



PROGETTO ESECUTIVO

Rafforzamento della rete ecologica nell'ambito del sistema dei laghi, delle torbiere e dei corsi d'acqua dell'alto appennino modenese

CUP D88E24000180007

ALLEGATO R.6

LOTTO 3 - RELAZIONE TECNICA INTERVENTI SU LAGHI, TORBIERE E CORSI D'ACQUA

giugno 2025

Progettisti:

Ing. Marco Monaci

Dott. Matteo Gualmini

RUP

Geom. Gabriele Mordini



ING. MARCO MONACI

via Tintoretto, 5 - 41051 - Castelnuovo Rangone (MO)

CF: MNCMRC73P17F257B

P.IVA: 02834380368

Sommario

1.	PREMESSA	4
2.	OBIETTIVI	5
2.1.	OBIETTIVI GENERALI	5
2.2.	OBIETTIVI SPECIFICI	7
2.2.1.	<i>Lago Santo</i>	<i>7</i>
2.2.2.	<i>Lago Turchino</i>	<i>8</i>
2.2.3.	<i>Torrenti Leo e Fellicarolo</i>	<i>9</i>
2.2.4.	<i>Torbiera Maccherie.....</i>	<i>9</i>
2.2.5.	<i>Torbiera Boccaia</i>	<i>9</i>
2.2.6.	<i>Torbiera Le Lamacce.....</i>	<i>10</i>
2.2.7.	<i>Torbiera Le Gore</i>	<i>11</i>
2.2.8.	<i>Pozza temporanea Ghiacci di Monte Albano.....</i>	<i>11</i>
2.2.9.	<i>Pozza temporanea Lago Crocette.....</i>	<i>12</i>
3.	DESCRIZIONE DEL PROGETTO	13
3.1.	INSERIMENTO DI UNA PARATOIA REGOLABILE SULLA BRIGLIA DI USCITA DEL LAGO SANTO	14
3.2.	INTERVENTI DI INGEGNERIA NATURALISTICA NEL LAGO TURCHINO PER LA TUTELA DELLA BATRACOFAUNA	20
3.3.	MANTENIMENTO E INCREMENTO DELLA ZONA UMIDA E AUMENTO DELLO STOCK DI CARBONIO ACCUMULATO NELLA TORBIERA MACCHERIE	20
3.4.	MANTENIMENTO E INCREMENTO DELLA ZONA UMIDA E AUMENTO DELLO STOCK DI CARBONIO ACCUMULATO NELLA TORBIERA BOCCAIA	23
3.5.	MANTENIMENTO E INCREMENTO DELLA ZONA UMIDA, AUMENTO DELLO STOCK DI CARBONIO ACCUMULATO NELLA TORBIERA LE LAMACCE	24
3.6.	MANTENIMENTO E INCREMENTO DELLA ZONA UMIDA, AUMENTO DELLO STOCK DI CARBONIO ACCUMULATO NELLA TORBIERA LE GORE	26
3.7.	INCREMENTO DELLA ZONA UMIDA PER IL MANTENIMENTO DEGLI HABITAT DI ALTA QUOTA IDONEI ALLA RIPRODUZIONE DELLA BATRACOFAUNA NELLA POZZA TEMPORANEA GHIACCI DI MONTE ALBANO.....	28
3.8.	INCREMENTO DELLA ZONA UMIDA PER IL MANTENIMENTO DEGLI HABITAT DI ALTA QUOTA IDONEI ALLA RIPRODUZIONE DELLA BATRACOFAUNA NELLA POZZA TEMPORANEA LAGO CROCETTE.....	29
3.9.	REALIZZAZIONE DI SCALE DI RISALITA PER L'ITTIOFAUNA LUNGO IL TORRENTE FELLICAROLO E IL TORRENTE LEO.....	31
3.9.1.	<i>Stato di fatto.....</i>	<i>31</i>
3.9.2.	<i>Stato di progetto.....</i>	<i>34</i>
3.9.3.	<i>Considerazioni idrauliche Scala di risalita Torrente Fellicarolo</i>	<i>44</i>

3.9.3.1.	<i>Analisi pluviometrica e idrologica</i>	44
3.9.3.2.	<i>Analisi idrodinamica</i>	50
3.9.3.3.	<i>Risultati delle analisi idrodinamiche: stato di fatto.....</i>	53
3.9.3.4.	<i>La massima portata sostenibile</i>	55
3.9.3.5.	<i>Risultati delle analisi idrodinamiche: stato di progetto.....</i>	59
3.9.4.	<i>Considerazioni idrauliche Scala di risalita Torrente Leo</i>	64

1. Premessa

La presente relazione descrive il **Progetto Esecutivo del LOTTO 3 “INTERVENTI SU LAGHI, TORBIERE E CORSI D'ACQUA”**, parte del progetto complessivo di *“Rafforzamento della rete ecologica nell'ambito del sistema dei laghi, delle torbiere e dei corsi d'acqua dell'alto appennino modenese”*.

2. Obiettivi

2.1. Obiettivi generali

L'intervento progettuale è suddivisibile in due principali linee di intervento. Una prima linea di intervento si pone come obiettivo generale quello di un miglioramento e/o recupero degli habitat di interesse comunitario e regionale in alcuni laghi o zone umide dell'Alto Appennino modenese, ubicate tutte all'interno del sito di interesse comunitario IT4040002 - ZSC-ZPS – "Monte Rondinaio, Monte Giovo". Complessivamente la superficie del sito Natura 2000 oggetto di misure di conservazione e risanamento è pari a 14 ettari.

In particolare nel Lago Santo l'obiettivo principale è quello di ripristinare uno stato ecologico del bacino favorevole allo sviluppo delle specie di interesse conservazionistico, quali *Ranunculus trichophyllus*, *Potamogeton pusillus*, *Sparganium emersum* e *Sparganium angustifolium*, e habitat di interesse comunitario, come l'habitat 3260 "Fiumi delle pianure e montani con vegetazione del *Ranunculus fluitantis* e *Callitriche-Batrachion*", attualmente fortemente limitati dalla massiccia espansione della specie invasiva *Myriophyllum spicatum*. Lo sviluppo eccessivo della prateria a *M. spicatum*, che attualmente ricopre il 43% dell'intera superficie del lago, ha infatti avviato una competizione diretta con specie di pregio conservazionistico portando ad una riduzione del loro areale di diffusione. Tale diffusione, associata all'accumulo di materia organica, può anche avviare processi di mineralizzazione microbica e sbilanciare il rapporto tra produzione e consumo dell'ossigeno, innescando processi degenerativi irreversibili dello stato ecologico del bacino con evidenti ripercussioni sulla biodiversità vegetale e animale, sulle funzioni e i servizi ecologici, oltre a una negativa percezione della qualità ambientale con riduzione dei servizi ecosistemici associati a questi ambienti.

Per il Lago Baccio l'obiettivo principale è quello di migliorare l'ecosistema lacustre contrastando e prevenendo l'eutrofizzazione e il progressivo interrimento del bacino, mediante la realizzazione di un sistema di prelievo delle acque profonde del lago. Il progetto si rivolge in particolare alla conservazione degli habitat acquatici di interesse regionale, che nel caso in questione includono anche specie di particolare interesse conservazionistico regionale, come *Potamogeton pusillus* ed *Eriophorum latifolium*.

Tra le principali minacce esercitate su queste tipologie di habitat e specie di interesse vanno enumerati il rischio di interrimento e interrimento dei corpi idrici montani e alto- montani dovuti alla intensa reattività di questi sistemi, che comporta l'accumulo di grandi quantità di sostanza organica sui sedimenti superficiali e alla contemporanea presenza di intensi fenomeni di deposizione di materiale inerte proveniente dai bacini scolanti.

Nel breve-medio periodo si potrebbe assistere alla completa trasformazione di porzioni rilevanti di questi corpi idrici in ambienti terrestri o ecotonali umidi.

Per i laghi Santo, Baccio e le zone umide dell'Alta Valle delle Tagliole dove sono presenti specie ittiche alloctone il progetto si pone l'obiettivo di eradicarle o quanto meno contenerle fortemente per favorire altre specie ittiche autoctone e la riproduzione di anfibi, anche di interesse comunitario.

Per tutte le zone umide di torbiera l'obiettivo principale è quello di attuare azioni che favoriscano il mantenimento e l'incremento della zona umida riducendo la perdita di acqua dalla torbiera e aumentando l'ingresso di acqua nell'area torbosa attualmente drenata dai ruscelli che solcano questi biotopi. Obiettivo di medio-lungo termine sarà anche quello di vedere incrementate le superfici di habitat caratteristici degli ambienti umidi e il mantenimento e l'incremento degli stock di carbonio.

Una seconda linea di interventi riguarda invece il miglioramento della continuità ecologica fluviale sui torrenti Leo e Fellicarolo, mediante la realizzazione di due scale di risalita per pesci, finalizzate a rimuovere altrettante "barriere ecologiche" costituite da briglie. L'intervento progettuale si concentra in particolare sulla popolazione di *Cottus gobio* (Scazzone), presente nei tratti dei corsi d'acqua oggetto di intervento e sulla quale è stato tarato il dimensionamento specifico delle scale di risalita. Questi interventi sono ubicati all'interno del Parco regionale Alto Appennino Modenese e sono in diretta connessione con il sito di interesse comunitario IT4040001 - ZSC-ZPS – "Monte Cimone, Libro Aperto, Lago di Pratignano", e consentiranno di ripristinare la funzionalità ecologica su un tratto di lunghezza pari a 1,8 km.

Preme sottolineare come a scala regionale, il contributo offerto dal progetto alla conservazione della biodiversità assumerà anche una portata più ampia risultando in continuità spaziale con l'analogo progetto finanziato "Ripristino, miglioramento e creazione di connettività ecologica tra aree umide all'interno e tra i siti della RN2000" candidato anch'esso a finanziamento FERS dal Parco nazionale dell'Appennino tosco-emiliano e concernente il ripristino di *ponds* e torbiere nel territorio dei siti RN2000 del crinale reggiano e parmense. In particolare, gli interventi di ripristino programmati nel presente progetto e quelli previsti nell'intervento del Parco nazionale dell'Appennino tosco-emiliano, avranno un effetto positivo e diretto nel migliorare la connessione ecologica tra i siti contermini IT4040002 - ZSC-ZPS - Monte Rondinaio, Monte Giovo e il sito IT4030005 - ZSC-ZPS - Abetina Reale, Alta Val Dolo. La continuità spaziale lungo l'asse est-ovest del crinale appenninico di questi interventi di ripristino ecologico di *ponds* e torbiere, oltre al rafforzamento degli elementi di connessione della rete ecologica regionale, consentirà di massimizzarne i risultati anche sul fronte della mitigazione e, soprattutto, dell'adattamento ai cambiamenti climatici contribuendo ad aumentare la resistenza di habitat e specie di rilevante interesse conservazionistico.

2.2. Obiettivi specifici

2.2.1. Lago Santo

Per il Lago Santo l'obiettivo perseguito dal progetto è quello di migliorarne lo stato trofico, puntando a rimuovere la maggior parte della fitocenosi a *Myriophyllum spicatum*, specie fortemente invasiva che negli ultimi anni si è fortemente espansa nelle acque del lago limitando altre specie di interesse conservazionistico, quali *Ranunculus trichophyllus*, *Potamogeton pusillus*, *Sparganium emersum* e *Sparganium angustifolium* e habitat di interesse comunitario come l'habitat 3260.

L'intervento di contenimento di *Myriophyllum spicatum* si configura come un'azione di gestione ecologica mirata alla mitigazione degli impatti derivanti dalla presenza eccessiva di una specie acquatica autoctona dal comportamento invasivo. *Myriophyllum spicatum*, comunemente noto come miliefoglie d'acqua, è una macrofita sommersa altamente competitiva, in grado di alterare significativamente la struttura e la funzionalità degli ecosistemi lacustri attraverso la formazione di densi popolamenti monospecifici.

L'obiettivo generale dell'intervento è il contenimento della specie, al fine di innescare un processo di recupero dell'equilibrio ecologico del lago, promuovendo il ritorno a condizioni più prossime a quelle naturali originarie.

Al recupero ambientale segue di pari passo anche quello legato agli utilizzi antropici delle acque e delle sponde, oggi fortemente compromessi dalla presenza dall'abnorme presenza di vegetazione acquatica.

Obiettivi specifici in tal senso sono i seguenti:

1. Riduzione della biomassa di *Myriophyllum spicatum*

Si intende conseguire, al termine di ciascuna annualità d'intervento (2025 e 2026), una riduzione significativa della biomassa sommersa di *M. spicatum*, al fine di limitarne il potenziale riproduttivo (per frammentazione e propaguli) e la capacità di esclusione competitiva nei confronti della vegetazione autoctona. Tale obiettivo sarà perseguito attraverso tecniche di rimozione meccanica selettiva, compatibili con la tutela dei fondali e delle altre biocenosi acquatiche presenti.

2. Innesco di un ciclo di retroazione ecologica negativa

L'intervento è orientato a ripristinare dinamiche naturali autoregolanti all'interno dell'ecosistema lacustre, intervenendo sulle condizioni abiotiche (es. carico trofico, trasparenza delle acque, ossigenazione) che favoriscono l'invasività della specie. Il contenimento di *M. spicatum* è quindi strumentale alla riattivazione di

processi biologici e chimico-fisici in grado di limitare spontaneamente la ricolonizzazione da parte della stessa specie e di incentivare il consolidamento di comunità vegetali native ecologicamente resilienti.

3. Ripristino della funzionalità ecosistemica

L'attività di gestione mira a favorire un progressivo recupero della biodiversità e della funzionalità ecologica del lago, relativamente a comparti floristico vegetazionale e faunistico, con effetti positivi attesi sull'intero ecosistema acquatico.

4. Definizione di un modello di gestione sostenibile a lungo termine

Considerata la capacità di rigenerazione per frammentazione di *M. spicatum* e la sua persistenza a scala temporale pluriennale, l'intervento non si pone come finalità la completa eradicazione della specie, ritenuta difficilmente ottenibile, bensì la definizione di un protocollo operativo di gestione continuativa, basato su monitoraggio costante, interventi mirati e azioni adattative. Tale approccio favorirà una convivenza ecologicamente tollerabile della specie nel lungo periodo, compatibile con il mantenimento degli equilibri ecosistemici e con gli usi sostenibili del lago.

5. Ripristino degli usi antropici delle acque

Un ulteriore obiettivo specifico dell'intervento è il ripristino e la valorizzazione degli usi antropici tradizionali e sostenibili del Lago Santo Modenese, quali la fruizione ricreativa, la pesca e la valorizzazione paesaggistica. Questo approccio integrato mira a conciliare la conservazione ecologica con le esigenze socio-economiche locali, promuovendo un uso multifunzionale e sostenibile delle risorse lacustri.

L'intervento di realizzazione di una paratoia regolabile sulla briglia di uscita del Lago Santo, oggetto del LOTTO 3, contribuisce a raggiungere tali obiettivi: il progetto permetterà, infatti, di abbassare temporaneamente di circa 50 cm il livello del lago, mettendo in asciutta una parte della superficie delle rive, così da fornire la possibilità di sperimentare una gestione del millefoglio realizzata a mano e in asciutta in tale porzione.

2.2.2. Lago Turchino

Per il Lago Turchino l'obiettivo progettuale è quello di tutelare la batracofauna presente, soggetta alla pressione predatoria su ovature e stadi larvali da parte delle trote presenti nel lago e immesse con ogni probabilità da parte dell'uomo, con conseguente riduzione del successo riproduttivo della batracofauna. Al

fine di raggiungere il grado di tutela prefissato l'intervento prevede di eradicare le popolazioni salmonicole dal bacino e dal torrente immediatamente a valle dello stesso che lo collega con la torbiera Le Gore, evitando al contempo la possibile risalita di pesci dal reticolo idrografico sottostante, isolando di fatto il bacino mediante posizionamento di una apposita briglia di chiusura.

2.2.3. Torrenti Leo e Fellicarolo

Obiettivo del progetto è il miglioramento della continuità ecologica fluviale nei confronti degli spostamenti della fauna ittica nell'alta valle del fiume Panaro, in particolare lungo i Torrenti Leo e Fellicarolo.

Nello specifico il progetto intende rendere transitabile in senso longitudinale dalla fauna ittica un tratto complessivo dei due torrenti pari a circa 1,8 km, mediante la realizzazione di due scale di risalita dei pesci da realizzarsi sulla prima briglia di valle del torrente Fellicarolo e nella seconda briglia di monte del torrente Leo. L'intervento progettuale si concentra in particolare sulla popolazione di *Cottus gobio* (Scazzone), come specie target su cui è stato tarato il dimensionamento specifico delle scale di risalita.

2.2.4. Torbiera Maccherie

Per la torbiera delle Maccherie il progetto ha come obiettivo principale il mantenimento e l'incremento della zona umida mediante l'attuazione di metodi e infrastrutture che riducano la perdita di acqua dalla torbiera e aumentino l'ingresso di acqua nell'area torbosa attualmente drenata dal reticolo di ruscelli che attraversano la torbiera stessa. Il progetto ha quindi come obiettivo di lungo periodo il mantenimento e l'incremento degli stock di carbonio dalla zona umida e il ripristino delle funzionalità di accumulo della stessa. Gli obiettivi del progetto sopra elencati si inquadrano in un contesto più generale di messa a punto di soluzioni gestionali "sostenibili e responsabili" finalizzate a favorire l'adattamento delle zone umide agli impatti del cambiamento climatico e al cambiamento di uso del suolo. I risultati del progetto, oltre ad aumentare lo stock di carbonio nelle aree di intervento, consentiranno di mettere a punto buone pratiche che favoriscano la loro replicabilità in molte o, auspicabilmente, tutte le zone umide dell'Area protetta e in altre aree che abbiano le stesse caratteristiche climatiche.

2.2.5. Torbiera Boccaia

Per la torbiera Boccaia il progetto ha come obiettivo principale il mantenimento e l'incremento della zona umida mediante l'attuazione di metodi e infrastrutture che riducano la perdita di acqua dalla torbiera e

aumentino l'ingresso di acqua nell'area torbosa attualmente drenata dal ruscello che attraversa la torbiera stessa. Il progetto ha quindi come obiettivo di lungo periodo il mantenimento e l'incremento degli stock di carbonio dalla zona umida e il ripristino delle funzionalità di accumulo della stessa.

Gli obiettivi del progetto sopra elencati si inquadrano in un contesto più generale di messa a punto di soluzioni gestionali "sostenibili e responsabili" finalizzate a favorire l'adattamento delle zone umide agli impatti del cambiamento climatico e al cambiamento di uso del suolo. I risultati del progetto, oltre ad aumentare lo stock di carbonio nelle aree di intervento, consentiranno di mettere a punto buone pratiche che favoriscano la loro replicabilità in molte o, auspicabilmente, tutte le zone umide dell'Area protetta e in altre aree che abbiano le stesse caratteristiche climatiche.

2.2.6. Torbiera Le Lamacce

Per la torbiera de Le Lamacce il progetto ha come obiettivo principale il mantenimento e l'incremento della zona umida mediante l'attuazione di metodi e infrastrutture che riducano la perdita di acqua dalla torbiera e aumentino l'ingresso di acqua nell'area torbosa attualmente drenata dal reticolo di ruscelli che attraversano la torbiera stessa. Il progetto ha quindi come obiettivo di lungo periodo il mantenimento e l'incremento degli stock di carbonio dalla zona umida e il ripristino delle funzionalità di accumulo della stessa. Gli obiettivi del progetto sopra elencati si inquadrano in un contesto più generale di messa a punto di soluzioni gestionali "sostenibili e responsabili" finalizzate a favorire l'adattamento delle zone umide agli impatti del cambiamento climatico e al cambiamento di uso del suolo. I risultati del progetto, oltre ad aumentare lo stock di carbonio nelle aree di intervento, consentiranno di mettere a punto buone pratiche che favoriscano la loro replicabilità in molte o, auspicabilmente, tutte le zone umide dell'Area protetta e in altre aree che abbiano le stesse caratteristiche climatiche.

Un secondo obiettivo progettuale è quello di tutelare la batracofauna presente, soggetta alla pressione predatoria su ovature e stadi larvali da parte delle trote presenti nel torrente che attraversa la torbiera. Al fine di raggiungere il grado di tutela prefissato l'intervento prevede di eradicare le popolazioni salmonicole dal bacino e dal torrente immediatamente a valle dello stesso, evitando al contempo la possibile risalita di pesci dal reticolo idrografico sottostante, isolando di fatto il bacino mediante posizionamento di una apposita briglia di chiusura.

Le indagini recentemente svolte hanno infatti evidenziato una ridotta ricchezza del popolamento di anfibi nelle torbiere che sono caratterizzate da elevate densità di salmonidi. Al contrario in zone umide limitrofe, ove non sono stati rinvenuti esemplari di fauna ittica, è stata censita una popolazione abbondante di tritoni

alpestri. La presenza di trote costituisce non solo un fattore limitante per il pieno sfruttamento del sito di deposizione ma può impattare metamorfosati in dispersione e anche esemplari di altre classi d'età.

2.2.7. Torbiera Le Gore

Per la torbiera de Le Gore il progetto ha come obiettivo principale il mantenimento e l'incremento della zona umida mediante l'attuazione di metodi e infrastrutture che riducano la perdita di acqua dalla torbiera e aumentino l'ingresso di acqua nell'area torbosa attualmente drenata dal reticolo di ruscelli che attraversano la torbiera stessa. Il progetto ha quindi come obiettivo di lungo periodo il mantenimento e l'incremento degli stock di carbonio dalla zona umida e il ripristino delle funzionalità di accumulo della stessa.

Gli obiettivi del progetto sopra elencati si inquadrano in un contesto più generale di messa a punto di soluzioni gestionali "sostenibili e responsabili" finalizzate a favorire l'adattamento delle zone umide agli impatti del cambiamento climatico e al cambiamento di uso del suolo. I risultati del progetto, oltre ad aumentare lo stock di carbonio nelle aree di intervento, consentiranno di mettere a punto buone pratiche che favoriscano la loro replicabilità in molte o, auspicabilmente, tutte le zone umide dell'Area protetta e in altre aree che abbiano le stesse caratteristiche climatiche.

Un secondo obiettivo progettuale è quello di tutelare la batracofauna presente, soggetta alla pressione predatoria su ovature e stadi larvali da parte delle trote presenti nei torrenti e nelle pozze all'interno della torbiera. Al fine di raggiungere il grado di tutela prefissato l'intervento prevede di eradicare le popolazioni salmonicole, evitando al contempo la possibile risalita di pesci dal reticolo idrografico sottostante, isolando di fatto il bacino mediante posizionamento di una apposita briglia di chiusura.

Le indagini recentemente svolte hanno infatti evidenziato una ridotta ricchezza del popolamento di anfibi nelle torbiere che sono caratterizzate da elevate densità di salmonidi. Al contrario in zone umide limitrofe, ove non sono stati rinvenuti esemplari di fauna ittica, è stata censita una popolazione abbondante di tritoni alpestri. La presenza di trote costituisce non solo un fattore limitante per il pieno sfruttamento del sito di deposizione ma può impattare metamorfosati in dispersione e anche esemplari di altre classi d'età.

2.2.8. Pozza temporanea Ghiacci di Monte Albano

Per il bacino Ghiacci di Monte albano il progetto ha come obiettivo principale il mantenimento e l'incremento della zona umida mediante l'attuazione di metodi e infrastrutture che riducano la perdita di acqua dal bacino. Il progetto ha quindi come obiettivo di lungo periodo il mantenimento degli habitat caratteristici delle zone

umide e il mantenimento di ambienti in alta quota idonei alla riproduzione della batracofauna, situazioni sempre più in diminuzione e frammentate.

Gli obiettivi del progetto sopra elencati si inquadrano in un contesto più generale di messa a punto di soluzioni gestionali “sostenibili e responsabili” finalizzate a favorire l’adattamento delle zone umide agli impatti del cambiamento climatico e al cambiamento di uso del suolo. I risultati del progetto consentiranno di mettere a punto buone pratiche che favoriscano la loro replicabilità in molte o, auspicabilmente, tutte le zone umide dell’Area protetta e in altre aree che abbiano le stesse caratteristiche climatiche.

2.2.9. Pozza temporanea Lago Crocette

Per il bacino Lago di Crocette il progetto ha come obiettivo principale il mantenimento e l’incremento della zona umida mediante l’attuazione di metodi e infrastrutture che riducano la perdita di acqua dal bacino. Il progetto ha quindi come obiettivo di lungo periodo il mantenimento degli habitat caratteristici delle zone umide e il mantenimento di ambienti in alta quota idonei alla riproduzione della batracofauna, situazioni sempre più in diminuzione e frammentate.

Gli obiettivi del progetto sopra elencati si inquadrano in un contesto più generale di messa a punto di soluzioni gestionali “sostenibili e responsabili” finalizzate a favorire l’adattamento delle zone umide agli impatti del cambiamento climatico e al cambiamento di uso del suolo. I risultati del progetto consentiranno di mettere a punto buone pratiche che favoriscano la loro replicabilità in molte o, auspicabilmente, tutte le zone umide dell’Area protetta e in altre aree che abbiano le stesse caratteristiche climatiche.

3. Descrizione del progetto

Si riportano di seguito gli interventi di ingegneria naturalistica e idraulica previsti sui seguenti corpi idrici:

- Lago Santo
- Lago Turchino
- Torbiera Maccherie
- Torbiera Boccaia
- Torbiera Le Lamacce
- Torbiera Le Gore
- Ghiacci di Monte Albano
- Lago Crocette
- Torrente Leo
- Torrente Fellicarolo

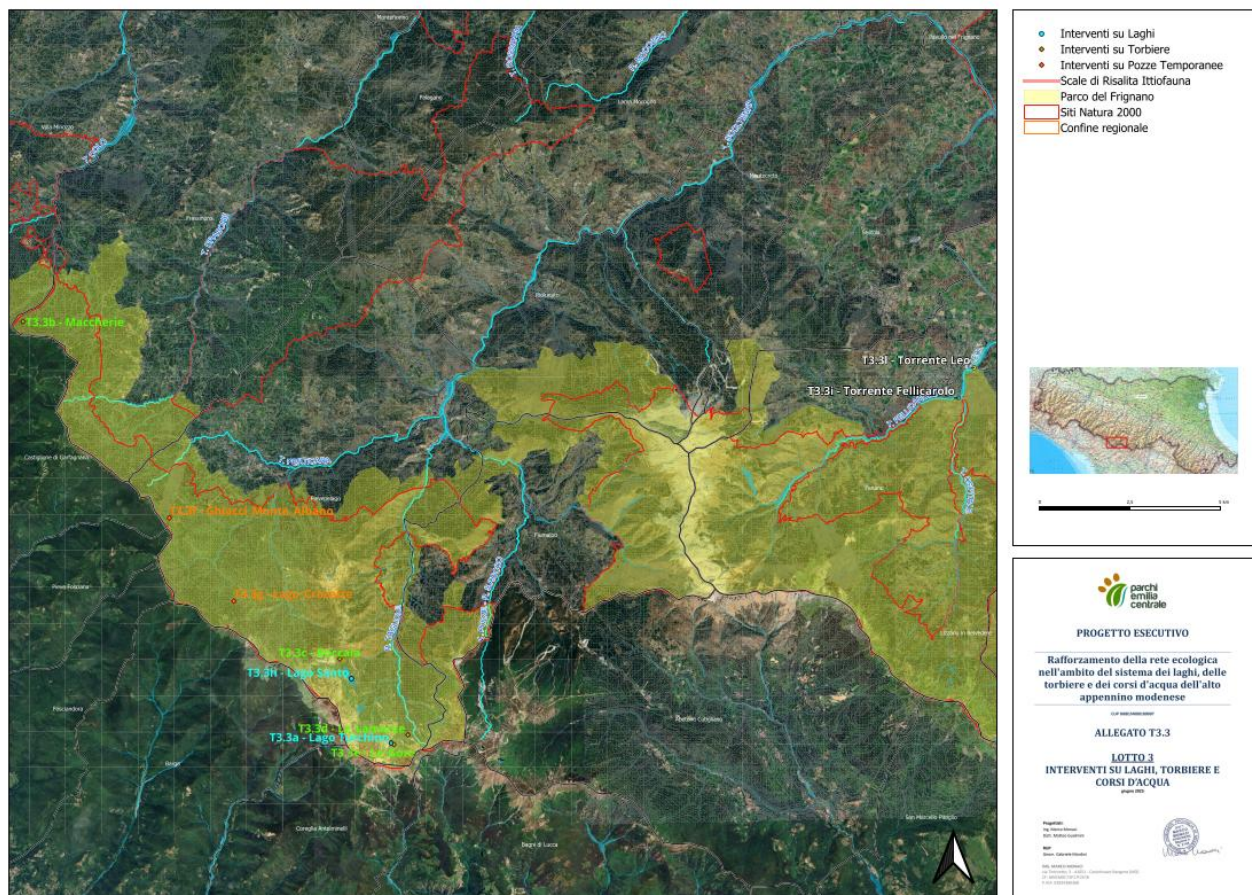


Figura 1 - Tavola T3.3 "Interventi su laghi, torbiera e corsi d'acqua"

3.1. Inserimento di una paratoia regolabile sulla briglia di uscita del Lago Santo

L'intervento previsto è finalizzato alla rimozione/gestione del popolamento di *Myriophyllum spicatum* dal lago Santo ed è complementare rispetto agli interventi che saranno eseguiti con natante anfibio previsti con il LOTTO 1.

A tal fine si prevede di modificare la briglia di uscita del lago, inserendo sulla gaveta una paratoia regolabile, con il fondo posto 50 cm più in basso rispetto alla situazione attuale. Sarà inoltre realizzata una rampa in massi per l'ingresso dei mezzi nel Lago nei pressi della briglia.

L'intervento permetterà di abbassare temporaneamente di circa 50 cm il livello del lago, mettendo in asciutta una parte della superficie delle rive.

Ciò darà la possibilità di sperimentare una gestione del millefoglio realizzata a mano e in asciutta, così da verificare negli anni successivi se tale metodo ha prodotto una diminuzione della presenza della pianta nel lago.

Gli interventi di gestione della vegetazione mediante mezzi anfibi saranno invece realizzati sulla superficie del lago residua occupata dal millefoglio e in acque più profonde.

L'esecuzione dei lavori prevede:

- Predisposizione delle opere provvisorie per il contenimento delle acque del lago e deviazione dello scarico per consentire le lavorazioni in condizioni di sicurezza e di assenza di acqua, utilizzando a tal proposito una motopompa o un gruppo elettrogeno per allontanare la quantità di acqua residua o che si infila tra il sistema di contenimento
- Esecuzione dei lavori come da indicazioni progettuali
- Rimozione dell'area di cantiere e ripristino delle aree di lavoro compreso eventuale risanamento in caso di ammaloramenti causati dal passaggio di mezzi di lavoro

Note per l'installazione della paratoia:

- Il telaio della paratoia a tiretto in acciaio inox AISI 304 dovrà essere saldato a specifica carpenteria metallica, costituita in lastre di acciaio inox, a loro volta fissate alla struttura in massi cementati tramite tasselli chimici e con uso di resine epossidiche
- Occorrerà predisporre un sistema anti-apertura della paratoia (opera da fabbro), per evitare aperture non autorizzate e il conseguente svuotamento del lago



Figura 2 – Zona di uscita del lago nello stato attuale

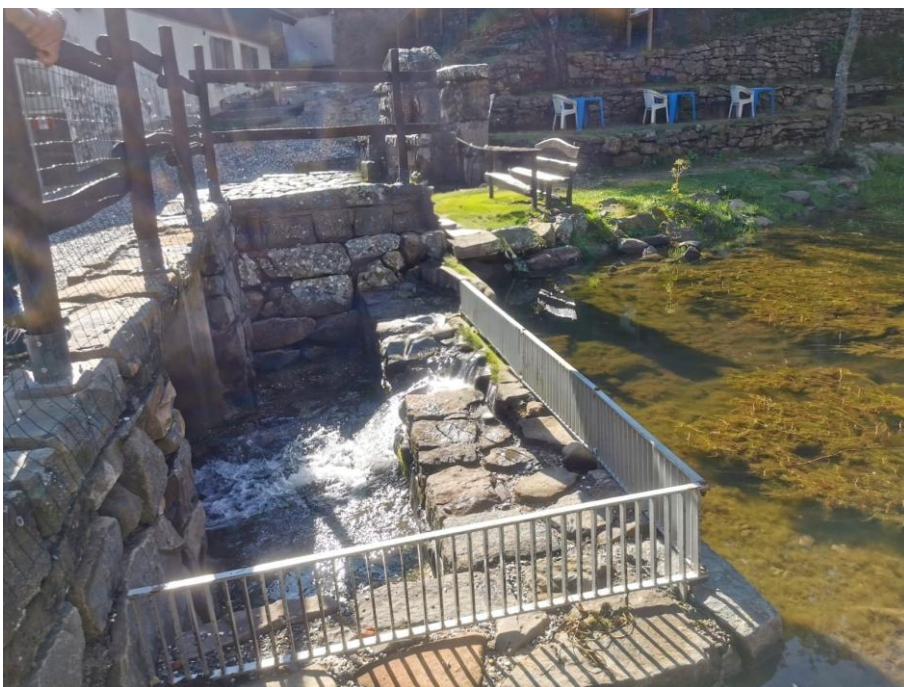




Figura 3 – Briglia con gaveta di uscita del lago nello stato attuale



Figura 4 – Scatolare presente a valle della gaveta di uscita del lago

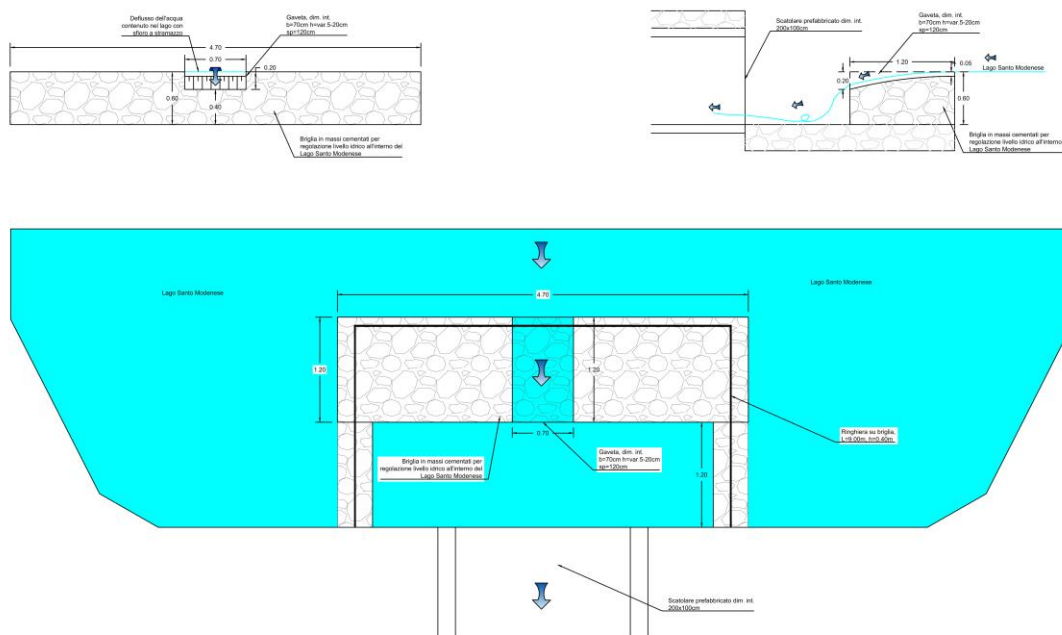


Figura 5 – Briglia con gaveta di uscita del lago nello stato attuale

PLANIMETRIA

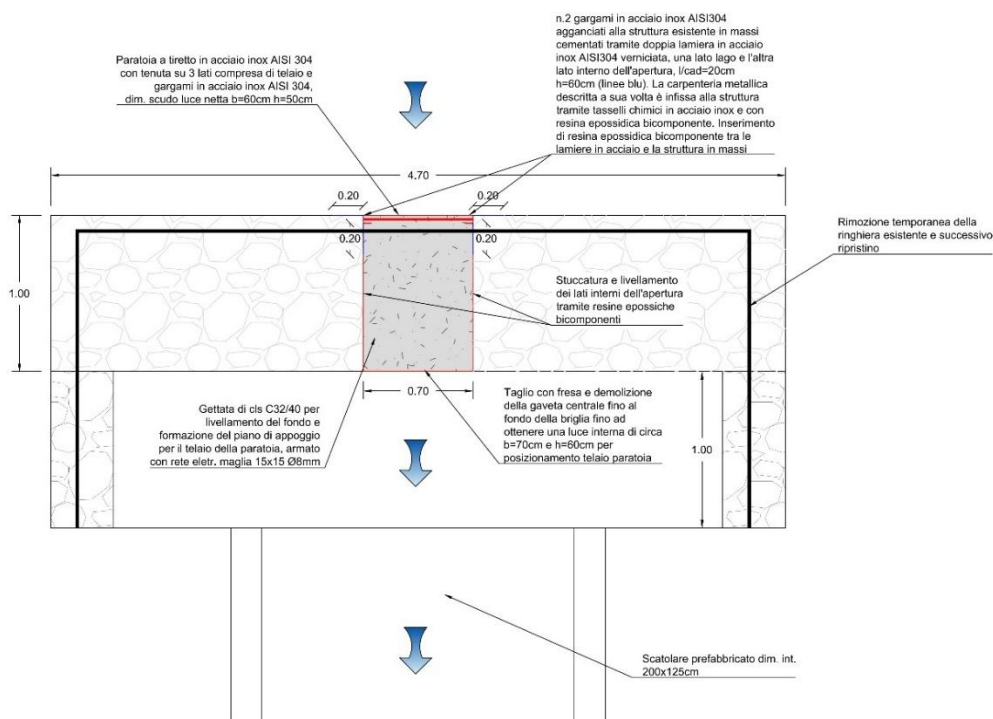


Figura 6 – Planimetria: paratoia realizzata sulla briglia posta in testa all'emissario del lago

SEZIONE MONTE - VALLE

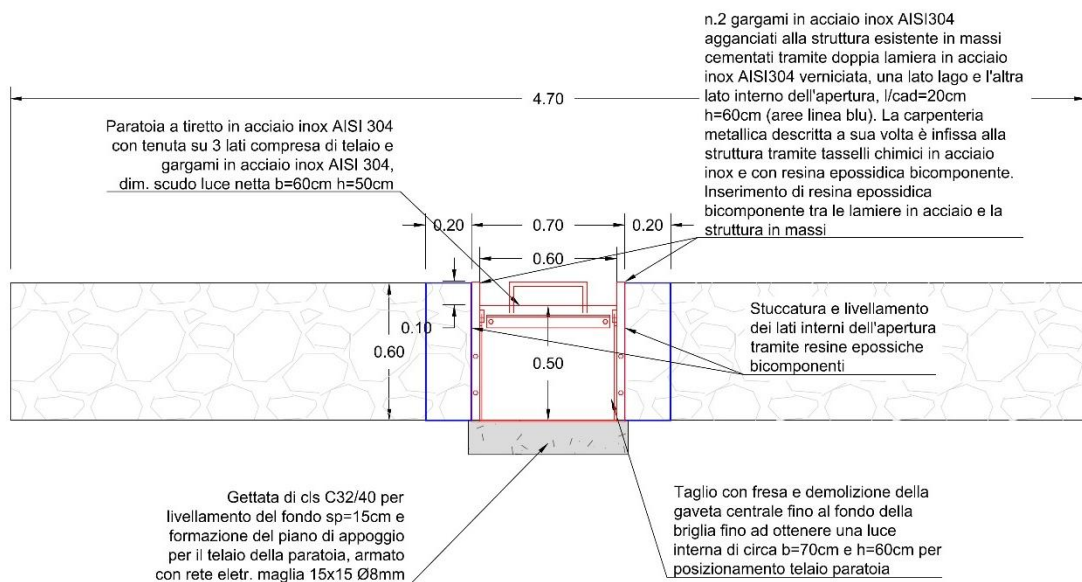


Figura 7 – Sezione: paratoia realizzata sulla briglia posta in testa all'emissario del lago

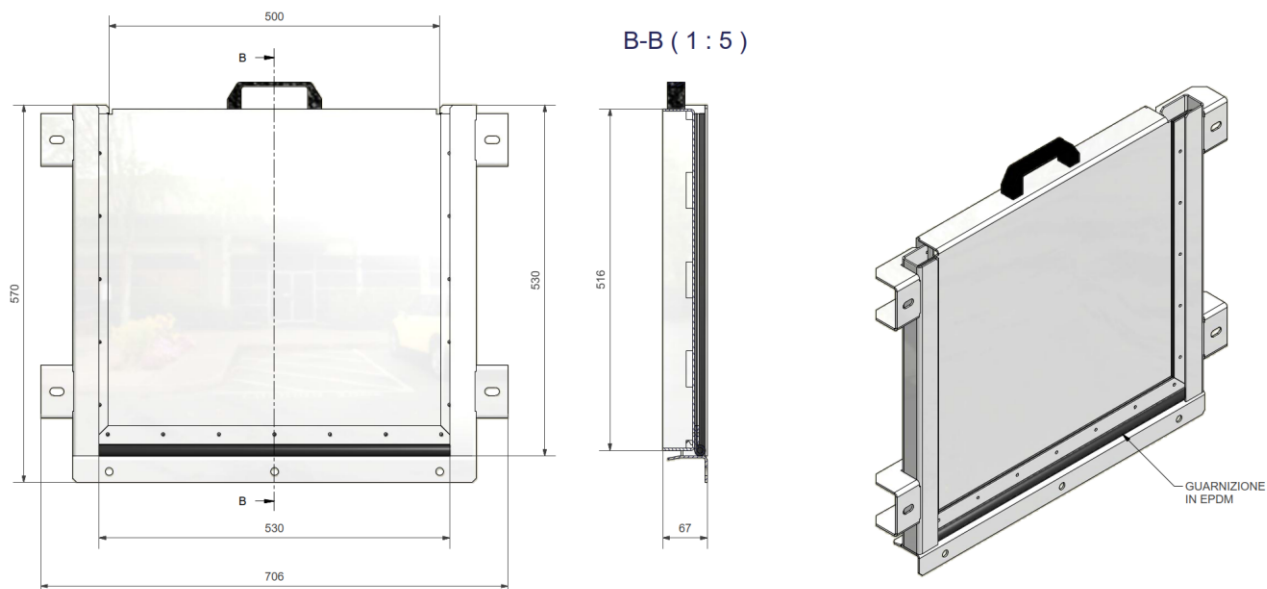


Figura 8 - Tipologia di paratoia a tiretto

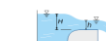
Il confronto tra il funzionamento della gaveta nello stato di fatto e della paratoia (chiusa) in quello di progetto, conferma la medesima portata in uscita.

Tabella 1 – Confronto tra il funzionamento nello stato di fatto ed in quello di progetto (paratoia chiusa)

FUNZIONAMENTO STATO DI PROGETTO: STRAMAZZO SU PARETE SOTTILE					FUNZIONAMENTO STATO DI FATTO: STRAMAZZO SU PARETE GROSSA								
PARETE SOTTILE (BAZIN)					SFIORATORE BAZIN		PARETE GROSSA (BELANGER)				SFIORATORE BELANGER		
DATI IN INGRESSO					h [m]	Q [m³/s]	DATI IN INGRESSO				h [m]	Q [m³/s]	
a	1	[m]	Altezza petto di sfioro		0	0,000	a	1	[m]	Altezza petto di sfioro		0	0,000
L	0,6	[m]	Lunghezza di sfioro		0,01	0,001	L	0,65	[m]	Lunghezza di sfioro		0,01	0,001
μ	0,41	[-]	Coefficiente di efflusso		0,02	0,003	μ	0,385	[-]	Coefficiente di efflusso		0,02	0,003
σ	1	[-]	Coefficiente di rigurgito		0,03	0,006	σ	1	[-]	Coefficiente di rigurgito		0,03	0,006
					0,04	0,009						0,04	0,009
					0,05	0,012						0,05	0,012
					0,06	0,016						0,06	0,016
					0,07	0,020						0,07	0,021
					0,08	0,025						0,08	0,025
					0,09	0,029						0,09	0,030
					0,1	0,034						0,1	0,035

$$Q = \mu \cdot b \cdot \sqrt{2} \cdot g \cdot h^{3/2}$$

$$\mu = \left(0,405 + \frac{0,003}{h} \right) \cdot \left(1 + 0,55 \cdot \frac{h^2}{L^2} \right)$$

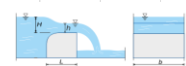
$$Q = 0,385 \cdot b \cdot \sqrt{2} \cdot g \cdot H^{3/2} \cdot 1,705 \cdot b \cdot H^{1/2}$$


$$Q = \mu \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h^{3/2}}$$

$$\mu = \left(0,405 + \frac{0,003}{h} \right) \cdot \left(1 + 0,55 \cdot \frac{h^2}{L^2} \right)$$



$$Q = 0,385 \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H^{3/2}} \cdot 1,705 \cdot b \cdot H^{3/2}$$



Si ricorda inoltre che la paratoia sarà utilizzata solo per la finalità di gestione del millefoglio, quindi con aperture in periodo di magra, al di fuori dei periodi piovosi: la realizzazione della paratoia non contribuisce pertanto a creare condizioni di aggravio del rischio idraulico a valle.

3.2. Interventi di ingegneria naturalistica nel Lago Turchino per la tutela della batracofauna

L'intervento prevede la costruzione di una piccola briglia, posizionata lungo il primo tratto del corso d'acqua emissario, costituita da gabbione a scatola in rete metallica a doppia torsione, riempita a mano con materiale reperito in loco a mo' di muro a secco, di pezzatura idonea a non fuoriuscire dalle maglie esagonali della rete metallica e opportunamente sistemato per ottenere una buona faccia a vista.

Il piccolo manufatto ha lo scopo di creare una interruzione di continuità per i pesci presenti nel reticolo idrografico di valle e rendere così efficaci nel tempo l'intervento di eradicazione dei salmonidi effettuato.



Figura 9 – Sezioni esemplificative di progetto

3.3. Mantenimento e incremento della zona umida e aumento dello stock di carbonio accumulato nella Torbiera Maccherie

L'azione prevista intende creare 6 sbarramenti di cui uno in prossimità dell'emissario della torbiera e altri 5 lungo i ruscelli che la attraversano, in modo tale da ridurre la perdita d'acqua sorgiva e meteorica dalla zona umida e aumentare il livello minimo della tavola d'acqua nell'area torbosa.

In corrispondenza dell'emissario si prevede di realizzare una paratia doppia in legname di altezza 1 m e lunghezza complessiva 5 m costituita da pali di castagno ($\varnothing$ cm 15-18, lunghi m 2) che andranno infissi nel terreno per una profondità di m 1 e posti alla distanza di m 1 e assi di castagno di spessore 5 cm, lunghezza 2/3 m, intestate, piallate e sagomate per incastro tipo perlina, fissate ai pali sulla parte emergente con viti di lunghezza 12 cm. Le assi verranno disposte su due piani distanziati di 20 cm e fissati tra loro con assi poste

trasversalmente così da costituire una intercapedine da riempire con materiale terroso reperito in loco. Nella porzione superiore della paratia dovrà essere praticata una sagomatura trapezoidale protetta da assi di legno per indirizzare il flusso dell'acqua. L'assito verrà interrato per almeno 30 cm nel suolo nella porzione inferiore e almeno 50 cm nella porzione laterale della paratia. Al piede frontale dell'opera verrà collocata una massicciata di pietrame a protezione dell'erosione dello stramazzo dell'acqua di tracimazione in misura di 0,1 mc per m di paratia.

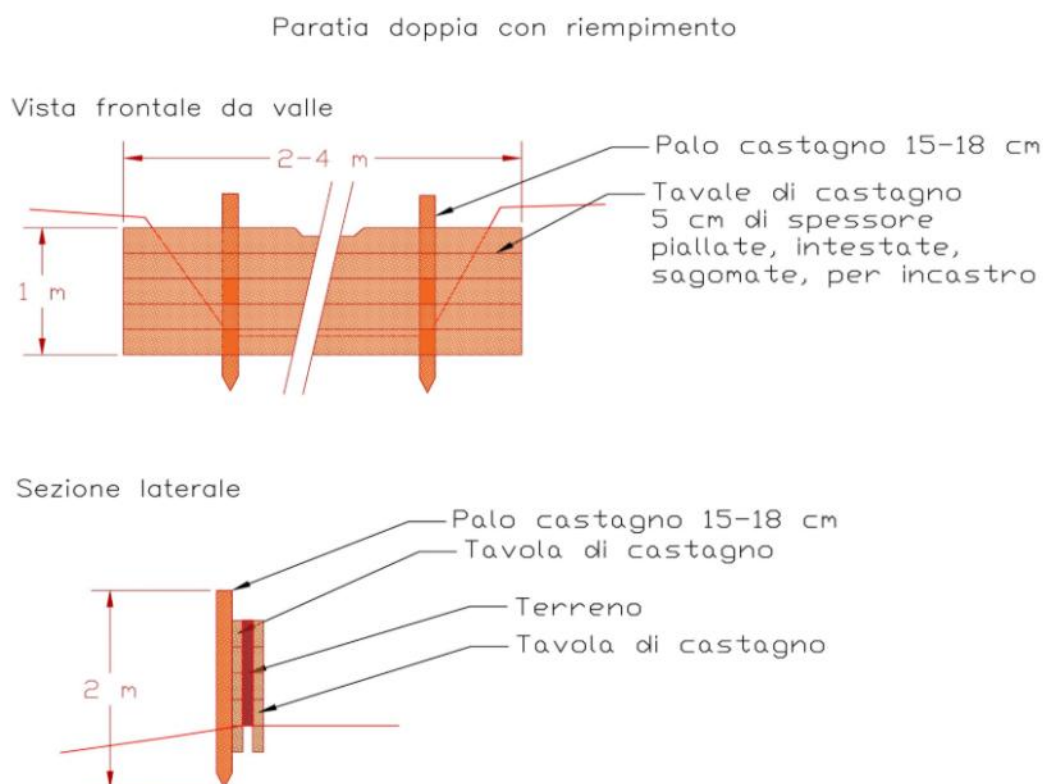


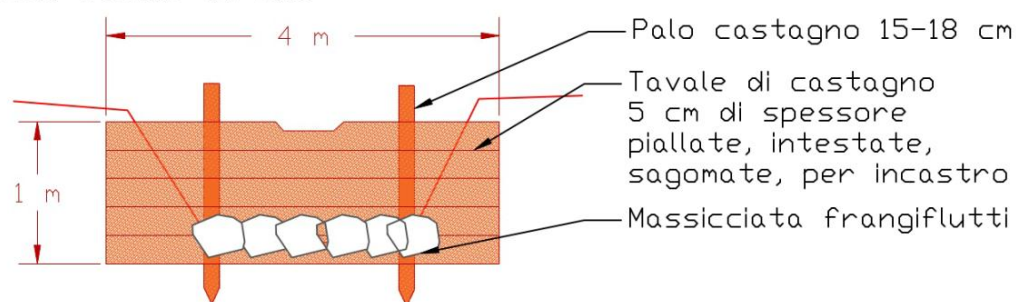
Figura 10 – Sezioni esemplificative di progetto (il dimensionamento di ciascuna paratia è riportato nelle tavole T3.3)

All'interno della torbiera si prevede di realizzare 5 paratie con terrapieno di altezza variabile da 0,5 e 1 m per una lunghezza complessiva di 10 m costituite da pali di castagno ($\varnothing$ cm.15-18, lunghi m. 2) che andranno infissi nel terreno per una profondità di m. 1 e posti alla distanza di m. 1 e assi di castagno di spessore 5 cm, lunghezza 2 m, intestate, piallate e sagomate per incastro tipo perlina, fissate ai pali sulla parte emergente con viti di lunghezza 12 cm. Nella porzione superiore della paratia dovrà essere praticata una sagomatura trapezoidale per indirizzare il flusso dell'acqua. L'assito dovrà essere interrato per almeno 30 cm nel suolo sia nella porzione inferiore che laterale della paratia. A tergo dell'opera verrà posto materiale di scavo come

terrapieno in misura di 0,5 mc per mq di paratia. Al piede frontale dell'opera verrà collocata una massicciata di pietrame a protezione dell'erosione dello stramazzo dell'acqua di tracimazione in misura di 0,1 mc per m di paratia.

Paratia con terrapieno

Vista frontale da valle



Sezione laterale

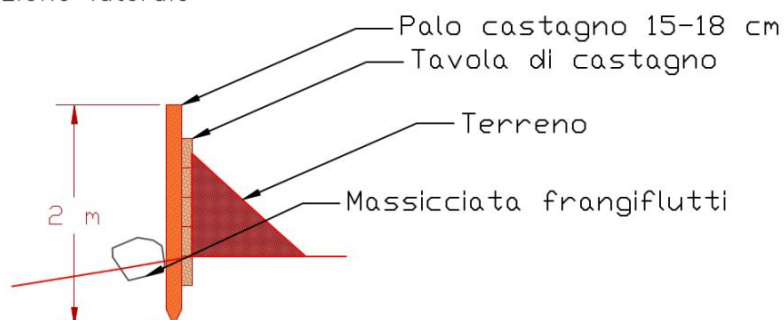


Figura 11 – Sezioni esemplificative di progetto (il dimensionamento di ciascuna paratia è riportato nelle tavole T3.3)

Una seconda azione prevista dal progetto è la rimozione effettuale da operaio forestale specializzato delle specie arbustive (*Salix apennina*) che stanno crescendo all'interno della torbiera compreso l'allontanamento del materiale di risulta così da preservare gli ambienti caratteristici delle zone umide e rimuovere l'effetto ombreggiamento degli stessi. L'operazione verrà effettuata solamente mediante ausilio di mezzi di taglio leggeri (cesoie o motosega) accedendo alla zona umida esclusivamente a piedi.

3.4. Mantenimento e incremento della zona umida e aumento dello stock di carbonio accumulato nella Torbiera Boccaia

L'azione prevista intende creare 6 sbarramenti di cui uno in prossimità dell'emissario della torbiera e altri 5 lungo il ruscello che la attraversa, in modo tale da ridurre la perdita d'acqua sorgiva e meteorica dalla zona umida e aumentare il livello minimo della tavola d'acqua nell'area torbosa.

Si prevede di realizzare 6 paratie doppie in legname di altezza variabile tra 0,7 e 1 m e lunghezza complessiva 13,5 m costituite da pali di castagno ($\varnothing$ cm 15-18, lunghi m 2) che andranno infissi nel terreno per una profondità di m 1 e posti alla distanza di m 1 e assi di castagno di spessore 5 cm, lunghezza 2/3 m, intestate, piallate e sagomate per incastro tipo perlina, fissate ai pali sulla parte emergente con viti di lunghezza 12 cm. Le assi verranno disposte su due piani distanziati di 20 cm e fissati tra loro con assi poste trasversalmente così da costituire una intercapedine da riempire con materiale terroso reperito in loco. Nella porzione superiore della paratia dovrà essere praticata una sagomatura trapezoidale protetta da assi di legno per indirizzare il flusso dell'acqua. L'assito verrà interrato per almeno 30 cm nel suolo nella porzione inferiore e almeno 50 cm nella porzione laterale della paratia. Al piede frontale dell'opera verrà collocata una massicciata di pietrame a protezione dell'erosione dello stramazzo dell'acqua di tracimazione in misura di 0,1 mc per m di paratia.

Paratia doppia con riempimento

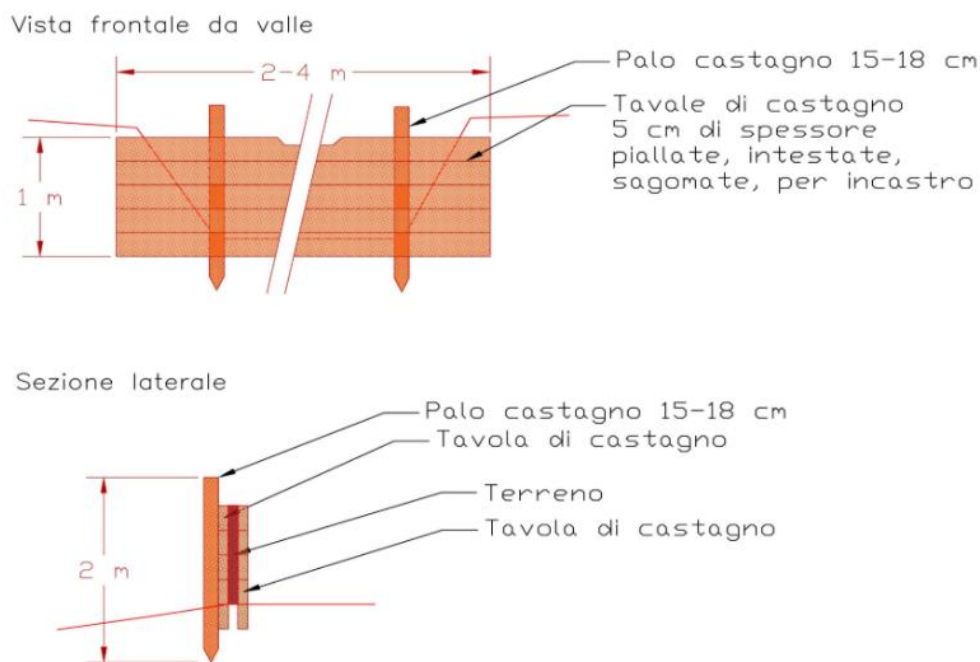


Figura 12 – Sezioni esemplificative di progetto (il dimensionamento di ciascuna paratia è riportato nelle tavole T3.3)

Una seconda azione prevista dal progetto è la rimozione effettuale da operaio forestale specializzato delle specie arbustive (*Salix apennina*, *S. caprea* e *Fagus sylvatica*) che stanno crescendo all'interno della torbiera e ai margini della stessa, compreso l'allontanamento del materiale di risulta così da preservare gli ambienti caratteristici delle zone umide e rimuovere l'effetto ombreggiamento degli stessi. L'operazione verrà effettuata solamente mediante ausilio di mezzi di taglio leggeri (cesoie o motosega) accedendo alla zona umida esclusivamente a piedi.

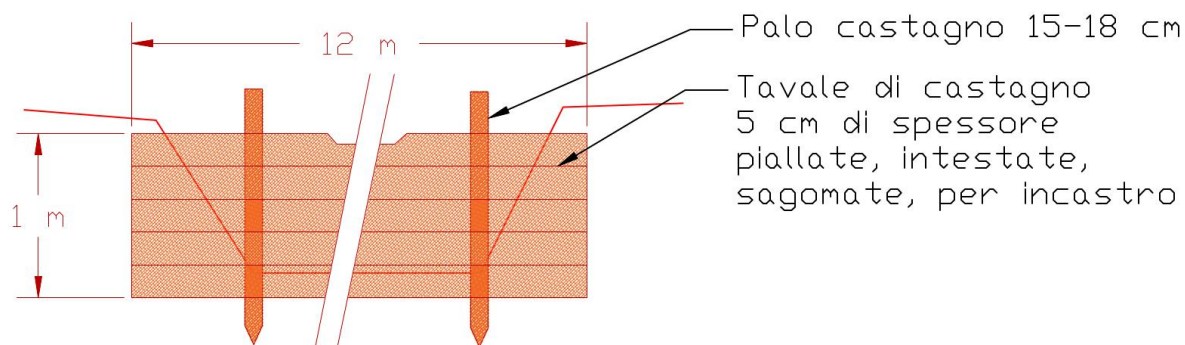
3.5. Mantenimento e incremento della zona umida, aumento dello stock di carbonio accumulato nella Torbiera Le Lamacce

L'azione prevista intende creare 10 sbarramenti lungo il ruscello che la attraversa, in modo tale da ridurre la perdita d'acqua sorgiva e meteorica dalla zona umida e aumentare il livello minimo della tavola d'acqua nell'area torbosa.

Si prevede di realizzare 10 paratie doppie in legname di altezza variabile tra 0,7 e 1,1 m e lunghezza variabile da 2,3 a 3,4 m, a seconda del punto di realizzazione previsto per un totale complessivo 24 mq, costituite da pali di castagno ($\varnothing$ cm 15-18, lunghi m 2) che andranno infissi nel terreno per una profondità di m 1 e posti alla distanza di m 1 e assi di castagno di spessore 5 cm, lunghezza 2/3 m, intestate, piallate e sagomate per incastro tipo perlina, fissate ai pali sulla parte emergente con viti di lunghezza 12 cm. Le assi verranno disposte su due piani distanziati di 20 cm e fissati tra loro con assi poste trasversalmente così da costituire una intercapedine da riempire con materiale terroso reperito in loco. Nella porzione superiore della paratia dovrà essere praticata una sagomatura trapezoidale protetta da assi di legno per indirizzare il flusso dell'acqua. L'assito verrà interrato per almeno 30 cm nel suolo nella porzione inferiore e almeno 50 cm nella porzione laterale della paratia. Al piede frontale dell'opera verrà collocata una massiciata di pietrame a protezione dell'erosione dello stramazzo dell'acqua di tracimazione in misura di 0,1 mc per m di paratia.

Paratia doppia con riempimento

Vista frontale da valle



Sezione laterale

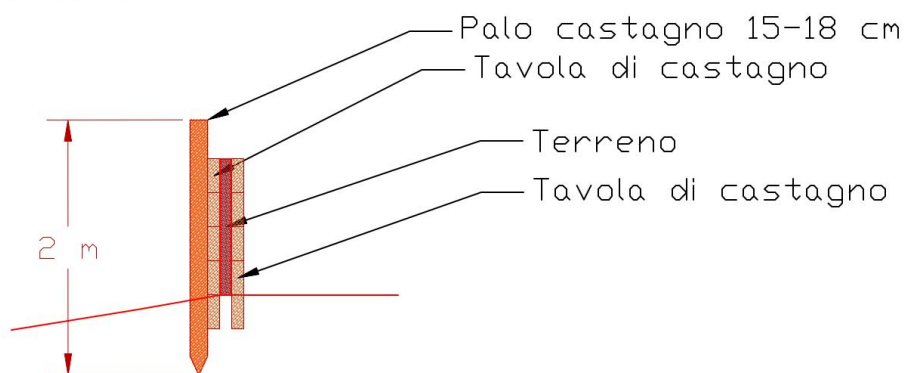


Figura 13 – Sezioni esemplificative di progetto (il dimensionamento di ciascuna paratia è riportato nelle tavole T3.3)

Una seconda azione prevista dal progetto è la rimozione effettuale da operaio forestale specializzato delle specie arbustive (*Fagus sylvatica* e *Salix apennina*) che stanno crescendo all'interno della torbiera e ai margini della stessa, compreso l'allontanamento del materiale di risulta così da preservare gli ambienti caratteristici delle zone umide e rimuovere l'effetto ombreggiamento degli stessi. L'operazione verrà effettuata solamente mediante ausilio di mezzi di taglio leggeri (cesoie o motosega) accedendo alla zona umida esclusivamente a piedi.

Un ultimo intervento previsto per la torbiera è la costruzione di una piccola briglia, posizionata lungo il primo tratto del corso d'acqua emissario, costituita da gabbione a scatola in rete metallica a doppia torsione, riempita a mano con materiale reperito in loco a mo' di muro a secco, di pezzatura idonea a non fuoriuscire

dalle maglie esagonali della rete metallica e opportunamente sistemato per ottenere una buona faccia a vista. Il piccolo manufatto ha lo scopo di creare una interruzione di continuità per i pesci presenti nel reticolo idrografico di valle e rendere così efficaci nel tempo l'intervento di eradicazione dei salmonidi effettuato.

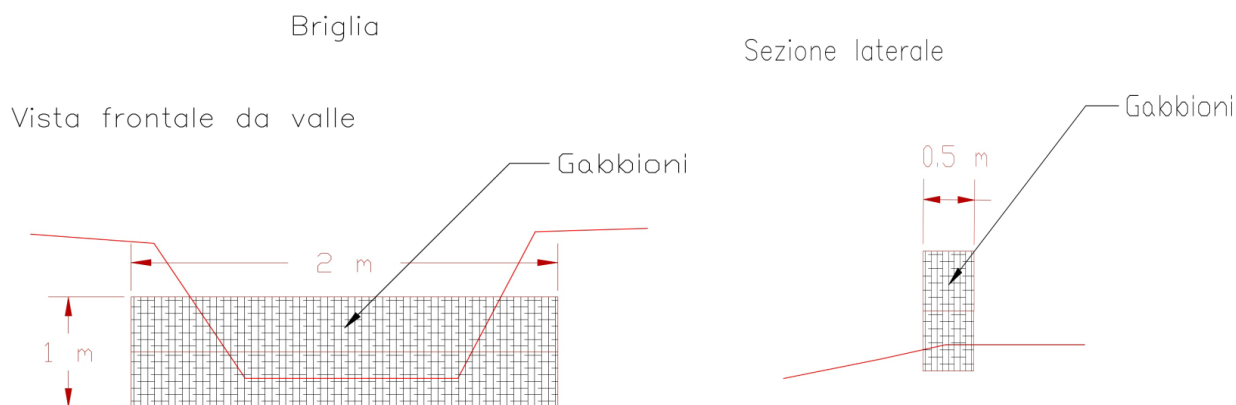


Figura 14 – Sezioni esemplificative di progetto

3.6. Mantenimento e incremento della zona umida, aumento dello stock di carbonio accumulato nella Torbiera Le Gore

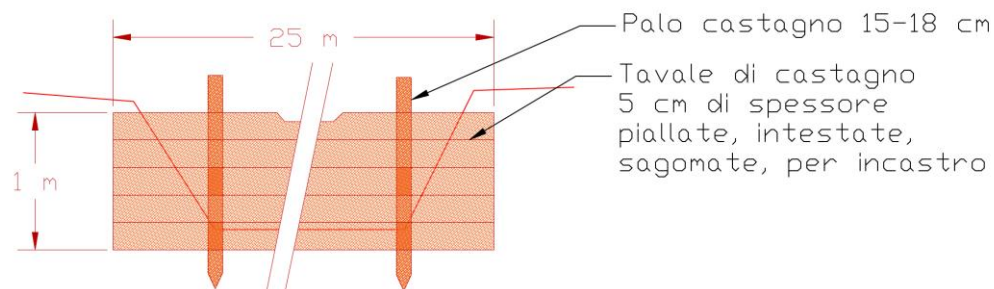
L'azione prevista intende creare 12 sbarramenti di cui uno in prossimità dell'emissario della torbiera e altri 11 lungo i ruscelli che la attraversano, in modo tale da ridurre la perdita d'acqua sorgiva e meteorica dalla zona umida e aumentare il livello minimo della tavola d'acqua nell'area torbosa.

Si prevede di realizzare 12 paratie doppie in legname di altezza variabile tra 0,7 e 1,4 m e lunghezza variabile da 2,2 a 5 m, a seconda del punto di realizzazione previsto per un totale complessivo 38 mq, costituite da pali di castagno ($\varnothing$ cm 15-18, lunghi m 2) che andranno infissi nel terreno per una profondità di m 1 e posti alla distanza di m 1 e assi di castagno di spessore 5 cm, lunghezza 2/3 m, intestate, piallate e sagomate per incastro tipo perlina, fissate ai pali sulla parte emergente con viti di lunghezza 12 cm. Le assi verranno disposte su due piani distanziati di 20 cm e fissati tra loro con assi poste trasversalmente così da costituire una intercapedine da riempire con materiale terroso reperito in loco. Nella porzione superiore della paratia dovrà essere praticata una sagomatura trapezoidale protetta da assi di legno per indirizzare il flusso dell'acqua. L'assito verrà interrato per almeno 30 cm nel suolo nella porzione inferiore e almeno 50 cm nella

porzione laterale della paratia. Al piede frontale dell'opera verrà collocata una massicciata di pietrame a protezione dell'erosione dello stramazzo dell'acqua di tracimazione in misura di 0,1 mc per m di paratia.

Paratia doppia con riempimento

Vista frontale da valle



Sezione laterale

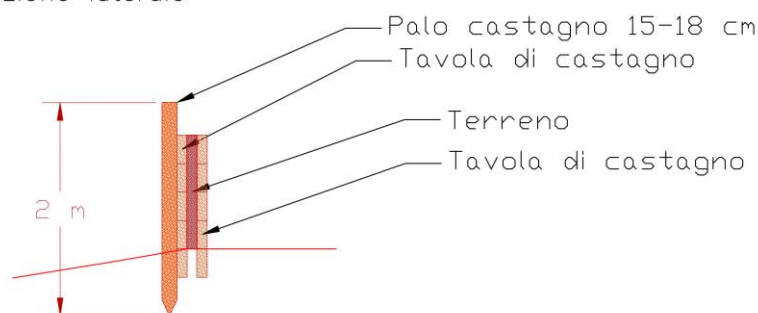


Figura 15 – Sezioni esemplificative di progetto (il dimensionamento di ciascuna paratia è riportato nelle tavole T3.3)

Una seconda azione prevista dal progetto è la rimozione effettuale da operaio forestale specializzato delle specie arbustive (*Salix apennina*) che stanno crescendo all'interno della torbiera e ai margini della stessa, compreso l'allontanamento del materiale di risulta così da preservare gli ambienti caratteristici delle zone umide e rimuovere l'effetto ombreggiamento degli stessi. L'operazione verrà effettuata solamente mediante ausilio di mezzi di taglio leggeri (cesoie o motosega) accedendo alla zona umida esclusivamente a piedi.

Un ultimo intervento previsto per la torbiera è la costruzione di una piccola briglia, posizionata lungo il primo tratto del corso d'acqua emissario, costituita da gabbione a scatola in rete metallica a doppia torsione, riempita a mano con materiale reperito in loco a mo' di muro a secco, di pezzatura idonea a non fuoriuscire dalle maglie esagonali della rete metallica e opportunamente sistemato per ottenere una buona faccia a

vista. Il piccolo manufatto ha lo scopo di creare una interruzione di continuità per i pesci presenti nel reticolo idrografico di valle e rendere così efficace nel tempo l'intervento di eradicazione dei salmonidi effettuato.



Figura 16 – Sezioni esemplificative di progetto

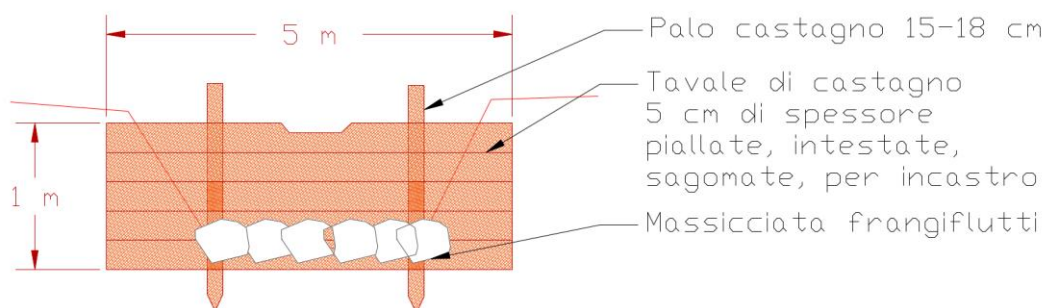
3.7. Incremento della zona umida per il mantenimento degli habitat di alta quota idonei alla riproduzione della batracofauna nella Pozza temporanea Ghiacci di Monte Albano

L'azione prevista intende creare uno sbarramento in prossimità dell'emissario del bacino tale da ridurre la perdita d'acqua di scioglimento delle nevi e meteorica dalla zona umida.

Si prevede di realizzare una paratia in legname di lunghezza 5 m e altezza 1 m costituita da pali di castagno ($\varnothing$ cm.15-18, lunghi m. 2) che andranno infissi nel terreno per una profondità di m. 1 e posti alla distanza di m. 1 e assi di castagno di spessore 5 cm, lunghezza 2 m, intestate, piallate e sagomate per incastro tipo perlina, fissate ai pali sulla parte emergente con viti di lunghezza 12 cm. Nella porzione superiore della paratia dovrà essere praticata una sagomatura trapezoidale per indirizzare il flusso dell'acqua. L'assito dovrà essere interrato per almeno 30 cm nel suolo sia nella porzione inferiore che laterale della paratia. A tergo dell'opera verrà posto materiale di scavo come terrapieno in misura di 0,5 mc per mq di paratia. Al piede frontale dell'opera verrà collocata una massicciata di pietrame a protezione dell'erosione dello stramazzo dell'acqua di tracimazione in misura di 0,1 mc per m di paratia.

Paratia con terrapieno

Vista frontale da valle



Sezione laterale

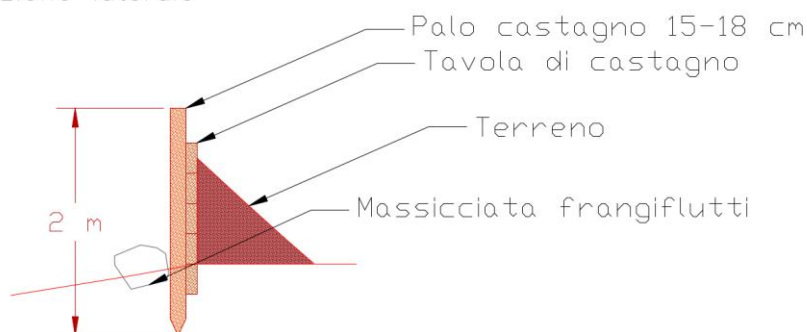


Figura 17 – Sezioni di progetto

3.8. Incremento della zona umida per il mantenimento degli habitat di alta quota idonei alla riproduzione della batracofauna nella Pozza temporanea Lago Crocette

L'azione prevista intende creare uno sbarramento in prossimità dell'emissario del bacino tale da ridurre la perdita d'acqua di scioglimento delle nevi e meteorica dalla zona umida.

Si prevede di realizzare una paratia in legname di lunghezza 36 m e altezza 0,5 m costituita da pali di castagno ($\varnothing$ cm.15-18, lunghi m. 2) che andranno infissi nel terreno per una profondità di m. 1 e posti alla distanza di m. 1 e assi di castagno di spessore 5 cm, lunghezza 2 m, intestate, piallate e sagomate per incastro tipo perlina, fissate ai pali sulla parte emergente con viti di lunghezza 12 cm. L'assito verrà interrato per almeno 20 cm nel suolo sia nella porzione inferiore che laterale della paratia. A tergo dell'opera verrà posto materiale

di scavo come terrapieno in misura di 0,2 mc per m di paratia. Al piede frontale dell'opera verrà collocata una massicciata di pietrame a protezione dell'erosione dello stramazzo dell'acqua di tracimazione in misura di 0,1 mc per m di paratia.

Paratia con terrapieno

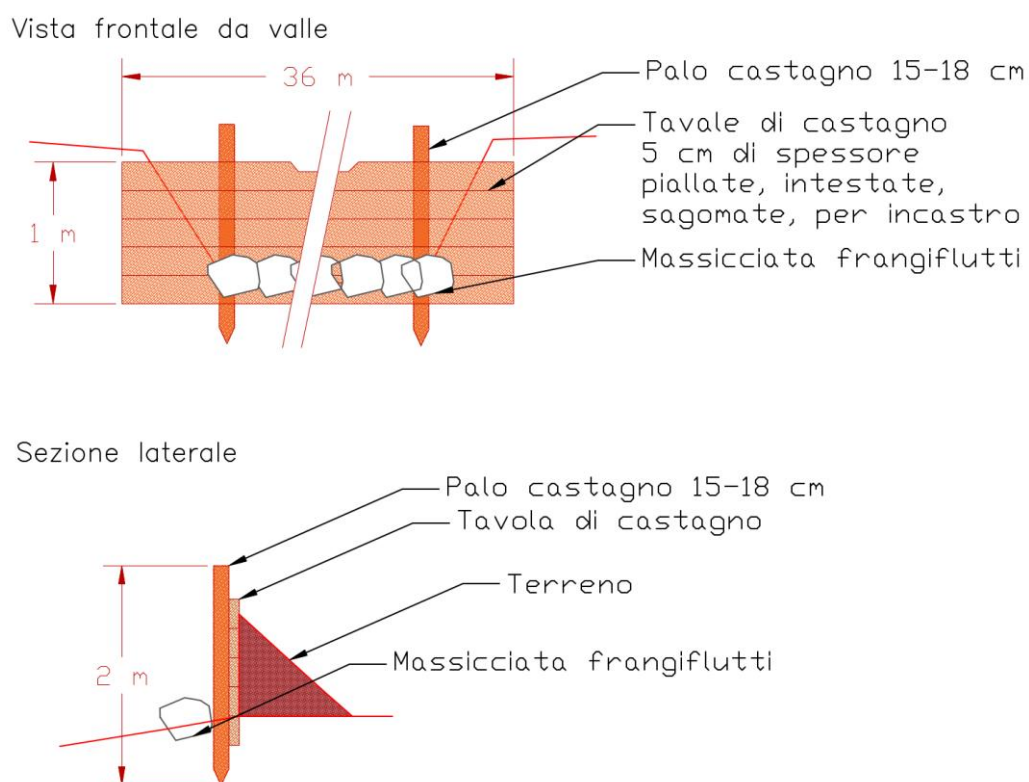


Figura 18 – Sezioni di progetto

Una seconda azione prevista dal progetto è la rimozione effettuale da operaio forestale specializzato delle specie arbustive (*Salix apennina*, *Salix caprea* e *Fagus sylvatica*) che stanno crescendo all'interno della torbiera e ai margini della stessa, compreso l'allontanamento del materiale di risulta così da preservare gli ambienti caratteristici delle zone umide e rimuovere l'effetto ombreggiamento degli stessi. L'operazione verrà effettuata solamente mediante ausilio di mezzi di taglio leggeri (cesoie o motosega) accedendo alla zona umida esclusivamente a piedi.

3.9. Realizzazione di scale di risalita per l'ittiofauna lungo il Torrente Fellicarolo e il Torrente Leo

3.9.1. Stato di fatto

Come già ricordato, il Torrente Fellicarolo è un corso d'acqua che scorre in provincia di Modena lungo circa 9 km; insieme al Torrente Ospitale dà origine al Torrente Leo in Comune di Fanano.

Nei pressi dell'abitato di Fanano, poco a monte della confluenza con i T. Ospitale, l'alveo del T. Fellicarolo è interessato da una batteria 9 briglie costruite a partire dal primo dopoguerra al fine di consolidare la frana che interessa la porzione sud-ovest dell'abitato.

Anche nel Torrente Leo sono presenti sin dalla sua origine numerose briglie, costruite per la stabilizzazione del fondo e degli attraversamenti stradali che lo interessano.

Nell'area del comune di Fanano oggetto del presente progetto sono in particolare presenti 4 briglie (figura seguente); una prima, dotata di impianto idroelettrico e di scala di risalita artificiale; una seconda, oggetto del presente progetto e recentemente parzialmente ammalorata dagli eventi di piena dell'autunno 2024, priva di scale di rimonta per la fauna ittica; una terza, sifonata e per la quale è previsto un intervento da parte dell'*"Agenzia per la sicurezza territoriale e la protezione civile"* per il consolidamento della briglia e la realizzazione di una rampa in massi dotata delle caratteristiche adatte affinché funzioni da rampa di risalita; una quarta anch'essa priva di scale di risalita. Segue poi una batteria di ulteriori briglie che interrompono la continuità fluviale del torrente sino alla confluenza con il Torrente Scoltenna.



Figura 19 – Localizzazione delle due briglie su cui saranno realizzate le scale di risalita per l’ittiofauna

Le briglie prese in considerazione dal progetto sono rappresentate in Figura 20 e Figura 21.



Figura 20 – Briglia posta sul Torrente Fellicarolo oggetto di progettazione della scala di risalita per l’ittiofauna

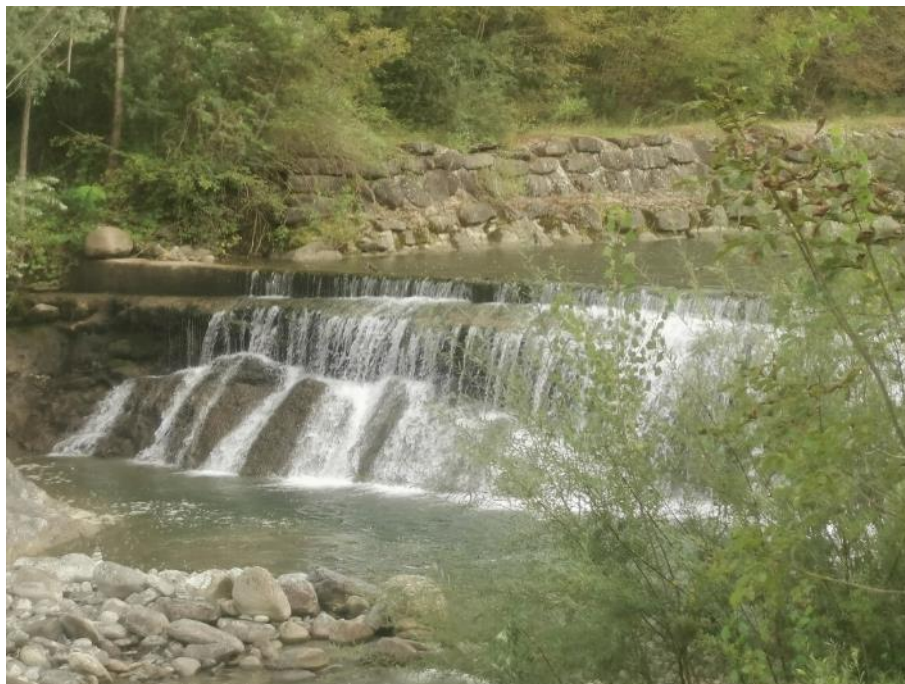


Figura 21 – Briglia posta sul Torrente Leo oggetto di progettazione della scala di risalita per l'ittiofauna (sopra, briglia nell'anno 2023, sotto la briglia parzialmente crollata nell'anno 2025)

Le briglie costituiscono un ostacolo alla risalita della fauna ittica e limitano quindi l'areale di distribuzione delle specie che hanno necessità di migrare lungo l'alveo durante le varie fasi del loro ciclo di vita.

Gli studi eseguiti in passato sulla fauna ittica dalla Provincia di Modena evidenziano come nei pressi della confluenza tra i Torrenti Fellicarolo e Ospitale e nella parte alta del Torrente Leo fosse presente nel primo decennio degli anni 2000 una popolazione di *Cottus gobio* (Scazzone), limitata nell'espansione verso le parti alte dei torrenti proprio dalla presenza delle succitate briglie. La specie, in Italia, è minacciata soprattutto dalle opere di regimazione dei corsi d'acqua, dalle continue immissioni di trote per la pesca sportiva, dagli inquinamenti e dall'abbassamento del livello delle acque nei torrenti.

Recenti sopralluoghi hanno mostrato la presenza attuale di popolazioni isolate di *Cottus gobio* (Scazzone) fino al ponte del Rifolengo lungo il Rio Ospitale e fino al ponte di Fellicarolo lungo il torrente Fellicarolo.

3.9.2. Stato di progetto

Al fine di favorire la risalita della fauna ittica ed il particolare dello Scazzone lungo il torrente Leo e da questo lungo il torrente Fellicarolo, l'intervento prevede di realizzare due scale di risalita, una per torrente.

La tipologia prescelta rientra tra gli interventi denominati “passaggi naturalistici”: questi sono vie d'acqua per pesci progettate rispettando le caratteristiche di un naturale tributario o di un tratto del corso d'acqua.

In sostanza questi passaggi ristabiliscono la continuità fluviale tra monte e valle dello sbarramento attraverso un ramo simile ad un piccolo torrente oppure, in altri casi, costituiscono delle vere e proprie rampe in pietrame, che imitano rapide o tratti a pendenza del corso d'acqua, in totale o parziale sostituzione degli sbarramenti.

Nei passaggi naturalistici l'energia dell'acqua viene dissipata come in un corso d'acqua naturale, grazie ad un'adeguata scabrezza del fondo ottenuta mediante l'opportuna disposizione sul fondo e sulle sponde di massi, pietrame ed altro materiale sciolto.

Le pendenze di fondo utilizzate sono usualmente limitate e variano mediamente lungo il percorso del passaggio tra l'1% ed il 4% e quindi garantiscono condizioni idrodinamiche superabili da parte di tutte le specie; le pendenze possono comunque raggiungere anche valori di circa il 6% se il passaggio viene realizzato sotto forma di bacini successivi con soglie in massi, in analogia ai passaggi di tipo tecnico (*la presente descrizione dei passaggi naturalistici e le specifiche che seguono sono tratte da: “Linee guida tecniche per la progettazione e il monitoraggio dei passaggi per la libera circolazione della fauna ittica”. Deliberazione della Giunta Regionale 13 luglio 2015, n. 25-1741. Regione Piemonte*).

Tra le tipologie di passaggi naturalistici possibili, sono stati scelti la “Fish ramp” per il torrente Fellicarolo (rampa 1 in Figura 19) e la “Bottom ramp” per il torrente Leo (rampa 2 in Figura 19), coerenti con la morfologia e l’assetto del fondo naturale dei due torrenti, caratterizzati da un’alternanza di massi di varie dimensioni.

Il funzionamento della “Fish ramp”, che sarà utilizzata sul **torrente Fellicarolo**, è basato nel concentrare sulla rampa la totale portata del fiume nel periodo di magra e buona parte della portata media; lo sbarramento inizierà quindi a tracimare con livelli idrometrici superiori a quelli che determinano la portata assegnata per l’alimentazione del passaggio per pesci. Questo tipo di opera si realizza con una costruzione integrata con lo sbarramento, coprendone soltanto parte dello sviluppo trasversale, e con una pendenza longitudinale sufficientemente ridotta per permettere la risalita dei pesci.

È pertanto un meccanismo che permette il superamento del dislivello tra monte e valle con un piano inclinato in pietrame, contenuto tra sponde di pietrame, interrotto da soglie di massi di dimensioni maggiori (boulders) per ridurre la velocità dell’acqua, alzare il tirante idrico, diversificare l’habitat e riprodurre la varietà strutturale di un corso d’acqua.

La fish ramp in progetto occuperà solo una parte della larghezza della briglia; sarà inoltre posizionata una soglia di fondo per tutta la larghezza dell’alveo, costituita da massi di altezza indicativa di 30-50 cm, che veicheranno i pesci verso l’imbocco della rampa, così da evitare che siano attratti dalle acque che attraversano la restante parte della briglia, in un punto in cui la rampa non può essere utilizzata (Figura 23).

La “Bottom ramp” sarà invece utilizzata sul **torrente Leo**: gli eventi alluvionali dell’autunno 2024 hanno ammalorato la briglia esistente, che ai tempi della candidatura del PFTE al bando regionale RECOERE era ancora in essere. Attualmente sono presenti due monconi della briglia, divelti ma ancora agganciati alle sponde destra e sinistra, ed una porzione centrale dell’alveo in cui il deflusso delle acque è ora libero; tale situazione non permette però ancora la libera risalita della fauna ittica, essendo presente ancora un dislivello centrale difficilmente sormontabile, attraversato da una corrente concentrata con velocità non compatibili con la risalita dei pesci, in particolare dello Scazzone. Inoltre, la situazione così compromessa richiede comunque un intervento dell’Agenzia per la Sicurezza territoriale, al fine di evitare che la destabilizzazione del fondo alveo conseguente al crollo della briglia crei situazioni di incisione regressiva e crollo delle difese spondali presenti; quest’ultima evenienza in realtà potrebbe a breve presentarsi, in quanto la difesa spondale presente in destra idraulica è ora priva di fondazione.

Si è quindi valutato come necessario intervenire in ogni caso in corrispondenza di tale briglia anche se crollata, al fine di proporre una tipologia di intervento che coniughi la necessità di stabilizzazione locale del fondo e delle sponde (esigenza primaria dell'Agenzia per la sicurezza territoriale) con l'esigenza di favorire la risalita della fauna ittica.

È stata in tal senso scelta come tipologia progettuale la bottom ramp, una rampa in massi che occupa l'intera larghezza dell'alveo, realizzata però con accorgimenti progettuali che possano favorire la risalita della fauna ittica, in particolare una bassa pendenza (5-6%) e la creazione di vasche di riposo nella parte centrale della rampa, realizzate con la tecnica della "boulder bar" (figura seguente).

In entrambe le rampe si userà la tipologia a "**Boulder bars**" (soglie in massi), ossia strutture realizzate in analogia ai passaggi tecnici a bacini successivi (pool and weir), creando soglie mediante l'ammorsamento nel fondo alveo di massi di elevate dimensioni (boulders, diametro 0,6-1,2 m), con il deflusso da un bacino all'altro che avviene tramite gli spazi lasciati tra i massi; il dislivello totale viene suddiviso in più dislivelli minori, tra un bacino ed il successivo, che devono sempre risultare < 20-25 cm; le soglie saranno "permeabili", ossia sarà garantito il deflusso della corrente attraverso gli spazi e le fenditure (almeno 20-30 cm) lasciate libere tra massi affiancati; viene inoltre prevista la posa di un layer di fondo eterogeneo opportunamente dimensionato; questa tipologia consente la realizzazione di pendenze di fondo più elevate (5- 6%); la profondità minima dell'acqua nei bacini sarà di almeno 30-50 cm e la distanza tra le soglie di 2 m, con gli stramazzi non a vena libera ma parzialmente rigurgitati.

La **scala di risalita sul torrente Fellicarolo** sarà realizzata in massi di cava da 1.000 a 3.000 kg, con l'inserimento in sommità di massi di cava da 500 a 1.000 kg a costituire le boulder bars (figure seguenti).

L'opera sarà stabilizzata sul lato a diretto contatto con l'alveo mediante la realizzazione di una berma di protezione al piede in massi da 1.000 a 3.000 kg, bloccati al piede da putrelle ad H infisse nel fondo alveo.

Le putrelle saranno inoltre utilizzate per stabilizzare la base di valle della rampa.

Le vasche di riposo saranno anch'esse stabilizzate mediante posizionamento di una putrella a monte della vasca.

Si prevede infine di ribassare la testa della briglia nella porzione a monte della rampa, al fine di concentrare le acque di magra verso la scala di risalita; si prevede a tal fine anche di risagomare l'alveo a monte della briglia in corrispondenza della rampa.

L'opera sarà completata dalla già citata soglia posta alla base della rampa, per tutta la larghezza dell'alveo, finalizzata ad indirizzare la fauna ittica verso di essa.

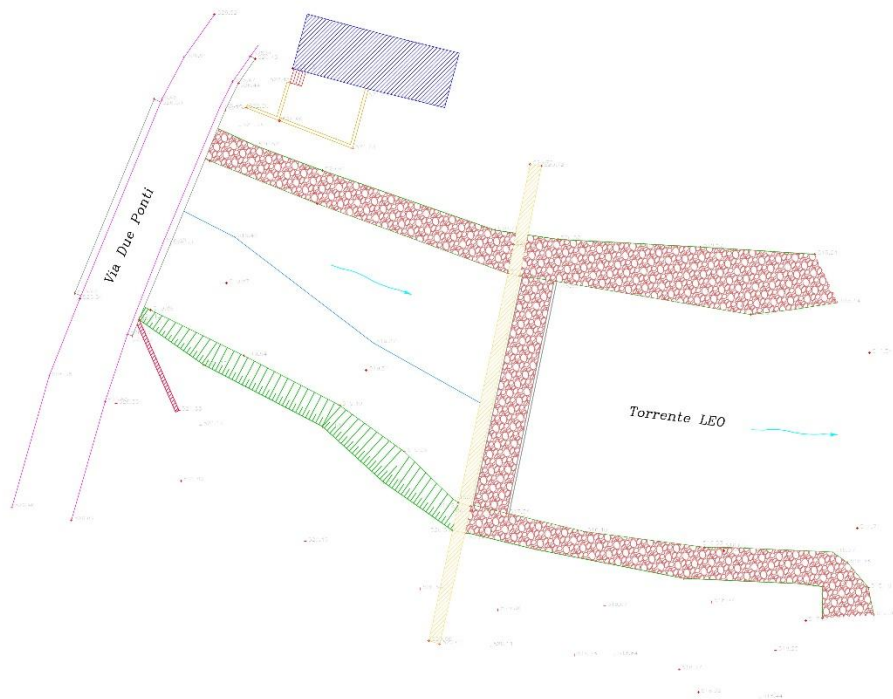


Figura 22 - Rilievo dello stato di fatto della briglia sul torrente Fellicarolo

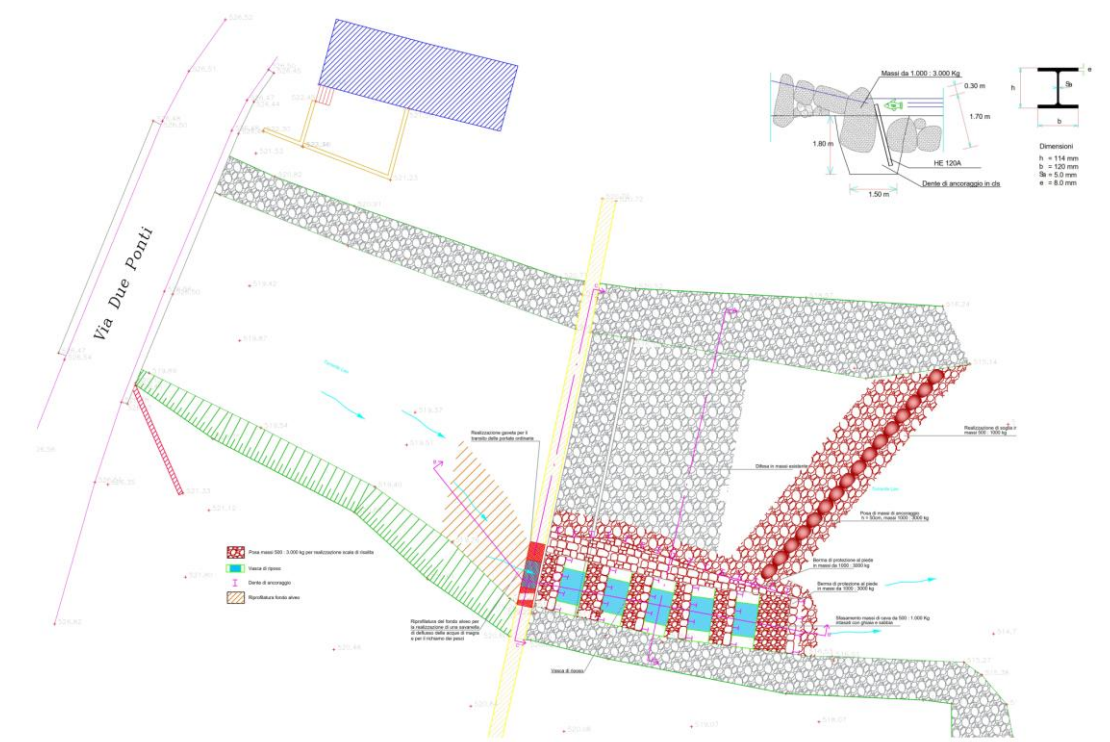


Figura 23 – Planimetria: scala di risalita per la fauna ittica sul torrente Fellicarolo

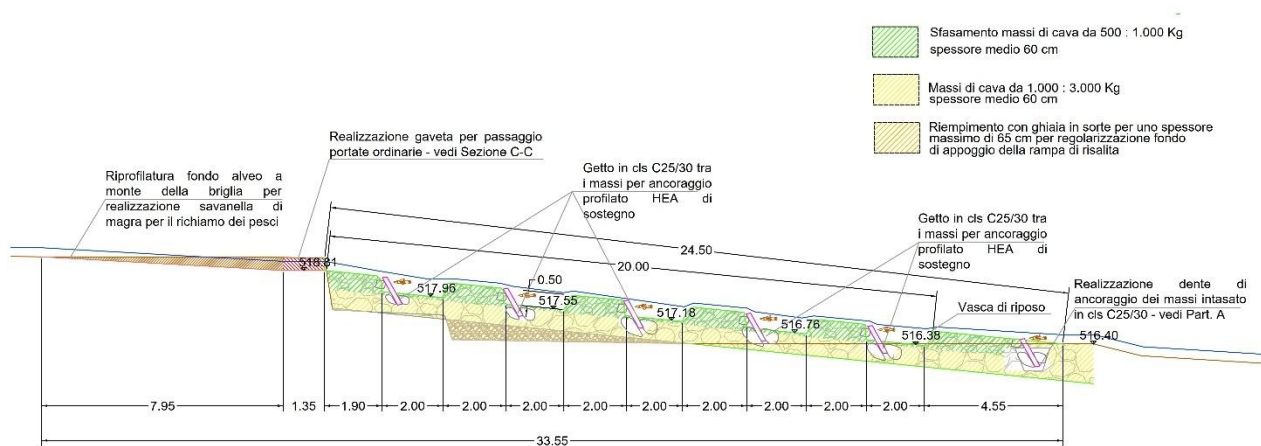


Figura 24 – Sezione longitudinale: scala di risalita per la fauna ittica sul torrente Fellicarolo

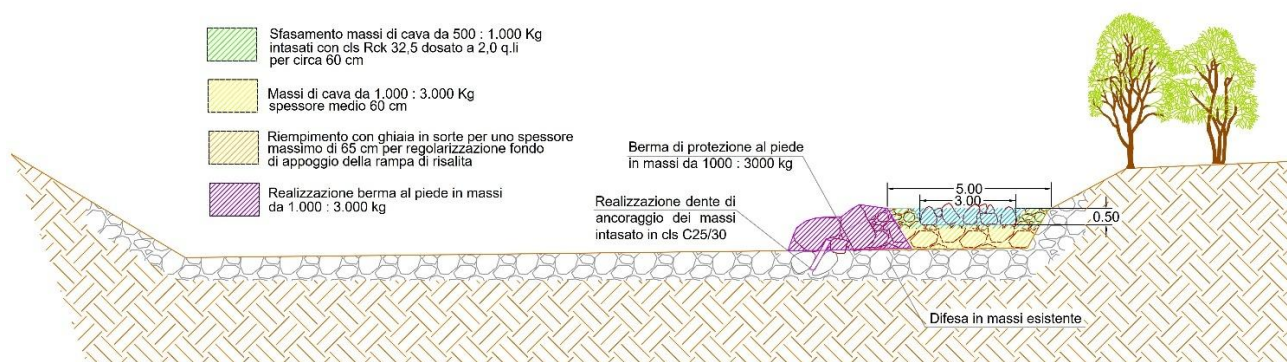


Figura 25 – Sezione trasversale: scala di risalita per la fauna ittica sul torrente Fellicarolo

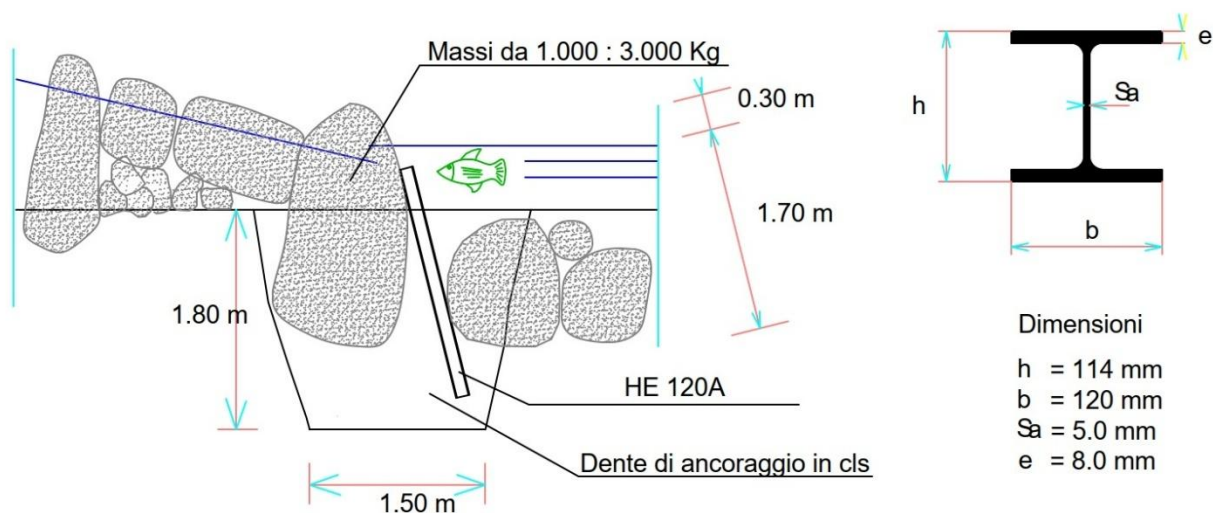


Figura 26 – Putrella per il fissaggio dei massi alla base della rampa, sul financo e in corrispondenza delle vasche di riposo

La **scala di risalita sul torrente Leo** sarà realizzata in massi di cava da 1.000 a 3.000 kg, con l'inserimento in sommità di massi di cava da 500 a 1.000 kg a costituire le boulder bars (figure seguenti).

L'opera sarà stabilizzata mediante il posizionamento al piede di putrelle ad H infisse nel fondo alveo.

Le vasche di riposo saranno anch'esse stabilizzate mediante posizionamento di una putrella a monte della vasca. Si prevede inoltre di stabilizzare la difesa ammalorata in destra idraulica e di realizzarne una in sinistra in corrispondenza della scala di risalita, mediante massi tra 1.000 e 3.000 kg (figure seguenti).

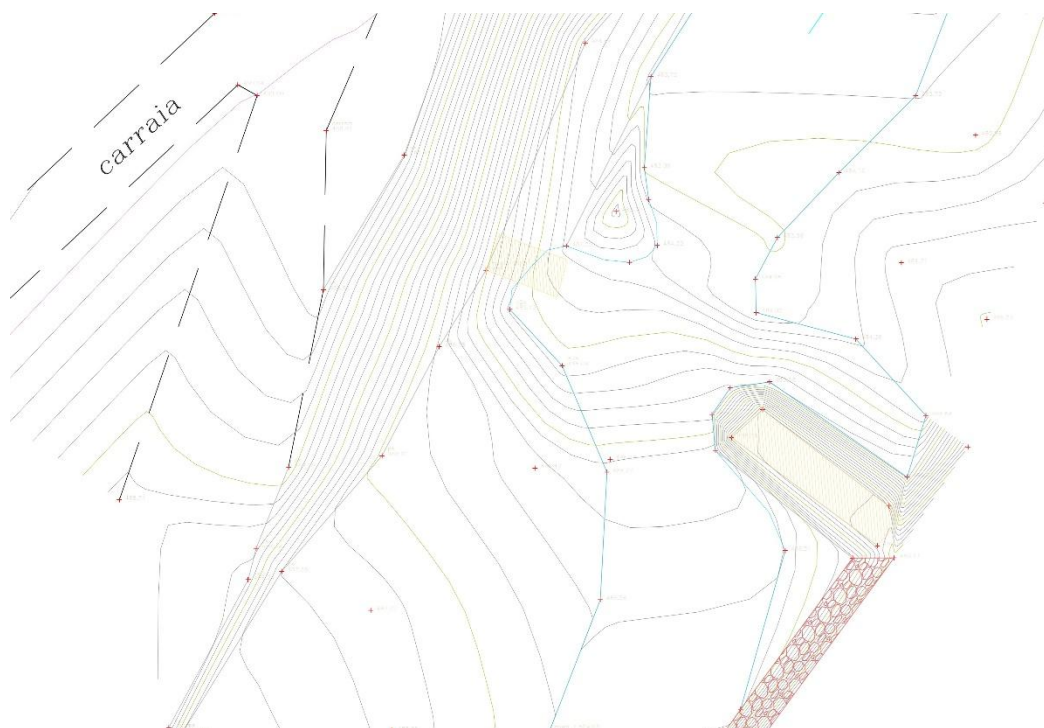


Figura 27 – Rilievo dello stato di fatto della briglia parzialmente ammalorata sul torrente Leo

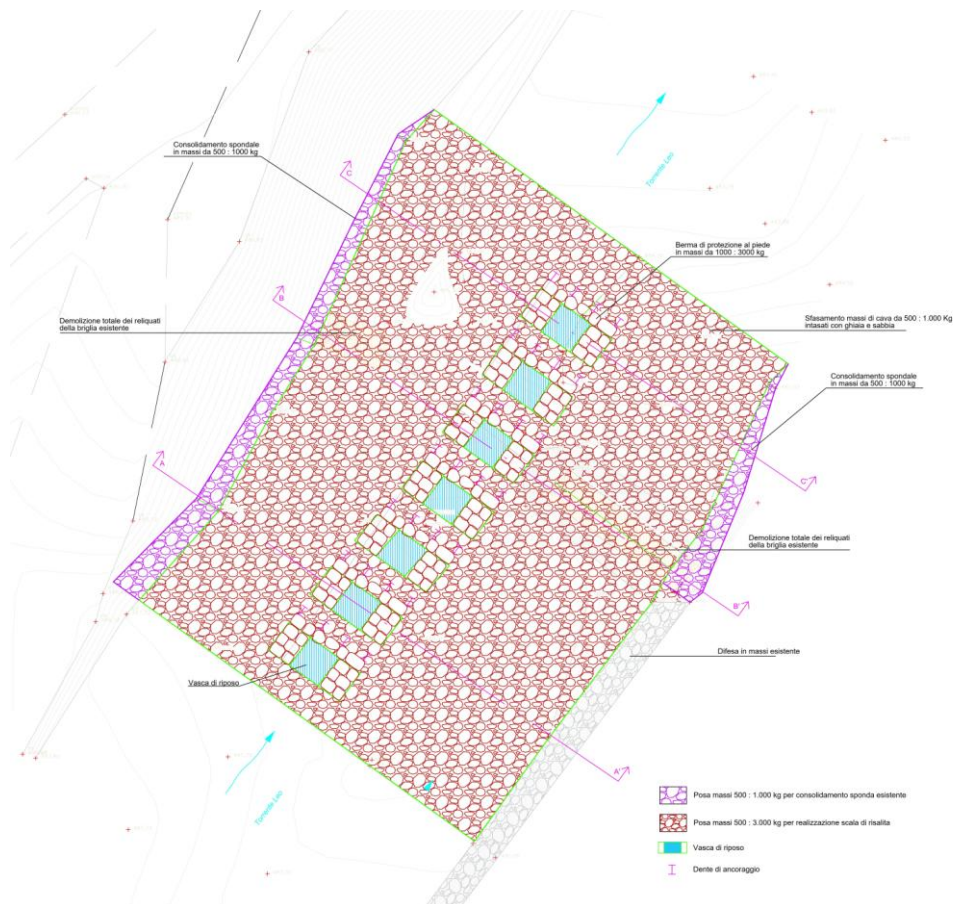


Figura 28 – Planimetria della scala di risalita per la fauna ittica sul torrente Leo

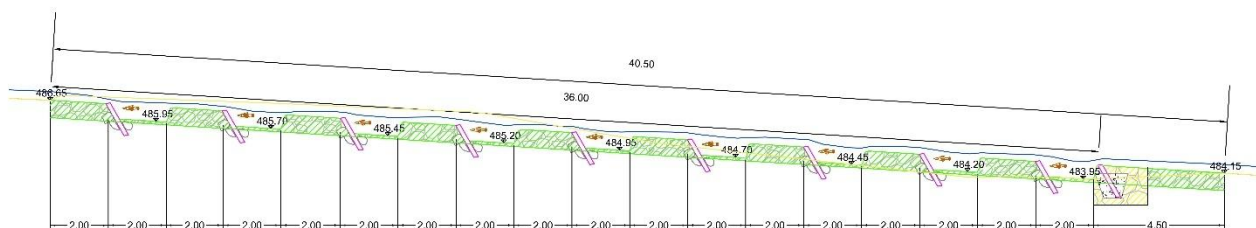


Figura 29 – Sezione longitudinale: scala di risalita per la fauna ittica sul torrente Leo

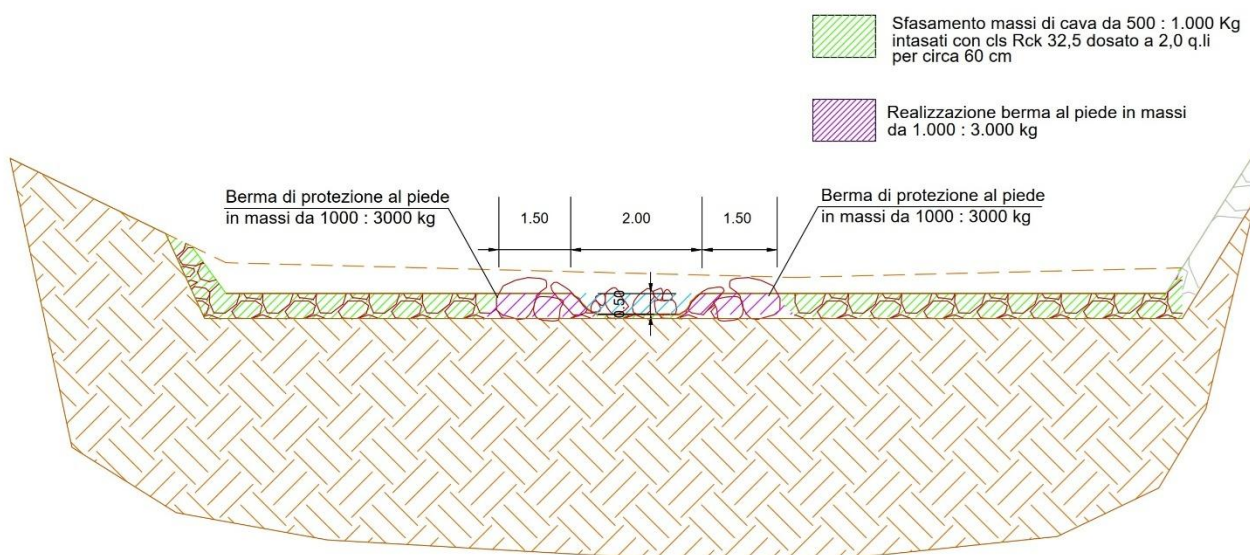


Figura 30 – Sezione trasversale: scala di risalita per la fauna ittica sul torrente Leo

La realizzazione delle due scale di risalita permetterà di restituire continuità agli spostamenti della fauna ittica su un tratto compreso tra le due briglie esistenti poste a monte di quella in progetto del Torrente Fellicarolo e a valle di quella in progetto sul torrente Leo, per un totale di **1,8 km** (Figura 31).

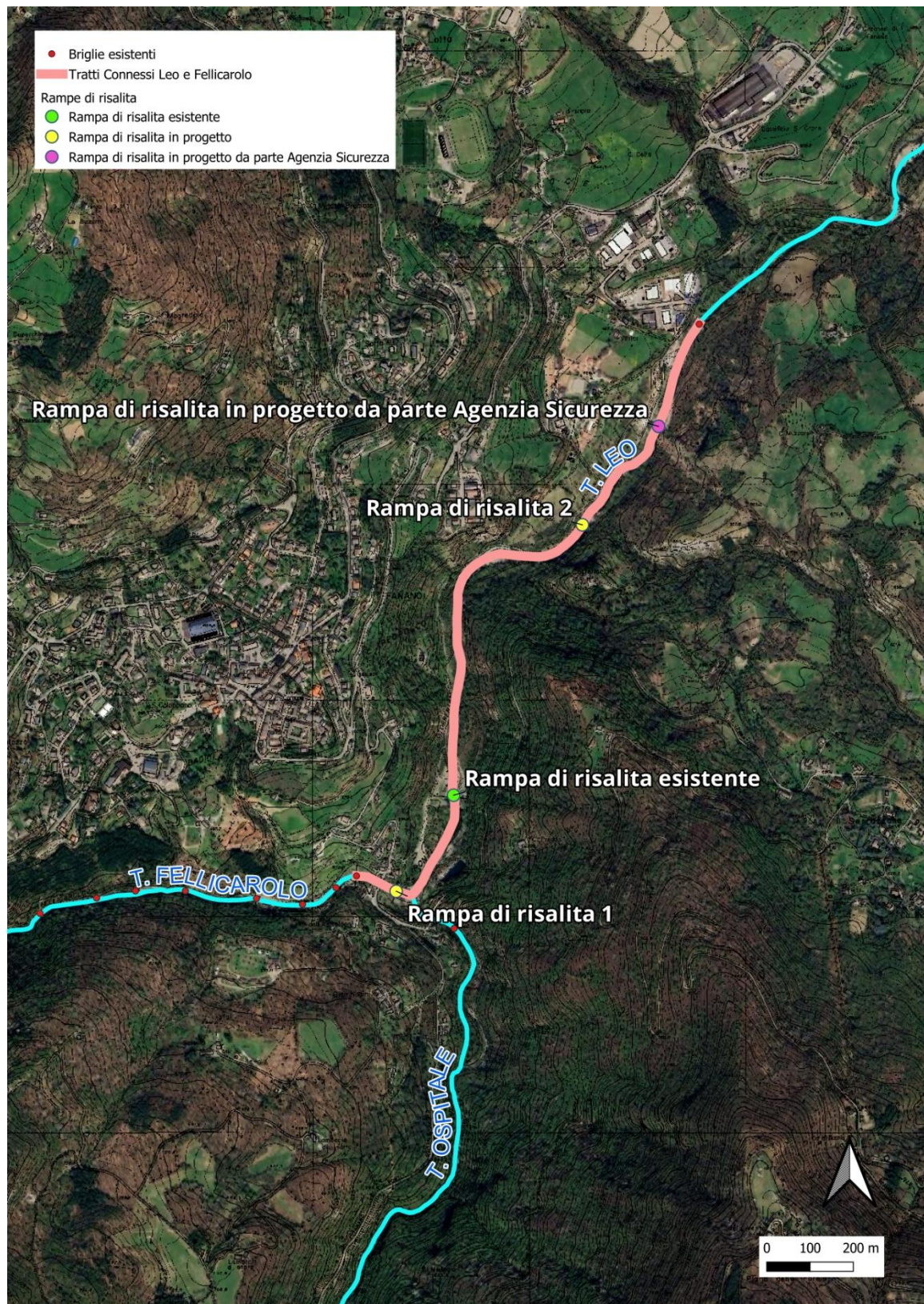


Figura 31 – Planimetria di progetto con indicazione delle briglie esistenti, delle rampe di risalita in progetto, della rampa esistente e della rampa in progetto da parte dell'Agenzia per la sicurezza territoriale

3.9.3. Considerazioni idrauliche Scala di risalita Torrente Fellicarolo

La trattazione seguente ha lo scopo di verificare se l'opera in progetto peggiora le condizioni di deflusso degli eventi di piena e contribuisce ad aggravare il rischio idraulico.

3.9.3.1. Analisi pluviometrica e idrologica

Nel presente capitolo si procede ad illustrare la procedura utilizzata per il calcolo delle portate di piena di riferimento, partendo dalle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica e terminando con la determinazione della portata di picco per un assegnato tempo di ritorno.

Si indica con *periodo di ritorno T del massimo valore x* il numero di anni T in cui, mediamente, x è superato una sola volta. Nel caso specifico, il periodo di ritorno T dell'evento di piena rappresenta il numero di anni in cui, mediamente, tale evento di piena viene superato od uguagliato una sola volta.

In riferimento alle precipitazioni, si è partiti dall'elaborazione delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica, determinate dallo studio degli annali idrologici.

Applicando a questo punto il metodo razionale, che consente di determinare il valore della portata in qualsiasi sezione del corso d'acqua in funzione della precipitazione di riferimento, dell'estensione del bacino e delle caratteristiche idrauliche del corso d'acqua stesso, si è arrivati alla stima della portata di interesse del torrente Fellicarolo utile per la presente verifica di compatibilità idraulica.

Come descritto nei paragrafi a seguire, per il calcolo di tale portata, si è proceduto per passaggi successivi:

- Individuazione delle caratteristiche del bacino idrografico complessivo sotteso alla sezione di chiusura individuata;
- Definizione delle curve di possibilità pluviometrica;
- Individuazione del coefficiente di deflusso;
- Definizione del tempo di corrivazione per il bacino in esame;
- Determinazione del valore del picco di piena per il tempo di ritorno di riferimento, secondo il metodo razionale.

Curve di possibilità pluviometrica

Al fine di poter disporre del necessario quadro conoscitivo meteorologico funzionale alle successive analisi

idrologiche, le analisi pluviometriche effettuate nell'ambito del presente studio si sono basate sulle linee segnalatrici di possibilità pluviometriche.

Le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica, che riassumono quindi il legame tra altezze di pioggia e durata della precipitazione al variare del tempo di ritorno, utilizzate per le successive analisi idrologiche afflussi-deflussi sulle aree di interesse, sono espresse dalla seguente formula.

$$h(d, T) = a tp^n$$

in cui:

- T: tempo di ritorno di riferimento;
- tp: durata della precipitazione, espressa in ore;
- a, n: parametri caratteristici delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica;

I parametri a e n, caratteristici per la definizione delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica, sono stati stimati sulla base dei dati contenuti negli annali idrologici e di seguito riportati in Tabella 2.

Tabella 2 : valore dei parametri caratteristici delle LSPP per i vari tempi di ritorno

	Tr 20 anni	Tr 100 anni	Tr 200 anni	Tr 500 anni
Parametro a	46.879	62.639	69.365	78.237
Parametro n	0.2807	0.2870	0.2900	0.2971

a e n sono i parametri caratteristici di ogni curva di possibilità pluviometrica.

Si riporta di seguito il risultato dell'analisi statistica per il pluviometro di Sestola (Scoltenna), le altezze di pioggia per ogni durata per il Tr considerato sono riportate in Tabella 3

Tabella 3: Valori delle altezze di pioggia per dati tempi di ritorno in funzione della durata di pioggia in ore per il pluviometro di Sestola (Scoltenna)

Durata (ore)	TR 20 anni	TR 100 anni	TR 200 anni	TR 500 anni
1	41.21	51.93	56.51	62.55
3	63.61	79.54	86.35	95.32
6	83.64	104.10	112.82	124.34
12	109.99	136.22	147.42	162.19
24	144.64	178.27	192.62	211.56

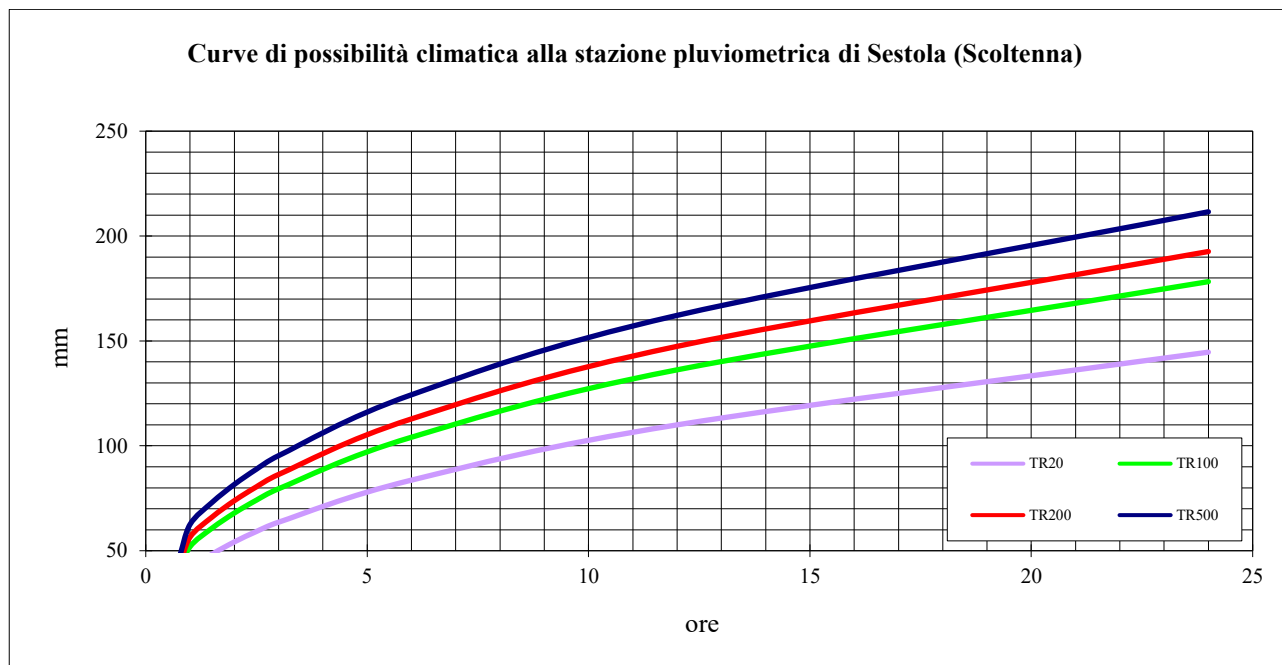


Figura 32 - Curve di possibilità pluviometrica alla stazione di Sestola (Scoltenna)

Per la stima della portata massima di progetto si è utilizzato il metodo della formula razionale, orientato alla determinazione della portata di riferimento duecentennale, definita in funzione della precipitazione di riferimento, dell'estensione del bacino e delle caratteristiche idrauliche del corso d'acqua stesso.

La formula razionale esprime infatti la convinzione intuitiva che la massima portata defluente dalla sezione di sbocco del bacino sia una parte della pioggia caduta su tutta l'area del bacino in un certo intervallo di tempo. Alla base di tale metodologia vi è l'assunzione di una pioggia costante nel tempo ed uniforme nello spazio avente una durata t_p detta 'tempo di pioggia' pari ad un valore critico per il bacino, ovvero il suo

tempo di corrivazione t_c :

$$t_p = t_c$$

L'espressione analitica per la valutazione della portata di piena assume la seguente forma:

$$Q = \frac{\varphi \cdot S \cdot h_c}{t_c \cdot 3,6} [m^3/s]$$

in cui:

- S rappresenta la superficie del bacino espressa in $[km^2]$;
- h_c individua l'altezza di pioggia determinata dalla curva di possibilità pluviometrica per una durata pari al tempo di corrivazione t_c ;
- φ , di valore adimensionale, è il coefficiente di deflusso che tiene conto della riduzione dell'afflusso meteorico per effetto delle caratteristiche di permeabilità dei suoli ricadenti nel bacino;

il valore 3,6 rappresenta un fattore di omogeneizzazione delle unità di misura tale da restituire un valore di portata Q in m^3/s .

Il coefficiente di deflusso tiene invece conto della riduzione dell'afflusso meteorico per effetto delle caratteristiche di permeabilità dei suoli ricadenti nel bacino; il suo valore è generalmente compreso da 0 a 1. Esso deriva direttamente dalla stima del coefficiente di uso del suolo CN, il quale attribuisce ad ogni singola porzione di superficie del bacino idrografico, un valore adimensionale che ne caratterizza la risposta idrologica del suolo in funzione delle sue caratteristiche di permeabilità, d'uso e di copertura. La permeabilità del suolo è definita secondo i seguenti criteri:

- A: elevata infiltrazione, per suoli con strati sabbiosi o di loess profondi, a siltosi aggregati;
- B: infiltrazione moderata, per suoli con tessitura da moderatamente fine a moderatamente grossolana, quali limi sabbiosi. Per la presenta modellazione è stato assunto questa tipologia di terreno;
- C: infiltrazione lenta, per suoli con tessitura fine, quali argille limose, deboli strati di limo sabbioso, suoli con debole contenuto organico;
- D: infiltrazione molto lenta, per argille plastiche e compatte.

L'analisi idrologica può essere effettuata anche in condizioni di bassa e alta saturazione, correggendo i valori dei coefficienti CN secondo le relazioni:

$$CN_I = \frac{CN}{2.38 - 0.0138 \cdot CN} \quad \text{per terreno inizialmente asciutto (bassa saturazione);}$$

$$CN_{III} = \frac{CN}{0.43 + 0.0057 \cdot CN} \quad \text{per terreno fortemente imbibito (alta saturazione);}$$

Date le finalità del presente studio, si è fatto riferimento alla situazione di terreno mediamente saturo, riferita quindi ai valori del coefficiente CN_{II}. Il valore di coefficiente di afflusso determinato in funzione delle caratteristiche del suolo in oggetto è illustrato in Tabella 4.

Tabella 4 : Coefficiente di deflusso per il bacino in esame

SOTTOBACINO	Tr 200 anni
<i>Fellicarolo</i>	0.52

La determinazione del tempo di corrivazione del bacino, definito come il tempo che mediamente intercorre tra la caduta della goccia di pioggia al suolo nel punto idraulicamente più lontano dalla sezione di chiusura ed il raggiungimento da parte della stessa della sezione di chiusura, risulta necessaria per l'individuazione del tempo di pioggia nella valutazione delle altezze di pioggia relative ad eventi con differenti tempi di ritorno (curve di possibilità climatica pluviometrica).

Per la presente verifica di compatibilità idraulica caso si è scelto l'utilizzo della formula di Giandotti, definita secondo la seguente espressione:

$$t_c = \frac{4 \cdot \sqrt{S} + 1.5L}{0.8 \cdot \sqrt{H_m - h_0}}$$

dove:

- S: superficie del bacino espressa in km²
- L: lunghezza dell'asta principale espressa in km
- H_m : altitudine media del bacino espressa in m.s.l.m.
- h_0 : quota della sezione di chiusura espressa in m.s.l.m.

Considerando a questo punto i parametri morfologici dei bacini imbriferi in esame, è possibile stimare il tempo di corrivazione secondo la formula di Giandotti.

Tabella 5 : Tempi di corrivazione per i bacini in esame

SOTTOBACINI	Tr 200 anni
<i>Fellicarolo</i>	1.97

Tabella 6: Risultati dell'analisi idrologica per il sottobacino oggetto di intervento

Superficie bacino idrografico	S	Km ²	37.73	37.73	37.73	37.73
Lunghezza dell'asta principale	L	Km	11.65	11.65	11.65	11.65
Quota max	Hmax	m s.l.m.	1940.00	1940.00	1940.00	1940.00
Quota sezione chiusura	Hs	m s.l.m.	520.00	520.00	520.00	520.00
Pendenza media	p	m/m	0.12	0.12	0.12	0.12
Quota media	Hm	m s.l.m.	1230.00	1230.00	1230.00	1230.00
DH	Hm-Hs	m	710	710	710	710
Tempo di corrivazione	Tc	ore	1.97	1.97	1.97	1.97
	Tc	min	118.20	118.20	118.20	118.20
Tempo di ritorno	TR	anni	20	100	200	500
Pioggia critica (Tp=Tc - media pesata sull'intero bacino)	hc	mm	56.70	76.10	84.50	95.70
Coefficiente di deflusso	d	-	0.40	0.49	0.52	0.56
Portata max al colmo	Q max	m ³ /sec	119.10	198.10	234.30	284.70
Coefficiente udometrico	u	l/ha	32	53	62	75

3.9.3.2. *Analisi idrodinamica*

Nel presente capitolo si descrivono gli strumenti, le assunzioni ed i dati utilizzati che hanno permesso di sviluppare l'analisi idrodinamica del t. Fellicarolo, sia nelle condizioni attuali che nella configurazione di progetto.

Descrizione del modello numerico adottato

Il modello numerico adottato per le simulazioni condotte è HEC-RAS (River Analysis System), software di calcolo open source sviluppato dall' Hydrologic Engineering Center (HEC) del US Army Corp of Engineers. Si tratta di un software che trova un largo impiego in applicazioni ingegneristiche per la modellazione idrodinamica, sia monodimensionale che bidimensionale ai volumi finiti di reticoli idrici naturali e artificiali. Il modello consente di effettuare simulazioni sia in moto permanente (solo in 1D) che vario, nonché di riprodurre l'effetto di un'ampia gamma di strutture sia longitudinali (come per esempio prese, soglie di sfioro, ecc. ...), che trasversali (p.es ponti, attraversamenti, briglie, soglie, ecc. ...).

Modellazione monodimensionale

Il modello è stato progettato per contenere vari moduli di analisi idraulica monodimensionale: analisi di moto permanente, analisi del moto vario, analisi del trasporto solido in letto mobile. Tra le diverse componenti, quella utilizzata nel presente studio consiste nell'algoritmo di calcolo idraulico per la determinazione delle variazioni di portata, tiranti idrometrici, della velocità, della larghezza del pelo libero della corrente e di altre caratteristiche idrauliche del moto durante la propagazione verso valle della corrente idrica in condizioni di moto permanente per effetto della morfologia dell'alveo, della sua resistenza d'attrito e della presenza di opere interagenti con la corrente.

Il modello calcola i profili di moto per corsi d'acqua monodimensionali in regime di corrente lenta, veloce o mista. Il programma è in grado di calcolare e gestire i profili per una rete di canali naturali o artificiali in un sistema ad albero od a singolo ramo. Le relazioni fondamentali della formulazione matematica sono le equazioni dei moti permanenti nell'espressione classica dell'equazione monodimensionale dell'energia secondo Manning. Le perdite valutate sono quelle d'attrito (secondo Manning), valutate per le diverse parti della sezione trasversale (canale centrale, sponde laterali, golene e parti di golene), e quelle causate dalla contrazione o espansione delle sezioni (tramite un coefficiente che moltiplica la variazione dell'altezza cinetica). L'equazione della quantità di moto è utilizzata nei punti dove il profilo del pelo libero subisce brusche variazioni ovvero in regime misto nel passaggio da corrente veloce a corrente lenta oppure, in corrispondenza di ponti, traverse e sottopassi o alla confluenza di più rami di una rete.

Il modello richiede, oltre alla geometria generale del corso d'acqua, profili e sezioni trasversali, i dati di portata in ingresso nella prima sezione di monte o in tutte le sezioni dove sono disponibili dati di portata, ed infine le condizioni al contorno dipendenti dal regime di moto della corrente.

L'equazione generale dell'energia è la seguente:

$$Y_2 + Z_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + h_e$$

dove:

Y_1, Y_2	<i>altezza idrometrica nella sezione 1 e 2,</i>
Z_1, Z_2	<i>quota del fondo alveo nelle sezioni 1 e 2,</i>
V_1, V_2	<i>velocità medie (portata totale/area bagnata) nelle sezioni 1 e 2,</i>
α_1, α_2	<i>coefficienti di velocità,</i>
h_e	<i>perdita di carico nel tratto 1-2.</i>

La perdita di carico tra due sezioni trasversali è calcolata come somma delle perdite distribuite per attrito e di quelle concentrate per effetto di contrazioni o allargamenti bruschi di sezione secondo l'equazione:

$$h_e = LS_f + C \left(\alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} - \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} \right)$$

dove:

L	<i>distanza pesata, in funzione della portata, tra le due sezioni trasversali 1 e 2</i>
S_f	<i>pendenza motrice tra le sezioni 1 e 2</i>
C	<i>coefficiente di perdita di carico per contrazione o allargamento di sezione.</i>

La pendenza d'attrito S_f è valutata secondo l'espressione di Manning:

$$S_f = n^2 Q|Q| / (A^2 R^{4/3})$$

dove n è il coefficiente di resistenza di Manning (che vale anche $n=1/c$ con c di Gauckler-Strickler) ed R è il raggio idraulico.

L'equazione differenziale del moto viene integrata per via numerica, attraverso un insieme di fasi iterative che vengono ripetute più volte per affinarne la risoluzione; per la determinazione dei profili è quindi necessario fornire le condizioni iniziali di portata in ingresso e le condizioni al contorno in funzione del regime di moto.

Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno inserite nel modello sono: i dati di portata in ingresso nella prima sezione di monte, le condizioni di valle nell'ultima sezione modellata e la scabrezza delle sezioni.

Il valore pari al colmo di portata in ingresso alla sezione di monte pari a $234.30 \text{ m}^3/\text{s}$ è quello ottenuto attraverso l'analisi pluviometrica ed idrologica, presentato al Capitolo precedente.

Come condizione al contorno è stata imposta la condizione di moto uniforme con pendenza del fondo pari a 0.045% calcolata dalle sezioni rilevate.

Nelle sezioni modellate invece sono stati assunti i valori di coefficiente di scabrezza di Mannig n pari a $0.045 \text{ s/m}^{1/3}$.

Per le valutazioni idrauliche di dettaglio nello scenario di progetto si è considerata la portata massima sostenibile del tratto di corso d'acqua di interesse, ossia la massima portata che riesce a defluire all'interno dell'alveo. Si riporta di seguito uno stralcio raffigurante le sezioni oggetto di modellazione idrodinamica.



Figura 33 – Stralcio cartografico raffigurante le sezioni oggetto di modellazione di dettaglio

3.9.3.3. Risultati delle analisi idrodinamiche: stato di fatto

Nel presente capitolo si riportano i risultati ottenuti nella configurazione dello stato di fatto per evento con il tempo di ritorno 200 anni.

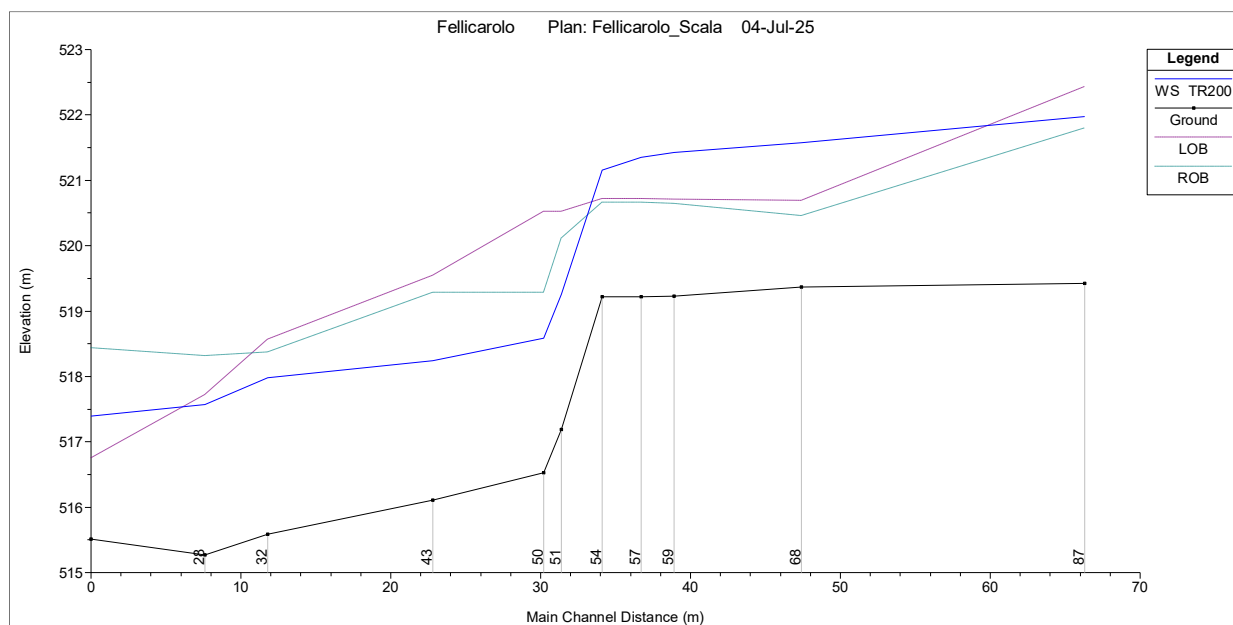


Figura 34 - Profilo di rigurgito nello stato di fatto nell'istante di massimo per l'evento con Tr200 anni

La portata generata dal sottobacino considerato risulta maggiore rispetto la capacità di deflusso delle sezioni a monte della briglia nello stato di fatto. Questo è riscontrabile dagli output della modellazione, che dimostrano il verificarsi di esondazioni in sinistra e destra idraulica. La portata di piena duecentennale per poter transitare a valle si spaglia lateralmente, sormontando entrambe le sommità spondali. Tuttavia, a valle della briglia la portata bisecolare risulta contenuta all'interno dell'alveo del corso d'acqua.

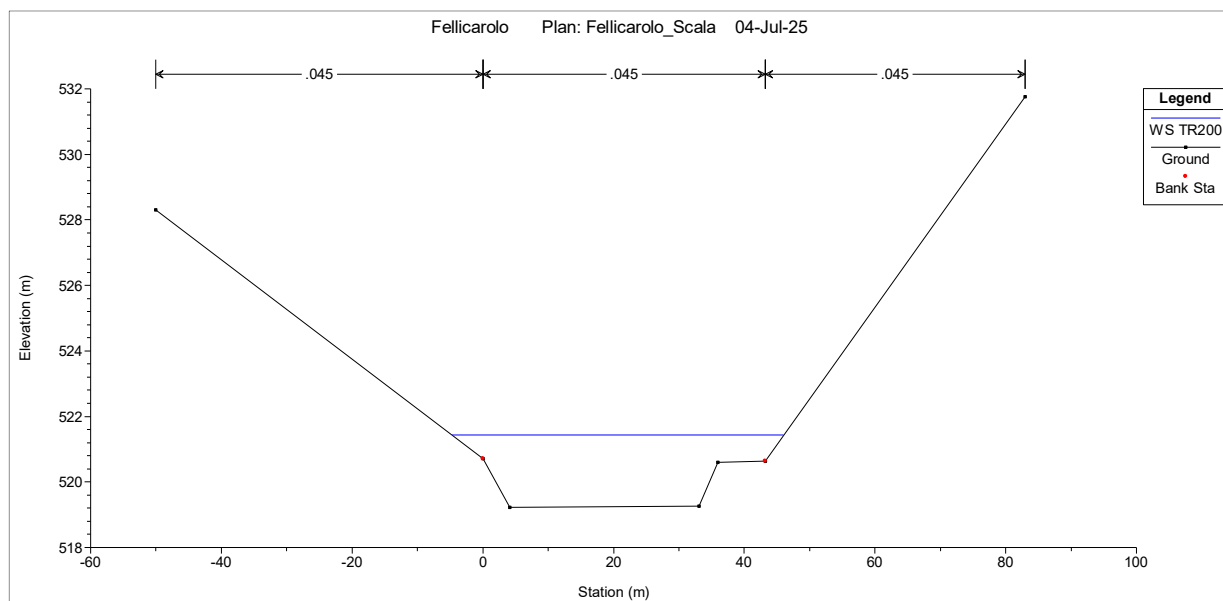


Figura 35 - Restituzione modellistica della sezione a monte della briglia nello stato di fatto

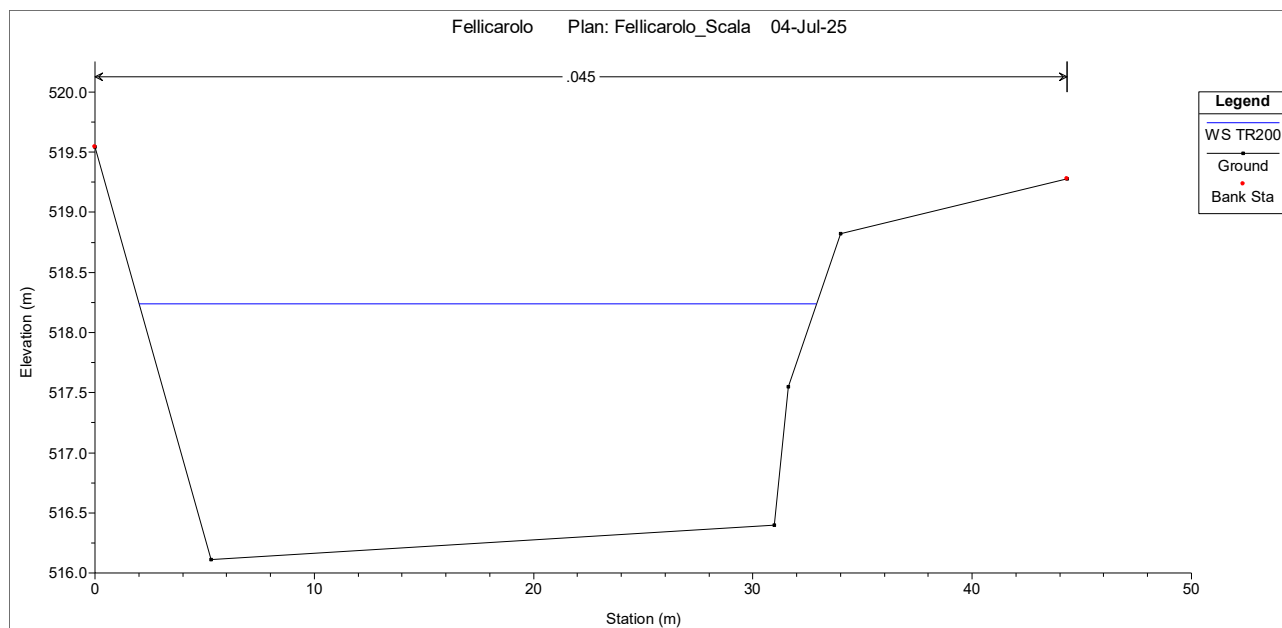


Figura 36: Restituzione modellistica della sezione a valle della briglia nello stato di fatto

3.9.3.4. La massima portata sostenibile

Date le risultanze ottenute con la valutazione svolta al capitolo precedente, come anticipato precedentemente, si è voluto approfondire lo studio analizzando la configurazione di progetto nello scenario in cui transiti la portata massima sostenibile.

Nella prima sezione di monte è stato quindi imposto un picco di portata uguale a $40 \text{ m}^3/\text{s}$ pari alla massima portata sostenibile dalle sezioni del torrente Fellicarolo oggetto di intervento.

Tale scenario di modellazione è stato implementato per poter isolare le idrodinamiche del Torrente dai fenomeni esondativi.

Di seguito si riportano i profili longitudinali con i tiranti che si instaurano nello stato di fatto e nello stato di progetto e che risultano contenuti per tutto il tratto modellato.

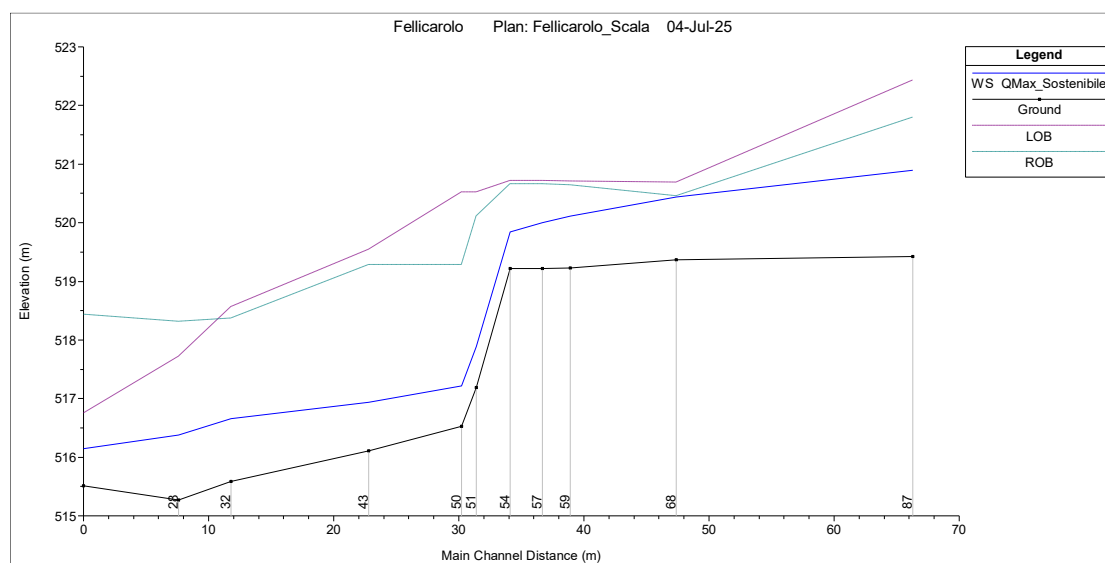


Figura 37: Profilo di rigurgito nello stato di fatto nell'istante di massimo per l'evento con $Q_{\max}=40 \text{ m}^3/\text{s}$

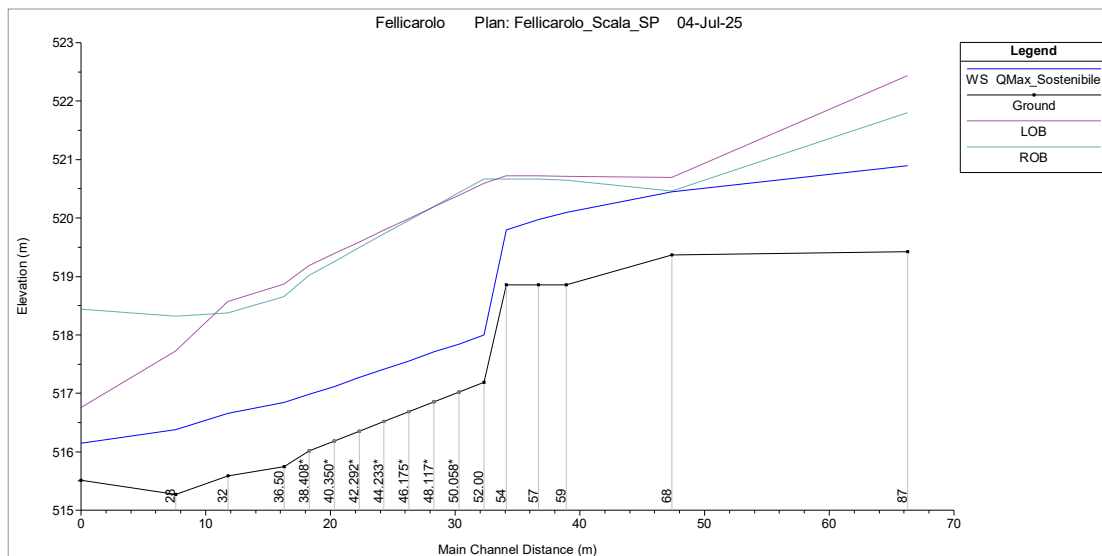


Figura 38: Profilo di rigurgito nello stato di progetto nell'istante di massimo per l'evento con $Q_{max}=40 \text{ m}^3/\text{s}$

Di seguito, invece, si riporta un confronto tra i tiranti nello stato di fatto e i tiranti nello stato di progetto.

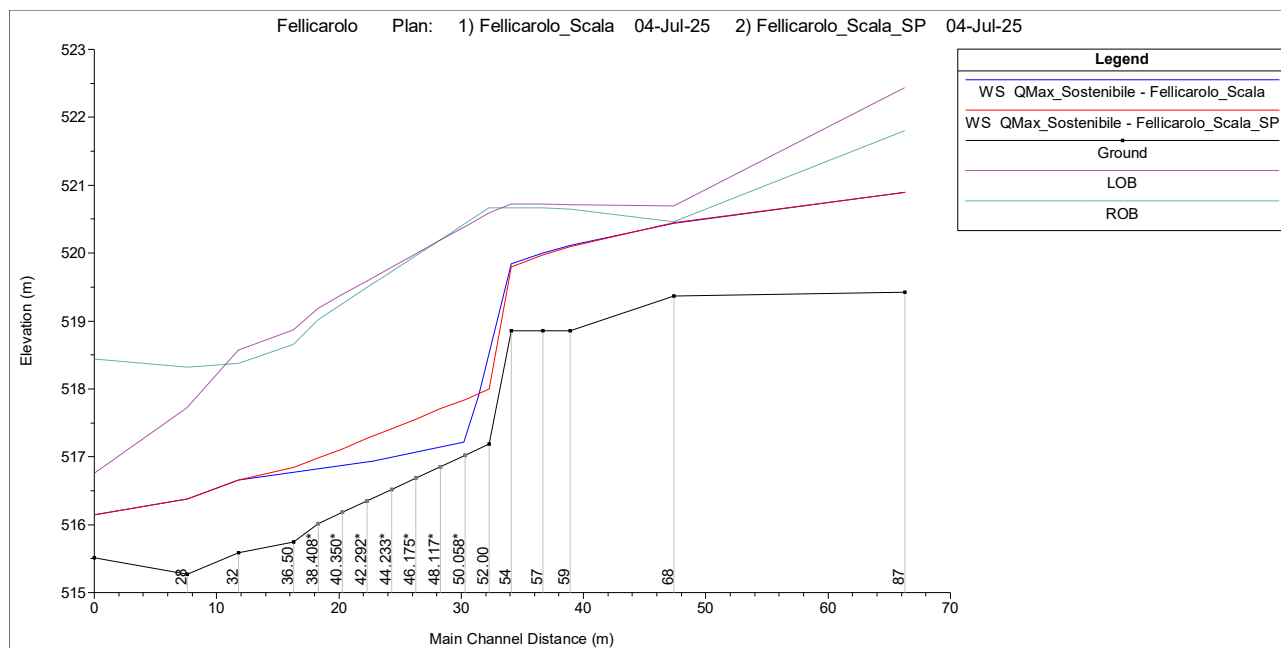


Figura 39: Confronto tra i profili di rigurgito del tratto analizzato (stato di fatto in blu e stato di progetto in rosso)

I tiranti che si instaurano nello stato di progetto risultano sempre contenuti all'interno del tratto analizzato, nonostante risultino localmente maggiori rispetto ai tiranti che si instaurano nello stato di fatto e tale condizione è in linea con quanto atteso.

I profili di rigurgito ottenuti evidenziano quindi quanto l'intervento in oggetto sia compatibile dal punto di vista idraulico, poiché l'incremento di tiranti, infatti, risulta contenuto all'interno delle sezioni.

Di seguito si riporta la tabella riepilogativa di tutti delle principali grandezze modellistiche ottenute, confrontando lo stato di fatto con lo stato di progetto.

Tabella 7: Risultati modellistici con i principali dati delle due configurazioni a confronto per evento con $Q_{max}=40 \text{ m}^3/\text{s}$

Sezioni modellate	Sezione topografica corrispondente	Scenario	Portata massima [m ³ /s]	Quota fondo sezione [m]	Quota idrometrica [m]	Velocità [m/s]
87	2	Stato di Fatto	234.30	519.42	520.90	0.65
87	2	Stato di Progetto	234.30	519.42	1121.49	0.68
68	3	Stato di Fatto	234.30	519.37	520.40	0.55
68	3	Stato di Progetto	234.30	1117.67	520.40	0.68
59	4	Stato di Fatto	234.30	519.23	520.12	1.39
59	4	Stato di Progetto	234.30	1117.02	520.10	0.90
57	5	Stato di Fatto	234.30	519.22	520.00	0.46
57	5	Stato di Progetto	234.30	1116.34	519.97	2.32
54	6	Stato di Fatto	234.30	519.22	519.85	0.28
54	6	Stato di Progetto	234.30	1115.08	519.80	0.32
51	7	Stato di Fatto	234.30	517.19	517.89	2.31
51	7	Stato di Progetto	234.30	1114.03	518.00	1.40
50	8	Stato di Fatto	234.30	516.53	517.21	2.89
50	8	Stato di Progetto	234.30	1108.27	517.84	2.89
43	8	Stato di Fatto	234.30	516.11	516.94	2.89
43	8	Stato di Progetto	234.30	1108.27	517.27	2.89

Sezioni modellate	Sezione topografica corrispondente	Scenario	Portata massima [m ³ /s]	Quota fondo sezione [m]	Quota idrometrica [m]	Velocità [m/s]
32	8	Stato di Fatto	234.30	515.59	516.66	2.89
32	8	Stato di Progetto	234.30	1108.27	516.66	2.89
28	8	Stato di Fatto	234.30	515.27	516.37	2.89
28	8	Stato di Progetto	234.30	1108.27	516.37	2.89
20	8	Stato di Fatto	234.30	515.51	516.15	2.89
20	8	Stato di Progetto	234.30	1108.27	516.15	2.89

3.9.3.5. Risultati delle analisi idrodinamiche: stato di progetto

Per una maggior completezza delle valutazioni del comportamento idrodinamico del corso d'acqua, si riportano a titolo cautelativo i risultati ottenuti nella configurazione dello stato di progetto per evento con il tempo di ritorno 200 anni.

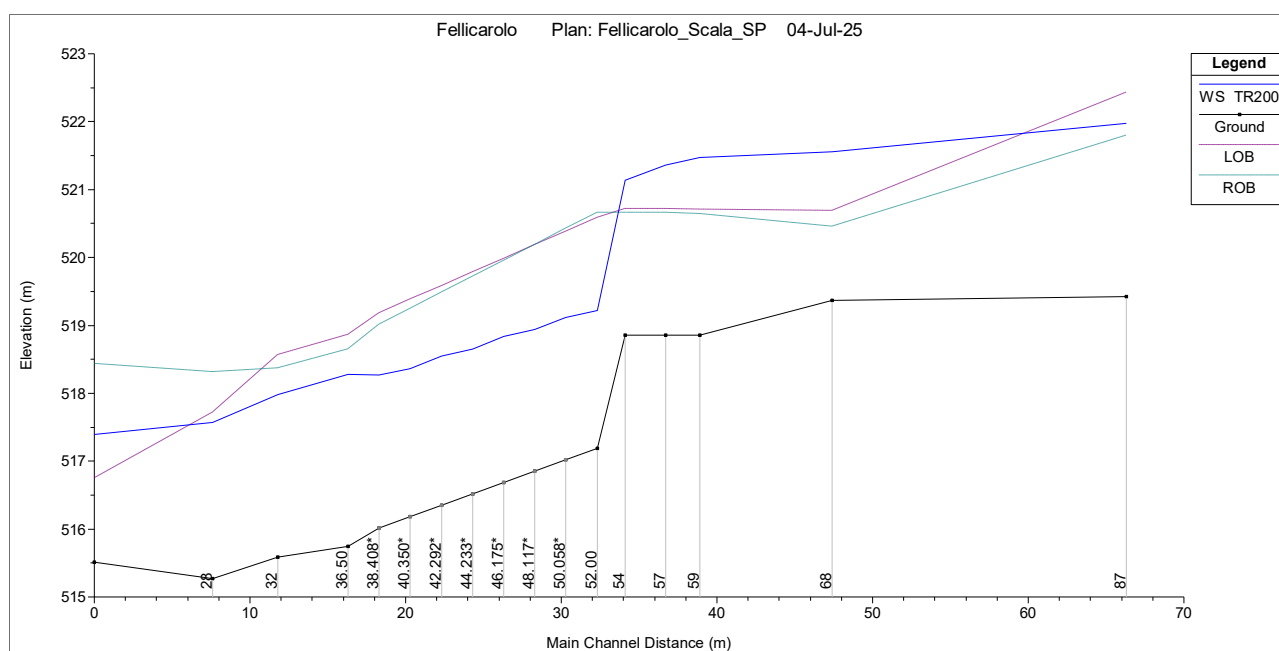


Figura 40: Profilo di rigurgito nello stato di progetto nell'istante di massimo per l'evento con Tr200 anni

Il comportamento idraulico del corso d'acqua non subisce sostanziali alterazioni in termini di tiranti con l'inserimento della scala di risalita.

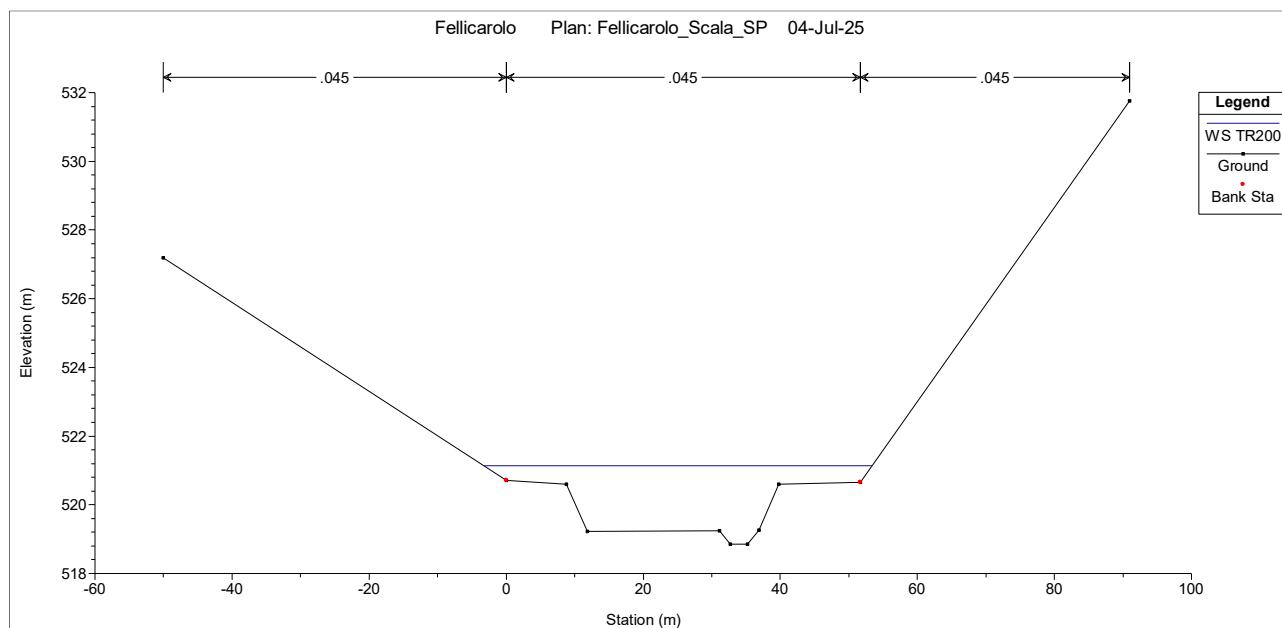


Figura 41 - Restituzione modellistica della sezione in corrispondenza della briglia nello stato di progetto

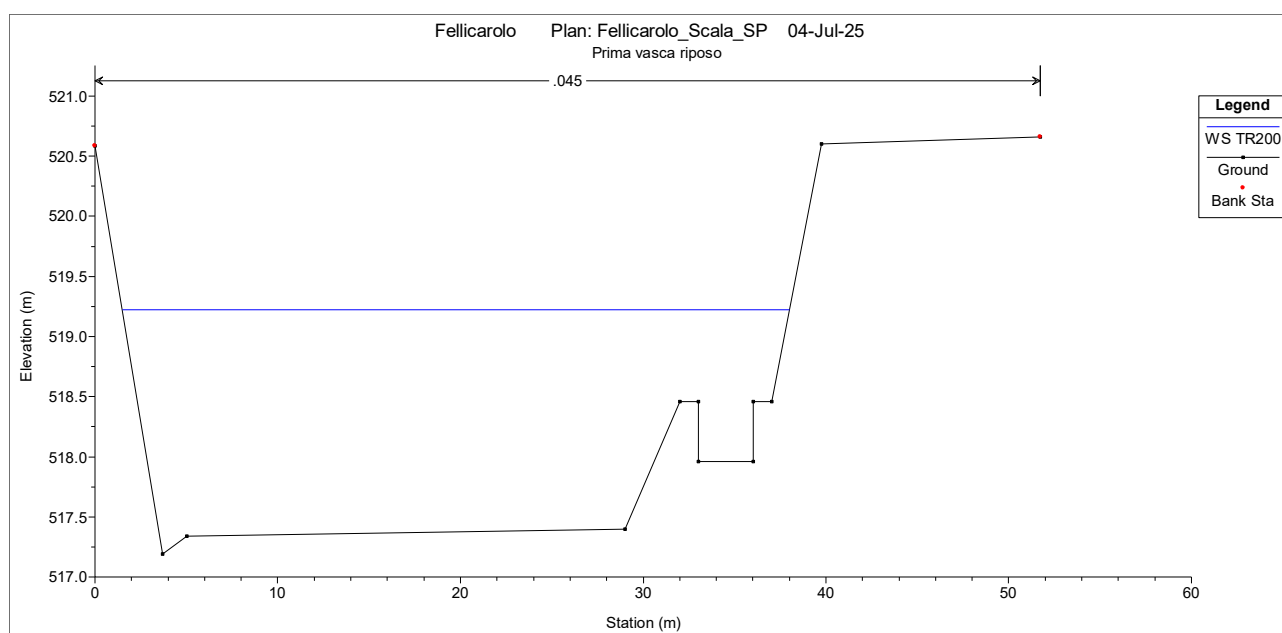


Figura 42 - Restituzione modellistica della sezione in corrispondenza della prima vasca di riposo nello stato di progetto

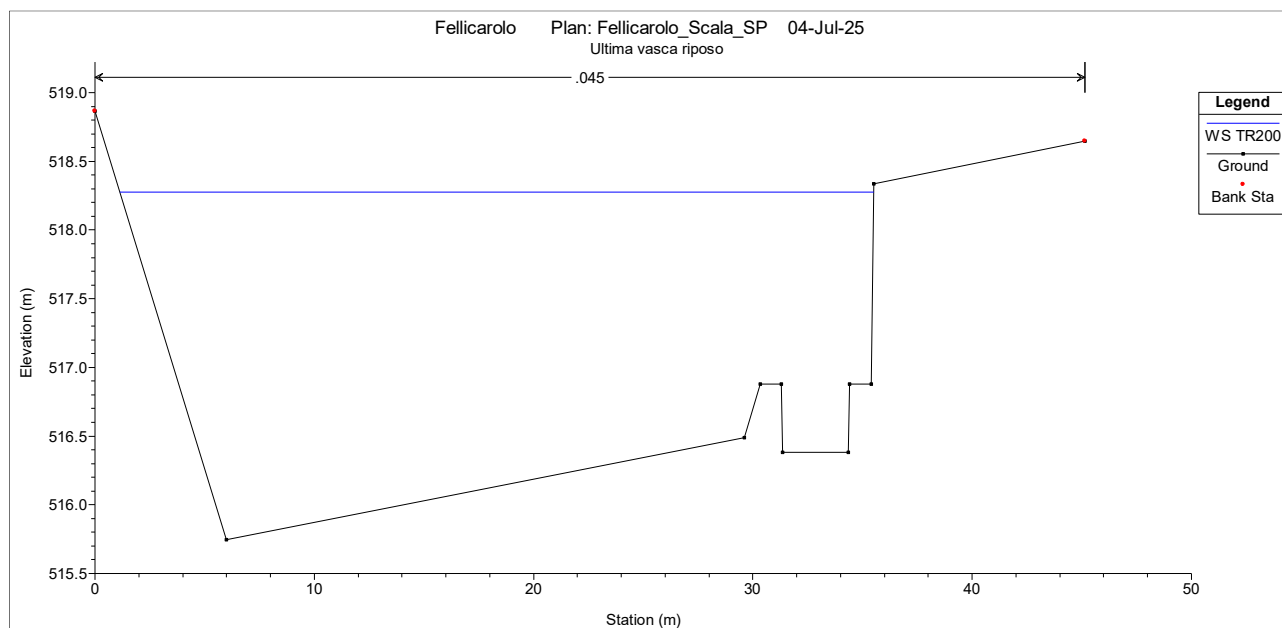


Figura 43 - Restituzione modellistica della sezione in corrispondenza dell'ultima vasca di riposo nello stato di progetto

Si dimostra che lo scenario di progetto, quindi, non influenza le idrodinamiche del torrente Fellicarolo alla confluenza con il torrente Leo.

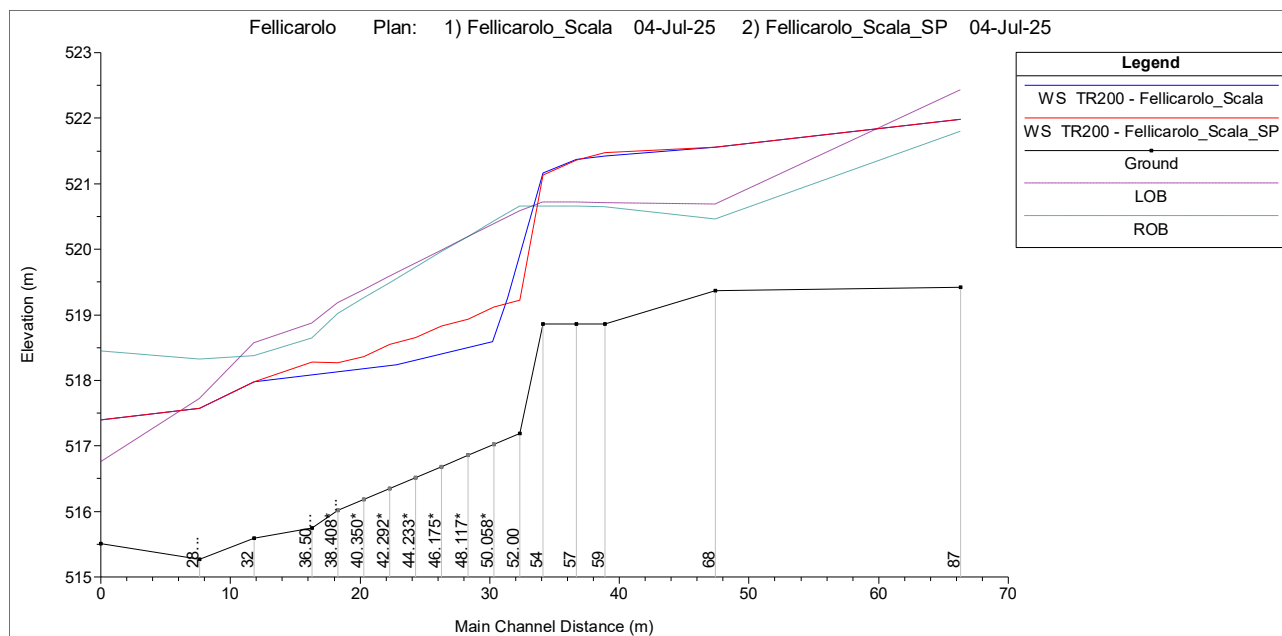


Figura 44 - Confronto tra il profilo di rigurgito che si ottiene nello stato di fatto (in blu) e nello stato di progetto (in rosso)

Come si evince dal confronto soprariportato tra i profili di rigurgito nei due diversi scenari allo stato di fatto e di progetto, a monte della briglia non si denotano alterazioni nel comportamento idrodinamico del corso d'acqua, mentre a valle si registra un locale incremento dei livelli in corrispondenza della scala di risalita. Tali incrementi risultano comunque contenuti all'interno dell'alveo del torrente e perciò si considerano i risultati compatibili con la realizzazione dell'opera.

Di seguito si riporta una tabella riepilogativa dei risultati modellistici, confrontando lo scenario nello stato di fatto con quello nello stato di progetto.

Tabella 8: Risultati modellistici con i principali dati delle due configurazioni a confronto per evento con Tr200 anni

Sezioni modellate	Sezione topografica corrispondente	Scenario	Portata massima [m ³ /s]	Quota fondo sezione [m]	Quota idrometrica [m]
87	2	Stato di Fatto	234.30	519.42	521.98
87	2	Stato di Progetto	234.30	519.42	521.98
68	3	Stato di Fatto	234.30	519.37	521.56
68	3	Stato di Progetto	234.30	1117.67	521.56
59	4	Stato di Fatto	234.30	519.23	521.43
59	4	Stato di Progetto	234.30	1117.02	521.47
57	5	Stato di Fatto	234.30	519.22	521.37
57	5	Stato di Progetto	234.30	1116.34	521.36
54	6	Stato di Fatto	234.30	519.22	521.16
54	6	Stato di Progetto	234.30	1115.08	521.13
51	7	Stato di Fatto	234.30	517.19	519.25
51	7	Stato di Progetto	234.30	1114.03	519.22
50	8	Stato di Fatto	234.30	516.53	518.59
50	8	Stato di Progetto	234.30	1108.27	519.12

Sezioni modellate	Sezione topografica corrispondente	Scenario	Portata massima [m ³ /s]	Quota fondo sezione [m]	Quota idrometrica [m]
43	8	Stato di Fatto	234.30	516.11	518.24
43	8	Stato di Progetto	234.30	1108.27	518.55
32	8	Stato di Fatto	234.30	515.59	517.98
32	8	Stato di Progetto	234.30	1108.27	517.98
28	8	Stato di Fatto	234.30	515.27	517.57
28	8	Stato di Progetto	234.30	1108.27	517.57
20	8	Stato di Fatto	234.30	515.51	517.39
20	8	Stato di Progetto	234.30	1108.27	517.39

3.9.4. Considerazioni idrauliche Scala di risalita Torrente Leo

La realizzazione della scala di risalita sul torrente Leo non aggrava le condizioni di deflusso delle piene, andando a ripristinare la sezione d'alveo preesistente la realizzazione della briglia e non prevedendo occupazioni nemmeno parziali della sezione liquida.