

RAPPORTO

USO RISERVATO

APPROVATO

C3010876

Cliente Enel Green Power Italia srl

Oggetto Progetto di Gestione dell'invaso del Furlo (PU)

Ordine Contratto Aperto di Servizi 8400134283 del 31.12.2018 - Attingimento 3500303110 del 14.04.2022

Note Rev. 3 (A1300003849 – Lettera di trasmissione C3010874)

La parziale riproduzione di questo documento è permessa solo con l'autorizzazione scritta del CESI.

N. pagine 76 **N. pagine fuori testo** 51

Data 04/08/2023

Elaborato STC - Passeri Valentina , STC - Izzi Daniele
C3010876 494514 AUT C3010876 2069429 AUT

Verificato EDM - Granata Tommaso
C3010876 3744 VER

Approvato EDM - Il Responsabile - Sala Maurizio
C3010876 3741 APP

CESI S.p.A.

Via Rubattino 54
I-20134 Milano - Italy
Tel: +39 02 21251
Fax: +39 02 21255440
e-mail: info@cesi.it
www.cesi.it

Capitale sociale € 8.550.000 interamente versato
C.F. e numero iscrizione Reg. Imprese di Milano 00793580150
P.I. IT00793580150
N. R.E.A. 429222

© Copyright 2022 by CESI. All rights reserved

Pag. 1/76

PAD C3010876 (3018336) - USO RISERVATO

Mod. RAPP v. 1.4

Indice

1	PREMESSA	4
2	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	5
2.1	Localizzazione del sito	5
2.2	Bacino idrografico del fiume Candigliano	6
2.2.1	Caratteristiche geologiche e geomorfologiche	7
2.2.2	Caratteristiche idrografiche e idrologiche	7
2.2.3	Fauna ittica	8
2.2.4	Attività antropiche	8
2.2.5	Uso del suolo	8
2.3	Aree protette	9
2.4	Vincoli	13
2.5	Qualità biologica del corso d'acqua	14
3	DATI DI IMPIANTO	16
3.1	Schema idraulico	16
3.2	Dati di invaso	17
3.3	Descrizione dello sbarramento	19
3.4	Opere di scarico e di derivazione	20
3.5	Portata di DMV	24
3.6	Descrizione del regime idrologico del sito	24
3.6.1	Precipitazioni	24
3.6.2	Portate in ingresso	24
3.6.3	Curva di durata delle portate	26
3.6.4	Analisi degli eventi estremi di piena	29
4	RILIEVI IN CAMPO E ANALISI FISICO-CHIMICHE	31
4.1	Stato di interrimento dell'invaso	31
4.1.1	Aggiornamento dei volumi di sedimento nel serbatoio	31
4.1.2	Stato di interrimento delle opere di scarico e di presa	33
4.1.3	Considerazioni sullo stato d'interrimento dell'invaso	36
4.2	Caratteristiche qualitative dei sedimenti	36
4.2.1	Risultati	38
4.2.2	Provenienza del materiale solido sedimentato	39
4.2.3	Erodibilità dei suoli del bacino idrografico	39
4.3	Caratteristiche qualitative delle acque del bacino	39
4.3.1	Risultati	40
4.4	Analisi sul trasporto solido	43
4.4.1	Trasporto solido in assenza di sbarramento	44
4.4.2	Trasporto solido in presenza dello sbarramento	45
5	MODALITA' OPERATIVE DI GESTIONE DEI SEDIMENTI	46
5.1	Manovre di esercizio dello scarico di fondo	47
5.1.1	Effetti potenziali ovvero previsione modellistica di scenari di gestione: stima del materiale solido rilasciato a valle a seguito dell'apertura dello scarico di fondo	48

5.2	Spurgo sistematico dello scarico di fondo.....	49
5.2.1	Descrizione delle modalità di spurgo attuali.....	49
5.2.2	Piano operativo di spurgo	50
5.3	Svaso totale per manutenzione e/o ispezione della diga e degli organi di scarico.....	52
5.4	Spurgo a bacino vuoto con apertura dello scarico di fondo	56
5.5	Sfangamento in coda all’invaso.....	57
5.6	Sfangamento a bacino pieno e sistemazione in aree estrattive	60
5.7	Sfangamento a bacino pieno e rilascio dei sedimenti verso valle.....	64
6	PIANO DEGLI INTERVENTI.....	69
6.1	Sintesi delle caratteristiche ambientali.....	69
6.2	Programma delle attività.....	70
7	PIANO DELLE COMUNICAZIONI ASSOCIATE ALL’ESECUZIONE DELLE OPERAZIONI.....	72
7.1	Attività con avviso preventivo.....	72
7.2	Attività senza avviso preventivo.....	72
ALLEGATO 1 C3010880 - INVASO IDROELETTRICO DEL FURLO (PU) – CARATTERIZZAZIONE DEL MATERIALE SEDIMENTATO NEL BACINO. REV.1.....		74
ALLEGATO 2 – TAVOLA CAVE (2012).....		75
ALLEGATO 3 – SEZIONI BATIMETRICHE NEI PRESSI DELLO SCARICO DI FONDO.....		76

STORIA DELLE REVISIONI

Numero revisione	Data	Protocollo	Lista delle modifiche e/o dei paragrafi modificati
3	04/08/2023	C3010876	Aggiornamento dell'intero documento
2	16/06/2022	C2009591	Aggiornamento dell'intero documento
1	21/12/2020	C0020772	Aggiornamento dell'intero documento
0	24/02/2011	B1003567	Prima emissione del rapporto

1 PREMESSA

In ottemperanza a quanto indicato nel DM 30 giugno 2004 e successivamente alla richiesta della Regione Marche (Prot. ENEGP-09/09/2019-0022562) la società Enel Green Power Italia srl ha incaricato CESI per la predisposizione dell'aggiornamento del Progetto di Gestione dell'invaso del Furlo (PU).

Tale documento è finalizzato a definire, ai sensi dell'art.114 del D.Lgs. n.152/2006, "il quadro previsionale delle operazioni di svasso, sfangamento e spurgo connesse con le attività di manutenzione dell'impianto per assicurare il mantenimento e il graduale ripristino della capacità utile propria dell'invaso, e per garantire prioritariamente in ogni tempo il funzionamento degli organi di scarico e di presa, nonché a definire i provvedimenti da porre in essere durante le suddette operazioni per la prevenzione e la tutela delle risorse idriche invasate e rilasciate a valle dello sbarramento, conformemente alle prescrizioni contenute nei piani di tutela delle acque e nel rispetto degli obiettivi di qualità dei corpi idrici interessati".

Le richieste di integrazione comprendono in sintesi tutte le attività sperimentali, analitiche, di ingegneria e di modellazione necessarie alla redazione del progetto di gestione nel suo complesso.

Il progetto di gestione potrà essere aggiornato, nel tempo, da successivi piani operativi di dettaglio, che descriveranno nello specifico il contesto operativo di ciascuna operazione idraulica che sarà successivamente attuata per il controllo dell'interrimento dell'invaso o per attività manutentive dello sbarramento e degli organi di presa e di scarico.

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Nel presente capitolo si riporta un quadro generale delle caratteristiche fisiche, ambientali e territoriali in cui è inserito l'invaso del Furlo, con riferimento ad aspetti di carattere idrologico, geomorfologico, idrografico, biologico ed ecologico.

Per la descrizione dell'inquadramento dell'invaso e del territorio circostante è stato consultato il seguente materiale reperito dalla bibliografia disponibile:

- ARPA Marche. Relazione triennale 2018-2020 sulla qualità dei corpi idrici fluviali della Regione Marche
- Scheda ZSC/ZPS IT5310016
- Carta Ittica Regione Marche (2011)
- Regione Marche. Piano di Tutela delle Acque
- Regione Marche. Piano Paesistico Ambientale

Sono stati, inoltre, esaminati i seguenti siti internet:

- <http://www.minambiente.it/pagina/sic-zsc-e-zps-italia>
- <https://www.arpa.marche.it/>
- <https://www.regione.marche.it/>
- <https://www.provincia.mc.it/>
- <http://www.autoritadistrettoac.it/>

2.1 Localizzazione del sito

La diga del Furlo è ubicata nel comune di Fermignano in provincia di Pesaro-Urbino, nella regione Marche. L'invaso è stato realizzato per la regolazione giornaliera delle portate del fiume Candigliano per la produzione di energia elettrica nella centrale del Furlo.

Dati generali	
	
Denominazione sbarramento	Diga del Furlo
Concessionario dello sbarramento	Enel Produzione SpA Viale Regina Margherita, 125 00198 Roma
Gestore dello sbarramento	Enel Green Power Italia srl O&M Hydro Italy - Southern Central Area via Giacomo Matteotti 2 Montorio al Vomano (TE)
Corpo idrico principale	fiume Candigliano
Comune	Fermignano
Provincia	Pesaro-Urbino
Regione	Marche
Impianto alimentato	Centrale idroelettrica del Furlo
Coordinate sbarramento sistema di riferimento WGS84-UTM33	Est 346189 m Nord 4772220 m
Scadenza della concessione di derivazione	anno 2029
Elenco comuni rivieraschi interessati	Acqualagna, Fermignano, Fossombrone

2.2 Bacino idrografico del fiume Candigliano

Il fiume Candigliano appartiene al bacino idrografico del fiume Metauro, di cui è il principale affluente di destra per lunghezza e portata, con superficie pari a 669 km²; nasce tra i monti Moriccia e Valmeronte e confluisce nel Metauro presso Calmazzo.

2.2.1 Caratteristiche geologiche e geomorfologiche

La morfologia del bacino del fiume Metauro mostra un forte contrasto tra la parte occidentale, prevalentemente montuosa, e quella orientale essenzialmente collinare fino al litorale adriatico. Le due dorsali principali della fascia montana comprendono le strutture anticlinali della dorsale interna Umbro-Marchigiana e della dorsale Marchigiana esterna, per lo più costituite da rocce mesozoiche di natura calcarea appartenenti alla successione umbro-marchigiana. Più ad oriente, i Monti della Cesana rappresentano una struttura anticlinale minore in cui si sono deposte formazioni del Cretacico caratterizzate dalla presenza di rocce calcareo-marnose. Procedendo ancora verso est, affiora una stretta fascia prevalentemente torbiditica composta da terreni miocenici che funge da raccordo con la monoclinale periadriatica. La morfologia costiera è caratterizzata dalla presenza di coste basse, dolcemente raccordate alle colline che degradano verso il mare, con spiagge costituite da sedimenti grossolani in corrispondenza della foce.

Le formazioni e i terreni affioranti nel bacino del fiume Metauro possono essere così raggruppati:

- formazioni marnoso-arenacee mioceniche affioranti nell'alto bacino (tratto a monte di S. Angelo in Vado-Apecchio);
- affioramenti calcarei e calcareo-marnosi in corrispondenza delle principali dorsali del bacino (dorsale Umbro-Marchigiana del M. Catria - M. Nerone, dorsale Marchigiana del M. Pietralata-M. Paganuccio, dorsali minori di Acqualagna e Monti della Cesana);
- alternanze di affioramenti di terreni miocenici (argille, calcari, argille e marne), con stratificazione sovente verticalizzata, nelle sinclinali comprese tra i rilievi calcarei della dorsale Umbro-Marchigiana e le dorsali minori, nel tratto compreso tra Urbania e Fossombrone, nonché nelle dorsali minori presenti ad est dei Monti della Cesana, soprattutto in sinistra idrografica;
- formazioni prevalentemente arenaceo-argillose ed argillose di età miocenica e plioleistocenica affioranti tra Fossombrone e la costa ed alluvioni terrazzate in corrispondenza delle aree di fondovalle.

2.2.2 Caratteristiche idrografiche e idrologiche

Il fiume Candigliano nasce tra i monti Moriccia e Valmeronte, ha portata assai scarsa sino alla confluenza presso Piobbico con il fiume Biscubio. Ad Acqualagna si ha la confluenza con il fiume Burano che si origina, insieme con il suo affluente torrente Bosso, ad occidente dei Monti Nerone e Catria. Il torrente Bosso e il fiume Burano rappresentano gli affluenti più ricchi di acqua di tutto il bacino del Metauro.

Dai dati e dagli Annali Idrologici del Servizio Idrografico e Mareografico risulta che il fiume Candigliano ed i suoi principali affluenti sono stati monitorati negli anni:

- 1926-1935 (per un totale di 10 anni), in corrispondenza della sezione di Piobbico

Periodo di riferimento	di	Q_{max} (mc/s)	Q_{med} (mc/s)	Q_{min} (mc/s)	q (l/s- kmq)	Deflusso (mm)	Afflusso (mm)	Coefficiente di deflusso	
10 anni di misure: 1926-1935		84,60	4,50	0,02	24,2	764	1.175	0,65	
Periodo di riferimento	di	Q_{10} (mc/s)	Q_{30} (mc/s)	Q_{60} (mc/s)	Q_{91} (mc/s)	Q_{135} (mc/s)	Q_{182} (mc/s)	Q_{274} (mc/s)	Q_{355} (mc/s)
10 anni di misure: 1926-1935		25,40	n.d.	n.d.	4,87	n.d.	1,87	0,35	0,06

- 1924-1930, 1932-1933, 1959, 1962-1965 e 1970-1979 (per un totale di 24 anni), in corrispondenza della sezione di Acqualagna.

Periodo di riferimento 24 anni di misure: 1924-1930, 1932-1933, 1959, 1962-1965, 1970-1979	Q _{max} (mc/s)	Q _{med} (mc/s)	Q _{min} (mc/s)	q (l/s kmq)	Deflusso (mm)	Afflusso (mm)	Coefficiente di deflusso	
	385	14,07	0,06	22,83	718,91	1.250,7	0,58	
Periodo di riferimento 24 anni di misure: 1924-1930, 1932-1933, 1959, 1962-1965, 1970-1979	Q ₁₀ (mc/s)	Q ₃₀ (mc/s)	Q ₆₀ (mc/s)	Q ₉₁ (mc/s)	Q ₁₃₅ (mc/s)	Q ₁₈₂ (mc/s)	Q ₂₇₄ (mc/s)	Q ₃₅₅ (mc/s)
	69,12	37,08	23,95	16,97	11,23	7,05	2,34	0,88

Il carattere torrentizio tipico del fiume Metauro, strettamente condizionato dalle precipitazioni, è meno accentuato per i corsi d'acqua appartenenti al bacino, come il fiume Candigliano, alimentati da sorgenti che emergono dalle dorsali carbonatiche, dove i deflussi estivi sono maggiormente sostenuti.

2.2.3 Fauna ittica

La vocazionalità ittica del fiume in questi tratti è ciprinicola; inoltre, le acque risultano idonee alla vita dei pesci ciprinicoli (Relazione sulle acque superficiali interne a specifica destinazione - triennio 2013-2015 – ARPA Marche).

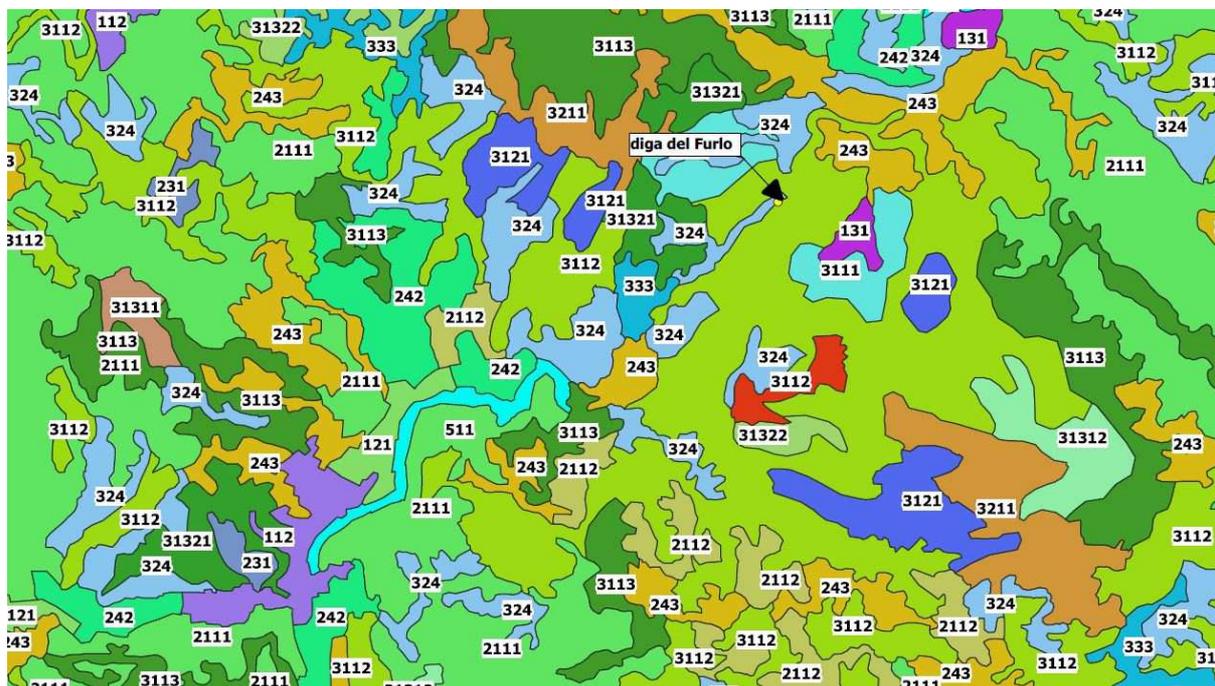
2.2.4 Attività antropiche

L'unità idrografica del fiume Candigliano rappresenta un ambiente rurale prevalentemente seminaturale nel quale prevalgono i territori boscati e seminaturali. Il dilavamento delle infrastrutture viarie è il più elevato di tutta l'area idrografica del fiume Metauro (Piano di Tutela delle Acque, 2008 – Regione Marche).

A monte e a valle dell'invaso del Furlo non sono da segnalare attività antropiche particolari, se non qualche area estrattiva, piccoli centri abitati/case sparse e la presenza della SS Flaminia Vecchia in sponda sinistra e della SP3 Flaminia.

2.2.5 Uso del suolo

Le tipologie prevalenti di uso del suolo nel territorio immediatamente circostante l'invaso del Furlo sono i boschi a prevalenza di querce caducifoglie, boschi misti a latifoglie, aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione, colture agrarie con spazi naturali o colture intensive.



Legenda

UsoSuoloFurlo

- 112-Zone residenziali a tessuto discontinuo e rado
- 121-Aree industriali, commerciali e dei servizi pubblici e privati
- 131-Aree estrattive
- 2111-Colture intensive
- 2112-Colture estensive
- 231-Prati stabili (foraggiere permanenti)
- 242-Sistemi colturali e particellari complessi
- 243-Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti
- 3111-Boschi a prevalenza di querce e altre latifoglie sempreverdi (quali leccio e sughera)
- 3112-Boschi a prevalenza di querce caducifoglie (cerro e/o roverella e/o fametto e/o rovere e/o farnia)
- 3113-Boschi misti a prevalenza di altre latifoglie autoctone (latifoglie mesofile e mesotermofile quali acero-frassino, carpino nero-orniello)
- 3121-Boschi a prevalenza di pini mediterranei e cipressi (pino domestico, pino marittimo, pino d'aleppo)
- 31311-Boschi misti di conifere e latifoglie a prevalenza di querce e altre latifoglie sempreverdi (quali leccio e sughera)
- 31312-Boschi misti di conifere e latifoglie a prevalenza di querce caducifoglie (cerro e/o roverella e/o fametto e/o rovere e/o farnia)
- 31321-Boschi misti di conifere e latifoglie a prevalenza di pini mediterranei e cipressi (pino domestico, pino marittimo, pino d'aleppo)
- 31322-Boschi misti di conifere e latifoglie a prevalenza di pini oro-mediterranei e montani (pino nero e laricio, pino silvestre, pino loricato)
- 3211-Praterie continue
- 3212-Praterie discontinue
- 324-Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione
- 333-Aree con vegetazione rada
- 511-Corsi d'acqua, canali e idrovie

Figura 2-1: rappresentazione della carta di uso del suolo nel territorio circostante l'invaso del Furlo – Corine Land Cover 2012

2.3 Aree protette

Il bacino del Furlo è ubicato all'interno della Riserva Naturale Statale "Gole del Furlo", che ha una superficie pari a circa 3627 ettari e ricade nei comuni di Acqualagna, Cagli, Fermignano, Fossombrone, Urbino (PU).

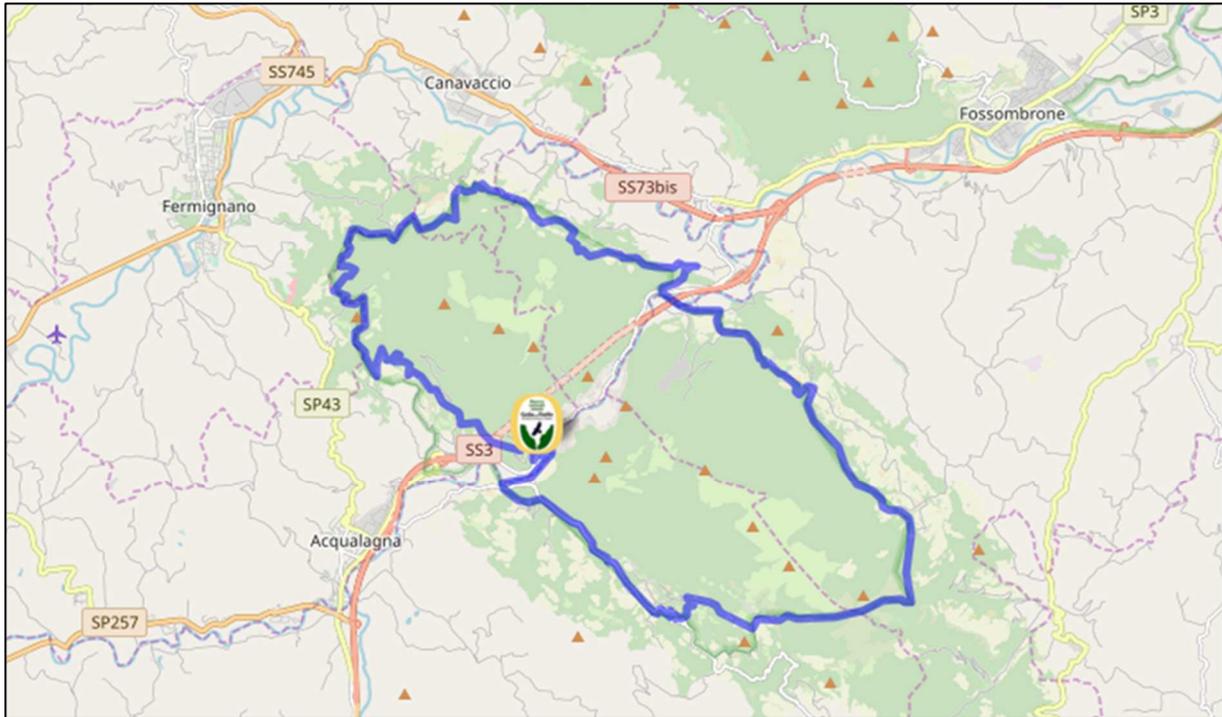


Figura 2-2 Mappa della Riserva Naturale Statale Gole del Furlo

L'invaso ricade anche nelle aree protette:

- Siti Natura 2000 ZSC IT5310016 – Gola del Furlo e ZPS IT5310029 - Furlo, costituiti da una gola rupestre calcarea di eccezionale interesse fitogeografico, per presenza di specie rare e per la forte ricchezza in habitat. L'area risulta inoltre di fondamentale importanza per la nidificazione di rapaci rupicoli (Aquila reale, Gheppio, Falco Pellegrino, Lanario). Il sito risulta interessante, oltre che dal punto di vista naturalistico, anche da quello geologico. Meritevoli di tutela sono le praterie sommitali, i boschi di sclerofille e le pareti rupestri che ospitano una fauna e una flora di notevole rilievo biogeografico e importante per la biodiversità regionale.
- Area Floristica 011 istituita ai sensi dell'articolo 7 della L.R. 52/1974; la legge regionale dispone che in queste aree, soggette a tutela in quanto presenti specie floristiche rare o in via di estinzione, siano proibite la raccolta, l'estirpazione o il danneggiamento di tutte le piante spontanee.



MINISTERO DELL'AMBIENTE
E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO E DEL MARE



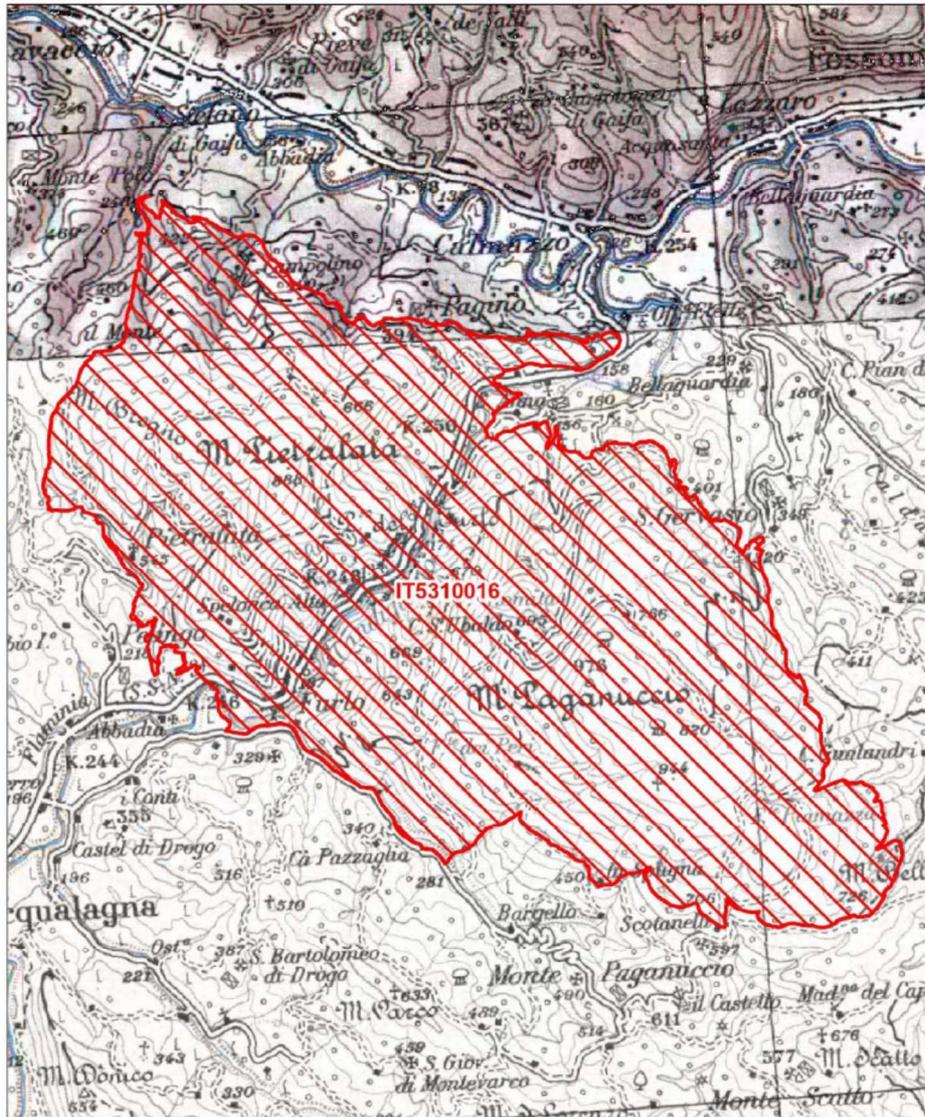
DIREZIONE PER
LA PROTEZIONE
DELLA NATURA

Regione: Marche

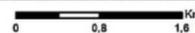
Codice sito: IT5310016

Superficie (ha): 3059

Denominazione: Gola del Furlo



Data di stampa: 18/10/2012



Scala 1:50.000



Legenda

- sito IT5310016
- altri siti

Base cartografica: IGM 1:100'000

Figura 2-3 Mappa del SIC IT5310016 "Gole del Furlo"

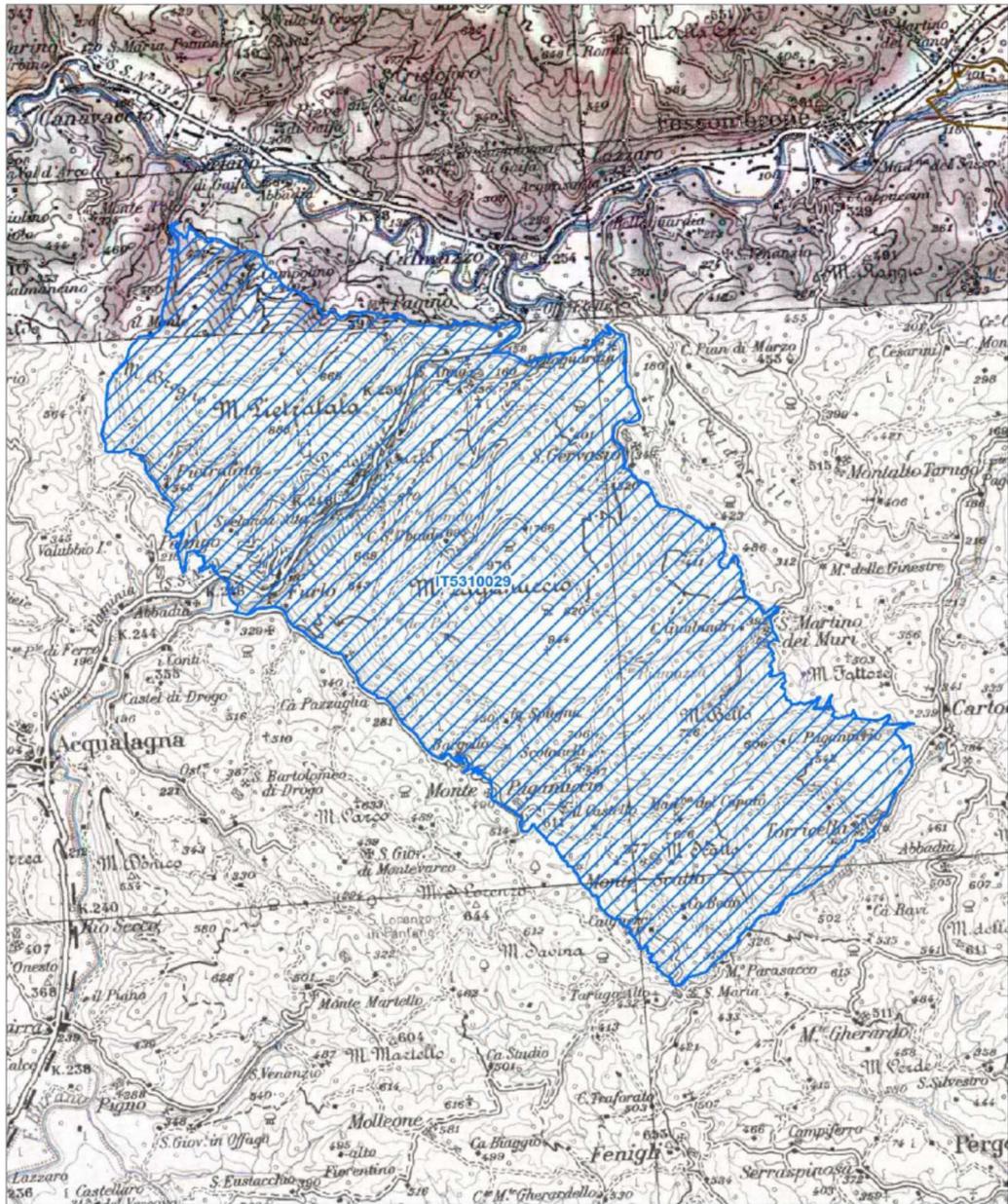


Regione: Marche

Codice sito: IT5310029

Superficie (ha): 4945

Denominazione: Furlo



Data di stampa: 19/10/2012

Scala 1:50.000

Legenda

sito IT5310029

altri siti

Base cartografica: IGM 1:100'000



Figura 2-4 Mappa della ZPS IT5310016 "Gole del Furlo"

2.4 Vincoli

L'area è sottoposta a vincolo paesaggistico secondo l'art. 136 del D.Lgs. 42/2004 "Bellezze naturali" e ricade anche tra le "aree Galassino", istituite ai sensi del DM 21/09/1984. Tali aree sono state individuate dall'Amministrazione statale e sono relative a complessi paesaggistici particolari, versanti, vallate, ambiti fluviali, da sottoporre a vincolo di immodificabilità (*divieto di modificazioni dell'assetto del territorio*) e di inedificabilità (*divieto di opere edilizie e lavori*) fino all'adozione da parte delle Regioni dei piani paesaggistici.

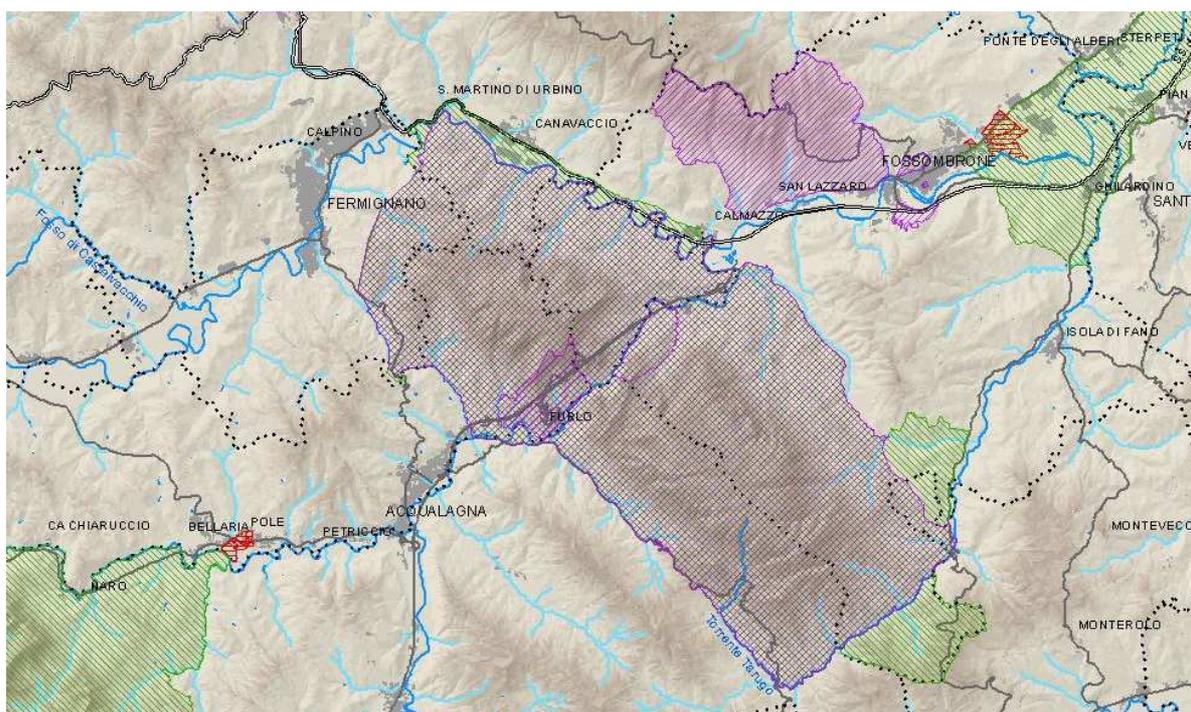


Figura 2-5 Vincolo paesaggistico area Gole del Furlo

Il webgis della Regione Marche riporta le seguenti denominazioni:

Codice Vincolo	AV236	AV251	AV235
Codice Regione	PS01_BN9999	PS15_BN0595	PS01_BN0124
Denominazione	Zona comprendente il Massiccio del Furlo	Località Furlo	Località Furlo
Decreto	D.G.R.M. n. 10220 del 6 gennaio 1983	D.P.G.R.M. n. 2474 del 2 luglio 1981	D.M. 15 febbraio 1962

Lungo le sponde dell'invaso sono state identificate alcune aree a rischio frana (rischio R4 – molto elevato). In coda al bacino sono presenti alcune aree golenali a rischio esondazione di tipo moderato (R1) ed elevato (R3).

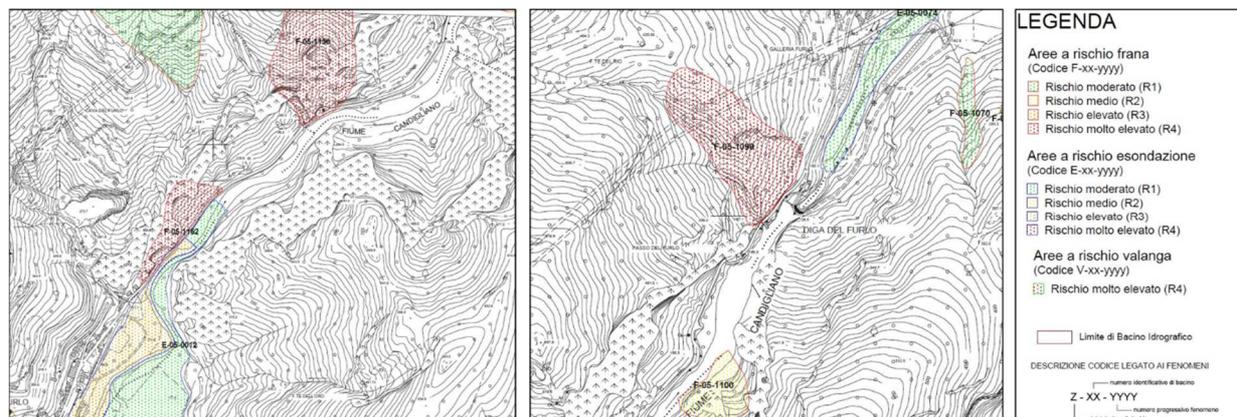


Figura 2-6 rappresentazione delle aree a rischio frana ed esondazione in coda e centro bacino (figura a sinistra) e nei pressi dello sbarramento (figura a destra). Rappresentazioni estratte dalla Carta del rischio idrogeologico – PAI (agg. 2016)

Alla luce dei vincoli che insistono nell'area del bacino del Furlo, preliminarmente all'esecuzione delle attività di rimozione dei sedimenti dovranno essere predisposte:

- la Valutazione di Incidenza,
- la Relazione Paesaggistica

da sottoporre alle Autorità competenti per approvazione.

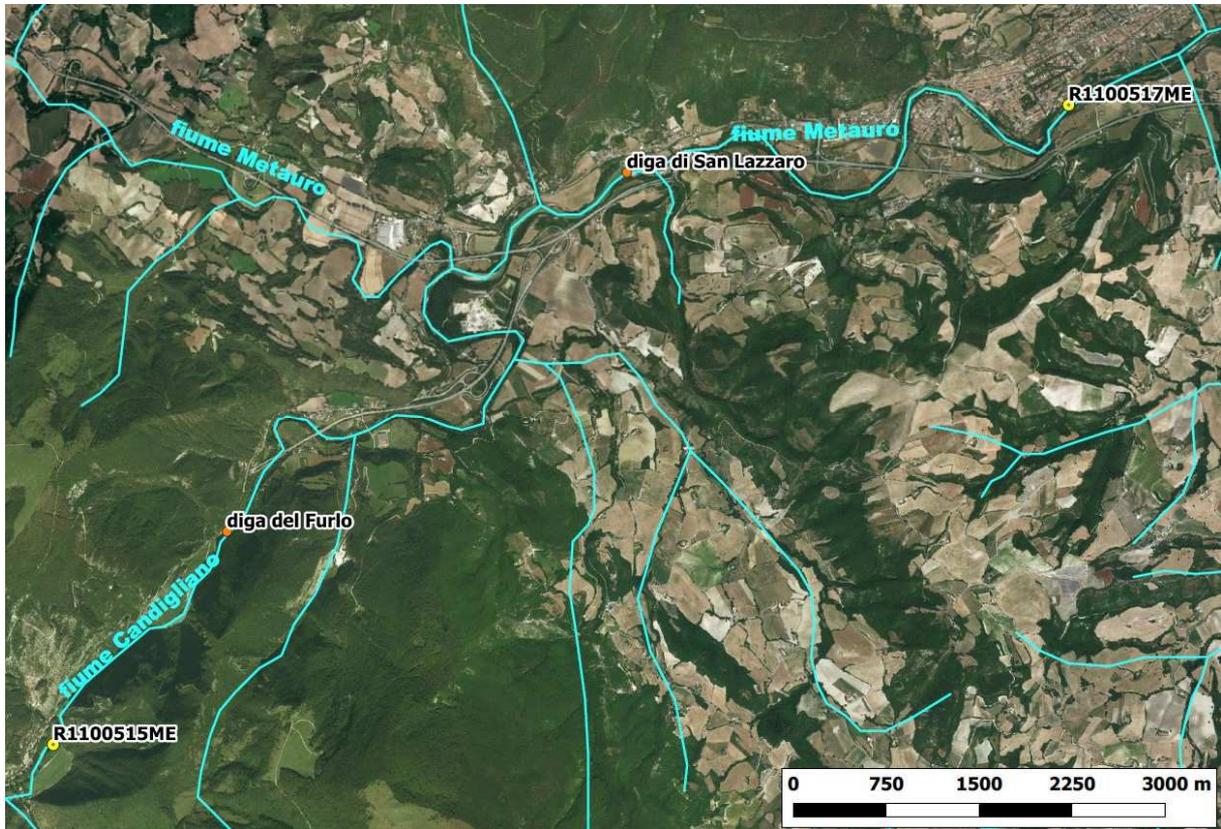
L'invaso del Furlo rappresenta inoltre un'importante riserva idrica per tutta l'asta del Metauro, vista la situazione emergenziale sulla disponibilità di acqua nel periodo estivo emersa negli ultimi anni, sia dal punto di vista irriguo che potabile, e per tale motivo viene concesso al Gestore dello sbarramento di andare in deroga al DMV fino al 90% del suo valore nominale.

2.5 Qualità biologica del corso d'acqua

Le stazioni della rete di monitoraggio ARPA Marche per il triennio 2018-2020 di interesse per il presente progetto sono la R1100515ME, in località Abbazia S. Vincenzo, a monte dell'invaso del Furlo, e la stazione R1100517ME, a valle di Fossombrone, all'altezza dell'area di frantoio.

Nella stazione R1100515ME il corpo idrico è caratterizzato da una qualità ecologica sufficiente, determinata dall'indicatore macroinvertebrati, e risulta peggiorata rispetto al ciclo di monitoraggio precedente; l'obiettivo di buona qualità ecologica non è stato raggiunto. I parametri chimico-fisici (LIMeco) presentano stabilmente una classe di qualità elevata; l'obiettivo di buona qualità chimica è stato raggiunto.

Nella stazione R1100517ME il corpo idrico è caratterizzato da una buona qualità ecologica e risulta migliorato rispetto al ciclo di monitoraggio precedente; l'obiettivo di buona qualità ecologica è stato raggiunto. Anche i parametri fisico-chimici (LIMeco) presentano stabilmente classe elevata e l'obiettivo di buona qualità chimica è stato raggiunto. (Relazione triennale 2018-2020 sulla qualità dei corpi idrici fluviali della Regione Marche - ARPA Marche).



	stazione	località	Est [m]	Nord [m]
Fiume Candigliano Tratto 2 C.I._B	R1100515ME	Abbazia S. Vincenzo	2334588	4834052
Fiume Metauro Tratto 3 C.I._A	R1100517ME	Uscita Fos. Est, stradina sulla sinistra verso il frantoio	2343953	4839492

Figura 2-7: ubicazione delle stazioni di monitoraggio ARPA

3 DATI DI IMPIANTO

A completamento delle informazioni generali che caratterizzano l'invaso nel suo complesso, si riporta nel seguente capitolo una descrizione delle caratteristiche principali dell'impianto idroelettrico e delle caratteristiche tecniche dell'invaso, dello sbarramento e delle opere di scarico e di derivazione.

3.1 Schema idraulico

L'invaso del Furlo risulta integrato nel sistema degli impianti idroelettrici dell'asta Candigliano-Metauro, costituito dalle centrali del Furlo, S. Lazzaro, Tavernelle, Cerbara e Liscia.

La centrale del Furlo è alimentata dall'invaso del Furlo, realizzato sbarrando il fiume Candigliano con una diga muraria ad arco gravità, alta 59.00 m, e un volume d'invaso di 1'780'000 m³ (dato di progetto).

L'acqua del serbatoio del Furlo, tramite una galleria in pressione lunga circa 3 km e una condotta forzata di 144 m e diametro 35 m, alimenta i quattro gruppi generatori installati in centrale.

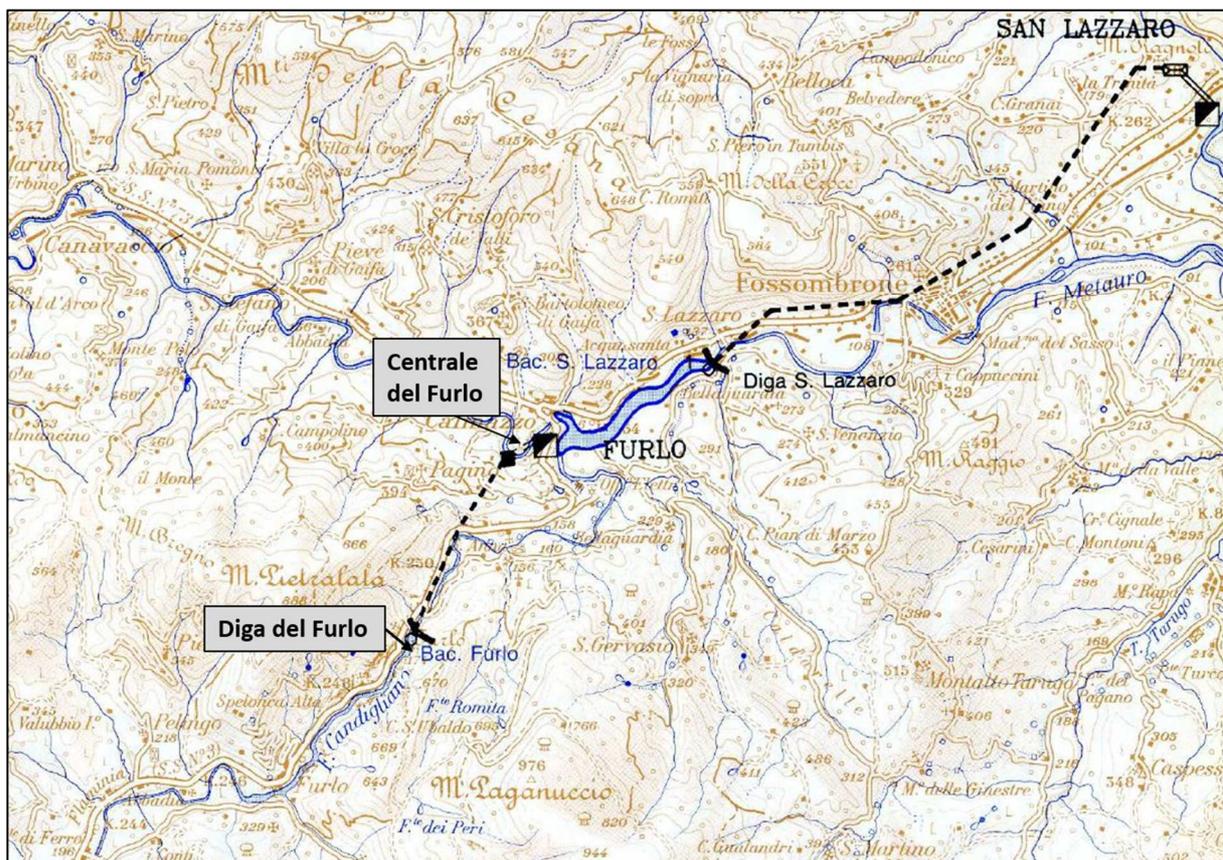


Figura 3-1: corografia dell'impianto idroelettrico del Furlo

A valle della centrale del Furlo sono ubicati gli impianti di San Lazzaro e Tavernelle. La centrale di San Lazzaro è alimentata dall'invaso di San Lazzaro, caratterizzato da un volume d'invaso di 1'050'000 m³ (dato di progetto), realizzato sbarrando il fiume Metauro a valle della confluenza con il fiume Candigliano nel comune di Fossombrone (PU). La centrale di Tavernelle è alimentata dall'invaso di Tavernelle, caratterizzato da un volume di 1'970'000 m³ (dato di progetto), realizzato sbarrando il fiume Metauro nel comune di Colli al Metauro. Le acque degli invasi di San Lazzaro e Tavernelle vengono anche utilizzati per l'alimentazione del sistema acquedottistico provinciale.

Immediatamente a valle dell'invaso di Tavernelle sono ubicati n° 2 impianti, ad acqua fluente, di Cerbara (nel comune di Terre Roveresche) e della Liscia (nel comune di Fano).

3.2 Dati di invaso

Nella seguente tabella sono riportati i parametri caratteristici dell'invaso, desunti dal FCEM (Foglio Condizioni Esercizio e Manutenzione).

Dati caratteristici del serbatoio (da FCEM)



quota di massimo invaso	175.68	m s.l.m.
quota massima di regolazione	174.68	m s.l.m.
quota minima di regolazione	169.16	m s.l.m.
superficie bacino alla quota di massimo invaso	0.265	km ²
superficie bacino alla quota massima di regolazione	0.250	km ²
superficie bacino alla quota minima di regolazione	0.02	km ²
volume totale di invaso (ai sensi del D.M. 24.3.82)	1'780'000	m ³
volume di invaso (ai sensi della L.584/1994)	1'680'000	m ³
volume utile di regolazione	750'000	m ³
volume di laminazione	130'000	m ³
superficie del bacino imbrifero direttamente sotteso	415.00	km ²
portata di massima piena di progetto	800	m ³ /s
massima portata di piena transitabile in alveo a valle dello sbarramento, contenuta nella fascia di pertinenza fluviale ¹	900	m ³ /s

¹ Fonte dato: documento Enel "Valutazione della portata massima transitabile in alveo a valle delle dighe Enel Green Power, di competenza dell'Ufficio Periferico di Perugia del Servizio Nazionale Dighe – Relazione tecnica", ottobre 2002

3.3 Descrizione dello sbarramento

La diga del Furlo è stata realizzata nel periodo 1919-1922. Si tratta di una diga ad arco gravità, costituita da una parte centrale dello sviluppo di circa 50 metri, con scarico in fregio al coronamento, formato da 10 luci trascinabili. In sponda sinistra è ubicato lo scarico di superficie, costituito da n°2 luci con soglia a quota 169.05 m chiuse da paratoie delle dimensioni di 13.50 x 6.05 metri.

La diga è in calcestruzzo cementizio, con cementi di porto Recanati e Sasso Ferrato e ghiaie, con il contemporaneo impiego di blocchi nella proporzione di circa il 2% della massa.

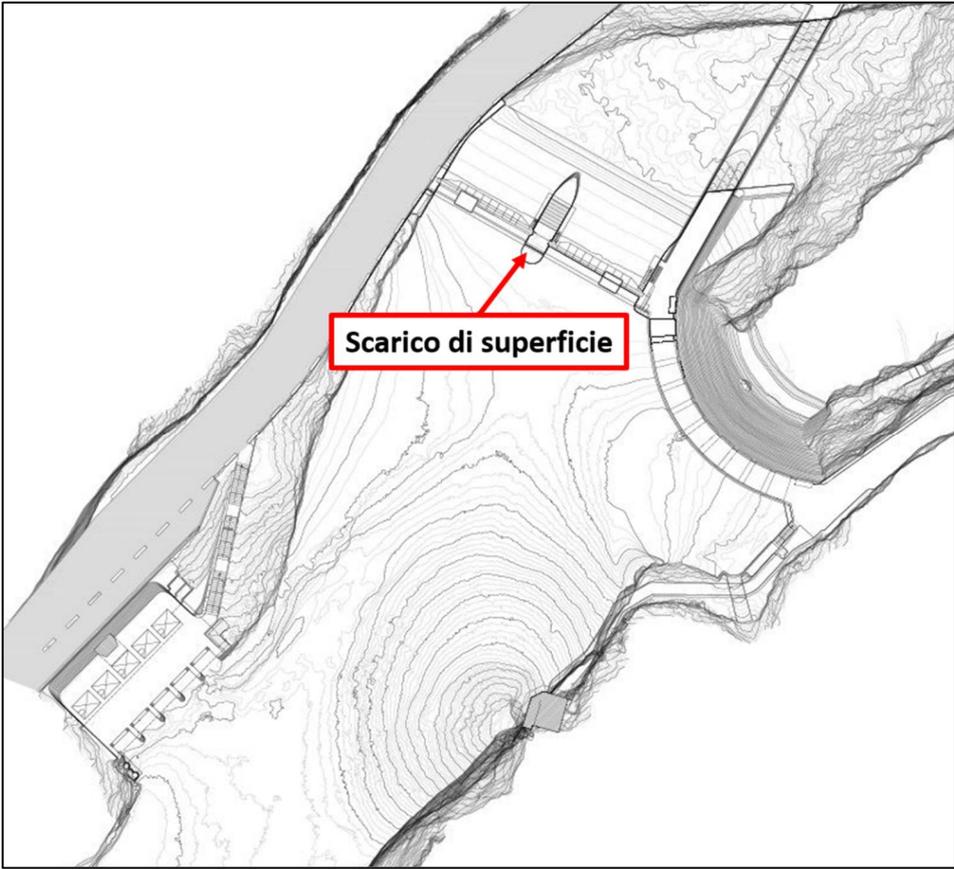
Dati caratteristici della diga (da FCEM)



Classificazione diga	Diga muraria ad arco gravità (Ab2)	
N° archivio SND (Servizio Nazionale Dighe)	76	
Altezza della diga (ai sensi del D.M. 24.03.1982)	59.00	m
Altezza della diga (ai sensi della L. 584/1994)	44.70	m
Altezza di massima ritenuta	42.30	m
Franco (ai sensi del D.M. 24.03.1982)	1.82	m
Franco netto (ai sensi del D.M. 24.03.82)	1.27	m
Quota del coronamento	177.50	m s.l.m.
Sviluppo del coronamento	50	m
Anno fine costruzione	1922	
Data di collaudo	13/04/1928	

3.4 Opere di scarico e di derivazione

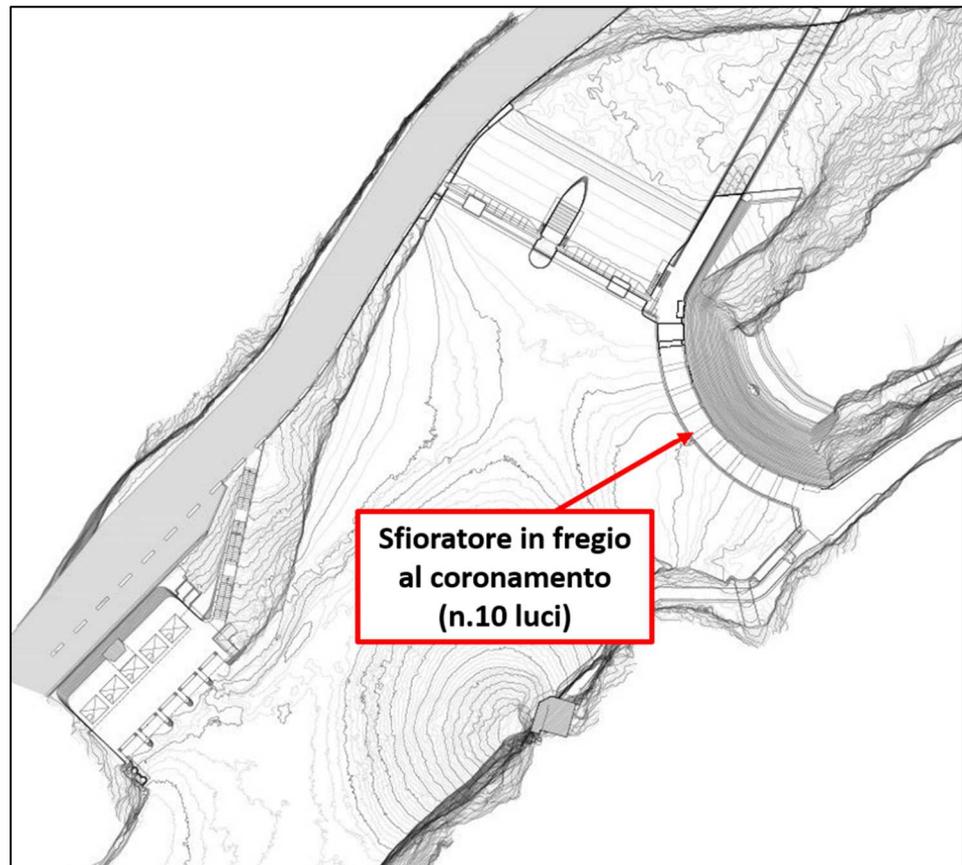
Le opere di derivazione e scarico sono costituite da: scarico di superficie, scarico in fregio al coronamento, scarico di fondo e opera di presa. Oltre alle verifiche ispettive previste ai sensi dell'art.17 del D.P.R. n.1363/59, il Gestore provvede alla vigilanza sulle opere e al controllo del loro stato di manutenzione ed esercizio secondo quanto indicato nell'art.6 del F.C.E.M..

Scarico di superficie	
Descrizione	Lo scarico di superficie è costituito da 2 paratoie piane di m 13.50 x 6.05; nella parte centrale della paratoia di sinistra è inserita una ventola avente lunghezza di m 8.80 e altezza di m 1.40.
Ubicazione	 <p>Lo scarico di superficie è ubicato in sponda sinistra con soglia a quota 160.05 m s.l.m.</p>
Portata massima esitabile	La portata esitata dallo scarico di superficie con livello nel serbatoio a quota 175.68 m s.l.m. (max invaso) risulta pari a 910 m ³ /s (fonte FCEM).

Sfioratore in fregio al coronamento

Descrizione Lo sfioratore in fregio al coronamento è costituito da n° 10 luci di m 2.48.

Ubicazione



Lo sfioratore è ubicato nella parte centrale della diga in fregio al coronamento con soglia a quota 174.68 m s.l.m.

Portata massima esitabile La portata esitata dallo scarico di superficie con livello nel serbatoio a quota 175.68 m s.l.m. (max invaso) risulta pari a 44 m³/s (fonte FCEM).

Scarico di fondo

Descrizione Lo scarico di fondo è costituito da una galleria della lunghezza di circa 67 m a sezione circolare di 2 m di diametro e intercettato da paratoia piana di m 2.20 x 2.20.

Ubicazione



L'imbocco dello scarico di fondo è situato in sponda destra con soglia a quota 152.58 m s.l.m.

Portata massima esitabile La portata esitata dallo scarico di fondo con livello nel serbatoio a quota 175.68 m s.l.m. (max invaso) risulta pari a 73 m³/s (fonte FCEM).

Opera di presa	
Descrizione	L'opera di presa è costituita da 5 luci protette da griglia senza sgrigliatore automatico, galleria di derivazione e condotta forzata.
Ubicazione	 <p>L'imbocco dell'opera di presa è ubicato in sponda sinistra con soglia a 165.78 m s.l.m.</p>
Portata massima derivabile	≈ 31.5 m ³ /s

3.5 Portata di DMV

La portata di DMV è pari a 550 l/s, viene rilasciata dal piede valle dello sbarramento e integrata dalle perdite degli scarichi della diga. Le portate rilasciate a valle sono giornalmente monitorate dal guardiano diga tramite lettura di un'asta idrometrica posta in una sezione d'alveo di valle opportunamente tarata, in modo da garantire a valle il rispetto delle portate di DMV.

Negli ultimi anni, vista la situazione emergenziale sulla disponibilità della risorsa idrica nel periodo estivo lungo l'asta del Metauro, viene concesso al Gestore dello sbarramento di andare in deroga al DMV fino al 90% del suo valore nominale, ovvero fino a 55 l/s.

L'attuazione di tale intervento si verifica quando le portate in ingresso nell'invaso del Furlo sono inferiori a circa 1.3 m³/s e, in assenza di prelievi idroelettrici, quando è disponibile un volume utile di regolazione inferiore al 60% di quello massimo ammissibile negli invasi di Furlo, S. Lazzaro e Tavernelle, ovvero circa 730'000 m³. Le suddette condizioni si verificano, di norma, nel periodo compreso fra luglio e settembre.

3.6 Descrizione del regime idrologico del sito

3.6.1 Precipitazioni

Sono disponibili le registrazioni pluviometriche misurate in prossimità dello sbarramento, di cui si riportano i valori cumulati minimi, medi e massimi mensili nel periodo 2015-2019.

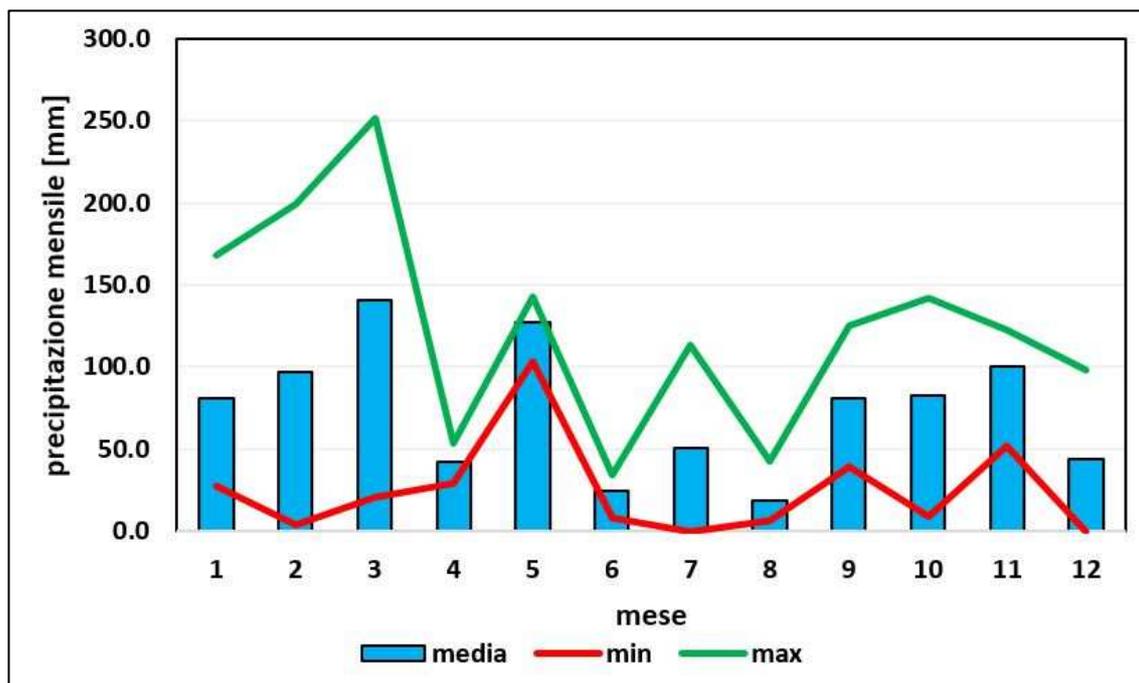


Figura 3-2: precipitazione mensile (valore medio, minimo e massimo) nel periodo 2015-2019

3.6.2 Portate in ingresso

Per l'invaso del Furlo non sono disponibili misure dirette di portata in ingresso al bacino. Per la ricostruzione del regime idrologico è stata effettuata una valutazione indiretta sulla base dei dati disponibili in impianto (livelli, portate derivate, portate scaricate) su base oraria, applicando l'equazione di bilancio del serbatoio.

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = Q_i - Q_{out}$$

Dove:

- Q_i è la portata naturale media in ingresso al bacino nell'intervallo Δt
- Q_{out} è la portata media in uscita dal serbatoio nell'intervallo Δt (derivata e scaricata)
- ΔV è la variazione di volume nell'intervallo Δt considerato.

Nel caso specifico si avevano a disposizione le registrazioni di livello, portate derivate, portate scaricate per sfioro o per rilascio del DMV dell'impianto del Furlo dal 2009 al 2020 (ad esclusione degli anni 2011-2012 per mancanza di un numero significativo di dati nelle registrazioni).

In Figura 3-3 si riporta l'andamento delle portate medie giornaliere mentre in Figura 3-4 quello delle portate medie mensili.

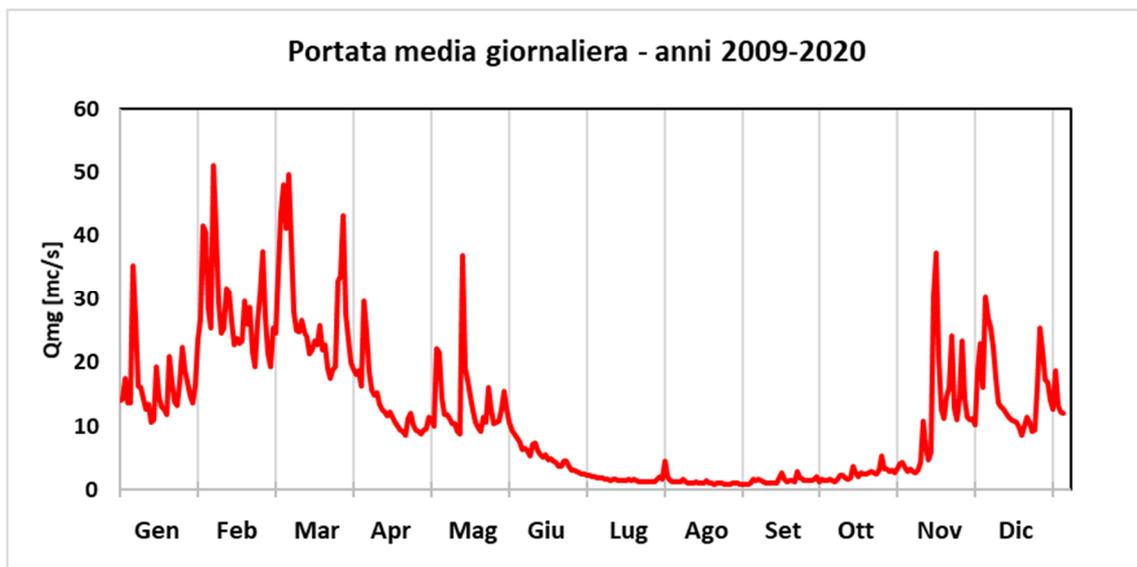


Figura 3-3: andamento delle portate medie giornaliere nel periodo 2009-2020

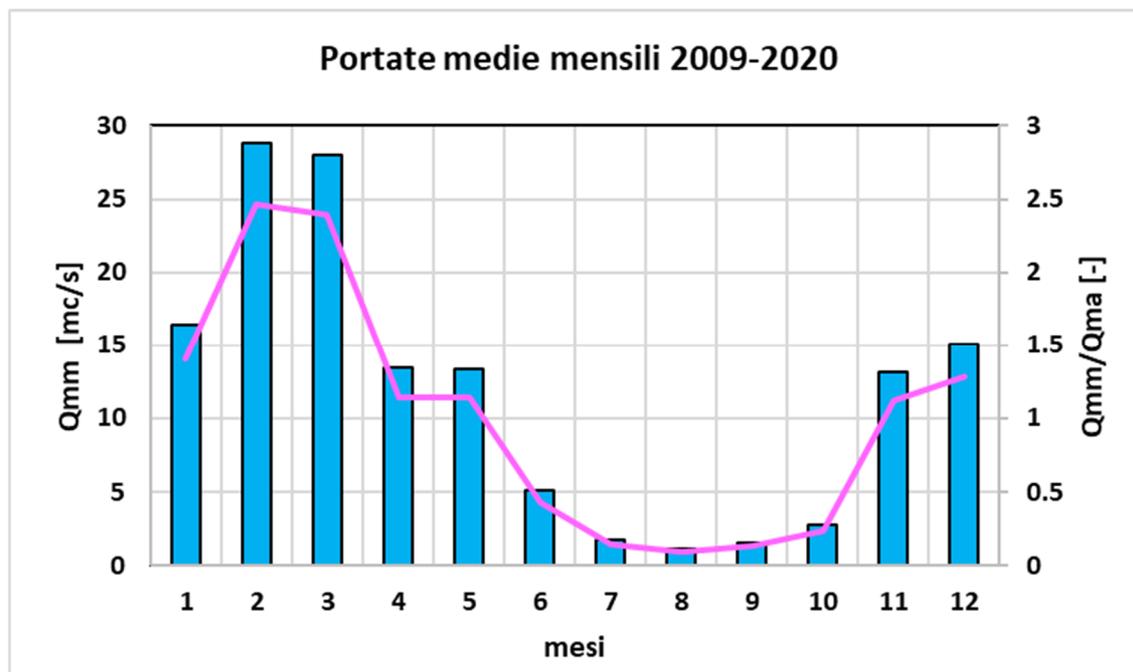


Figura 3-4: andamento delle portate medie mensili (Qmm) e portate adimensionalizzate rispetto al valore medio annuo (Qmm/Qma)

Dalle Figura 3-3 e Figura 3-4 si evince come il regime idrologico del corpo idrico in ingresso al bacino sia caratterizzato da deflussi elevati nel periodo novembre-maggio, e ridotti nel periodo giugno-ottobre, con valori minimi nei mesi di agosto e settembre. Da segnalare i valori di portata molto ridotti nel periodo estivo rispetto al valore medio annuo (-90%).

In Tabella 3-1 sono invece riportati i valori medi, minimi e massimi giornalieri su base annuale nel periodo analizzato.

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	media
Qmin [mc/s]	0.5	0.4	-	-	0.5	1.3	0.9	0.6	0.5	0.3	0.3	0.5	0.6
Qmedia [mc/s]	9.0	17.5	-	-	16.7	14.3	11.9	10.4	8.1	11.9	10.1	6.5	11.6
Qmax [mc/s]	65.3	244.5	-	-	325.5	200.8	192.0	88.2	119.2	158.3	294.8	120.8	180.9

Tabella 3-1: valori di portata media, minima e massima giornaliera negli anni 2009-2020

Dalla tabella risulta che l'anno idrologicamente più siccitoso è stato il 2020 (portata media 6.5 m³/s) mentre quello più piovoso è stato il 2010 (portata media 17.5 m³/s). La portata media annua relativa al periodo idrologico analizzato è stata stimata in circa 11.6 m³/s.

3.6.3 Curva di durata delle portate

La curva di durata mette in relazione l'intensità e la frequenza dei deflussi idrici in un'assegnata sezione fluviale. Nello specifico, la curva permette di individuare la durata (o percentuale) di tempo, in un particolare periodo di osservazione, in cui un valore di portata è uguagliato o superato e, dunque, risulta essere disponibile per il corso d'acqua in esame.

Da un punto di vista statistico, la curva di durata può essere vista come il complemento ad uno della funzione di distribuzione cumulata dei deflussi (o funzione di probabilità di non superamento). Ad ogni valore di portata Q è associata una probabilità di superamento p.

Per la definizione di una curva di durata rappresentativa per il sito in oggetto è stato necessario determinare dei valori medi giornalieri di portata per un periodo sufficientemente lungo in modo da

determinare la frequenza di accadimento degli eventi passati e, in contemporanea, definire la probabilità di accadimento di eventi futuri.

Le curve annuali determinate a partire dai valori di portata media giornaliera sono state successivamente mediate in modo da ricavare un'unica curva di durata caratteristica, rappresentativa dell'andamento delle portate in un anno "tipico" ma ipotetico per la sezione in esame.

Utilizzando le curve di durata annuali si perdono tuttavia alcune informazioni come i valori massimi e minimi assoluti di portata. È però possibile individuare eventuali caratteristiche stagionali dei regimi fluviali ed eventuali periodi di alte o basse portate che si verificano nell'arco di un anno. Inoltre, tali curve non sono influenzate dai periodi secchi o umidi che possono caratterizzare gli n anni di osservazione.

La definizione della curva di durata media ha comportato:

- la definizione dei valori di portata media oraria in ingresso in n anni di osservazione tramite il modello del serbatoio (vd. Par.3.6.2);
- la suddivisione dei valori di portata in m campioni ciascuno contenente i valori di portata media giornaliera di un solo anno;
- l'ordinamento dei dati di ogni campione in ordine decrescente (dal massimo al minimo valore di portata) e il calcolo della durata relativa associata ad ogni valore di portata mediante la Plotting Position di Weibull (Weibull,1951), definita come $d_i=i/(N+1)$;
- il tracciamento di n curve di durata, relative a ciascun anno, in un diagramma cartesiano riportando in ascissa la durata relativa e in ordinata le portate medie giornaliere per poi ricavare la curva di durata annuale facendo corrispondere, ad ogni passo di durata, un valore di portata mediato per gli n valori disponibili (uno per ogni anno);
- costruzione della curva di durata annuale media, che si ottiene associando ad ogni valore di durata relativa o probabilità di superamento la media statistica degli n valori di portata corrispondenti a quella durata.

Di seguito si riportano:

- in Figura 3-5 il confronto tra la curva di durata media e le curve di durata annuali su base giornaliera;
- in Figura 3-6 la curva di durata media corrispondente alla media degli n valori di portata determinati negli anni 2009 e 2020.

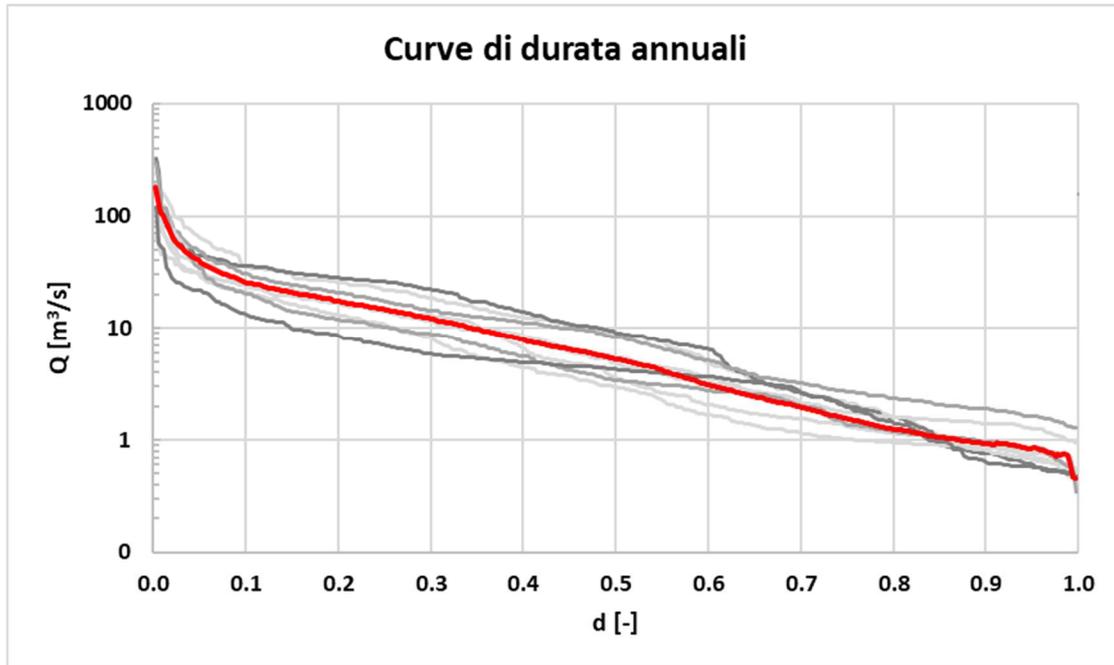


Figura 3-5: curve di durata annuali (in scala di grigi) e media (in rosso) nel periodo 2009-2020

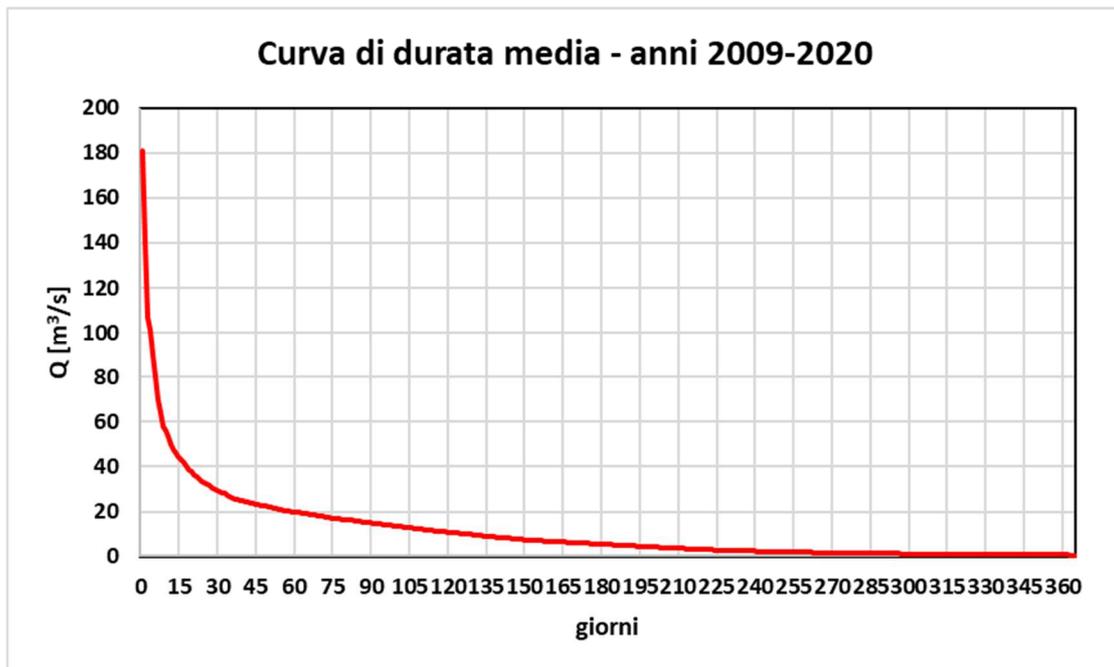


Figura 3-6: curva di durata media – periodo 2009-2020

Dalla curva di durata media delle portate è stato possibile ricavare i valori di portata media caratteristici del regime idrologico del fiume Candigliano alla sezione del Furlo, distinguendo tra portate di magra, di morbida e di piena ordinaria secondo la definizione riportata in Tabella 3-2.

	Definizione	Portata media [mc/s]
Piena ordinaria	portata media giornaliera rilevata in un periodo idrologico di riferimento corrispondente alla Q91 (portata che viene raggiunta o superata per 91 giorni l'anno)	14.7
Morbida	portata media giornaliera rilevata in un periodo idrologico di riferimento compreso tra la Q91 e la Q182 (portate che vengono raggiunte o superate per 91 e meno di 182 giorni l'anno)	5.3 ÷ 14.7
Magra	portata media giornaliera rilevata in un periodo idrologico di riferimento corrispondente alla Q274 (portata che viene raggiunta o superata per 274 giorni l'anno)	1.5

Tabella 3-2: portate caratteristiche del fiume Candigliano riferite all'anno idrologico medio

3.6.4 Analisi degli eventi estremi di piena

Per la definizione degli eventi di piena associabili all'attuazione delle operazioni di spurgo sistematico previste nel presente Progetto di Gestione, è stata effettuata un'analisi di massima dei valori estremi di portata.

L'analisi dei valori estremi ha previsto, come primo passo, quello di selezionare, dalla serie di dati di portata in ingresso, i valori più significativi sui quali effettuare l'analisi.

Nel caso specifico è stato utilizzato come criterio quello di selezionare la serie dei massimi relativi sopra una fissata soglia o serie dei massimi di durata parziale (Peak Over Threshold, POT). I picchi intervallati da una durata media di un giorno sono stati considerati come un unico evento di piena. L'analisi è stata condotta su base oraria in modo da rappresentare anche gli eventi di durate inferiori al giorno e considerare l'effettivo valore di picco riscontrato nel corso dell'evento.

Con l'applicazione di tale metodo ciascun evento di piena ha una durata diversa dagli altri. Gli eventi estrapolati dalla serie si ipotizza siano indipendenti tra di loro ovvero la probabilità che si verifichi un evento non dipende dal verificarsi dell'altro.

Il valore di soglia di portata è stato scelto pari a 99° percentile della curva di durata, ovvero con una probabilità di superamento del 1%, e corrisponde ad un valore medio di circa 100 m³/s e una durata media di accadimento pari a 3 giorni (dalla curva di durata delle portate).

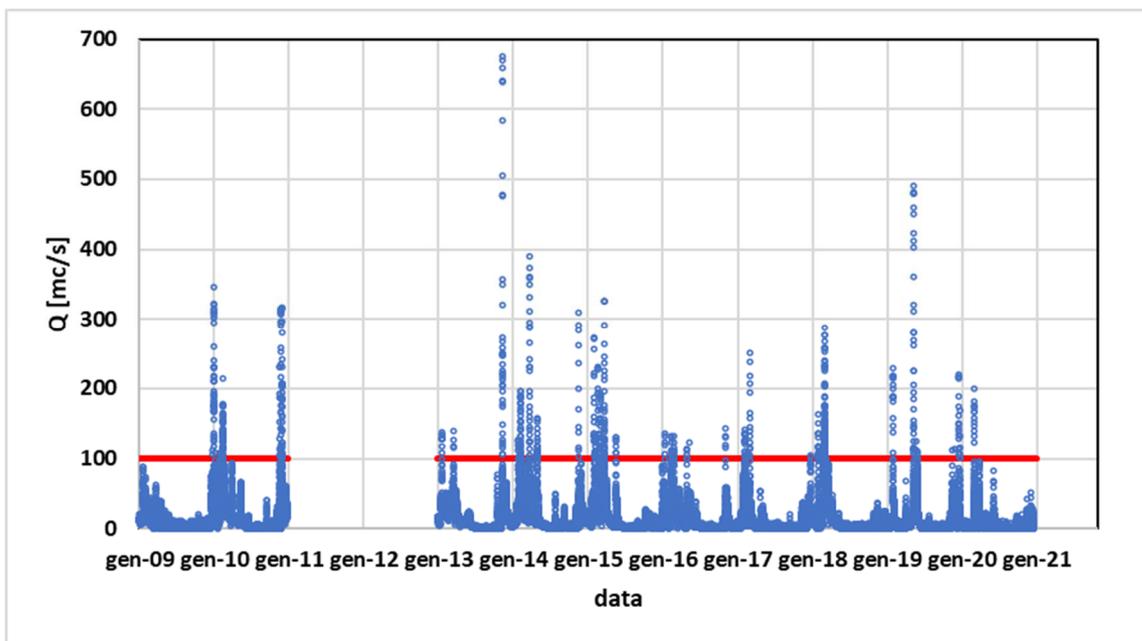


Figura 3-7: andamento delle portate in ingresso al bacino dal 2009 al 2020, con indicazione della soglia minima di 100 m³/s (linea rossa) per l'identificazione dei valori massimi relativi.

Al di sopra di tale soglia sono stati identificati tutti i massimi relativi di portata al fine di identificare il numero medio di eventi di piena e le relative durate ed intensità medie per anno idrologico di riferimento.

Qsoglia = 100 mc/s	2009	2010	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	media
n°eventi	0	8	3	6	5	6	4	3	6	1	4
durata media/evento [hh/evento]	-	22.8	19.0	18.3	23.0	5.5	9.8	57.0	13.5	13.0	20
intensità media [mc/s]	-	175.8	243.7	164.5	153.2	117.0	135.3	139.1	199.7	160.8	165
intensità max [mc/s]	-	346.4	675.2	390.5	326.6	143.3	251.3	288.0	490.3	200.5	346

Dall'analisi dei valori estremi, ipotizzando un valore minimo di portata di piena pari a 100 m³/s, risulta che mediamente si verificano n.4 eventi di piena all'anno, caratterizzati da una durata media di circa 20 ore e una portata media di circa 165 m³/s, con valore massimo di circa 675 m³/s nel 2013.

Da rimarcare, altresì, il carattere torrentizio del Candigliano che porta a far sì che le portate in afflusso al bacino possano variare in maniera significativamente repentina.

4 RILIEVI IN CAMPO E ANALISI FISICO-CHIMICHE

Per definire le modalità operative di gestione dell'invaso, connesse alle attività di manutenzione dell'impianto è necessario disporre dei più recenti dati ambientali, che consentano di definire il quadro complessivo delle caratteristiche qualitative delle acque e delle caratteristiche qualitative e quantitative dei sedimenti presenti all'interno dell'invaso.

Di seguito sono riportati i risultati degli ultimi rilievi batimetrici effettuati nel bacino e delle analisi chimico fisiche eseguite sui campioni di acqua e sedimento.

4.1 Stato di interrimento dell'invaso

La valutazione dello stato di interrimento dell'invaso è stata effettuata in riferimento agli ultimi rilievi batimetrici eseguiti nel bacino per confronto con i dati di progetto. Analizzando le informazioni disponibili è stato possibile aggiornare i volumi d'invaso rispetto alla capacità originaria del bacino e stimare il quantitativo di sedimenti atteso nell'invaso nel 2023.

4.1.1 Aggiornamento dei volumi di sedimento nel serbatoio

Dalle informazioni riportate nel Foglio Condizioni Esercizio e Manutenzione (FCEM) dell'impianto, risultano indicate le seguenti volumetrie di progetto (1922):

- Volume d'invaso: 1'680'000 m³
- Volume utile di regolazione: 750'000 m³.

Nel 2001 le misure batimetriche condotte da Enel hanno evidenziato le seguenti volumetrie:

- Volume d'invaso: 405'000 m³ (- 76%);
- Volume utile di regolazione: 392'000 m³ (- 48%).

Nel 2011 è stato eseguito un rilievo morfobatimetrico *single beam* per una valutazione dello stato d'interrimento dell'invaso. I risultati del rilievo hanno evidenziato una riduzione dei volumi di invaso rispetto ai dati di progetto. Dal confronto con i dati di progetto sono stati determinati i seguenti valori:

- Volume d'invaso: circa 342'000 m³ (- 80%);
- Volume utile di regolazione: circa 321'000 m³ (-57%).

Nel 2017 si è proceduto ad un ulteriore rilievo morfobatimetrico di dettaglio tramite strumentazione *multi beam* per la parte sommersa, e *laser-scanner* per la parte emersa.

Il rilievo ha permesso di ricostruire nel dettaglio le caratteristiche morfologiche dei fondali dell'invaso e di determinare lo spessore di sedimenti in prossimità delle opere di scarico dell'impianto. La rielaborazione dei dati acquisiti in campo ha permesso inoltre di riaggiornare la curva d'invaso rispetto alle condizioni originarie, e di ottenere una stima di massima del quantitativo di sedimenti presenti nell'invaso.

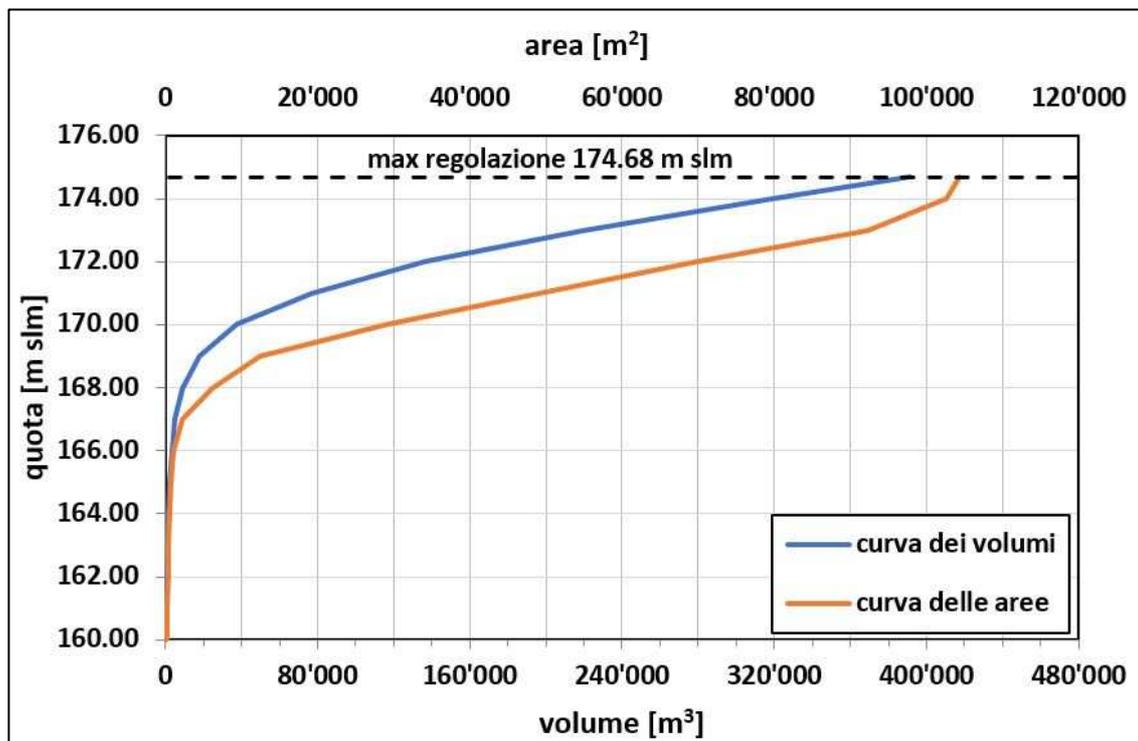


Figura 4-1: curve delle aree e dei volumi d'invaso fino alla quota massima di regolazione di 174.68 m s.l.m. (da rilievo morfobatimetrico 2017)

Dall'analisi dei dati del 2017 sono stati determinati i seguenti valori:

- Volume d'invaso: circa 391'000 m³ (-77%);
- Volume utile di regolazione: circa 374'000 m³ (-50%).

Il confronto tra le batimetrie del 2017 e quelle del 2011 indica un recupero delle capacità d'invaso di circa 50'000 m³, ovvero circa 8'200 m³/anno (+1%) sul volume d'invaso e circa 8'800 m³/anno (+1%) sul volume utile. Tale incremento può essere dipeso dagli effetti di trascinamento del materiale solido di fondo durante gli eventi di piena che si sono verificati tra i due rilievi batimetrici, a seguito dell'apertura degli scarichi più profondi. Si ricordano in particolare gli eventi di piena estremi, verificatisi tra il 2012 e il 2014, che, per intensità e durata, hanno comportato un'apertura prolungata dello scarico di fondo e il rilascio di una portata solida significativa verso valle.

Un'altra ipotesi plausibile è legata alle differenti tecniche di indagine utilizzate per la stima dei volumi d'invaso (di tipo *single-beam* nel 2011 e *multi-beam* nel 2017), che, in questo caso, può aver portato a determinare dei volumi di erosione non realistici.

Il trend in recupero delle volumetrie d'invaso non è invece confermato analizzando il periodo 2001-2011 dove, al contrario, si è riscontrato un interrimento medio annuo di circa 7'000 m³. Se invece si considerasse il confronto tra il volume del 2001 e quello del 2017 risulterebbe un interrimento medio annuo di deposizione di circa 1000 m³ nel volume d'invaso.

Analizzando tutti i dati a disposizione è possibile concludere che:

- osservando i dati degli ultimi rilievi batimetrici risulta che il volume d'invaso e il volume utile di regolazione sono dello stesso ordine di grandezza. Pertanto, gli eventuali apporti medi annui di deposizione che si verificheranno in futuro comporteranno una riduzione di entrambi i volumi in maniera eguale;

- tra il 2011 e il 2017 sembra essersi verificato un recupero dei volumi d'invaso, in contrasto con il periodo 2001-2011;
- estendendo l'analisi nel periodo 2001-2017 risulta una condizione di interrimento quasi trascurabile, dell'ordine di circa 1000 m³ all'anno, che rientra all'interno dell'incertezza di misura del dato batimetrico;
- l'apporto medio annuo di deposizione stimato nel lungo periodo delinea una situazione di quasi equilibrio tra deposizione ed erosione, processo che è dovuto probabilmente ai benefici derivanti dalle operazioni di spurgo in occasione degli eventi di piena estremi, che hanno minimizzato eventuali fenomeni di interrimento all'interno dell'invaso.

In base a tale apporto è stata effettuata una valutazione di massima dei volumi d'invaso attesi al 2023. L'analisi dei dati a disposizione ha portato alla determinazione dei seguenti volumi:

- Volume d'invaso: circa 385'000 m³ (- 77%);
- Volume utile di regolazione: circa 368'000 m³ (- 51%).

Pertanto, al 2023 si stima che nel volume utile di regolazione si siano depositati circa 382'000 m³ di sedimenti rispetto al volume utile originario del bacino.

4.1.2 Stato di interrimento delle opere di scarico e di presa

Per quanto riguarda le aree più prossime allo sbarramento, l'esame delle quote batimetriche ha permesso di verificare lo stato di conservazione degli organi di scarico della diga e di avere indicazioni sull'eventuale necessità di attuare interventi gestionali tali da mantenerne nel tempo la funzionalità.

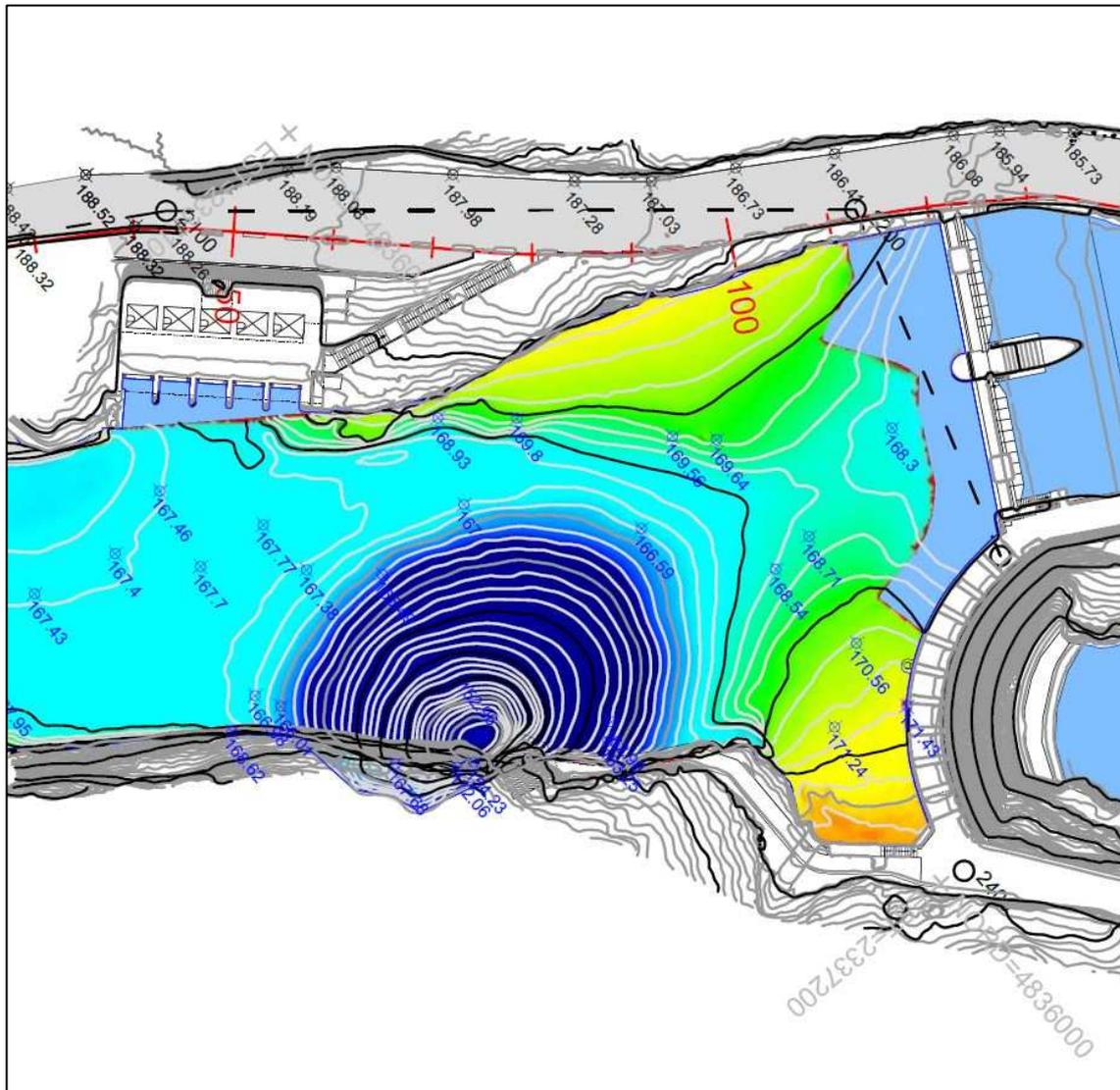


Figura 4-2: rappresentazione batimetrica in prossimità delle opere di scarico e di presa della diga – anno 2017

Sulla base degli ultimi rilievi batimetrici effettuati nell'invaso (anno 2017), dall'esame dei valori di profondità misurati in prossimità delle opere di scarico e di derivazione è risultato che le quote dei sedimenti sono prossime o superiori alle quote di soglia dei manufatti.

In particolare, le aree prospicienti l'imbocco dello scarico di fondo presentano sedimenti accumulati a quote di poco superiori alla soglia d'imbocco dell'opera (152.58 m s.l.m.), che risulta quindi marginalmente interessata dalla loro presenza. Inoltre, allontanandosi dall'imbocco dello scarico, risulta visibile un ampio cono di erosione, formatosi a seguito dell'apertura dello scarico durante un evento di piena significativo.

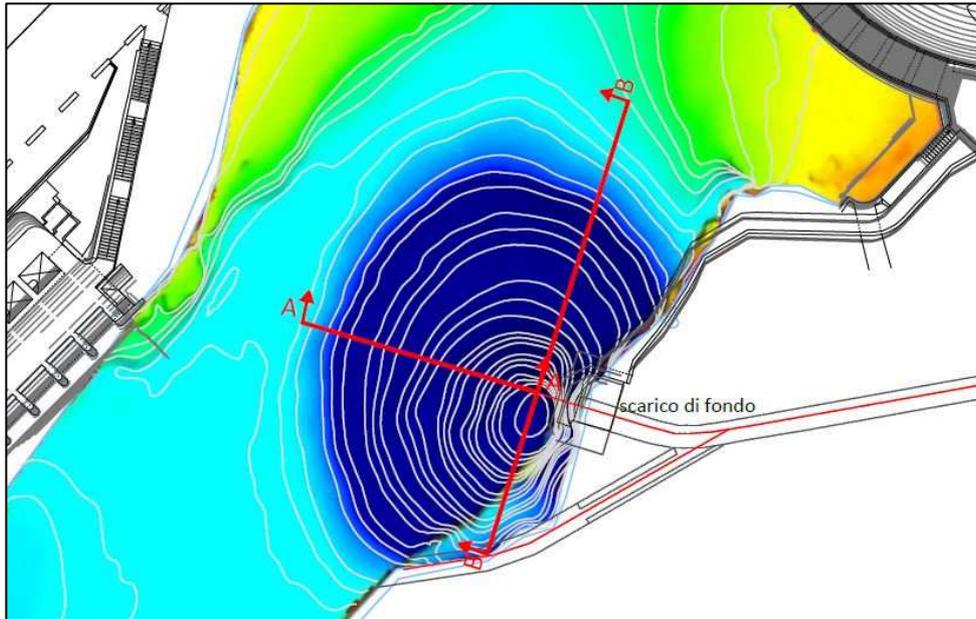
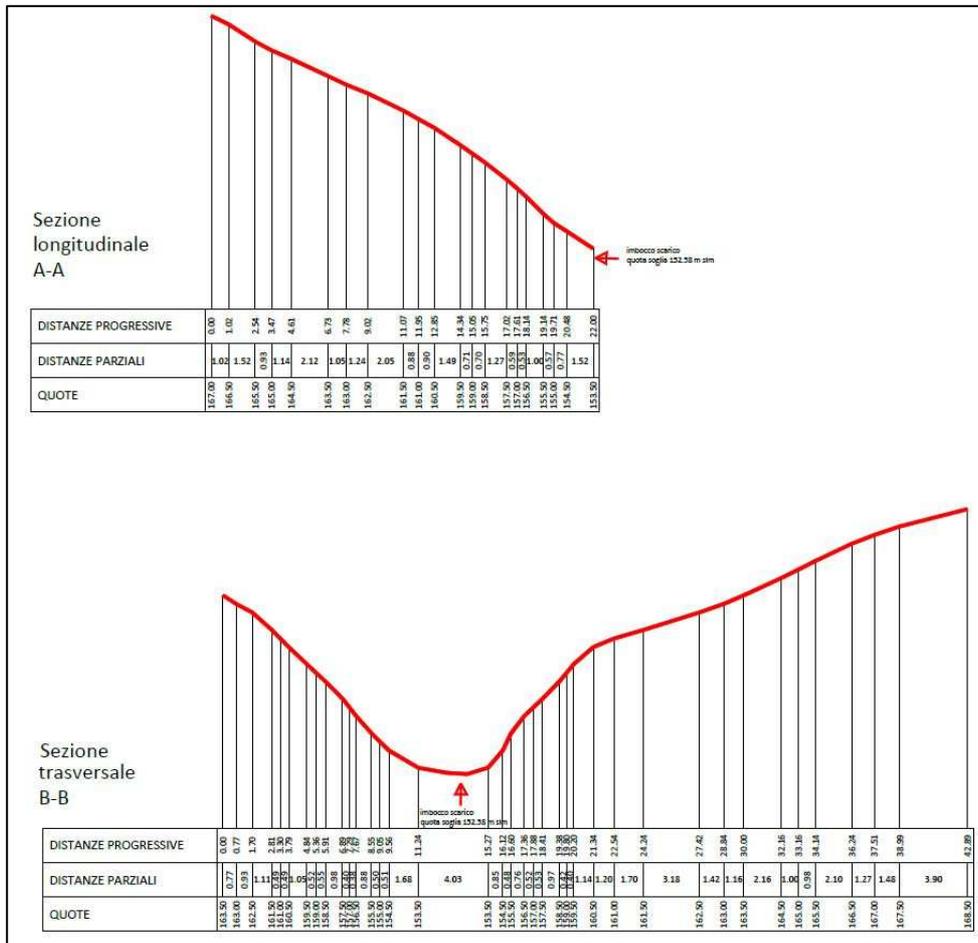


Figura 4-3: planimetria dei fondali in prossimità dello scarico di fondo, con indicazione delle sezioni longitudinale (A-A) e trasversale (B-B) rispetto all'imbocco dello scarico di fondo



La forma del cono di erosione in prossimità della soglia d'imbocco presenta, in generale, aperture variabili a seconda della durata delle operazioni di manovra dello scarico, mentre l'intensità di trascinamento dei sedimenti è sostanzialmente la stessa.

Dall'analisi dei profili delle sezioni longitudinali e trasversali, tenuto conto delle caratteristiche granulometriche del materiale, risulta che il cono di erosione è al limite della stabilità.

4.1.3 Considerazioni sullo stato d'interrimento dell'invaso

L'invaso del Furlo è caratterizzato da una condizione di parziale interrimento che, al momento, non pregiudica la funzionalità delle opere di scarico dell'impianto.

I processi di erosione e trasporto solido che si sono verificati nell'alveo fluviale in occasione degli eventi di piena hanno favorito la formazione di depositi alluvionali all'interno dell'invaso, caratterizzato da materiale grossolano nelle aree di centro e in coda bacino, mentre nel tratto più vicino alla diga predomina un materiale di natura argilloso-limosa.

In alcuni tratti del bacino i depositi hanno raggiunto quote prossime alla massima regolazione e sono attualmente ricoperti da vegetazione ripariale arborea e arbustiva.

Data la natura rocciosa e l'elevata acclività delle sponde, le aree prospicienti le rive risultano potenzialmente soggette a erosione, con possibili franamenti all'interno dell'invaso.

Invece, nelle aree più prossime alla diga, i moti idraulici dovuti alla captazione dell'acqua o alle aperture periodiche degli organi di manovra mantengono generalmente libero da materiale un volume a forma conica ubicato in prossimità delle opere stesse.

In particolare, l'apertura prolungata dello scarico di fondo durante gli eventi di piena permette di liberare una parte di materiale situato a ridosso dell'imbocco, evitando in questo modo un aggravio dello stato di interrimento nei pressi della diga e mantenendo nel tempo la pervietà del manufatto.

4.2 Caratteristiche qualitative dei sedimenti

Le attività di campionamento sono state eseguite nelle giornate 13, 14 e 15 ottobre 2020 in 12 stazioni, disposte lungo l'asse monte-valle e distanziate di 200 m una dall'altra.

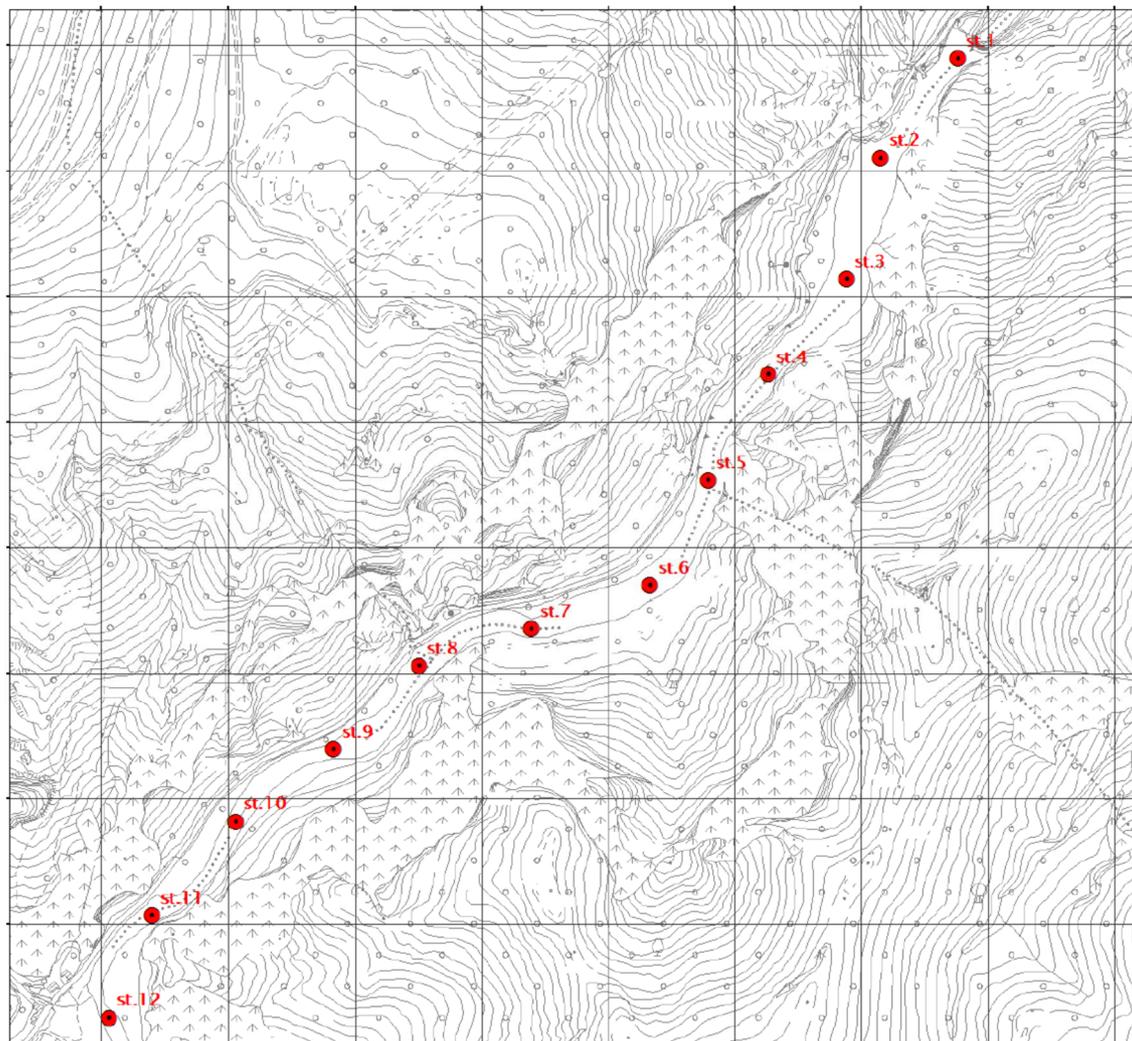


Figura 4-5 Ubicazione delle stazioni di campionamento

Nelle stazioni 1-5 il prelievo è stato effettuato tramite carotaggio prevedendo per ciascuna carota, della profondità massima di 4 m, tre aliquote di sedimento corrispondenti allo strato superficiale, intermedio e profondo. Nelle stazioni ubicate in coda al bacino (dalla stazione 6 alla stazione 11), caratterizzate dalla presenza di materiale medio-grossolano non campionabile con carotaggio, sono stati prelevati campioni di sedimento tramite una benna bivalente in acciaio, movimentata manualmente dagli operatori sul natante. Nella stazione 12 non è stato possibile prelevare alcun campione.

Per una caratterizzazione più completa, in ogni stazione di campionamento con benna sono stati eseguiti 3 prelievi lungo una sezione trasversale al corso del fiume, con posizionamento dei punti a circa $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ e $\frac{3}{4}$ della larghezza.

In modo analogo, anche nella stazione 5, essendo stato possibile prelevare una carota di soli 60 cm, sono stati effettuati due prelievi laterali tramite benna.

Su ciascuno dei 33 campioni così prelevati sono state effettuate le seguenti analisi:

- Analisi granulometrica
- Residuo a 105 °C
- Metalli: As, Be, Cd, Co, Cr totale, Cr VI, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Tl, V, Zn
- TOC
- Composti organostannici

- Idrocarburi C<12
- Idrocarburi C>12
- Oli minerali C10÷C40
- IPA
- PCB
- Fitofarmaci: Alaclor, Aldrin, Atrazina, Alfa-esaclorocicloesano, Beta-esaclorocicloesano, Gamma-esaclorocicloesano (Lindano), Clordano, 2,4' – DDT, 4,4' – DDT, 2,4' – DDE, 4,4' – DDE, 2,4'- DDD, 4,4'- DDD, Dieldrin, Endrin, Delta-esaclorocicloesano, Eptacloro, Eptacloro epossido
- Esaclorobenzene

Sull'eluato di ciascun campione sono state eseguite le seguenti determinazioni:

- Metalli: As, Ba, B, Be, Al, Cd, Co, Cr, Cr VI, Cu, Fe, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Tl, V, Zn
- Anioni: cloruri, fluoruri, solfati, cianuri, nitrati
- Indice di fenolo
- COD
- DOC
- pH
- Conducibilità elettrica specifica a 25°C
- Amianto
- Test di tossicità acuta con *Daphnia magna*.

Le misure e le analisi sono state eseguite applicando metodiche analitiche nazionali e internazionali ufficialmente riconosciute, di seguito riportate.

4.2.1 Risultati

Le analisi effettuate consentono di mettere in evidenza che:

- nel bacino è presente abbondante materiale grossolano (ghiaia e ciottoli, con diametro fino a 15 cm) come emerso dalla caratterizzazione stratigrafica, nonché dalle difficoltà di carotaggio riscontrate durante i campionamenti;
- il materiale depositato nel bacino mostra una granulometria mista, con prevalenza delle frazioni più fini (sabbia fine-argilla, con particolare riferimento alla classe limo fine, soprattutto in corrispondenza delle stazioni 1, 5, 11). Lo scheletro è presente in misura notevole, soprattutto nelle aree in coda al bacino (dalla stazione 6 alla 11);
- il materiale analizzato rispetta i limiti previsti dalla tabella 1, colonna A, dell'allegato 5, alla parte IV, del D.Lgs.152/06, fatta eccezione per il sedimento presente in corrispondenza della stazione 8, dove è stata rilevata la presenza di alcuni idrocarburi policiclici aromatici in concentrazioni superiori ai limiti previsti dalla normativa, e per un superamento contenuto della concentrazione di idrocarburi pesanti nel campione 1C, probabilmente dovuto alla presenza di materiale organico vegetale in decomposizione presente nello strato inferiore della carota;
- il sedimento risulta "non pericoloso" in riferimento parte IV del D.Lgs. 152/06;
- dal test di cessione condotto sono emersi alcuni superamenti del parametro solfati (campioni 6A, 6B, 7B, 11A) rispetto ai limiti per le discariche per rifiuti inerti, mentre risulta conforme ai limiti previsti dal DM 5/2/98 e dal D.Lgs. 152/06 per lo scarico in acque superficiali;
- il test ecotossicologico applicato sull'eluato dei sedimenti consente di escludere possibili effetti negativi sulla vita biologica del corso d'acqua.

Di conseguenza, sulla base della caratterizzazione effettuata, il materiale analizzato:

- può essere riutilizzato in siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale, nonché in siti ad uso industriale, ai sensi dell'allegato 5, alla parte IV, del D.Lgs.152/06;
- qualora smaltito come rifiuto, sarebbe da ritenersi "non pericoloso" in riferimento parte IV del D.Lgs. 152/06 e potrebbe essere smaltito in discariche per rifiuti non pericolosi;
- può essere rilasciato nel corpo idrico di valle visto che il test di cessione non ha evidenziato criticità significative secondo il DM 5/2/98 e il D.Lgs. 152/06, per lo scarico in acque superficiali, e il test ecotossicologico applicato sull'eluato dei sedimenti consente di escludere possibili effetti negativi sulla vita biologica del corso d'acqua;
- può essere spostato all'interno del bacino stesso ai sensi dell'art. 185, comma 3, D.Lgs. 152/2006 che prevede l'esclusione dei sedimenti dragati dall'ambito di applicazione della normativa sui rifiuti per "i sedimenti spostati all'interno di acque superficiali ai fini della gestione delle acque e dei corsi d'acqua o della prevenzione di inondazioni o della riduzione degli effetti di inondazioni o siccità o ripristino dei suoli se è provato che i sedimenti non sono pericolosi ai sensi della decisione 2000/532/CE della Commissione del 3 maggio 2000 e successive modificazioni".

Il dettaglio delle attività di campionamento e analisi dei sedimenti è riportato nel documento CESI C3010880 (2023), allegato al presente Progetto di Gestione.

4.2.2 Provenienza del materiale solido sedimentato

Le analisi chimico-fisiche eseguite su campioni di materiale sedimentato nel bacino e l'esame della geologia e della morfologia delle sponde del bacino imbrifero afferente all'invaso consentono di classificare l'apporto solido al serbatoio come derivante dall'azione erosiva dei torrenti di adduzione al bacino nei confronti dei suoli facenti parte del bacino imbrifero.

4.2.3 Erodibilità dei suoli del bacino idrografico

L'analisi dei quantitativi di materiale solido depositato all'interno dell'invaso annualmente consente di classificare i suoli del bacino idrografico dell'invaso come soggetti a bassa erosione.

4.3 Caratteristiche qualitative delle acque del bacino

La caratterizzazione qualitativa delle acque del bacino viene eseguita secondo il capitolo 2 dell'allegato I alla parte III del D.Lgs. 152/06, "Modalità per la classificazione dello stato di qualità dei corpi idrici – stato delle acque superficiali".

Tra gli elementi qualitativi indicati nel D.Lgs. 152/06 sono stati analizzati quelli ritenuti maggiormente significativi e di diretta applicabilità ai fini della classificazione dello stato ecologico del bacino in merito al presente progetto di gestione.

Nel bacino vengono eseguite misure mediante sonda multiparametrica lungo un profilo verticale ad intervalli di profondità di 1 m; inoltre, in superficie, alla profondità media e in prossimità del fondo vengono prelevati campioni d'acqua con bottiglia di Ruttner per analisi di laboratorio.

Nelle seguenti tabelle sono descritte:

- le metodiche di laboratorio da utilizzare per la caratterizzazione qualitativa delle acque dell'invaso,
- le caratteristiche delle misure condotte in situ mediante l'utilizzo della sonda multiparametrica Hydrolab,
- le caratteristiche delle analisi di laboratorio.

Analisi per la classificazione ecologica dei bacini	
Prova	Procedura
Temperatura, pH, conducibilità, ossigeno disciolto, Clorofilla <i>a</i>	Manuale Hydrolab
Alcalinità	APAT – IRSA-CNR 29/2003 (Metodi analitici per le acque) n° 2010
Azoto totale, Azoto ammoniacale, Azoto nitroso e nitrico, Fosforo totale, Fosforo solubile	Manuale DR 5000
Trasparenza	IBP Handbook n, 8
Metalli	EPA 6020A 2007
Hg	MIP-850 2012 Rev 1.0

Parametro	Tipologia misura	Range	Precisione	Risoluzione
Temperatura	In situ continua	-5÷50°C	± 0.10 °C	0.01°C
Conducibilità	In situ continua	0÷100 mS/cm	± 1% v.m.; ± 0.001 mS/cm	0.0001 unità
pH	In situ continua	0÷14 unità	± 0.2 unità	0.01 unità
Ossigeno disciolto	In situ continua	0÷50 mg/l	± 0.2 mg/L DO≤20 mg/L ± 0.6 mg/L DO>20 mg/L	0.01 mg/l
Clorofilla <i>a</i>	In situ continua	0÷500 µg/l	± 3%	0.01 µg/l

Parametro	Tipologia misura	Limite di rilevabilità
Alcalinità	Su campione di acqua di superficie, profondità intermedia e fondo	0.5 mg/l
Azoto nitrico	Su campione di acqua di superficie, profondità intermedia e fondo	0.23 mg N/l
Azoto nitroso	Su campione di acqua di superficie, profondità intermedia e fondo	0.015 mg N/l
Azoto ammoniacale	Su campione di acqua di superficie, profondità intermedia e fondo	0.015 mg N/l
Azoto totale	Su campione di acqua di superficie, profondità intermedia e fondo	1 mg N/l
Fosforo totale	Su campione di acqua di superficie, profondità intermedia e fondo	0.05 mg P/l
Metalli	Su campione di acqua di superficie, profondità intermedia e fondo	0.1 µg/l As 0.1 µg/l Cd 0.1 µg/l Cr 0.1 µg/l Hg 0.5 µg/l Ni 0.1 µg/l Pb

4.3.1 Risultati

La qualità delle acque è stata valutata secondo i parametri del D.Lgs. 152/06 allegato 1 capitolo 2. I campioni sono stati prelevati lungo la verticale nel punto più profondo nei pressi della diga del Furlo, come rappresentato nella seguente immagine.



Figura 4-6: Ubicazione del punto di campionamento delle acque del bacino

Nella tabella seguente sono riportati i risultati delle misure effettuate nel bacino in data 14/10/2020.

Profondità	Temperatura	Conducibilità 25°C	Ossigeno disciolto	Saturazione O ₂	Concentrazione ioni H ⁺	Chl <i>a</i>	Trasparenza
metri	°C	μS/cm	mg/l O ₂	%	pH	μg/l	metri
superficie	13.24	562	8.85	86.3	8.42	0.27	1
1	13.26	562	8.49	82.5	8.43		
2	13.27	562	8.44	83.0	8.44		
3	13.27	562	8.04	79	8.44		
4	13.28	561	8.36	81.3	8.44		
4.5	13.27	561	8.09	78.9	8.44		

Nella tabella seguente sono riportati i valori dei parametri chimici/biologici richiesti per la classificazione ecologica di un lago; le analisi sono state eseguite nel punto di massima profondità del bacino, nell'acqua superficiale, alla profondità intermedia e sul fondo.

Parametri	Unità di misura	Acqua superficie	Acqua medio	Acqua fondo
Nitrati	mg/l N-NO ₃	0.450	0.440	0.420
Nitriti	mg/l N-NO ₂	<0.02	<0.02	<0.02
Ammonio	mg/l N-NH ₄	0.05	0.08	0.080
Azoto totale	mg/l N	<1	<1	<1
P totale	mg/l P	<0.05	<0.05	<0.05
Alcalinità	mg/l CaCO ₃	288	203	165

Il livello trofico dei laghi per lo stato ecologico (LTLecco), come definito dall'allegato 1 del DM Ambiente 260/2010, basato sui valori di fosforo totale, trasparenza e ossigeno ipolimnico, risulta "sufficiente", limitatamente al periodo al quale si riferisce il prelievo.

Tuttavia, nel caso in esame, non si dispone di una serie temporale di dati, ma di un solo rilevamento effettuato nel mese di ottobre 2020; quindi la definizione dello stato ecologico può essere considerata solo indicativa.

Sui campioni di acqua prelevati all'interno del bacino del Furlo sono stati, inoltre, determinati i parametri riportati nella tabella sottostante che, confrontati con i limiti di legge elencati nell'allegato I del D.M. Ambiente 172/2015, sono conformi allo standard di qualità delle acque superficiali in riferimento alla concentrazione massima ammissibile prevista per le acque superficiali interne.

Elemento o composto	Unità di misura	Acqua superficie	Acqua intermedio	Acqua fondo	Concentrazione Limite SQA-MA D.Lgs. 172/2015 (µg/l)	Concentrazione Limite SQA-CMA D.Lgs. 172/2015 (µg/l)
Arsenico	µg/l	<0.1	<0.1	<0.1	10	-
Cadmio	µg/l	<0.1	<0.1	<0.1	0.15	0.9
Cromo tot.	µg/l	<0.1	<0.1	3.7	7	-
Mercurio	µg/l	<0.1	<0.1	<0.1	-	0.07
Nichel	µg/l	<0.5	<0.5	4.5	4	34
Piombo	µg/l	<0.1	<0.1	<0.1	1.2	14

SQA-MA: Standard di qualità ambientale espresso come valore medio annuo

SQA-CMA: Standard di qualità ambientale espresso come concentrazione massima ammissibile

4.4 Analisi sul trasporto solido

La conoscenza dei processi di trasporto solido rappresenta un elemento fondamentale per lo studio dell'evoluzione dei corsi d'acqua. Data la complessità del fenomeno fisico che regola i processi di erosione, trasporto e deposizione del materiale, spesso si ricorre a ipotesi ed approssimazioni semplificative per la definizione di modelli geomorfologici e/o idraulici che definiscano dei valori medi di trasporto solido applicabili ai bacini oggetto di studio.

I processi di erosione, trasporto e sedimentazione in un alveo sono funzione diretta dell'energia disponibile che si viene a creare all'interno dell'alveo fluviale. Piccole variazioni di tale energia possono dar luogo sia localmente che lungo tutto il percorso fluviale a variazioni del carico solido e determinare, di conseguenza, il passaggio da condizioni erosive a condizioni di sedimentazione e viceversa.

Si definiscono sostanzialmente due tipi di trasporto solido:

- *trasporto solido al fondo*: è costituito dai sedimenti che sono responsabili del modellamento dell'alveo, questi si muovono restando mediamente a contatto con il fondo per saltazione, rotolamento o trascinarsi come elementi singoli o come movimento generalizzato di tutti i granuli di ogni dimensione.
- *trasporto solido in sospensione*: è costituito dal materiale costituente il letto che viene portato in sospensione per particolari condizioni della corrente.

La somma del trasporto solido di fondo e in sospensione costituisce il *trasporto solido totale*.

In generale, intensità e modalità del trasporto sono condizionate dalla mutua interazione tra caratteristiche della corrente e caratteristiche dei sedimenti. I criteri di stima si limitano alla valutazione dell'entità del trasporto del materiale d'alveo come trasporto di fondo, in sospensione o totale.

I criteri di stima utilizzati, di qualunque tipo essi siano (empirici, semiempirici, probabilistici, energetici), andrebbero calibrati su dati sperimentali. La validità di ogni criterio è comunque limitata al campo dei valori dei parametri idraulici e delle caratteristiche del materiale utilizzato per la sua definizione, ogni estensione del criterio risulta arbitraria.

In linea di principio, i criteri di stima del trasporto solido forniscono una sovrastima del materiale movimentato; essi valutano infatti la capacità di trasporto della corrente relativa a una condizione di equilibrio tra materiale eroso e depositato. Il valore del trasporto solido coincide poi con quello della capacità di trasporto solo quando tutto il materiale movimentato dalla corrente risulta, effettivamente, disponibile in alveo.

I corsi d'acqua naturali, oltre a modellare il paesaggio, svolgono la funzione di trasportare volumi liquidi e solidi prodotti dal bacino idrografico. L'entità di tali volumi e la loro distribuzione nel tempo dipendono principalmente dalle caratteristiche climatiche, geolitologiche, morfologiche e tettoniche del bacino stesso ma sono condizionate anche da uso del suolo e interventi antropici.

Il sedimento è soggetto all'azione della corrente che, se dispone di energia sufficiente, può trasportarlo verso valle per una distanza ed un tempo variabile a seconda delle caratteristiche idrauliche della corrente stessa. Le particelle più fini possono essere trasportate facilmente in sospensione, i clasti più grandi invece si mettono in moto solo al superamento di un certo valore critico di portata e si sposteranno in aderenza al fondo o per salti intermittenti.

L'interazione flusso-sedimenti comporta due fenomeni principali: la diminuzione della granulometria procedendo lungo l'alveo da monte a valle e lo sviluppo di forme di fondo.

In corrispondenza degli sbarramenti si verifica un fenomeno di intrappolamento dei sedimenti provenienti da monte e una riduzione del trasporto solido a valle degli stessi. Anche in questo caso i sedimenti caratterizzati da granulometrie maggiori tenderanno a depositarsi nelle aree in coda al bacino mentre quelli più fini verranno mobilitati verso lo sbarramento.

4.4.1 Trasporto solido in assenza di sbarramento

Nel seguito si descrive sinteticamente la metodologia di tipo modellistico-teorica utilizzata per stimare la quantità di materiale solido che si avrebbe in sospensione nel corso d'acqua di valle in occasione di morbide in assenza dello sbarramento.

Il materiale solido trasportato in sospensione dalla corrente idrica del corso d'acqua è generalmente costituito dai sedimenti fini, ad esempio i limi e le argille, che hanno origine dal dilavamento dei versanti del bacino imbrifero afferente al corso d'acqua in esame.

La stima della quantità di materiale solido in sospensione, espressa come torbidità specifica media in occasione di eventi di morbida, è stata valutata come rapporto tra la quantità annuale di materiale fine potenzialmente disponibile originato dai versanti del bacino e il volume d'acqua complessivo transitante nel corso fluviale a seguito degli eventi di morbida che si verificano in un anno.

In assenza di misure in continuo delle concentrazioni di solidi sospesi in ingresso al bacino è stata effettuata una stima indicativa della quantità annuale di materiale fine originato dai versanti del bacino considerando un valore di erosione media annua desunto dalla letteratura per bacini situati nella medesima zona di quello in esame.

Si osserva che, a seguito delle inevitabili incertezze legate ai dati ed alle ipotesi semplificative assunte, i valori ottenuti applicando la metodologia modellistico-teorica di seguito esposta sono da ritenersi necessariamente approssimati ma supportati da una concettualizzazione fisica esauriente.

La stima della concentrazione di torbida "naturale" che si avrebbe in sospensione nel fiume Candigliano in occasione degli eventi di morbida, è stata effettuata calcolando le variazioni di volume idrico a scala giornaliera all'interno dell'invaso nel periodo 2009-2020. Tali variazioni di volume sono state desunte dall'equazione del serbatoio in funzione della variazione dei livelli idrici, delle portate in ingresso e in uscita (scaricate e derivate) su base giornaliera (vd. Par 3.6.2).

Considerando il periodo analizzato, il valore medio annuo del volume di afflusso idrico all'invaso del Furlo in grado di mobilitare il materiale solido in sospensione in occasione di morbide è risultato compreso tra **242 e 311 milioni di m³**.

La valutazione della quantità media annua di materiale solido fine trasportato in sospensione in arrivo allo sbarramento del Furlo è stata condotta considerando un'erosione annua indicativa desunta dalla letteratura per bacini situati nella medesima zona di quello in esame, dell'ordine di 0.13 mm/anno. Poiché la superficie del bacino sotteso dallo sbarramento del Furlo è pari a 415 km², si stima un'immissione di materiale umido all'interno del serbatoio di circa 54'000 m³/anno.

La stima della quantità di materiale solido che si avrebbe in sospensione nel corso d'acqua di valle in occasione degli eventi di piena in assenza dello sbarramento è stata valutata considerando un sedimento

caratterizzato da una densità del materiale solido di 2.65 t/m^3 , a cui corrisponde una concentrazione **inferiore a 0.5 g/l** .

4.4.2 Trasporto solido in presenza dello sbarramento

Nel sito in oggetto non sono disponibili dati di trasporto solido in ingresso e in uscita dal serbatoio. Pertanto, anche in questo caso le valutazioni di seguito esposte possono essere prese come riferimento ma dovranno essere verificate attraverso opportune misure dirette, prolungate nel tempo e con portate variabili data la forte dipendenza tra il valore di trasporto solido e la portata stessa, nonché dalle caratteristiche morfologiche e sedimentologiche del lago.

In condizioni di magra i valori di torbidità sono attesi essere minimi. A titolo indicativo nell'ottobre 2020 sono stati raccolti due campioni di acqua, a monte e a valle del bacino, per valutare il trasporto solido in una situazione di campionamento come quella riscontrata durante i prelievi ovvero in una condizione di magra senza perturbazioni e piogge in atto nel bacino imbrifero considerato.

Dall'analisi dei campioni d'acqua è emerso che il materiale in sospensione in ingresso e in uscita nel bacino del Furlo (fiume Candigliano) ha mostrato valori molto contenuti, **inferiori ai 5 mg/l** .

In condizioni di morbida si può far riferimento ai valori di torbidità in ingresso al bacino stimati nel par. 4.4.1, ipotizzando condizioni di deflusso di valle equiparabili a quelli naturali afferenti al serbatoio stesso.

In condizioni di piena, per effetto dell'apertura degli scarichi di superficie e, in seconda battuta, dello scarico di fondo, le caratteristiche di torbidità cambiano notevolmente rispetto alle condizioni di deflusso descritte in precedenza.

L'apertura dello scarico di superficie favorisce il transito dei solidi sospesi derivanti dall'evento di piena, evitando un aggravio delle condizioni di interrimento dell'invaso. In questo caso i valori di torbidità media, con le ipotesi di erosione media annua del bacino indicate nel paragrafo precedente e considerando una portata di una piena significativa almeno pari a $100 \text{ m}^3/\text{s}$, possono essere stimati in **circa 2 g/l** .

Invece l'apertura dello scarico di fondo, effettuato in condizioni di sfioro, genera un'azione erosiva in corrispondenza dell'imbocco dello scarico, con formazione di un cono di erosione fino al raggiungimento di condizioni in equilibrio stabile delle pareti. Il materiale rilasciato a valle influisce in maniera significativa sul trasporto solido di valle, soprattutto in casi di materiale molto fine caratterizzato da un certo grado di consolidamento.

Data la complessità del fenomeno, sarà possibile fornire una valutazione attendibile della torbidità solo a valle di prove specifiche, considerando uno o più valori di portata da adottare per le operazioni di rilascio a valle e andando a stimare, ad esempio attraverso due rilievi batimetrici pre e post evento, gli effettivi quantitativi mobilitati dall'apertura degli scarichi.

A titolo indicativo si riporta la stima delle concentrazioni attese dei solidi sospesi nelle prime fasi di apertura dello scarico di fondo, determinata mediante modello sedimentologico-idraulico descritto nel par. 5.1.1., ipotizzando un materiale di tipo limoso e un'apertura dello scarico corrispondente ad una portata scaricata pari a $71 \text{ m}^3/\text{s}$ (portata massima esitabile dallo scarico di fondo) si ottiene una concentrazione media di solidi sospesi **di circa 5 g/l** .

5 MODALITA' OPERATIVE DI GESTIONE DEI SEDIMENTI

Nell'ambito degli interventi realizzabili per il mantenimento degli organi di scarico profondi e per il recupero della capacità utile dell'invaso mediante la rimozione del materiale depositato, vengono descritte le modalità operative di gestione che si possono ipotizzare per l'invaso del Furlo e per gli organi di manovra della relativa diga di ritenuta. Tali modalità comprendono le seguenti attività:

operazioni di gestione ordinaria

- manovre di esercizio dello scarico di fondo (vd. par 5.1)
- spurgo sistematico dello scarico di fondo (vd. par 5.2)

operazioni di gestione non ordinaria

- svasso totale per manutenzione e/o ispezione della diga e degli organi di scarico (vd. par. 5.3)
- spurgo a bacino vuoto con apertura dello scarico di fondo (vd. par. 5.4)
- sfangamento in coda all'invaso (vd. par.5.5)
- sfangamento a bacino pieno e sistemazione in aree estrattive (vd. par. 5.6)
- sfangamento a bacino pieno e rilascio dei sedimenti verso valle (vd. par.5.7)

Le operazioni di *gestione non ordinaria* sono descritte nei successivi paragrafi, sulla base delle informazioni disponibili al momento della redazione del presente documento.

Qualora si rendesse necessario eseguire tali attività, sarà predisposto un Piano Operativo di dettaglio, a integrazione del presente Progetto di Gestione, che sarà consegnato alle Autorità competenti almeno 4 mesi prima dell'inizio delle operazioni.

Nel Piano Operativo saranno descritte, in modo circostanziato, le modalità di esecuzione delle attività: volumi di acqua/sedimento coinvolti, tempistiche, stima degli effetti potenziali, attività di prevenzione e mitigazione, relativo piano di monitoraggio ambientale.

Si segnala peraltro che le operazioni di *gestione non ordinaria*:

- spurgo a bacino vuoto con apertura dello scarico di fondo (vd. par. 5.4)
- sfangamento a bacino pieno e sistemazione in aree estrattive (vd. par. 5.6)

descritte nei successivi paragrafi, presentano elementi di criticità relativi all'esecuzione dell'intervento stesso e agli impatti sociali e ambientali sul territorio circostante che, valutato il rapporto costi-benefici, non ne rendono ipotizzabile l'attuazione.

Invece, per le modalità operative proposte nel presente documento, si evidenzia come l'attuazione di tali attività potrebbero avere delle ripercussioni anche sostanziali sui prelievi del sistema acquedottistico provinciale durante lo svolgimento dei lavori. L'invaso del Furlo, infatti, pur non essendo sede di prelievi a fini idropotabili, ha una funzione di riserva strategica della risorsa idrica dell'asta Metauro-Candigliano, essendo ubicato a monte degli invasi di San Lazzaro e Tavernelle dove, al contrario, vengono effettuati i prelievi sopraccitati.

Di conseguenza, in caso di attuazione di una delle modalità di intervento proposte, la funzione di riserva che il bacino del Furlo (fra l'altro ubicato sul Candigliano, ovvero sul corso d'acqua diverso e contraddistinto storicamente da portate maggiori nel periodo estivo rispetto al Metauro ovvero il corso fluviale a cui appartengono gli altri due invasi dell'asta) esercita per gli invasi di San Lazzaro e Tavernelle potrà essere significativamente condizionata.

In osservanza a quanto previsto all'art.7, comma 2 del DM 30/06/2004, nel presente Progetto di Gestione non trovano applicazione le manovre:

1. necessarie a garantire il non superamento dei livelli di invaso autorizzati in occasione di eventi di piena;
2. di emergenza per la sicurezza e la salvaguardia della pubblica incolumità;
3. effettuate per speciali motivi di pubblico interesse, su disposizione dell'autorità competente;
4. effettuate per l'accertamento della funzionalità degli organi di scarico, ai sensi dell'art.16 del Decreto del Presidente della Repubblica n°1363 del 1959, su disposizione dell'amministrazione competente a vigilare sulla sicurezza.

5.1 Manovre di esercizio dello scarico di fondo

Nella gestione della diga del Furlo sono previste manovre di apertura dello scarico di fondo della diga a bacino pieno. Le manovre di esercizio dello scarico di fondo non hanno la finalità di rimozione del materiale depositato nel bacino ma, essendo di breve durata, verrebbero eseguite per asportare solamente il modesto quantitativo di materiale solido che periodicamente, a seguito di eventi idrologici particolarmente intensi, viene ad accumularsi nei pressi dell'imbocco di scarico.

Tali manovre potranno essere eseguite:

- in concomitanza con il verificarsi di eventi di morbida, quando le portate naturali in ingresso al bacino sono caratterizzate da elevato trasporto solido. Le manovre di norma possono essere eseguite quando le portate in ingresso al bacino sono paragonabili alle portate scaricate a valle durante l'apertura degli scarichi;
- in caso di periodi caratterizzati da scarsi afflussi (cioè in mancanza di eventi idrologici di una certa significatività), prevedendo operazioni volontarie di apertura dello scarico di fondo e avendo cura di praticare la diluizione dell'acqua rilasciata a valle mediante gli scarichi di superficie.

Il materiale di interrimento verrà rilasciato a valle della diga facendo defluire l'acqua contenuta nel bacino attraverso lo scarico di fondo e determinando la fuoriuscita dall'invaso di una quantità di materiale in sospensione correlata con l'entità delle portate in transito.

L'operazione consisterà in un'apertura graduale e modulata delle paratoie di scarico, dell'ordine di $7 \div 14 \text{ m}^3/\text{s}$ (10-20% della portata massima di scarico alla quota massima di regolazione di 174.68 m s.l.m.), necessari per garantire la completa evacuazione del quantitativo di materiale depositato in prossimità dell'organo di manovra. Le manovre di apertura verranno debitamente registrate nel Registro Manovre degli Organi di Scarico della diga.

In condizioni di morbida potranno essere previste delle aperture dello scarico di fondo, rilasciando, per ciascuna operazione, quantitativi molto contenuti di sedimenti, indicativamente dell'ordine di qualche m^3 di materiale, per un breve periodo di tempo (15 minuti).

Le operazioni saranno programmate in modo tale da non coincidere con il periodo riproduttivo della fauna ittica presente a valle dello sbarramento, cioè dal mese di aprile al mese di giugno, a meno di improvvise esigenze legate alla sicurezza statica dei manufatti o alla gestione degli eventi di piena/alluvionali.

Relativamente alla compatibilità delle portate rilasciate in alveo durante le operazioni di apertura dello scarico di fondo, si fa presente che le portate rilasciate sarebbero di gran lunga inferiori a quelle massime risultanti dagli studi effettuati sulle fasce di pertinenza fluviale e quindi non provocherebbero conseguenze a valle dell'invaso.

Effetti potenziali

Le manovre di apertura dello scarico di fondo non hanno finalità di rimozione del materiale depositato nel bacino ma, essendo di breve durata, verrebbero eseguite per asportare solamente il modesto

quantitativo di materiale in prossimità dello scarico stesso e mantenerne quindi la completa efficienza: la quantità di materiale rimosso e fluitato a valle nel corso di ciascuna manovra di esercizio è quindi molto contenuta e caratterizzata da un impatto ambientale pressoché nullo.

Azioni di prevenzione e mitigazione

Una volta effettuata la chiusura dello scarico di fondo, le portate idrologiche del corpo idrico di valle e, eventualmente, le portate di sfioro rilasciate dallo sbarramento continueranno a defluire in alveo, producendo una forma di lavaggio del corpo idrico di valle e mitigando in maniera significativa l'effetto del modesto quantitativo di sedimenti trascinati a valle dalle manovre eseguite, accelerando così il ripristino delle condizioni iniziali. Inoltre, durante le manovre di apertura dello scarico di fondo, verrà comunque garantito il rilascio del DMV.

Piano di monitoraggio

Poiché tale manovra non risulta programmabile a priori, è di breve durata e bassa frequenza e il quantitativo di materiale eventualmente rilasciato a valle risulta molto esiguo, non si ritiene necessario pianificare un monitoraggio del corpo idrico ricettore. Inoltre, il regime idrologico in cui avviene l'operazione non garantisce condizioni di sicurezza per l'esecuzione delle misurazioni nel corpo idrico.

5.1.1 Effetti potenziali ovvero previsione modellistica di scenari di gestione: stima del materiale solido rilasciato a valle a seguito dell'apertura dello scarico di fondo

Nel seguito viene stimata la quantità di materiale solido messo in movimento e rilasciato a valle, a seguito delle condizioni idrauliche indotte dall'apertura dello scarico di fondo della diga in prossimità della luce di efflusso. Si trascura invece l'apporto di sedimento proveniente dal resto dell'invaso.

Gli scenari presi in esame riguardano una manovra di apertura dello scarico di fondo effettuata per mantenere la funzionalità di questo in relazione ai possibili accumuli localizzati di sedimenti. La manovra è pertanto finalizzata a mantenere lo scarico efficiente e non ad effettuare la fluitazione a valle dell'eventuale materiale solido accumulatosi nell'invaso.

I processi presi in esame (di mobilizzazione e risospensione del materiale solido rilasciato a valle della diga) sono indotti dall'incremento della capacità erosiva della corrente idrica a seguito dell'aumento localizzato di velocità nella zona antistante lo scarico di fondo, durante l'apertura dello stesso.

Per stimare la quantità di materiale solido messo in sospensione si utilizza un modello sedimentologico basato su formule empiriche di erosione, valide per materiale di natura non coesiva oppure coesiva a seconda dei sedimenti presenti, trascurando la rideposizione del sedimento eroso all'interno dell'invaso. I sedimenti sono ipotizzati monogranulari con caratteristiche dimensionali definite sulla base dei dati del campionamento granulometrico rilevati in campo. Si considera che solo le frazioni fini del sedimento possano essere mobilizzate e messe in risospensione: la sabbia fine (diametro rappresentativo $d=100$ micron) ed il limo-argilla (diametro rappresentativo $d=20$ micron).

Nel caso specifico in prossimità dello scarico di fondo del serbatoio domina un materiale limoso, con un diametro medio pari a 20 micron, per il quale il modello sedimentologico ipotizza uno sforzo critico al fondo pari a $\tau_c=0.02$ N/m² e la relazione di Partheniades.

La velocità della corrente idrica in prossimità dello scarico viene assunta pari al rapporto fra portata effluente ed area della luce. Successivamente viene valutato lo sforzo indotto sul fondo, da applicare ad un'area orizzontale di dimensioni 1.5 volte la larghezza dello scarico e verificando che lo sforzo indotto dalla corrente idrica sia superiore agli sforzi critici del sedimento.

Il volume stimato di materiale solido messo in risospensione nell'invaso è aumentato di una quantità che tiene in conto l'incremento di capacità erosiva dell'acqua conseguente alla maggiore velocità della corrente idrica indotta localmente dall'apertura degli scarichi.

La torbidità rilasciata a valle è, infine, valutata diluendo nella portata uscente dallo scarico, il volume di sedimento rimesso in sospensione.

Si osserva che, a seguito delle inevitabili incertezze legate ai dati e alle ipotesi semplificative assunte, i valori ottenuti applicando la metodologia modellistico-teorica sopra esposta, sono da ritenersi necessariamente approssimati (anche per la mancanza di una fase di calibrazione dei parametri utilizzati), ma data la notevole complessità e incertezza nella quantificazione del fenomeno fisico, gli approcci adottati sono da ritenersi in linea con lo stato dell'arte sull'argomento.

Scenario 1

Le condizioni idrauliche ipotizzate sono:

- livello dell'invaso alla quota massima di regolazione pari a 174.68 m s.l.m.;
- portata ipotetica di rilascio a valle dello scarico di fondo pari a 71 m³/s;
- durata della manovra = 15 minuti.

Sulla base della metodologia utilizzata e delle osservazioni precedenti, il volume di sedimenti complessivamente risospeso in prossimità dello scarico è stimato **dell'ordine di qualche centinaio di m³**, corrispondenti ad una concentrazione dell'acqua in ingresso **dell'ordine di qualche g/l** e alla portata di 71 m³/s scaricata dal fondo.

Scenario 2

- livello dell'invaso alla quota massima di regolazione pari a 174.68 m s.l.m.;
- portata ipotetica di rilascio a valle dello scarico di fondo compresa tra 7 e 14 m³/s;
- durata della manovra = 15 minuti.

In questo caso la stima del materiale solido mobilizzato in prossimità dello scarico di fondo è **dell'ordine di qualche m³** corrispondenti ad una concentrazione dell'acqua in ingresso **dell'ordine di qualche centinaio di mg/l** e alla portata compresa tra 7 e 14 m³/s scaricata dal fondo.

5.2 Spurgo sistematico dello scarico di fondo

5.2.1 Descrizione delle modalità di spurgo attuali

L'operazione di spurgo sistematico prevede l'apertura prolungata dello scarico di fondo durante eventi di piena significativi. L'apertura della paratoia di scarico determina la formazione di un cono di erosione, con rilascio verso valle del materiale accumulato in prossimità dello scarico stesso, come riscontrato nei risultati dell'ultimo rilievo batimetrico (par 4.1.2).

Inoltre, tale operazione previene la formazione di possibili accumuli di sedimento in prossimità degli organi di manovra dello scarico di fondo, garantendone la funzionalità ed efficienza nel tempo.

Il regime idrologico del fiume Candigliano nella sezione di sbarramento permette in generale di programmare questo intervento nel periodo tardo autunno-primavera, ovvero nei periodi in cui sono attesi eventi di piena significativi.

In base dell'analisi degli eventi estremi di piena riportata nel par. 3.6.4 risulta che, dal 2009 al 2020, alla sezione d'invaso si verificano in media 4 eventi di piena all'anno, con portate medie dell'ordine di 165 m³/s idonee per l'attuazione di tale operazione.

L'operazione di spurgo viene attualmente eseguita manualmente con l'apertura dello scarico di fondo quando le portate in ingresso al bacino superano il valore di circa 100 m³/s e l'invaso si trova in una condizione di sfioro. L'apertura dello scarico avviene in maniera graduale fino al raggiungimento della portata massima esitabile ad invaso pieno (circa 70 m³/s). Lo scarico viene mantenuto aperto per un certo numero di ore in funzione delle portate in ingresso al bacino e quindi dell'evento di piena. In base

ai dati dei registri d'impianto risulta che la durata media di apertura dello scarico di fondo è di circa 1 giorno per evento di piena. Nella fase decrescente della piena si procede alla chiusura graduale dello scarico di fondo. Eventuali portate in ingresso superiori alle portate massime invasabili continuano ad essere rilasciate a valle attraverso gli scarichi superficiali.

In base alla Circolare PCM 19 Marzo 1996 n. DSTN/2/7019 – “Disposizioni inerenti l'attività di Protezione Civile nell'ambito dei bacini in cui siano presenti dighe”, le manovre di apertura degli scarichi vengono effettuate in modo da provocare un graduale incremento dei rilasci, contenendone al massimo l'entità; nella fase crescente della piena la portata scaricata non deve superare la portata affluente al serbatoio, mentre nella fase decrescente, la portata scaricata non deve superare quella massima scaricata nella fase crescente.

5.2.2 Piano operativo di spurgo

Al fine di massimizzare i rilasci di sedimenti di fondo a valle dello sbarramento in occasione delle piene verranno effettuate alcune modifiche al programma attuale di spurgo. Le modifiche comporteranno:

- un aumento della durata di apertura dello scarico di fondo, considerando portate in ingresso inferiori rispetto a quella scelta come riferimento nella gestione attuale degli scarichi in fase di piena (100 m³/s)
- un mantenimento dell'apertura dello scarico nelle fasi finali della piena (coda piena).

Nel primo caso è stata ipotizzata un'apertura dello scarico di fondo con portate di piena pari a 80 m³/s e 90 m³/s.

Portata in ingresso di riferimento per apertura scarico di fondo [m ³ /s]	100	90	80
n° aperture scarico di fondo all'anno	4	5	5
durata totale apertura scarico di fondo [ore]	89	104	129

Tabella 5-1: n° aperture e durata totale (in ore) di apertura scarico in occasione di eventi di piena in caso di portate in ingresso al bacino pari a 100, 90 e 80 m³/s. i dati in tabella fanno riferimento ai valori medi di apertura scarico e durata totale nel periodo 2010-2020.

Analizzando i dati idrologici ricostruiti per il sito in oggetto, è stato riscontrato che, diminuire la portata di riferimento che determina l'apertura dello scarico, porterebbe ad un incremento dei tempi di apertura e chiusura dello scarico di fondo pari a +15 ore per portate pari a 90 m³/s e +40 ore per portate pari a 80 m³/s nell'arco di un anno. In tali condizioni il livello l'invaso si manterrebbe all'interno delle condizioni di sfioro tra la massima regolazione e il massimo invaso così come non varierebbe la capacità massima esitabile dallo scarico di fondo, di circa 70 m³/s alle quote di sfioro.

L'aumento del tempo di apertura dello scarico comporterà un aumento della quantità d'acqua scaricata a valle ed un potenziale incremento dei rilasci dei sedimenti di fondo. Ad esempio, ipotizzando una portata solida di fondo pari a circa un terzo di quella teorica riscontrabile a valle in occasione delle piene significative, stimata in circa 0.137 m³/s, e considerando un materiale movimentato di tipo fine, si stima un incremento dei rilasci di sedimenti di circa 2'500 e 4'000 m³ rispettivamente per aperture dello scarico di fondo al raggiungimento di una portata minima in ingresso pari a 90 e 80 m³/s.

Nonostante tale approccio preveda un aumento dei rilasci dei solidi sospesi di fondo per effetto del prolungamento del tempo di apertura dello scarico di fondo è ragionevole ipotizzare che il rilascio dei solidi sospesi totali riscontrabili a valle non aumenti in maniera significativa in quanto:

- durante le piene viene già effettuato un rilascio non trascurabile dei solidi sospesi tramite l'apertura dello scarico di superficie, sedimenti che altrimenti andrebbero a depositarsi nell'invaso;
- in occasione delle piene il trasporto solido in sospensione è, in generale, prevalente rispetto a quello di fondo. Il materiale in sospensione viene quindi rilasciato a valle tramite lo scarico di superficie, che risulta essere sempre in funzione indipendentemente dall'apertura dello scarico di fondo;
- l'apertura dello scarico di fondo comporterà nelle fasi iniziali di manovra un aumento significativo del trasporto solido di fondo nelle aree prossime all'imbocco di scarico mentre durante la restante parte dell'evento di piena si prevede possa ridursi gradualmente fino a valori contenuti e dello stesso ordine di grandezza delle torbidità misurabili dai rilasci più superficiali. In particolare, l'apertura della paratoia di scarico determinerà un'erosione localizzata in prossimità dell'imbocco di scarico. I quantitativi rimossi varieranno in funzione delle condizioni morfologiche del fondale davanti alla paratoia di scarico. In via del tutto teorica, ipotizzando l'apertura completa dello scarico di fondo alla massima portata esitabile per ciascun evento di piena ($71 \text{ m}^3/\text{s}$), che viene effettuata mediamente 4 volte l'anno (Tabella 5-1), e considerando una concentrazione media di rilascio pari a 5 g/l , si avrebbe un rilascio annuo dei sedimenti antistanti l'imbocco di scarico compreso tra $2'000$ e $3'000 \text{ m}^3$. Tale contributo è sicuramente sovrastimato in quanto l'interrimento dell'imbocco di scarico varia nel tempo e tende a ridursi all'aumentare della frequenza di spurgo. Inoltre, tale operazione viene effettuata con regolarità dal Gestore, garantendone l'efficienza di scarico in occasione di successive piene o di eventuali svassi del bacino. La ripetitività dell'operazione nel periodo di piena limita di fatto gli impatti ambientali di valle in quanto si riducono i volumi di materiale eroso e quindi le concentrazioni dei solidi sospesi rilasciati per ciascun evento. Inoltre, i rilasci vengono comunque diluiti con le acque provenienti dallo scarico di superficie, mitigando i potenziali effetti associati alle torbidità.

Come ulteriore modifica delle attuali manovre di spurgo verrà attuato un mantenimento dell'apertura dello scarico di fondo in coda di piena. L'apertura prolungata dello scarico nella fase di esaurimento della piena creerà uno svasso parziale temporaneo per effetto di una diminuzione delle portate in ingresso ed un conseguente abbassamento del livello per un limitato periodo di tempo.

In questo caso il trasporto interesserà principalmente quei sedimenti presenti nella gran parte dei fondali dell'invaso, che verranno mobilitati sotto l'azione di erosione e trascinamento esercitata dai deflussi di piena a contatto con il letto fluviale, massimizzando l'efficacia di rilascio verso valle. Questa fase sarà seguita da rilasci di acqua pulita dagli organi di scarico più superficiali una volta reinvasato il bacino. Le acque pulite rilasciate dallo sbarramento favoriranno quindi un lavaggio del fiume Candigliano a valle dello sbarramento, riducendo gli impatti ambientali associati ai possibili depositi di materiale più fine (clogging) al termine dell'evento di piena.

Al momento, sulla base delle informazioni a disposizione, non è possibile quantificare i volumi effettivamente erosi applicando tale approccio. Tuttavia, si ritiene che il prolungamento dell'apertura di scarico possa essere uno strumento efficace per massimizzare i volumi erosi dal bacino e recuperare parzialmente la capacità d'invaso.

Effetti potenziali

All'apertura iniziale delle paratoie dello scarico di fondo si produrrà un primo picco di concentrazione di materiale in sospensione, corrispondente all'evacuazione del volume di sedimenti posti a ridosso di questo.

Mantenendo la paratoia di scarico aperta si potrebbero verificare ulteriori picchi di torbidità in funzione dei processi di erosione e trasporto del materiale solido che si vengono a creare naturalmente durante l'evento di piena.

Azioni di prevenzione e mitigazione

Le operazioni verranno compiute in occasione delle piene, in condizioni già perturbate naturalmente e caratterizzate da abbondanza idrica.

Al fine di mitigare anche l'impatto di brusche variazioni delle portate nel corpo idrico ricettore si cercherà di ridurre, per quanto possibile, l'entità delle portate in uscita dall'invaso, prolungando eventualmente il tempo di rilascio.

Una volta effettuata la chiusura dello scarico di fondo, le portate idrologiche del corpo idrico di valle ed eventualmente, le portate di sfioro rilasciate dallo sbarramento, continueranno a defluire in alveo, producendo una forma di lavaggio del corpo idrico di valle e mitigando in maniera significativa l'effetto del quantitativo di sedimenti trascinati a valle dalle manovre eseguite, accelerando così il ripristino delle condizioni iniziali.

Piano di monitoraggio

Poiché le manovre di spurgo risulteranno del tutto occasionali e non pianificabili a priori (in quanto legate al verificarsi di eventi idrologici di una certa significatività), non si ritiene opportuno prevedere un monitoraggio del corpo idrico ricettore. Inoltre, il regime idrologico in cui avviene l'operazione non garantisce condizioni di sicurezza per l'esecuzione delle misurazioni nel corpo idrico.

5.3 Svasso totale per manutenzione e/o ispezione della diga e degli organi di scarico

Nella gestione dell'invaso potranno essere programmate delle operazioni di svasso totale per consentire manutenzioni e/o ispezioni del manufatto della diga e degli organi di manovra e per garantire le verifiche di funzionamento dell'opera di presa e di scarico.

Qualora fosse necessario effettuare tali attività per eseguire interventi di manutenzione/ispezione, il dettaglio dell'operazione di svasso sarà descritto in un Piano Operativo che sarà consegnato alle Autorità competenti almeno 4 mesi prima dell'inizio delle operazioni.

L'operazione si articolerà nelle seguenti fasi:

- abbassamento progressivo del livello dell'invaso fino alla quota minima di regolazione del bacino tramite l'utilizzo dell'opera di derivazione;
- riduzioni delle portate in arrivo al bacino mediante la messa fuori servizio degli eventuali impianti di monte;
- eventuale intercettazione delle portate fluenti residue nel bacino tramite idonee opere realizzate in alveo (es. ture provvisorie), che consentono di deviare i deflussi in arrivo verso la derivazione o gli scarichi e ridurre i fenomeni di ruscellamento sul sedimento normalmente presente sul fondo dell'invaso;
- una volta raggiunta la quota di minima regolazione, apertura graduale dello scarico di fondo per consentire lo svuotamento totale dell'invaso;
- esecuzione delle attività preventive di manutenzione e/o di ispezione;
- al termine di tali operazioni chiusura dello scarico, rimozione delle eventuali opere di intercettazione dei deflussi in ingresso al bacino, e ripristino delle quote di normale esercizio del bacino.

Lo svuotamento del bacino avverrà inizialmente utilizzando l'opera di derivazione, tramite la quale sarà possibile diminuire il livello di invaso fino alla quota di minima regolazione di 169.16 m s.l.m..

Nella fase successiva, il volume di acqua presente tra quota 169.16 m s.l.m. e il fondo del bacino, dell'ordine di 20'000 m³, verrà evacuato aprendo gradualmente lo scarico di fondo.

Lo svuotamento del bacino verrà eseguito nel periodo idraulicamente più favorevole (indicativamente nel periodo estivo, quando le portate naturali di deflusso in alveo sono generalmente in condizioni di

magra), nel rispetto di quanto prescritto sia dal FCEM e dal DPC approvati, sia di quanto contenuto nell'art.7 del DM 30/06/2004, senza che si verificano apprezzabili rilasci di materiale dal bacino.

Lo svuotamento totale del bacino richiede un periodo di tempo da uno a pochi giorni, a seconda del tipo di programmazione che verrà prevista nella centrale del Furlo per l'abbassamento dei livelli d'invaso all'interno delle quote di esercizio. Ad esempio, l'invaso potrà essere svuotato in meno di una giornata derivando in continuo a pieno carico (31.5 m³/s) oppure attraverso una programmazione discontinua all'interno della giornata utilizzando anche un solo gruppo, al fine di creare un abbassamento più lento del bacino alle quote di esercizio e allungare i tempi di svaso. Al raggiungimento delle quote prossime alla minima regolazione rimarrà un volume d'acqua contenuto, che potrà essere rilasciato solo tramite l'apertura dello scarico di fondo.

Ipotizzando di effettuare lo svaso nel periodo estivo gli apporti idrici in ingresso sono attesi essere molto bassi (inferiori al 1 m³/s nel periodo di magra e in alcuni momenti anche inferiori alle portate di DMV, come riscontrato negli ultimi anni di esercizio) e quindi più facilmente gestibili.

Svuotato completamente il bacino, mantenendo aperti gli organi di scarico, sarà possibile procedere con le operazioni di manutenzione e/o ispezione previste.

Al termine delle attività di manutenzione, il reinvaso del serbatoio avverrà tramite la chiusura degli organi di scarico e il ripristino delle quote di esercizio per riempimento con le portate fluenti dal bacino imbrifero del fiume Candigliano. Questa fase richiede un periodo di tempo strettamente dipendente dai deflussi in arrivo e dal programma di lavoro della centrale del Furlo, non ipotizzabili a priori.

Stabilità delle sponde del serbatoio

Le operazioni di svaso del serbatoio verranno attuate con velocità di esecuzione compatibili con la natura dei versanti dell'invaso stesso. Poiché lo svuotamento del bacino avverrebbe per fasi e con tempistiche che, rapportate alla natura dei versanti spondali, sono senz'altro da ritenersi cautelativamente sufficienti a garantirne l'integrità, si ritiene che la manovra gestionale di svaso non possa provocare, nel corso della sua esecuzione, smottamenti o frane delle sponde del serbatoio neppure di modesta entità.

A conferma di quanto sopra esposto si rileva che, nella normale gestione dell'invaso, le manovre di svaso/reinvaso del bacino, eseguite con variazioni di livello molto contenute, non hanno mai provocato fenomeni di smottamento delle rive.

In occasione dello svaso del bacino verrà eseguita un'ispezione delle sponde e del paramento di monte, degli organi di scarico e delle gallerie, secondo quanto indicato nell'art. 6.2.3 del FCEM della diga del Furlo, approvato dal Servizio Nazionale Dighe (attuale Registro Italiano Dighe) in data 12/02/1998. I risultati delle ispezioni verranno opportunamente documentati dal Gestore mediante un'apposita relazione illustrativa degli accertamenti svolti e una dettagliata documentazione fotografica delle opere interessate.

Effetti potenziali

Durante lo svuotamento del volume residuo del bacino tramite apertura dello scarico di fondo, potrà verificarsi un picco di concentrazione di materiali in sospensione, normalmente di breve durata, corrispondente all'evacuazione del modesto volume di sedimenti posti a ridosso delle paratoie. Un secondo picco si produrrà per erosione durante la fase finale dello svuotamento dell'invaso e corrisponderà al trascinarsi del materiale fine presente sul fondo del bacino in condizioni di ruscellamento.

L'entità degli effetti delle operazioni di svaso sul corpo idrico ricettore, sulle comunità biologiche e sugli altri utilizzatori della risorsa ubicati a valle dello sbarramento dipende dalla durata delle attività, varia in relazione alla distanza dallo sbarramento e può essere limitata adottando specifiche azioni di mitigazione degli impatti, come descritto nel paragrafo seguente.

Non è possibile definire con esattezza la lunghezza del tratto fluviale interessato dall'impatto delle operazioni idrauliche, poiché tale dato dipende da diversi fattori, quali le portate in gioco, i volumi di acqua e materiale scaricati, la concentrazione di solidi sospesi, la presenza di confluenze. Si può ipotizzare che gli effetti dello svaso possano propagarsi per circa 6 km fino al sottostante invaso di San Lazzaro. Vista la distanza e la presenza dell'invaso di S. Lazzaro, non sono invece previste interferenze delle operazioni sul prelievo di acqua potabile effettuato sull'opera di presa di S. Lazzaro, presso il dissabbiatore.

Il DMV verrà garantito mantenendo aperta la paratoia dello scarico di fondo e rilasciando verso valle una portata strettamente dipendente dalle portate in ingresso al bacino.

Azioni di prevenzione e mitigazione

La manovra di svuotamento non ha come finalità la rimozione dei sedimenti depositati all'interno del serbatoio. Nel corso delle operazioni di svuotamento verranno prese tutte le possibili precauzioni finalizzate a minimizzare l'impatto delle operazioni stesse sul corpo idrico ricettore.

Un'eventuale breve operazione di fluitazione tramite apertura dello scarico di fondo, antecedente le manovre di svaso, svolta in occasione delle manovre di gestione ordinaria descritte nel presente Progetto di Gestione, consentirà di rimuovere una parte del materiale fine sedimentato sul fondo del bacino, in modo che il processo di erosione dei sedimenti che si verifica solitamente nelle fasi iniziali dello svaso possa indurre effetti minimi.

Per quanto riguarda le opere di mitigazione, esse saranno concordate in un tavolo tecnico con le Autorità competenti.

Poiché le paratoie di scarico rimarranno aperte a invaso vuoto, verrà garantito un rilascio continuo a valle in funzione delle portate in ingresso al bacino. Tali portate contribuiranno a mitigare l'effetto del quantitativo iniziale di sedimenti trascinati a valle nella fase iniziale di apertura degli organi di scarico, producendo una forma di lavaggio dell'alveo di valle, e favoriranno gradualmente il ripristino delle condizioni pre-svaso.

A valle dello sbarramento sono presenti il fosso Bellaguardia in destra orografica e il fiume Metauro in sinistra orografica, che potrebbero contribuire a diluire la torbidità in arrivo da monte.

Relativamente alla fauna ittica dell'invaso, lo svuotamento verrà eseguito abbassando gradualmente il livello di invaso tramite la derivazione, nell'arco di qualche giorno, in modo da consentire ai pesci di spostarsi spontaneamente verso il volume residuo invasato nei pressi dello sbarramento. Lo svaso completo del bacino verrà completato tramite apertura dello scarico di fondo. Durante tale manovra il pesce del bacino verrà trasferito verso valle nel fiume Candigliano e potrà distribuirsi lungo il corso d'acqua fino al sottostante invaso di S. Lazzaro, ubicato a circa 6 km dalla diga del Furlo.

Durante tale operazione sarà valutata la necessità di procedere ad azioni di recupero e di trasferimento in aree più idonee di eventuali esemplari di fauna ittica in difficoltà.

Inoltre, per limitare il più possibile il trascinamento di grandi quantità di materiali in sospensione verso valle, come misure di prevenzione nei confronti della fauna ittica sono previste le operazioni di apertura dello scarico di fondo in piena descritte al precedente par. 5.1 da attuarsi nei periodi precedenti lo svaso. Infine, prima dell'inizio delle attività si provvederà a richiedere l'autorizzazione secondo l'art. 14 della L.R. 11-2003 – "Norme per l'incremento e la tutela della fauna ittica e disciplina della pesca nelle acque interne".

Monitoraggio del corpo idrico ricettore

Il piano di indagine per la sorveglianza ambientale degli effetti idrobiologici delle operazioni descritte prevede l'esecuzione di controlli ecologici lungo il fiume ricettore in una stazione a monte del bacino,

come riferimento, e in due stazioni a valle dell'invaso, indicativamente ubicate entro 1 km dallo sbarramento e a circa 3 km.

Le indagini saranno predisposte secondo le indicazioni di ARPA Marche (Prot. ARPAM n. 0027859 del 01/09/2021) e saranno definite nel dettaglio nel Piano Operativo delle attività.

Indicativamente le indagini saranno articolate in due fasi: una prima dei rilasci, con l'obiettivo di fornire dati sulla situazione iniziale degli indicatori ecologici considerati, in condizioni di normale esercizio del bacino e l'altra dopo i rilasci, per la verifica degli effetti potenziali delle operazioni idrauliche sugli indicatori presi in considerazione e il riscontro del loro recupero nel medio termine spazio-temporale.

Il Gestore dell'impianto concorderà preventivamente la data di inizio delle operazioni con ARPA Marche, Provincia e Genio Civile territorialmente competenti comunicando con congruo preavviso data e ora di inizio. Le attività di controllo saranno avviate almeno un'ora prima dell'inizio dello svaso e si concluderanno almeno sei ore dopo la fine delle operazioni.

Il piano di monitoraggio prevede lo svolgimento delle seguenti indagini:

- monitoraggio della qualità dell'acqua a valle dello sbarramento (svolto durante i rilasci in continuo e in concomitanza con il monitoraggio biologico),
- controllo dei macroinvertebrati di fondo a monte e a valle della diga (effettuato prima, 1 mese dopo e 1 anno dopo i rilasci),
- indagine ittiologica quali-quantitativa a monte e a valle della diga (effettuato prima, 1 mese dopo e 1 anno dopo i rilasci).

Durante le operazioni, nella prima stazione di controllo a valle dello sbarramento, saranno rispettati i seguenti limiti di concentrazione di solidi in sospensione e di ossigeno disciolto, agendo con opportune regolazioni degli organi di scarico e modulandole nel tempo.

- soglie di accettabilità di concentrazione di solidi in sospensione e durata di esposizione da non superare nelle acque rilasciate:
 - Max 40 g/l per una durata < 0.5 h
 - 15 g/l < conc SS < 20 g/l per una durata < 1.5 h
 - 10 g/l < conc SS < 15 g/l per una durata < 3.0 h
 - 5 g/l < conc SS < 10 g/l per una durata < 6.0 h
 - < 5 g/l fino al termine delle operazioni

limiti di concentrazione di ossigeno disciolto nelle acque rilasciate:

- sempre superiori a 5 mg/l, pari a circa il 40% di saturazione.

I risultati dei monitoraggi saranno illustrati in un rapporto tecnico che costituirà un aggiornamento del presente Progetto di Gestione.

5.4 Spurgo a bacino vuoto con apertura dello scarico di fondo

Lo spurgo rappresenta un'operazione di sfangamento che fa esitare a valle, prevalentemente a bacino vuoto, il materiale solido sedimentato, trascinato o disperso nella corrente idrica attraverso gli organi di scarico di fondo (o eventualmente di presa).

L'operazione di spurgo, la cui operazione potrebbe essere eventualmente ipotizzata in primavera, non è praticabile per l'invaso del Furlo per il ripristino del volume utile d'invaso poiché presenta alcune importanti criticità:

- le attività di fluitazione o spurgo non sarebbero efficaci per la rimozione di elevati quantitativi di sedimento (circa 382'000 m³ al 2023 nel volume utile), in quanto tale materiale risulta dislocato in maniera irregolare all'interno del bacino e presenta strati più profondi caratterizzati da una maggiore compattezza, di difficile mobilitazione;
- per rendere l'attività più efficace sarebbe necessario utilizzare mezzi meccanici all'interno dell'invaso con relativi problemi di sicurezza per i mezzi e gli operatori, soprattutto nell'area prossima allo sbarramento, caratterizzata da materiale fine incoerente con spessori di parecchi metri;
- l'operazione dovrebbe essere preceduta da uno svaso e da un successivo mantenimento delle condizioni di ruscellamento, che determinerebbero prolungati periodi di fuori servizio e conseguenti perdite di producibilità per il gestore;
- le attività richiederebbero lunghi tempi di lavoro a bacino vuoto, in cui l'impianto sarebbe fuori servizio, comportando quindi elevati costi in termini di mancata producibilità e, in generale, uno spreco della risorsa idrica;
- la fluitazione a bacino vuoto non potrebbe essere svolta durante il periodo luglio-ottobre in quanto l'invaso, rappresentando una riserva strategica per l'approvvigionamento idropotabile della zona, deve essere mantenuto con un livello il più possibile elevato, ovvero a una quota prossima a quella massima di regolazione dell'impianto;
- il rilascio verso valle di quantitativi significativi di sedimenti comporterebbe un impatto significativo sulle comunità animali e vegetali del fiume Candigliano presenti a valle, correlato all'aumento di torbidità e al deposito dei sedimenti nel letto fluviale;
- il materiale fluitato a valle andrebbe a depositarsi nel sottostante bacino di S. Lazzaro, compromettendo in modo significativo la sua capacità di invaso.

5.5 Sfangamento in coda all'invaso

L'intervento prevede la rimozione del materiale depositato tra la parte centrale e la coda del bacino, dalle attuali quote di interrimento fino alla quota di 169.50 m s.l.m.. Il volume potenziale di rimozione è stimato fino ad un massimo di circa 70'000 m³ di sedimenti, i quali risultano caratterizzati da una granulometria prevalentemente grossolana. L'estensione massima di scavo è stimata in circa 40'000 m² e si sviluppa per circa 1.2 km (Figura 5-1).

La stima di dettaglio dei volumi effettivi di rimozione dovrà essere verificata prima delle lavorazioni attraverso l'esecuzione di un rilievo in situ, che permetta di aggiornare le reali volumetrie di deposizione nell'alveo rispetto a quelle determinate con l'ultimo rilievo disponibile.

Inoltre, in fase di progettazione, dovranno essere escluse, all'interno dell'area di scavo, i tratti dove si prevede la realizzazione di attraversamenti fluviali, necessari per il passaggio dei mezzi meccanici tra le sponde durante le lavorazioni.

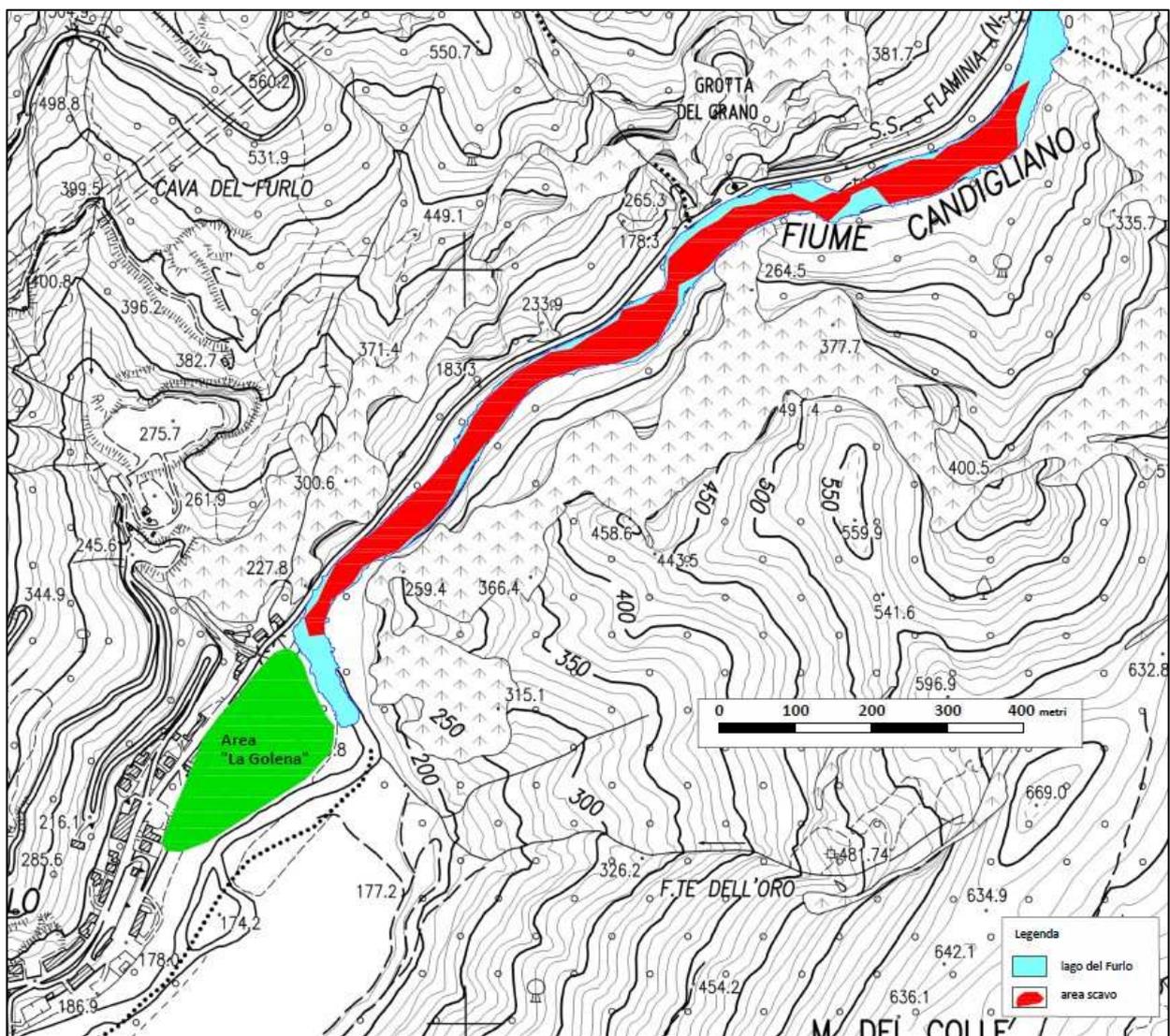


Figura 5-1 estensione indicativa dell'area di scavo in coda all'invaso

Le attività di scavo verranno eseguite mediante mezzi meccanici che lavoreranno in modo da garantire produzioni giornaliere elevate, di circa 1000 m³ al giorno, riducendo così al massimo la durata delle operazioni, che risulta comunque piuttosto prolungata (minimo 3 mesi). Le operazioni potranno essere

eseguite nel periodo idrologico più favorevole per l'asciugatura e il trasporto dei sedimenti (luglio-settembre), quando le portate attese in arrivo da monte sono minime.

Preliminarmente alle attività di scavo verrà effettuato un abbassamento del livello dell'invaso fino alla quota di minima regolazione.

L'abbassamento del livello d'invaso verrà eseguito tramite la derivazione verso la centrale del Furlo, e successivamente, tramite l'apertura parzializzata dello scarico di fondo della diga. Se necessario, l'acqua presente in eventuali pozze presenti nelle aree di intervento sarà convogliata verso l'invaso residuo utilizzando pompe idrauliche da cantiere.

Le aree di lavoro saranno mantenute il più possibile in asciutta, regimando le acque in arrivo dal fiume Candigliano tramite la realizzazione di ture o guadi. Inoltre, verranno realizzate delle piste in alveo per il transito dei mezzi al servizio dei cantieri. Le piste saranno di natura provvisoria in quanto le stesse saranno rimosse al termine dei lavori. terminate le operazioni di scavo si procederà allo smantellamento tempestivo del cantiere e al ripristino originario delle aree di lavoro.

Poiché in corrispondenza di una delle stazioni di campionamento dei sedimenti (stazione 8, par. 4.2) è stata rilevata la presenza di alcuni idrocarburi policiclici aromatici in concentrazioni superiori ai limiti previsti dalla normativa per il riutilizzo in siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale, ai sensi dell'allegato 5, alla parte IV, del D.Lgs. 152/06 una volta svuotato il bacino, prima dell'inizio degli scavi, si provvederà a verificare la reale estensione della contaminazione mediante opportuni sondaggi, come richiesto da ARPAM (Prot. n. 0027859 del 01/09/2021); tutto il materiale che risultasse in effetti contaminato, verrà opportunamente smaltito in idonea discarica.

Il dettaglio dell'operazione sarà descritto in un Piano Operativo che sarà consegnato alle Autorità competenti almeno 4 mesi prima dell'inizio delle operazioni.

Siti di destinazione dei sedimenti

Le determinazioni analitiche condotte sui sedimenti prelevati nell'ottobre 2020 hanno evidenziato l'assenza di criticità in relazione alle caratteristiche chimico-fisiche del materiale.

Sulla base di tali risultati si ipotizza che il materiale asportato dal bacino possa essere riutilizzato per ripristini ambientali ai sensi del DPR 120/2017, in aree estrattive o in altre zone/attività eventualmente indicate dall'Autorità competente.

Analizzando il Programma Provinciale Attività Estrattive della provincia di Pesaro e Urbino, nel territorio immediatamente circostante l'invaso del Furlo sono presenti alcune aree estrattive che potrebbero necessitare del materiale rimosso per le attività di ripristino:

- **area 1:** cava dismessa con necessità di prioritario intervento di recupero (CD3A) – cava n. 001 del PPAE (calcari stratificati) nel comune di Acqualagna, in località Furlo, per la quale esiste un progetto di recupero (Programma esecutivo recupero cave dismesse, approvato con D.C.P. n°77 del 29/10/2012).
- **area 2:** cave di calcare dismesse n° 305, 309, 315, in località S. Anna del Furlo, Fossombrone.



Figura 5-2 Ubicazione aree estrattive nelle immediate vicinanze del bacino del Furlo (sfondo Google Earth)

In riferimento alla Tavola “Ripulitura degli invasi conferimento dei sedimenti ai fini del ritombamento di alcune cave di ghiaia individuate dal P.P.A.E. - ipotesi operativa” (Amministrazione Provinciale di Pesaro e Urbino - Servizio 4.2 Suolo - Attività Estrattive - Acque Pubbliche - Servizi Pubblici Locali, 2012), allegata al presente Progetto di Gestione, in vista della ripulitura degli invasi ubicati sull’asta del Metauro, possono essere presi in considerazione anche i seguenti siti, previa verifica dei quantitativi potenzialmente conferibili:

- **cava GH005-1** “Il Piano di Smirra” nel comune di Cagli, a una distanza di circa 15 km a monte dalla diga del Furlo;
- **cava GH006-1 e GH006-2** ubicata a valle dello sbarramento di Tavernelle, a una distanza di circa 20-25 km dalla diga del Furlo.

Al momento della redazione del presente Progetto di Gestione è stata verificata preliminarmente la disponibilità e l’idoneità dell’area estrattiva GH005-1 a Cagli.

Non sono invece da considerare le cave GH005-2 (Cagli), GH007 (Fossombrone), GH008 (Cartoceto) e GH001 (Fano) poiché non attive o esaurite.

A distanze maggiori dall’invaso del Furlo, comprese tra i 30 e i 40 km, nelle Province di Pesaro-Urbino, Fano e Ancona, sono presenti anche altri siti estrattivi con ampie disponibilità volumetriche di proprietà di alcune ditte private.

Tali ipotesi saranno valutate e concordate con l’Autorità competente, prendendo anche in considerazione altre aree disponibili oppure attività di costruzione o di ripristino presenti nel territorio provinciale.

Effetti potenziali

L'operazione prevede la rimozione di sedimento in asciutta, dopo aver abbassato il livello fino alla minima regolazione tramite l'opera di derivazione, senza produrre intorbidimento significativo delle acque del bacino.

Durante l'esecuzione delle attività e per tutta la loro durata non sarà possibile garantire la disponibilità idrica normalmente assicurata dall'invaso del Furlo alla valle del Metauro nei periodi maggiormente siccitosi (luglio-settembre).

La realizzazione del cantiere nell'area "La Golena" comporterà l'occupazione di tale area per tutta la durata delle attività (giugno-settembre). Nell'area "La Golena" non è previsto il taglio della vegetazione presente.

Al termine delle operazioni si prevede il ripristino dei luoghi allo stato iniziale. Inoltre, qualora l'area venisse utilizzata anche come sito di deposito temporaneo dei sedimenti durante le operazioni di scavo-carico -trasporto, al termine delle attività si provvederà alla valutazione dell'assenza di eventuali contaminazioni, mediante opportuni sondaggi.

Le interferenze del trasporto del materiale rimosso verso i siti di destinazione sulla viabilità locale andranno valutate sulla base della localizzazione di tali aree.

A titolo esemplificativo, il trasporto di circa 1000 m³/giorno richiederebbe in media circa 143 viaggi a/r in una giornata lavorativa con autocarri da 10÷15 m³ su tratte di circa 10÷15 km.

Azioni di prevenzione e mitigazione

In caso di svuotamento parziale del bacino si prevede un abbassamento graduale del livello del bacino, distribuito in più giorni attraverso una programmazione oculata della produzione idroelettrica, in modo da permettere una migrazione spontanea della fauna ittica verso la diga.

Al termine delle operazioni di svaso parziale, nel caso in cui una parte del pesce rimanesse intrappolata in pozze o anse isolate lungo l'alveo del bacino, accedendo con gli operatori a piedi dalla riva sinistra (se possibile, in condizioni di sicurezza) e trasferendo gli esemplari nel volume d'acqua residuo o nel corso d'acqua subito a valle dello sbarramento tramite l'utilizzo di vasconi adeguatamente ossigenati e mezzi su ruota, percorrendo la ex Strada Flaminia.

Nel caso in cui la fauna ittica dovesse trovarsi in difficoltà a valle della diga, durante il periodo di svolgimento delle operazioni di asportazione dei sedimenti in coda al bacino, si accederà con degli operatori da punti accessibili in sicurezza lungo il corso d'acqua.

Inoltre, per limitare il più possibile il trascinarsi di grandi quantità di materiali in sospensione verso valle, come misure di prevenzione nei confronti della fauna ittica sono previste delle operazioni di apertura dello scarico di fondo in piena come descritto nei paragrafi precedenti.

Inoltre, prima dell'inizio delle attività si provvederà a richiedere l'autorizzazione secondo l'art. 14 della L.R. 11-2003 – "Norme per l'incremento e la tutela della fauna ittica e disciplina della pesca nelle acque interne".

Monitoraggio del corpo idrico ricettore

Il monitoraggio del corpo idrico ricettore sarà eseguito come descritto al precedente paragrafo 5.3, prevedendo anche una stazione di monitoraggio nell'invaso residuo.

5.6 Sfangamento a bacino pieno e sistemazione in aree estrattive

L'attività prevede la rimozione del materiale accumulato nell'invaso a bacino pieno e successivo trasporto verso aree estrattive o discariche ubicate nel territorio circostante l'invaso.

L'asportazione dei sedimenti verrà eseguita tramite una draga idraulica dotata di disagregatori (meccanici e/o idraulici) fissata su un pontone galleggiante opportunamente ancorato. Il materiale aspirato dalla draga viene convogliato, tramite una condotta, in un impianto di trattamento chimico fisico mobile

oppure vasche di decantazione o in geotubi, per favorirne l'asciugatura prima del trasporto verso il sito di destinazione finale.

L'area d'invaso eventualmente interessata dalle operazioni di rimozione è compresa tra lo sbarramento e la zona centrale del bacino, con una superficie di 48'500 m² e una distanza di 1000 m (Figura 5-3). Tale area è caratterizzata da una granulometria prevalentemente fine e quindi idonea per operazioni di sfangamento di questa tipologia.

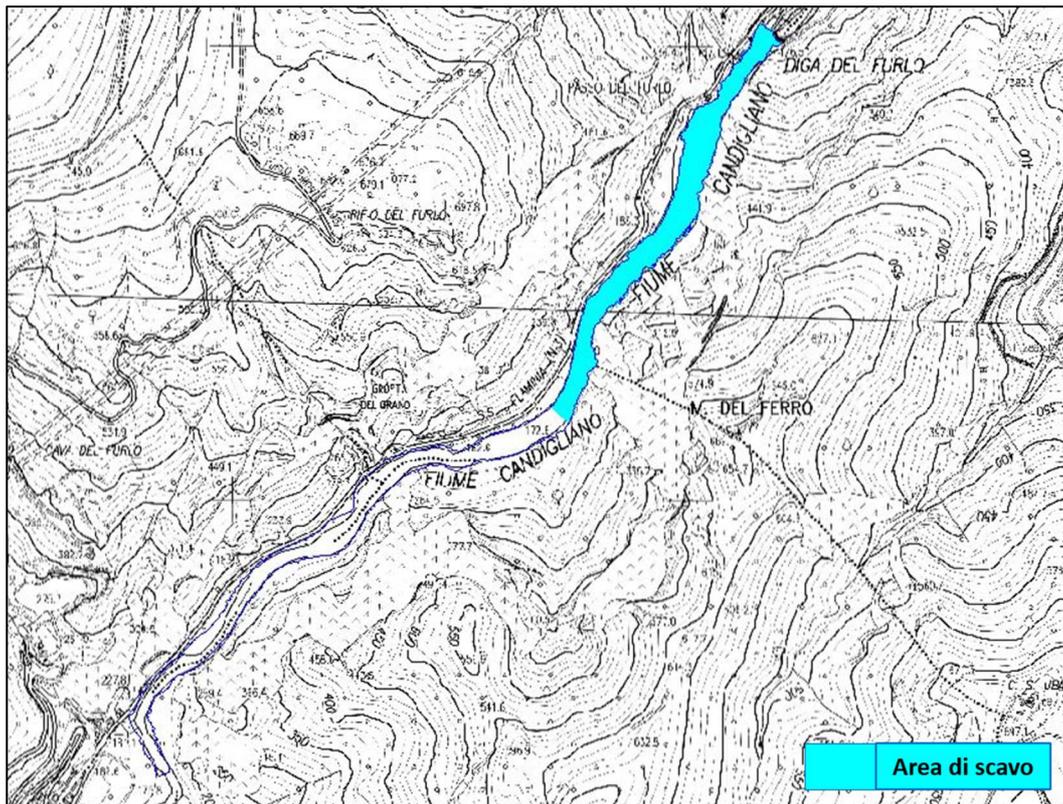


Figura 5-3: area di scavo in centro bacino e nei pressi dello sbarramento

I volumi potenziali di rimozione nell'area indicata in Figura 5-3 sono stati stimati in circa 310'000 m³ di sedimento.

Tale tipologia di intervento presenta però criticità significative, sia di tipo operativo che di tipo ambientale, descritte nel seguito.

Per poter rimuovere elevati quantitativi di sedimento (circa 310'000 m³) si dovrebbero ipotizzare produzioni spinte (almeno fino a circa 2500 m³/giorno), o rimozioni in continuo (h24) con portate ridotte, utilizzando una o più pompe aspiranti in parallelo, in modo da ridurre al minimo i periodi di dragaggio.

Le attività di dragaggio potrebbero essere eseguite per quasi tutto l'anno, ad eccezione dei periodi di piena, e a bacino pieno, senza comportare fuori servizio dell'impianto, ma richiederebbero lunghi periodi di lavoro, con relativi elevati costi di acquisto/noleggio delle attrezzature, fornitura elettrica e mantenimento pompe. A titolo indicativo la sola operazione di aspirazione dei sedimenti, ipotizzando di lavorare con produzioni dell'ordine di 2000÷2500 m³/giorno, comporterebbe un periodo di tempo di almeno 5 mesi.

Il materiale rimosso con pompa idraulica durante le operazioni di dragaggio è costituito da una miscela di acqua con una bassa percentuale di sedimenti a granulometria prevalentemente fine, che andrebbero disidratati prima dello stoccaggio definitivo tramite impianto di trattamento. In alternativa si potrebbe

rendere necessario prevedere un periodo di asciugatura in un'area di stoccaggio temporanea, da individuare nei pressi dell'invaso, prima del trasporto verso il sito di deposito finale.

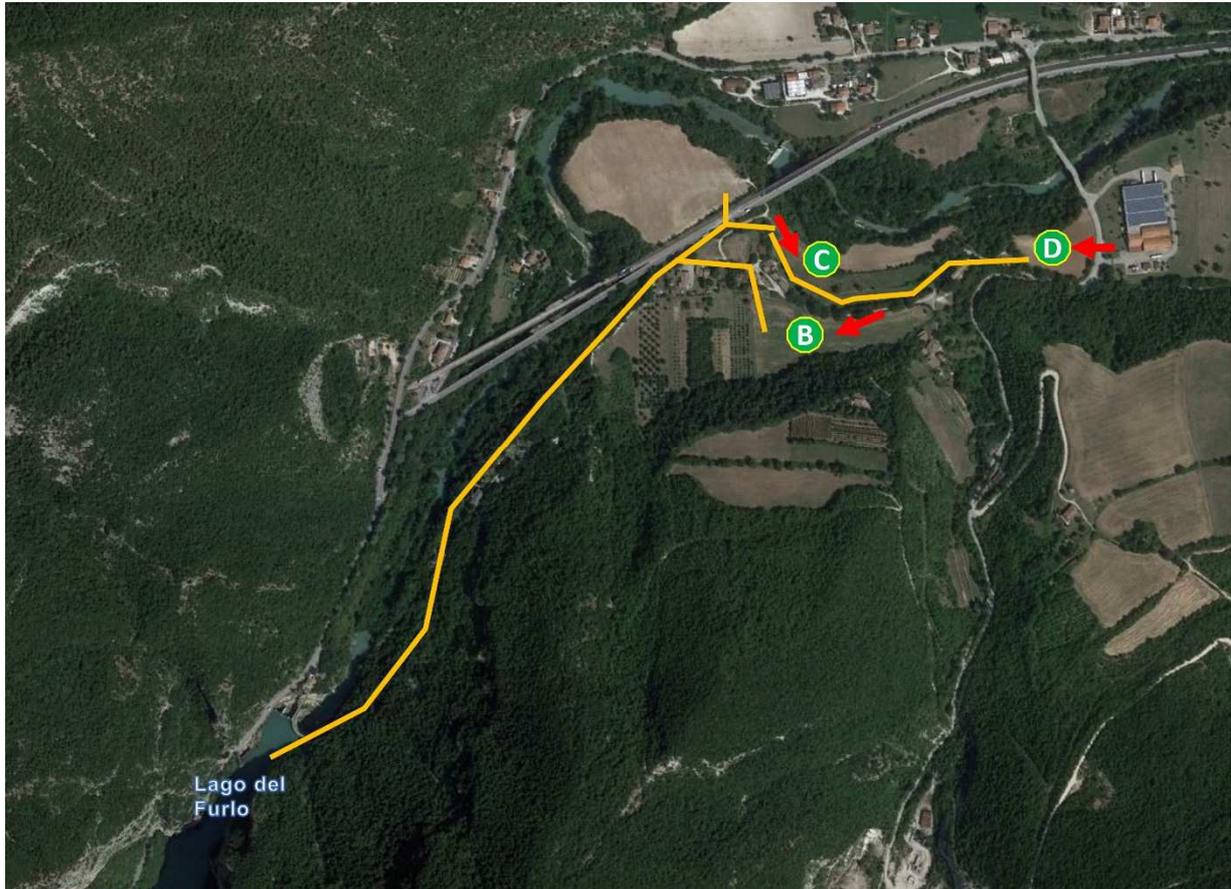
Il territorio circostante l'invaso è però caratterizzato dalla presenza di poche aree idonee a tale scopo, oltretutto caratterizzate da superfici limitate e a distanze elevate rispetto alle aree di dragaggio. Nelle immediate vicinanze del bacino sono state individuate le seguenti aree potenziali:

- **area A**, a monte dell'invaso, in sponda destra, in area golenale, a una distanza di circa 2.5 km dallo sbarramento. Per tale area è già stato effettuato uno studio preliminare della fattibilità di utilizzo, evidenziandone alcune criticità sia nella predisposizione di tale area sia per la movimentazione dei mezzi di trasporto da tale area verso eventuali siti di stoccaggio finale (documento CESI "C3009751_ALTERNATIVE_Furlo");



Area A – circa 50'000 m²

- **aree B, C e D** a valle dell'invaso, a una distanza di circa 1.5 km dallo sbarramento.



Area B - circa 15'000 m²



Area C - circa 16'000 m²



Area D - circa 6'500 m²

Considerando un areale maggiore, circa 3÷4 km a valle della diga sono inoltre presenti ulteriori aree agricole che potrebbero essere valutate a tale scopo.

In caso di asciugatura dei sedimenti tramite vasche di sedimentazione o utilizzo di geotubi si dovrebbero considerare elevate distanze di collettamento della miscela acqua-sedimento (da 1 a 3÷4 km circa), che inciderebbero in modo significativo sull'efficienza delle operazioni, nonché sui tempi e costi associati.

L'utilizzo delle vasche di sedimentazione, viste le superfici ridotte a disposizione, richiederebbe lunghi tempi di asciugatura, influenzando la durata dell'operazione, che dovrà essere svolta in più fasi, privilegiando il periodo estivo, quando sussistono le condizioni meteorologiche favorevoli per una più celere essiccazione dei fanghi.

In alternativa potrebbero essere utilizzati i geotubi che presentano però costi elevati.

Infine, l'elevato quantitativo di sedimenti da rimuovere richiede la disponibilità di numerosi siti di stoccaggio finale, da ricercare anche a notevole distanza e anche al di fuori del territorio provinciale, comportando elevati impatti dovuti al suo trasporto. A titolo esemplificativo, il trasporto di 310'000 m³ di sedimenti verso siti ubicati ad una distanza di circa 20 km si tradurrebbe nel passaggio di almeno 70 camion al giorno per un periodo di circa 620 giorni e all'emissione di oltre 591 t di CO₂.

5.7 Sfangamento a bacino pieno e rilascio dei sedimenti verso valle

Nella gestione del bacino del Furlo sono previste attività di asportazione a bacino pieno di quantitativi ridotti di materiale (dell'ordine di 10'000÷15'000 m³), con successivo rilascio dei sedimenti verso il corpo idrico di valle. Tale operazione prediligerà le aree in prossimità dello sbarramento, al fine di contribuire, assieme alle manovre ordinarie di spurgo sistematico dello scarico di fondo, al mantenimento della pervietà e dell'efficienza degli organi di manovra in fase di esercizio.

Dall'analisi dei dati batimetrici più recenti (2017) risulta infatti che dallo sbarramento fino a una distanza di 300 m, per un'estensione di circa 15'000 m², sono presenti almeno 70'000 m³ di materiale, di natura limoso sabbiosa, che potrebbero essere rimossi con la tecnica descritta nel presente paragrafo.

L'attività verrà eseguita tramite pompe o draghe idrauliche fissate su pontoni galleggianti opportunamente ancorati. Il materiale aspirato verrà rilasciato verso il corpo idrico di valle e diluito con portate di acqua pulita prelevata direttamente dall'invaso.

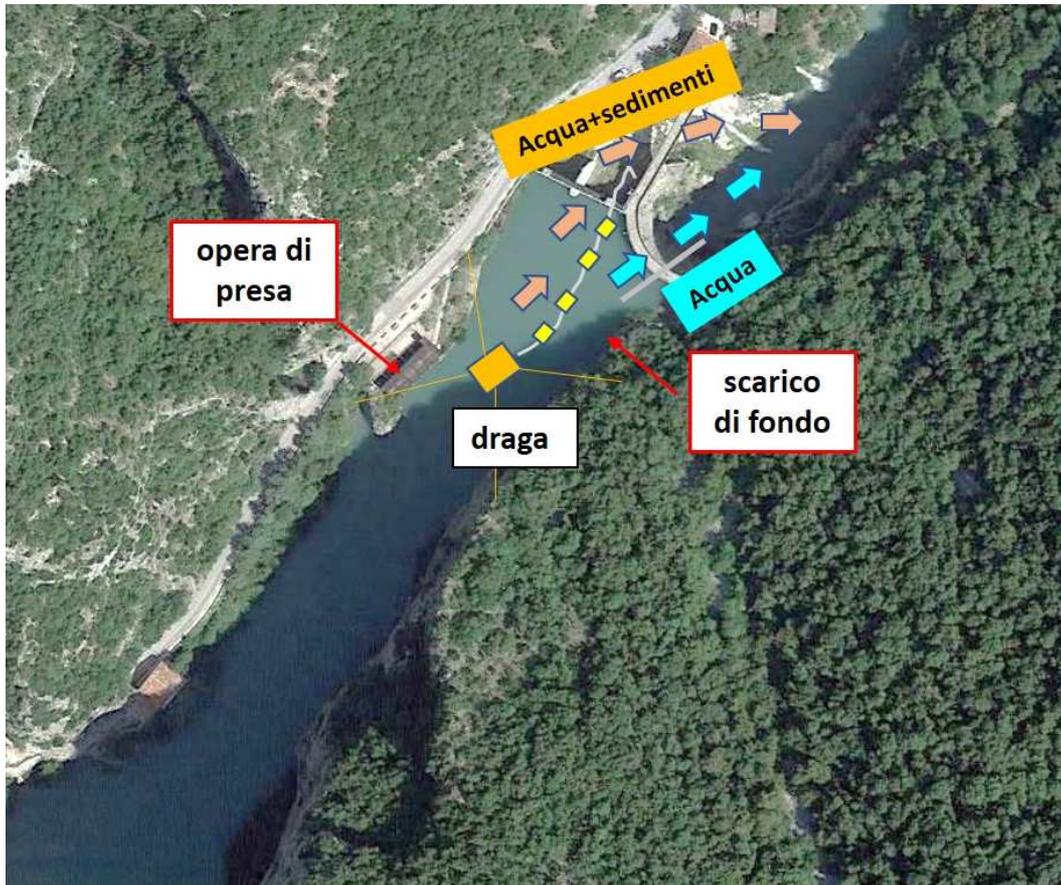


Figura 5-4: rappresentazione schematica dell'intervento di sfangamento a bacino pieno nei pressi dello sbarramento



Figura 5-5: esempio di applicazione di un sistema di dragaggio a bacino pieno in un invaso idroelettrico

Considerando i cicli biologici della fauna ittica nel corpo idrico ricettore e l'idraulicità del sito, il periodo più idoneo per lo svolgimento delle attività risulta essere quello autunnale, ad esclusione dei periodi di piena, o inizio primavera, prima dell'inizio del periodo riproduttivo della fauna ittica.

La profondità di scavo dipenderà dal livello idrometrico dell'invaso e dalle condizioni morfologiche dei fondali durante le operazioni di sfangamento. Il materiale aspirato verrà convogliato tramite tubi collettori con galleggianti e verrà rilasciato a valle attraverso il canale dello scarico di superficie.

Le quantità di sedimento aspirate dalla draga e rilasciate a valle saranno regolate tramite un torbidometro posizionato sul pontone galleggiante oppure nel corpo idrico ricettore subito a valle del punto di rilascio, in modo da garantire il rispetto dei limiti di torbidità previsti dalla normativa regionale nel corpo idrico ricettore, a tutela delle comunità biologiche del fiume Candigliano.

La durata delle operazioni dipende dai quantitativi di sedimento che devono essere rimossi e dalle portate di diluizione disponibili.

Considerati gli elevati quantitativi di sedimenti da rimuovere e la necessità di prelevare quantitativi non trascurabili di acqua pulita dall'invaso per la diluizione dei sedimenti nel corpo idrico di valle, si potrebbe suddividere l'operazione in più fasi, ipotizzando, per ciascuna di esse, dei volumi di rimozione più contenuti. Ad esempio, si potrebbero prevedere interventi di rimozione dei sedimenti dell'ordine di $10'000 \div 15'000 \text{ m}^3$, da ripetere nel tempo.

A titolo esemplificativo, per rimuovere circa $10'000 \text{ m}^3$, ipotizzando di effettuare le operazioni nelle sole ore diurne, per circa 8 ore giornaliere, si potrebbero utilizzare una o più pompe idrauliche aspiranti, in grado di rimuovere almeno $150 \div 200 \text{ m}^3$ di sedimenti al giorno. Per diluire il materiale verrebbe rilasciata una portata variabile a seconda del valore di torbidità misurato a valle e indicativamente dell'ordine di $2-3 \text{ m}^3/\text{s}$, che verrebbe prelevata direttamente dall'invaso. Nelle restanti 16 ore giornaliere le operazioni di fluitazione verrebbero interrotte, garantendo un rilascio in continuo di acqua pulita, prelevata sempre dall'invaso, per assicurare il lavaggio del corpo idrico ricettore a valle diga. Sulla base di tali presupposti si può ipotizzare che l'operazione potrebbe avere una durata di circa 3 mesi.

Durante le operazioni di fluitazione verrà in ogni caso eseguito un controllo in continuo delle profondità raggiunte in ciascun punto, stimando le effettive quantità di materiale movimentato e valutando le condizioni di stabilità del cono che si verrà a creare per effetto delle operazioni di dragaggio.

Al termine delle operazioni di fluitazione del sedimento verrà effettuato un nuovo rilievo batimetrico allo scopo di verificare gli effettivi quantitativi rimossi e aggiornare la mappa batimetrica dell'invaso.

Al momento di effettuare tale attività, il dettaglio dell'operazione sarà descritto in un Piano Operativo che sarà consegnato alle Autorità competenti almeno 4 mesi prima dell'inizio delle operazioni.

Effetti potenziali

Durante le operazioni di fluitazione si potrebbe verificare un incremento della torbidità del corpo idrico ricettore, che potrebbe produrre degli impatti rilevanti, qualora non contenuti entro i limiti stabiliti dalla legge, sui processi di trasporto solido e sulle comunità biologiche presenti nel corpo idrico di valle.

L'entità degli effetti delle operazioni di fluitazione sul corpo idrico ricettore dipende dalla durata delle attività, varia in relazione alla distanza dallo sbarramento e può essere limitata adottando specifiche azioni di mitigazione degli impatti, come descritto nel paragrafo seguente.

Non è possibile definire con esattezza la lunghezza del tratto fluviale interessato dall'impatto delle operazioni idrauliche, poiché tale dato dipende da diversi fattori, quali le portate in gioco, i volumi di acqua e materiale scaricati, la concentrazione di solidi sospesi e la presenza di confluenze.

Si può ipotizzare che gli effetti della fluitazione possano propagarsi per circa 6 km fino alla confluenza del fiume Metauro a monte dello sbarramento di S. Lazzaro.

Azioni di prevenzione e mitigazione

L'attrezzatura impiegata per l'asportazione dei sedimenti avrà caratteristiche tali da rendere nulle o minime le quantità di materiale disperso limitando la torbidità e la mobilitazione di eventuali inquinanti indotta dalle operazioni; sarà inoltre valutata la possibilità di installare panne filtranti per limitare la diffusione della torbidità nell'area circostante. Di conseguenza le operazioni non avranno interferenze significative sull'ambiente acquatico circostante.

Al fine di contenere i valori delle concentrazioni di solidi sospesi rilasciati a valle della diga e per favorire il lavaggio del corpo idrico ricettore, sarà garantito un rilascio in continuo di acqua pulita prelevata direttamente dallo stesso invaso durante tutto il periodo delle attività.

Al termine delle operazioni, per favorire il ripristino in alveo delle condizioni pre-intervento, al raggiungimento delle quote massime di esercizio verranno effettuati ulteriori rilasci controllati dallo scarico di superficie.

Il raggiungimento delle portate operative avverrà gradualmente, a tutela delle comunità ittiche del corso d'acqua, che avranno così il tempo di allontanarsi più a valle. Quali misure di mitigazione degli effetti sull'ittiofauna presente nel bacino e nel corpo idrico ricettore, a seguito delle operazioni di fluitazione potranno essere concordati con le Autorità locali opportuni interventi di ripopolamento o compensazione. Ove possibile la programmazione delle operazioni terrà in considerazione i periodi di frega della fauna ittica a valle dello sbarramento.

Nel caso a valle dello sbarramento siano rilevate interferenze con altri usi della risorsa idrica, gli utilizzatori saranno avvisati con debito anticipo prima dell'inizio delle operazioni.

Monitoraggio del corpo idrico ricettore

Il piano di indagine per la sorveglianza ambientale degli effetti idrobiologici delle operazioni descritte prevede l'esecuzione di controlli ecologici lungo il fiume ricettore in una stazione immediatamente a monte del bacino, come riferimento, e in due stazioni a valle dell'invaso, indicativamente ubicate entro 1 km dallo sbarramento e a circa 3 km.

Le indagini saranno predisposte secondo le indicazioni di ARPA Marche (Prot. ARPAM n. 0027859 del 01/09/2021) e saranno definite nel dettaglio nel Piano Operativo delle attività.

Indicativamente le indagini saranno articolate in due fasi: una prima dei rilasci, con l'obiettivo di fornire dati sulla situazione iniziale degli indicatori ecologici considerati, in condizioni di normale esercizio del bacino e l'altra dopo i rilasci, per la verifica degli effetti potenziali delle operazioni idrauliche sugli indicatori presi in considerazione e il riscontro del loro recupero nel medio termine spazio-temporale.

Il Gestore dell'impianto concorderà preventivamente la data di inizio delle operazioni con ARPA, Provincia e Genio Civile territorialmente competenti comunicando con congruo preavviso data e ora di inizio. Le attività di controllo saranno avviate almeno un'ora prima dell'inizio dello svaso e si concluderanno almeno sei ore dopo la fine delle operazioni.

Il piano di monitoraggio prevede lo svolgimento delle seguenti indagini:

- monitoraggio della qualità dell'acqua a valle dello sbarramento (svolto durante i rilasci in continuo e in concomitanza con il monitoraggio biologico),
- controllo dei macroinvertebrati di fondo a monte e a valle della diga (effettuato prima, 1 mese dopo e 1 anno dopo i rilasci),
- indagine ittiologica quali-quantitativa a monte e a valle della diga (effettuato prima, 1 mese dopo e 1 anno dopo i rilasci).

Durante le operazioni saranno rispettati i seguenti limiti di concentrazione di solidi in sospensione e di ossigeno disciolto, agendo con opportune regolazioni degli organi di scarico e modulandole nel tempo.

- soglie di accettabilità di concentrazione di solidi in sospensione e durata di esposizione da non superare nelle acque rilasciate:
 - Max 40 g/l per una durata < 0.5 h
 - 15 g/l < conc SS < 20 g/l per una durata < 1.5 h
 - 10 g/l < conc SS < 15 g/l per una durata < 3.0 h
 - 5 g/l < conc SS < 10 g/l per una durata < 6.0 h
 - < 5 g/l fino al termine delle operazioni

limiti di concentrazione di ossigeno disciolto nelle acque rilasciate:

- sempre superiori a 5 mg/l, pari a circa il 40% di saturazione.

I risultati dei monitoraggi saranno illustrati in un rapporto tecnico che costituirà un aggiornamento del presente Progetto di Gestione.

6 PIANO DEGLI INTERVENTI

Nel presente capitolo sono riassunte le caratterizzazioni ambientali più recenti eseguite nell'invaso del Furlo e il programma di attività che attualmente si ipotizza di mettere in atto nel bacino di per garantire la pervietà degli organi di scarico e di presa e/o il ripristino della capacità utile di vaso ai sensi del D.M. 30/06/2004.

Le specifiche operazioni saranno programmate tenendo in considerazione le caratteristiche qualitative del materiale sedimentato, i cicli biologici delle popolazioni ittiche, le esigenze degli altri utilizzatori della risorsa idrica e le caratteristiche del territorio circostante, le esigenze gestionali dell'impianto, nonché gli impatti ambientali ed economici associati a ciascuna attività.

6.1 Sintesi delle caratteristiche ambientali

Nella tabella seguente è presentato un prospetto sintetico delle caratteristiche ambientali dell'invaso del Furlo e del corpo idrico di valle, disponibili alla data di elaborazione del presente Progetto di Gestione (2020), descritte nei precedenti paragrafi.

<i>Caratteristiche dell'invaso</i>	
Capacità utile dell'invaso (ipotesi al 2023)	circa 368'000 m ³
Sedimenti nel volume utile di regolazione (ipotesi al 2023)	circa 382'000 m ³
Caratterizzazione chimico-fisica ecotossicologica dei sedimenti analizzati (2020)	Nessuna criticità rilevata in riferimento alla normativa considerata, ad eccezione di superamenti occasionali relativi ai solfati nell'eluato del sedimento, ai C<12 e ad alcuni IPA sul sedimento tal quale
Caratterizzazione chimico-fisica delle acque analizzate (2020)	Nessuna criticità rilevata in riferimento limiti previsti dall'All.1 del D.M. 172/2015
Classificazione dello Stato Ecologico delle acque invasate (2020)	"Sufficiente"

<i>Caratteristiche del corpo idrico ricettore</i>	
Stato chimico del fiume Metauro a valle dello sbarramento (2020)	Obiettivo raggiunto
Stato ecologico del fiume Metauro a valle dello sbarramento (2020)	"Buono" – Obiettivo raggiunto
Vocazione ittica del corpo idrico ricettore a valle dello sbarramento	Ciprinicola

Vincoli	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Vincolo paesaggistico: art. 136 Bellezze naturali, DM 31/07/85 Galassini ➤ Vincolo idrogeologico
---------	---

6.2 Programma delle attività

Nella gestione ordinaria dell'invaso sono previste attività finalizzate a garantire nel tempo la pervietà e l'efficienza dello scarico di fondo nonché interventi di manutenzione e/o ispezione della diga e degli organi di scarico. Tali attività comprendono:

- manovre di esercizio dello scarico di fondo, da attuare in fase di morbida, rilasciando a valle il modesto quantitativo di materiale solido che periodicamente, a seguito di eventi idrologici particolarmente intensi, viene ad accumularsi nei pressi della paratoia di scarico.
- spurgo sistematico dello scarico di fondo, che prevede l'apertura prolungata dello scarico di fondo, con rilascio verso valle del materiale accumulato nell'area antistante l'imbocco di scarico.
- svaso totale per manutenzione e/o ispezione della diga e degli organi di scarico effettuate per attività straordinarie di intervento alle paratoie e allo sbarramento per garantire nel tempo la funzionalità e l'efficienza degli scarichi e della struttura per la sicurezza e l'esercizio dell'impianto idroelettrico. Per questa attività sarà redatto un Piano Operativo, che ne descriverà dettagliatamente le modalità operative.

Nella programmazione degli interventi per il recupero del volume utile sono state analizzate diverse soluzioni di rimozione e di dislocazione del materiale sedimentato. Considerati:

- gli elevati quantitativi da rimuovere (circa 382'000 m³),
- le difficoltà logistiche e operative di ciascuna operazione,
- la durata significativa delle attività e gli elevati costi associati,
- l'indisponibilità di aree dove allocare temporaneamente grandi quantitativi del materiale rimosso prima dello stoccaggio definitivo,
- l'elevata valenza naturalistica del territorio in cui si trova l'invaso,
- la necessità di preservare la riserva idrica nei periodi di maggiore richiesta (luglio-settembre) per la valle del Metauro,

sono previste attività di asportazione di una sola parte del volume di materiale sedimentato nell'invaso, da eseguirsi in fasi successive e tramite diverse tipologie di intervento, a seconda delle aree dell'invaso interessate dalle operazioni di rimozione. In particolare, il programma di interventi prevede l'esecuzione delle seguenti attività:

- sfangamento in coda all'invaso, da eseguirsi pressoché in asciutta mediante mezzi di scavo e autocarri per il trasporto dei sedimenti al sito di deposito finale.
- sfangamento a bacino pieno e rilascio dei sedimenti verso valle, da attuare tramite pompe o draghe idrauliche fissate su pontoni galleggianti opportunamente ancorati. Il materiale aspirato verrà rilasciato verso il corpo idrico di valle e diluito con portate di acqua pulita prelevata direttamente dall'invaso.

Tali interventi, integrati con operazioni ordinarie di spurgo sistematico in occasione degli eventi di piena significativi, contribuiranno al recupero parziale della capacità utile d'invaso e al mantenimento della pervietà dello scarico di fondo.

Al momento si ipotizza una rimozione dei sedimenti in coda all'invaso, che consentirebbe di rimuovere potenzialmente fino a 70'000 m³ di sedimenti, che verrebbero stoccati in un'area estrattiva nelle vicinanze dell'invaso. La rimozione dei sedimenti verrebbe eseguita in asciutta previo svasso parziale dei sedimenti fino alla quota di minima regolazione.

In futuro, al fine di recuperare ulteriormente la capacità utile dell'invaso anche nelle restanti aree del bacino, saranno effettuati degli sfangamenti a bacino pieno tramite dragaggio, con quantitativi rimossi di almeno 10'000 m³ ad operazione, che verranno rilasciati in maniera controllata verso il corpo idrico di valle.

Infine, nel caso in cui dovessero essere definiti dei piani di intervento volti a un recupero maggiore del volume d'invaso, nell'ottica di aumentare la riserva idrica attualmente disponibile per gli usi plurimi del territorio locale, il problema della gestione dei sedimenti potrà essere affrontato considerando l'intera asta fluviale del Metauro, prevedendo interventi di asportazione anche negli invasi di S. Lazzaro e Tavernelle, che presentano minori criticità logistiche, ambientali e sociali rispetto al bacino del Furlo.

7 PIANO DELLE COMUNICAZIONI ASSOCIATE ALL'ESECUZIONE DELLE OPERAZIONI

7.1 Attività con avviso preventivo

Secondo quanto prescritto dal DM 30 giugno 2004, all'atto di eseguire una delle seguenti attività:

- svasso totale per manutenzione e/o ispezione della diga e degli organi di scarico
- sfangamento in coda all'invaso
- sfangamento a bacino pieno e rilascio dei sedimenti verso valle

descritte nel presente Progetto di Gestione, il Gestore dell'impianto ne deve dare avviso:

- al Ministero della Transizione Ecologica
- al Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Ufficio Tecnico Dighe di Perugia
- al Ministero della Cultura-Soprintendenza Speciale per il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza
- al Dipartimento Nazionale della Protezione Civile,
- all'Autorità di Bacino Distrettuale (Distretto Appennino Centrale),
- alla Regione Marche e agli Enti Locali interessati:
 - Provincia di Pesaro-Urbino
 - ARPA Marche
 - Comuni rivieraschi
 - Riserva Naturale Statale Gole del Furlo.

fornendo un Piano Operativo di dettaglio delle attività previste.

Tale Piano o Programma di sintesi sarà predisposto e inoltrato alle Amministrazioni competenti almeno 4 mesi prima della prevista data di inizio delle attività e tratterà i seguenti aspetti:

- elencazione delle attività previste (con riferimento alla descrizione di dettaglio contenuta nel presente Progetto di Gestione),
- definizione approssimata del periodo previsto di esecuzione (da confermarsi successivamente in prossimità dell'esecuzione),
- indicazione del piano di monitoraggio e di mitigazione che si prevede di adottare (con riferimento alla descrizione di dettaglio contenuta nel presente Progetto di Gestione),
- indicazione delle autorizzazioni ottenute dal Progetto di Gestione dell'invaso in questione,
- indicazione dei documenti di riferimento relativamente a rilievi in campo e analisi chimiche del materiale sedimentato,
- elenco dei comuni rivieraschi interessati dalle operazioni.

Il Gestore provvederà inoltre a informare la popolazione e tutti i soggetti interessati della prevista effettuazione delle manovre e delle eventuali cautele da adottare con avvisi affissi agli Albi Pretori dei comuni interessati. È opportuno, inoltre, che vengano previste ispezioni lungo l'alveo subito prima dell'apertura e successivamente alla chiusura degli organi di scarico. Il Gestore deve infine far rispettare quanto indicato nel presente Progetto di Gestione approvato, in osservanza delle eventuali prescrizioni stabilite dalle Regioni.

7.2 Attività senza avviso preventivo

A completamento di quanto indicato nel precedente paragrafo, l'esecuzione delle seguenti operazioni:

- manovre di esercizio dello scarico di fondo
- spurgo sistematico dello scarico di fondo

non saranno precedute dal preventivo avviso alle competenti Autorità in quanto non pianificabili a priori perché legate al verificarsi di eventi naturali non prevedibili.

**ALLEGATO 1 C3010880 - INVASO IDROELETTRICO DEL FURLO (PU) -
CARATTERIZZAZIONE DEL MATERIALE SEDIMENTATO NEL BACINO. REV.1**

ALLEGATO 2 – TAVOLA CAVE (2012)

ALLEGATO 3 – SEZIONI BATIMETRICHE NEI PRESSI DELLO SCARICO DI FONDO