



*Comune di CASSIGLIO*

*Provincia di BERGAMO*

## **PROGETTO DI GESTIONE DELL'INVASO DI CASSIGLIO**

### **Parte operativa**

*Relazione illustrativa*



Relatori: *ing. Luigi Lorenzo Papetti*  
*ing. Eliseo Marchesi*

## INDICE

1	PREMESSA	3
2	PROGRAMMA GENERALE DELLE OPERAZIONI SPECIFICHE DI SVASO	4
2.1	DESCRIZIONE SOMMARIA ATTIVITÀ DI SVASO E ATTIVITÀ FUTURE	4
2.1.1	<i>Intervento in programma: svaso per ripristino della capacità d'invaso originaria e per appesantimento della diga</i>	4
2.1.2	<i>Interventi futuri</i>	5
2.2	VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI POTENZIALI DELLE OPERAZIONI PREVISTE A VALLE	7
2.3	MISURE DI MITIGAZIONE DEGLI EFFETTI NEGATIVI DELLO SVASO E PER RIDURRE LA FREQUENZA DEGLI SVASI	7
2.4	PIANO DI MONITORAGGIO	7
3	PIANO DELLE OPERAZIONI SISTEMATICHE	7
3.1	INDIVIDUAZIONE EVENTI IDROLOGICI SIGNIFICATIVI PER L'ESECUZIONE DELLE OPERAZIONI	8
3.2	COMUNICAZIONI	9
4	PIANO OPERATIVO DELLO SVASO	10
4.1	SVUOTAMENTO DELL'INVASO	10
4.1.1	<i>Modellazione fase 1</i>	10
4.1.2	<i>Modellazione fase 2</i>	10
4.1.3	<i>Andamento altimetrico della superficie del bacino</i>	11
4.1.4	<i>Tempi</i>	13
4.1.5	<i>Volumi di sedimento rilasciati a valle tramite lo svaso</i>	16
4.1.6	<i>Concentrazioni da rispettare a valle</i>	19
4.1.7	<i>Comuni rivieraschi posti a valle dello sbarramento e compresi nell'area di influenza</i>	21
4.2	ASPORTAZIONE MECCANICA DEI SEDIMENTI A BACINO VUOTO	21
4.2.1	<i>Disposizione del volume di materiale solido da asportare</i>	21
4.2.2	<i>Caratterizzazione del materiale da rimuovere</i>	22
4.2.3	<i>Programmazione dei lavori</i>	23
4.2.4	<i>Concentrazioni di solidi sospesi durante il ruscellamento</i>	27
4.3	EFFETTI SULL'ECOSISTEMA	29
4.4	MISURE DI MITIGAZIONE	29
4.5	PIANO DI MONITORAGGIO	30
4.5.1	<i>Monitoraggio durante lo svaso</i>	31
4.5.2	<i>Monitoraggio pre e post-svaso</i>	32
4.6	PIANO DELLE COMUNICAZIONI	35
4.6.1	<i>Comunicazioni prima dello svuotamento dell'invaso</i>	35
4.6.2	<i>Comunicazioni tra il termine dello svuotamento dell'invaso e la posa del bypass</i>	35
4.6.3	<i>Comunicazioni dopo il termine dei lavori all'interno dell'invaso</i>	36
4.7	IMPATTI ATMOSFERICI	36

## **1 PREMESSA**

Poiché il gestore dell'invaso, Italgem S.p.A., ha predisposto un progetto di appesantimento della diga di Cassiglio dal lato del paramento di monte, attività per la quale si rende necessario uno svuotamento dell'invaso e un'apertura continua e prolungata dello scarico di fondo a bacino vuoto, come anticipato nella premessa del piano di caratterizzazione, il presente progetto di gestione è stato redatto traendo vantaggio dalle attività previste per l'appesantimento, tenendo al contempo presente i vincoli derivanti dalle predette attività. La struttura di questo documento segue quella proposta dal D.G.R. n. X/5736 del 24/10/2016 della Regione Lombardia. È pertanto composta dalle seguenti sezioni:

- Programma generale delle operazioni specifiche di svaso, sfangamento e spurgo
- Piano delle operazioni sistematiche
- Piani operativi delle operazioni specifiche

## 2 PROGRAMMA GENERALE DELLE OPERAZIONI SPECIFICHE DI SVASO

Il presente programma generale delle operazioni specifiche di svaso, sfangamento e spurgo ha lo scopo di presentare in maniera sommaria le attività programmabili di svuotamento totale o parziale dell'invaso connesse con le attività di manutenzione dell'impianto. Questo programma deve essere predisposto tenendo in considerazione differenti scenari operativi, di cui è necessaria una simultanea valutazione dell'efficacia e degli effetti ambientali che queste attività causano a valle. Un importante contenuto di questo piano è inoltre l'individuazione di opportune misure di mitigazione e di monitoraggio relative agli scenari scelti, il che conferisce al presente piano una duplice natura: strumento di programmazione delle operazioni utili a preservare la capacità utile d'invaso, e contemporaneamente strumento di tutela ambientale, che consente di limitare i danni provocati all'ecosistema.

### 2.1 DESCRIZIONE SOMMARIA ATTIVITÀ DI SVASO E ATTIVITÀ FUTURE

Ai termini di svaso, sfangamento, sghiaimento e spurgo vengono attribuite le definizioni riportate nel D.G.R. n. X/5736 del 24/10/2016 della Regione Lombardia:

- *Svaso*: svuotamento totale o parziale dell'invaso mediante l'apertura degli organi di scarico o degli organi di scarico e di presa;
- *Sfangamento*: operazione per rimuovere materiale sedimentato nel serbatoio costituito in prevalenza da sedimenti a granulometria fine;
- *Sghiaimento*: operazione per rimuovere materiale sedimentato nel serbatoio costituito in prevalenza da sedimenti a granulometria grossolana;
- *Spurgo*: operazione di sfangamento che fa esitare a valle, trascinato o disperso nella corrente idrica, attraverso gli organi di scarico, o, eventualmente, di presa, il materiale solido sedimentato.

È previsto uno svuotamento totale dell'invaso, il quale rimarrà vuoto durante l'intero tempo necessario per eseguire l'asportazione meccanica dei sedimenti presenti nell'invaso e un'operazione di appesantimento della diga e opere provvisorie annesse (in particolare, un sistema capace di convogliare le acque derivate dall'opera di presa sul torrente Stabina – che affluiscono nel bacino in sinistra orografica - all'opera di presa dell'impianto di Olmo al Brembo - in destra dell'invaso).

Per gli anni successivi, fino al termine della concessione, sono previsti saltuari interventi di rimozione dei sedimenti tramite dragaggio a bacino pieno, laddove si rendessero necessari.

#### 2.1.1 *Intervento in programma: svaso per ripristino della capacità d'invaso originaria e per appesantimento della diga*

Lo svaso accennato precedentemente, che sarà approfondito nel relativo piano operativo, è un'operazione necessaria per permettere il ripristino del volume d'invaso originario e

l'appesantimento della diga approvato dalla divisione 4 della D. G. Dighe con nota prot. n. 15542 del 03/07/2018.

L'operazione di svaso inizia solamente in seguito allo svuotamento parziale dell'invaso, eseguito attraverso l'opera di presa posta sulla destra idrografica, che abbasserà il livello dell'invaso fino a una quota sufficientemente alta da evitare l'ingresso di aria nella condotta forzata più a valle. In base ai dati storici di funzionamento dell'impianto, è stato stimato che la quota di 620,50 m s.l.m. (1,5 m al di sotto della quota di minima regolazione) sia la quota minima a cui si può arrivare derivando le acque verso l'opera di presa. Questa scelta ha un triplice vantaggio:

- ambientale, in quanto si evitano bruschi aumenti di portata nel corpo idrico ricettore, i quali potrebbero provocare allontanamenti della fauna ittica verso valle;
- economico, in quanto viene turbinata quanta più acqua possibile;
- sulla cronologia dei lavori, in quanto l'organo di presa permette uno svuotamento più rapido di quello che si avrebbe con il solo scarico di fondo.

Per questo svuotamento preliminare, i tempi sono semplicemente dettati dalla quota del livello idrico iniziale e della portata massima turbinabile dall'impianto (2,9 m<sup>3</sup>/s).

Completata la prima fase di svuotamento attraverso l'opera di presa, viene aperta la paratoia di scarico di fondo, la cui soglia è posta alla quota di 612,27 m s.l.m.. La portata transitante, e conseguentemente anche i tempi di svaso, sono determinati dal grado di apertura della paratoia e dagli afflussi provenienti dal torrente Cassiglio e dal torrente Canale dei Faggi.

Per una programmazione più dettagliata delle operazioni di svaso e dei lavori che interesseranno l'invaso vuoto si rimanda agli appositi capitoli del piano operativo (rispettivamente § 4.1 e § 4.2.3).

### 2.1.2 *Interventi futuri*

Completate le operazioni di svaso e di asportazione di materiale solido, le alternative possibili alla gestione dell'interrimento dell'invaso di Cassiglio fino al termine della concessione sono le seguenti:

- riduzione degli apporti di materiale nel bacino dovuti al trasporto solido;
- riduzione della sedimentazione nel bacino;
- rimozione del materiale sedimentato.

Le tre alternative vengono discusse nei paragrafi di seguito.

#### 2.1.2.1 Riduzione degli apporti di materiale nel bacino dovuti al trasporto solido

Data la conformazione geomorfologica del bacino idrografico sotteso, tale obiettivo risulta percorribile mediante le seguenti azioni:

- interventi mirati alla riduzione dell'erosione su scala ampia, ovvero interessando il bacino imbrifero sotteso;
- realizzazione di briglie a monte dell'invaso (tra l'altro già presenti) e interventi d'ingegneria naturalistica;

- realizzazione di bypass tali da assorbire le portate di morbida o di piena.

La realizzazione di interventi a scala ampia non risulta percorribile per l'incertezza del risultato rispetto ai costi elevati.

Allo stesso modo la realizzazione di ulteriori briglie o bacini-trappola a monte sposterebbe più a monte le medesime problematiche d'interrimento del bacino di Cassiglio.

La realizzazione di un bypass potrebbe essere in grado di smaltire il materiale depositatosi durante le piene, ma è una soluzione dispendiosa sia a livello economico che ambientale, per occupazione del territorio e sottrazione delle portate d'acqua dal fiume. Questa modalità di limitazione dell'interrimento viene pertanto sconsigliata.

#### 2.1.2.2 Riduzione della sedimentazione nel bacino

In occorrenza di eventi di piena tali da innalzare il livello dell'invaso oltre una certa quota, viene aperto lo scarico di fondo. Tale operazione induce, in prossimità del fondo, condizioni idrauliche tali da causare la ri-sospensione e il trascinamento di materiale solido fine (in prossimità dello scarico di fondo) e il trascinamento di materiale solido trasportato dai torrenti.

Questa manovra rientra nelle cosiddette *operazioni sistematiche* (si veda il § 3), in quanto viene automaticamente eseguita qualora il livello presente nell'invaso superi la quota di 626,90 m s.l.m. (regola attuale, che verrà comunque modificata in seguito all'appesantimento); pertanto, secondo quanto stabilito dall'art. 7 del D.M. 30/6/2004, questa manovra è esclusa da previsione del progetto di gestione, in quanto appartenente alle *manovre necessarie e garantire il non superamento dei livelli d'invaso autorizzati in occasione di eventi di piena*.

#### 2.1.2.3 Rimozione del materiale sedimentato

Data la morfologia dell'alveo del torrente Cassiglio, nonché l'entità e la tipologia dei sedimenti, l'unica operazione possibile per asportare i depositi risulta essere il dragaggio meccanico, tanto più che l'invaso è facilmente accessibile ai normali mezzi d'opera e di trasporto. I costi di estrazione e di trasporto del materiale sono assai elevati per la necessità di recapitare tutto il materiale a molte decine di chilometri di distanza.

Le possibili modalità di asportazione del materiale presente nell'invaso approvate nel precedente Progetto di Gestione sono le seguenti:

- Dragaggio meccanico a bacino pieno;
- Asportazione meccanica a bacino pieno.

Le alternative successive in fase di smaltimento sono essenzialmente due:

- Smaltimento del materiale a discarica;
- Reimpiego del materiale.

Considerando che già in passato sono state eseguite operazioni di dragaggio con reimpiego del materiale, che risulta essere pregiato e perciò idoneo al riutilizzo in edilizia, e considerando il fatto che il reimpiego abbatterebbe notevolmente i costi delle operazioni,

risulta preferibile tale ipotesi, fermo restando che il reimpiego è possibile solo compatibilmente con la normativa in materia di rifiuti che sia vigente al momento dell'attività. Premesso che mediante le due manovre precedenti di rimozione del materiale, la prima nel 1989 e la seconda nel 1995, sono stati asportati in totale circa 16.000 m<sup>3</sup>, e considerando il fatto che con la prossima operazione si prevede di asportare circa 32.500 m<sup>3</sup>, è ipotizzabile un intervento ogni 15 anni, al fine di smaltire circa 11.500 m<sup>3</sup> corrispondenti al trasporto solido teorico annuo di 770 m<sup>3</sup>/anno.

Sarà cura del gestore indicare in un futuro piano operativo di dettaglio, relativo all'asportazione del materiale, la modalità di asportazione, la valutazione del materiale presente nell'invaso, l'indicazione delle eventuali aree di dislocazione del materiale rimosso e/o le modalità di smaltimento del materiale.

## 2.2 VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI POTENZIALI DELLE OPERAZIONI PREVISTE A VALLE

Per quanto riguarda lo svaso programmato finalizzato all'appesantimento della diga, non si ravvisano particolari effetti negativi sugli usi dell'acqua e sui vincoli esistenti sui territori interessati.

Relativamente agli effetti sull'ecosistema dell'operazione di svaso in programma, si rimanda a quanto indicato nel relativo piano operativo (§ 4.3).

In merito alle eventuali future operazioni di dragaggio meccanico a bacino pieno, non si ravvisano effetti negativi sul corpo idrico di valle.

## 2.3 MISURE DI MITIGAZIONE DEGLI EFFETTI NEGATIVI DELLO SVASO E PER RIDURRE LA FREQUENZA DEGLI SVASI

Le misure di mitigazione previste per lo svaso legato all'appesantimento della diga sono trattate in dettaglio nel piano operativo, al § 4.4.

Per quanto riguarda eventuali future operazioni di dragaggio meccanico a bacino pieno, non sono previste misure di mitigazione, giacché non si ravvisano effetti negativi da mitigare.

## 2.4 PIANO DI MONITORAGGIO

Si rimanda al § 4.5 la descrizione dettagliata del piano di monitoraggio relativo allo svaso in programma per permettere il ripristino del volume originario d'invaso e l'appesantimento della diga.

In occasione di eventuali futuri dragaggi meccanici a bacino pieno, è previsto un rilievo batimetrico da eseguire entro un mese dall'inizio delle operazioni; il Gestore si premurerà inoltre di quantificare il materiale solido asportato, in modo da poter valutare il nuovo grado di interrimento dell'invaso.

# 3 PIANO DELLE OPERAZIONI SISTEMATICHE

Il presente piano delle operazioni sistematiche è volto a descrivere nel dettaglio le operazioni di apertura degli scarichi in eventi per i quali non è possibile redigere un piano operativo, e che sono dunque esentate dagli obblighi previsti dall'art. 5 del D.M.

30/06/2004. Le *operazioni sistematiche* (così denominate nel D.G.R. n. X/5736 del 24/10/2016) includono gli *scenari per l'utilizzazione degli scarichi di fondo* citati nell'art. 3 comma 5 del D.M. 30/06/2004, i quali sono adibiti alle seguenti finalità:

- garantire comunque la funzionalità degli scarichi di fondo a fronte dei fenomeni d'interrimento;
- ricostituire il trasporto solido a valle degli sbarramenti;
- modulare le condizioni di deflusso a valle degli sbarramenti, ricorrendo alle possibilità di laminazione dell'invaso.

Il Decreto sopracitato sancisce, all'articolo 7 comma 1, che le previsioni del progetto di gestione non trovano applicazione per le manovre:

- a) necessarie a garantire il non superamento dei livelli d'invaso autorizzati in occasione di eventi di piena;
- b) di emergenza per la sicurezza e la salvaguardia della pubblica incolumità;
- c) effettuate per speciali motivi di pubblico interesse, su disposizione dell'autorità competente;
- d) 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 dell'invaso e dello sbarramento.

Le operazioni presentate di seguito ricadono all'interno di questo articolo (art. 7 comma 1), e pertanto la loro previsione è esclusa al progetto di gestione dell'invaso; tuttavia, in quanto interessano l'utilizzo dello scarico di fondo, si ritiene opportuno riportare una loro descrizione, anche al fine di evitare equivoci futuri in merito.

### 3.1 INDIVIDUAZIONE EVENTI IDROLOGICI SIGNIFICATIVI PER L'ESECUZIONE DELLE OPERAZIONI

Di seguito viene riportata la regola operativa seguita dal gestore per l'apertura dello scarico di fondo in corrispondenza di eventi di piena. Si precisa che la presente regola è riferita alla condizione attuale dello sbarramento ed è regolata dal Documento di Protezione Civile (D.P.C.) e dalla nota prot. n. 30343 del 27/12/2018 della divisione 4 della D. G. Dighe (in allegato).

Il documento individua diverse fasi di allerta relative alla sicurezza della diga e al rischio idraulico per i territori a valle; in particolare, nella fase di "vigilanza rinforzata", nella quale si presume che il livello dell'invaso stia per superare la quota di 626,90 m s.l.m., è prevista l'apertura dello scarico in modo che il livello rimanga al di sotto di quest'ultima quota. Per chiarezza si specifica che, nell'attuale D.P.C. (approvato il 05/04/2017), la quota da non superare era stata individuata in quella di massimo invaso (627,80 m s.l.m.), ma la nota ministeriale del 17/12/2018 ha imposto di ridurre cautelativamente questa quota al valore di 626,90 m s.l.m..



Al termine delle operazioni di appesantimento della diga, verrà adottata una differente regola operativa, che dovrà essere opportunamente concordata tra il Gestore, la D.G. Dighe e gli uffici competenti, in quanto la quota di massimo invaso prevista nel progetto di appesantimento della diga ha un valore maggiore e pari a 628,62 m s.l.m..

Manovre di svaso vengono eseguite anche per la verifica della funzionalità degli organi di scarico, la quale viene regolamentata dal foglio di condizioni per l'esercizio della diga, ovvero due volte all'anno, in occasione delle visite ispettive delle autorità competenti per la vigilanza.

Le portate rilasciate in alveo a seguito delle manovre citate sono riportate dal Gestore su apposito registro allegato al Registro di guardiania, così come stabilito nel foglio di condizioni per l'esercizio.

Le registrazioni mostrano come questi brevi svassi avvengano nel periodo primaverile (maggio/giugno) e in quello autunnale (settembre/ottobre).

Riguardo alla verifica della funzionalità degli organi di scarico di fondo a fronte dei fenomeni d'interrimento, dai dati rilevati e dalle verifiche ispettive non risultano problematiche in merito. Infatti, il fenomeno d'interrimento riguarda la porzione di bacino più a monte.

### 3.2 COMUNICAZIONI

Le comunicazioni da effettuare in occasione delle operazioni citate in precedenza sono dettagliatamente riportate nel D.P.C.: a ogni fase sono associati destinatari e modalità di comunicazione (con modelli in allegato); al termine del documento è anche riportata una rubrica telefonica ed elettronica.

Le comunicazioni di maggiore interesse per le operazioni specifiche di questo progetto di gestione sono sintetizzate di seguito:

- In fase di “preallerta”, attivata quando il livello dell'invaso supera la quota di sfioro, il Gestore si premura di compilare un modello di comunicazione e di inviarlo alla Protezione Civile Regionale Lombardia, all'U.T.R. di Bergamo e all'U.T.D. di Milano, nel caso in cui si rilasci a valle una portata superiore ai 22 m<sup>3</sup>/s;
- In fase di “vigilanza rinforzata”, il Gestore avvisa tempestivamente l'attivazione della fase, compilando un modulo di comunicazione, il DG Dighe/U.T.D. di Milano, la Prefettura – U.T.G. di Bergamo, la Protezione Civile Regione Lombardia, l'U.T.R. di Bergamo, e, in caso di sisma, anche il Dipartimento della Protezione Civile; durante la fase tiene informate le amministrazioni interessate e al termine comunica (tramite modulo precompilato) il rientro della fase, con il ritorno alla precedente fase di “preallerta”.

## 4 PIANO OPERATIVO DELLO SVASO

### 4.1 SVUOTAMENTO DELL'INVASO

Come anticipato al § 2.1, lo svaso vero e proprio (inteso come *svuotamento totale o parziale dell'invaso mediante l'apertura degli organi di scarico o degli organi di scarico e di presa*) inizia solamente dopo aver abbassato il livello dell'invaso fino alla quota di 620,50 m s.l.m., tramite convogliamento delle acque verso l'opera di presa.

Le fasi di svuotamento dell'invaso sono dunque due, e separate tra di loro dall'apertura dello scarico di fondo.

In questo capitolo verrà presentato il metodo con cui si è stimato il tempo di svuotamento, sulla base dei dati a disposizione.

La modellazione seguente si basa sull'ipotesi che l'apporto dei deflussi naturali, derivanti dal torrente Cassiglio e dal torrente Canale dei Faggi, sia pari alla portata media annua, ossia 442,97 l/s (come riportato al § 5.4.1.3 della *Caratterizzazione di base*).

#### 4.1.1 Modellazione fase 1

Prima dell'inizio dello svuotamento, è necessario sezionare manualmente l'opera di presa sullo Stabina.

Per la prima parte dello svuotamento, supponendo un pelo libero dell'invaso uguale o inferiore alla quota di massima regolazione (626,00 m s.l.m.), le acque verranno convogliate unicamente nell'opera di presa. Il flusso è regolato da valle, e può raggiungere il valore massimo pari alla portata di concessione (2,9 m<sup>3</sup>/s); questo valore sarà costante durante tutta questa prima fase di svuotamento, pertanto i tempi sono dettati dal volume di acqua del bacino compreso tra le due quote in questione e dagli afflussi del torrente Cassiglio e del torrente Canale dei Faggi. Il calcolo di questi tempi viene rimandato al § 4.1.3, in seguito ad una modellazione dell'andamento altimetrico del volume dell'invaso (al § 4.1.4).

Una volta accertato che il livello dell'invaso abbia raggiunto la quota di 620,50 m s.l.m. (con ragionevoli approssimazioni), si procederà con manovra volontaria in loco al sezionamento dell'opera di presa, ossia all'abbassamento totale della paratoia posta all'ingresso dell'opera di presa (in prossimità della griglia).

#### 4.1.2 Modellazione fase 2

Lo scarico di fondo consiste in un canale di forma quadrata, di lato 1,8 m. L'attivazione dello scarico è permessa tramite l'azionamento di una paratoia sul lato di monte.

L'azionamento della paratoia dello scarico di fondo sarà fatto con manovra volontaria in loco una volta conclusa l'operazione di chiusura della paratoia di intercettazione dell'opera di presa.

Conoscendo il livello del pelo libero nell'invaso e il grado di apertura della paratoia, è possibile ricavare la portata transitante ( $Q_P$ ) nello scarico in questo modo:

$$Q_P = \mu \cdot L_P \cdot a \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \left[ Z_i - \left( Z_P + \frac{a}{2} \right) \right]}$$

In cui:

- $\mu$  = coefficiente d'efflusso (pari a 0,6)
- $L_P$  = larghezza paratoia (pari a 1,8 m)
- $a$  = apertura della paratoia (tra 0 m e 1,8 m)
- $Z_i$  = quota assoluta del pelo libero dell'invaso
- $Z_P$  = quota assoluta della soglia dello scarico di fondo (pari a 612,27 m s.l.m.)

Al fine di non incorrere in aumenti eccessivi della torbidità a valle, è sconveniente aprire completamente la paratoia. Come si vedrà in seguito, il tempo associato a questo svuotamento è dell'ordine di poche ore, pertanto si prevede di rilasciare in questa fase una portata massima inferiore a quella concessa durante gli scarichi di verifica della funzionalità degli organi di scarico, fatti durante le visite della DG Dighe. Di seguito si mostrano i dati relativi ad alcune visite:

Data visita	31/10/05	03/05/06	07/09/06	02/05/07	24/09/07	26/06/08
Larghezza [m]	1,800	1,800	1,800	1,800	1,800	1,800
Coefficiente efflusso	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Apertura paratoia [m]	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,200
Quota invaso [m s.l.m.]	625,400	625,130	624,920	625,350	624,750	626,020
Quota soglia scarico [m s.l.m.]	612,270	612,270	612,270	612,270	612,270	612,270
<b>Portata [m<sup>3</sup>/s]</b>	<b>1,730</b>	<b>1,712</b>	<b>1,698</b>	<b>1,727</b>	<b>1,687</b>	<b>3,535</b>

*Tabella 1 – Portata rilasciata a valle durante le visite ispettive per il controllo della funzionalità degli organi di scarico.*

A favore di sicurezza, si è assunta una portata massima pari a 1,5 m<sup>3</sup>/s. Il grado di apertura  $a$  della paratoia associato a questa portata e alla quota di 620,50 m s.l.m. è pari a 0,110 m (o, equivalentemente, un'apertura del 6 % circa).

Anche per questa fase, il tempo di svuotamento dipende dalla geometria del bacino, stimata sulla base delle batimetrie eseguite, e dagli afflussi dei due torrenti afferenti all'invaso. I tempi effettivi sono stimati al § 4.1.4.

#### *4.1.3 Andamento altimetrico della superficie del bacino*

Sfruttando i dati forniti dai rilievi batimetrici eseguiti il 19/03/2019, è possibile determinare alcune coppie di valori che legano la quota del pelo libero alla superficie dell'invaso. Le coppie sono riportate nella tabella seguente:

Quota pelo libero invaso [m s.l.m.]	Area [m <sup>2</sup> ]
615,20	51
616,20	254
617,20	560
618,20	1.358
619,20	2.298
620,20	3.737
621,20	4.762
622,20	6.411
623,20	7.769
624,20	9.073
625,20	11.730

*Tabella 2 - Dati sulla correlazione tra quota dell'invaso e superficie associata.*

Si è scelto di interpolare questi dati con due funzioni differenti, ognuna associata ad una fase:

- per la prima fase si sono interpolati, tramite polinomiale di quarto grado, tutti i dati;
- per la seconda fase si sono interpolati, tramite polinomiale di quarto grado, tutti i valori compresi tra l'area associata alla quota 620,20 m s.l.m. e quella associata alla quota minima di 612,27 m s.l.m. (a cui è stato assegnato un valore nullo, in quanto rappresenta l'area dell'invaso alla quota della soglia dello scarico di fondo).

Il valore della superficie corrispondente alla quota di massima regolazione (626,00 m s.l.m.) è ricavato da un'interpolazione di tutti i dati, ed è pari a 13.819 m<sup>2</sup>.

Le due interpolazioni sono mostrate in seguito:

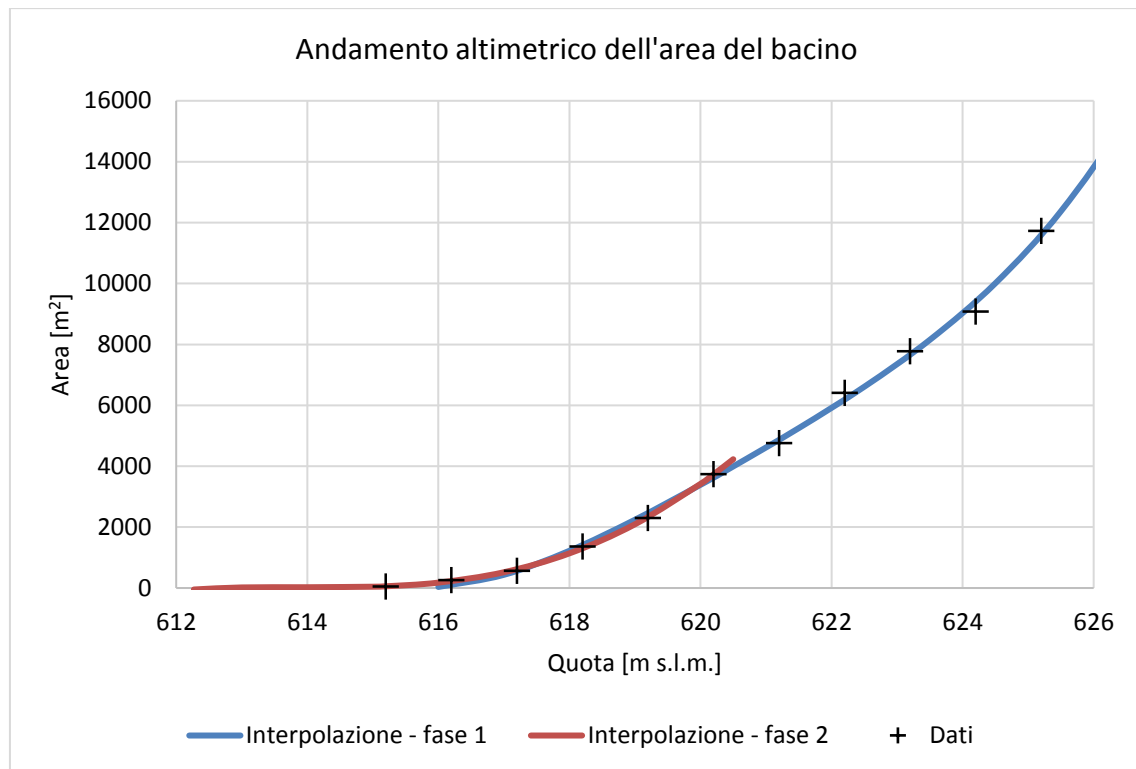


Figura 1 - Interpolazione dei dati relativi all'andamento altimetrico dell'area del bacino.

#### 4.1.4 Tempi

Con le informazioni a disposizione è possibile stimare i tempi di svuotamento delle due fasi risolvendo l'equazione di continuità in maniera esplicita. Il tempo necessario al bacino per passare dalla quota generica  $Z_k$  alla quota  $Z_{k+1}$  è definito in questo modo:

$$\Delta t = \frac{(Z_k - Z_{k+1}) \cdot A(Z_k)}{Q_P(Z_k) - Q_{ingresso}}$$

In cui  $A(Z_k)$  è la superficie dell'invaso associata alla quota  $Z_k$ , e  $Q_{ingresso}$  è la portata derivante dai due torrenti.

La prima fase, con portata uscente costante pari a 2,9 m<sup>3</sup>/s, ha una durata di circa 5 ore.

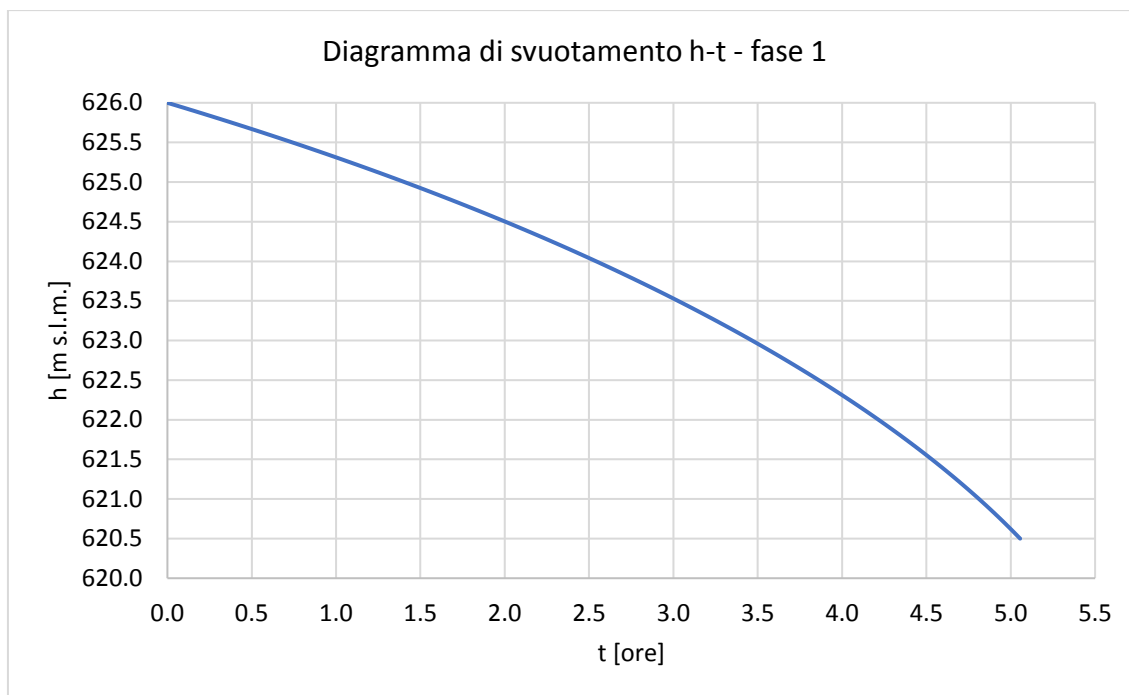


Figura 2 - Diagramma di svuotamento quota-tempo - fase 1.

Il tempo di azionamento della paratoia volta a sezionare l'opera di presa è ritenuto trascurabile rispetto al tempo complessivo di svuotamento e rispetto all'incertezza intrinseca dei modelli adottati, pertanto non viene considerato.

Per la seconda fase, che prevede una portata iniziale pari a  $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ , il tempo di svuotamento è stimato essere pari a 2,5 ore. I grafici relativi allo svuotamento sono riportati di seguito.

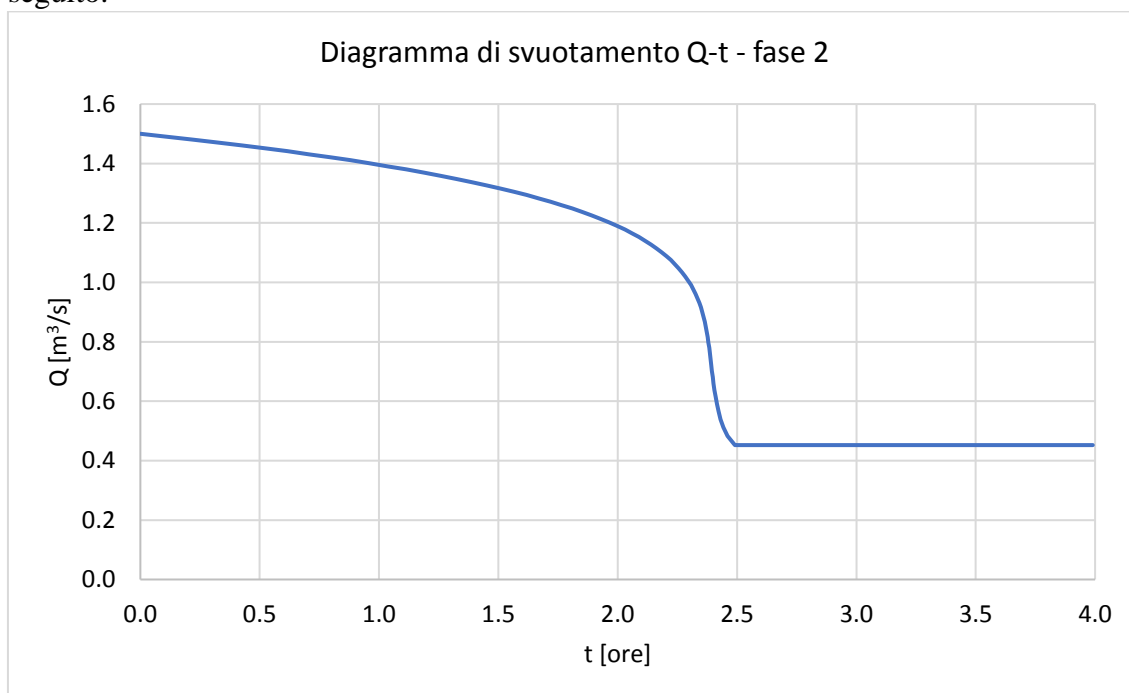


Figura 3 - Diagramma di svuotamento portata-tempo - fase 2.

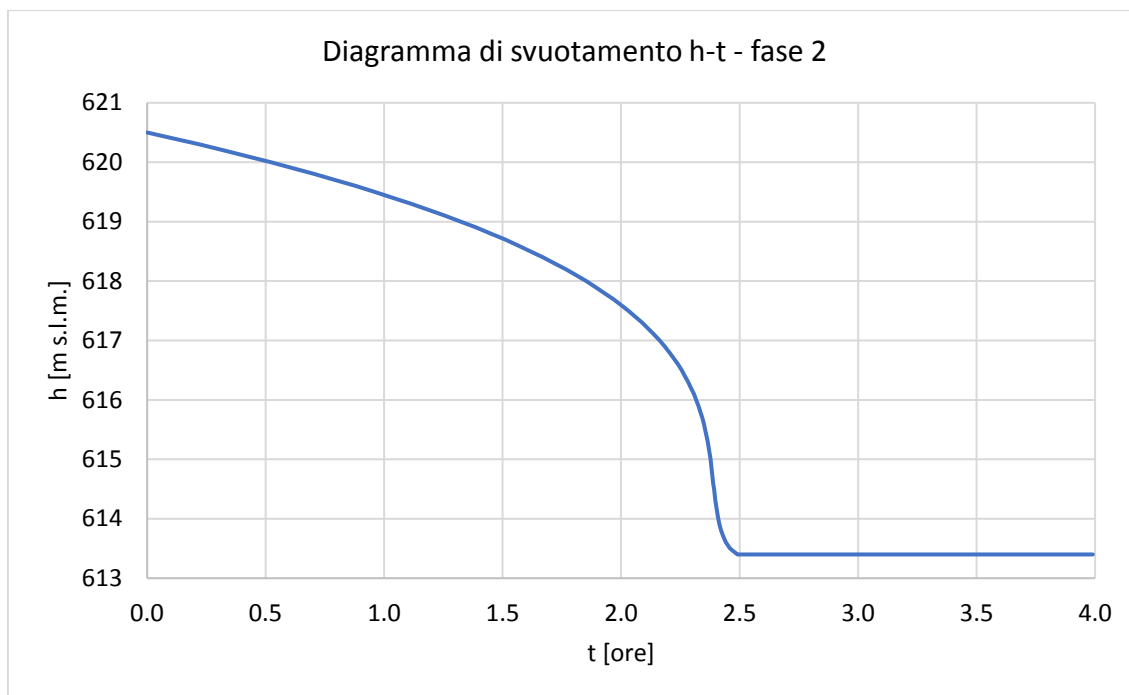


Figura 4 - Diagramma di svuotamento quota-tempo - fase 2.

In totale si è stimato un tempo di svuotamento pari a circa 7,5 ore.

Si specifica che i risultati ottenuti sono basati sulle ipotesi che il livello del pelo libero iniziale sia pari a 626 m s.l.m. e che la portata in ingresso all'invaso sia pari a quella media annua (442,97 l/s). Nel caso in cui questi due parametri fossero diversi da quelli presentati, cambierebbero inevitabilmente i tempi dello svaso. Non potendo prevedere ora i valori di questi due parametri al momento dello svaso, si riporta una tabella a doppia entrata in cui sono riportate le durate dell'intero svuotamento al variare dei due parametri incogniti. Nel caso che la portata in ingresso non sia nulla, il tempo di svuotamento è da intendersi come tempo necessario per avere l'uguaglianza tra questa portata e quella in uscita dallo scarico di fondo. Si specifica comunque che la portata di 1 m<sup>3</sup>/s corrisponde ad un evento di piena.

Tempo di svuotamento [h]		Portata in ingresso [m <sup>3</sup> /s]		
		0,0	0,5	1,0
Quota iniziale invaso [m s.l.m.]	622,00	2,31	3,65	9,24
	623,00	2,94	4,42	10,21
	624,00	3,72	5,36	11,40
	625,00	4,69	6,53	12,87
	626,00	5,87	7,96	14,68

Tabella 3 – Tempi di svuotamento in funzione della quota iniziale dell'invaso e della portata in arrivo dal torrente Cassiglio e dal torrente Canale dei Faggi

L'operazione totale di svuotamento, che parte dall'inizio del sezionamento dell'opera di presa sul torrente Stabina e termina con il raggiungimento del pelo libero alla quota della soglia di sfioro dello scarico di fondo, avrà una durata ragionevolmente ben inferiore alle 24 ore.

La data prevista per quest'operazione è il **30 marzo**. Questa data viene proposta in virtù di più considerazioni, di diversa natura:

- la relazione ambientale di CSBA evidenzia (al § 4.1) come ulteriore misura volta a minimizzare gli effetti sull'ecosistema acquatico l'opportunità di evitare il periodo invernale per eseguire lo svaso, in quanto costituisce il periodo riproduttivo dei Salmonidi (specie d'elezione per i corpi idrici interessati dallo svaso);
- è consigliabile operare lo svaso fuori da periodi di magra, ovvero nel periodo invernale per il bacino imbrifero in questione;
- è consigliabile evitare svassi durante i periodi di stratificazione termica delle acque, ossia in estate e in inverno;
- con l'installazione del sistema di opere provvisorie volte a mantenere in esercizio l'impianto (che funzionerebbero per circa 4,5 mesi), si potrebbero sfruttare i mesi idrologicamente più abbondanti (ossia quelli primaverili);
- il getto dei concii di calcestruzzo avverrebbe durante il periodo primaverile ed estivo, consigliabile rispetto a quello invernale (sia per motivi meteorologici che di prestazione finale del prodotto).

In caso di eventi idrologici ritenuti avversi la data sarà posticipata.

#### *4.1.5 Volumi di sedimento rilasciati a valle tramite lo svaso*

Stimare la quantità di sedimenti che viene espulsa dallo scarico di fondo durante l'operazione di svaso rappresenta un'operazione tutt'altro che semplice, giacché essa, oltre a dipendere da più informazioni non sempre facilmente reperibili, dipende da altri fenomeni la cui caratterizzazione è a tutt'oggi dibattuta (ad esempio: funzione di trasporto solido, corazzamento, modellazione non stazionaria della scabrezza del fondo).

Nel metodo utilizzato per questo studio si è seguita l'idea generale di adottare, qualora necessario, ipotesi semplificative che sovrastimino il trasporto solido, affinché non venga sottostimato l'impatto negativo che quest'ultimo causa a valle.

È stato utilizzato il software del Genio Militare Americano HEC-RAS, che attualmente rappresenta uno strumento di riferimento a livello internazionale per la modellazione dell'idraulica fluviale, e che nel corso degli ultimi anni ha dedicato una particolare attenzione al fenomeno del trasporto solido. In particolare, un modello simile a quello impiegato era già stato utilizzato da Boyd & Gibson<sup>1</sup> nel 2016.

---

<sup>1</sup> Boyd, P. & Gibson, S., "Applying 1D Sediment Models to Reservoir Flushing Studies: Measuring, Monitoring, and Modeling the Spencer Dam Sediment Flush with HEC-



Utilizzando dei rilievi batimetrici del bacino, è stato ricreato un modello monodimensionale contenente l'intera area interessata dal fenomeno di svaso, tramite l'individuazione di più sezioni trasversali consecutive.

Al termine del bacino rappresentato, è stata creata una sezione che riproduce la diga di Cassiglio e lo scarico di fondo aperto secondo la modalità indicata al § 4.1.2 (si veda la figura seguente); i parametri relativi all'efflusso dallo scarico di fondo sono stati calibrati in modo tale da avere corrispondenza tra l'andamento altimetrico del livello dell'acqua ricavato da HEC-RAS e le portate assegnate.

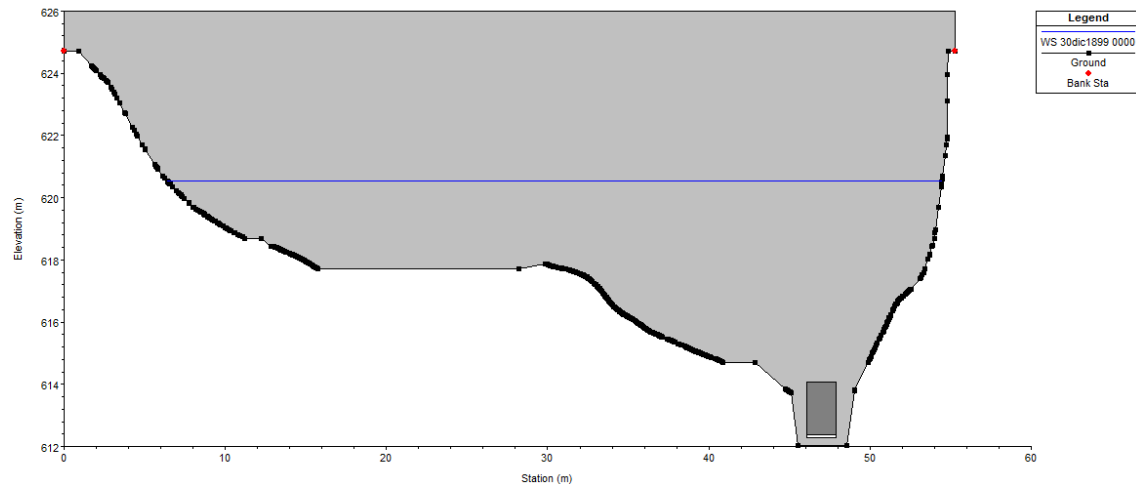


Figura 5 - Rappresentazione della diga su HEC-RAS.

Alle sezioni dell'alveo sono state assegnate le curve granulometriche ricavate dai sondaggi in sito, permettendo un'erosione potenziale fino al livello della soglia dello scarico di fondo (a favore di sicurezza). Più dettagliatamente, per la parte sommitale dell'invaso è stata assegnata la granulometria del campione prelevato nella conoide in testa all'invaso (campione 2 dell'allegato "Analisi granulometriche"), mentre per la parte restante dell'invaso è stata assegnata la granulometria del campione prelevato al centro dell'invaso (campione 1 dell'allegato "Analisi granulometriche").

Nella zona che interessa l'immissione del torrente Canale dei Faggi, il fondo dell'invaso si presenta tendenzialmente fine in destra idrografica e grossolano in sinistra (dove vi è la conoide); tuttavia, dato che il software permette di impostare un'unica curva granulometrica per sezione, è stato scelto di utilizzare la granulometria fine (in quanto i calcoli hanno dimostrato che questa scelta causa, seppur di poco, un maggior trasporto solido). Per quanto riguarda la definizione delle portate, è stata adottata una modellazione quasi stazionaria, con cui sono state assegnate delle portate costanti per determinati intervalli di tempo in maniera tale da riprodurre in maniera fedele la curva di svuotamento riportata al § 4.1.2; è da notare che questa scelta agisce a favore di sicurezza, giacché prevede che

---

RAS". Coastal and Hydraulics Engineering Technical Note (ERDC/CHL CHETN-XIV-52). Luglio 2016

la portata sia costante lungo l'intero bacino e pari a quella transitante nello scarico di fondo (mentre nella realtà, quanto più si va a monte, tanto minore è la portata transitante). Successivamente, tra i molti modelli messi a disposizione da HEC-RAS attinenti al trasporto solido, sono stati scelti quelli ritenuti più affidabili per il caso in questione. È stata in seguito eseguita un'analisi di sensitività rispetto a modelli di validità pseudo-equivalente, da cui è emerso un comportamento alquanto robusto dei risultati (variazioni di pochi m<sup>3</sup> di materiale espulso dallo scarico di fondo).

Il volume stimato è riportato nella tabella seguente, in cui sono anche riportati valori presunti di concentrazione di solidi sospesi nelle acque a valle.

<b>Volume sedimenti trasportati a valle [m<sup>3</sup>]</b>	~ 121
<b>Massa sedimenti trasportati a valle [kg]</b>	~ 131.000
<b>Volume acqua da rilasciare [m<sup>3</sup>]</b>	~ 11.600
<b>Portata massima [m<sup>3</sup>/s]</b>	1,50
<b>Portata media [m<sup>3</sup>/s]</b>	1,29
<b>Concentrazione media [g/l]</b>	~ 11,4

*Tabella 4 - Valori stimati del trasporto solido relativo al solo periodo di svuotamento (fase 2).*

Considerando le misure adottate per porsi a favore di sicurezza (cioè quelle cui corrisponde un maggior trasporto solido), si può dedurre che il materiale solido trasportato a valle è alquanto limitato se confrontato al volume d'acqua che si prevede di rilasciare tramite lo scarico di fondo. Il valore medio rispetta ampiamente il valore limite individuato per il corpo idrico a valle in questione (valore pari a 30 g/l, individuato al § 4.1.5). Il software fornisce come output l'andamento della concentrazione della concentrazione dei sedimenti trasportati.

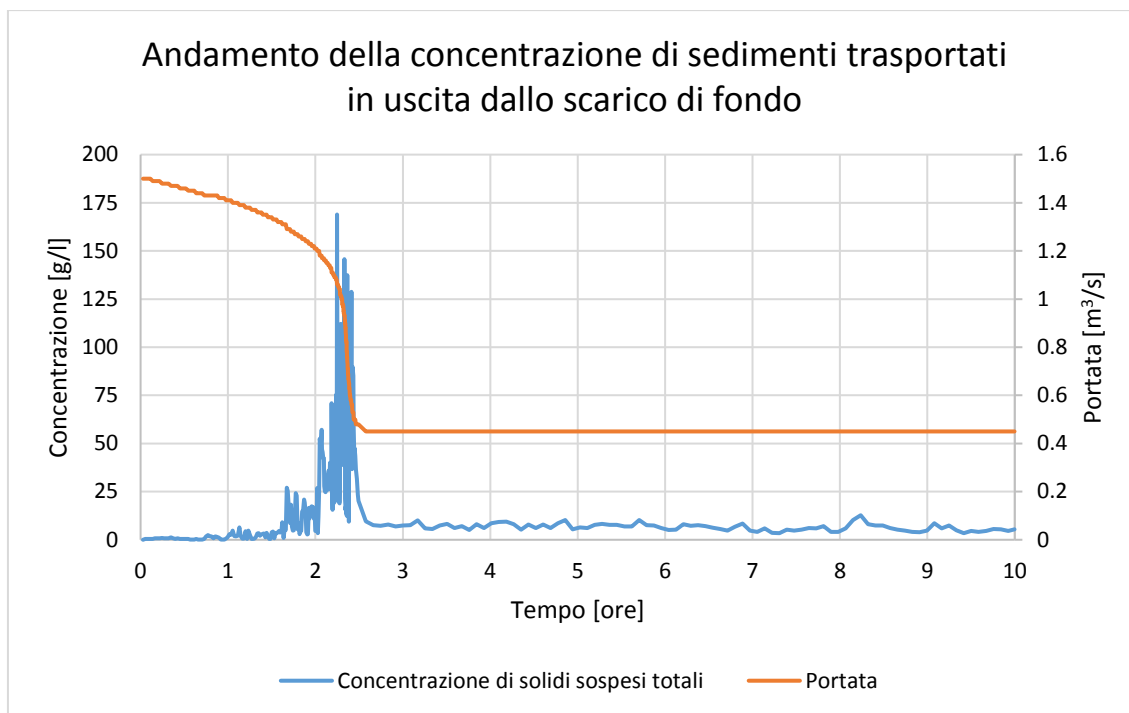


Figura 6 - Andamento della concentrazione di sedimenti trasportati in uscita dallo scarico di fondo.

Il grafico merita alcune considerazioni:

- Negli istanti finali dello svuotamento (verso le 2,5 ore), la concentrazione subisce picchi considerevolmente superiori al valore medio individuato precedentemente (pari a 11,4 g/l), a causa del tirante idrico basso, in quanto causa di aumento di velocità della corrente e conseguentemente degli sforzi tangenziali sul fondo dell'alveo.
- In seguito allo svuotamento (dalle 2,5 ore in poi), si ha solamente il ruscellamento delle acque provenienti dal torrente Cassiglio e dal torrente canale dei Faggi. Tale ruscellamento è responsabile di un trasporto solido residuo, che continua anche oltre lo svuotamento dell'invaso. La media della concentrazione valutata dopo il termine dello svuotamento (tra le 2,5 e le 10 ore dopo l'apertura dello scarico di fondo) è pari a 7,1 g/l.

Si fa presente che la valutazione della concentrazione dei solidi sospesi totali in uscita dall'invaso è un valore che dipende in maniera cruciale dalla portata (ignota) derivante dai due torrenti afferenti al bacino.

#### 4.1.6 Concentrazioni da rispettare a valle

Secondo la tabella 2 riportata nell'Allegato 2 della D.G.R. X/5736 del 24/10/2016, la concentrazione massima di solidi sospesi che deve essere rispettata a valle dipende dalla durata dello svaso e dalle caratteristiche del corpo idrico comprese nell'area di influenza.

Durata delle operazioni	Caratteristiche del corpo idrico compreso nell'area di influenza			
	A	B	C	D
Poche ore	10	20	30	50
1 - 2 giorni	5	10	20	30
1- 2 settimane	1,5	3	5	10

Tabella 2. Valori di concentrazione massima di riferimento per i solidi sospesi totali (g/L), calcolata come media sul periodo di riferimento.

Come espresso chiaramente nella relazione relativa alle indagini sulla fauna ittica redatta da CSBA (2008), il torrente Cassiglio, a monte dello sbarramento, si presenta come un tipico corso d'acqua a carattere temporaneo, le cui variazioni di portata e dinamiche geomorfologiche non consentono una regolare vita da parte dei pesci e una colonizzazione stabile dei substrati. La causa principale è la limitata estensione del bacino imbrifero (pari a circa 9,5 km<sup>2</sup>). A valle, il torrente Cassiglio presenta un comportamento ancor più saltuario, essenzialmente per il fatto che in condizioni di esercizio la diga non rilascia acqua a valle (questa viene rilasciata solo tramite eventi di sfioro). Solamente il tratto finale del torrente, prima dell'immissione nello Stabina, offre qualche zona idonea ad essere colonizzata stabilmente dall'ittiofauna; tuttavia, lo scarso numero di individui spinge a pensare che si tratti di esemplari risalenti dallo Stabina stesso. Inoltre, sempre come esposto dalla relazione redatta da CSBA, lo sviluppo di vegetazione funzionale risulta compromesso, non tanto dallo sbarramento, quanto piuttosto dalle difese spondali in calcestruzzo.

In ragione di queste considerazioni si può ritenere che il corpo idrico in questione ricada nella categoria "C", in quanto *"nel corpo idrico (o tratto di corpo idrico) la comunità ittica e le popolazioni delle specie ittiche si discostano sostanzialmente dalle attese; risultano considerevolmente alterate e influenzate da criticità e fattori limitanti (non riconducibili a operazioni di svaso o gestione dei sedimenti) tali da rendere il corpo idrico di basso interesse ittico"* (Allegato 2 del D.G.R. X/5736 del 24/10/2016).

Questa scelta viene confermata dalla relazione ambientale redatta da CSBA (§ 4.1).

Le concentrazioni di solidi sospesi totali previste durante le operazioni interessate dal piano operativo in questione sono variabili, dipendenti dalle operazioni che vengono svolte all'interno dell'invaso.

In particolare, per l'operazione di svuotamento dell'invaso, la cui durata è di poche ore (come indicato al § 4.1.24.1.4), la concentrazione media di solidi sospesi da non superare è pari a **30 g/l** (valore che viene ampiamente rispettato stando al modello utilizzato al § 4.1.5).

Per le concentrazioni relative alle fasi successive, si rimanda al § 4.2.4.

Per quanto riguarda la definizione di una concentrazione limite relativa all'ossigeno disciolto, si fa riferimento a quanto riportato nella tabella 1 dell'Allegato 2 del D.G.R. X/5736 del 24/10/2016:

	Acque salmonicole o ciprinicole reofile	Acque ciprinicole
Minima giornaliera	4,0	3,0
Media dei minimi di 7 giorni	5,0	4,0

Tabella 1. Valori di concentrazione di ossigeno disciolto (mg/L O<sub>2</sub>) medi e minimi per il periodo di riferimento.

Essendo il torrente Cassiglio a vocazione salmonicola, il valore minimo da garantire durante lo svuotamento è pari a **4,0 mg/l**, mentre durante la fase di ruscellamento antecedente alla fase 4 il limite relativo alla media dei minimi di 7 giorni è pari a **5,0 mg/l**.

#### 4.1.7 Comuni rivieraschi posti a valle dello sbarramento e compresi nell'area di influenza

L'unico comune rivierasco compreso nell'area di influenza è Cassiglio.

## 4.2 ASPORTAZIONE MECCANICA DEI SEDIMENTI A BACINO VUOTO

### 4.2.1 Disposizione del volume di materiale solido da asportare

Per quanto riguarda i volumi di sedimento asportati tramite operazioni di scavo, eseguite tramite escavatori, il volume stimato è pari a 32.500 m<sup>3</sup>, come riportato nella relazione ambientale redatta da CSBA. La distribuzione planimetrica è invece riportata nelle tavole "TAVOLA\_IDRO01" e "TAVOLA\_IDRO02", redatte da CSBA e presenti in allegato.

Si ritiene che questi risultati forniscano un inquadramento sufficientemente dettagliato per la disposizione dei sedimenti dell'invaso. Tuttavia, al fine di una maggiore consapevolezza relativa allo spessore (e alla tipologia) dei depositi di sedimenti, sono state eseguite ulteriori analisi sui depositi superficiali, i cui risultati sono materializzati nelle tavole allegate (Sialtec.01 e Sialtec.02).

Si ricorda che gli interventi di rimozione dei sedimenti dell'invaso sono mirati a ripristinare il volume d'invaso originario (pari a 81.000 m<sup>3</sup>, come da FCEM). La definizione di volume d'invaso è riportata nella D.G.R. n. X/5736 del 24/10/2016 della Regione Lombardia: *Volume di invaso: capacità del serbatoio compresa fra la quota più elevata delle soglie sfioranti degli scarichi, o della sommità delle eventuali paratoie (quota di massima regolazione), e la quota del punto più depresso del paramento di monte, da individuare sulla linea di intersezione tra detto paramento e piano di campagna*. In riferimento a ciò, si fa presente che in testa all'invaso è stata realizzata una scogliera in seguito all'evento alluvionale del 1987 (già citata nel piano di caratterizzazione del presente Progetto di Gestione), la cui quota di fondazione si trova al di sotto della quota di massima regolazione (626,00 m s.l.m.), e dunque è stato lievemente modificato il volume d'invaso. La mancanza di dati topografici o batimetrici sufficientemente dettagliati antecedenti al 1987 e la modesta estensione dell'area interessata dalla realizzazione della scogliera impediscono una quantificazione affidabile dell'eventuale riduzione del volume d'invaso associato a questo intervento. A sostegno di questa considerazione si mostra, in Figura 7, un dettaglio della tavola sialtec.01 (presente in allegato): l'area situata al di sotto dell'isoipsa

626 m s.l.m. originaria (disegno del 1951) che interessata dalla presenza della scogliera e del rinterro artificiale è molto contenuta (circa 270 m<sup>2</sup>) se confrontata all'intera superficie dello specchio liquido dell'invaso alla quota di 626 m s.l.m. (circa 14.000 m<sup>2</sup>). Si ritiene che l'ordine di grandezza dell'eventuale riduzione del volume d'invaso originario potrebbe essere di un centinaio di m<sup>3</sup>, trascurabile rispetto al volume d'invaso (il quale ha ordini di grandezza 2÷3 volte superiori).

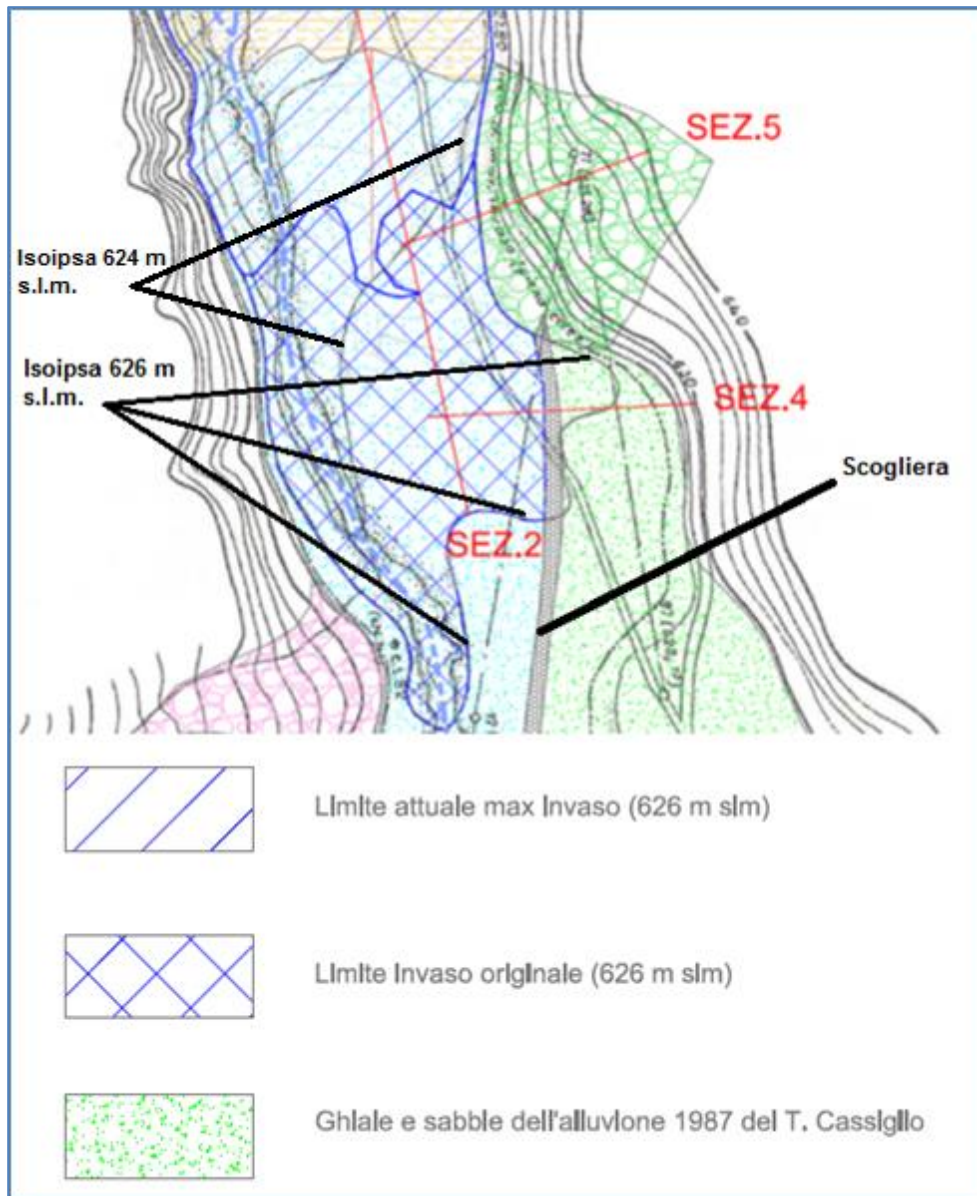


Figura 7 – Dettaglio della tavola sialtec.01, con inquadramento della scogliera e dei depositi alluvionale del 1987

#### 4.2.2 Caratterizzazione del materiale da rimuovere

Nella relazione ambientale redatta da CSBA (§ 3.2) sono riportati gli esiti delle analisi granulometriche, fisico-chimiche ed ecotossicologiche, da cui emerge l'assenza di sostanze inquinanti o pericolose.

In particolare, la caratterizzazione del materiale da rimuovere è stata effettuata su due campioni: il primo è stato prelevato nella parte sommitale dell'invaso, e rappresenta i sedimenti più grossolani, mentre il secondo deriva dalla parte centrale dell'invaso, in cui i sedimenti hanno una granulometria più fine.

I due campioni, in seguito all'analisi granulometrica, presentano la seguente caratterizzazione (AGI 1977):

1. Campione Cassiglio 01: ghiaia debolmente sabbiosa con tracce di limo;
2. Campione Cassiglio 02: limo con sabbia ghiaioso con tracce di argilla.

#### 4.2.3 Programmazione dei lavori

In questo capitolo vengono illustrati in maniera schematica i lavori che si intendono compiere all'interno dell'invaso, fornendo indicazioni qualitative sulla possibile durata richiesta da ogni operazione. Si fa riferimento a due elaborati:

- Tavola "Fasi di cantiere", in cui la mappa dello spessore dei sedimenti fornita da CSBA viene utilizzata come base per l'individuazione delle varie fasi di lavoro
- Il "cronoprogramma dei lavori", in cui vengono riprese le operazioni citate nella suddetta tavola

Il cantiere dovrà essere organizzato in modo che, al verificarsi di prolungati ed intensi eventi di piena, gli operatori ed i mezzi possano rapidamente evacuare l'invaso, utilizzando la viabilità completata per raggiungere la strada situata in destra idrografica; in questo modo verrà evitata la compromissione della salute degli operatori e del funzionamento dei macchinari. Si fa presente che l'effettiva durata delle operazioni subirà probabilmente delle piccole variazioni in corso d'opera, in funzione del nuovo assetto dei sedimenti conseguente allo svaso, assetto difficilmente prevedibile a priori. Vengono fornite di seguito anche indicazioni sulle durate delle singole fasi (facendo presente che alcune di queste fasi si sovrappongono) e si rimanda al cronoprogramma per un maggiore dettaglio.

#### Fase 1 (~ 3 settimane)

In seguito al sezionamento dell'opera di presa sullo Stabina e al termine dell'operazione di svuotamento dell'invaso, degli escavatori accederanno al manto ghiaioso sommitale dell'invaso tramite la piccola rampa attualmente presente sul lato destro (nei pressi della piazzola). Sarà prelevata ghiaia a sufficienza in modo da permettere la realizzazione di una viabilità percorribile anche da autocarri a tre assi; la ghiaia sarà anche parzialmente riutilizzata a fini drenanti nel tratto dell'invaso più a valle in cui i sedimenti hanno consistenza limo-sabbiosa. La viabilità raggiungerà una zona distante circa 6 m dalla diga. Inoltre, sarà ricavata una zona di deposito temporaneo in prossimità del termine della conoide del Canale dei Faggi. Durante queste operazioni preliminari si procederà anche al recupero ittico, secondo le stesse modalità adottate durante lo svaso del 2013.

Contemporaneamente sarà allestita un'area (indicativamente di superficie 20-30 m) adibita allo stoccaggio temporaneo dei sedimenti asportati (ed eventualmente alla riduzione del contenuto d'acqua, per i sedimenti limosi) nella parte superiore dell'invaso, vicino alla rampa citata precedentemente.

Durante gli scavi, si dovrà prestare attenzione al tratto superiore del pendio destro dell'invaso: come evidenziato dalla sezione 4 della tavola "sialtec.02", è presente una scogliera in massi cementati con fondazione a una quota inferiore ai 626 m s.l.m. (quota di massima regolazione); nella sezione 5 si mostra invece la presenza della strada di Via del Lago: la rimozione dei sedimenti in queste aree sarà eseguita con le limitazioni necessarie a non compromettere la stabilità strutturale di queste opere.

Da questa fase in poi, i sedimenti asportati dal bacino saranno caricati, sempre tramite escavatori, su degli automezzi, i quali usciranno dall'invaso per ritornare in Via del Lago e per poi essere consegnato a Calcestruzzi S.p.A., che ha manifestato interesse nell'acquisizione del materiale in vista di un reimpiego dello stesso come aggregato per il confezionamento di calcestruzzo (il recapito ad oggi individuato è la cava di Cassano d'Adda). Questa ipotesi è preferibile rispetto al conferimento in discarica sia dal punto di vista economico sia per il consumo del suolo. Tuttavia, essa dovrà essere riflettuta e riconfermata in base all'effettiva applicabilità delle norme che saranno in vigore al momento.

Si ricorda che lo svasso è previsto per il 30 marzo (di un anno compatibile con i tempi dei processi di autorizzazione), come esposto al § 4.1.4.

#### Fase 2 (~ 3 settimane)

In determinate aree prossime allo sbarramento saranno rimossi i sedimenti presenti ed eventualmente anche porzioni di roccia per consentire l'installazione di una gru di cantiere (che dovrà avere uno sbraccio di circa 60 m) e l'esecuzione di parti delle opere previste per il mantenimento in esercizio dell'impianto. Si fa presente che si scaverà al di sotto della quota della soglia dello scarico di fondo, pertanto si ricorrerà a pompe d'aggettamento con cui poter aspirare l'acqua dalla zona interessata dagli scavi per restituirla a valle dello sbarramento attraverso lo scarico di fondo.

Contemporaneamente si provvederà a realizzare un'ulteriore area adibita allo stoccaggio temporaneo dei sedimenti asportati, a monte di quella realizzata in precedenza.

#### Fase 3 (~ 3 settimane)

Sarà installata la gru, sfruttando l'area ricavata precedentemente e creata una zona di deposito temporaneo vicina. Al termine di queste attività preliminari avrà inizio la costruzione delle opere temporanee volte a derivare le acque provenienti dallo Stabina verso l'impianto idroelettrico. In particolare, in questa fase si prevede di:

- installare una condotta d'acciaio DN 1000 che attraverserà da sinistra a destra l'invaso, ancorata al substrato roccioso tramite strutture metalliche;



- realizzare la vasca di carico di monte della condotta: struttura metallica amovibile (di dimensioni 2·3·3 m circa) da raccordare all'attuale sbocco della galleria proveniente dall'opera di presa sullo Stabina; nella parte inferiore è previsto un modesto getto di calcestruzzo volto a sostenere la struttura metallica permettendo al contempo il raccordo con la condotta di cui sopra;
- realizzare la vasca di carico a valle: anch'essa struttura metallica amovibile (di dimensioni 4·6·5,5 m circa) da raccordare all'attuale imbocco dell'opera di presa e da collocare al di sopra del canale sghiaiatore esistente a ridosso dello scarico di fondo;
- installazione di uno sfioratore a calice: tubo corrugato in polietilene (1 m di diametro) da collocare all'interno della vasca di carico di valle, con un raccordo a T presente nell'estremità inferiore (che servirà successivamente per la posa del bypass).

Dove compatibile con questi lavori si procederà nel contempo alla rimozione dei sedimenti nelle aree che saranno interessate dal bypass e dal rilevato (finalizzati a raccogliere e convogliare a valle della diga le acque provenienti dal torrente Cassiglio e dal torrente Canale dei Faggi).

#### Fase 4 (~ 2 settimane)

Sarà posato il bypass del Cassiglio e del Canale dei Faggi (tubo corrugato in polietilene con diametro di 1 m), provvedendo anche ad opportune opere di ancoraggio da valutare in funzione del profilo esatto individuato dopo gli scavi preliminari. Parte del bypass sarà introdotto all'interno del canale sghiaiatore in muratura, da monte e da valle, raccordandolo alla giunzione a T. L'estremità iniziale del bypass sarà posata a monte della zona interessata dal rilevato (in modo tale che il bypass sia interrato in esso), mentre l'estremità finale sarà collocata all'interno dello scarico di fondo (foro quadrato di 1,8 m di lato), in modo che le acque provenienti dai due torrenti possano essere rilasciate a valle dell'invaso. In particolare, sarà previsto un piccolo scavo (se necessario) al di sotto del tratto terminale del bypass, affinché siano facilitati i successivi scavi in prossimità del paramento di monte della diga.

Avrà quindi inizio l'asportazione dei sedimenti derivanti del torrente Canale dei Faggi, i quali costituiscono da soli il 10% circa dei sedimenti totali presenti attualmente nell'invaso (circa 3.500 m<sup>3</sup> sui 32.500 m<sup>3</sup> totali). A monte delle aree di lavoro previste per l'appesantimento della diga verranno realizzate opere provvisorie (ture, sistema di tubazioni e canalizzazioni, così come indicate nella tavola delle fasi di cantiere in allegato) volte a convogliare le acque dei due torrenti verso lo scarico di fondo. La tura (realizzata utilizzando materiale ghiaioso prelevato precedentemente e dalla conoide del Canale dei Faggi) permetterà il transito di circa 3 m<sup>3</sup>/s, valore superiore al valore massimo della curva di durata valutata da Giorgio in corrispondenza della diga (REL\_TCN-IDR-PRG-22-11-ver 03). Nel caso in cui il terreno su cui si intende realizzare il rilevato si mostri

particolarmente poroso, e dunque manifesti una predisposizione al sifonamento, verranno realizzati delle opere impermeabili volte a evitare il verificarsi del suddetto fenomeno. La viabilità viene adeguata in modo che passi al di sopra del rilevato.

Terminate queste attività viene rimessa in funzione l'opera di presa sul torrente Stabina, affinché le acque possano essere convogliate in sicurezza nell'opera di presa dell'invaso tramite il sistema di opere provvisorie precedentemente installato.

#### Fase 5 (~ 3 settimane)

La viabilità di cantiere sarà estesa fino alla parete di monte della diga in modo che si raggiunga la quota delle fondazioni, ossia 608,70 m s.l.m.. In seguito, raggiunta questa quota nella parte centrale della diga, si procederà a rimuovere ulteriori sedimenti e porzioni rocciose a ridosso della diga (a destra e a sinistra della parte terminale della rampa). Saranno necessari scavi in roccia, eseguiti tramite martelloni idraulici. Il materiale ghiaioso e roccioso di risulta (circa 1.000 m<sup>3</sup>) sarà collocato temporaneamente in aree dell'invaso già private dei sedimenti (asportati in precedenza). Si fa presente che parte di questo materiale deriva da una regione che non può essere considerata come volume utile dell'invaso, in quanto si trova a quote inferiori a quella della soglia dello scarico di fondo (612,27 m s.l.m.); di conseguenza si prevede, al termine dei lavori, di riempire nuovamente questa regione. Ci si riserva altresì di valutare l'opportunità di consegna di questa porzione di tout-venant a Calcestruzzi S.p.A.; in tal caso per il riempimento verrà utilizzato parte del materiale proveniente dall'asportazione dei sedimenti.

#### Fase 6 (~ 4 mesi)

Al termine degli scavi potrà avere inizio la fase di appesantimento della diga, che consisterà essenzialmente nel getto consecutivo di più conci di calcestruzzo; per maggior dettagli relativi a quest'opera si rimanda alla relazione "1-Relazione CAS-R-00 Relazione generale" e alla relazione "19-Relazione CAS-R-02 Organizzazione cantiere" (in cui si stima che la durata totale dei lavori si attesti intorno agli 80 giorni lavorativi, ossia circa 4 mesi).

Compatibilmente con questi lavori, e con il traffico lungo la viabilità del cantiere di appesantimento, si procederà alla rimozione dei sedimenti nelle aree rimanenti dell'invaso, sempre tramite escavatori. I sedimenti limosi, prima dell'allontanamento dall'invaso, potranno essere depositati temporaneamente nelle apposite aree di accumulo già descritte.

#### Fase 7 (~ 4 mesi)

Al termine dell'opera di appesantimento, sarà sezionata nuovamente l'opera di presa sul torrente Stabina e si procederà da valle verso monte alla rimozione delle opere provvisorie realizzate per il mantenimento in esercizio dell'impianto.

#### Fase 8 (~ 4 settimane)

Il cantiere sarà definitivamente ripiegato, saranno rimosse tutte le opere provvisionali e si potrà procedere al riempimento dell'invaso.

#### 4.2.4 *Concentrazioni di solidi sospesi durante il ruscellamento*

La concentrazione di solidi sospesi durante l'esecuzione dei lavori è variabile, e strettamente dipendente da due fattori: le operazioni svolte all'interno dell'invaso e le portate naturali transitanti all'interno dell'invaso. Non potendo controllare i deflussi naturali, il principio che guida i lavori è quello di prevedere appositi accorgimenti che permettano di influenzare quanto meno possibile la concentrazione di solidi sospesi che caratterizzano i deflussi naturali presenti nel bacino svuotato.

Si ricorda che per l'operazione di svuotamento dell'invaso, la cui durata è di poche ore (come indicato al § 4.1.2), la concentrazione media stimata è pari a circa 11,4 g/l.

##### Fase 1 (~ 3 settimane)

Completato lo svuotamento dell'invaso, i corsi d'acqua transitano all'interno di canali incisi (che possono corrispondere o meno con quelli desunti dal rilievo topografico del 2013). In questa fase, l'unica operazione che potrebbe modificare la naturale concentrazione di solidi sospesi che si verificherebbe in assenza dei lavori è la realizzazione della viabilità per accedere alla diga.

Indicativamente, nei primi 5 giorni lavorativi viene preparata la viabilità senza occupare porzioni di terreno interessate dai deflussi naturali. Successivamente la viabilità deve inevitabilmente attraversare i canali incisi (sia del torrente Cassiglio che del torrente Canale dei Faggi): in queste circostanze è prevista la posa di tubazioni che permettano di congiungere i due tratti di canale inciso interrotto dalla viabilità, cosicché il transito dei mezzi non provochi l'intorbidimento delle acque. Queste operazioni hanno una durata limitata, di poche ore.

In tutta questa fase si prevede dunque una concentrazione di solidi sospesi tendenzialmente costante e pari a quella che si verificherebbe in caso di solo ruscellamento (quindi circa 7,1 g/l nell'ipotesi che la portata in ingresso sia pari a quella media annua), salvo la presenza di periodi di qualche ora in cui la concentrazione media potrebbe aumentare (assumendo valori medi difficilmente stimabili poiché dipendenti dalle condizioni locali dell'intervento e dalla portata naturale transitante in quel breve lasso di tempo).

##### Fase 2 (~ 3 settimane)

Durante questa fase è prevista la movimentazione di sedimenti che per la maggior parte sono situati a quote superiori di quelle dei canali incisi in cui scorrono gli afflussi naturali. Al fine di evitare piccoli scoscendimenti che possano far scivolare porzioni di sedimenti all'interno dei corsi d'acqua, sono previste opere di contenimento semplici. Per l'unica regione che interessa i canali incisi (l'area in prossimità dello scarico di fondo e dell'opera di presa), è prevista una tubazione temporanea, simile a quelle degli attraversamenti della viabilità riportati nella Fase 1, la cui realizzazione richiede un tempo limitato (poche ore). Anche in questo caso la concentrazione attesa di solidi sospesi non si discosta dal valore che si avrebbe in caso di solo ruscellamento, salvo periodi di poche ore con

concentrazioni medie maggiori e presumibilmente simili a quelle attese durante il primo svuotamento.

#### Fase 3 (~ 3 settimane)

Durante l'installazione della gru e delle opere per il mantenimento in esercizio dell'impianto (vasche di carico, condotta e sfioratore a calice) non è previsto l'intorbidimento delle acque defluenti nei canali, per merito delle tubazioni previste nelle fasi precedenti. È previsto invece un aumento della concentrazione di solidi sospesi durante gli scavi della regione in cui verrà posato il bypass ed in cui verrà realizzato il rilevato (la cui durata è stimata in 5 giorni lavorativi): anche in questo caso si ricorre all'utilizzo di tubazioni che permettono di limitare l'intorbidimento.

Come per le fasi precedenti, la concentrazione di solidi sospesi si discosta dal valore associato al ruscellamento teoricamente solo durante le ore impiegate per collocare le tubazioni temporanee e presumibilmente simili a quelle attese durante il primo svuotamento.

#### Fase 4 (~ 2 settimane)

Questa fase è certamente la più critica per quanto riguarda la possibilità di intorbidimento delle acque defluenti a valle della diga, poiché modifica sensibilmente le vie che percorrono le portate naturali: si prevedono dunque accorgimenti volti a limitare l'intorbidimento. In particolare, il bypass è stato pensato in modo da permetterne la posa in tempi relativamente celeri (stimati in circa 2 giorni lavorativi); si prevede di preparare il canale che raccoglie le acque del torrente Canale dei Faggi mentre la piccola portata del torrente (portata media annua di circa 70 l/s) scorre ancora attraverso il canale inciso ed attraverso la tubazione che la convoglia nello scarico di fondo: la deviazione del corso d'acqua verso il canale appena realizzato ha una durata di poche ore, e sarà realizzata in un periodo di magra del torrente, sempre al fine di limitare il fenomeno di intorbidimento.

Per questa fase dunque è prevista una concentrazione tendenzialmente simile a quella che si avrebbe col solo ruscellamento, ad eccezione dei due giorni in cui viene posato il bypass e durante le poche ore in cui il torrente Canale dei Faggi sarà deviato verso l'opera di canalizzazione in progetto.

#### Fasi 5-8 (~ 20 settimane)

Nelle fasi rimanenti, in cui avviene l'appesantimento della diga, l'eventuale intorbidimento delle acque potrebbe essere causato dalla movimentazione dei sedimenti da asportare a monte del rilevato in progetto. Anche in questo caso, si prevedono semplici opere di contenimento e tratti di tubazioni che consentono di ripristinare il volume d'invaso originario limitando quanto possibile il franamento di materiale solido all'interno dei corsi d'acqua.

Anche in questa fase, la concentrazione di solidi sospesi si discosta dal valore associato al ruscellamento durante le ore impiegate per collocare le tubazioni temporanee.

#### 4.3 EFFETTI SULL'ECOSISTEMA

In generale, l'attività di svasso comporta un'alterazione del corpo idrico a valle sia a livello abiotico che biotico.

Di seguito vengono presentati gli effetti principali che possono interessare le componenti abiotiche:

- deposizione di sedimento sul fondo dell'alveo, con conseguente modificazione della forma dell'alveo, del tipo di substrato e dell'habitat;
- aumento della torbidità e concentrazione dei solidi sospesi e solidi sedimentabili;
- diminuzione dell'ossigeno disciolto;
- variazione delle proprietà chimiche (tra le più importanti: pH e presenza di ammoniaca);
- incremento della concentrazione di inquinanti specifici.

La componente biotica presente nel corpo idrico di valle, influenzata dalla modifica dei parametri abiotici, può incorre nei seguenti effetti principali:

- riduzione di visibilità;
- riduzione di risorse alimentari;
- riduzione di habitat;
- abrasione e occlusione;
- lesioni;
- morte.

Certamente il rilascio di sedimenti, eseguito secondo le modalità anticipate al § 2.1.1, è responsabile di modifiche nella morfologia del tratto del torrente Cassiglio a valle dello sbarramento. Questo effetto, congiuntamente con l'aumento della torbidità, sottoporrebbe a stress popolazioni ittiche e macrobentoniche presenti nel corso d'acqua.

Si deve d'altronde considerare che la presenza di tale fauna è di per sé già ostacolata dallo scarso e saltuario regime torrentizio dell'alveo (come riportato nella relazione ambientale, redatta da CSBA). Infatti, soltanto il tratto terminale del torrente Cassiglio offre qualche zona idonea per la colonizzazione dell'ittiofauna, ma l'esiguo numero di esemplari ittici rilevati suggerisce che non vi risieda una vera e propria popolazione, quanto piuttosto individui che risalgono dal vicino Stabina.

Sono comunque previste alcune misure di mitigazione volte a limitare potenziali effetti negativi sull'ittiofauna. A seguito di queste misure, con buona probabilità, gli unici effetti prodotti consisteranno in un contenuto aumento della torbidità e in una spinta (non irrilevante, ma comunque inferiore a quella che si avrebbe in condizione di piena) dell'ittiofauna verso il torrente Stabina.

#### 4.4 MISURE DI MITIGAZIONE

Una prima misura di mitigazione consiste nel rilasciare il minor volume d'acqua possibile a valle (cercando di convogliare quanta più acqua possibile all'impianto di Olmo al Brembo). I volumi effettivi che transiteranno a valle dipenderanno dal livello idrico

dell'invaso e dagli afflussi dei due torrenti il giorno dello svuotamento, come chiarito in precedenza.

Inoltre, come indicato al § 4.1.2, è stato scelto di rilasciare una portata massima pari a 1,5 m<sup>3</sup>/s, sensibilmente inferiore al valore di piena ordinaria (pari a circa 2 ÷ 3 m<sup>3</sup>/s), così da limitare processi erosivi vallivi e correnti troppo veloci per l'ittiofauna.

In aggiunta, secondo la stima del trasporto di materiale solido a valle dell'invaso associata alla modalità di svaso prevista (§ 4.1.5), si otterrebbe, durante lo svaso, una concentrazione di solidi sospesi inferiore a quella ritenuta massima per il corpo idrico in questione secondo la D.G.R. n. X/5736 del 24/10/2016 della Regione Lombardia (ossia 30 g/l, come mostrato al § 4.1.6): già di per sé, quindi le modalità di svaso previste rappresentano una misura di mitigazione dell'impatto dell'operazione.

Anche la scelta della data prevista per lo svaso (30 marzo) contiene in sé misure di mitigazione multiple. Il periodo invernale rappresenta la scelta ottimale dal punto di vista dell'efficienza del sistema di opere provvisorie finalizzate al mantenimento in esercizio dell'impianto (in quanto permette il completo utilizzo dei mesi primaverili, quelli più abbondanti in termini di portate disponibili per la produzione idroelettrica), ma esso è anche il periodo in cui, secondo la relazione ambientale redatta da CSBA, avviene la riproduzione dei Salmonidi, oltre ad essere un periodo di magra e di stratificazione termica. Si ritiene che la data indicata possa costituire un buon compromesso tra le esigenze ambientali e quelle relative ai lavori in programma (di ripristino del volume di vaso originario e di appesantimento della diga).

Per smussare i picchi di concentrazione di solidi sospesi che inevitabilmente si manifesteranno, e per evitare bruschi aumenti di portate che provocherebbero allontanamenti violenti della fauna ittica verso valle, si prevede un'apertura graduale dello scarico di fondo.

Un'ulteriore forma di mitigazione, relativa alla torbidità post-svaso, consiste nella realizzazione del bypass citato precedentemente, il quale convoglia le acque provenienti dai due torrenti a monte dell'invaso a valle dello sbarramento, conservandone le stesse – ottime - qualità fisico-chimiche. Ciò comporta un effetto di diluizione dei solidi che si sedimenteranno a valle della diga in occasione dello svaso.

#### 4.5 PIANO DI MONITORAGGIO

Al fine di poter analizzare l'efficacia e l'impatto ambientale dell'operazione di svaso, è necessario prevedere analisi eseguite prima, durante e dopo l'operazione di svaso. La compatibilità ambientale dell'operazione di svaso viene valutata in funzione della reversibilità degli effetti: se le condizioni post-svaso sono considerate irrimediabilmente peggiori di quelle pre-svaso, lo svaso è da considerarsi inadatto e il progetto di gestione dovrà essere opportunamente aggiornato.

Per la definizione del piano di monitoraggio relativo allo svaso, si fa riferimento a quanto già eseguito durante lo svuotamento totale dell'invaso avvenuto in data 02/12/2013.

Come già ampiamente descritto ai paragrafi precedenti e nelle tavole allegate, una volta completato lo svaso è prevista l'installazione di un bypass che intercetta le acque provenienti dal torrente Cassiglio e dal torrente Canale dei Faggi per rilasciarle a valle dello sbarramento, attraverso lo scarico di fondo; quest'opera rimarrà in funzione fino al termine dell'opera di appesantimento della diga. Le acque transitanti a valle sono quelle che si avrebbero in assenza dello sbarramento; per questo motivo non sono previste attività di monitoraggio durante il periodo di funzionamento del bypass.

Durante il periodo di ruscellamento antecedente alla realizzazione del bypass, ossia quando il bacino è vuoto e a valle della diga defluiscono soltanto le portate naturali, è previsto il monitoraggio delle portate e di alcuni parametri relativi alla qualità delle acque rilasciate attraverso lo scarico di fondo.

Relativamente alle indagini pre e post-svaso, si intende ripetere le stesse misurazioni previste dal Piano di Monitoraggio Ambientale (PMA) e già eseguite tra maggio 2014 e settembre 2016, in occasione del rinnovo di concessione di utilizzo idroelettrico, integrandole con nuove misure in accordo con quanto previsto dalla D.G.R. n. X/5736 del 24/10/2016 della Regione Lombardia. Tale piano era stato redatto e strutturato in relazione a quanto previsto dal Decreto 260 dell'08/11/2010 del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, dal Disciplinare di Concessione e dalle indicazioni di ARPA – Dip. di Bergamo. Questa scelta è motivata dal fatto che il PMA in questione è già stato approvato ed eseguito, e dal fatto che una nuova esecuzione permette un confronto più rappresentativo tra nuovi e vecchi dati.

#### *4.5.1 Monitoraggio durante lo svaso*

Come già anticipato, l'attività di monitoraggio durante l'esecuzione dello svuotamento sarà eseguita in maniera analoga a quanto già fatto nel corso dello svaso avvenuto il 02/12/2013, con opportune integrazioni. Si ripropongono le stesse modalità di misurazione nella stessa area di monitoraggio.

Si individua un'unica stazione di monitoraggio a valle della confluenza del torrente Cassiglio nel torrente Stabina.

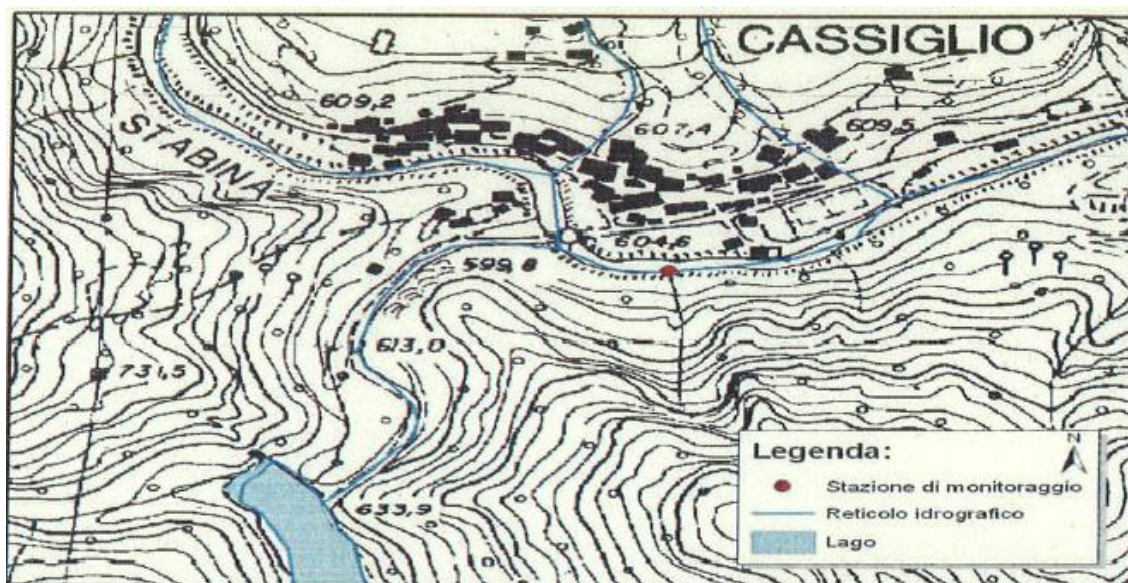


Figura 8 - Localizzazione della stazione di monitoraggio durante lo svaso (estratto della relazione allegata “Monitoraggio Solidi Sospesi Totali”, eseguita da GRAIA nel 2013)

Durante le poche ore in cui sarà eseguito lo svuotamento dell’invaso, saranno effettuate misurazioni relative ai solidi sospesi totali, secondo le tre modalità seguenti:

- sonde mobili
- coni Imhoff
- analisi in laboratorio di campioni raccolti sul campo

Oltre a queste misure è prevista l’installazione di due sistemi di misurazione di portata:

- una sul torrente Cassiglio, in prossimità del lato di monte dello scarico di fondo, attraverso una taratura della sezione ed una misurazione in continuo del livello del pelo libero dell’acqua;
- una sul torrente Stabina, coincidente con la stazione di monitoraggio dei solidi sospesi totali indicata in Figura 8, attraverso una taratura della sezione ed una misurazione in continuo del livello del pelo libero dell’acqua.

In seguito, durante il periodo di ruscellamento antecedente alla realizzazione del bypass (ossia fino alla fase 4 della programmazione dei lavori descritta al § 4.2.3), è prevista l’installazione di una sonda fissa (ubicata nella medesima stazione di monitoraggio prevista per il monitoraggio dei solidi sospesi), che rileverà in maniera continua i seguenti parametri:

- concentrazione dei solidi sospesi
- concentrazione di ossigeno disciolto
- temperatura
- pH

#### 4.5.2 Monitoraggio pre e post-svaso

Come anticipato in precedenza, si ripropongono, per la durata di un anno, le medesime attività previste dal Piano di Monitoraggio Ambientale (PMA, di durata triennale) redatto



nel 2013, in occasione del rinnovo della concessione dell'impianto idroelettrico in questione. Ciò è motivato dal fatto che il PMA in questione è già stato approvato ed eseguito (tra maggio 2014 e settembre 2016), e dal fatto che una nuova esecuzione permette un confronto più rappresentativo tra nuovi e vecchi dati. In particolare, si intende effettuare una campagna di misurazioni prima dello svaso, e una campagna annuale dopo il termine delle operazioni (al termine delle opere di appesantimento e di smantellamento delle opere volte a mantenere temporaneamente in esercizio l'impianto). In aggiunta a queste misure, si prevede anche l'esecuzione di monitoraggi mirati a valutare l'effetto dello svaso sulla fauna ittica.

Le stazioni di monitoraggio sono 2:

- una sul torrente Stabina, poco a valle dell'opera di presa;
- una sul torrente Stabina, poco prima della confluenza nel fiume Brembo.

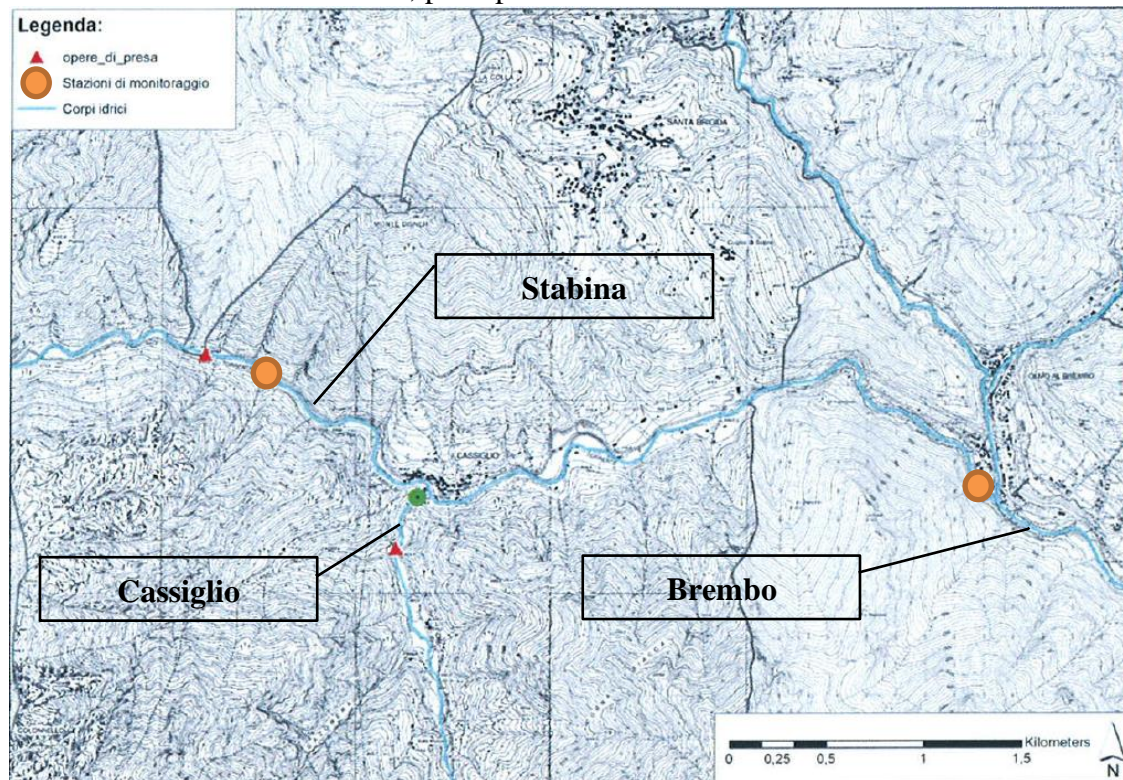


Figura 9 - Localizzazione delle due stazioni di monitoraggio pre e post operazioni (sullo Stabina, a monte e a valle dell'immissione del torrente Cassiglio; sulla base dell'estratto della relazione allegata "Monitoraggio ecologico dei torrenti Stabina e Cassiglio", eseguita da GRAIA nel 2017).

Le analisi sono così strutturate:

- analisi fisico-chimiche e microbiologiche sulle acque (1 campionamento pre-svaso, 4 campionamenti post-svaso, sonde portatili da campo e analisi in laboratorio, utilizzo dell'indice LIMeco), basata sui seguenti parametri:
  - pH
  - conducibilità elettrica

- temperatura
- ossigeno disciolto
- BOD<sub>5</sub>
- COD
- ammoniaca indissociata
- ammoniaca totale
- fosforo totale
- azoto nitrico
- solidi sospesi
- *Escherichia coli*
- analisi dei macroinvertebrati (metodica multi-habitat quantitativa APAT-ISPRA, utilizzo dell'indice STAR\_ICMi);
- analisi delle diatomee (utilizzo dell'indice ICMi);
- analisi della fauna ittica (campionamento semiquantitativo, secondo la procedura standardizzata "Moran-Zippin"), da eseguire unicamente nelle due stazioni di monitoraggio sul torrente Stabina

La frequenza delle misurazioni ricalcano quelle previste dal sopracitato PMA (anche se in questo caso la durata del monitoraggio post-svaso è di un anno), e seguono la programmazione seguente:

- pre-svaso:
  - rilievo batimetrico: 1 rilievo entro un mese dall'inizio dello svaso (nel caso in cui questo avvenga durante o dopo il 2021);
  - analisi fisico-chimiche e microbiologiche sulle acque: 1 campionamento entro un mese dall'inizio delle operazioni di svaso;
  - analisi dei macroinvertebrati: 1 campionamento entro un mese dall'inizio delle operazioni di svaso;
  - analisi delle diatomee: 1 campionamento entro un mese dall'inizio delle operazioni di svaso.
- post-svaso:
  - rilievo topografico: 1 rilievo entro un mese dal termine delle operazioni;
  - analisi fisico-chimiche e microbiologiche sulle acque: 4 campionamenti nell'anno che inizia dal termine dei lavori (uno per stagione);
  - analisi dei macroinvertebrati: 3 campionamenti nell'anno che inizia dal termine dei lavori (primavera, estate, autunno);
  - analisi delle diatomee: 2 campionamenti nell'anno che inizia dal termine dei lavori (fine primavera, fine estate).
  - analisi della fauna ittica: 2 campionamenti (il primo entro un mese dal termine delle dei lavori, il secondo dopo un anno dal termine dei lavori)

#### 4.6 PIANO DELLE COMUNICAZIONI

Il presente piano delle comunicazioni individua tre periodi in cui inviare comunicazioni, tramite posta elettronica, al Tavolo Tecnico; essi sono esposti nei paragrafi seguenti.

Si ricorda che, per definizione, lo svaso vero e proprio durerà per l'intera esecuzione delle opere di appesantimento della diga; per svuotamento si intende invece il periodo che coinvolge le fasi 1 e 2 presentate ai § 4.1.1 e 4.1.2.

##### *4.6.1 Comunicazioni prima dello svuotamento dell'invaso*

Come indicato nell'Art. 5 del D.M. 30/06/2004, almeno 4 mesi prima delle operazioni specifiche di svaso, sfangamento o spurgo, la Direzione Lavori incaricata dal Gestore provvederà ad inviare un programma di sintesi delle attività previste agli enti seguenti: amministrazione competente a vigilare sulla sicurezza dell'invaso, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Dipartimento Nazionale della Protezione Civile, Autorità di Bacino, Regione Lombardia, enti locali interessati (comune di Cassiglio, provincia di Bergamo, servizio Caccia e Pesca), e più in generale agli enti che compongono il Tavolo Tecnico e le autorità competenti.

Inoltre, il Gestore si premurerà di informare con un tempo di preavviso di almeno 20 giorni tutti gli utilizzatori delle acque a valle dello sbarramento (ubicati nell'area d'influenza), indicando la data precisa di inizio e la durata delle operazioni.

##### *4.6.2 Comunicazioni tra il termine dello svuotamento dell'invaso e la posa del bypass*

Appena terminata l'attività di svuotamento, il Gestore si premurerà di trasmettere un rapporto tecnico ai membri del Tavolo Tecnico, tramite posta elettronica, all'interno del quale verranno riportate le seguenti informazioni:

- descrizione delle operazioni effettuate;
- dati relativi ai parametri monitorati nella stazione di monitoraggio durante lo svuotamento;
- imprevisti occorsi.

Tra il termine dello svuotamento e la messa in esercizio del bypass (che convoglia le acque del torrente Cassiglio e del torrente Canale dei Faggi a valle dello sbarramento), il Gestore comunicherà con cadenza settimanale i dati di torbidità delle acque ruscellate, tramite posta elettronica inviata al Tavolo Tecnico.

Durante il periodo in cui il bypass rimane in funzione non è prevista alcuna comunicazione ordinaria, ma verranno inviate tempestive comunicazioni al Tavolo Tecnico nel caso in cui si verificano imprevisti o inevitabili cambi di programma che influiscono direttamente o indirettamente, in maniera sensibile, sulle acque recapitate a valle tramite il bypass.

#### 4.6.3 Comunicazioni dopo il termine dei lavori all'interno dell'invaso

Entro 2 mesi dal termine dell'attività di manutenzione straordinaria relativi alla diga (coincidente con il termine delle operazioni di svaso, in quanto verrà chiuso lo scarico di fondo), il Gestore invierà al Tavolo Tecnico un rapporto sintetico che riassume e commenta l'andamento delle stesse operazioni, con particolare attenzione ai punti seguenti:

- le manovre svolte, comprese le azioni mitigative;
- il confronto tra i rilievi batimetrici pre e post operazione, evidenziando i volumi di sedimento asportati, l'interrimento residuo e la localizzazione dei depositi;
- la quantificazione del volume di sedimenti effettivamente rimossi dall'invaso;
- i risultati dei primi rilievi morfologici e di habitat eseguiti;
- imprevisti occorsi.

Infine, entro 2 mesi dalla conclusione dei monitoraggi post svaso (descritti al § 4.5), il Gestore provvederà ad inviare al Tavole tecnico un rapporto finale che contenga le seguenti informazioni:

- riassunto dell'andamento delle operazioni, attraverso un'opportuna schematizzazione dei risultati e dei monitoraggi eseguiti;
- definizione dello stato delle comunità biologiche nel tempo, delle eventuali alterazioni alla morfologia dell'alveo fluviale;
- stato di interrimento dell'invaso;
- definizione di ulteriori monitoraggi o azioni mitigative da eseguire, nel caso in cui i risultati dei monitoraggi eseguiti ne facciano avvertire la necessità;
- valutazione complessiva degli effetti dell'operazione eseguita sull'ecosistema dei corpi idrici coinvolti, verificandone la reversibilità e valutandone l'influenza rispetto al raggiungimento o di mantenimento degli obiettivi di qualità fissati per i corpi idrici;
- eventuale definizione di accorgimenti tecnici e misure da adottare per le successive operazioni di svaso.

#### 4.7 IMPATTI ATMOSFERICI

L'utilizzo di mezzi d'opera durante le fasi di cantiere comporta un aumento della concentrazione di gas e polveri sottili.

Di seguito sono riportate le emissioni dai mezzi pesanti da lavoro dei principali inquinanti, distinte per tipologia di combustibile e con riferimento ad un ciclo di guida generico, tratte dalla rete del Sistema Informativo Nazionale Ambientale (SINAnet), a cura dell'ISPRA, aggiornate al 2017.

	<i>NO<sub>x</sub></i>	<i>CO</i>	<i>CH<sub>4</sub></i>	<i>PM<sub>10</sub></i>
<i>Benzina</i>	4,40403	3,35628	0,07000	0,06045
<i>Gasolio</i>	4,29742	1,15685	0,02896	0,16474

*Tabella 5 - Emissioni giornaliere dei mezzi di cantiere in g/km, ciclo di guida generico (Fonte: ISPRA).*

Al fine di ridurre la formazione e la propagazione di polveri, durante la fase di cantiere sono previsti i seguenti accorgimenti:

- lavaggio delle ruote dei mezzi in uscita dal cantiere;
- cassoni chiusi (coperti con appositi teli resistenti e impermeabili o comunque dotati di dispositivi di contenimento delle polveri) per i mezzi che movimentano terra o materiale pulverulento;
- bagnatura delle piste di cantiere, con frequenza da adattare in funzione delle condizioni operative e meteorologiche al fine di garantire un tasso ottimale di umidità del terreno;
- i depositi di materiale sciolto in cumuli caratterizzati da frequente movimentazione, in caso di vento, saranno protetti da barriere e umidificati, mentre i depositi con scarsa movimentazione saranno protetti mediante coperture, quali teli e stuoie;
- limitata velocità di transito dei mezzi all'interno dell'area di cantiere e in particolare lungo i percorsi sterrati (ad esempio con valori massimi non superiori a 20/30 km/h).

Le aree di cantiere sono facilmente accessibili mediante strade esistenti, già ora percorribili dai normali mezzi di cantiere. Saranno altresì realizzate piste di cantiere ed un accesso all'invaso dalla strada esistente che lo costeggia in destra idrografica.

Il maggior carico sulla viabilità deriva principalmente dal conferimento al sito di riutilizzo, costituito da una cava posta a Cassano d'Adda, del materiale di scavo (circa 46.000 m<sup>3</sup>, tenendo conto del rigonfiamento del materiale in seguito all'escavazione) e dal trasporto in opera del calcestruzzo necessario alla realizzazione delle opere strutturali di calcestruzzo armato (circa 6.000 m<sup>3</sup>).

Tenuto conto della viabilità di cantiere, per il trasporto dei sedimenti asportati dal fondo dell'invaso saranno utilizzati autocarri a 4 assi da 32 t (tara 14 t), in grado di trasportare 18 t di materiale di scavo, pari a circa 10 m<sup>3</sup> (considerando un peso specifico del materiale solido da asportare di circa 1800 kg/m<sup>3</sup>). Sono pertanto necessari circa 4.600 viaggi per il trasporto alla cava del materiale di scavo (46.000 m<sup>3</sup> / (10 m<sup>3</sup>/viaggio)). Ipotizzando di utilizzare 40 autocarri per il trasporto e considerando pari a 4 ore le operazioni di carico, trasporto e scarico del materiale, in una giornata di 8 ore possono essere recapitati circa 800 m<sup>3</sup>; per conferire tutto il materiale sono pertanto necessarie circa 4.600 ore (46.000 m<sup>3</sup> / (800 m<sup>3</sup> / 8 h)), suddivise su più giorni lavorativi, in funzione dell'avanzamento del cantiere.

Per quanto riguarda le opere di calcestruzzo (i conci di appesantimento della diga) è prevista una quantità di calcestruzzo pari a circa 6.000 m<sup>3</sup>; considerando che saranno utilizzate autobetoniere con capacità media di circa 12 m<sup>3</sup> di calcestruzzo e che la centrale di

betonaggio prevista è nel comune di Olmo al Brembo (a circa 5 km di distanza dalla diga), si stima una capacità massima di approvvigionamento di 48 m<sup>3</sup>/h (con l'impiego di quattro betoniere). In totale sono necessari circa 500 viaggi (6.000 m<sup>3</sup> / (12 m<sup>3</sup>/viaggio)).

Ipotizzando di utilizzare 4 autobetoniere in una giornata possono essere gettati 384 m<sup>3</sup> di calcestruzzo, per un tempo massimo pari a 125 ore, suddiviso su più giorni lavorativi, in funzione dell'avanzamento del cantiere.

Con il numero di viaggi e di chilometri previsti, è possibile stimare la produzione dei principali inquinanti richiamati nella **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, moltiplicando il numero totale di chilometri (67 km·2·4.600 + 5 km·2·500 = 621.400 km) per le emissioni (in g/km), per poi dividere il tutto per il numero totale di ore lavorative (4.600 + 125 = 4.725 h<sub>lavorative</sub>):

	<i>NOx</i>	<i>CO</i>	<i>CH<sub>4</sub></i>	<i>PM<sub>10</sub></i>
<i>Benzina</i>	579,19	441,40	9,21	7,95
<i>Gasolio</i>	565,17	152,14	3,81	21,67

Tabella 6 - Emissioni medie dei mezzi di cantiere in kg/h<sub>lavorativa</sub>, ciclo di guida generico.

Si fa presente che queste stime sono da ritenersi valide se viene confermata la possibilità di recapitare il materiale asportato dall'invaso presso la cava di Cassano d'Adda.

Durante la fase di cantiere sono previste emissioni di polveri dovute alla movimentazione del terreno per la realizzazione di scavi, rinterri e carico del materiale sui mezzi di trasporto, nonché emissioni dovute al movimento dei mezzi di cantiere sulle piste provvisorie non asfaltate ed emissioni generate dai motori dei mezzi di cantiere operanti.

Le emissioni di polveri PM<sub>10</sub> generate da ciascuna attività sopraelencata si possono stimare tramite la seguente equazione:

$$E = Q \cdot FE \cdot \left(1 - \frac{ER}{100}\right)$$

dove:

*E* = emissione di particolato PM<sub>10</sub> [t/h]

*Q* = quantità di materiale movimentato all'ora [t/h]

*FE* = fattore di emissione [-]

*ER* = % di riduzione degli impatti con le opportune misure di mitigazione

Si è considerata una percentuale di riduzione degli impatti pari al 90%, tenendo conto che saranno prese tutte le misure di mitigazione necessarie a ridurre l'emissione di polveri in cantiere.

I fattori di emissioni relativi a PM<sub>10</sub> per ciascuna attività possono essere calcolati con le seguenti formule empiriche proposte dall'U.S. Environmental Protection Agency nel documento AP-42, *Compilation of Air Pollutant Emission Factor*.

ATTIVITÀ	FATTORE DI EMISSIONE [kg/t]
Scavo	0,004
Carico materiale	0,001
Movimento mezzi su piste non asfaltate	$k \cdot 0,2819 \cdot \left(\frac{s}{12}\right)^{0,9} \left(\frac{W}{3}\right)^{0,45}$ s = contenuto % di limo nel suolo W = massa escavatore = 24 t

Tabella 7 - Fattori di emissione di PM<sub>10</sub> in relazione a varie attività. Fonte U.S. EPA.

Per le emissioni di PM<sub>10</sub> dai motori dei mezzi di cantiere e dei camion adibiti al trasporto dei materiali si fa riferimento ai fattori di emissione individuati nella **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**: il fattore di emissione di dei mezzi pesanti alimentati a diesel, carburante che produce più emissioni rispetto alla benzina, è pari a 0,16468 g/km. Al fine di stimare l'emissione di polveri complessiva del cantiere si è ipotizzato lo scenario peggiore, cioè quello in cui si effettuano contemporaneamente il maggior numero di attività responsabili della produzione di polveri. Si è ipotizzato che si effettuino contemporaneamente le operazioni di scavo, carico del materiale e trasporto su pista da cantiere, utilizzando contemporaneamente due escavatori.

Ipotizzando che in un'ora vengano movimentati circa 260 t di materiale con peso di volume 1,8 t/m<sup>3</sup>, con un contenuto di limo pari al 30% e che i 2 mezzi percorrano circa 1 km/h nell'area di cantiere per svolgere le varie operazioni (ipotesi cautelativa ma semplificativa) risultano le seguenti emissioni di PM<sub>10</sub>.

	SCAVO	CARICO	MOVIMENTO ESCAVATORE	MOTORI
Fattore emissione [kg/t]	0,0040	0,0010	0,0022	0,1647
Emissione [kg/h]	0,1026	0,0257	0,1538	0,00033
<b>EMISSIONI TOTALI [kg/h]</b>	<b>0,282</b>			

Tabella 8 - Emissioni di PM<sub>10</sub> previste in cantiere.

Stimato il valore delle emissioni, è possibile far riferimento al documento *Linee guida per la valutazione delle emissioni di polveri provenienti da attività di produzione, manipolazione, trasporto, carico o stoccaggio di materiali polverulenti*, prodotto da ARPA Toscana, che propone delle soglie assolute di emissione di PM<sub>10</sub> al variare della distanza dalla sorgente e al variare del numero di giorni di emissione, al fine di stabilire se le emissioni previste per il cantiere producono impatti significativi sulla qualità dell'aria.

Distanza (m)	Giorni di emissione annui					
	>300	300 – 250	250 – 200	200 – 150	150 – 100	<100
0 -50	145	152	158	167	180	208
50 – 100	312	321	347	378	449	628
100 – 150	608	663	720	836	1,038	1,492
> 150	830	908	986	1,145	1,422	2,044

*Figura 10 - Soglie assolute di emissione di PM<sub>10</sub> al variare della distanza dalla sorgente e al variare del numero di giorni di emissione (valori espressi in g/h). Fonte: ARPA Toscana.*

Le emissioni previste, pari a 282 g/h sono inferiori alla soglia assoluta di emissione per recettori posti a distanza superiore a 50 m dal cantiere, qualunque sia la durata delle attività di movimentazione del materiale.

Non esistono edifici posti ad una distanza inferiore di 50 m dal perimetro dell'invaso, dunque si ritiene non sussistano impatti significativi in merito alle emissioni di polveri sottili.

#### 4.8 AUTORIZZAZIONI O NULLA OSTA AGGIUNTIVI

Eventuali autorizzazioni o nulla osta aggiuntivi necessari, ai sensi della parte IV del D Lgs 152/2006, per poter procedere all'utilizzo, riutilizzo, recupero o smaltimento del materiale rimosso meccanicamente dall'invaso verranno predisposte in caso di avvenuta approvazione del presente piano operativo di svaso.