



# Relazione di progetto

---

**Progettazione di fattibilità  
tecnico ed economica  
dell'intervento "Sistemi  
di invasi sul fiume Paglia"**

**Autorità di bacino distrettuale  
dell'Appennino Centrale**

Area Pianificazione e tutela delle  
risorse idriche | Aprile 2025

## Sommario

1. Le ragioni dell'opera .....	1
1.1 Inquadramento.....	1
1.2 Obiettivi dell'intervento .....	2
1.3 Contesto pianificatorio e iter autorizzativo .....	3
2. Lo scenario attuale.....	4
2.1 Contesto territoriale .....	4
2.2 Contesto geologico di riferimento .....	4
2.2.1 Geologia e geomorfologia.....	4
2.2.2 Rischio sismico .....	5
2.2.3 Rischio da frana .....	5
2.2.4 Dinamica fluviale.....	5
2.2.5 Contaminazione da mercurio.....	7
2.3 Contesto idrologico-idraulico del fiume Paglia.....	8
2.4 Contesto paesaggistico e ambientale .....	8
2.5 Disponibilità idrica.....	10
2.6 Contesto socio-economico.....	10
3. Le alternative progettuali studiate .....	11
3.1 Casse di espansione.....	13
3.2 Invaso artificiale sul fiume Paglia - sbarramento di Torre Alfina .....	16
3.3 Scenari progettuali alternativi indagati .....	18
3.4 Opzione "zero" .....	18
3.5 Scenario progettuale n.1 (SdP 1).....	19
3.6 Scenario progettuale n.2 (SdP 2) .....	21
3.7 Scenario progettuale n.3 (SdP 3) .....	22
3.8 Scenario progettuale n.4 (SdP 4).....	23
3.9 Valutazione dei benefici attesi .....	24
3.10 Sintesi del confronto tra gli scenari analizzati.....	25
3.11 Espropri ed occupazioni.....	26
4. Realizzazione degli interventi previsti dai singoli scenari per lotti funzionali .....	27
5. Valutazione dei costi delle soluzioni alternative previste nei differenti scenari di interesse.....	28
6. Analisi Multicriterio .....	29
6.1 Obiettivi e aspetti metodologici .....	29
6.2 Risultati ottenuti .....	30
7. Interventi di manutenzione e messa in sicurezza proposti nell'alto Paglia.....	31

# 1. Le ragioni dell'opera

## 1.1 Inquadramento

Le opere e i possibili scenari alternativi descritti nella presente Relazione afferiscono alla Progettazione di fattibilità tecnico ed economica dei “Sistemi di invasi sul fiume Paglia”, inserita nel Programma degli interventi e dei progetti finanziati con il 1° Stralcio del Piano Nazionale del settore idrico - “Sezione invasi” (risorse di cui all'articolo 1 comma 155 della Legge 145/2018), di cui all'Allegato 2 del decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 17.4.2019.

Va premesso che il fiume Paglia è il principale affluente in destra idrografica del fiume Tevere nel quale confluisce a valle del lago di Corbara e si sviluppa, procedendo da ovest verso est, nella bassa Toscana, nell'alto Lazio e nella porzione occidentale dell'Umbria fino alla confluenza nel Tevere.

Le caratteristiche del bacino del Paglia, fin dagli anni '40, hanno indotto il pianificatore ad ipotizzare interventi di regimazione idraulica e/o di regolazione idrologica finalizzati, in modo sinergico, a contenere il pericolo idro-geomorfologico e a sfruttare i volumi di piena per gli usi umani e per i miglioramenti ambientali. La Commissione Speciale per lo studio del Piano Regolatore delle opere di sistemazione del Tevere, nel 1942, prese in considerazione la realizzazione di opere di difesa ed invasi nel bacino del Paglia. Successivamente, la Commissione Interministeriale per lo studio della sistemazione idraulica e della difesa del suolo del 1970 (più nota come “Commissione De Marchi”) riprese la proposta di un invaso sul fiume Paglia.

La maggiore frequenza di esondazioni e alluvionamenti nel tratto terminale del fiume Paglia, verificatisi nell'ultimo decennio (eventi del 2010 e del 2012) hanno comportato significativi danni nel territorio della bassa valle del Paglia, particolarmente vulnerabile per la presenza di infrastrutture e aree urbanizzate nelle immediate pertinenze dell'alveo.

La necessità di progettare a scala di bacino un “sistema di invasi”, in grado di far fronte agli eventi di piena, è stata fortemente sentita dopo l'evento del novembre del 2012, anno in cui nell'arco di pochi mesi, si è passati da una situazione di emergenza per siccità (luglio 2012) ad una situazione di grave emergenza per l'alluvione che ha messo in evidenza una vulnerabilità non trascurabile del territorio.

Di seguito le situazioni estreme registrate nel 2012: la forte siccità di luglio, nell'immagine di sinistra, e l'alluvione di novembre nell'immagine di destra.



Dopo l'evento del novembre 2012 sono stati eseguiti interventi finalizzati alla mitigazione del rischio idraulico. Si cita al riguardo il Consorzio per la Bonifica della Val di Chiana Romana e Val di Paglia che ha realizzato diversi interventi che hanno interessato sia il fiume Paglia nel territorio della Regione Umbria, nei Comuni di Alleronia, Castel Viscardo e Orvieto, sia alcuni torrenti minori: sul sito<sup>1</sup> del Consorzio sono consultabili sia gli interventi realizzati, sia quelli in corso di realizzazione, nonché le progettazioni e gli studi. Sono stati inoltre condotti studi da parte dell'Autorità di bacino, del CNR-IRPI e della Regione Umbria per l'individuazione degli scenari di allagamento che hanno portato

<sup>1</sup> Consultare la pagina <https://bonificachiana.it/attivit a-in-corso/>

all'aggiornamento delle mappe di pericolosità.

Tuttavia, è emersa con evidenza la necessità di avviare una progettazione che prendesse in esame l'intero bacino e fosse finalizzata ad individuare la combinazione ottimale di opere in grado di ridurre in modo significativo il rischio di allagamento e quindi di limitare i danni, soprattutto nei territori urbanizzati del bacino del Paglia e, nel contempo, consentisse di accumulare acqua per far fronte ai sempre più frequenti fenomeni di crisi idrica e per migliorare le condizioni del corso d'acqua durante i periodi di magra. Peraltro, considerati gli effetti delle piene del fiume Paglia sul medio e basso Tevere, la progettazione deve essere necessariamente coordinata con la restante parte del bacino del Tevere e perciò deve verificare oltre alla riduzione del rischio a livello locale, anche eventuali benefici a scala più ampia.

Pertanto nel 2019 l'Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino centrale e il Ministero delle infrastrutture e dei trasporti hanno deciso di avviare la Progettazione di fattibilità tecnico ed economica dei *"Sistemi di invasi sul fiume Paglia"* in argomento.

Ciò premesso, va rappresentato che le principali criticità che caratterizzano il fiume Paglia, specie nel suo tratto vallivo che ricade nel territorio della Regione Umbria, sono riconducibili a tre ordini di problemi:

1. la sua ridotta capacità di contenimento delle piene;
2. l'erosione lineare e di sponda, la divagazione planimetrica del corso d'acqua e il trasporto di sedimenti;
3. la presenza di piene con portate significative che si generano in brevissimo tempo a causa della ridotta permeabilità del suolo dovuta all'antropizzazione.

Il fiume Paglia raccoglie lungo il suo corso numerosi affluenti, alcuni dei quali contribuiscono con portate significative alle piene, e il suo bacino è caratterizzato da scarse aree naturali per la laminazione. Inoltre, le significative pendenze dell'alveo, soprattutto nel tratto di monte, e la complessa struttura geomorfologica determinano deflussi di piena particolarmente pericolosi, in grado di modificare anche l'assetto del fiume (come avvenuto in modo particolarmente significativo negli eventi del 1937 e del 2012) e compromettere la stabilità delle opere di difesa esistenti.

Peraltro, va tenuto conto che il bacino è collocato in un territorio non particolarmente ricco di acque, che conferisce al fiume e ai suoi affluenti un regime tipicamente torrentizio. I dati di pioggia rilevati evidenziano una notevole diminuzione delle precipitazioni negli ultimi 5 anni. Inoltre, dalla osservazione dei dati e dagli effetti dei cambiamenti climatici in corso risulta che la diminuzione delle precipitazioni ha portato ad un significativo calo dei livelli della risorsa idrica disponibile.

Tenuto conto delle suddette criticità, delle fragilità del territorio nei confronti del fenomeno di rischio alluvionale, le opere idrauliche descritte nella presente Relazione sono finalizzate principalmente a favorire l'accumulo dei volumi di piena in modo da determinare la riduzione delle portate del fiume Paglia e, quindi, assicurare il conseguente abbassamento dei livelli idrici sia nel fiume stesso, sia nelle aree soggette all'allagamento. Le stesse opere, altresì, sono state studiate per consentire di accumulare acqua da utilizzare per gli usi irrigui e per alimentare il fiume nei periodi di siccità.

Secondo una logica multidisciplinare, sono stati affrontati quindi i vari aspetti ingegneristici ed ambientali che interessano il bacino e che vanno presi in considerazione quando si devono realizzare opere idrauliche quali le casse di espansione e gli invasi. In questa fase progettuale sono stati anche verificati gli eventuali benefici che le soluzioni alternative individuate proposte produrrebbero in termini di riduzione del danno da piena nella media e bassa valle del Tevere.

## 1.2 Obiettivi dell'intervento

Alla luce di quanto rappresentato nel precedente paragrafo 1.1, gli obiettivi generali che il progetto si pone di perseguire attraverso la realizzazione delle opere proposte sono quindi molteplici e si possono così riassumere:

- individuare quell'insieme di opere, da localizzare in funzione della laminazione delle piene di riferimento, tali da produrre una significativa riduzione dei volumi di piena e quindi limitare i danni da allagamento soprattutto nelle aree urbanizzate del bacino del fiume Paglia;
- disporre di nuovi volumi d'acqua per l'approvvigionamento idrico da impiegare nei periodi di siccità per

l'irrigazione di soccorso;

- preservare e valorizzare l'ambiente e il paesaggio fluviale nei periodi di siccità;
- valutare gli effetti positivi che si avrebbero nella media e nella bassa valle del fiume Tevere dalle opere progettate, evitando che la piena del fiume Paglia possa sovrapporsi con quella proveniente dall'invaso di Corbara, provocando quindi danni ancora maggiori.

### 1.3 Contesto pianificatorio e iter autorizzativo

L'intervento proposto si deve rapportare con strumenti di pianificazione di vario livello: regionale, provinciale, intercomunale e comunale.

Dal punto di vista vincolistico, le opere proposte ricadono all'interno di zone territoriali vincolate sotto il punto di vista paesaggistico, ai sensi dell'art. 142 del D.lgs. n. 42 del 22 gennaio 2004 "Codice dei beni culturali e del paesaggio". Detti vincoli interessano sia le casse di laminazione, essendo realizzate in prossimità del fiume e ricadenti anche in aree boscate, sia lo sbarramento di Torre Alfina essendo lo stesso all'interno di Aree Naturali protette, ovvero:

- la Riserva Naturale del Monte Rufeno (Lazio);
- il Parco di Monte Peglia e Selva di Meana (Umbria).

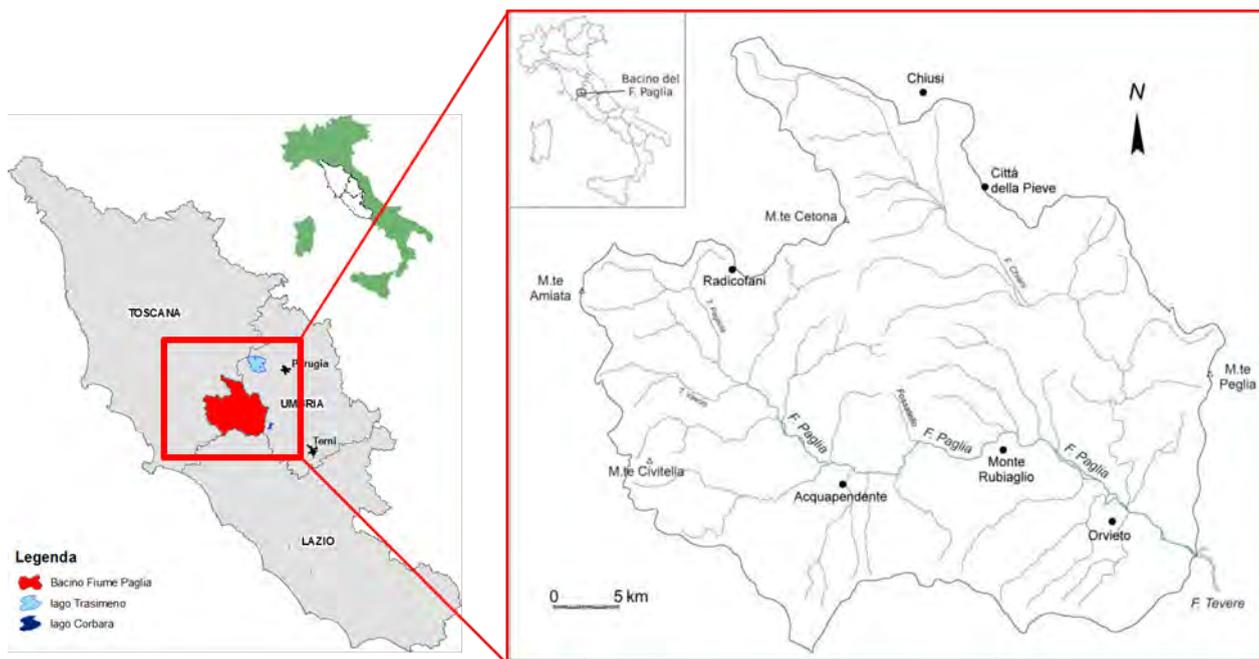
Inoltre, sul territorio interessato dagli interventi in progetto sono presenti Siti Natura2000 e, pertanto, le opere devono essere sottoposti alla Valutazione di Incidenza (VInCA), disciplinata dall'art. 5 del DPR 8 settembre 1997, n. 357: in particolare tale procedura riguarda gli interventi per la realizzazione delle casse di espansione nel territorio laziale (casse denominate P1 e P2) e dello sbarramento di Torre Alfina. Si tratta dei seguenti Siti Natura2000:

- ZPS IT6010003 "Monte Rufeno";
- ZSC IT5220002 "Selva di Meana";
- ZSC IT6010001 "Medio Corso del Fiume Paglia";
- ZSC IT6010004 "Monte Rufeno";
- ZSC IT6010006 "Valle del Fossatello".

## 2. Lo scenario attuale

### 2.1 Contesto territoriale

Il fiume Paglia è il principale affluente in destra idrografica del fiume Tevere nel quale confluisce a valle del lago di Corbara dopo aver percorso circa 85 km attraversando da nord-ovest a sud-est le Regioni Toscana, Lazio e Umbria.



Il suo bacino idrografico si estende per circa 1320 km<sup>2</sup>, per lo più in Umbria e, in minor parte, nella Toscana e nel Lazio. La chiusura del bacino (confluenza con il fiume Tevere) è situata a 100 m s.l.m.; la sua elevazione media è pari a circa 440 m s.l.m..

Il fiume Paglia raccoglie lungo il suo corso numerosi affluenti; fra questi alcuni sono di minore importanza, mentre altri hanno una notevole portata. In sinistra idrografica, l'affluente più importante è il fiume Chiani il cui bacino ha una superficie di circa 422 km<sup>2</sup>, che si immette nel fiume Paglia all'altezza della città di Orvieto.

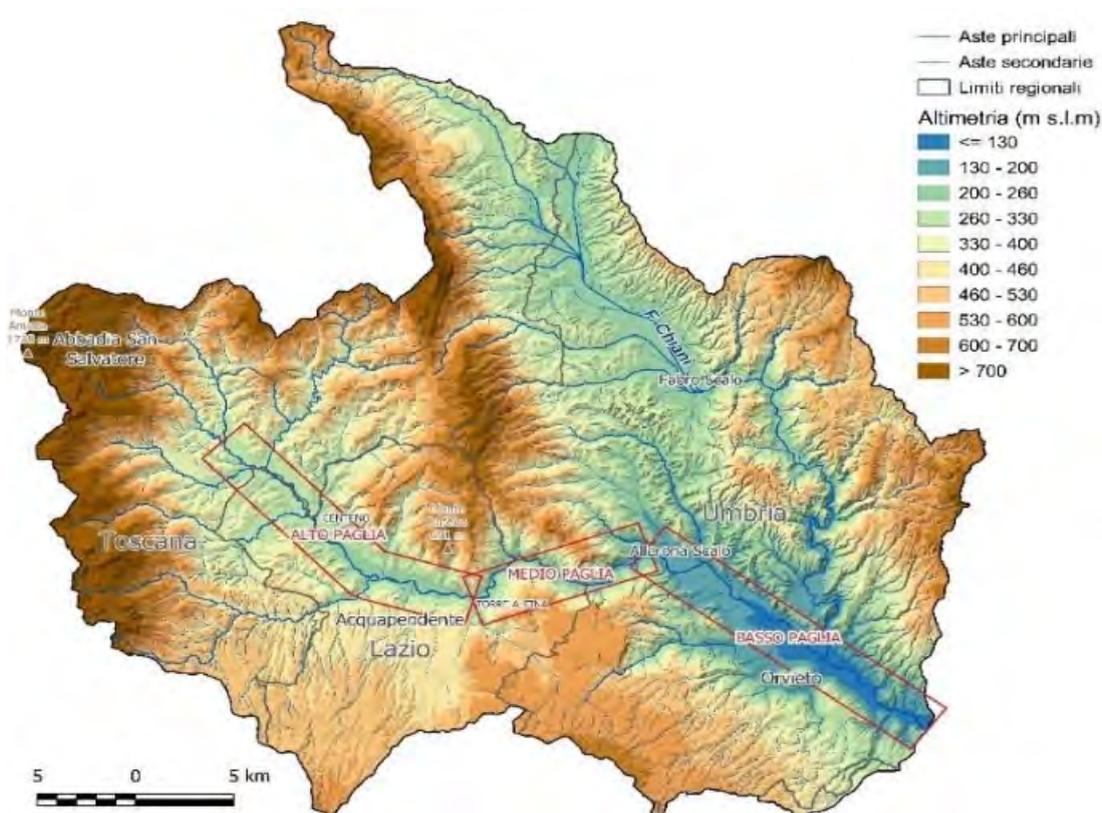
Il principale contributo della formazione delle piene del Paglia proviene per oltre il 40% dalla porzione di bacino posta a monte della stretta di Torre Alfina. Inoltre, circa il 20% proviene dal fiume Chiani, dove già esistono due casse di laminazione delle piene. Analisi approfondite di dinamica fluviale e di geomorfologia storica e la riscontrata tendenza all'erosione e all'approfondimento dell'alveo (Cencetti et al., 2004; 2017) portano a ritenere che l'alveo del Paglia, specialmente nel tratto di monte, ha aumentato la sua efficienza idraulica, ovvero le piene non vengono laminate e raggiungono più velocemente il tratto vallivo caratterizzato da una insufficiente capacità di contenimento dei livelli di piena (in termini tecnici carena di officiosità del corso d'acqua). Analoghe problematiche riguardano anche gli affluenti del Paglia tra cui il torrente Romealla ed il torrente Albergo La Nona.

### 2.2 Contesto geologico di riferimento

#### 2.2.1 Geologia e geomorfologia

Il fiume Paglia può essere suddiviso in tre settori (vedi figura seguente): Alto, Medio e Basso. I settori relativi all'Alto e Basso Paglia sono caratterizzati da un'ampia valle a fondo piatto con substrato geologico costituito da depositi di argille di origine marina e subordinatamente sabbie e conglomerati continentali; il settore del Medio Paglia, tra l'abitato di Acquapendente e Stazione Allerona, si presenta invece come una stretta valle incisa in un substrato geologico costituito da rocce calcareo-marnose, arenarie, argilliti e da rocce vulcaniche e

caratterizzato anche dalla presenza di un serbatoio geotermico, con acque calde a media entalpia ( $T = 150^\circ \text{C}$ ), ospitato nelle rocce carbonatiche fratturate mesozoiche che si trovano in quest'area a notevoli profondità di circa 500 - 600 m.



### 2.2.2 Rischio sismico

I cataloghi ufficiali dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) e dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), basati anche sulla sismicità storica, indicano che la pericolosità sismica dell'area è di moderata entità e che in essa non risultano presenti faglie attive e capaci. È inoltre presente dal 2014 una rete sismica locale, chiamata ReMoTA, installata dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia nell'area di torre Alfina e Castel Giorgio.

### 2.2.3 Rischio da frana

Risulta dall'Inventario dei fenomeni franosi in Italia (IFFI) e dal Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) che sui versanti della valle del Medio Paglia sono presenti alcuni estesi movimenti franosi che coinvolgono prevalentemente la coltre detritica e che sono caratterizzati da velocità di spostamento basse. Per i settori dell'Alto e Basso Paglia non si evidenziano significative instabilità di versante.

### 2.2.4 Dinamica fluviale

È noto come il corso del Basso Paglia, principalmente nel tratto a monte di Ponte dell'Adunata (Orvieto Scalo), sia oggi affetto da problemi di erosione e incisione dell'alveo fluviale. Lo studio dei documenti cartografici storici mostra come il corso del fiume nel settore del Basso Paglia abbia subito delle trasformazioni significative negli ultimi 200 anni, che hanno portato ad una completa riconfigurazione geomorfologica, passando da una morfologia multicanale a "canali intrecciati", rilevabile sino al 1950, al morfotipo attuale "a canale singolo e a bassa sinuosità".

La Figura di seguito riportata permette di osservare come negli anni le divagazioni del fiume si sono ridotte e il fiume si sia via via canalizzato ed approfondito.

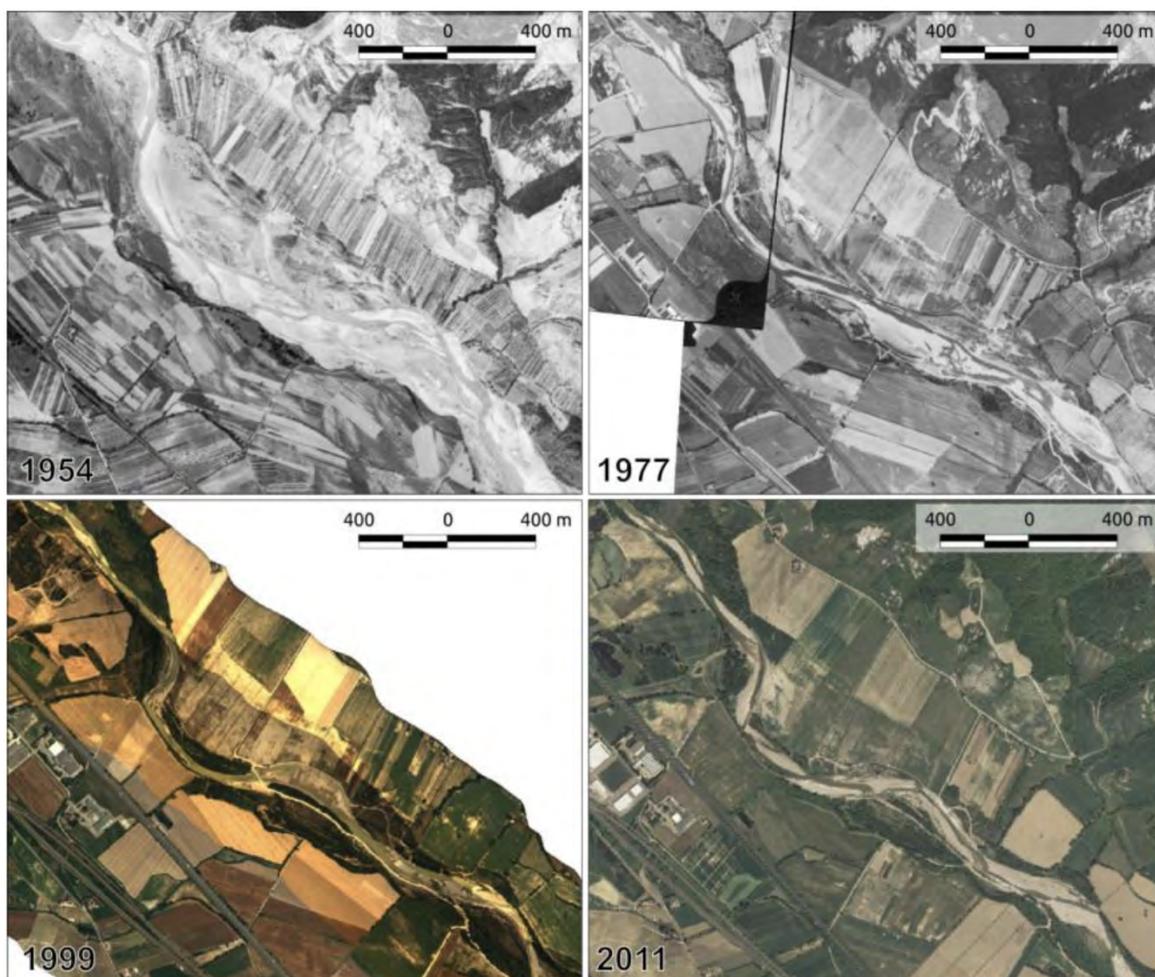


Figura 1:Variazione della configurazione morfologica dell'alveo del F. Paglia tra il 1954 e il 2011 (da Cencetti et alii, 2017)

Sia nell'alto che nel basso Paglia, tra il 1800 e il 2000, l'alveo ha subito un notevole restringimento, dovuto ad un processo di incisione del canale principale che ha comportato il progressivo abbandono delle aree laterali dell'alveo. Queste sono diventate via via sempre più vegetate, sempre meno mobili, e sempre meno coinvolte nella dinamica morfologico-sedimentaria. La tendenza si è invertita nel periodo 2000 - 2013 quando l'alveo del fiume ha in parte riconquistato i suoi spazi originali a causa di importanti eventi di piena verificatesi tra il 2008 e il 2013.



Figura 2: Evidenze di campagna del processo di incisione dell'alveo. A sinistra – sottofondazione del ponte della ferrovia Roma-Firenze (alta velocità); a destra e al centro – affioramento delle argille marine plioceniche (substrato) sulla sponda e sul fondo alveo.

Il processo di restringimento ed incisione è ben conosciuto ed è comune a moltissimi fiumi italiani ed europei. La velocità del fenomeno indica chiaramente una origine antropica, connessa allo sviluppo industriale del secolo scorso, che ha impattato profondamente sulle aree di pertinenza fluviale. Le cause principali, che hanno prodotto la carenza di sedimenti ed il conseguente innesco di fenomeni erosivi in alveo sono:

- l'utilizzo di aree adiacenti al corso d'acqua per scopi agricoli ed edilizi, che riducendo la possibilità del

fiume di espandersi hanno provocato l'erosione del fondo dell'alveo;

- le opere di sistemazione idraulica, come le canalizzazioni e le rettificazioni, che hanno attivato i processi erosivi;
- la riforestazione per il progressivo abbandono delle aree rurali che ha comportato una riduzione degli apporti dei sedimenti dai versanti;
- le attività estrattive degli inerti eseguite direttamente in alveo.

Per quanto attiene al trasporto solido lungo il corso del fiume Paglia, è plausibile che gli apporti provenienti dall'Alto Paglia siano parzialmente bloccati all'inizio dello stretto tratto vallivo che caratterizza il medio corso del fiume per la presenza di una "soglia morfologica", ovvero una sorta di "barriera" all'altezza della stretta di Torre Alfina che rallenta notevolmente il passaggio del materiale solido di fondo proveniente da monte. Lungo il medio tratto è presente invece il torrente Fossatello, affluente in sinistra idrografica, che mostra un elevato trasporto solido, dovuto all'erosione di vaste aree caratterizzate da depositi che contengono anche blocchi di grandi dimensioni; tale trasporto solido costituisce la principale fonte di apporto sedimentario per il tratto vallivo successivo, stimabile approssimativamente tra 35.000 e 100.000 tonnellate all'anno, valori questi compatibili con l'assetto dell'area e con le opere previste lungo detto tratto.

La Figura di seguito riportata permette di constatare come il maggior contributo di materiale presente in alveo provenga t. Fossatello, sia caratterizzata dalla presenza di notevoli quantità di sedimenti, che poi tendono a deposita a causa della presenza della suddetta "barriera naturale".

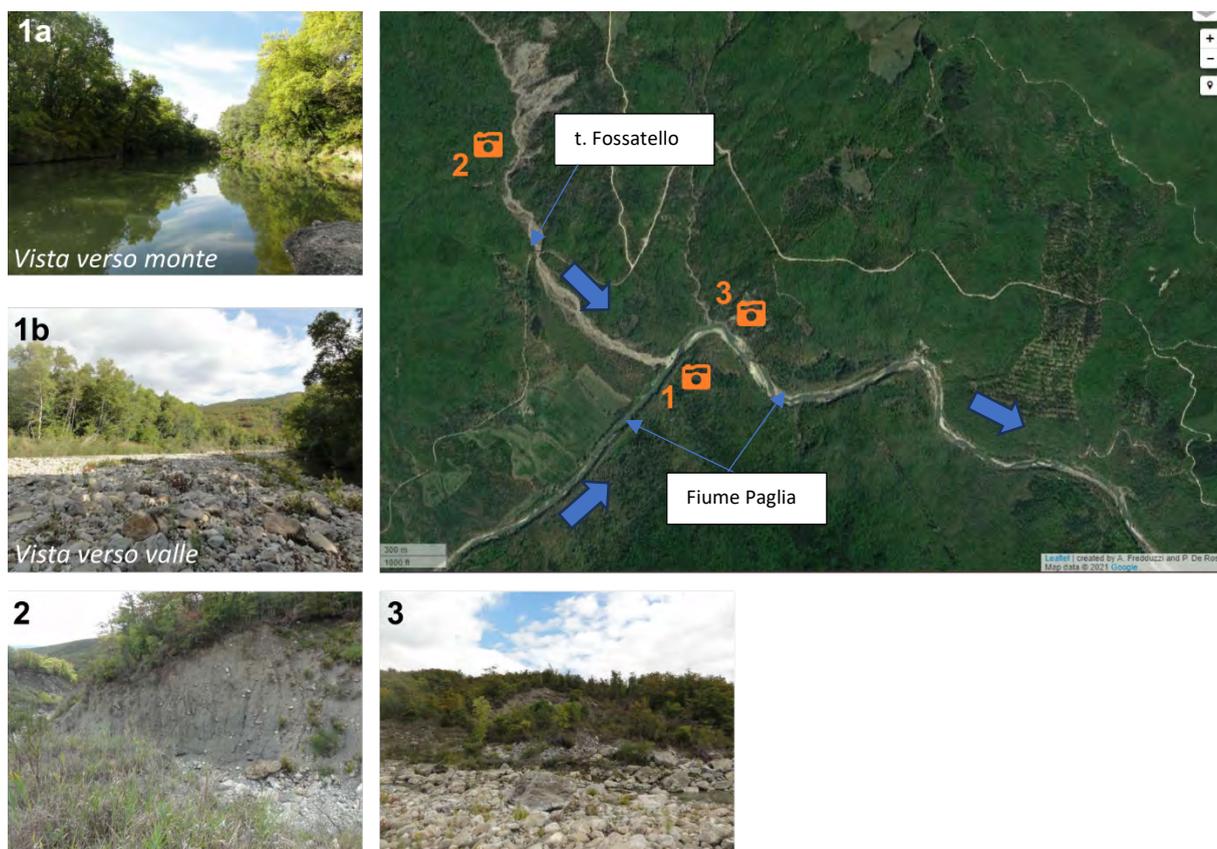


Figura 3: Confluenza del T. Fossatello, localizzabile nella stretta di Torre Alfina.

### 2.2.5 Contaminazione da mercurio

Le analisi condotte tra il 2016 e il 2020 dalle tre Agenzie regionali per la protezione dell'ambiente (Toscana, Umbria e Lazio) hanno evidenziato come in tutto il corso del fiume Paglia e nel tratto del fiume Tevere compreso tra la confluenza con lo stesso Paglia e Castel Giubileo si riscontri una contaminazione "storica" da mercurio, la cui sorgente è individuabile nelle miniere di mercurio, abbandonate, del Monte Amiata.

Le attività di campionamento hanno riguardato: l'acqua, i sedimenti dell'alveo, i suoli della pianura alluvionale, l'aria, le piante e la fauna ittica. I risultati indicano che la contaminazione riguarda i sedimenti del fiume e che il trasferimento verso valle avviene principalmente in occasione degli eventi alluvionali estremi.

Le concentrazioni più elevate di mercurio sono state riscontrate nei sedimenti fluviali e nei suoli, mentre basse concentrazioni, entro i limiti di legge, sono state rilevate nelle acque superficiali, in aria e nei vegetali edibili sino a valori non rilevabili nelle verdure lavate. Anche la fauna ittica è interessata dalle contaminazioni da mercurio con valori più alti, che decrescono all'aumentare della distanza dal Monte Amiata. Questo indica che l'inquinante viene trasportato quasi esclusivamente sotto forma di particolato, cioè nei sedimenti fluviali.

Dato che i sedimenti del fiume contaminati da mercurio si trasferiscono verso valle per effetto del trasporto del materiale solido, soprattutto durante le piene, le casse di laminazione, che entrano in azione proprio direttamente le piene, svolgerebbero la funzione di trattenere i sedimenti all'interno delle vasche stesse, che periodicamente andranno rimossi.

### 2.3 Contesto idrologico-idraulico del fiume Paglia

In occasione dell'evento di piena dell'11-12 novembre 2012 le maggiori criticità, causate da una insufficiente officiosità idraulica del fiume, si sono registrate nelle zone di Allerona Scalo, Ciconia, Orvieto scalo Pianlungo, nonché nelle principali infrastrutture presenti sul territorio quale ferrovie, autostrada e strade statali e provinciali.

L'osservazione dei fenomeni di piena che hanno interessato il bacino del Paglia (e i sottobacini dei suoi affluenti) negli ultimi anni ha consentito di evidenziare come tali fenomeni si vadano sempre più caratterizzando per un incremento significativo delle portate, a causa della riduzione del tempo di formazione e trasferimento delle piene.

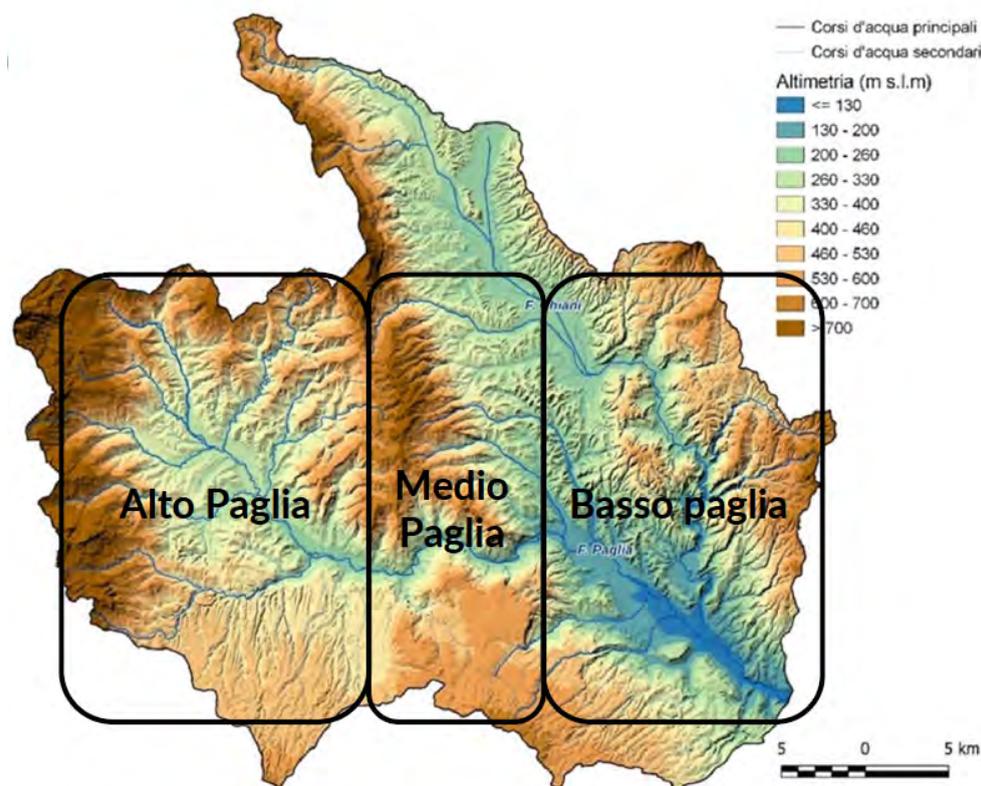
La principale ragione che spiega questo fenomeno è riconducibile alle caratteristiche geologiche del bacino del Paglia, che è ha una permeabilità molto bassa e che quindi determina la formazione di piene in tempi molto brevi. Tale effetto è ulteriormente amplificato a causa dell'antropizzazione del bacino, soprattutto nel tratto vallivo del Paglia a seguito dello sviluppo urbanistico ed edilizio.

Nell'insieme, quindi, si osserva una convergenza fra fattori che hanno determinato un accrescimento dell'impermeabilizzazione del suolo, che si traduce, poi, oltre a una criticità sotto il profilo del rischio idraulico legato alla riduzione dei tempi di formazione delle piene, a un aumento della frequenza, dell'intensità e della durata degli allagamenti, con sempre più ingenti rischi di danni a persone e a beni.

### 2.4 Contesto paesaggistico e ambientale

Dal punto di vista dell'uso del suolo il bacino per circa il 40% è costituita dalla presenza di aree boschive e per circa il 48% da aree dedicate ad uso seminativo.

Per quanto riguarda morfologia del suolo il tracciato del fiume Paglia può essere suddiviso in 3 parti (vedi figura successiva): l'alto, il medio e il basso Paglia.



- alto Paglia: il tracciato è caratterizzato da una pianura fluviale non molto ampia, ma per lunghi tratti continua, nella quale l'alveo divaga talora lambendo la base dei versanti, prevalentemente in destra idrografica; questa zona è prevalentemente ad uso seminativo mentre l'alveo è ghiaioso, con frequenti corpi sedimentari, in parte attivi e in maggior parte relitti; la vegetazione è a prevalenza di macchia in evoluzione, talvolta con la presenza di boschetti di alto fusto;
- medio Paglia: corrispondente all'incirca alle zone della stretta naturale di Torre Alfina; in questo tratto il fiume scorre in una stretta valle a "V", con rari lembi di pianura fluviale, presenti ora in destra, ora in sinistra idrografica; il tratto è privo di opere, sia in alveo che nella pianura, ed è in condizioni pressoché naturali, senza condizionamenti; in questa parte del fiume è presente la maggior parte delle zone boscate;
- basso Paglia: è il tratto vallivo è caratterizzato da un'ampia pianura fluviale; in quest'area abbiamo la presenza dominante di coltivi di notevole rilevanza paesaggistica come i vigneti e alcune aree umide.

Ad eccezione del tratto interessato dalla stretta di Torre Alfina, che ha caratteristiche montane con una valle molto incisa ed occupata da una densa coltre boschiva, le aree golenali e perifluviali dell'alto e basso Paglia sono caratterizzate da vegetazione naturale e seminaturale, riconducibile a quella dei boschi alveali e ripariali, più o meno igrofili a seconda della distanza dall'alveo ed alla propensione dei terreni a frequenti sommersioni.

Le pendici delle colline ai cui piedi scorre il fiume Paglia, e quindi sui versanti poco distanti dalle zone golenali e perifluviali sono caratterizzate dalla presenza di boschi di querce, prevalentemente cerrete nella zona di Torre Alfina e nella parte laziale, mentre nella parte più meridionale, in Umbria, prevalgono i querceti di roverella; di buon interesse naturalistico (oltre che paesaggistico) è anche la presenza di praterie semi naturali, che si stanno insediando in seguito al progressivo abbandono delle coltivazioni più marginali (tratto del basso Paglia a valle di Allerona).

Di seguito riportiamo le tipologie vegetazionali riscontrate delle zone di indagine:

- Querceti a prevalenza di cerro - Cerrete collinari;
- Querceti a prevalenza di roverella - Boschi mesomediterranei di roverella;
- Boschi e boscaglie a prevalenza di specie igrofile (salici e/o pioppi e/o ontani, ecc.) -Boscaglie ripariali a salici arbustivi;

- Nuclei forestali di neoformazione in ambito agricolo e artificiali;
- Praterie e pseudo-garighe collinari e submontane.

Il sito "ZSC IT6010001 - Medio corso del fiume Paglia" è caratterizzato da vegetazione igrofila ripariale; sui terrazzi fluviali ciottolosi, soprattutto di Paglia e Fossatello, a mosaico con i saliceti pionieri è presente una vegetazione erbacea xerofila rappresentata da garighe; non risulta presente, allo stato attuale delle conoscenze, nessuna specie vegetale di interesse comunitario secondo il regolamento 92/43 CEE; sono peraltro presenti 4 habitat:

- 3280: Fiumi mediterranei a flusso permanente con il Paspalo-Agrostidion e con filari ripari di Salix e Populus alba;
- 91F0: Foreste miste riparie di grandi fiumi a Quercus robur, Ulmus laevis, e Ulmus minor, Fraxinus excelsior o Fraxinus angustifolia (Ulmenion minoris);
- 6431: Bordure erbacee alte dei corsi d'acqua e aree boscate;
- 92A0: Foreste a galleria di Salix alba e Populus alba.

## 2.5 Disponibilità idrica

Il bacino del fiume Paglia è caratterizzato da scarse portate nel periodo estivo; basti pensare che negli anni 2020-2022 per oltre 60 giorni le portate nel fiume sono risultate inferiori al minimo deflusso vitale, ossia la minima portata di acqua necessaria per un ecosistema acquatico sano.

Il protrarsi dell'attuale situazione del clima con periodiche stagioni siccitose (ad esempio, nei primi sei mesi del 2023 si è registrata nella zona di Orvieto una diminuzione delle piogge del 53% rispetto alla media) provoca difficoltà di prelievo della risorsa idrica per gli usi irrigui, generando così gravi conseguenze economiche per gli utenti, tant'è che gli agricoltori hanno dovuto cambiare le colture tipiche con altre che richiedono un basso o nullo utilizzo di acqua, perdendo così la tradizione agricola del territorio.

## 2.6 Contesto socio-economico<sup>2</sup>

Il bacino del fiume Paglia comprende n.23 Comuni ed una popolazione di circa 73 mila abitanti. La struttura della popolazione in termini di età vede come preponderante la classe di età tra 26 e 55 anni, e a seguire le classi da 56 anni in poi.

Il sistema economico nel suo complesso è composto da tre grandi comparti: agricolo, industriale e servizi. La struttura, per macro-settori, risulta abbastanza equilibrata in termini di occupazione, con una prevalenza nel settore dei servizi privati.

Gli indicatori economici generali segnano un rapporto tra occupati e popolazione pari al 39,5% rispetto al valore nazionale di 39,7%, un reddito per abitante e per occupato più basso del 20% rispetto al valore nazionale, tipico di aree "non centrali" della penisola, dove è meno forte l'effetto aggregatore di imprese e occupazione a più alta produttività.

---

<sup>2</sup> Fonte: "Il fiume Paglia sicuro, pulito, da vivere", frutto delle collaborazioni tra l'Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino centrale ed Alta Scuola, curato dal Dott. Geol. Endro Martini.

### 3. Le alternative progettuali studiate

Le attività progettuali condotte hanno permesso di identificare un complesso di opere, tra loro diversamente combinate, in grado di definire diversi e differenti scenari di interventi, prioritariamente rivolti al soddisfacimento degli obiettivi di cui al precedente Cap. 1.2.

La difesa dalle inondazioni, tramite misure attive, mira a ridurre le portate al colmo di piena<sup>3</sup>, laminando le piene per mezzo di invasi disposti a monte delle zone da proteggere, con conseguente riduzione dei tiranti idrici<sup>4</sup> all'interno dell'alveo a valle degli invasi di laminazione stessi. Gli invasi per la laminazione delle piene possono essere classificati come segue (vedi figura 5):

- casse di espansione in derivazione, in cui l'invaso non include l'alveo fluviale;
- serbatoi di laminazione e casse di espansione in linea, in cui l'invaso include l'alveo del fiume;
- serbatoi ad usi multipli, in cui il volume d'invaso destinato alla laminazione delle piene è solo una parte della capacità di un serbatoio destinato anche ad altri usi.

Le modalità della laminazione sono diverse nei tre casi.

La tipologia di opere individuate nel caso specifico del fiume Paglia sono sostanzialmente due: **casse di espansione** e **invaso di laminazione**.

Un **bacino di espansione, o cassa di espansione**, è un'opera idraulica che viene generalmente realizzata al di fuori dell'alveo principale del corso d'acqua rendendola comunicante con quest'ultimo per ridurre la portata durante le piene di un corso d'acqua tramite lo stoccaggio temporaneo di parte del volume dell'onda di piena, rilasciando all'interno dell'alveo principale i volumi precedentemente accumulati al termine dell'evento di piena.

Un **invaso di laminazione** è un'opera idraulica che viene generalmente realizzata all'interno dell'alveo principale del corso d'acqua per ridurre la portata da far defluire verso valle durante le piene con l'accumulo temporaneo di parte del volume dell'onda di piena, da rilasciare poi gradualmente all'interno dell'alveo principale al termine dell'evento di piena.

L'efficacia della laminazione dipende, oltre che dalla capacità dell'invaso e dalle modalità di gestione, anche dalla posizione del serbatoio, ed è tanto maggiore quando più il bacino sotteso dall'invaso costituisce una frazione grande del bacino della zona da proteggere. Un vaso disposto troppo a monte lamina una frazione troppo piccola della piena e può risultare poco efficace, anche se di considerevole capacità, perché non lamina i contributi dell'ampio bacino a valle.

---

<sup>3</sup> Il **colmo di piena**, relativamente al diagramma di piena per la generica sezione di un corso d'acqua, è l'istante in cui è massima la portata (quantità d'acqua che transita attraverso una sezione nell'unità di tempo) dell'acqua nella sezione medesima.

<sup>4</sup> Il **tirante idrico** è l'altezza dell'acqua nella sezione fluviale, ovvero la distanza della superficie dell'acqua rispetto al fondo dell'alveo.

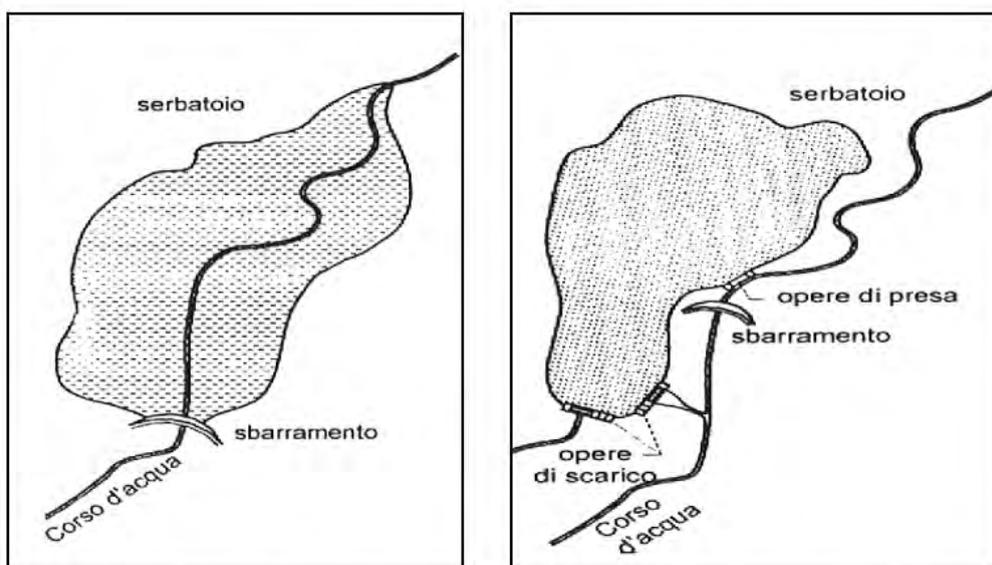


Figura 3: Schematizzazione di uno sbarramento/invaso di laminazione (sx) e bacino/cassa di espansione (dx).

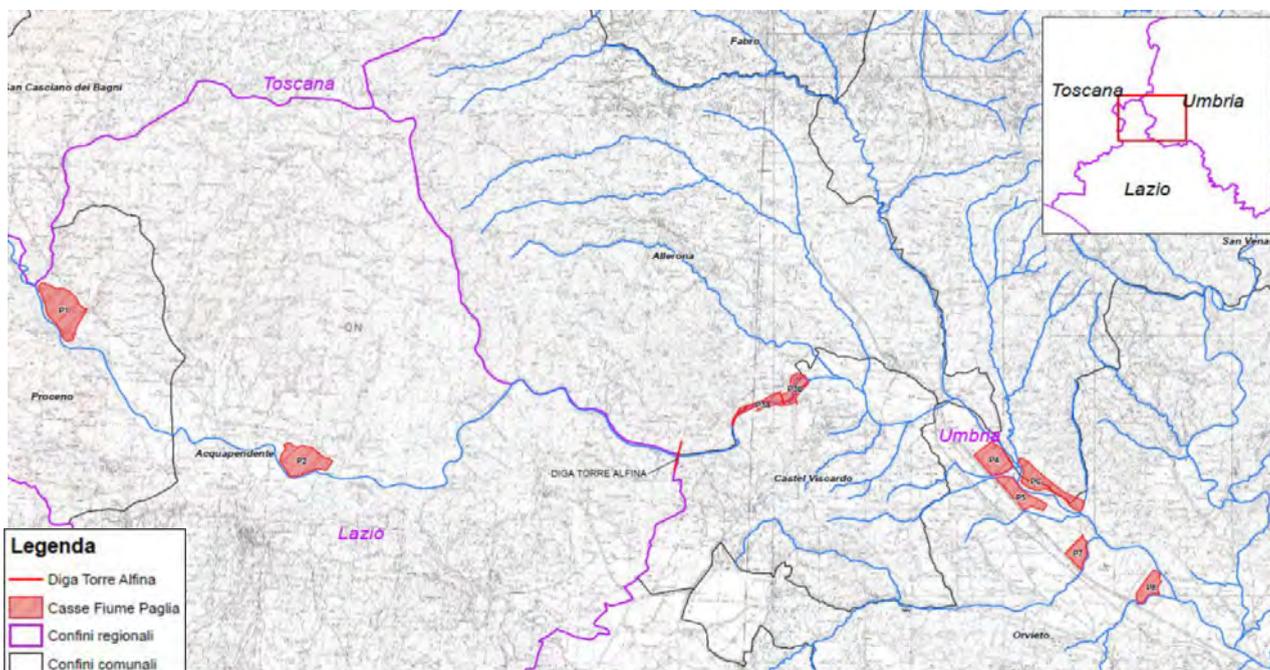


Sulla base dei risultati delle elaborazioni idrologiche condotte è emerso che la parte di bacino posta a monte della cosiddetta stretta di Torre Alfina contribuisce in modo significativo sulla formazione delle piene del fiume Paglia per i tempi di ritorno assunti come riferimento per le elaborazioni ed analisi condotte.

Nella seguente tabella sono riportate la superficie del bacino idrografico del fiume Paglia in corrispondenza delle varie sezioni di interesse lungo l'alveo (ad esempio in corrispondenza della localizzazione delle diverse opere di laminazione previste, nonché in corrispondenza della confluenza con il f. Chiani e di Ponte Adunata), nonché l'incidenza percentuale della superficie sottesa dal bacino idrografico alla sezione di interesse rispetto al valore complessivo del bacino idrografico del fiume Paglia in corrispondenza della immissione nel fiume Tevere.

Sezione di interesse	Superficie sottesa [km <sup>2</sup> ]	Percentuale di superficie sottesa
Cassa P1	293,40	22%
Cassa P2	480,99	36%
Torre Alfina	572,73	43%
Casse P4 - P5 - P6	704,67	53%
Paglia confluenza Chiani	804,33	60%
Contributo bacino f. Chiani	456,99	34%
Ponte Adunata	1.282,93	96%
Immissione fiume Tevere	1.336,04	100%

Nella corografia di seguito riportata sono indicate le localizzazioni delle casse di espansione individuate e la sezione di imposta dello sbarramento artificiale in località Torre Alfina.



Dalle analisi del territorio e i sopralluoghi effettuati è emerso come una diversa localizzazione delle opere individuate non avrebbe analoga efficacia in termini di abbattimento dei colmi di piena. E ciò a prescindere dalle condizioni morfologiche dei sottobacini stessi, che non consentono di individuare analoghe capacità di invaso.

Tutte le opere sono state analizzate sotto gli aspetti idraulici, geologici, geotecnici, vincolistici, ambientali ed economici.

Nei successivi paragrafi 3.1 e 3.2 si descrivono le due tipologie di opere individuate, mentre nei successivi paragrafi da 3.3 in poi si descrivono le n.4 soluzioni alternative proposte, oltre all’opzione “zero” (non intervento).

### 3.1 Casse di espansione

Per contrastare la tendenza all’incremento dei deflussi e delle portate, conseguenza della riduzione del tempo di concentrazione nel processo di formazione delle piene, sono stati individuati interventi finalizzati a favorire l’accumulo di parte dei deflussi in fase di formazione della piena all’interno di casse di espansione

specificatamente individuate, in modo da determinare la riduzione delle portate di picco delle piene stesse e, quindi, la conseguente riduzione dei livelli idrici e delle relative aree di allagamento.

È da sottolineare che, essendo le casse di espansione distribuite lungo l'alto e basso corso del Paglia, la loro importanza è da soppesare non solo nei riguardi dell'asta valliva del Paglia, ma anche in relazione alle criticità idrauliche locali, anch'esse distribuite lungo il Paglia, per le quali esse risultano certamente efficaci nella riduzione degli allagamenti e dei conseguenti danni.

A seguito di analisi del territorio e di sopralluoghi effettuati si sono individuate sette potenziali aree idonee per la realizzazione di dette casse di espansione, dove realizzare volumi di invaso. Si tratta di aree sia lungo l'asta principale del Paglia sia in corrispondenza di quei sottobacini (affluenti in destra del fiume Paglia – torrente Romealla e torrente Albergo La Nona) che contribuiscono in misura maggiore alla formazione del deflusso di piena, con potenziali criticità alle aree urbanizzate.

Le casse identificate come P1, P2, P4, P5 e P6 sono opere in derivazione lungo l'asta del fiume Paglia, mentre le casse identificate come P7 e P8 sono previste rispettivamente in derivazione del torrente Romealla e del torrente Albergo La Nona prima dell'immissione nel fiume Paglia.

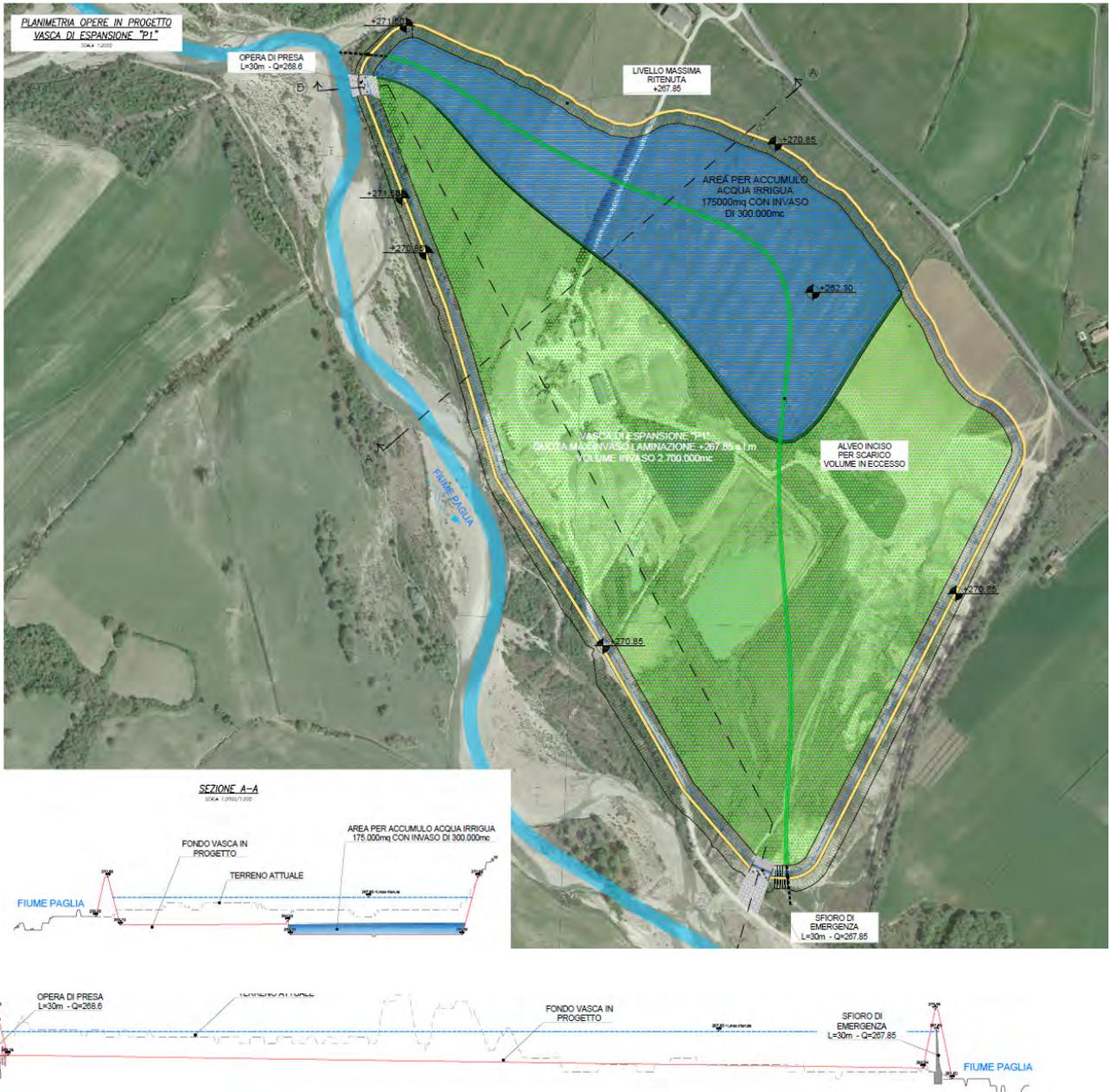
In tabella che segue i volumi invasabili in dette casse di espansione:

<b>CASSA DI ESPANSIONE</b>	<b>Localizzazione</b>	<b>Superficie cassa [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Volume di invaso di massima regolazione [mc]</b>
P1	Proceno - loc. Centeno (VT)	650.000	2.700.000
P2	Acquapendente (VT)	410.000	1.670.000
P4	Fosso dei Frati/Fosso del Poggio Orvieto (TR)	370.000	1.200.000
P5	Fosso dei Frati/Fosso del Poggio Orvieto (TR)	310.000	850.000
P6	Fosso dei Frati/Fosso del Poggio Orvieto (TR)	400.000	1.700.000
P7	Orvieto (TR)	195.000	720.000
P8	Orvieto (TR)	220.000	910.000
	<b>Totali</b>	<b>2.555.000</b>	<b>9.750.000</b>

Sono stati esaminati e proposti anche dei sotto scenari che prevedono per le casse di espansione una duplice funzione, oltre alla laminazione anche la possibilità accumulare la risorsa idrica. In pratica, attraverso piccole arginature interne ovvero abbassamenti del fondo, si realizzano dei bacini di accumulo dell'acqua da utilizzare per l'irrigazione di soccorso e/o per esigenze ambientali. Con le soluzioni individuate è possibile accumulare un volume variabile da un minimo di 500.000 m<sup>3</sup> fino ad un massimo di 1.580.000 m<sup>3</sup> (in funzione degli scenari considerati).

Per ogni cassa è previsto un invaso di laminazione, comprensivo di arginature perimetrali, un'opera di regolazione e di presa, un manufatto di scarico per la restituzione delle portate laminate, uno sfioratore di emergenza, nonché un'area da destinare ad accumulo della risorsa idrica all'interno dell'invaso per uso plurimo e opere di valorizzazione paesaggistico-ambientale.

A titolo di esempio, vengono illustrate la planimetria e le sezioni trasversali della cassa di laminazione P1.



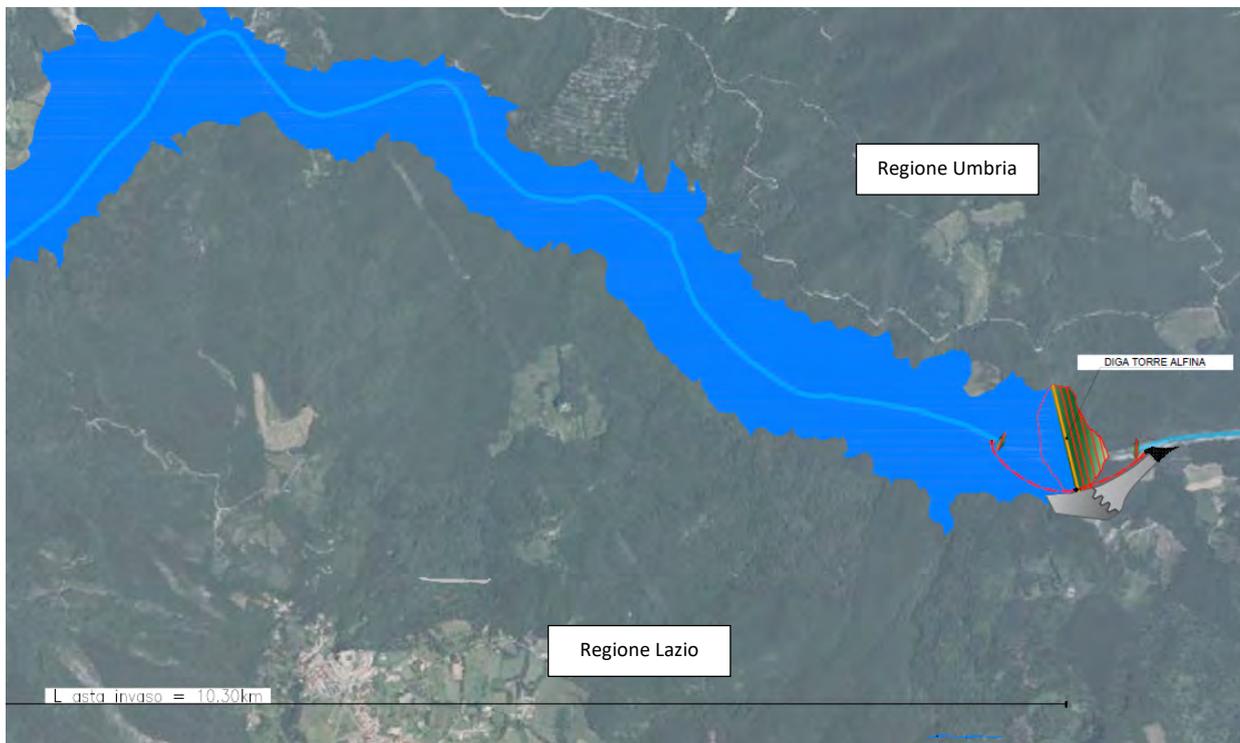
A titolo di esempio, vengono di seguito riportate le viste aeree dell'area interessata dalla cassa di laminazione P1 sia nella configurazione di stato di fatto, sia nel foto-inserimento dell'opera eseguita con accumulo della risorsa idrica.





### 3.2 Invaso artificiale sul fiume Paglia – sbarramento di Torre Alfina

In considerazione della significativa incidenza delle portate di piena del fiume Paglia è stata analizzata l'ipotesi di realizzazione di un invaso artificiale mediante uno sbarramento in materiali sciolti come terra e pietrame posto in corrispondenza del tratto medio-vallivo del Paglia, in località Torre Alfina, al confine tra le due Regioni Lazio e Umbria.



Con le modellazioni idrodinamiche sono state studiate diverse altezze della diga (45 m, 50 m e 56 m)

verificando l'entità dell'effetto di laminazione delle piene, avendo come obiettivo un efficace abbattimento delle portate di piena nel tratto vallivo del Paglia, con particolare riguardo alle zone urbanizzate di Orvieto. Tali verifiche hanno portato a considerare come ottimale un'altezza della diga di 56 m per un volume di massimo di invaso pari a 35 milioni di m<sup>3</sup>, relativamente al quale si è osservato anche un beneficio in termini di riduzione del rischio, ancorché limitato, nei confronti del medio Tevere e per la città di Roma.

Le opere prevedono una galleria di scarico di fondo e by pass sempre aperta, ovvero parzializzata, onde non interrompere la continuità delle portate liquide e solide nei periodi in cui il fiume presenta deflussi medi e di piena ordinaria, riservando con ciò l'invaso alla laminazione delle portate in occasione degli eventi maggiori.

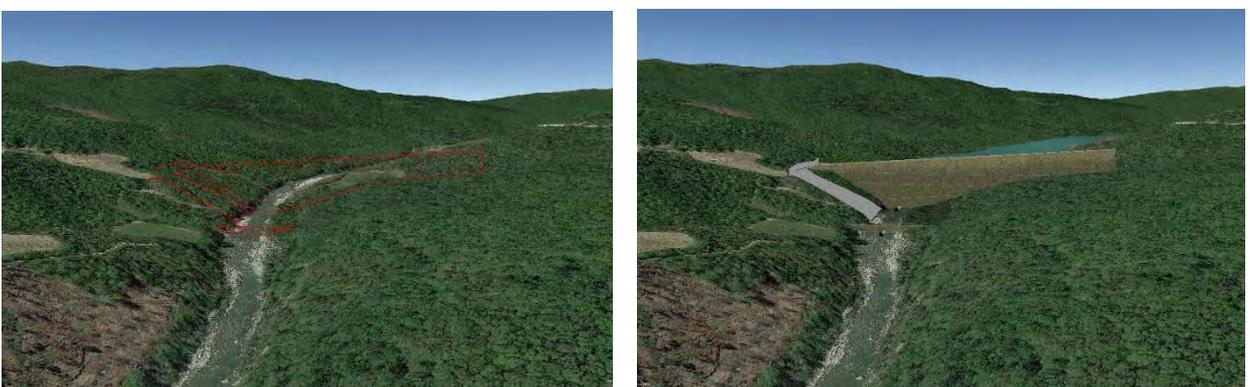
Oltre alla soluzione che prevede la realizzazione dello sbarramento al solo fine della laminazione delle piene, è stata valutata anche la possibilità di prevedere un uso plurimo della risorsa idrica accumulata nell'invaso (per l'uso a fini irrigui, anche a carattere stagionale, per un volume pari a 5 Mm<sup>3</sup>); ciò per coniugare gli obiettivi di riduzione del rischio idraulico con la possibilità di accumulare la risorsa idrica ai fini irrigui nei periodi maggiormente siccitosi, nonché per migliorare le condizioni biologiche del fiume Paglia nel periodo estivo attraverso un graduale rilascio di acqua.

L'invaso ad uso plurimo dovrà essere accompagnato da un Piano di Gestione Dinamico il quale prevede il controllo, il monitoraggio e la gestione dei livelli idrici nonché la valutazione e controllo delle modalità di rilascio delle portate e dei materiali sciolti verso valle accumulati nell'invaso al fine di consentire il rapido svasso in occasione di preannunci di piena. Tale Piano dovrà essere coordinato con gli altri strumenti di previsione e di gestione degli invasi esistenti (l'invaso di Corbara) al fine di massimizzare i benefici (intesi come riduzione del rischio) per le aree poste a valle.

Nelle immagini di seguito riportate viene illustrata la conformazione planimetrica dello sbarramento e la sua sezione longitudinale.



A titolo di esempio, vengono di seguito riportate le viste aeree dell'area interessata dallo sbarramento sia nella configurazione di stato di fatto sia nel foto-inserimento dell'opera eseguita.



### 3.3 Scenari progettuali alternativi indagati

In particolare, si sono valutate n.4 soluzioni alternative oltre all’opzione “zero” (non intervento).

- **scenario opzione 0 (SdF):** stato di fatto;
- **scenario progettuale 1 (SdP 1):** solo sbarramento di Torre Alfina (altezza 56 m);
- **scenario progettuale 2 (SdP 2):** casse P1 ÷ P6 (ad esclusione della P3) in derivazione sul fiume Paglia;
- **scenario progettuale 3 (SdP 3):** sbarramento di Torre Alfina altezza 56 m + casse di laminazione di valle P4- P5-P6 sul fiume Paglia, P7 su t. Romealla e P8 sul t. Albergo la Nona;
- **scenario progettuale 4 (SdP 4):** casse P1 ÷ P6 (ad esclusione della P3) e le 2 casse P7 su t. Romealla e P8 sul t. Albergo la Nona.

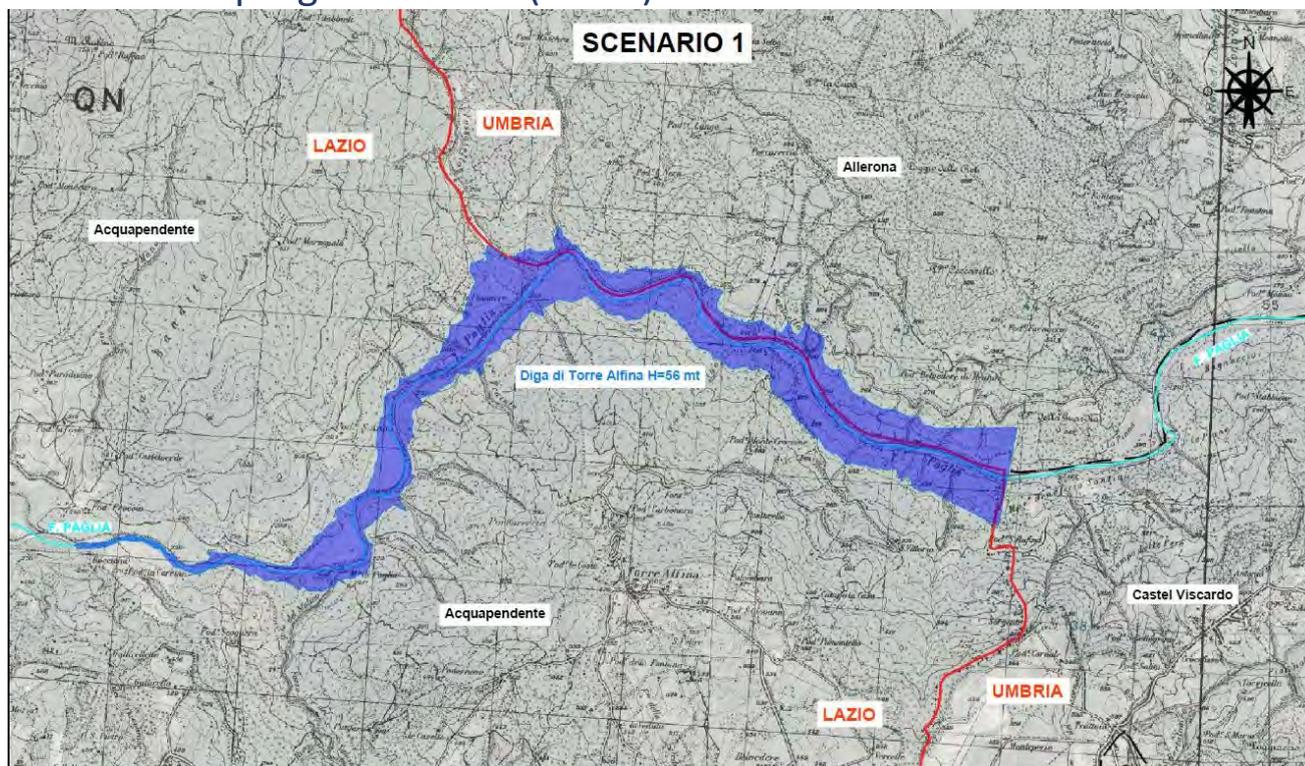
Inoltre, in aggiunta alle finalità di protezione idraulica dei territori urbanizzati posti nelle aree a rischio sono stati analizzati dal punto di vista multidisciplinare ulteriori sotto-scenari, che consentono di accumulare acqua derivata dai corpi idrici superficiali (f. Paglia ed affluenti, t. Romealla e t. Albergo la Nona), all’interno delle casse di espansione e quindi in grado di assicurare una disponibilità di risorsa in presenza dei sempre più frequenti fenomeni di crisi idrica nonché per migliorare le condizioni ambientali.

### 3.4 Opzione “zero”

Scegliere l’opzione 0 significa non realizzare l’intervento, ritenendo che le opere idrauliche previste lungo l’asta del fiume Paglia non siano necessarie e possano comportare importanti impatti per l’ambiente. Questa opzione, tuttavia, nel caso specifico non è praticabile perché dal punto di vista tecnico, funzionale e di sicurezza idraulica la situazione attuale presenta notevoli criticità – come già descritto alle pagine precedenti - e non agire significherebbe incrementare o comunque lasciare irrisolte le problematiche esistenti.

La soluzione di non intervento, pertanto, non è in linea con gli obiettivi tecnici prefissati anche a livello di pianificazione di bacino.

### 3.5 Scenario progettuale n.1 (SdP 1)



Lo scenario progettuale n.1 (SdP 1) indagato prevede la realizzazione di uno sbarramento in materiali sciolti in corrispondenza di un restringimento della valle incisa del fiume Paglia, nel tratto compreso tra la frazione di Torre Alfina, nei Comuni di Acquapendente (VT), di Castel Viscardo (TR) e Allerona (TR), interessando un territorio a cavallo fra le Regioni Lazio e Umbria.

La soluzione proposta prevede un notevole effetto di laminazione delle piene avendo come obiettivo un efficace abbattimento delle portate di piena nel tratto vallivo del Paglia nella zona di Orvieto (riduzione del valore massimo della portata del 10% circa in occasione di eventi di piena con tempo di ritorno  $Tr=231$  anni, passando da 2.725 m<sup>3</sup>/s a 2.433 m<sup>3</sup>/s corrispondente ad un abbassamento del livello idrico di circa 50 cm). Le valutazioni condotte hanno portato a considerare come ottimale un'altezza della diga di 56 m ottenendo un volume utile di laminazione di circa 27,5 Mm<sup>3</sup>, cui corrisponde un tirante idrico in diga di 47 m. Per quanto riguarda lo sfioratore superficiale sono state esaminate due possibili soluzioni: soglia fissa e soglia mobile. L'effetto di laminazione dello scenario progettuale n.1 (SdP 1) è illustrato nella successiva tabella, in cui vengono messe a confronto, per i diversi Tempi di ritorno ( $Tr$ ) analizzati, i valori massimi delle portate (m<sup>3</sup>/s) transitanti nel fiume Paglia nei pressi di Orvieto scalo e più precisamente in corrispondenza del Ponte dell'Adunata.

Scenari	Portate massime (m <sup>3</sup> /s) nella sezione di Ponte Adunata					
	<i>Tr=97 anni</i>	<i>Tr=130</i>	<i>Tr=231</i>	<i>Tr=300</i>	<i>Tr=375</i>	<i>Tr=600</i>
<b>Stato di fatto</b>	2.317	2.467	2.725	2.894	3.163	3.459
<b>Scenario 1 (TA)</b>	1.509 (-34,9%)	2.034 (-17,6%)	2.433 (-10,7%)	1.985 (-31,4%)	2.245 (-29,0%)	2.138 (-38,2%)

Nella successiva tabella vengono, invece, messi a confronto, per i diversi Tempi di ritorno ( $Tr$ ) analizzati, i livelli idrici nei pressi di Orvieto scalo e più precisamente in corrispondenza del Ponte dell'Adunata.

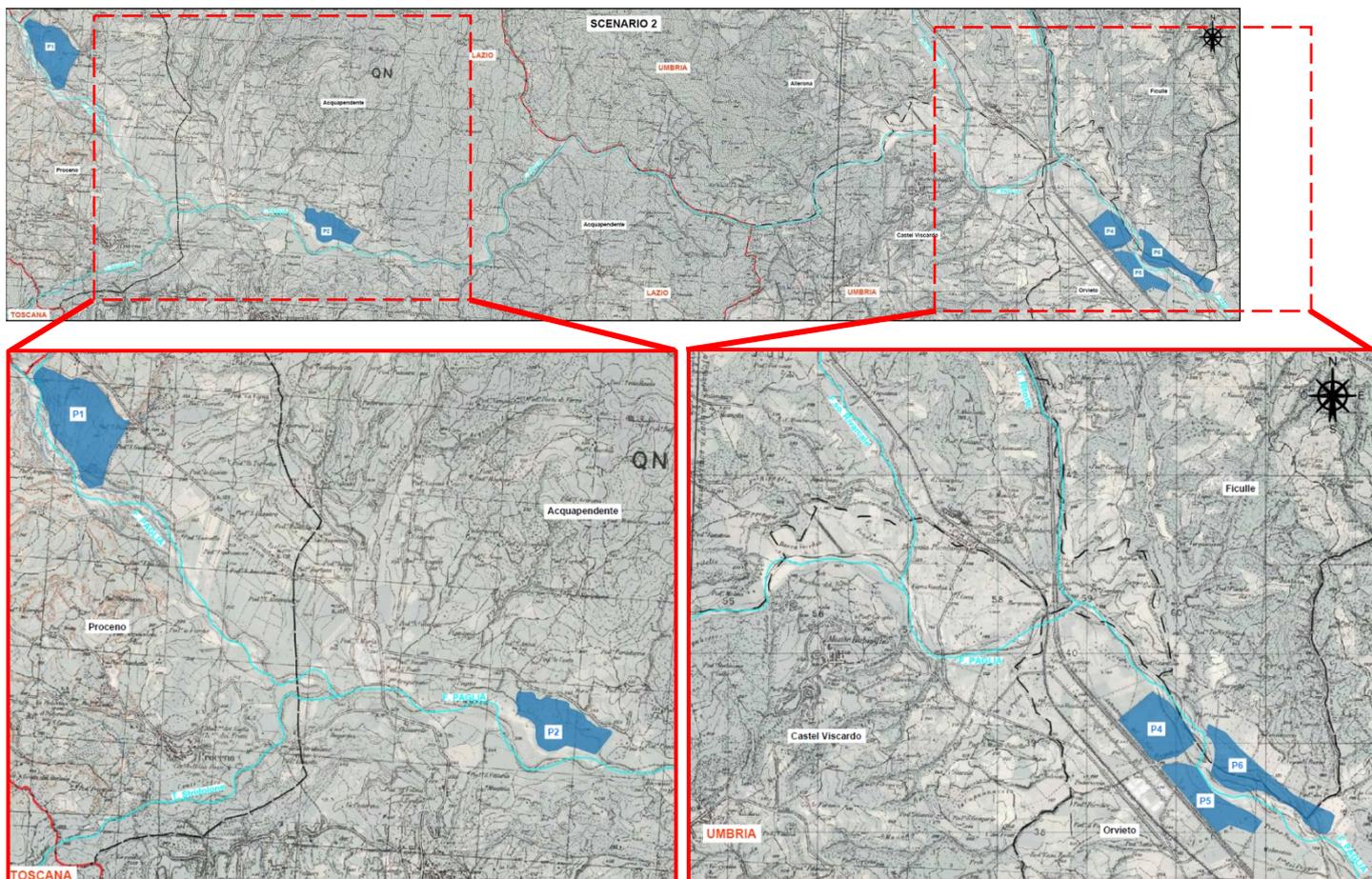
Scenari	Livelli idrici (m s.m.) nella sezione di Ponte Adunata					
	<i>Tr=97 anni</i>	<i>Tr=130</i>	<i>Tr=231</i>	<i>Tr=300</i>	<i>Tr=375</i>	<i>Tr=600</i>
<b>Stato di fatto</b>	114,97	115,23	115,67	116,02	117,13	117,29
<b>Scenario 1 (TA)</b>	113,33 (-1,64 m)	114,47 (-0,76 m)	115,17 (-0,5 m)	114,38 (-1,64 m)	114,86 (-2,17 m)	114,66 (-2,63 m)

Oltre alla soluzione che prevede la realizzazione dello sbarramento al solo fine della laminazione delle piene, è stata valutata anche la possibilità di prevedere un uso plurimo della risorsa idrica accumulata nell'invaso (e in particolare l'uso a fini irrigui, anche a carattere stagionale). Tale soluzione rappresenta una chiara opportunità per coniugare sia gli obiettivi di riduzione del rischio idraulico con la laminazione delle portate di piena sia di accumulo della risorsa idrica ai fini dell'integrazione irrigua nei periodi maggiormente siccitosi, sia l'opportunità di migliorare le condizioni biologiche del tratto vallivo del fiume Paglia nel periodo di basse portate idriche.

Data la conformazione della stretta valle, per avere un invaso permanente di qualche validità si è ipotizzato di riservare un volume d'invaso permanente di circa **5 milioni di metri cubi** a cui corrisponde una altezza d'acqua a monte dello sbarramento di circa 22 m.

L'importo lavori è stimato in circa 139 Milioni di euro (di seguito M€) nella soluzione con soglia fissa e 147 M€ nella soluzione con la soglia mobile.

### 3.6 Scenario progettuale n.2 (SdP 2)



Lo scenario progettuale n.2 (SdP2) prevede la realizzazione di n.5 casse di laminazione identificate come P1, P2, P4, P5 e P6 in derivazione lungo l’asta del fiume Paglia prima della confluenza con il fiume Chiani. Nell’ambito del predetto scenario è stata valutata anche la possibilità di creare, per ognuna delle n.5 casse preposte, un volume di accumulo ai fini di un utilizzo plurimo della risorsa idrica (volume complessivo pari a 1,386 Mm<sup>3</sup>).

L’effetto di laminazione dello scenario progettuale n.2 (SdP 2) è illustrato nella successiva tabella, in cui vengono messe a confronto, per i diversi Tempi di ritorno (Tr) analizzati, le portate al colmo nei pressi di Orvieto scalo e più precisamente in corrispondenza del Ponte dell’Adunata.

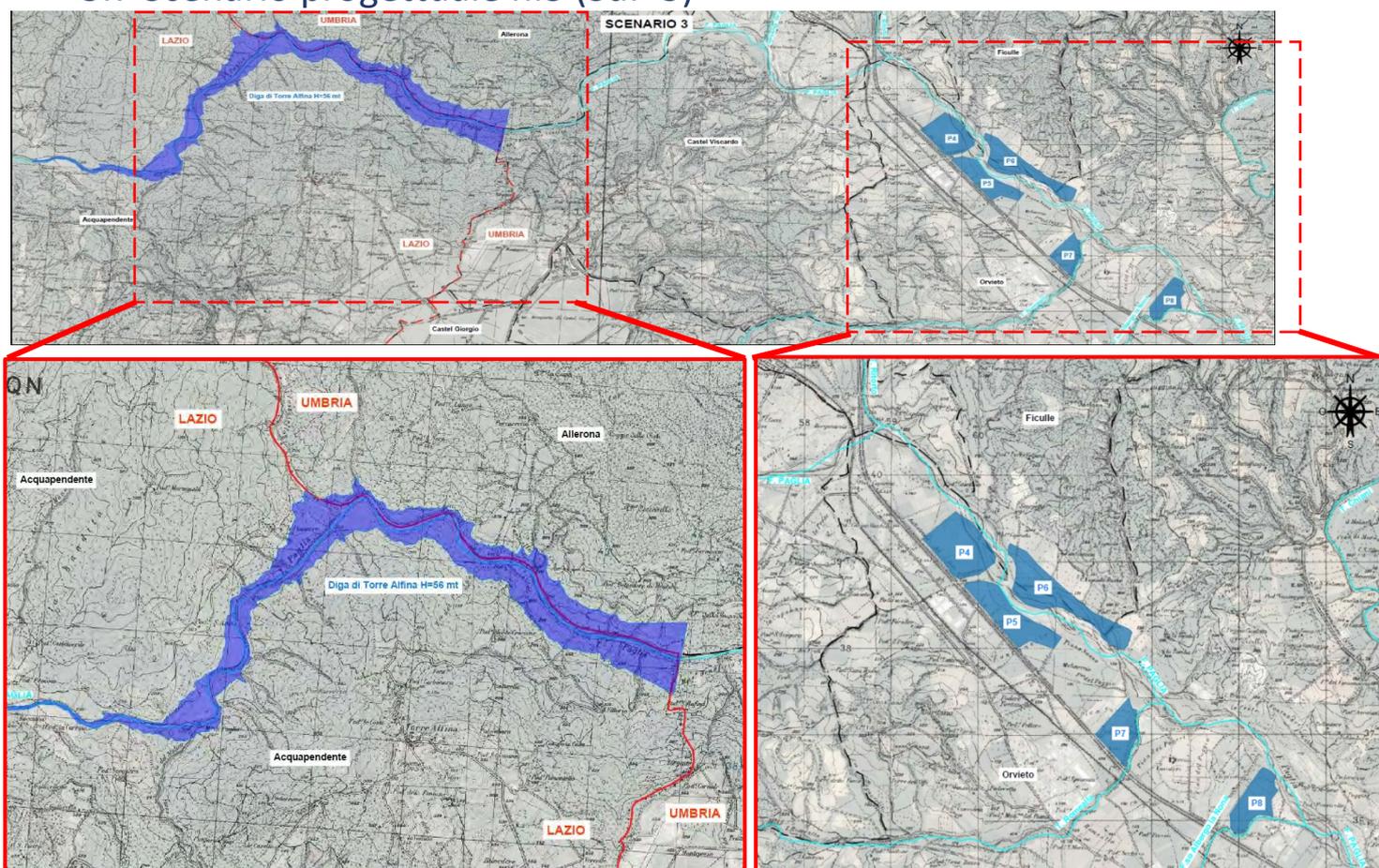
Scenari	Portate massime (m <sup>3</sup> /s) nella sezione di Ponte Adunata					
	Tr=97 anni	Tr=130	Tr=231	Tr=300	Tr=375	Tr=600
<b>Stato di fatto</b>	2.317	2.467	2.725	2.894	3.163	3.459
<b>Scenario 2</b> (P1 ÷ P6)	2.215 (-4,4%)	2.424 (-1,7%)	2.683 (-1,5%)	2.647 (-8,5%)	2.777 (-12,2%)	2.790 (-19,3%)

Nella successiva tabella vengono, invece, messi a confronto, per i diversi Tempi di ritorno (Tr) analizzati, i livelli idrici nei pressi di Orvieto scalo e più precisamente in corrispondenza del Ponte dell’Adunata.

Scenari	Livelli idrici (m s.m.) nella sezione di Ponte Adunata					
	Tr=97 anni	Tr=130	Tr=231	Tr=300	Tr=375	Tr=600
<b>Stato di fatto</b>	114,97	115,23	115,67	116,02	117,13	117,29
<b>Scenario 2</b> (P1 ÷ P6)	114,79 (-0,18 m)	115,15 (-0,08 m)	115,60 (-0,07 m)	115,54 (-0,48 m)	115,75 (-1,38 m)	115,77 (-1,52 m)

L’importo lavori è stimato in circa 131 M€ e 174 M€ nella soluzione con accumulo idrico.

### 3.7 Scenario progettuale n.3 (SdP 3)



Lo scenario progettuale n.3 (SdP3) prevede la realizzazione della diga di Torre Alfina nella configurazione presentata nello scenario 1 (altezza 56 m) e la contestuale realizzazione delle casse P4, P5 e P6 di cui allo scenario 2 poste a valle di Torre Alfina. Oltre alle suddette vasche, nel presente scenario sono introdotte la vasca P7 sul torrente Romealla e la vasca P8 sul torrente Albergo la Nona, al fine di laminare gli idrogrammi generati nei rispettivi bacini. Come per lo scenario 2 anche in questo caso è stato valutato un sotto scenario che prevede per le cinque casse di laminazione la possibilità di accumulare acqua ai fini irrigui ed ambientali (volume complessivo pari a 986.000 m<sup>3</sup>).

Tale configurazione di progetto è stata valutata in quanto lo sbarramento di Torre Alfina sottende solo la parte superiore del Fiume Paglia (circa il 40% per un'estensione di 573 km<sup>2</sup>) e determina a Ponte Adunata i risultati di laminazione solo parziali prima indicati nello scenario 1.

In questo scenario progettuale n.3 le vasche previste in derivazione dal fiume Paglia P4, P5 e P6 a valle dello sbarramento di Torre Alfina e le vasche P7 e P8 dei due suddetti importanti affluenti hanno quindi la funzione di laminare gli idrogrammi generati nella restante porzione del bacino del Paglia; il sottobacino del Chiani è già oggi controllato dalle esistenti casse di laminazione di Molino di Bagni e Pian di Morrano.

L'effetto di laminazione dello scenario progettuale n.3 (SdP 3) è illustrato nella successiva tabella, in cui vengono messe a confronto, per i diversi Tempi di ritorno (Tr) analizzati, le portate al colmo nei pressi di Orvieto scalo e più precisamente in corrispondenza del Ponte dell'Adunata.

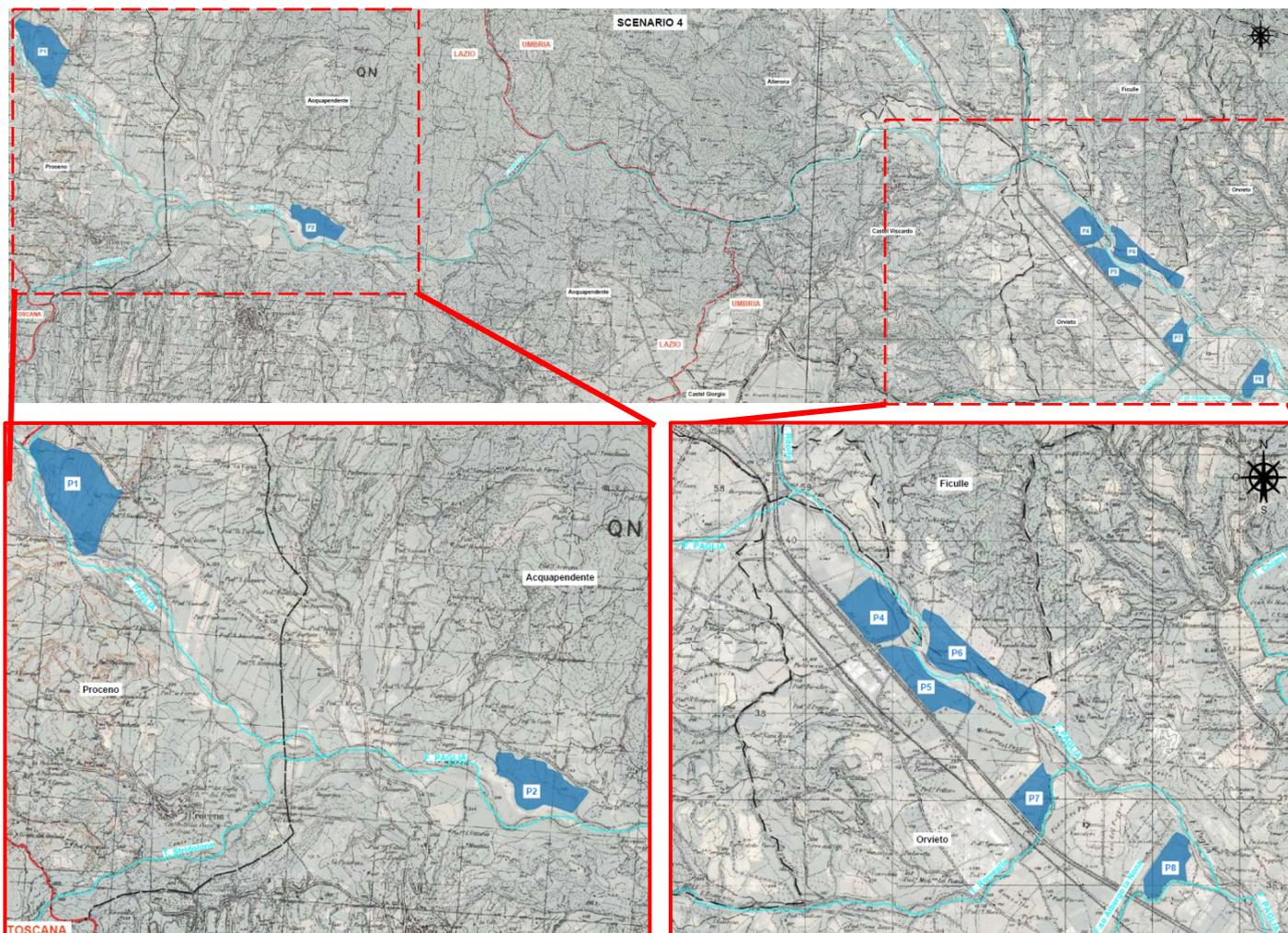
Scenari	Portate massime (m <sup>3</sup> /s) nella sezione di Ponte Adunata					
	Tr=97 anni	Tr=130	Tr=231	Tr=300	Tr=375	Tr=600
<b>Stato di fatto</b>	2.317	2.467	2.725	2.894	3.163	3.459
<b>Scenario 3</b> (TA + P4 ÷ P8)	1.508 (-34,9%)	1.820 (-26,2%)	2.001 (-26,6%)	1.865 (-35,6%)	2.070 (-34,6)	1.959 (-43,4%)

Nella successiva tabella vengono, invece, messi a confronto, per i diversi Tempi di ritorno (Tr) analizzati, i livelli idrici nei pressi di Orvieto scalo e più precisamente in corrispondenza del Ponte dell'Adunata.

Scenari	Livelli idrici (m s.m.) nella sezione di Ponte Adunata					
	<i>Tr=97 anni</i>	<i>Tr=130</i>	<i>Tr=231</i>	<i>Tr=300</i>	<i>Tr=375</i>	<i>Tr=600</i>
<b>Stato di fatto</b>	114,97	115,23	115,67	116,02	117,13	117,29
<b>Scenario 3</b> (TA + P4 ÷ P8)	113,33 (-1,64 m)	114,07 (-1,16 m)	114,41 (-1,26 m)	114,15 (-1,87 m)	114,54 (-2,59 m)	114,33 (-2,96 m)

L'importo lavori è stimato in circa 240 M€ nella soluzione con soglia fissa per la diga e 249 M€ per la soglia mobile. Altresì nel caso di accumulo della risorsa all'interno delle casse gli importi stimati ammontano ad 268 M€ nella soluzione con la diga a soglia fissa e 277 M€ nel caso di soglia mobile.

### 3.8 Scenario progettuale n.4 (SdP 4)



Lo **scenario progettuale n.4 (SdP 4)** non prevede la diga di Torre Alfina e prevede per contro la realizzazione di n. 5 casse di laminazione in derivazione dal fiume Paglia già ottimizzate e indagate nello scenario 2 (casse P1-P2-P4- P5-P6) e anche delle casse P7 e P8 sui torrenti Romealla e Albergo La Nona come definite nel precedente scenario 3. Nell’ambito del predetto scenario è stata valutata anche la possibilità di creare, per ognuna delle 7 casse preposte, un volume di accumulo ai fini di un utilizzo plurimo della risorsa idrica (volume complessivo pari a 1,586 Mm<sup>3</sup>).

Il funzionamento delle vasche P1÷ P6 risulta identico a quanto presentato nello scenario di progetto n. 2 a cui si rimanda per le valutazioni precedentemente effettuate. Così le prestazioni delle vasche P7 e P8 sono identiche a quelle emerse nello scenario di progetto n.3.

L’effetto di laminazione dello scenario progettuale n.4 (SdP 4) è illustrato nella successiva tabella, in cui vengono messe a confronto, per i diversi Tempi di ritorno (Tr) analizzati, le portate al colmo nei pressi di Orvieto scalo e più precisamente in corrispondenza del Ponte dell’Adunata.

Scenari	Portate massime (m <sup>3</sup> /s) nella sezione di Ponte Adunata					
	Tr=97 anni	Tr=130	Tr=231	Tr=300	Tr=375	Tr=600
<b>Stato di fatto</b>	2.317	2.467	2.725	2.894	3.163	3.459
<b>Scenario 4 (P1 ÷ P8)</b>	2.215 (-4,4%)	2.354 (-4,6%)	2.536 (-6,9%)	2.626 (-9,3%)	2.684 (-15,1%)	2.790 (-19,3%)

Nella successiva tabella vengono, invece, messi a confronto, per i diversi Tempi di ritorno (Tr) analizzati, i livelli idrici nei pressi di Orvieto scalo e più precisamente in corrispondenza del Ponte dell’Adunata.

Scenari	Livelli idrici (m s.m.) nella sezione di Ponte Adunata					
	<i>Tr=97 anni</i>	<i>Tr=130</i>	<i>Tr=231</i>	<i>Tr=300</i>	<i>Tr=375</i>	<i>Tr=600</i>
<b>Stato di fatto</b>	114,97	115,23	115,67	116,02	117,13	117,29
<b>Scenario 4</b> (P1 ÷ P8)	114,79 (-0,18 m)	115,03 (-0,20 m)	115,34 (-0,33 m)	115,50 (-0,52 m)	115,60 (-1,53 m)	115,77 (-1,52 m)

L'importo lavori è stimato in circa 151 M€ e 197 M€ nella soluzione con accumulo idrico.

### 3.9 Valutazione dei benefici attesi

Un'alluvione causa una serie conseguenze negative (danni) al territorio colpito. Tali danni possono essere suddivisi in tangibili e intangibili, a seconda della possibilità di quantificarli in termini economici, e suddivisi in danni diretti e indiretti, i primi causati dal contatto diretto con l'acqua dei beni esposti, i secondi causati comunque dalla piena ma che accadono, nello spazio e nel tempo, al di fuori dell'evento (Smith and Ward 1998). Sebbene i danni intangibili e i danni indiretti possano costituire una componente importante dei danni complessivi di un'alluvione (DEFRA, 2005; Penning-Rowsell et al., 2010), gran parte della letteratura tratta unicamente i danni diretti tangibili.

Le elaborazioni condotte nell'ambito del DOCFAP hanno permesso di definire il valore dei danni (tangibili diretti) da allagamento. Tale metodologia combina (per ogni cella di calcolo in cui è stato suddiviso il territorio di indagine) il valore della altezza d'acqua di allagamento, il valore economico della particolare tipologia di beni a rischio presenti (edifici, macchinari, magazzino, ecc.) e specifiche funzioni che legano l'altezza d'acqua al danno subito dal bene. I valori dei danni così ottenuti sono stati elaborati per ricavare, per ogni scenario, il danno medio annuo che rappresenta il costo che in media si deve sostenere ogni anno per far fronte ai danni che possono accadere in futuro. In altre parole, in un dato territorio, per un certo periodo non si avranno eventi di piena e quindi danni, poi potrà verificarsi un evento che determina un certo danno economico, seguito ancora da una serie di anni senza danni, ecc.

Il danno medio annuo rappresenta l'importo (€) che la comunità che vive o lavora in un certo territorio dovrebbe accantonare ogni anno per far fronte ai danni che si verificheranno (una volta ogni tanto) nel proprio territorio.

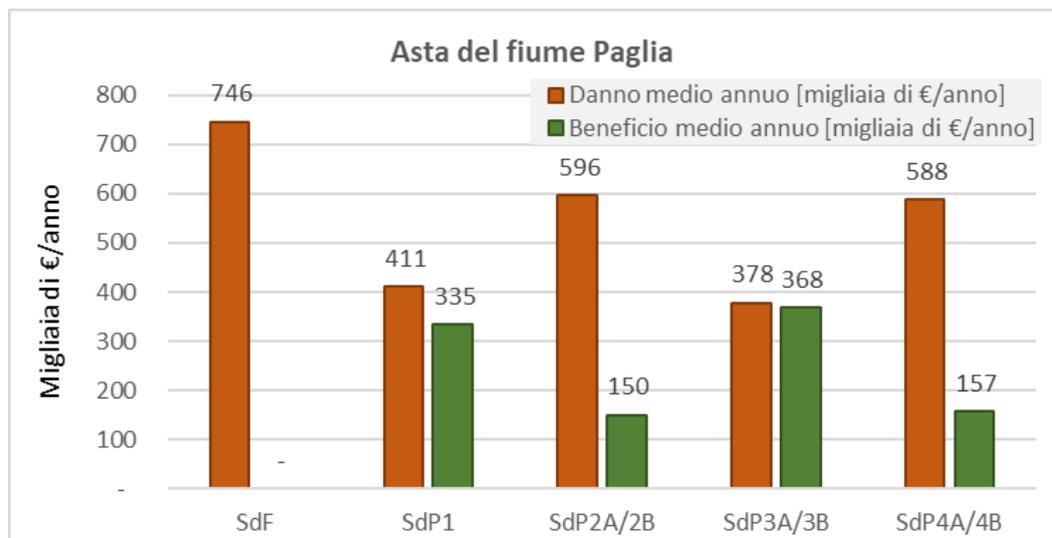
La differenza tra il danno medio annuo nello stato di fatto e quello di un certo scenario di intervento permette di valutare il beneficio (economico) di tale intervento, ovvero come diminuisce la somma che si deve "accantonare" grazie all'effetto degli interventi nel ridurre le conseguenze della piena, mentre il rapporto del danno medio annuo tra uno scenario d'intervento e lo stato di fatto consente di valutare la variazione percentuale del rischio idraulico (rappresentando il danno atteso annuo la quantificazione economica del rischio idraulico).

La procedura è stata validata confrontando il valore dei danni calcolati dal modello all'uopo sviluppato con quelli occorsi in seguito all'evento di piena che ha interessato i bacini del fiume Paglia e del fiume Chiani nei giorni tra l'11 e il 14 novembre 2012 (pari a circa 90 M€ per i soli danni tangibili ed interventi di somma urgenza<sup>5</sup>), ottenendo un'ottima corrispondenza.

Tutti gli scenari sopra indagati, e per ognuno di essi sono stati stimati i danni attesi e la riduzione percentuale degli stessi rispetto allo stato attuale.

Nella Figura seguente è riportato il confronto del valore del danno medio annuo e del beneficio medio annuo tra i diversi scenari di progetto (Migliaia di €/anno).

<sup>5</sup> Politecnico di Milano, 2013. Lo scenario di danno in seguito all'alluvione del Novembre 2012 nella Regione Umbria: i risultati dell'attività di rilievo e analisi dei danni.



**Asta del fiume Paglia: confronto del danno medio annuo e del beneficio medio annuo tra i diversi scenari di progetto**

Nella tabella successiva è riportata l’indicazione della riduzione del danno per ogni scenario progettuale rispetto allo stato attuale.

Scenario	Riduzione del danno [%]
<b>Scenario 1</b> (TA)	44,9%
<b>Scenario 2A/2B</b> (P1 ÷ P6)	20,1%
<b>Scenario 3A/3B</b> (TA + P4 ÷ P8)	49,3%
<b>Scenario 4A/4B</b> (P1 ÷ P8)	21,2%

Per i medesimi scenari progettuali è stata valutata anche la riduzione del danno nella media e bassa valle del Tevere. Da tale valutazione è emerso che la riduzione del danno è di circa il 9% per i due scenari dove è contemplata lo sbarramento di Torre Alfina (SdP1 e SdP3), mentre risulta trascurabile per i restanti due scenari (SdP2 e SdP4).

### 3.10 Sintesi del confronto tra gli scenari analizzati

In merito all’efficacia indotta dai diversi scenari nei confronti dell’alto corso del fiume Paglia, risulta che gli scenari 2 e 4 apportano benefici, sia pure ridotti, di riduzione del rischio idraulico, dal momento che includono tra gli interventi le casse di laminazione P1 e P2 disposte lungo tale porzione dell’asta del Paglia.

In merito al basso corso del Paglia, dal confronto dei benefici indotti dai diversi scenari emergono le seguenti considerazioni:

- negli scenari 1 e 3 la presenza della diga di Torre Alfina con il suo invaso di alcune decine di milioni di metri cubi determina effetti di laminazione evidentemente preponderanti rispetto alle laminazioni ottenibili con le casse di laminazione degli scenari 2 e 4 aventi un volume utile ben minore;
- tra i due scenari 1 e 3 emerge come ampiamente preferibile lo scenario 3 che consente di ridurre tramite le casse P4, P5, P6, P7 e P8 le portate di piena anche nella porzione del bacino del Paglia posta a valle di Torre Alfina;

- negli scenari 2 e 4, che non prevedono la diga di Torre Alfina emerge senz'altro preferibile lo scenario 4 che conduce a migliori risultati per la presenza delle vasche P7 e P8 sugli affluenti Romealla e Albergo La Nona;
- gli scenari 2, 3, e 4 che prevedono le casse di laminazione hanno il vantaggio di consentire una realizzazione per lotti funzionali in relazione dei finanziamenti ottenibili e in considerazione della fattibilità e dei vincoli di ogni singola cassa; evidentemente dipenderanno dalla consistenza dei singoli lotti attuativi i benefici di laminazione da essi ottenibili, rispetto a quelli generati dalla realizzazione completa del corrispondente scenario.

### 3.11 Espropri ed occupazioni

Gli interventi previsti nei vari scenari indagati prevedono di espropriare parte dei terreni in cui le opere stesse sono state localizzate, ed in particolare per quelle aree perimetrali delle casse di espansione interessate dalla realizzazione delle arginature e dei manufatti di presa e scarico. Inoltre, si procede con l'esproprio limitatamente ai casi in cui un settore dell'area di laminazione viene destinata ad invaso della risorsa idrica per soccorso irriguo ovvero altri usi. L'indennità di servitù di allagamento è prevista invece per l'area interna delle singole vasche che può essere coltivata ovvero riconfigurata all'uso precedente alla costruzione delle vasche stesse.

Le zone di intervento soggette ad occupazioni previste nell'intervento ricadono all'interno dei seguenti Comuni:

- Regione Lazio: Provincia di Viterbo – Comune di Proceno e Acquapendente;
- Regione Umbria: Provincia di Terni – Comune di Allerona, Castel Viscardo, Orvieto e Ficulle.

I terreni da occupare ricadono principalmente all'interno di terreni agricoli.

Per le aree non direttamente interessate dalla realizzazione delle opere ma destinate esclusivamente alla creazione di invasi di laminazione nei casi di piena, è stato considerato, in luogo dell'esproprio, un'indennità di servitù di allagamento (calcolato per un tempo di ritorno compreso tra 50 e 200 anni, un battente di allagamento superiore a 1,50 cm ed una durata di allagamento superiore a 48 ore), corrispondente ad 1/3 del valore di esproprio.

Nello specifico, sia per le casse di laminazione che per la diga di Torre Alfina, per la quantificazione delle indennità di esproprio e di allagamento è stata considerata una percentuale di esproprio pari al 15% e di servitù d'allagamento pari al 85% della superficie complessiva interessata, negli scenari senza accumulo, e una percentuale di esproprio pari al 30% e di servitù d'allagamento pari al 70% della superficie complessiva interessata, negli scenari con accumulo.

Gli importi totali sono riportati nella seguente Tabella:

Opera	Scenari senza accumulo irriguo	Scenari con accumulo irriguo
<b>P1</b>	€ 781 667,50	€ 960 610,00
<b>P2</b>	€ 568 410,00	€ 696 120,00
<b>P4</b>	€ 532 850,00	€ 654 950,00
<b>P5</b>	€ 443 650,00	€ 544 300,00
<b>P6</b>	€ 632 050,00	€ 775 600,00
<b>P7</b>	€ 285 640,00	€ 350 980,00
<b>P8</b>	€ 435 790,00	€ 535 780,00
<b>DIGA TORRE ALFINA</b>	€ 2 159 275,00	€ 2 651 800,00

## 4. Realizzazione degli interventi previsti dai singoli scenari per lotti funzionali

Con riferimento agli scenari indagati appare evidente come nella valutazione dell'analisi volta alla definizione dello Scenario "preferibile" assume un ruolo rilevante la possibilità di realizzazione del complesso di opere che compongono un medesimo scenario attraverso la realizzazione degli interventi in lotti funzionali.

È evidente, infatti, che lo Scenario che prevede una singola opera (SdP 1 – solo sbarramento di Torre Alfina) è in grado di massimizzare i benefici, ma non è suddivisibile in lotti funzionali.

Gli scenari che prevedono, invece, la presenza delle casse di laminazione (SdP 2, SdP 3 ed SdP 4), hanno il vantaggio di consentire una realizzabilità per lotti funzionali successivi, in ragione dei finanziamenti disponibili ed in considerazione della fattibilità e dei vincoli di ogni singola cassa.

In particolare:

1. lo scenario che prevede solo la diga di Torre Alfina non ha la possibilità di individuare dei lotti funzionali, in quanto la diga può essere collaudata e messa in esercizio solo quando è realizzata interamente;
2. gli scenari che prevedono più opere di laminazione (diga e casse o solo casse) hanno la possibilità di individuare dei lotti funzionali; il beneficio, in termini di riduzione del rischio idraulico e del conseguente danno da allagamento, può essere conseguito gradualmente, prevedendo l'esecuzione delle singole opere da valle verso monte in senso idraulico, quale principio di protezione delle aree maggiormente urbanizzate (Orvieto Scalo);
3. gli scenari che prevedono anche la realizzazione di settori ad uso irriguo all'interno delle casse di laminazione hanno una maggior possibilità di realizzazione per stralci funzionali, in quanto il settore ad uso irriguo può essere realizzato successivamente rispetto alla cassa di laminazione.

Gli scenari che prevedono più opere di laminazione (sbarramento di Torre Alfina e casse di laminazione o solo casse)

possono prevedere una successione "temporale" di esecuzione come di seguito riportato.

### **Scenario SdP2:**

- a. I° lotto funzionale: esecuzione casse P4 + P5 + P6;
- b. II° lotto funzionale: esecuzione casse P1 + P2.

### **Scenario SdP3:**

- a. I° lotto funzionale: esecuzione casse P4 + P5 + P6;
- b. II° lotto funzionale: esecuzione casse P7 + P8;
- c. III° lotto funzionale: esecuzione sbarramento di Torre Alfina.

### **Scenario SdP4:**

- a. I° lotto funzionale: esecuzione casse P4 + P5 + P6;
- b. II° lotto funzionale: esecuzione casse P7 + P8;
- c. III° lotto funzionale: esecuzione casse P1 + P2.

## 5. Valutazione dei costi delle soluzioni alternative previste nei differenti scenari di interesse

I costi delle opere sono stati stimati ed accorpati per Scenario progettuale di riferimento in funzione dei relativi benefici. Tuttavia, si deve tener conto del fatto che, verosimilmente, la realizzazione delle singole opere che compongono uno stesso scenario possano essere realizzate con tempistiche diverse (ovvero per lotti successivi) anche in funzione di finanziamenti parziali ovvero progressivamente disponibili nel tempo.

Pertanto, al fine di meglio comprendere l'effettiva entità e valutazione del costo di costruzione complessivo, viene di seguito riportato il riepilogo dei costi delle singole opere, indipendentemente dallo scenario di riferimento e dai tempi di esecuzione degli stessi, ipotizzando che possano essere eseguite in modo indipendente e, quindi, prevedendo lo smaltimento a siti di recupero (riutilizzo se ritenuti idonei) ovvero a discarica autorizzata, del materiale proveniente dagli scavi eccedenti l'utilizzo all'interno del cantiere ovvero la formazione di altre opere (ad esempio lo sbarramento di Torre Alfina ovvero i rilevati arginali delle casse P7 e P8).

Si riporta di seguito il riepilogo dei costi, così come analizzati, per le singole opere, segnalando anche la corrispondente incidenza dell'importo per trasporti e smaltimento delle terre e rocce da scavo eccedenti i riutilizzi interni al cantiere.

Opere	Importo lavori totali [€]	Importo trasporti e smaltimenti [€]	Importo lavori senza costo trasporti e smaltimenti [€]
-			
diga Torre Alfina con sfioro a <u>soglia fissa</u>	138 651 153,29	-	138 651 153,29
diga Torre Alfina con sfioro a <u>soglia mobile</u>	147 340 914,59	-	147 340 914,59
<b>Soluzione A <u>senza</u> invasi accumulo risorsa idrica</b>			
Cassa P1	28 644 631,14	13 219 092,83	15 425 538,31
Cassa P2	20 144 406,90	12 409 359,12	7 735 047,79
Cassa P4	33 763 761,84	23 306 560,02	10 457 201,82
Cassa P5	21 892 477,30	11 342 056,46	10 550 420,84
Cassa P6	26 113 295,95	9 568 615,78	16 544 680,17
Cassa P7	9 150 773,10	-	9 150 773,10
Cassa P8	10 794 582,38	-	10 794 582,38
<b>Soluzione B <u>con</u> invasi accumulo risorsa idrica</b>			
Cassa P1	38 031 631,14	20 908 092,83	17 123 538,31
Cassa P2	29 531 406,90	20 098 359,12	9 433 047,79
Cassa P4	41 961 741,84	30 021 620,02	11 940 121,82
Cassa P5	30 090 457,30	18 057 116,46	12 033 340,84
Cassa P6	34 311 275,95	16 283 675,78	18 027 600,17
Cassa P7	10 629 773,10	-	10 629 773,10
Cassa P8	12 273 582,38	-	12 273 582,38

## 6. Analisi Multicriterio

### 6.1 Obiettivi e aspetti metodologici

Individuate le possibili soluzioni progettuali alternative, è stata condotta una valutazione di ciascuna alternativa sotto il profilo qualitativo, anche in termini ambientali, nonché sotto il profilo tecnico ed economico.

Ogni soluzione è stata corredata da un'analisi dei diversi costi (o impatti) e benefici che rappresenta lo strumento metodologico fondamentale a supporto della scelta tra le alternative progettuali.

Nella rappresentazione dei costi delle ipotesi alternative si è tenuto conto dei seguenti aspetti:

- degli oneri di realizzazione e del valore residuo delle singole opere;
- degli oneri di gestione e manutenzione;
- della valutazione degli impatti connessi e delle relative azioni compensative.

Nella rappresentazione dei benefici di ogni ipotesi si è tenuto conto:

- del livello di sicurezza garantito ai beni esposti alla pericolosità idraulica;
- del soddisfacimento dei fabbisogni idrici;
- del grado di modularità del sistema.

È stata quindi implementata una dettagliata analisi comparativa delle diverse possibili soluzioni, in considerazione delle specifiche caratteristiche delle aree interessate, in termini di efficacia nel raggiungere gli obiettivi finali, dei rischi residui, dei tempi di esecuzione, dell'impatto sull'ambiente circostante, prendendo in considerazione quelle soluzioni che mirano a massimizzare una funzione obiettivo tenendo conto dei diversi criteri tra cui la riduzione del rischio idraulico, il soddisfacimento dei fabbisogni idrici, la massimizzazione dei benefici ambientali e sociali (utilizzo degli ambiti fluviali in termini turistico-ricreativi, recupero della capacità ambientale dell'habitat fluviale, riduzione del grado di diffusione di sostanze inquinanti) e la minimizzazione degli impatti ambientali e sociali (impatti in fase di cantierizzazione delle opere, utilizzo di risorse naturali per la realizzazione delle opere, riduzione o compromissione di habitat fluviali esistenti).

Il confronto delle diverse possibili soluzioni è stato effettuato attraverso un'analisi multicriterio.

Di fondamentale importanza, tra i criteri considerati nell'analisi multicriterio, è il rapporto costi-benefici in senso stretto. Questo è stato espresso mediante l'indicatore Valore Attuale Netto (VAN), ovvero il valore attuale dei flussi di cassa operativi che il progetto genera, flussi calcolati al netto degli investimenti previsti ed attualizzati al costo del capitale. Per il calcolo del VAN, sono stati da una parte calcolati i costi di costruzione e gestione/manutenzione dell'opera, e dall'altra i benefici che, nel caso in esame, sono rappresentati dalla diminuzione dei danni di allagamento a seguito della realizzazione delle opere di messa in sicurezza e dalla disponibilità di una risorsa idrica integrativa per soddisfare i fabbisogni irrigui.

Nella tabella di seguito sono riportati, per ogni scenario, i costi di costruzione, i benefici annuali e il Valore Attuale Netto.

Scenario	Interventi	Costo di costruzione [M€]	Beneficio annuo [M€]	VAN 50 anni [M€]
<b>Stato di fatto</b>		---	---	---
<b>Scenario 1A</b>	Torre Alfina	175,5	8,10	<b>293,5 €</b>
<b>Scenario 1B</b>	Torre Alfina con invaso permanente	184,6	8,75	<b>322,2 €</b>
<b>Scenario 2A</b>	Casse P1 ÷ P6	166,2	0,52	<b>-109,0 €</b>
<b>Scenario 2B</b>	Casse P1 ÷ P6 con invaso	221,0	0,98	<b>-126,3 €</b>

Scenario	Interventi	Costo di costruzione [M€]	Beneficio annuo [M€]	VAN 50 anni [M€]
	irriguo			
<b>Scenario 3A</b>	Torre Alfina + casse P4 ÷ P8	215,1	8,23	<b>243,4 €</b>
<b>Scenario 3B</b>	Torre Alfina + casse P4 ÷ P8 con invaso irriguo	226,2	8,58	<b>252,9 €</b>
<b>Scenario 4A</b>	Casse P1 ÷ P8	176,6	0,59	<b>-114,9 €</b>
<b>Scenario 4B</b>	Casse P1 ÷ P8 con invaso irriguo	239,5	1,11	<b>-135,1 €</b>

Come emerge dalla precedente tabella alcuni scenari (ed in particolare quelli che prevedono la realizzazione della diga di Torre Alfina, con o senza casse) risultano avere VAN positivi in relazione soprattutto degli elevati benefici in termini di riduzione dei danni di allagamento.

Per gli scenari con VAN minore di zero va evidenziato che, da un punto di vista generale, un VAN negativo non significa che l'investimento non è profittevole ma che rende meno rispetto a investimenti equiparabili. Tuttavia, con riferimento specifico alla tipologia di opere in progetto, va tenuto conto che si tratta di opere per la sicurezza idraulica, i cui benefici vanno ben oltre gli aspetti meramente economici considerati nell'analisi.

## 6.2 Risultati ottenuti

L'analisi multicriterio di tutte le opzioni di intervento ha evidenziato che ognuno degli scenari di intervento risulta da preferirsi rispetto all'opzione "zero", ovvero non fare nulla.

Si evidenzia che l'obiettivo di detta analisi non è quello di stabilire ed identificare quale sia la soluzione "migliore" in assoluto tra le alternative analizzate, ma di valutare e comparare le diverse alternative rispetto ai criteri definiti, così da dare evidenza dei punti di "forza" e di "debolezza" di ogni alternativa.

È del tutto evidente che le opzioni che prevedono l'invaso di Torre Alfina (SdP1, SdP3) hanno una maggiore efficacia nella riduzione del rischio idraulico rispetto alle sole casse di laminazione (SdP2 e SdP4) e ciò si riflette anche in maggiori benefici ambientali, socio-economici e in un migliore rapporto costi-benefici.

Per contro le casse hanno minori impatti ambientali, paesaggistici e minori criticità geologiche e geotecniche, oltre ad avere il vantaggio di procedimenti amministrativi e autorizzativi meno critici e la possibilità di essere realizzate per lotti funzionali.

**Le alternative che risultano da preferire sono quelle che prevedono sia la realizzazione dell'invaso di Torre Alfina sia di una parte della casse di laminazione (SdP 3): tale scenario permette infatti di coniugare la maggiore efficacia idraulica dell'invaso alla possibilità di realizzare interventi per lotti funzionali anticipando quelli che presentano meno criticità da un punto di vista amministrativo, autorizzativo e finanziario.**

Infine, date le caratteristiche delle opere in progetto, una tematica molto importante è rappresentata dalla **modalità di gestione dei terreni scavati** per la realizzazione degli invasi ed in particolare delle casse di espansione. In considerazione degli impatti e dei costi di trasporto e smaltimento dei terreni scavati, risulta fondamentale individuare soluzioni che permettano di limitare la criticità di tale aspetto quali il riutilizzo nell'ambito del cantiere (o di altri cantieri) o l'utilizzo per il ripristino e la composizione ambientale di ex aree di cava.

## 7. Interventi di manutenzione e messa in sicurezza proposti nell’alto Paglia

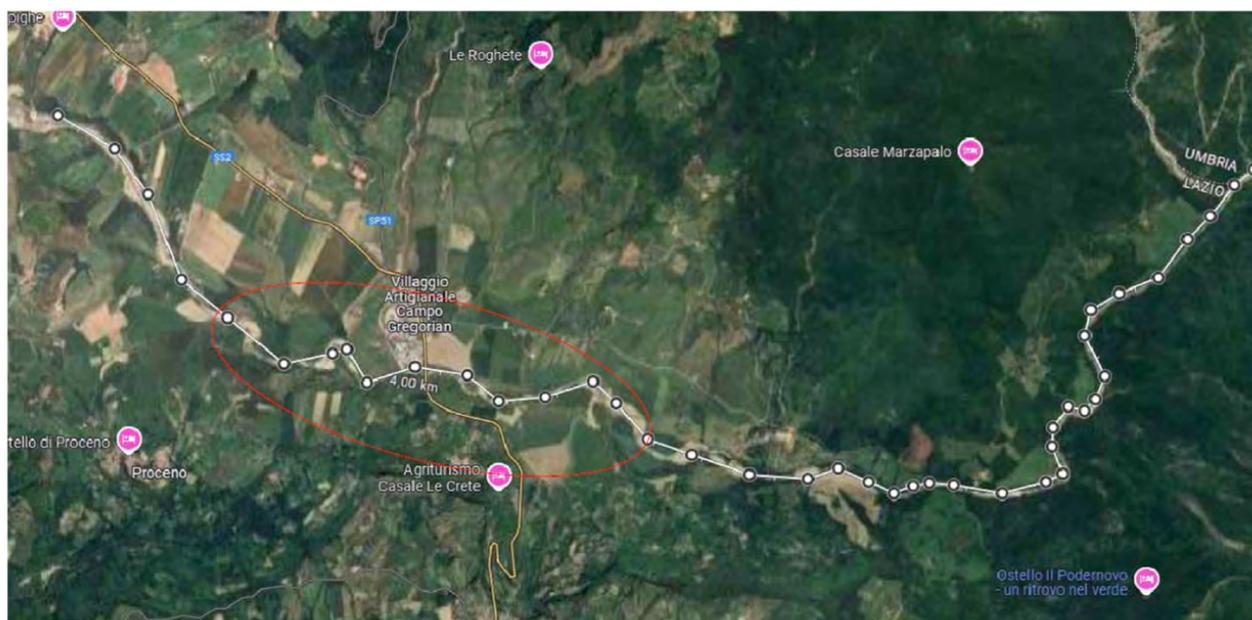
In occasione degli incontri preliminari al Dibattito Pubblico i rappresentanti del Genio Civile Toscana Sud e del Consorzio di bonifica Etruria Meridionale e Sabina hanno manifestato la necessità di esaminare in sede di confronto pubblico anche alcuni interventi da prevedere lungo il corso d’acqua, localizzati a monte della cassa P1.

Si tratta di interventi che sono necessari in quanto finalizzati alla messa in sicurezza di alcuni tratti della SS Cassia, laddove il tracciato della statale interferisce con il corso d’acqua, delle Zone Industriali/artigianali di Radicofani, Abbadia S. Salvatore e Acquapendente e di Aziende agricole e zootecniche presenti lungo il fiume.

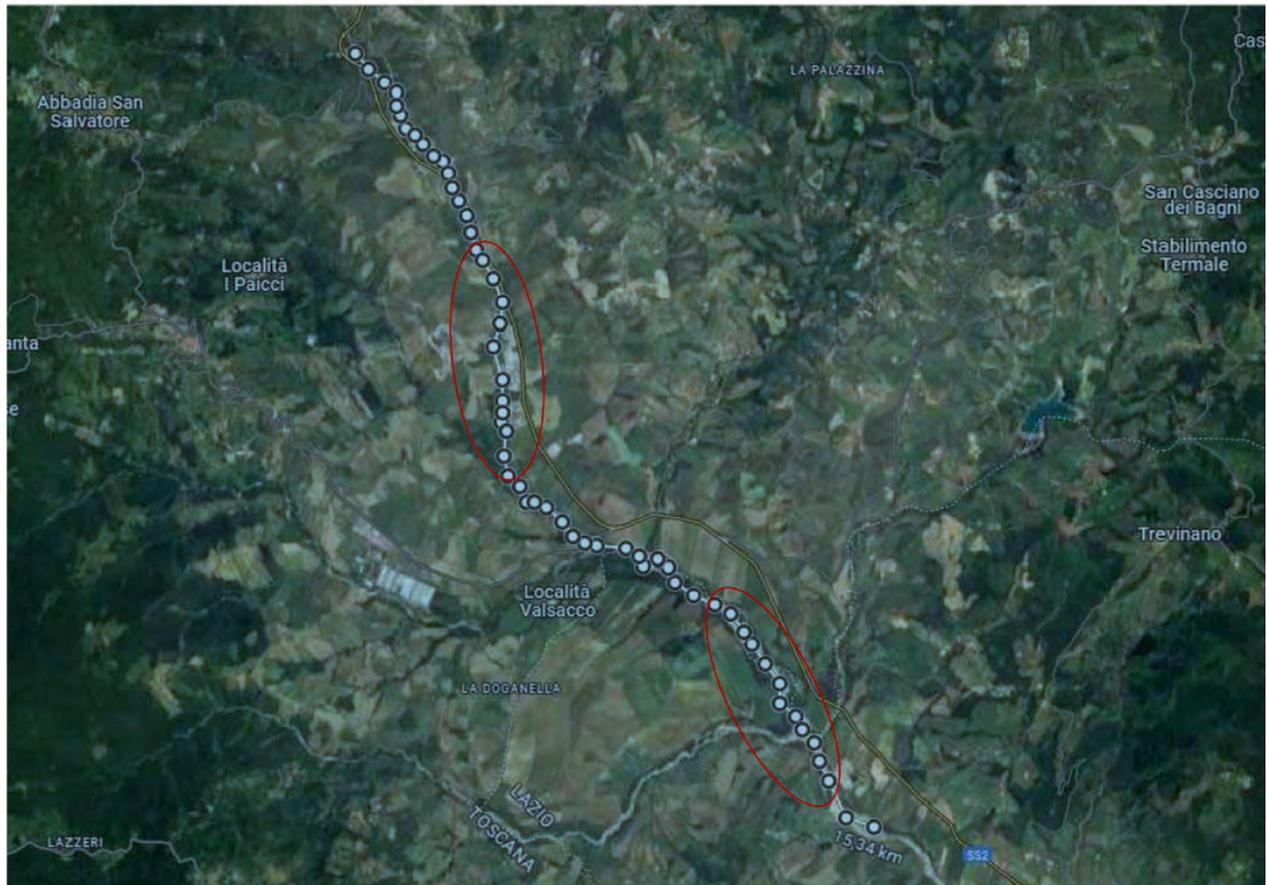
Complessivamente l’importo di detti interventi di messa in sicurezza è stato stimato pari a circa 40 milioni di euro e più in dettaglio riguardano:

- la ricalibrazione e la risagomatura dell’alveo di magra e di piena compreso le golene;
- il taglio selettivo delle alberature in alveo e in golena;
- la rimozione/il rimodellamento di depositi stabilizzati e consolidati dalla vegetazione, presenti sia in alveo, sia in corrispondenza degli attraversamenti della SS Cassia;
- la realizzazione di opere di longitudinali flessibili (tipo gabbionate e/o scogliere);
- la realizzazione di opere di protezione trasversali, quali pennelli, soglie e briglie, anche al fine di contribuire alla riduzione del trasporto solido, delle erosioni spondali e alla stabilizzazione dell’alveo onde evitare fenomeni di divagazione in corrispondenza dei tratti prossimi alla SS Cassia;
- la realizzazione di interventi di rinaturalizzazione del corso d’acqua.

Di seguito le rappresentazioni dell’area di interesse degli interventi proposti dai sopra citati uffici, con evidenziate in rosso le aree a più alta vulnerabilità.



*(Interventi localizzati a monte della cassa P2)*



*(Interventi localizzati tra le casse P2 e P1)*