

# “TACCU SA PRUNA”

Impianto di accumulo idroelettrico mediante pompaggio  
ad alta flessibilità

Comune di Esterzili (SU)

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE

STRATEGIES FOR WATER



Progettisti: Ing. Luigi Lorenzo Papetti

## Relazione tecnica particolareggiata



REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
0	PRIMA EMISSIONE	15/06/2022	E. Marchesi	C. Pasqua	L. Papetti

Codice commessa: 1351

Codifica documento: 1351-A-FN-R-01-0

## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>GENERALITÀ – GLI ACCUMULI IDROELETTRICI PER LE ESIGENZE DEL SISTEMA ELETTRICO</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>CARATTERISTICHE PRINCIPALI DELL’IMPIANTO</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>INVASO DI NURAGHE ARRUBIU</b>	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>OPERE IN PROGETTO</b>	<b>18</b>
5.1	Opera di presa di valle	18
5.2	Pozzo paratoie	19
5.3	Centrale in caverna	20
5.4	Sottostazione elettrica	24
5.5	Vie d’acqua	25
5.6	Pozzo piezometrico	25
5.7	Gallerie d’accesso	28
5.7.1	Galleria d’accesso alla centrale in caverna	28
5.7.2	Galleria d’accesso al pozzo paratoie	29
5.7.3	Galleria d’accesso al pozzo piezometrico	30
5.7.4	Galleria di connessione alla galleria idraulica	30
5.7.5	Galleria d’accesso alla sottostazione elettrica in caverna	30
5.7.6	Galleria d’accesso in calotta per sottostazione elettrica e centrale	31
5.8	Bacino di monte	31
5.8.1	Opera di presa di monte	34
5.8.2	Sbocco cunicolo di drenaggio	35
5.8.3	Sfioratore di superficie	35
5.8.4	Drenaggio dello sfioratore di superficie	35
5.8.5	Sistemi di monitoraggio	35
5.8.6	Strade di servizio e recinzioni	36
<b>6</b>	<b>VIABILITÀ DA ADEGUARE</b>	<b>37</b>
<b>7</b>	<b>CRONOPROGRAMMA</b>	<b>38</b>

## 1 INTRODUZIONE

Scopo dell'iniziativa in progetto è la realizzazione di un sistema di accumulo idroelettrico mediante impianto di pompaggio, tra l'invaso esistente di Nuraghe Arrubiu ed un bacino di nuova realizzazione in località Taccu Sa Pruna, nel comune di Esterzili (SU).

L'intervento è ascrivibile alla categoria dei cosiddetti "impianti di pompaggio puro", in quanto gli apporti naturali che alimentano il serbatoio superiore (di nuova realizzazione) sono in media inferiori al 5% del volume d'acqua turbinato in un anno.

Nel caso dell'impianto di Taccu Sa Pruna, si prevede di utilizzare esclusivamente una parte del volume invasato nel bacino di Nuraghe Arrubiu (gestito dall'Ente Acque della Sardegna -ENAS-), non prevedendo quindi l'utilizzo di acque derivanti da ulteriori apporti naturali per il bacino di monte di nuova realizzazione.

In ragione del fatto che non viene sottratta ulteriore risorsa ad alcun corso d'acqua, non è pertanto prevista la definizione di alcun deflusso minimo vitale dal bacino di monte.

Si precisa altresì che il funzionamento del sistema di accumulo idroelettrico è assimilabile ad un ciclo chiuso in cui il volume prelevato dall'invaso di valle viene poi interamente restituito all'invaso medesimo mediante il rilascio (fase di generazione) delle acque dal bacino di monte, senza alcuna interazione con le acque di falda. Quindi, nell'ambito della progettazione sono state considerate tutte le misure opportune mirate ad evitare perdite ed infiltrazioni dalle opere superficiali (bacino di monte) dalle vie d'acqua (gallerie idrauliche), sia per evitare interferenze con la falda esistente, che per questioni di sicurezza. In fase di progettazione e dimensionamento dell'intervento si è tenuto conto -principalmente- della morfologia dei luoghi, della pianificazione territoriale nonché delle esigenze tecniche e impiantistiche atte a garantire l'uso più efficiente della risorsa idrica per le attività di accumulo idroelettrico, in un contesto di piena compatibilità con l'eventuale soddisfacimento di usi irrigui già assentiti.

Nei seguenti capitoli, dopo un inquadramento generale sul ruolo degli accumuli idroelettrici in relazione alle esigenze del sistema elettrico, verranno illustrate le principali caratteristiche dell'impianto, lo stato di fatto dei luoghi ed infine verrà descritto in modo particolareggiato l'intervento in progetto.

## 2 GENERALITÀ – GLI ACCUMULI IDROELETTRICI PER LE ESIGENZE DEL SISTEMA ELETTRICO

Il Piano Nazionale Integrato Energia e Clima (PNIEC), predisposto in attuazione del regolamento europeo sulla governance dell'unione dell'energia e dell'azione per il clima, costituisce lo strumento con il quale ogni Stato, in coerenza con le regole europee vigenti e con i provvedimenti attuativi del pacchetto europeo Energia e Clima 2030, stabilisce i propri contributi agli obiettivi europei al 2030 sull'efficienza energetica e sulle fonti rinnovabili e quali sono i propri obiettivi in tema di sicurezza energetica, mercato unico dell'energia e competitività.

Il PNIEC prevede, fra l'altro, azioni per decarbonizzare il sistema energetico e raggiungere i target previsti al 2030, ovvero:

- 30% quota di energia da FER nei consumi finali lordi di energia (55,4% sui consumi elettrici);
- 43% riduzione dei consumi di energia primaria rispetto allo scenario PRIMES 2007;
- 43% riduzione dei GHG vs 2005 per tutti gli impianti vincolati dalla normativa ETS (- 33% sui settori non ETS).

Il settore della generazione elettrica subirà dunque notevoli cambiamenti in previsione del *phase-out* del carbone e dell'installazione al 2030 di 30 GW di fotovoltaico e 10 GW di eolico (più che raddoppiando la quota attuale di fotovoltaico e raddoppiando quella di eolico).

La crescente penetrazione delle fonti rinnovabili non programmabili nel sistema elettrico pone una serie di sfide da affrontare affinché il processo di transizione energetica si possa svolgere in maniera decisa ed efficace, mantenendo gli attuali elevati livelli di qualità del servizio.

Le variazioni del contesto (incremento FER e contestuale dismissione di impianti termoelettrici poco efficienti) causano infatti già oggi, e ancor di più in futuro, significativi impatti sulle attività di gestione della rete. Tali impatti sono riconducibili a:

- caratteristiche tecniche degli impianti: gli impianti FER che si collegano alla rete tramite inverter non hanno la medesima capacità delle macchine rotanti di sostenere la stabilità dei parametri fondamentali di rete (frequenza e tensione) e di resistere alle perturbazioni, come ad esempio la perdita improvvisa di impianti di generazione/carico o altri elementi di rete e la riduzione della potenza regolante e dei margini di riserva alla punta, oltre a richiedere una maggiore quantità di risorse rapide di regolazione;
- non programmabilità degli impianti: la produzione di energia elettrica da FER non segue le dinamiche del fabbisogno di energia per il consumo, bensì dinamiche caratteristiche della disponibilità della fonte energetica primaria che sono per loro natura intermittenti. In un sistema elettrico a crescente penetrazione FER tale caratteristica genera criticità nel bilanciamento tra consumo e produzione a causa della riduzione del numero di risorse in grado di fornire servizi di regolazione, in particolare nei momenti critici per la rete quali picchi e rampe di carico, che aumentano

sempre più soprattutto nella fascia serale. Il sistema inoltre è ancor di più a rischio nei periodi in cui la produzione da FER supera il fabbisogno di energia elettrica (*overgeneration*), soprattutto nelle ore centrali della giornata quando il solare arriva al suo picco di produzione, con conseguente necessità di disporre di adeguata capacità di accumulo al fine di non dover ricorrere al taglio dell'energia prodotta;

- localizzazione degli impianti: gli impianti FER, in particolare l'eolico, sono spesso localizzati lontani dai centri di consumo, causando un aumento delle situazioni di congestione sulla rete di trasmissione, specialmente da Sud verso Nord.

Terna S.p.A., (Terna) ritiene indispensabile la realizzazione di ulteriore capacità di accumulo idroelettrico e/o elettrochimico in grado di contribuire alla sicurezza e all'inerzia del sistema attraverso la fornitura di servizi di rete (regolazione di tensione e frequenza) e di garantire la possibilità di immagazzinare l'energia prodotta da fonti rinnovabili non programmabili quando questa è in eccesso rispetto alla domanda o alle capacità fisiche di trasporto della rete, minimizzando/eliminando le inevitabili situazioni di congestione; un maggior apporto di accumulo, segnatamente accumulo idroelettrico, è indispensabile per un funzionamento del sistema elettrico efficiente ed in sicurezza.

Per sopperire a queste criticità, il PNIEC prevede la necessità di sviluppare 3 GW di accumulo idroelettrico e 3 GW di accumulo elettrochimico soprattutto al Centro, al Sud Italia e nelle Isole dove è più intenso lo sviluppo delle rinnovabili ed è minore la capacità di accumulo.

**In particolare, gli impianti di pompaggio, soprattutto ad alta flessibilità come quello in progetto, costituiscono una risorsa strategica per il sistema elettrico, stante la capacità di fornire servizi pregiati di regolazione di frequenza e tensione, nonché di fornire un contributo significativo all'inerzia del sistema, potendo quindi contribuire significativamente in termini di adeguatezza, qualità e sicurezza del sistema elettrico nazionale.**

Nel presente progetto è stata adottata la configurazione di macchine idrauliche che garantisce, ad oggi, la massima flessibilità: il gruppo ternario con possibilità di funzionamento in corto-circuito idraulico. Questa tipologia di gruppo è composta essenzialmente da una pompa, una macchina elettrica funzionante sia come generatore che come motore ed una turbina sullo stesso asse. Ogni macchinario di questo gruppo ruota sempre nello stesso senso, sia in fase di generazione che di pompaggio, e pertanto i tempi di transizione tra le due fasi sono sensibilmente inferiori al più comune sistema alternativo, ossia i gruppi binari (in cui vi è un'unica macchina idraulica che funge da turbina se ruota in un senso e da pompa se ruota nel senso opposto). Inoltre, il funzionamento in corto-circuito idraulico consente il funzionamento simultaneo di pompa e turbina, ed una rapida regolazione della ripartizione delle portate tra queste due macchine: in questo modo è possibile sfruttare un più ampio ventaglio di potenze, sia in fase di generazione che di pompaggio, al cui interno è possibile muoversi nei minimi tempi possibili per gli impianti di pompaggio.

Il pompaggio fornirà anche servizi che saranno essenziali per garantire la corretta integrazione delle rinnovabili, assorbendo parte dell'*overgeneration* nelle ore centrali della giornata e producendo energia in corrispondenza della rampa di carico serale in cui il sistema si trova in assenza di risorse (coprendo quindi il fabbisogno nelle ore di alto carico e scarso apporto di solare/eolico). Il pompaggio potrà così contribuire anche alla riduzione del *curtailment* e delle congestioni di rete.

### 3 CARATTERISTICHE PRINCIPALI DELL'IMPIANTO

In Tabella 1 sono indicate le principali caratteristiche dell'impianto:

Grandezza	Valore	Unità di misura
Volume utile	~ 3.000.000	m <sup>3</sup>
Quota di massimo invaso del bacino di monte	663,10	m s.l.m.
Quota di massima regolazione del bacino di monte	662,70	m s.l.m.
Quota di minima regolazione del bacino di monte	652,00	m s.l.m.
Quota di massimo invaso dell'invaso di valle	269,00	m s.l.m.
Quota di massima regolazione dell'invaso di valle	267,00	m s.l.m.
Quota di minima regolazione dell'invaso di valle (per il funzionamento dell'impianto di pompaggio)	242,00	m s.l.m.
Dislivello medio tra i due bacini	~ 400	m
Ore di generazione consecutive a massima potenza	8,5	h
Ore di pompaggio consecutive a massima potenza	8,5	h
Portata istantanea massima in fase di generazione	96,5	m <sup>3</sup> /s
Portata istantanea massima in fase di pompaggio	96,5	m <sup>3</sup> /s
Potenza massima in fase di generazione	341,4	MW
Potenza massima in fase di pompaggio	391,8	MW
Potenza nominale dei motori-generatori	460	MVA
Potenza dei trasformatori	480	MVA
Lunghezza totale vie d'acqua	~ 2.300	m
Diametro vie d'acqua	5.500	mm
Altezza pozzo piezometrico	77	m
Diametro pozzo piezometrico	12	m

Tabella 1 – Caratteristiche principali dell'impianto

#### 4 INVASO DI NURAGHE ARRUBIU

La diga di Nuraghe Arrubiu sbarrava il fiume Flumendosa a Nuraghe Arrubiu, nel comune di Orroli, nella provincia del Sud Sardegna. La diga è attualmente gestita dall'Ente Acque della Sardegna (ENAS), ed è inserita all'interno del sistema idrico multisettoriale regionale, all'interno del Sistema 7 (Flumendosa - Campidano - Cixerri), e più specificatamente nel sistema 7A (Schema idraulico Medio e Basso Flumendosa); in Figura 1 si riporta la localizzazione dell'invaso di Nuraghe Arrubiu all'interno di tale sistema.

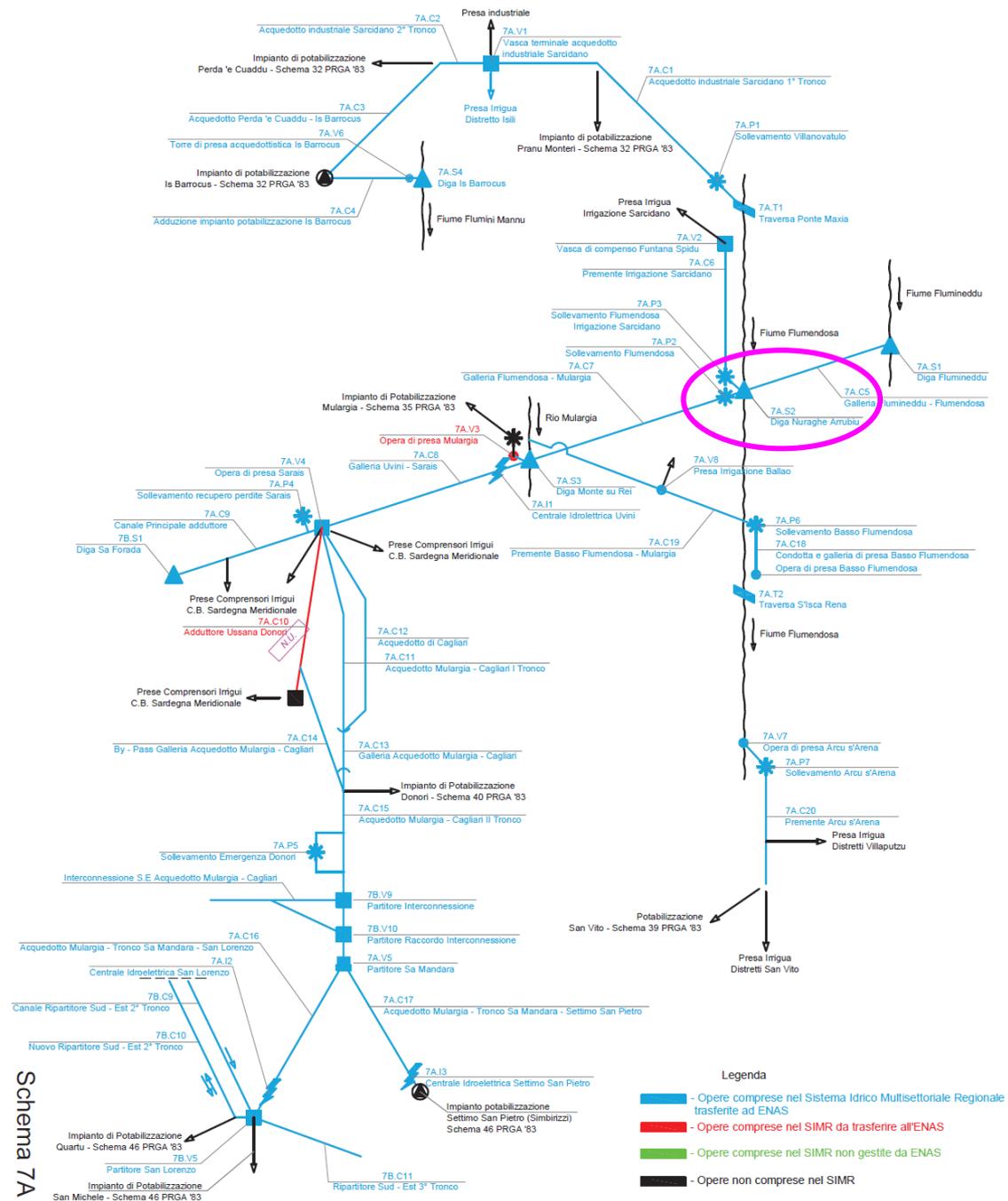


Figura 1 - Schema 7A del Sistema Idrico Multisettoriale Regionale (SIMR) 2015; in magenta è inquadrato l'invaso di Nuraghe Arrubiu

Al fine di un chiaro inquadramento dell'invaso all'interno del sistema idrico, si riporta di seguito quanto descritto nel "Riesame e aggiornamento del Piano di Gestione del Distretto idrografico della Sardegna - 2° ciclo di pianificazione, 2016-2021" (marzo 2016).

“.....

### **Schema idraulico 7A - Medio e Basso Flumendosa – Fluminimannu**

*Lo schema comprende le opere che permettono lo sfruttamento delle risorse idriche del medio e basso Flumendosa e di quelle del Fluminimannu a Is Barrocos. Le utenze alimentate dal sistema di opere sono prevalentemente quelle del Campidano di Cagliari, ed in misura minore, quelle del Sarcidano e del Sarrabus.*

*Le risorse del Medio Flumendosa sono regolate dall'invaso sul Flumendosa a Nuraghe Arrubiu e dall'invaso sul Rio Mulargia a Monte Su Rei, collegati tra loro tramite galleria. Tale sistema riceve, inoltre, la risorsa derivata mediante galleria idraulica del rio Flumineddu, affluente del Flumendosa, il cui corso è sbarrato dalla diga a Capanna Silicheri.*

*All'invaso Mulargia vengono addotte, mediante sollevamento, anche le risorse del basso corso del Flumendosa derivate dalla traversa di S'Isca Rena. Lungo il collegamento è localizzata la presa per l'alimentazione delle aree irrigue recentemente attrezzate in agro di Ballao. Tali aree sono al di fuori del perimetro dei Consorzi di Bonifica esistenti e l'intervento di infrastrutturazione irrigua, finanziato dalla regione, è stato realizzato dalla provincia di Cagliari; attualmente non esiste un gestore delle opere.*

*Le risorse del Basso Flumendosa sono inoltre derivate ad Arcu Sa Rena con presa in sub alveo e sollevate verso l'impianto di potabilizzazione di San Vito a servizio dello schema acquedottistico 27 "Sud Orientale".*

*Dall'invaso sul Flumendosa sono derivabili le risorse per l'alimentazione irrigua del Sarcidano: mediante sollevamento le acque dell'invaso vengono addotte ad una vasca di carico dalla quale origina la rete di adduzione e distribuzione.*

*Nella zona settentrionale dell'invaso è ubicata la traversa di Ponte Maxia, in agro di Villanovatulo, che permette la derivazione di portata da destinare all'alimentazione delle utenze della zona circostante:*

- l'impianto di potabilizzazione di Is Barrocos dello schema acquedottistico 21 PRGA 2004;
- gli impianti di potabilizzazione di Pranu Monteri e di Perd'e Cuaddu, appartenenti allo schema acquedottistico 32 PRGA 2004 (il piano acquedotti prevede di dismettere tale impianto e servire i centri ora alimentati da esso dall'impianto di potabilizzazione di Is Barrocos);

- l'area irrigua di Isili, attrezzata con finanziamento CASMEZ nell'ambito degli interventi compensativi per la realizzazione della diga di Is Barroccus e che attualmente è gestita dall'ENAS;
- la zona industriale di Perd'e Cuaddu di Isili.

*Le acque derivate dall'invaso sul Mulargia sono addotte verso il Campidano dopo lo sfruttamento idroelettrico con la centrale di Uvini. Allo sbocco della lunga galleria di adduzione è ubicata l'opera di presa di Sarais che alimenta i distretti settentrionali del Consorzio di Bonifica della Sardegna Meridionale, lo schema acquedottistico n. 40 "Campidano" (PRGA 83) e l'acquedotto Mulargia - Cagliari a servizio del 125/399 sistema idropotabile del capoluogo regionale. I due acquedotti corrono pressoché paralleli e convergono in un unico tronco di galleria poco prima della derivazione per l'impianto di potabilizzazione Donori.*

*La linea di trasporto Mulargia - Cagliari è interconnessa al sistema multisettoriale del Campidano e, attraverso questa, alla linea Tirso - Flumendosa; pertanto le acque del bacino del fiume Tirso possono essere addotte agli impianti di potabilizzazione di Donori e di Cagliari.*

*Inoltre le acque trasferite verso i due impianti di potabilizzazione di Cagliari, San Michele e Simbirizzi, possono alimentare i due impianti di recupero energetico, rispettivamente San Lorenzo e Settimo San Pietro.*

*A valle della presa di Sarais la risorsa dell'invaso del Mulargia prosegue in canale a pelo libero fino all'invaso di Sa Forada che costituisce il bacino terminale dell'adduzione; lungo il tragitto del canale adduttore sono alimentate ulteriori utenze irrigue del Consorzio di Bonifica della Sardegna Meridionale. L'invaso di Sa Forada con il vicino invaso di Casa Fiume, traversa fluviale che sbarra e deriva le acque del Fluminmannu, costituiscono gli invasi dai quali ha origine tutto il sistema di adduzione irrigua del Campidano di Cagliari, appartenente allo schema idraulico 7B. ...."*

Il centro di documentazione dei bacini idrografici (CEDOC) della Regione Sardegna dispone di una banca dati in cui sono contenuti molteplici dati relativi agli invasi sardi. Di seguito vengono riportati (Figura 2, Figura 3 e Figura 4) gli andamenti mensili dei volumi invasati all'interno del bacino di Nuraghe Arrubiu, disponibili da ottobre 1994 ad aprile 2022.

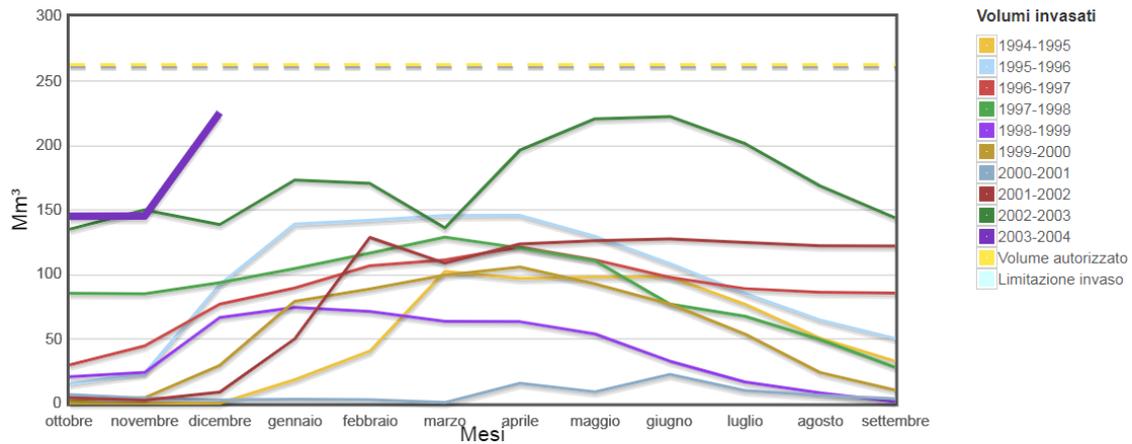


Figura 2 - Andamento mensile dei volumi invasati all'interno dell'invaso di Nuraghe Ar-rubiu da ottobre 1994 a settembre 2004 (fonte: CEDOC Sardegna)

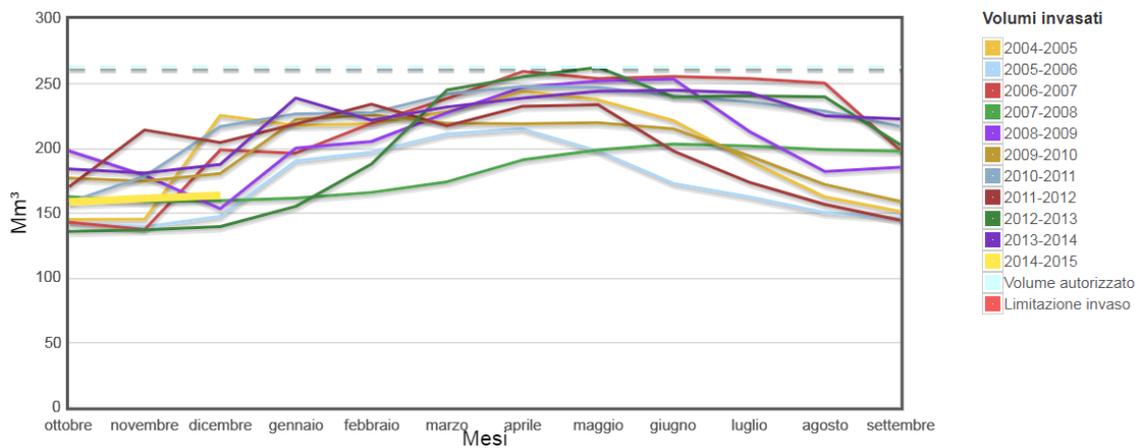


Figura 3 - Andamento mensile dei volumi invasati all'interno dell'invaso di Nuraghe Ar-rubiu da ottobre 2004 a settembre 2015 (fonte: CEDOC Sardegna)

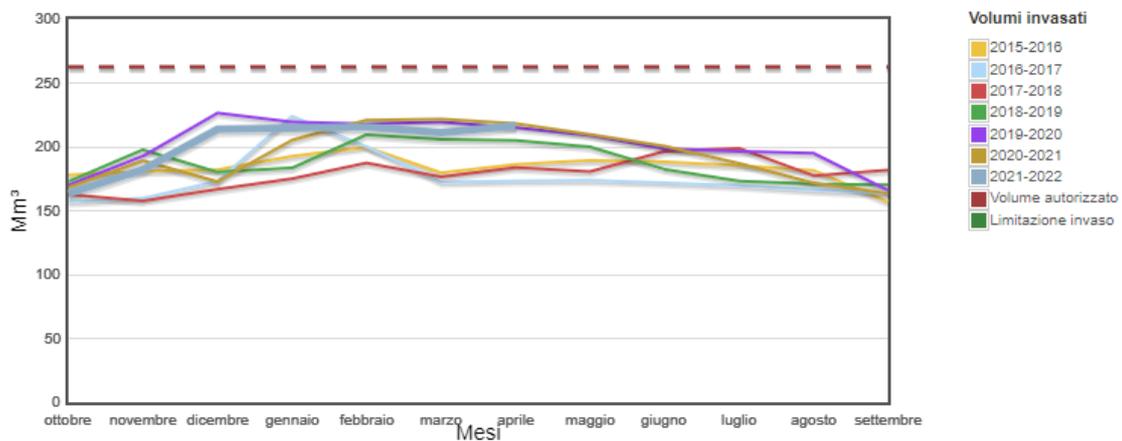


Figura 4 - Andamento mensile dei volumi invasati all'interno dell'invaso di Nuraghe Ar-rubiu da ottobre 2015 ad aprile 2022 (fonte: CEDOC Sardegna)

Dagli andamenti mensili rappresentati in Figura 2, Figura 3 e Figura 4, si può notare che dal febbraio 2002 le medie mensili dei volumi invasati sono sempre state superiori ai 100 Mm<sup>3</sup>. Si può altresì constatare la tendenza allo svuotamento dell'invaso al termine del periodo estivo ed al riempimento nei mesi autunnali ed invernali, con conseguenti periodi di massimo riempimento nei mesi primaverili.

Ulteriori informazioni relative all'invaso di Nuraghe Arrubiu sono contenute all'interno del Foglio di Condizioni per l'Esercizio e la Manutenzione (FCEM) della diga medesima, ne viene riportato un estratto qui di seguito, in Tabella 2:

Grandezza	Valore	Unità di misura
Quota di massimo invaso	269,00	m s.l.m.
Quota di massima regolazione	267,00	m s.l.m.
Quota di minima regolazione	213,10	m s.l.m.
Superficie specchio liquido alla quota di massimo invaso	8,74	km <sup>2</sup>
Superficie specchio liquido alla quota di massima regolazione	8,32	km <sup>2</sup>
Superficie specchio liquido alla quota di minima regolazione	1,82	km <sup>2</sup>
Volume totale d'invaso (ai sensi del D.M. 24/03/82)	316,42·10 <sup>6</sup>	m <sup>3</sup>
Volume di invaso (ai sensi del L. 584/1994)	299,27·10 <sup>6</sup>	m <sup>3</sup>
Volume utile di regolazione	262,66·10 <sup>6</sup>	m <sup>3</sup>
Volume di laminazione	17,15·10 <sup>6</sup>	m <sup>3</sup>
Superficie del bacino imbrifero direttamente sotteso	501,00	km <sup>2</sup>
Superficie del bacino imbrifero allacciato	252,00	km <sup>2</sup>
Portata di massima piena di progetto	4.320,00	m <sup>3</sup> /s
Tempo di ritorno	n.d.	anni
Altezza della diga (ai sensi del D.M. 24/03/82)	119,00	m
Altezza della diga (ai sensi del L. 584/1994)	112,00	m
Altezza di massima ritenuta	109,00	m
Quota coronamento	270,00	m s.l.m.
Franco (ai sensi del D.M. n° 44 del 24/03/82)	1,00	m
Franco netto (ai sensi del D.M. n° 44 del 24/03/82)	1,00	m
Sviluppo del coronamento	316,00	m
Volume della diga	322.000	m <sup>3</sup>
Grado di sismicità assunto nel progetto	S = nullo	
Classifica ai sensi del D.M. 24/03/82	Diga in cls ad arco gravità – Ab2	

*Tabella 2 - Caratteristiche principali dell'invaso riportate nel foglio di condizioni per l'esercizio e la manutenzione della diga di Nuraghe Arrubiu (fonte: sito web dell'ENAS)*

È tuttavia utile precisare che il FCEM pubblicato sul sito web di ENAS è datato luglio 1997 e non è firmato, pertanto non ne è garantita l'ufficialità e potrebbe essere stato oggetto di revisioni. Comunque, di seguito vengono riportate le informazioni più rilevanti ai fini della progettazione dell'impianto di pompaggio.

“.....

## DESCRIZIONE DELLE OPERE

*La diga ad arco gravità a doppia curvatura, munita di classico pulvino perimetrale ha sviluppo del coronamento di 316 m, larghezza che va da m 3.77 a m 6.90 in sommità e 29 m alla base (senza pulvino). La diga è definita da archi orizzontali circolari policentrici con spessore in aumento verso gli appoggi; spicca il fortissimo strapiombo verso valle, in modo particolare nella parte centrale dello sbarramento.*

*La struttura è impostata sul pulvino perimetrale mediante un giunto permanente difeso dalla penetrazione dell'acqua da un coprigiunto doppio e da dispositivo di tenuta in mastice bituminoso.*

*Il corpo della diga risulta diviso in 25 conci ottenuti mediante giunti verticali diretti radialmente e che si spingono sino alla roccia, tagliando il pulvino ortogonalmente.*

*La tenuta è assicurata da lamierini di rame murati in prossimità dei paramenti e protetti da un prisma di calcestruzzo armato isolato con materiale plastico.*

*Il corpo diga è attraversato da tre cunicoli di ispezione orizzontali ai piani di quota 245.00, 225.00 e 193.00, a pareti verticali e volta superiore policentrica, e da uno perimetrale corrente lungo tutto l'appoggio della diga sul pulvino. Detti cunicoli sono collegati da brevi tratti orizzontali disposti radialmente ai quali si accede da apposita passerella a sbalzo sul paramento di valle e dal pozzo centrale sboccante al piano di coronamento. Nel punto più depresso del cunicolo perimetrale si dirama un cunicolo trasversale con uscita a valle diga. L'altezza dei cunicoli è m 1.80 e la larghezza è m.0.90. Sul piano di calpestio dei cunicoli, lato monte, sboccano sia i drenaggi ascendenti che quelli discendenti.*

*La diga è dotata di due sfioratori liberi ubicati in sponda sinistra, due scarichi di superficie ubicati in sponda destra intercettati da paratoie piane tipo "Crochet".*

*Inoltre è dotata di uno scarico di mezzofondo anch'esso ricavato in sponda destra sottopassante l'estremo della spalla della diga e due scarichi di fondo ricavati uno in sponda destra e uno in sponda sinistra.*

## DESCRIZIONE DEI TERRENI DI FONDAZIONE

*La valle del fiume Flumendosa presenta una sezione fortemente ristretta, i fianchi hanno un andamento pressoché simmetrico, e intaglia un altopiano basaltico terziario mettendo in luce un substrato di terreni metamorfici paleozoici, intensamente sollecitati dalle fasi etogenetiche della orogenesi ercinica.*

*La zona di imposta presenta in alto e in destra idraulica una zona basaltica; al disotto si trovano degli speroni di Gneiss separati da bande di materiale alluvionale e di detriti di falda.*

*Il versante di sponda sinistra è costituito da un massiccio gneissico continuo, alterato alle sommità da materiale eluviale.*

*La tenuta in fondazione è assicurata da uno schermo di impermeabilizzazione costituito da 2 file parallele di fori di iniezioni DN45 mm; una fila inclinata e una verticale per una profondità massima di 40 m.*

*Inoltre è stato realizzato un consolidamento della roccia di imbasamento con cementazioni in tutta la sede di imposta e per una profondità massima di 25 m.*

#### **DESCRIZIONE SINTETICA DEL BACINO IMBRIFERO AFFERENTE L'INVASO**

*Il bacino imbrifero afferente l'invaso ha una superficie alla sezione di sbarramento di 752 kmq e una altitudine media di 876 m.s.m., l'asta principale ha una lunghezza di 87.90 km e la pendenza media di 0.1135.*

*Esso è costituito da un complesso di scisti metamorfici di età siluriana che vi compaiono nei vari tipi litologici.*

*La conformazione orografica della vallata interessata dal bacino di invaso è caratterizzata da uno sviluppo notevole in lunghezza (circa 16 km) e da una larghezza oscillante tra i 700 - 800 m.*

*Per tratti notevoli le sponde sono costituite da pareti rocciose nude e scarsamente cespugliate che cadono a picco verso il fiume.*

*Il complesso roccioso permo-triassico è dotato di una impermeabilità d'insieme sorretta in conca dagli scisti metamorfici. A circa 10 km a monte della diga in località S. Lucifero è localizzata la nicchia della frana verificatasi durante i primi invasi.*

#### **DESCRIZIONE DELL'ALVEO A VALLE**

*Il Fiume Flumendosa, a valle dello sbarramento ha andamento irregolare, con strette anse per un tratto di circa 7 km fino alla confluenza col rio Mulargia e successivamente prosegue con la stessa morfologia sino a poco oltre il paese di Ballao e, prima del paese di S. Vito, la sezione si allarga piuttosto marcatamente sino alla foce.*

#### **DESCRIZIONE DELLE SPONDE DELL'INVASO**

*La conformazione orografica della vallata interessata dal bacino di invaso è caratterizzata da uno sviluppo notevole in lunghezza (circa 16 Km) e da una larghezza oscillante tra i 700 - 800 m.*

*Per tratti notevoli le sponde sono costituite da pareti rocciose nude e scarsamente cespugliose che cadono a picco verso il fiume.*

#### **NOTIZIE SULL'INTERRIMENTO E SUA EVENTUALE INFLUENZA SULLA FUNZIONALITÀ DELLE OPERE DI SCARICO.**

*Nel settembre 1992 sono state effettuate con ecoscandaglio a doppia emissione le misure dell'interrimento dell'invaso e con software Surfer 2.0 è stata calcolata una sedimentazione totale con raffronto alla situazione iniziale di mc 2.352.386.*

#### ART. 4 - DATI PRINCIPALI DELLE OPERE DI SCARICO

*Portata esitata con livello nel serbatoio alla quota 269,00 m s.l.m.:*

- dallo sfioratore libero in sinistra: 412,00 m<sup>3</sup>/s
- dagli scarichi di superficie in destra (2): 2534,00 m<sup>3</sup>/s
- dallo scarico di mezzofondo: 262,00 m<sup>3</sup>/s
- dagli scarichi di fondo (2): 1282,00 m<sup>3</sup>/s

#### CARATTERISTICHE PRINCIPALI DEGLI SCARICHI

*Di seguito si riportano le caratteristiche degli scarichi e delle relative apparecchiature elettromeccaniche.*

##### - Scarico di superficie:

*In sinistra sono presenti due sfioratori liberi disposti ad "L", con soglia a quota 267.00 e ciglio sfiorante rispettivamente di lunghezza 63 m e 7 m.*

*In destra sono presenti n° 2 scarichi di superficie con ciglio sfiorante a quota 255.50, che scaricano ognuno mc/s 1267, dove sono installate n° 2 paratoie piane scorrevoli su ruote in due elementi tipo "crochet" onde avere la possibilità di ottenere lo scarico dell'acqua sia a stramazzo che a battente.*

*Ogni paratoia ha le seguenti caratteristiche:*

- dimensioni 12 x 12 m
- altezza dell'elemento inferiore m 6.50
- altezza dell'elemento superiore m 5.50
- altezza dello stramazzo con elemento superiore completamente abbattuto m 4.50
- argani di sollevamento indipendenti per i due elementi di paratoia con portata ognuno di 80 t, del tipo a catena Galle, comandati da servomotore rotativo oleodinamico a portata costante - manovra sussidiaria meccanica a mano.

*Nella Cabina Comandi soprastante sono alloggiati due gruppi oleodinamici indipendenti (uno di riserva all'altro) costituiti da pompa rotativa collegata a motore elettrico da 15 HP - 380/220V - 50 Hz - comandabile a distanza o sul posto. Sempre nella cabina comandi è installato il quadro di manovra, di segnalazione e telecomando. Esiste per il comando di emergenza un gruppo turbopompa a funzionamento idraulico.*

##### - Scarico di mezzofondo:

*Lo scarico di mezzofondo, con imbocco in comune con la galleria di collegamento Flumendosa-Mulargia a quota 210 m.s.l.m., è ubicato nella sponda destra e sotto passante l'estremo della spalla della diga, ed è costituito da una galleria a sezione circolare, diametro 5.00 m.*

A circa 163 m dall'imbocco sono installate n° 2 paratoie metalliche piane a strisciamento tipo saracinesca dotate di un by-pass DN150 mm, montate in serie su un tratto di condotta in lamiera blindata spess. 12 mm (m28.00), che raccorda la sezione circolare DN 5.00 m alla sezione rettangola re, di m 2.80 x 3.40.

Le paratoie sono installate in una camera di manovra, accessibile dall'esterno tramite un pozzo verticale (dotato di ascensore e di scala di servizio) e un cunicolo orizzontale, sono manovrabili con comando oleodinamico o manuale locale, e a distanza dalla sala quadri, situata in sponda destra; è possibile il comando di emergenza con turbinetta idraulica.

- Scarico di fondo:

Gli scarichi di fondo sono ricavati uno in sponda destra e uno in sponda sinistra con bocche di presa a monte dell'avandiga, rispettivamente con soglia a quota 184.35 m.s.l.m. e a quota 183.05 m.s.m. e sviluppo complessivo di m 369 e di m 290.

La sezione della galleria è circolare di m 4.30 completamente rivestita con calcestruzzo armato, per un tratto di 140 m a cavallo della diga.

Alla progressiva 189 sono sistemate n° 2 paratoie in serie (la prima di tenuta e la seconda di intercettazione) con la relativa camera di manovra, accessibile anch'essa dall'esterno tramite un cunicolo orizzontale, simile allo scarico di mezzofondo.

In considerazione della velocità di deflusso dell'acqua (36 m/sec) le pareti della galleria, per un tratto a monte delle paratoie di m 8.25 a valle per m 11.25, sono rivestite con lamiera blindata.

Le paratoie sono manovrabili con comando oleodinamico o manuale locale nella camera di manovra, e a distanza dalla sala quadri, situata a valle in sponda destra; è possibile il comando di emergenza con turbinetta idraulica.

**ART. 5 - ACCESSI ALLA DIGA**

L'accesso alla diga Flumendosa è assicurato dalla strada d'accesso di proprietà dell'E.A.F. che si innesta alla S.P. n°10 Orroli - Escalaplano al km. 15.00 e ha una lunghezza di circa .... km .....

L'accesso alle varie parti della diga è assicurato dalla strada di servizio che garantisce l'accesso al coronamento diga e allo sfioratore di superficie, al fondo diga e alla Centrale di sollevamento, e infine alla Casa di Guardia, situata a valle in sponda destra.

Alle camere di manovra dello scarico di mezzofondo e a quelli di fondo si accede attraverso i pozzi ubicati a valle diga collegati al coronamento con scale esterne in calcestruzzo, mentre alla camera di manovra della galleria di collegamento con il Mulargia si accede tramite il pozzo ubicato in destra e a monte diga.

.....”

Non sono attualmente disponibili rilievi batimetrici dell'invaso, tuttavia allegato al Foglio di Condizioni della diga di Nuraghe Arrubiu è presente il diagramma del volume di invaso e delle superfici dello specchio di invaso, riportato in (Figura 5)

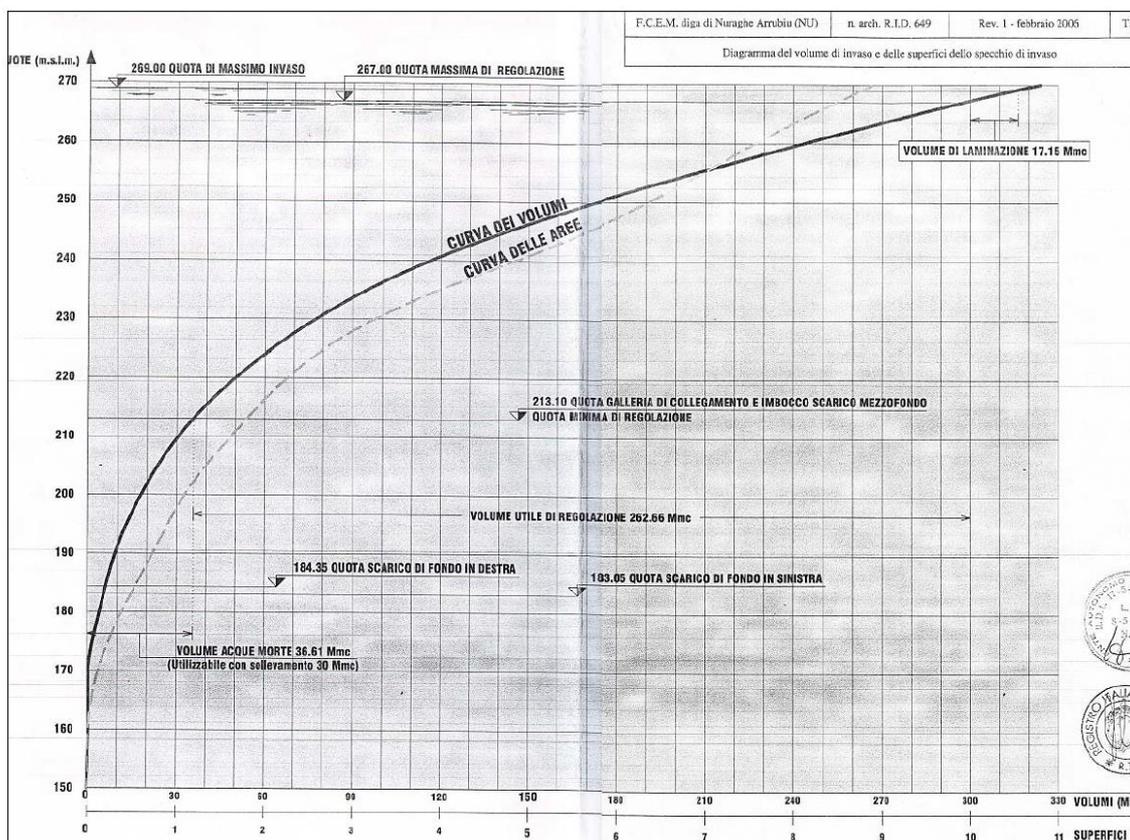


Figura 5 – Diagramma del volume di invaso e delle superfici dello specchio d'invaso del bacino di Nuraghe Arrubiu

## 5 OPERE IN PROGETTO

### 5.1 OPERA DI PRESA DI VALLE

Presso l'invaso esistente di Nuraghe Arrubiu sarà realizzata un'opera di presa costituita da un canale di calcestruzzo armato che si raccorda con la galleria di aspirazione/sscarico. L'imbocco è realizzato tramite una sezione rettangolare larga 13 m ed alta 8 m, dotata di una griglia metallica capace di intercettare materiale solido grossolano. Tali dimensioni permettono, nel caso in cui transiti la portata massima di progetto di 96,5 m<sup>3</sup>/s, di produrre velocità inferiori a 1 m/s (valore che permette di evitare perdite di carico eccessive, trasporto e accumulo di detriti e la possibilità che insorgano vibrazioni che potrebbero danneggiare le griglie). Dal canale di calcestruzzo armato, inizialmente rettangolare, si prevede un raccordo ad una sezione policentrica di diametro interno di 5,5 m.

Il fondo del manufatto di imbocco si trova a quota 230 m s.l.m.; esso è calcolato in base alla forma dell'opera di presa ed alla sommergenza minima da rispettare (per il cui calcolo si rimanda alla *Relazione idraulica*), l'impianto può funzionare in pompaggio se il livello idrico dell'invaso di Nuraghe Arrubiu è superiore a 242,00 m s.l.m.. In base ai dati riportati in Figura 2, Figura 3 e Figura 4, tale quota è stata sempre garantita da ottobre 2002 in poi. Utilizzando la correlazione tra quote e volumi riportata in Figura 5, l'impianto può funzionare in pompaggio se il volume d'invaso nel lago è superiore ad un volume di circa 127 milioni di m<sup>3</sup>.

Non essendo disponibili informazioni sulla batimetria attuale dell'invaso, la posizione dell'opera di presa di valle è stata selezionata sulla base di un'ipotesi relativa alla conformazione del fondale del lago,; pertanto, la posizione sarà verificata ed eventualmente ottimizzata una volta disponibili chiare informazioni batimetriche.

Si prevede la realizzazione di opere di stabilizzazione del terreno di fondazione in prossimità dell'imbocco per evitare scalzamenti e limitare fenomeni di erosione che potrebbero convogliare materiale solido all'interno della presa (già limitati dalle velocità contenute previste attraverso le griglie).

Il funzionamento dell'impianto di pompaggio prevede il prelievo di volumi d'acqua in poche ore; in particolare, il prelievo dall'invaso di Nuraghe Arrubiu (bacino di valle) dell'intero volume utile dell'impianto (~ 3.000.000 m<sup>3</sup>) avviene in un tempo minimo di circa 8,5 h; analogamente, in fase di generazione, è possibile restituire l'intero volume accumulato nel bacino di monte (~ 3.000.000 m<sup>3</sup>) con la stessa tempistica (circa 8,5 h). Questi cicli di prelievo e restituzione, la cui occorrenza dipenderà dalle esigenze di stabilizzazione della rete elettrica nazionale e dalla effettiva disponibilità di acqua presso l'invaso di Nuraghe Arrubiu, dovrebbe avere una cadenza giornaliera.

La sezione longitudinale dell'opera di presa di valle è riportata in Figura 6.

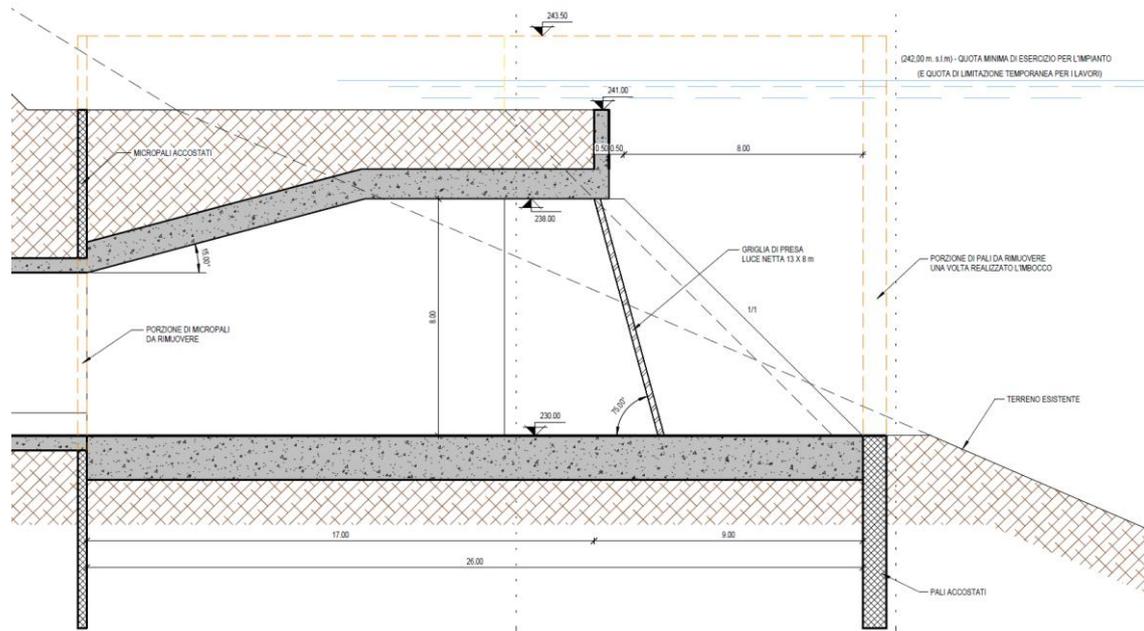


Figura 6 – Sezione longitudinale dell'opera di presa di valle

## 5.2 POZZO PARATOIE

A circa 150 m a monte dell'opera di presa di valle è collocato il pozzo paratoie (con diametro di 8 m e profondo circa 40 m), che è suddiviso in due sezioni (Figura 7): una inferiore, in cui scorre l'acqua, ed una superiore, che consente l'alloggiamento delle paratoie quando sono aperte. Tramite una caverna prevista alla sommità del pozzo si può accedere a questa opera sotterranea. In particolare, sono previsti due piani di lavoro per facilitare gli interventi di ispezione e manutenzione alle paratoie (Figura 7).

Nella parte inferiore del pozzo è previsto l'alloggiamento di due paratoie piane in serie con tenuta sui 4 lati, alte 4 m e larghe 5,5 m, e la relativa quadristica elettrica; una paratoia è per il normale esercizio dell'impianto, mentre l'altra è ausiliaria. Le paratoie hanno il compito di disconnettere idraulicamente la condotta forzata dall'invaso di valle.

All'interno del pozzo sono contenuti scale di accesso destinate agli operatori (per ispezioni e manutenzioni) e un aeroforo avente diametro di 0,8 m.

La caverna alla sommità ha dimensioni in pianta di 13 x 22 m ed una copertura a volta avente altezza massima di circa 16 m (Figura 7); essa è accessibile tramite un'apposita galleria di accesso per cui si rimanda al § 5.7.2.

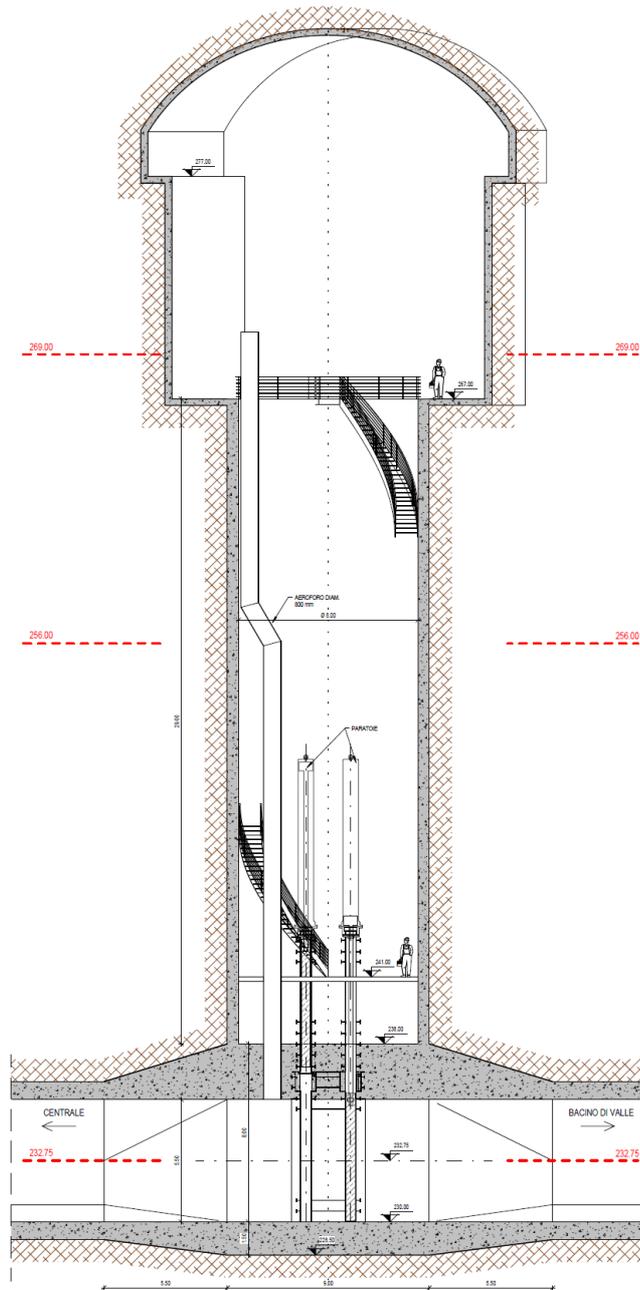


Figura 7 – Sezione del pozzo paratoie

### 5.3 CENTRALE IN CAVERNA

Per poter garantire la sufficiente sommergenza alle pompe, e dunque il funzionamento in piena sicurezza dell'impianto di pompaggio, è stata prevista la realizzazione di una centrale in caverna in cui alloggiare le macchine idrauliche (i cui assi sono posti a quota 165 m s.l.m.).

Il piano principale di lavoro è a quota 164,00 m s.l.m., ad una profondità di circa 490 m dal piano campagna; il corpo della caverna ha un'altezza di circa 30 m, come rappresentato in Figura 8 (con soffitto a volta), ed ha una pianta di 118 x 22,5 m (Figura 9). L'accesso a questa centrale è consentito tramite la galleria descritta al § 5.7.1.

All'interno della centrale sono alloggiati due gruppi ternari ad asse orizzontale (con turbina di tipo Francis). Un gruppo ternario è sostanzialmente costituito dalla disposizione

su un unico asse orizzontale di tre componenti: una turbina, una macchina elettrica che funge sia da generatore che motore, ed una pompa. È prevista l'installazione di un sistema di organi tale per cui sia possibile il funzionamento in corto-circuito idraulico, che consente la regolazione della potenza assorbita dalla rete su tutto l'intervallo di funzionamento in pompaggio dell'impianto e consente altresì minimi intervalli di tempo necessario per la transizione tra la fase di generazione e quella di pompaggio. In particolare, sono previsti sistemi di intercettazione di monte e di valle delle macchine idrauliche, in modo da consentirne la manutenzione senza la necessità di svuotare il bacino di monte e le vie d'acqua. Tale funzione di intercettazione sarà svolta da n.4 valvole rotative, a monte delle macchine, e n.4 paratoie piane, a valle delle macchine tutte azionate oleodinamicamente (Figura 9). In Figura 8 sono riportate due sezioni della centrale, in corrispondenza della turbina e della pompa.

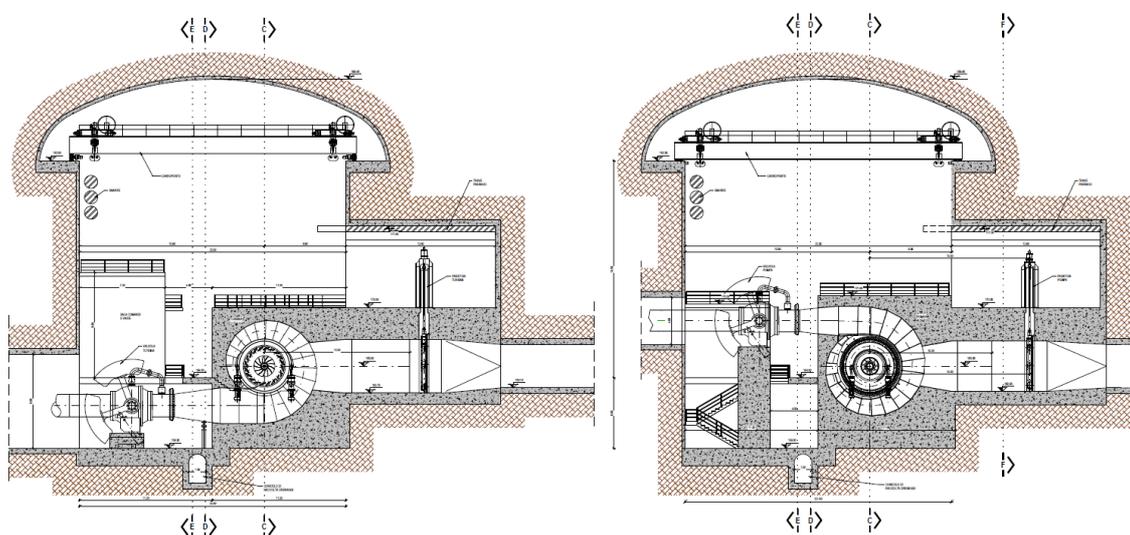


Figura 8 – Sezione della centrale in corrispondenza della turbina (sx) e della pompa (dx)

Grandezza	Valore	Unità di misura
Quota asse macchine	165	m s.l.m.
Velocità nominale	500	giri/minuto
Tensione	13,8	kV
Frequenza	50	Hz
Portata massima in fase di generazione	48,25	m <sup>3</sup> /s
Portata massima in fase di pompaggio	48,25	m <sup>3</sup> /s
cos( $\phi$ )	0,85	-
Potenza massima in fase di generazione	176	MW
Potenza massima in fase di pompaggio	190	MW
Potenza apparente dei generatori-motori	230	MVA

Tabella 3 - Caratteristiche principali del SINGOLO GRUPPO TERNARIO, senza considerare le perdite del motore-generatore e del trasformatore

Si prevede di realizzare all'ingresso della caverna della centrale un'area di lavoro sufficientemente ampia da consentire l'assemblaggio (*erection bay* di 21 x 22,5 m) in sito di tali elementi, oltre che costituire lo spazio di manovra per i mezzi.

All'interno della caverna, si prevede l'installazione di due carriponte, aventi luci di 22,5 m e portata di 200 t, capaci di scorrere lungo tutto il corpo della centrale, in modo da consentire il montaggio delle macchine idrauliche ed elettriche nonché per la movimentazione dei macchinari in occasione di interventi di manutenzione.

All'interno della centrale saranno inoltre presenti la quadristica elettrica di controllo, di potenza e l'impiantistica ausiliaria (impianti di raffreddamento, aerazione, condizionamento, aggotamento delle acque di drenaggio, etc.). In particolare, per quanto riguarda le acque di drenaggio afferenti la centrale e per lo svuotamento dei volumi d'acqua contenuti nelle vie d'acqua al di sotto della quota dell'opera di presa di valle (che non possono essere svuotate per gravità), è prevista l'installazione di un sistema che consente di pompare i volumi d'acqua al di fuori della galleria d'accesso alla centrale (§ 5.7.1), restituendo le acque presso l'invaso di Nuraghe Arrubiu (bacino di valle). È inoltre stato progettato, in via cautelativa, un sistema di *bypass* (regolato da una valvola dissipatrice che funziona sia elettricamente che manualmente) che consente di svuotare -in caso d'emergenza- i volumi d'acqua presenti nel bacino di monte anche in caso di mancanza di elettricità.

Per l'approvvigionamento idro-potabile, si prevede l'allacciamento alla rete acquedottistica comunale, mentre per lo smaltimento delle acque nere verranno utilizzate fosse settiche.

Il collegamento tra i motori-generatori e la caverna in cui saranno installati i trasformatori e la sottostazione elettrica (§ 5.4) sarà realizzato mediante sbarre in apposito cunicolo (§ 5.7.6).

La centrale sarà organizzata in modo che il suo funzionamento possa essere controllato in piena sicurezza da remoto, senza dunque necessitare di un presidio permanente.

Dalla centrale in caverna è possibile accedere (tramite due gallerie che ospitano i tratti di condotta aventi diametro DN 3.700 mm), ad una camera che ospita la biforcazione della condotta forzata (Figura 10).

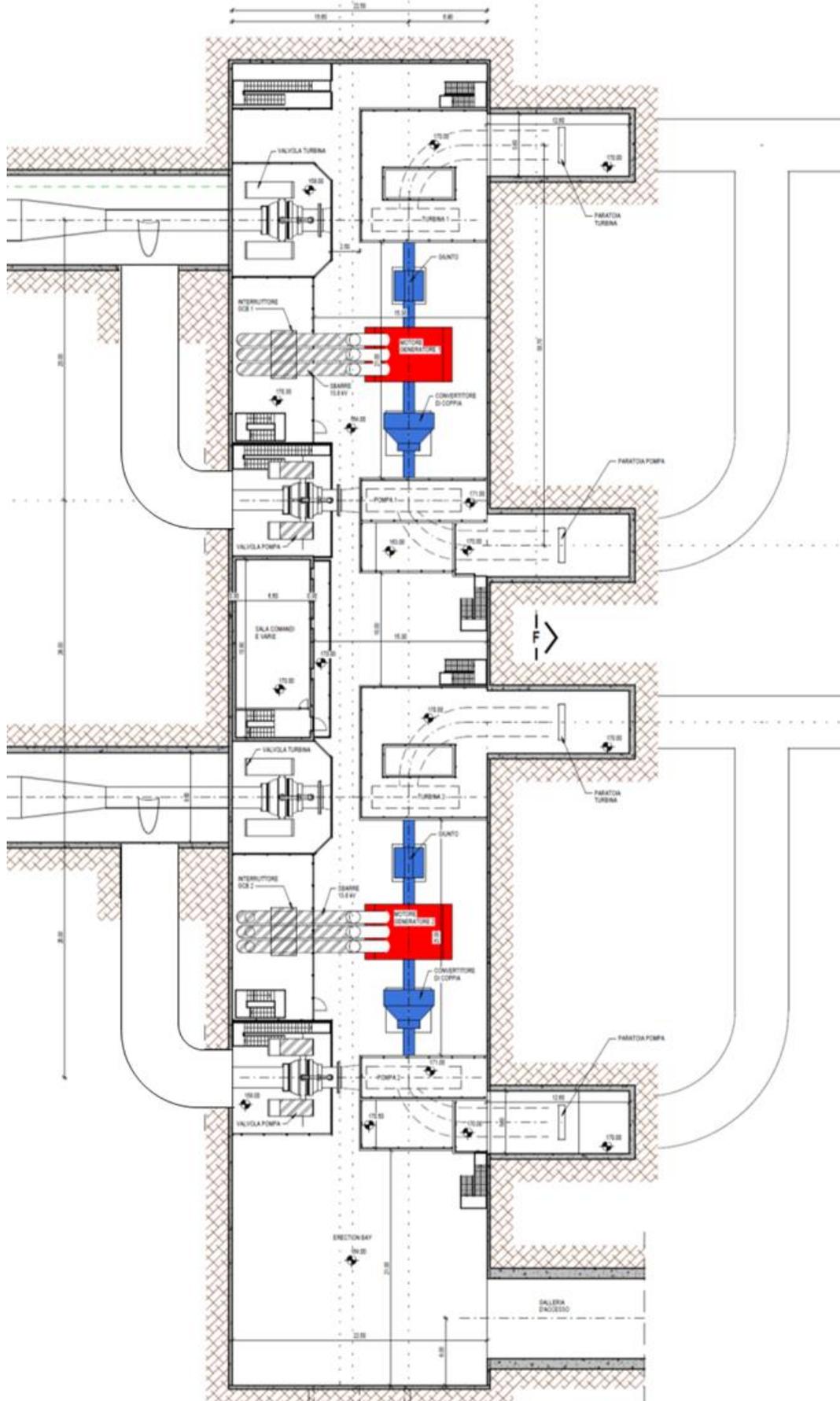


Figura 9 – Pianta della centrale – dettaglio della sala macchine

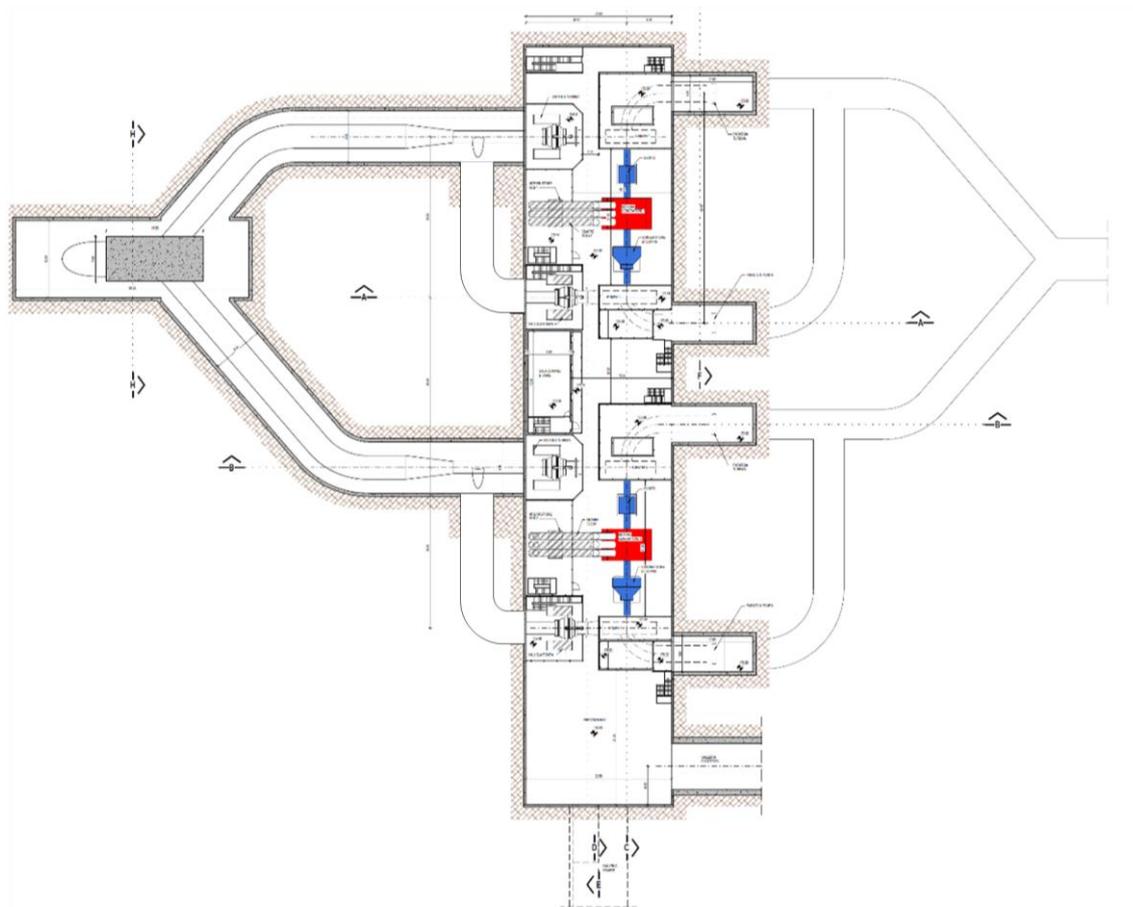


Figura 10 – Pianta della centrale e biforcazioni di monte e di valle

#### 5.4 SOTTOSTAZIONE ELETTRICA

Adiacente alla centrale in caverna (a Nord-Ovest) è prevista la realizzazione di una sottostazione elettrica d'utenza (SSE) di tipo GIS in caverna, in cui sono installati due banchi di tre trasformatori monofase da 80 MVA (con un polo di riserva), nonché tutte le apparecchiature elettriche ausiliarie (quadri elettrici, locale comandi e servizi ausiliari, etc.). Per i dettagli si rimanda agli elaborati grafici redatti da GEOTECH S.r.l. nell'ambito del progetto del collegamento dell'impianto alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN):

- doc. ref. G929\_DEF\_T\_021\_Ut\_inq\_dettagli\_SU\_1-3\_REV00
- doc. ref. G929\_DEF\_T\_021\_Ut\_inq\_dettagli\_SU\_2-3\_REV00
- doc. ref. G929\_DEF\_T\_021\_Ut\_inq\_dettagli\_SU\_3-3\_REV00

Il corpo di tale caverna ha un'altezza di circa 17 m (con soffitto a volta) ed ha una pianta di 90 x 22,5 m. Sopra i piedritti, alla base della volta, è prevista l'installazione di un carroponte.

L'accesso a questa caverna è consentito tramite una galleria, descritta al § 5.7.5.

Le sbarre MT che collegano i trasformatori ai motori-generatori presente nella centrale in caverna sono alloggiare all'interno di un'apposita galleria (cunicolo) sbarre, descritta al § 5.7.6.

Dalla SSE partirà una linea a 380 kV in cavo che si collegherà alla sottostazione elettrica RTN di Nurri in progetto.

## 5.5 VIE D'ACQUA

Dall'opera di presa presso il bacino di monte, passando per la centrale in caverna, fino all'opera di presa di valle, è prevista la realizzazione di una via d'acqua sotterranea avente sezione circolare e diametro interno di 5,5 m (ad eccezione delle biforcazioni presenti in prossimità della centrale). Tale condotta ha un'estensione pari a circa 2.300 m, e può essere suddivisa essenzialmente nei seguenti tratti:

- tratto verticale lungo circa 485 m, rivestito con virole metalliche di spessore variabile, (da 57 mm a 20 mm) intasate con calcestruzzo;
- tratto orizzontale lungo circa 160 m in cui la condotta principale subisce due serie di biforcazioni (necessarie per la connessione con le quattro macchine idrauliche previste in centrale: n. 2 turbine e n. 2 pompe), e due serie di raccordi.

In particolare, da monte verso valle la condotta si biforca in due condotte metalliche poggiate su selle DN 3.700 mm e spessore di 39 mm, che a loro volta si biforcano in condotte metalliche poggiate su selle DN 1.900 e spessore 20 mm per le turbine e DN 1.800 e spessore 20 mm per le pompe.

A valle delle macchine idrauliche sono state previste gallerie rivestite di calcestruzzo armato con DN 4.700 mm, che dopo due serie di raccordi si ricongiungono in un'unica galleria;

- tratto orizzontale lungo circa 80 m (che contiene il collegamento con la strozzatura del pozzo piezometrico), a sezione policentrica (avente diametro interno di 5,5 m) rivestita in calcestruzzo armato;
- tratto obliquo lungo circa 730 m con pendenza pari all'8%, a sezione policentrica (avente diametro interno di 5,5 m) rivestita in calcestruzzo armato;
- tratto obliquo lungo circa 660 m con pendenza pari all'1,5% circa, a sezione policentrica (avente diametro interno di 5,5 m) rivestita in calcestruzzo armato;
- tratto orizzontale lungo circa 120 m, a sezione policentrica (avente diametro interno di 5,5 m) rivestita in calcestruzzo armato, che collega il pozzo paratoie all'opera di presa di valle.

Per le virole metalliche, si prevede l'impiego di acciaio EN10025-4 S460ML, e la presenza di anelli di irrigidimento. La condotta forzata è stata dimensionata affinché le virole metalliche siano autoresistenti, capaci di resistere alle sovrappressioni previste in fase di esercizio senza necessitare della collaborazione del calcestruzzo circostante nei tratti in cui è essa è inghisata.

## 5.6 POZZO PIEZOMETRICO

Il pozzo piezometrico è previsto al fine di migliorare il comportamento dell'impianto nel caso di moto vario (che si verifica continuamente in impianti di pompaggio, specialmente se ad alta flessibilità), di limitare le sovrappressioni causate dal colpo d'ariete in tutta galleria idraulica di aspirazione/scarico, di contenere le oscillazioni del pelo libero, e di permettere infine una migliore regolazione generale dell'impianto.

La realizzazione del pozzo piezometrico (Figura 11) è prevista a circa 120 m di distanza dalla centrale in caverna; il pozzo è suddiviso in due sezioni: un tratto profondo 77 m avente un diametro interno di 12 m, ed un tratto profondo circa 48 m avente un diametro interno di 2,4 m.

Il pozzo è completamente realizzato in sotterraneo e rivestito di calcestruzzo armato. Presso la sommità del pozzo è prevista una camera superiore, avente dimensioni in pianta di 17,6 x 23,6 m ed una volta avente altezza massima di 13 m. L'accesso a tale camera, necessario agli operatori in caso di ispezione e manutenzione, sarà garantito tramite una galleria collegata alla galleria d'accesso alla centrale.

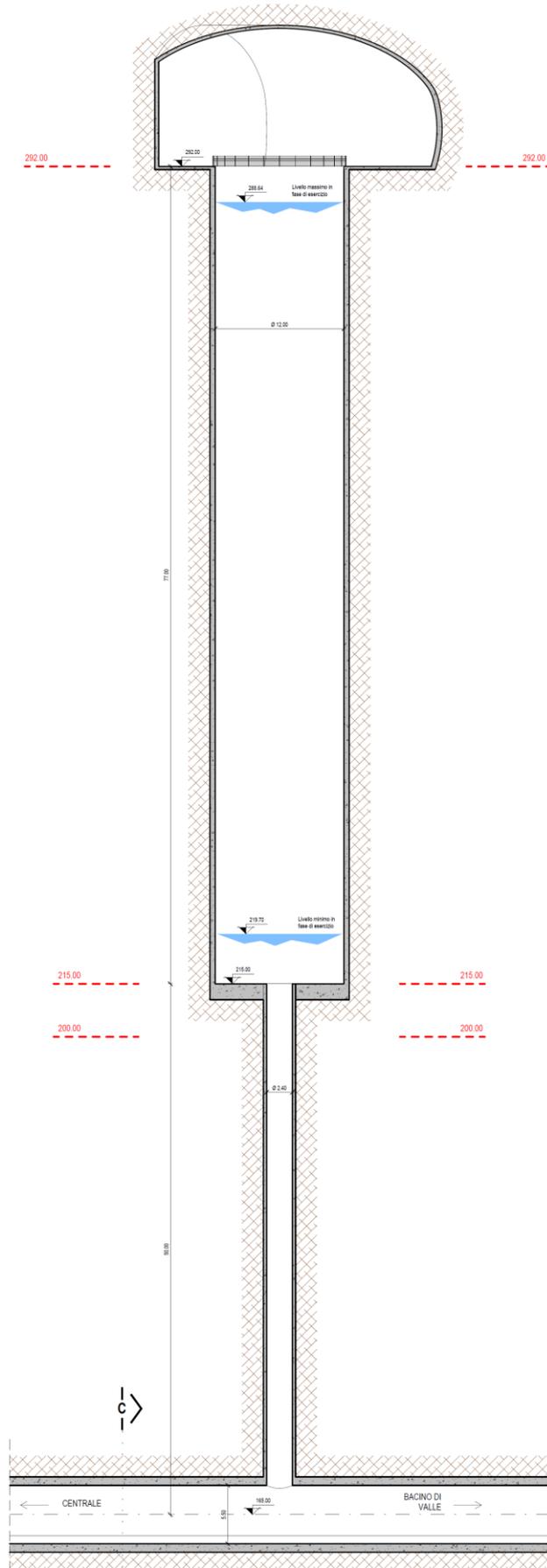


Figura 11 – Sezione del pozzo piezometrico

## 5.7 GALLERIE D'ACCESSO

### 5.7.1 GALLERIA D'ACCESSO ALLA CENTRALE IN CAVERNA

L'accesso alla centrale in caverna è consentito tramite la realizzazione di un'apposita galleria (Figura 12), lunga circa 1.540 m ed avente una pendenza massima dell'8%, il cui portale d'accesso è posto in prossimità dell'invaso di Nuraghe Arrubiu. Partendo dall'imbocco, un primo tratto di 600 m circa presenta la sezione tipo mostrata in Figura 12, mentre il tratto successivo presenta la sezione tipo riportata in Figura 13.

La galleria d'accesso è dotata di un cavedio ricavato nella calotta superiore, che funge da condotta di mandata per il sistema di ventilazione forzata dell'impianto (per i dettagli sul sistema di ventilazione si rimanda all'elaborato 1351-M-FN-R-01-0).

Presso un apposito cunicolo per la sezione tipo 1 (Figura 12), ed in corrispondenza dell'arco rovescio per la sezione 2 (Figura 13), è previsto l'alloggiamento di cavi ad alta tensione volti a collegare la SSE (§ 5.4) alla sottostazione elettrica di Nurri (entrambe in progetto).

All'interno della galleria è inoltre previsto l'alloggiamento di più condotte e cavidotti, adibiti a vari scopi (i.e., illuminazione, approvvigionamento idrico, drenaggio, svuotamento delle vie d'acqua a monte dell'impianto).

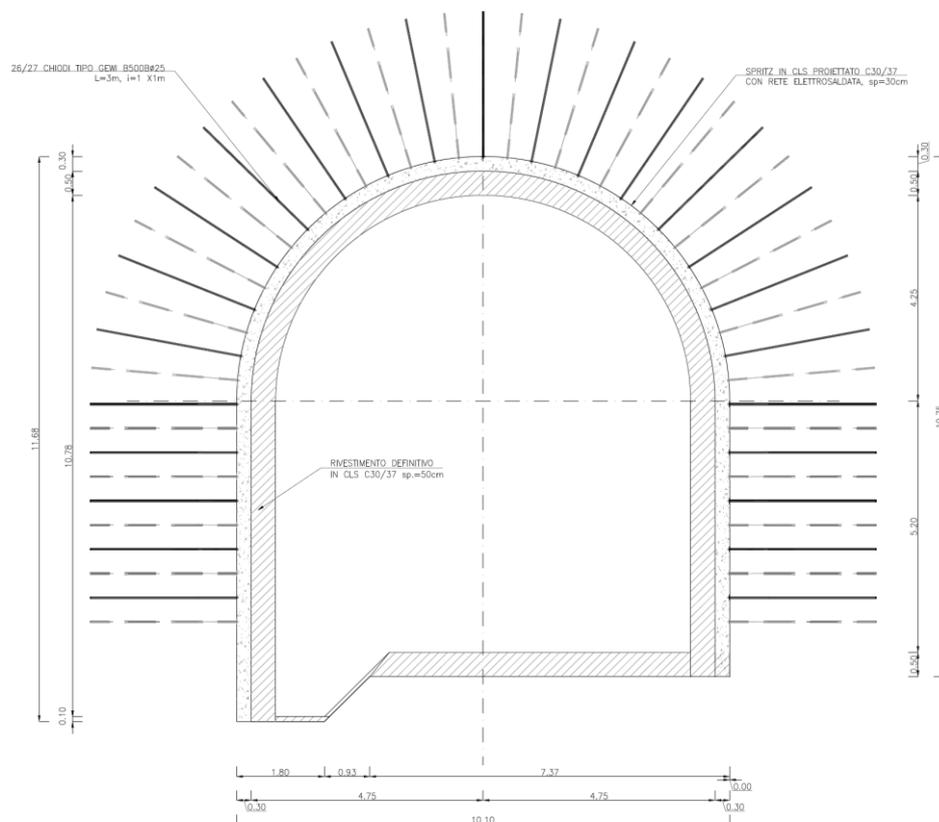


Figura 12 – Sezione tipo 1 della galleria d'accesso alla centrale in caverna

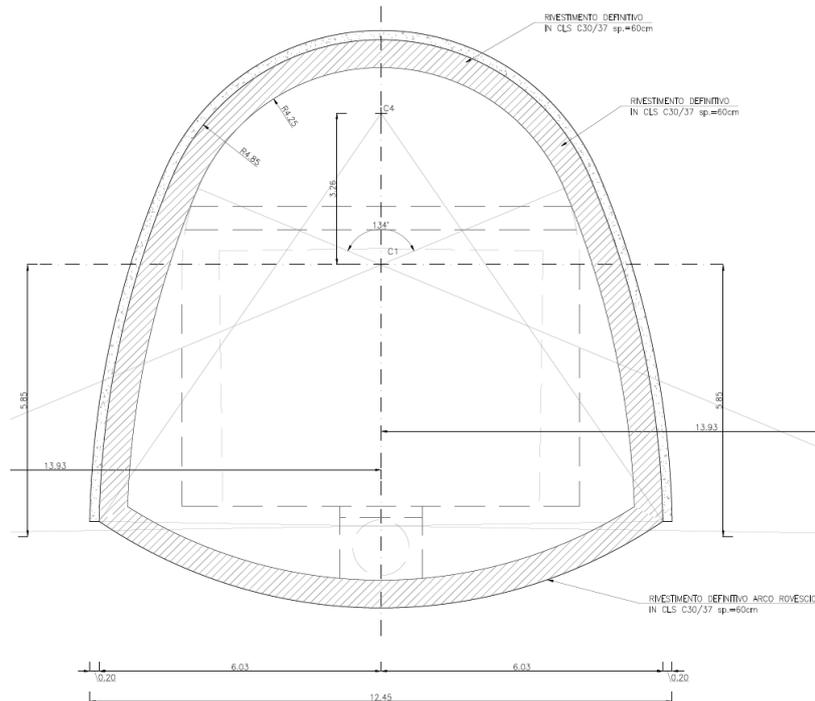


Figura 13 – Sezione tipo 2 della galleria d'accesso alla centrale in caverna

#### 5.7.2 GALLERIA D'ACCESSO AL POZZO PARATOIE

Dalla galleria d'accesso alla centrale (§ 5.7.1) è prevista una biforcazione che consente di raggiungere la caverna posta alla sommità del pozzo paratoie.

Tale galleria è lunga circa 50 m, con pendenza massima pari al 6%, e presenta la sezione tipo riportata in Figura 14.

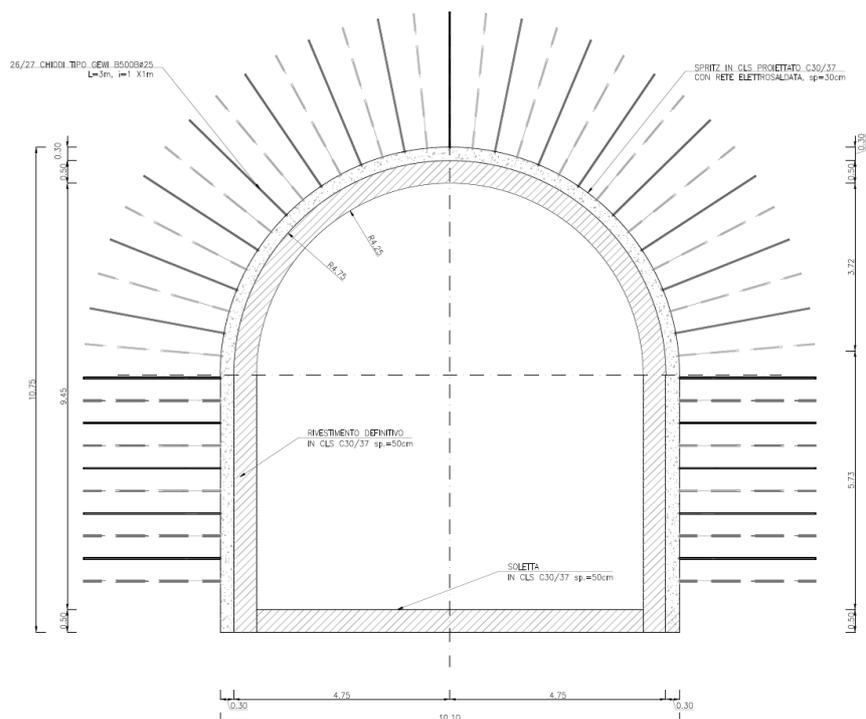


Figura 14 – Sezione tipo della galleria d'accesso al pozzo paratoie

### 5.7.3 GALLERIA D'ACCESSO AL POZZO PIEZOMETRICO

Dalla galleria d'accesso alla centrale (§ 5.7.1) è prevista un'ulteriore biforcazione che consente di raggiungere la caverna posta alla sommità del pozzo piezometrico.

Tale galleria è lunga circa 850 m, con pendenza massima pari all'8,7%, e presenta la sezione tipo riportata in Figura 15.

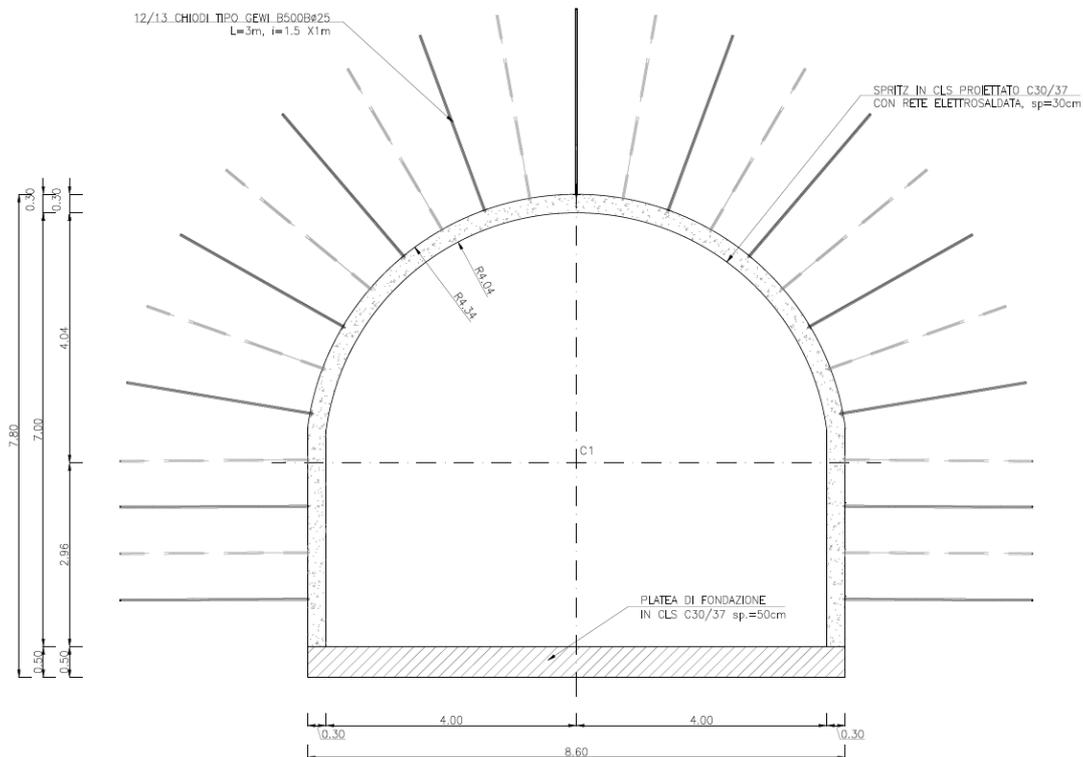


Figura 15 – Sezione tipo della galleria d'accesso al pozzo piezometrico

### 5.7.4 GALLERIA DI CONNESSIONE ALLA GALLERIA IDRAULICA

Dalla galleria d'accesso alla centrale (§ 5.7.1) è prevista una diramazione che consente di raggiungere la galleria idraulica.

Tale galleria ha lo scopo di ridurre la durata degli scavi, in quanto consente di avere un numero maggiore di fronti di scavo, permettendo quindi di procedere allo scavo della galleria idraulica prima di aver terminato quello della centrale in caverna. Successivamente, si prevede di realizzare un setto di calcestruzzo armato ed una porta stagna che consentirà l'accesso all'interno del canale di scarico in caso di ispezione e manutenzione.

Tale galleria è orizzontale, lunga circa 80 m ed ha una sezione tipo uguale a quella della utilizzata per la galleria d'accesso al pozzo piezometrico (§ 5.7.3).

### 5.7.5 GALLERIA D'ACCESSO ALLA SOTTOSTAZIONE ELETTRICA IN CAVERNA

Dalla galleria d'accesso alla centrale (§ 5.7.1) è prevista una diramazione che permette di raggiungere la SSE in caverna.

Tale galleria è orizzontale, lunga circa 50 m ha una sezione tipo uguale a quella della utilizzata per la galleria d'accesso alla centrale in caverna (§ 5.7.1).

#### 5.7.6 GALLERIA D'ACCESSO IN CALOTTA PER SOTTOSTAZIONE ELETTRICA E CENTRALE

Dalla galleria d'accesso alla centrale (§ 5.7.1) è prevista una diramazione che raggiunge la volta della centrale in caverna, passando per la volta della sottostazione elettrica.

In fase di cantiere, quest'opera è essenziale per lo scavo delle due caverne, mentre in fase di esercizio sarà adibita all'alloggiamento delle sbarre MT che collegano i motori-generatori ai trasformatori monofase presenti nella SSE.

Tale galleria è lunga circa 270 m, ha una pendenza massima pari all'8,5%, e presenta la medesima sezione tipo della galleria d'accesso alla sottostazione elettrica in caverna (§ 5.7.5).

#### 5.8 BACINO DI MONTE

Un bacino artificiale (bacino di monte) verrà realizzato presso l'altopiano situato circa 2 km ad Est rispetto al ramo dell'invaso di Nuraghe Arrubiu in cui è prevista l'opera di presa citata al § 5.1, in località "Taccu Sa Pruna", nel comune di Esterzili (SU).

In Figura 16 è rappresentata la planimetria del bacino di monte.

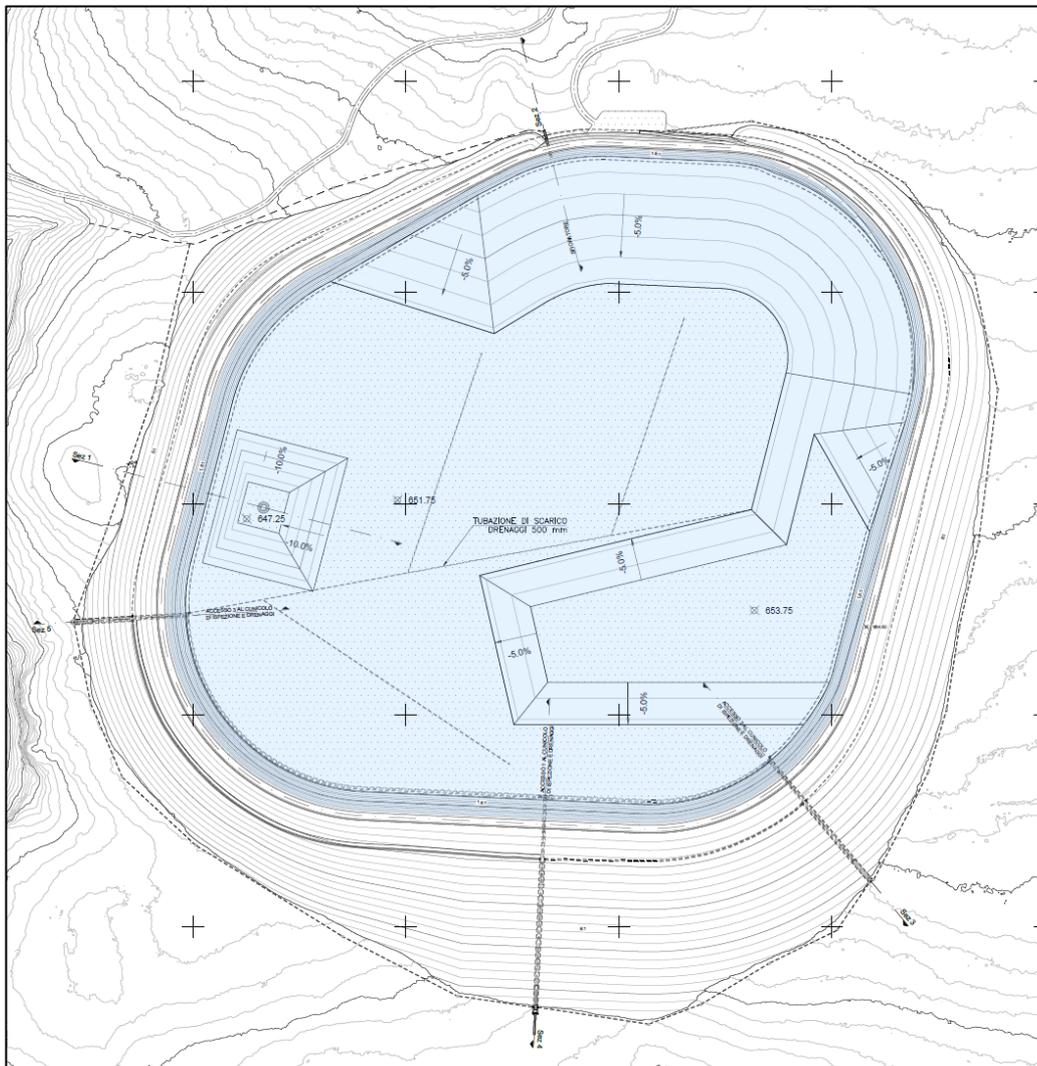


Figura 16 – Planimetria del bacino di monte

L'invaso è di forma pseudo-quadrata, avente lato di circa 650 m e altezza massima della diga di circa 17 m (lato Sud).

Il coronamento è posto a quota 664,80 m s.l.m., ha uno sviluppo di 2.225 m, e larghezza di 6 m. Tale coronamento sarà accessibile tramite un raccordo con la viabilità esistente, posto sul lato Nord del bacino.

La diga è costituita da un rilevato di sezione trapezoidale in materiali sciolti derivanti dagli scavi delle opere in sotterraneo dell'impianto; questi saranno opportunamente selezionati e miscelati con materiale dolomitico proveniente dallo scavo di fondazione del rilevato e di regolarizzazione del fondo del bacino di monte. Le pendenze delle scarpate (sia interne che esterne) sono pari a 1,6/1.

Il bacino sarà impermeabilizzato mediante un geocomposito conforme al bollettino ICOLD 135 (maggio 2010), posato su di un sottofondo drenante compattato (25 cm di spessore in corrispondenza del rilevato; 1 m di spessore sul fondo del bacino). Al di sopra del geocomposito posto alla base del bacino è prevista la stesa di uno strato di 25 cm di pietrisco .

Il volume utile del bacino è di circa 3.000.000 m<sup>3</sup> tra le quote di massima regolazione (662,70 m s.l.m.) e di minima regolazione (652,00 m s.l.m.). La quota di massimo invaso è pari a 663,10 m s.l.m. Il franco è di 1,70 m (inoltre, sul coronamento è previsto un muro paraonde di 0,5 m di altezza), calcolato secondo normativa vigente (D.M. del 26/06/2014).

In Tabella 4 sono riportate le informazioni principali del bacino di monte:

Grandezza	Valore	Unità di misura
Volume utile di regolazione	~ 3.000.000	m <sup>3</sup>
Volume di invaso <sup>1</sup> (ai sensi del L. 584/1994)	~ 3.050.000	m <sup>3</sup>
Volume totale d'invaso <sup>2</sup> (ai sensi del D.M. 24/03/82)	~ 3.200.000	m <sup>3</sup>
Perimetro coronamento	2.225	m
Larghezza coronamento	6	m
Superficie liquida alla quota di min. regolazione	~ 197.000	m <sup>2</sup>
Superficie liquida alla quota di max. regolazione	~ 363.000	m <sup>2</sup>
Superficie liquida alla quota di massimo invaso	~ 364.000	m <sup>2</sup>
Altezza massima diga (lato esterno)	17	m
Quota di fondo dell'invaso	648,75	m s.l.m.
Quota di minima regolazione	652,00	m s.l.m.
Quota di massima regolazione	662,70	m s.l.m.

<sup>1</sup> "Capacità del serbatoio compreso tra la quota più elevata delle soglie sfioranti degli scarichi, o della sommità delle eventuali paratoie, e la quota del punto più depresso del paramento di monte".

<sup>2</sup> "Capacità del serbatoio compresa tra la quota di massimo invaso e la quota minima di fondazione; per le traverse fluviali è il volume compreso tra il profilo di rigurgito più elevato indotto dalla traversa ed il profilo di magra del corso di acqua sbarrato".

Grandezza	Valore	Unità di misura
Quota di massimo invaso	663,10	m s.l.m.
Escursione tra massima e minima regolazione	10,7	m
Franco	1,70	m
Altezza muri paraonde	0,50	m

Tabella 4 – Caratteristiche principali del bacino di monte

Sul paramento esterno della diga si prevede di allocare lo smarino in esubero derivante dagli scavi dalla realizzazione delle opere in sotterraneo e dalla creazione della nuova viabilità per raggiungere l'imbocco della galleria d'accesso. Si prevede di distribuire materiale in modo tale da avere una scarpata a pendenza costante, raccordando il coronamento alla topografia esistente. In particolare, ci si avvale di due pendenze differenti: 5/1 sui lati Ovest e Nord, 8/1 sui lati Est e Sud.

Questo abbancamento di materiale attorno al paramento esterno della diga ha molteplici vantaggi:

- dal punto di vista strutturale, contribuisce a favorire la stabilità del rilevato (che lavora a gravità);
- dal punto di vista paesaggistico, la debole pendenza del raccordo tra il coronamento del bacino ed il terreno circostante consente di avere un mascheramento morfologico ottimale del bacino nel territorio circostante (impatto visivo trascurabile);
- dal punto di vista ambientale, consente di annullare la movimentazione dei volumi di terre e rocce da scavo al di fuori dell'area interessata dalla realizzazione dell'impianto di pompaggio.

In Figura 17 è riportata la sezione tipo del rilevato (costituito dalla diga e dal deposito di materiale sciolto posto sul paramento esterno).

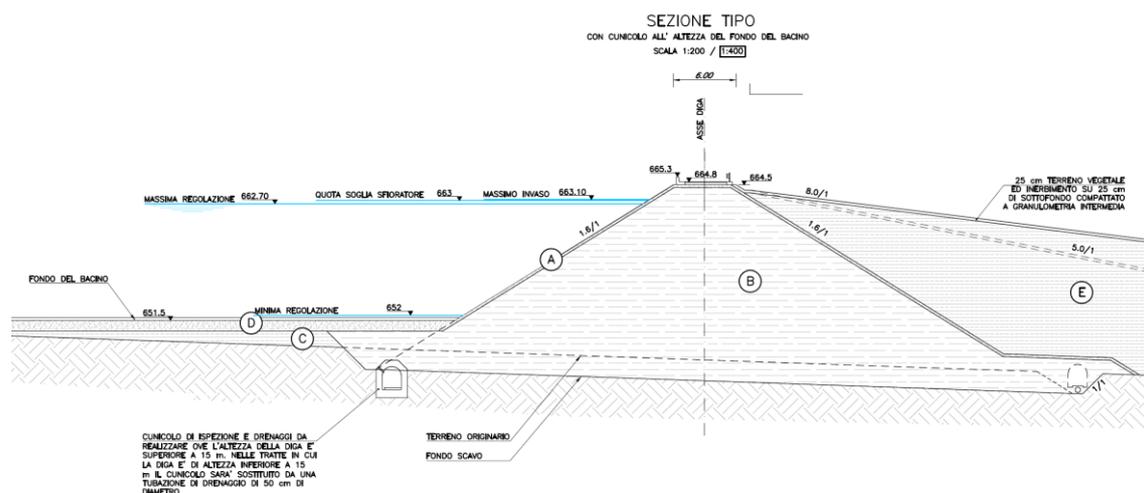


Figura 17 – Sezione tipo del rilevato

Le perdite sono raccolte da un sistema di drenaggio composto da:

- tubi di drenaggio avvolti in geotessuto sul fondo del bacino e sui lati Ovest, Nord ed Est del rilevato: una tubazione al piede interno della diga, una tubazione al piede esterno della diga;
  - cunicoli di drenaggi sul lato Sud del rilevato: un cunicolo al piede interno della diga, un cunicolo al piede esterno della diga;
  - tubi di drenaggio (rivestiti con geotessuto) sull'intero perimetro esterno del rilevato
- Sono previsti tre accessi ai cunicoli di ispezione e drenaggio. Il recapito finale dei drenaggi avviene a Sud del bacino, all'ingresso dell'accesso principale ai cunicoli di ispezione e drenaggio.

#### 5.8.1 OPERA DI PRESA DI MONTE

Presso il bacino di monte si prevede la realizzazione di un'opera di presa e restituzione a calice. Tale manufatto è costituito da una soglia di calcestruzzo di forma circolare, con diametro in sommità di 10 m, che convoglia le acque all'interno di una struttura verticale di diametro interno variabile, fino al raggiungimento del diametro di 5,5 m della condotta forzata (Figura 18).

Affinché sia garantita una corretta sommergenza alla presa, è stata imposta una differenza di 3,5 m tra la quota di minima regolazione del bacino e la quota del ciglio del calice. Si rimanda alla *Relazione idraulica* (elaborato 1351-M-FN-R-05-0) per il dimensionamento di tale manufatto.

L'opera di presa è situata presso la zona Ovest del bacino di monte, ossia più vicino all'invaso di Nuraghe Arrubiu. Questa zona presenta il fondo del bacino a quota 648,75 m s.l.m., 1,25 m sotto al ciglio del calice: il che consente da un lato di poter intercettare eventuale materiale solido che inavvertitamente potrebbe ritrovarsi all'interno del bacino, e dall'altro l'accesso in sicurezza all'opera di presa e restituzione da parte degli addetti. Tale area è raccordata con il resto del fondo (a quota 651,75 m s.l.m.) tramite una rampa avente una pendenza dell'8%.

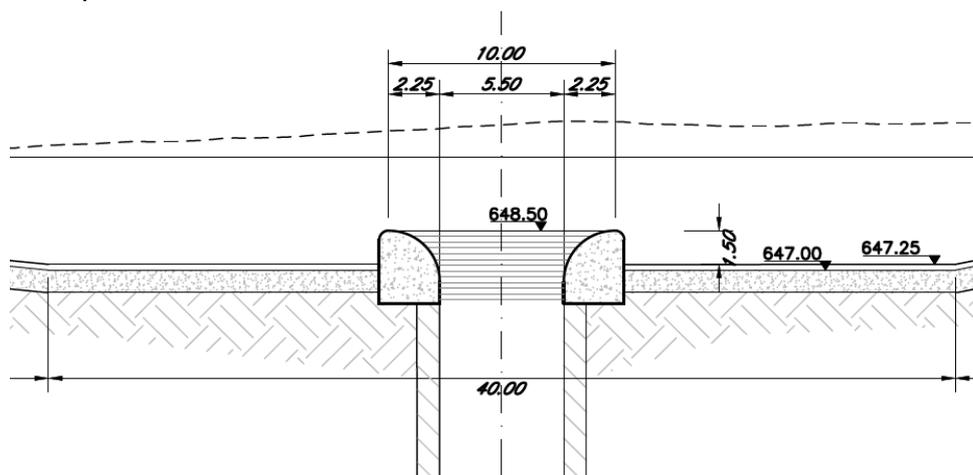


Figura 18 – Sezione dell'opera di presa

#### 5.8.2 SBOCCO CUNICOLO DI DRENAGGIO

Al termine dell'accesso al cunicolo di ispezione e drenaggio previsto nel lato Sud del bacino di monte, è posto un pozzetto di raccolta da cui parte una tubazione interrata, volta ad evacuare per gravità i drenaggi del bacino di monte.

Tale tubazione termina a cielo aperto verso Sud, in modo tale da consentire un deflusso in direzione del canale di scolo attualmente esistente.

#### 5.8.3 SFIORATORE DI SUPERFICIE

Sul lato Nord del bacino di valle è prevista la presenza di uno sfioratore di superficie con luce di sfioro complessiva pari a 4 m, che consente di evacuare, in caso estremo, le modeste portate associate ad eventi di precipitazione intensa sulla superficie interna del bacino stesso.

#### 5.8.4 DRENAGGIO DELLO SFIORATORE DI SUPERFICIE

Lo scarico dello sfioratore, così come lo sfioratore stesso sono stati previsti solamente in funzione delle possibili richieste della Direzione Generale per le Dighe e le Infrastrutture Idriche (DG Dighe); come specificato in precedenza § 5.3, l'installazione di una valvola dissipatrice che può funzionare sia elettricamente che manualmente, consente di svuotare i volumi d'acqua presenti nel bacino di monte, anche in mancanza di elettricità. Tuttavia, per le ragioni sopra esposte, a valle dello sfioratore di superficie è prevista una vasca da cui parte una tubazione interrata avente diametro di 50 cm e lunga circa 500 m, che ha il compito di recapitare -in caso estremo- le portate in uscita dallo sfioratore di superficie presso un impluvio naturale (il cui recapito finale è l'invaso di Nuraghe Arrubiu).

Ipotizzando che lo sfioratore debba funzionare (cosa al momento non prevista), si è posta la soglia dello stesso 30 cm al di sopra della quota di massima regolazione, ci si attende che lo sfioratore non funzioni se non in condizioni di precipitazioni eccezionali associate ad un evento di piena con tempo di ritorno di almeno 3.000 anni. Comunque, in base a questa geometria, lo sfioratore risulterebbe in funzione (presenza di acqua nel canale) nel caso in cui si verificassero contemporaneamente (bassissima probabilità, praticamente nulla) le seguenti condizioni:

- il bacino di monte è riempito fino alla quota di massima regolazione;
- precipitazioni associate ad una piena con tempo di ritorno di 3.000 anni;
- l'impianto non è in grado di poter restituire al bacino di valle parte del volume accumulato nel bacino di monte (né tramite i gruppi ternari né tramite l'apposito sistema di *bypass* citato precedentemente).

#### 5.8.5 SISTEMI DI MONITORAGGIO

I sistemi di monitoraggio della diga comprendono:

- installazione di riflettori ed utilizzo di interferometria satellitare;
- assestimetri sul coronamento;

- monitoraggio previsto per identificare l'insorgere di eventuali perdite accidentali dal fondo del bacino tramite un sistema di fibre ottiche LHD, messe in opera al di sotto del geocomposito e monitorate da remoto;
- stazione meteo con pluviometro;
- registrazione dei livelli di invaso;

I dati rilevati saranno disponibili localmente, e trasmessi in una centrale operativa di controllo in remoto, per l'esame da parte dell'ingegnere responsabile e per la elaborazione dei bollettini mensili e delle sintesi semestrali.

Si ipotizza che la casa di guardia attualmente asservita alla diga di Nuraghe Arrubiu potrà sorvegliare anche il bacino di monte attraverso telecamere a circuito chiuso.

#### 5.8.6 STRADE DI SERVIZIO E RECINZIONI

Tutto il bacino sarà circondato da una recinzione, affinché il transito sia consentito solo al personale autorizzato.

Sul lato Nord del bacino è prevista la realizzazione di un breve tratto di viabilità volto a collegare la strada esistente ad un piazzale posto in prossimità del bacino, da cui parte una rampa larga 6 m che consente di raggiungere il coronamento del bacino. L'accesso a tale rampa sarà dotato di un apposito cancello.

Dal termine della rampa di accesso, sul coronamento, è prevista la realizzazione di una rampa interna, larga 6 m, che consente di raggiungere il fondo del bacino.

## 6 VIABILITÀ DA ADEGUARE

Al fine di raggiungere le diverse aree di cantiere necessarie per la costruzione dell'impianto, si prevede di realizzare una idonea viabilità che consenta sia il transito dei mezzi di cantiere che, una volta terminati i lavori, permetterà il raggiungimento delle diverse opere dell'impianto per gli interventi di ispezione e manutenzione.

Al fine di contenere gli impatti sul territorio, si è cercato di avvalersi per quanto possibile della viabilità esistente (adeguamento), prevedendo la creazione di nuovi tratti di viabilità solo dove strettamente necessario.

In particolare, si prevede:

- la creazione di un nuovo tratto di viabilità che consente di collegare l'area prossima al bacino di monte con l'imbocco della galleria d'accesso alla centrale in progetto. La lunghezza di questo tratto di viabilità è pari a circa 8,3 km e prevede un tratto in galleria per una lunghezza complessiva di circa 700 m. La creazione di questa strada, che sostituisce quella attualmente esistente, è necessaria in quanto le pendenze della strada esistente raggiungono valori tali (anche superiori al 15%) da non poter consentire il transito in sicurezza dei mezzi di cantiere necessari per l'esecuzione delle opere sotterranee e per il trasporto degli elementi più ingombranti dell'impianto (i.e., trasformatori e componenti dei gruppi ternari);
- l'adeguamento di un tratto di viabilità esistente, per una lunghezza di circa 2,5 km che collega la SP53 all'inizio del tratto di viabilità da creare di cui al punto sopra.

Sia per i tratti di viabilità da adeguare che per quelli da creare *ex novo*, si prevede di realizzare tratti stradali di tipo F (strada urbana). In Figura 19 è riportata a titolo esemplificativo la sezione tipo in mezza costa.

Nelle fasi di indagini successive, in seguito anche ad una campagna di rilievo topografico mirata, sarà possibile aggiornare il tracciato della viabilità e gli interventi di messa in sicurezza localizzati.

All'interno delle aree di cantiere saranno anche previste viabilità provvisorie, successivamente riportate allo stato *ante-operam* in fase di dismissione del cantiere.

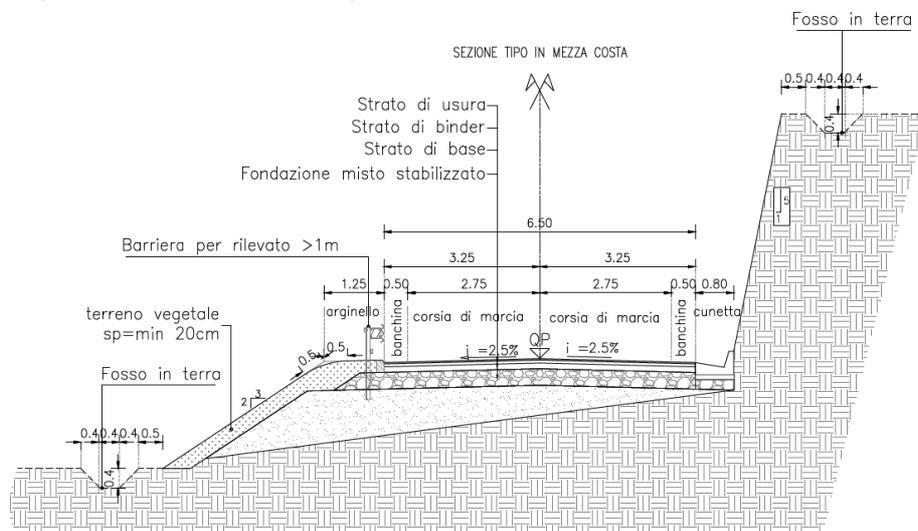


Figura 19 - Sezione tipo viabilità

## 7 CRONOPROGRAMMA

Le fasi di realizzazione del progetto oggetto di questo studio sono dettagliate nel “Cronoprogramma dei lavori” (doc. ref. 1351-A-FN-A-02-0), allegato alla presente relazione. Le tempistiche previste per la costruzione ed il collaudo dell’impianto dureranno complessivamente 84 mesi (7 anni), dall’inizio dei lavori.



Tel: +39 030 3702371 – Mail: [info@frosionext.com](mailto:info@frosionext.com) - Sito: [www.frosionext.com](http://www.frosionext.com)  
Via Corfù 71 - Brescia (BS), CAP 25124  
P.Iva e Codice fiscale: 03228960179