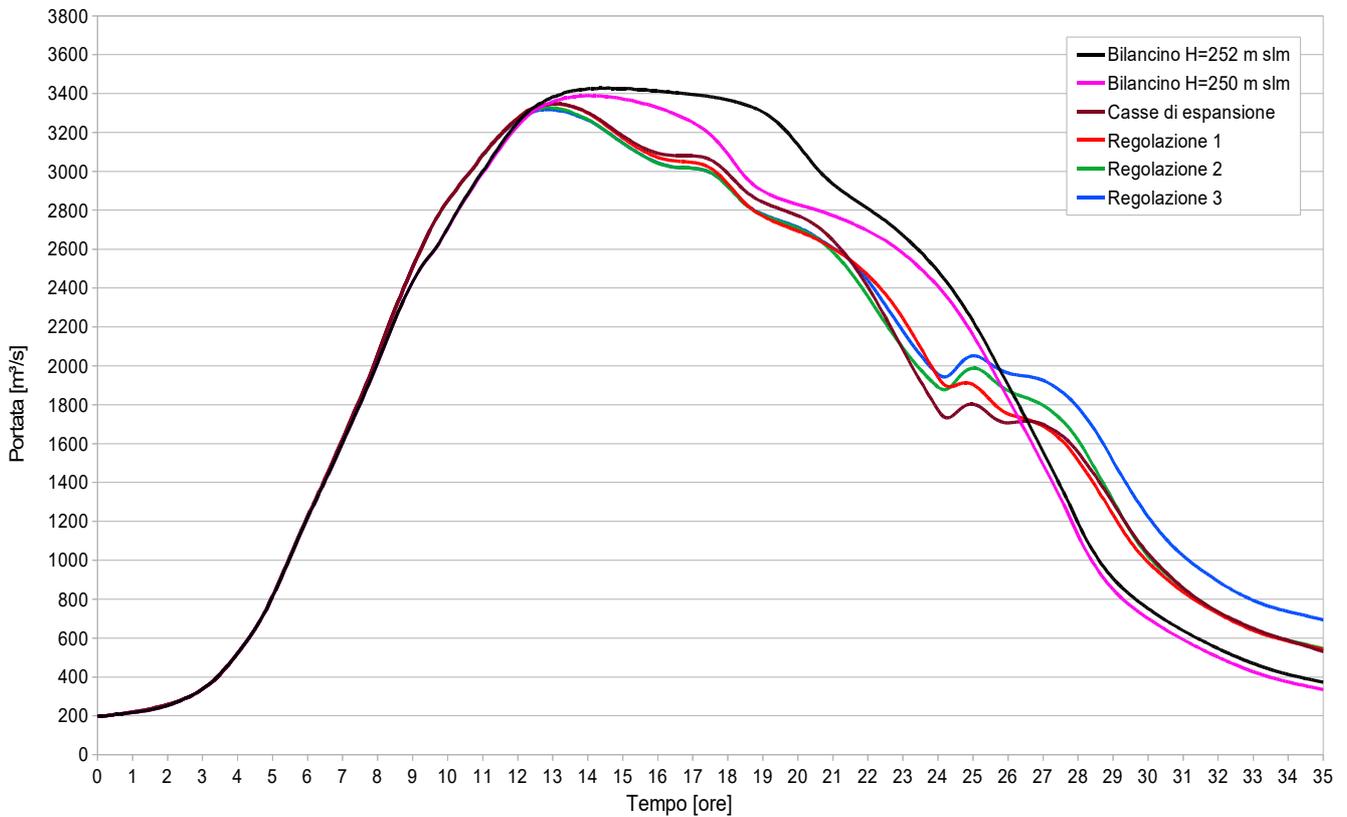


Figura 15: Confronto idrogrammi di piena stimati nella sezione 672 del fiume Arno per Tr=200 anni e d=12 ore.

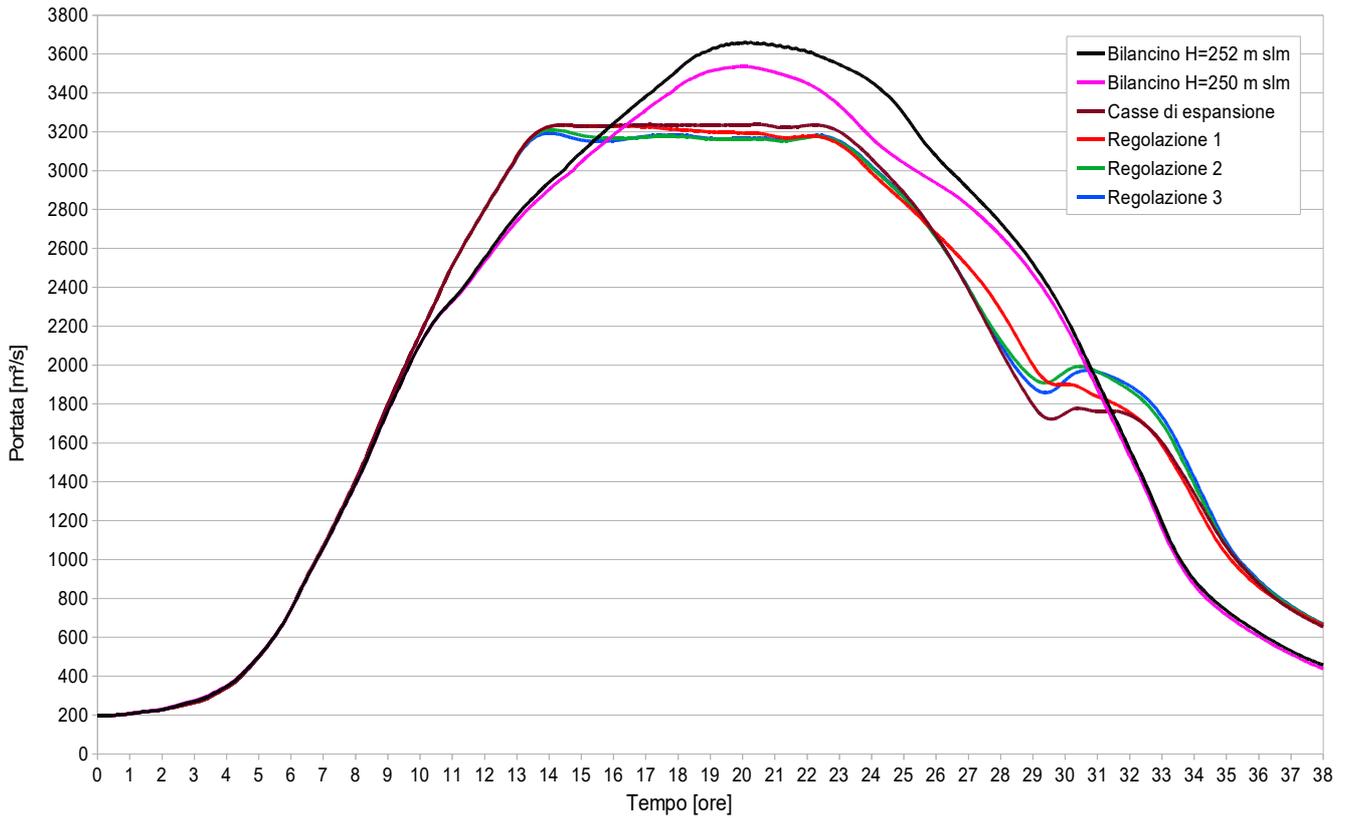


Figura 16: Confronto idrogrammi di piena stimati nella sezione 672 del fiume Arno per $Tr=200$ anni e $d=18$ ore.

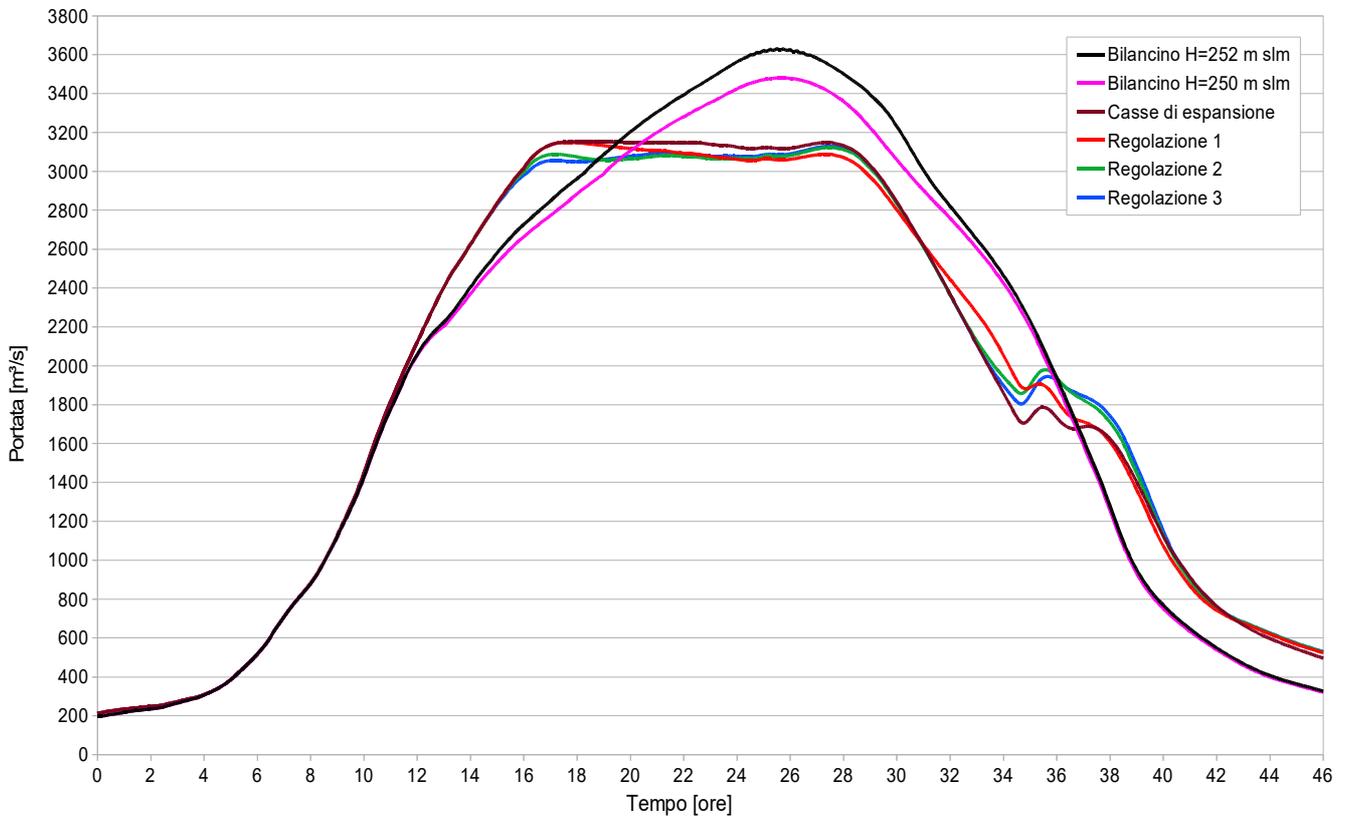


Figura 17: Confronto idrogrammi di piena stimati nella sezione 672 del fiume Arno per $Tr=200$ anni e $d=24$ ore.

Tabella 1.4: Confronto tra i valori al colmo della portata in transito nella sezione 672 del fiume Arno per il tempo di ritorno di 30 anni e le durate di 12, 18 e 24 ore nei vari scenari di verifica.

Durata [ore]	Bilancino 252 [m ³ /s]	Bilancino 250 [m ³ /s]	casse espansione [m ³ /s]	Regolazione 1 [m ³ /s]	Regolazione 2 [m ³ /s]	Regolazione 3 [m ³ /s]
12	2503	2444	2458	2457	2396	2401
18	2531	2440	2327	2300	2305	2317
24	2395	2299	2124	2078	2117	2122

Tabella 1.5: Confronto tra i valori al colmo della portata in transito nella sezione 672 del fiume Arno per il tempo di ritorno di 30 anni e le durate di 12, 18 e 24 ore nei vari scenari di verifica.

Durata [ore]	Bilancino 252 [m ³ /s]	Bilancino 250 [m ³ /s]	casse espansione [m ³ /s]	Regolazione 1 [m ³ /s]	Regolazione 2 [m ³ /s]	Regolazione 3 [m ³ /s]
12	3429	3390	3347	3346	3329	3317
18	3661	3536	3237	3234	3209	3192
24	3630	3480	3152	3148	3122	3129

1.4 BENEFICI ATTESI A SCALA DI BACINO NELLA PIANA FIORENTINA

Ai fini della valutazione dell'efficacia del sistema di interventi nella mitigazione del rischio idraulico a scala di bacino nella piana fiorentina, con particolare riferimento all'intervento di sopralzo della diga di Levane, sono aggiornate le analisi idrauliche del tratto di fiume Arno tra l'idrometro di Rosano e quello di Brucianesi, utilizzando come condizioni al contorno di monte gli idrogrammi delle portate in uscita dal modello numerico del tratto fluviale di monte per i vari scenari di verifica descritti al §1.3.

Il modello numerico utilizzato è quello elaborato dall'Autorità di Bacino dell'Appennino Settentrionale nell'ambito della redazione delle mappe del PGRA della piana fiorentina.

Gli scenari di verifica, richiamati per maggiore chiarezza di seguito, sono quelli descritti al §1.3:

- 1) configurazione "originaria" del fiume Arno senza casse di espansione nel Medio Valdarno e con il livello idrometrico dell'invaso di Bilancino a quota 252,0 m s.l.m.;
- 2) configurazione "originaria" senza la realizzazione di alcuna cassa di espansione nel Medio Valdarno e con il livello idrometrico dell'invaso di Bilancino a 250,0 m s.l.m. (volume di laminazione aggiuntivo di 10 Mm³);
- 3) configurazione con tutte le casse di espansione nel Medio Valdarno realizzate (volume di invaso di 25 Mm³) e con il livello idrometrico dell'invaso di Bilancino a 250,0 m s.l.m.;
- 4) configurazione con tutte le casse di espansione nel Medio Valdarno, livello idrometrico dell'invaso di Bilancino a 250,0 m s.l.m. e realizzazione del sopralzo della diga di Levane. È considerata un'unica modalità di gestione delle paratoie corrispondente a quella indicata con la regolazione 3 (volume di laminazione aggiuntivo di 4 Mm³).

Nella Figura 18 è riportata la planimetria delle varie macro-zone con cui è suddivisa la piana fiorentina per la valutazione dei benefici idraulici attesi in seguito alla progressiva attuazione degli interventi di mitigazione del rischio idraulico analizzati.

Nella Tabella 1.6 e nella Tabella 1.7 sono riportati, rispettivamente per i tempi di ritorno di 30 e 200 anni, i confronti tra i massimi volumi esondati (involuppo per le varie durate) nelle varie macro-zone in cui è suddivisa la piana fiorentina per ogni scenario di verifica, nonché le variazioni percentuali di ciascuno scenario rispetto a quello immediatamente precedente.

Dall'analisi dei risultati emerge che, per l'evento con tempo di ritorno di 200 anni, l'adozione del piano di laminazione di Bilancino consente una riduzione complessiva dei volumi accumulati nelle aree di potenziale esondazione di circa 7.8 Mm³, la realizzazione del sistema di casse di espansione nel Medio Valdarno permette un'ulteriore riduzione di 5.2 Mm³, mentre il sopralzo della diga di Levane determina un incremento di beneficio di circa 2.8 Mm³ in termini di attenuazione dei volumi esondati.

Il rendimento di ogni elemento del complesso sistema di laminazione nella mitigazione del rischio idraulico nella piana fiorentina, è valutato eseguendo il rapporto tra il volume che effettivamente concorre alla riduzione delle esondazioni con il volume di laminazione disponibile dall'intervento. In questo modo il rendimento del piano di laminazione di Bilancino è di circa il 78%, quello delle casse di espansione nel Medio Valdarno del 21% e quello del sopralzo della diga di Levane del 70%.

I volumi residui che interessano il centro storico di Firenze (macro-zona Firenze città), tra il ponte Paolo Borsellino ed il ponte alla Vittoria, con l'attuazione dell'intervento di sopralzo della diga di Levane sono pari a 0.03 Mm³ (2,7 Mm³ nello scenario 1; ~1 Mm³ nello scenario 2; 0.06 Mm³ nello scenario 3).

Per il tempo di ritorno di 30 anni la riduzione complessiva dei volumi accumulati nelle aree di potenziale esondazione è di circa 2.0 Mm³ con l'adozione del piano di laminazione di Bilancino, di 2.2 Mm³ con la realizzazione delle casse di espansione e di 0.15 Mm³ con il sopralzo della diga di Levane. In questo caso, il rendimento del piano di laminazione di Bilancino è di circa il 20%, quello delle casse di espansione nel Medio Valdarno di circa il 10%, mentre quello del sopralzo della diga di Levane è del 4%.

Occorre comunque osservare che l'intervento di sopralzo della diga di Levane ha il beneficio, per l'evento trentennale con durata 12 ore, di eliminare le esondazioni nella macro-zona Sieci e di ridurre quelle nella macro-zona S. Andrea a Rovezzano, dove le casse di espansione nel Medio Valdarno determinavano un modesto aggravio.

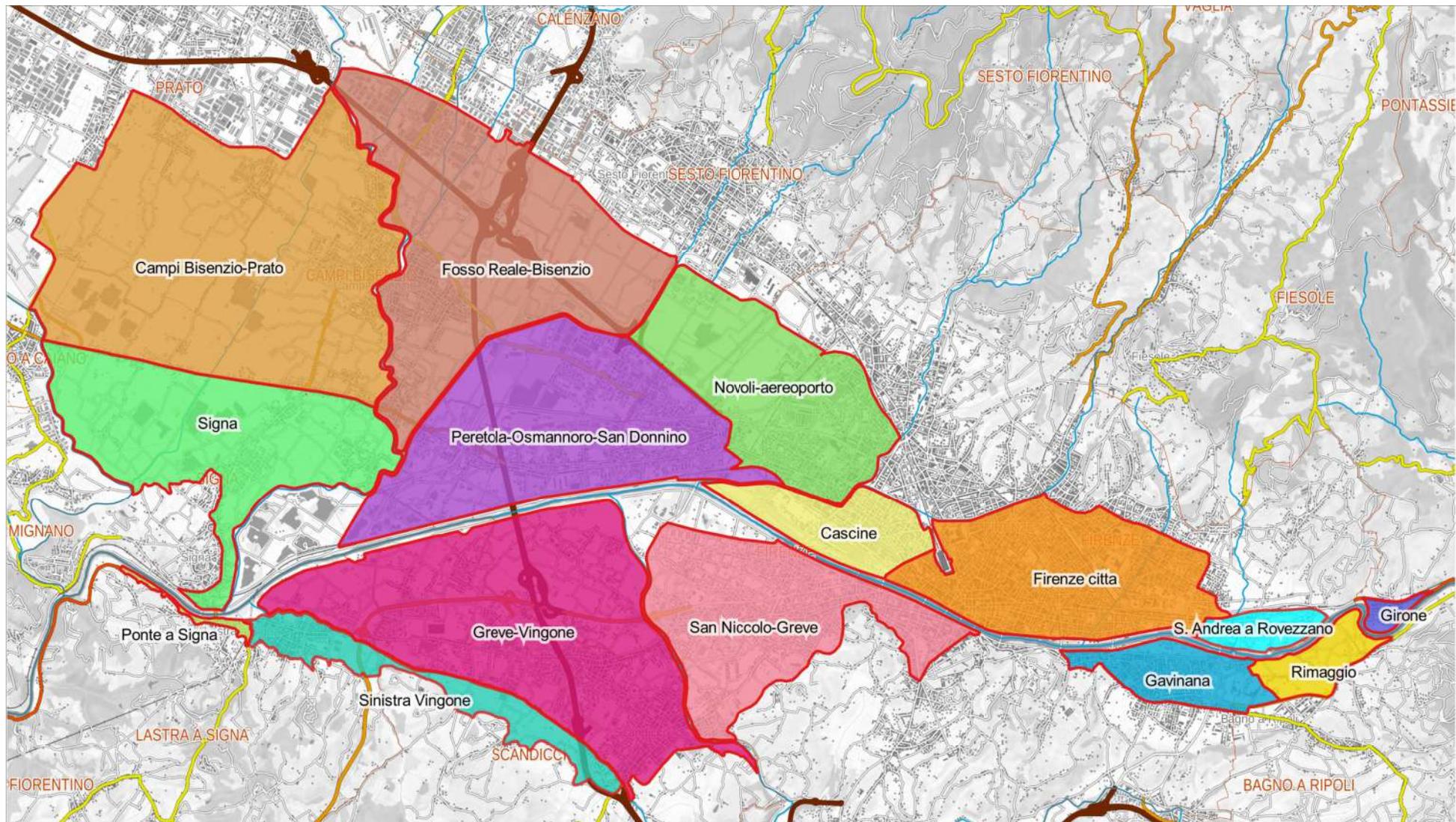


Figura 18: Planimetria delle zone di valutazione dei benefici a scala di bacino della piana fiorentina.

Tabella 1.6: Volumi massimi (inviluppo) invasati nelle varie macro-zone della piana fiorentina per Tr=30 anni.

Zona	Scenario 1 [m ³]	Scenario 2 [m ³]	Scenario 3 [m ³]	Scenario 4 [m ³]	Modifica 1-V ₂ /V ₁	Modifica 1-V ₃ /V ₂	Modifica 1-V ₄ /V ₃
Sieci	33'370	2'120	5'070	0	93.6%	-139.2%	100%
Girone	30	0	0	0	100%	-	-
Rimaggio	0	0	0	0	-	-	-
Gavinana	0	0	0	0	-	-	-
S. Andrea a Rovezzano	107'180	101'860	103'020	99'210	5.0%	-1.18%	3.7%
Firenze città	0	0	0	0	-	-	-
Cascine	0	0	0	0	-	-	-
San Niccolò-Greve	0	0	0	0	-	-	-
Novoli-aeroporto	0	0	0	0	-	-	-
Peretola-San Donnino	572'590	328'400	144'450	126'320	42.6%	56.0%	12.69%
Greve-Vingone	342'550	213'480	31'260	18'090	37.7%	85.4%	42.1%
Sinistra Vingone	1'788'300	1'305'330	481'450	415'840	27.0%	63.1%	13.6%
Ponte a Signa	15'360	0	0	0	100%	-	-
Fosso Reale-Bisenzio	700	190	0	0	72.9%	100%	-
Signa	1'502'530	949'900	205'730	161'740	36.8%	78.3%	21.4%
Campi Bisenzio-Prato	771'200	265'750	0	0	65.5%	100%	-
TOTALE	5'133'810	3'167'030	970'980	821'200	38.3%	69.3%	15.4%

Tabella 1.7: Volumi massimi (inviluppo) invasati nelle varie macro-zone della piana fiorentina per Tr=200 anni.

Zona	Scenario 1 [m ³]	Scenario 2 [m ³]	Scenario 3 [m ³]	Scenario 4 [m ³]	Modifica 1-V ₂ /V ₁	Modifica 1-V ₃ /V ₂	Modifica 1-V ₄ /V ₃
Sieci	441'880	395'440	319'120	310'930	10.5%	19.3%	2.6%
Girone	120'160	105'140	86'470	83'190	12.5%	17.8%	3.8%
Rimaggio	1'280	1'220	310	110	4.7%	74.6%	64.5%
Gavinana	102'820	74'030	1'850	250	28.0%	97.5%	86.5%
S. Andrea a Rovezzano	353'210	316'000	275'600	268'120	10.5%	12.8%	2.7%
Firenze città	2'667'820	979'880	58'640	29'310	63.3%	94.0%	50.0%
Cascine	1'886'050	1'490'120	1'328'030	1'255'430	21.0%	10.9%	5.5%
San Niccolò-Greve	26'460	26'460	26'530	26'530	0.0%	-0.3%	0.0%
Novoli-aeroporto	515'880	285'920	117'590	89'670	44.6%	58.9%	23.7%
Peretola-San Donnino	19'559'640	17'520'210	16'127'680	15'014'480	10.4%	7.9%	6.9%
Greve-Vingone	23'031'640	21'056'670	19'329'650	18'297'190	8.6%	8.2%	5.3%
Sinistra Vingone	3'715'290	3'707'110	3'695'030	3'688'720	0.2%	0.3%	0.2%
Ponte a Signa	352'090	351'490	350'930	350'620	0.2%	0.2%	0.1%
Fosso Reale-Bisenzio	1'954'630	1'947'590	1'981'240	1'975'600	0.4%	-1.7%	0.3%
Signa	19'024'270	18'421'080	18'126'510	17'903'360	3.2%	1.6%	1.2%
Campi Bisenzio-Prato	15'559'340	14'823'540	14'457'010	14'194'510	4.7%	2.5%	1.8%
TOTALE	89'312'460	81'501'900	76'282'020	73'488'730	8.7%	6.4%	3.7%

1.5 ANALISI DELLA VULNERABILITÀ DEI TERRITORI A MONTE DELLO SBARRAMENTO

Nel presente paragrafo sono valutati gli effetti delle possibili modalità di gestione delle paratoie della diga di Levane sulla vulnerabilità dei territori a monte dello sbarramento in seguito all'attuazione dell'intervento di sopralzo.

Come descritto nei precedenti paragrafi, il livello idrometrico nel tratto compreso fra le dighe di La Penna e Levane dipende dal livello del lago in prossimità della diga di Levane, dalla portata esitata dai suoi organi di regolazione e dalle portate di piena a valle dello sbarramento di La Penna.

Nell'ipotesi di ottimizzare la laminazione dell'idrogramma di piena esitato a valle della diga con l'attuazione di una legge di manovra delle paratoie definita in modo ottimistico sulla base del caso "deterministico" (come riportato negli studi [4] e [6]), si determina il raggiungimento del livello di massimo invaso di 172.0 m s.l.m. per un solo istante nella fase calante della piena. In tal caso, quando il colmo di piena transita nella piana di Laterina, la condizione al contorno di valle, in termini di livelli idrometrici immediatamente a monte dello sbarramento, risulta prossima a quello dello stato attuale in cui le quote di massima regolazione e massimo invaso coincidono a 167.5 m s.l.m., generando a monte del restringimento del ponte del Romito dei profili della superficie libera sostanzialmente coincidenti con quelli dello stato ante intervento.

Nell'ipotesi di taglio inferiore al valore "ottimale", come quello attuato nelle presenti simulazioni per ottimizzare lo sfasamento dei colmi di piena tra i fiumi Arno e Sieve, si genera un prematuro riempimento del volume di invaso con il raggiungimento della quota di massimo invaso di 172.0 m s.l.m. nella fase ascendente della piena, tanto prima quanto minore è la portata di taglio. In tal caso il colmo di piena può transitare nella piana di Laterina con una condizione al contorno di valle al limite pari al livello di massimo invaso di 172.0 m s.l.m., determinando un incremento dei livelli di superficie libera anche a monte del ponte del Romito rispetto allo stato ante intervento.

Nel seguito il confronto tra le dinamiche di inondazione nella piana di Laterina stimate nello stato attuale e in quello di progetto è eseguito con riferimento allo scenario progettuale che prevede una modalità di gestione delle paratoie secondo la regolazione 3, che risulta, sulla base delle considerazioni sopra esposte, la più gravosa in termini di incremento dei battenti nel tratto a monte del ponte del Romito rispetto allo stato ante intervento.

Nella Figura 19 e nella Figura 20 sono riportate le planimetrie dei battenti di esondazione massimi (inviluppo per le durate di 12, 18 e 24 ore) valutati per lo stato attuale rispettivamente per i tempi di ritorno di 30 e 200 anni, mentre nella Figura 21 e nella Figura 22 sono rappresentati quelli massimi (inviluppo) stimati per gli eventi trentennale e duecentennale nello stato di progetto con il sopralzo della diga attuando la regolazione 3.

Nella Figura 23 e nella Figura 24 si riporta il confronto delle aree allagate in termini di differenza dei battenti di esondazione massimi (inviluppo) tra stato attuale e stato di progetto di sopralzo per i tempi di ritorno di 30 e 200 anni.

Nella Figura 25 e nella Figura 26 è rappresentata la magnitudo idraulica calcolata per lo stato attuale e quello di progetto ai sensi della L.R. 41/2018, come il risultato della combinazione tra i valori dei battenti idrometrici e delle velocità di propagazione delle alluvioni poco frequenti.

I risultati mettono in evidenza che i battenti di esondazione nello stato di progetto con il sopralzo della diga aumentano rispetto allo stato attuale, con differenze maggiori in corrispondenza del ponte del Romito e progressivamente minori risalendo a monte verso il ponte Catolfi.

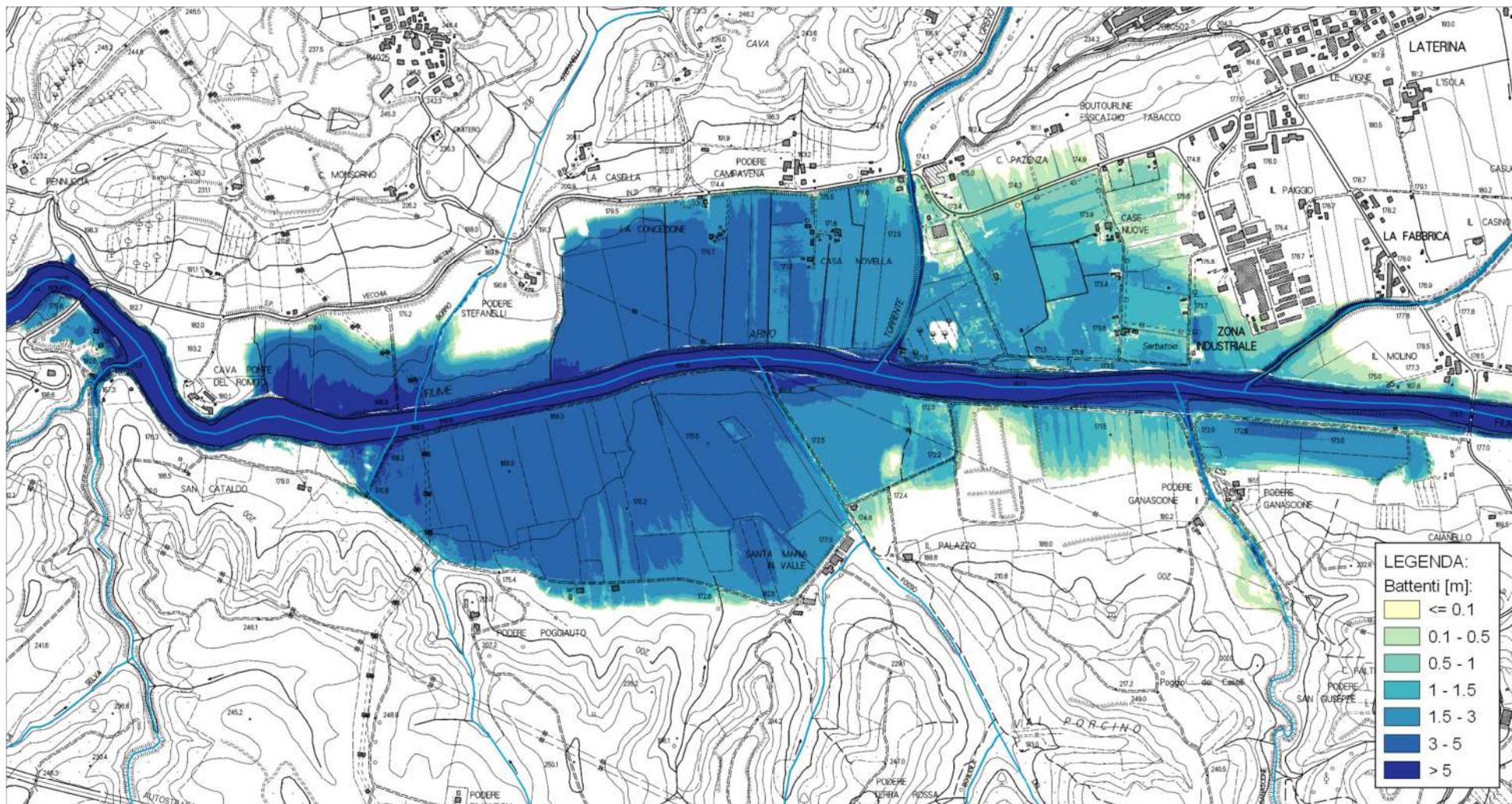


Figura 19: Battenti di esondazione massimi nella piana di Laterina per Tr=30 anni nello stato attuale.

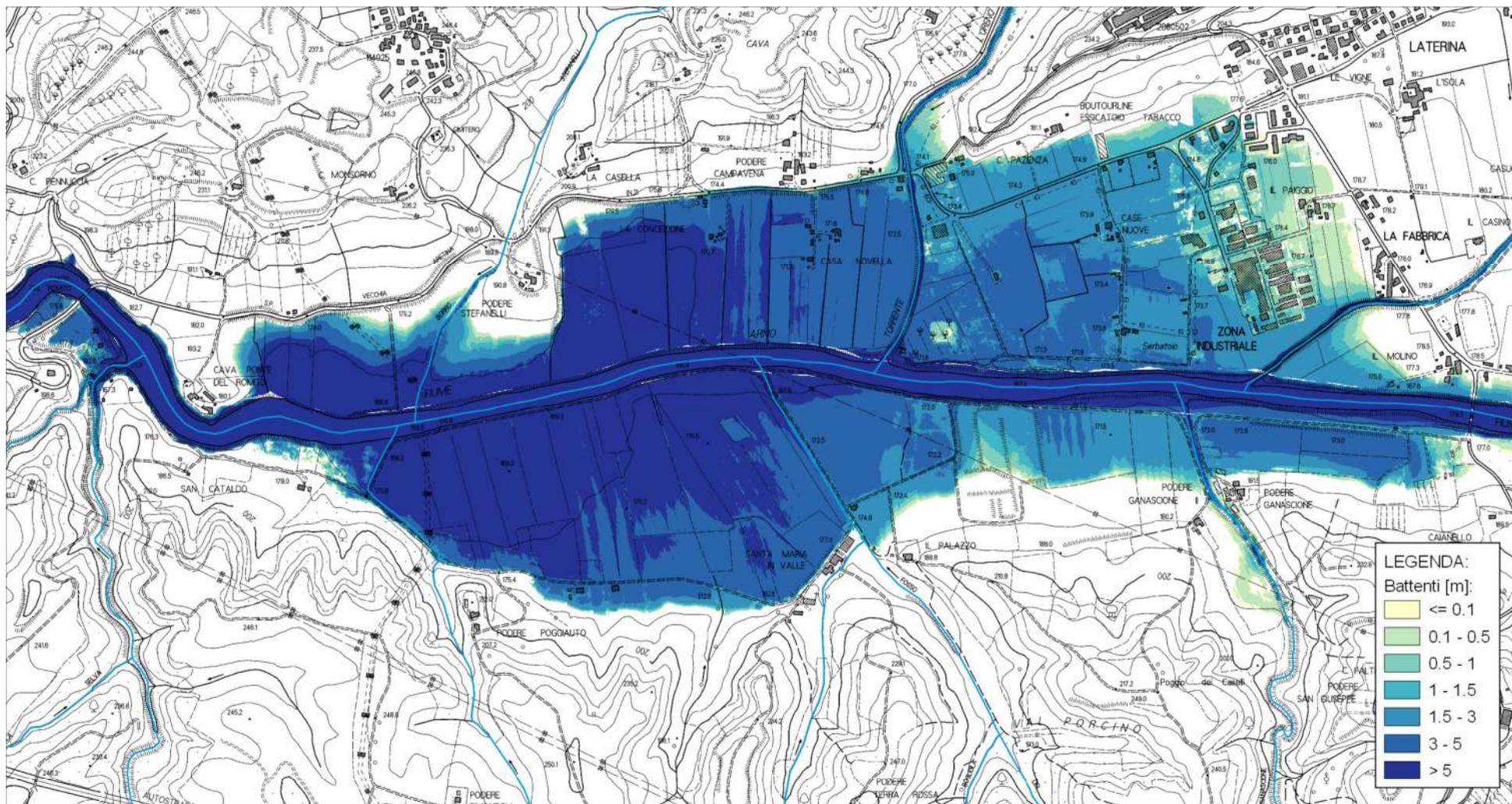


Figura 20: Battenti di esondazione massimi nella piana di Laterina per $Tr=200$ anni nello stato attuale.

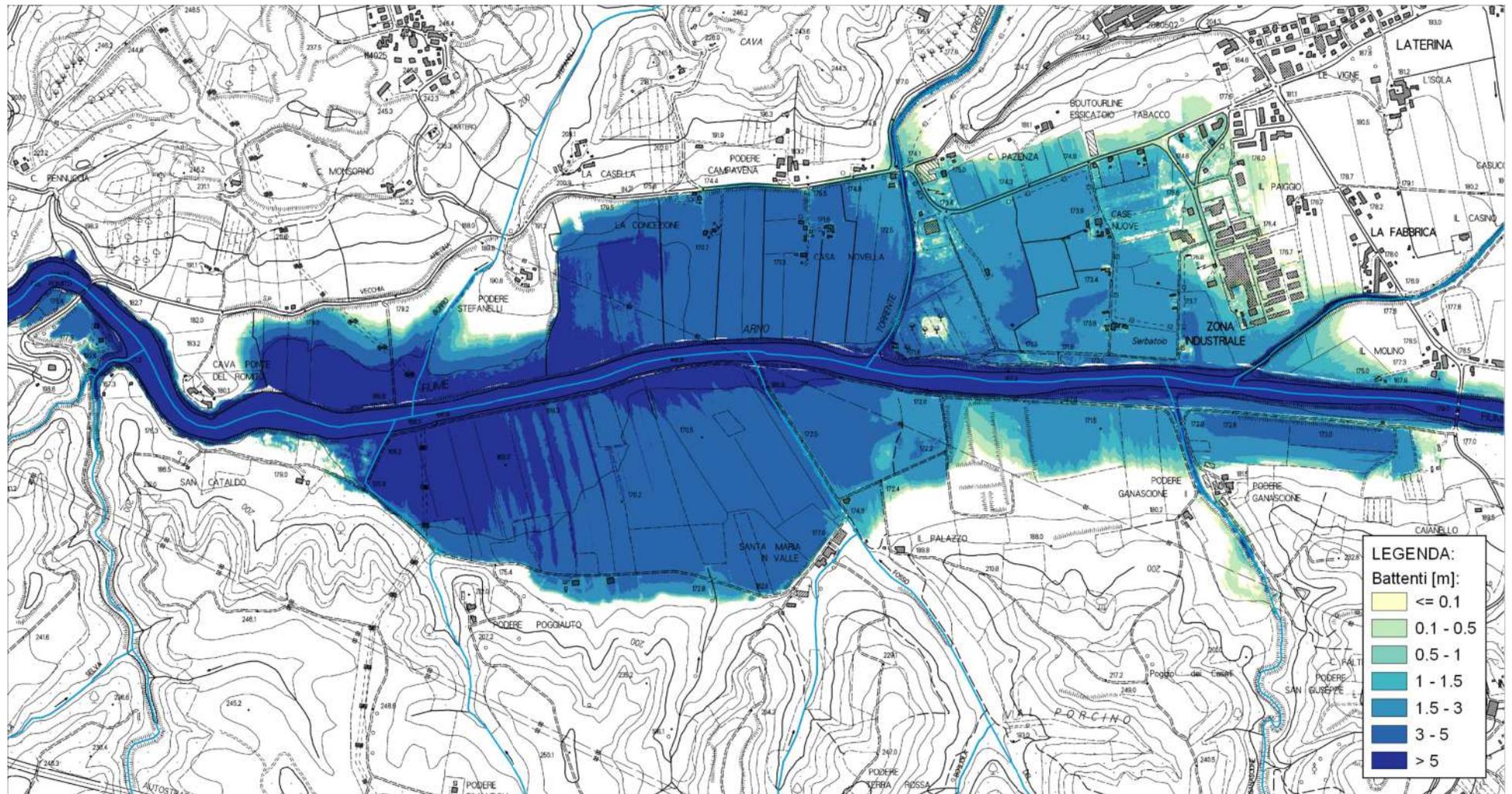


Figura 21: Battenti di esondazione massimi nella piana di Laterina per $T_r=30$ anni nello stato di progetto di sopralzo della diga di Levane (regolazione 3).

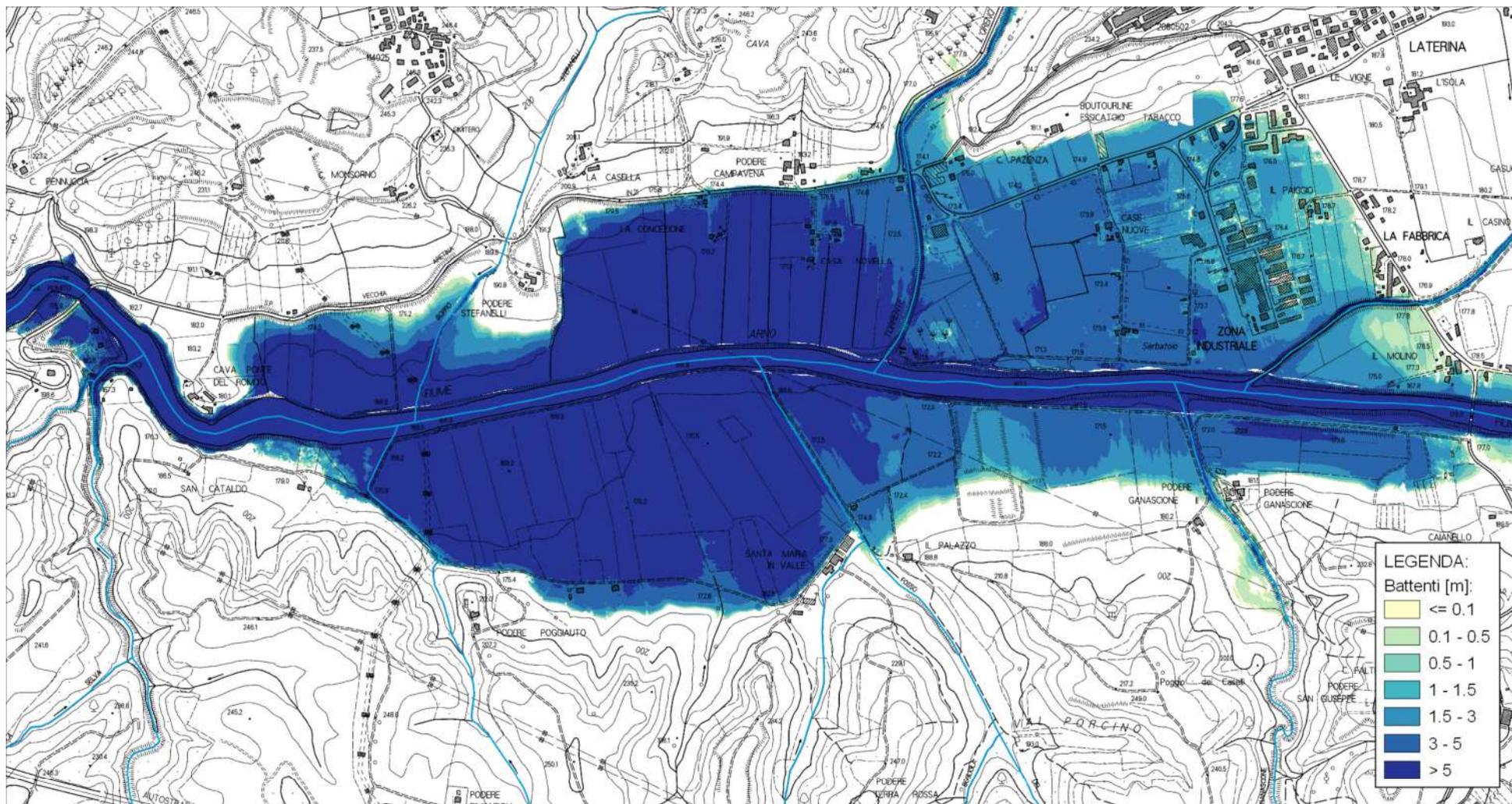


Figura 22: Battenti di esondazione massimi nella piana di Laterina per $T_r=200$ anni nello stato di progetto di soprizzo della diga di Levane (regolazione 3).

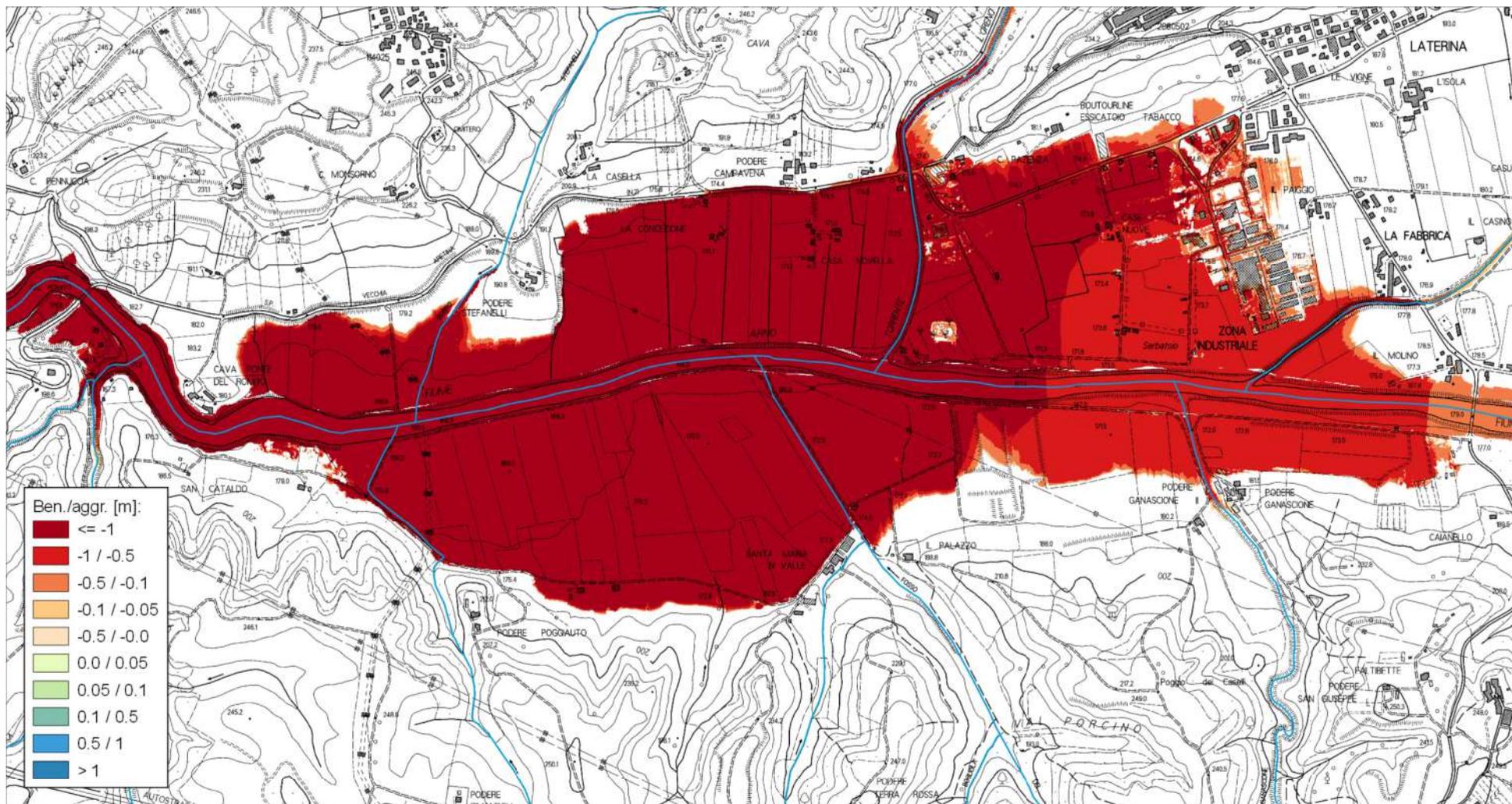


Figura 23: Beneficio/aggravio in termini di differenza dei battenti di esondazione tra lo stato attuale e quello di progetto di sopralzo per $Tr=30$ anni.

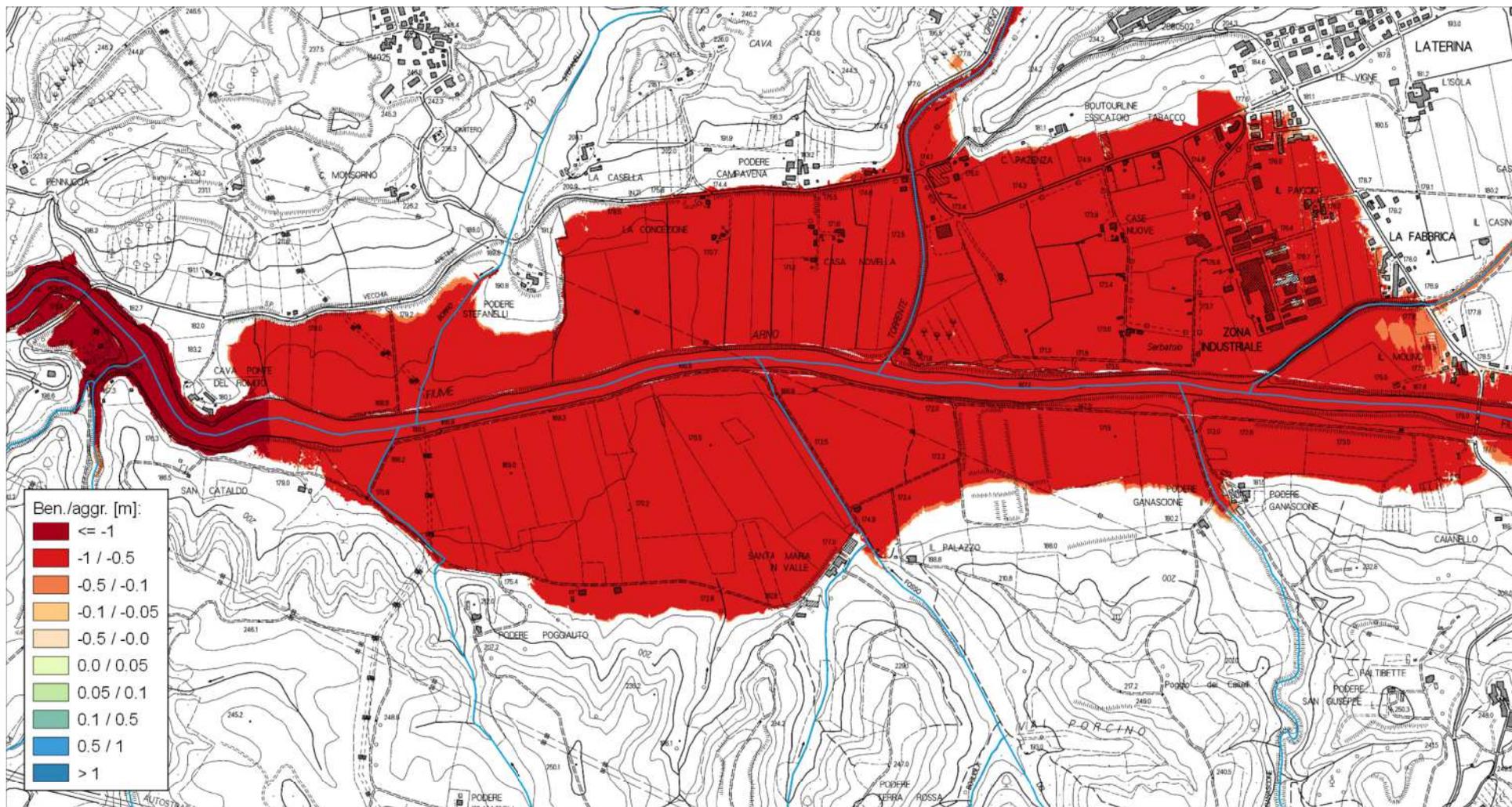


Figura 24: Beneficio/aggravio in termini di differenza dei battenti di esondazione tra lo stato attuale e quello di progetto di soprizzo per $Tr=200$ anni.

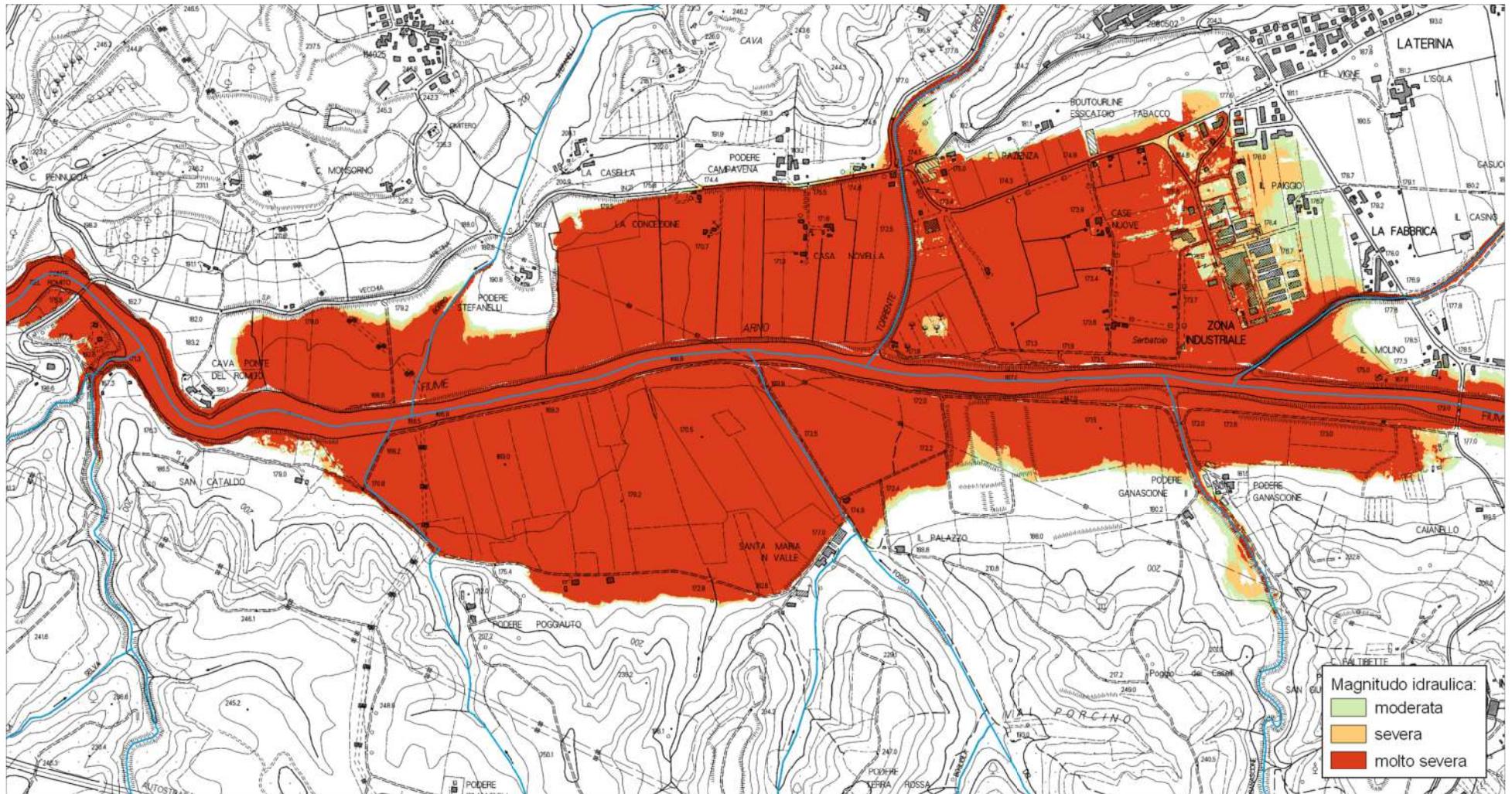


Figura 25: Magnitudo idraulica dello stato attuale.

Per il tempo di ritorno di 30 anni gli incrementi di battente sono di circa 1.6 m a monte del ponte del Romito e di circa 0.45 m a valle del ponte Catolfi. In corrispondenza delle confluenze dei principali corsi d'acqua si registrano i seguenti aumenti che decrescono da valle verso monte: 1.2 m al borro Stefanelli; 1.15 m al borro del Palazzo; 1.1 m presso il torrente L'Oreno; 0.9 m al borro del Ganascione; 0.75 presso il torrente Bregine.

Per il tempo di ritorno di 200 anni gli incrementi di battente sono caratterizzati da una variazione meno marcata lungo l'asta del fiume Arno essendo circa 1.3 m a monte del ponte del Romito e circa 0.75 m a valle del ponte Catolfi, mentre in corrispondenza delle confluenze assumono i seguenti valori: 0.95 m al borro Stefanelli; 0.92 m al borro del Palazzo; 0.9 m presso il torrente L'Oreno; 0.85 m al borro del Ganascione; 0.8 presso il torrente Bregine.

In seguito ai suddetti incrementi di battente la magnitudo idraulica nella zona industriale passa da severa a molto severa.

Occorre osservare che, come evidenziato dal vigente PGRA, la piana di Laterina è interessata già allo stato attuale da esondazioni per eventi trentennali e duecentennali con battenti elevati e che l'area è stata coinvolta in passato da inondazioni per le piene del 1966 e del 1992.

La messa in sicurezza locale dalle piene del fiume Arno della piana di Laterina, con particolare riferimento all'area ove sono presenti edifici residenziali ed attività produttive, è affidata ad interventi di difesa passiva (argini) definiti nel progetto esecutivo [11] redatto dal Settore Genio Civile Valdarno Superiore, nell'ambito dell'Accordo di Programma approvato con DPGR n. 3 del 12/01/2015, fra Regione Toscana, Enel, Provincia di Arezzo, Comune di Laterina e Pergine Valdarno ed Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale.

Tali interventi garantiscono la messa in sicurezza di una vasta area della piana di Laterina, nella quale sono ricompresi i principali insediamenti urbani, senza apprezzabile aggravio del rischio nelle aree contermini.

Sebbene la Direzione Generale per le dighe e le infrastrutture idriche ed elettriche indichi (nota n. 23155 del 09/10/2018) che il progetto di sopralzo della diga di Levane debbano essere considerati i soli effetti del progettato incremento di quota di massimo invaso della diga fino alla disconnessione individuata dal ponte del Romito e che esuli dalla Sua competenza l'esame di eventuali arginature a protezione di porzioni della piana di Laterina, risulta necessario verificare la coerenza del progetto esecutivo [11] con i risultati messi in evidenza dalle analisi condotte nel presente studio.

Nel seguito sono illustrati i risultati delle analisi idrauliche condotte col fine di verificare l'efficacia delle opere di mitigazione del rischio idraulico nella piana di Laterina in seguito al sopralzo della diga di Levane e, conseguentemente, alla nuova quota di massimo invaso considerando la modalità di regolazione delle paratoie dello scarico con ottimizzazione di sfasamento degli idrogrammi di piena dei fiume Arno e Sieve e cioè la più gravosa in termini di incremento dei battenti nel tratto a monte dello sbarramento (regolazione 3).

I rilevati arginali previsti nel progetto esecutivo [11] hanno una lunghezza complessiva di 1.9 km con altezze medie di 3.4 m, una sagoma larga in testa 4.0 m e paramenti con pendenza 1:2, una pista di servizio larga 4.0 m al piede lato campagna e dei fossi di drenaggio.

Nella Figura 27 e nella Figura 28 sono riportate le planimetrie dei battenti di esondazione massimi per la durata di 12 ore ed il tempo di ritorno di 200 anni valutati per lo stato di progetto delle arginature rispettivamente in assenza e con l'intervento di sopralzo della diga di Levane attuando la regolazione 3. Nella Figura 29 e nella Figura 30 è rappresentata la magnitudo idraulica ai sensi della L.R. 41/2018 calcolata per lo stato di progetto delle arginature rispettivamente in assenza e con l'intervento di sopralzo della diga di Levane.

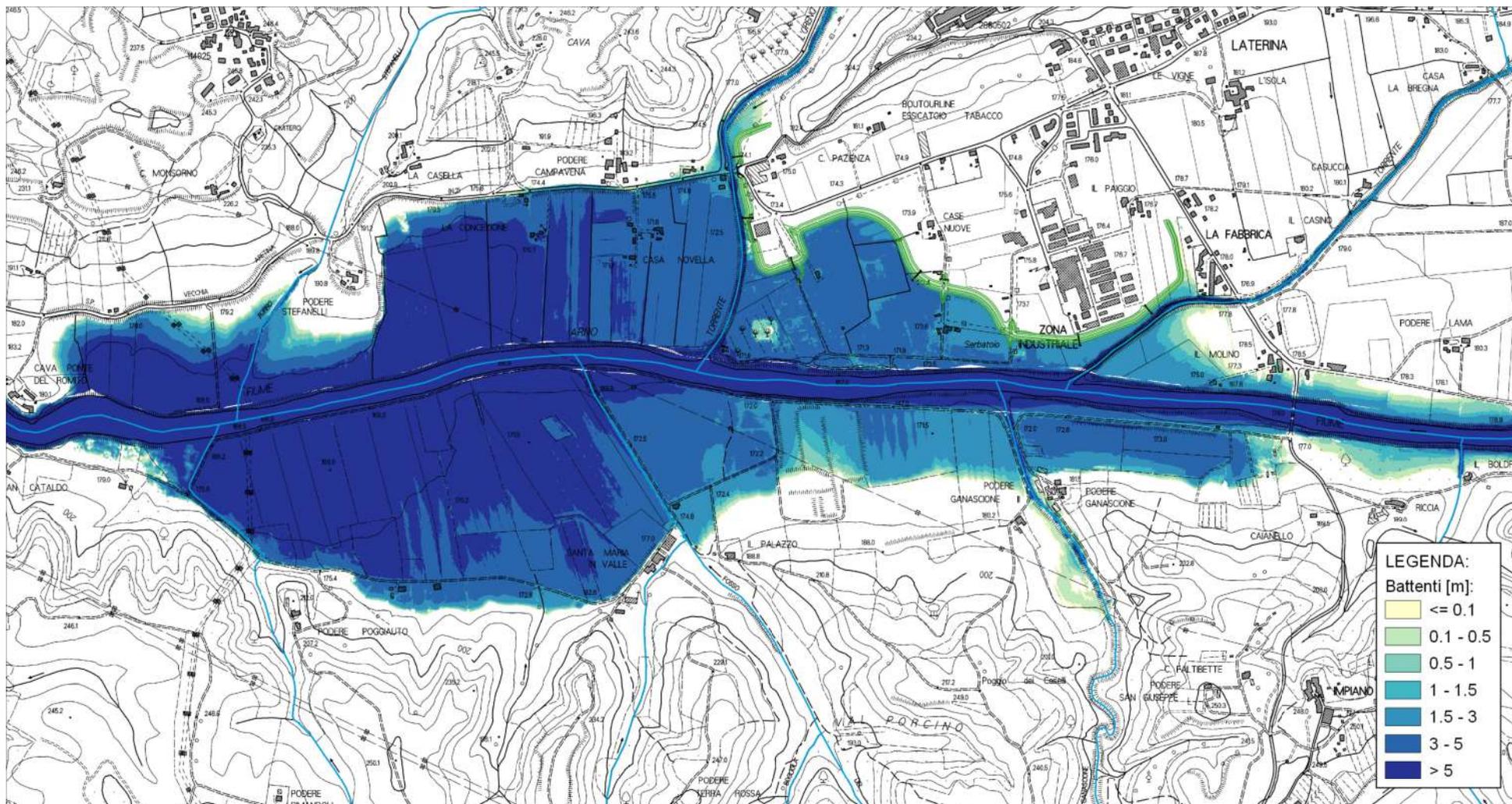


Figura 27: Battenti di esondazione massimi nella piana di Laterina per $Tr=200$ anni e $d=12$ ore nello stato di progetto delle arginature a protezione di Laterina senza l'intervento di soprizzo della diga di Levane.

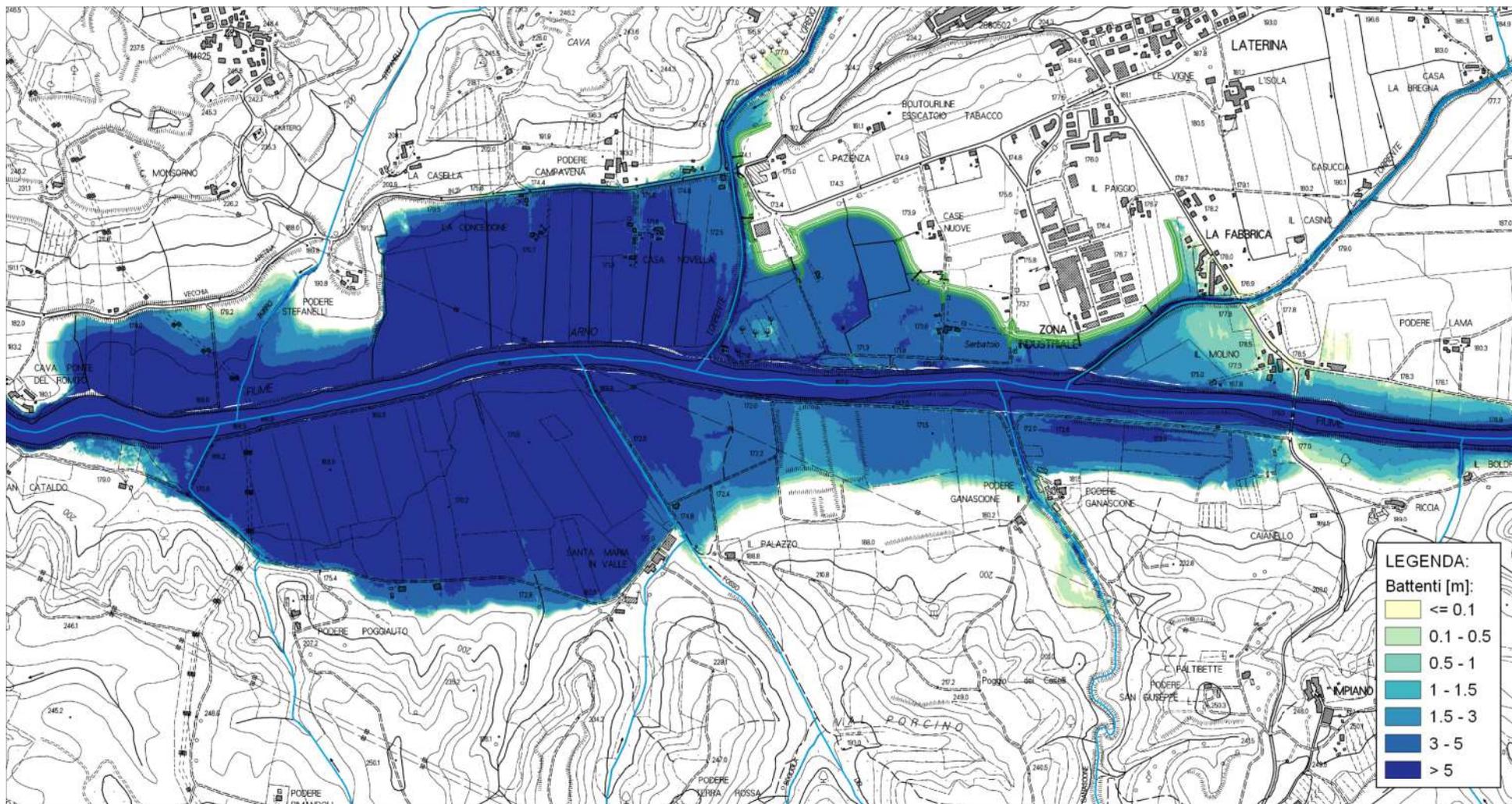


Figura 28: Battenti di esondazione massimi nella piana di Laterina per $T_r=200$ anni e $d=12$ ore nello stato di progetto complessivo che prevede l'attuazione delle arginature a protezione di Laterina e l'intervento di soprizzo della diga di Levane (regolazione 3).

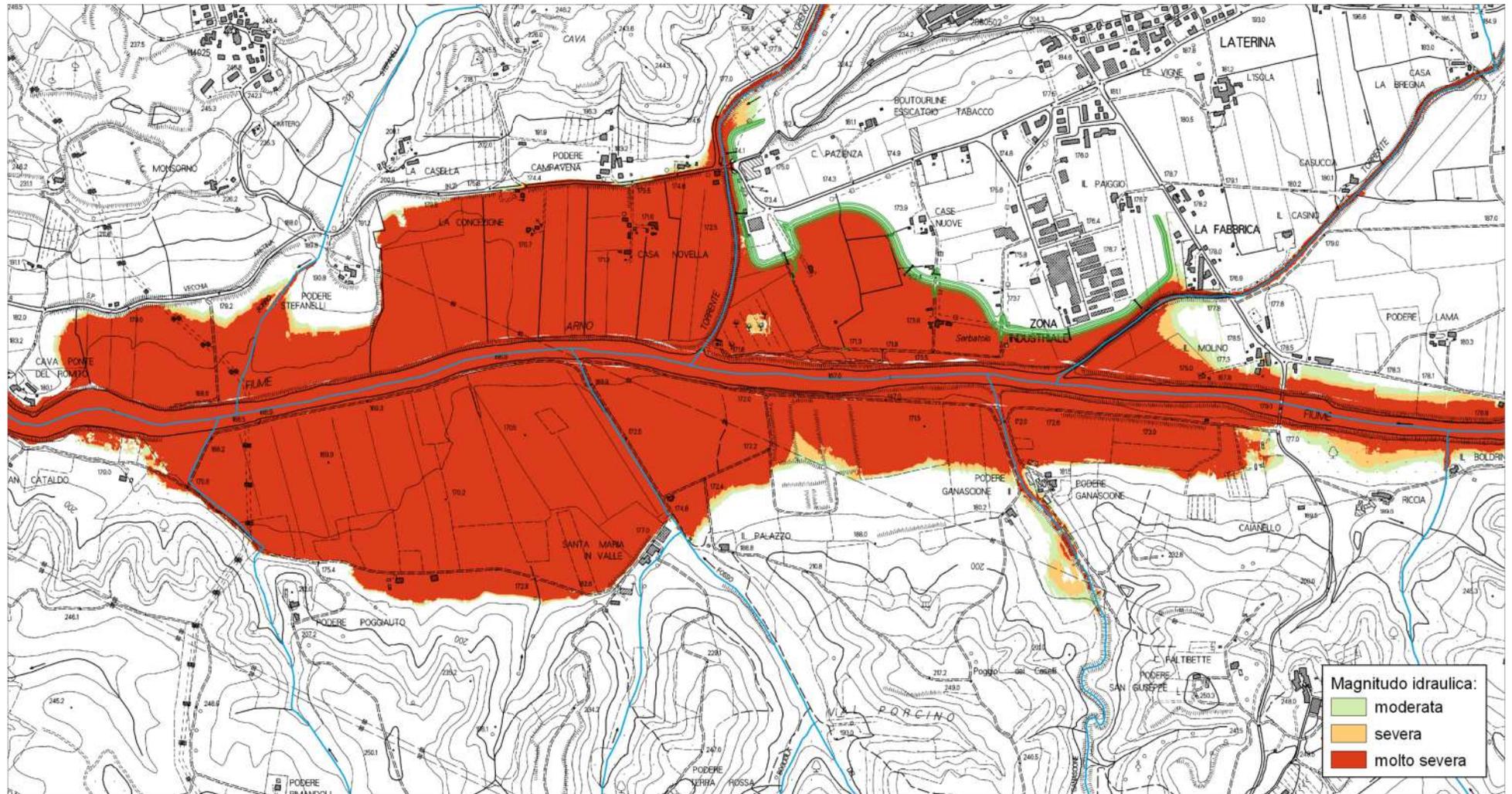


Figura 29: Magnitudo idraulica dello stato di progetto delle arginature a protezione di Laterina senza l'intervento di soprizzo della diga di Levane.

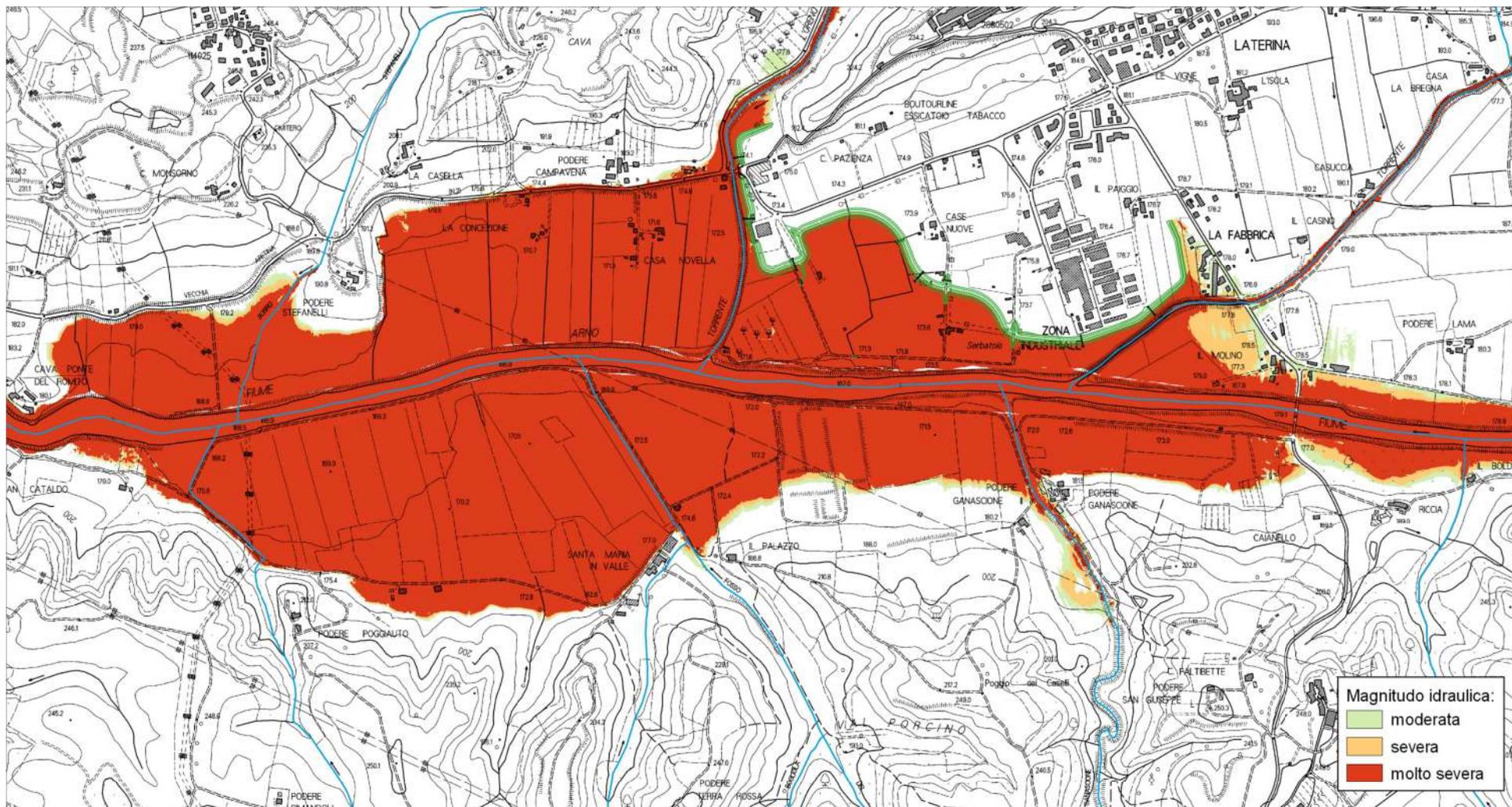


Figura 30: Magnitudo idraulica dello stato di progetto complessivo con realizzazione delle arginature a protezione di Laterina e del sopralzo della diga di Levane.

Nella Tabella 1.8 è riportato un confronto tra le quote delle arginature così come individuate nel progetto [11] ed i livelli idrometrici duecentennali stimati nello stato ante e post intervento di soprizzo della diga di Levane con riferimento ai tratti omogenei con cui è suddiviso il progetto dei nuovi rilevati.

I risultati mettono in evidenza che l'intervento di soprizzo della diga di levane, con modalità di gestione come da regolazione 3, determina un incremento dei livelli idrometrici pari a 97 cm nel tratto arginale posto più a valle, in adiacenza del torrente L'Oreno, che si riducono a 76 cm nella parte più a monte in prossimità di via Fabbrica.

Le quote di progetto delle arginature sono in grado di contenere i livelli idrometrici indotti dal soprizzo della diga, sebbene con franchi ridotti di circa 20 cm.

Tabella 1.8: Quote argini di progetto Laterina e livelli idrometrici stato ante e post soprizzo diga per Tr=200 anni.

Tratto	Lung. [m]	Sez. inizio [m ³]	Arg. [m slm]	Liv. att. [m slm]	Liv. pro. [m slm]	Sez. fine [m ³]	Arg. [m slm]	Liv. att. [m slm]	Liv. pro. [m slm]
A	156.4	A1	177.15	–	177.00	A4	177.15	176.03	177.00
B	115.4	B1	177.15	176.03	177.00	B4	177.15	176.03	177.00
C	47.0	C1	177.15	176.03	177.00	C5	177.21	176.11	177.04
D	472.1	D1	177.21	176.11	177.04	D9	177.27	176.12	177.04
E	217.2	E1	177.28	176.13	177.05	E5	177.31	176.13	177.05
F	368.4	F1	177.32	176.23	177.09	F7	177.36	176.30	177.13
G	276.8	G1	177.37	176.30	177.13	G6	177.41	176.41	177.13

Si osserva che il progetto [11] consente la sopraelevazione di 50 cm delle quote dei rilevati arginali a protezione di Laterina senza determinare alcuna variazione agli espropri, in quanto il soprizzo può essere eseguito senza modificare l'ingombro dell'intervento già previsto riducendo di un metro, da 4.0 m a 3.0 m, la larghezza della pista di servizio a campagna. In questo modo è possibile ottenere un franco di sicurezza di 70 cm in analogia ad altri interventi per la mitigazione del rischio idraulico progettati lungo l'asta del fiume Arno, in guisa del valore di 1.1 m adottato nel progetto [11].

Nell'ambito della Conferenza di Servizi del progetto esecutivo [11] sono in corso approfondimenti tecnici in merito alle chiusure idrauliche dei varchi arginali previsti in corrispondenza delle intersezioni tra il tracciato arginale di progetto e le viabilità esistenti. Tali approfondimenti valuteranno le possibili modalità di adeguamento delle opere rispetto ai livelli idrometrici conseguenti all'intervento di soprizzo della diga di Levane.

In particolare, il tracciato arginale interseca la viabilità della SP2 Vecchia Aretina, dove è prevista la realizzazione di una barriera mobile in pannelli di alluminio e montanti in acciaio inserite in due spalle in calcestruzzo armato con basamento anch'esso in c.a. posto al di sotto della sede stradale. Per tale chiusura è indicato nel progetto [11] un battente idrometrico di 1.5 m a fronte di un valore di circa 2.5 m con l'intervento di soprizzo della diga.

Particolare attenzione deve essere posta nell'individuazione della corretta chiusura idraulica in corrispondenza dell'intersezione stradale tra via Sandro Pertini e via Fabbrica.

Nella Tabella 1.9 è riportato l'aggiornamento del raffronto tra le entità delle inondazioni stimate nei vari scenari di verifica in corrispondenza dei punti significativi individuati nel progetto [11] (vedere Figura 31), esterni all'area protetta dal rilevato arginale.

Tabella 1.9: Quote argini di progetto Laterina e livelli idrometrici stato ante e post sopralzo diga per Tr=200 anni.

Punto	Hsasa [m slm]	Hspsa [m slm]	Hsasp [m slm]	Hspsp [m slm]	Ysasa [m]	Yspsa [m]	Ysasp [m]	Yspsp [m]
P01	176.06	176.18	176.91	177.06	1.47	1.59	2.32	2.47
P02	176.04	176.13	176.91	177.05	2.78	2.87	3.65	3.79
P03	175.97	176.05	176.88	177.01	0.72	0.80	1.63	1.76
P04	175.96	176.03	176.88	177.00	2.51	2.58	3.43	3.55
P05	175.95	176.03	176.87	177.00	4.27	4.35	5.19	5.32
P06	175.95	176.03	176.87	177.00	3.63	3.71	4.55	4.68
P07	175.95	176.03	176.87	177.00	3.94	4.02	4.86	4.99
P08	175.95	176.03	176.87	177.00	4.05	4.13	4.97	5.10
P09	175.95	176.03	176.87	177.00	4.94	5.02	5.86	5.99
P10	175.95	176.03	176.87	177.00	4.22	4.30	5.14	5.27
P11	175.95	176.03	176.87	177.00	2.46	2.54	3.38	3.51
P12	176.01	176.10	176.89	177.04	3.27	3.36	4.15	4.30



Figura 31: Punti significativi di raffronto dei battenti idrometrici per Tr=200 anni.

Gli scenari di verifica sono i seguenti:

- stato attuale senza alcun intervento (sasa);
- stato di progetto del rilevato arginale a protezione di Laterina (spsa);
- stato di progetto del sopralzo della diga di Levane (sasp);
- stato di progetto del rilevato arginale a protezione di Laterina e del sopralzo della diga di Levane (spsp).

Le verifiche mettono in evidenza che i battenti in tale zone rimangono sostanzialmente inalterati con la realizzazione del tracciato arginale (incremento di battente di circa 8 cm), mentre con la realizzazione del sopralzo arginale i battenti aumentano di circa 90 cm e di circa 1.05 m con il completamento di tutti gli interventi previsti nell'area.

Infine, occorre osservare che al termine della realizzazione di tutti gli interventi permane una condizione di criticità solamente per le alluvioni poco frequenti, non presente allo stato attuale, per gli edifici ricompresi tra via Fabbrica ed il rilevato arginale di progetto in destra idrografica del torrente Bregine.