



*Comune di CASSIGLIO*

*Provincia di BERGAMO*

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

### **Caratterizzazione di base**

*Relazione illustrativa*



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

## INDICE

1	PREMESSA	3
2	QUADRO NORMATIVO GENERALE	5
3	QUADRO AUTORIZZATIVO	7
4	CARATTERIZZAZIONE DELL'IMPIANTO IDROELETTRICO	9
4.1	DESCRIZIONE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI DELLA DIGA	9
4.1.1	<i>Opera di presa</i>	9
4.1.2	<i>Serbatoio</i>	10
4.1.3	<i>Galleria in pressione</i>	11
4.1.4	<i>Condotta forzata</i>	11
4.2	STORIA GESTIONALE	11
4.2.1	<i>Gestione ordinaria dell'invaso</i>	12
4.2.2	<i>Gestione non ordinaria dell'invaso</i>	12
5	CARATTERIZZAZIONE DEI BACINI IDROGRAFICI	14
5.1	UBICAZIONE E CARATTERISTICHE GENERALI	14
5.2	CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA	14
5.3	ATTIVITÀ ANTROPICHE	15
5.4	CARATTERIZZAZIONE IDROLOGICA	15
5.4.1	<i>Caratterizzazione idrologica del bacino sotteso allo sbarramento</i>	15
5.4.2	<i>Caratterizzazione idrologica del bacino allacciato</i>	25
5.5	USO DEL SUOLO E VINCOLI	26
5.5.1	<i>Uso del suolo</i>	26
5.5.2	<i>Vincolo idrogeologico</i>	28
5.5.3	<i>Aree protette</i>	30
5.5.4	<i>Vincoli paesaggistici</i>	32
5.6	CONCENTRAZIONE DEL MATERIALE SOLIDO IN SOSPENSIONE DEL TORRENTE CASSIGLIO	33
5.7	VALUTAZIONE DEL VOLUME DI MATERIALE SOLIDO SEDIMENTATO NELL'INVASO	34
5.8	VALUTAZIONE DEL VOLUME MEDIO DI MATERIALE SOLIDO CHE SEDIMENTA ANNUALMENTE NELL'INVASO	34
5.9	CARATTERIZZAZIONE DELLE ACQUE E DEI SEDIMENTI	35
5.10	DEFINIZIONE DELL'AREA DI INFLUENZA E CARATTERIZZAZIONE DEI CORPI IDRICI IN ESSA PRESENTI	35

## 1 PREMESSA

La realizzazione di sbarramenti artificiali modifica inevitabilmente le condizioni di equilibrio dei corsi d'acqua, in quanto la presenza di grandi invasi comporta in sé la creazione di zone caratterizzate da correnti molto lente, in cui aumenta la capacità di sedimentazione dei solidi sospesi trasportati da monte.

Nei paesi industrializzati, dove i siti potenzialmente utilizzabili per la realizzazione di nuove dighe sono praticamente esauriti, diventa fondamentale la conservazione della capacità d'invaso esistente e possibilmente il recupero dei volumi perduti a causa dell'interrimento. La capacità d'invaso, quindi, rappresenta una risorsa non rinnovabile, che richiede un'attenta politica gestionale.

Infatti, non è più possibile valutare in sede di progettazione la vita utile del serbatoio, ipotizzando di poter sostituire il volume dell'invaso con un nuovo impianto, ma si deve tenere conto delle possibilità tecniche ed economiche della gestione dei sedimenti.

Tale esigenza ha promosso, in Italia e nel mondo, numerosi programmi di ricerca, volti soprattutto allo sviluppo di modelli matematici per l'analisi dei processi di erosione dei versanti e del trasporto di sedimenti lungo la rete idrografica e per la definizione di programmi d'esercizio dei serbatoi da correlare ad adeguati modelli economici.

Inoltre, maggiore interesse è stato rivolto a questo problema anche dal punto di vista legislativo: se infatti nel passato la *severità delle leggi italiane [...] ha di fatto impedito ai gestori di asportare i sedimenti per recuperare capacità di accumulo*<sup>1</sup>, a partire dal nuovo millennio sono state varate leggi più aperte alla rimozione dei sedimenti e gradualmente più specifiche in merito ai criteri esecutivi e ai piani di monitoraggio ambientale.

Da un punto di vista molto ampio, l'interrimento di un serbatoio artificiale dipende dal fenomeno del trasporto solido fluviale degli immissari, il quale a sua volta dipende dalle modalità di erosione del suolo. Si può facilmente dedurre che il fenomeno è molto complesso, giacché dipendente da caratteristiche di varia natura (climatica, geologica, geomorfologica, idraulica, ecc.) di vaste aree, la cui caratterizzazione particolareggiata sarebbe praticamente insostenibile. Ad ogni modo, i fattori che maggiormente influiscono sul processo di interrimento sono i seguenti:

- Afflussi
- Dimensioni dell'invaso
- Geometria dell'invaso
- Carico del materiale del bacino imbrifero afferente all'invaso
- Operazioni di gestione del serbatoio

Nella sua fase iniziale, l'interrimento del serbatoio non conduce a un'eccessiva penalizzazione dello sfruttamento dell'invaso iniziale; tuttavia, l'aggravarsi del processo compromette la gestione della risorsa stessa in quanto provoca vari problemi:

---

<sup>1</sup> "La gestione dell'interrimento dei serbatoi artificiali italiani", ITCOLD (2009)

- Riduzione della capacità utile di laminazione
- Ostruzione degli organi di scarico
- Abrasione dei macchinari idraulici
- Estensione a monte dei depositi di materiale
- Peggioramento della qualità delle acque
- Incremento del rischio sismico

I depositi di sedimenti possono assumere disposizioni più o meno prevedibili, in funzione delle condizioni idrologiche, della granulometria dei sedimenti e della geometria dell'invaso. In linea di massima, i sedimenti più grossolani tendono a depositarsi nella zona di immissione del fiume nell'invaso, mentre quelli più fini tendono a sedimentare a ridosso dello sbarramento.

La Deliberazione della Giunta Regionale lombarda n. X/5736 del 24 ottobre 2016 attribuisce al progetto di gestione la finalità di definire quanto segue:

- *il quadro previsionale delle operazioni di svaso, sfangamento, sghiaimento e spurgo connesse con le attività di manutenzione dell'impianto, da eseguirsi anche per stralci funzionali, per assicurare il mantenimento ed il graduale ripristino della capacità utile dell'invaso, per garantire prioritariamente in ogni tempo il funzionamento degli organi di scarico e di presa;*
- *i provvedimenti da porre in essere durante le suddette operazioni per la tutela e la salvaguardia delle risorse idriche invasate e rilasciate a valle dello sbarramento e dei corpi idrici interessati, al fine di non pregiudicare il raggiungimento degli obiettivi di qualità fissati dal Piano di Gestione del Distretto del fiume Po.*

Più in particolare, il piano di caratterizzazione è volto a fornire un inquadramento conoscitivo dell'invaso, del relativo contesto idrologico e dei corpi idrici presenti a valle.

Il progetto di gestione per l'invaso di Cassiglio è redatto nella prospettiva di un appesantimento della diga dal lato del paramento di monte, che avverrà in seguito a uno svaso e ad azioni volte a mantenere in esercizio l'impianto idroelettrico. In particolare, durante l'esecuzione dei lavori riguardanti l'appesantimento dello sbarramento, è prevista l'apertura continua e prolungata dello scarico di fondo a bacino vuoto.

Il presente piano di caratterizzazione è utile al fine di aggiornare le informazioni contenute nel piano di caratterizzazione redatto nel 2008 (appartenente al progetto di gestione approvato con il decreto n. 8848 del 03/10/2013 dalla Regione Lombardia), soprattutto in merito alla descrizione quantitativa e qualitativa dei sedimenti presenti nell'invaso. Questi aggiornamenti costituiscono infatti i dati preliminari per poter programmare i lavori successivi allo svaso, i cui possibili scenari verranno ampiamente descritti nella parte operativa del progetto di gestione.

## 2 QUADRO NORMATIVO GENERALE

Fino al Decreto Legislativo n. 152 del 11/05/1999 la normativa concernente le dighe di ritenuta era volta a garantire la sicurezza del territorio interessato dallo sbarramento. In particolare, con la circolare n. 352 del 04/12/1987 il Ministero dei lavori pubblici sanciva le prescrizioni inerenti all'applicazione del regolamento sulle dighe di ritenuta approvato con decreto del Presidente della Repubblica 01/11/1959, n. 1363: in aggiunta al foglio di condizioni per l'esecuzione dell'opera si stabilisce che deve essere predisposto il *foglio di condizioni per l'esercizio e la manutenzione*. Tra le altre informazioni il *foglio di condizioni per l'esercizio e la manutenzione* deve contenere *le cadenze e le modalità secondo le quali il concessionario dovrà provvedere con personale specializzato ad ispezioni periodiche e sistematiche intese ad accertare le condizioni generali e particolari delle opere e delle loro pertinenze, comprese le sponde del serbatoio, nonché l'efficienza della strumentazione di controllo*. Si tratta quindi di misure volte a verificare la sicurezza dell'invaso.

Il Decreto Legislativo n. 152 del 11/05/1999 e successive modifiche ed integrazioni costituisce un'innovazione alle precedenti norme di settore in quanto inserisce la gestione degli invasi in un progetto di tutela della qualità delle acque superficiali e sotterranee. In particolare, l'articolo 40 impone un *progetto di gestione* delle operazioni di svaso, sghiaiamiento e sfangamento delle dighe volto ad assicurare *il mantenimento della capacità d'invaso, la salvaguardia sia della qualità dell'acqua invasata, sia del corpo recettore*. Tale progetto quindi, una volta approvato, diviene parte integrante del foglio di condizioni per l'esercizio e la manutenzione di cui all'articolo 6 del DPR n. 1363 del 01/11/1959. Solo a seguito dell'approvazione del progetto di gestione suindicato il Gestore è autorizzato ad eseguire operazioni di svaso, sghiaiamiento e spurgo senza incorrere in sanzioni.

Con Decreto Ministeriale del 30/06/2004 vengono definiti i criteri per la redazione del progetto di gestione degli invasi e viene imposto il ripristino della capacità utile del serbatoio entro la scadenza della concessione. Tale documento, quindi, deve contenere tutte le informazioni necessarie per coordinare le operazioni di manutenzione dell'impianto finalizzate al mantenimento della capacità di invasore, deve definire provvedimenti da porre in essere durante le suddette procedure per la prevenzione e la tutela della risorsa idrica invasata e rilasciata a valle dello sbarramento al fine di non pregiudicarne gli usi in atto, conformemente alle prescrizioni contenute nei piani di tutela delle acque e nel rispetto degli obiettivi di qualità ambientale e degli obiettivi di qualità per specifica destinazione d'uso della risorsa stessa (Allegati 1 e 2 del D. Lgs. n. 152/99).

Inoltre, proprio perché strumento previsionale, richiederà periodici aggiornamenti che il Gestore dovrà apportare al fine di meglio individuare e calibrare le modalità di manutenzione a minore impatto ambientale: si configura quindi come uno strumento dinamico di gestione.

Con la Deliberazione della Giunta Regionale n. X/5736 del 24 ottobre 2016, la Regione Lombardia ha individuato i criteri generali per l'esecuzione delle opere previste nel progetto di gestione per sbarramenti non soggetti al DPR n. 1363 del 1959. In particolare, questo documento stabilisce i contenuti che devono essere presenti in questo documento, suddiviso in piano di caratterizzazione e parte operativa. Come detto, le direttive in questione si applicano agli sbarramenti non soggetti al DPR n. 1363 del 1959 citato precedentemente (per quelli assoggettati a questo decreto, come quello del presente progetto di gestione, rimane come riferimento il DM del 30/06/2004), ma i contenuti in esse presenti sono redatti in conformità con quanto disposto dal DM 30/06/2004, e pertanto forniscono delle valide linee guida per la predisposizione di progetti di gestione di invasi assoggettati al DPR n. 1363 del 1959.

### 3 QUADRO AUTORIZZATIVO

La centrale idroelettrica di Olmo al Brembo riunisce due distinte derivazioni idroelettriche, una alimentata dal fiume Brembo e l'altra dal torrente Stabina; perciò le due derivazioni ricevono la denominazione, rispettivamente, di Olmo derivazione Brembo e Olmo derivazione Stabina.

L'impianto è in esercizio dal 1953. La concessione di piccola derivazione dal torrente Stabina è stata assentita con decreto del Ministero dei lavori pubblici div. X n. 5134 del 13/09/1956 e disciplinare del Genio Civile di Bergamo n. 2129 del 14/04/1955 ed è stata rinnovata col D.D. Prov. BG n. 766 del 10/04/2013.

Le caratteristiche della concessione sono le seguenti:

• Portata massima	2.900 l/s
• Portata media	2.102,40 l/s
• Salto nominale	98,07 m
• Potenza media nominale	2.021,40 kW

La scadenza della concessione è fissata al 20-10-2041.

L'opera di presa sul torrente Cassiglio è costituita da una diga, situata in comune di Cassiglio (BG) e sbarra il corso del torrente omonimo a circa 300 m a sud dell'abitato, situato alla confluenza del Cassiglio nello Stabina. Fu costruita negli anni 1951/52 con primo invaso nell'autunno del 1952; fu sottoposta a visita di sopralluogo per il collaudo il 28/2/1953 ed il relativo atto di collaudo fu redatto il 14/3/1953, Ingegnere Collaudatore Alfredo Masi, Provveditore alle Opere Pubbliche per il Piemonte.

L'invaso di Cassiglio è soggetto al Regolamento dighe, di cui al D.P.R. 1363/59 aggiornato per la parte relativa alle norme tecniche dal D.M. 24/03/1982, in quanto rientra nelle opere con altezza<sup>2</sup> superiore a 10 m o che determinano un volume rispetto alla quota di massimo invaso, superiore a 100.000 m<sup>3</sup>.

Il suddetto invaso inoltre, con i suoi 19,30 m di altezza<sup>3</sup> rientra nelle opere di competenza del Registro Italiano Dighe (RID) secondo quanto stabilito dalla L. 584/94<sup>4</sup>.

Il deflusso minimo vitale viene rilasciato a valle dell'opera di presa sul torrente Stabina, e non a valle della diga di Cassiglio, come previsto in concessione. In particolare, viene rilasciata una portata pari alla somma dei DMV calcolati in corrispondenza dell'opera di presa sullo Stabina (239,12 l/s) e della diga di Cassiglio (circa 44,30 l/s), a loro volta

---

<sup>2</sup> Altezza della diga ai sensi della L.584/94: dislivello tra la quota del piano di coronamento (esclusi parapetti ed eventuali muri frangionde) e quella del punto più basso della superficie di fondazione (escluse eventuali sottostrutture di tenuta).

<sup>3</sup> Altezza della diga ai sensi della L. 584/94: differenza tra la quota del piano di coronamento e quella del punto più depresso dei paramenti.

<sup>4</sup> La L. 584/94 stabilisce che le opere con altezza superiore a 15 m o volume d'invaso superiore a 1.000.000 m<sup>3</sup> sono di competenza del Servizio Nazionale Dighe (SND) ora. Registro Italiano Dighe (RID).

calcolati come un decimo della portata media annuale. In totale il DMV ammonta a 283,42 l/s, e viene rilasciato sullo Stabina tramite il passaggio per pesci e una luce regolabile per mezzo di una valvola a ghigliottina, e anche attraverso uno sfioratore laterale al verificarsi di piene.



## 4 CARATTERIZZAZIONE DELL'IMPIANTO IDROELETTRICO

L'impianto idroelettrico di Olmo al Brembo (derivazione Stabina) fa parte del complesso di opere di Italgen S.p.A. che utilizzano le acque del fiume Brembo, ramo di Mezzoldo, e affluenti a fini idroelettrici.

Esso è spesso individuato col nome di "Cassiglio" dalla località sede della diga di ritenuta che alimenta l'impianto.

### 4.1 DESCRIZIONE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI DELLA DIGA

Di seguito vengono riportati i principali dati caratteristici desunti dal progetto approvato e dal foglio di condizioni per l'esercizio e la manutenzione della diga di Cassiglio, con riferimento anche al progetto di appesantimento della diga approvato dalla divisione 4 della D. G. Dighe con nota prot. n. 15542 del 03/07/2018.

#### 4.1.1 Opera di presa

Le opere di presa sono due: una indiretta sul torrente Stabina e una diretta sul torrente Cassiglio.

La presa sullo Stabina è situata in fregio alla strada Cassiglio-Valtorta, circa 1 km a monte dell'abitato di Cassiglio. È costituita da una traversa tracimabile di 15 m con soglia a 627,75 m s.l.m., adiacente ad una paratoia sghiaiatrice motorizzata e telecomandata dalle dimensioni 3·2,47 m; l'acqua viene convogliata in tre bocche di presa poste in sponda destra di dimensioni 2,70·0,50 m che la immettono dapprima in una vasca moderatrice e poi in una vasca dissabbiatrice, munita di sfioratore lungo 17 m con ciglio sfiorante a quota 627,43 m s.l.m.. Da qui ha inizio, protetta da griglia e relativo sgrigliatore automatico, una galleria di derivazione a pelo libero che trasferisce l'acqua nella valle del torrente Cassiglio appena a monte della diga; la galleria è lunga 1.159,49 m con pendenza media dello 0,95% e sezione trapezoidale con area di 1,76 m<sup>2</sup>.

L'opera di sbarramento sul Cassiglio è costituita da una diga a gravità massiccia con sviluppo rettilineo, tracimabile nella parte centrale. Di seguito vengono esposte le sue caratteristiche:

• Sviluppo planimetrico rettilineo della diga	67,15 m
• Volume della diga	5.300 m <sup>3</sup>
• Quota coronamento	629,30 m s.l.m.
• Altezza diga <sup>5</sup>	20,50 m
• Altezza diga (ai sensi della L. 584/94)	19,30 m
• Altezza di massima ritenuta <sup>6</sup>	17,80 m

---

<sup>5</sup> Ai sensi del D.M. 26/06/2014: differenza tra la quota del piano di coronamento e quella del punto più depresso dei paramenti.

<sup>6</sup> Ai sensi del D.M. 26/06/2014: dislivello tra la quota di massimo invaso e quella del punto più depresso del paramento di monte.

- Franco<sup>7</sup> 1,50 m
- Quota scarico di superficie 626,00 m s.l.m.
- Portata scarico di superficie 100 m<sup>3</sup>/s
- Quota scarichi di fondo 612,27 m s.l.m.
- Portata scarichi di fondo 30 m<sup>3</sup>/s

La struttura è dotata di un sistema di canne di drenaggio del diametro di 0,127 m e distanziate tra loro di 2 m, che sboccano sul lato a monte di un cunicolo d'ispezione sito a quota 608,6 m s.l.m..

Allo stesso cunicolo, lato valle, fanno capo le canne di sottopressione della fondazione di diametro 0,215 m.

La diga è divisa in 5 conci, collegati da giunti permanenti disposti alla distanza media di 12 m.

#### 4.1.2 Serbatoio

I dati del serbatoio sono i seguenti:

- Superficie bacino imbrifero direttamente sotteso 11 km<sup>2</sup>
- Superficie bacino imbrifero allacciato 57 km<sup>2</sup>
- Portata di massima piena 100 m<sup>3</sup>/s
- Quota di massimo invaso<sup>8</sup> 627,80 m s.l.m.
- Quota di massima regolazione<sup>9</sup> 626,00 m s.l.m.
- Quota minima di regolazione 622,00 m s.l.m.
- Superficie dello specchio liquido<sup>10</sup>
  - alla quota di massimo invaso 0,021 km<sup>2</sup>
  - alla quota massima di regolazione 0,014 km<sup>2</sup>
  - alla quota di 625,1 m s.l.m. 0,011 km<sup>2</sup>
  - alla quota minima di regolazione 0,006 km<sup>2</sup>
- Perimetro dell'area bagnata al massimo invaso 0,88 km
- Lunghezza<sup>11</sup> massima dell'invaso a quota 625,1 m s.l.m. 241 m

<sup>7</sup> Ai sensi del D.M. 26/06/2014: dislivello tra la quota del piano di coronamento e quella di massimo invaso.

<sup>8</sup> Ai sensi del D.M. 26/06/2014: quota massima cui può giungere il livello dell'invaso ove si manifesti il più gravoso evento di piena previsto in progetto. Non si considera la sopraelevazione del moto ondoso.

<sup>9</sup> Ai sensi del D.M. 26/06/2014: quota del livello d'acqua al quale ha inizio, automaticamente, lo sfioro degli appositi dispositivi.

<sup>10</sup> Valori ottenuti tramite interpolazione di dati di superficie dello specchio liquido ricavate dai rilievi batimetrici eseguiti il 19/03/2019 (maggiori dettagli sono riportati nella relazione ambientale redatta da CSBA e nel piano operativo dello svaso).

<sup>11</sup> Ai sensi della D.G.R. X/5736 del 24/10/2016: Lunghezza del segmento che unisce i due punti più distanti del lago.

- Larghezza<sup>12</sup> massima dell'invaso a quota 625,1 m s.l.m. 68 m
- Volume totale d'invaso<sup>13</sup> 114.000 m<sup>3</sup>
- Volume di invaso<sup>14</sup> 81.000 m<sup>3</sup>
- Volume utile di regolazione<sup>15</sup> 56.000 m<sup>3</sup>
- Volume di laminazione<sup>16</sup> 33.000 m<sup>3</sup>

#### 4.1.3 Galleria in pressione

La galleria in pressione inizia in sponda destra del serbatoio, con la soglia alla quota di 616,50 m s.l.m., sopraelevata di 3,8 m sulla platea di imbocco dello scarico di fondo; ha sezione circolare con diametro 1,80 m ed è protetta da griglia all'imbocco.

È lunga 2.962,59 m con pendenza media 1,34‰ ed è munita di 4 finestre d'ispezione. La parte iniziale, per circa 21 m è in asse con la galleria proveniente dallo Stabina; subito dopo, sottopassata la strada di Val Cassiglio, fa una curva di circa 120° in direzione della centrale di Olmo al Brembo.

La galleria termina nel pozzo piezometrico da cui si diparte la condotta forzata.

È costituito da due camere, una inferiore ed una superiore, unite da un pozzo verticale di circa 10 m, largo circa 2 m che consente al massimo livello dinamico di raggiungere la quota di progetto di 630,74 m s.l.m..

In un vano adiacente è collocato il comando paratoia di imbocco condotta.

#### 4.1.4 Condotta forzata

Dal pozzo piezometrico ha inizio la condotta forzata, costituita da due tratte: una prima lunga 124,3 m molto inclinata (pendenza 140 %) ricavata in roccia, con diametro di 1,80 m pari a quello della galleria di derivazione; la seconda tratta è metallica, quasi orizzontale, con diametro 1,20 m e lunghezza 160,2 m. Lo sviluppo complessivo della tubazione è di 284,5 m.

Un ultimo manufatto, un ponte sul Brembo in corrispondenza della centrale, permette alla condotta forzata metallica di sorpassare il fiume.

## 4.2 STORIA GESTIONALE

<sup>12</sup> Ai sensi della D.G.R. X/5736 del 24/10/2016: Lunghezza massima di una linea da una sponda all'altra calcolata perpendicolarmente alla lunghezza massima.

<sup>13</sup> Ai sensi del D.M. 26/06/2014: capacità del serbatoio compresa tra la quota di massimo invaso e quella del punto più depresso del paramento di monte.

<sup>14</sup> Ai sensi della L. 584/94: capacità del serbatoio compreso tra la quota più elevata delle soglie sfioranti degli scarichi, o della sommità di eventuali paratoie, e la quota del punto più depresso del paramento di monte.

<sup>15</sup> Ai sensi del D.M. 26/06/2014: volume del serbatoio compreso tra la quota di massima regolazione e quella minima alla quale è derivata l'acqua invasata.

<sup>16</sup> Ai sensi del D.M. 26/06/2014: volume del serbatoio compreso tra la quota di massimo invaso e quella massima di regolazione.

#### 4.2.1 *Gestione ordinaria dell'invaso*

L'opera di presa sullo Stabina è costantemente in funzione, mentre l'opera di presa in galleria situata all'interno dell'invaso di Cassiglio attinge alla risorsa idrica generalmente nella fascia oraria che va dalle 8:00 alle 22:00. Infatti, date le modeste dimensioni del serbatoio, la gestione dell'invaso Cassiglio avviene al più su base giornaliera.

Due volte all'anno vengono effettuate prove di funzionalità degli scarichi di fondo.

L'apertura dello scarico di fondo avviene infatti durante la verifica della funzionalità degli organi di scarico che viene regolamentata dal foglio di condizioni per l'esercizio della diga stessa, 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 sono riportate dal Gestore su apposito registro allegato al Registro di guardiania, così come stabilito nel foglio di condizioni per l'esercizio.

La storia gestionale e le analisi del bacino portano a concludere che gli organi di scarico non sono soggetti a fenomeni d'interrimento tali da ipotizzare una diminuzione della loro funzionalità e che dunque l'attuale gestione degli scarichi è sufficiente per mantenere in efficienza tali dispositivi di sicurezza.

#### 4.2.2 *Gestione non ordinaria dell'invaso*

##### 4.2.2.1 Interventi relativi alla diga

Nel 1987 la diga di Cassiglio fu sottoposta ad accurato esame statico funzionale da parte di CESI (ex ISMES) di Bergamo; venne potenziato il sistema di controllo e monitoraggio mediante il telerilevamento delle seguenti grandezze trasmesse al Centro di Telecondizione di Olmo al Brembo:

- Idrometeorologia (pioggia, neve, vento, tempesta);
- Perdite della diga e della roccia;
- Spostamenti della diga e della roccia mediante collimazione tradizionale e la posa (nel 1987) di 4 estensimetri nella sezione maestra;
- Sottopressioni al contatto tra la diga e la roccia di fondazione, mediante 7 piezometri, di cui 4 nei conci centrali.

##### 4.2.2.2 Svuotamenti del bacino

A seguito della piena del 18/07/1987, che aveva prodotto un accumulo di detriti calcarei, negli anni 1988-1989 era stato eseguito uno svuotamento con rimozione del materiale accumulatosi presso la valle Foglia, corrispondente a circa 5.000 m<sup>3</sup>. Parte del materiale recuperato era stato riutilizzato, come materiale da costruzione, dall'impresa incaricata dei lavori.

Nel marzo 1995 è stata effettuata un'ulteriore rimozione dei detriti pari a circa 6.000 m<sup>3</sup> dall'invaso di Cassiglio e circa 5.000 m<sup>3</sup> dalla valle Foglia. Per l'esecuzione di tale intervento si è proceduto allo svuotamento del bacino attraverso l'apertura dello scarico di fondo.

Nel 2013 è stato eseguito uno svaso per motivi di emergenza (con riferimento all'art 7 del D.M. 30/06/2004) al fine di eseguire un'attività di manutenzione straordinaria alla struttura.

#### 4.2.2.3 Manovre degli organi di scarico

Date le caratteristiche geomorfologiche del bacino, l'apertura dello scarico di fondo avviene in concomitanza delle piene.

## 5 CARATTERIZZAZIONE DEI BACINI IDROGRAFICI

### 5.1 UBICAZIONE E CARATTERISTICHE GENERALI

Il torrente Cassiglio, alla sezione dell'omonima diga, è alimentato da un bacino imbrifero di soli 11 km<sup>2</sup> così delimitato:

- a Est da Pizzo Mezzodi (1.713 m s.l.m.);
- a Sud da Monte Venturosa (1.999 m), Passo Baciamenti (1.603 m), Pizzo Baciamenti (1.991 m);
- a Ovest da Corna del Colonnello (1.739 m s.l.m.).

Le principali caratteristiche geografiche, morfologiche e idrologiche del suddetto bacino imbrifero sono le seguenti:

- |  |                    |
|--|--------------------|
| - Superficie (A)   | 11 km <sup>2</sup> |
| - Perimetro del poligono di chiusura (P)                   | 13 km              |
| - Orientamento prevalente                                  | Sud-Nord           |
| - Altitudine massima (H <sub>max</sub> )                   | 1.999 m s.l.m.     |
| - Altitudine della sezione di chiusura (H <sub>min</sub> ) | 608 m s.l.m.       |
| - Lunghezza dell'asta principale (L <sub>max</sub> )       | 3,4 km             |

All'invaso è allacciato anche il bacino imbrifero del torrente Stabina che alimenta l'invaso di Cassiglio. Il bacino imbrifero che alimenta la presa sullo Stabina ha un'estensione di 57 km<sup>2</sup> ed è così delimitato:

- a Nord da Bocca di Trona, Lago Piazzotti (2.213 m s.l.m.), Passo di Salmurano (2.020 m s.l.m.);
- a Est da Monte Valletto (2.370 m s.l.m.), Monte Avaro (2.088 m s.l.m.), Pizzo di Cusio (1.464 m s.l.m.);
- a Sud da Monte Aralalta (2.003 m s.l.m.), Bocchetta di Regadur (1.882 m s.l.m.), Monte Sodadura (2.010 m s.l.m.), Cima di Piazza (2.057 m s.l.m.);
- a Ovest da Zuccone dei Campelli (2.158 m s.l.m.), Cima di Camisolo, Pizzo dei Tre Signori (2.553 m s.l.m.).

Le principali caratteristiche geografiche, morfologiche e idrologiche del suddetto bacino imbrifero sono le seguenti:

- |  |                    |
|--|--------------------|
| - Superficie (A)   | 57 km <sup>2</sup> |
| - Perimetro del poligono di chiusura (P)                   | 34 km              |
| - Orientamento prevalente                                  | Ovest-Est          |
| - Altitudine massima (H <sub>max</sub> )                   | 2.553 m s.l.m.     |
| - Altitudine della sezione di chiusura (H <sub>min</sub> ) | 630 m s.l.m.       |
| - Lunghezza dell'asta principale (L <sub>max</sub> )       | 6 km               |

### 5.2 CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA

La caratterizzazione geologica-geomorfologica è riportata nell'apposito studio geologico presente in allegato, redatto dal dott. Fabio Fenaroli.

In aggiunta, sono stati eseguiti dei rilievi in situ finalizzati alla caratterizzazione dei depositi superficiali, i cui risultati sono riportati nelle tavole sialtec.01 e sialtec.02 realizzate da SIAL.TEC ENGINEERING srl.

### 5.3 ATTIVITÀ ANTROPICHE

Si rimanda a quanto illustrato nella caratterizzazione presente nella relazione ambientale (§ 2.1 per il bacino sotteso, § 2.2 per il bacino allacciato).

### 5.4 CARATTERIZZAZIONE IDROLOGICA

#### 5.4.1 *Caratterizzazione idrologica del bacino sotteso allo sbarramento*

##### 5.4.1.1 Misurazioni disponibili

Per quanto riguarda il bacino imbrifero direttamente sotteso dalla diga di Cassiglio sono state utilizzate le informazioni di produzione energetica (a scala giornaliera dal 2014 al 2018, a scala mensile dal 2001 al 2013) per poter ricavare indirettamente le portate turbinate dall'impianto  $Q_{\text{impianto}}$ .

Sfruttando, oltre ai dati geometrici dello sbarramento precedentemente esposti, le misurazioni della quota del pelo libero all'interno dell'invaso (a scala oraria, dal 2014 al 2019), è possibile quantificare con buona approssimazione la portata sfiorata dalla diga  $Q_{\text{sfioro}}$ . Con una stima della correlazione tra quota nell'invaso e superficie dello specchio liquido (ottenuta da rilievi del fondale dell'invaso) si è valutata la portata associata alla variazione della quota del pelo libero  $\Delta Q$ .

Infine, si è ottenuta la portata in ingresso al bacino in questione tramite la seguente espressione, un semplice bilancio di massa:

$$Q_{\text{ingresso}} = Q_{\text{impianto}} + Q_{\text{sfioro}} + \Delta Q$$

Per quanto riguarda il bacino sotteso dall'opera di presa sul torrente Stabina, non si ha a disposizione alcuna misurazione.

##### 5.4.1.2 Portate disponibili per l'impianto

Tenendo conto del fatto che l'invaso di Cassiglio è di dimensioni talmente modeste da non consentire il trasferimento di significativi volumi d'acqua su base stagionale, ma riesce al più a svolgere una funzione di trasferimento nell'arco della giornata, una prima caratterizzazione idrologica del bacino afferente all'invaso può essere fatta deducendo le portate turbinate dall'impianto dalle produzioni su base giornaliera.

Si riporta l'andamento delle portate medie giornaliere turbinate dal 2013 al 2018:

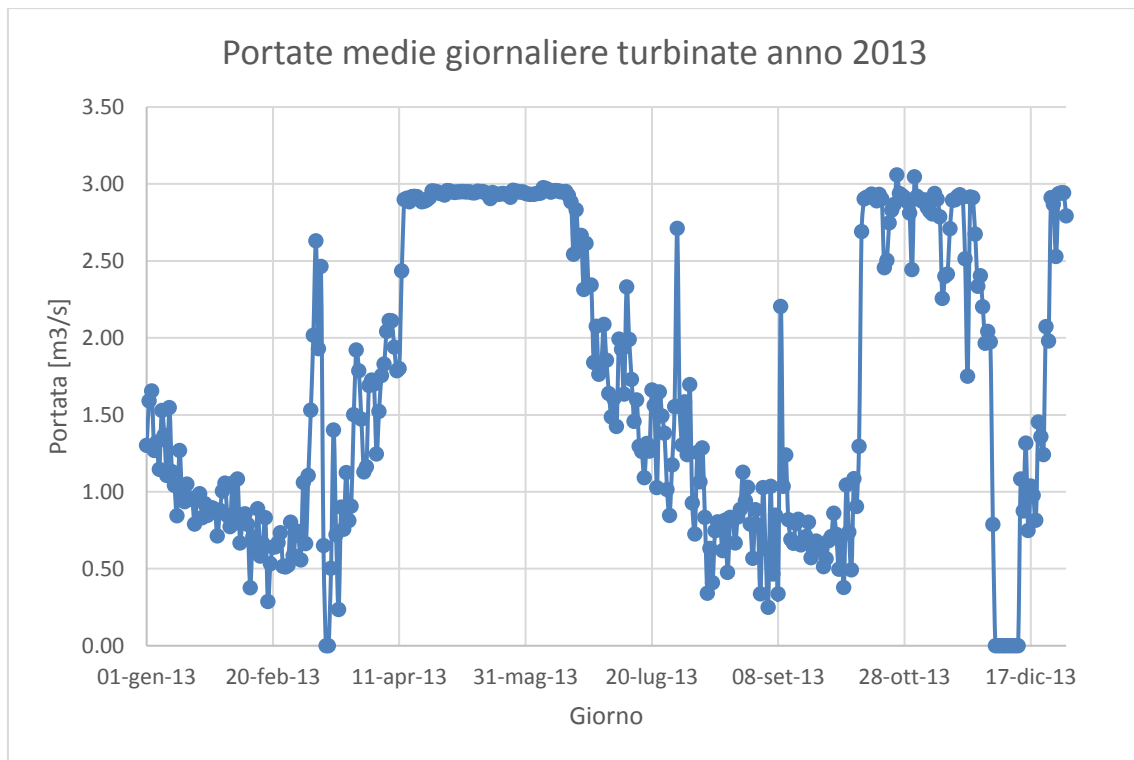


Figura 1 - Portate medie giornaliere turbinare anno 2013

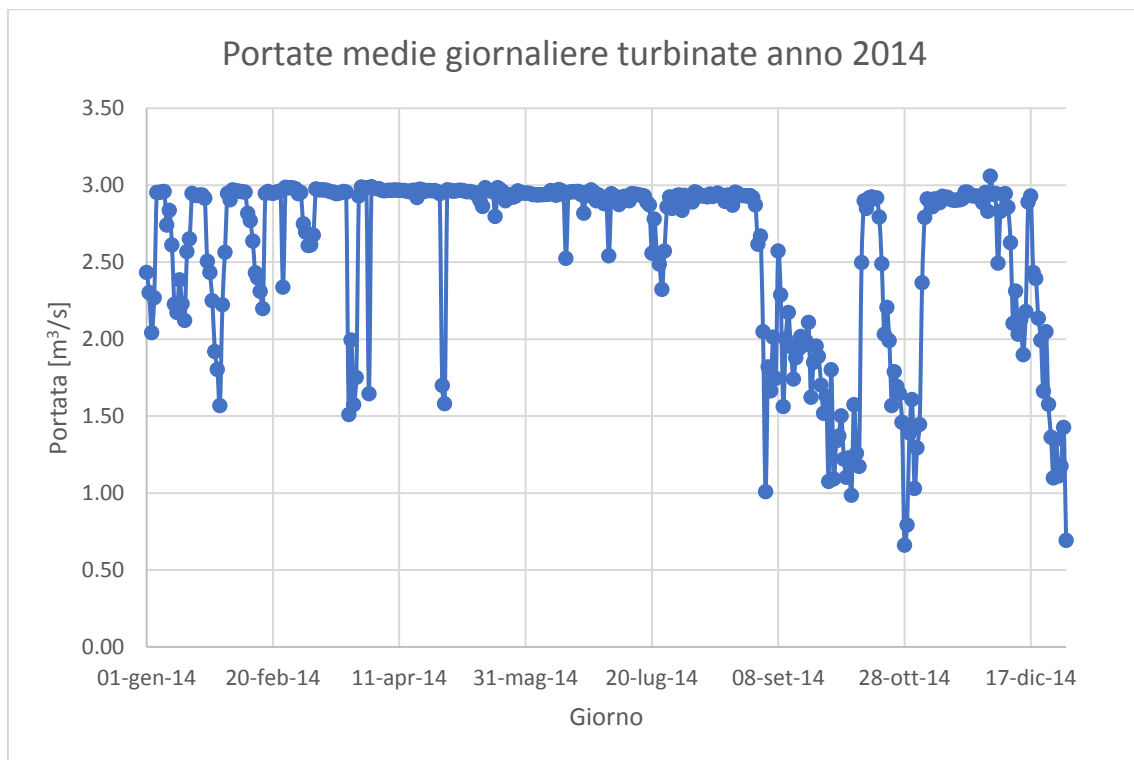


Figura 2 - Portate medie giornaliere turbinare anno 2014



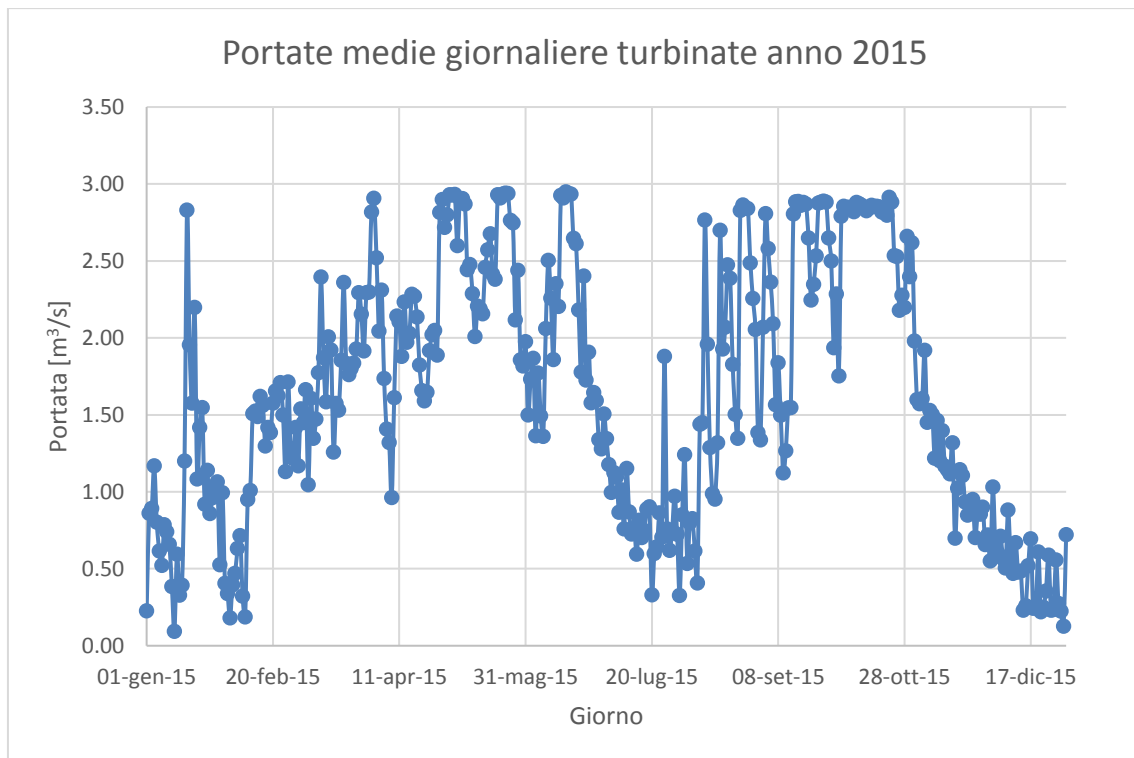


Figura 3 - Portate medie giornaliere turbinare anno 2015

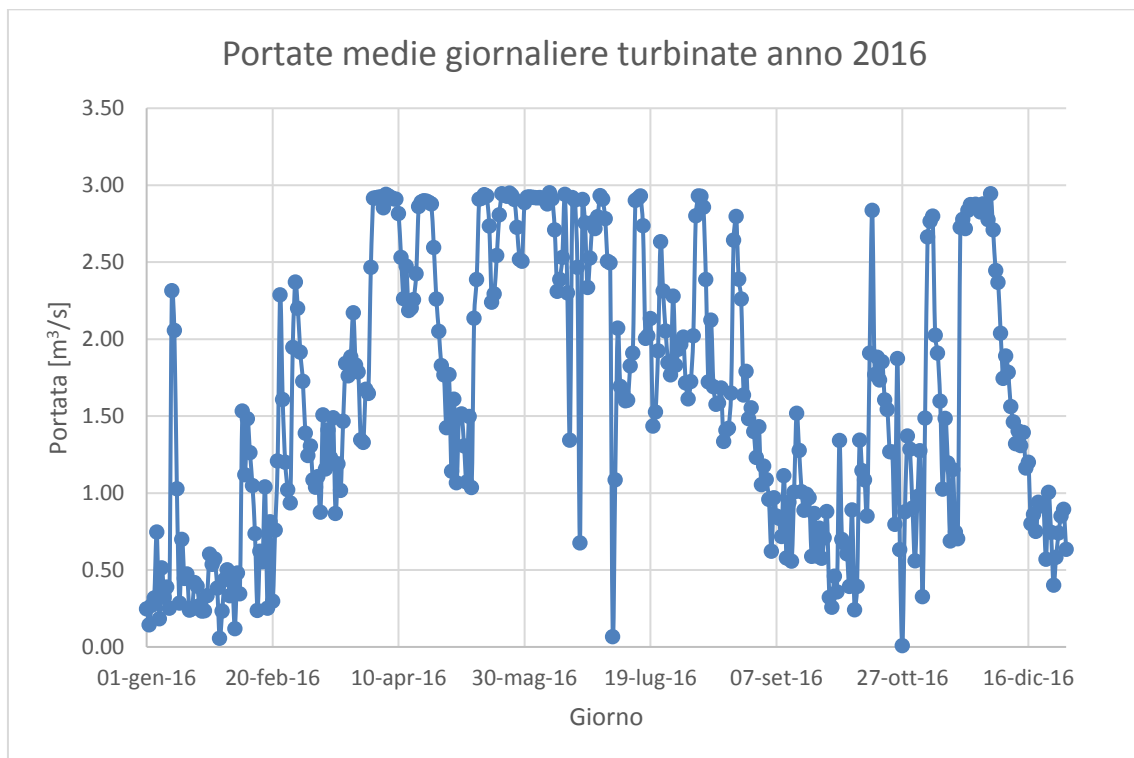


Figura 4 - Portate medie giornaliere turbinare anno 2016

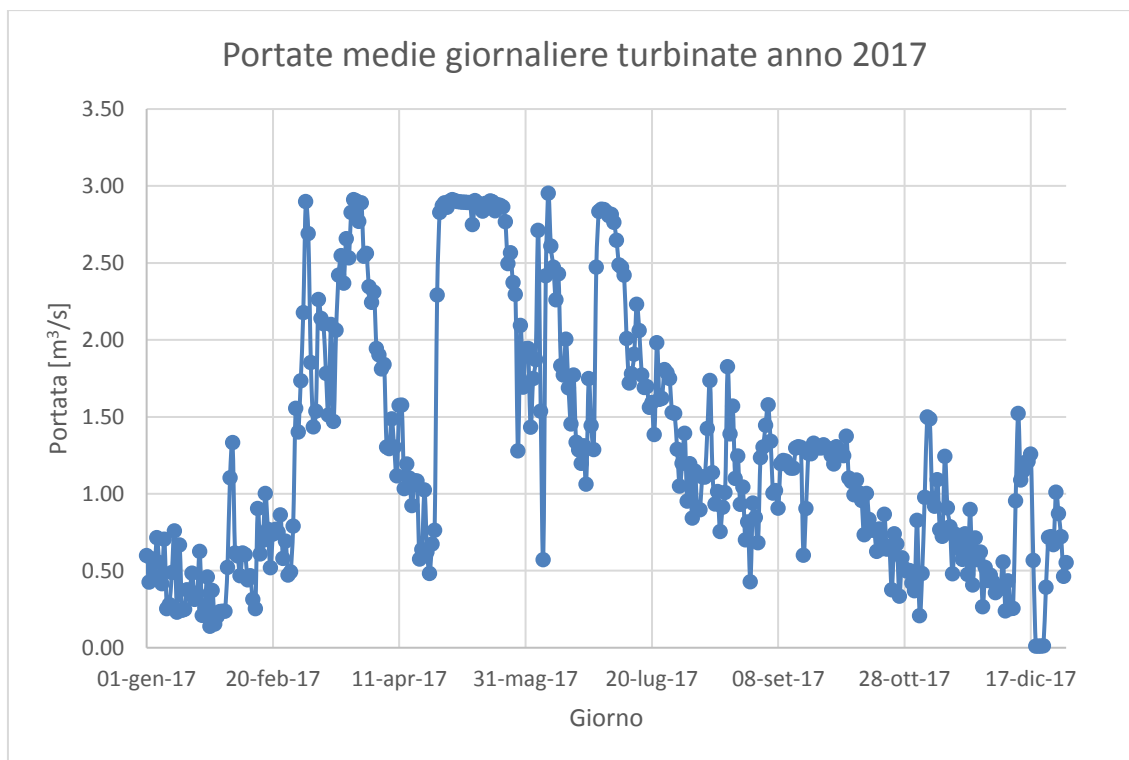


Figura 5 - Portate medie giornaliere turbinare anno 2017

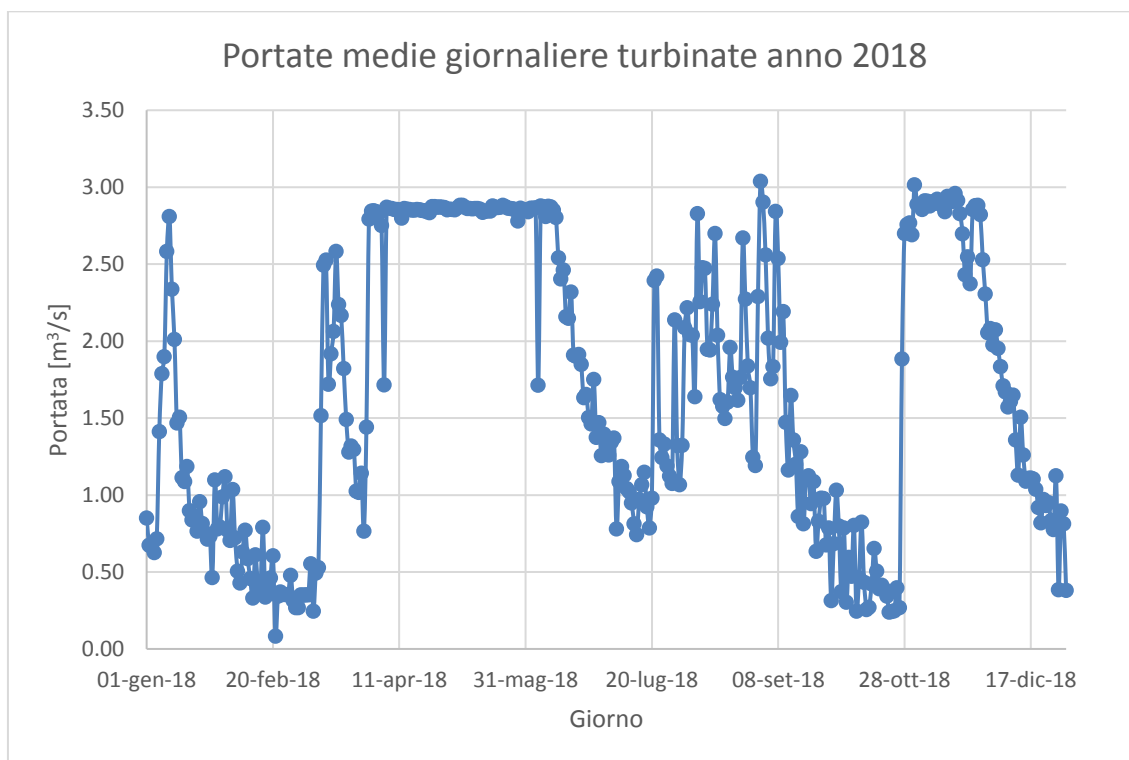


Figura 6 - Portate medie giornaliere turbinare anno 2018

Dall'osservazione dei grafici si può cogliere facilmente come gli afflussi verso l'invaso siano maggiori nella stagione primaverile e talvolta in quella autunnale.

Nella seguente tabella si mettono a confronto le portate turbinare medie mensili (in  $m^3/s$ ) dal 2000 al 2018:

Anno	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Media
2000	2,17	0,00	1,95	2,87	3,01	2,78	2,15	2,35	2,27	2,31	1,26	0,62	<b>1,99</b>
2001	2,10	0,00	2,04	2,87	3,00	2,76	2,17	2,35	2,24	2,31	1,23	0,63	<b>1,99</b>
2002	0,40	0,70	1,91	1,65	2,85	2,65	2,38	2,81	2,35	1,52	2,06	2,76	<b>2,01</b>
2003	1,71	0,95	0,85	0,89	1,77	1,24	0,89	0,35	0,49	0,84	2,36	1,72	<b>1,17</b>
2004	0,79	1,15	1,49	2,44	2,98	2,22	1,32	1,17	0,68	1,90	2,09	1,48	<b>1,64</b>
2005	0,69	0,44	0,83	2,33	2,19	0,92	0,96	1,14	1,85	1,70	0,87	0,57	<b>1,21</b>
2006	0,35	0,23	1,26	2,93	2,48	0,86	0,75	1,57	1,41	1,95	1,32	2,16	<b>1,45</b>
2007	1,15	0,87	1,01	1,26	1,63	2,73	1,64	1,73	1,21	1,07	0,92	0,86	<b>1,34</b>
2008	1,15	1,02	1,21	2,36	3,00	2,90	2,73	1,95	2,28	1,35	2,80	2,50	<b>2,11</b>
2009	1,52	1,55	2,24	2,95	2,99	2,71	2,38	1,91	1,40	1,00	1,32	2,24	<b>2,02</b>
2010	1,44	1,00	1,58	2,93	2,99	2,95	1,94	1,98	2,21	2,46	2,94	2,36	<b>2,24</b>
2011	2,48	1,45	1,76	2,27	1,74	2,44	1,97	1,55	1,67	1,43	2,07	0,83	<b>1,80</b>
2012	0,56	0,45	0,88	2,30	2,75	2,33	1,32	0,83	1,57	2,27	2,77	2,10	<b>1,68</b>
2013	1,08	0,71	1,16	2,49	2,94	2,69	1,57	0,89	0,75	2,17	2,66	1,21	<b>1,70</b>
2014	2,51	2,81	2,71	2,88	2,95	2,93	2,83	2,92	1,84	1,83	2,72	2,15	<b>2,59</b>
2015	0,98	1,10	1,80	2,06	2,54	2,06	0,88	1,72	2,31	2,68	1,18	0,48	<b>1,65</b>
2016	0,50	0,93	1,53	2,55	2,28	2,64	2,05	1,95	0,87	1,13	1,91	1,37	<b>1,64</b>
2017	0,40	0,65	2,23	1,48	2,67	1,88	1,98	1,07	1,22	0,83	0,73	0,61	<b>1,32</b>
2018	1,17	0,53	1,33	2,81	2,86	2,23	1,22	1,95	1,45	0,81	2,79	1,25	<b>1,70</b>
<b>Media</b>	<b>1,22</b>	<b>0,87</b>	<b>1,57</b>	<b>2,33</b>	<b>2,61</b>	<b>2,31</b>	<b>1,74</b>	<b>1,69</b>	<b>1,58</b>	<b>1,66</b>	<b>1,89</b>	<b>1,47</b>	<b>1,75</b>

Tabella 1 - Portate turbinate medie mensili [m<sup>3</sup>/s]

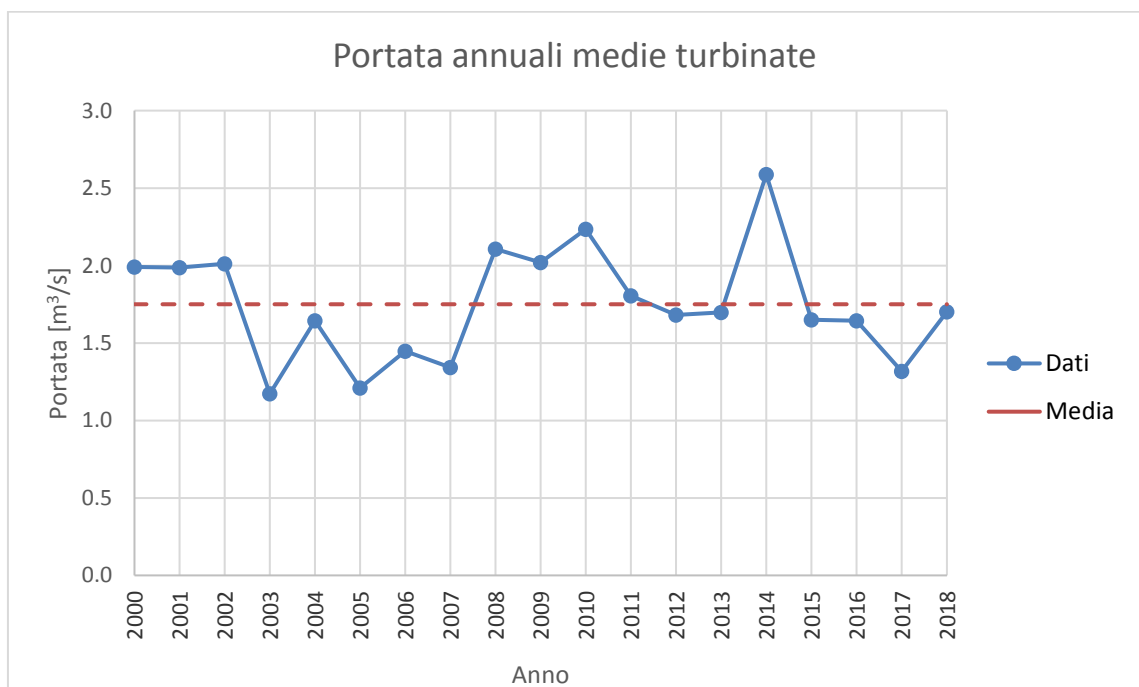


Figura 7 - Portata annuali medie turbinate 2000-2018

Con i dati relativi alla quota del pelo libero misurata dell'invaso si può ricavare l'altezza di sfioro ( $h_s$ ), che unitamente allo sviluppo dello sfioratore ( $L_s$ ) permette di calcolare la portata sfiorata:

$$Q_{sfioro} = \mu h_s L_s \sqrt{2gh_s}$$

Al coefficiente d'efflusso  $\mu$  viene assegnato il valore di 0,4.

Non trattandosi di un impianto ad acqua fluente, il calcolo della portata in ingresso non deve tener conto unicamente della portata turbinata e di quella sfiorata, bensì anche della portata associata alla variazione del volume dell'invaso. Questa portata viene ricavata tramite la conoscenza del pelo libero e un'assunzione riguardante l'andamento altimetrico della superficie del bacino (funzione polinomiale ottenuta interpolando le informazioni ottenute durante il rilievo batimetro del 19/03/2019):

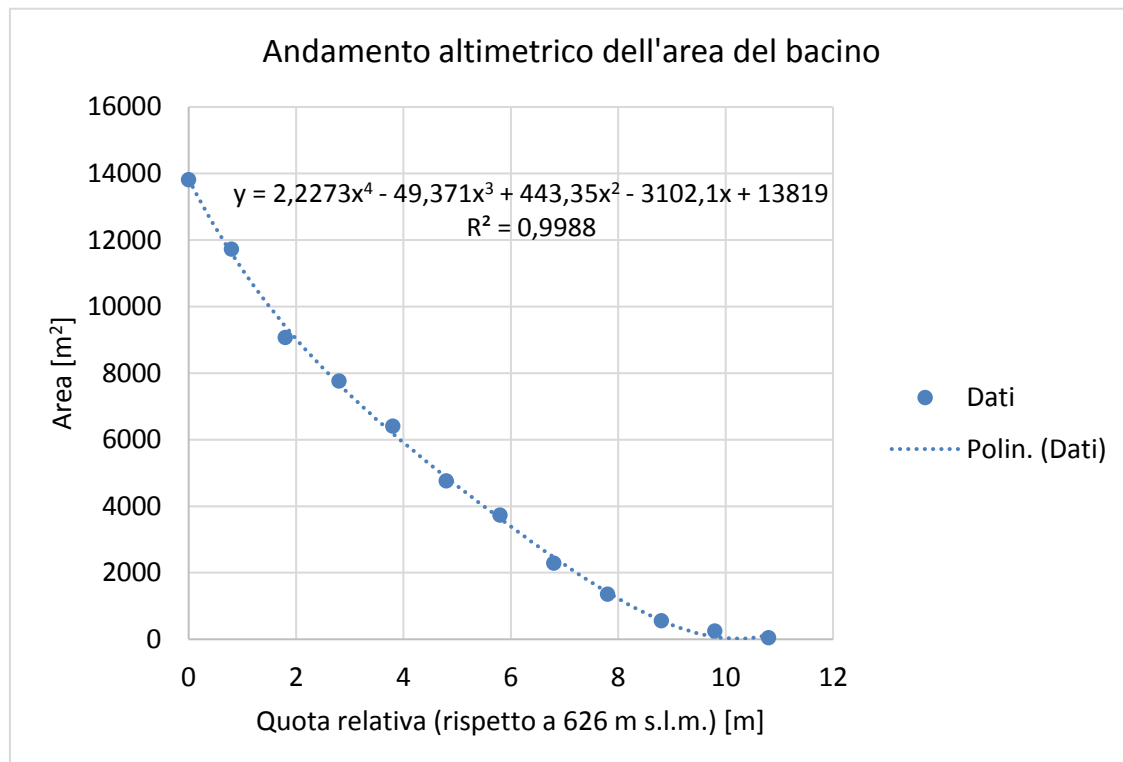


Figura 8 - Andamento altimetrico dell'area del bacino

$$\Delta Q_i = \frac{(A_i + A_{i+1}) \cdot (z_{i+1} - z_i)}{2 \cdot \Delta t}$$

In cui il pedice  $i$  è un indice temporale,  $z_i$  la quota assoluta del pelo libero all'istante  $i$  e  $\Delta t$  l'intervallo temporale tra i due istanti  $i$  e  $i + 1$ .

Con questa tecnica è possibile osservare l'andamento annuale delle portate. A titolo d'esempio si riporta nel grafico seguente l'andamento delle portate medie giornaliere del 2018:

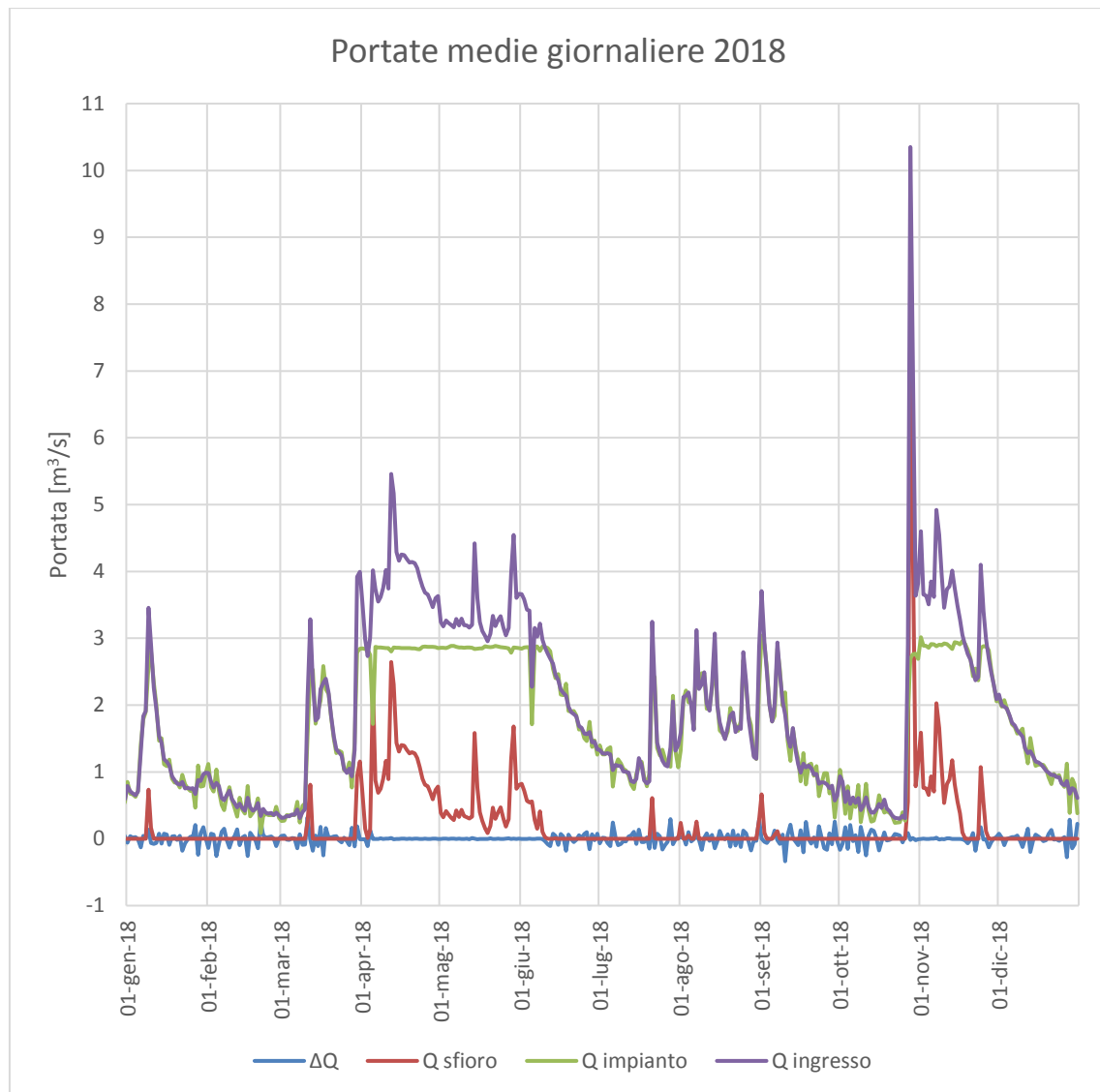


Figura 9 - 2018 – bilancio delle portate medie giornaliere

Di seguito si riporta una tabella con le medie mensili della portata in ingresso al bacino.

Anno	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Media
2014	2,90	3,68	3,42	4,61	4,12	3,35	3,33	3,57	1,96	2,00	3,94	2,23	3,25
2015	1,06	1,15	1,81	2,10	2,67	2,18	0,90	1,88	2,51	3,03	1,22	0,50	1,75
2016	0,60	0,96	1,55	2,62	2,53	3,13	2,14	1,99	0,85	1,25	2,40	1,30	1,78
2017	0,46	0,66	2,28	1,68	3,05	2,40	2,18	1,11	2,18	0,83	0,75	0,81	1,54
2018	1,20	0,55	1,44	3,87	3,34	2,37	1,26	2,00	1,48	1,32	3,35	1,25	1,96
Media	1,25	1,40	2,10	2,98	3,14	2,68	1,96	2,11	1,80	1,69	2,33	1,22	2,06

Tabella 2 - Portate medie mensili in ingresso al bacino [ $m^3/s$ ]

Da questi dati si può facilmente intuire come le portate siano più abbondanti nel medio-tardo periodo primaverile e, con minore intensità, nel tardo periodo autunnale; si osservano invece periodi di magra severi in inverno e poco accentuati in estate, rispecchiando in maniera approssimativa il classico regime sublitoraneo alpino.

#### 5.4.1.3 Portata media annua

In merito ad una caratterizzazione idrologica del bacino scupra dei contributi derivanti dall'opera di presa sullo Stabina, è stato effettuato uno studio nel 2012 da parte dello Studio di Ingegneria civile-idraulica del dott. ing. Michele Giorgio (in breve Giorgio) per Italgen S.p.A. (*REL\_TCN-IDR-PRG-22-11-ver 03*, § 3).

Si avevano a disposizione le informazioni di precipitazione e di portata media annua per la sezione di misura sul fiume Brembo a Lenna (località Scalvino). Dopo aver trasferito le informazioni della precipitazione al bacino d'interesse, era stato calcolato il contributo unitario medio nella sezione di chiusura con la seguente proporzione:

$$\frac{q_S}{q_M} = \frac{P_S}{P_M}$$

In cui:

- $q_S$  [l/(s·km<sup>2</sup>)] = contributo unitario medio alla sezione di chiusura del bacino imbrifero sotteso alla diga di Cassiglio;
- $q_M$  [l/(s·km<sup>2</sup>)] = contributo unitario medio alla sezione di chiusura del fiume Brembo a Lenna (località Scalvino);
- $P_S$  [mm/anno] = precipitazione media annua cadente sul bacino imbrifero sotteso alla diga di Cassiglio;
- $P_M$  [mm/anno] = precipitazione media annua cadente sul bacino associato alla sezione di chiusura del fiume Brembo a Lenno (località Scalvino);

Moltiplicando il contributo unitario per l'area del bacino è stata ricavata la portata media annua ( $Q_S$ ).

I risultati sono riassunti nella tabella seguente:

<b><math>P_S</math> [mm/anno]</b>	1701
<b><math>q_S</math> [l/(km<sup>2</sup>s)]</b>	40,27
<b><math>A_S</math> [km<sup>2</sup>]</b>	11
<b><math>Q_S</math> [l/s]</b>	442,97

*Tabella 3 - Parametri idrologici del bacino imbrifero sotteso alla diga di Cassiglio*

Maggiori dettagli sono riportati nella relazione redatta da Giorgio (*REL\_TCN-IDR-PRG-22-11-ver 03*, § 3).

#### 5.4.1.4 Curva di durata

Nella suddetta relazione (*REL\_TCN-IDR-PRG-22-11-ver 03*, § 4.1.2) era stata utilizzata la curva di durata media del fiume Brembo a Ponte Briolo per ricavare la curva di durata del bacino sotteso alla diga di Cassiglio.

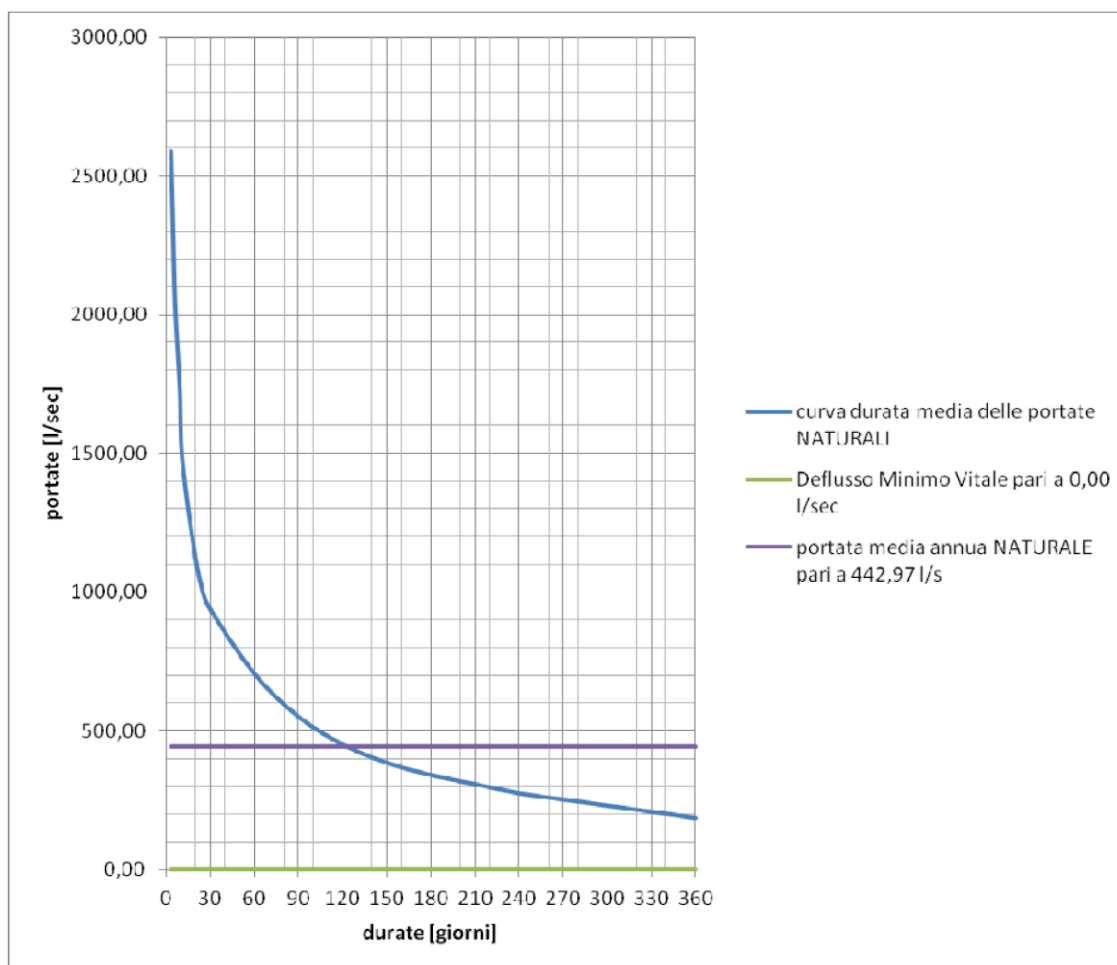


Figura 10 – Curva di durata relativa alla sezione in corrispondenza della diga di Cassiglio (estratto da REL\_TCN-IDR-PRG-22-11-ver 03).

#### 5.4.1.5 Piene

Per quanto concerne la valutazione di portate di piena corrispondenti ad un particolare tempo di ritorno, si fa riferimento a un altro studio condotto da Giorgio, esposto nella relazione 42-REL\_TCN-PRG 21-05\_Cassiglio.

Al § 3 vengono utilizzati modelli parametrici lineari. Partendo dai dati di precipitazione delle stazioni di San Martino De Calvi e di Bergamo erano state ricostruite le curve di possibilità pluviometria; in seguito ad assunzioni riguardanti lo ietogramma di progetto e il modello dello ietogramma istantaneo unitario, era stato possibile ricavare l'idrogramma di piena associato a un determinato tempo di ritorno e conseguentemente la portata al colmo.

Erano stati impiegate molteplici metodologie, che coinvolgevano due metodi per modellare le perdite idrologiche (percentuale e CN-SCS, per ottenere lo ietogramma di progetto) e tre modelli di trasformazione afflussi-deflussi (invaso lineare, Nash e corruzione, per ottenere l'idrogramma istantaneo unitario).

Inoltre, nella suddetta relazione (§ 4) sono stati utilizzati anche modelli probabilistici MG ed MGs, i quali si basano sull'ipotesi che l'intero territorio italiano possa essere considerato alla stregua di un'unica macroregione nella quale può essere definita una sola forma

di distribuzione di probabilità a due parametri (MG) o un parametro (MGs) per la portata di piena al colmo.

I risultati di questi metodi sono riassunti nella tabella seguente (per maggiori dettagli si rimanda alla relazione sopraccitata):

Portate al colmo	Modelli parametrici lineari	Modelli probabilistici (MG e MGs)
$Q_{100} [m^3/s]$	53,28 ÷ 81,39	61,60 ÷ 70,61
$Q_{200} [m^3/s]$	59,82 ÷ 87,78	67,87 ÷ 75,78
$Q_{500} [m^3/s]$	68,76 ÷ 96,28	75,87 ÷ 82,62
$Q_{1000} [m^3/s]$	88,43 ÷ 116,08	81,74 ÷ 87,80

Tabella 4 – Portate al colmo associate al bacino sotteso dalla diga di Cassiglio in funzione di più tempi di ritorno, stimate in base a più modelli

Particolare attenzione deve essere prestata alla portata al colmo millenaria, in quanto costituisce la portata di riferimento per le verifiche idrauliche della diga di Cassiglio. Per dare un unico valore di riferimento, era stato proposto di mediare il valore massimo ricavato dai modelli parametrici lineari con il valore massimo ottenuto dai modelli probabilistici e di aggiungere il contributo dell'opera di derivazione dal torrente Stabina (2,9 m<sup>3</sup>/s). Il valore risultante era pertanto  $Q_{1000} = 104,84 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Si vuole far notare che nel progetto dell'appesantimento della diga è stato scelto di utilizzare come portata di progetto la portata millenaria comunicata dal Servizio Idrografico e Mareografico di Parma (con lettera n. 841 del 02/05/1996):  $Q_{1000} = 170 \text{ m}^3/\text{s}$ . Questa portata è nettamente superiore a quella ottenuta dai metodi esposti pocanzi e il suo utilizzo viene giustificato dalle modeste dimensioni dell'invaso e dall'incertezza legata ai dati idrologici utilizzati per la modellazione delle piene. In particolare, l'adozione di questa portata millenaria comporta la necessità di innalzare il piano di coronamento attuale della diga: per questo motivo, nel progetto di appesantimento della diga è in previsione l'innalzamento del piano di coronamento (da 629,30 m s.l.m. a 630,10 m s.l.m.) affinché il franco netto passi dagli attuali 0,68 m a 1,48 m (maggiori dettagli sono riportati nella relazione 25\_Relazione 4-Relazione idrologica-rev1).

#### 5.4.1.6 Massima portata transitabile a valle dello sbarramento

La diga di Cassiglio è dotata di due organi di scarico aventi le caratteristiche seguenti:

- scarico di superficie, in grado di scaricare, da solo, una portata massima di 100 m<sup>3</sup>/s
- scarico di fondo, in grado di scaricare una portata massima di 30 m<sup>3</sup>/s

Si può notare come i due scarichi non siano in grado di smaltire una portata pari a quella di progetto  $Q_{1000} = 170 \text{ m}^3/\text{s}$ . Per questo, durante i lavori di appesantimento dello sbarramento, è in programma un aumento della lunghezza di sfioro (con la riduzione da due a



una pila) e un innalzamento del coronamento tali da poter garantire lo smaltimento della piena millenaria considerata (come esposto nella relazione precedente).

Per approfondimenti si veda lo “Studio su modello idraulico delle opere di sfioro e di dissipazione della diga di Cassiglio (Bergamo)” condotto dal Dipartimento di Ingegneria idraulica, marittima, ambientale e geotecnica (IMAGE) dell’Università degli Studi di Padova nel 2006.

#### 5.4.2 *Caratterizzazione idrologica del bacino allacciato*

La metodologia utilizzata nella relazione di Giorgio per la caratterizzazione idrologica del bacino sotteso all’opera di presa sullo Stabina coincide con quella usata per il bacino sotteso alla diga di Cassiglio, eccezion fatta per la determinazione delle piene, che per questo bacino non è stata effettuata. Infatti, la particolare geometria dell’opera di presa sullo Stabina permette di convogliare al massimo 2,9 m<sup>3</sup>/s, e di smaltire a valle le portate in eccesso; pertanto, le piene di questo bacino non influenzano l’invaso di Cassiglio.

##### 5.4.2.1 Portata media annua

Con la stessa procedura esposta al § 5.4.1.3, si ottiene quanto segue:

<b><math>P_S</math> [mm/anno]</b>	1708
<b><math>q_S</math> [l/(km<sup>2</sup>s)]</b>	41,95
<b><math>A_S</math> [km<sup>2</sup>]</b>	57
<b><math>Q_S</math> [l/s]</b>	2391,15

*Tabella 5 - Parametri idrologici del bacino imbrifero allacciato all’invaso di Cassiglio*

##### 5.4.2.2 Curva di durata

Il risultato è riportato nella relazione di Giorgio (*REL\_TCN-IDR-PRG-22-11-ver 03*, § 4.1.2).

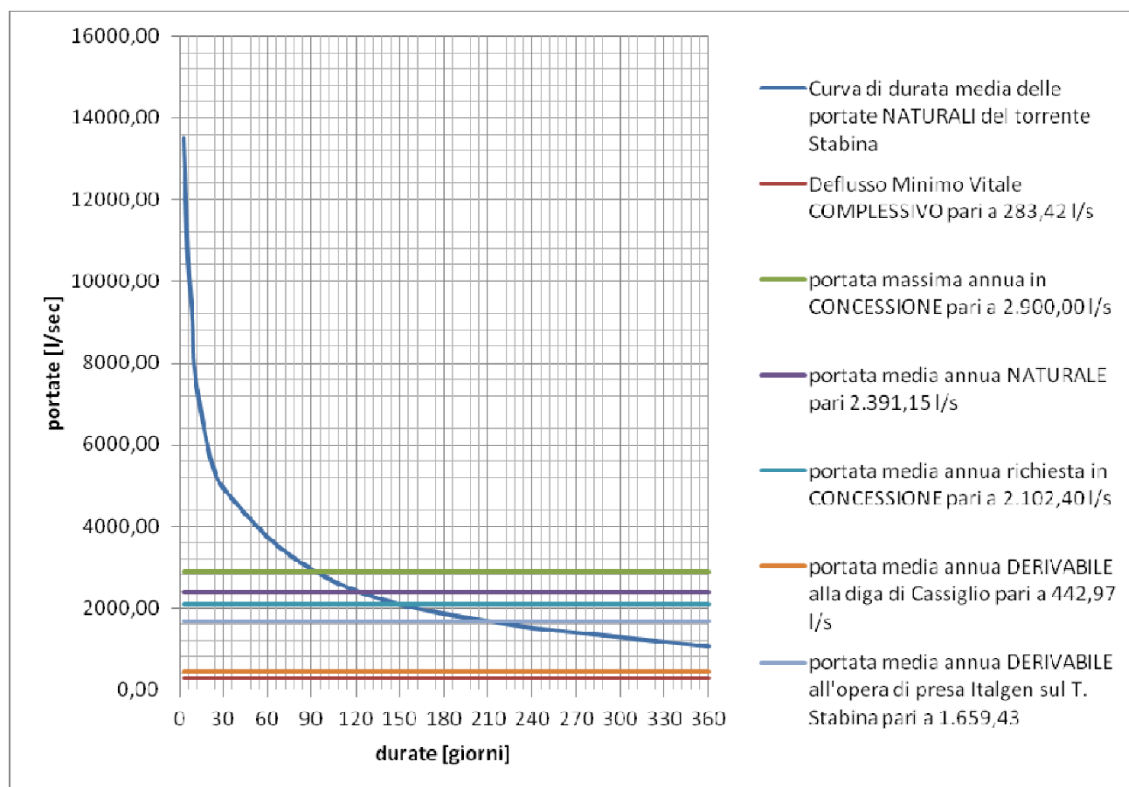


Figura 11 – Curva di durata relativa alla sezione in corrispondenza all’opera di presa sullo Stabina (estratto da REL\_TCN-IDR-PRG-22-11-ver 03).

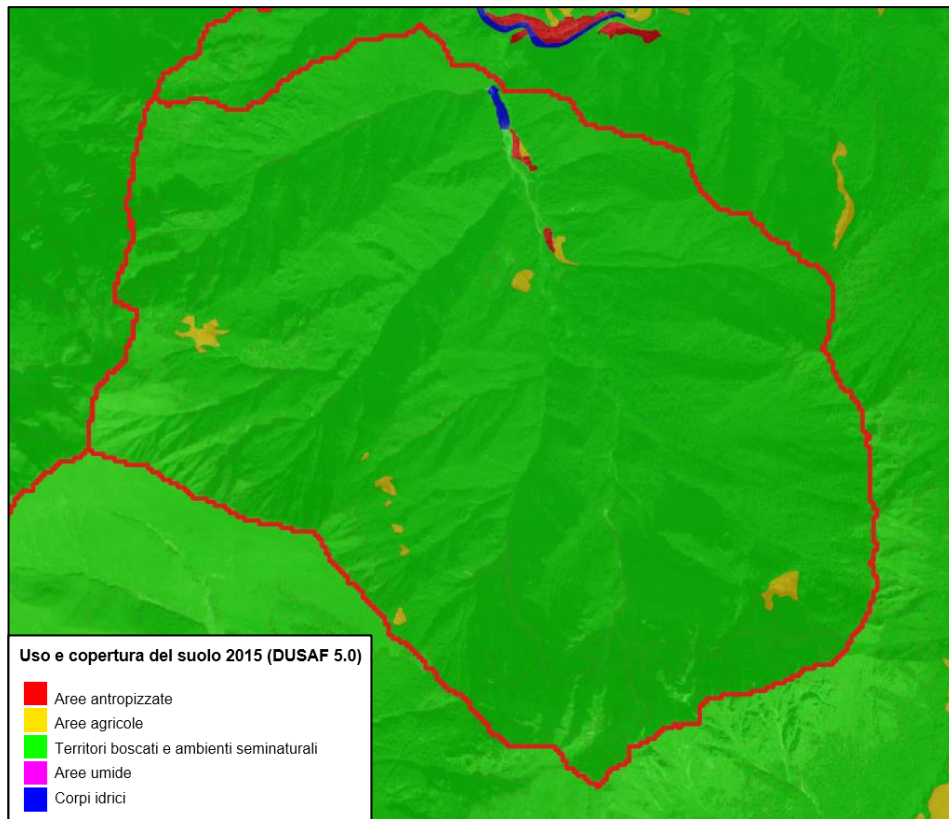
## 5.5 USO DEL SUOLO E VINCOLI

In questo capitolo viene fornito un inquadramento generale dei due bacini d’interesse dal punto di vista vincolistico: sono stati consultati i dati disponibili sul Geoportale della Regione Lombardia in merito ad uso del suolo e vincoli di carattere idrogeologico e ambientale. I perimetri dei bacini sono stati ottenuti dal dato “DTM 20 – ESRI GRID”, tramite il software QGis.

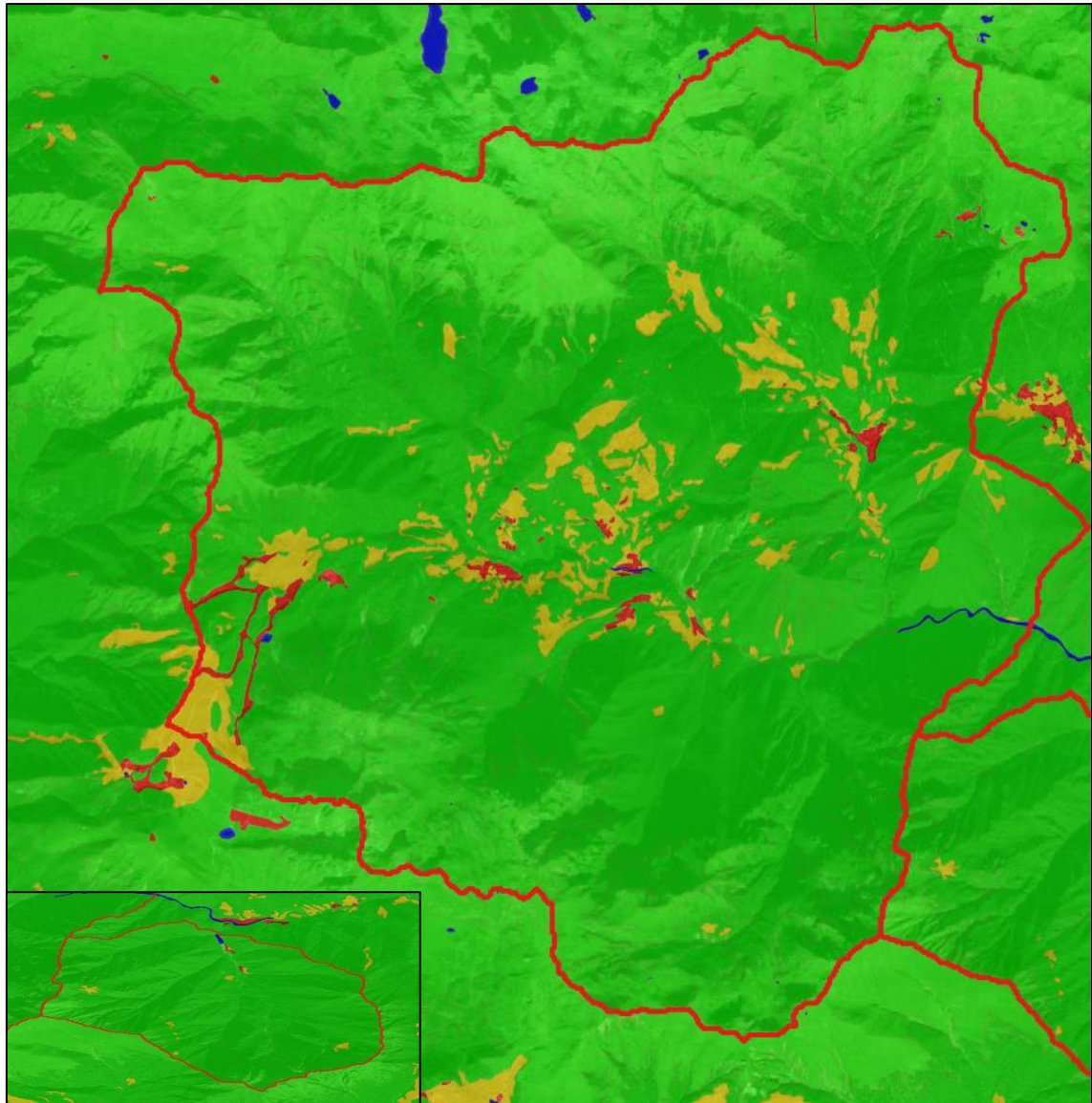
### 5.5.1 Uso del suolo

L’uso del suolo dei bacini d’interesse viene stabilito dal progetto DUSAF (Destinazione d’Uso dei Suoli Agricoli e Forestali) 5.0, realizzato dalla Regione Lombardia nel 2015 tramite una fotointerpretazione delle foto aeree Aega, integrata con informazioni provenienti da banche dati regionali.

Questo servizio fornisce l’inquadramento dell’uso del suolo a differenti livelli di dettaglio. Qui di seguito viene analizzato il livello più generale; per un livello di maggiore dettaglio del bacino sotteso dalla diga si rimanda alla tavola allegata “Tav.04\_Carta dell’uso del suolo e della copertura vegetazionale\_5000” (del dott. Fabio Fenaroli).



*Figura 12 - Stralcio della tavola “Uso e copertura del suolo 2015 (DUSAF 5.0)” della Regione Lombardia (ultima revisione il 30/01/2017) sovrapposta ad ortofoto (bacino sotteso)*

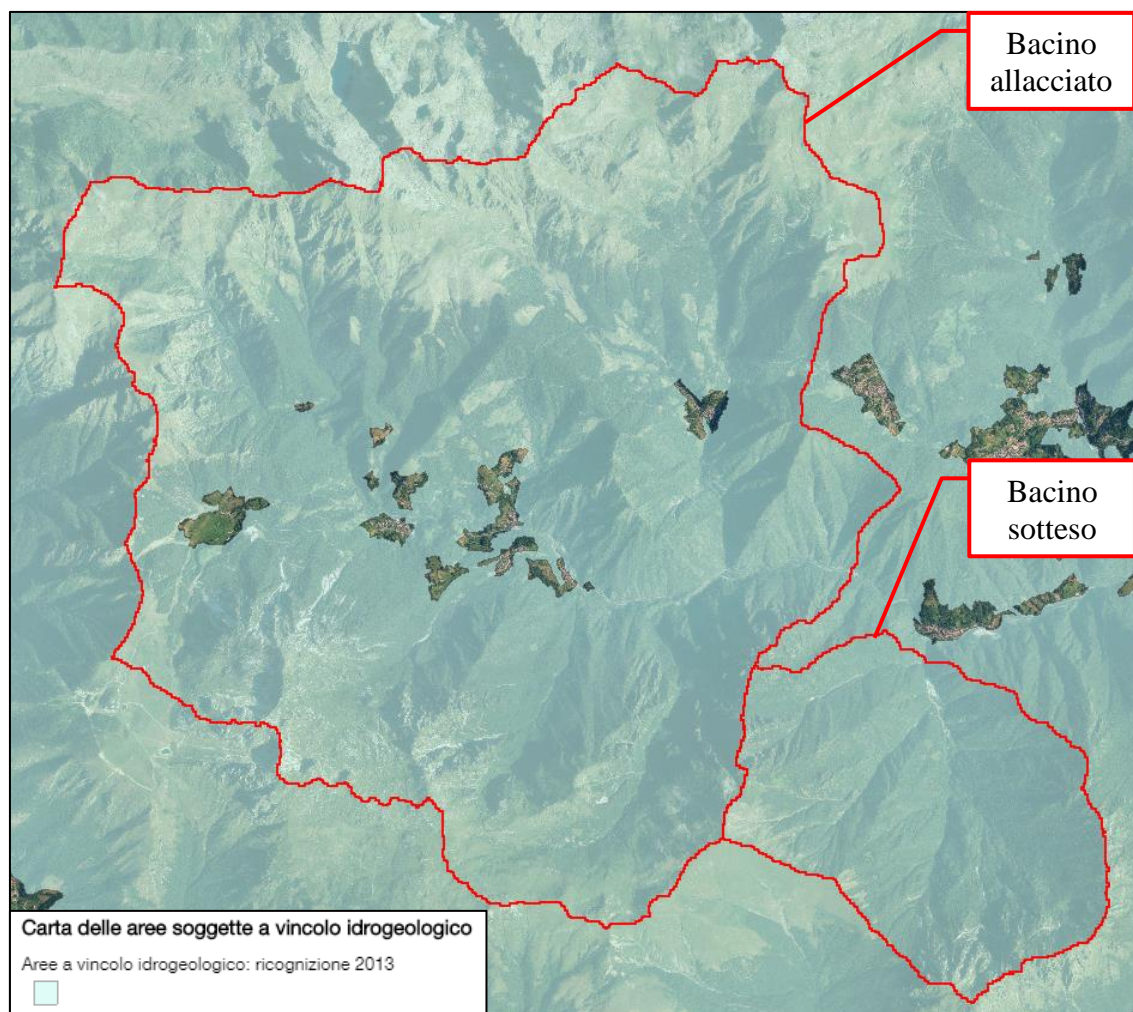


*Figura 13 - Stralcio della tavola “Uso e copertura del suolo 2015 (DUSAF 5.0)” della Regione Lombardia (ultima revisione il 30/01/2017) sovrapposta ad ortofoto (bacino allacciato)*

#### *5.5.2 Vincolo idrogeologico*

L'intero bacino sotteso alla diga di Cassiglio, e la quasi totalità del bacino allacciato, ricadono in aree soggette a vincolo idrogeologico (Art. 1 e 7 del Regio Decreto 3267/1923).





*Figura 14 - Stralcio della tavola “Carta delle aree soggette a vincolo idrogeologico” della Regione Lombardia (ultima revisione il 20/12/2013) sovrapposta ad ortofoto*



### 5.5.3 Aree protette

Il bacino sotteso allo sbarramento è completamente incluso all'interno del parco regionale "Parco delle Orobie Bergamasche", gestito dal Consorzio Parco delle Orobie Bergamasche; questo parco rientra all'interno della zona di protezione speciale (ZPS) denominata "Parco Regionale Orobie Bergamasche".

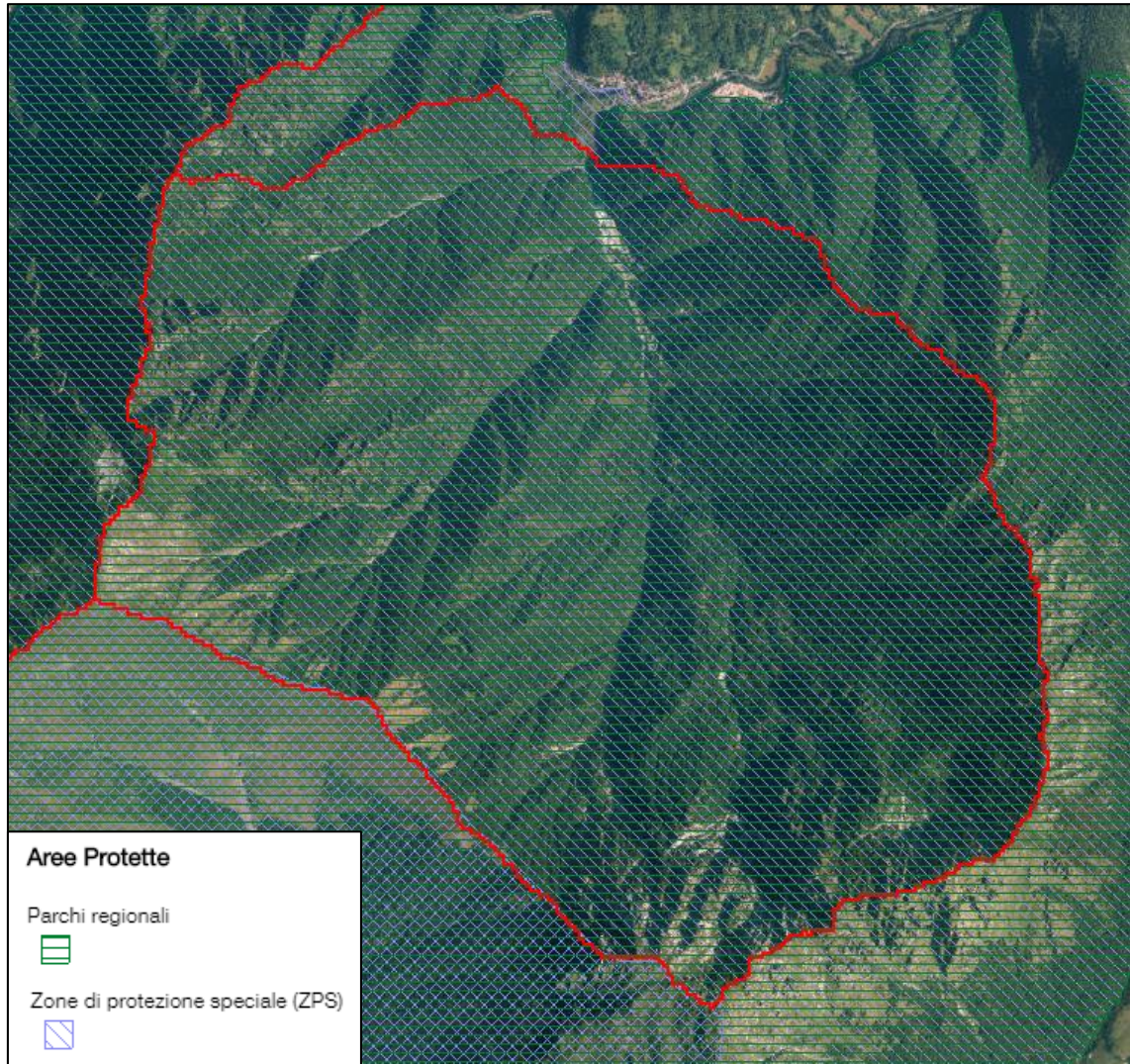


Figura 15 – Stralcio della tavola "Aree Protette" della Regione Lombardia (ultima revisione il 24/09/2018) sovrapposta ad ortofoto (bacino sotteso)



Per quanto concerne il più ampio bacino sotteso alla sezione di presa sullo Stabina, oltre agli stessi vincoli citati pocanzi, si nota la presenza di altri due vincoli: a Sud-Est una piccola porzione di “Zone speciali di conservazione e Siti di Importanza comunitaria” (ZSC e SIC) denominata “Valle Asinina”, mentre a Ovest un parco locale di interesse sovracomunale definito come “PLIS di Barzo al fondo valle delle Orobie”.

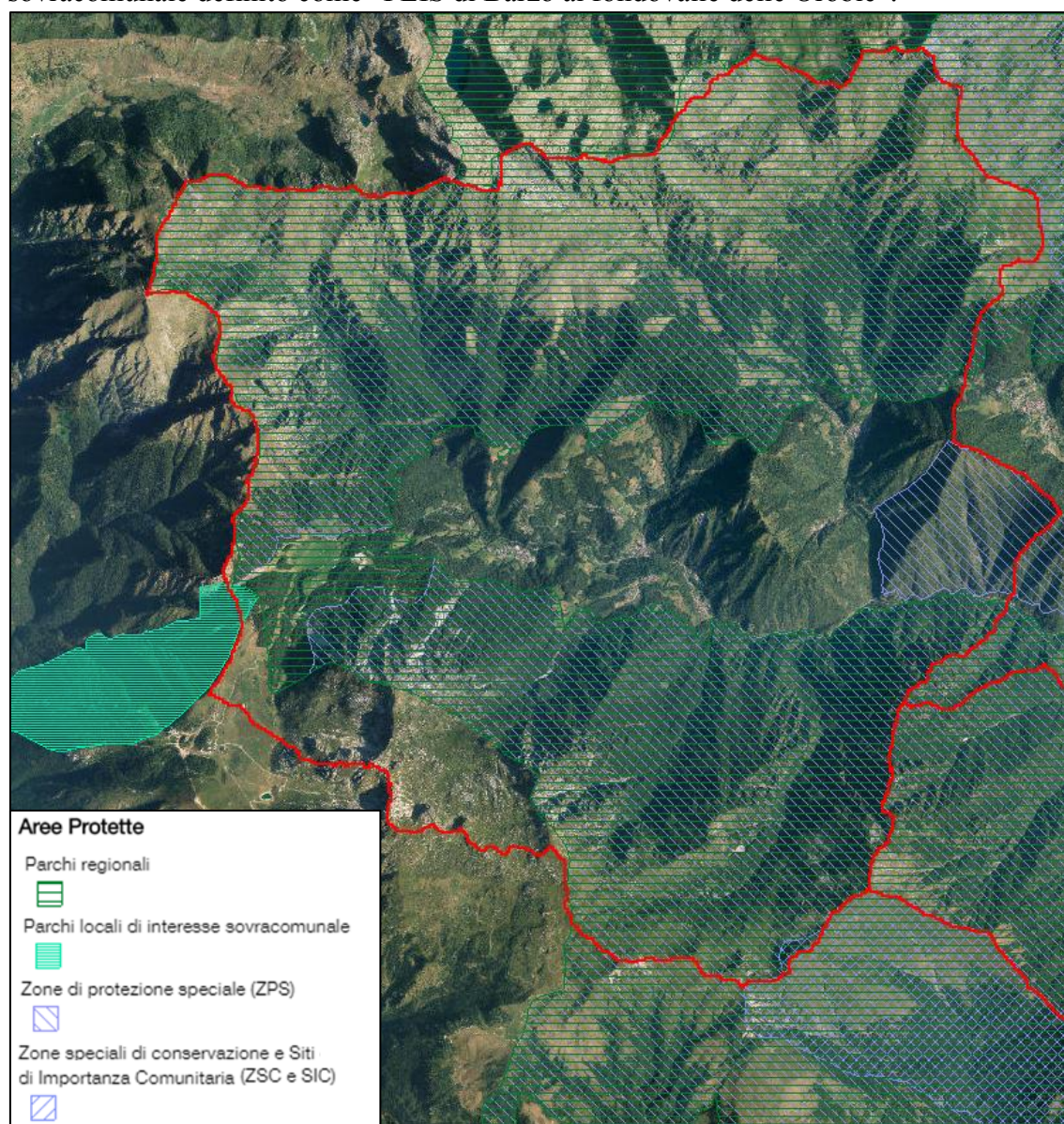


Figura 16 - Stralcio della tavola “Aree Protette” della Regione Lombardia (ultima revisione il 24/09/2018) sovrapposta ad ortofoto (bacino allacciato)



#### 5.5.4 Vincoli paesaggistici

Per quanto riguarda i beni paesaggistici e le aree tutelate per legge derivati dal D.Lgs. 42/2004 “Codice del paesaggio”, entrambi i bacini comprendono aree di rispetto dei corsi d’acqua ed il parco regionale citato precedentemente.

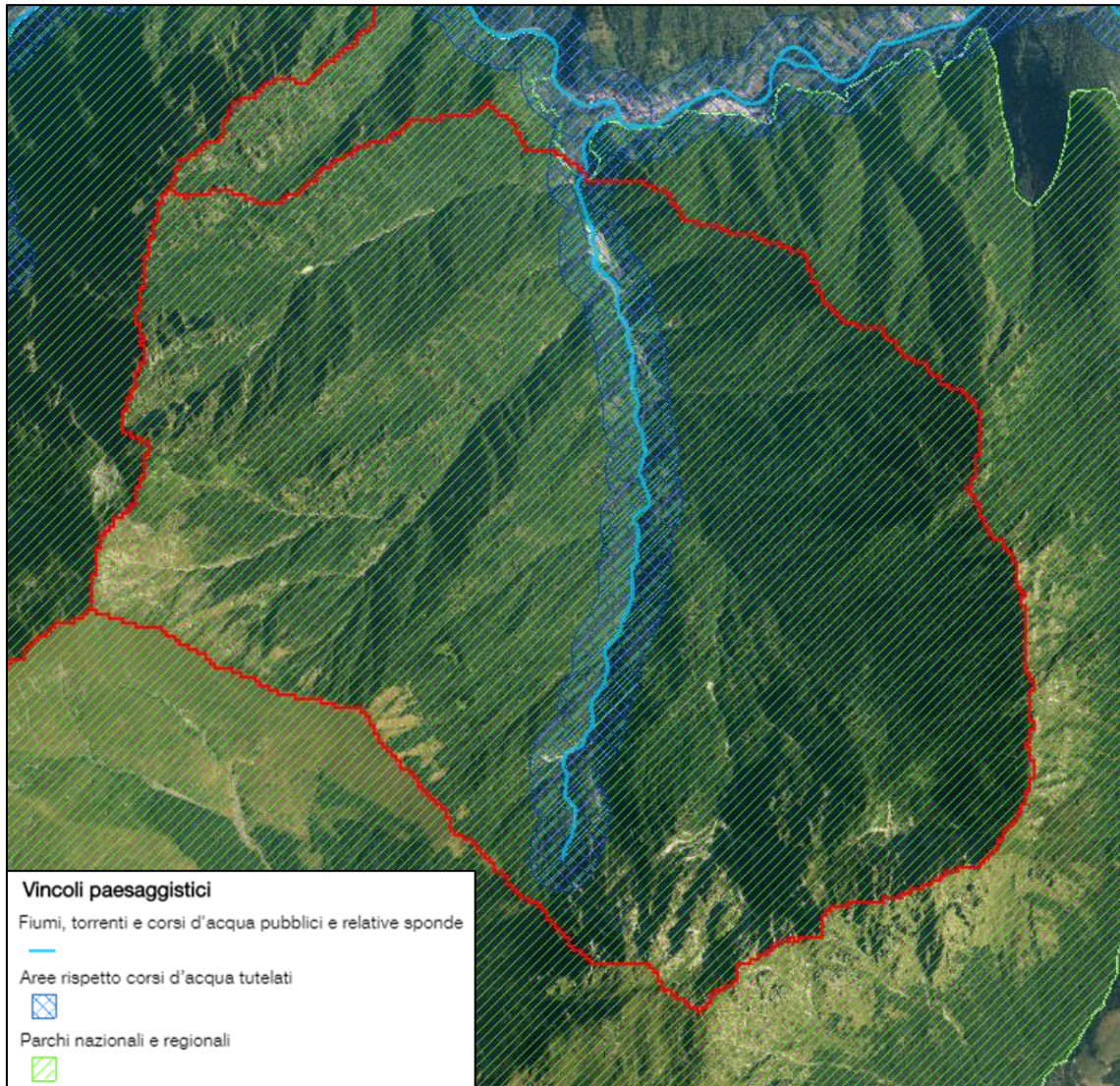


Figura 17 - Stralcio della tavola “Vincoli paesaggistici” della Regione Lombardia (ultima revisione il 31/12/2017) sovrapposta ad ortofoto (bacino sotteso)



Inoltre, il bacino allacciato presenta a Nord un limitato territorio contermini ai laghi, e sul lato Sud-Ovest una vasta area di notevole interesse pubblico (Art. 142 comma 1 lettera c) fiumi, torrenti, corsi d'acqua e relative sponde; lettera d) montagne sopra i 1600 metri per le Alpi e sopra i 1200 metri per gli Appennini).

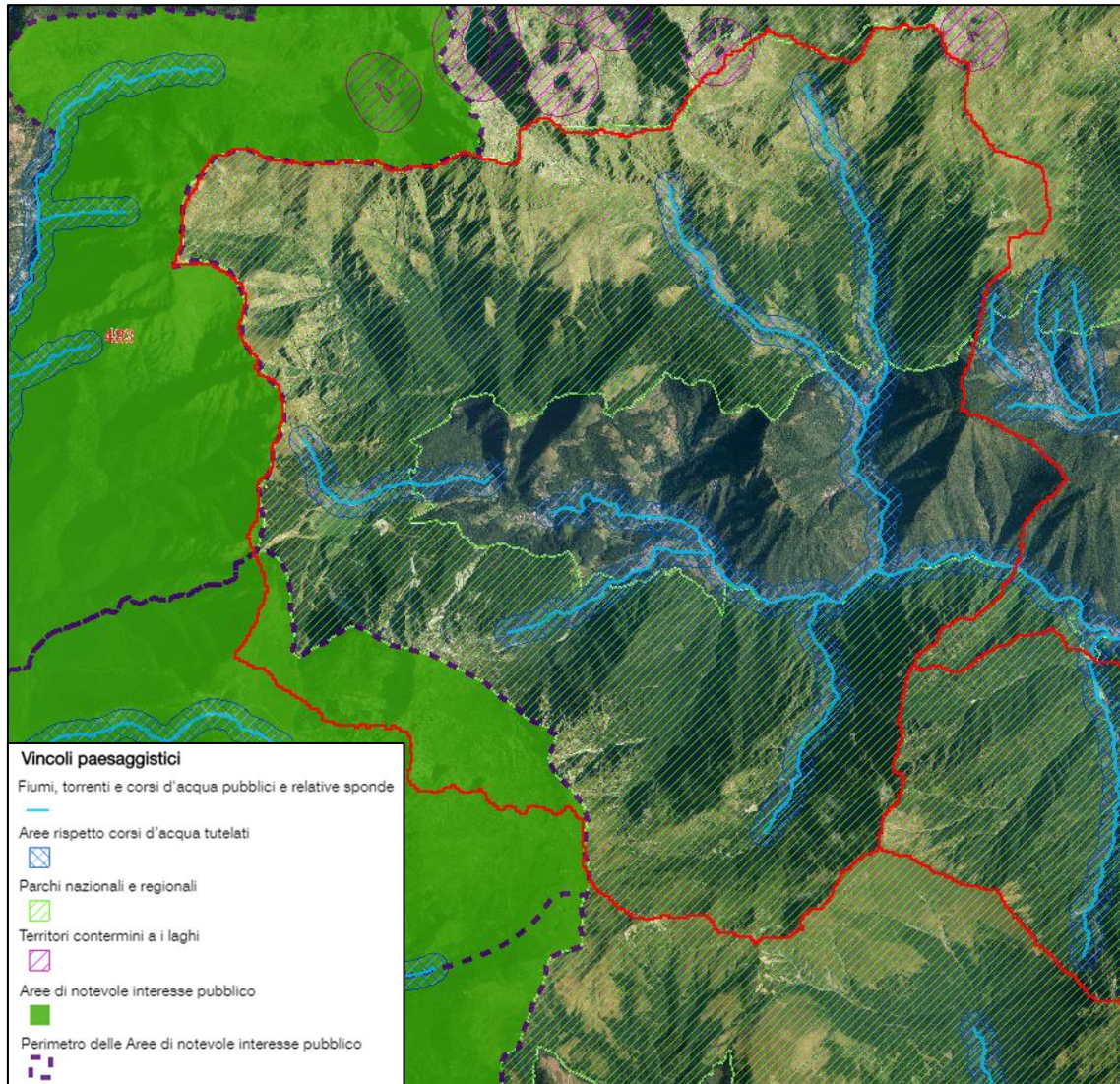


Figura 18 - Stralcio della tavola “Vincoli paesaggistici” della Regione Lombardia (ultima revisione il 31/12/2017) sovrapposta ad ortofoto (bacino allacciato)

## 5.6 CONCENTRAZIONE DEL MATERIALE SOLIDO IN SOSPENSIONE DEL TORRENTE CASSIGLIO

La valutazione delle concentrazioni di materiale solido in sospensione nelle acque del corpo idrico a monte e valle dello sbarramento, sia durante il normale esercizio dell'impianto che in occasione di eventi di morbida, è riportata nella relazione ambientale redatta da CSBA (§ 2.3). Di seguito si riporta la tabella riassuntiva dei risultati:

Campione	Condizioni di esercizio dell'impianto	Valore di Solidi Sospesi (mg/l)
Cassiglio Monte	Normale	<0.50
Cassiglio Valle	Normale	<0.50
Stabina Monte	Normale	2.0
Stabina Valle	Normale	<0.50
Cassiglio Monte	Morbida	<0.50
Cassiglio Valle	Morbida	<0.50
Stabina Monte	Morbida	<0.50
Stabina Valle	Morbida	<0.50

*Tabella 6 - Concentrazione dei solidi sospesi dei torrenti Cassiglio e Stabina in condizioni di magra e di morbida (relazione ambientale, § 2.3)*

#### 5.7 VALUTAZIONE DEL VOLUME DI MATERIALE SOLIDO SEDIMENTATO NELL'INVASO

Sono stati eseguiti rilievi batimetrici in data 19/03/2019 da CSBA, i cui risultati sono esposti nelle tavole "TAVOLA\_IDRO01" e "TAVOLA\_IDRO02" presenti in allegato.

In particolare, è possibile affermare che la quantità e la disposizione dei sedimenti all'interno dell'invaso non è molto dissimile da quanto era stato misurato nel 2006 (ancora da parte di CSBA); la differenza più evidente è l'avanzamento del fronte ghiaioso proveniente da entrambi i torrenti afferenti all'invaso. In totale, il volume di materiale solido attualmente presente nell'invaso è approssimabile a **32.500 m<sup>3</sup>** (nel 2006 il volume era pari a circa 28.000 m<sup>3</sup>).

Si fa presente che lo spessore di sedimenti non è da intendersi relativo allo strato roccioso: questo infatti è ignoto, se non solamente lungo l'asse della diga (lungo il quale erano stati fatti dei saggi nel 1949). Lo spessore è da intendersi relativo al profilo del terreno naturale risalente all'esecuzione della topografia eseguita prima della costruzione della diga, in cui vi era la presenza di depositi alluvionali.

#### 5.8 VALUTAZIONE DEL VOLUME MEDIO DI MATERIALE SOLIDO CHE SEDIMENTA ANNUALMENTE NELL'INVASO

Lo sbarramento è in servizio da 63 anni circa, le uniche attività di asportazione meccanica di sedimenti hanno coinvolto 16.000 m<sup>3</sup> di materiale solido e il rilievo batimetrico di CSBA stima un volume attuale di sedimenti pari a circa 32.500 m<sup>3</sup>; utilizzando questi dati, l'apporto solido annuale valutato sull'arco di vita dell'invaso risulterebbe pari a circa 770 m<sup>3</sup>/anno. Tale valore dovrebbe comunque essere incrementato in funzione degli apporti solidi (ritenuti molto contenuti) che vengono rilasciati a valle dell'invaso in occasione delle verifiche di funzionamento degli scarichi di fondo e di quanto uscito dall'invaso durante lo svasso totale avvenuto nel Dicembre 2013 (valori ignoti).

È stato possibile stimare la quantità annuale media di materiale che raggiunge l'invaso di Cassiglio tramite il metodo di Gavrilović-Zemljic, che ha fornito un valore approssimativo di **6.500 m<sup>3</sup>/anno**. I dettagli sull'esecuzione di questa stima sono contenuti nello studio geologico redatto dal dott. Fabio Fenaroli, in allegato. Si fa presente che il metodo utilizzato non è in grado di considerare le modifiche nel tirante idrico indotte a monte

dalla presenza dello sbarramento: il volume stimato è quindi da ritenersi distribuito sull'invaso e su una più ampia regione a monte di esso. Inoltre, questo apporto stimato è da intendersi su lunghe scale temporali, in quanto tiene anche conto di possibili eventi di carattere straordinario che provocano a grandi movimentazioni di sedimenti.

In seguito a queste considerazioni e a quelle esposte nella relazione geologica, si può ritenere che il volume medio di materiale solido che si sedimenta in un anno nel serbatoio, utile a valutare l'evoluzione morfologica del bacino - al di fuori di eventi di natura eccezionale (come ad esempio la gravosa piena del 1987) - sia pari a **770 m<sup>3</sup>/anno**.

#### 5.9 CARATTERIZZAZIONE DELLE ACQUE E DEI SEDIMENTI

Un'esaustiva analisi delle acque e dei sedimenti presenti all'interno dell'invaso è stata eseguita da CSBA, in ottemperanza alle richieste espresse dalla D.G.R. X/5736 del 24 ottobre 2016: sono dunque incluse la caratterizzazione fisico-chimiche per le acque e le caratterizzazioni granulometriche, fisico-chimiche ed un saggio ecotossicologico per i sedimenti. I risultati sono riportati nella relazione ambientale (§ 3 per le acque e § 3.2 per i sedimenti) e nell'allegato delle analisi granulometriche del 2019 (redatto ad ISMGEO): lo stato delle acque è coerente con il quadro atteso e non sono stati rilevate particolari alterazioni chimiche di causa antropica; i due campioni di sedimenti non presentano tracce di inquinamento o di pericolosità.

In allegato sono presenti i certificati analitici delle analisi operate nel 2005 e nel 2008, oltre a quelli eseguiti nel 2019 in occasione della redazione del presente Progetto di Gestione.

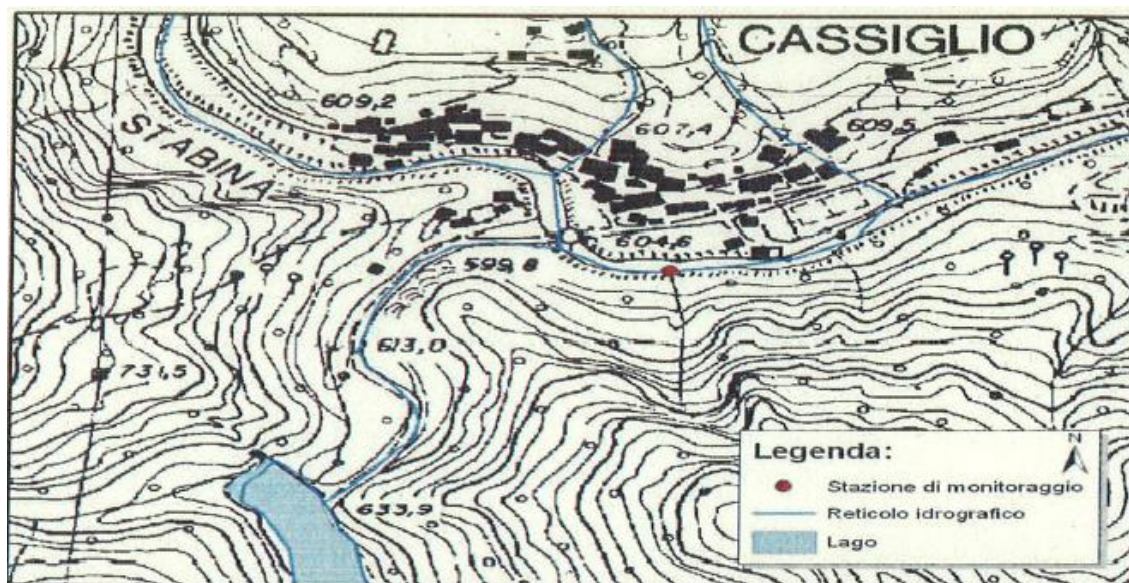
#### 5.10 DEFINIZIONE DELL'AREA DI INFLUENZA E CARATTERIZZAZIONE DEI CORPI IDRICI IN ESSA PRESENTI

Secondo la D.G.R. X/5736 del 24/10/2016, l'area di influenza ha la seguente definizione: *Area di influenza: estensione dei corpi idrici a valle dell'invaso su cui si prevede (o si è misurato in precedenza) un effetto sulle operazioni di svasso, sfangamento e spurgo in termini di uno o più dei seguenti aspetti:*

- *Incremento delle concentrazioni di solidi sospesi totali durante le operazioni, diminuzione della concentrazione di ossigeno disciolto, o, in generale, modifica della qualità delle acque;*
- *Modifiche alla morfologia e/o habitat del corpo idrico;*
- *Influenza sugli usi delle acque;*
- *Effetti sull'ecosistema di valle.*

La delimitazione di quest'area è riportata nella relazione ambientale redatta da CSBA (§ 4.1), in base alla quale, per la manovra di svasso in previsione nel piano operativo, l'area di influenza si estende fino a valle della confluenza del torrente Cassiglio nel torrente Stabina, in particolare fino alla stazione di monitoraggio utilizzata nel 2013 (si veda la Figura 19). Nella relazione viene fatto riferimento alla modalità di svasso ampiamente dettagliata nella parte operativa del presente Progetto di Gestione dell'invaso.





*Figura 19 - Localizzazione della stazione di monitoraggio durante lo svasso del 2013 (estratto della relazione allegata “Monitoraggio Solidi Sospesi Totali”, eseguita da GRAIA nel 2013)*