

*Regione Autonoma della Sardegna*  
*Assessorato dell'Agricoltura e Riforma Agro-Pastorale*



CONSORZIO DI BONIFICA DELL'ORISTANESE  
ORISTANO



**PROGETTO ESECUTIVO**

CUP G13H11000080002 - CAT. P0000

*Interventi di manutenzione straordinaria per la messa in sicurezza  
dello sbarramento collinare in localita' "Mura Cabonis"  
in agro di Milis*

Elaborato:

Relazione geologica

All. 6.0

n° prog.

il progettista  
ing. Massimo Sanna  
geol. Simone Manconi

V.il Resp. del procedimento  
ing. Roberto Sanna

V. il Commissario Straordinario  
dott. Gianbattista Ghisu

Scala

Data aprile 2019

Rev.2



Fig.21: Sondaggio geognostico S2 - Diga Mura Cabonis – 5.00 m ÷ 10.00 m



Fig.22: Sondaggio geognostico S2 - Diga Mura Cabonis – 10.00 m ÷ 15.00 m



Fig.23: Sondaggio geognostico S2 - Diga Mura Cabonis – 15.00 m ÷ 16.00 m

**OPERE E INTERVENTI PER LA MESSA IN SICUREZZA DELLA DIGA DI MURA CABONIS**



Studio di geologia Tecnica Dott. Geol. Simone Manconi  
Via Pontano 11 - 09128 Cagliari  
C.F. MNCSMN74B13B354G  
P.I. 02760610929

**STRATIGRAFIA SONDAGGI GEOGNOSTICI**

Committente <b>Consorzio di Bonifica Oristanese</b>	Profondità raggiunta <b>13.90</b>	Quota Ass. P.C. <b>117.00</b>	Certificato n° <b>1</b>	Pagina <b>1</b>
Operatore <b>Ditta Antonello Angius</b>	Indagine <b>Messa in sicurezza Diga Mura Cabonis</b>			Inizio/Fine Esecuzione <b>30/01/2019-6/02/2019</b>
Responsabile <b>Dott. Geol. Manconi Simone</b>	Sondaggio <b>S3</b>	Tipo Carotaggio <b>Sondaggio Geognostico</b>	Tipo Sonda <b>Sonda IM 8</b>	Coordinate X Y

Scala (m)	Litologia	Descrizione	Quota	%Carotaggio	S.P.T.	Pocket Test kg/cmq	Vane Test kg/cmq	Campioni	Metodo Perforazione	Metodo Stabilizzaz.	Cars. Catalog.	Falda	Altre prove
0.20		Terreno di riporto costituito da sabbie ghiaiose in matrice limo-argillosa											
0.40													
0.60													
0.80													
1.00													
1.20			1.40										
1.40		Corpo del rilevato costituito da argille consistenti debolmente limose di colore bruno chiaro											
1.60													
1.80													
2.00													
2.20													
2.40													
2.60													
2.80													
3.00													
3.20													
3.40													
3.60													
3.80													
4.00													
4.20													
4.40													
4.60													
4.80													
5.00													
5.20													
5.40													
5.60													
5.80													
6.00													
6.20													
6.40													
6.60													
6.80													
7.00													
7.20													
7.40													
7.60			7.70										
7.80		Corpo del rilevato costituito da argille plastiche grigiastre consistenti											
8.00													
8.20													
8.40													
8.60													
8.80													
9.00													
9.20													
9.40			9.50										
9.60		Corpo del rilevato - Argille plastiche debolmente consistenti, sature											
9.80													
10.00													
10.20			10.50										

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato, Rs-Rimaneggiato da SPT  
Perforazione:CS-Carotiere Semplice, CD-Carotiere Doppio, EC-Elica Continua  
Stabilizzazione:RM-Rivestimento Metallico, FB-Fanghi Betonitici  
Prove SPT:PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa  
Carotaggio:Sondaggio Geognostico

Sonda:Sonda IM 8  
Direzione Tecnica Sondaggi

**OPERE E INTERVENTI PER LA MESSA IN SICUREZZA DELLA DIGA DI MURA CABONIS**



Studio di geologia Tecnica Dott. Geol. Simone Manconi  
Via Pontano 11 - 09128 Cagliari  
C.F. MNCSMN74B13B354G  
P.I. 02760610929

STRATIGRAFIA SONDAGGI GEOGNOSTICI

Committente <b>Consorzio di Bonifica Oristanese</b>	Profondità raggiunta <b>13.90</b>	Quota Ass. P.C. <b>117.00</b>	Certificato n° <b>1</b>	Pagina <b>1</b>
Operatore <b>Ditta Antonello Angius</b>	Indagine <b>Messa in sicurezza Diga Mura Cabonis</b>			Inizio/Fine Esecuzione <b>30/01/2019-6/02/2019</b>
Responsabile <b>Dott. Geol. Manconi Simone</b>	Sondaggio <b>S3</b>	Tipo Carotaggio <b>Sondaggio Geognostico</b>	Tipo Sonda <b>Sonda IM 8</b>	Coordinate X Y

Scaia (m)	Litologia	Descrizione	Quota	%Carotaggio	S.P.T.	Pocket Test kg/cmq	Vane Test kg/cmq	Campioni	Metodo Perforazione	Metodo Stabilizzaz.	Cars. Catalog.	Falda	Altre prove
10.40		Corpo del rilevato costituito da argille debolmente limose di colore grigio											
10.6													
10.80													
11.0													
11.20													
11.4													
11.60													
11.8													
12.00													
12.2													
12.40													
12.6													
12.80													
13.0													
13.20													
13.4													
13.60			13.70										
13.8		Cappellaccio superiore Basalti	13.90										
14.00													
14.2													
14.40													
14.6													
14.80													
15.0													
15.20													
15.4													
15.60													
15.8													
16.00													
16.2													
16.40													
16.6													
16.80													
17.0													
17.20													
17.4													
17.60													
17.8													
18.00													
18.2													
18.40													
18.6													
18.80													
19.0													
19.20													
19.4													
19.60													
19.8													
20.00													
20.2													
20.40													

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato, Rs-Rimaneggiato da SPT  
Perforazione: CS-Carotiere Semplice, CD-Carotiere Doppio, EC-Elica Continua  
Stabilizzazione: RM-Rivestimento Metallico, FB-Fanghi Betonitici  
Prove SPT: PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa  
Carotaggio: Sondaggio Geognostico

Sonda: Sonda IM 8  
Direzione Tecnica Sondaggi



Fig.24: Sondaggio geognostico S3 - Diga Mura Cabonis – 0.00 m ÷ 5.00 m



Fig.25: Sondaggio geognostico S3 - Diga Mura Cabonis – 5.00 m ÷ 10.00 m



Fig.26: Sondaggio geognostico S3 - Diga Mura Cabonis – 10.00 m ÷ 13.90 m

**OPERE E INTERVENTI PER LA MESSA IN SICUREZZA DELLA DIGA DI MURA CABONIS**



Studio di geologia Tecnica Dott. Geol. Simone Manconi  
Via Pontano 11 - 09128 Cagliari  
C.F. MNCSMN74B13B354G  
P.I. 02760610929

**STRATIGRAFIA SONDAGGI GEOGNOSTICI**

Committente <b>Consorzio di Bonifica Oristanese</b>	Profondità raggiunta <b>5.00</b>	Quota Ass. P.C. <b>108.00</b>	Certificato n° <b>1</b>	Pagina <b>1</b>
Operatore <b>Ditta Antonello Angius</b>	Indagine <b>Messa in sicurezza Diga Mura Cabonis</b>			Inizio/Fine Esecuzione <b>30/01/2019-6/02/2019</b>
Responsabile <b>Dott. Geol. Manconi Simone</b>	Sondaggio <b>S4</b>	Tipo Carotaggio <b>Sondaggio Geognostico</b>	Tipo Sonda <b>Sonda IM 8</b>	Coordinate X Y

Scala (m)	Litologia	Descrizione	Quota	%Carotaggio	S.P.T.	Pocket Test kg/cm²	Vane Test kg/cm²	Campioni	Metodo Perforazione	Metodo Stabilizzaz.	Cars. Catalog.	Falda	Altre prove
0.00			0.00										
0.20		Suolo argilloso di colore grigio scuro	0.50										
0.40		Argilla debolmente limosa	1.00										
0.60													
0.80													
1.00		Argilla sabbiosa di colore bruno scuro con interclusi clasti ciottolosi di rocce basaltiche da millimetrici a centimetrici											
1.20													
1.40													
1.60													
1.80													
2.00													
2.20													
2.40													
2.60													
2.80													
3.00													
3.20													
3.40													
3.60													
3.80													
4.00			4.20										
4.20		Frammenti di roccia basaltica con alterazioni argillitiche	4.50										
4.40		Basalto litoide	5.00										
4.60													
4.80													
5.00													
5.20													
5.40													
5.60													
5.80													
6.00													
6.20													
6.40													
6.60													
6.80													
7.00													
7.20													
7.40													
7.60													
7.80													
8.00													
8.20													
8.40													
8.60													
8.80													
9.00													
9.20													
9.40													
9.60													
9.80													
10.00													
10.20													

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato, Rs-Rimaneggiato da SPT  
Perforazione: CS-Carotiere Semplice, CD-Carotiere Doppio, EC-Elica Continua  
Stabilizzazione: RM-Rivestimento Metallico, FB-Fanghi Betonitici  
Prove SPT: PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa  
Carotaggio: Sondaggio Geognostico

Sonda: Sonda IM 8  
Direzione Tecnica Sondaggi



Fig.27: Sondaggio geognostico S4 - Diga Mura Cabonis – 0.00 m ÷ 5.10 m



Fig.28: Sondaggio geognostico S1 - Diga Mura Cabonis – Allestimento Piezometro



Fig.29: Sondaggio geognostico S1 - Diga Mura Cabonis – Allestimento Piezometro



Fig.30: Sondaggio geognostico S2 - Diga Mura Cabonis – Allestimento Inclino metro in ABS



Fig.31: Sondaggio geognostico S2 - Diga Mura Cabonis – Inclino metro con chiusino



Fig.32: Sondaggio geognostico S2 - Diga Mura Cabonis – Passaggio sonda testimone per rilievo discontinuità

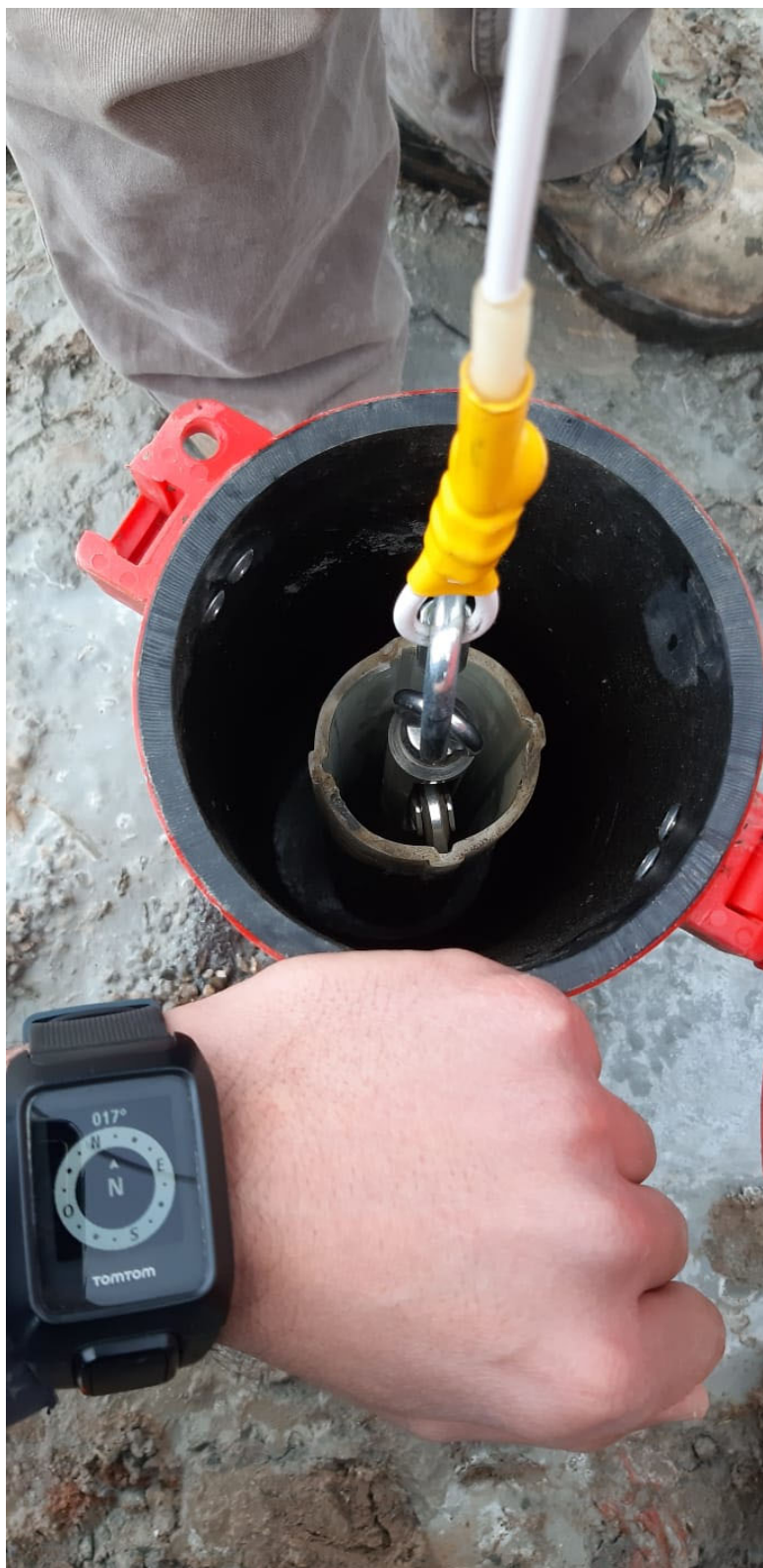


Fig.33: Sondaggio geognostico S2 – Passaggio sonda testimone e lettura direzione scanalatura rispetto a N (17°)



Fig.34: Termine delle operazioni di cantiere sul coronamento (in primo piano piezometro S3)



Fig.35: Termine delle operazioni di cantiere sull'unghia del paramento di valle (in primo piano piezometro S4)

Complessivamente, per quanto è stato rilevato durante le indagini dirette, il corpo diga è costituito da un rilevato in argilla debolmente sabbiosa, avente uno spessore complessivo di circa 14 metri nel punto centrale con livelli marcatamente più plastici e saturi alle quote di - 10.50 - 11.50 dalla quota del coronamento.

A termine delle operazioni di sondaggio, in data 11.02.2019 sono state eseguite diverse misurazioni, tra cui le misure dei tre piezometri e dell'inclinometro mediante passaggio della sonda testimone.

Per quanto concerne il piezometro allestito nel sondaggio S1 (fessurato nel tratto relativo ai basalti e cieco nel tratto del corpo del rilevato in argilla) è stata misurata la quota piezometrica a  $\cong$  - 6.50 m dalla quota del coronamento, a cui corrisponde pertanto una risalita della falda corrispondente alla linea di saturazione della diga di  $\cong$  9.50 metri dalla base del corpo del rilevato.

Per quanto concerne il piezometro allestito nel sondaggio S3 (fessurato nel tratto relativo al corpo del rilevato in argilla nella quota -13.70 ÷ -7.70 e cieco nel tratto dei basalti) è stata misurata la quota piezometrica a  $\cong$  -4.53 m dalla quota del coronamento, a cui corrisponde pertanto una risalita

della falda corrispondente alla linea di saturazione della diga di  $\cong 9.17$  metri, pertanto simile a quella del primo piezometro.

Relativamente al piezometro S4 è stata rilevata la quota piezometrica a circa 0.63 m dal p.d.c. corrispondente ad una falda acquifera superficiale.

Per quanto concerne la misura eseguita all'interno del tubo inclinometro con la sonda testimone è stato accertato che il passaggio della strumentazione è avvenuta senza ostacoli fino alla profondità di innesto del tubo inclinometrico, vale a dire fino a 16.10 m dalla quota del coronamento della diga.

In merito alle condizioni generali del corpo del rilevato, appare evidente che lo stesso si trovi in condizioni di equilibrio. Naturalmente la presenza delle emergenze sul paramento di valle è certamente da considerarsi un fattore di tipo destabilizzante per cui necessiterà un intervento di ripristino delle condizioni di impermeabilità iniziali.

A tal fine, l'intervento progettuale proposto è da intendersi doppiamente vincente in quanto oltre a ripristinare le condizioni di impermeabilità pre-esistenti del corpo del rilevato ne consolida anche la staticità.

## 7. Inquadramento Geomorfologico

Per quanto concerne gli aspetti geomorfologici, in corrispondenza dell'area d'intervento non si rilevano evidenze di strutture tettoniche degne di nota, anche se tuttavia, la presenza di elementi morfologici quali la direzione dei compluvi, del ruscellamento e di alcune scarpate fanno pensare a degli episodi di neotettonica che hanno interessato la zona durante il Plio-Quaternario, influenzando l'allineamento delle direttrici principali dei corsi d'acqua.

Relativamente alle condizioni topografiche, l'area d'intervento è stata analizzata da un punto di vista sismico, così come disciplinato dal D.M. 17.01.2018 e s.m.i.

Per quanto concerne le condizioni topografiche, l'area d'intervento ricade in categoria T1, ovvero "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione  $i \leq 15^\circ$ "

Per quanto attiene la definizione delle categorie di sottosuolo, ai sensi del D.M. 17/01/2008, l'area d'intervento corrisponde ad una categoria di sottosuolo prevalente di tipo "B" ovvero: *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_s$  30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s.*

In considerazione del fatto che il Comune di Milis risulta censito dal P.A.I. per fenomenologie di dissesto idrogeologico, è stata eseguita una dettagliata analisi geomorfologica e sovrapposizione cartografica con G.I.S. al fine di stabilire se l'area d'intervento risulta o meno a rischio geologico ai sensi delle norme di attuazione del P.A.I.

Nel complesso, appare evidente come l'area d'intervento non ricada all'interno di nessuna fascia di pericolosità idrogeologica definita dal PAI, dal PSFF e in linea generale dal P.G.R.A.

## **8. Inquadramento Geopedologico**

Dal rilevamento geopedologico di campagna è stato possibile classificare i suoli presenti nel sito oggetto di intervento: nel complesso il livello del suolo risulta essere di spessore maggiore nelle zone più depresse dove l'accumulo sedimentario, susseguitosi nel tempo, ha reso possibile l'instaurarsi di livelli pedologici, nella fattispecie in corrispondenza delle depressioni vallive.

Per contro il livello pedologico risulta essere scarso o addirittura assente in corrispondenza delle culminazioni morfologiche e nella maggior parte dei casi dove si rileva roccia affiorante.

Il paesaggio si presenta nel complesso con una rada copertura arbustiva ed arborea, zone di ombra umide che, localmente, determinano ambienti favorevoli allo sviluppo di suoli mediamente profondi in cui è rilevabile il passaggio fra i diversi terreni a scheletro più o meno organico, evidenti soprattutto per la colorazione maggiormente brunita.

Nella fattispecie si possono distinguere essenzialmente suoli su rocce effusive basiche (basalti) del Pliocene superiore e del Pleistocene e relativi depositi di versante e colluviali.

I suoli che si impostano sulle rocce vulcaniche basiche (basalti del Pliocene e del Pleistocene), sono caratterizzati da aree con forme da ondulate a sub-pianeggianti, a tratti con un'adeguata copertura arbustiva ed arborea: relativamente a tali settori prevalgono profili A-Bw-R, A-R e subordinatamente A-Bt-C e roccia affiorante, da poco profondi, a profondi, franco argillosi, permeabili, neutri e saturi.

Nel complesso si rileva che, nei livelli pedologici relativi ai litotipi vulcanici basaltici, prevalgono una rocciosità e pietrosità elevate, scarsa profondità eccesso di scheletro e idromorfia dovuta allo substrato impermeabile.

## **9. Schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea**

L'idrografia superficiale caratterizzante tutta l'area di studio è direttamente connessa con le caratteristiche idrogeologiche del substrato presente in tutta l'area d'intervento.

In quest'ambito, le principali unità idrogeologiche presenti nell'area sono rappresentate dalle sequenze vulcaniche effusive basaltiche che costituiscono gli spartiacque della zona e le sequenze deposizionali pleistoceniche ed oloceniche che costituiscono il materasso fluviale nel quale i corsi d'acqua della zona sviluppano il loro percorso, generalmente di tipo meandriforme e subordinatamente di tipo rettilineo.

In riferimento a quanto disposto dal “Piano Di Tutela Delle Acque” (art. 44 D.Lgs 152/99 e s.m.i., art. 2 L.R. 14/2000, Direttiva 2000/60/CE), nell’ambito del Bacino Unico Regionale (L. 183/89), l’area d’intervento fa riferimento alla Unità Idrografica Omogenea (U.I.O.) Tirso e alla Unità Idrografica Omogenea (U.I.O.) Mare Foghe.

Fatta eccezione per il Fiume Tirso, il resto del territorio, indipendentemente dal bacino di appartenenza, presenta un reticolo idrografico poco sviluppato, di tipo sub-dendritico, formato da aste di limitato sviluppo lineare, a basso grado di gerarchizzazione e con direzioni di scorrimento NW-SE e NE-SW correlate alle principali lineazioni neotettoniche; si tratta sempre di corsi d’acqua a regime stagionale e carattere torrentizio.

Alle Unità Idrografiche Omogenee precedentemente citate, appartengono le seguenti unità idrogeologiche:

- 1) Unità delle Alluvioni Plio-Quaternarie;
- 2) Unità delle vulcaniti Plio-Quaternarie

L’unità idrogeologica delle alluvioni Plio-Quaternarie è caratterizzata da terreni con permeabilità per porosità ed è in generale, questa risulta essere medio-bassa per la presenza di matrice argillosa e per il grado elevato di addensamento del materiale, tuttavia, localmente può essere media o alta in livelli grossolani con ridotta o assente frazione argillosa.

L’Unità idrogeologica delle Vulcaniti Plio-Quaternarie comprende rocce vulcaniche effusive basaltiche, caratterizzate da permeabilità per fessurazione, la quale in generale risulta essere medio-bassa e bassa, tuttavia, localmente, nelle facies maggiormente fratturate e con scarsi riempimenti detritici, può essere media o alta sempre per fessurazione e subordinatamente per porosità. Di frequente, nei livelli profondi, la presenza d’acqua produce idromorfia con formazione di materiali argillosi poco permeabili.

Relativamente alle condizioni di permeabilità del corpo del rilevato e del substrato vulcanico basaltico su cui la diga si poggia, sono state eseguite complessivamente due prove di permeabilità in pozzetto: nel complesso sono state eseguite una prova Lugeon (nel sondaggio S1) all’interno della tasca dei basalti alterati ad una quota di -16.00 m ÷ -14.00 m dal coronamento e una prova Lefranc a carico variabile direttamente sulle argille costituenti il corpo del rilevato arginale, con rabbocco del livello fino alla quota del coronamento.

## **10. Schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea – Prova Lugeon**

In merito alla definizione delle condizioni di permeabilità dell’ammasso roccioso che costituisce il piano d sedime dell’area d’intervento, è stata eseguita una prova di permeabilità in foro a carico variabile (Prova Lugeon).

La prova Lugeon è una prova essenziale che consente di valutare l'attitudine di un ammasso roccioso a consentire la circolazione dell'acqua.

La prova è stata eseguita durante il corso della perforazione del sondaggio S1 e la procedura per la misura del coefficiente di permeabilità consiste nelle seguenti fasi:

- Pulizia del foro con lavaggio;
- Immissione del pistoncino (packer) fino al tetto della camera di prova;
- Dilatazione del pistoncino con aria in pressione ad una pressione sufficiente ad evitare perdite di acqua dalla camera;
- Realizzazione della prova mediante immissione di acqua all'interno della camera

La prova consiste nel misurare la portata di acqua iniettata nella camera in esame in almeno tre gradini di pressione in aumento (2.0 bar - 5.0 bar - 8.0 bar) e due gradini di pressione in diminuzione (5.0 bar e 3.0 bar) misurando la costanza della portata (espressa in litri) ogni 2 minuti.

Le prove Lugeon sono state eseguite in avanzamento della perforazione isolando la camera di prova realizzata con un pistoncino (packer singolo) espanso, attraverso una membrana gonfiabile con aria, contro le pareti del foro.

Per ogni prova è stato tracciato il grafico delle portate in funzione delle pressioni in camera di iniezione (bar).



Fig. 36: Packer per esecuzione prova Lugeon

La pressione (p) utilizzata è stata quella corretta secondo la formula:

$$P = P_m + \gamma_w \cdot h - p_c$$

dove:

$P_m$  = pressione letta al manometro;

$\gamma_w$  = densità dell'acqua;

$h$  = distanza verticale tra il manometro ed il livello statico della falda;

$p_c$  = perdita di carico del circuito.

Ciascun gradino di portata, in salita o in discesa, è stato mantenuto costante per almeno 10 minuti.

In funzione del grafico ottenuto è stato calcolato un parametro di assorbimento dell'acqua espresso in Unità Lugeon (U.L.) definita come portata di 1 litro al minuto iniettata ad una pressione di 1 MPa, per la durata di 10 minuti, in un tratto di foro di 1 m.

Nel caso di mezzo omogeneo ed uniforme (ad esempio roccia con fratture ravvicinate o molto ravvicinate), e se si realizza un moto laminare intorno al foro, il coefficiente di permeabilità può essere ricavato mediante la seguente equazione:

$$k = q/P_e \cdot \gamma_w/c \quad (\text{m s}^{-1})$$

dove:

$q$  = portata assorbita; ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ )

$P_e$  = pressione effettiva della cavità; ( $\text{t m}^{-2}$ )

$c$  = coefficiente di forma dato dall'espressione (m)

$$c = 2 \cdot \pi \cdot D \cdot ((L/D)^2 - 1)^{1/2} / \ln(L/D + ((L/D)^2 - 1)^{1/2})$$

Dove:

$D$  = diametro di prova (m)

$L$  = Lunghezza del foro di prova (m)

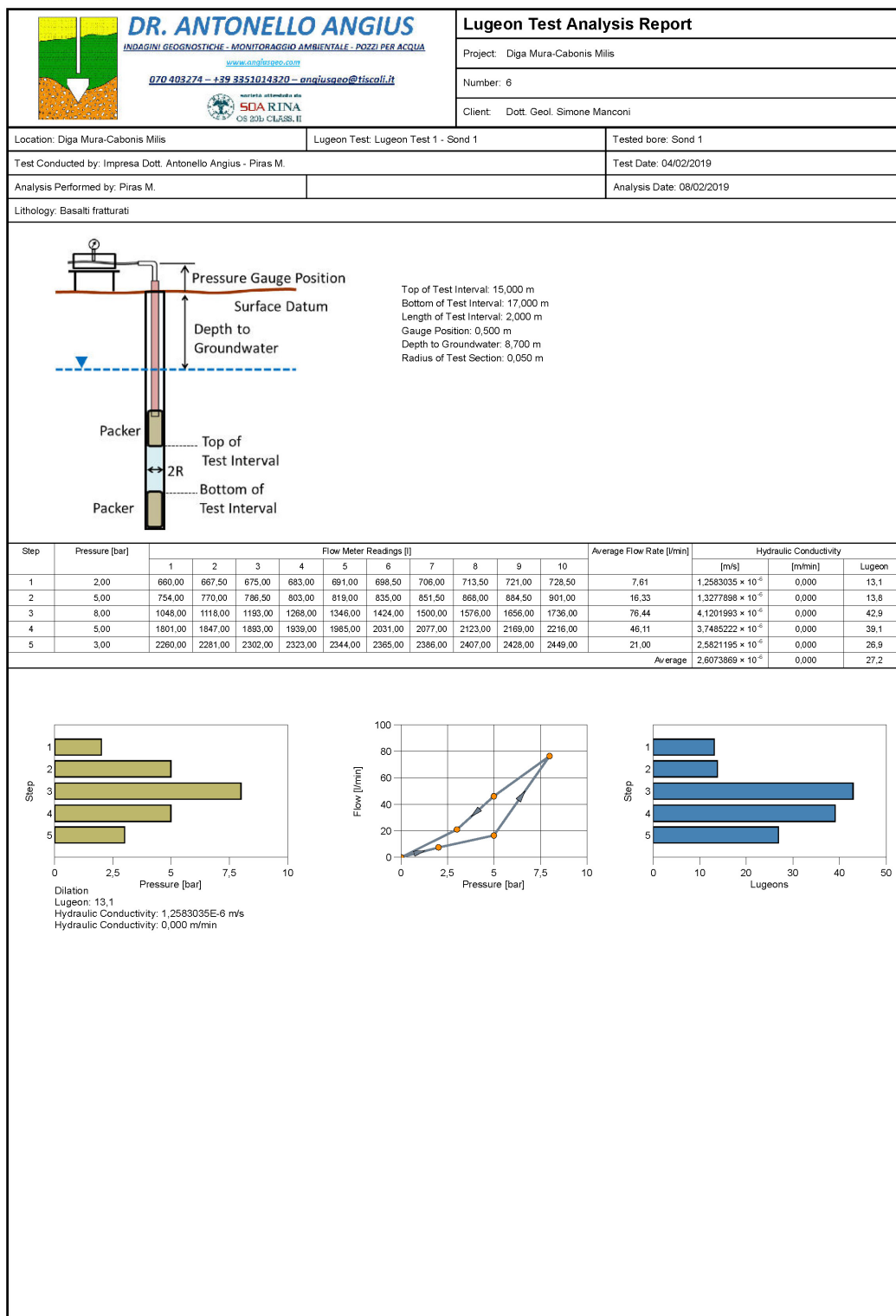


Fig. 37: Diagramma di esecuzione prova Lugeon

Sulla base della prova effettuata è stato possibile pertanto classificare la permeabilità all'interno dell'ammasso roccioso basaltico che pur fratturato, costituisce il piano di appoggio del corpo diga.

Sulla base delle analisi effettuate, nel substrato roccioso basaltico, il coefficiente di permeabilità  $K$  risulta essere pari a  $\cong 2.61 \cdot 10^{-6}$  m/sec, pertanto equivalente ad un indice scarso di permeabilità, come riportato nella tabella sottostante.

Grado di permeabilità relativa	Coefficienti di permeabilità (m/s)
Alto	$K > 10^{-2}$
Medio	$10^{-2} > K > 10^{-4}$
Scarso	$10^{-4} > K > 10^{-9}$
Impermeabile	$10^{-9} > K$

Pertanto, seppur mediamente fratturato, il substrato roccioso basaltico è caratterizzato da un indice scarso di permeabilità, pertanto da giudicarsi idoneo per il tipo di opera ad esso collegata.

#### 11. Schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea – Prova Lefranc

La prova di permeabilità in sito tipo Lefranc è un'indagine diretta destinata a misurare la conducibilità idrica del terreno. A seconda della geometria realizzata in corrispondenza del tratto di foro prescelto e quindi della direzione del flusso che si instaura durante la prova, la permeabilità misurata sarà quella orizzontale ( $K_h$ ), quella verticale ( $K_v$ ) oppure una media tra le due ( $K_h$ - $K_v$ ).

La prova consiste nella misurazione degli abbassamenti d'acqua facendo filtrare quest'ultima attraverso un tratto di foro predeterminato.

Questa prova è destinata ai terreni incoerenti e si svolge durante le fasi di avanzamento della perforazione, dopo aver saturato con acqua il terreno.

Nel caso di terreni a conducibilità idraulica non elevata come il caso delle argille, la prova si esegue a carico variabile. Per l'esecuzione della prova è necessario che le pareti del foro siano rivestite con tubo di rivestimento per tutto il tratto non interessato dalla prova.

Nel caso in esame, considerato che si intendeva misurare la conducibilità del corpo del rilevato, è stata eseguita una prova a carico variabile senza rivestimento, misurando gli abbassamenti in 15", 30", 1', 2', 4', 8', 15', 20', 30' dall'inizio dell'abbassamento fino all'esaurimento dello stesso.

### PROVA LEFRANC 1 S3

Il coefficiente di permeabilità viene calcolato con la seguente formula:

$$k = \frac{A}{CL (t_2 - t_1)} \ln(h_1/h_2) \quad \text{Carico variabile}$$

A (m<sup>2</sup>) area di base del foro di sondaggio

$h_1$  ed  $h_2$  (m) l'altezza dei livelli dell'acqua nel foro rispetto al fondo del foro nei tempi  $t_1$  e  $t_2$  (s)

CL (m) un coefficiente di forma per il quale vengono suggeriti i valori di:

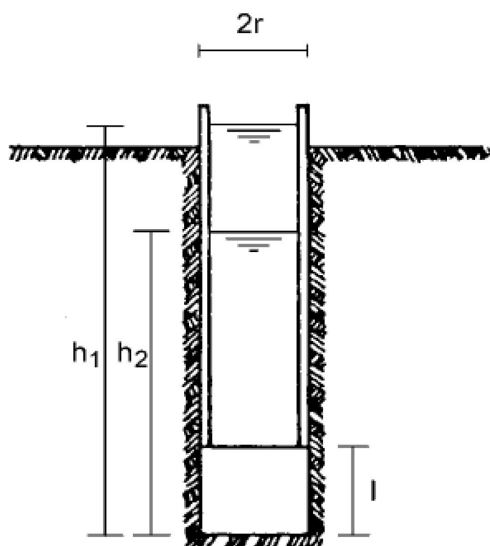
CL=l per  $l > 2r$

CL=(4r + l) per  $l < 2r$

r (m) raggio del foro

l (m) lunghezza del tratto investigato

Il fattore di forma viene assunto uguale a "l" essendo rispettata la condizione CL=l per  $l > 2r$



Tratto di prova: da 9.20-11.00

Falda: 8.7

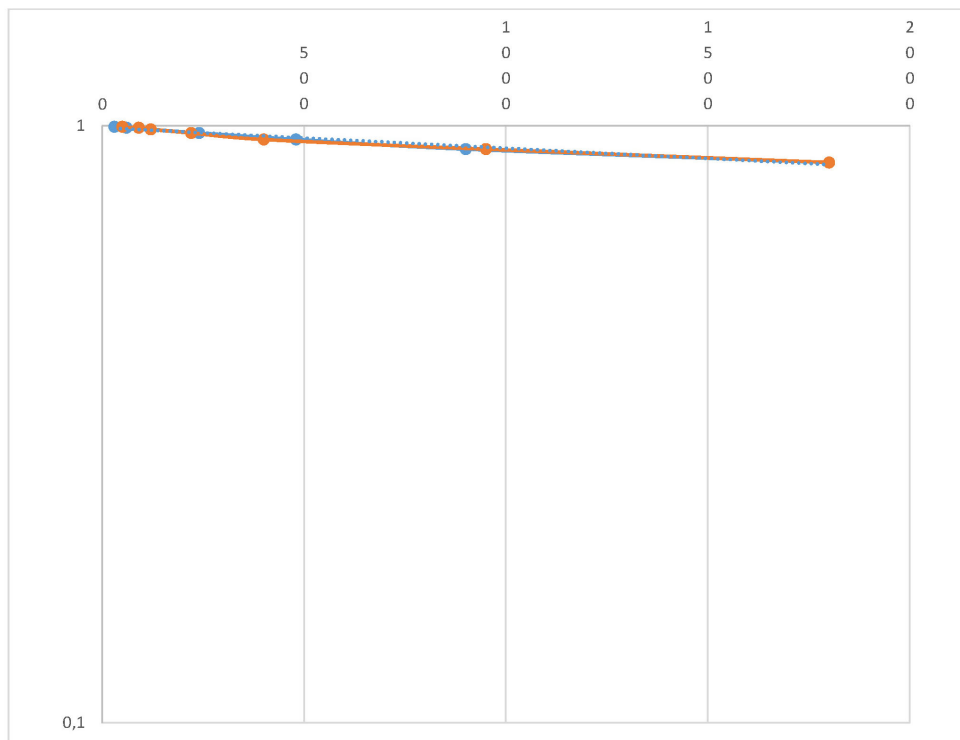
CL: 1.8

A: 0.00785

Tempi (s)	30	60	120	240	480	900	1800
Abbassamenti (m)	0.03	0.06	0.12	0.24	0.45	0.75	1.17

K medio (m/s): 4.9E-7

Viene costruita la curva sperimentale in scala semilogaritmica nella quale si riportano: in ascisse i tempi in scala aritmetica ed in ordinate il rapporto  $h/h_0$  in scala logaritmica. Elaborata la retta di regressione si estrapolano i valori  $T$  e  $h/h_0$  da sostituire nella formula precedentemente descritta.



Valori estrapolati

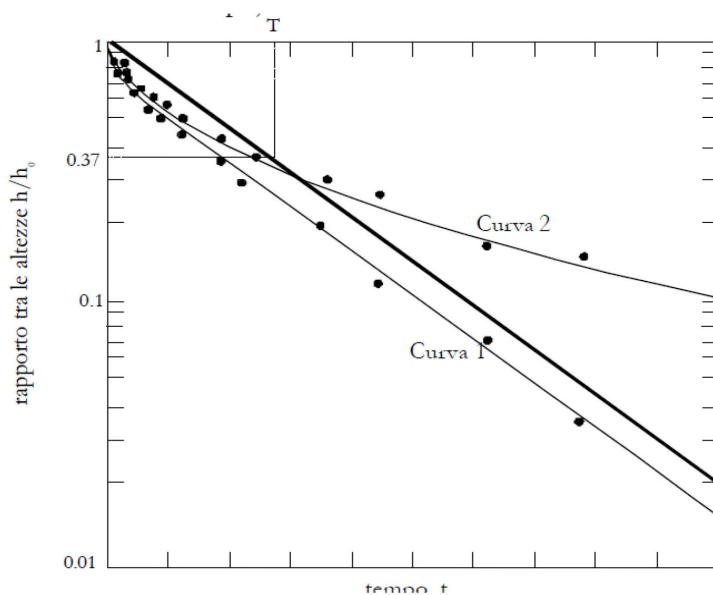
Tempi (s)	50	90	120	220	400	950	1800
$h/h_0$	0,996552	0,993103	0,986207	0,972414	0,948276	0,913793	0,867816

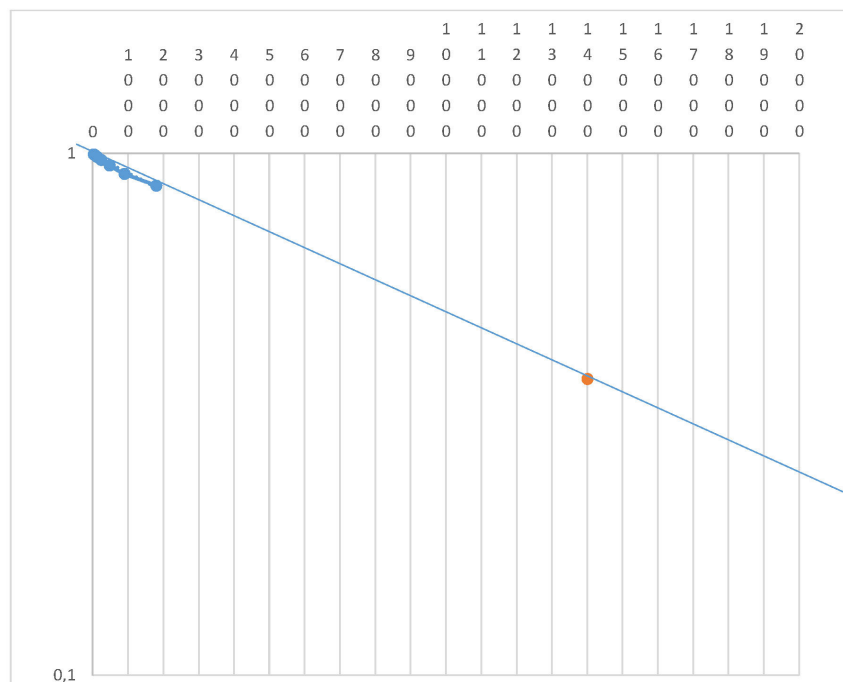
**K medio (m/s): 4.48E-7**

In alternativa il coefficiente di permeabilità può essere espresso in termini di tempo di riequilibrio  $T$ , secondo la formula:

$$K=A/F*T$$

Nella quale  $T$  viene calcolato diagrammando i valori del rapporto  $h/h_0$  (espressi in scala logaritmica) in funzione del tempo  $t$  (riportato in scala decimale), determinando poi la retta interpolante e tracciando la retta a essa parallela passante per l'origine (corrispondente all'istante iniziale  $t=0$  e  $h/h_0=1$ ). Il valore di  $T$  è il tempo corrispondente a  $h/h_0=0.37$  riportato su questa retta.





$T 0.37 = 14.000$

$K (m/s) = 1.86E-6$

Sulla base della prova effettuata è stato possibile pertanto classificare la permeabilità all'interno del corpo diga, costruito in materiale argilloso-sabbioso

Sulla base delle analisi effettuate, il coefficiente di permeabilità  $K$  risulta essere pari a  $\approx 1.86 \cdot 10^{-6}$  m/sec, pertanto equivalente ad un indice scarso di permeabilità, come riportato nella tabella sottostante.

In merito alle caratteristiche di conducibilità idraulica, il materiale utilizzato per la formazione del nucleo in argilla, pur risultando scarsamente impermeabile non mostra i connotati tipici dei materiali argillosi francamente impermeabili, laddove il coefficiente di permeabilità  $K$  deve essere  $< 10^{-9}$  m/s.

Pertanto, relativamente alla presenza delle emergenze sul paramento di valle, le stesse possono essere ricondotte alla tipologia di materiale utilizzato durante la formazione del nucleo in argilla, il quale è da intendersi scarsamente permeabile ma non impermeabile come al contrario ci si sarebbe aspettati.

## **12. Considerazioni conclusive**

Nell'ambito del Programma di sviluppo rurale 2014-2020 – Reg. (UE) n. 1305/2013 – Misura 4 “Investimenti in immobilizzazioni materiali” – Sottomisura 4.3 “Sostegno a investimenti nell'infrastruttura necessaria allo sviluppo, all'ammodernamento e all'adeguamento dell'agricoltura e della silvicoltura” – Tipo di intervento 4.3.2 “Efficientamento delle reti e risparmio idrico” – bando 2017 – procedura di autorizzazione alla prosecuzione dell'esercizio ex Art. 25 dell'Allegato A – L.R. 12/2017, è stato conferito incarico allo scrivente Dott. Geol. Simone Manconi, iscritto al n° 513 dell'Ordine dei Geologi della Sardegna per la redazione della relazione geologica a supporto degli interventi previsti.

La presente relazione è stata redatta al fine di esaminare le questioni di carattere geologico connesse con il progetto definitivo ed esecutivo relativo alle opere e interventi per la messa in sicurezza della Diga di Mura Cabonis in territorio di Milis (OR).

Lo sbarramento in questione è caratterizzato da copiose emergenze sul paramento di valle che ne hanno compromesso la tenuta idraulica, pertanto è stato ipotizzato un intervento tipo jet-grouting avente il doppio obiettivo di ripristinare le condizioni di impermeabilità iniziali e nel contempo migliorare le condizioni di stabilità del corpo diga.

A tal fine sono state eseguite una serie di indagini indirette e dirette per verificare le reali condizioni della diga, la cui costruzione risale agli anni '50.

Nel complesso la diga è costituita da un nucleo in argilla limosa scarsamente permeabile, avente un'altezza complessiva di circa 14 metri nel punto più alto dello sbarramento e piano di appoggio costituito da un substrato basaltico da poco a mediamente alterato con livelli argillificati superficiali.

Attraverso le indagini indirette (misurazioni geofisiche) è stato accertato che le perdite idriche sono raggruppate nella parte centrale del paramento di valle, così come dimostrato dalle indagini dirette (sondaggi geognostici).

Relativamente alle caratteristiche idrogeologiche del sito sono state eseguite due prove di permeabilità, di cui una destinata al substrato basaltico alterato ed una destinata al corpo del rilevato.

Relativamente al substrato roccioso basaltico, è stato rilevato un coefficiente scarso di permeabilità, pertanto da giudicarsi idoneo per il tipo di opera ad esso collegata.

Relativamente al corpo del rilevato, il materiale utilizzato per la formazione del nucleo in argilla, pur risultando scarsamente impermeabile non mostra i connotati tipici dei materiali argillosi francamente impermeabili.

Pertanto, relativamente alla presenza delle emergenze sul paramento di valle, le stesse possono essere ricondotte alla tipologia di materiale utilizzato durante la formazione del nucleo in argilla, il quale è da intendersi scarsamente permeabile ma non impermeabile come al contrario ci si sarebbe aspettati.



---

## OPERE E INTERVENTI PER LA MESSA IN SICUREZZA DELLA DIGA DI MURA CABONIS

---

Sulla base delle condizioni geologiche, geomorfologiche e idrogeologiche del sito, si ritiene pertanto che l'intervento di messa in sicurezza con tecnologia jet-grouting possa essere considerato la scelta progettuale migliore per il ripristino delle condizioni di tenuta idraulica e di consolidamento statico dello sbarramento di Mura Cabonis.