



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

<u>Coordinamento VIA</u>  Ing. Andrea Mazzetti Ing. Stefano Perilli	<u>Componente suolo e sottosuolo</u>  progettazione e consulenza ambientale srls Geol. Luca Gardone Geol. Emanuele Montini	<u>Componente paesaggio</u> FRANCHI+ASSOCIATI Landscape and urban design Arch. Gianfranco Franchi Arch. Chiara Tesi
<u>Componente ambiente</u>  <u>Monitoraggi Ambientali</u>  Dott. Filippo Ferrantini	<u>Componente acustica</u>  Ing. Massimiliano Galletti	<u>Componente Flora, Fauna ed Ecosistemi</u> Biologo Marco Lucchesi
	<u>Studio Idraulico e idrologico</u> Settore Genio Civile Valdarno Superiore Ing. Michele Catella	<u>Archeologia</u> Dott. Hermann Salvadori

CUP PROGETTO
D97B15000170003

OGGETTO ELABORATO

PUA_I.06 CONTRIBUTO IDROLOGICO E IDRAULICO INTEGRATIVO

redatto	controllato	approvato	scala	emissione/revisione	ELABORATO PUA_I.06
MA	MA	MA	-	01	
----	----	----	----	----	
----	----	----	----	----	
----	----	----	----	----	

INDICE

1	PREMESSA.....	2
2	MODALITÀ DI GESTIONE DELLE PARATOIE DELLA DIGA DI LEVANE.....	4
3	BENEFICI ATTESI A SCALA DI BACINO NELLA PIANA FIORENTINA.....	14
4	SVILUPPI FUTURI.....	19

1 PREMESSA

Il presente documento costituisce la relazione integrativa in risposta alle richieste formulate dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale con nota prot. n. 3682 del 04/05/2023 relative gli aspetti inerenti il rischio idraulico.

In particolare, nel seguito sono illustrati i risultati delle ulteriori analisi idrauliche condotte a supporto della progettazione delle opere in oggetto, col fine di fornire tutti gli elementi necessari per accertare compiutamente le modifiche *post operam* del quadro conoscitivo ai fini del riesame delle mappe di pericolosità.

In dettaglio, nel parere trasmesso con la succitata nota sono state richieste le seguenti integrazioni agli aspetti inerenti al rischio idraulico (punto 1):

- in riferimento al **PGRA**, le aree interessate dal progetto in oggetto risultano classificate a pericolosità da alluvione elevata (P3), disciplinate dall'art. 7 della disciplina di Piano; inoltre, l'intervento in oggetto rientra tra le misure di protezione del Piano:

- Misura del PGRA vigente "ITN002-M007 – Adeguamento della diga di Levane e delle opere connesse" con priorità molto alta.

Come ricordato in premessa, con D.P.C.M. 1° dicembre 2022 (Gazzetta Ufficiale n. 31 del 07/02/2023) è stato approvato il Piano di gestione del rischio di alluvioni - I aggiornamento (PGRA 2021-2027) del distretto idrografico dell'Appennino Settentrionale.

Con l'entrata in vigore della relativa disciplina di Piano, l'Autorità di bacino oltre a esprimere parere sulla coerenza con gli obiettivi del Piano di bacino dei piani e programmi, nei casi previsti dall'art. 63, comma 10, lett. b) del decreto legislativo 152/06, **rilascia il parere di competenza limitatamente alle opere idrauliche**, oggetto di classifica da parte dell'autorità idraulica competente, ricadenti nelle aree a pericolosità da alluvioni fluviali, in merito all'aggiornamento del quadro conoscitivo con conseguente riesame delle mappe di pericolosità (artt. 7, 9, 11 e 24 della disciplina di Piano).

A tale riguardo, per accertare quanto previsto dal comma 2 dell'art. 24 della disciplina di Piano, si richiede di integrare gli studi idrologico-idraulici sviluppati a supporto della progettazione, tenendo conto del quadro conoscitivo del PGRA. In particolare, considerato quanto indicato nel D.Lgs. 49/2010 "Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni", con riferimento alla ripartizione delle competenze amministrative e ai piani di laminazione, si ritiene che le analisi riportate nell'elaborato SIA_02 "SIA 02 Contributo idrologico e idraulico" debbano essere integrate con ulteriori scenari di simulazione, riferiti ai tempi di ritorno di 30 e 200 anni, considerando l'invaso di Bilancino alla quota di massima regolazione (252 m s.l.m.), sia nello stato attuale che nei diversi scenari *post-operam* in cui si dovrà tenere conto anche dell'attuale stato di attuazione delle casse di espansione di Pizziconi, Restone, Prulli e Leccio.

- in riferimento al **PGRA**, si rende noto che al fine di rendere gli interventi di Piano di tipo strutturale (misure di protezione) il più efficaci ai fini del mantenimento degli equilibri ambientali e dell'inserimento paesaggistico sono stati introdotti degli indirizzi per la progettazione degli interventi di PGRA; in particolare tali indicazioni sono finalizzate a concorrere ad una migliore integrazione delle opere sotto il profilo paesaggistico ("Criteri per l'attuazione degli interventi di Piano al fine della tutela dei beni culturali e paesaggistici" disponibili al link https://www.appenninosettentrionale.it/itc/?page_id=840).
- in riferimento al **PSRI** del fiume Arno, l'adeguamento della diga di Levane rientra tra gli interventi di riduzione del rischio idraulico di tipo A del Piano. Pertanto, come previsto dalla normativa del Piano (Norme 2 e Direttiva 3 del DPCM 5 novembre 1999), **questa Autorità esprime il proprio parere sul**

progetto dell'opera di laminazione delle piene, che verrà rilasciato congiuntamente a quanto previsto dal PGRA.

Nei paragrafi seguenti sono analizzate le interazioni tra l'intervento di rialzamento della diga di Levane ed il territorio a valle, per i tempi di ritorno di 30 e 200 anni, considerando l'invaso di Bilancino alla quota di massima regolazione (252 m s.l.m.), sia nello stato attuale che nei diversi scenari *post-operam* tenendo conto dell'attuale stato di attuazione delle casse di espansione di Pizziconi, Restone, Prulli e Leccio.

Di seguito sono illustrati gli scenari di verifica integrativi condotti al fine di comparare l'efficacia dei vari interventi previsti a monte di Firenze, classificati mediante una numerazione progressiva rispetto a quella indicata nel § 1.3 dell'elaborato SIA_02 "Contributo idrologico e idraulico":

- 5) configurazione con tutte le casse di espansione previste nel Medio Valdarno realizzate (capacità di vaso 25/30 Mm³) e con il livello idrometrico dell'invaso di Bilancino a 252,0 m s.l.m.;
- 6) configurazione con tutte le casse di espansione previste nel Medio Valdarno realizzate, con il livello dell'invaso di Bilancino a 252,0 m s.l.m. ed attuazione del sopralzo della diga di Levane:
 - 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);
- 7) configurazione con le sole casse di espansione nel Medio Valdarno verosimilmente già completate al momento della realizzazione degli interventi di sopralzo della diga di Levane e con il livello idrometrico dell'invaso di Bilancino a 252,0 m s.l.m.;
- 8) configurazione con la realizzazione del sopralzo della diga e delle sole casse di espansione nel Medio Valdarno verosimilmente già completate al momento dell'esecuzione degli interventi di sopralzo, nonché un livello idrometrico di 252,0 m s.l.m. per l'invaso di Bilancino:
 - a) regolazione 1 (vedere punto 6.a);
 - b) regolazione 2 (vedere punto 6.b);
 - c) regolazione 3 (vedere punto 6.c).

Le casse di espansione inserite nelle modellazioni degli scenari 7) e 8) sono individuate sulla base del loro stato di attuazione come di seguito specificato:

- Pizziconi lotti I-II: per la quale sono già conclusi i lavori del I lotto e sono in corso di realizzazione i lavori del II lotto relativi all'opera di presa con ultimazione prevista entro il 2023;
- Restone: per la quale in data 26/05/2023 sono stati formalmente consegnati i lavori alla ditta aggiudicataria della gara d'appalto;
- Prulli: attualmente in gara con inizio lavori previsto nel primo semestre del 2024.

Le opere escluse dallo scenario 7) comprendono il III lotto della cassa di espansione di Pizziconi, in quanto collegato al completamento dei lavori previsti nel progetto del lotto 5 "variante Urbinese" della S.R. 69, e la cassa di espansione di Leccio sviluppata ad oggi ad un livello di Progetto Preliminare.

Non sono condotte ulteriori considerazioni né sulle variazioni di vulnerabilità dei territori a monte della diga né sulle interazioni tra la nuova quota di massimo vaso e gli interventi di riduzione del rischio idraulico previsti nella piana di Laterina, in quanto restano valide le valutazioni illustrate ne § 1.5 dell'elaborato SIA_02 "Contributo idrologico e idraulico" non essendo variata le modalità di gestione delle paratoie a presidio delle luci dello scarico di superficie della diga di Levane.

2 MODALITÀ DI GESTIONE DELLE PARATOIE DELLA DIGA DI LEVANE

In analogia con quanto eseguito nel contributo idrologico e idraulico dello studio di impatto ambientale (SIA_02), per la configurazione di riferimento corrispondente a quella dello stato attuale del sistema idrografico di monte del Fiume Arno, senza la realizzazione di alcuna cassa di espansione prevista nel Valdarno Superiore, sono acquisiti i risultati ottenuti nel corso delle elaborazioni svolte nell'ambito della progettazione definitiva della cassa di espansione di Prulli.

Per lo scenario di progetto 5), che prevede l'attuazione di tutte le casse di espansione, gli idrogrammi di *input* derivano da specifiche analisi idrauliche svolte nel corso della redazione della presente nota integrativa. In particolare, il modello idraulico dello stato di progetto delle casse di espansione è cimentato considerando per il Fiume Sieve una condizione iniziale di invaso per la diga di Bilancino corrispondente alla quota di massima regolazione pari a 252 m s.l.m..

I risultati delle analisi idrauliche hanno permesso di confermare la validità delle leggi di regolazione degli organi mobili a presidio delle opere di presa delle singole casse di espansione per gli eventi considerati ad esclusione dell'evento duecentennale con durata di 18 ore per cui è risultato necessario eseguire una revisione della modalità di regolazione dell'opera di presa della cassa di espansione di Leccio al fine di migliorare l'efficacia di laminazione della piena del Fiume Arno in transito verso la piana fiorentina a valle della confluenza con il Fiume Sieve.

Per lo scenario di progetto 7), che prevede l'attuazione delle sole casse di espansione nel Valdarno verosimilmente già completate al momento della realizzazione del sopralzo della diga di Levane, è acquisito il corrispondente scenario messo a punto nell'ambito della progettazione esecutiva della cassa di espansione di Prulli inserendo per il Fiume Sieve una condizione iniziale di invaso per la diga di Bilancino corrispondente alla quota di massima regolazione pari a 252 m s.l.m..

Anche in questo caso le analisi idrauliche hanno permesso di confermare la validità delle leggi di regolazione degli organi mobili a presidio delle opere di presa delle singole casse di espansione per tutti gli eventi considerati individuate nel corso della progettazione esecutiva.

Per il raggiungimento dell'obiettivo di minimizzare la portata al colmo a valle della confluenza del Fiume Sieve e, quindi, di massimizzare l'efficacia del sistema di interventi nei vari scenari *post-operam*, considerando l'invaso di Bilancino alla quota di massima regolazione, sono cimentati i modelli numerici implementati negli scenari 5) e 7) con gli idrogrammi delle portate di piena stimati con le varie regolazioni delle paratoie della diga di Levane individuati e descritti nelle analisi idrauliche a corredo dell'elaborato SIA_02 "Contributo idrologico e idraulico".

Le analisi idrauliche sono condotte per gli eventi di piena con tempi di ritorno di 30 e 200 anni e durate di 12, 18 e 24 ore per ogni scenario di verifica considerato.

Nelle figure seguenti sono rappresentati i confronti tra gli idrogrammi di piena calcolati per gli scenari 1), 5) e 6) nella sezione 672 del Fiume Arno a Pontassieve, dopo la confluenza con il 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 2.1 e nella Tabella 2.2 sono riportati i confronti tra le portate al colmo in transito nella sezione 672 a Pontassieve per gli scenari di verifica 1), 5) e 6) rispettivamente per i tempi di ritorno di 30 e 200 anni e le durate di 12, 18 e 24 ore.

I risultati, ottenuti considerando l'invaso di Bilancino alla quota di massima regolazione e la realizzazione di tutte le casse di espansione nel Valdarno, confermano che la regolazione ottimale, con un taglio orizzontale del picco di piena, non genera per lo scenario idrologico di riferimento a valle del Fiume Sieve alcuna variazione dei colmi di piena duecentennali rispetto a quanto calcolato nello stato senza sopralzo della diga ad esclusione che per l'evento con durata più lunga di 24 ore.

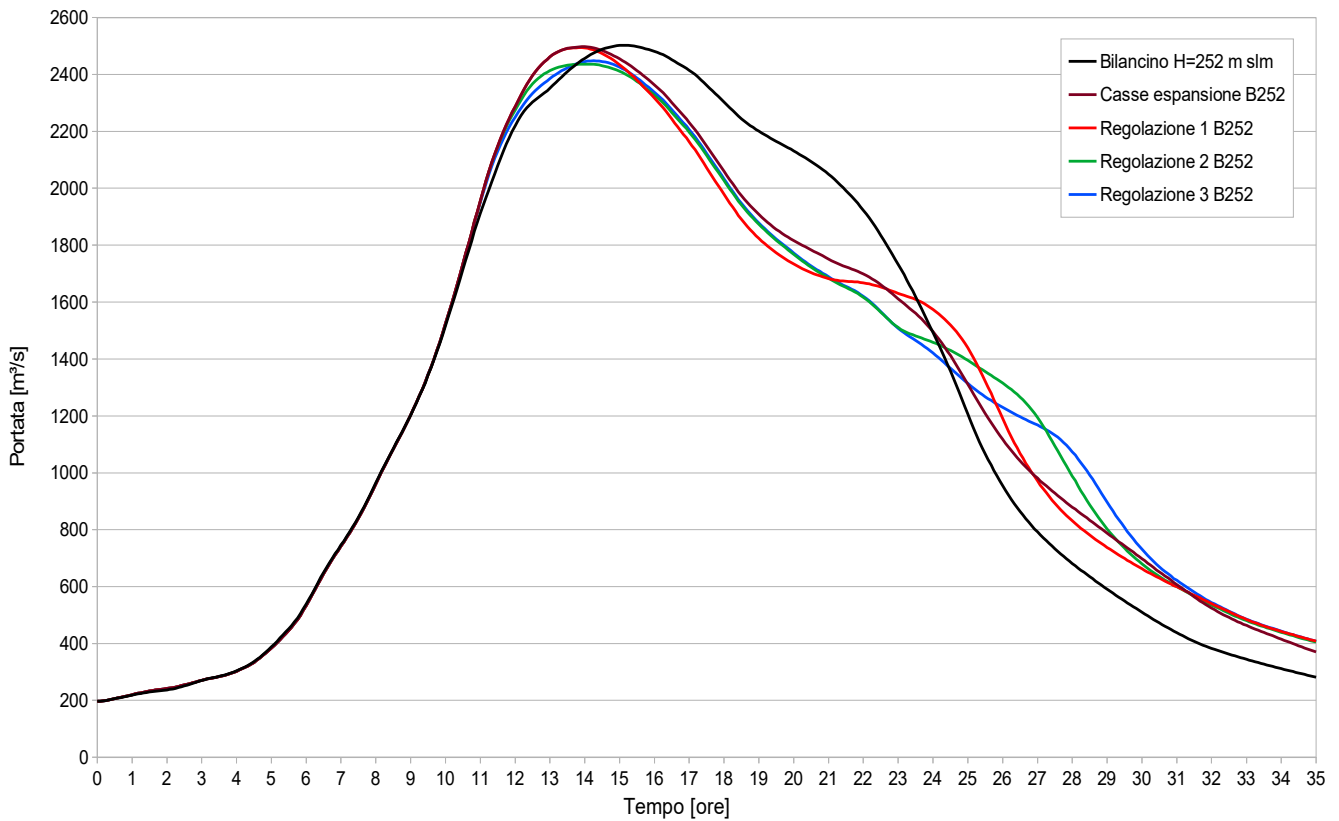


Figura 1: Confronto idrogrammi di piena stimati nella sezione 672 del fiume Arno per $T_r=30$ anni e $d=12$ ore negli scenari di verifica 1), 5) e 6).

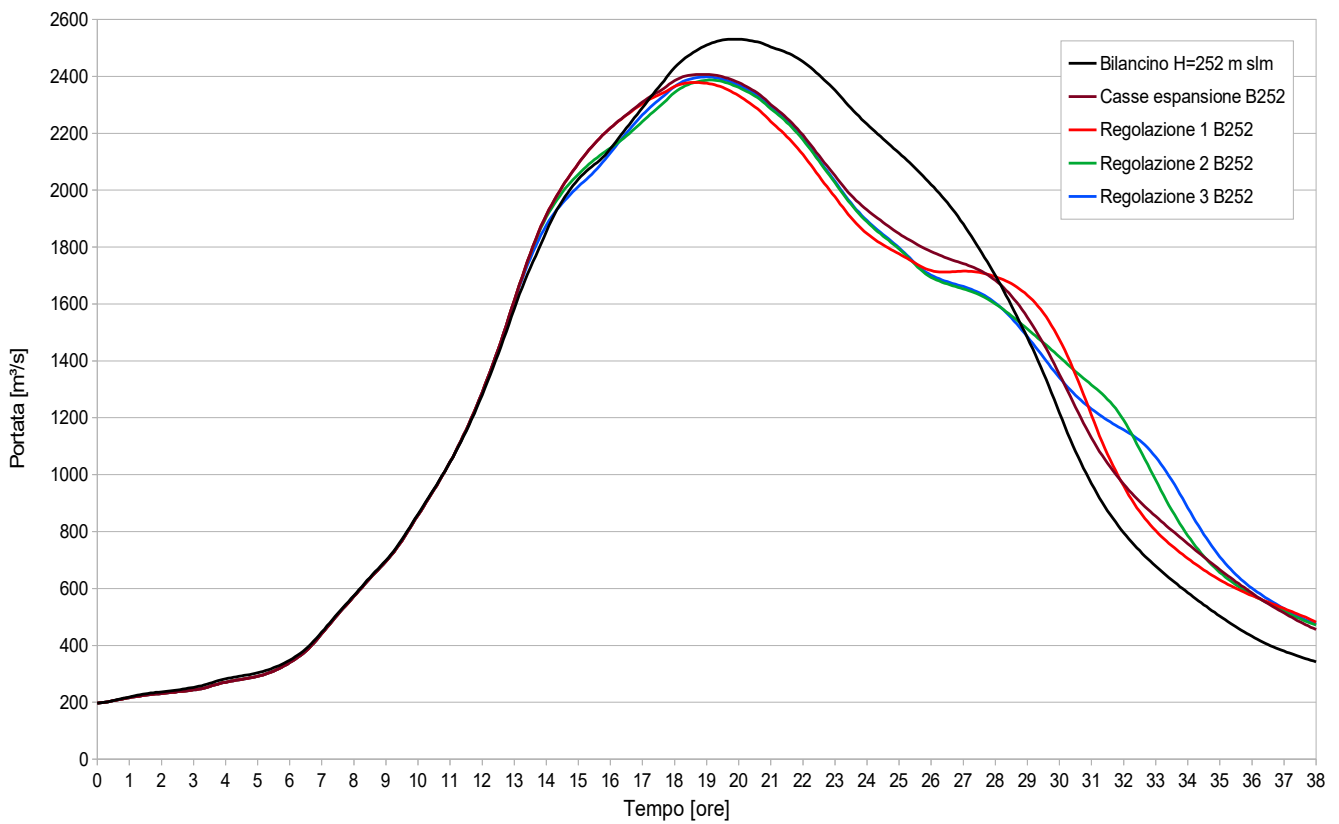


Figura 2: Confronto idrogrammi di piena stimati nella sezione 672 del fiume Arno per $T_r=30$ anni e $d=18$ ore negli scenari di verifica 1), 5) e 6).

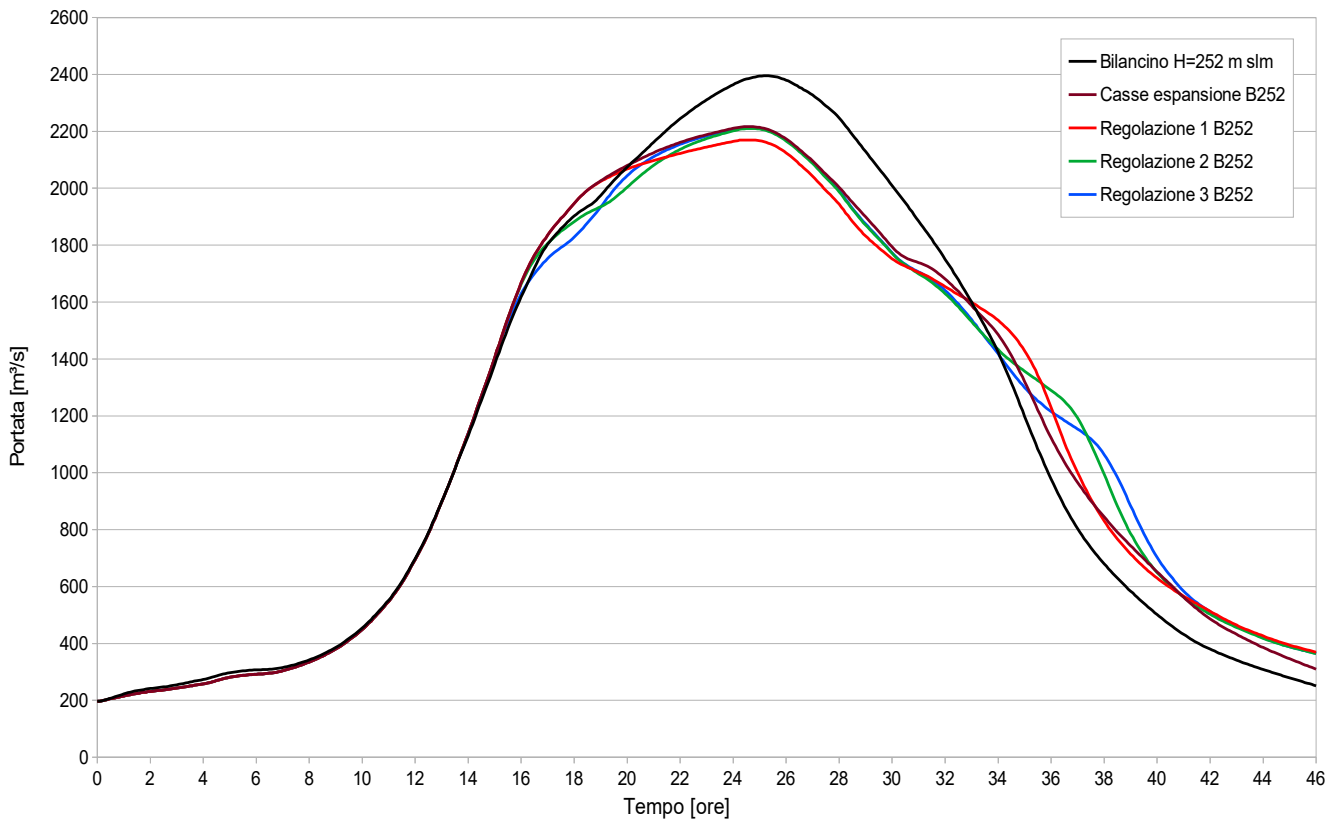


Figura 3: Confronto idrogrammi di piena stimati nella sezione 672 del fiume Arno per $Tr=30$ anni e $d=24$ ore negli scenari di verifica 1), 5) e 6).

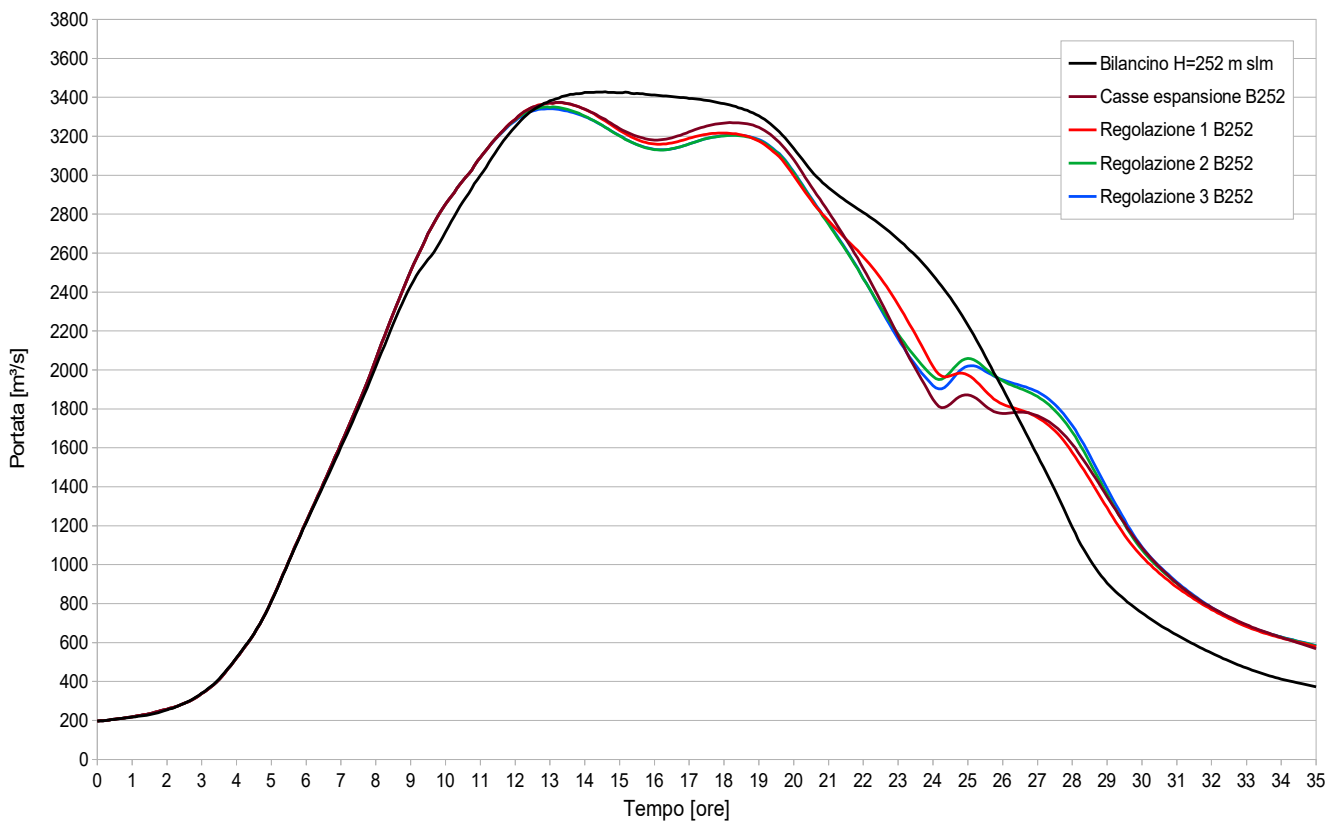


Figura 4: Confronto idrogrammi di piena stimati nella sezione 672 del fiume Arno per $Tr=200$ anni e $d=12$ ore negli scenari di verifica 1), 5) e 6).

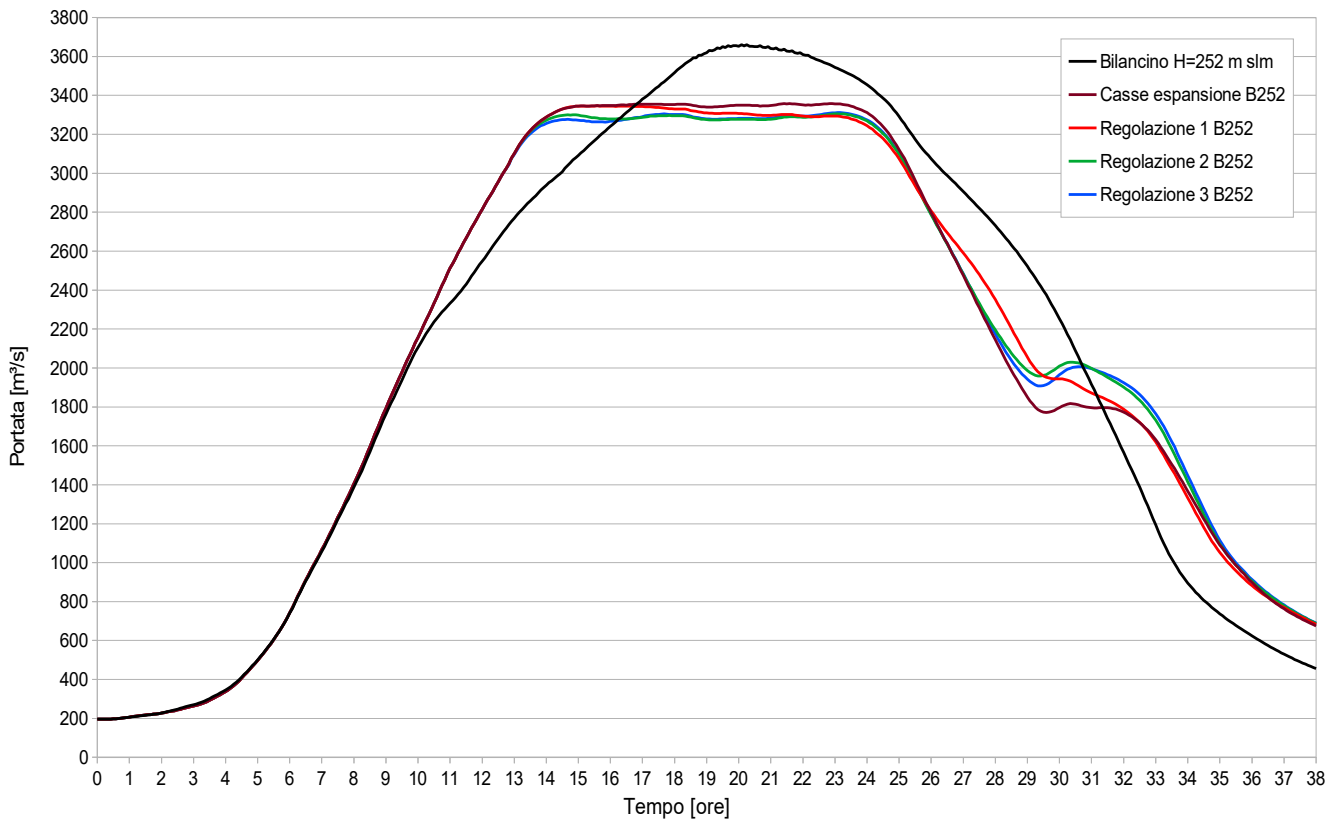


Figura 5: Confronto idrogrammi di piena stimati nella sezione 672 del fiume Arno per $Tr=200$ anni e $d=18$ ore negli scenari di verifica 1), 5) e 6).

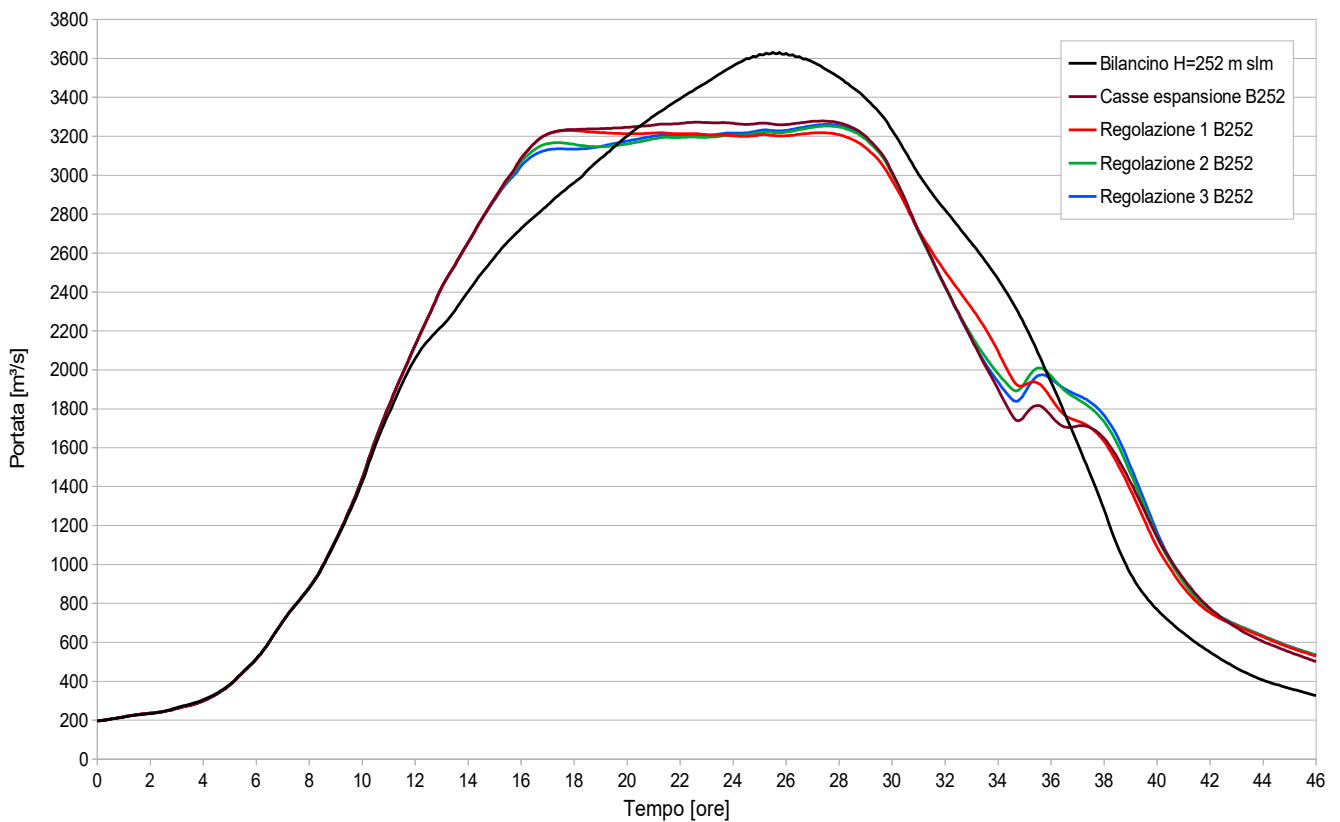


Figura 6: Confronto idrogrammi di piena stimati nella sezione 672 del fiume Arno per $Tr=200$ anni e $d=24$ ore negli scenari di verifica 1), 5) e 6).

Tabella 2.1: 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 negli scenari di verifica 1), 5) e 6).

Durata [ore]	Bilancino 252 [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	2498	2494	2437	2448
18	2531	2407	2378	2387	2398
24	2395	2216	2170	2210	2214

Tabella 2.2: Confronto tra i valori al colmo della portata in transito nella sezione 672 del fiume Arno per il tempo di ritorno di 200 anni e le durate di 12, 18 e 24 ore negli scenari di verifica 1), 5) e 6).

Durata [ore]	Bilancino 252 [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	3374	3373	3351	3341
18	3661	3358	3346	3306	3312
24	3630	3278	3230	3252	3261

Tale regolazione, inoltre, 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 e durata di 12 ore, per il quale si osserva una sostanziale invarianza 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.

Nelle figure e tabelle seguenti sono riportati i medesimi confronti in termini di idrogrammi e di portate al colmo in transito nella sezione 672 a Pontassieve per gli scenari di verifica 1), 7) e 8) rispettivamente per i tempi di ritorno di 30 e 200 anni e le durate di 12, 18 e 24 ore.

Oltre ad una generale riduzione dell'efficacia di laminazione degli eventi di piena operata dal sistema di interventi nello scenario che prevede l'attuazione del sopralzo della diga di Levane e delle sole casse di espansione nel Valdarno già completate al momento della sua attuazione, i risultati confermano che la maggiore riduzione del colmo di piena sul Fiume Arno a Pontassieve è ottenuta 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.

In ogni caso occorre ricordare, come già evidenziato, 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.

Nella Tabella 3.2 sono riepilogati i valori al colmo delle portate in transito nella sezione 672 a Pontassieve in tutti gli scenari di verifica analizzati per i tempi di ritorno di 30 e 200 anni e le durate di 12, 18 e 24 ore.

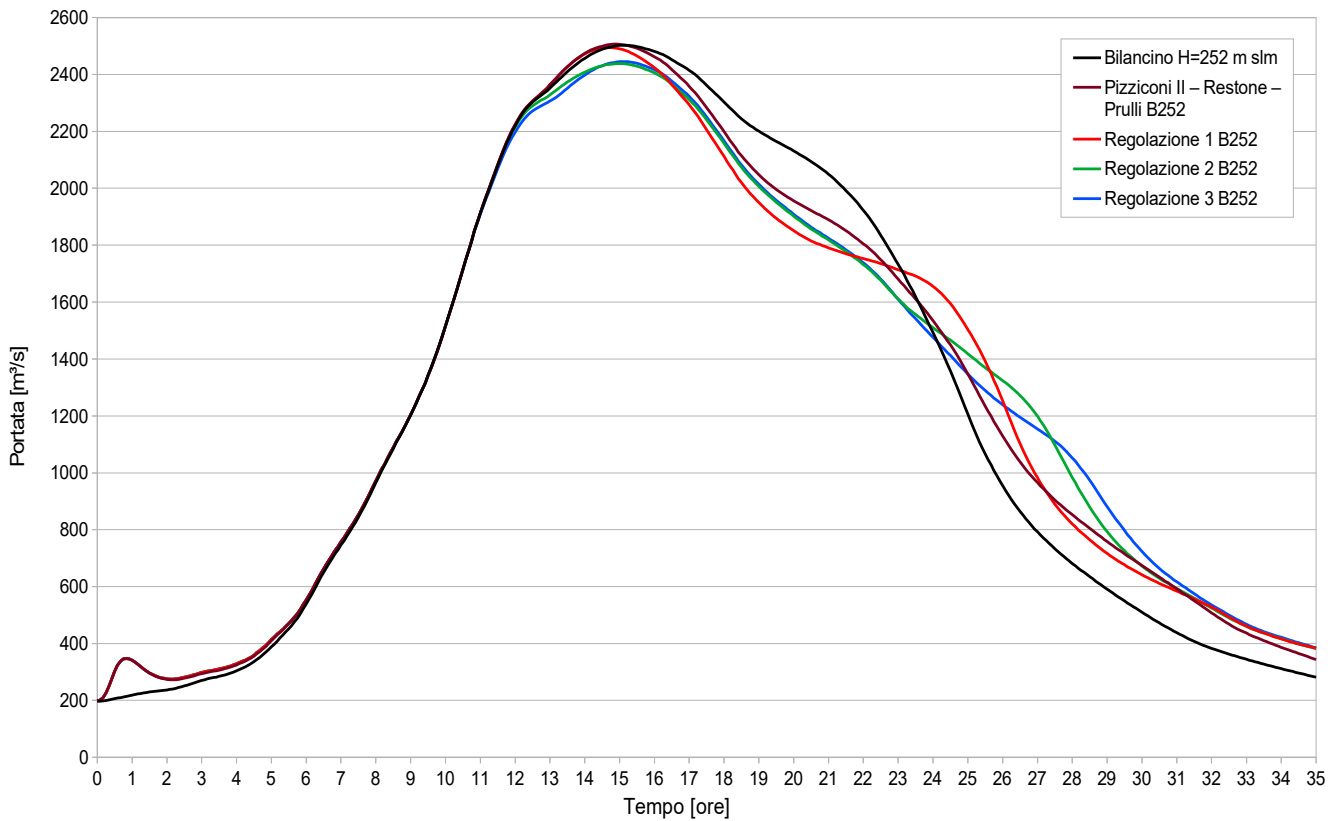


Figura 7: Confronto idrogrammi di piena stimati nella sezione 672 del fiume Arno per $T_r=30$ anni e $d=12$ ore negli scenari di verifica 1), 7) e 8).

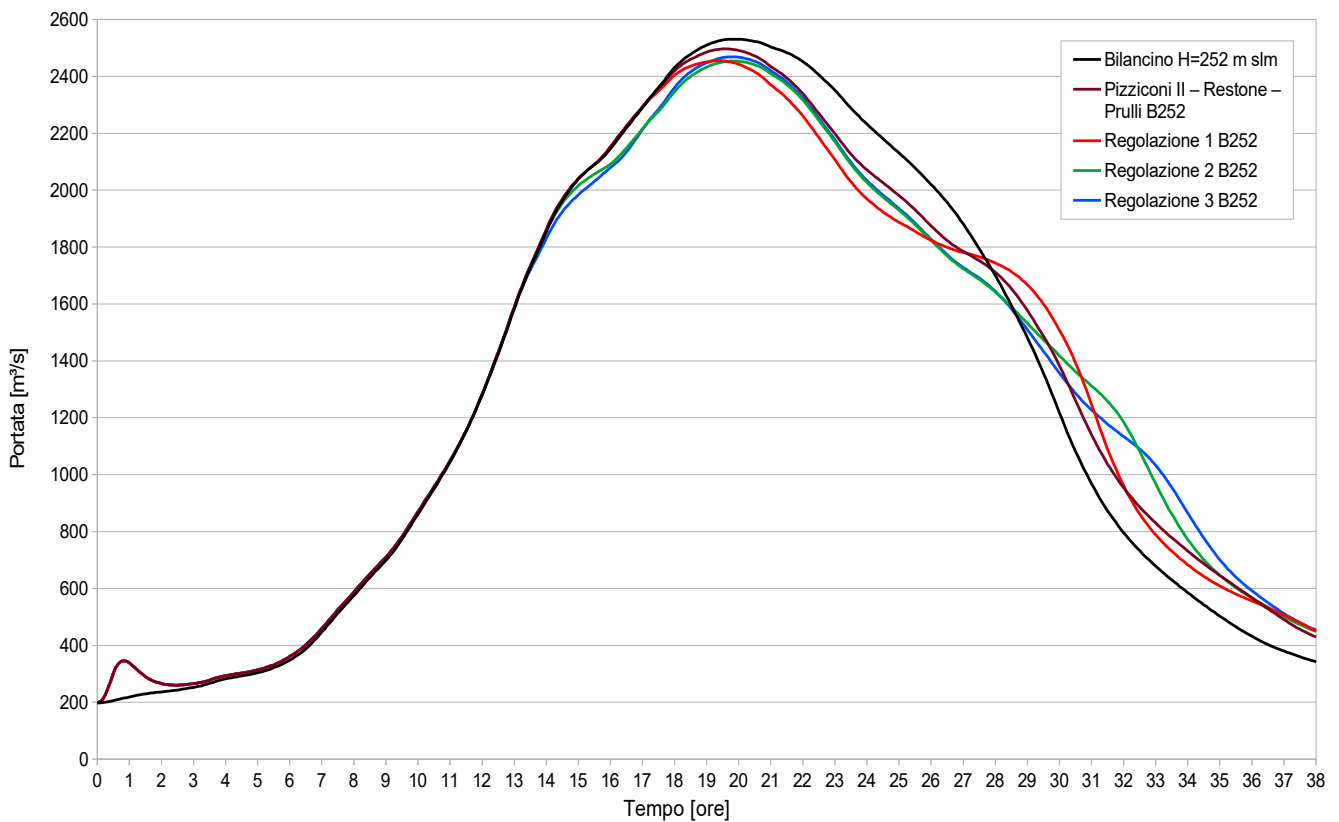


Figura 8: Confronto idrogrammi di piena stimati nella sezione 672 del fiume Arno per $T_r=30$ anni e $d=18$ ore negli scenari di verifica 1), 7) e 8).

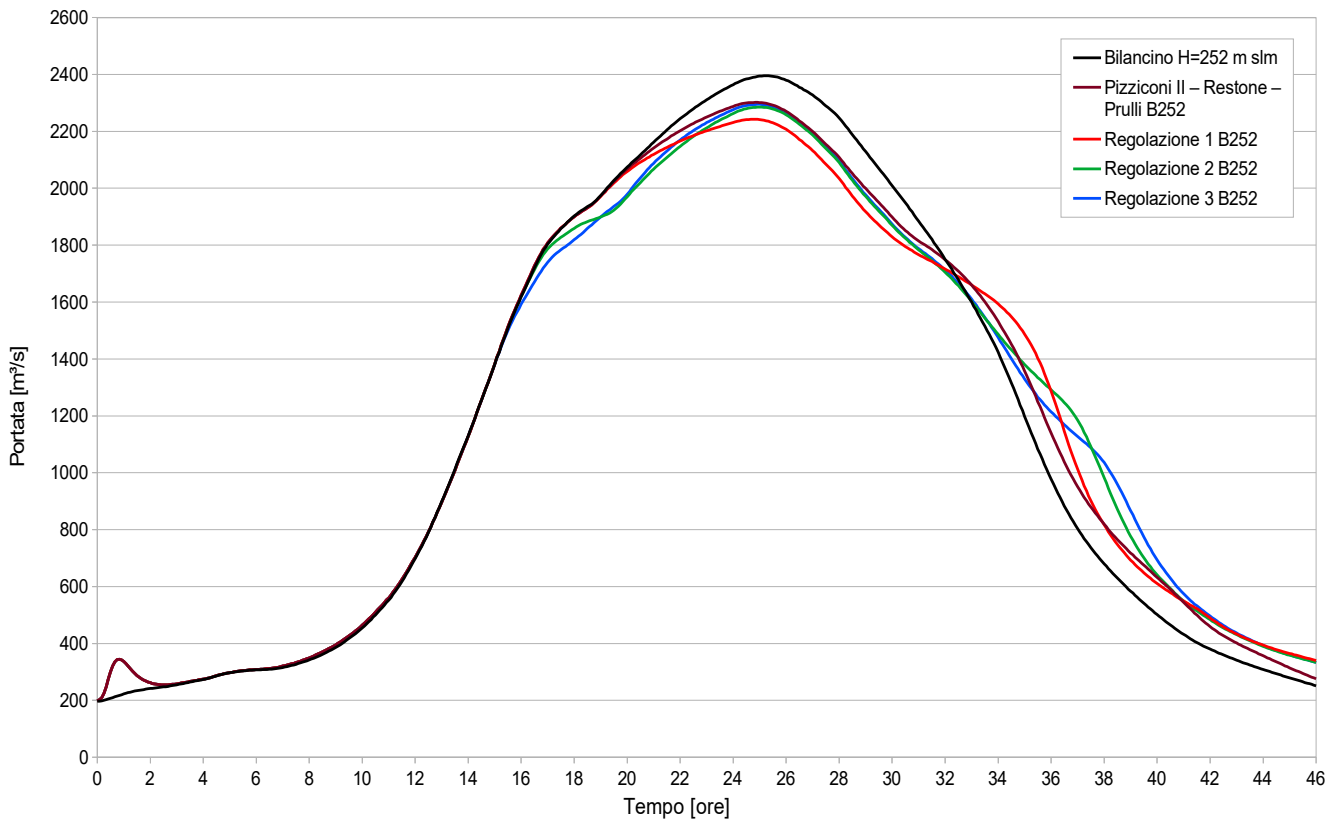


Figura 9: Confronto idrogrammi di piena stimati nella sezione 672 del fiume Arno per $T_r=30$ anni e $d=24$ ore negli scenari di verifica 1), 7) e 8).

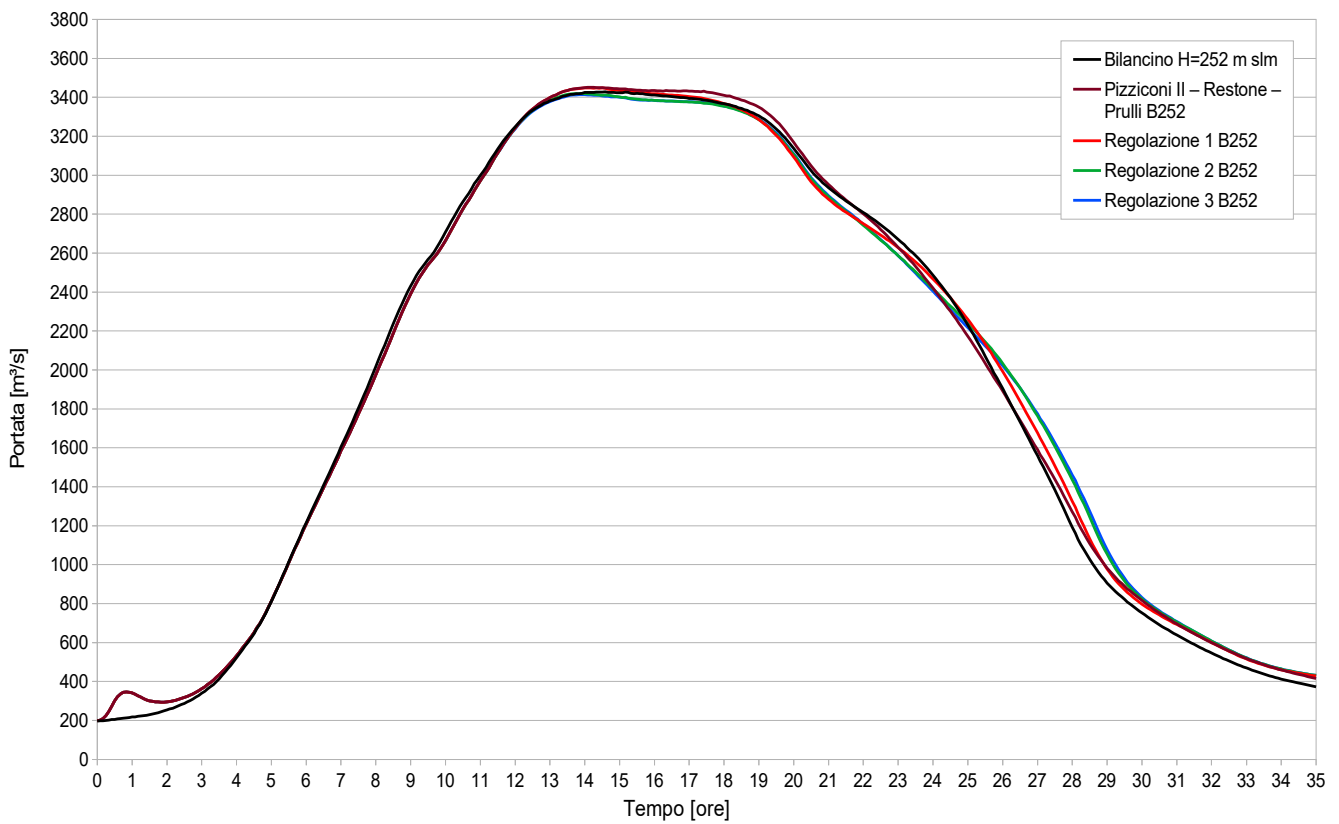


Figura 10: Confronto idrogrammi di piena stimati nella sezione 672 del fiume Arno per $T_r=200$ anni e $d=12$ ore negli scenari di verifica 1), 7) e 8).

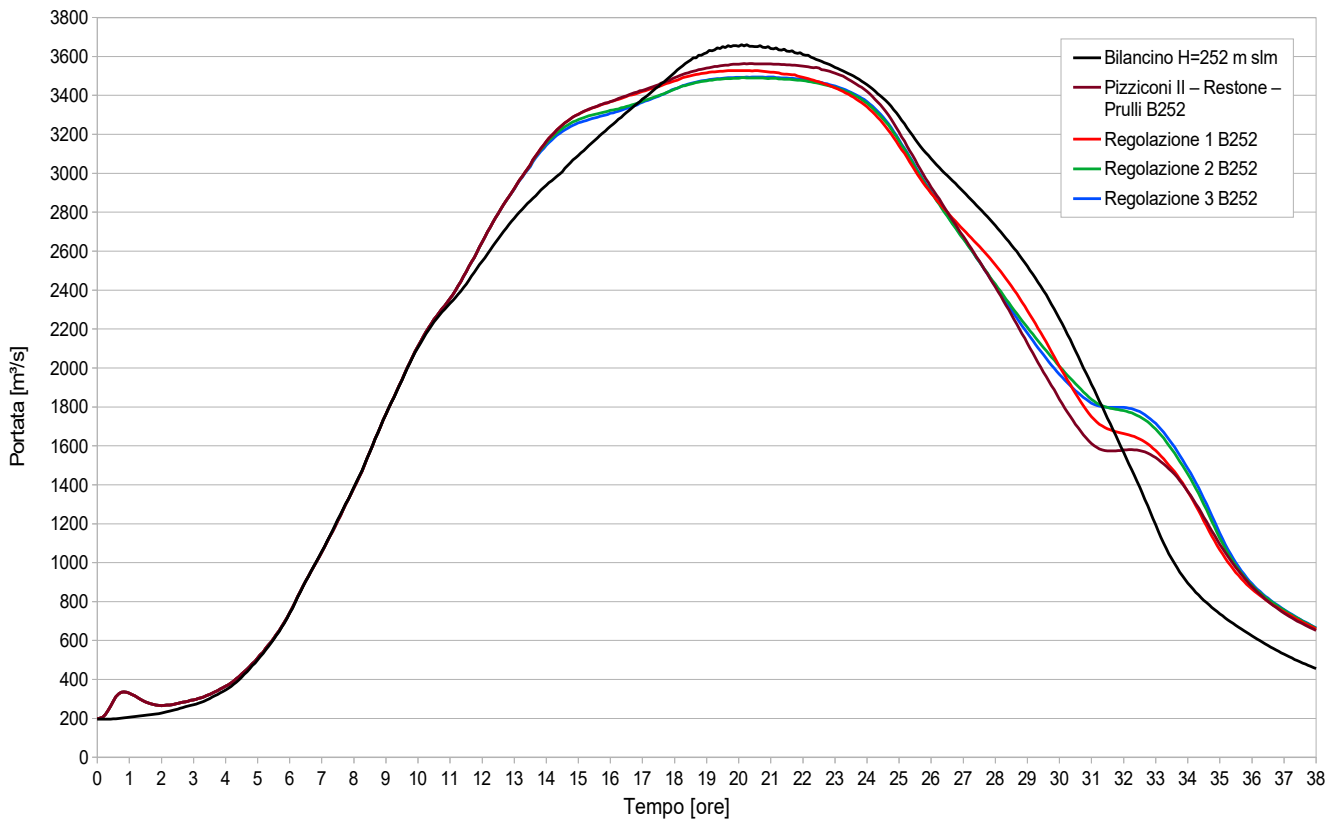


Figura 11: Confronto idrogrammi di piena stimati nella sezione 672 del fiume Arno per $T_r=200$ anni e $d=18$ ore negli scenari di verifica 1), 7) e 8).

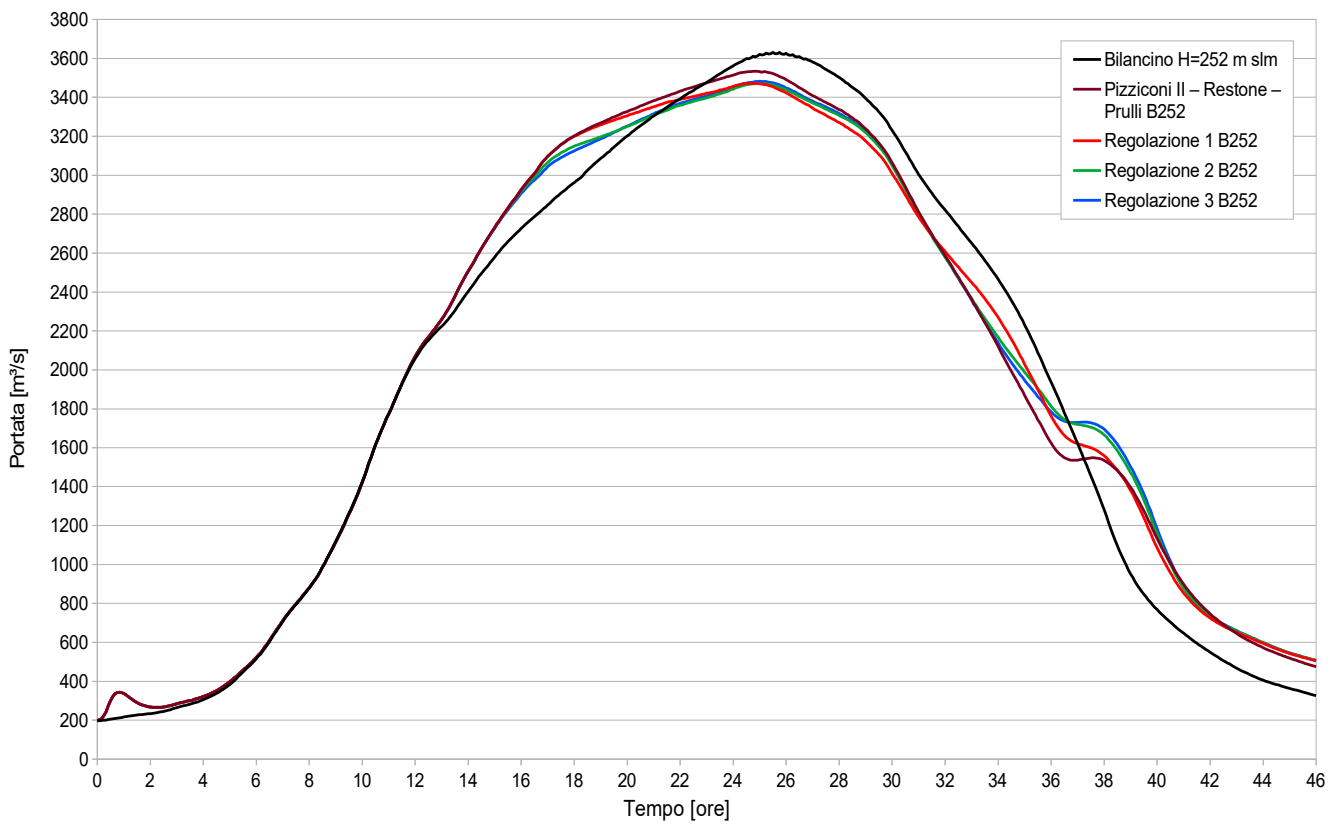


Figura 12: Confronto idrogrammi di piena stimati nella sezione 672 del fiume Arno per $T_r=200$ anni e $d=24$ ore negli scenari di verifica 1), 7) e 8).

Tabella 2.3: 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 negli scenari di verifica 1), 7) e 8).

Durata [ore]	Bilancino 252 [m ³ /s]	casce espansione [m ³ /s]	Regolazione 1 [m ³ /s]	Regolazione 2 [m ³ /s]	Regolazione 3 [m ³ /s]
12	2503	2507	2495	2438	2445
18	2531	2497	2455	2454	2469
24	2395	2302	2242	2286	2295

Tabella 2.4: Confronto tra i valori al colmo della portata in transito nella sezione 672 del fiume Arno per il tempo di ritorno di 200 anni e le durate di 12, 18 e 24 ore negli scenari di verifica 1), 7) e 8).

Durata [ore]	Bilancino 252 [m ³ /s]	casce espansione [m ³ /s]	Regolazione 1 [m ³ /s]	Regolazione 2 [m ³ /s]	Regolazione 3 [m ³ /s]
12	3429	3451	3449	3420	3413
18	3661	3564	3527	3491	3495
24	3630	3533	3471	3471	3482

Tabella 2.5: Confronto tra i valori al colmo della portata in transito nella sezione 672 del fiume Arno per il tempo di ritorno di 200 anni e le durate di 12, 18 e 24 ore nei vari scenari di verifica considerati.

Scenario	Tr = 30 anni			Tr = 200 anni		
	12 ore [m ³ /s]	18 ore [m ³ /s]	24 ore [m ³ /s]	12 ore [m ³ /s]	18 ore [m ³ /s]	24 ore [m ³ /s]
(1) Bilancino 252	2503	2531	2395	3429	3661	3630
(2) Bilancino 250	2444	2440	2299	3390	3536	3480
(3) casce espansione B250	2458	2327	2124	3347	3237	3152
(4.1) Regolazione 1 B250	2457	2300	2078	3346	3234	3148
(4.2) Regolazione 2 B250	2396	2305	2117	3329	3209	3122
(4.3) Regolazione 3 B250	2401	2317	2122	3317	3192	3129
(5) casce espansione B252	2498	2407	2216	3374	3358	3278
(6.1) Regolazione 1 B252	2494	2378	2170	3373	3346	3230
(6.2) Regolazione 2 B252	2437	2387	2210	3351	3306	3252
(6.3) Regolazione 3 B252	2448	2398	2214	3341	3312	3261
(7) casce espansione B252 ¹	2507	2497	2302	3451	3564	3533
(8.1) Regolazione 1 B252 ¹	2495	2455	2242	3449	3527	3471
(8.2) Regolazione 2 B252 ¹	2438	2454	2286	3420	3491	3471
(8.3) Regolazione 3 B252 ¹	2445	2469	2295	3413	3495	3482

¹ Scenario che prevede la realizzazione delle casce di espansione Pizziconi (lotti I e II), Restone e Prulli ed esclude il lotto III della cassa Pizziconi e la cassa Leccio.

Alla luce dei risultati conseguiti è possibile affermare 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 nei diversi scenari *post-operam* 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.

3 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 soprizzo 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 nel precedente capitolo considerando l'invaso di Bilancino alla quota di massima regolazione di 252 m s.l.m. ed i vari scenari *post-operam*.

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.

Nella Figura 13 è riportata la planimetria delle varie macro-zone in 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 nei vari scenari *post-operam*.

Nella Tabella 3.1 e nella Tabella 3.2 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 gli scenari di verifica 1), 5) e 6).

Nella Tabella 3.3 e nella Tabella 3.4 sono riportati, rispettivamente per i tempi di ritorno di 30 e 200 anni, i confronti tra i massimi volumi esondati per gli scenari di verifica 1), 7) e 8).

Dall'analisi dei risultati emerge che, per l'evento con tempo di ritorno di 200 anni, in assenza dell'adozione del piano di laminazione di Bilancino, la realizzazione del sistema di casse di espansione nel Medio Valdarno consente di ridurre i volumi accumulati nelle aree di potenziale esondazione di circa 5.3 Mm³, mentre il soprizzo della diga di Levane determina un ulteriore incremento di beneficio di circa 3.0 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 caso il rendimento delle casse di espansione nel Medio Valdarno è del 21% e quello del soprizzo della diga di Levane del 75%.

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 soprizzo della diga di Levane sono pari a 0.2 Mm³ (2,7 Mm³ nello scenario 1; 0.55 Mm³ nello scenario 5; ~0.2 Mm³ nello scenario 6).

Il mancato completamento delle casse di espansione nel Medio Valdarno, con particolare riferimento alla non attuazione della cassa di Leccio, determina una drastica riduzione dei volumi sottratti alle esondazioni che passano da circa 5.3 Mm³ a 0.5 Mm³. Viceversa il soprizzo della diga di Levane determina una riduzione maggiore dei volumi esondati pari a circa 3.2 Mm³. In questo scenario il rendimento delle casse di espansione nel Medio Valdarno è solo del 3% e quello del soprizzo della diga di Levane pari a circa l'80%.

I volumi residui che interessano il centro storico di Firenze (macro-zona Firenze città), con l'attuazione parziale delle casse di espansione nel Medio Valdarno e l'intervento di soprizzo della diga di Levane sono pari a 1.3 Mm³ (2,7 Mm³ nello scenario 1; 2.3 Mm³ nello scenario 7; 1.3 Mm³ nello scenario 8).

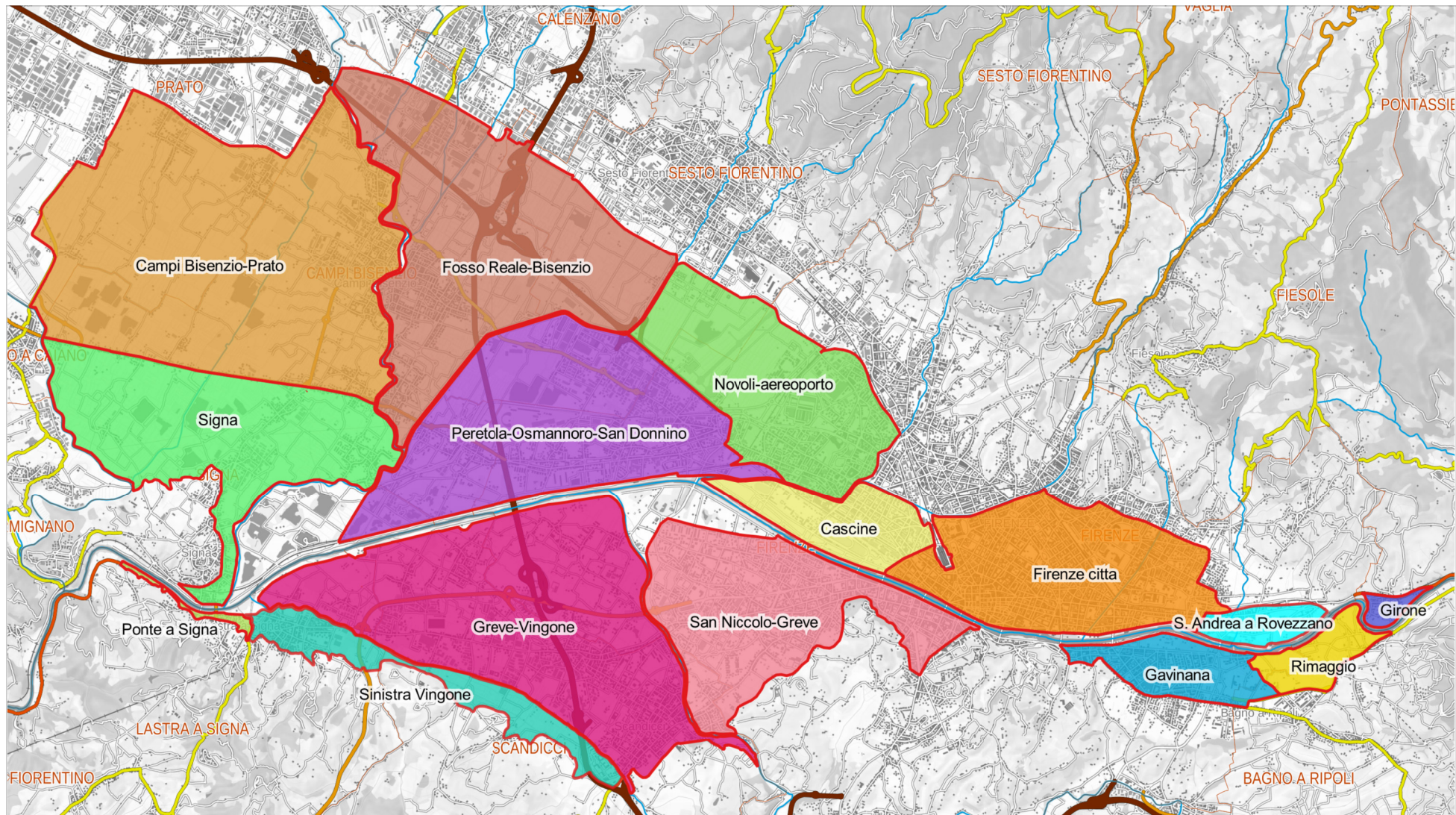


Figura 13: Planimetria delle zone di valutazione dei benefici a scala di bacino della piana fiorentina.

Tabella 3.1: Volumi massimi invasati nella piana fiorentina per Tr=30 anni negli scenari di verifica 1), 5) e 6).

Zona	Scenario 1 [m ³]	Scenario 5 [m ³]	Scenario 6.1 [m ³]	Scenario 6.2 [m ³]	Scenario 6.3 [m ³]
Sieci	33'370	23'430	21'560	1'390	2'720
Girone	30	0	0	0	0
Rimaggio	0	0	0	0	0
Gavinana	0	0	0	0	0
S. Andrea a Rovezzano	107'180	104'900	104'820	101'650	102'220
Firenze città	0	0	0	0	0
Cascine	0	0	0	0	0
San Niccolò-Greve	0	0	0	0	0
Novoli-aeroporto	0	0	0	0	0
Peretola-San Donnino	572'590	228'950	188'370	189'540	193'460
Greve-Vingone	342'550	98'540	67'130	70'610	73'990
Sinistra Vingone	1'788'300	750'740	636'950	651'540	662'960
Ponte a Signa	15'360	0	0	0	0
Fosso Reale-Bisenzio	700	0	0	0	0
Signa	1'502'530	416'460	308'670	309'480	318'710
Campi Bisenzio-Prato	771'200	0	0	0	0
TOTALE	5'133'810	1'623'020	1'327'500	1'324'210	1'354'000

Tabella 3.2: Volumi massimi invasati nella piana fiorentina per Tr=200 anni negli scenari di verifica 1), 5) e 6).

Zona	Scenario 1 [m ³]	Scenario 5 [m ³]	Scenario 6.1 [m ³]	Scenario 6.2 [m ³]	Scenario 6.3 [m ³]
Sieci	441'880	329'660	329'380	321'810	318'850
Girone	120'160	92'580	92'000	86'730	85'850
Rimaggio	1'280	1'180	1'180	810	600
Gavinana	102'820	51'110	46'140	11'820	7'370
S. Andrea a Rovezzano	353'210	291'900	290'820	277'740	275'060
Firenze città	2'667'820	548'770	416'270	198'100	173'490
Cascine	1'886'050	1'463'270	1'451'300	1'392'680	1'390'540
San Niccolò-Greve	26'460	26'540	26'540	26'530	26'530
Novoli-aeroporto	515'880	442'590	398'310	348'100	346'310
Peretola-San Donnino	19'559'640	18'526'150	17'784'080	17'511'570	17'555'750
Greve-Vingone	23'031'640	22'019'540	21'438'590	21'069'660	21'119'300
Sinistra Vingone	3'715'290	3'704'420	3'702'370	3'700'020	3'700'020
Ponte a Signa	352'090	351'580	351'490	351'260	351'280
Fosso Reale-Bisenzio	1'954'630	1'991'540	1'990'430	1'998'800	1'987'910
Signa	19'024'270	18'828'220	18'629'790	18'606'670	18'615'650
Campi Bisenzio-Prato	15'559'340	15'294'430	15'063'540	15'023'220	15'032'440
TOTALE	89'312'460	83'963'480	82'012'230	80'915'520	80'986'950

Tabella 3.3: Volumi massimi invasati nella piana fiorentina per Tr=30 anni negli scenari di verifica 1), 7) e 8).

Zona	Scenario 1 [m ³]	Scenario 7 [m ³]	Scenario 8.1 [m ³]	Scenario 8.2 [m ³]	Scenario 8.3 [m ³]
Sieci	33'370	25'420	21'170	4'840	10'920
Girone	30	0	0	0	0
Rimaggio	0	0	0	0	0
Gavinana	0	0	0	0	0
S. Andrea a Rovezzano	107'180	105'150	104'360	102'350	103'210
Firenze città	0	0	0	0	0
Cascine	0	0	0	0	0
San Niccolò-Greve	0	0	0	0	0
Novoli-aeroporto	0	0	0	0	0
Peretola-San Donnino	572'590	338'520	268'680	258'320	265'330
Greve-Vingone	342'550	171'410	127'400	125'710	130'640
Sinistra Vingone	1'788'300	1'062'940	854'650	855'650	875'510
Ponte a Signa	15'360	0	0	0	0
Fosso Reale-Bisenzio	700	0	0	0	0
Signa	1'502'530	714'050	525'030	493'360	512'210
Campi Bisenzio-Prato	771'200	92'160	0	0	0
TOTALE	5'133'810	2'509'650	1'901'290	1'840'230	1'897'820

Tabella 3.4: Volumi massimi invasati nella piana fiorentina per Tr=200 anni negli scenari di verifica 1), 7) e 8).

Zona	Scenario 1 [m ³]	Scenario 7 [m ³]	Scenario 8.1 [m ³]	Scenario 8.2 [m ³]	Scenario 8.3 [m ³]
Sieci	441'880	407'930	393'470	378'780	380'740
Girone	120'160	108'720	105'500	100'670	101'050
Rimaggio	1'280	1'230	1'220	1'210	1'210
Gavinana	102'820	82'670	76'700	68'540	68'850
S. Andrea a Rovezzano	353'210	324'720	317'160	306'670	307'550
Firenze città	2'667'820	2'259'170	1'807'190	1'287'480	1'295'050
Cascine	1'886'050	1'746'640	1'601'260	1'498'700	1'500'200
San Niccolò-Greve	26'460	26'460	26'470	26'460	26'460
Novoli-aeroporto	515'880	540'970	496'620	459'730	457'000
Peretola-San Donnino	19'559'640	19'725'170	19'159'770	18'935'370	18'944'940
Greve-Vingone	23'031'640	23'057'740	22'547'660	22'314'730	22'312'670
Sinistra Vingone	3'715'290	3'716'250	3'714'990	3'713'520	3'713'390
Ponte a Signa	352'090	352'040	352'030	351'830	351'810
Fosso Reale-Bisenzio	1'954'630	1'972'040	1'971'500	1'970'130	1'969'870
Signa	19'024'270	18'982'810	18'830'280	18'823'760	18'829'610
Campi Bisenzio-Prato	15'559'340	15'493'750	15'314'600	15'295'680	15'302'300
TOTALE	89'312'460	88'798'310	86'716'420	85'533'260	85'562'700

Per il tempo di ritorno di 30 anni la riduzione complessiva dei volumi accumulati nelle aree di potenziale esondazione è di circa 3.5 Mm³ con la realizzazione di tutte le casse di espansione e di 0.3 Mm³ con il sopralzo della diga di Levane. In questo caso, il rendimento delle casse di espansione nel Medio Valdarno è di circa il 14%, mentre quello del sopralzo della diga di Levane è del 7%.

Nello scenario con la realizzazione parziale delle casse di espansione la riduzione complessiva dei volumi accumulati nelle aree di potenziale esondazione è pari a 2.6 Mm³ e di circa 0.6 Mm³ con il sopralzo della diga di Levane. Il rendimento delle casse di espansione è pari al 15%, mentre quello del sopralzo della diga di Levane è circa il 16%.

In conclusione, ciò che emerge dai risultati dei vari scenari *post-operam* è che ciascun intervento da solo non è sufficiente a raggiungere l'obiettivo di mitigare il rischio idraulico nella piana fiorentina e, in particolare, nel centro storico di Firenze, ma è necessario includerli tutti per poter perseguire una progressiva riduzione delle inondazioni sul territorio fino all'obiettivo della completa messa in sicurezza.

4 SVILUPPI FUTURI

Come più volte ricordato i principali interventi di messa in sicurezza idraulica nel bacino del Fiume Arno sono costituiti da casse di espansione e dighe la cui efficacia è legata, oltre che alla propria capacità di invaso, alla condizione di manovrare gli organi mobili in funzione dell'evento in corso e delle onde di piena attese, 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.

A tal proposito, in ragione delle competenze nell'attuazione del PGRA, nella gestione delle opere idrauliche, nell'attività di presidio territoriale idraulico e di Centro Funzionale Regionale, la Direzione Difesa del Suolo della Regione Toscana ha avviato un percorso di analisi ed attività per la definizione di un "*Piano di laminazione del Fiume Arno*" basato su strumenti di modellazione dei fenomeni idrologici ed idraulici.

Il principale obiettivo del Piano di laminazione consiste nel fornire le basi per la redazione, prima dell'entrata in esercizio delle singole opere, di un protocollo generale di gestione, e in particolare nella individuazione delle più opportune modalità di gestione degli organi mobili in modo da massimizzare i benefici in termini di riduzione del rischio idraulico nel corso di eventi di piena attesi sulla base delle indicazioni risultanti dai sistemi di monitoraggio e previsione pluviometrica ed idrometrica regionali.

Ad oggi sono in corso le attività propedeutiche alla redazione del Piano di laminazione, che consistono nella definizione di un processo di valutazione ed analisi di eventi di piena reali basato sull'integrazione del modello di previsione idrologica Mobidic (attualmente impiegato dal CFR) e nella messa punto di un modello numerico del Fiume Arno e dei suoi principali affluenti da Subbiano fino a San Giovanni alla Vena.