

**IMPIANTO DI RIGOSO – DIGA DI LAGO BALLANO E LAGO VERDE:
SERVIZI DI PROGETTAZIONE**



**RECUPERO DELLA DIGA DI LAGO BALLANO
PROGETTO DEFINITIVO**

 
con la consulenza di 

TITOLO

RELAZIONE GENERALE

CODICE OPERA

C732

CODICE ELABORATO

R101

REVISIONE	DATA	NOTE
1	19/05/2023	Prima revisione in seguito all'Istruttoria della DGD del 15/09/2022

Contratto: n° 1401366462
 Oggetto: **IMPIANTO DI RIGOSO - DIGA DI LAGO BALLANO E LAGO VERDE:
 SERVIZI DI PROGETTAZIONE**
 Data contratto: 05 Giugno 2020
 Durata: 36 mesi

 Cliente: **Enel Green Power S.p.A.**
 Gestore del Contratto Ing. Federica Cella
 Gestione Tecnica Ing. Luca Dal Canto

 ATI: STUDIO SPERI Società di ingegneria S.r.l. (Mandataria)
 Frosio Next S.r.l. (Mandante)
 Waterways S.r.l. (Consulente)

 ATI PM: Gianluca Gatto

 ATI Staff Federico Bisci, Gioele Filippi, Piero Civollani, Fabrizio Cassone,
 Simone Di Lorenzo, Alessandro Ferrera, Luciano Serra, Luigi Papetti,
 Matteo Rebuschi, Caterina Frosio

Storia del documento

Revisione	Data	Redatto	Verificato	Approvato	Note
1	19/05/2023	Federico Bisci Piero Civollani Matteo Rebuschi	Luciano Serra Gianluca Gatto	Giorgio Lupoi	Prima revisione in seguito all'istruttoria della DGD del 15/09/2022.
0	28/04/2022	Federico Bisci Piero Civollani Matteo Rebuschi	Luciano Serra Gianluca Gatto	Giorgio Lupoi	Prima emissione

STUDIO SPERI Società di ingegneria S.r.l. e Frosio Next S.r.l. non si assumono alcuna responsabilità per l'utilizzo da parte di terzi di risultati o metodi presentati in questo rapporto.

Le Società sottolineano inoltre che varie sezioni di questo rapporto si basano su dati forniti da o provenienti da fonti di terze parti. **STUDIO SPERI Società di ingegneria S.r.l. e Frosio Next S.r.l. non si assumono alcuna responsabilità per perdite o danni subiti dal cliente o da terzi a causa di errori o inesattezze in tali dati da terze parti**

INDICE

1. INTRODUZIONE	3
2. RIFERIMENTI NORMATIVI	5
3. CARATTERISTICHE DELL'OPERA ESISTENTE.....	6
3.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	6
3.2 DESCRIZIONE DELL'OPERA ESISTENTE	9
3.3 STORIA DELL'IMPIANTO	14
3.4 STATO ATTUALE.....	19
4. COMPORTAMENTO DELLA DIGA IN ESERCIZIO	25
4.1 STRUMENTAZIONE	25
4.2 QUOTA DI INVASO	27
4.3 LETTURE METEOROLOGICHE	28
4.3.1 Temperature dell'aria e dell'acqua	28
4.3.2 Neve e ghiaccio	30
4.3.3 Pioggia	31
4.4 PERDITE	32
4.5 SOTTOPRESSIONI	35
4.6 SPOSTAMENTI PLANIMETRICI	39
4.7 CONCLUSIONI	41
5. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E GEOMORFOLOGICHE.....	42
6. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE E GEOMECCANICHE	50
7. VALUTAZIONI IDROLOGICHE	58
7.1 PREMESSA	58
7.2 CALCOLO PORTATA DI PIENA MILLENARIA	59
7.3 ALTEZZA DI PIOGGIA	60
7.4 COEFFICIENTE DI DEFLUSSO	61
7.5 IDROGRAMMA DI PIENA MILLENARIA	62
7.6 PIENE CON TEMPI DI RITORNO INFERIORI ALLA MILLENARIA	64
7.7 PIENA CHE ANNULLA IL FRANCO	65
8. PROGETTO DI RECUPERO	66
8.1 PREMESSA	66

8.2	CORPO DIGA	69
8.3	SCARICO DI SUPERFICIE	72
8.4	SCARICO DI FONDO E OPERA DI PRESA	73
8.4.1	<i>Descrizione generale</i>	73
8.4.2	<i>Organi di intercettazione</i>	75
8.5	IMPIANTI	76
8.5.1	<i>Impianto elettrico</i>	76
8.5.2	<i>Impianto di aggettamento dei drenaggi</i>	76
8.5.3	<i>Impianto di illuminazione</i>	77
8.5.4	<i>Impianto temporaneo di frantumazione e recupero materiale da demolizione</i>	77
8.6	STRUMENTAZIONE DI MONITORAGGIO	80
8.7	DEFLUSSO MINIMO VITALE	82
9.	CANTIERIZZAZIONE	83
9.1	PREMESSA	83
9.2	ACCESSO E VIABILITÀ DI CANTIERE	84
9.3	IMPIANTI E ATTIVITÀ DI CANTIERE	86
10.	INSERIMENTO AMBIENTALE	87
10.1	ELEMENTI DI MITIGAZIONE E COMPENSAZIONE IN FASE DI CANTIERE	87
10.2	ELEMENTI DI MITIGAZIONE E COMPENSAZIONE POST CANTIERE	89
11.	CONCLUSIONI	90
12.	BIBLIOGRAFIA	91

1. INTRODUZIONE

Il presente rapporto ha lo scopo di illustrare e descrivere tutti gli aspetti del progetto definitivo di miglioramento sismico e di recupero della diga di Lago Ballano (PR) ai sensi della normativa nazionale vigente (MIT19-NTC18 e NTD14).

Questa versione del rapporto risulta essere la prima revisione del documento originario, effettuata in seguito all'Istruttoria della Direzione Generale Dighe (DGD) del 15/09/2022. Per semplicità di trattazione, le parti modificate rispetto alla prima emissione, sono riportate evidenziate in ciano.

Il progetto in esame è finalizzato al recupero parziale dell'invaso e al miglioramento sismico e idraulico della diga di Lago Ballano, attualmente messa sostanzialmente fuori esercizio, con limitazione del livello d'invaso alla 1'330.00 m s.l.m., a seguito nota prot. n. 20484 del 09.10.2015, del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti – Ufficio Tecnico per le Dighe di Milano. L'intervento in progetto prevede la parziale demolizione e l'abbassamento della diga, riducendo in questo modo le sollecitazioni sul corpo diga e l'estensione degli interventi di manutenzione; inoltre verrà realizzato il nuovo scarico di superficie, l'impermeabilizzazione e il consolidamento del paramento di monte. Quanto previsto non modifica il comportamento strutturale dell'opera, che rimane quello di una diga a gravità. Pertanto, gli interventi in progetto non ricadono nell'obbligo normativo di eseguire l'adeguamento sismico (NTD14, Par. H.2.1).

Lo sbarramento, costruito nel 1907-1908, attualmente è costituito da una diga a gravità con un'altezza di 20,00 m e volume di invaso di 1,27 Mm³. Tali caratteristiche inquadrano la diga nella come "diga di competenza del Servizio Nazionale Dighe", ai sensi della normativa tecnica nazionale (MinLLPP95), e come "grande diga", conseguentemente l'opera ricade nella categoria delle "dighe di importanza strategica" (NTD14, Par. C.7.7.2). Lo sbarramento è attualmente sostanzialmente fuori servizio, a causa della limitazione del livello d'invaso imposta con nota prot. n. 20484 del 09/10/2015, del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti – Ufficio Tecnico per le Dighe di Milano. L'intervento oggetto del presente progetto definitivo prevede il parziale recupero della capacità d'invaso dello sbarramento, tramite demolizione di parte della diga esistente e interventi di ristrutturazione della restante parte di opera. In seguito agli interventi previsti dal presente progetto definitivo, la diga risulterà avere un'altezza pari a 9,70 m e un volume d'invasi pari a 0.60 Mm³. Tali caratteristiche comporteranno il declassamento dell'opera a "diga di competenza regionale" (MinLLPP95) e a "diga di dimensioni contenute". Lo sbarramento ricadrà ancora nella categoria delle "dighe di importanza strategica" in virtù del suo utilizzo idroelettrico prevalente (NTD14, Par. C.7.7.2). Per tale motivo, il periodo di riferimento dell'azione sismica risulta pari a 1946 anni per lo SLC e 100 anni per lo SLD (NTD14, Par. H.3.4.1).

L'attività di redigere il presente progetto definitivo fa parte di quelle indicate nel contratto di servizi n. 1401366462, tra il gestore dell'impianto, Enel Green Power Italia Srl, e l'Associazione Temporanea d'Impresa (di seguito ATI), composta dalla società mandataria STUDIO SPERI Società di Ingegneria S.r.l e dalla società mandante FROSIO NEXT S.r.l. La progettazione delle opere oggetto del contratto è stata eseguita con il contributo all'ATI della società Waterways S.r.l.

Sono parte integrante della presente relazione i seguenti rapporti:

C732-R005 Studio sismotettonico e analisi della pericolosità sismica

C732-R101 Relazione generale

C732-R102 Relazione idrologica

C732-R103 Relazione idraulica

C732-R104 Relazione geologica e geomorfologica
C732-R105 Relazione geotecnica e geomeccanica
C732-R106 Relazione di calcolo
C732-D101 Corografia
C732-D102 Stato attuale – Planimetria generale
C732-D103 Stato attuale – Vista da monte e sezioni trasversali
C732-D104 Stato attuale – Scarico di superficie
C732-D105 Geologia – Planimetria
C732-D106 Geologia – Sezioni geologiche longitudinali diga
C732-D107 Geotecnica – Sezioni geotecniche longitudinali diga
C732-D108 Geotecnica – Sezioni geotecniche trasversali diga
C732-D111 Stato finale – Planimetria generale
C732-D112 Stato finale – Planimetria diga
C732-D113 Stato finale – Vista da monte e da valle diga
C732-D114 Stato finale – Sezioni trasversali diga 1/2
C732-D115 Stato finale – Sezioni trasversali diga 2/2
C732-D116 Stato finale – Scarico di superficie planimetria e profilo
C732-D117 Stato finale – Scarico di superficie sezioni
C732-D137 Galleria di ispezione e drenaggio – Schermo di drenaggio
C732-D138 Galleria di ispezione e drenaggio – Schermo di iniezioni
C732-D144 Scarico di fondo e galleria di accesso – Ricostruzioni – profilo e Sezioni
C732-D191 Strumentazione di monitoraggio – Planimetria
C732-D192 Strumentazione di monitoraggio – Sezioni

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

NTC18. D.M. del 17 gennaio 2018. "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni".

NTD14. D.M. del 26 giugno 2014. "Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)".

MinLLPP95. Circ. Min. LL. PP. 13 aprile 1995, n. US/482. Dighe di ritenuta – Competenze in materia di vigilanza sulla progettazione, la costruzione e l'esercizio.

MIT-C.S.LL.PP.19. Circolare del 21 gennaio 2019, n.7 C.S.LL.PP. "Istruzioni per l'applicazione dell' "Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018".

3. CARATTERISTICHE DELL'OPERA ESISTENTE

3.1 Inquadramento geografico

La diga di Lago Ballano, costruita nel 1907-1908, è situata in corrispondenza del corso d'acqua Rio della Barca, affluente del fiume Enza, facente parte del bacino del Po, nel comune di Monchio delle Corti (PR) (Figura 3.1).

Le coordinate geografiche del sito sono:

- Latitudine: 44,36950°;
- Longitudine: 10,10204°.

L'opera di sbarramento in oggetto è ubicata in zona sismica 2.



Figura 3.1 Inquadramento geografico del sito

Il sito risulta essere compreso nel Parco regionale Valli del Cedra e del Parma oltre che all'interno dei SIC-ZPS IT4020020 "Crinale dell'Appennino parmense" (Figura 3.2).

L'opera è raggiungibile tramite la Strada State 655 del Passo del Lagastello fino all'abitato di Tre Fiumi e da quest'ultimo percorrendo la Strada Comunale dei Laghi.

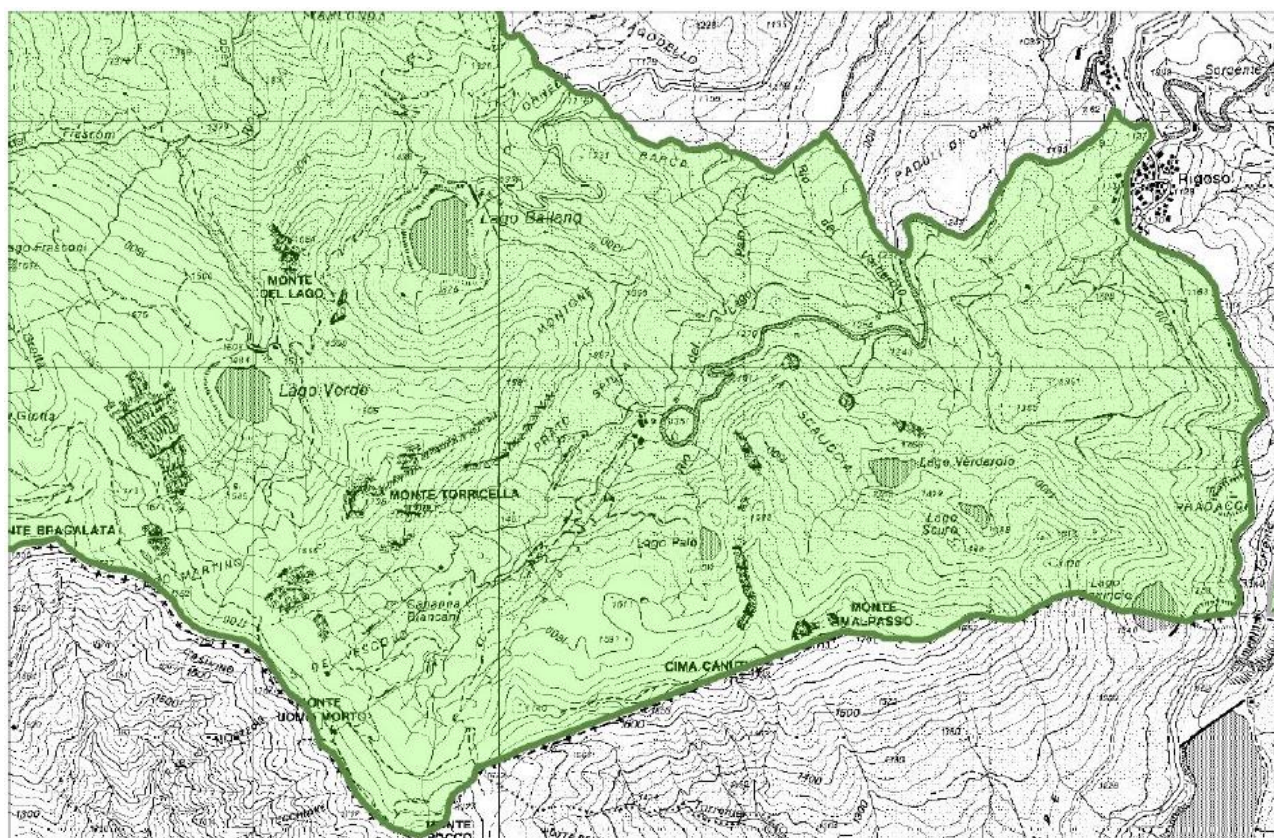


Figura 3.2 Estratto della Carta SIC-ZPS IT4020020 "Crinale dell'Appennino parmense"

Il serbatoio di Lago Ballano viene utilizzato per la regolazione stagionale delle portate del Rio della Barca e per la produzione di energia elettrica nella Centrale di Rigoso (Figura 3.3).

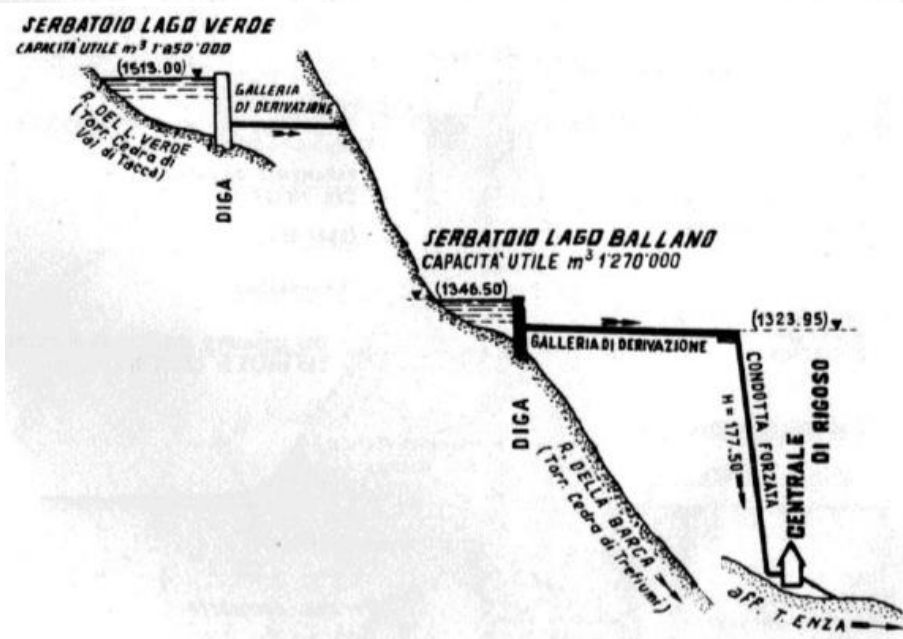
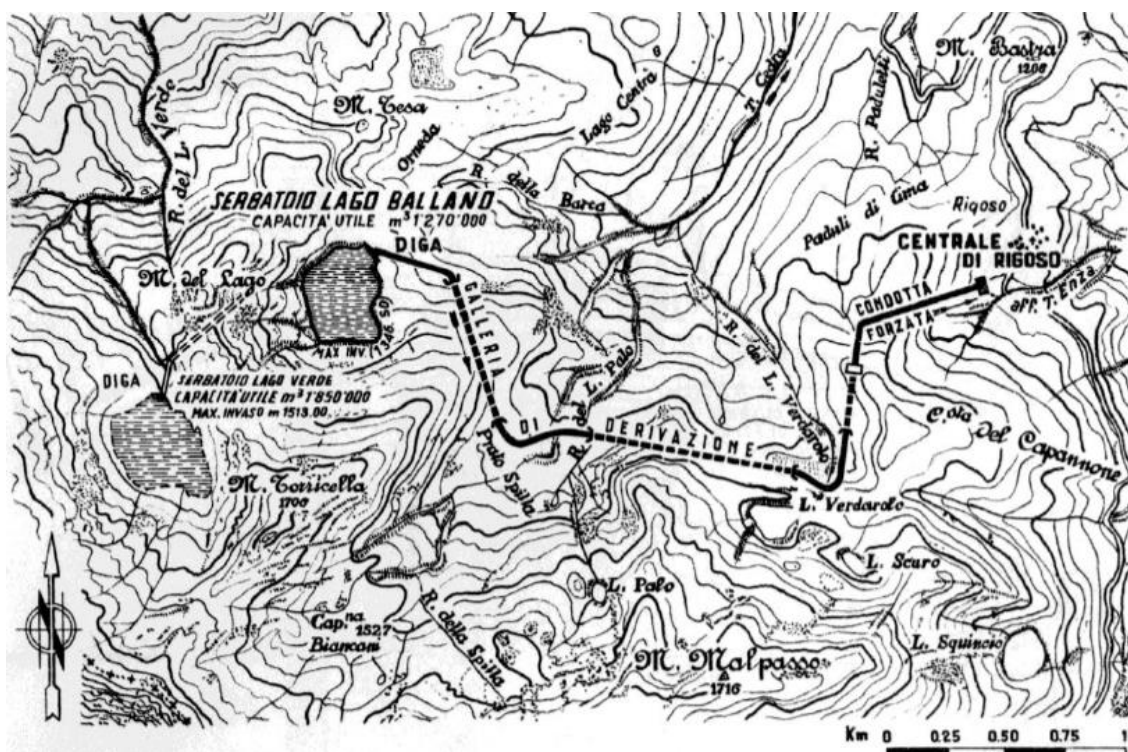


Figura 3.3 Schema idraulico dell'impianto di Rigoso

3.2 Descrizione dell'opera esistente

Lo sbarramento è costituito da una **diga principale a gravità**, con andamento planimetrico leggermente arcuato ($R = 100,50$ m), e da un **argine secondario di contenimento in destra**, con andamento rettilineo, nel quale è ricavato anche lo scarico di superficie (Figura 3.4, Figura 3.5 e Figura 3.6). Le principali caratteristiche dell'opera di sbarramento sono riportate in Tabella 3.1.



Figura 3.4 Vista aerea dello sbarramento esistente

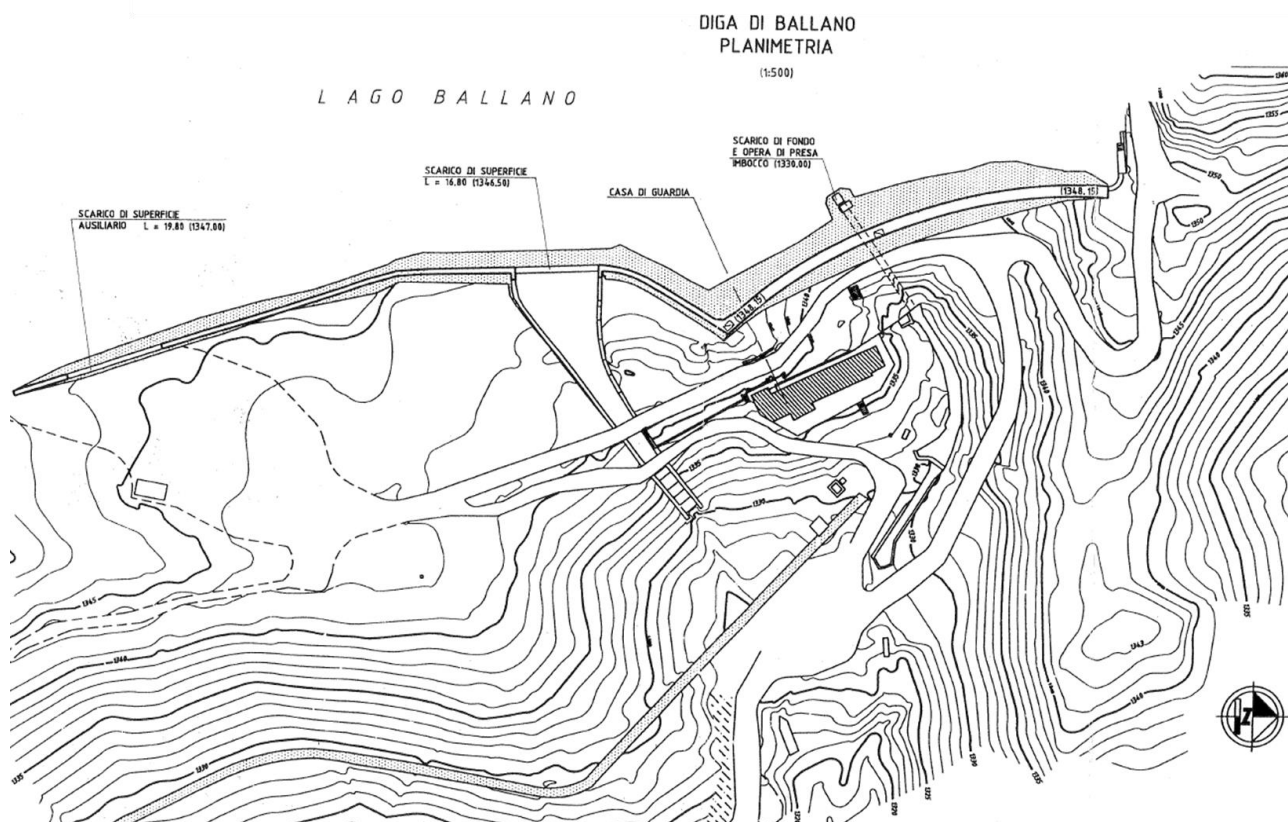


Figura 3.5 Planimetria della diga esistente

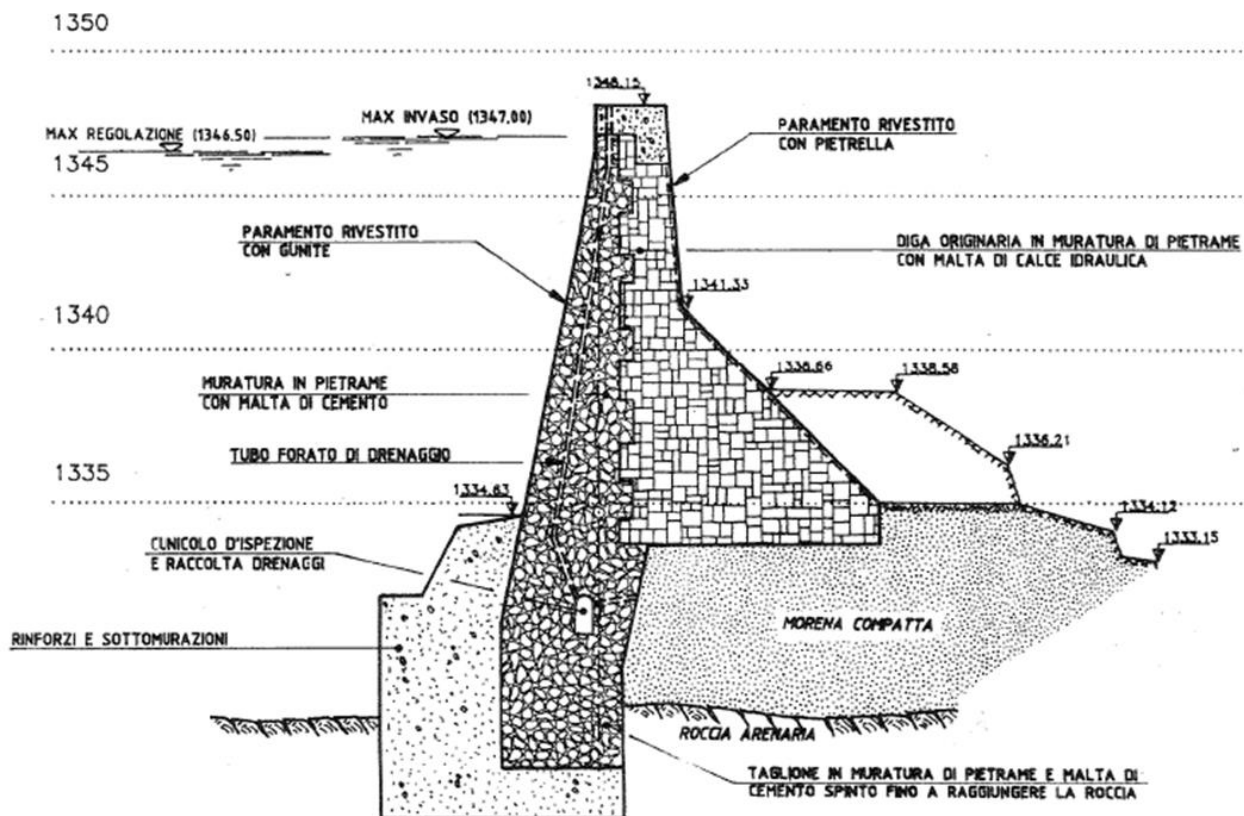


Figura 3.6 Sezione trasversale della diga esistente

Tabella 3.1 Caratteristiche principali diga attuale (FCEM 1997)

Andamento planimetrico	Leggermente arcuato
Altezza della diga	20,0 m
Altezza di massima ritenuta	17,0 m
Volume della diga	4'000 m ³
Sviluppo del coronamento	85 m + 150 m
Quota del coronamento	1'348,15 m s.l.m.
Quota di massimo invaso	1'347,00 m s.l.m.
Quota massima di regolazione	1'346,50 m s.l.m.
Quota della soglia di derivazione / scarico di fondo	1'330,00 m s.l.m.
Quota massima autorizzata (prot. n. 20484 del 09/10/2015 UTD Milano)	1'330,00 m s.l.m.
Franco	1,15 m
Franco netto	-
Volume di invaso	1,27 Mm ³
Volume utile di regolazione	1,27 Mm ³
Volume di laminazione	0,05 Mm ³

La **fondazione della diga** risulta essere composta da un deposito superficiale detritico di origine gravitativa e morenica glaciale, sotto ai quali è presente formazione di base aracea. Lo sbarramento fonda parzialmente sul deposito superficiale e parzialmente sulla formazione di base.

Il **corpo diga** originario dello sbarramento principale è in muratura di pietrame con malta di calce idraulica, interamente fondante sul deposito morenico (1907-1908). Successivamente, un corpo in muratura di pietrame con malta di cemento è stato addossato a monte dello sbarramento originario (1928-1929). I due corpi risultano essere solidali per mezzo di immorsature. La diga non è dotata di giunti di contrazione. Il sistema drenante del corpo diga è costituito da fori verticali con interesse 4,00 m che recapitano in un cunicolo sub-orizzontale di sezione ridotta a quota pari a circa 1'330,50 m s.l.m. Il cunicolo e il sistema di drenaggio sono estesi per un tratto molto limitato in destra e in sinistra rispetto alla sezione di massima altezza della diga, corrispondente con la sezione dello scarico di fondo. Sono presenti delle canne drenanti che interessano parzialmente i depositi detritici di fondazione al di sotto dello sbarramento originario. La tenuta idraulica della diga è prevista tramite il rivestimento del paramento di monte con intonaco di cemento. Il paramento di valle è rivestito in con bolognini.

La **tenuta idraulica della fondazione** è affidata ad ulteriori strutture di sottomurazione in calcestruzzo, realizzate in una fase successiva (1950). Questo elemento costituisce fundamentalmente il nuovo piede di monte della diga e arriva fino alla formazione rocciosa arenacea di base. Durante la realizzazione delle strutture di sottomurazione sono state eseguite anche delle iniezioni di impermeabilizzazione della roccia di base. E' presente un ulteriore schermo di iniezioni nella roccia di fondazione, realizzato in una fase ancora successiva (1980). Non esiste un sistema di drenaggio in fondazione. Il piede di monte della diga è scoperto, in quanto non è mai stato ricoperto dopo i lavori effettuati per garantire la tenuta idraulica della fondazione, come era in passato.

Lo sbarramento è completato dall'**argine secondario** in destra realizzato in muratura di pietrame con malta di calce idraulica.

Nell'argine secondario è ricavato lo **scarico di superficie** della diga (Figura 3.7). Questo è costituito da una luce libera con soglia a quota 1'346,50 m s.l.m. e lunghezza pari a 16,80 m, seguita da un canale fagatore composto da uno scivolo in calcestruzzo che canalizza le acque verso l'alveo a valle. La portata esibita dallo scarico di superficie con invaso alla quota di massima regolazione, pari a 1'347,00 m s.l.m. è pari a 8,0 m³/s. E' presente anche uno **scarico di superficie ausiliario** (Figura 3.8), formato da una seconda luce all'estremità destra del muro, con soglia a quota 1'347,00 m s.l.m. e lunghezza pari a 19,80 m. Questo non è dotato di un canale fagatore e riversa le acque direttamente sulla sponda destra a valle della diga.

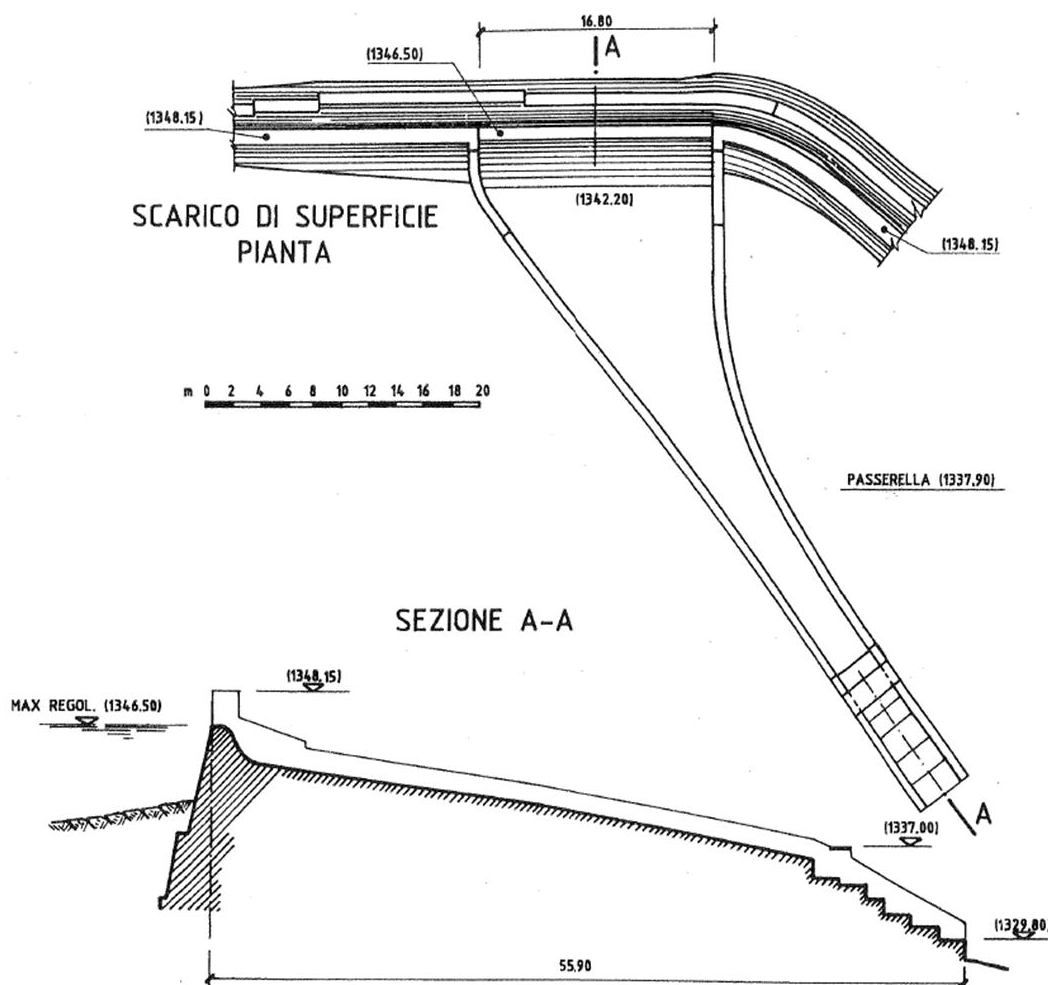


Figura 3.7 Scarico di superficie. In alto la planimetria e in basso il profilo longitudinale.

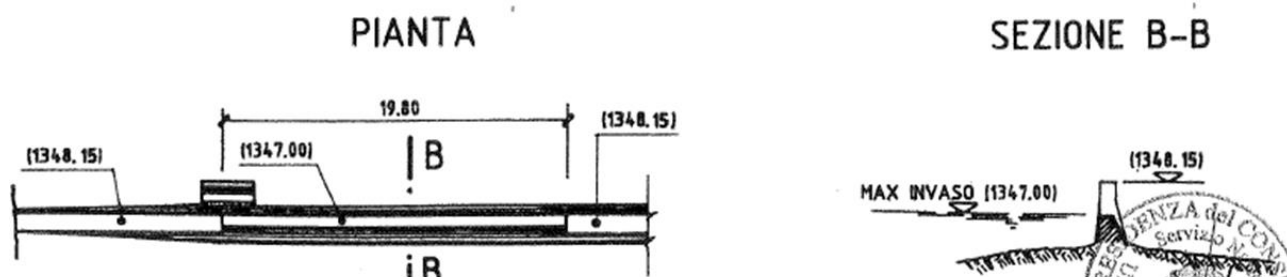


Figura 3.8 Scarico di superficie ausiliario. A sinistra la planimetria e a destra il profilo.

Lo **scarico di fondo** è costituito da una galleria d'imbocco in muratura di pietrame e malta, posizionata nel punto più depresso del lago con soglia a quota 1'330,00 m s.l.m. (Figura 3.9). Questa adduce le acque fino al piede di monte della diga dove si trovano due tubazioni metalliche con diametro pari a 400, che attraversano la muratura di base della galleria trasversale d'ispezione della diga, in corrispondenza della sezione di massima altezza. Le tubazioni sono presidiate a monte da paratoie piane, manovrabili solo manualmente dalla torre di manovra in muratura di pietrame e malta. Alla torre di manovra si accede tramite una passerella metallica che collega il coronamento della diga con la torre stessa. Le tubazioni sono regolate a valle, in corrispondenza del locale al piede della diga, da valvole a farfalla a manovra motorizzata con motore elettrico e a comando manuale con volantino. La portata esibita dallo scarico di fondo con invaso alla quota di massima regolazione, pari a 1'347,00 m s.l.m., è pari a 3,0 m³/s. L'acqua proveniente dallo scarico di fondo viene immessa direttamente nel canale di derivazione e successivamente, poco a valle della diga, in una vasca con due luci presidiate da paratoie piane di dimensioni 1,25 m x 1,34 m per lo scarico in alveo. E' presente un'**ulteriore presa dello scarico di fondo ed opera di presa** a ridosso della torre di comando delle paratoie dello scarico di fondo, con soglia a quota 1'335,20 m s.l.m. Questa presa è formata da una soglia orizzontale collegata ad un piccolo pozzo verticale, che immette la portata derivata nelle tubazioni metalliche dello scarico di fondo.

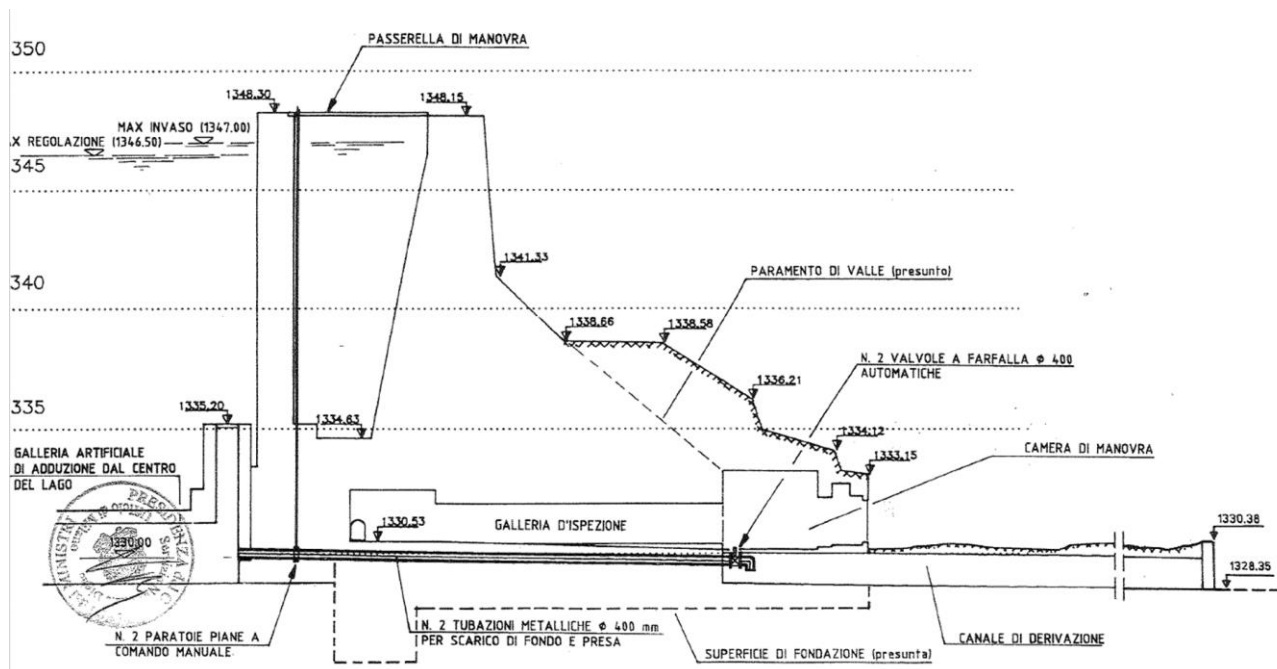


Figura 3.9 Sezione trasversale della diga in corrispondenza dello scarico di fondo e opera di presa

3.3 Storia dell'impianto

In questo capitolo vengono riassunti i principali eventi riguardanti la storia della diga di Lago Ballano, riassunti anche in Tabella 3.2.

Tabella 3.2 Principali eventi storici dello sbarramento

DATA	EVENTO	DATA	EVENTO
sconosciuta	Progetto esecutivo.	26/05/1994	Respingimento del progetto di consolidamento.
1907	Consegna dei lavori.	03/02/1995	Limitazione del livello d'invaso alla quota di 1'338,00 m s.l.m.
1908	Ultimazione dei lavori.	19/06/2003	Presentazione del progetto di rifacimento della diga.
sconosciuta	Inizio invasi sperimentali.	15/07/2004	Presentazione di un'integrazione del progetto di rifacimento della diga.
sconosciuta	Inizio esercizio normale.	17/05/2006	Presentazione dello Studio d'Impatto Ambientale.
sconosciuta	Progetto esecutivo.	08/06/2006	Respingimento del progetto di rifacimento.
sconosciuta	Progetto esecutivo.	09/01/2008	Emissione del decreto di compatibilità ambientale.
1922-1925	Locali interventi di sottomurazione.	08/04/2011	Trasmissione della revisione del progetto di rifacimento.
1928-1929	Lavori radicali di consolidamento.	28/02/2013	Approvazione del progetto definitivo di manutenzione straordinaria.
29/10/1930	Certificato di collaudo.	17/06/2015	Limitazione del livello d'invaso alla quota di 1'334,00 m s.l.m.
10/04/1937	Disciplinare di concessione.	13/10/2015	Limitazione del livello d'invaso alla quota di 1'330,00 m s.l.m. e richiesta di un progetto di dismissione.
1950-1951	Lavori radicali di sottomurazione, consolidamento ed impermeabilizzazione.	23/12/2016	Invio del progetto definitivo di declassamento.
1984	Riparazioni locali del paramento di valle e del coronamento della diga e iniezioni in fondazione.	25/05/2017	Approvazione del progetto definitivo di declassamento.
03/07/1991	Presentazione del progetto di consolidamento.	19/10/2017	Inoltro del progetto definitivo di declassamento alla Regione.
10/04/1992	Limitazione del livello d'invaso alla quota di 1340,00 m s.l.m.		

La diga di Lago Ballano è stata costruita dalla Compagnia delle Imprese Elettriche Liguri (CIELI) nel periodo 1907-1908, contemporaneamente alla diga di Lago Verde, secondo il progetto redatto dal prof. Ing. G. Ganassini e dal prof. Ing. L. Zunini. La diga è stata realizzata a gravità massiccia in muratura di pietrame e malta di calce idraulica, con paramento di monte verticale e andamento planimetrico arcuato (Figura 3.10). Questa è stata impostata direttamente sul deposito morenico di fondazione che ricopre la formazione rocciosa arenacea di base.

Nel periodo 1922-1925 sono stati effettuati **locali interventi di sottomurazione** (Figura 3.10) a causa delle notevoli perdite attraverso la fondazione morenica, che si sono manifestate nei primi anni di esercizio dell'opera. I valori delle perdite sono risultati essere prossimi a 40 l/s (Par. 4.4). Alla fine di questo periodo la Commissione Gleno ha analizzato lo stato di conservazione e le condizioni di stabilità della diga di Lago Ballano. La Commissione dopo aver riscontrato l'insufficienza degli scarichi nello smaltimento delle piene, il degrado della malta, le sconnessioni e i distacchi in corrispondenza dei paramenti e in seguito ai risultati dei calcoli di stabilità, ha messo fuori esercizio la diga e prescritto alla società CIELI un progetto di riparazione.

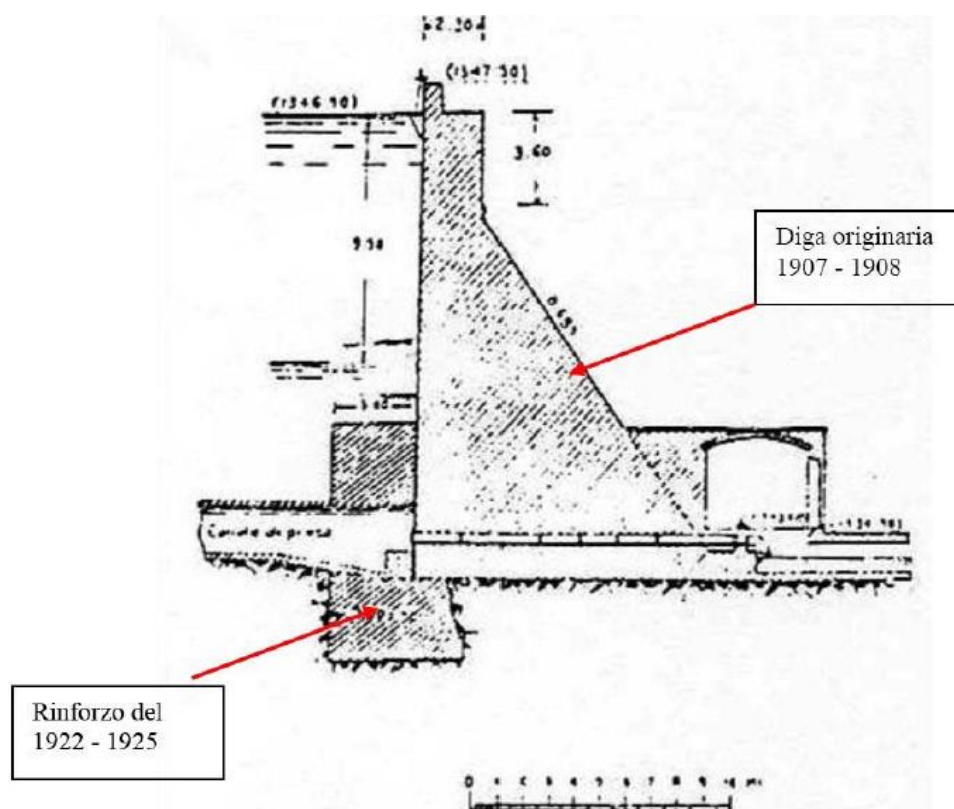


Figura 3.10 Struttura originaria della diga di Lago Ballano con indicazione dei locali interventi di sottomurazione eseguiti nel 1922-1925

Nel periodo 1928-1929 sono stati eseguiti **interventi radicali di irrobustimento del corpo diga**, consistenti nella realizzazione del nuovo corpo in muratura di pietrame e malta di cemento, addossato al corpo diga originario (Figura 3.11). Il nuovo paramento di monte è stato realizzato con un'inclinazione pari a 0,24/1,00 (h/v) e rivestito con intonaco di cemento. Il nuovo corpo è stato impostato ad una quota di fondazione più bassa, in modo da raggiungere la roccia arenacea di base, ma nella sola parte centrale dello sbarramento. E' stato previsto anche un riempimento con argilla battuta al fine di migliorare la tenuta idraulica dell'opera in fondazione. Dopo la realizzazione

di questo intervento le perdite sono risultate essere minori rispetto al periodo precedente, con valori prossimi a 4-5 l/s (Par. 4.4).

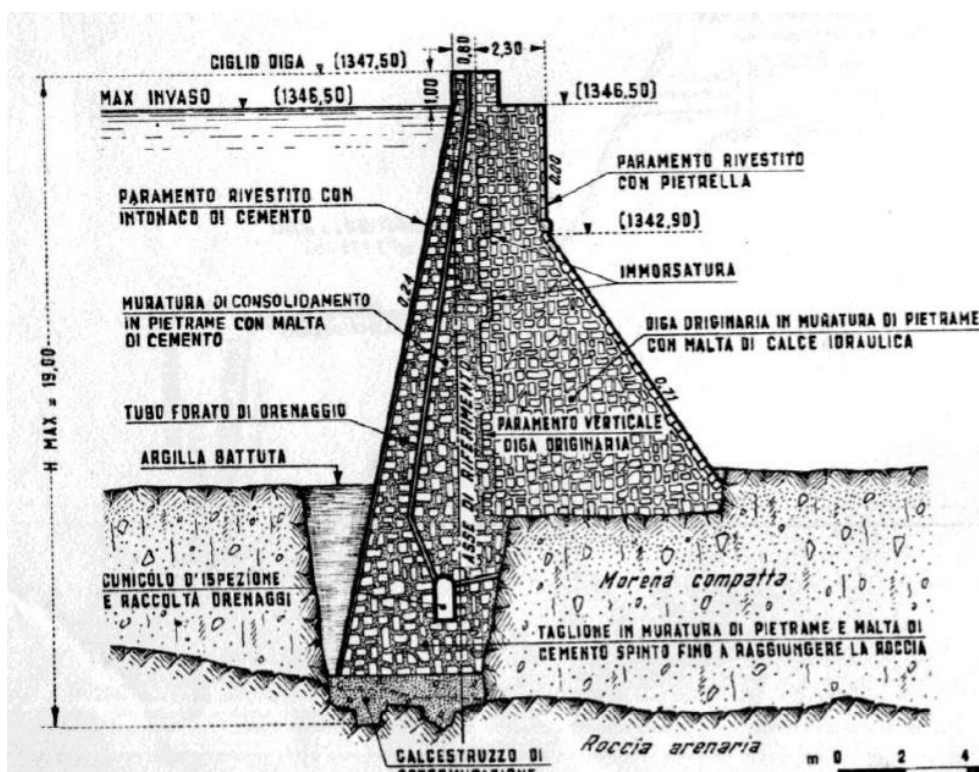


Figura 3.11 Struttura della diga di Lago Ballano dopo gli interventi di irrobustimento e impermeabilizzazione del 1928-1929

Nel periodo **1950-1951** a causa di un incremento delle perdite, fino a valori pari a circa 30-35 l/s, sono stati realizzati nuovi **interventi di consolidamento e sottomurazione**. In particolare sono state eseguite iniezioni di consolidamento delle murature, impermeabilizzazioni del paramento di monte con gunite e nuove sottomurazioni al piede di monte in calcestruzzo. In seguito a questi interventi la diga ha assunto la sua attuale conformazione (Figura 3.12) e le perdite sono scese a valori inferiori a 1 l/s (Par. 4.4). Buone condizioni di stabilità e di conservazione sono state testimoniate fino al 1992 dai verbali delle visite di vigilanza dell'Ufficio del Genio Civile di Parma e successivamente dal Nucleo Operativo di Parma del Provveditorato Regionale alle Opere Pubbliche per l'Emilia Romagna.

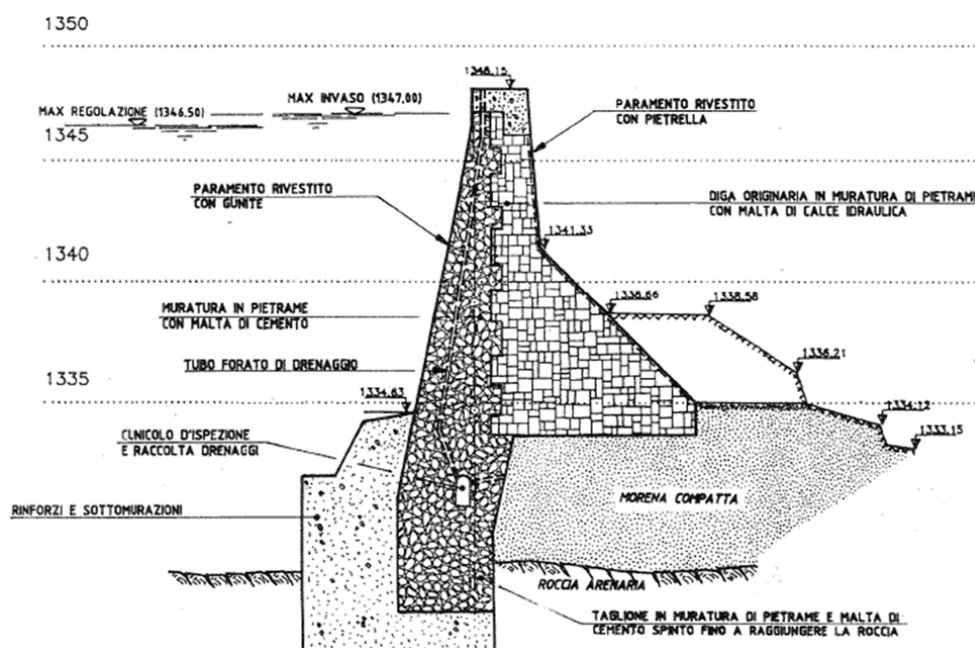


Figura 3.12 Struttura della diga di Lago Ballano in seguito agli interventi del 1950-1951 coincidente con l'attuale struttura della diga

Nel **1984** è stata eseguita una campagna d'**indagine estesa sulla consistenza dell'opera**. In questa occasione sono stati eseguiti lavori locali di riparazione del paramento di valle ed è stato ricostruito il coronamento della diga. In più, in seguito ai movimenti di terra che hanno permesso di mettere alla luce il piede di monte della diga, è stato costruito un **cordolo di chiusura tra il paramento di monte e la roccia di base e sono state effettuate iniezioni cementizie in fondazione**. Dopo questi interventi le permeazioni, che erano tornate ad aumentare, sono diminuite.

Sulla base delle indagini del 1984, Enel ha redatto un progetto per pianificare degli interventi di consolidamento. Questo prevedeva: un rinfianco di valle in materiali sciolti, un rivestimento in calcestruzzo del paramento di monte e il potenziamento degli organi di scarico. Il progetto è stato presentato al Nucleo Operativo di Parma del Provveditorato Regionale alle Opere Pubbliche in data 03/07/1991. Il progetto è stato respinto dal Servizio Nazionale Dighe il 18/10/1994.

Il **10/04/1992** Il Servizio Dighe ha istituito il Nucleo Operativo di Parma, che il 05/05/1992 ha imposto una **limitazione del livello d'invaso alla quota 1'340,00 m s.l.m.** Il **03/02/1995** il Nucleo Operativo di Parma ha imposto una nuova **limitazione dei livelli d'invaso alla quota di 1'338.00 m s.l.m.**

Il 19/06/2003 Enel, concessionario dell'impianto, ha presentato il progetto di rifacimento della diga di Lago Ballano redatto dalla società Soil Water Structures Engineering S.p.a. (SWS). Questo prevedeva la completa ricostruzione della parte principale della diga e la costruzione di un nuovo scarico di superficie. Il 15/07/2004 sono stata presentati nuovi elaborati progettuali. Il 17/05/2006 la Regione Emilia Romagna ha emesso un parere positivo in merito allo Studio di Impatto Ambientale. Il 08/06/2006 La IV Sezione del Consiglio Superiore dei LL. PP. ha espresso parere negativo in merito al progetto di rifacimento.

Il 09/01/2008 Il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, insieme al Ministero per i Beni e le Attività Culturali, ha emesso il Decreto di compatibilità ambientale.

Il 08/04/2011 è stato presentato il progetto definitivo di manutenzione straordinaria per il recupero dell'ordinario esercizio degli invasi delle dighe di Lago Verde e Lago Ballano, a firma dell'ing.

Alessandro Leoncini dell'unità di Ingegneria Civile e Idraulica di Enel Produzione. Il progetto ripropone le soluzioni previsti dal precedente progetto SWS, integrando le richieste e le osservazioni formulati dalla IV Sezione del Consiglio Superiore dei LL. PP. Il 29/03/2013 è stato approvato il progetto. Enel non ha dato seguito al progetto a causa del contesto economico degli anni successivi.

Il **17/06/2015** l'Ufficio Tecnico per le Dighe di Milano impone la **limitazione dei livelli d'invaso alla quota di 1'334,00 m s.l.m.** e il **13/10/2015** impone la **limitazione alla quota della soglia dello scarico di fondo pari a 1'330,00 m s.l.m.**

Il 23/12/2016 Enel presenta il progetto definitivo di recupero della diga di Lago Ballano. Questo prevede il recupero della dell'invaso fino alla quota di 1'340,00 m s.l.m., tramite una parziale demolizione della diga e successivo declassamento a diga di competenza regionale. Il 23/12/2016 il progetto è stato approvato dalla Divisione 4 della Direzione Generale Dighe del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.

3.4 Stato attuale

L'attuale stato di conservazione della diga di Lago Ballano è stato analizzato in una serie di sopralluoghi avvenuti tra il 2019 e il 2021.

Il **paramento di monte della diga principale** risulta essere estremamente ammalorato. Si riscontrano distacchi del rivestimento in gunite lungo tutto lo sviluppo del paramento (Figura 3.13).

Anche il calcestruzzo delle **sottomurazioni** non è in buono stato di conservazione. Il paramento di monte dell'argine secondario versa in condizioni analoghe. Al di sotto dei distacchi del rivestimento in gunite è visibile la muratura di pietrame e malta di cemento dalla parte di monte della diga principale e la muratura di pietrame e malta di calce dell'argine secondario.



Figura 3.13 In alto il paramento di monte della diga principale. In basso il paramento di monte dell'argine secondario

Il **coronamento e il paramento di valle** della diga non presentano difetti e risultano essere in ottimo stato in seguito ai lavori di rifacimento del 1984 (Figura 3.14).



Figura 3.14 Coronamento della diga



Figura 3.15 Paramento di valle della diga

Lo **scarico di superficie** non presenta segni di ammaloramento (Figura 3.16) a differenza dello scarico di superficie ausiliario che risulta essere in avanzato stato di degrado, con la presenza di numerose lesioni del rivestimento del corpo murario (Figura 3.17).



Figura 3.16 In alto la soglia dello scarico di superficie. In basso il canale fuggatore dello scarico di superficie



Figura 3.17 Scarico di superficie ausiliario

L'imbocco dello **scarico di fondo e opera di presa** presenta segni di degrado della muratura di cui è costituito (Figura 3.18). La muratura della torre di manovra non presenta rilevanti segni di ammortamento (Figura 3.19). La galleria d'accesso alla camera di manovra, la camera di manovra e la galleria di drenaggio stessa sono in uno stato di conservazione accettabile (Figura 3.20 e Figura 3.21).



Figura 3.18 Imbocco dello scarico di fondo e opera di presa



Figura 3.19 Torre di manovra



Figura 3.20 Camera di manovra



Figura 3.21 Galleria di drenaggio

4. COMPORTAMENTO DELLA DIGA IN ESERCIZIO

4.1 Strumentazione

La diga di Lago Ballano è attualmente dotata di un sistema di monitoraggio che permette la lettura delle perdite, delle sottopressioni, degli spostamenti planimetrici, del livello di invaso e delle principali grandezze meteorologiche di interesse.

Da Tabella 4.1 a Tabella 4.5 si riporta l'elenco della strumentazione installata, le sue caratteristiche e la frequenza di acquisizione dei dati.

Tabella 4.1 Caratteristiche degli strumenti utilizzati per la misura degli spostamenti

Spostamenti	N°	Tipologia	Frequenza delle letture	Modalità	Periodo di osservazione
Planimetrici	2	pendoli	settimanale	lettura manuale	1985-2019

Tabella 4.2 Caratteristiche degli strumenti utilizzati per la misura delle perdite

Perdite	N°	Tipologia	Frequenza delle letture	Modalità	Periodo di osservazione
Perdite	1	Recipiente e contasecondi	-	lettura manuale	1978-2019

Tabella 4.3 Caratteristiche degli strumenti utilizzati per la misura delle sottopressioni

Sottopressioni	N°	Tipologia	Frequenza delle letture	Modalità	Periodo di osservazione
Livelli piezometrici	3	Tubi aperti	-	lettura manuale	1985-2019

Tabella 4.4 Caratteristiche degli strumenti utilizzati per le misure meteorologiche

Meteorologia	N°	Tipologia	Frequenza delle letture	Modalità	Periodo di osservazione
livello d'invaso	-	asta idrometrica	giornaliera	-	1975-2019
temperatura dell'aria	-	termometro a mercurio	giornaliera	-	1980-2019
temperatura dell'acqua	-	termometro a mercurio	giornaliera	-	1980-2019
pioggia	-	pluviografo	giornaliera	-	1980-2019
neve	-	rilevo diretto	giornaliera	-	1975-2019
ghiaccio	-	rilevo diretto	giornaliera	-	1975-2019

Tabella 4.5 Tolleranze degli strumenti

Tolleranze degli strumenti	
Spostamenti planimetrici	$\pm 0,10 \text{ mm}$
livello d'invaso	$\pm 0,05 \text{ m}$
termometro a mercurio	$\pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$
pluviografo	$\pm 10 \text{ \%}$
freatimetro	$\pm 0,15 \text{ m}$
recipiente tarato e contasecondi	$\pm 0,05 \text{ l/s}$

4.2 Quota di invaso

La diga di Lago Ballano assolve la funzione di regolazione stagionale e produzione di energia elettrica. In Figura 4.1 si riporta la serie storica delle quote di invaso disponibili tra l'anno 1975 e l'anno 2019.

Negli anni compresi tra il 1975 e il 2015, prima delle ultime due limitazioni che hanno limitato la quota d'invaso a quella dello scarico di fondo, i livelli sono stati gestiti con variazioni che non descrivono un comportamento stagionale preciso, ma che indicano una **gestione prevalentemente associata alla produzione di energia idroelettrica**.

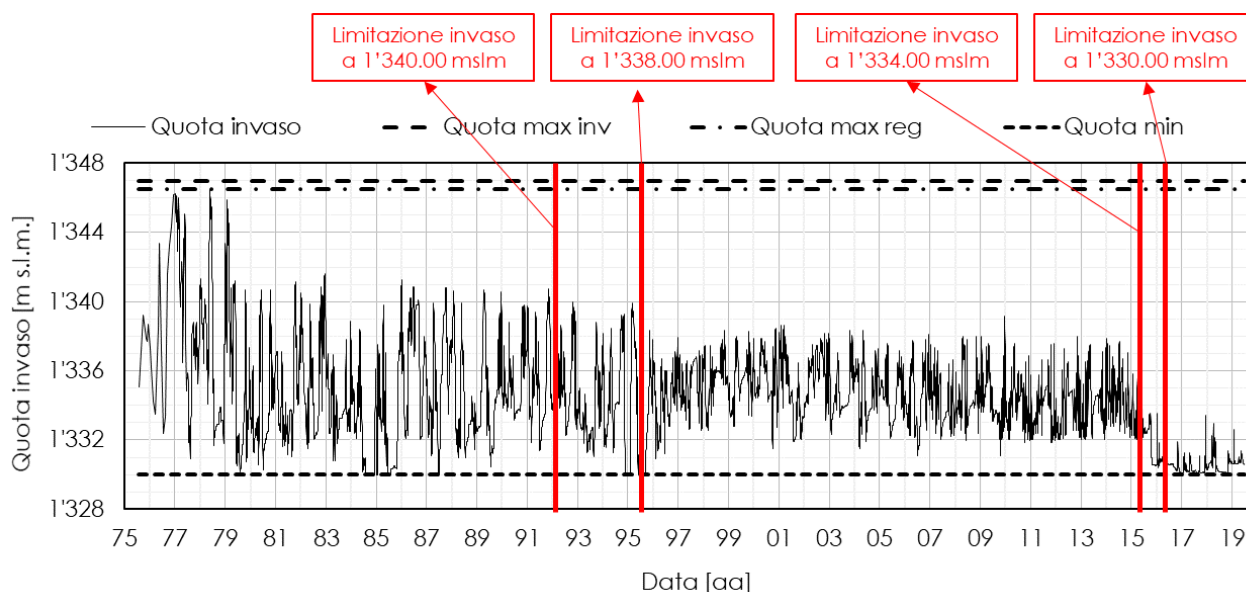


Figura 4.1 Andamento storico della quota di invaso

4.3 Letture meteorologiche

Sono disponibili i seguenti dati di temperatura:

- Temperatura dell'aria,
- Temperatura dell'acqua in superficie
- Temperatura dell'acqua ad una profondità di 5 m.

4.3.1 Temperature dell'aria e dell'acqua

In Figura 4.2 sono riportati i grafici delle misurazioni delle grandezze precedenti. Effettuando un'analisi preliminare dei dati è stato ricavato l'andamento dell'anno medio per quanto riguarda le temperature dell'aria e dell'acqua (Figura 4.3). Si nota come lo scarto di temperatura dall'acqua misurata in superficie e a 5 m di profondità è minimo e l'andamento delle due temperature è pressoché coincidente. L'andamento delle temperature dell'acqua rispecchia l'andamento delle temperature medie dell'aria. La **temperatura dell'aria è inferiore allo zero nei mesi invernali mentre la temperatura media dell'acqua è sempre superiore a zero gradi.**

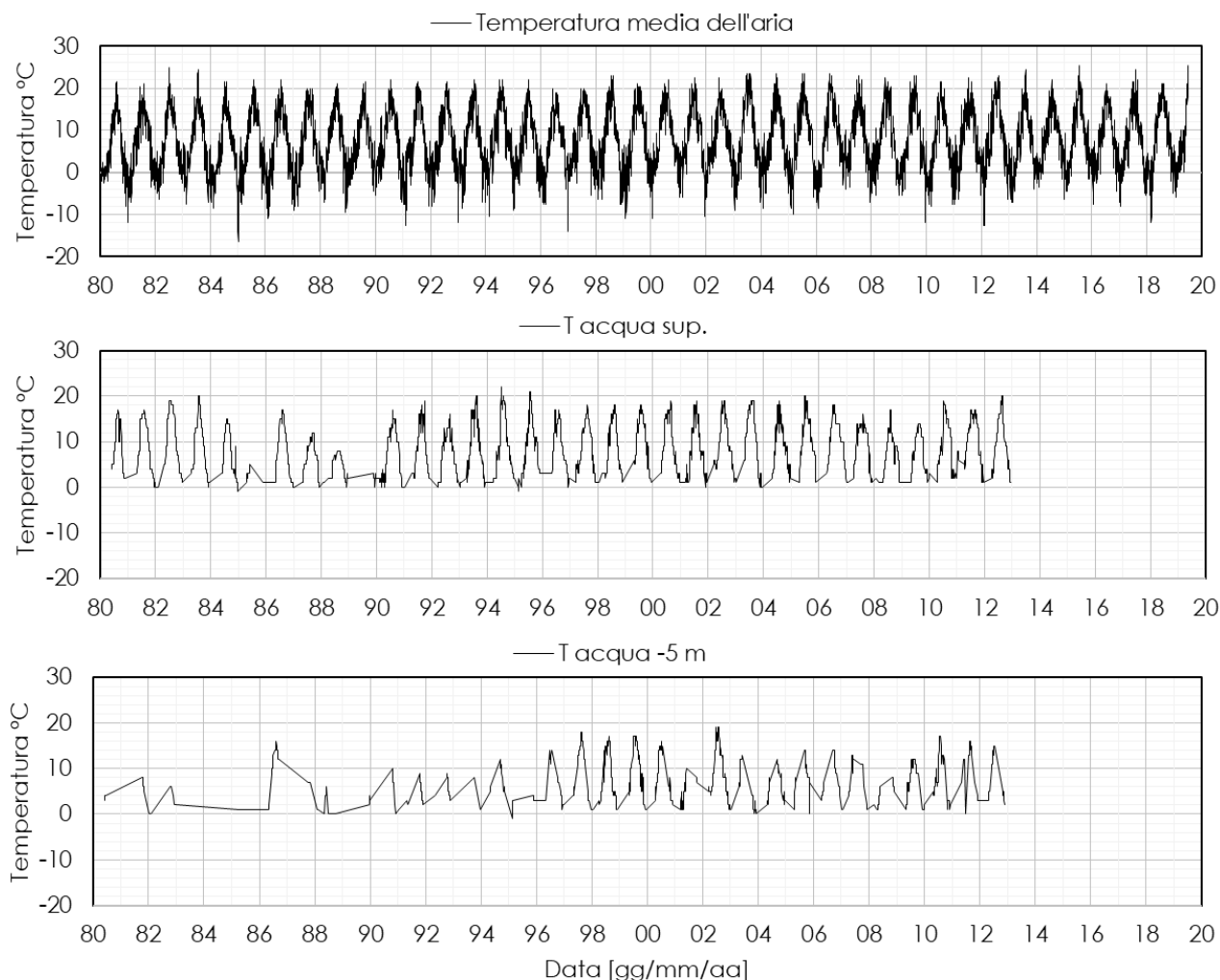


Figura 4.2 Andamento storico delle temperature

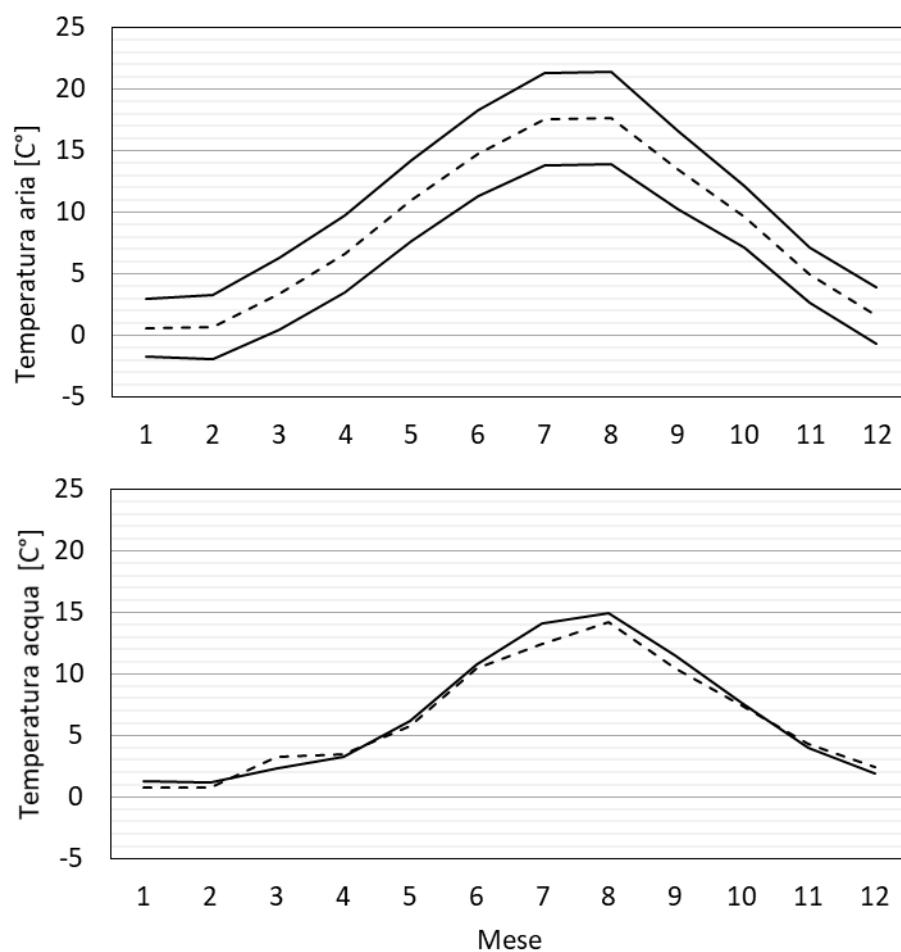


Figura 4.3 Andamento della temperatura nell'anno medio

4.3.2 Neve e ghiaccio

In Figura 4.4 si riporta la serie storica degli spessori di neve e di ghiaccio. **Si osservano accumuli di neve in tutti gli anni di osservazione**, caratterizzati da spessori fino a circa **350 cm**. Allo stesso modo si osserva **la formazione di ghiaccio in tutti gli anni osservati**, con spessori massimi fino a **60 cm**.

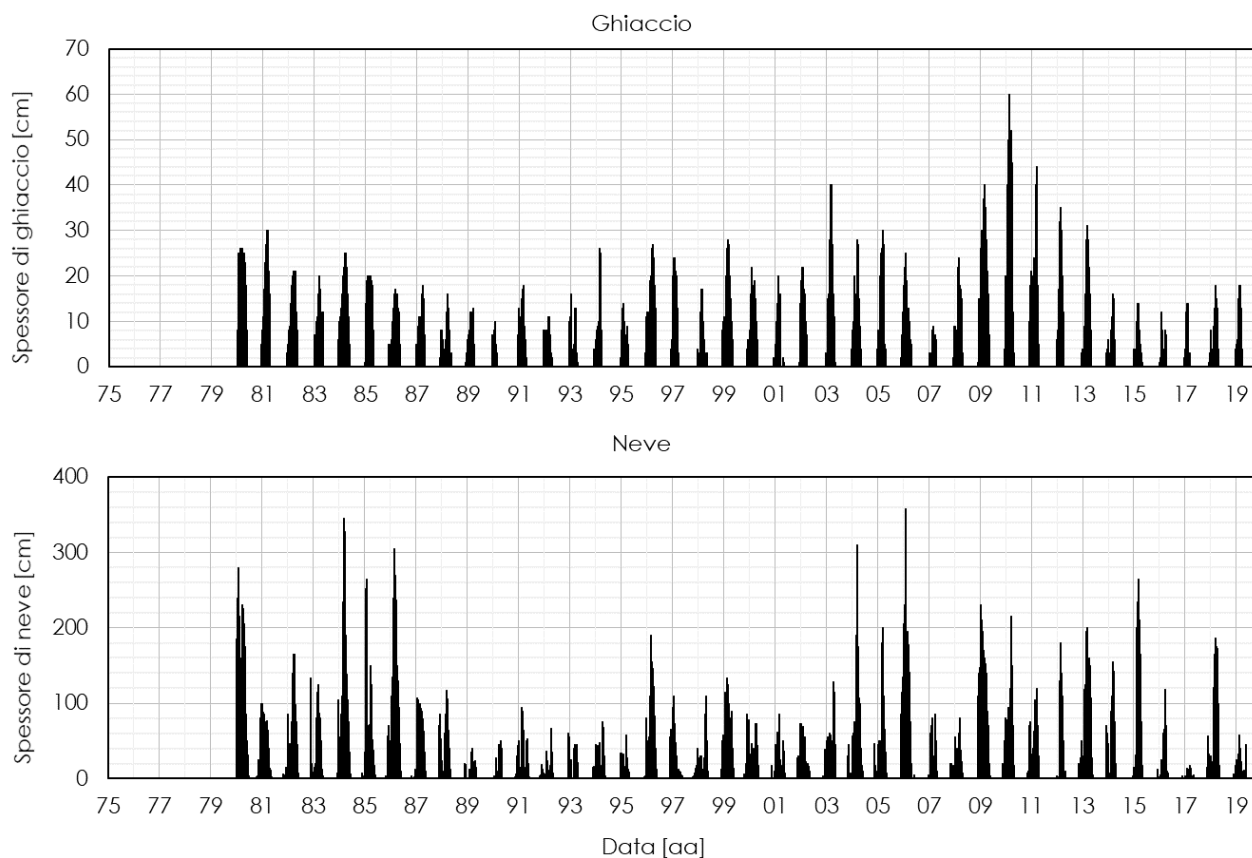


Figura 4.4 Andamento storico degli spessori di neve e ghiaccio

4.3.3 Pioggia

In Figura 4.5 si riporta la serie storica delle altezze di pioggia insieme alle quote di invaso. Non sussistono correlazioni tra le grandezze, coerentemente con quanto indicato in merito alla gestione dei livelli d'invaso al Par. 4.2. Durante tutti gli anni di osservazione sono state osservate **altezze di pioggia giornaliere fino a un massimo di circa 400 mm**.

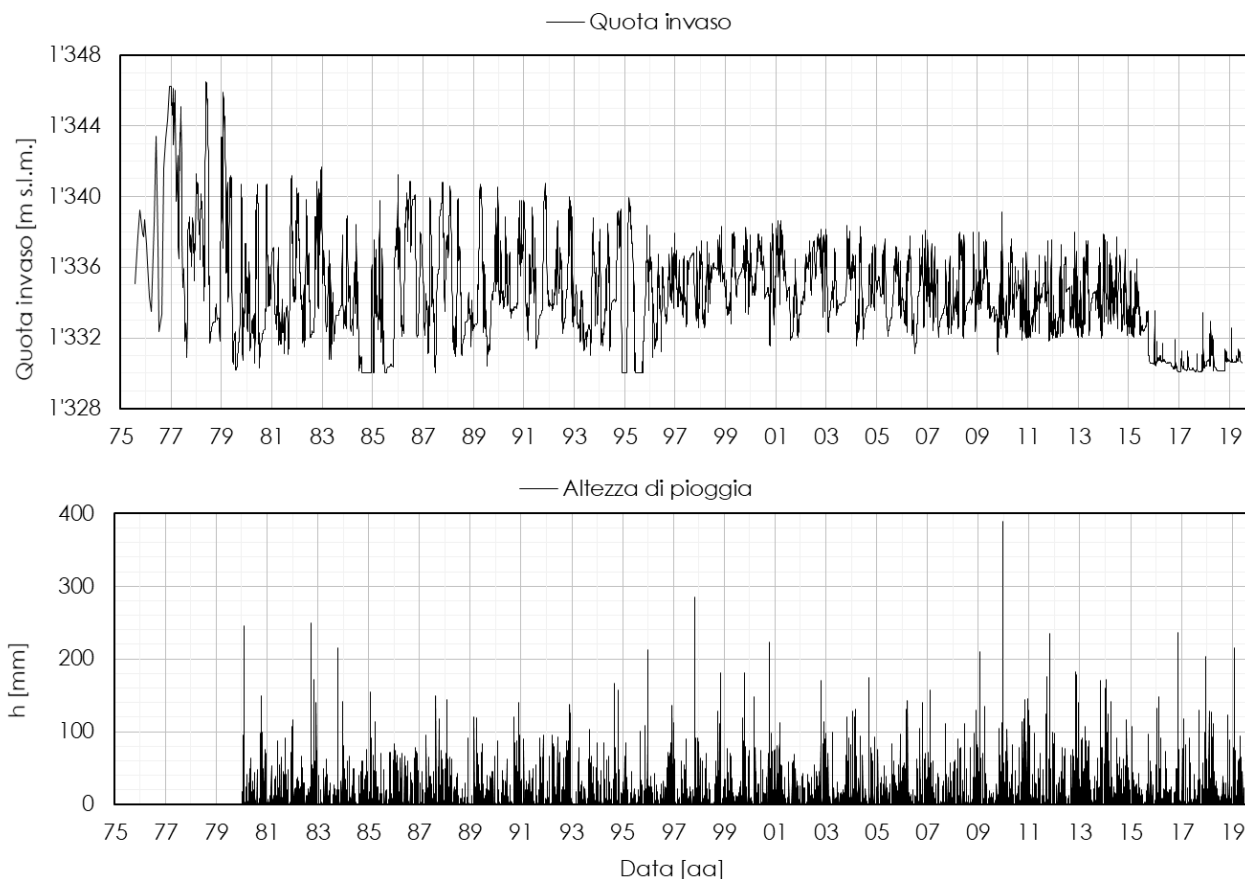


Figura 4.5 Andamento storico della pioggia e della quota di invaso

4.4 Perdite

Nel presente paragrafo si riportano le misure delle perdite della diga. Attualmente è presente un punto di misura delle perdite in corrispondenza della camera di manovra dello scarico di fondo (Figura 4.6). Al punto di misura vengono recapitate le perdite collettate dal sistema di drenaggio attualmente presente (Par. 3.2). Questo è esteso unicamente alla zona della sezione di massima altezza della diga principale ed interessa il corpo diga e i depositi detritici di fondazione dello sbarramento originario.

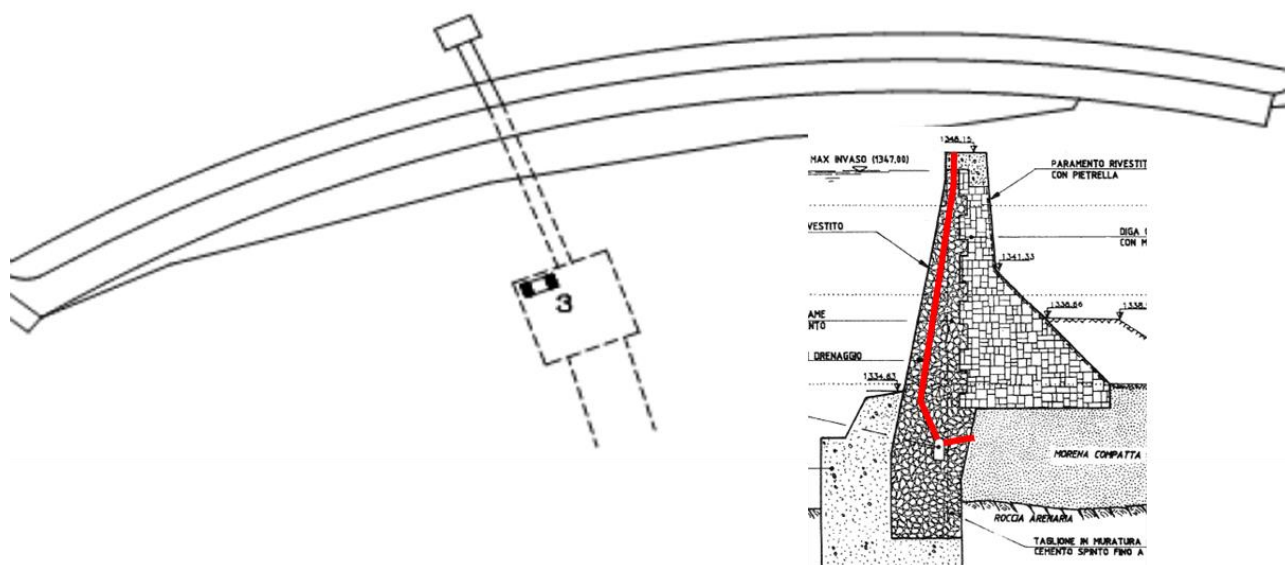


Figura 4.6 Posizione del punto di misura delle perdite

PERDITE NEL PERIODO 1908-1928

I documenti storici disponibili (ANIDEL 1952) riportano come, già nei primi anni di esercizio **dopo la costruzione della diga completata nel 1908, le perdite sono risultate essere elevate e pari a circa 40 l/s**. Queste perdite sono state attribuite alla scarsa tenuta idraulica della fondazione detritica. Non sono chiare le modalità con cui sono state misurate queste permeazioni, poiché lo sbarramento originario non era dotato di un sistema di drenaggio e di collettamento delle perdite.

PERDITE NEL PERIODO 1929-1951

I documenti storici (ANIDEL 1952) indicano come, in seguito agli interventi di consolidamento e di sottomurazione del 1928-1929, resi necessari dalle perdite misurate nel periodo precedente, queste si ridussero a **valori pari a circa 4-5 l/s**. Nel 1928-1929 è stato costruito il corpo in muratura di pietrame e malta di cemento, dotato del sistema di drenaggio di cui è dotata la diga attualmente. Pertanto, nonostante non siano forniti ulteriori dettagli, è lecito pensare che le perdite registrate in questo periodo siano state misurate con le stesse modalità attuali.

Verso il 1948, le perdite sono aumentate nuovamente fino a valori pari a circa 30-35 l/s (Figura 4.7), risultando essere strettamente dipendenti dai livelli d'invaso. Per questo motivo, nel 1950-1951, sono stati eseguiti i lavori di sottomurazione e di impermeabilizzazione del paramento di monte. In seguito agli interventi, la diga ha assunto la conformazione attuale e le **perdite sono diminuite fino a valori inferiori a 1 l/s**.

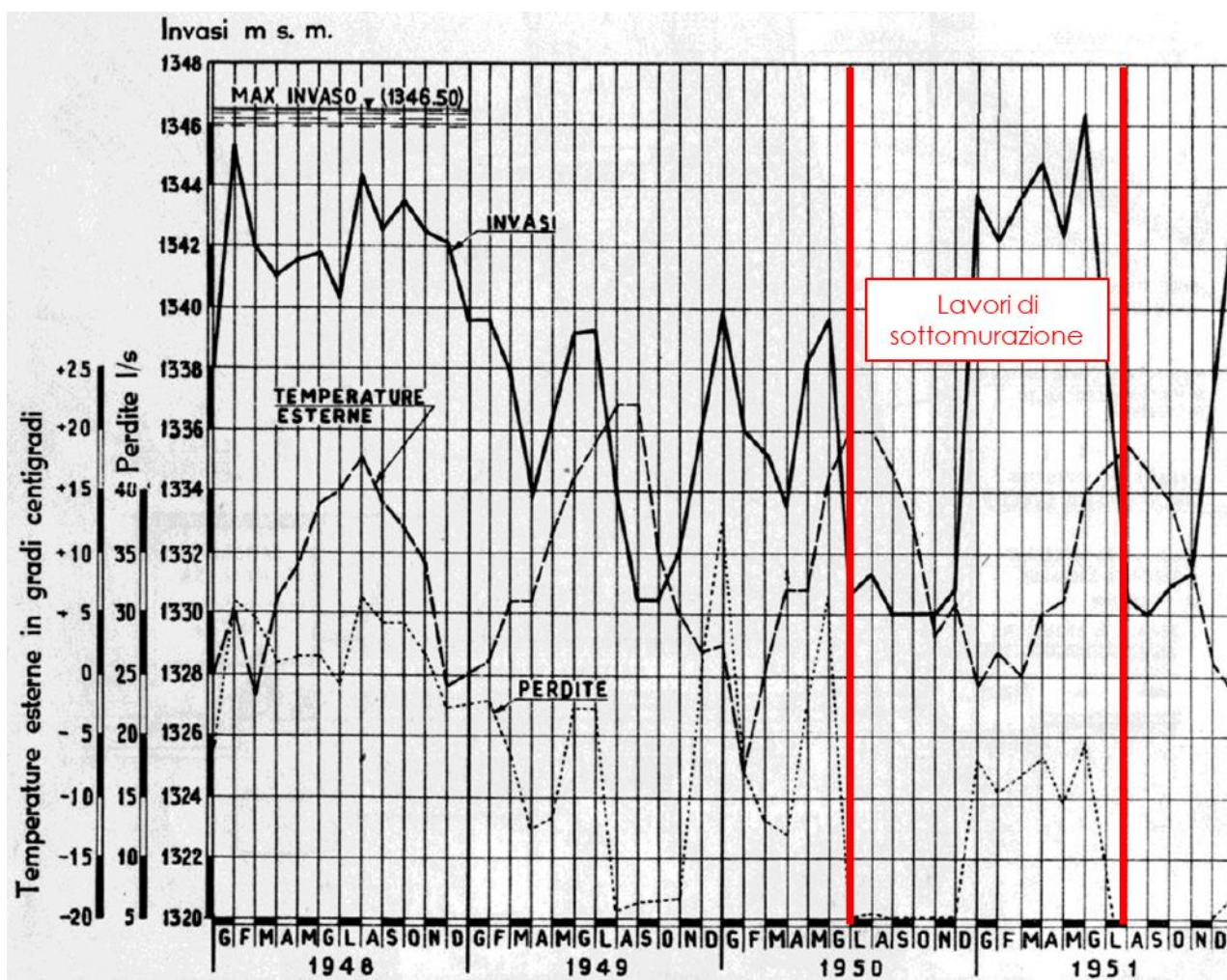


Figura 4.7 Misura delle perdite dal 1948 al 1951

PERDITE NEL PERIODO 1979-2019

In Figura 4.8 è riportato l'andamento delle perdite e dei livelli d'invaso nel periodo 1979-2019.

E' possibile notare come l'efficienza degli interventi descritti al punto precedente, che avevano ridotto le perdite a valori praticamente nulli, sia venuta meno nel corso negli anni. In particolare, **tra il 1978 e il 1984 le perdite sono risultate essere pari a circa 5-6 l/s**. Per questo motivo, nel 1984, sono state effettuate delle iniezioni in fondazione che hanno nuovamente ridotto le permeazioni a valori praticamente nulli.

Dal 1995, nonostante la limitazione dei livelli d'invaso, le perdite sono tornate gradualmente ad aumentare fino a valori comunque contenuti nell'ordine dei 2 l/s.

Nel 2016 il livello d'invaso è stato limitato alla quota dello scarico di fondo, pari a 1'330.00 m s.l.m. Contestualmente, le perdite sono cessate. E' interessante notare come nel 2018, nell'unica occasione in cui il livello d'invaso è salito circa 2 m oltre alla quota imposta, sono state misurate perdite pari a circa 1.5 l/s. Questo testimonia la forte dipendenza delle perdite dai livelli d'invaso, che storicamente è sempre stata riscontrata ogni volta che le perdite sono risultate essere rilevanti (Figura 4.9).

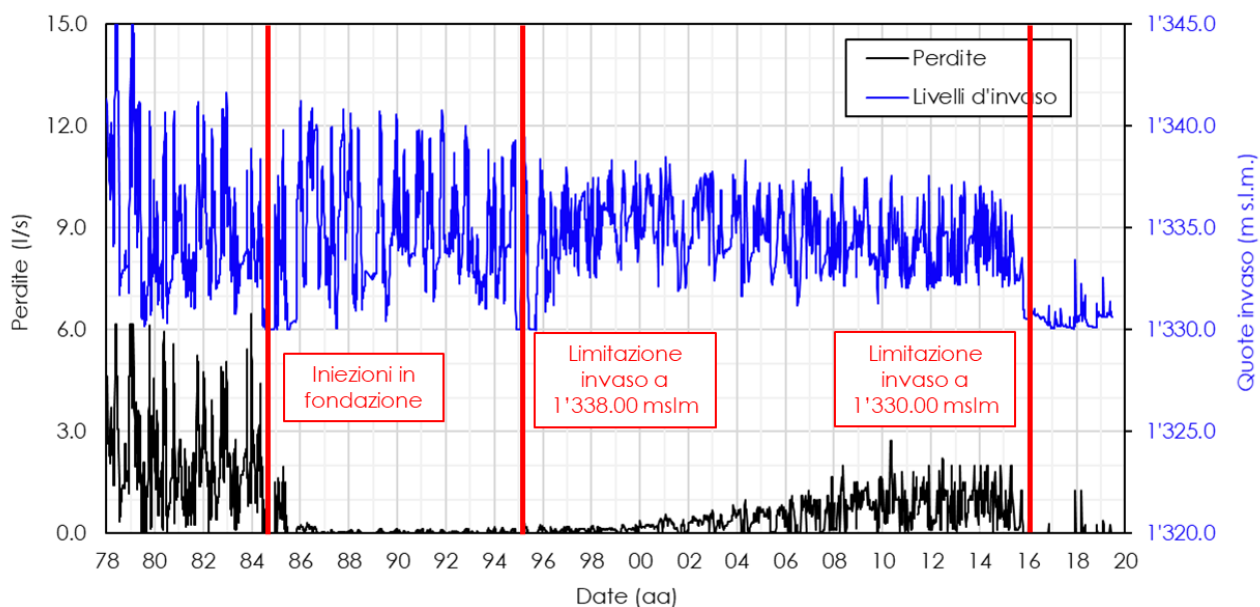


Figura 4.8 Misura delle perdite e dei livelli d'invaso nel periodo 1978 - 2019

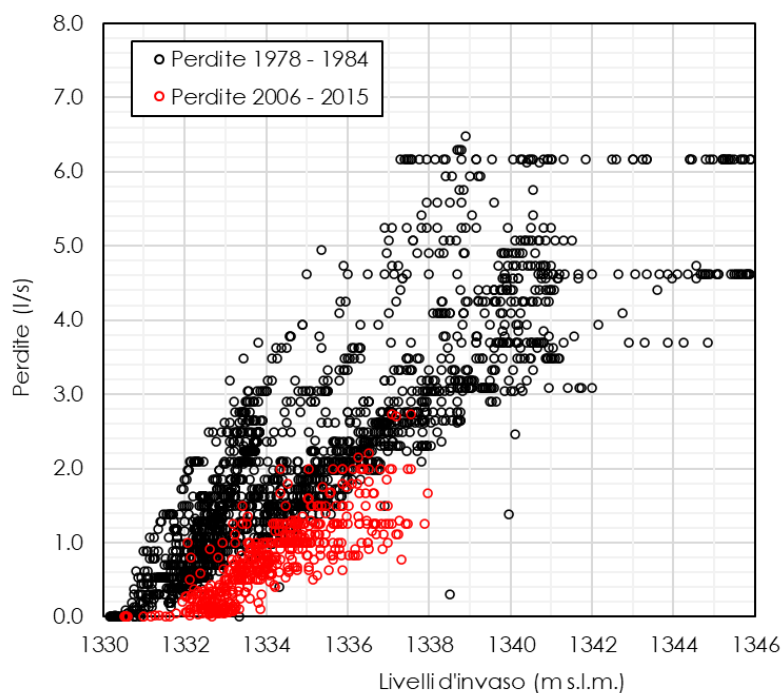


Figura 4.9 Correlazione tra i livelli d'invaso e le perdite

4.5 Sottopressioni

Nel presente paragrafo si riportano le misure delle sottopressioni della diga. Attualmente sono presenti 3 punti di misura, in corrispondenza del coronamento, attrezzati con piezometri a tubo aperto con fondo foro nella fondazione detritica della diga (Figura 4.10). Le misure vengono effettuate manualmente tramite sonda freaticometrica.

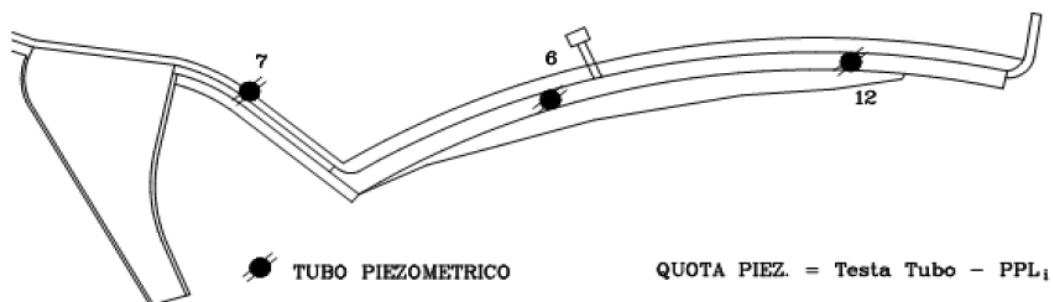


Figura 4.10 Punti di misura dei livelli piezometrici

In Figura 4.11 sono riportate le letture dello strumento PZ07 posizionato in corrispondenza dell'argine secondario. E' possibile evidenziare come le letture non siano affidabili. Infatti, nonostante i livelli piezometrici abbiano un andamento analogo ai livelli d'invaso, le quote piezometriche risultano essere sempre superiori ai livelli d'invaso. Pertanto, lo strumento manifesta problemi di taratura nello svolgimento delle letture.

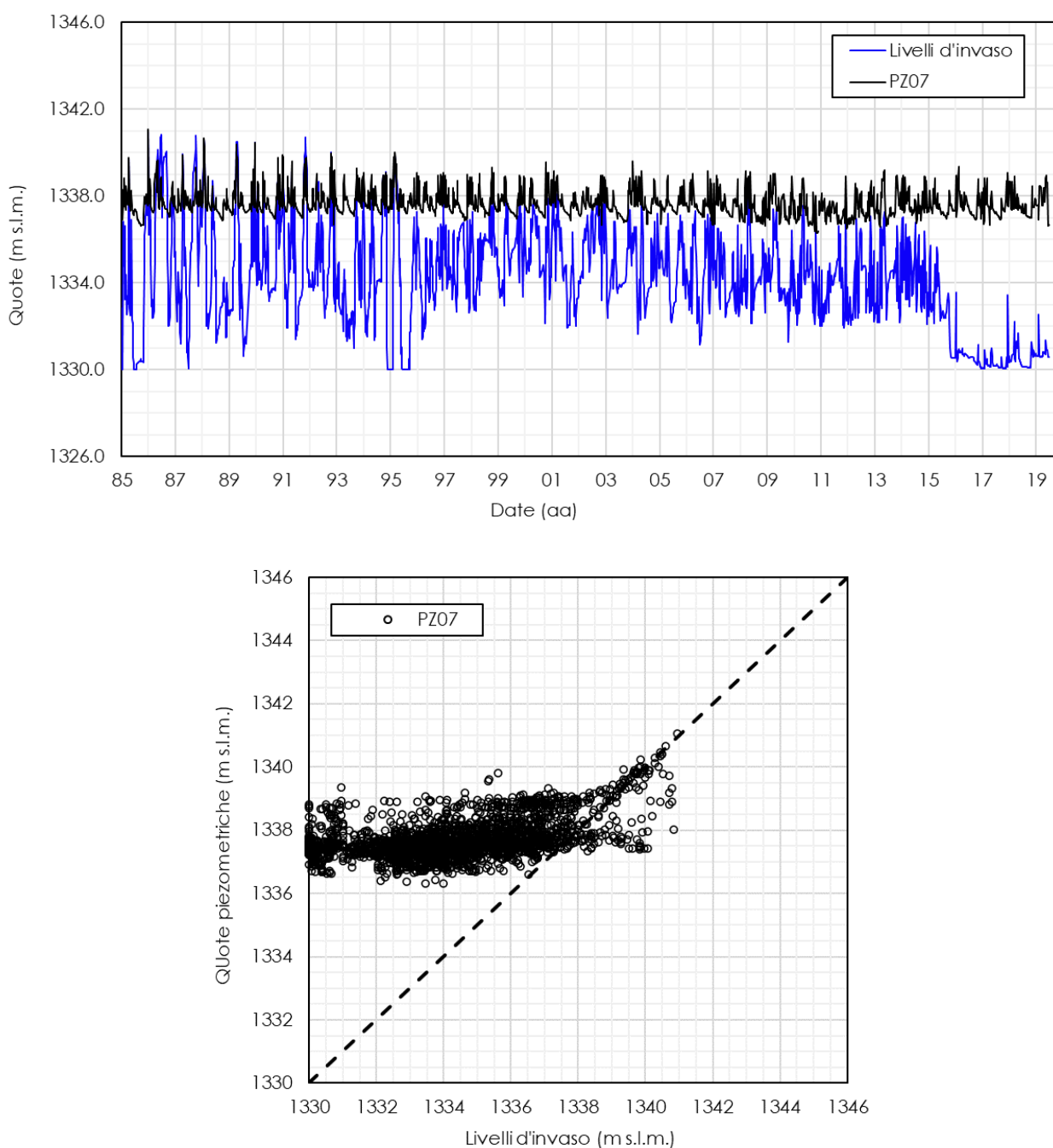


Figura 4.11 In alto l'andamento temporale delle misure del piezometro PZ07 e delle quote d'invaso. In basso il grafico di correlazione tra le quote piezometriche e i livelli d'invaso

In Figura 4.12 sono mostrate le letture dello strumento PZ12 posizionato in spalla sinistra. E' possibile notare come lo strumento rilevi valori maggiori o uguali a 1'333,50 m s.l.m., che pertanto può essere assunta come quota di fondo del tubo aperto. Contestualmente lo strumento manifesta un andamento dei valori funzione dei livelli d'invaso solo per quote d'invaso maggiori o uguali a circa 1'334,00 m s.l.m.

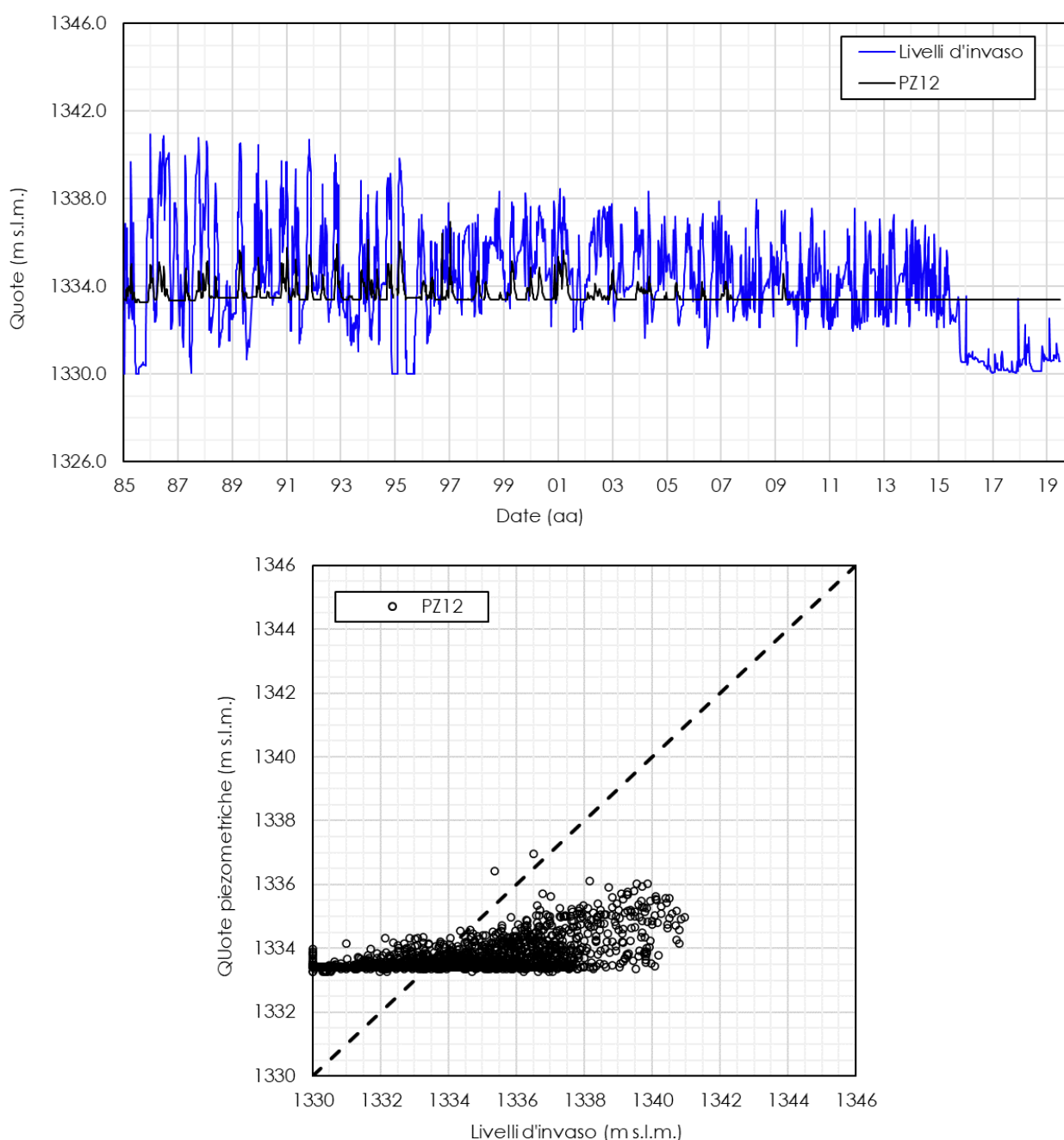


Figura 4.12 In alto l'andamento temporale delle misure del piezometro PZ12 e delle quote d'invaso. In basso il grafico di correlazione tra le quote piezometriche e i livelli d'invaso

In Figura 4.13 sono mostrate le letture dello strumento PZ06 posizionato in prossimità della sezione di massima altezza e dello scarico di fondo. Si può riscontrare l'efficacia delle iniezioni in fondazione effettuate nel 1984. Infatti, dal 1985 al 2000 si notano quote piezometriche massime pari a circa 1'335,00 m s.l.m. a fronte di livelli d'invaso massimi pari a 1'340,00 m s.l.m. Di contro **dal 2001 al 2015, si riscontra la perdita di efficienza prodotta dalle iniezioni**, contestualmente al graduale aumento delle perdite (Par. 4.4). Si rilevano **quote piezometriche massime maggiori rispetto al periodo precedente, nonostante le limitazioni dei livelli d'invaso**.

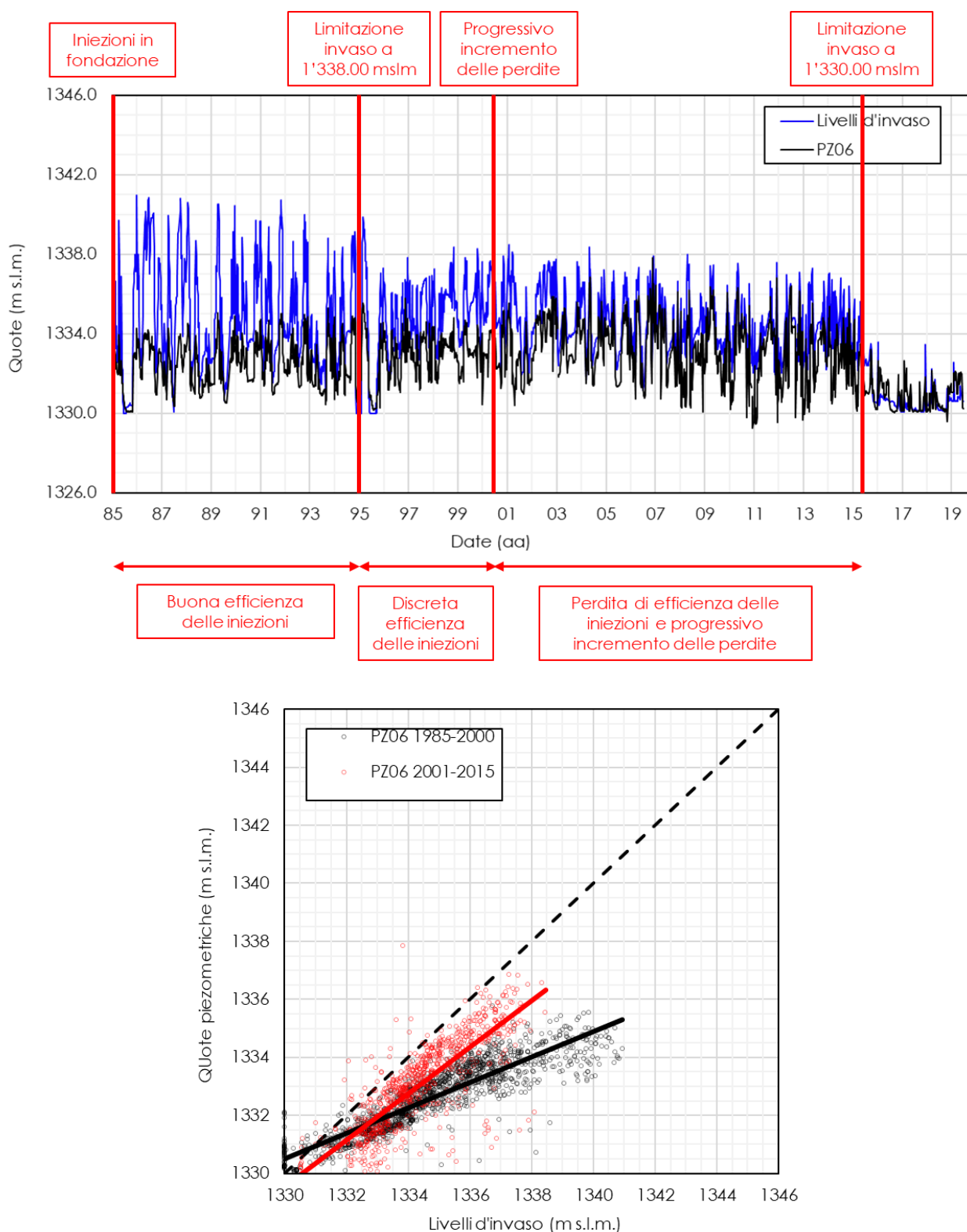


Figura 4.13 In alto l'andamento temporale delle misure del piezometro PZ06 e delle quote d'invaso.
 In basso il grafico di correlazione tra le quote piezometriche e i livelli d'invaso

4.6 Spostamenti planimetrici

Nel presente paragrafo si riportano le misure degli spostamenti planimetrici della diga. Attualmente sono presenti 2 punti di misura, attrezzati con pendoli rovesci (Figura 4.14). Le misure vengono effettuate manualmente.

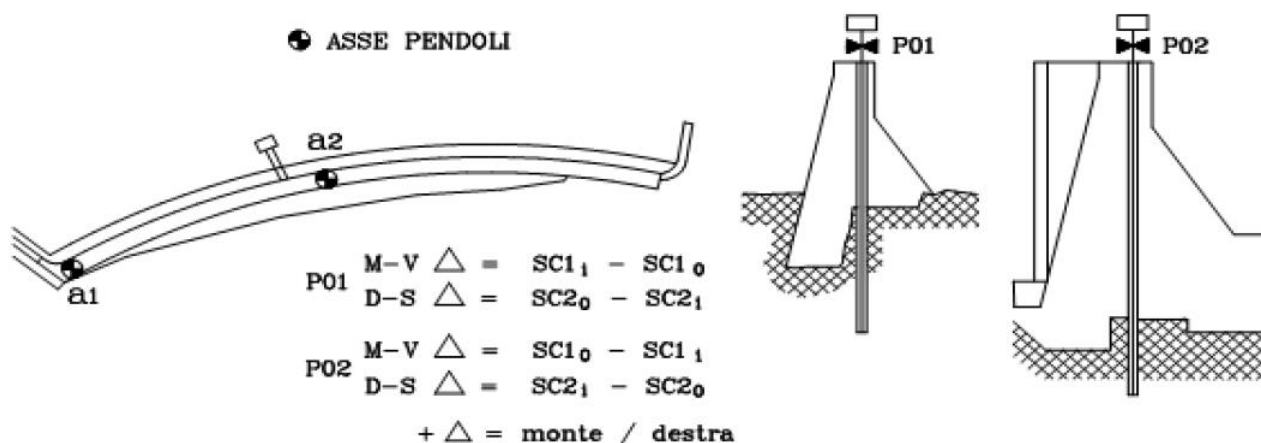


Figura 4.14 Posizione degli strumenti per il monitoraggio degli spostamenti planimetrici

In Figura 4.15 e Figura 4.16 si riportano gli andamenti degli spostamenti in direzione monte-valle e sinistra-destra per entrambi gli strumenti.

E' possibile notare come gli spostamenti in direzione sinistra-destra misurati dallo strumento P02, in prossimità della sezione di massima altezza, mostrino una leggera deriva verso sinistra che ha prodotto un accumulo di circa 3 mm in 35 anni (tasso pari a 0.08 mm/anno). Per quanto riguarda gli spostamenti in direzione monte-valle, questi risultano mediamente nulli con oscillazioni dovute ai fenomeni termici.

Per quanto riguarda gli spostamenti dello strumento P01, posizionato in corrispondenza della **spalla destra della diga principale** con forma arcuata, questi risultano essere di entità maggiore. In particolare si rileva una **deriva verso destra e verso valle, con un accumulo di 13 mm verso valle e 12 mm verso destra in 35 anni (tasso pari rispettivamente a 0,37 mm/anno e 0,32 mm/anno)**. Le derive non sono in fase di esaurimento e non sono rallentate nonostante le limitazioni d'invaso. Questo indica che gli spostamenti in questo punto non dipendono tanto dalle condizioni di carico in esercizio dello sbarramento quanto dalla natura stessa dell'opera. In particolare, le derive verso destra e verso valle sono attribuibili alla geometria dell'opera, la quale produce un effetto arco che non è opportunamente contrastato in corrispondenza della spalla destra, dove la diga poggia direttamente sull'argine secondario.

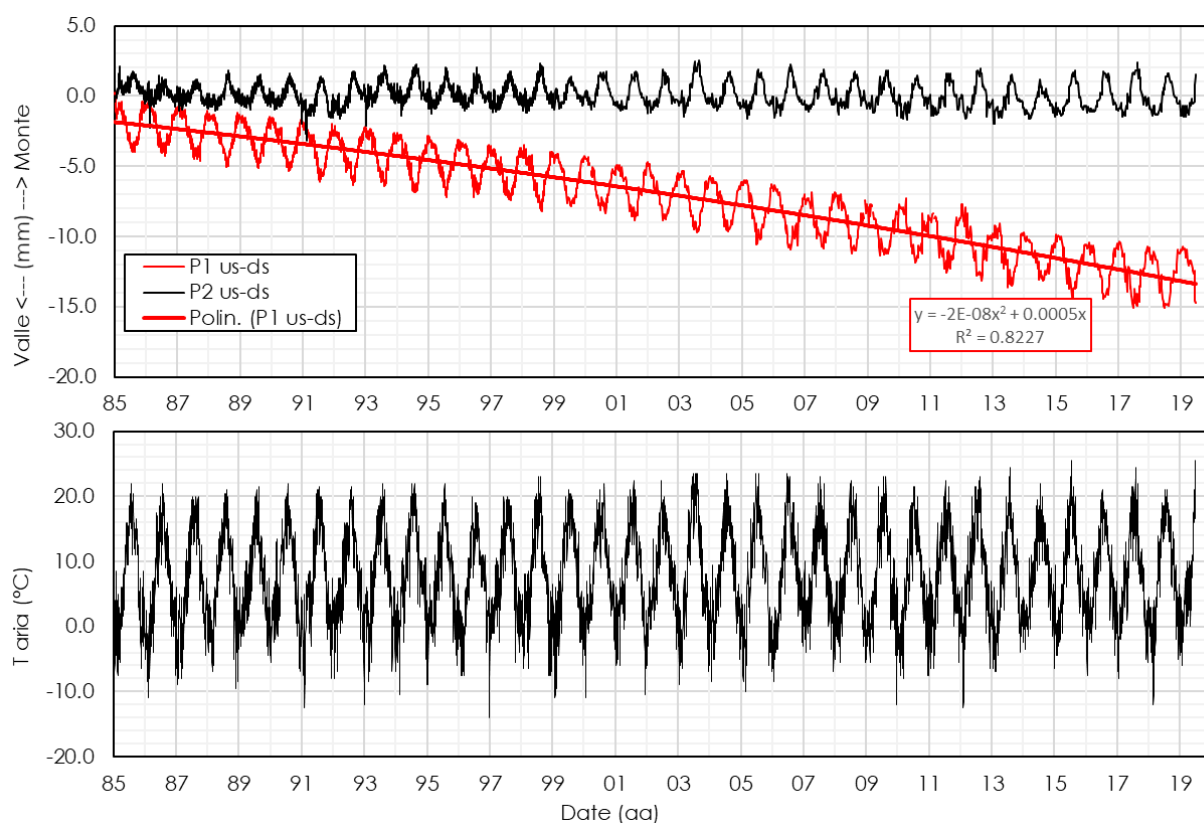


Figura 4.15 Andamento degli spostamenti planimetrici in direzione monte-valle

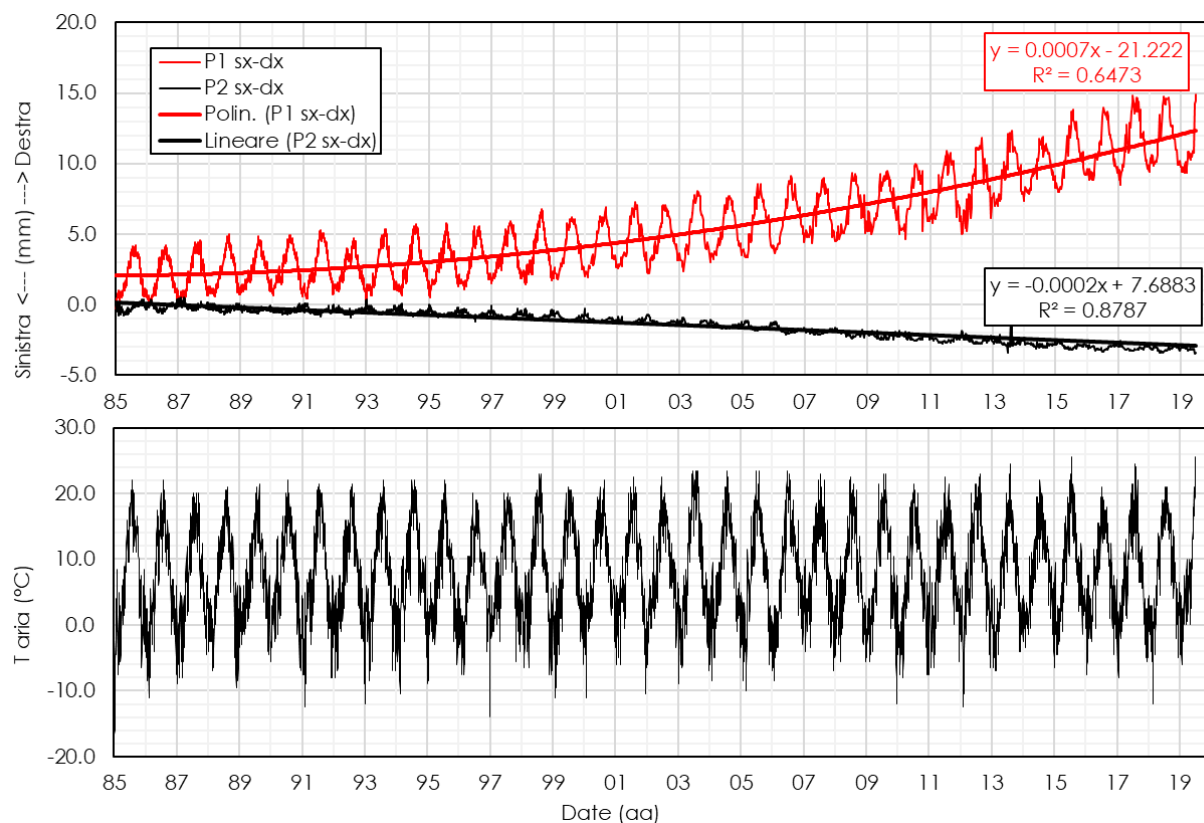


Figura 4.16 Andamento degli spostamenti planimetrici in direzione sinistra-destra

4.7 Conclusioni

In Tabella 4.6 sono sintetizzati i risultati dell'analisi dei dati di monitoraggio illustrata nei precedenti paragrafi.

Tabella 4.6 Risultati dell'analisi dei dati di monitoraggio

IDROMETEOROLOGIA	➤ Livelli d'invaso storicamente gestiti per scopi idroelettrici. ➤ Nel 1995 l'invaso è stato limitato alla quota 1'333,00 m s.l.m. (quota della soglia dello scarico di fondo). ➤ Scarto minimo di temperatura dall'acqua misurata in superficie e a 5 m di profondità. ➤ La temperatura minima dell'aria è inferiore allo zero nei mesi invernali. ➤ Accumuli di neve in tutti gli anni di osservazione, caratterizzati da spessori fino a circa 350 cm. ➤ Formazione di ghiaccio in tutti gli anni di osservazione, con spessori massimi fino a 60 cm.
PERDITE	➤ Le perdite sono storicamente elevate, con valori massimi pari a 40 l/s, a causa della fondazione detritica e della muratura di pietrame e malta del corpo diga. ➤ Le perdite rilevate storicamente hanno reso necessari numerosi interventi di consolidamento, sottomurazione e impermeabilizzazione dell'opera.
SOTTOPRESSIONI	➤ Le misure piezometriche testimoniano l'efficacia iniziale delle iniezioni in fondazione (1984) e anche la loro progressiva perdita di efficienza nel tempo. ➤ Le letture piezometriche sono in linea con le misure delle perdite.
SPOSTAMENTI	➤ Gli spostamenti dello strumento in corrispondenza della sezione di massima altezza, in direzione monte-valle, sono mediamente nulli con piccole oscillazioni di natura termica. Gli spostamenti in direzione sinistra-destra mostrano una leggera deriva verso sinistra (3 mm in 35 anni), che non è in fase di esaurimento. ➤ Gli spostamenti dello strumento in corrispondenza della spalla destra della diga principale, in direzione monte-valle, mostrano una deriva verso valle (13 mm in 35 anni). Gli spostamenti in direzione sinistra-destra mostrano una deriva verso destra (12 mm in 35 anni). Le derive stanno aumentando nel corso degli anni e sono dovute alla forma arcuata della diga.

5. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E GEOMORFOLOGICHE

Lo sbarramento di Ballano, posizionato in prossimità dello spartiacque appenninico e del Passo del Lagastrello, è ubicato in corrispondenza di depressioni e gradini morfologici formatisi all'interno di circhi glaciali per erosione differenziale. L'area in esame risulta essere compresa sul versante settentrionale di uno spartiacque orientato in direzione NW-SE lungo l'allineamento tra Monte Orsaro – Monte bocco – Monte Sillara. L'opera è localizzata nel contesto della catena appenninica settentrionale, risultato di diverse fasi di collisione che hanno coinvolto le placche Apula ed Europa, a partire dal Cretaceo e tutt'oggi in corso.

Si analizza il contesto geologico nel quale si inserisce la diga di Ballano, grazie allo stralcio del Foglio 234 "Fivizzano" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50'000 "Fivizzano" della Cartografia Geologica realizzata dal *Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Pisa*, riportata in Figura 5.1. L'area dello sbarramento d'interesse si posiziona nella porzione nord-occidentale del Foglio 234 "Fivizzano". Secondo il foglio geologico a scala 1:50'000, la diga di Ballano risulta essere impostata in parte sulla **Formazione del Macigno**, appartenente al Dominio Toscano, ed in parte su depositi eterogenei ed eterometrici, prevalentemente arenacei, riconducibili a **depositi di till indifferenziato** quaternario.

Dal punto di vista litologico la Formazione del Macigno, datata all'Oligocene superiore – Miocene inferiore, risulta essere costituita da torbiditi arenacee ed arenaceo – pelitiche grigie con granulometria da media a medio – fine negli strati meno spessi e da grossolana a molto grossolana negli strati spessi e molto spessi. Sono presenti, seppur subordinate, torbiditi pelitico – arenacee sottili o, raramente, calcareo marnose. Gli intervalli pelitici, costituiti da siltiti grigie, marne siltose ed argilliti da grigie a grigio – scure, sono spesso sottili e laminati e possono raggiungere qualche decina di centimetri di spessore. L'intera unità presenta uno spessore variabile da centinaia di metri fino a 2000 metri.

La porzione centrale e sud-orientale dello sbarramento risulta impostata nel contesto di depositi di till indifferenziato, datati al Pleistocene medio/superiore. Si tratta di un deposito costituito da accumuli di clasti subangolosi, prevalentemente arenacei, di dimensioni comprese tra le ghiaie ed i massi, immersi in una matrice sabbioso – limosa grigio – ocracea. Lo spessore dell'unità varia da qualche metro fino ad un massimo di 100 metri (Puccinelli et al., 2015).

Si vuole analizzare a questo punto il contesto geologico di maggiore dettaglio dell'area oggetto del presente rapporto, grazie alla carta geologica dell'appennino emiliano – romagnolo a scala 1:10'000 della Regione Emilia-Romagna (Figura 5.2).

In particolare, la cartografia 1:10'000, in accordo con quanto indicato dalla carta geologica a scala 1:50'000, mostra come sbarramento oggetto della presente Relazione sia impostato sulla Formazione del Macigno e su depositi periglaciali.

L'assetto strutturale dell'area appare uniforme con un'immersione prevalente della formazione arenaceo-pelitica del Macigno verso NE, determinando un assetto a franapoggio sul versante nel quale si colloca lo sbarramento di Ballano. Nelle immediate vicinanze del sito, le cartografie in scala 1:50'000 e 1:10'000 riportano giaciture di strato immergenti in direzione N-NE ed inclinazione media 25°. Nell'area dell'invaso e dello sbarramento l'ammasso risulta essere ricoperto da coltri e depositi detritici di differente genesi, derivanti da fenomeni gravitativi e dall'azione glaciale ed intrinsecamente connessi tra di loro.

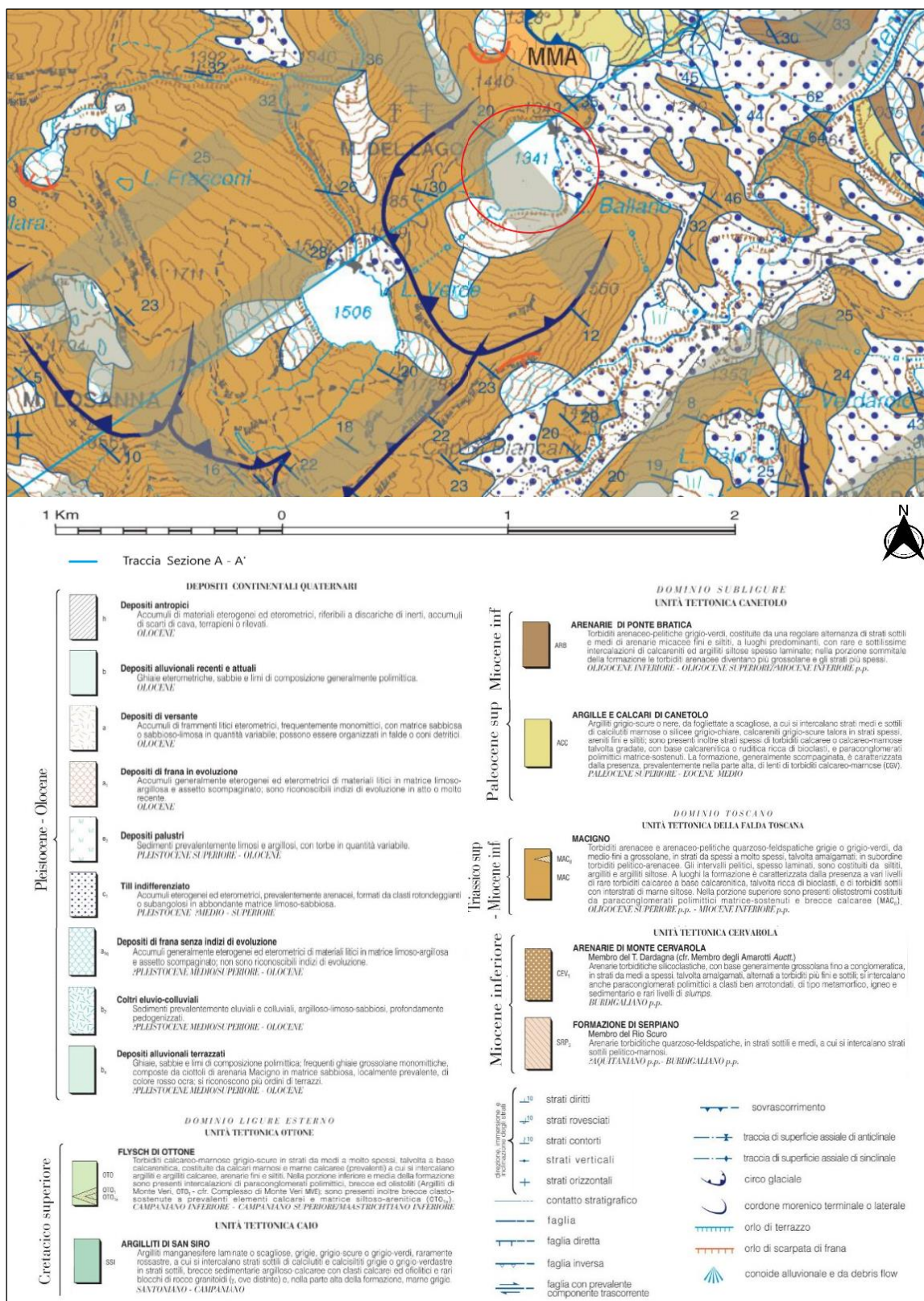
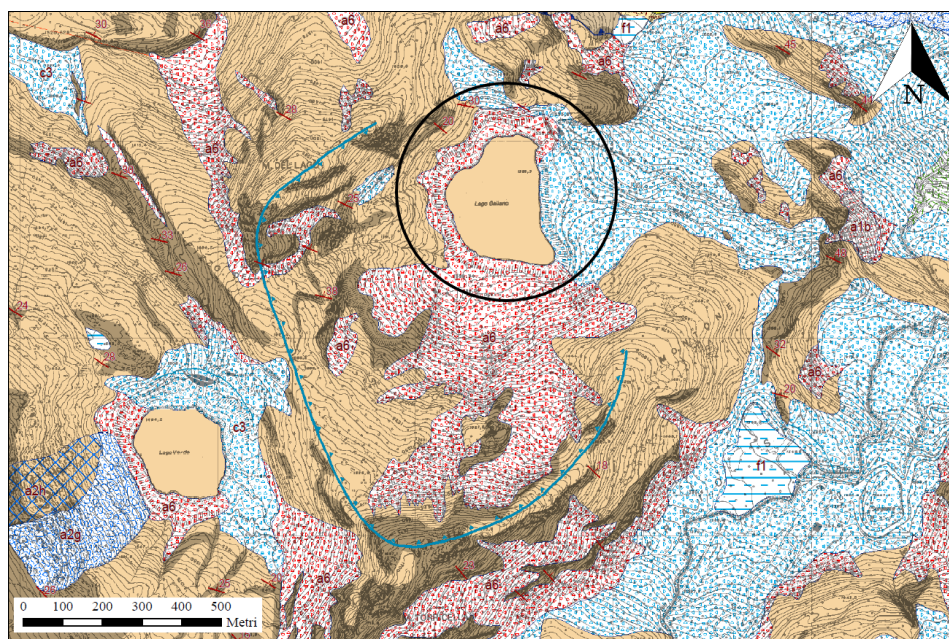


Figura 5.1 Stralcio della Carta Geologica a scala 1:50000, con particolare dello sbarramento e dell'invaso di Ballano [Foglio 234 Fivizzano – Università di Pisa – Dipartimento di Scienze della Terra]



LEGENDA DELLA SEZIONE CARTOGRAFICA: 234020 - VALDITACCA

	a1b	Deposito di frana attiva per scivolamento
	a6	Detrito di falda
	a2g	Deposito di frana quiescente complessa
	a2h	Deposito di frana quiescente per scivolamento in blocco o DGVP
	c3	Deposito glaciale e periglaciale
	f1	Deposito palustre
	MAC	Macigno

Simboli Convenzionali presenti nel 10.000

Osservazioni puntuali:

	asse di piega mesoscopica
	asse di piega simmetrica
	(vergenza neutra) orizzontale
	stratificazione a polarità sconosciuta
	stratificazione dritta
	stratificazione rovesciata
	stratificazione verticale

Geomorfologia linee:

	circo glaciale
	cordone morenico terminale o laterale

Geologia linee:

	contatto stratigrafico o litologico certo
	contatto stratigrafico o litologico incerto
	contatto stratigrafico o litologico sepolto
	faglia certa
	faglia incerta
	faglia sepolta
	limite di natura incerta
	limite di regione
	sovrascorrimento certo
	sovrascorrimento incerto

Figura 5.2 Stralcio della Carta Geologica della Regione Emilia-Romagna a scala 1:10000. Il cerchio nero individua lo sbarramento e l'invaso di Ballano [Elemento 234020 Valditacca – Carta Geologica dell'appennino emiliano-romagnolo, 2011]

La definizione del contesto geologico e geomorfologico dell'area in esame, inoltre, si è potuta avvalere del fondamentale contributo derivante dalle innumerevoli testimonianze documentali e dalle numerose **campagne di indagine** che negli anni si sono succedute nell'ambito dello studio dello sbarramento di Ballano. In particolare, tali indagini, realizzate nel contesto della diga o nelle immediate vicinanze della stessa, hanno contribuito a definire nel dettaglio la natura, la successione stratigrafica e l'assetto strutturale dei terreni e del substrato che possono essere rilevati all'interno del Volume Geologico Significativo dell'imposta. In questo senso, ci si riferisce soprattutto alle indagini che hanno fornito dati utili alla caratterizzazione geologica del sito e che sono riportate di seguito.

- CONSONDA S.p.A., 1978:
 - esecuzione di n. 2 perforazioni a carotaggio continuo in corrispondenza del nucleo della struttura originaria, per la realizzazione dei pendoli PL1 e PL2. Le perforazioni hanno rispettivamente raggiunto le profondità di 39 e 30 m al di sotto del piano del coronamento. I due sondaggi hanno dapprima attraversato il corpo diga in muratura di pietrame per poi addentrarsi all'interno dei depositi morenici ed infine nel substrato arenaceo-pelitico.
 - esecuzione di n. 13 perforazioni a carotaggio continuo (S1-S13) in corrispondenza del nucleo del corpo diga, raggiungendo la profondità massima di 27 m al di sotto del piano di fondazione. La maggior parte dei sondaggi, dopo aver attraversato il corpo diga in pietrame, si addentra all'interno dei depositi morenici e detritici che caratterizzano l'area dello sbarramento, per poi giungere al substrato arenaceo del Macigno. I soli sondaggi S3, S4, S5 S6, S7 e S11 incontrano il substrato roccioso al di sotto del corpo diga e dovrebbero essere stati quindi realizzati nel contesto della struttura addossata a quella originaria del corpo diga. Il sondaggio S10 è stato invece spinto solamente fino alla profondità di 2.50 m al di sotto del coronamento, incontrando quindi il solo corpo diga. Si rileva inoltre che il sondaggio S6 è inclinato di 20° verso monte.
- IMPRESA ROMOLO BARDIN S.p.A, 1988:
 - esecuzione di n. 3 perforazioni a carotaggio continuo a valle del corpo diga, nel contesto dei depositi morenici. Le perforazioni (SG1-SG3) hanno raggiunto la profondità massima di 15.20 m al di sotto del piano campagna. Tutti i sondaggi sono stati spinti in profondità fino ad incontrare il substrato arenaceo-pelitico del Macigno.
- COMITGEO s.n.c., 2002:
 - esecuzione di n. 2 perforazioni a carotaggio continuo a valle del corpo diga, nel contesto dei depositi morenici. Le perforazioni (SC1-SC2) hanno raggiunto la profondità massima di 18.00 m al di sotto del piano campagna. Tutti i sondaggi sono stati spinti in profondità fino ad incontrare il substrato arenaceo-pelitico del Macigno.
 - esecuzione di n. 4 log termodifferenziali nei sondaggi i SC1 ed SC2 (2 dei quali su pozzo stabilizzato e 2 su pozzo con acque miscelate).
 - esecuzione di n. 9 prove di permeabilità in foro Le Franc, nel contesto dei fori realizzati per i sondaggi a carotaggio continuo SC1 e SC2.
 - esecuzione di 3 prove di densità in sito entro l'area di fluttuazione del bacino d'invaso (D1, D2, D3) con prelievo ed analisi dei campioni relativi.

- prelievo ed analisi di laboratorio su n. 5 campioni dai pendii e dagli interstrati rocciosi e n. 11 dai sondaggi meccanici SC1 e SC2 (analisi granulometriche, limiti di Atterberg, umidità naturali).
 - prelievo di n. 4 serie di campioni per l'esecuzione di una prova di taglio diretto su 4 provini diversi in roccia (C1, C2, C2 bis e C3) e su 2 dei campioni sciolti prelevati per le densità in sito (D1 e D2).
 - esecuzione ed interpretazione di n. 4 basi sismiche a rifrazione, per un totale di 326 m, con lettura sia delle onde P che delle onde S e definizione dei moduli elastico dinamici dei terreni. In particolare:
- SONDEDILE S.r.l., 2008:
 - esecuzione di n. 5 perforazioni a carotaggio continuo in corrispondenza della struttura muraria originaria (S2B) del corpo diga, della spalla sinistra (S1B), dei terreni e rocce di fondazione immediatamente al piede del paramento di valle della struttura originaria (S5B) e nell'area dell'invaso a poche decine di metri dal paramento di monte (S3B e S4B), fino ad una profondità massima di 41 m.
 - esecuzione di n. 4 perforazioni a distruzione di nucleo per l'attrezzamento dei fori per le prove Cross-hole, in corrispondenza della struttura muraria originaria del corpo diga (CH2B), della spalla sinistra (CH1B) e nell'area dell'invaso a poche decine di metri dal paramento di monte (CH3B e CH4B), fino ad una profondità massima di 41 m. La profondità d'indagine raggiunta dal sondaggio CH5B non viene specificata all'interno dei documenti attualmente disponibili.
 - esecuzione di n. 5 prove S.P.T. nel contesto dei carotaggi continui S1B, S2B, S3B, S4B e S5B.
 - prelievo di n. 5 campioni rimaneggiati dai terreni di fondazione per l'esecuzione di prove granulometriche e prove per la determinazione dei limiti di Atterberg.
 - realizzazione di n. 12 prove di permeabilità Lugeon nel contesto del solo ammasso di fondazione per i sondaggi S1B, S2B, S3B, S4B e S5B.
 - realizzazione di n. 8 prove dilatometriche nel contesto delle sole rocce di fondazione per i sondaggi S1B, S2B e S4B.
 - TERRA S.r.l., 2009:
 - realizzazione di n. 2 rilievi geomeccanici mediante sonda televisiva in foro, nell'ambito dei fori di sondaggio in corrispondenza del nucleo della struttura originaria (S2B) e nell'area dell'invaso a poche decine di metri dal paramento di monte (S3B).
 - PROGEO S.r.l., 2009:
 - esecuzione di n. 4 prove Cross-hole nei fori di sondaggio realizzati nel contesto della campagna d'indagine geognostica Sonedile del 2008. In particolare, la

realizzazione di tali prove è stata eseguita nelle coppie di fori S1B-CH1B, S2B-CH2B, S3B-CH3B, S4B-CH4B.

- esecuzione di n. 2 stendimenti a rifrazione tomografica, longitudinalmente e trasversalmente allo sbarramento.
- ENEL, 2012:
 - realizzazione di una campagna di rilievi geomeccanici nel contesto dello sbarramento e delle sponde dell'invaso.
 - esecuzione realizzazione di rilievi geologici e geomorfologici dell'area dello sbarramento e dell'invaso.
- GEOEXPLORATION, 2020:
 - realizzazione di una campagna di rilievi sismici a rifrazione con tomografia in onde P e S nel contesto dello scarico di superficie e dell'area immediatamente a valle di quest'ultimo.

Tali indagini hanno interessato l'intera estensione dell'imposta, permettendo una buona ricostruzione del modello stratigrafico dei terreni e del substrato di fondazione.

Unitamente a quanto riportato dalla cartografia geologica analizzata finora nel presente paragrafo, le numerose campagne di indagine prese in considerazione hanno permesso di definire un modello di sottosuolo di dettaglio per il sito d'interesse. Tali dati arricchiscono la definizione del modello geologico-stratigrafico derivato dall'analisi della cartografia geologica di riferimento.

Proprio sulla base dei rilevamenti di superficie e delle campagne di indagini condotte, si è potuto ricostruire il modello geologico-stratigrafico nell'area dello sbarramento. In particolare, tra i 15 e i 20 m al di sotto del piano di coronamento, si riscontra la presenza in fondazione della formazione arenaceo-pelitica del Macigno da mediamente a fortemente alterata e fratturata, al di sotto della quale si incontra la stessa formazione ma caratterizzata da un grado di compattezza superiore ed alterazione inferiore. L'ammasso roccioso non affiora nell'area dello sbarramento, ma solamente nell'area a monte ed a valle dello stesso. L'analisi delle indagini dirette ed indirette a disposizione ha permesso di ricostruire l'andamento del tetto substrato torbiditico sul quale è fondata la struttura muraria costituente il corpo più recente della diga. Mentre la Formazione del Macigno appare subaffiorante e si rinviene a pochi metri di profondità al di sotto delle coperture detritiche in spalla sinistra ed immediatamente a monte dell'imposta, il tetto del substrato tende ad approfondirsi rapidamente dirigendosi verso la porzione centrale della stretta e mantenendosi tra i 10 e 15 metri di profondità anche nell'area della sponda destra.

Si è potuto inoltre verificare che la porzione del corpo diga originario risulta per la gran parte fondata sui terreni detritici di origine gravitativa e glaciale, rispettivamente nell'area centro-settentrionale e meridionale dello sbarramento. Gli stessi depositi di origine gravitativa ricoprono il substrato in corrispondenza della porzione centro-settentrionale della diga e lungo le sponde settentrionale, occidentale e sud-occidentale dell'invaso, mentre i depositi detritici di origine glaciale caratterizzano le spalle e l'area a valle dello sbarramento e soprattutto l'area orientale del bacino di Ballano.

La **geomorfologia** dell'area di spartiacque appenninico di questo settore del Parco Nazionale dei Cento Laghi è caratterizzata da versanti a media inclinazione e risulta dominata dall'accumulo di grandi masse detritiche al piede degli stessi versanti ed all'interno degli alvei fluviali e dei circhi

glaciali. I processi in atto e le evidenze morfogenetiche, unitamente alle caratteristiche litologiche-tessiturali delle formazioni ed unità rilevabili, indicano una genesi legata soprattutto a fenomeni erosivi ed a instabilità degli stessi versanti che costituiscono il circo glaciale all'interno del quale è ospitato il lago di Ballano. Tali fenomeni erosivi si inquadrano in un panorama geologico interessato da antichi processi glaciali ed a successivi fenomeni di natura prettamente fluviale. Le già citate indagini ed i rilievi di superficie, realizzati nel contesto dello sbarramento di Ballano, hanno portato a determinare che alcuni dei depositi rinvenuti al di sotto dell'imposta derivino da intensi fenomeni erosivi e da instabilità di versanti dell'area in esame.

Dal punto di vista sismico, lo sbarramento e l'invaso si inseriscono nel contesto sismogenetico delle regioni della Lunigiana e della Garfagnana. Le sorgenti individuali appartenenti alla ITCS026 – Lunigiana più prossime allo sbarramento sono le sorgenti ITIS067 – Aulla e ITIS085 – Pontremoli, di cui alla prima è associato il terremoto del 1481 e alla seconda quello del 1834. Al contempo la sorgente individuale appartenente alla ITCS083 – Garfagnana prossima al sito d'interesse è la ITIS050 – Garfagnana North, a cui è associato il terremoto del 1920.

Dal punto di vista delle criticità geologiche sull'impianto, sono segnalate diverse faglie capaci a breve distanza dall'invaso, ubicate rispettivamente a NE, NW e SW di esso e che non interagiscono direttamente con la diga e l'invaso. Le strutture più prossime al sito sono la faglia 93749 – M. Orsaro - Parma (4.6 km a NW), la faglia 90573 – Valditacca (1.8 km a NE), la faglia – Alpe di Succiso - Parma (3.7 km a ESE), la faglia 61319 - Monte Cornela (4.3 km a SW), la faglia 61320 – La Bota (4.0 km a WSW) e la faglia 61312 – Monte Marmagna (4.1 km a WSW).

Per quanto riguarda la pericolosità da frana si segnala che lungo tutto il perimetro del bacino di Ballano, così come nella zona di sbarramento, sia la cartografia ufficiale del PAI (Piano assetto Idrogeologico) che la i dati derivanti dal progetto IFFI non riportano frane né, quindi, situazioni di rischio potenziale. Nell'ambito della cartografia geologica della regione Emilia-Romagna invece, viene riportato che i versanti ubicati a S e SW dell'invaso siano caratterizzati da depositi di frana attiva per scivolamento.

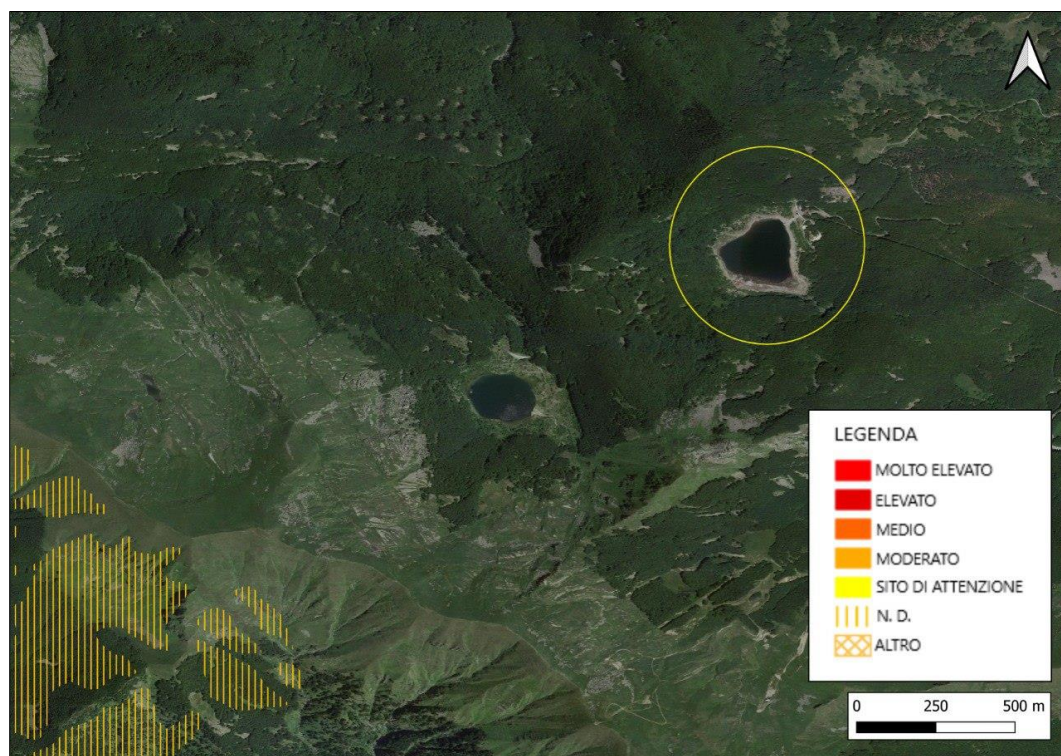


Figura 5.3 Stralcio della Mosaicatura Nazionale ISPRA (Elaborazione v. 3.0 – dicembre 2017) delle aree a pericolosità da frana dei Piani di Assetto Idrogeologico (PAI), redatti dalle Autorità di Bacino Distrettuali, dal Portale IdroGEO. Il cerchio giallo indica l'invaso di Ballano

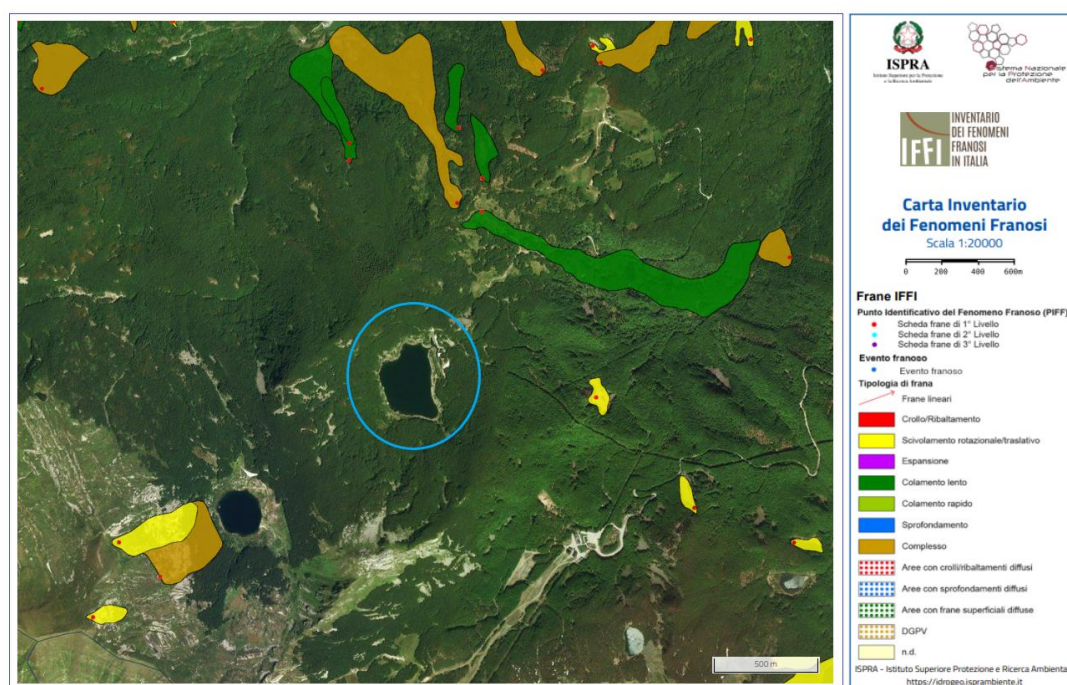


Figura 5.4 Stralcio del Progetto IFFI con ubicazione delle frane ed i fenomeni di instabilità dei versanti censiti nell'area del bacino di Ballano. Lo sbarramento è indicato dal cerchio Azzurro

6. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE E GEOMECCANICHE

Per quanto riguarda i detriti di falda ed i depositi glaciali e periglaciali che caratterizzano rispettivamente il contesto geologico nella porzione nord-occidentale e sud-orientale dello sbarramento, si evidenziano delle peculiarità di comportamento geotecnico che li portano ad essere caratterizzati all'interno di un'unica unità dalle caratteristiche geotecniche costanti. In particolare, tali formazioni detritiche di materiale eterogeneo ed eterometrico presentano una prevalente componente ghiaiosa di natura arenacea prevalente ed immersa in matrice sabbioso-limosa.

Nel Volume Geotecnico Significativo i depositi detritici e glaciali sono stati ritenuti omogenei in termini di comportamento meccanico e **classificati e caratterizzati come una terra nel contesto di un'unica unità**, mettendo a sistema le caratteristiche individuate in foro e in laboratorio geotecnico durante e al seguito dell'esecuzione dei sondaggi geognostici, con i risultati derivanti dalle indagini geofisiche di superficie, utili per poter avere una visione d'insieme del sito riuscendo così a espandere l'informazione puntuale dei campioni e lineare dei sondaggi, fino a portarla alla scala areale dell'intera fondazione.

Il **comportamento geotecnico dei terreni** presenti a diretto contatto con l'estrema porzione occidentale del corpo diga è stato definito mettendo a sistema le caratteristiche desunte dalle campagne di indagini in sito del 2003 e del 2008-2009, con le caratteristiche composizionali e meccaniche che è stato possibile derivare dall'analisi delle prove di laboratorio condotte nel contesto delle stesse indagini, utili per poter avere una visione d'insieme del sito riuscendo così a espandere le informazioni derivanti dalle descrizioni dei sondaggi geognostici e dei rilievi geologici realizzati, fino a portarla alla scala areale dell'intero sbarramento. Tali informazioni sono state utilizzate come base per un'attenta ricerca di parametri da associare ai terreni in base a quanto disponibile nella letteratura scientifica.

Per la classificazione geologico-tecnica dei terreni è stato adottato il sistema AGI (Associazione Geotecnica Italiana, 1977) che propone una serie di classi granulometriche basate sul diametro delle particelle espresso in millimetri. Ciò garantisce di prevedere in prima approssimazione quale sarà il comportamento reologico di un terreno e quali le sue caratteristiche, in funzione della propria appartenenza a un gruppo.

Il **comportamento geomeccanico dell'intero ammasso di fondazione** costituito dalle alternanze arenaceo-pelitiche della Formazione del Macigno è stato definito in accordo con le indicazioni e le metodologie fornite dai principali Autori. Più precisamente, sono state considerate sia le caratteristiche della roccia intatta che le peculiarità delle discontinuità dell'ammasso (Barton & Choubey, 1977; Hoek & Brown, 1980; De Vallejo, 2004 e riferimenti all'interno; De Vallejo & Ferrer, 2011 e riferimenti all'interno; Bruno, 2012 e riferimenti all'interno).

In una fase preliminare dello studio geomeccanico dell'ammasso, è stata condotta una ricerca bibliografica su studi a carattere geologico-tecnico e sulla letteratura scientifica, basandosi su unità geologiche ed ammassi simili a quello analizzato.

Alcune delle caratteristiche dell'ammasso roccioso in esame sono state parallelamente valutate in modo indiretto, confrontando le peculiarità dell'ammasso roccioso in esame con le caratteristiche di ammassi aventi la medesima connotazione litotecnica in letteratura. Più precisamente, per la determinazione della miglior stima dei valori dei parametri fisico-meccanici da assegnare all'ammasso roccioso sono state prese in considerazione le determinazioni derivanti dalle indagini sito-specifiche condotte unitamente alle informazioni derivanti dalla letteratura tecnica.

Le prove di laboratorio sui campioni prelevati hanno consentito di caratterizzare i parametri della matrice rocciosa integra, mentre le indagini in sito – in foro e in superficie – hanno permesso la caratterizzazione d'ammasso.

In tal modo, mettendo a sistema le caratteristiche geotecniche e geomeccaniche derivate dalla letteratura scientifica con le valutazioni realizzate per i dati desunti dalle campagne di indagini disponibili e dai rilievi geomeccanici effettuati, sono stati derivati i parametri della matrice rocciosa integra e dell'ammasso roccioso.

Così, lo studio delle fonti bibliografiche e di studi geologici e geotecnici sito-specifici ha consentito di ottenere i parametri della matrice rocciosa integra, mentre, al contempo, l'analisi delle informazioni derivanti dalle citate campagne di indagini ha permesso di costruire un modello completo sullo stato di quest'ultimo. In questo modo è stato possibile derivare i parametri legati alla **resistenza della matrice rocciosa**, al **Modulo di Young**, al **coefficiente di permeabilità**, all'**angolo d'attrito equivalente** ed alla **coesione equivalente dell'ammasso**, oltre all'**orientazione delle famiglie di discontinuità** per l'eventuale individuazione di meccanismi di scorrimento, consentendo quindi una definizione delle informazioni utili al presente Progetto.

Per la classificazione geomeccanica dell'ammasso roccioso arenaceo-pelitico, ci si è basati sul criterio di classificazione GSI (*Geological Strength Index*) introdotto da *Hoek et al. (1992)* e sviluppato per i litotipi costituiti da alternanze in *Marinos e Hoek (2001)* e *Marinos (2019)*.

All'interno del Volume Geotecnico Significativo dell'opera sono state riconosciute, classificate e caratterizzate n. 3 unità geologico-tecniche, riferibili ai terreni detritici derivanti da fenomeni gravitativi e dall'azione glaciale ed alla successione arenaceo-pelitica della Formazione del Macigno, riportate al seguito come:

- **Unità Geotecnica 1 – Ghiaia con sabbia limosa (UG-1):** individuabile nei terreni ghiaiosi con sabbia limosa, che caratterizzano l'area dell'imposta e dell'invaso;
- **Unità Litotecnica 1 – Flysch arenaceo-pelitico da fortemente a mediamente fratturato (UL-1):** identificabile con lo spessore di ammasso roccioso flyschoidale sottostante il piano di posa dello sbarramento e presente nel VGS;
- **Unità Litotecnica 2 – Flysch arenaceo-pelitico debolmente fratturato ed alterato (UL-2):** identificabile con le torbiditi arenaceo-pelitiche a ridotta fratturazione ed alterazione che si trovano al di sotto di UL-1.

In Tabella 6.1 si riporta la matrice di correlazione tra unità stratigrafiche e unità geotecniche scaturita dall'analisi.

Tabella 6.1 Matrice di correlazione per le unità considerate all'interno del VGS

MATRICE DI CORRELAZIONE UNITÀ STRATIGRAFICHE – UNITÀ LITOTECNICHE	
Depositi detritici derivanti da fenomeni di origine gravitativa e glaciale	UG-1 = Ghiaia con sabbia limosa
Formazione del Macigno = Torbiditi arenaceo-pelitiche con granulometria da media, con intervalli pelitici, costituiti da siltiti, marne siltose ed argilliti sottili e laminati	UL-1 = Flysch arenaceo-pelitico da fortemente a mediamente fratturato
Formazione del Macigno = Torbiditi arenaceo-pelitiche con granulometria da media, con intervalli pelitici, costituiti da siltiti, marne siltose ed argilliti sottili e laminati	UL-2 = Flysch arenaceo-pelitico debolmente fratturato ed alterato

Dall'analisi dei dati geologici e geotecnici derivanti dalla letteratura geologica, dalla documentazione storica e dalle indagini geognostiche è stato possibile costruire n. 3 sezioni geotecniche interpretative della zona di imposta dell'opera: n. 2 longitudinali, con viste da monte e da valle, e n. 1 trasversale al coronamento.

Si riportano di seguito le tracce di 3 sezioni geotecniche, su base della cartografia geologica in scala 1:10'000 (Figura 6.1), realizzate longitudinalmente e trasversalmente al coronamento dell'opera. La sezione A-A' rappresenta quella longitudinale al coronamento dell'opera, con viste da monte e da valle, mentre la sezione D-3 quella trasversale (rispettivamente in Figura 6.2, Figura 6.3 e Figura 6.4).

In particolare, la sezione D-3 di Figura 6.4 rappresenta la sezione di verifica che è stata tracciata in sinistra rispetto al punto di massima altezza del corpo diga.

Nelle sezioni, la geometria dell'opera è stata ricostruita in base ai disegni disponibili ed alle indagini effettuate, così come gli spessori e l'andamento delle unità geotecniche e litotecniche è stato dedotto dai sondaggi geognostici realizzati, unitamente alle informazioni derivanti dalle prove geofisiche.

La Formazione Macigno, cui si riferiscono le unità UL-1 e UL-2 ed individuabile al di sotto dell'imposta e localmente dei depositi detritici di origine gravitativa e glaciale, presenta un generale assetto con la stratificazione principale orientata verso N-NE, come deducibile dalle indagini realizzate. In ogni caso, frequentemente le carote estratte dai sondaggi sono risultate caratterizzate da sistemi di discontinuità e fratturazione con inclinazioni medie di circa 25° rispetto all'orizzontale.

Infine, grazie alle testimonianze fornite dalle stesse indagini realizzate nell'ambito dello sbarramento, la formazione rocciosa di fondazione risulta essere caratterizzata dalla presenza di una fascia

superficiale di spessore medio compreso tra 5 e 10 metri di ammasso particolarmente fratturato ed alterato rispetto a quanto riscontrabile più in profondità.

Secondo la classificazione AGI (1977), in base alla descrizione litologica, alle indagini in sito e di laboratorio disponibili, oltre all'origine genetica, il materiale costituente UG-1 è classificabile come **ghiaia con sabbia limosa**.

All'ammasso roccioso di **UL-1** sono state attribuite la classe C di GSI (sensu Marinos & Hoek (2000; 2001)) e IV di GSI (sensu Marinos (2019)), riferite ad un ammasso con prevalente componente arenacea e con livelli pelitici con fratturazione media ed elevata, e superfici con caratteristiche "fair" per via della loro debole rugosità, medio-elevata alterazione e modesta serratura. Tali valori si ritengono associabili a un ammasso come quello descritto ed investigato dalle campagne di indagini del 2003, 2008-2009, 2020 e soprattutto da quanto è stato possibile riscontrare in sito grazie ai rilievi geomeccanici del 2003 e del 2012.

L'ammasso **UL-2** è stato caratterizzato con la classe A di GSI (sensu Marinos & Hoek (2000; 2001)) e I - II di GSI (sensu Marinos (2019)), riferite ad un ammasso con prevalente componente arenacea e con livelli pelitici con fratturazione medio-bassa, e con superfici con caratteristiche "good" per via della loro rugosità, limitata alterazione e buona serratura. Tali valori si ritengono associabili a un ammasso come quello descritto ed investigato dalle campagne di indagini del 2003, 2008-2009, 2020 e soprattutto da quanto è stato possibile riscontrare in sito grazie ai rilievi geomeccanici del 2003 e del 2012.

Tali valori si ritengono associabili ad ammassi come quelli studiati durante le indagini geognostiche e geofisiche condotte.

È stato così possibile attribuire a **UL-E1 un GSI tra 55 e 50, mentre a UL-E2 si è scelto di assegnare un GSI tra 65 e 60.**

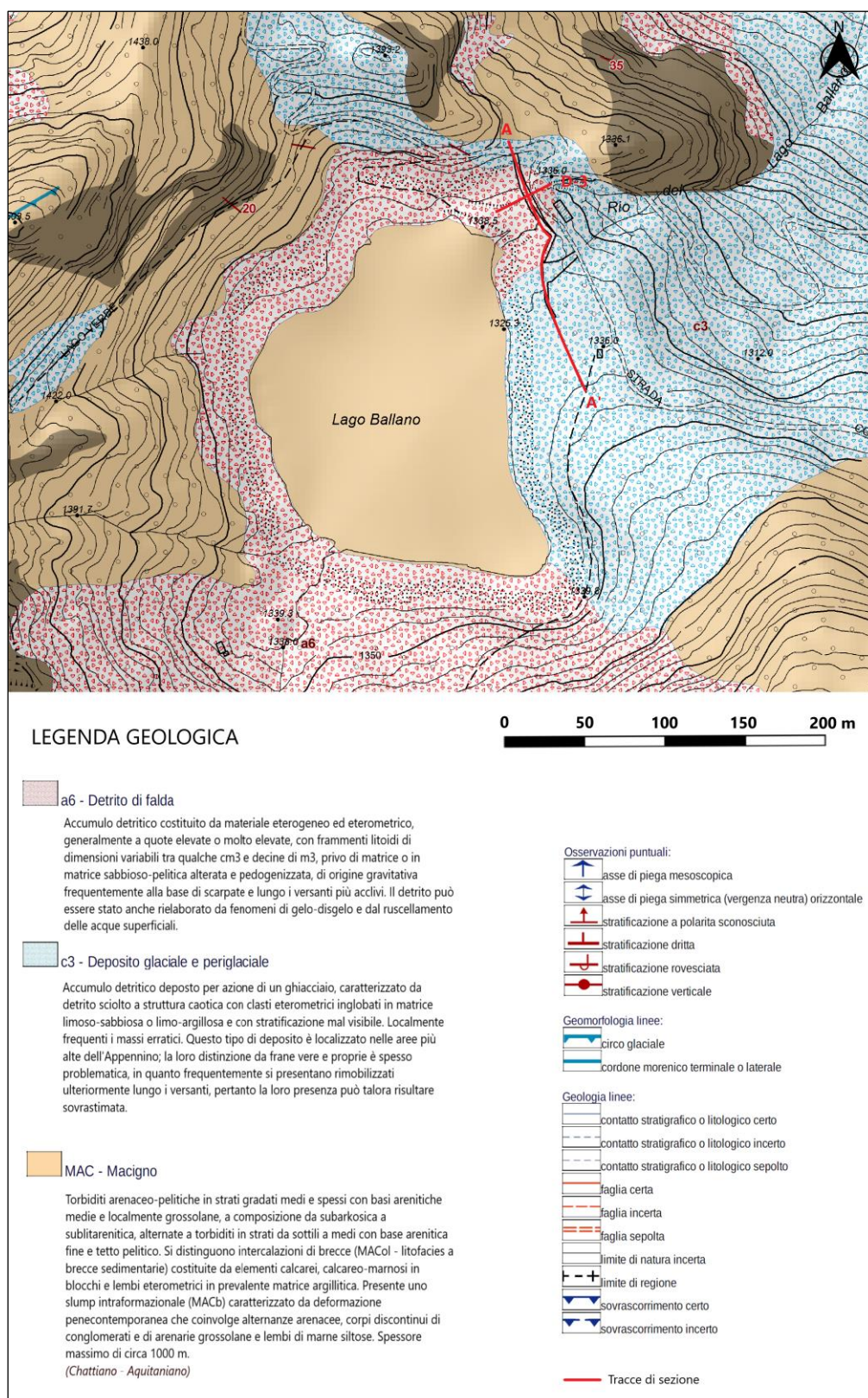


Figura 6.1 Stralcio della Carta Geologica in scala 1:10'000 della Regione Emilia-Romagna, nella quale sono riportate le tracce delle sezioni geotecniche A-A' e D-3 [234020 Valditacca – Carta Geologica dell'appennino emiliano-romagnolo, 2011]

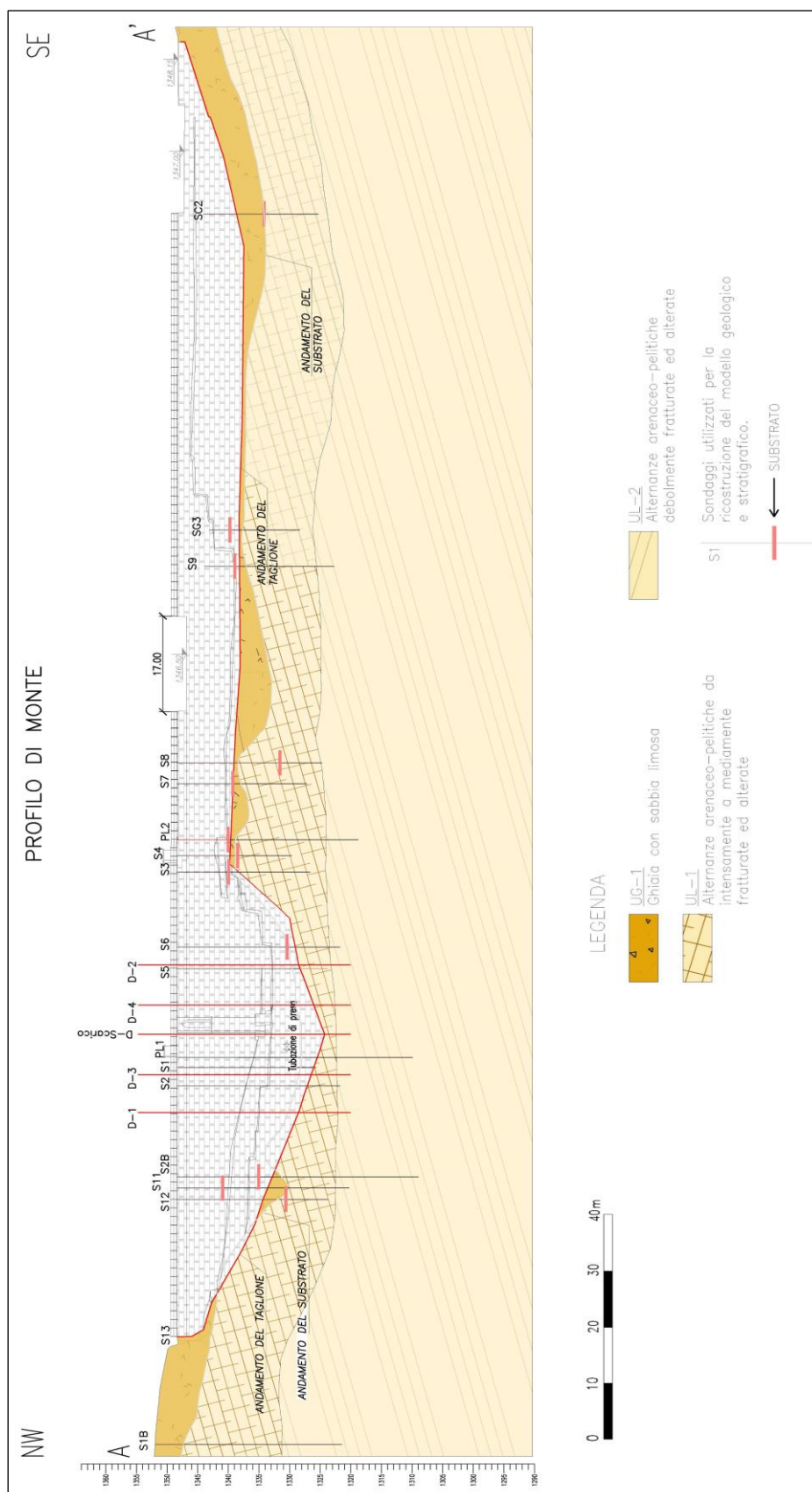


Figura 6.2 Sezione geotecnica interpretativa A-A' parallela al coronamento, vista da monte

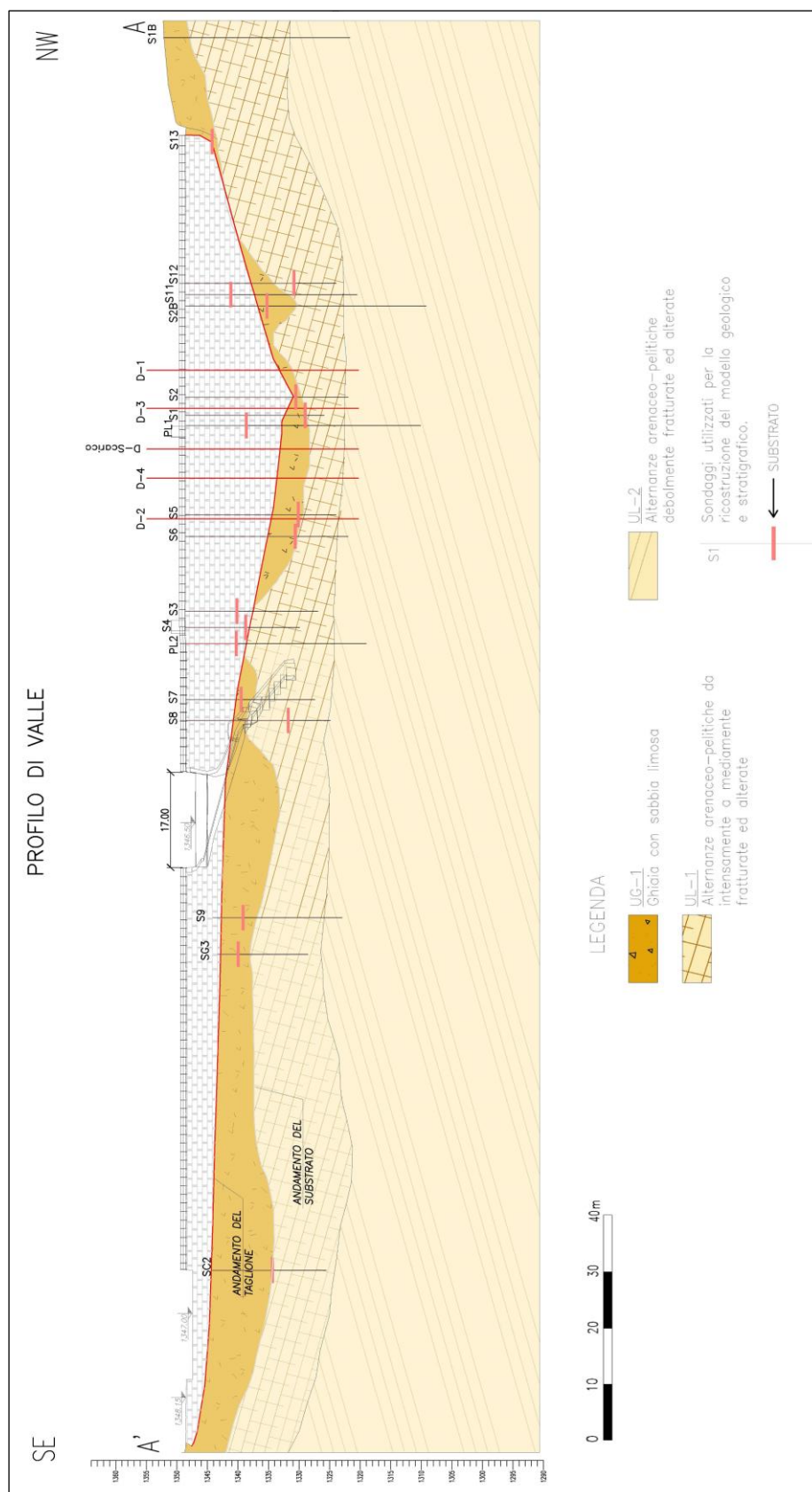


Figura 6.3 Sezione geotecnica interpretativa A-A' parallela al coronamento dell'opera, vista da valle

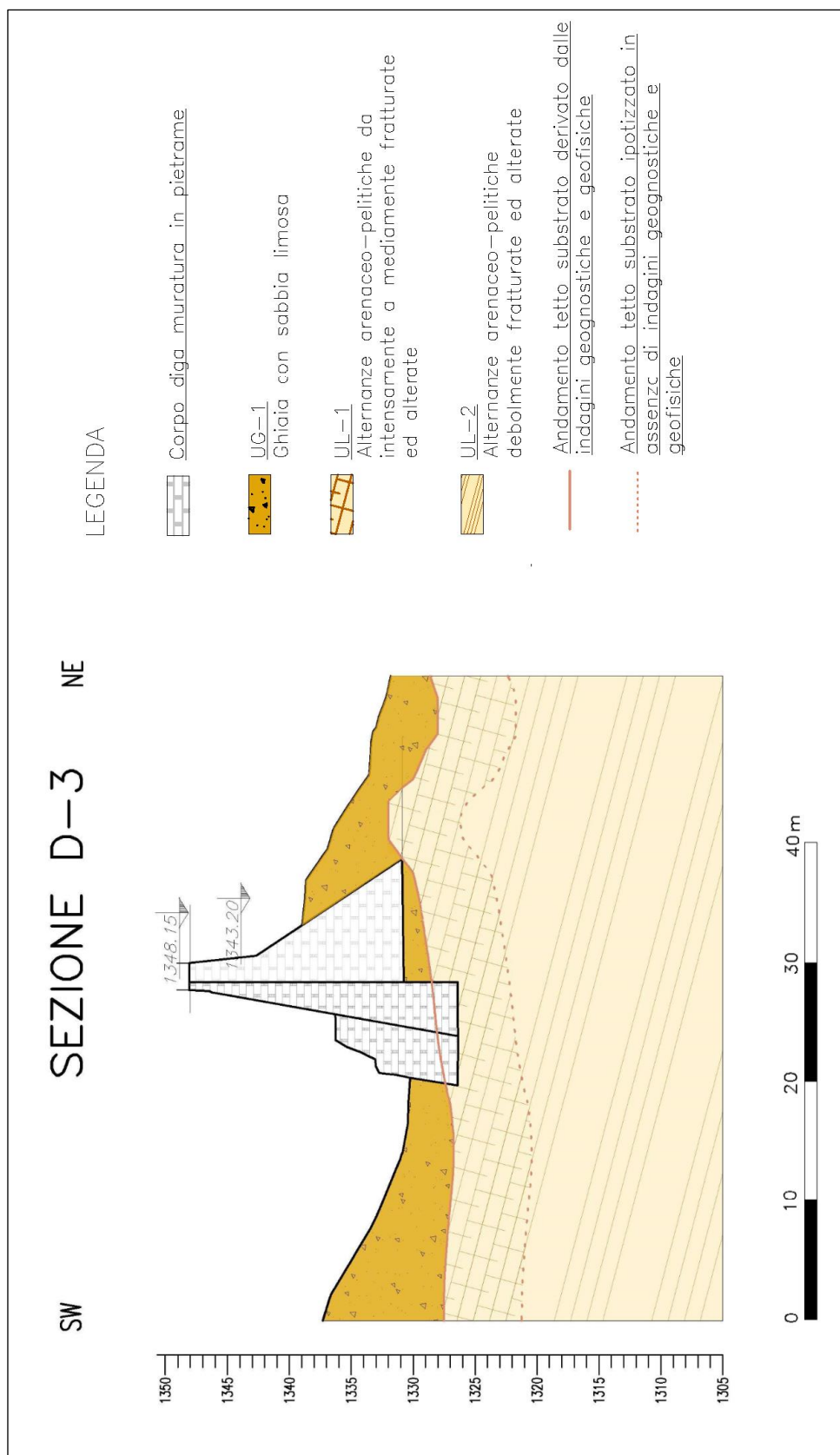


Figura 6.4 Sezione geotecnica interpretativa D-3 trasversale al coronamento dell'opera

7. VALUTAZIONI IDROLOGICHE

7.1 Premessa

Le valutazioni idrologiche riprendono lo Studio redatto nel 2004 da SWS Engineering S.p.a., per Enel, per il progetto di recupero dello sbarramento di Lago Ballano.

Obiettivo dello Studio è la determinazione della portata di piena di progetto avente un tempo di ritorno pari a 1'000 anni, così come è indicato al punto "C.1. - Portata di progetto e dispositivi di scarico" delle NTC del 2014.

Il Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili si è già pronunciato positivamente con lettera prot. 12576 del 25/05/2017 e lettera prot. 17847 del 03/08/2018 in merito a tale Studio Idrologico.

Si riportano le informazioni principali relative allo Studio, rimandando alla relazione idrologica (C732-R102) per maggiori dettagli.

7.2 Calcolo portata di piena millenaria

Il metodo utilizzato è detto razionale nella letteratura tecnica internazionale, ma noto in Italia come metodo cinematico o del ritardo di corivazione (*D. Turazza, 1880*).

Considerata la sezione di un corso d'acqua, è intuitivo pensare che le portate attraverso di essa dipendano sia dalle caratteristiche del bacino tributario sotteso dalla sezione stessa, sia da quelle dell'evento pluviometrico. Si assume, infatti, schematizzando il fenomeno, che per una precipitazione di altezza h e di intensità media $j = h/T_p$ (cioè costante nella durata T_p) ed estesa a tutto il bacino, sia la portata massima quando alla sezione considerata giungano insieme i contributi di tutte le parti che formano il bacino stesso. Questo intervallo di tempo è definito tempo di corivazione T_c ed è assunto come elemento caratteristico del bacino.

Il metodo razionale è rappresentato dalla relazione:

$$Q = \frac{c \cdot h \cdot S}{T}$$

dove c è il cosiddetto coefficiente di deflusso, S è la superficie del bacino, h è l'altezza di pioggia, ragguagliata al bacino, con durata pari a T .

Nell'applicazione del metodo razionale si attribuisce implicitamente all'evento la stessa probabilità dell'evento di pioggia e , quindi, il medesimo tempo di ritorno T_r .

7.3 Altezza di pioggia

L'altezza di pioggia h (mm) viene usualmente determinata facendo ricorso alle curve di possibilità pluviometrica.

La caratterizzazione delle precipitazioni viene effettuata sulla base dell'analisi dei dati pluviometrici per l'individuazione di relazioni tra altezza di pioggia, durata e tempo di ritorno.

Per la determinazione della portata di progetto, si fa riferimento alle precipitazioni di intensità e breve durata su intervalli di 1, 3, 6, 12 e 24 ore.

Per il calcolo della portata al colmo, si hanno a disposizione i valori delle massime precipitazioni annue per le durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore, registrate dalla stazione pluviometrica di Paduli, situata a quota 1'139.00 m s.l.m. nella valle del Fiume Enza a pochi chilometri da Lago Ballano.

Per il calcolo dell'altezza di pioggia h_p riferita ad un fissato tempo di ritorno si deve utilizzare una legge di distribuzione di probabilità di eventi rari. In particolare, è stato preso in esame la legge di Gumbel e la legge Log- normale.

7.4 Coefficiente di deflusso

Nell'applicazione della formula razionale merita particolare attenzione la valutazione del coefficiente di deflusso c che rappresenta il rapporto tra pioggia netta e pioggia totale.

Tale coefficiente dipende soprattutto dalla copertura vegetale, dalle caratteristiche del suolo e dalle relative condizioni iniziali di umidità del terreno.

7.5 Idrogramma di piena millenaria

Il tracciamento dell'idrogramma, relative alla portata con tempo di ritorno 1000 anni, alla sezione di chiusura dello sbarramento di lago Ballano, è stato effettuato tramite il software Hidros, il cui funzionamento è per l'appunto basato sul metodo razionale.

Di seguito si riporta l'idrogramma di progetto (Tabella 7.1 e Figura 7.1).

$$Q_{1000} = 47 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tale valore è stato infine prudenzialmente arrotondato a **50 m³/s**.

Il valore di portata di piena di progetto con tempo di ritorno millenario considerato per il dimensionamento e la verifica dello scaricatore di superficie e del relativo canale di scarico è pari a 50 m³/s.

Tale valore, seppure "poco credibile" per bacini di superficie inferiore ad 1 km² come quello di Lago Ballano, è stato adottato in via cautelativa, in modo da avere ampio margine di sicurezza per quanto concerne il dimensionamento di un'opera importante come lo scarico di superficie dello sbarramento.

Tabella 7.1 Idrogramma di piena di lago Ballano

Tempo (h)	Q (m ³ /s)	Tempo (h)	Q (m ³ /s)
0,05	0	1,62	13,67
0,09	5,95	1,71	13,18
0,18	17,63	1,8	12,74
0,27	34,64	1,89	12,34
0,36	41,44	1,98	11,97
0,45	46,72	2,07	11,63
0,54	45,35	2,16	11,32
0,63	36,14	2,25	11,03
0,72	27,38	2,34	10,76
0,81	23,91	2,43	10,51
0,9	21,56	2,52	10,27
0,99	19,81	2,61	9,6
1,08	18,42	2,7	8,22
1,17	17,29	2,79	5,98
1,26	16,35	2,88	3,91
1,35	15,54	2,97	1,96
1,44	14,84	3,06	0,53
1,53	14,22	3,15	0

Idrogramma di piena Tr = 1000 anni

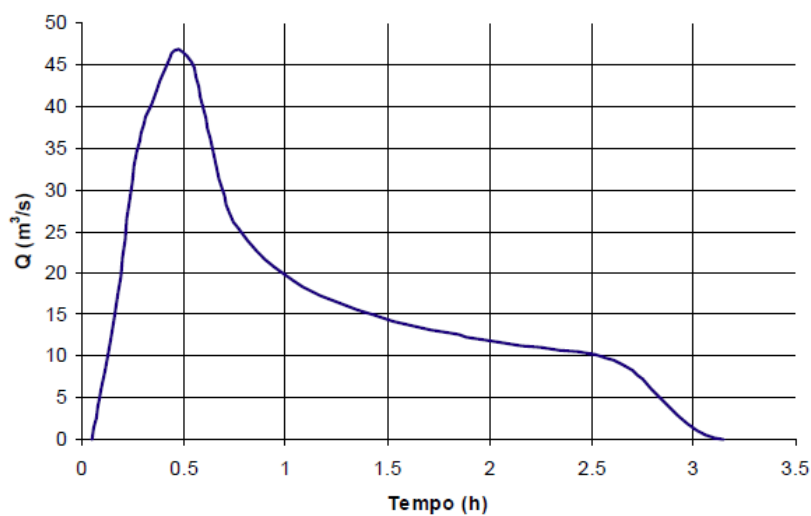


Figura 7.1 Idrogramma di piena di lago Ballano

7.6 Piene con tempi di ritorno inferiori alla millenaria

Sono stati calcolati anche i tempi di ritorno delle piene di tempo di ritorno inferiore alla millenaria, come prescritto.

Tempo di ritorno [anni]	Q [m ³ /s]
50	28
100	31,5
200	35
500	41

Sulla base di questi valori si è anche provveduto a computare il flusso idrico nella rapida dello sfioratore. Come prevedibile la rapida funziona perfettamente anche a portate inferiori a quella di progetto. Interessante notare (vedere calcoli nella relazione idraulica) che il flusso idrico si mantiene elevato anche per le portate di picco inferiori, segno che il comportamento idraulico dipende maggiormente dalla pendenza del canale che non dalla portata.

7.7 Piena che annulla il franco

Il calcolo della piena che annulla il franco è previsto nella norma per valutare quei casi in cui è ragionevole l'evento che il coronamento possa essere superato dal picco di una piena superiore a quella di progetto. Questo è particolarmente importante per le dighe in materiali sciolti, che infatti vengono progettate per eventi di 3'000 anni di tempo di ritorno.

La stima è stata effettuata anche per la diga di Ballano. Con un tirante idrico di 8,2 metri la piena estrapolata con le formule utilizzate per il calcolo del picco millenario, si ottiene una portata di 218,6 m³/s.

I calcoli sono minutamente riportati nella relazione idraulica.

A questo picco corrisponde un tempo di ritorno di 34,9 miliardi di anni. Quindi le probabilità che l'evento si verifichi sono assai remote.

8. PROGETTO DI RECUPERO

8.1 Premessa

La diga di Ballano attualmente risulta sostanzialmente fuori esercizio a causa della limitazione del livello d'invaso alla quota di 1330.00 m s.l.m. (Par. 3.3). La limitazione è stata imposta dalle autorità di vigilanza per le rilevanti problematiche di sicurezza. Questo risultano essere connesse: alle originarie o progressive carenze riscontrate nell'impostazione progettuale, nel progressivo deterioramento dei materiali costituenti la struttura ed al contesto ambientale e territoriale di cui fa parte l'opera (geologia e sismicità).

Il presente progetto definitivo **di miglioramento sismico** e di recupero della diga di Lago Ballano ha come scopo principale il massimo recupero di volume di risorsa idrica, contestualmente alle caratteristiche del territorio (geologia, sismicità e pregio ambientale) e al rispetto delle più recenti normative di sicurezza di settore (strutturale e idraulica).

Per perseguire lo scopo è stato necessario sviluppare il progetto raggiungendo anche i seguenti obiettivi:

1. garantire la sicurezza strutturale in ogni possibile condizione, mediante:
 - adeguamento e consolidamento dell'opera,
 - miglioramento delle caratteristiche dei materiali e degli impianti;
 - riduzione delle sollecitazioni (iniezioni di impermeabilizzazione, schermo di drenaggio, ecc.),
2. assicurare la sicurezza dal punto di vista idraulico in ogni possibile condizione, tramite l'adeguamento degli organi di scarico;
3. ottenere, in territori non sempre facilmente e velocemente raggiungibili, un efficientamento degli interventi del personale e delle manutenzioni (modalità di scarico con sfioratori a superficie libera, ecc.);
4. mantenere operative le derivazioni in modo da salvaguardare le concessioni esistenti;
5. rispettare la risorsa ed il contesto naturale e paesaggistico, mediante idonee modalità realizzative degli interventi;
6. garantire un corretto inserimento ambientale;
7. determinare condizioni favorevoli per futuri eventuali sviluppi di fruizione turistica.

I principali interventi previsti dal presente progetto (Figura 8.1), che verranno descritti nei capitoli successivi, sono i seguenti:

- parziale demolizione della diga principale e dell'argine secondario con riduzione dell'altezza della diga;
- costruzione di un nuovo paramento di monte e di un nuovo piede di monte;
- realizzazione di uno schermo di iniezioni di impermeabilizzazione in fondazione e di uno schermo di drenaggio (in fondazione e nel corpo diga);
- adeguamento dello scarico di superficie;
- demolizione dello scarico di superficie ausiliario;

- demolizione della torre di manovra e adeguamento dello scarico di fondo.
- nuovo sistema di monitoraggio.

Quanto previsto non modifica il comportamento strutturale dell'opera, che rimane quello di una diga a gravità. Pertanto, gli interventi in progetto non ricadono nell'obbligo normativo di eseguire l'adeguamento sismico (NTD14, Par. H.2.1).

In seguito agli interventi previsti dal presente progetto definitivo, la diga risulterà avere un'altezza pari a 9,70 m e un volume utile di regolazione pari a 0,60 Mm³.

Tali caratteristiche comporteranno la riclassificazione dell'opera a "diga di competenza regionale" (MinLLPP95) e a "diga di dimensioni contenute". Lo sbarramento ricadrà ancora nella categoria delle "dighe di importanza strategica" in virtù del suo utilizzo idroelettrico prevalente (NTD14, Par. C.7.7.2).

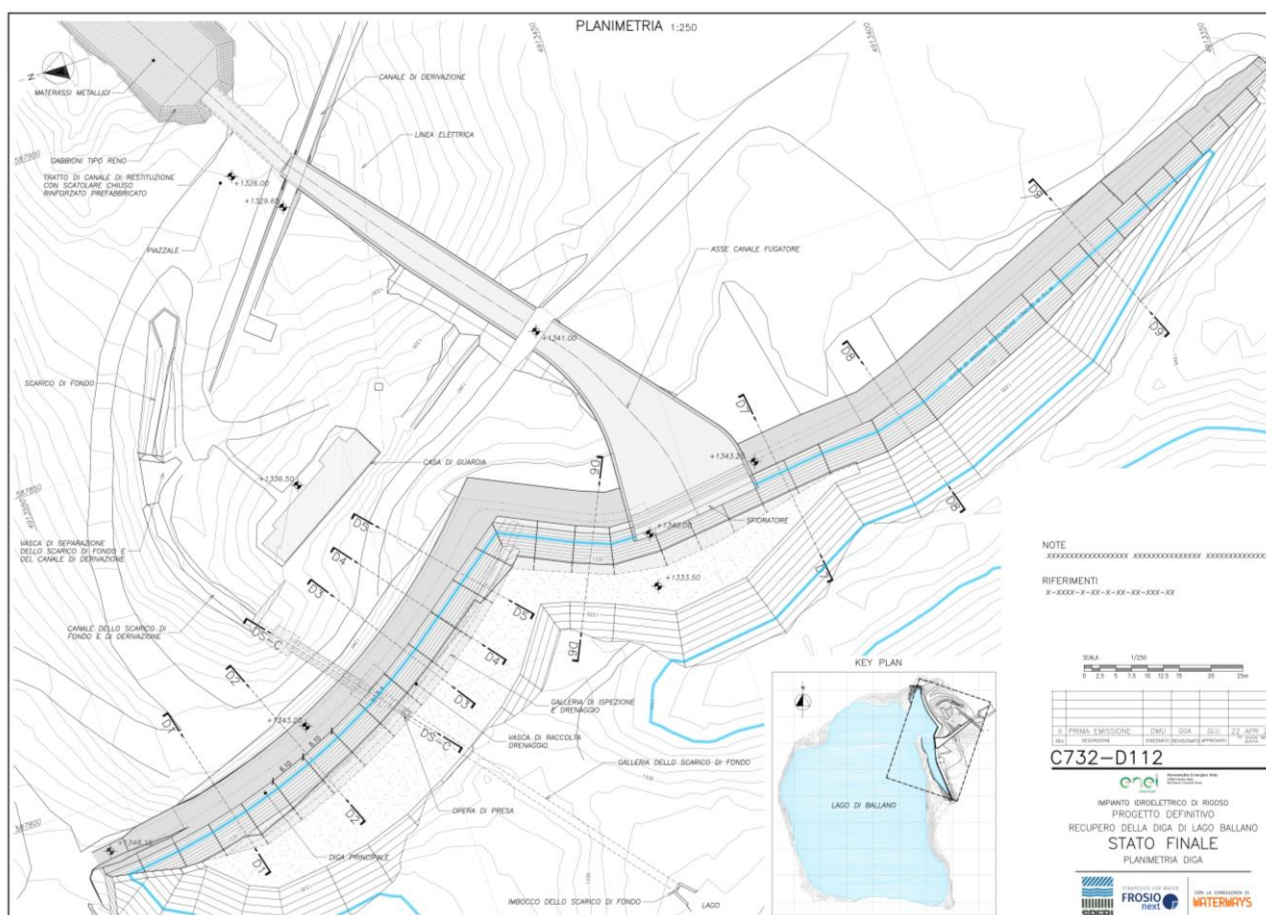


Figura 8.1 Planimetria dello stato finale

Tabella 8.1 Caratteristiche principali della diga nello stato finale di progetto

Andamento planimetrico	Leggermente arcuato
Altezza della diga (L.584/94)	9,70 m
Sviluppo del coronamento	85 m + 150 m
Quota del coronamento	1'343,20 m s.l.m.
Quota di massimo invaso	1'341,20 m s.l.m.
Quota massima di regolazione	1'340,00 m s.l.m.
Quota della soglia di derivazione / scarico di fondo	1'333,00 m s.l.m.
Franco	2,00 m
Franco netto	1,52 m
Volume totale d'invaso	0,85 Mm ³
Volume utile di regolazione	0,60 Mm ³

8.2 Corpo diga

Lo stato finale della diga previsto dal presente progetto è mostrato nelle immagini da Figura 8.2 a Figura 8.4.

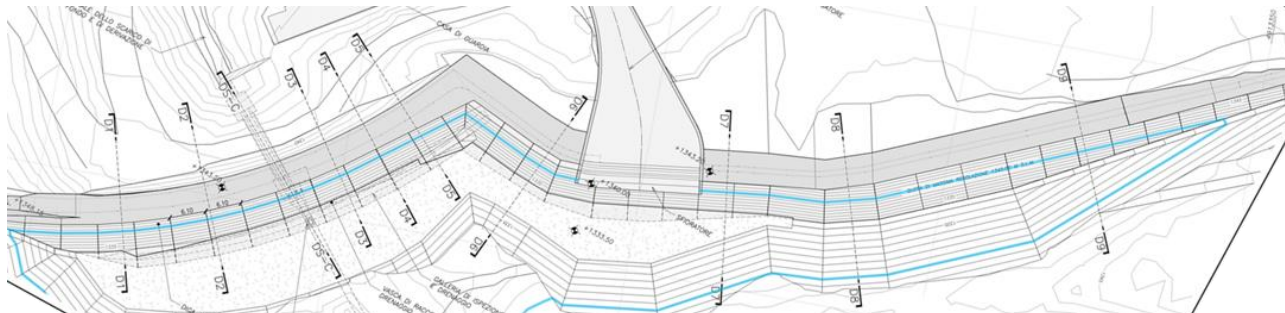


Figura 8.2 Planimetria della diga

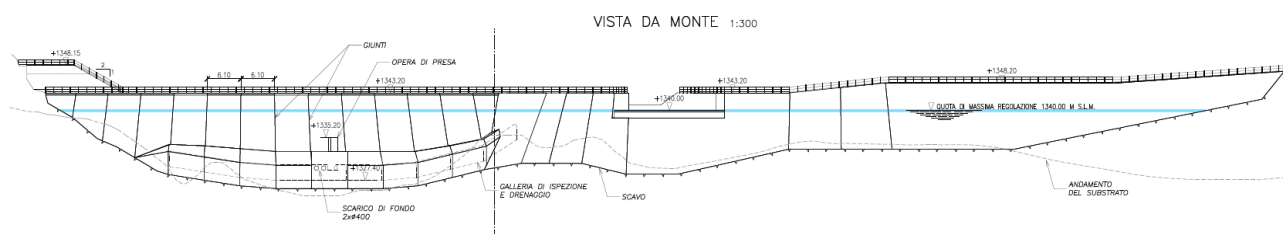


Figura 8.3 Vista da monte della diga

SEZIONE D3 1:200

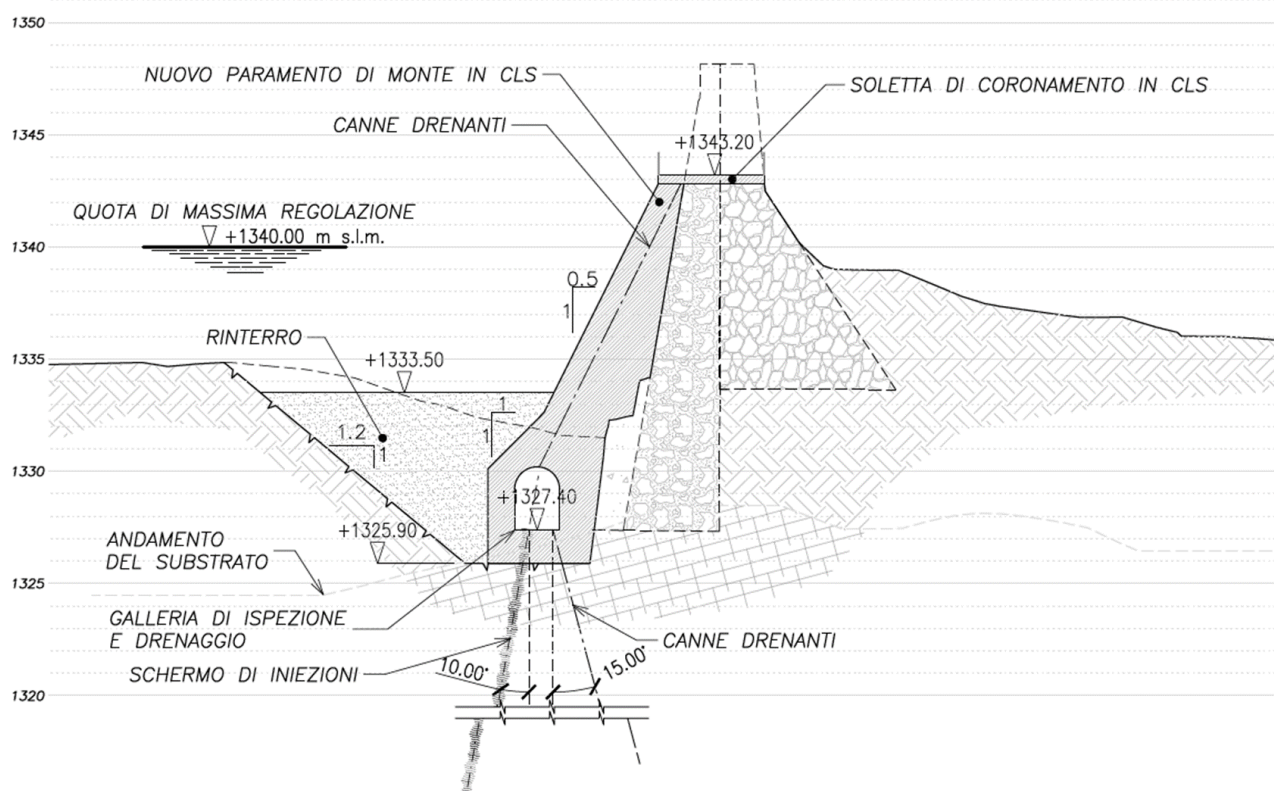


Figura 8.4 Sezione trasversale della diga

Il principale intervento previsto per il corpo diga è la sua **parziale demolizione** in modo da fissare una nuova quota di coronamento pari a 1'343,20 m s.l.m. Questa permetterà di raggiungere l'obiettivo principale del recupero della capacità d'invaso fino alla nuova quota di massima regolazione pari a 1'343,20 m s.l.m., garantendo un adeguato franco idraulico rispetto alla conseguente nuova quota di massimo invaso pari a 1'341,20 m s.l.m. (Par. 8.3).

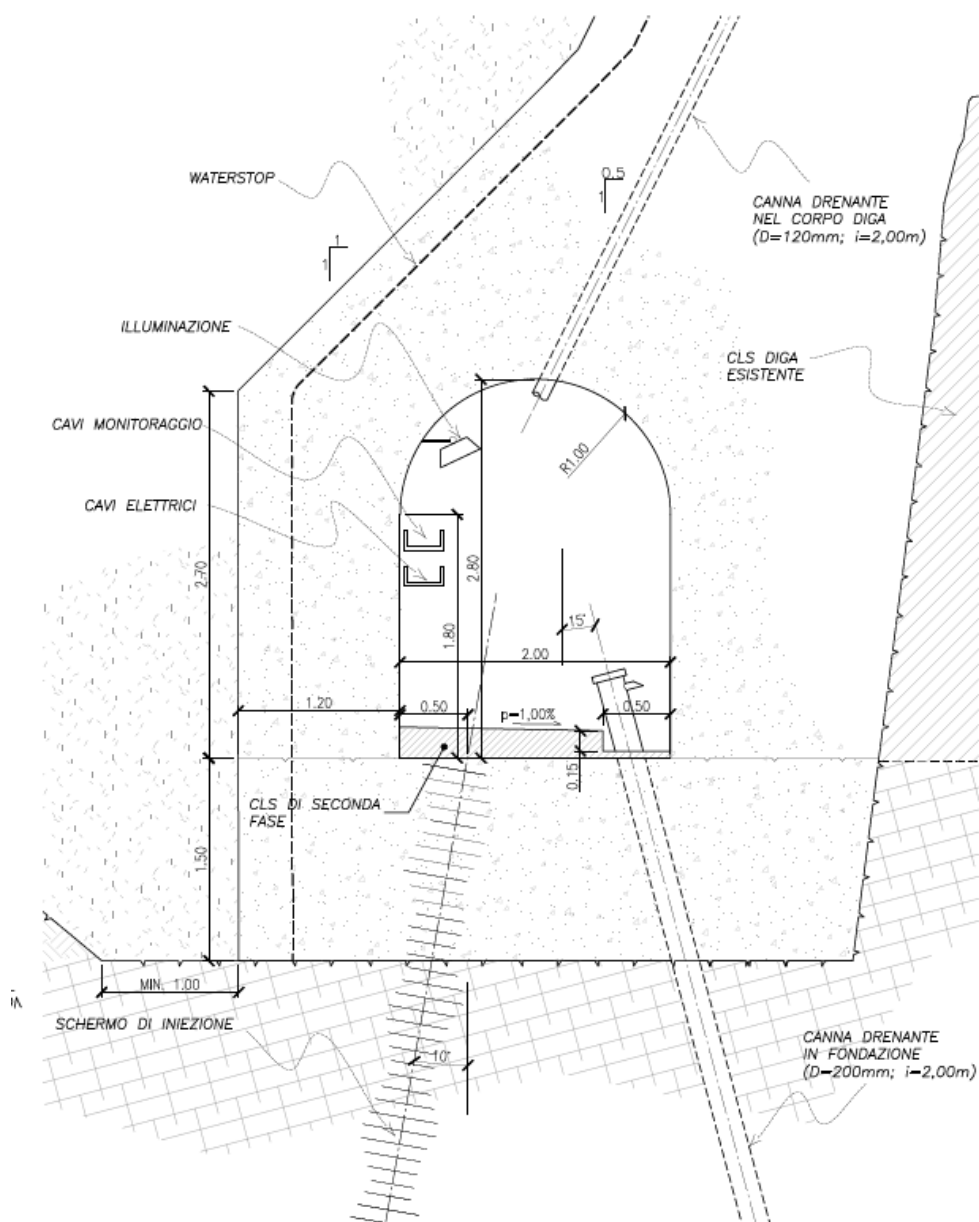
Sul **nuovo coronamento** della diga verrà realizzata una soletta in calcestruzzo per evitare la percolazione delle acque meteoriche all'interno della massa muraria.

Il materiale di risulta delle demolizioni della diga verrà impiegato per la produzione del calcestruzzo necessario alla costruzione del **nuovo paramento di monte**. Questo permetterà di garantire la tenuta idraulica del corpo diga, che storicamente è stata sempre problematica. Il nuovo paramento di monte in calcestruzzo verrà realizzato previa demolizione dell'attuale rivestimento ammalorato in gunite. E' prevista la realizzazione di giunti di contrazione con interasse pari a circa 6.0 m. La tenuta idraulica dei giunti verrà garantita da un *waterstop*.

Il nuovo paramento di monte si interesserà sul **nuovo piede di monte** in calcestruzzo. Questo verrà costruito in seguito agli scavi al piede di monte, in modo da interessare direttamente la roccia di fondazione e in modo da svolgere anche il compito di taglione, garantendo la tenuta idraulica della fondazione, che risulta essere un altro problema storico dello sbarramento. Per il nuovo piede di monte, in analogia al nuovo paramento, è prevista la presenza di giunti di contrazione con interasse pari a circa 6,0 m e tenuta garantita da un *waterstop*.

Per gli stessi scopi appena descritti è prevista anche la realizzazione di uno **schermo di iniezioni** nella roccia di fondazione (Figura 8.5). Le iniezioni saranno eseguite con un'inclinazione pari a 10° gradi verso monte, in modo da interessare le principali famiglie di discontinuità della strato mediamente fratturato della roccia di fondazione. Per lo stesso motivo, le iniezioni saranno inclinate anche verso destra. Lo schermo è previsto fino ad una profondità tale da raggiungere lo strato di roccia più profondo, che risulta essere debolmente fratturo e meno permeabile (*Fell et al. 2014, Par. 18.2.5*). L'interasse delle iniezioni è previsto pari a 2,0 m, salvo garantire l'adeguata efficienza dell'intervento, in linea con quanto riportato in letteratura tecnica (*Fell et al. 2014, Par. 18.2.5*).

Al fine di garantire la sicurezza della diga e le sue condizioni di stabilità è prevista la realizzazione di uno **schermo di drenaggio**, sia nel corpo diga che in fondazione (Figura 8.5). Il sistema di drenaggio è previsto tramite canne drenanti con interasse pari a 2,00 e diametro pari a 120 mm nel corpo diga e 200 mm in fondazione. Tali caratteristiche sono in linea con quanto previsto dalla normativa tecnica nazionale (*NTD14, Par. D.2.2.1*). Le canne drenanti in fondazione sono spinte ad una profondità tale da interessare ogni possibile superficie di scorrimento, ragionevolmente contenuta nello strato di roccia mediamente fratturato, per almeno 6,0 m (*Fell et al. 2014, Par. 16.6.2.3*). Queste sono posizionate a valle dello schermo di iniezioni e inclinate di 10° verso valle in modo da intercettare la principale famiglia di discontinuità della roccia di fondazione. Per collettare le acque intercettate dal sistema di drenaggio è prevista la realizzazione di una **galleria ispezionabile** nel nuovo piede di monte della diga. Le dimensioni di questa gallerie permettono anche di assolvere alla possibile futura necessità di effettuare nuove iniezioni in fondazione.



Recupero della diga di Lago Ballano. Progetto definitivo. Relazione generale.

8.3 Scarico di superficie

Il nuovo scarico di superficie, da realizzare approssimativamente nella stessa posizione planimetrica dell'attuale, avrà una lunghezza di 20.00 m e soglia a quota 1'340,00 m s.l.m (Figura 8.6 e Figura 8.7). Il canale fugatore avrà termine nella vasca di dissipazione alla quota di 1'325,00 m s.l.m., con una larghezza allo sbocco di 5,00 m.

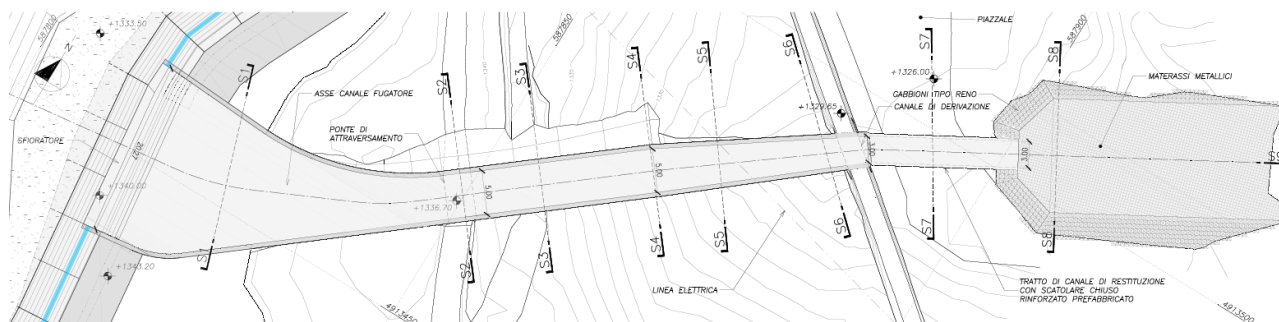


Figura 8.6 Planimetria dello scarico di superficie

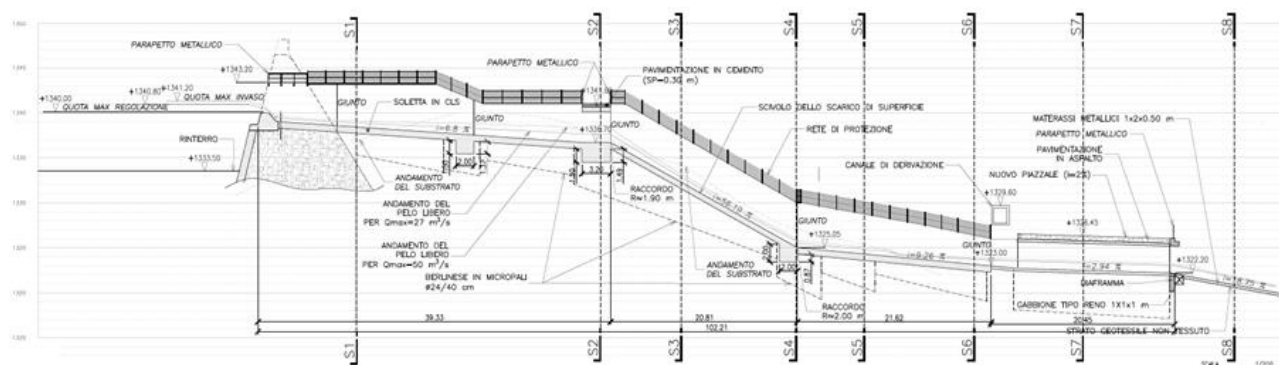


Figura 8.7 Profilo dello scarico di superficie

Il canale fugatore sarà ubicato nella posizione planimetrica approssimativamente coincidente con quella esistente, avrà uno sviluppo fino al sottopasso di circa 80 m e sarà suddiviso in due tratti a pendenza diversa (uno più dolce ed una rapida ad elevata pendenza). I muri di sponda del canale avranno un'altezza di 3.00 m, costante lungo tutto lo sviluppo.

A valle della rapida ci sarà un tratto a minore pendenza, circa 9%, lungo circa 20 m, che appropia il sottopasso del piazzale sovrastante; è previsto uno scatolare prefabbricato in calcestruzzo armato di circa 20 m di lunghezza. La sezione è di 3.00 m di larghezza per 3,00 m di altezza e sfocia nell'alveo alla quota di 1'322,40 m s.l.m.

A valle del sottopasso è prevista la restituzione al drenaggio naturale (Rio della Barca) protetta con un tratto di raccordo rivestito in gabbioni e materassi riempiti di materiali della demolizione.

La soluzione in progetto, tenuto conto delle dimensioni e della geometria dell'opera, non presenta criticità nei riguardi dell'intasamento da tronchi e ramaglie eventualmente trasportati in fase di piena.

Per ulteriori informazioni in merito alle valutazioni idrauliche riguardanti lo scarico di superficie è possibile far riferimento alla relazione idraulica (C732-R103).

8.4 Scarico di fondo e opera di presa

8.4.1 Descrizione generale

Lo scarico di fondo/opera di presa viene mantenuto pressoché come nella configurazione esistente (Figura 8.8, Figura 8.9 e Figura 8.10).

È costituito dall'opera di presa a lago e da un condotto di imbocco di lunghezza pari a circa 54 m al cui termine è presente una presa verticale ausiliaria; qui era ubicato il vecchio torrino di manovra.

A valle del condotto è presente una camera di raccordo con due inviti tronco-conici seguiti da due condotte in pressione $\varnothing 400$; i due inviti ed una parte delle condotte sono inghisati nel tampone di calcestruzzo che isola il cunicolo di accesso al corpo diga dal lago.

A valle diga le tubazioni scaricano in un canale a pelo libero che, con una diramazione ad Y, si divide in due brevi tratti rispettivamente di 4 e 6,5 m che permettono lo scarico nell'alveo a valle ed il raccordo alla derivazione verso la Centrale di Rigoso.

Lo scarico a valle sottopassa la strada di accesso alla diga tramite uno scatolare di sezione 2,50x1,25 m, che rilascia le portate in alveo. La portata esitabile dallo scarico di fondo in condizioni di valvole completamente aperte e bacino alla quota di massima regolazione, è circa pari a 2,2 m³/s.

Per ulteriori informazioni in merito alle valutazioni idrauliche riguardanti lo scarico di superficie è possibile far riferimento alla relazione idraulica (C732-R103).

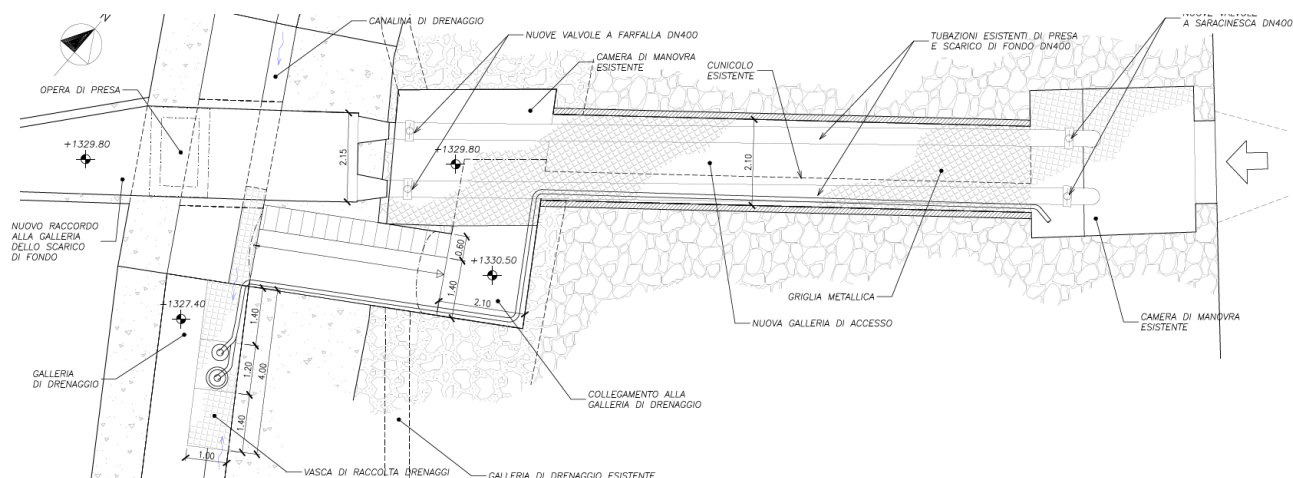


Figura 8.8 Planimetria dello scarico di fondo e opera di presa

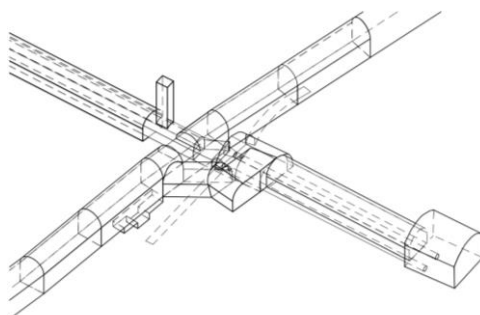


Figura 8.9 Vista 3D della galleria trasversale dello scarico di fondo, della galleria longitudinale di drenaggio e ispezione e delle camere di manovra

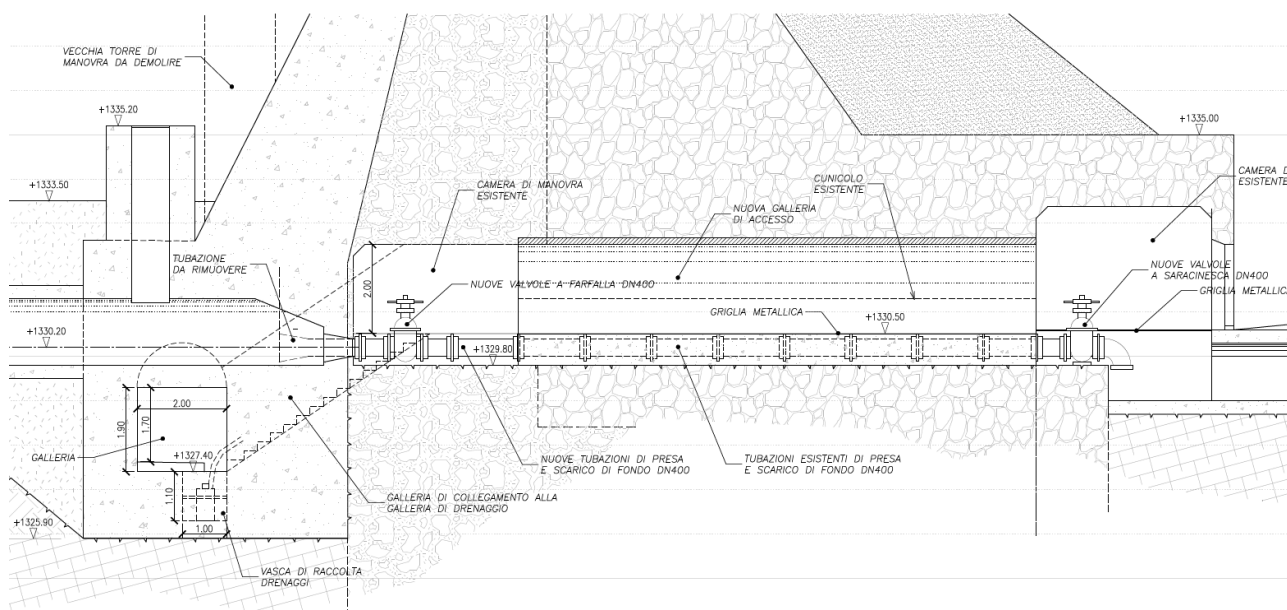


Figura 8.10 Sezione trasversale dello scarico di fondo e opera di presa

8.4.2 Organi di intercettazione

L'esistente torrino di manovra delle due paratoie piane poste a monte dello scarico di fondo viene demolito a causa della sua non conformità strutturale alle NTC 2018 (Figura 8.10); anche il sistema di intercettazione viene rimosso in quanto non si prevede la costruzione di un nuovo torrino .

Il nuovo sistema di intercettazione di monte dello scarico di fondo consiste in due valvole a farfalla DN400, provviste di by pass di apertura, installate a valle del tampone del corpo diga; le valvole sono motorizzate e chiuderanno in caso di assenza di corrente grazie a delle batterie tampone ed al nuovo gruppo elettrogeno. **Le valvole prevederanno anche l'azionamento manuale, come da norma. Le specifiche saranno definite nel progetto esecutivo insieme alle prescrizioni suggerite per l'azionamento ed i controlli periodici.**

Il recapito nella diramazione ad Y non cambia in maniera sostanziale, se non per quanto riguarda gli organi di intercettazione; le due valvole a farfalla esistenti sono sostituite con due saracinesche, in modo da garantire una regolazione alla derivazione ed allo scarico nell'alveo di valle. Le valvole sono motorizzate.

8.5 Impianti

8.5.1 Impianto elettrico

La cabina di trasformazione MT/BT da 100 kVA che alimenta l'impianto non verrà modificata.

I quadri elettrici di potenza e controllo esistenti sono installati nella casa di guardia presso lo sbarramento di Ballano; è prevista l'installazione di un nuovo quadro distribuzione, con due alimentazioni principali, una proveniente dalla cabina di trasformazione e una dal nuovo gruppo elettrogeno; la commutazione in automatico, con possibilità di operare manualmente, tra le due alimentazioni sarà gestita da PLC.

Il nuovo gruppo elettrogeno sostituirà quello attualmente presente e svolge la funzione di alimentazione di emergenza.

Dal nuovo quadro di distribuzione vengono alimentati tutti i servizi ausiliari, la sirena, gli organi di intercettazione, gli impianti luce e forza motrice ed il sistema antintrusione. In questo quadro è prevista anche la partenza di una nuova linea per alimentare lo sbarramento di Lago Verde; la nuova linea di collegamento serve anche per i segnali ed i controlli da remoto dello sbarramento di Verde.

La potenza del nuovo gruppo elettrogeno verrà determinata sulla base dei carichi presenti nello sbarramento di Lago Verde e sulle perdite che si avranno lungo la linea di alimentazione. La potenza minima di installazione è comunque prevista pari a 60 kVA.

I conduttori dell'impianto elettrico tra la casa di guardia, la diga ed il cunicolo condotta forzata (camera valvole) vengono posati in condotti cavi con tubazioni conduit interrate, in modo da avere un impianto facilmente manutenibile.

L'autonomia del gruppo elettrogeno di Lago Ballano sarà aumentata a circa 48 ore grazie alla installazione di un serbatoio da 2000 litri, realizzato con una cisterna interrata, a tenuta stagna.

Gli impianti di Ballano e di Verde potranno venire gestiti e monitorati dal sistema di telecontrollo.

8.5.2 Impianto di aggotamento dei drenaggi

L'acqua proveniente dal nuovo sistema di drenaggio della diga verrà convogliata nella nuova galleria di drenaggio al piede di monte e, conseguentemente, raccolta in una vasca prevista nel punto più depresso della galleria (Figura 8.10). All'interno della vasca è previsto un sistema di aggotamento ridondante, in modo da garantire una elevata sicurezza intrinseca: sono previste due pompe a sommersione.

La vasca ha le seguenti caratteristiche:

- 4 m di larghezza longitudinale rispetto allo sviluppo del cunicolo;
- 1 m di larghezza trasversale rispetto allo sviluppo del cunicolo;
- 0,5 m di altezza utile di accumulo;
- 0,1 m di franco.

La vasca garantisce un volume utile sufficiente ad accumulare la portata dei drenaggi affinché il sistema di aggotamento non debba funzionare in continuo. Le pompe verranno programmate per un funzionamento in alternata e l'attacco/stacco è gestito da dei galleggianti. Il numero di attacchi e stacchi delle pompe è compatibile col tipo di pompa adottato.

Le pompe sono installate in un vano apposito, ribassato rispetto al fondo della vasca, in modo da garantire la sommergenza e limitare il volume di accumulo dei drenaggi. La vasca ha un fondo inclinato verso questo vano.

La tubazione di mandata DN65 della singola pompa è in PEAD ed è installata sulla parete del cunicolo di accesso al corpo diga; i drenaggi così emunti sono scaricati nella diramazione ad Y dello scarico di fondo.

Il volume dei drenaggi può essere misurato sulla base della portata scaricata dalle due pompe.

8.5.3 Impianto di illuminazione

L'impianto di illuminazione qui riportato è una proposta, definibile nelle fasi successive anche a valle di confronti con l'Ente Parco.

L'impianto di illuminazione della diga e delle pertinenze comprende il coronamento della diga, l'imbocco dello scarico di superficie, la rapida, il primo tratto dell'alveo naturale sistemato, la casa di guardia e i camminamenti fra questa e la diga, la camera valvole e i cunicoli interni al corpo diga.

L'illuminazione esterna avverrà mediante armature stradali con lampade da almeno 150 W, installate su pali in acciaio alti 6 m, muniti alla base di pozzetti ispezionabili; invece, l'illuminazione del canale di scarico è installata sul parapetto di guardia.

La camera valvole ed i cunicoli interni al corpo diga saranno illuminati in bassa tensione, con plafoniere e lampade da max 40 W.

8.5.4 Impianto temporaneo di frantumazione e recupero materiale da demolizione

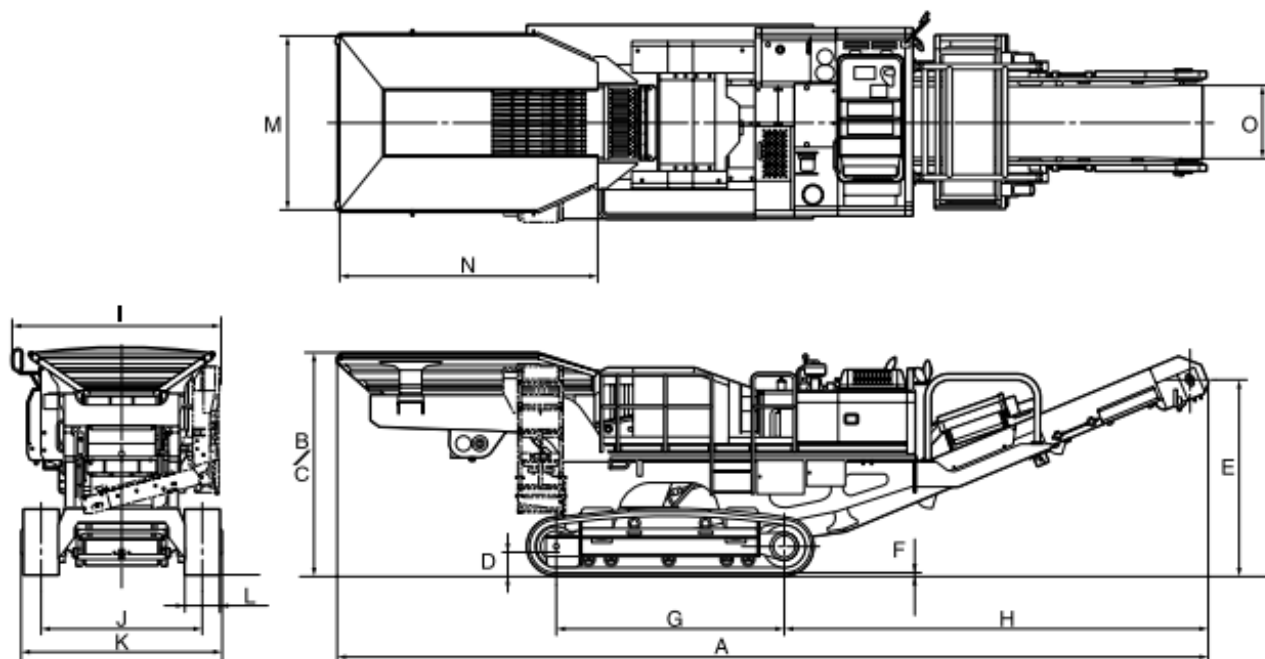
Il materiale inerte risultante dalla demolizione viene stoccato in appositi depositi temporanei; tale materiale viene sottoposto ad una frantumazione meccanica ed a una successiva vagliatura per ricavare gli inerti necessari al riempimento dei gabbioni e dei materassi del recapito nell'alveo naturale del canale di scarico e al confezionamento dei calcestruzzi.

L'impianto di frantumazione è previsto per le fasi di cantiere e sarà mobile; in questa fase ci si è orientati verso un frantoio tipo Komatsu. In Tabella 8.2 e Figura 8.11 si riportano le principali caratteristiche, sia di funzionamento che dimensionali.

Tabella 8.2 Caratteristiche del frantoio di tipo Komatsu

CARATTERISTICHE	DESCRIZIONE
Tipo di frantoio	Frantoio a mascelle, che garantisce la più alta capacità di frantumazione, oltre che una grande facilità di periodica manutenzione, soprattutto in caso di intasamento.
Capacità oraria (m ³ /h di materiale frantumato)	In base al quantitativo di materiale da avviare a frantumazione ed al tempo in cui saranno eseguite le operazioni, si prevede una capacità oraria di frantumazione di 8 m ³ /h: questa è facilmente garantita anche da macchine di dimensioni ridotte, come questa.

CARATTERISTICHE	DESCRIZIONE
Tramoggia di carico	Le dimensioni della tramoggia di carico (2500 x 3700 mm) sono tali da poter accogliere anche materiale frantumato di grandi dimensioni: non occorre quindi approntare, dopo la demolizione, dei processi preliminari di frantumazione, limitando in questo senso il numero delle operazioni nell'area di cantiere. Questa inoltre è accessibile da tre lati per il caricamento del materiale, rendendo ancora più snella questa operazione.
Sistema di vagliatura	L'alimentatore a vaglio vibrante spinge il materiale verso l'alto ellitticamente, in modo che lo stesso possa essere separato con la massima efficacia ed alimentando le mascelle in modo omogeneo.
Mobilità	Lo sterzo idraulico e l'elevata capacità di traslazione fanno in modo che questa sia una macchina molto facile da spostare e movimentare: infatti, per il frantoio è stato adottato lo stesso sottocarro cingolato utilizzato nei normali escavatori idraulici, eliminando in questo senso ogni problema di spostamento e di posizionamento del macchinario.
Dimensioni ed ingombri	Vedasi scheda riportata nella planimetria allegata.
Emissioni	Il frantoio mobile è conforme alle normative Euro Stage II in materia di emissioni, sia di polvere che di rumore. Si riportano nei due punti che seguono le relative specifiche ed aspetti di dettaglio.
Polveri	Sia il sistema meccanico di frantumazione che di gestione dei materiali è totalmente interno e incamiciato dal corpo della macchina; oltre a ciò, come ulteriore misura di abbattimento delle polveri, sono previste delle serie di ugelli di nebulizzazione posizionati sulla parte superiore del frantoio, che permetteranno di abbattere ulteriormente le possibili polveri del materiale in uscita dall'impianto.
Rumore	Nonostante l'elevata potenza sviluppata, il frantoio mobile è caratterizzato da un livello sonoro particolarmente basso: infatti, la rumorosità esterna dovuta al motore, nel caso di alta velocità di funzionamento e frantoio in funzione a pieno carico, è nel punto di immissione di circa 101 dB(A).



DIMENSIONI		BR380JG-1
A	Lunghezza totale	12.500 mm
B	Altezza totale	3.200 mm
C	Altezza alimentatore (lato)	3.200 mm
D	Luce libera da terra (in fase di traslazione)	300 mm
E	Altezza di scarico	2.800 mm
F	Altezza della costola	26 mm
G	Lunghezza del cingolo a terra	3.275 mm
H	Scarico dal centro ruota folle tendicingolo	6.080 mm
I	Larghezza totale	2.950 mm
J	Carreggiata	2.280 mm
K	Larghezza del sottocarro	2.815 mm
L	Larghezza dei pattini	500 mm
M	Larghezza tramoggia	2.500 mm
N	Lunghezza tramoggia	3.700 mm
O	Larghezza di scarico nastro trasportatore	1.050 mm

Figura 8.11 Esempio e dimensioni frantoio mobile tipo Komatsu

Qualora sia necessaria una fase di lavaggio degli inerti l'acqua di processo viene chiarificata e riutilizzata; gli additivi saranno ecocompatibili. Gli impianti sono installati sufficientemente lontani dallo specchio d'acqua in modo da scongiurare qualsiasi possibilità di contaminazione del lago.

8.6 Strumentazione di monitoraggio

Al fine di controllare il comportamento in esercizio dell'opera è prevista l'installazione di strumenti di monitoraggio. La rete di monitoraggio prevista è mostrata nelle immagini in Figura 8.12 e Figura 8.13.

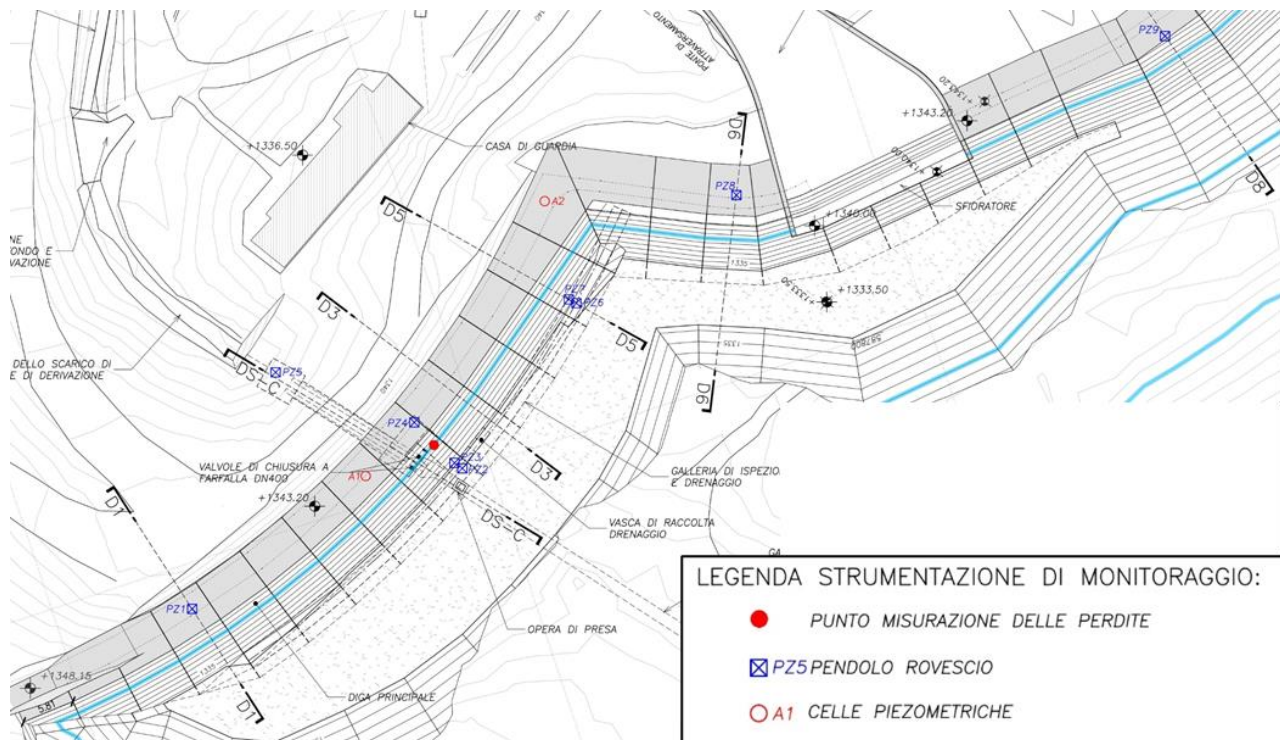


Figura 8.12 Planimetria della diga con la posizione degli strumenti di monitoraggio

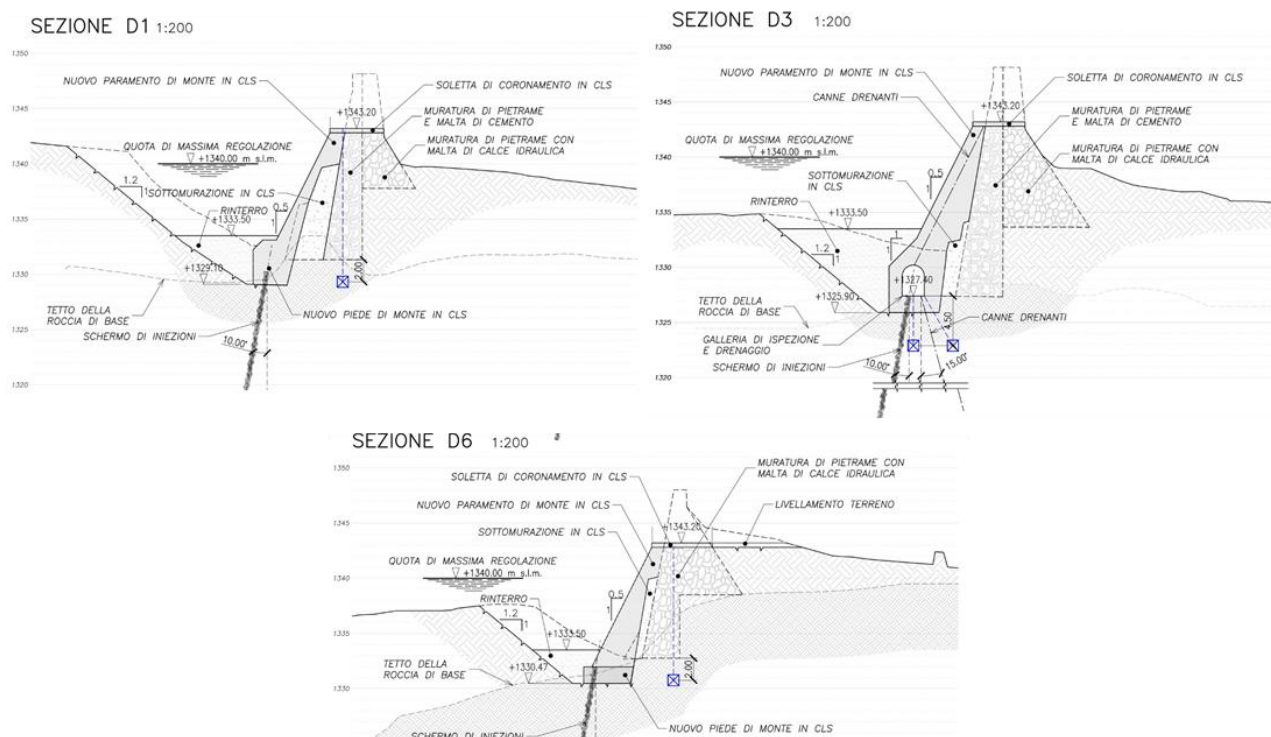


Figura 8.13 Sezioni trasversali con la posizione degli strumenti di monitoraggio

Le perdite attraverso il corpo diga e attraverso la fondazione, verranno misurate tramite un apposito stramazzo in parete sottile. Questo è previsto nel punto in cui le perdite vengono recapitate alla vasca del sistema di aggrottamento.

E' previsto il monitoraggio delle pressioni interstiziali in fondazione. Questo risulta fondamentale per valutare l'efficienza degli interventi previsti per migliorare la tenuta idraulica della fondazione (nuovo piede di monte e schermo di iniezioni) e per giustificare le ipotesi di modellazione assunte per le verifiche di sicurezza (schermo di drenaggi). Gli strumenti proposti per il monitoraggio delle sottopressioni sono piezometri a corda vibrante (Figura 8.14) (USBR 6515). La scelta è giustificata in base alle seguenti considerazioni:

- questi strumenti sono adatti ad applicazioni a lungo termine perché dotati di grande stabilità nel tempo e permettono una registrazione in continuo;
- non sono soggetti a problemi di congelamento;
- sono piezometri estremamente sensibili che forniscono una risposta rapida, utili per cogliere repentinamente le variazioni del regime delle pressioni interstiziali;
- i misuratori di questo tipo sono in grado di rilevare un valore di pressione puntuale in una zona d'interesse (come il giunto di fondazione della diga) e non fanno riferimento alla pressione media misurata in un tratto più esteso.

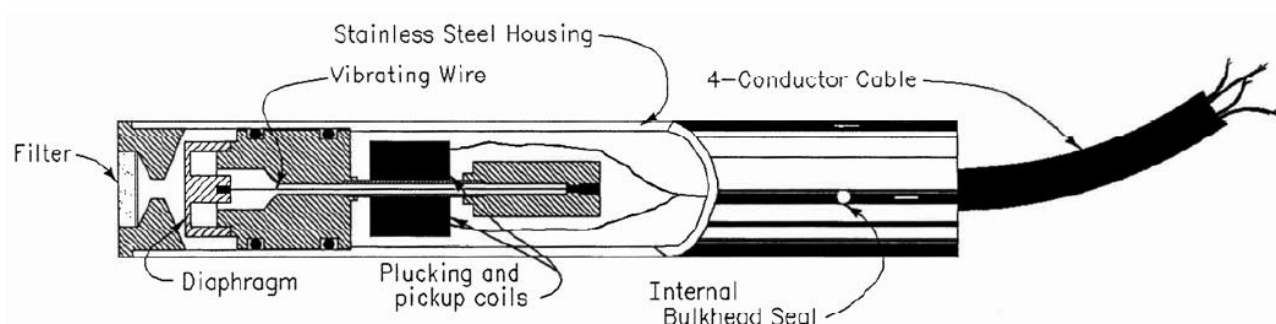


Figura 8.14 Schema di funzionamento di un piezometro a corda vibrante

Gli spostamenti planimetrici della diga sono misurati tramite i pendoli rovesci attualmente in uso. Pertanto, è previsto lo smontaggio degli strumenti durante le operazioni di cantiere e la successiva reinstallazione nelle stesse postazioni.

In conclusione, oltre a quanto esposto precedentemente, è previsto il mantenimento delle attuali procedure di monitoraggio delle grandezze idrometeorologiche (Par. 4).

8.7 Deflusso minimo vitale

Per il rilascio del DMV vengono confermate le modalità già in essere.

Sulla base delle indicazioni del vigente Piano di Tutela delle Acque della Regione Emilia Romagna (P.T.A.) è stato calcolato il DMV sul sottobacino chiuso a valle della confluenza tra il Rio della Barca, il Rio Prato Spilla e il Rio Palo, il Rio Verdaro, tutti facenti riferimento all'impianto di Rigoso che utilizza le risorse idriche del Lago Ballano e del Lago Verde, unitamente alle derivazioni del Rio Prato della Spilla, del Rio Palo e del Rio Verdaro.

A valle di tali valutazioni sono state ottenute le portate minime vitali su ogni sottobacino sotteso, per un totale complessivo di 20.09 l/s, ed è stato evidenziato che solo sul Rio di Prato Spilla esiste una situazione di deflusso superficiale idonea all'istaurarsi di ecosistemi fluviali. È stato proposto di conseguenza il rilascio totale del DMV pari a 20.1 l/s su tale corso d'acqua.

Sulla base di tali valutazioni è stato proposto di avvalersi della possibilità prevista dall'art.58, comma 6, del P.T.A., per derogare sui rilasci alle prese di Ballano, Palo e Verdaro e concentrare il rilascio alla sola presa di Prato Spilla.

9. CANTIERIZZAZIONE

9.1 Premessa

Per la cantierizzazione relativa agli interventi previsti dal presente progetto è necessario tenere in considerazione che il sito risulta essere compreso nel Parco regionale Valli del Cedra e del Parma oltre che all'interno dei SIC-ZPS IT4020020 "Crinale dell'Appennino parmense".

E' presente anche un camping turistico prossimo al piede di valle in corrispondenza della spalla destra dello sbarramento. Pertanto è necessario prevedere la cantierizzazione al fine di garantire, per quanto possibile l'accesso al sito (Figura 9.1).



Figura 9.1 Vista aerea dello sbarramento

9.2 Accesso e viabilità di cantiere

La diga è raggiungibile percorrendo la SS 655 del Passo del Lagastrello da Parma sino al comune di Monchio delle Corti, per una distanza di circa 77 km (Figura 9.2). Per giungere alla diga occorre proseguire, oltre il Passo, sino alla frazione di Trefiumi (circa 5 km). Successivamente tramite la Strada Comunale dei Laghi si raggiunge la diga di (circa 5 km).

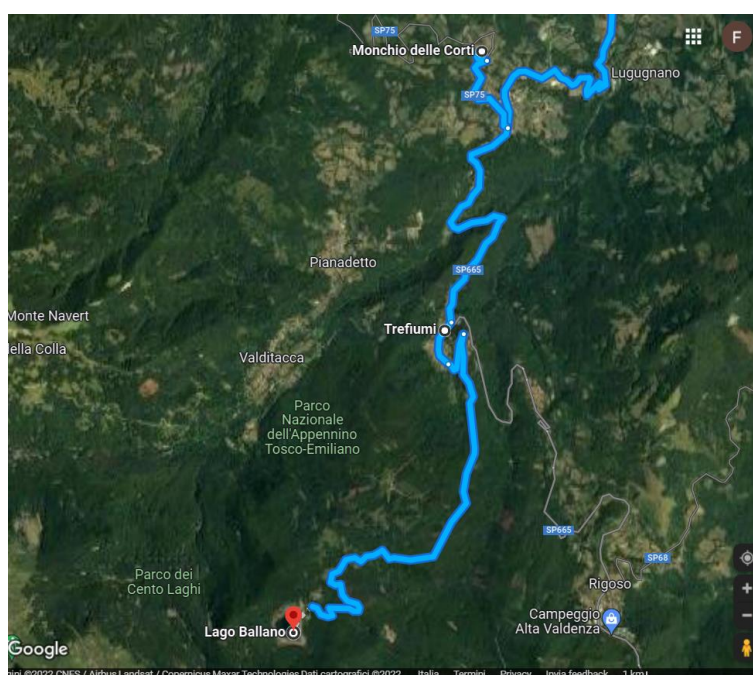
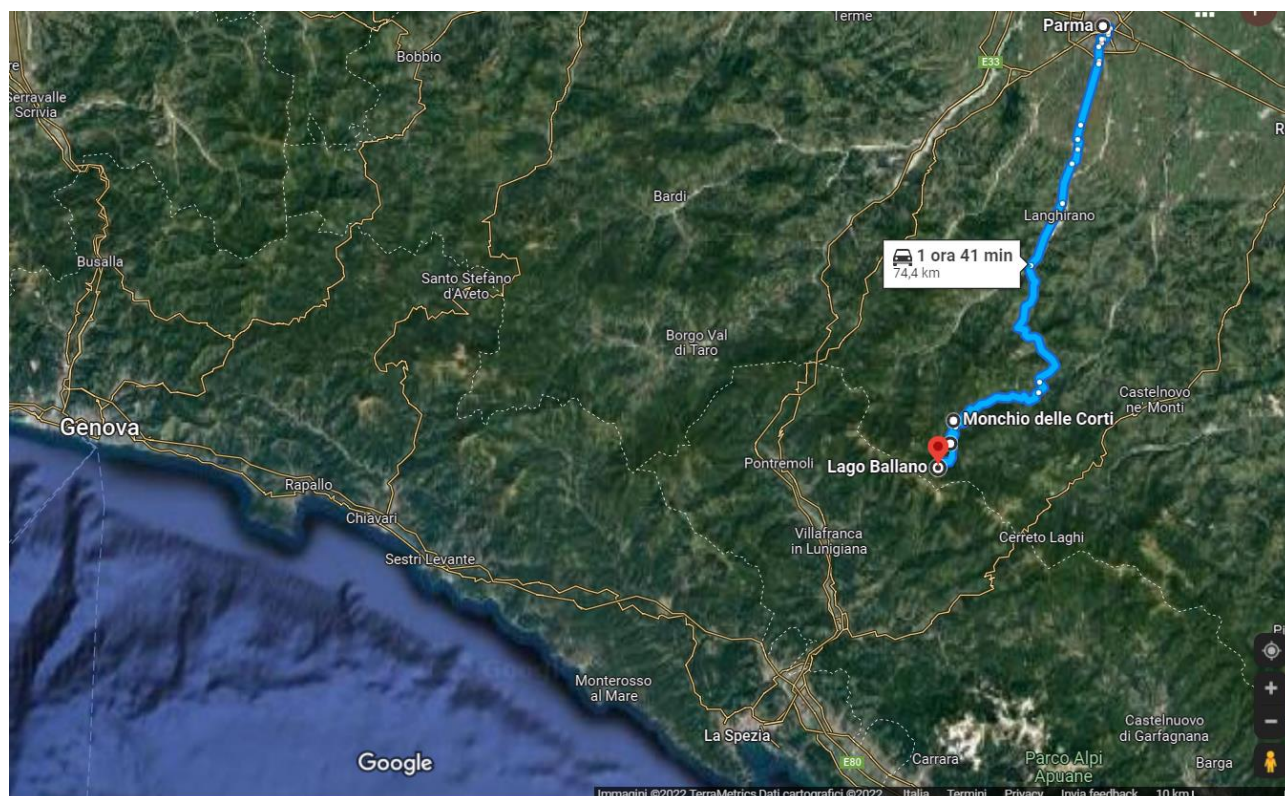


Figura 9.2 Strada per raggiungere la diga di Lago Ballano da Parma

L'accesso al cantiere a monte della diga avverrà percorrendo la pista che passa in prossimità del piede di valle della diga, prosegue limitrofa all'area attrezzata turistico-ricreativa presente sul lato destro della diga stessa e, a seguire, percorrendo l'esistente pista che scende nel bacino fino in prossimità della torre di comando delle paratoie.

In sede di progettazione esecutiva verrà elaborata una logistica di cantiere che consentirà di garantire l'accesso pedonale all'area attrezzata turistico-ricreativa durante tutta la durata dei lavori, ad eccezione di un breve periodo necessario per la realizzazione del canale fugatore. L'accesso pedonale avverrà percorrendo la pista che dal piazzale citato porta alla casa di guardia e da questo percorrendo un sentiero appositamente realizzato per mantenere separata la viabilità di cantiere con quella turistica; per sovrappassare il canale fugatore verrà posizionato un ponticello provvisorio prefabbricato in legno o metallo.

Anche la pista di accesso al Lago Verde verrà mantenuta sempre percorribile, salvo il medesimo breve periodo di chiusura necessario per la realizzazione del canale fugatore sottopassante il piazzale.

9.3 Impianti e attività di cantiere

Si prevede di realizzare il cantiere all'interno della superficie del bacino, subito a monte della diga. Il bacino è attualmente svasato a seguito della limitazione di invaso a quota 1330,00 m s.l.m., quindi garantisce una vasta disponibilità di aree per le installazioni di cantiere. Tutte i baraccamenti dovranno essere installati in aree protette da eventuali piene improvvise.

Il cantiere sarà costituito da 7/8 baracche con uso: ufficio, spogliatoio, deposito attrezzature, infermeria, bagno, mensa, oltre a due bagni

chimici da installarsi a monte e valle diga.

Il profilo del terreno dovrà essere regolarizzato nelle zone dove verranno installate le aree di lavorazione e l'eventuale impianto di betonaggio.

Le esigenze di tipo ambientale hanno comportato la necessità di contenere il movimento dei mezzi pesanti sulla strada che collega Monchio delle Corti alla diga. Pertanto, è stato previsto il riutilizzo del materiale di risulta dalle demolizioni per la produzione del calcestruzzo necessario per gli interventi oggetto del presente progetto e per il rivestimento dell'alveo a valle della diga. Per tali motivi, si prevede l'installazione di un impianto temporaneo di frantumazione con il quale il materiale demolito verrà ridotto a dimensioni idonee. La frantumazione comporterà inevitabilmente la produzione di materiale fine; perciò è necessario che le acque di lavaggio vengano filtrate da un apposito chiarificatore. Contestualmente è prevista l'installazione di un impianto di betonaggio mobile da cantiere per la produzione del calcestruzzo.

Per motivi ambientali, in analogia a quanto sopra, è previsto il riutilizzo del materiale di scavo per realizzare il rinterro del nuovo piede di monte dell'opera.

Saranno realizzati inoltre altri impianti accessori, quali:

- impianto di distribuzione dell'acqua, con prelievo dalla casa di guardia per quantità minime, oppure con pompe dal lago per quantità superiori destinate al lavaggio degli inerti frantumati o al confezionamento dei calcestruzzi;
- impianto di distribuzione di aria compressa;
- impianto di distribuzione dell'energia elettrica;
- deposito per gli idrocarburi, con apposita vasca impermeabilizzata di raccolta di eventuali sversamenti;
- impianto di lavaggio dei mezzi di cantiere.

10. INSERIMENTO AMBIENTALE

10.1 Elementi di mitigazione e compensazione in fase di cantiere

In fase di cantiere verranno adottate tutte le soluzioni atte a ridurre o eliminare gli eventuali impatti generati. Si riporta un elenco esemplificativo delle soluzioni adottate in fase di cantiere (eventualmente da integrare in funzione delle integrazioni concordate con gli Enti):

- Le piste di accesso verranno eventualmente bagnate per limitare la movimentazione di polveri; si prevede un letto di ghiaia per le piste più frequentate;
- La tipologia di frantoio mobile è stata scelta affinché limiti la dispersione di polveri e rumore;
- La tipologia di frantoio mobile è stata scelta affinché limiti il consumo idrico;
- Prima di scavi su terreni eccessivamente secchi si provvederà ad una bagnatura preliminare del suolo;
- Le superfici da demolire verranno preventivamente bagnate;
- Non si lavorerà nei periodi di riproduzione della fauna autoctona (da concordare con il Parco);
- Si adotteranno impianti fissi e macchinari a basso impatto acustico;
- I servizi igienici non scaricano su suolo bensì saranno asserviti ad una vasca Imhoff e ad un pozzo perdente ovvero i reflui verranno stoccati e successivamente trasportati a valle;
- In cantiere sarà sempre presente del materiale assorbente per limitare la dispersione di sversamenti accidentali;
- Il deposito degli idrocarburi dovrà essere posizionato lontano dal corpo idrico; la vasca impermeabilizzata dovrà essere posizionata su un piano orizzontale collegata ad una cisterna per stoccare gli eventuali sversamenti;
- L'impianto di lavaggio ruote è stato pensato utilizzando l'acqua del lago (si riempirà una cisterna fissa);
- Per limitare il numero di viaggi che devono sostenere le maestranze è stato previsto un refettorio dotato di cucina;
- Il gruppo elettrogeno sarà dotato di fondo impermeabile e stagno; la vasca impermeabilizzata dovrà essere posizionata su un piano orizzontale collegata ad una cisterna per stoccare gli eventuali sversamenti;
- I rifiuti verranno stoccati in cassoni carrabili a tenuta stagna, coperti;
- Tutti i rifiuti si porteranno a valle, esclusi quelli trattati della demolizione, che verranno impiegati per i riempimenti ed i ripristini morfologici; gli eventuali esuberanti si porteranno a valle;
- La movimentazione del materiale escavato e demolito sarà limitata in quanto si sono previste opportune aree di deposito temporaneo nei pressi delle zone di produzione;
- Gli eventuali additivi necessari alla produzione del calcestruzzo saranno individuati tra quelli a ridotto impatto ambientale;
- Tutti i composti impiegati in fase di cantiere, se dispersi nell'ambiente, saranno a basso

impatto ambientale;

- Limite della velocità dei mezzi in cantiere e nelle strade di accesso agli stessi: 20 km/h;
- Lavorare sempre all'asciutto, lontano dall'invaso, per evitare contaminazioni del corpo idrico;
- Durante i periodi nei quali la viabilità turistico – pedonale è interdetta a causa del cantiere si dovrà prevedere apposita cartellonistica con sopra riportati i sentieri alternativi;
- Gli individui vegetali secolari verranno salvaguardati e non interessati dalle attività di cantiere.

10.2 Elementi di mitigazione e compensazione post cantiere

Il principale intervento di mitigazione è stato pensato in fase progettuale e consiste nel riutilizzare completamente il materiale da demolizione in loco; questo riutilizzo, oltre ai benefici ambientali indotti dal recupero e riutilizzo di un rifiuto, comporta la diminuzione sostanziale dei viaggi effettuati dai mezzi pesanti da e verso lo sbarramento, riducendo quindi le emissioni prodotte, il rischio di investimento della fauna locale e il disagio causato ai fruitori turistici.

In questa fase non si prevedono interventi di compensazione, quali possibili inerbimenti o piantumazioni di specie autoctone o microcollettivi, in quanto nei pressi di Lago Ballano non si individuano aree idonee a tali interventi; eventuali compensazioni saranno da concordare preventivamente con l'Ente Parco.

11. CONCLUSIONI

Il presente progetto definitivo **di miglioramento sismico e** di recupero della diga di Lago Ballano supera la richiesta del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti Ufficio Tecnico per le Dighe di Milano (09.10.2015), di presentare un progetto per la dismissione della diga. Infatti, la dismissione dello sbarramento non è perseguibile in ragione del contesto ambientale di cui fa parte l'opera.

Questa versione del rapporto risulta essere la prima revisione del documento originario, effettuata in seguito all'Istruttoria della Direzione Generale Dighe (DGD) del 15/09/2022.

Questo progetto prevede una soluzione differente a quelle storicamente perseguite al fine di soddisfare le richieste del Ministero. E' stata superata l'idea di prevedere la demolizione con successiva ricostruzione dell'opera. Infatti, le valutazioni economiche e le analisi costi benefici, svolte dal Gestore negli anni passati, hanno evidenziato come la soluzione ottima sia quella che prevede la parziale demolizione dell'opera esistente e il suo conseguente declassamento. A tal scopo, storicamente, sono stati presentati al Ministero diversi progetti.

L'opera è stato oggetto di sopralluoghi di un team di esperti e di uno scrupoloso esame della documentazione esistente disponibile (storia dell'impianto, foglio di condizioni per l'esercizio e la manutenzione, documenti storici, campagne indagini passate, dati di monitoraggio, verifiche pregresse, ecc.). Il quadro conoscitivo acquisito, in particolare in merito alle criticità storiche dell'opera e allo stato attuale di conservazione della diga, ha reso necessaria la proposta di soluzioni alternative rispetto a quelle dei progetti passati. Pertanto, il presente progetto si connota come un'ottimizzazione delle soluzioni progettuali presentate in passato, al fine di migliorare le condizioni di sicurezza dell'opera.

In seguito agli interventi in oggetto, la diga risulterà avere un'altezza pari a 9,70 m e un volume d'invasi pari a 0,60 Mm³. Tali caratteristiche comporteranno il declassamento dell'opera a "diga di competenza regionale" (MinLLPP95) e a "diga di dimensioni contenute". **Lo sbarramento ricadrà ancora nella categoria delle "dighe di importanza strategica" in virtù del suo utilizzo idroelettrico prevalente (NTD14, Par. C.7.7.2).**

12. BIBLIOGRAFIA

- ANIDEL (1952). *Le dighe di ritenuta degli impianti idroelettrici italiani*. Milano 30 settembre 1952. Volume 3 n. 25. Diga del Lago Ballano. Gruppo Edison. Compagnia imprese elettriche liguri (CIELI). Impianti idroelettrici del Cedra-Enza.
- Barton, N., & Choubey, V. (1977). *The shear strength of rock joints in theory and practice*. Rock mechanics, 10(1-2), 1-54.
- Bruno, G. (2012). *Caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi per la progettazione ingegneristica*. Dario Flaccovio Editore, Palermo.
- De Vallejo, L. G. (2004). *Geoingegneria*, Pearson Education Italia S.r.l., Milano.
- De Vallejo, L. G., & Ferrer, M. (2011). *Geological engineering*. CRC Press.
- FCEM (1997). Ravaglioli U. Foglio di condizioni per l'esercizio e la manutenzione. Diga di Ballano in comune di Monchio delle Corti (PR).
- Fell R., MacGregor P., Stapledon D., Bell G. and Foster M. (2014). *Geotechnical Engineering of Dam*, 2nd Edition CRC Press/Balkema.
- Gumbel E.J. (1958). *Statistics of Extremes*. Columbia University Press, New York.
- Hoek, E., & Brown, E. T. (1980). *Underground excavations in rock*. CRC Press.
- Hoek, E., Wood, D., & Shah, S. (1992). A modified Hoek–Brown failure criterion for jointed rock masses. In *Rock Characterization: ISRM Symposium, Eurock'92, Chester, UK, 14–17 September 1992* (pp. 209-214). Thomas Telford Publishing.
- ISPRA – Mosaicatura Nazionale ISPRA (Elaborazione v. 3.0 – dicembre 2017) delle aree a pericolosità da frana dei Piani di Assetto Idrogeologico (PAI), redatti dalle autorità di Bacino Distrettuali. <https://idrogeo.isprambiente.it>
- ISPRA – PROGETTO IFFI "Inventario dei Fenomeni Franosi In Italia", in scala 1:25000.
- ISPRA – Servizio Geologico d'Italia (2009). *Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 50000. Foglio 234 Fivizzano*. Università di Pisa – Dipartimento di Scienze della Terra. https://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/234_FIVIZZANO/Foglio.html
- Marinos, V. (2019). A revised, geotechnical classification GSI system for tectonically disturbed heterogeneous rock masses, such as flysch. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 78(2), 899-912.
- Marinos, P., & Hoek, E. (2000). GSI: A geologically friendly tool for rockmass strength estimation. *ISRM international symposium – Proc. GeoEng2000 at the Int. Conf. On Geotechnical and Geological Engineering*, Melbourne, Technomic publishers, Lancaster, Pennsylvania, pp 1422–1446.
- Marinos, P., & Hoek, E. (2001). Estimating the geotechnical properties of heterogeneous rock masses such as flysch. *Bulletin of engineering geology and the environment*, 60(2), 85-92.
- Puccinelli, A., D'Amato Avanzi, G., Perilli, N. (2015). *Note illustrative del Foglio 234 Fivizzano della Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 50'000*. ISPRA, Roma.

Regione Emilia-Romagna (2011). Carta Geologica Carta Geologica dell'appennino emiliano-romagnolo, Elemento 234020 "Valditacca", a scala 1:10000.

SWS (2004). Rifacimento della diga di Lago Ballano. Relazione idrologica ed idraulica. SWS Engineering S.p.A.

USBR. Designation 6515. Procedure for using piezometers to monitor water pressure in a rock mass.