

# DISMISSIONE DELLA DIGA DI BUNNARI BASSO E PROGETTAZIONE DELLE OPERE DI SISTEMAZIONE IDRAULICA CONNESSE

## STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

MANDATARIA:

 **Lombardi**

Lombardi Ingegneria S.r.l.  
Ing. Carlo SILVESTRI

MANDANTI:

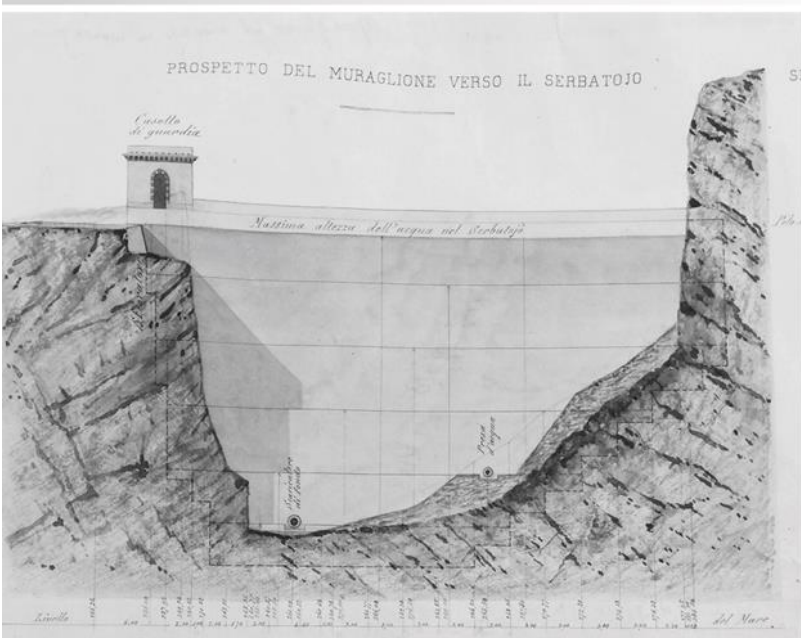
 **TECENTRAL**

 **Metassociati**  
architettura ingegneria urbanistica

 **Lombardi**

Lombardi SA Ingegneri Consulenti

Archeologo N. FADDA



## GENERALE

Relazione tecnico-illustrativa generale

2020\_0275\_002\_GEN\_R002\_0



COMUNE DI SASSARI

SETTORE LAVORI PUBBLICI E MANUTENZIONE  
DEL PATRIMONIO COMUNALE

DISMISSIONE DELLA DIGA DI BUNNARI BASSO E PROGETTAZIONE DELLE OPERE  
DI SISTEMAZIONE IDRAULICA CONNESSE

STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

0	15.10.2021	Prima emissione in bozza	Tutti	C. Crémer	C. Silvestri
Versione	Data	Modifica	Redatto	Verificato	Approvato
MANDATARIA:		MANDANTI:			



# Indice

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>PRESCRIZIONI DEL DPP E QUADRO ESIGENZIALE</b>	<b>3</b>
2.1	Requisito principale	3
2.2	Requisiti complementari	7
<b>3</b>	<b>STUDI PREGRESSI E DOCUMENTI MESSI A DISPOSIZIONE</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>INQUADRAMENTO TERRITORIALE E VINCOLI</b>	<b>11</b>
4.1	Vincoli urbanistici	11
4.2	Vincoli ambientali	12
4.3	Vincoli archeologici	16
<b>5</b>	<b>INQUADRAMENTO IDROLOGICO-IDRAULICO</b>	<b>18</b>
5.1	Caratteristiche del bacino	18
5.2	Opere idrauliche esistenti	23
<b>6</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOTECNICO</b>	<b>24</b>
<b>7</b>	<b>PIANO DI INDAGINI GEOGNOSTICHE</b>	<b>27</b>
<b>8</b>	<b>RILIEVI TOPOGRAFICI</b>	<b>28</b>
<b>9</b>	<b>GALLERIA DI DERIVAZIONE E RITENUTA IDRAULICA</b>	<b>31</b>
9.1	Criteri idraulici	32
9.2	Descrizione delle opere civili	32
<b>10</b>	<b>OPERE ACCESSORIE</b>	<b>34</b>
10.1	Opere di stabilizzazione dei versanti	34
10.2	Restauro del muraglione, dell'edificio filtri e del manufatto sifone	34
10.3	Sistemazioni esterne e percorsi	35
<b>11</b>	<b>OPERE A VERDE E MITIGAZIONE AMBIENTALE</b>	<b>35</b>
<b>12</b>	<b>ESPROPRI</b>	<b>36</b>
<b>13</b>	<b>INTERFERENZE</b>	<b>36</b>
<b>14</b>	<b>BILANCIO DELLE MATERIE</b>	<b>37</b>

MANDATARIA:

MANDANTI:



# 1 PREMESSA

La presente relazione illustra la soluzione progettuale sviluppata in sede di Studio di Fattibilità Tecnica ed Economica per la “Dismissione della diga di Bunnari Basso e la progettazione delle opere di sistemazione idraulica connesse”.

La richiesta di dismissione della diga è stata sancita dal Comune di Sassari su richiesta del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (Direzione Generale per le Dighe) con Atto d’indirizzo DG n.29 del 18/02/2018, atto in cui si specifica che il finanziamento di euro 7'400'000 assegnato al Comune per interventi straordinari sulla Diga di Bunnari Basso, deve contemplare:

- “... la dismissione dello sbarramento, sia in ragione dell'elevato rapporto costi/benefici derivante da una ipotesi di rimessa in pristino della diga, sia quale presupposto per poter procedere successivamente al reinvaso del bacino alto con l'utilizzo della diga a monte”;
- “..lana soluzione che preveda la realizzazione di un tunnel laterale che, garantendo la sicurezza idraulica del manufatto e dell'alveo sottostante dagli effetti di una eventuale onda di piena del bacino alto, consentendo anche il mantenimento del manufatto....”.

Sulla base delle prescrizioni riportate nel Documento Preliminare alla Progettazione (brevemente DPP) e degli obiettivi sopra richiamati, il sottoscritto Raggruppamento Temporaneo di Progettazione (in seguito RTP), ha trasmesso al Settore LL.PP. e Manutenzioni del Patrimonio comunale del Comune di Sassari in data 15/07/2021 (prot. n.GE/2021/0134881) il Documento di Fattibilità delle Alternative Progettuali (in seguito brevemente DOCFAP, 2020\_0275\_002\_R001\_2), in cui sono descritte ed illustrate tre soluzioni alternative che il RTP ha ritenuto, sulla base della sua esperienza e sulla base di valutazioni di dimensionamento preliminare, valide per il raggiungimento degli obiettivi sopra citati.

Le tre soluzioni proposte sono le seguenti:

- Soluzione A: Canale a cielo aperto ubicato in sponda sinistra in corrispondenza dell'attuale canale fagatore del 2° sfioratore, con argine di ritenuta idraulica (H=10m) e creazione di un invaso a monte del canale di derivazione (A=ca. 13'000m<sup>2</sup>).
- Soluzione B: Galleria idraulica lunga (L=150m) ubicata in sponda sinistra nello sperone roccioso, con argine di ritenuta idraulica (H=8m) e creazione di un invaso a monte della galleria (A=ca. 5'000m<sup>2</sup>).
- Soluzione C: Galleria idraulica corta (L=87m) che by-passa la diga nella sua spalla sinistra, con una soglia sfiorante a fondo alveo, senza quindi invaso a monte.

Queste 3 soluzioni sono state sviluppate nel rispetto dei contenuti del DPP redatto dal Comune di Sassari e del quadro esigenziale dell'Amministrazione, e sono ampiamente descritte nel Documento di Fattibilità delle Alternative Progettuali (DOCFAP) sopra richiamato..



Tutte le soluzioni proposte e le loro opere connesse garantiscono il necessario livello di sicurezza sia idraulico che statico, rispettando le prestazioni minime richieste dalle normative vigenti per le dighe, in particolare il D.M. 26.06.2014 “*Norme Tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)*” (brev. NTD14) e il D.M. 14.01.2018 “*Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni*” (brev. NTC18).

L’analisi multi-criteria presentata nel DOCFAP riporta un confronto delle 3 soluzioni relativamente agli aspetti idrologici-idraulici, geologici-geotecnici, agli impatti sul contesto territoriale, storico/monumentale, ambientale, paesaggistico ed infine per quanto riguarda il costo delle opere e i tempi della loro realizzazione. A conclusione della valutazione multi-criteria, il DOCFAP ha individuato la Soluzione B (Galleria Lunga) come soluzione progettuale migliore.

La Giunta Comunale che si è riunita in data 05/10/2021 ha confermato, sulla base della documentazione a corredo del DOCFAP (DOCFAP ed elaborati grafici che illustrano le 3 soluzioni), la condivisione dell’esito dell’analisi multi-criteria sviluppata dai Progettisti ed ha deliberato (Delibera della Giunta Comunale n. 280 del 05/10/2021) ritenendo opportuno acquisire il Progetto di Fattibilità Tecnico Economica di cui alla “Soluzione B”, che prevede la realizzazione della cosiddetta “Galleria lunga” ,e quindi di proseguire con lo sviluppo del progetto di tale soluzione.

Con riferimento alla soluzione prescelta, la presente relazione, dopo un breve inquadramento del quadro esigenziale (cap. 2) e degli studi pregressi (cap. 3), riporta una descrizione dell’inserimento territoriale dell’opera (cap. 4), una sintesi degli studi specialistici condotti (cap. 5 e 6) e delle indagini svolte e previste nelle future fasi progettuali (cap. 7 e 8), la descrizione delle opere in progetto (cap. 9, 10 e 11) e l’illustrazione delle aree da occupare e degli aspetti collegati alla realizzazione delle opere nel contesto in essere (cap. 12, 13 e 14).





## 2 PRESCRIZIONI DEL DPP E QUADRO ESIGENZIALE

### 2.1 REQUISITO PRINCIPALE

Le dighe del Bunnari (diga Alta e Bassa), secondo la classificazione delle NTD14 appartengono alla classe degli sbarramenti a gravità di tipo massiccio. Sono state costruite alla fine del secolo XIX, ultimate e collaudate nei primi decenni del secolo scorso (1924-1934). Si tratta di due manufatti in muratura di pietrame trachitico e malta di cemento, intonacate solo sul paramento interno. Sono classificate per la destinazione ad uso potabile ed hanno costituito per lungo tempo la principale risorsa d'approvvigionamento idrico per la città di Sassari. Esse rientrano nella classificazione delle "grandi dighe" italiane, ovvero quelle che hanno un'altezza superiore ai 15 m o un volume d'acqua maggiore di 1'000'000 m<sup>3</sup> (v. punto C.7.7.2 delle NTD14).

I dati caratteristici della Diga Bunnari Basso sono riportati nella seguente Tabella:

SCHEDA RIEPILOGATIVA DIGA DI BUNNARI BASSO (SS)	
Coord. (Roma Monte Mario) punto centrale	latitudine 40° 43' 04",03 N longitudine 03° 48' 57",85 W
data inizio esercizio normale	14 Gennaio 1924
data certificato di collaudo:	14 Gennaio 1924
- altezza della diga (ai sensi del D.M. 24.03.'82)	29,50 m
- altezza della diga (ai sensi della L. 584/94)	27,50 m
- altezza di massima ritenuta	----- m
- quota coronamento	287,50 m s.m.
- franco (ai sensi del D.M. n° 44 del 24.03.'82)	----- m
- franco netto (ai sensi del D.M. n° 44 del 24.03.'82)	----- m
- sviluppo del coronamento	55,00 m
- larghezza coronamento	5 m
- volume della diga ** (stimato)	19.000,00 m <sup>3</sup>
- grado di sismicità assunto nel progetto	nessuno
- classifica ai sensi del D.M. 24.03.82:	diga in muratura a gravità ordinaria – Aa1
Quota di massimo invaso	287,28 m s.m.
- Quota massima di regolazione	286,00 m s.m.
- Quota minima di regolazione	295,00 m s.m.
- Superficie dello specchio liquido:	
- alla quota di massimo invaso	0,484 km <sup>2</sup>
- alla quota massima di regolazione	----- km <sup>2</sup>
- alla quota minima di regolazione	----- km <sup>2</sup>
- Volume totale di invaso (ai sensi del D.M. 24.3.'82)	0,456 x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
- Volume di invaso (ai sensi della L.584/1994 )	----- m <sup>3</sup>
- Volume utile di regolazione	----- m <sup>3</sup>

MANDATARIA:

MANDANTI:



- Volume di laminazione	----- m <sup>2</sup>
- Superficie del bacino imbrifero direttamente sotteso	17,50 km <sup>2</sup>
- Portata di massima piena di progetto	----- m <sup>3</sup> /s
- Tempo di ritorno	1000 anni
- Contributo unitario	----- m <sup>3</sup> /s - km <sup>2</sup>
<b>Portata con livello nel serbatoio alla quota 287,28 m s.m.</b>	
- dallo scarico di superficie:	105,00 m <sup>3</sup> /s
- dallo scarico di fondo	5,00 m <sup>3</sup> /s
<b>TOTALE</b>	<b>120,00 m<sup>3</sup>/s</b>
Contributo unitario massimo cui è possibile far fronte con gli organi di scarico esistenti:	----- m <sup>3</sup> /s -km <sup>2</sup>

**Figura 1** :Tabella dei dati di sintesi della Diga di Bunnari Basso (estratto dal DPP)

Alla fine degli anni '90, il Comune di Sassari, nella sua qualità di concessionario e di gestore degli invasi, in considerazione della necessità di poter sfruttare la risorsa idrica a disposizione, nonché su sollecitazione e prescrizione del Servizio Nazionale Dighe, aveva avviato le attività volte all'**adeguamento normativo delle due Dighe di Bunnari Basso ed Alto**.

In ragione della loro età e delle tecniche costruttive adottate, del degrado funzionale conseguente all'esercizio, le due dighe sono state quindi oggetto, negli ultimi 20 anni circa, di diverse **indagini e studi specialistici** nonché di successivi interventi di ripristino e manutenzione per il loro adeguamento funzionale e di sicurezza.

Infatti, a seguito di procedura ad evidenza pubblica del 1995, con convenzione d'incarico professionale, a partire dal 1997, l'Ing. A. Porcheddu (ord. Sassari n. 548) ha condotto e/o coordinato una serie pressoché continua di **studi conoscitivi**, ha progettato e diretto gli **interventi richiesti** ed approvati dalle competenti autorità di controllo del Ministero delle infrastrutture **per gli adeguamenti imposti dalle Normative ai fini del miglioramento delle condizioni di gestione dei bacini e di riduzione del livello dei rischi ad essi associato**, il cui potenziale pericolo è il rilascio incontrollato di un volume d'acqua che può improvvisamente investire i territori e gli insediamenti posti a valle.

Allo stato attuale i bacini a monte delle dighe di Bunnari risultano entrambi vuoti, con status di temporaneo **fuori servizio**.

Gli studi preventivi eseguiti negli ultimi anni hanno evidenziato una sostanziale **inidoneità statica ed idraulica** della Diga di Bunnari Basso, da cui la decisione dello **svuotamento per ragioni di sicurezza**. Le opere di ripristino funzionale ed adeguamento normativo dell'invaso della Diga di Bunnari Alto sono state invece regolarmente portate avanti con alcuni specifici interventi (adeguamento e motorizzazione dello scarico di fondo e delle opere di presa e regolazione, sostituzione delle saracinesche nel torrino di presa).

Per la Diga di Bunnari Basso, una **valutazione dei costi/benefici** delle soluzioni di ripristino funzionale completo oppure di una dismissione ha condotto a confermare la scelta della **dismissione**, intervento che



avrà, ai sensi delle NTD14, l'obiettivo principale di **privare permanentemente lo sbarramento della funzione di ritenuta idraulica, garantendo la sicurezza del sito e dei territori di valle** (v. punto H.2.5).

Nel DPP sono state valutate due possibili soluzioni di dismissione, la prima corrispondente alla demolizione totale o parziale della diga, e la seconda invece che contempla la salvaguardia dell'opera di sbarramento grazie alla realizzazione di un **by-pass idraulico o altre equivalenti opzioni tecniche**.

**b) Salvaguardia integrale dello sbarramento con bypass idraulico o altre equivalenti opzioni tecniche** in ragione di quanto deliberato dall'Amministrazione Comunale, che vedano quindi **la realizzazione di opere idrauliche di smaltimento in sicurezza dei flussi idrici in alveo**, e che consentano di mantenere in essere la diga storica. Le opzioni, dovranno essere oggetto specifico degli studi preliminari di fattibilità di cui al presente intervento di finanziamento per consentire una **corretta valutazione delle alternative possibili** come previsto sia dal Dlgs 50/2016 (art.23) che dall'art.3 dell'accordo sottoscritto e trasmesso il 06/04/18 con nota prot.59960/18 alla Regione Sardegna per l'utilizzo del finanziamento.

Le possibili opzioni potranno essere **individuare nel concreto e dimensionate sia tecnicamente che economicamente**, solo previa **valutazione/rivalutazione** - statisticamente validata ai sensi delle normative vigenti - **dei regimi di piena del bacino alto/basso come da prescrizioni del RID al punto 5) e quindi dei flussi idrici (determinazione degli idrogrammi di progetto) che le opere potranno/dovranno regolare**, in uno con la **caratterizzazione geomeccanica dei terreni di posizione**

**e quota delle opere d'imbocco e sbocco di tale flusso, e lungo i percorsi ipotizzati** (p.e.s l'eventuale, ipotizzato tunnel di bypass laterale al bacino) in continuità con le perizie e gli studi idraulici, idrologici e geotecnici già fatti, alla contestuale individuazione della soluzione ai problemi d'instabilità individuati nei versanti d'invaso (sx sul bacino alto e dx sul basso) e stabilizzazione del dissesto in spalla sinistra a valle del secondo sfioratore. Al momento attuale potranno quindi essere analizzate anche le possibili modifiche alle opere già esistenti (p.es. nuovo dimensionamento delle opere di scarico esistenti, utilizzo canale fugatore in sponda sx dell'invaso basso ovvero realizzazione di nuove opere di ritenuta e derivazione a monte dell'invaso basso per la salvaguardia dello sbarramento dismesso..)

**Tali ipotesi di intervento, durante e dopo la fase preliminare, saranno quindi sottoposte alle verifiche ed approvazioni delle autorità di sorveglianza per poi procedere alle successive fasi di definizione tecnica progettuale a livello definitivo ed esecutivo le quali potranno essere anche riunite in unica fase;**

L'Amministrazione si è espressa chiaramente in favore dell'ipotesi della **salvaguardia** della Diga di Bunnari Basso, optando pertanto per la realizzazione di un'opera che consentisse il mantenimento della Diga di Bunnari Basso come esempio di archeologia storica (v. premessa del DPP qui di seguito stralciata)

Con **Delibera CIPE n. 25 del 10.08.2016 e n. 54 del 01.12.2016** veniva assegnato al Comune di Sassari, quale Concessionario, un finanziamento di € 7.400.000,00 per interventi straordinari sullo sbarramento "Diga bassa di Bunnari"(archivio S.N.D. n.88)

Con **Atto d'indirizzo DG n.29 del 18/02/2018 quest'Amministrazione**, in ordine alla richiesta del competente Ministero circa una determinazione sulle sorti d'esercizio della diga bassa del Bunnari, e il conseguente utilizzo dello specifico finanziamento stabiliva:

**a) di procedere alla dismissione dello sbarramento**, sia in ragione dell'elevato rapporto costi/benefici derivante da una ipotesi di rimessa in pristino della diga, sia quale presupposto per poter procedere successivamente al **reinvaso del bacino alto** con l'utilizzo della diga a monte (Bunnari alta arch. S.N.D. n.155);

E, tra le due alternative prospettatesi con gli uffici del Ministero in sede di compilazione delle schede d'intervento per il finanziamento ovvero - demolizione parziale o realizzazione di bypass idraulico -:

**b) di condividere ed optare per la soluzione che preveda la realizzazione di un tunnel laterale** che, garantendo la sicurezza idraulica del manufatto e dell'alveo sottostante dagli effetti di una eventuale onda di piena del bacino alto, **consenta anche il mantenimento del manufatto**, la cui demolizione *".. potrebbe non essere autorizzata dagli Enti competenti trattandosi di manufatto sottoposto a vincoli di tutela storica in virtù delle particolari soluzioni tecniche adottate in fase di costruzione, tali da poter essere considerate a tutti gli effetti esempi di archeologia storica.."*

MANDATARIA:

MANDANTI:





L'intervento, in base all'accordo tra l'Amministrazione di Sassari e la Direzione Generale per le Dighe, è quindi finalizzato **"alla realizzazione degli interventi di consolidamento, manutenzione, ristrutturazione e messa in sicurezza della Diga di Bunnari Basso"**.

L'indirizzo progettuale ed il quadro esigenziale dell'Amministrazione sono chiaramente ribaditi nel Verbale di Avvio del Servizio trasmesso agli scriventi dal Comune di Sassari lo scorso 20.04.2021, che conferma la necessità di provvedere alla *"...salvaguardia integrale dello sbarramento, da intendersi come unica entità storica Muraglione ed Edificio Filtri, con bypass idraulico o altre equivalenti opzioni tecniche"*.

Per completare il quadro di riferimento alla base dello sviluppo del presente incarico, si riporta infine uno stralcio delle principali **prescrizioni** contenute nel **verbale ispettivo dell'UTD di Cagliari** del 22.10.2018, tuttora attuali, e che devono essere recepite nel progetto dell'intervento in esame:

**Prescrizione n.1** : *".. Trasmissione entro il mese di dicembre 2015 del **progetto di messa in sicurezza statica ed idraulica dello sbarramento**, sulla base dei risultati delle indagini geognostiche e geofisiche effettuate e degli studi idrologici ed idraulici di cui al successivo p.to 5, **ovvero di un progetto di definitiva dismissione** qualora l'Ente Gestore non intenda rimettere in esercizio lo sbarramento...."*

*Osservazioni: Con nota 6958 del 09.02.2018 il Comune di Sassari comunicava le proprie intenzioni di dover dismettere la diga. Con nota n.11017 del 236.03.2018 la Regione Sardegna - Assessorato dei Lavori Pubblici comunicava che si stava procedendo all'individuazione del soggetto attuatore dell'intervento.*

**Prescrizione n.2:** *Trasmissione del progetto degli **interventi di messa in sicurezza dei versanti instabili nella sponda destra** dove, durante le precedenti visite di vigilanza, erano state segnalate e confermate dai risultati delle indagini geognostiche, situazioni di potenziale pericolo per chi transita sia sullo sbarramento che nell'ultimo tratto della strada di accesso. Il rappresentante del Gestore comunica che i lavori verranno realizzati col finanziamento dei fondi FSC;*

**Prescrizione n.3** : *Esecuzione di **interventi di stabilizzazione dell'area oggetto del dissesto in spalla sinistra a valle del secondo sfioratore**, con riferimento a quanto emerso dai risultati delle indagini e redazione delle necessarie verifiche sulla base dei parametri geotecnici determinati attraverso le prove di laboratorio già effettuate;*

*Osservazioni: da un'osservazione visiva la situazione finora appare stabile e non si individuano attività di ripresa del fenomeno franoso. Il rappresentante del Gestore comunica che i lavori verranno realizzati col finanziamento dei fondi FSC ;*

**Prescrizione n.4** ) : *Installazione dell'**asta idrometrica**;*

**Prescrizione n.5**) : *Redazione e trasmissione a questo Ufficio delle **"VERIFICHE IDRAULICHE"**, come richiesto con nota prot. n.RID/953/UPCA del 07.09.2005, integrando quelle già presentate, datate maggio 1998, con le ulteriori disposizioni di cui alla nota suddetta;*

MANDATARIA:

MANDANTI:



## **2.2 REQUISITI COMPLEMENTARI**

In linea complementare al principale obiettivo di sicurezza idraulica su descritto, l'intervento in oggetto richiede anche l'introduzione di ulteriori requisiti, motivati dal contesto storico-culturale, ambientale e paesaggistico in cui l'opera risiede.

Le due dighe, come si è già evidenziato, vengono realizzate in periodi storici differenti e nel tempo hanno avuto progressivi interventi di utilizzazione/connessione orientati a soddisfare esigenze di fabbisogno idrico civile per la città di Sassari. Il territorio su cui il sistema Bunnari è inserito, amministrativamente appartenente ai Comuni di Sassari e Osilo, è segnato dal grande solco geologico all'interno del quale scorre il rio Bunnari, di particolare pregio paesaggistico e ambientale soprattutto nell'areale compreso fra la sua parte alta all'altezza del centro urbano di Osilo e la sua propaggine verso sud all'altezza dell'intersezione con la S.S. 131 Carlo Felice. Il suddetto areale territoriale, con una estensione territoriale di circa 500 ettari, presenta un valore paesaggistico ambientale legato ai seguenti aspetti di interesse:

- a) la sua articolazione geologica, con versanti caratterizzati da profonde incisioni sulle pareti rocciose;
- b) gli ambienti botanici e vegetazionali presenti sul corso del rio Bunnari e sui suoi apporti laterali, in particolare la cosiddetta Valle dei Ciclamini;
- c) il sistema di archeologia industriale costituito dagli interventi di ingegneria idraulica realizzati nella seconda metà dell'Ottocento (la diga di Bunnari basso, l'edificio filtri, le strutture di servizio dell'acquedotto Bunnari-Sassari, la galleria Bunnari-Viale Adua);
- d) la positiva modificazione del paesaggio e della organizzazione/fruizione del territorio determinatasi con la realizzazione della Diga di Bunnari alto, con riferimento alla sua vocazione turistica.

Tutti questi elementi, di natura ambientale e storico-culturale, realizzano le condizioni per una concreta ipotesi di sviluppo del territorio e delle infrastrutture oggetto del progetto in senso turistico, con la realizzazione di strategie di diversa natura, che mettano insieme sia l'esigenza di tutela che l'opportunità di sviluppo economico del territorio. Gli elementi di maggiore importanza e attrazione di questa potenziale fruizione sono certamente costituiti dal complesso degli elementi di archeologia industriale facenti parte della diga di Bunnari Basso, da cui si può ipotizzare si possano anche irradiare gli altri itinerari aventi caratteristiche più legate ai valori ambientali e paesaggistici.

Gli interventi previsti in progetto per il raggiungimento dell'obiettivo principale di messa in sicurezza della diga di Bunnari Basso risulteranno pertanto importanti anche in relazione alla possibilità di sviluppo turistico-ambientale di questa porzione di territorio e le soluzioni progettuali definitivamente assunte.

In questa prospettiva di valutazione, si ritiene di evidenziare i seguenti aspetti, che rappresentano requisiti complementari:

MANDATARIA:

MANDANTI:



- Gli interventi proposti dovranno avere necessariamente la caratteristica tecnica di salvaguardare tutti gli elementi di archeologia industriale presenti e di rendere possibile il loro restauro e riutilizzo
- Risulterà importante ricreare all'interno del bacino compreso fra le due dighe le condizioni ambientali originarie, con il corso d'acqua del rio Bunnari alimentato da una portata (derivata dalla diga di Bunnari Alto) capace di costituire un volume idraulico semi-permanente nell'interbacino, con funzionalità ecologica, ricreativa e rievocativa dell'esercizio storico dell'invaso.

La possibilità di alimentare tale specchio d'acqua è garantita dalla torretta di presa presente sul paramento di monte di Bunnari Alto. La torretta è caratterizzata da n°4 bocche di presa (**Figura 2**) comandate da saracinesca manuale, che adducono alla condotta allacciata allo storico acquedotto di Sassari. A valle della torretta, la condotta è intercettata da un pozzetto partitore che consente di rilasciare portata al bacino intercluso tra le due dighe.

Tale manufatto partitore, unitamente al rinvaso anche parziale di Bunnari Alto, garantisce l'alimentazione dello specchio d'acqua nell'interbacino.



**Figura 2** : Ripresa della torretta di presa di Bunnari Alto, da cui sono visibili n°3 delle complessive n°4 bocche di derivazione dell'acqua

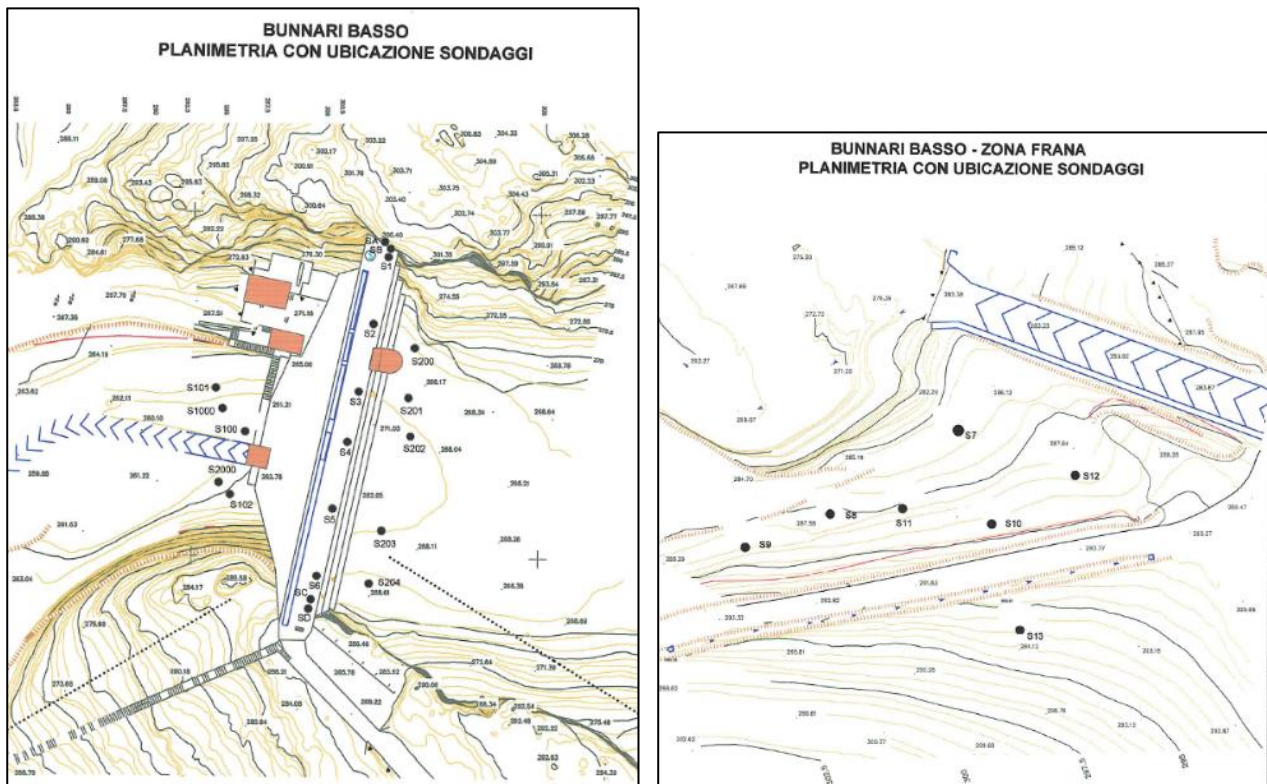


### 3 STUDI PREGRESSI E DOCUMENTI MESSI A DISPOSIZIONE

Come detto in precedenza, a partire dal 1997, l'Ing. A. Porcheddu di Sassari ha condotto e/o coordinato una serie pressoché continua di studi conoscitivi, e progettato e diretto gli interventi richiesti ed approvati dal Servizio Nazione Dighe per gli adeguamenti imposti dalle normative sulle dighe.

In particolare, nel 1998 è stato redatto dall'ing. Porcheddu il progetto preliminare dell'adeguamento delle Dighe Bunnari Alto e Basso alle normative allora vigenti, incluse le verifiche statiche delle due dighe.

Nel seguito è stata realizzata per la Diga Basso una campagna di indagini geognostiche con rilievo geologico di dettaglio sulla sezione d'imposta, ed indagini sul corpo, spalle e fondazioni dell'opera di sbarramento. Inoltre, sono state eseguite indagini geofisiche per la valutazione delle condizioni generali statiche e di stabilità dell'opera di sbarramento, ai fini dell'individuazione di eventuali cavità e zone di indebolimento della struttura, e per la determinazione delle caratteristiche geomeccaniche delle rocce in posto.



**Figura 3 :** Ubicazione dei sondaggi eseguiti nel 2004 in zona diga (a sx) ed in zona frana in sponda sx (a dx)

Inoltre sono stati condotti sempre dall'ing. Porcheddu numerosi studi idrologici-idraulici (studio dell'onda di piena, deflusso scarichi di fondo, massima portata transitabile in alveo, piano per la gestione idraulica,...).





I principali documenti pregressi trasmessi dall'Amministrazione al nostro RTP in fase di gara e all'avvio del servizio sono elencati qui di seguito:

Adeguamento delle dighe del Bunnari Alto e Basso alle vigenti norme, ivi compresa la motorizzazione degli scarichi e delle paratoie e lo studio dell'onda di piena. Progetto preliminare (1997-1999):

- Studio di Verifica statica della diga di Bunnari Basso (1998),
- Studio di Verifica statica della diga di Bunnari Alto (1998),
- Studio idrologico ed idraulico (1998) e sua integrazione (1999),
- Studio dell'onda di piena primo tratto dell'alveo (1997).

Opere di manutenzione straordinaria per Adeguamento delle dighe del Bunnari Alto e Basso alle vigenti norme, ivi compresa la motorizzazione degli scarichi e delle paratoie e lo studio dell'onda di piena (dal 2001 al 2006)

- Calcolo Modalità di deflusso dagli scarichi di fondo delle dighe di Bunnari (2001),
- Piano per la Gestione Idraulica delle Dighe di Bunnari (2001),
- Progetto definitivo-esecutivo. Indagini geognostiche (2001),
- Perizia studi e indagini geofisiche (2001),
- Progetto definitivo-esecutivo Indagini geognostiche. Integrazione a seguito della approvazione e prescrizioni del SND prot. SDI 1307/2002/UCCE (2002),
- Studio per la valutazione della massima portata transitabile in alveo (2003),
- Studi e Indagini geofisiche. Perizia di variante e suppletiva (2004),
- Indagini geognostiche. Perizia di variante e suppletiva (2004),
- Progetto definitivo-esecutivo Indagini geognostiche (2006) con le risultanze delle indagini geognostiche e geofisiche realizzate in sito (cui stratigrafie dei sondaggi) e delle prove di laboratorio,
- Studio dell'onda di piena generata dal collasso degli sbarramenti e dell'apertura degli organi di scarico (2008).

A seguito dell'avvio del servizio di progettazione, inoltre, il Comune di Sassari ha reso disponibili al RTP i disegni del progetto originale dell'Acquedotto della Città di Sassari e della Diga di Bunnari Basso a firma dell'ing. Luigi Claudio Ferrero di Torino (datato 1874).

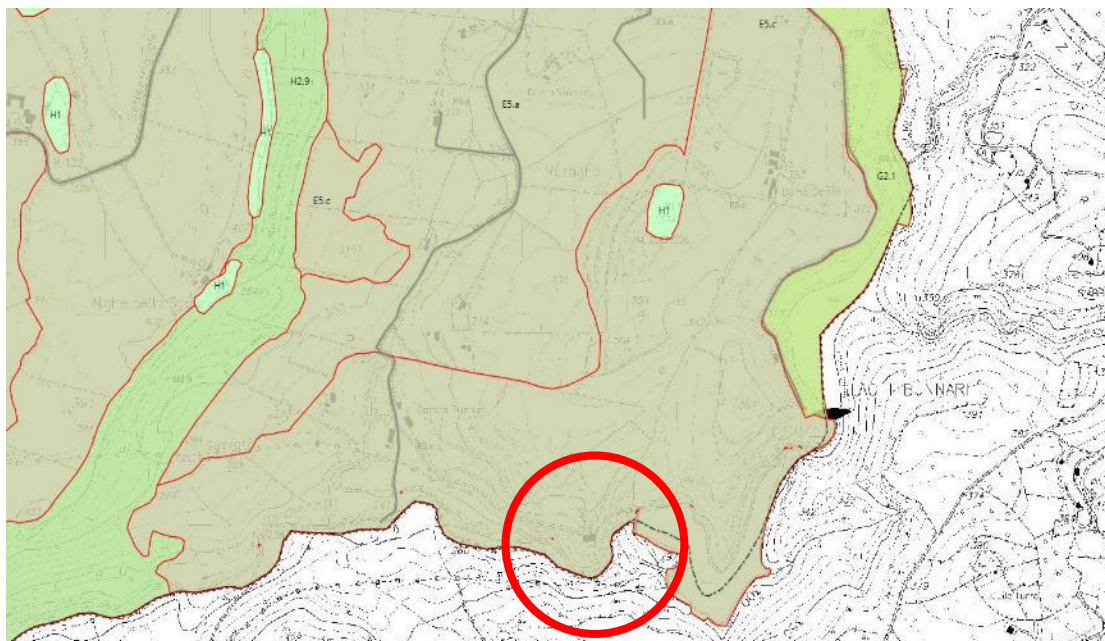
## 4 INQUADRAMENTO TERRITORIALE E VINCOLI

### 4.1 VINCOLI URBANISTICI

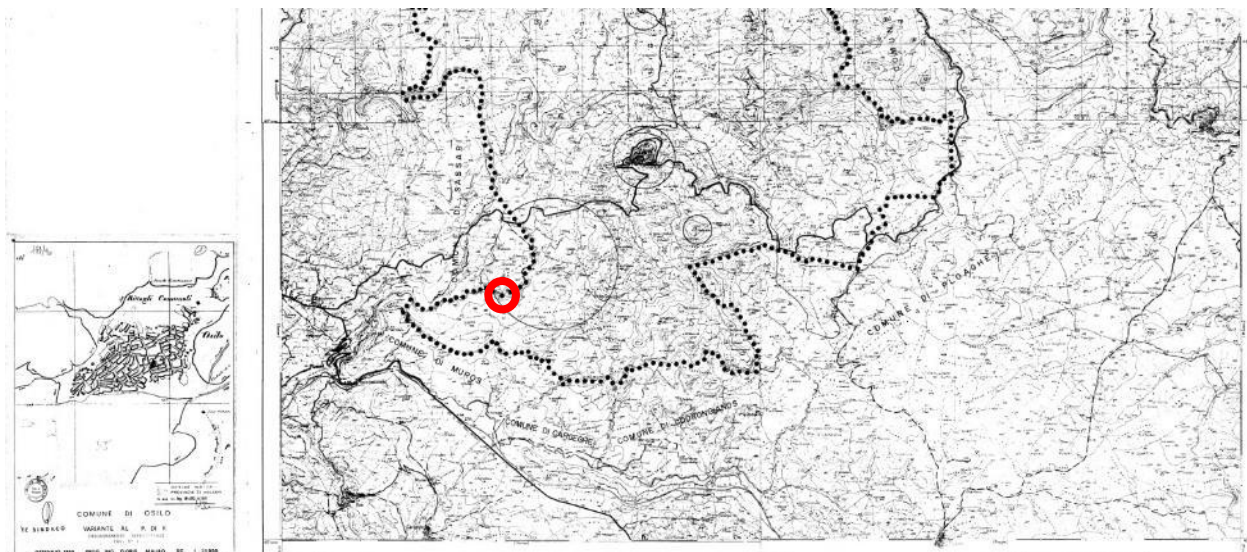
L'area oggetto di intervento si trova all'interno dei territori comunali di Sassari e Osilo. Il PUC di Sassari è stato adottato con Del. C.C. N. 43 del 26/07/2012 e pubblicato sul BURAS N.58 del 11/12/2014.

L'area di intervento ricade all'interno della zona E5.c - *Aree agricole marginali nelle quali vi è l'esigenza di garantire condizioni adeguate di stabilità ambientale. Aree con marginalità elevata e con funzioni di protezione del suolo ed esigenze di conservazione.* In base all'art. 48 Sottozona E5 le categorie d'intervento ammesse sono quelle previste dall'art. 43 *Ambiti agricoli – Zona E* delle NTA sono concessi i seguenti interventi: I1 (*“Interventi di manutenzione ordinaria”*), I2 (*“Interventi di manutenzione straordinaria”*), I3 (*“Interventi di restauro e di risanamento conservativo”*), I4 (*“Interventi di ristrutturazione edilizia”*), I4bis (*“Interventi di ristrutturazione edilizia leggera”*), I5 (*“Ricostruzione edilizia”*), I6 (*“Sopraelevazione”*), I7 (*“Ampliamento”*), I8 (*“Interventi di nuova costruzione”*), I9 (*“Demolizione totale o parziale”*), I12 (*“Opere interne”*).

Il comune di Osilo è dotato di Programma di fabbricazione, pubblicato sul BURAS N. 26 del 17/08/1971, del quale si riporta uno stralcio nelle seguenti pagine. L'area di intervento non interessa ambiti urbani, ma aree del tessuto rurale.



**Figura 4** : Stralcio PUC (in rosso l'area di intervento). Fonte: [http://sit.comune.sassari.it:8080/SIT2\\_internet/map.jsp](http://sit.comune.sassari.it:8080/SIT2_internet/map.jsp)



**Figura 5:** Tavola inquadramento territoriale - Programma di fabbricazione Osilo. In rosso l'area di intervento.

Fonte: <https://comune.osilo.ss.it/contenuti/293947/programma-fabbricazione-vigente>

## 4.2 VINCOLI AMBIENTALI

Il riferimento attualmente vigente in materia di tutela dei beni culturali ed ambientali è rappresentato dal D. Lgs. n. 42 del 22.11.2004, il cosiddetto “Codice Urban”, recante il “Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell’art.10 della Legge 06.07.2002 n. 137”, e dalle s.m.i., vale a dire in particolare il D.Lgs. n. 62/08, relativo ai beni culturali ed il D.Lgs. n. 63/08, concernente il paesaggio.

Il D.Lgs. n. 42/04 ha tra l’altro raccolto gli aspetti della programmazione e le disposizioni di cui alla Legge n. 1089/39 “Tutela delle cose di interesse artistico e storico”, alla Legge n. 1497/39 “Protezione delle bellezze naturali” ed alla Legge n. 431/85 “Disposizioni per la tutela delle zone di particolare interesse ambientale”, abrogando inoltre il precedente D.Lgs. n. 490 del 29.10.1999, relativo al “Testo unico delle disposizioni legislative in materia di beni culturali ed ambientali”.

Il Piano Paesaggistico Regionale della Sardegna – Primo ambito omogeneo, che è stato approvato con Deliberazione della Giunta Regionale n. 36/7 del 05.11.2006 (BUR n.30 del 08.09.06), costituisce il quadro di riferimento e coordinamento per gli atti di programmazione e pianificazione regionale, provinciale e locale per lo sviluppo sostenibile.

Nell’ambito di tale piano, la Regione riconosce caratteri, tipologie, forme e punti di vista del paesaggio sardo – costituito dalle interazioni della naturalità, della storia e della cultura delle popolazioni locali, intesi come elementi fondamentali per lo sviluppo – e, inoltre, ne disciplina la tutela, promuovendone la valorizzazione.

L’area oggetto del presente intervento, sita nel comune di Sassari, è compresa nell’ambito di paesaggio 14 - Golfo dell’Asinara.



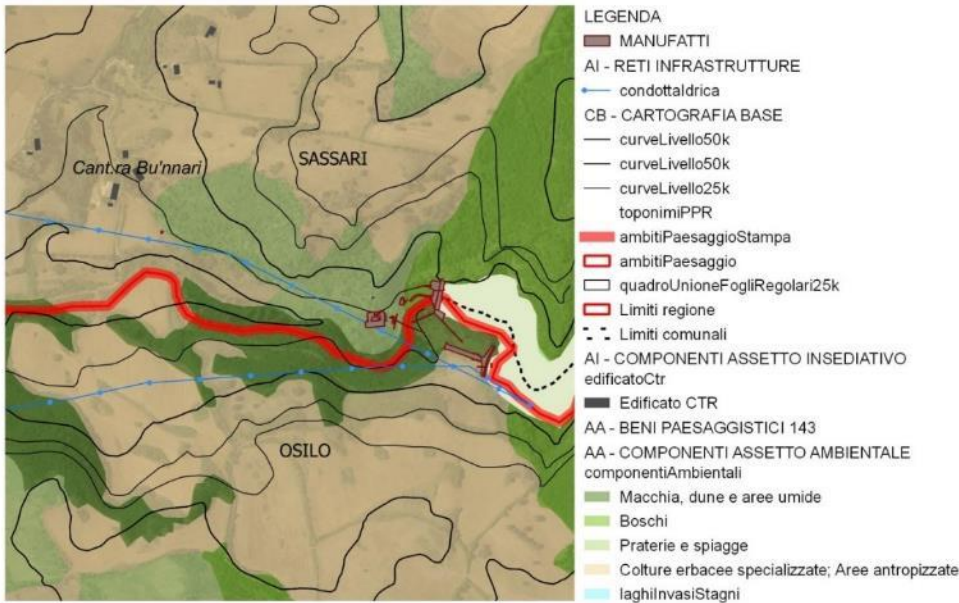


Figura 6 : Stralcio del PPR Sardegna

Sull'area di intervento troviamo le seguenti componenti di paesaggio: 1a – macchia, dune, aree umide, 1b – Boschi, 2a – Praterie, 3c Colture erbacee specializzate, 4a - Aree antropizzate.

L'area d'intervento è ricompresa nei fiumi, i torrenti, i corsi d'acqua iscritti negli elenchi previsti dal testo unico delle disposizioni di legge sulle acque ed impianti elettrici, approvato con Regio Decreto 11 dicembre n. 1175 e le relative sponde o piedi degli argini, per una fascia di 150 metri ciascuna e territori contermini ai laghi, compresi in una fascia della profondità di 300 metri, anche per i terreni elevati sui laghi.

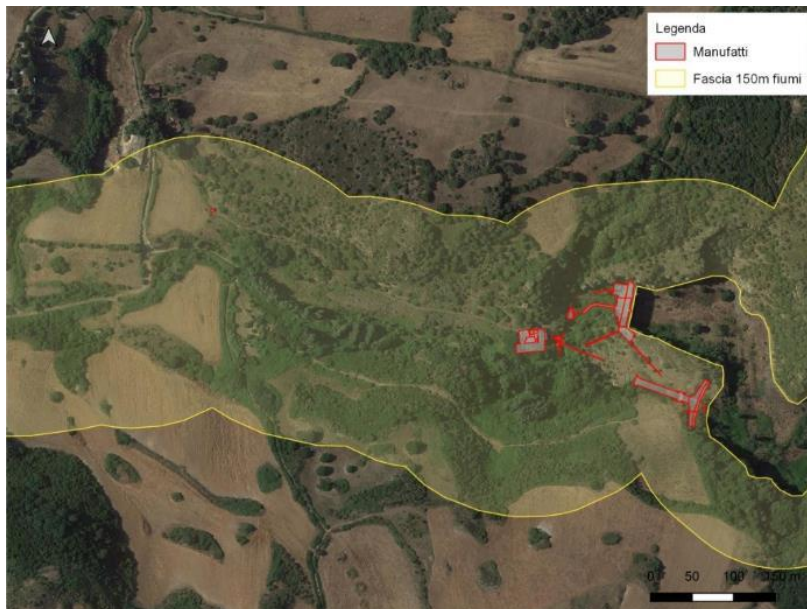
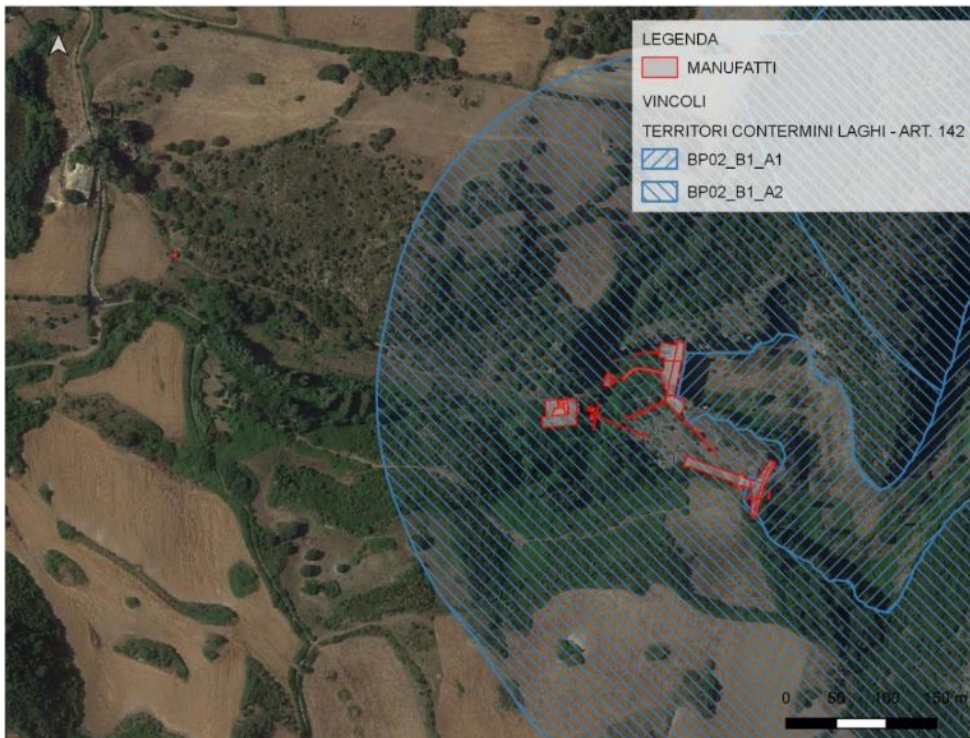


Figura 7 . Vincolo ai sensi del D.lgs. 42/04 art 142. c.1, lett. c)





**Figura 8** : Vincolo ai sensi del D.lgs. 42/04 art 142. c.1, lett. b)

Parte dell'area di intervento è ricompresa all'interno delle perimetrazioni PAI, come riportato negli stralci planimetrici allegati.



Figura 9 : Stralcio PAI art.8 c. 2 Pericolo alluvioni

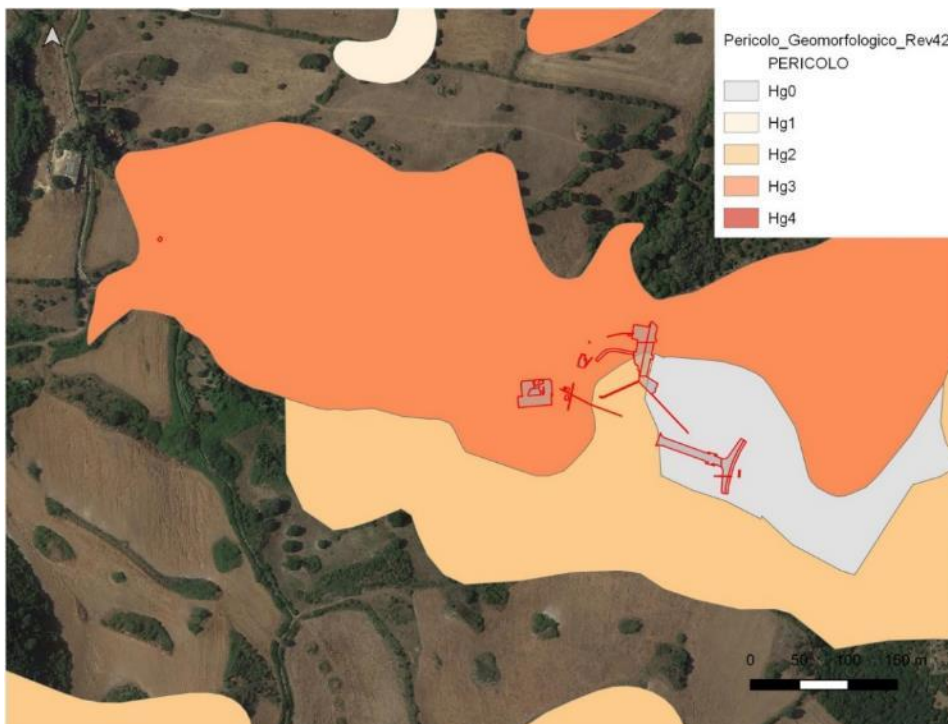


Figura 10 - Pericolo geomorfologico (Pericolo Frana PAI)

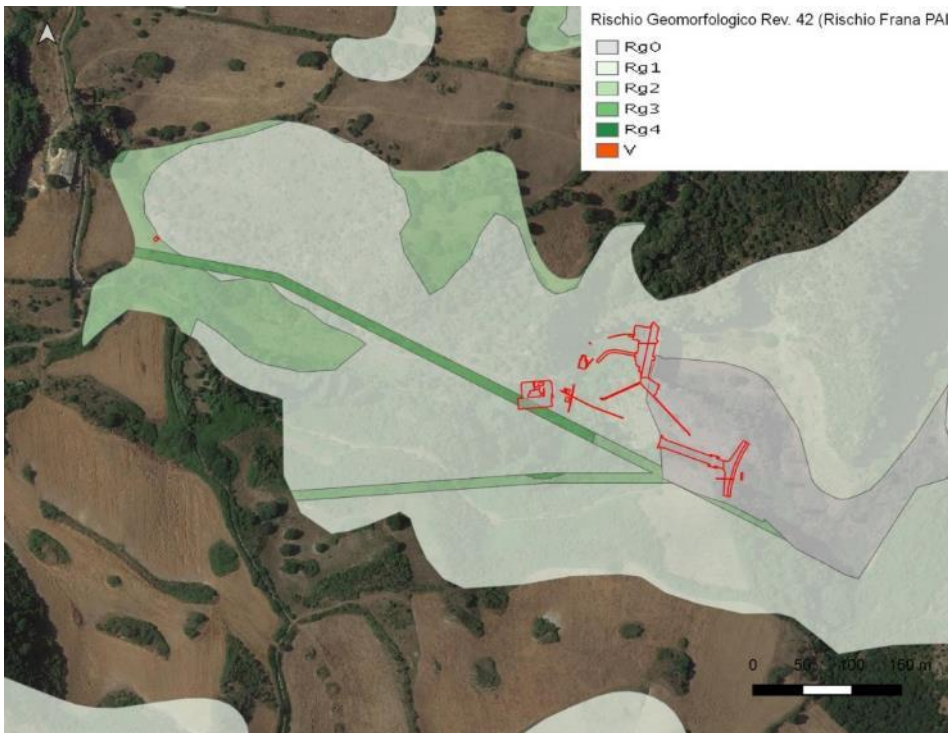


Figura 11 : Rischio Geomorfologico (Rischio frana PAI)

### 4.3 VINCOLI ARCHEOLOGICI

Lo spoglio degli atti depositati e resi disponibili alla consultazione presso gli archivi ABAP di Sassari e la consultazione del sito internet del MIBAC “Vincoli in rete” non hanno evidenziato - nel ristretto ambito territoriale direttamente coinvolto nel progetto – la presenza di aree sottoposte a tutela o a provvedimenti ai sensi della L. 364 del 20.06.1909, della L. 778 del 11.06.1922 (“*Tutela delle bellezze naturali e degli immobili di particolare interesse storico*”), ai sensi della L. 1089 del 01.06.1939 (“*Tutela delle cose di interesse artistico o storico*”), del D. Lgs. 490 del 29.10.1999 (“*Testo Unico delle disposizioni legislative in materia di beni culturali e ambientali*”) e del D. Lgs. N. 42 del 22.01.2004 (“*Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio*”).



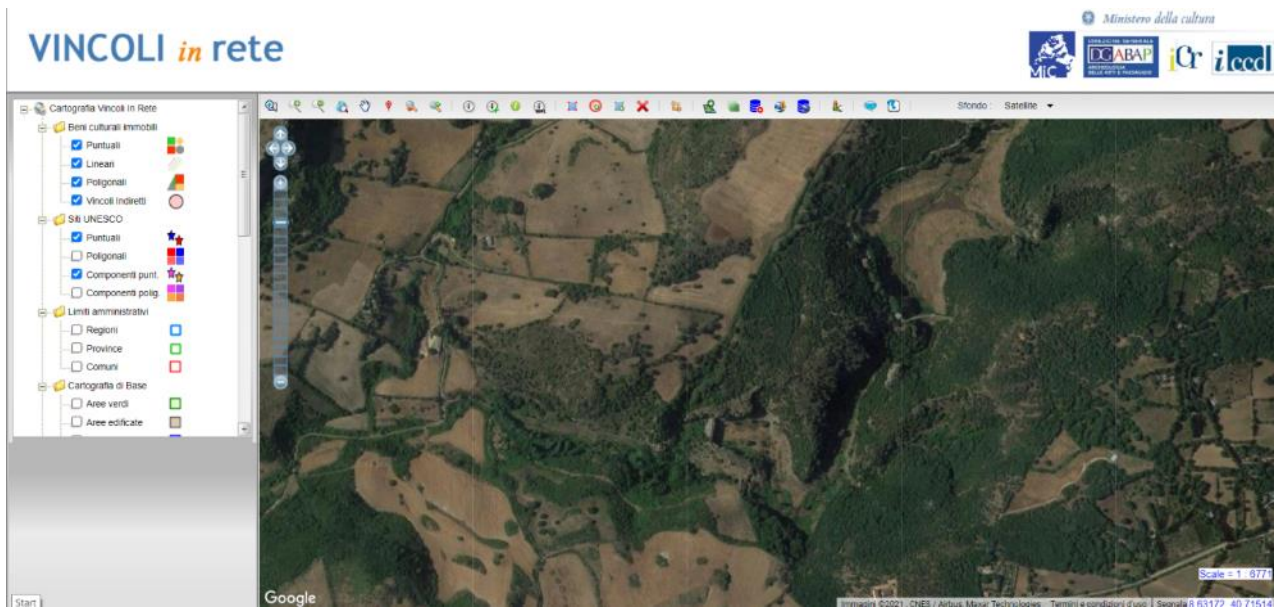


Figura 12 : Estratto del geoportale Vincoli in rete del Ministero della Cultura



## 5 INQUADRAMENTO IDROLOGICO-IDRAULICO

L'opera in progetto è costituita da un diversivo idraulico in corrispondenza della diga di Bunnari Basso, che ad oggi determina uno sbarramento sul rio Bunnari.

Il rio Bunnari è un affluente in destra del rio Màscari, affluente in destra del Mannu di Porto Torres, uno dei corsi d'acqua più importanti della Sardegna.

Lo sbarramento di Bunnari Basso è una diga a gravità massiccia (**Figura 13**), classificabile come diga muraria a gravità ordinaria ai sensi del DM LL.PP. 24.03.1982, realizzata nell'anno 1878, data riportata sul paramento murario di valle dello sbarramento. L'opera alimentava il sistema acquedottistico idropotabile della città di Sassari, concepito in modo da garantire la portata minima di approvvigionamento; il sistema venne realizzato assieme all'edificio di filtrazione, posto immediatamente a valle della diga, e al tunnel/acquedotto, lungo circa 5 km, che riforniva il serbatoio di arrivo a servizio della rete di distribuzione della città. Si tratta della terza diga realizzata in ordine cronologico in Italia, con tecnologie oramai superate.



**Figura 13:** Vista del paramento di valle e dello scarico di fondo della diga Bunnari Basso



**Figura 14:** Vista del paramento di valle e degli organi di sfioro della diga Bunnari Alto

A monte della diga di Bunnari Basso, a meno di 1'000 m di distanza, è presente la diga di Bunnari Alto (**Figura 14**), terminata nel 1932 con lo scopo di sopperire alle carenze idriche della città. Il serbatoio generato da Bunnari Alto ha alimentato il sistema acquedottistico della città di Sassari per oltre 70 anni.

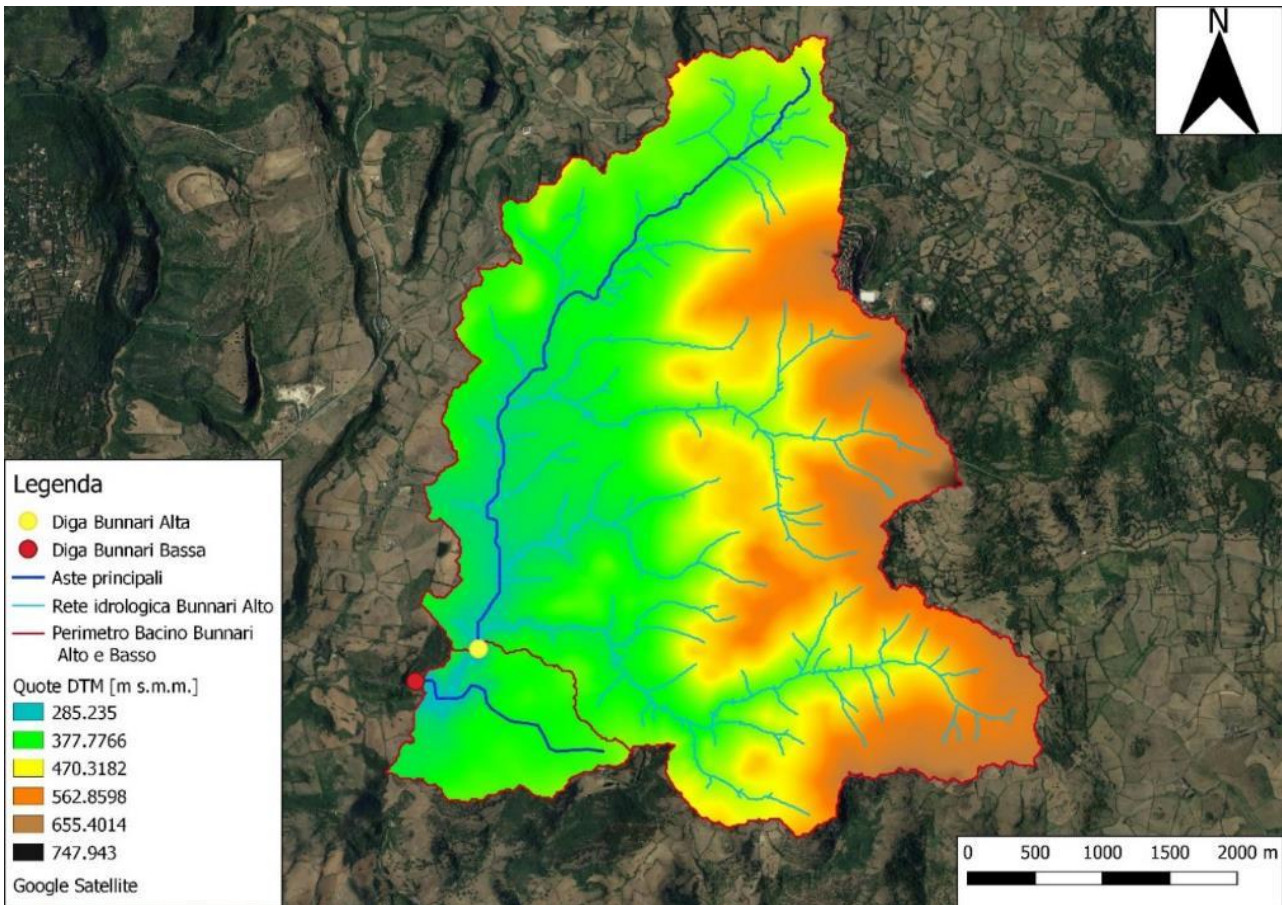
Ad oggi, entrambi i serbatoi risultano inutilizzati.

### 5.1 CARATTERISTICHE DEL BACINO

Il bacino del rio Bunnari è ubicato circa 10 km a est rispetto alla città di Sassari. Presenta dimensioni modeste, con una superficie totale di circa 16 km<sup>2</sup> alla sezione di chiusura in corrispondenza della diga di Bunnari Alto, pari a 17.37 km<sup>2</sup> alla sezione di chiusura della diga di Bunnari Basso. L'asta principale del rio Bunnari presenta una lunghezza di circa 6 km fino alla diga di Bunnari Alto, partendo da una quota di 439.11



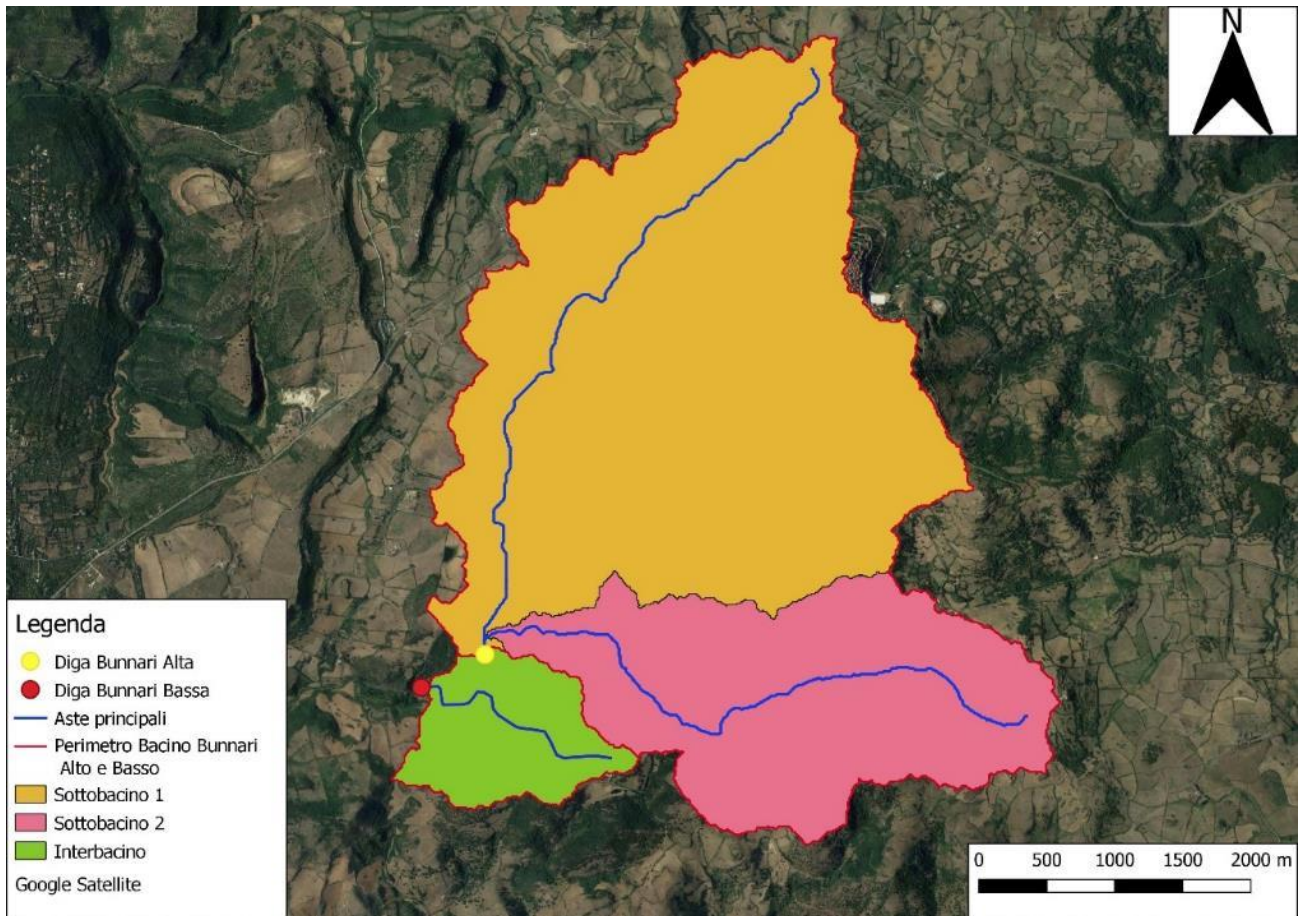
m s.m.m. fino ai 308.51 m s.m.m. di questa diga. Tale asta diventa poi di 7 km, se si considera la sua lunghezza sviluppata fino alla diga di Bunnari Basso, raggiungendo la quota minima di 290 m s.m.m.. Le quote principali del bacino, ovvero quella massima, media e minima, sono rispettivamente pari a 747.08 m s.m.m., 474.68 m s.m.m. e 308.51 m s.m.m. (quota minima che diventa 290 m s.m.m. considerando il bacino esteso fino a Bunnari Basso). Inoltre, l'asta principale presenta una pendenza media del 2.2 %, mentre il bacino nella sua interezza del 22.85% (**Figura 15**).



**Figura 15** : Quote del bacino e individuazione aste principali

Nonostante il bacino di Bunnari Alto non presenti una superficie elevata, presenta una discreta disomogeneità morfologica: la porzione di bacino in cui si sviluppa il percorso dell'asta principale, che ricopre gran parte della superficie, presenta infatti pendenze relativamente dolci, se confrontate con quella sud-orientale. Per questo motivo, nello studio idrologico annesso al presente progetto è stato ritenuto opportuno suddividere il bacino di Bunnari Alto in n. 2 sottobacini (**Figura 16**), per valutarne in modo separato le caratteristiche morfometriche e valutarne le differenti capacità di deflusso.



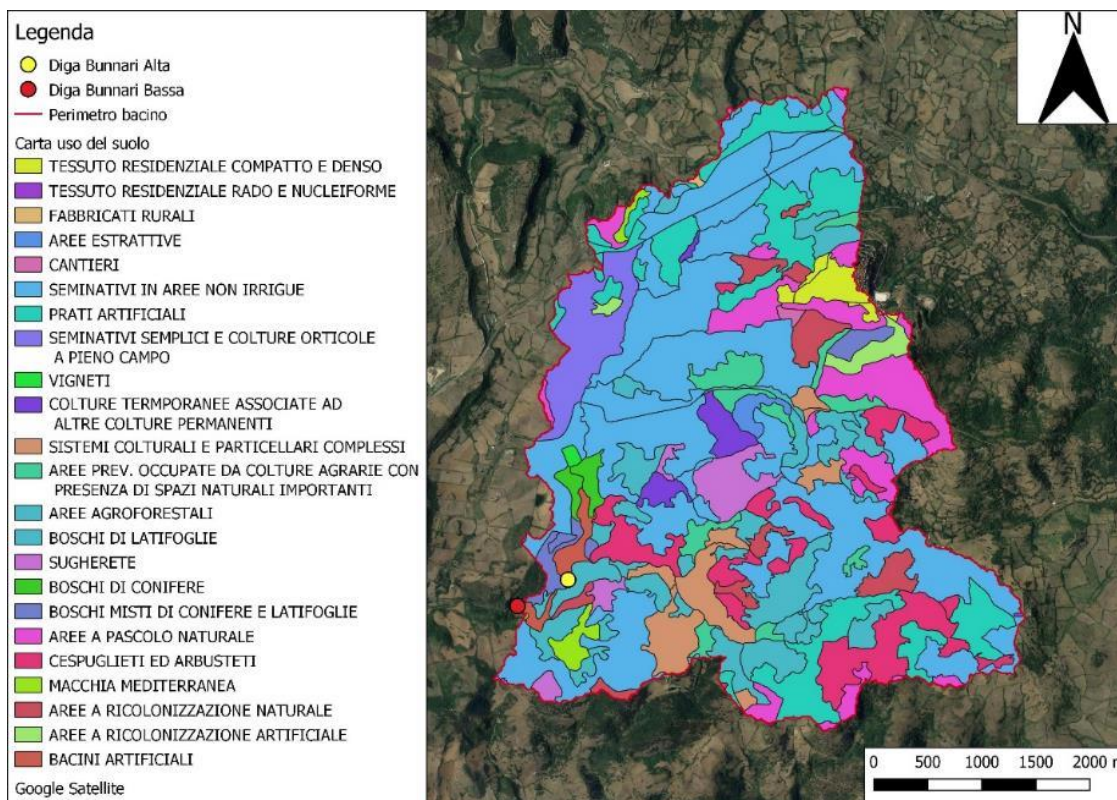


**Figura 16** : Suddivisione in sottobacini con individuazione aste principali

Il bacino del Rio Bunnari si trova in un'area scarsamente popolata, in cui è presente un solo centro abitato di discrete dimensioni, ovvero la città di Osilo, situato in cima ad una collina sul perimetro nord-orientale del bacino. Il resto della superficie è occupato principalmente da coltivazioni, macchie di arbusteti, aree adibite al pascolo e boschi di latifoglie.

Dal geoportale della regione Sardegna è stato possibile reperire la mappa di utilizzo del suolo, dalla quale si ricava che circa il 60% della superficie del bacino è utilizzata a fini agricoli, considerando anche i prati artificiali. Le aree occupate da boschi (latifoglie, conifere, aree agroforestali) sono circa il 16%, quelle adibite al pascolo e comprendenti anche cespuglieti, arbusteti e macchia mediterranea sono circa il 20%, mentre l'occupazione data dal tessuto residenziale, considerando anche le aree estrattive e di cantiere, è pari a poco più del 2%. Infine, si osserva che la superficie destinata ai bacini artificiali è pari allo 0.91% dell'area totale del bacino.

La seguente **Figura 17** mostra la mappa di uso del suolo del bacino utilizzata.



**Figura 17** : Bacino del Rio Bunnari: uso del suolo

Nell'ambito dello studio idrologico svolto nel presente progetto, è stata eseguita l'analisi delle Curve di Possibilità Pluviometrica (CPP) al variare del periodo di ritorno, ricorrendo a metodi regionalizzati (TCEV e GEV). Le CPP sono state poi impiegate per calcolare gli idrogrammi di piena rispettivamente generati del bacino sotteso dalla diga di Bunnari Alto e nell'interbacino tra le due dighe (**Tabella 1**). A tal proposito è stato anche stimato il tempo di corrivazione alla diga di Bunnari Alto, pari a 2.06 hr.

Da notare che, in precedenti studi svolti sul medesimo bacino ed emessi dall'ing. Porcheddu (1997-2008), si attribuisce al bacino sotteso da Bunnari Alto un tempo di corrivazione pari a 1.5 hr, e CPP che sottostimano di quasi il 20 % la precipitazione cumulata.

Tempo di ritorno	0,5 ore	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
Tr	h(mm)	h(mm)	h(mm)	h(mm)	h(mm)	h(mm)
10	26,53	33,67	46,05	56,12	68,38	83,32
20	31,06	39,77	54,51	66,50	81,13	98,98
50	37,59	48,72	66,94	81,80	99,95	122,14
100	42,85	56,06	77,18	94,42	115,52	141,33
200	48,31	63,79	87,98	107,77	132,01	161,70
500	55,63	74,36	102,82	126,15	154,77	189,89
1000	61,10	82,42	114,18	140,26	172,29	211,63

**Tabella 1** : CPP ottenute con il metodo GEV





Dopo implementazione di modello idrologico del bacino con HEC-HMS, sono stati simulati gli idrogrammi di piena in arrivo alla sezione materializzata dalla diga di Bunnari Alto (Tabella 2) e nell'interbacino (Tabella 3).

Idrogrammi di piena per diversi $T_R$							
$T_R$ [anni]	10	20	50	100	200	500	1'000
$Q_{max}$ [m <sup>3</sup> /s]	57.7	75.2	101.7	123.9	147.5	179.9	204.7
$t_{Qmax}$ [ore]	4.42	4.42	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33

Tabella 2: Portate al colmo e tempo di picco per diversi  $T_R$

Idrogrammi di piena dell'interbacino per $T_R=500,1'000$		
$T_R$ [anni]	500	1'000
$Q_{max}$ [m <sup>3</sup> /s]	31.9	36
$t_{Qmax}$ [ore]	3.33	3.33

Tabella 3: Portate al colmo e tempo di picco idrogrammi dell'interbacino

In Figura 18 sono riportati gli idrogrammi relativi al bacino di BA e all'interbacino.

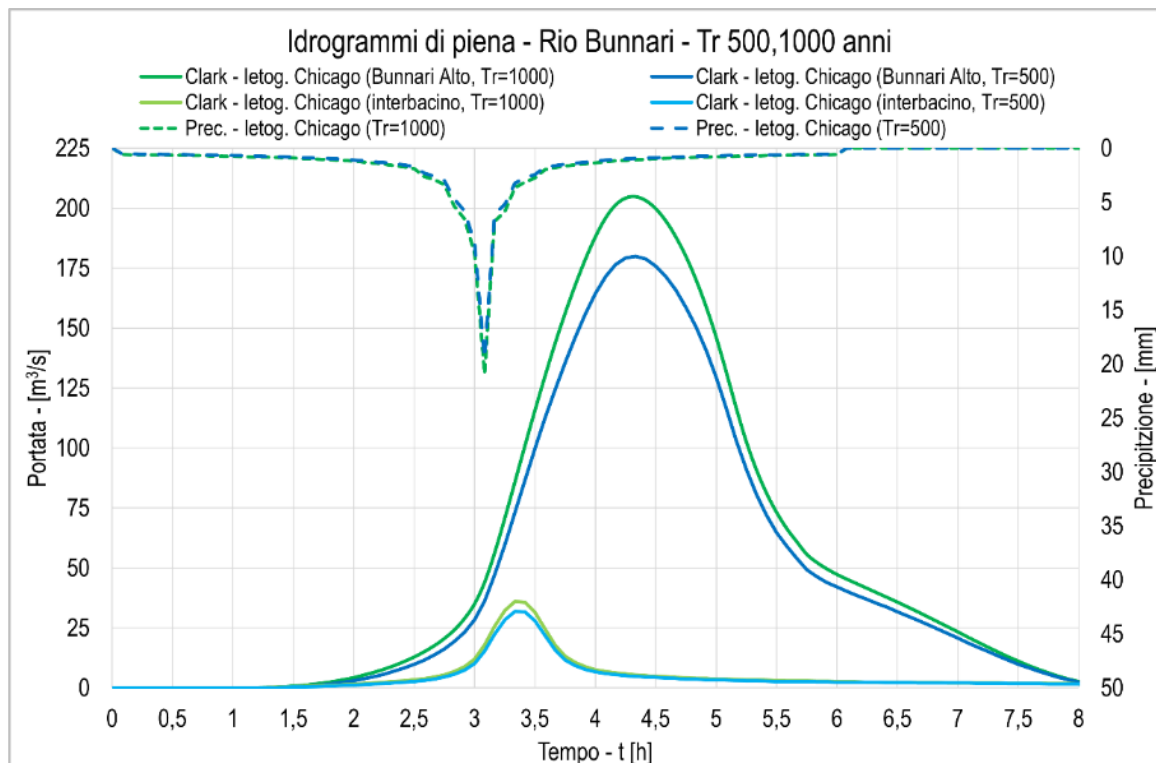


Figura 18 : Confronto tra idrogrammi in ingresso stimati per il bacino di Bunnari Alto e l'interbacino

## 5.2 OPERE IDRAULICHE ESISTENTI

La diga di Bunnari Basso è caratterizzata da un coronamento di sviluppo pari a 57 m, a quota 287.50 m s.l.m.. La quota di massimo invaso è pari a 287.28 m s.l.m..

Gli scaricatori di superficie sono costituiti da:

- uno scarico in sinistra idrografica di sviluppo pari a 15.48 m con quota di sfioro pari a 286.50 m s.l.m.,
- un'opera di captazione a petto sfiorante di lunghezza pari a 57.60 m con quota di sfioro pari a 286.50 m.

La massima portata evacuabile dagli sfiori ammonta a 77 m<sup>3</sup>/s.

La diga possiede anche uno scarico di fondo costituito da una tubazione che attraversa trasversalmente il corpo diga ed è intercettata a valle da una saracinesca di DN 600.

È inoltre presente la presa tramite torrino fornito di quattro bocche di presa comandate da saracinesca ad azionamento manuale.

La diga di Bunnari Alta è caratterizzata da un coronamento di sviluppo pari a 101.90 m, di quota 316.20 m s.l.m.. La quota di massimo invaso è pari a 313.43 m s.l.m..

Lo scaricatore di superficie è costituito da sfioro frontale di lunghezza pari a 35 m, intervallato da n°4 pile, con soglia di sfioro pari a 312.18 m s.l.m., coincidente con la quota di massima regolazione.

La portata massima sfiorata dallo scarico di superficie è stata assunta negli studi pregressi (Porcheddu 1997-2008) pari a 105 m<sup>3</sup>/s. Nel presente studio, la portata evacuata alla quota di massimo invaso (313.43 m s.l.m.) è stata rivalutata, e stimata pari a 98.59 m<sup>3</sup>/s.

Lo scarico di fondo è costituito da una galleria intercettata in testa da una paratoia piana. Inoltre, sono presenti n°2 saracinesche a corpo piatto DN 1400 con funzione di intercettazione e regolazione.

L'opera di presa, similmente alla diga di Bunnari Basso, è costituita da torrino fornito di quattro bocche comandate da saracinesca ad azionamento manuale.



**Figura 19** : Diga di Bunnari Alta – Vista da monte della diga con paratoia piana (in primo piano) e torrino di presa

## 6 INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOTECNICO

L'area in esame è ubicata a SE della fossa tettonica del Sassarese e dell'Anglona, ed è composta principalmente da prodotti vulcanici e sedimentari terziari e quaternari.

La morfologia attuale è il risultato dell'erosione delle coperture sedimentarie mioceniche e dei complessi vulcanici sottostanti da parte del Rio Bunnari, che ha dato vita a vasti altipiani con superfici strutturali leggermente inclinate collocate alla sommità di versanti molto erosi ed incisi dall'azione dell'acqua.

I pendii hanno un'inclinazione più dolce se scavati nei complessi vulcanici piroclastici, leggermente incisi sui calcari e le facies vulcaniche più litificate, fino ad arrivare a pareti verticali nei complessi delle Daciti-Andesiti.

La superficie indagata risulta totalmente costituita da un complesso vulcanico composto da Andesiti e Daciti massive e litoidi generalmente interessate da processi erosivi superficiali legati a fenomeni meteorici. Sono inoltre presenti facies intermedie di transizione tra Andesiti alterate e Andesiti-Daciti litoidi e Andesiti in masse o in colate generalmente interessate da processi di alterazione idrotermale superficiale ("argillificate").



**Figura 20** : Vista panoramica lato monte della Diga di Bunnari Basso - Affioramenti rocciosi

Lo studio della documentazione geologica fornita dall'Amministrazione (eseguita e coordinata dall'ing. Porcheddu tra gli anni 2001-2006 con la consulenza dell'Università degli Studi di Cagliari - prof. Balia), abbinata ai sopralluoghi eseguiti dagli scriventi nel corso del mese di aprile 2021, hanno fornito un chiaro quadro geologico generale del sito, coerente con le informazioni contenute negli studi passati. I rilievi preliminari eseguiti dagli scriventi si sono concentrati principalmente sulla soluzione proposta in sede di gara (galleria corta), tuttavia le informazioni raccolte durante i sopralluoghi sommate a quelle rese disponibili dall'Amministrazione sono certamente sufficienti nel loro complesso per formulare una valutazione geologica preliminare e valutare in modo corretto le soluzioni progettuali illustrate in questo DOCFAP.

Si può quindi certamente confermare che la diga di Bunnari Basso interessa principalmente l'Unità di Osilo, costituita da lave massive di colata, che danno origine a corpi cupoliformi e domiformi con tipiche laminazioni di flusso.

L'unità di Osilo è costituita dal punto di vista petrografico da rocce da porfiriche a debolmente porfiriche, in pasta di fondo ipocristallina con microcristalli di plagioclasio, clinopirosseno e abbondante magnetite. La facies Dacite-Andesitica che interessa il corpo diga si presenta massiva e compatta, localmente può presentare delle alterazioni evidenziate nei sondaggi eseguiti in fondazione.





I **detriti di versante** possono essere suddivisi in Detriti eluvio-colluviali a matrice limosa-argillosa e detriti colluvio-alluvionali recenti e attuali.

I **detriti eluvio-colluviali** superficiali che interessano il versante sinistro sopra il canale fuggatore hanno dato luogo ad un dissesto descritto nella documentazione agli atti come frana di medie dimensioni. Con riferimento al sopralluogo condotto nell'aprile 2021, l'area appare interessata da un soliflusso superficiale di limitata estensione, probabilmente causato dal processo di erosione del piede del versante innescato dal piccolo affluente di sinistra idrografica alimentato in passato anche dalle acque provenienti dalla struttura del canale fuggatore stesso. Queste valutazioni andranno tuttavia confermate mediante la realizzazione di un'opportuna campagna geognostica in sito che sarà oggetto delle prossime fasi progettuali.



**Figura 21** : Vista panoramica - Area soggetta a soliflusso superficiale in sponda sx a valle del canale fuggatore

Dall'interpretazione dei dati dei sondaggi effettuati nel 2005-2006 in quest'area possiamo valutare in massimo 5 m lo spessore del detrito di versante interessato dal soliflusso superficiale; al di sotto dello strato superficiale di detrito, i sondaggi indicano uno spessore variabile dai 10 ai 14 m di Daciti alterate e fortemente argillificate, al di sotto delle quali si ritrova il substrato roccioso composto da Daciti fratturate.

Si nota però che nonostante la densità dei sondaggi effettuati in passato nell'area, non è stato installato nessun inclinometro in foro e nemmeno dei target topografici superficiali per poter monitorare eventuali movimenti del versante. Pertanto, nonostante non sembrano oggi evidenti segni di un movimento franoso in atto, nelle prossime fasi progettuali si dovranno eseguire ulteriori indagini geognostiche in quest'area, per meglio indagare il fenomeno descritto negli studi pregressi.

Il sopralluogo svolto dagli scriventi ha anche evidenziato la presenza di un forte reticolo di fratturazione nelle pareti verticali costituite da Daciti e Andesiti, in particolare si sono identificati 3 sistemi di fratturazione  $K1=140/90$ ;  $K2=225/90$  e  $K3=260/25$  con persistenze e spaziature metriche che danno origine a grossi blocchi sospesi lungo le pareti circostanti la diga di Bunnari Basso.





La verticalità del versante costituisce un fattore di instabilità che può portare a crolli di porzioni di roccia anche di grosse dimensioni, blocchi che al momento giacciono in equilibrio precario alla sommità dei versanti verticali in corrispondenza di quasi tutto l'invaso ed in modo particolare in prossimità del corpo diga sia nella zona di monte che di valle.

Un rilievo geologico e geostrutturale di dettaglio sarà eseguito nelle prossime fasi di progettazione, e permetterà di definire gli interventi di stabilizzazione necessari alla messa in sicurezza dell'area.



**Figura 22** : Vista panoramica - Pareti fortemente fratturate sponda imposta diga



## 7 PIANO DI INDAGINI GEOGNOSTICHE

Come anticipato nel paragrafo 3 (Studi pregressi e documenti messi a disposizione), tra il 2004 e il 2006, a seguito del progetto preliminare di adeguamento delle Dighe Bunnari Alto e Basso redatto dall'ing. Porcheddu, un'importante campagna di indagini è stata realizzata dalla ditta ICEIA srl di Cagliari per conto del Comune di Sassari.

Queste indagini, per quanto riguarda la diga Bunnari Basso, hanno interessato principalmente il corpo di muratura della diga stessa e l'ammasso di fondazione direttamente a valle ed a monte della diga. Inoltre, è stato indagato il terreno della zona di dissesto a valle del secondo sfioratore. Queste indagini hanno permesso di definire le principali caratteristiche meccaniche ed idrauliche dei terreni e delle rocce in corrispondenza di queste opere.

Poiché la galleria di by-pass e le sue opere connesse si svilupperanno in zone non interessate dalle precedenti indagini, si rende necessaria la realizzazione di una nuova campagna.

La campagna comprenderà quindi geofisica, sondaggi, prove in foro e prove su campioni in laboratorio principalmente nelle aree seguenti:

- Zona galleria, in particolare, lungo il suo tracciato ed in corrispondenza degli imbocchi di monte e di valle ed in corrispondenza della vasca di dissipazione a valle;
- Zona argine di ritenuta idraulica, in corrispondenza della sua impronta;
- Zona edificio filtri, in adiacenza alle sue fondazioni perimetrali.

Infine, nuove indagini geognostiche e geofisiche saranno realizzate in corrispondenza del presunto versante in frana. Esse dovranno consentire di individuare la presenza o no di un corpo di frana in movimento, la cui presenza, se fosse riscontrata, necessiterà di opere di stabilizzazione di versante relativamente significative. Quindi, oltre alle indagini classiche di caratterizzazione, andranno installati piezometri ed inclinometri, la cui lettura dovrà essere realizzata con frequenza regolare per una durata minima di un anno solare.

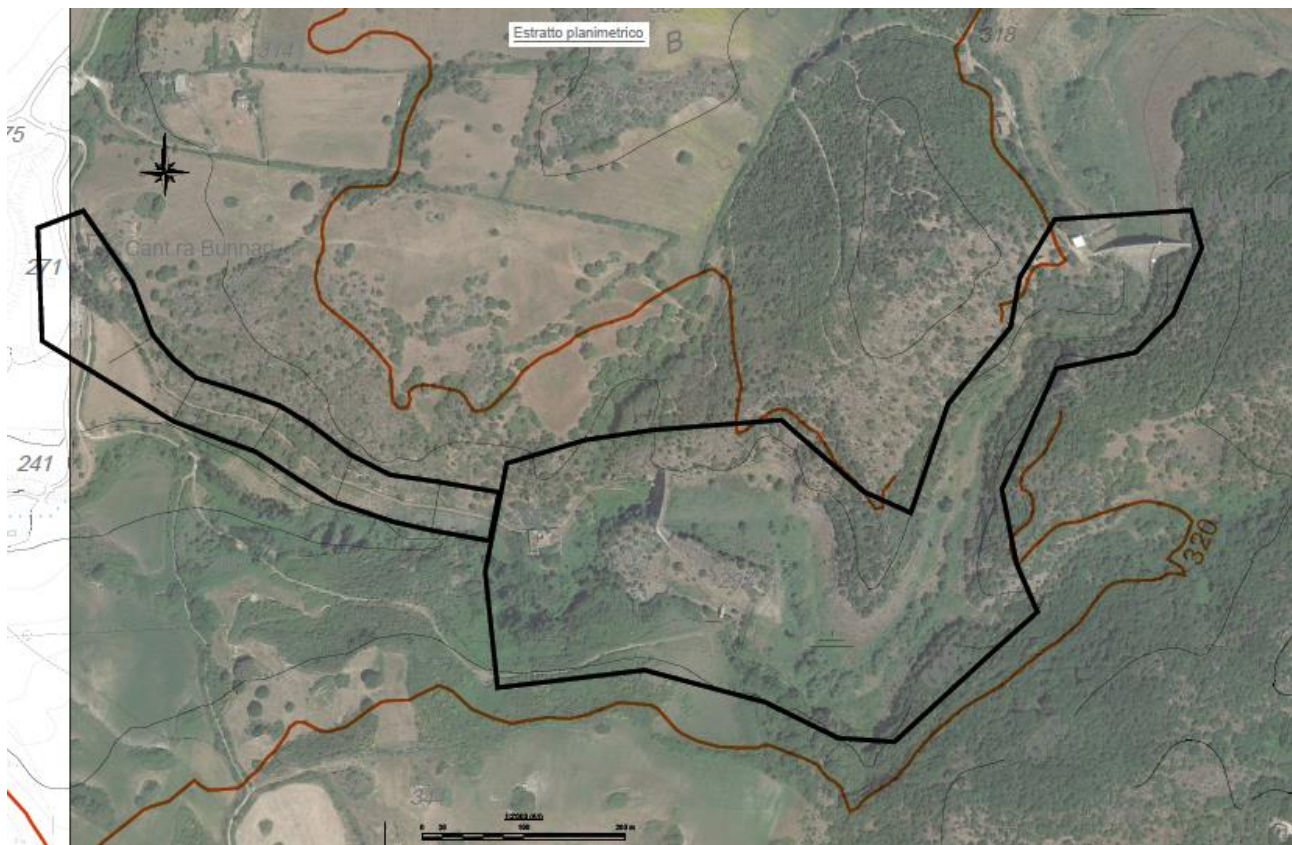
Il Piano di Indagini è presentato nel documento 2020\_0275\_002\_IGE\_R001, con il computo metrico estimativo allegato a fine documento. Questa campagna dovrà essere svolta prima dell'avvio del Progetto Definitivo.

## 8 RILIEVI TOPOGRAFICI

In questa fase progettuale, nonostante le attività fossero previste nelle successive fasi progettuali, lo scrivente RTP ha provveduto a sviluppare i rilievi topografici plano-altimetrici delle aree di entrambe le dighe di Bunnari Alto e Bunnari Basso, ed i rilievi topografici di dettaglio dei manufatti della diga bassa.

Le operazioni di rilievo in campagna hanno avuto luogo durante l'ultima settimana del mese di maggio 2021, e hanno compreso le seguenti attività:

- Rilievo plano-altimetrico delle aree individuate con linea nera nella **Figura 23**, e precisamente:
  - o asse fluviale del rio Bunnari e delle sue sponde fino alla quota di ca. 300 m slm, delimitato a monte dalla Diga Alta e a valle dalla Diga Bassa, fino all'edificio della casa filtri (compreso); nella zona della Diga Bassa l'area di rilievo è stata estesa sulla sponda sx fino a comprendere la parte terminale del sentiero di accesso al ponte del secondo sfioratore; l'area si estende per una superficie di complessivi 150'000 m<sup>2</sup> ca.
  - o una fascia di larghezza di ca. 50m in asse al sentiero di accesso alla Diga Bassa, a partire dal bivio della strada poderale; l'area si estende per una superficie di ca. 30'000 m<sup>2</sup>.



**Figura 23** : Area soggetta a rilievi topografici





- Rilievo di tutti i manufatti inclusi nell'area della Diga di Bunnari Bassa, e precisamente:
  - o Diga di Bunnari Bassa, inclusi la torre di presa sul paramento di monte e i 3 piccoli manufatti addossati al paramento di valle (manufatto di sbocco dello scarico di fondo della diga ubicato al piede e 2 manufatti in cui sono alloggiati gli organi di regolazione, lato sponda dx);
  - o Manufatto di sbocco dello scarico di fondo della diga Alta, posto poco a valle della diga Bassa;
  - o Edificio Filtro;
  - o 1° sfioratore in sponda sx (prolungamento dell'asse diga con il ponte);
  - o 2° sfioratore in sponda sx (canale fuggatore a cielo aperto e ponte);
  - o Tracciato di tutte le condotte presenti nell'area, con rilievo dei rispettivi diametri;
  - o Piccolo manufatto (ca. 3x3m) ubicato lungo il sentiero di accesso alla diga.

Per i piccoli manufatti citati (3 manufatti addossati su paramento valle diga + 1 manufatto sul sentiero di accesso) e per l'Edificio Filtro, i rilievi hanno compreso il rilevamento della geometria del manufatto sia dell'esterno che degli spazi interni, con conseguente rilievo degli spessori delle colonne, pareti, solai, ecc...

L'attività di rilievo è stata eseguita integrando metodologie topografiche con attività laser scanner terrestre e LIDAR da drone.

Il rilievo plano-altimetrico dell'area delle due dighe Bunnari Basso e Alto è stato realizzato attraverso metodologia LIDAR da Drone e fotogrammetria, mentre i manufatti antropici sono stati rilevati esternamente ed internamente con metodologia Laser scanner terrestre. Il tutto è stato georeferenziato attraverso sistemi topografici e GPS nel sistema cartografico nazionale UTM WGS84.



**Figura 24** : Rilievo Lidar da drone dell'area a valle della diga Bunnari Basso





**Figura 25** : Rilievo Lidar da drone dell'area completa - Diga Bunnari Alto e Basso compreso il sentiero di accesso alle aree

Nell'area della diga di Bunnari Basso sono concentrati tutti i manufatti che sono stati rilevati con metodologia laser scanner terrestre. Il risultato finale dei rilievi è un unico modello 3D delle nuvole di punti, correttamente referenziato nel sistema assoluto UTM WGS84, contenente le informazioni geometriche di tutti gli elementi rilevati.



EDIFICI ORGANI DI REGOLAZIONE



EDIFICIO CASA FILTRI



SFIORATORE 2 - PONTE



SCARICO DI FONDO

**Figura 26** : Rilievo Laser scanner terrestre dei manufatti

MANDATARIA:

MANDANTI:



## 9 GALLERIA DI DERIVAZIONE E RITENUTA IDRAULICA

La soluzione che è stata individuata nell'analisi multi-criteri del DOCFAP come presentando il miglior rapporto tra costi e benefici per la collettività e per l'ambiente si contraddistingue per la creazione di una ritenuta idraulica posta a quota di **275 m s.m.m.**, che si estende per una discreta porzione nell'invaso sotteso creando uno specchio idraulico che si estende su un'area pari a 4,882.03 m<sup>2</sup>.

La ritenuta idraulica che consiste in un argine in terreno sciolto è ubicata subito dopo il gomito creato dall'ansa del fiume, e mantiene inalterato l'ambiente naturale nell'immediata vicinanza del paramento monte della diga.

Il by-pass idraulico è costituito da una **galleria** naturale di diametro interno di 5,5 m e di lunghezza ca. 150 m, che si sviluppa interamente in roccia attraversando lo sperone roccioso in sponda sinistra della diga.

I principali corpi d'opera che compongono tale soluzione (Soluzione denominata come soluzione B nel DOCFAP, anche chiamata soluzione Galleria Lunga) sono i seguenti:

- argine di ritenuta idraulica;
- opera di captazione, costituita da muro con stramazzo superiore Scimemi-Creager, a n.3 settori;
- galleria a sezione di ferro di cavallo, preceduta da un corto tratto di scivolo di raccordo;
- opera di dissipazione costituita da un bacino di smorzamento a valle.

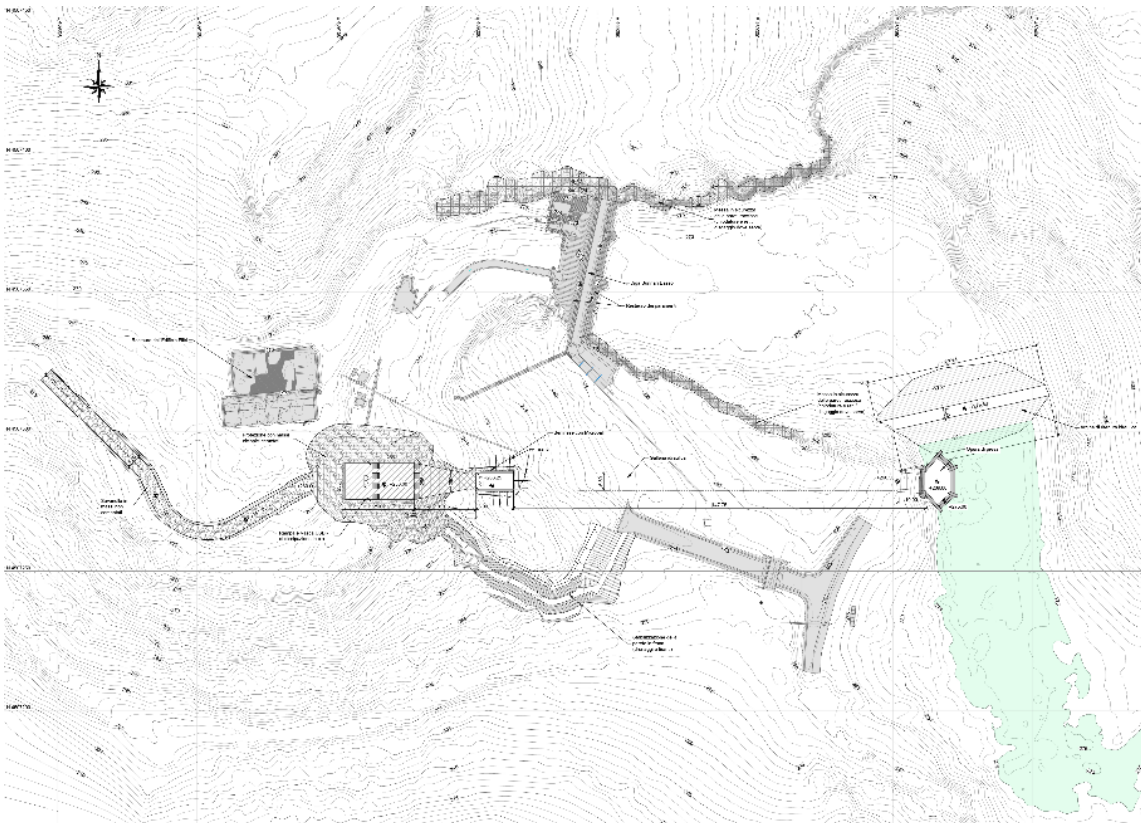


Figura 27 : Stralcio planimetrico della soluzione scelta





## 9.1 CRITERI IDRAULICI

L'opera idraulica è dimensionata per il picco di portata dell'evento millenario  $T_r=1000$ , pari a  $Q=194.47 \text{ m}^3/\text{s}$ . L'opera è concepita per funzionamento idraulico a pelo libero, non in pressione, con livello idraulico di attivazione superiore di circa 3 m rispetto alla quota di fondo invaso. Tali criteri sono stati conseguiti prevedendo un diversivo in galleria.

L'opera di presa è costituita da uno stramazzo frontale sagomato e suddiviso in n. 3 settori che alimentano una vasca di carico. La vasca precede uno scivolo ( $\Delta H=3\text{m}$ ) che assicura la condizione di corrente critica al suo imbocco e che restringe la larghezza di deflusso da 6.8 m (imbocco) fino a 5.5 m. Segue galleria a sezione corrente a ferro di cavallo, di larghezza pari a 5.5 m, dove la corrente di deflusso si mantiene a regime supercritico.

La dimensione altimetrica e planimetrica dello scivolo scongiura la possibilità di generare rigurgito al livello idraulico dell'invaso che insiste sullo stramazzo di presa. Il raccordo tra la sezione finale dello scivolo e la sezione iniziale della galleria presenta un salto di 0.5 m funzionale a sopperire alle perdite di carico al passaggio tra le due sezioni: la corrente si mantiene pertanto in regime supercritico. L'assetto altimetrico della galleria è tale da assicurare una velocità di deflusso pari a circa 10 m/s e un grado di riempimento non superiore a 70%.

L'opera di dissipazione è costituita da una vasca (stilling basin) che presenta un salto idraulico di 9.32 m e un'espansione planimetrica, che conferiscono al deflusso un numero di Froude idoneo per inserire un dissipatore del tipo USBR III. La vasca è poi terminata da un gradino che si raccorda al fondo alveo esistente. La vasca è funzionale a contenere il risalito idraulico, che assicura la dissipazione del carico cinetico in uscita dalla galleria.

## 9.2 DESCRIZIONE DELLE OPERE CIVILI

L'argine di ritenuta idraulica avrà un'altezza di ca. 8 m, con pendenza dei paramenti di valle e di monte pari a 1 (V) : 1,6 (H). Il corpo dell'argine sarà formato da un rilevato in materiale tout-venant proveniente dagli scavi della galleria, dei suoi imbocchi e della vasca di dissipazioni; un nucleo centrale in materiale fino fungerà di barriera impermeabile. Il paramento di monte sarà protetto da una scogliera con massi ciclopici, mentre quello di valle sarà ricoperto di terreno vegetale e rinverdito tramite idrosemina.

L'opera di captazione sarà costituita da un manufatto in c.a. con un muro di stramazzo superiore sagomato a Scimemi-Creager, che si svilupperà in 3 settori intervallati da n. 2 pile intermedie e contenuti da n. 2 muri laterali. Questa geometria creerà a valle dello sfioro una vasca di carico, che convoglierà l'acqua in galleria tramite uno scivolo di raccordo.

La galleria idraulica, a forma di ferro di cavallo e di diametro interno idraulico di 5,5 m, si svilupperà per ca. 150 m interamente in roccia. Lo scavo sarà realizzato adoperando le tecniche classiche di scavo in tradizionale con esplosivi, martellone e scavatore, in funzione della qualità della roccia. La messa in sicurezza dello scavo all'avanzamento del fronte verrà eseguita con chiodatura radiale e spritz-beton della volta se la roccia è di buona qualità, ovvero con centine metalliche e spritz-beton se la roccia si presenta fratturata. La galleria sarà interamente rivestita a fine scavo con un rivestimento di calcestruzzo.



L'imbocco in galleria lato monte potrà essere realizzato semplicemente previa messa in sicurezza della parete rocciosa d'imbocco con chiodatura e posa di reti paramassi. Lo sbocco invece richiederà verosimilmente la realizzazione di una berlinese tirantata, interessando probabilmente qualche detrito di versante al piede del pendio.

L'opera di dissipazione a valle sarà costituita da un bacino di smorzamento, con fondo della vasca a ca. 4 m sotto la quota del terreno naturale in alveo.

Il fondo della vasca sarà rivestito con una platea in c.a. con elementi dissipativi sporgenti. Le sue scarpate invece saranno protette con massi ciclopici cementati.



## 10 OPERE ACCESSORIE

### 10.1 OPERE DI STABILIZZAZIONE DEI VERSANTI

In accordo con le prescrizioni del Servizio Nazionale Dighe contenute nel verbale dell'UTD di Cagliari del 22.10.18, gli interventi prevederanno la stabilizzazione delle pareti rocciose delle sponde sinistra e destra del Bunnari nei dintorni della Diga Bassa e della parete in frana ubicata all'uscita del canale dello Sfiatore 2.

La stabilizzazione delle pareti rocciose delle sponde sinistra e destra del Bunnari sarà eseguita mediante **chiodatura** e posa di **reti** aderenti delle zone instabili. Mirati interventi di disgaggio verranno anche eseguiti per rimuovere blocchi di roccia in equilibrio precario alla sommità dei versanti verticali.

Un rilievo geologico-geomeccanico di dettaglio sarà eseguito nelle prossime fasi progettuali e consentirà di definire l'estensione degli interventi di stabilizzazione necessari alla messa in sicurezza dell'area.

La parete ubicata a sinistra dello sbocco del canale fagatore dello Sfiatore 2 invece è interessata da un dissesto verosimilmente innescato dal piccolo affluente di sinistra idrografica alimentato in passato anche dalle acque provenienti dalla struttura del canale fagatore stesso. Le indagini geognostiche che saranno eseguite prima dell'avvio della progettazione definitiva consentiranno di definire l'estensione areale esatta del dissesto e la sua profondità. Si prevede comunque fin da ora di procedere ad un **rimodellamento della parete** con alternanza di berme e scarpate, stabilizzate con tirantatura e drenaggio del versante. Le scarpate saranno protette da geostuoia e rinverdate con idrosemia secondo la tecnica dei Prati Armati. Delle specie arbustive saranno piantate lungo le berme per un reinserimento completo dell'intervento nel paesaggio in loco.

### 10.2 RESTAURO DEL MURAGLIONE, DELL'EDIFICIO FILTRI E DEL MANUFATTO SIFONE

I manufatti storici presenti all'interno dell'area di progetto saranno oggetto di un accurato intervento di restauro volto alla **conservazione filologica** degli stessi, al fine di preservarne l'integrità materica e storica. Il muraglione del corpo diga, l'edificio filtri e il sifone costituiscono elementi cardine della rete idrica che conduceva l'acqua dalle valli di Bunnari sino al centro di Sassari, costituendo un'opera di ingegneria idraulica ottocentesca tra le più significative nel territorio sardo. L'intervento, pertanto, nel rispetto del Codice dei Beni Culturali, si pone come obiettivo **il recupero e la riqualificazione dei manufatti** attraverso una serie di interventi che valorizzino e rendano fruibile in sicurezza il sito, ridonando alla comunità una parte della propria storia.

Gli interventi principali sul **muraglione** del corpo diga, alto circa 27 metri nel lato di valle, sono finalizzati alla **rimozione delle superfetazioni** sulla destra idraulica e dei materiali incongrui ed alla **pulitura dei paramenti murari**. Al fine di consentire la fruizione in sicurezza del coronamento si procederà alla sostituzione e reintegrazione dei parapetti.

L'**edificio filtri**, caratterizzato da una distribuzione planimetrica scandita dalle vasche che in origine erano parte integrante del processo di filtraggio, verrà preservato mantenendo l'articolazione spaziale attuale.





L'intervento principale è costituito dal **reintegro della copertura**, in gran parte crollata. L'intervento sulle superfici sarà destinato alla **rimozione delle patine biologiche**, alla **rimozione dei materiali incongrui** e al **consolidamento delle parti decoese o alveolizzate**. Il pessimo stato di conservazione delle pavimentazioni e la presenza di cavità al di sotto del calpestio, rende necessaria la **realizzazione di una nuova pavimentazione** che garantisca la fruizione in sicurezza dell'edificio e al tempo stesso preservi la struttura originaria. Al fine di proteggere gli ambienti interni dagli agenti atmosferici si procederà alla **posa di nuove finestre**. Si prevede, al fine di rendere fruibile lo spazio interno per piccole esposizioni, la realizzazione un **impianto elettrico e di illuminazione**. Infine, si prevede la **demolizione delle vasche** in c.a. a ridosso dell'edificio filtri.

Gli interventi previsti sul piccolo **edificio sifone** saranno finalizzati alla **rimozione della vegetazione infestante**, causa di lesioni nel paramento murario, alla **pulitura delle superfici** e alla **integrazione degli intonaci mancanti**.

### **10.3 SISTEMAZIONI ESTERNE E PERCORSI**

Il percorso che conduce al corpo diga verrà ridefinito mediante lo scotico, lo scavo a larga sezione per la realizzazione di un cassonetto che sarà riempito con misto granulare di cava non legato adeguatamente costipato per uno spessore finito di circa 30 cm. A protezione della scarpata a monte sarà realizzato un **muretto in pietre** alto circa 1 m che permetterà di preservare il piano viario dalla caduta dei detriti provenienti dal disfacimento dei materiali rocciosi costituenti la scarpata. Sul lato valle occorre introdurre un **parapetto in legno** al fine di permettere il sicuro transito di veicoli e pedoni, proteggendone la possibile caduta nella ripida scarpata a valle. A protezione dello stradello si prevede la realizzazione di un muro di contenimento in c.a. nei tratti più critici. Per assicurare la continuità idraulica saranno inseriti dei tubolari in corrispondenza dei compluvi a monte.

## **11 OPERE A VERDE E MITIGAZIONE AMBIENTALE**

Gli interventi di mitigazione e compensativi hanno come obiettivo l'inserimento compatibile dell'opera all'interno di un sistema territoriale e paesaggistico di pregio come quello della valle di Bunnari.

Si prevede l'**idrosemia della porzione di argine a valle**, con piantumazioni arboree e arbustive.

L'opera di presa è mitigata grazie alla realizzazione di muri con nucleo in c.a. all'interno di casseri prefabbricati prefiniti con **rivestimento in pietra** simile a quella presente nei manufatti esistenti. Lo sfioratore sarà **rivestito in COR-TEN**.

La vasca di dissipazione verrà protetta da **scogliera in massi ciclopici con pietra locale**, creando una continuità visiva rispetto al contesto.

L'intervento di mitigazione relativo all'opera di stabilizzazione delle pareti a rischio frana, ubicata a sinistra dello sbocco del canale fugatore dello Sforatore 2, verrà eseguita mediante **prati armati**.



## 12 ESPROPRI

Al fine di realizzare l'opera in progetto si rendono necessari alcuni espropri (sentiero di accesso al secondo sfioratore, area ubicata direttamente a sud del canale del secondo sfioratore, area comprendente il piede della scarpata a nord dell'edificio filtri). In totale la superficie di esproprio è pari a 6 772.78 mq. L'indennità di esproprio è pari a 16 887,50 €, a cui vanno aggiunte le indennità integrative spettanti ai coltivatori diretti e per la cessione volontaria (6 447,75 €). A dette cifre devono sommarsi gli oneri relativi ai frazionamenti e alle trascrizioni (€ 6.664,75). Complessivamente per gli espropri si accantonano 30 000,00 €.

## 13 INTERFERENZE

L'area di intervento si trova all'esterno del centro urbano e le interferenze presenti sono riferibili principalmente ai sottoservizi funzionali alla diga. Si rilevano due condotte, che si originano in corrispondenza dell'invaso e si sviluppano planimetricamente formando tra le due direttrici un angolo di circa 27°. Il ramo che corre a nord del Rio Bunnari in parte corre parallelamente allo stradello e in almeno due punti lo interseca. La condotta a valle del Rio Bunnari, dopo aver intersecato lo stradello di valle si allontana verso l'ex cementificio di Scala di Giocca. Inoltre, dalla consultazione della cartografia storica si rileva la presenza del vecchio acquedotto, che dall'invaso giungeva sino alla città di Sassari, costeggiando lo stradello a monte del Rio Bunnari

In corrispondenza dell'ingresso alla diga si rilevano linee elettriche aeree in media e bassa tensione, inoltre è presente una cabina di trasformazione MT/BT a monte dell'edificio filtri. Lungo il percorso definito dagli stradelli a monte e a valle del Rio Bunnari, sono presenti linee elettriche aeree, su palo in legno e in metallo. Considerata la cessazione dell'attività originarie della Diga di Bunnari Basso, buona parte dei sottoservizi che la servivano sono in disuso e considerata la loro vetustà, non sono suscettibili di essere riconvertiti alle esigenze dell'attuale progetto. Pertanto, si propone la rimozione di tutte le linee aeree interferenti con la realizzazione dei percorsi di accesso e con il recupero dei manufatti storici. Si prevede la demolizione della cabina elettrica. Per quanto riguarda le condotte interrate si cercherà di conservarne l'integrità anche in considerazione della modesta profondità degli scavi previsti in progetto.

Ai fini di assicurare la necessaria larghezza dei percorsi di accesso, è necessario procedere all'abbattimento di alcune piante di alto fusto presenti sul bordo degli stradelli, che dai sopralluoghi sono risultati essere della specie *Eucalyptus*. L'intervento di realizzazione delle piste di accesso sterrate ha positive ricadute anche per quanto riguarda la prevenzione e lotta agli incendi boschivi.



## 14 BILANCIO DELLE MATERIE

Per quanto riguarda la gestione delle terre ed i bilanci delle materie, in linea del tutto generale, si può prevedere un **riutilizzo** in cantiere delle terre di scavo provenienti dallo scavo della galleria, degli imbocchi e delle vasche per la costruzione dell'argine. Anche per il rivestimento delle opere di dissipazione costituito da scogliere di massi ciclopici cementati si può prevedere un importante riutilizzo dei materiali estratti dagli scavi, come pure si può certamente prevedere l'utilizzo in sito dell'esubero delle terre per piccole opere di rimodellamento del terreno (rimodellamento dell'alveo a valle della diga, realizzazione di percorsi pedonali, ecc...).

Il bilancio delle terre in termini di volumi e pesi è sintetizzato nelle seguenti tabelle:

	SCAVI	RIPORTI			
	Volume SCAVI (mc)	Volume ARGINE (mc)	Volume SCOGLIERA (mc)		
	Imbocchi-Galleria-Canale-Vasche	Materiale tout-venant e materiale fine	Protezione argine e vasca dissipazione		
<b>Soluzione B - Galleria lunga</b>	13.400	9.100	2.300		
peso specifico (ton/mc)	2,3	2	2,2		
media tra roccia e terreno sciolto					
	SCAVI	RIPORTI		ESUBERI	% tra Esuberi e Scavi
	Peso SCAVI (ton)	Peso ARGINE (ton)	Peso SCOGLIERA (ton)	Peso (ton)	
	Imbocchi-Galleria-Canale-Vasche	Materiale tout-venant e materiale fine	Protezione argine e vasca dissipazione		
<b>Soluzione B - Galleria lunga</b>	30.820	18.200	5.060	7.560	25%

**Tabella 4:** Bilancio materie

Il materiale da conferire in discarica autorizzata secondo quanto previsto dalle norme vigenti sarà quindi ridotto al minimo, e limitato al materiale le cui caratteristiche non risultino idonee al reimpiego, o dal punto di vista ambientale, ovvero dal punto di vista geotecnico.