

COMUNE DI VILLAPERUCCIO

PROVINCIA DI CAGLIARI

COMMITTENTE : IMPRESA VACCA S.p.A. - MONSERRATO (CA)

LAVORI : REALIZZAZIONE DI UN INVASO COLLINARE DA DESTINARE AD
USO IRRIGUO IN AGRO DI VILLAPERUCCIO



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA
ASSESSORATO DEI LAVORI PUBBLICI

COMITATO TECNICO AMMINISTRATIVO PROVINCIALE
DEI LAVORI PUBBLICI - CAGLIARI

ADUNANZA DEL 25.03.97

VOTO N. 1064

IL SEGRETARIO
(Geom. CLAUDIO SECCI)

INDAGINE

GEOGNOSTICO - TECNICA



Regione Autonoma della Sardegna
ASSESSORATO DEI LAVORI PUBBLICI
SERVIZIO DEL CANTO CIVILE - CAGLIARI

Esaminato, si esprime parere favorevole per
l'approvazione

Cagliari, li 19 MAR. 1997

IL FUNZIONARIO ADDETTO

(Ing. Alberto Piras)

VISTO IL COORDINATORE DEL SERVIZIO

(Dr. Ing. Antonio Deplano)

Cagliari li, dicembre 1994

IL GEOTECNICO

DOTT. ING. MARCO MARTIS

1.0.0. - PREMESSA

L' Impresa VACCA S.p.A. di Monserrato (CA) deve realizzare un invaso collinare da destinare ad uso irriguo in agro di Villaperuccio.

Come previsto dal capitolato, è stata commissionata una indagine geognostico tecnica sull' area destinata all' intervento.

L' indagine è stata effettuata dall' Impresa specializzata Edilgeo s.r.l. di Cagliari ed i lavori in situ si sono svolti nei mesi di ottobre-novembre 1994; nel seguito se ne illustrano l' impostazione, lo sviluppo ed i risultati acquisiti pervenendo alle conseguenti proposte operative.

2.0.0. - L' INDAGINE

Sulla base della documentazione disponibile si prevedeva l' esecuzione di sondaggi geognostici profondi sino a 30 m, in numero di 7-8, da ubicare in modo tale da consentire la ricostruzione di sezioni stratigrafiche, sia in asse diga, che parallelamente ad esso e lungo la direzione dell' alveo.

Nel corso del sopralluogo preliminare si è però rilevata la presenza di una paleo frana molto potente ed estesa per un ampio tratto nell' intorno dell' asse.

Pertanto le verifiche sono state spostate verso l' interno del bacino prevedendo anche di limitarne la profondità a vantaggio di una maggiore diffusione delle stesse entro l' area.

Già dopo i primi due sondaggi è emersa l' ulteriore circostanza della presenza di una sacca di limo argilloso molle che ha comportato l' adattamento delle ubicazioni man mano che i risultati consentivano di inquadrarne l' estensione; ciò ha portato ad un consuntivo di 16 sondaggi per complessivi 212,30 m.

In ausilio e ad integrazione dei sondaggi si sono eseguiti n° 15 pozzetti geognostici a mezzo escavatore meccanico con prelievo di campioni significativi di terreno da sottoporre a prove di laboratorio, nonché una indagine geofisica.

Il carotaggio in roccia è stato corredato dal rilevamento dell' indice di qualità della roccia R.Q.D. (Rock Quality Designation) espresso in percentuale di recupero di carote con almeno 10 cm di lunghezza.

Sui carotaggi coesivi si è invece effettuata una verifica della resistenza a rottura a mezzo P.P. (Pocket Penetrometer) che approssima i valori di σ_r (E.L.L.).

Per l' indagine geofisica si è ritenuto che il metodo della sismica cross - hole fosse il più idoneo ed a consuntivo si conferma la scelta nonostante il "disturbo" che gli ammassi di grossi blocchi hanno comportato nella definizione di dettaglio.

Sono state altresì eseguite prove di permeabilità entro i fori e schermi di iniezione in fori appositamente perforati a distruzione di nucleo.

2.1.0. - INDAGINE GEOFISICA

2.1.1. - IL METODO

La prospezione geofisica è stata condotta mediante l' impiego del metodo sismico noto come "fan shooting" (sparo a ventaglio) il quale, con tecniche di calcolo note come "tomografia sismica", consente la valutazione delle variazioni di velocità dell' onda sismica lungo il piano d' indagine.

Il procedimento prevede l' immissione di energia elastica nel sottosuolo, generalmente mediante una esplosione, e la registrazione dei tempi di percorrenza

delle onde elastiche lungo la congiungente scoppio-geofono, essendo sia gli scoppi, che i geofoni disposti da parte opposta rispetto all' area d' indagine.

In tal modo i primi arrivi sono quelli delle onde dirette e relativi a percorsi contenuti nel piano da investigare, per cui, tramite le tecniche di calcolo tomografico che consentono l' analisi dei percorsi mediante la suddivisione degli spazi in celle elementari di calcolo, è possibile conoscere la velocità di propagazione dell' onda sismica in ciascuna cella, con conseguente possibilità di valutare le eventuali variazioni lungo il percorso energizzazione-ricezione.

2.1.2. - LA TECNICA

Per la esecuzione del rilevamento sismico è stato impiegato un registratore sismografico EG&G Geometrics ES-1225 che consente la registrazione simultanea delle tracce sismiche su 12 canali.

La registrazione del sismogramma è avvenuta sia su carta termosensibile, con velocità di scorrimento programmata per la creazione di linee marca tempo ogni 20 millisecondi, che su supporto magnetico per la successiva rielaborazione ed analisi dei dati acquisiti.

Le onde elastiche necessarie per l' esecuzione dell' indagine sono state generate con l' impiego di una apposita apparecchiatura che, mediante lo scoppio di cartucce industriali del cal. 8, ne consente la generazione.

Il dispositivo "energizzazione-ricezione" (fan-shooting) è stato realizzato mediante la introduzione di una colonna di n° 6 idrofoni, interspaziati di 2 m, in successione, entro i fori di sondaggio utilizzati per la ricezione (S1, S5, S6bis, S12) e con la creazione dell' onda sismica mediante lo scoppio di 7 piccole cariche esplosive a profondità via via crescenti entro il foro di S2 (vedasi planimetria); il foro S6bis è stato perforato sino a 12 m a distruzione perchè S6 risultava franato e ricolmo di materiale.

L' operazione è stata ripetuta per ciascun "fan shooting" realizzato e, pertanto, in totale si è misurata la velocità di propagazione (V_p) delle onde elastiche longitudinali lungo 168 direzioni (raggi).

2.1.3. - INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI

I dati così acquisiti in situ hanno consentito di stabilire che le caratteristiche sismiche dei terreni presenti nell' area d' indagine si presentano alquanto variabili, con velocità di propagazione V_p dell' onda sismica compresa tra 1000 m/s ed oltre 3000 m/s.

Tali variazioni sono evidentemente dovute al differente grado di costipamento del materiale di copertura ed al differente grado di alterazione e di fratturazione del

basamento, con i valori più elevati in presenza di materiali sani e poco fratturati; per i materiali di copertura si osserva che le variazioni di V_p sono determinate anche da locali variazioni dello spessore.

Per la ricostruzione della tomografia sismica si è, in primo luogo, individuato un modello iniziale costruito sulla base delle conoscenze geologiche e dei primi risultati conseguiti mediante le basi sismiche di taratura; successivamente il modello di partenza è stato via via modificato mediante un procedimento analitico iterativo eseguito via software e con controlli incrociati sino alla migliore convergenza tra i dati teorici discendenti dal modello e quelli di campagna.

In tale procedimento i vincoli sono stati rappresentati dai differenti valori di V_p nei vari litotipi presenti e le incognite dai parametri geometrici caratteristici della distribuzione delle stesse.

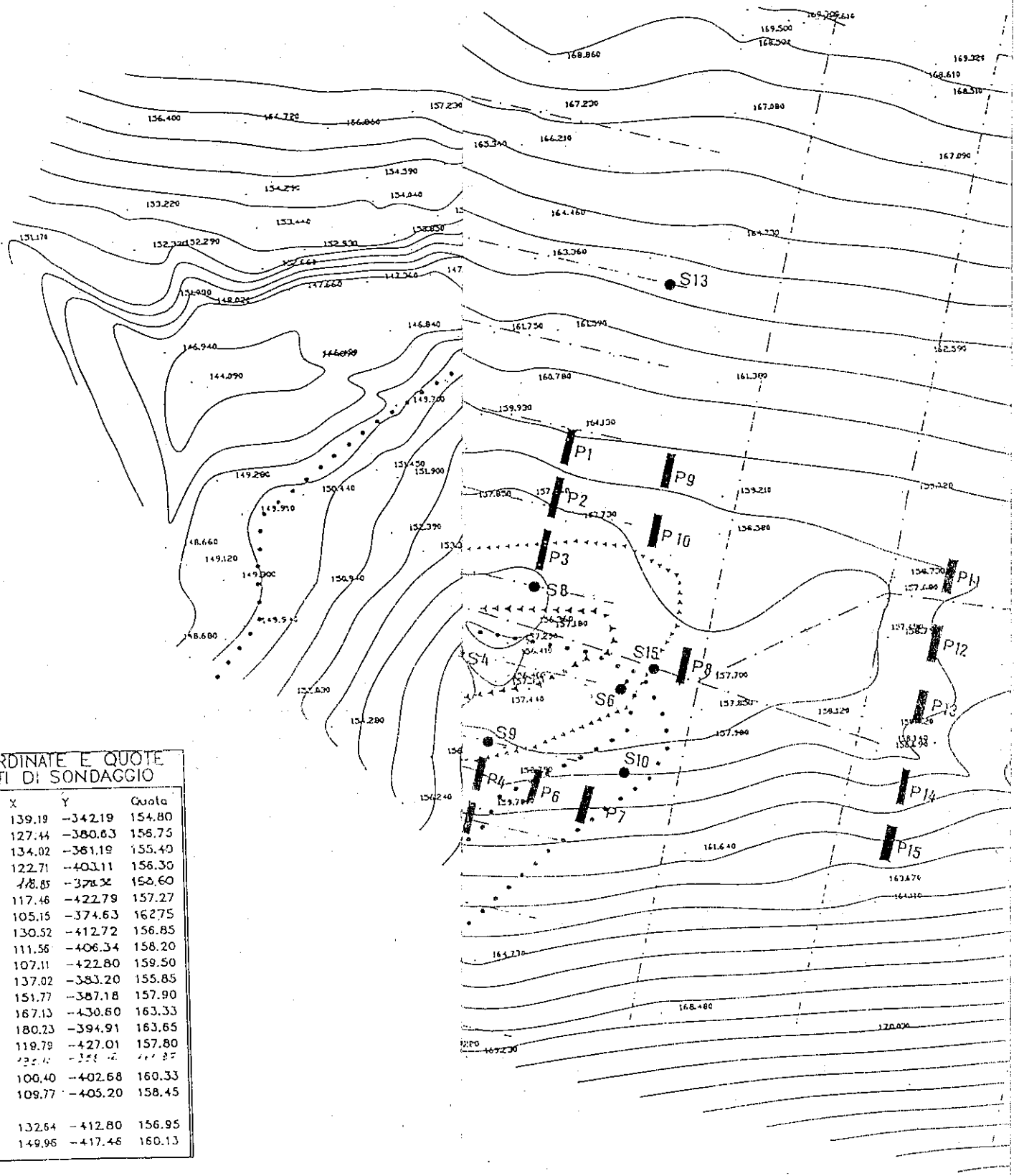
I "fan shooting" si sviluppano in due sezioni ortogonali tra loro e sono posizionati, sia lungo l'asse diga, sia ortogonalmente ad esso.

La distanza media tra i punti di scoppio e quelli di ricezione è di circa 30 m.

L'analisi dei dati acquisiti ha - come già accennato - comportato qualche difficoltà nella differenziazione sismica dei mezzi attraversati in quanto questi non si presentano omogenei, ma mostrano variazioni di V_p nell'ambito del medesimo litotipo.

Come si osserva negli allegati grafici di restituzione, nel ricostruire lo andamento delle variazioni di V_p nel mezzo attraversato, l'indagine ha evidenziato un incremento dei valori di velocità al suo interno.

Si ritiene importante sottolineare che l'indagine eseguita è atta alla individuazione delle variazioni di V_p nei mezzi attraversati, ma che i differenti valori di V_p non necessariamente derivano da differenze litologiche e/o stratigrafiche; cioè, le diverse classi di velocità individuate nella presente indagine non rappresentano limiti geologici, bensì zone omogenee per quanto riguarda la velocità di propagazione delle onde elastiche longitudinali.



COORDINATE E QUOTE
PUNTI DI SONDAGGIO

S	X	Y	Quota
1	139.19	-342.19	154.80
2	127.44	-380.63	158.75
3	134.02	-381.19	155.40
4	122.71	-403.11	156.30
5	118.85	-378.2	158.60
6	117.46	-422.79	157.27
7	105.15	-374.63	162.75
8	130.52	-412.72	156.85
9	111.56	-406.34	158.20
10	107.11	-422.80	159.50
11	137.02	-383.20	155.85
12	151.77	-387.18	157.90
13	167.13	-430.60	163.33
14	180.23	-394.91	163.65
15	119.79	-427.01	157.80
16	125.11	-351.12	161.85
A	100.40	-402.68	160.33
B	109.77	-405.20	158.45
S2			
A	132.64	-412.80	156.95
B	149.95	-417.46	160.13

DIGA

3.0.0. - SITUAZIONE STRATIGRAFICA - PROFILI GEOFISICI

Il bacino in esame è delimitato da versanti collinari entrambi costituiti da un substrato di rocce vulcanoclastiche a giacitura sub-orizzontale, lapidee, con alterazione superficiale variabile, spesso affioranti e prive di suoli di copertura.

Oltre al corpo di frana, la coltre superficiale comprende detriti eluvio-colluviali e blocchi erratici di ignimbrite provenienti dalla sommità dei rilievi circostanti, nonché episodi sedimentari di tipo alluvionale limitatamente alle zone più basse.

La potenza e l'estensione della coltre, come si vedrà, variano sensibilmente.

L'andamento dell'alveo corrisponde con buona approssimazione a quello della linea di faglia alla quale è riferibile la formazione del bacino.

Rimandando agli specifici elaborati per la descrizione di dettaglio, di seguito si richiama schematicamente la situazione stratigrafica nella zona di posa della diga utilizzando le correlazioni tra i sondaggi e pozzetti geognostici ed i profili di velocità dell'indagine geofisica.

Dall'alto verso il basso si ha:

- **a)** - Suoli argillosi bruno nerastri; limosi e con sabbia e ciottoli al centro alveo; la potenza può variare da qualche decimetro all'ordine metrico e sul lato destro e verso l'interno del bacino è spesso assente;
- **b1)** - Corpo di frana costituito da blocchi di dimensioni variabili dal decimetro ad oltre il metro lineare a debole legante arenaceo - limoso, poco addensato; il materiale ricade sul lato sinistro, mentre dal centro alveo al lato destro risulta dilavato o asportato dal rio; la potenza raggiunge la decina di metri in **S5**, ma verso **S1** ed oltre è verosimile che si superi la quindicina di metri;
- **b2)** - Corpo di frana costituito da tufi varicolori argillificati; è presente soltanto sul lato sinistro nell'intorno di **S1**, **S5**, **S7** con potenza variabile dai 4/7 m di questi ultimi a qualche metro del primo;
- **c1)** - Sabbie limose e ciottolame anche pluridecimetrico più o meno rielaborato, presenti nell'immediato intorno dell'alveo ove sottostanno ad **a)**; sovrastano la sacca di limo argilloso grigio **d)** a partire dalla zona di **S2** e, retrocedendo entro il bacino, giungono sino oltre l'intorno di **S15**; la potenza è compresa tra i circa 2 m di **S8** ed i 4-5 m di **S9** ed **S6**; sede di circolazione idrica;

- **c2)** - Sabbie e ciottolame c.s., ma sottostanti la citata sacca di limo; sono presenti per circa 2 m in **S4** e verso monte, mentre verso valle hanno spessore decimetrico e costituiscono un livello sede di circolazione idrica;

Nella zona oltre **S15** (vedasi TAV. 5) e verso l'interno del bacino cioè, più in generale, oltre il limite della sacca di limo, il livello **c1)** occupa una maggiore superficie dell'alveo ed, in facies di alluvione compatta a ciottoli di rocce eterogenee, ricopre il versante sinistro, con potenza superiore ai 5m sin verso le quote 165-/-167 m, laddove non è direttamente visibile la roccia in posto; riferendosi più propriamente all'alveo si è rilevata una ampiezza superiore ai 50 m; nei 25-30 m centrali di questa fascia la sequenza vede circa 1m di **a)**, 1,5-2,0 m di **c1)**, circa 1m di **c2)** (con prevalenza di sabbia e limo giallastro) e quindi sabbie grossolane sede di circolazione idrica nell'intorno dei 3,5-4,0 m.

- **d)** - Limo argilloso grigio-nerastro, semisaturo, molle; ove presente ha una potenza quasi costante dell'ordine dei 4 m; soltanto dall'intorno di **S15** (circa un metro di spessore) e verso l'interno del bacino la potenza risulta in diminuzione e nella zona di **P11 - P15** risulta assente; occupa una fascia che inizia nella zona di **S15**, segue l'alveo attuale per un tratto e nell'intorno di **S2** devia verso sinistra rimanendo compresa tra **S1** ed **S7** e con ciò segnalando l'andamento del paleo alveo precedente alla frana;

- **d)** - Tufi cataclastici a cemento grigio/verdastro/giallastro ed elementi di dimensioni comprese dal centimetro e l'ordine pluridecimetrico; superficialmente alterati e friabili per uno spessore variabile, passano rapidamente ad un elevato grado di durezza che ha richiesto l'uso di corona diamantata per il carotaggio;

Del livello **c1)**, durante lo scavo dei pozzetti **P4** e **P5**, sono stati prelevati i campioni n° **C1** e n° **C2** della facies ciottolosa e di quella limoso-sabbiosa, nell'ordine; sottoposti a prove di laboratorio (v. certificati allegati) hanno fornito una classificazione **A₂₋₆** ed **A₆** rispettivamente; sono state altresì verificate le relative curve di costipamento **A.A.S.H.O.**.

Nessuna delle perforazioni eseguite ha intercettato materiale brecciato di faglia, nè ha fornito ulteriori elementi per l'ubicazione dell'andamento della linea tettonica.

Se ne può quindi concludere verosimilmente che tale linea ha un andamento piano, sub-verticale e di ampiezza limitata.

3.1.0. - SEZIONI GEOLOGICHE

Per illustrare i rapporti stratigrafici tra i materiali sopra descritti si utilizzano le allegate correlazioni grafiche ottenute dall'elaborazione schematica dei sondaggi, dei pozzetti e dell'indagine geofisica.

Pur con l'implicita approssimazione del metodo, l'esame delle sezioni disponibili consente di inquadrare rapidamente la situazione del bacino.

Il profilo di TAV.1 si sviluppa lungo la direzione dell'alveo, tra i sondaggi S1 ed S15, evidenziando:

- la maggiore incisione del substrato nell'intorno di S4;
- la localizzazione dei livelli alluvionali sabbioso ciottolosi;
- l'andamento del livello di limo argilloso il cui spessore si riduce, sia verso S1 (nel medesimo verso aumenta lo spessore del corpo di frana), sia oltre S15;
- la localizzazione dei tufi argillificati varicolori.

La TAV. 1G mostra un andamento analogo per i livelli a minore velocità ed aerati, mentre la presenza di blocchi litici di dimensioni anche notevoli ha comportato un sensibile "disturbo" facendo perdere il dettaglio verso gli estremi del profilo.

La TAV. 2 rappresenta la situazione in corrispondenza del previsto asse diga evidenziando:

- il notevole spessore del corpo di frana;
- la distinzione tra i tufi argillificati e l'ammasso in blocchi
- l'ampiezza della sacca di limo argilloso e la sua dislocazione decentrata rispetto alla concavità dell'alveo a seguito dell'inserimento dei tufi argillificati in aderenza al substrato.

La TAV. 2G, di ubicazione corrispondente alla precedente, mostra un andamento del tutto simile evidenziando l'irregolarità del substrato ed una sua alterazione superficiale di spessore variabile.

La **TAV. 3** (circa 30 m a monte rispetto asse diga) evidenzia:

- l' assenza del corpo di frana;
- l' ampiezza della sacca di limo estesa a tutta la concavità, ma di spessore inferiore rispetto alla sezione di **TAV. 2**;
- l' andamento dell' alveo verso sinistra (osservabile traguardando i due allineamenti **S8 - S11** e **S4 - S2**)
- la presenza notevole delle sabbie e ciottolame alluvionali.

La **TAV. 4** (circa 15 m più a monte della sez. **TAV. 3**) evidenzia:

- l' assenza della sacca di limo;
- l' ampiezza del livello di sabbie e ciottolame alluvionale e la sua presenza prevalente sul lato sinistro.
- l' ampiezza di circa 40 m per la fascia di maggiore potenza;

La **TAV. 5** (circa 28 m più a monte della sez. **TAV. 4**) evidenzia:

- il permanere delle sabbie e ciottolame con potenza dell' ordine dei 5 m e più e con prevalente ubicazione sul lato sinistro;
- l' ampiezza di oltre 40 m per la fascia di maggiore potenza;

Le **TAV. 3AG, 3BG e 3CG** mostrano la sezione su tre piani orizzontali a quote diverse evidenziando, sia l' incisione dell' attuale alveo così come posizionatosi in conseguenza dell' evento franoso, sia l' orientamento della sacca di limo divergente verso sinistra, cioè lungo il paleo-alveo.

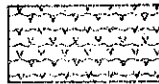
LEGENDA



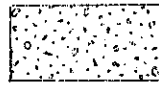
Suoli



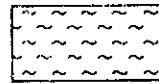
Frana prevalentemente in blocchi



Frana prevalentemente di tufi argillificati



Sabbie e ciottolame

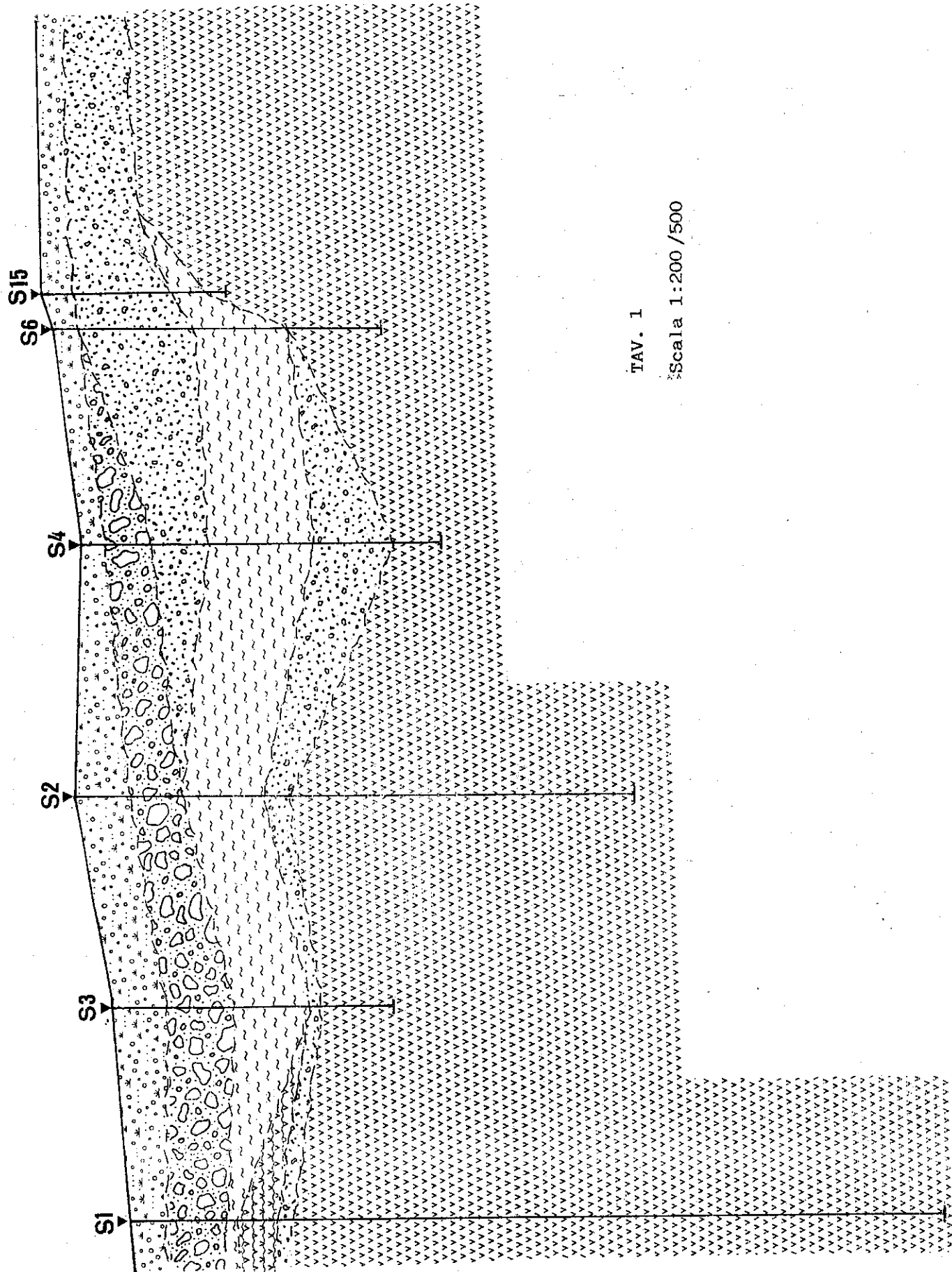


Limo argilloso grigio



Tufi cataclastici

P11/15



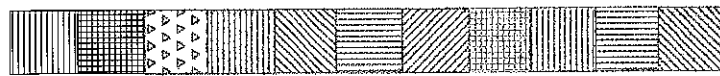
TAV. 1

Scala 1:200/500

Tomografia sismica per uno sbarramento in agro di Villaperuccio Tecnogeo - Cagliari

Tav. 16

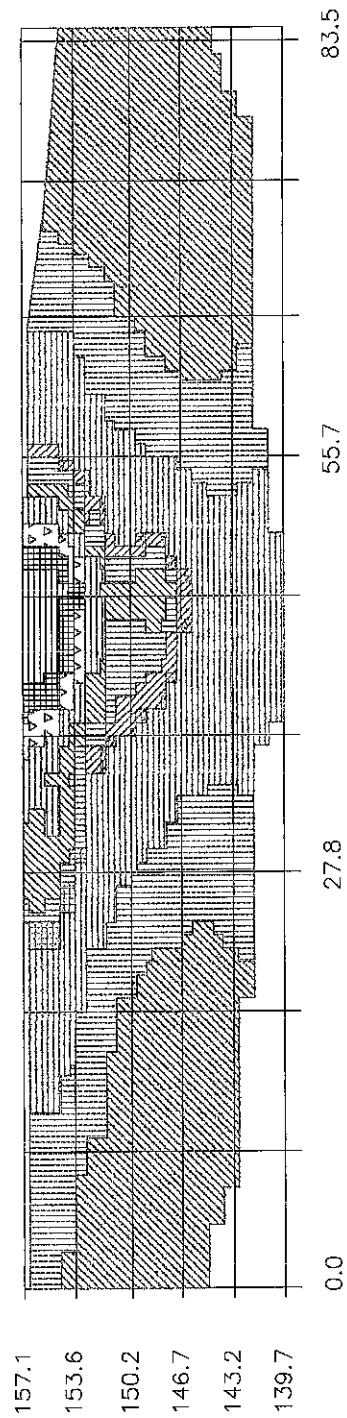
Levels:



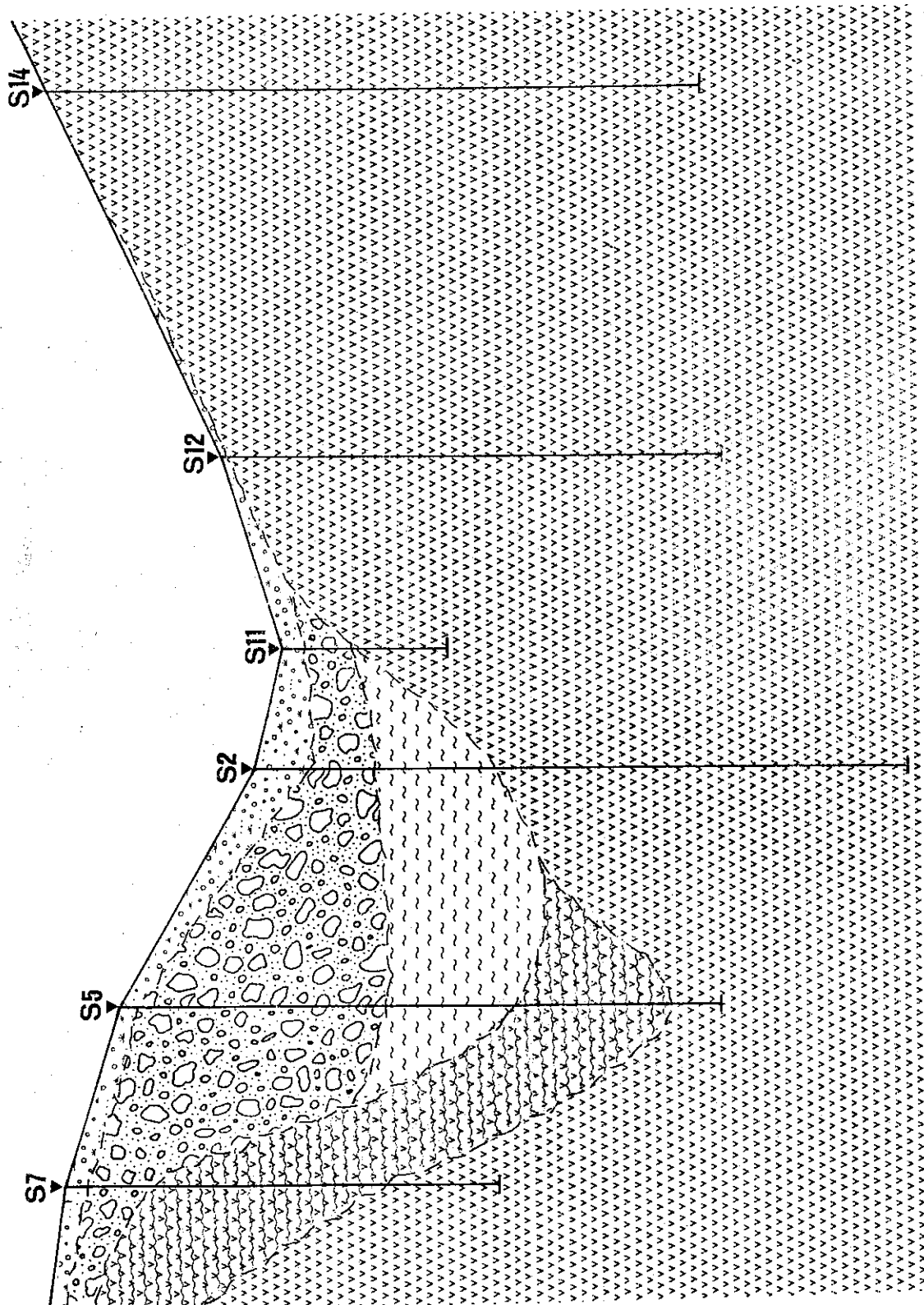
Sezione verticale S6-S1

S.1

S.6



TAV. 2 Scala 1:200 / 500

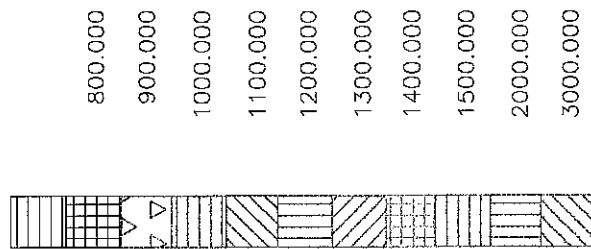


Tomografia sismica per uno sbarramento in agro di Villaperuccio Tecnogeo - Cagliari

TAV. 26

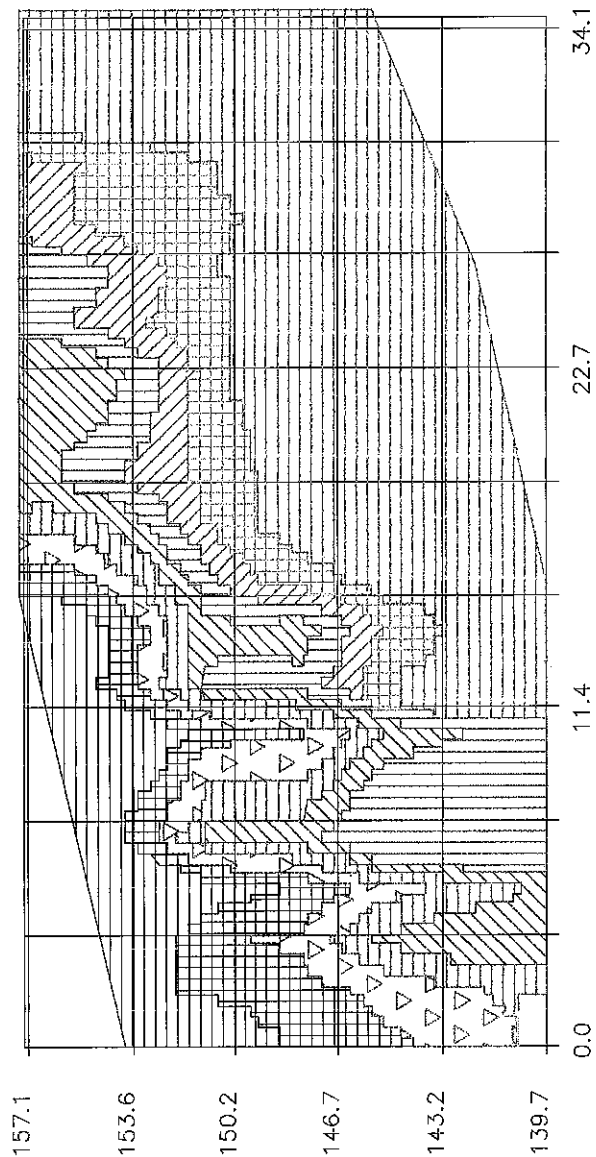
Sezione verticale S5-S12

Levels:



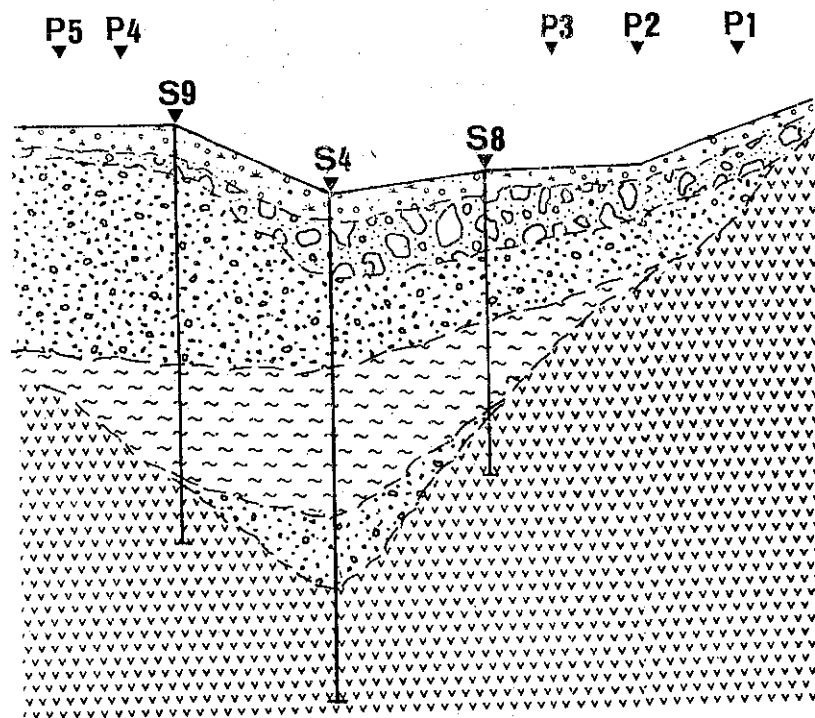
S12

S5

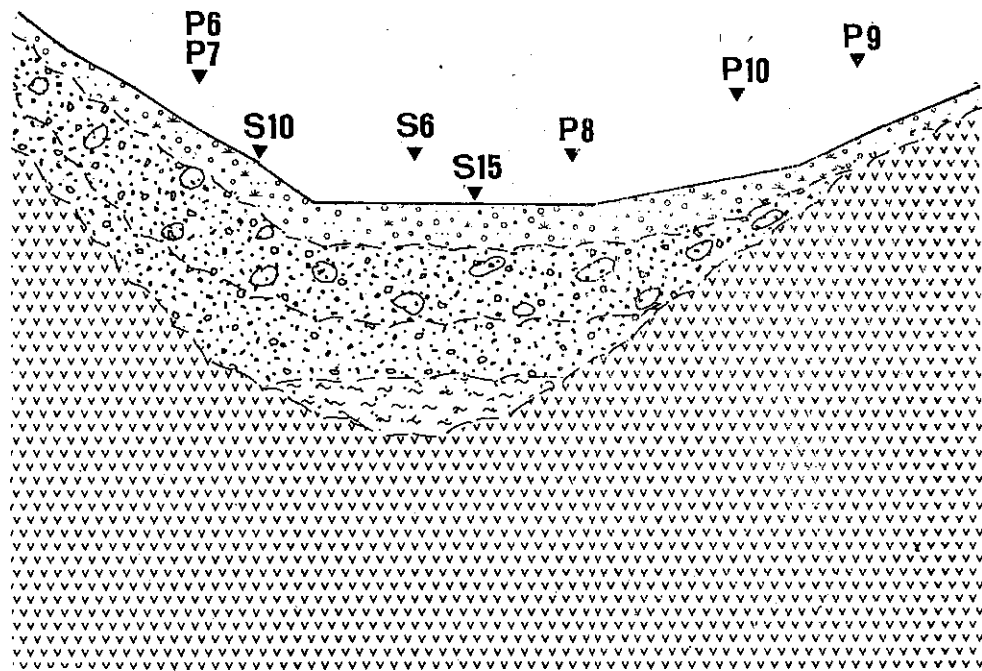


Luciano Puddu

TAV. 3 Scala 1:200/500

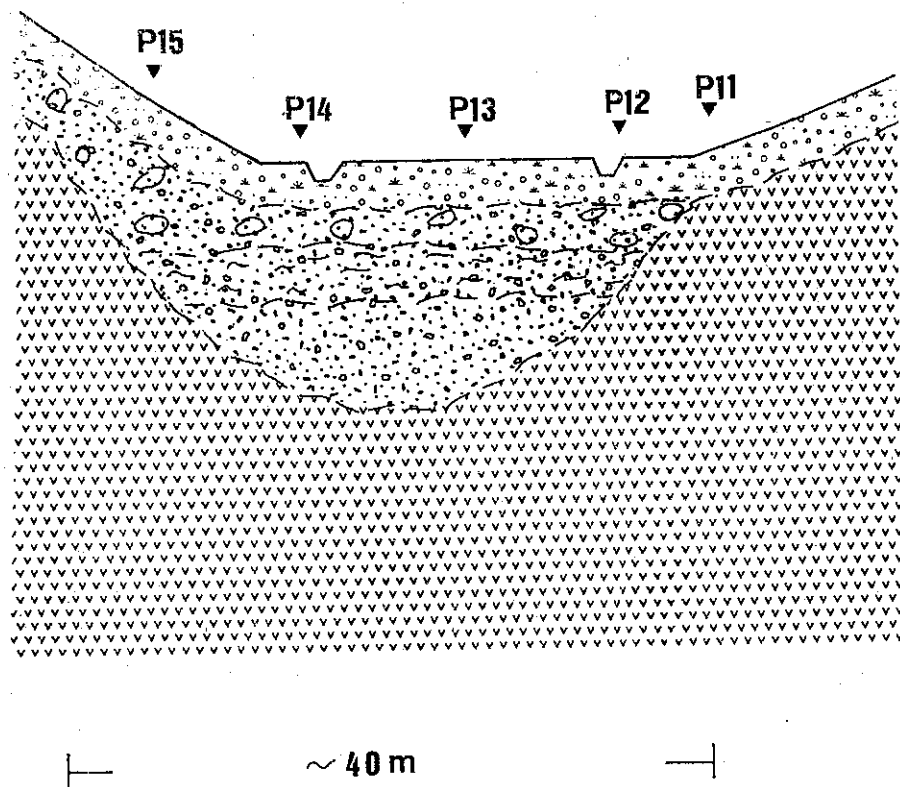


TAV. 4 Scala 1:200/500



— ~ 40 m —

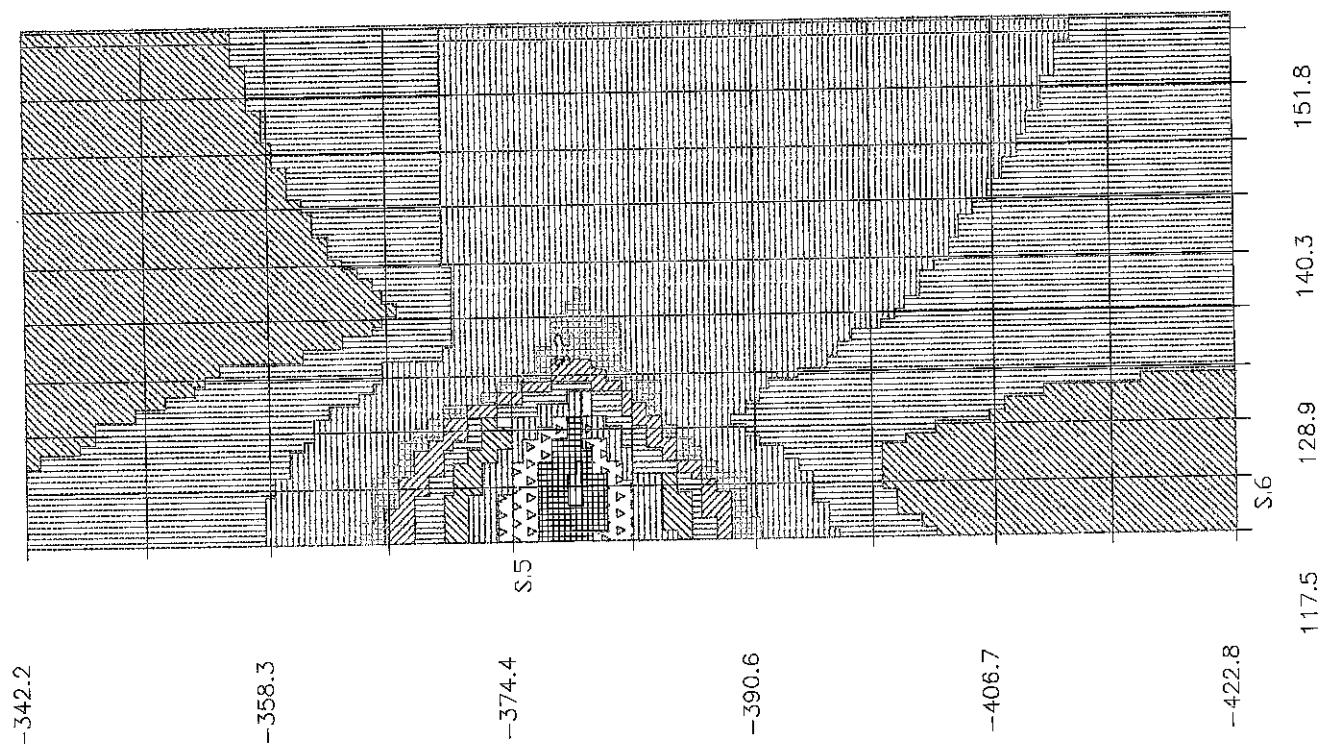
TAV. 5 Scala 1:200/500



Tomografia sismica per uno sbarramento in agro di Villaperuccio Tecnogeo - Cagliari

TAV. 3 AG

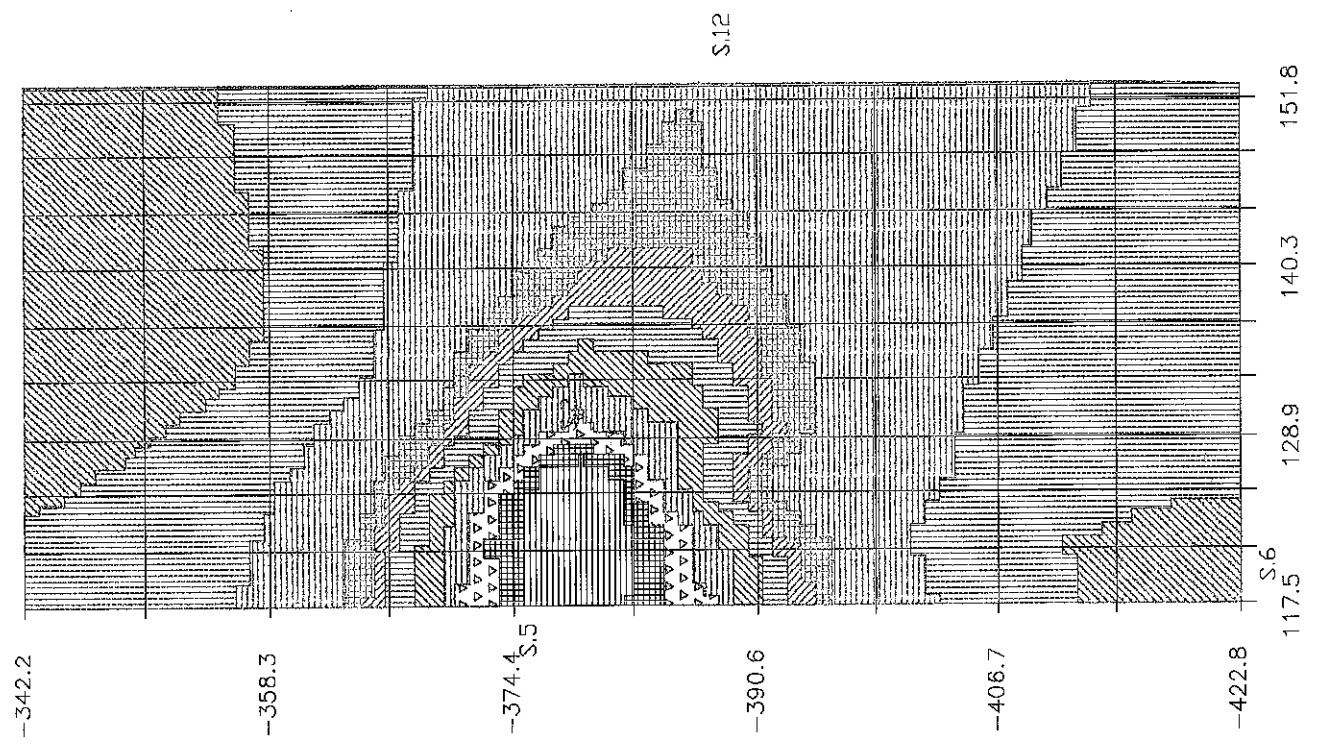
Sezione orizzontale a m 145 sim
S1



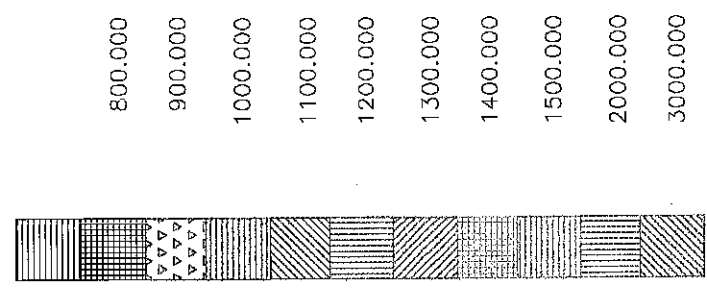
Tomografia sismica per uno sbarramento in agro di Villaperuccio Tecnogeo - Cagliari

TAV. 3 BG

Sezione orizzontale a m 152 sim
S.1



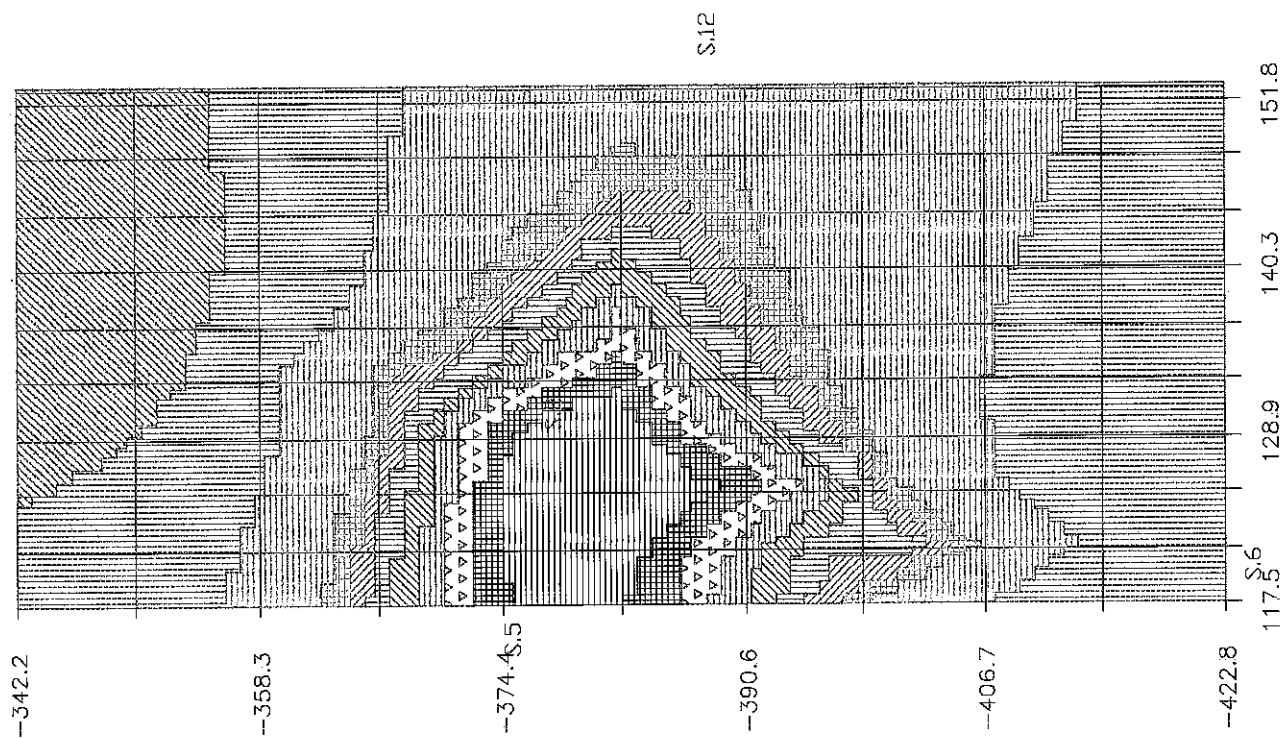
Levels:



Sezione orizzontale a m 155 slm
S1

TAV. 3 CG

Tomografia sismica per uno sbarramento in agro di Villaperuccio Tecnogeo - Cagliari



Levels:



>800.000
800.000
900.000
1000.000
1100.000
1200.000
1300.000
1400.000
1500.000
2000.000
3000.000

4.0.0. - ASPETTI IDROLOGICI E PROVE IN SITU

Nel periodo dell' esecuzione dei sondaggi e pozzetti geognostici si è osservata l' assenza di circolazione idrica superficiale; circolazione invece presente appena al di sotto della coltre superficiale a) e, soprattutto, al di sotto dei limi d) entro il livello di sabbie citate; l' intercettazione avviene nell' intorno dei 3,50 m rispetto al piano di campagna di fondo alveo;

L' esame dei carotaggi in roccia mostra un grado di ossidazione dei giunti molto variabile, ma comunque sensibilmente ridotto oltre i 20-25 m di profondità.

Questo tipo di permeabilità attraverso i giunti di fratturazione è stata sottoposta a verifica mediante le prove Lugeon il cui dettaglio è riportato negli allegati, mentre di seguito si evidenziano alcuni aspetti significativi.

Si rammenta che la unità Lugeon

$$UL = 1 \text{ litri/minuto-metro}$$

è riferita alla lunghezza del tratto provato alla pressione effettiva di 10 atm.

**** Prova in S1:**

- oltre i 25 m di profondità l' assorbimento è pressochè nullo, mentre tra 20-25 m è apprezzabile solo alle pressioni maggiori;
- il massimo assorbimento (punte dell' ordine di 70 l/min) si ha tra i 15-20 m con piena corrispondenza ai bassi valori di R.Q.D.; quello tra 15-20 m, seppure inferiore, è parimenti elevato, ma con R.Q.D. alto e quindi segnala un reticolo più diffuso e/o maggiore apertura dei giunti;
- l' assorbimento della fase di ritorno è sensibilmente inferiore, con ciò segnalando una certa lentezza di smaltimento;
- nel tratto 1-10 m si è voluto sottoporre a verifica l' ammasso franoso pur con la difficoltà di tenuta del packer in tale materiale che non ha consentito di applicare pressioni superiori a 2,5 kg/cm²; cionondimeno si osserva una notevole permeabilità dell' ammasso;
- tra 25 - 30 m $UL = 0$
20 - 30 m $UL = 0,05 - 0,06$
15 - 30 m $UL = 0,34 - 0,5$
10 - 30 m $UL = 0,14 - 0,35$

**** Prova in S2, S5 ed S7:**

- sono state effettuate prove a carico variabile che evidenziano le differenti caratteristiche del materiale di frana; infatti il materiale grossolano di S2 ed S5 ha portato al ristabilirsi della quota di falda nell' arco di un' ora o poco più,

mentre la prevalenza dei tufi argillificati di S7 ha comportato un coefficiente di permeabilità inferiore di 5-10 volte; si osserva infine che la verifica nel foro S14 (cioè in roccia analoga ad S12) fornisce valori del coefficiente di permeabilità inferiori a quelli dei materiali di S2, S5 ed S7 secondo rapporti compresi tra 1:100/-1:1000.

**** Prova in S12 pre - cementazione:**

- i valori di assorbimento sono 6-7 volte superiori a quelli di S1;
- l'assorbimento è minimo oltre i 10 m, mentre cresce notevolmente nei livelli più superficiali corrispondentemente ai bassi valori di R.Q.D.;
- l'assorbimento è maggiore nella fase di ritorno testimoniando il lavaggio del foro nella fase precedente;
- tra 10 - 15 m UL = 0,11 - 0,2
 5 - 15 m UL = 0,93 - 1,36
 1 - 15 m UL = 2,69 - 3,41

**** Prova in S12bis post - cementazione e riperforazione:**

la cementazione è stata effettuata con una miscela di cemento tipo R 325 e acqua nel rapporto A/C= 0,5, iniettata sino a rifiuto e con un massimo di 20 atm di pressione, usando un packer idraulico; oltre il foro S12bis (S12 riperforato sino a 12 m), che ha assorbito 2 qli di miscela, lo schermo di iniezione di prova comprendeva altri tre fori (12A, 12B, 12C) di pari lunghezza e circoscritti al primo secondo i vertici di un triangolo equilatero di lato 3 m; ciascuno di tali tre fori ha assorbito 1 qle di miscela;

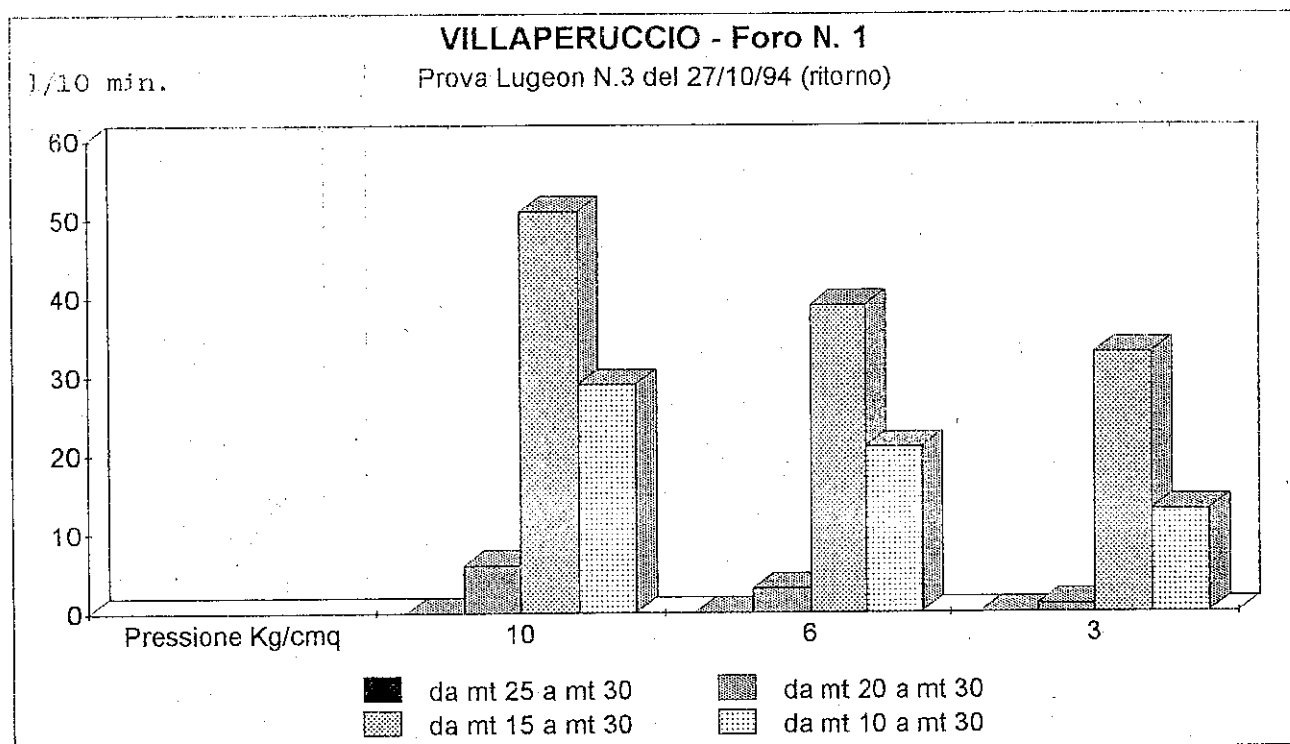
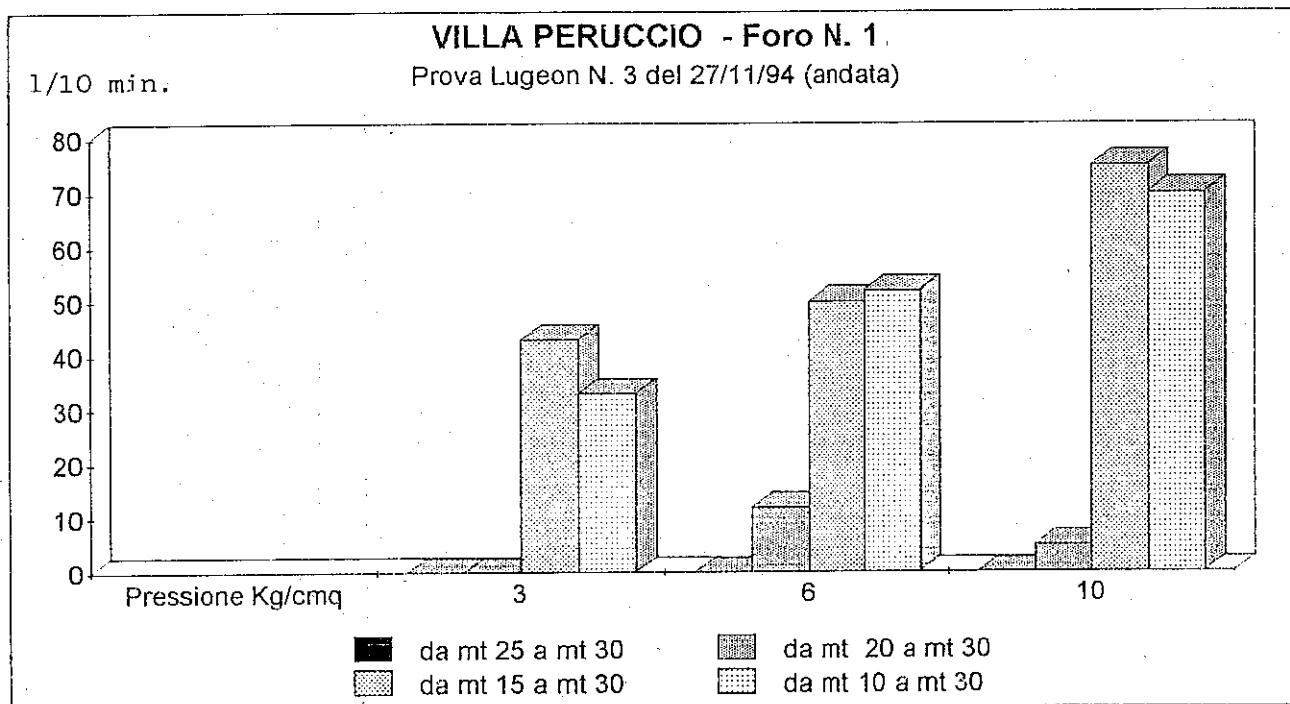
- l'assorbimento risulta ridotto di 20-25 volte rispetto alla pre-cementazione e nella fase di ritorno è nettamente superiore rispetto all' andata;
- il sensibile aumento in alcune tratte e le variazioni irregolari tra un gradino di pressione e l' altro potrebbero farsi risalire anche all' effetto del lavaggio e/o ad una scarsa penetrazione entro i giunti a limitata apertura; ciò induce a proporre una miscela più fluida ed interassi inferiori per la fase operativa;
- tra 10 - 15 m UL = 0,18 - 0,2
 " 5 - 15 m UL = 0,19 - 0,22
 " 1 - 15 m UL = 0,13 - 0,14

**** Prova in S14:**

la prova a carico variabile testimonia un basso assorbimento corrispondente agli alti valori di R.Q.D., cioè un grado di fratturazione inferiore rispetto ad S12; il coefficiente di permeabilità risente dell' effetto lavaggio dopo circa 30 minuti passando dall' ordine di 1:10 000 a quello di 1:1000 di l/min.

Dall' esame delle prove idrauliche possono derivarsi le seguenti proposte:

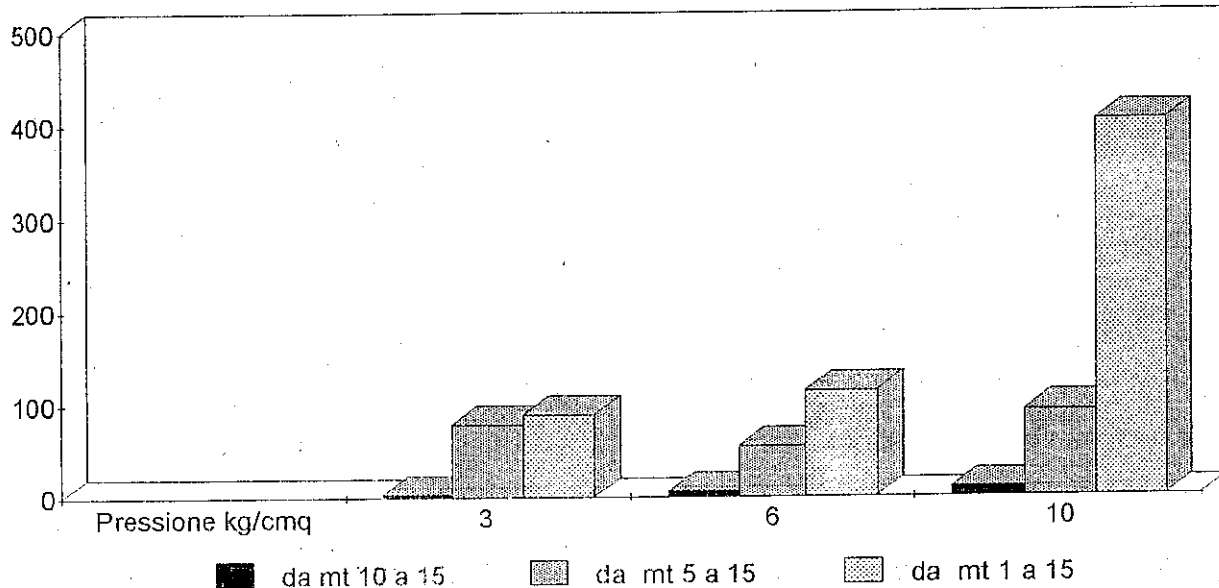
- la miscela di iniezione dovrà essere integrata da idoneo fluidificante;
- l' interasse dei fori dovrà essere inferiore a quello di prova e, a sua volta, sarà sottoposto a verifica nel corso dei lavori con particolare riferimento a centro alveo;
- al riguardo si propone una disposizione su due file distanti 0,50 m tra loro, con interassi $i = 1$ m, sfalsati; ne consegue un interasse "reale" pari a 0,71 m;
- una congrua profondità per il foro di iniezione può individuarsi nell' ordine dei 10 m in roccia, oltre l' eventuale attraversamento della coltre alluvionale;
- per la zona centrale dell' alveo e per un' ampiezza dell' ordine della decina di metri, è opportuno prevedere l' eventualità di una profondità doppia e di un interasse inferiore; ciò conseguirà ad una verifica di tenuta che potrebbe evidenziare e localizzare giunti di fratturazione con apertura e diffusione maggiori del previsto nelle adiacenze della linea di faglia che, come detto, non è stata intercettata nel corso dell' indagine in situ.



VILLAPERUCCIO - Foro N. 12

Prova Lugeon N.1 del 14/11/94 (andata)

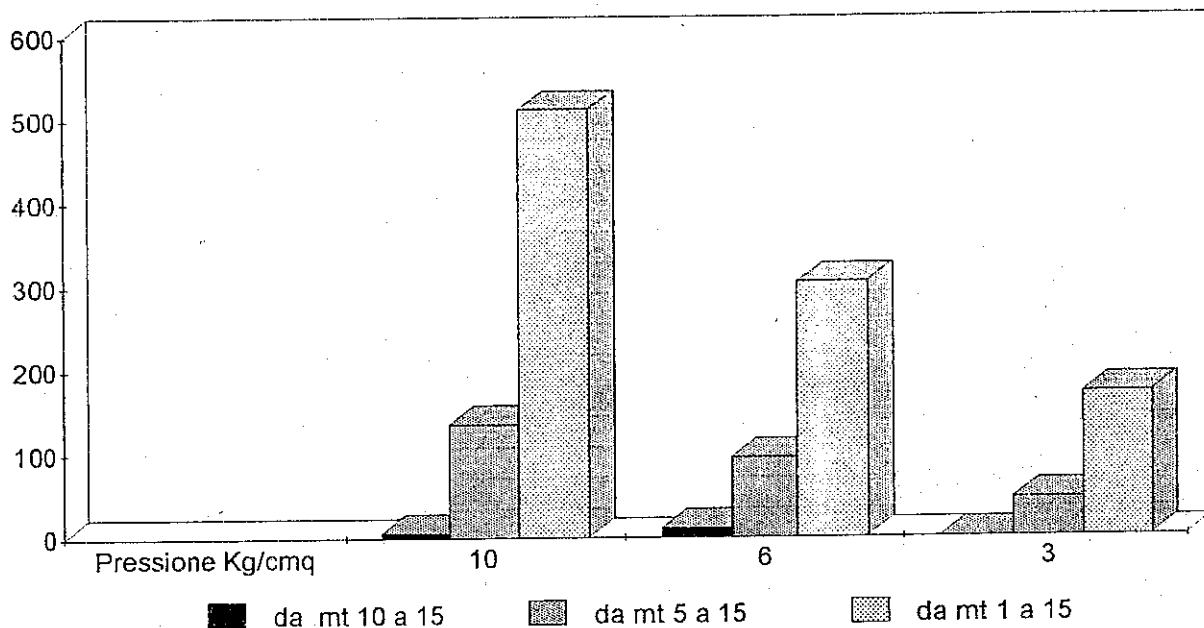
1/10 min.

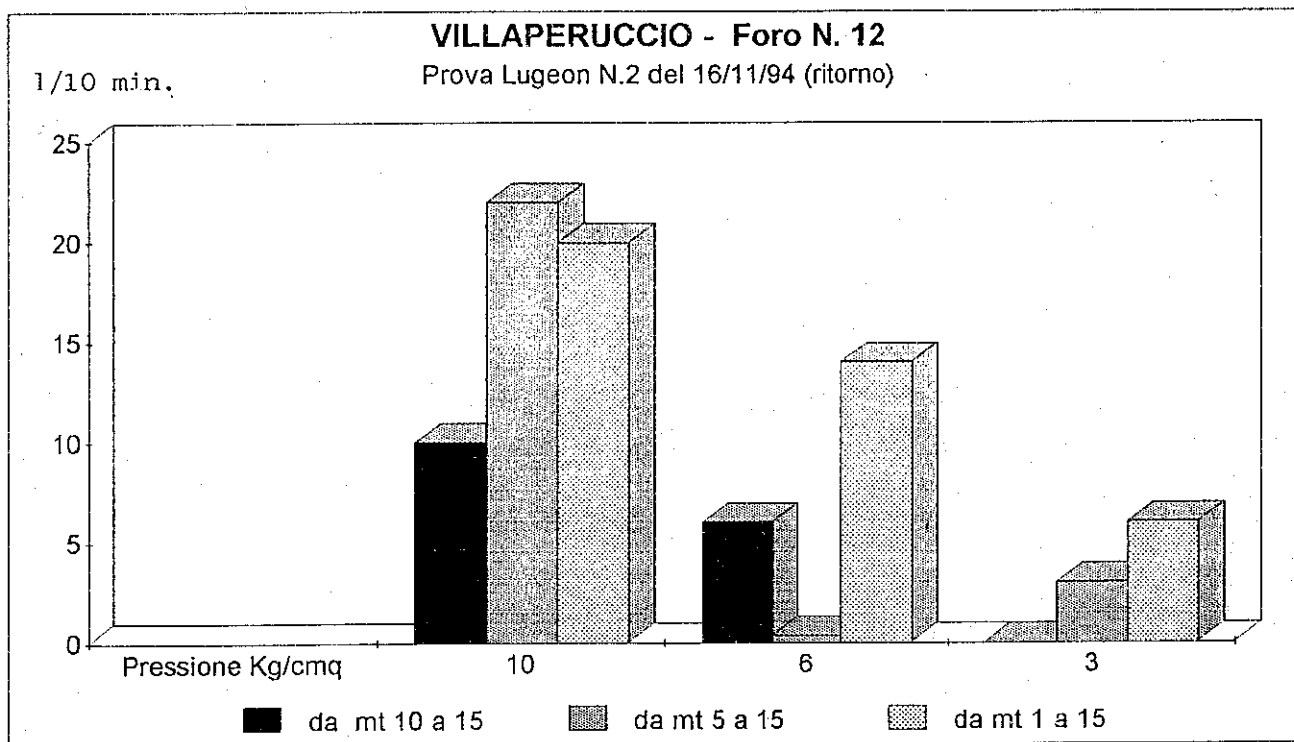
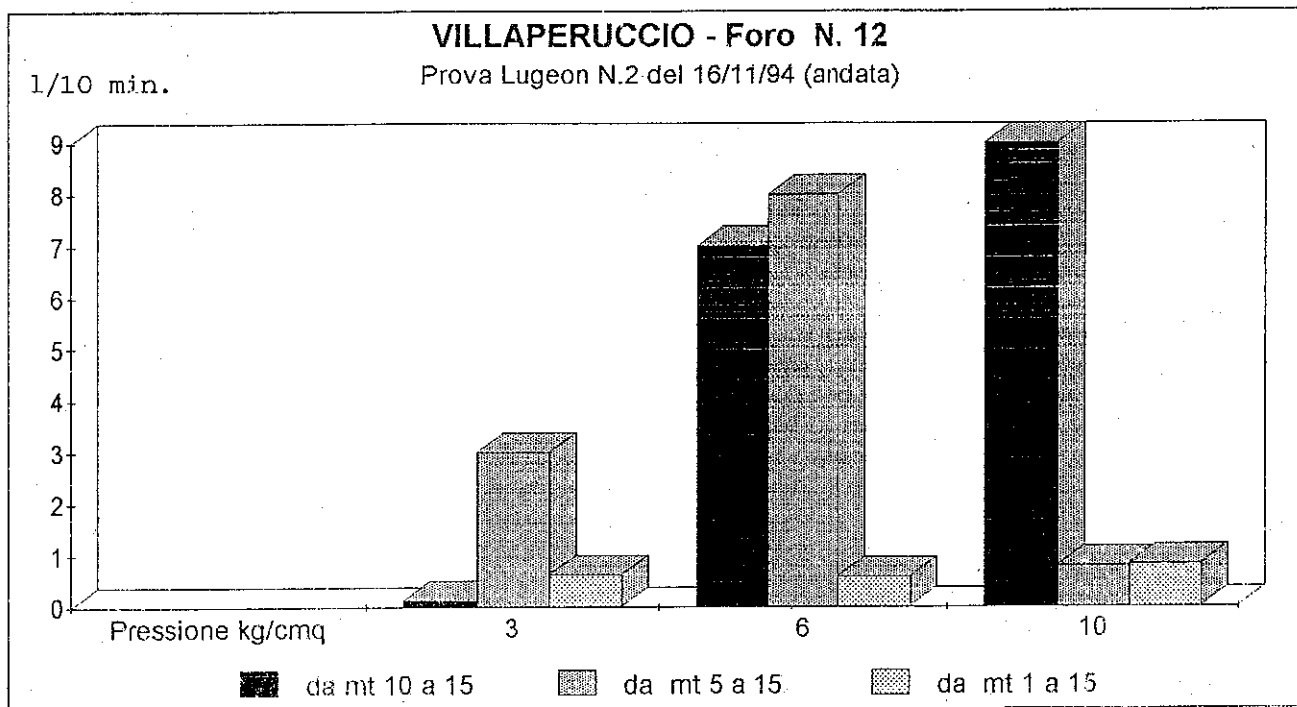


VILLAPERUCCIO - Foro N. 12

Prova Lugeon N.1 del 14/11/94 (ritorno)

1/10 min.

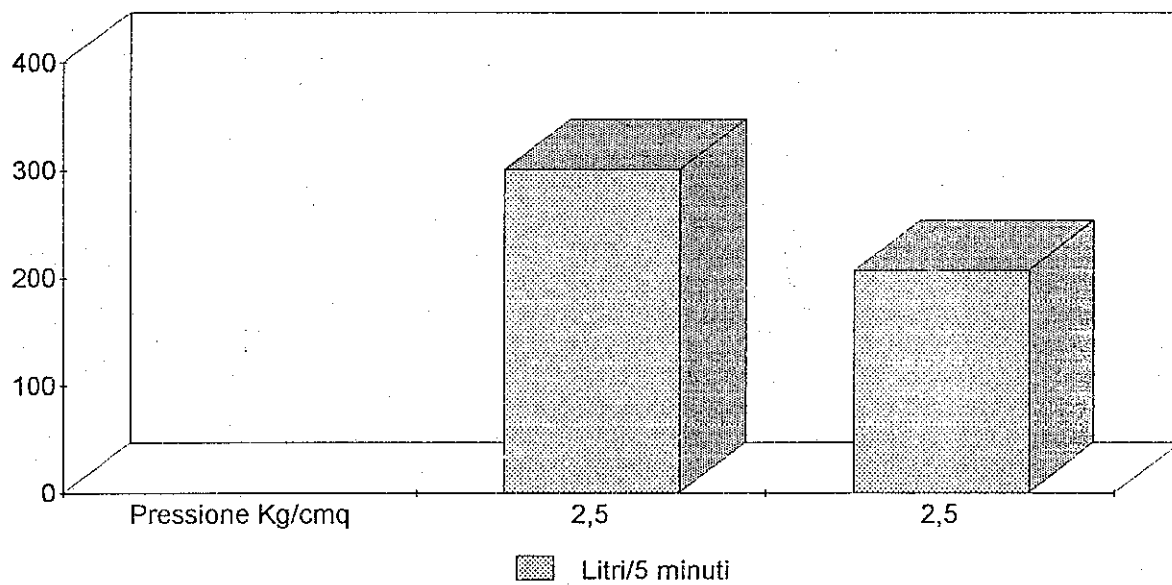




VILLAPERUCCIO Prova Lugeon

Sond. N.1 da mt 1 a mt 30,70 (andata)

1/10 min.



ASSORBIMENTO PER CADUTA FORO S2

Tempi	minuti	0,0	0,0	2	4	8	16	32	64
Quota acqua	metri	2,5	0,0	0,59	1	1,55	2,1	2,4	2,5
Abbassamento	cm/minuti			29,5	20,5	13,75	6,9	1,9	0,3
Assorbimento	litri/min			3,74	2,6	1,74	0,87	0,24	0,04
K	litri/min			0,598	0,532	0,5076	0,481	0,385	0,32

(*) 2,49

$$K = \frac{A}{C(t_1 - t_2)} \cdot \frac{h_1}{h_2} \quad \text{Coeff. di permeabilità a carico variabile}$$

$$A = 0,0127 \text{ mq per } \varnothing = 127$$

$$C = 2,85 \text{ per prova al fondo}$$

ASSORBIMENTO PER CADUTA FORO S5

Tempi	minuti	0,0	0,0	2	4	8	16	32	64
Quota acqua	metri	5,4	0,0	0,5	1	1,9	2,75	3,85	4,25
Abbassamento	cm/minuti			25	25	22,5	10,6	6,9	1,25
Assorbimento	litri/min			3,17	3,17	2,85	1,34	0,87	0,16
K	litri/min			0,216	0,239	0,254	0,154	0,149	0,041

$$K = \frac{A}{C(t_1 - t_2)} \cdot \frac{h_1}{h_2}$$

Coeff. di permeabilità a carico variabile

A = 0,0137 mq per Ø = 127
C = 2,85 per prova al fondo

ASSORBIMENTO PER CADUTA FORO S7

Tempi	0,0	0,0	2	4	8	16	32	64
Quota acqua	5,3	0,0	0,08	0,23	0,46	0,73	1,12	1,61
Abbassamento			4	7,5	5,75	6,25	2,44	1,53
Assorbimento			0,51	0,95	0,728	0,792	0,31	0,194
K			0,034	0,065	0,034	0,032	0,025	0,0174

$$K = \frac{A}{C(t_1 - t_2)} \cdot \frac{h_1}{h_2} \quad \text{Coeff. di permeabilità a carico variabile}$$

A = 0,0137 mq per Ø = 127
C = 2,85 per prova al fondo

ASSORBIMENTO PER CADUTA FORO S14

Tempi	minuti	0.0	0.0	2	4	8	16	32	64	124
Quota acqua	metri	10,6	0.0	0,005	0,01	0,02	0,03	0,045	0,18	0,595
Abbassamento	cm/minuti			0,25	0,25	0,25	0,125	0,09	0,42	0,69
Assorbimento	litri/min			0,032	0,032	0,032	0,016	0,012	0,05	0,09
K	litri/min			0,0006631	0,0006634	0,0006639	0,000332	0,0013301	0,001214	0,001904

$$K = \frac{A}{C(t_1 - t_2)} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

Coeff. di permeabilità a carico variabile

A = 0,008 mq per Ø = 101
C = 2,85 per prova al fondo

5.0.0. - CONCLUSIONI E PROPOSTE OPERATIVE

Per quanto sinora esposto, la situazione del sito risulta inquadrata in modo sufficientemente chiaro e dettagliato da consentire di effettuare le scelte progettuali più opportune, posto che il risultato dell'indagine non offre una risposta univoca, bensì alcune alternative ciascuna delle quali penalizza qualche aspetto a favore di altri.

Per semplificare l'esposizione si farà ancora riferimento alle TAV. 2, 3, 4 e 5 che riassumono le situazioni "tipo" riscontrabili nell'area indagata e sulle quali - ma non solo - devono basarsi le scelte sulla ubicazione dell'asse diga.

Tale scelta infatti, oltre che dalle condizioni di posa, dipende principalmente dalla capacità di invaso e quindi dalle quote del p.c., avendosi il vincolo di una altezza del corpo diga non superiore ai 10 m.

Prima di esaminare nel dettaglio le ubicazioni alternative è opportuno premettere alcune considerazioni di carattere generale riguardo le modalità esecutive.

Sinteticamente, escludendo la zona della frana, il corpo diga ricade su:

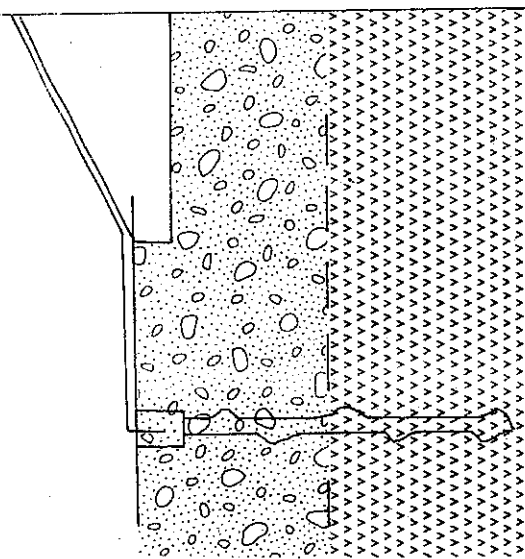
- roccia a stratificazione suborizzontale, permeabile per fratturazione in misura variabile, raggiungibile, sui versanti e finanche per un certo tratto dell'alveo, con scavi di entità ragionevole (quelli maggiori sul lato sinistro per la presenza del lembo alluvionale e, più a valle, del corpo di frana);
- sacca di limo argilloso molle intercalata con spessori variabili entro la coltre di copertura del substrato;
- coltre di copertura dell'alveo comprendente SEMPRE uno o più livelli sede di circolazione idrica, anche quando questa sia assente in superficie.

Non potendosi accettare problemi di sifonamento, quest'ultimo aspetto appare essenziale e comporta la realizzazione di un diaframma centrale (taglione) solidale con la roccia che, per le profondità in gioco e per il tipo di roccia presente, appare impegnativo se pensato come un nucleo di argilla o come un setto in c.a.; più semplice risulta, ad es., il ricorso a pali trivellati disposti allineati e con interasse inferiore al diametro.

Peraltro, tecniche di realizzazione molto recenti consentono di ovviare efficacemente al grave inconveniente.

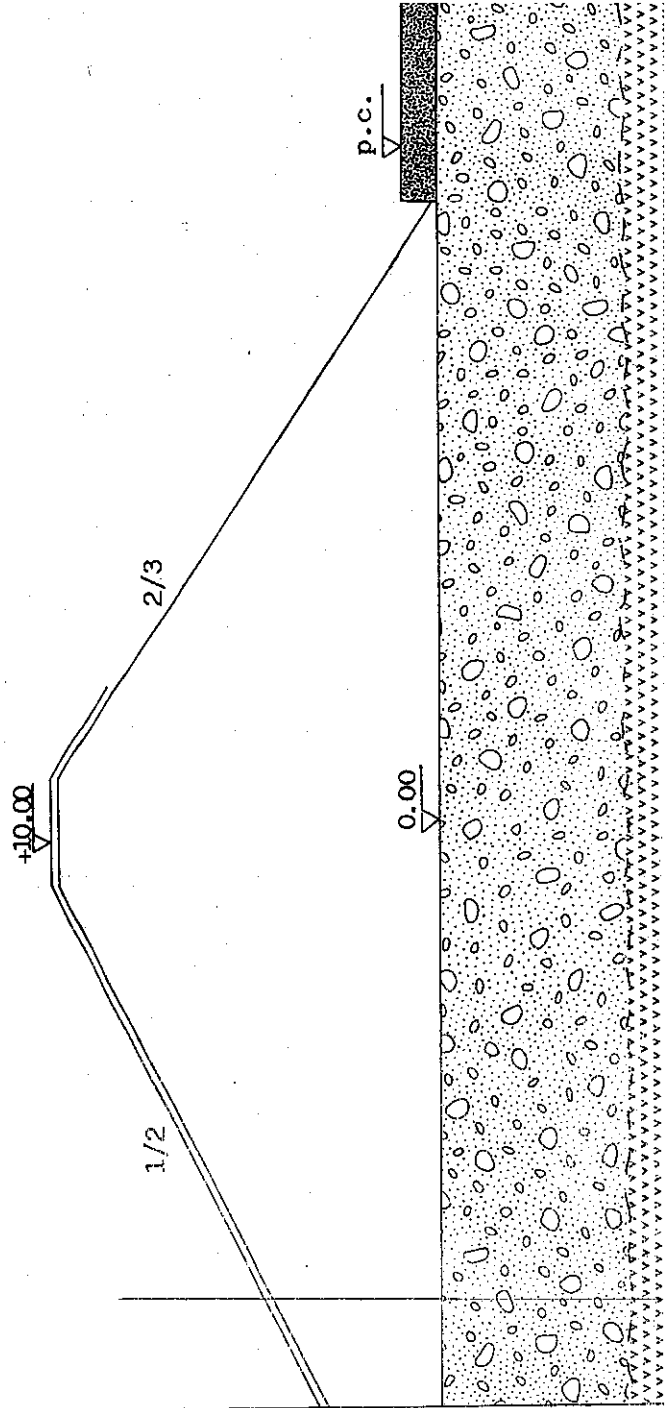
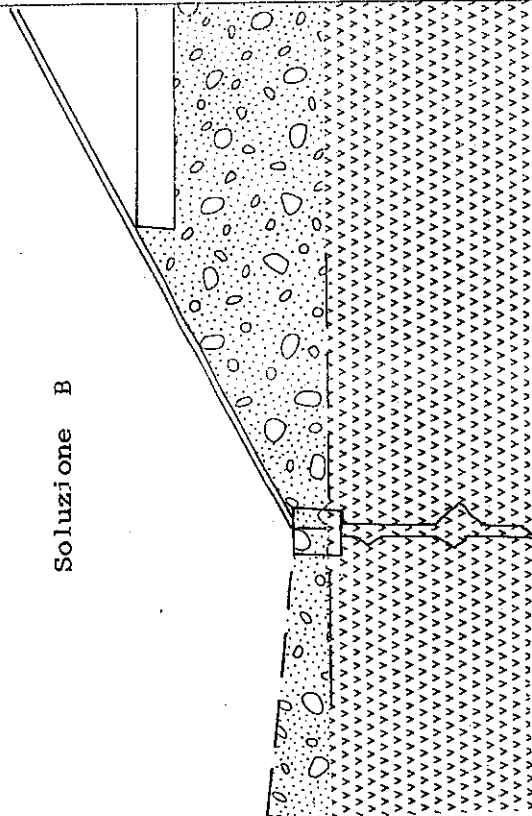
Tali tecniche sono riepilogate nello schema grafico seguente a soli fini indicativi e consistono nella posa in opera di manti impermeabili sintetici (geocompositi tipo GEODAM) che al termine del rilevato, sul lato interno del bacino, vengono incassati nella roccia (soluzione B) e/o nella coltre di copertura dell'alveo (soluzione A) mediante un cordolo in cls lungo il quale - e soltanto lungo tale

Soluzione A



SCHEMI DI SOLUZIONE SCALA 1:200

Soluzione B



perimetro - viene realizzato il diaframma di impermeabilizzazione (fori più lunghi e interasse dell' ordine del diametro nel materiale alluvionale tipo A_{2-6} visto) o di cementazione della roccia (fori più corti e ad interasse maggiore).

La soluzione è alternativa al diaframma centrale riguardo l' obiettivo di realizzare una struttura di intercettazione contro le infiltrazioni, ma ha come conseguenza una serie di vantaggi pratici che si ritengono adatti al caso in esame.

Infatti, ad es., l' onere (ed il margine di rischio implicito) della scelta, dell' approvvigionamento e del controllo del materiale del corpo diga perchè abbia certe precise caratteristiche viene totalmente meno, giacchè la funzione di tenuta idraulica è assicurata dal manto sintetico; se poi (con ulteriore riduzione dei vincoli di qualità) il materiale per la realizzazione del rilevato viene supportato dall' uso di geotessili con strati giustapposti e ripiegati "a sacco", la larghezza del corpo diga (quindi l' occupazione improduttiva del suolo) può essere sensibilmente ridotta con la conseguente riduzione del volume di materiale da approvvigionare; la posizione dell' asse diga non è vincolata dalle condizioni di posa del "taglione"; la posizione del diaframma perimetrale può essere scelta in funzione degli spessori minimi o nulli della coltre in alveo e nei fianchi; cioè anche prevedendo la totale asportazione della coltre per riutilizzarla nel corpo diga ed aumentare la capacità del bacino e, quindi limitandosi agli schermi di iniezione in roccia

In definitiva sussistono soluzioni tecniche alternative che consentono le necessarie scelte, sia di costo senza eccessivi stravolgimenti, sia, soprattutto, di ubicazione dell' asse per rispetto alla capacità finale dell' invaso e tenuto conto dell' arretramento del bacino imposto dalla presenza del corpo di frana.

Con queste premesse l' ubicazione dell' asse diga porta ad escludere totalmente la situazione di TAV.2 e del tratto tra questa e la sezione di TAV. 3.

Dall' intorno di TAV. 3 e sino al tratto compreso tra TAV. 4 e TAV. 5 si pone il problema della sacca di limo in aggiunta a quelli del sifonamento; posto che per quest' ultimo esiste la soluzione, rimane quello della portanza e del cedimento dovuti al limo argilloso le cui caratteristiche molto scadenti hanno fatto ritenere inutile una più precisa quantificazione dei parametri mediante prove di laboratorio; inutili a fronte di un carico indotto dal corpo diga che è dello stesso ordine o superiore alla resistenza a rottura del limo argilloso in esame (seppure quella E.L.L. fornita dal P.P.).

Infatti, a titolo di verifica indicativa, si consideri la sezione trapezia del corpo diga e, per analogia con una fondazione flessibile, la sua distribuzione delle tensioni sul piano di posa, con un massimo nella zona centrale e valori decrescenti verso i bordi.

La larghezza della base comporta che il bulbo delle tensioni indotte in profondità mantiene il valore iniziale (o poco meno) per tutto lo spessore della coltre e quindi anche entro lo spessore medio del limo $H = 4$ m; assunto un peso di volume del rilevato dell'ordine di 2 t/mc, per un'altezza di 10 m si hanno 20 t/mq sul piano di posa della zona centrale; posto che dai valori di P.P. può stimarsi un modulo edometrico $E_{ed} = 20$ kg/cm², si ricava il cedimento per consolidazione

$$s = \Delta q \times H / E_{ed} = 40 \text{ cm}$$

da intendere quale ordine di grandezza.

Con questo ordine di valori e per le caratteristiche reologiche del materiale, più che un cedimento di notevole entità (cioè l'abbassamento del coronamento), diventa praticamente certo e ben più temibile il rifluimento del limo verso le zone scariche secondo percorsi e tempi non prevedibili nè controllabili, cioè tali da poter determinare il dissesto della diga.

Pertanto la soluzione più semplice consisterebbe nell'arretrare il corpo diga, ma - se necessario per non penalizzare eccessivamente la capacità dell'invaso - devono valutarsi anche interventi integrativi quale, ad es., che una limitata parte di esso, sul lato valle, ricada su tale materiale; e per limitata intenesi un ordine del 30-40 % max, ovvero che l'asse e parte del lato valle siano con certezza nella zona priva di limo.

In pratica, sfruttando la capacità di rifluire del limo in esame, si può causarne l'espulsione per effetto del carico del corpo diga e accelerare il fenomeno con uno scavo di alleggerimento a valle; in tal modo i tempi del fenomeno seguirebbero quelli di esecuzione consentendo gradualità risagomature ed eventuali residui assestamenti successivi sarebbero di entità modesta e quindi tollerabili dal tipo di struttura.

I tempi di questa soluzione non sono però ben compatibili con la realizzazione "a sacco" mediante geotessili la cui posa deve avere carattere definitivo; in questa ipotesi si propone allora l'asportazione dei limi con mezzi meccanici; previa esecuzione di una rampa di accesso e di un pozzetto a monte per l'intercettazione delle acque, l'operazione può riguardare la zona di **TAV. 4** e dintorni o, in altri termini, l'ambito delle profondità sino a 5-6 m con messa a rifiuto del limo e del suolo e recupero dell'altro materiale.

Escludendo l'intervento sulla sacca di limo si rende necessario retrocedere verso la sezione di **TAV.5**.

Nella ipotesi estrema che negli ambiti proposti la capacità del bacino non risulti soddisfacente e sia quindi necessario impostare l'asse tra le sezioni di **TAV. 3**

e 4, l'ulteriore soluzione - prescindendo dall'aspetto economico - per il problema del terreno di fondazione cedevole è offerta dalle tecniche di rinforzo delle terre.

Il sistema prevede la realizzazione di una palificata corredata di capitelli o di un reticolo di cordoli di collegamento in c.a. sui quali viene disposto un idoneo geosintetico di rinforzo con adeguate rifiniture alle estremità per il contenimento stabile del materiale del rilevato; ferme restando il tipo di soluzioni viste riguardo la tenuta idraulica, ma con un notevole aumento delle quantità in gioco legate al maggiore spessore della coltre di copertura del substrato roccioso.

In conclusione, considerato quanto sopra esposto e fatte salve le valutazioni di competenza del Progettista, si ritiene che le varie e contrastanti esigenze siano meglio conciliate dalla soluzione che preveda l'ubicazione del piede del paramento di valle del corpo diga nell'intorno della sezione di TAV. 4, con l'asportazione della sacca di limo entro profondità ragionevoli, con la realizzazione del rilevato "a sacco" e con il manto sintetico di impermeabilizzazione portato sino al substrato.

Infine, deve esplicitarsi che, per il bacino così configurato, non sussistono controindicazioni legate a variazioni del contesto geo-litologico rispetto all'inquadramento generale dell'area; infatti, fermo restando il medesimo substrato di rocce vulcaniche e preso atto della presenza del compatto livello alluvionale descritto, le differenze derivano dall'assenza degli elementi negativi costituiti dal corpo di frana e dalla sacca di limo e che, viceversa, non consentono l'ubicazione dell'asse diga come inizialmente prevista.

Anche per l'aspetto geo-strutturale, come già detto per la linea di faglia, non sono emersi elementi tali da non poter essere posti sotto controllo con adeguati accorgimenti operativi.

La giacitura sub-orizzontale e la sostanziale compattezza dell'ammasso roccioso vulcanoclastico portano ad escludere fenomeni di instabilità dei versanti interessati dalle acque dell'invaso; al più ed a lungo termine, analogamente alle porzioni intercettate in centro alveo, l'imbibizione permanente causerà una alterazione ed una conseguente riduzione di consistenza degli strati superficiali per spessori decimetrici, ma con effetti molto modesti sui trasporti solidi ovvero sui tempi di interrimento.

CAGLIARI, dicembre 1994

IL GEOTECNICO

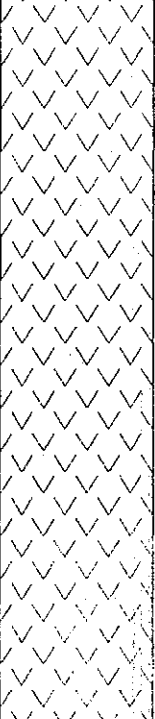
DOTT. ING. MARCO MARTIS



Cantiere: VILLAPERUCCIO	N. sondaggio: S1
Committente: Impresa VACCA S.p.A.	Scala sondaggio 1:100
Perforatore:	Geologo:
Coord.: v. planimetria	Quota (p.c.): 154.8
Metodo perf.: rotazione	Data ultimazione: 26.10.1994

profondità (m)	scala	stratigrafia	falda (m)	descrizione	rqd (%)
					20 40 60 80
1.2	1			Suolo argilloso con elementi detritici	
	2			Detrito di frana costituito da tufi più o meno argillificati beige-rosati ed elementi cataclastici.	
2.8	3		3.3	Id. c.s., bruno/verdastro	
3.5	4			Argilla bruna con blocco detritico di tufo granulare chiaro	
3.8	5			Detrito di frana costituito da tufi argillificati varicolori (beige/verde/rossiccio)	
5.4	6			Detrito c.s. di tufi cataclastici verdi	
6.0	7			Tufo in posto, grigio/verde/bruno, granulare, alterato	
7.8	8			Tufo in posto, grigio, pseudolapideo, granulare friabile	
8.0	9			Tufo in posto, lapideo, varicolore, in alternanze piroclastiche e cataclastiche, poco fratturato. Da -9.10m sino a -10.30m giunto subverticale ricementato a calcite	
	10				
	11				
	12				
	13				
	14				
	15				
	16				
	17				
	18				
	19				
	20				
	21				

Cantiere: VILLAPERUCCIO	N. sondaggio: S1
Committente: Impresa VACCA S.p.A.	Scala sondaggio 1:100
Perforatore:	Geologo:
Coord.: v.planimetria	Quota (p.c.): 154.8
Metodo perf.: rotazione	Data ultimazione: 26.10.1994

profondita' (m)	scala	stratigrafia	falda (m)	descrizione	rqd (%)
	22			Tufo in posto, lapideo, varicolore, in alternanze piroclastiche e calcaree, poco fratturato. Da -9.10m sino a -10.30m giunto subverticale ricementato a calcite	
	23				
	24				
	25				
	26				
	27				
	28				
	29				
	30				
30.7					




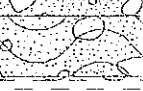
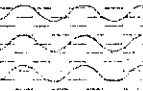
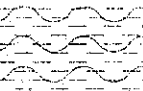
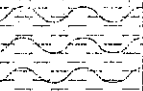


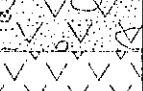

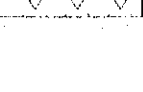

Cantiere: VILLAPERUCCIO	N. sondaggio: S2
Committente: Impresa VACCA S.p.A.	Scala sondaggio 1:100
Perforatore:	Geologo:
Coord.: v.planimetria	Quota (p.c.): 156.75
Metodo perf.: rotazione	Data ultimazione: 28.10.1994

profondità (m)	scala	stratigrafia	falda (m)	descrizione	rqd (%)
					20 40 60 80
	1			Suolo argilloso con radici	
1.9	2			Detrito di frana costituito da tufi sfatti beige/marrone	
	3		2.5		
3.8	4			Limo argilloso grigio/verdastro, uniforme, poco consistente	
	5				
	6				
6.8	7			Sabbia grossa limosa, marrone	
7.7	8			Tufo in posto, granulare, friabile, con elementi cataclastici marrone	
	9			Tufo lapideo in posto, varicolore, in alternanze piroclastiche e cataclastiche, poco fratturato	
	10				
	11				
	12				
	13				
	14				
	15				
	16				
	17				
	18				
	19				
	20				
20.6					

Cantiere: VILLAPERUCCIO	N. sondaggio: S3
Committente: Impresa VACCA S.p.A.	Scala sondaggio 1:100
Perforatore:	Geologo:
Coord.: v.planimetria	Quota (p.c.): 155.4
Metodo perf.: rotazione	Data ultimazione: 28.10.1994

profondità (m)	scala	stratigrafia	falda (m)	campioni	descrizione	rqd (%)	pocket penetrometer
						20 40 60 80	1 2 3 4
1.1	1		2.8		Suolo argilloso bruno con ghiaia		
1.8	2				Id c.s. con elementi tufacei rosa		
	3				Terriccio argilloso bruno con blocchi litici		
3.5	4				Detrito costituito da tufi argillificati, verdi, con elementi cataclastici		
4.3	5			4.5	Limo argilloso grigio/verdastro, uniforme, poco consistente		
	6			1			
	7			5			
7.3	8				Sabbia grossa limosa marrone		
	9				Tufo cataclastico in posto, lapideo, varicolore, poco fratturato		
10.4	10						

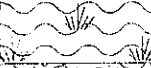






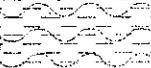
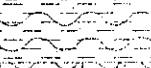
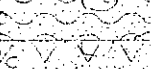

Cantiere: VILLAPERUCCIO	N. sondaggio: S4
Committente: Impresa VACCA S.p.A.	Scala sondaggio 1:100
Perforatore:	Geologo:
Coord.: v. planimetria	Quota (p.c.): 156.3
Metodo perf.: rotazione	Data ultimazione: 02.11.1994

profondità (m)	sonda	stratigrafia	falda (m)	descrizione	r _{qd} (%)	pocket penetrometer
					20 40 60 80	1 2 3 4
0.7	1		1.7	Suolo argilloso bruno		
				Detrito di frana, grossolano, sciolto		
	2					
2.4	3			Sabbia e ciottolame		
	4			Sabbia limosa con qualche ciottolo; limo grigio tra -4.0m/- 4.2m		
3.8	5			Limo argilloso grigio/verdastro, uniforme, poco consistente		
4.6	6					
	7					
	8					
8.5	9			Ciottolame a legante limoso argilloso marrone		
	10					
10.5	11			Tufo in posto, granulare, friabile, con elementi cataclastici, grigio/bruno		
11.4	12			Tufo cataclastico in posto, lapideo, vari-colore, poco fratturato		
13.3	13					

Cantiere: VILLAPERUCCIO	N. sondaggio: S5
Committente: Impresa VACCA S.p.A	Scala sondaggio 1:100
Perforatore:	Geologo:
Coord.: v. planimetria :	Quota (p.c.): 161
Metodo perf.: rotazione	Data ultimazione: 03.11.1994

profondita' (m)	scala	stratigrafia	falda (m)	descrizione	rqd (%)	pocket penetrometer
					20 40 60 80	1 2 3 4
0.5	1			Suolo argilloso bruno		
	2			Detrito di frana più o meno terroso		
	3					
	4					
4.4	5		5.4	Blocco di roccia ignimbratica (frana)		
	6					
	7					
7.6	8			Sabbia e ciottolame		
8.2				Sabbia argillosa limosa beige		
8.6	9			Limo e sabbia grigio con qualche ciottolo		
9.4	10			Limo argilloso grigio/verdastro, uniforme, poco consistente		
	11					
11.5	12			Limo più o meno sabbioso grigio		
12.4	13			Tufo piroclastico beige/orancione, argillificato.		
	14					
	15					
15.4	16			Tufo cataclastico in posto, friabile, grigio/bruno		
	17					
17.3	18			Tufo cataclastico lapideo in posto, grigio, poco fratturato		
19.0	19					




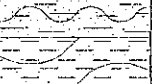
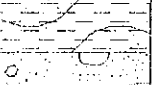
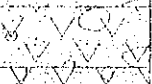

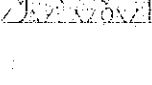
Cantiere: VILLAPERUCCIO	N. sondaggio: S6
Committente: Impresa VACCA S.p.A.	Scala sondaggio 1:100
Perforatore:	Geologo:
Coord.:	Quota (p.c.): 157.27
Metodo perf.: rotazione	Data ultimazione: 04.11.1994

profondità (m)	scala	stratigrafia	falda (m)	descrizione	r _{qd} (%)	pocket penetrometer
					20 40 60 80	
0.9	1		2.4	Suolo argilloso bruno		0
	2			Sabbie e ciottolame		
3.0	3			Sabbia limosa beige con qualche ciottolo		
	4			Limo sabbioso grigio		
5.0	5			Limo argilloso grigio		
5.5	6			Argilla sabbiosa marrone con ghiaia		.5
8.0	8			Tufo cataclastico in posto, lapideo, poco fratturato		
8.6	9					
	10					
	11					
12.0	12					

Contiere: VILLAPERUCCIO	N. sondaggio: S7
Committente: Impresa VACCA S.p.A.	Scala sondaggio 1:100
Perforatore:	Geologo:
Coord.:	Quota (p.c.): 161
Metodo perf.: ROTAZIONE	Data ultimazione: 04.11.1994

profondità (m)	scala	stratigrafia	falda (m)	descrizione	residuo (%)
					20 40 60 80
0.7	1			Suolo argilloso bruno	
				Argilla marrone con ghiaia	
1.7	2				
2.1				Blocco di roccia ignimbratica (frana)	
2.6	3			Argilla marrone c.s.	
	4			Tuffi piroclastici, varicolori, argillificati, rimaneggiati, ad inclusi blocchi ignimbratici (frana)	
	5				
	6				
	7				
	8				
8.5	9		8.2	Tufo piroclastico arancione, argillificato, compatto (frana)	
	10				
10.2	11			Tufo cataclastico in posto, grigio verdastro, friabile.	
	12				
12.0					
	13			Tufo c.s., più cementato, duro.	
13.8					


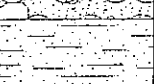

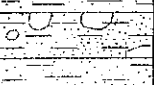
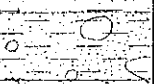
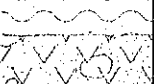
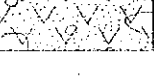
Cantiere: VILLAPERUCCIO	N. sondaggio: S8
Committente: Impresa VACCA S.p.A.	Scala sondaggio 1:100
Perforatore:	Geologo:
Coord.:	Quota (p.c.): 156.85
Metodo perf.: rotazione	Data ultimazione: 07.11.1994

profondità' (m)	scala	stratigrafia	felda (m)	descrizione	r _{qd} (%)			
					20	40	60	80
0.5	1		1.7	Suolo argilloso con qualche ciottolo				
				Detrito tufaceo di frana frammisto a ciottolite sabbia				
2.0	2			Sabbia beige/giallastra, limoso-argilloso, addensata.				
3.2	3			Sabbia c.s., più argillosa e meno addensata, umida.				
3.8	4			Limo argilloso/sabbioso grigio/beige, molle.				
5.1	5			Sabbia e ciottolame				
5.6	6			Tufo cataclastico in posto, grigio/bruno, friabile				
6.4	7			Tufo c.s., lapideo, fratturato.				
8.0	8							


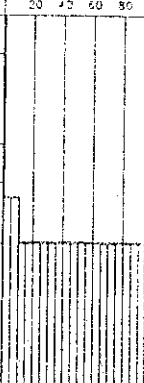




Cantiere: VILLAPERUCCIO	N. sondaggio: S9
Committente: Impresa VACCA S.p.A.	Scala sondaggio 1:75
Perforatore:	Geologo:
Coord.:	Quota (p.c.): 158.2
Metodo perf.: rotazione	Data ultimazione: 08.11.1994

profondità (m)	scala	stratigrafia	falso (m)	descrizione	rqd (%)
					20 40 60 80
0.8	1			Suolo argilloso- sabbioso con radici	
1.2				Sabbia limosa con ghiaia	
	2			Ciottolame a legante argilloso sabbioso, compatta	
	3		2.8		
3.3				Sabbia argillosa giallastra con più o meno ciottoli	
	4				
5.4				Limo argilloso grigio, molle	
5.9	6			Intercalazione sabbiosa con ciottoli.	
6.4				Limo grigio c.s. passante a beige e con sabbia verso il fondo.	
	7				
	8				
9.0	9			Limo c.s., grigio/beige.	
9.3				Intercalazione di sabbia grossa beige	
9.8	10			Tufo cataclastico in posto, grigio, friabile.	
				Tufo c.s., lapideo	
11.0	11				

Cantiere: VILLAPERUCCIO	N. sondaggio: S10
Committente: Impresa VACCA S.p.A.	Scala sondaggio 1:100
Perforatore:	Geologo:
Coord.:	Quota (p.c.): 159.5
Metodo perf.: rotazione	Data ultimazione: 09.11.1994

profondità (m)	scala	stratigrafia	falda (m)	descrizione	rqd (%)
					20 40 60 80
1.3	1		3.2	Sabbia e ciottolame a legante argilloso	
	2			Sabbia limoso argillosa giallastra	
	3				
3.4	4			Sabbia c.s. con blocchi decimetrici	
4.0				Sabbia c.s.	
4.5	5			Sabbia c.s. con ciottoli	
5.4					
5.9	6			Argilla sabbiosa giallastra, compatta.	
				Tufo cataclastico in posto, superiormente friabile, lapideo verso il basso.	
7.2	7				

Cantiere: VILLAPERUCCIO	N. sondaggio: S11
Committente: Impresa VACCA S.p.A.	Scala sondaggio 1:100
Perforatore:	Geologo:
Coord.:	Quota (p.c.): 155.85
Metodo perf.: rotazione	Data ultimazione: 08.11.1994

profondità (m)	scala	stratigrafia	falda (m)	descrizione	rqd (%)
0.5	1		1.8	Suolo limoso	
				Sabbia e ciottolame sciolto	
1.7	2				
2.2	3			Id c.s. con frammenti tufacei	
3.0	4			Tufo cataclastico in posto friabile	
5.0	5			Tufo c.s., lapideo con livelletti friabili	



Cantiere: VILLAPERUCCIO	N. sondaggio: S12
Committente: Impresa VACCA S.p.A.	Scala sondaggio 1:100
Perforatore:	Geologo:
Coord.:	Quota (p.c.): 157.9
Metodo perf.: rotazione	Data ultimazione: 09.11.1994

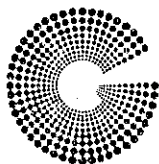
profondita' (m)	scala	stratigrafia	falda (m)	descrizione	rqd (%)
0.1				Tufo cataclastico in posto, grigio, friabile, alterato	
	1			Tufo c.s., a pasta granulare, duro, con diffuse fratture molto inclinate	
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
8.5	9			Tufo c.s., a pasta fine, durissimo, beige chiaro.	
	10				
	11		11.2		
11.5	12			Tufo grigio c.s., a pasta più fine, molto duro	
	13				
	14				
	15				
15.7					

Cantiere: VILLAPERUCCIO	N. sondaggio: S13
Committente: Impresa VACCA S.p.A.	Scala sondaggio 1:100
Perforatore:	Geologo:
Coord.:	Quota (p.c.): 163.33
Metodo perf.: rotazione	Data ultimazione: 09.11.1994

profondita' (m)	scala	stratigrafia	falda (m)	descrizione	rqd (%)	
0.8	1		8.1	Suolo sabbioso argilloso con ghiaia		
1.8	2			Tufo cataclastico in posto, grigio, friabile, alterato		
2.7	3			Tufo grigio c.s., lapideo.		
	4			Tufo c.s., durissimo, con intercalazioni decimetriche friabili		
	5					
	6					
	7					
	8					
	9					
10.4	10					

Cantiere: VILLAPERUCCIO	N. sondaggio: s14
Committente: Impresa VACCA S.p.A.	Scala sondaggio 1:100
Perforatore:	Geologo:
Coord.:	Quota (p.c.): 163.65
Metodo perf.: rotazione	Data ultimazione: 10.11.1994

profondità (m)	scala	stratigrafia	falda (m)	descrizione	mqd (m)
0.4	1		10.6	Suolo argilloso	
				Tufo cataclastico in posto, grigio, friabile, alterato	
1.5	2			Tufo c.s., duro, fratture inclinate a 45	
3.2	3				
	4			Tufo cc.s., durissimo, con qualche intercalazione decimetrica friabile; tra 11-16 m giunti ossidati e fratture incrociate.	
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				
	11				
	12				
	13				
	14				
	15				
	16				
	17				
18.5	18				



GEOSYSTEM

del Dott. Geol. G.B. Demontis

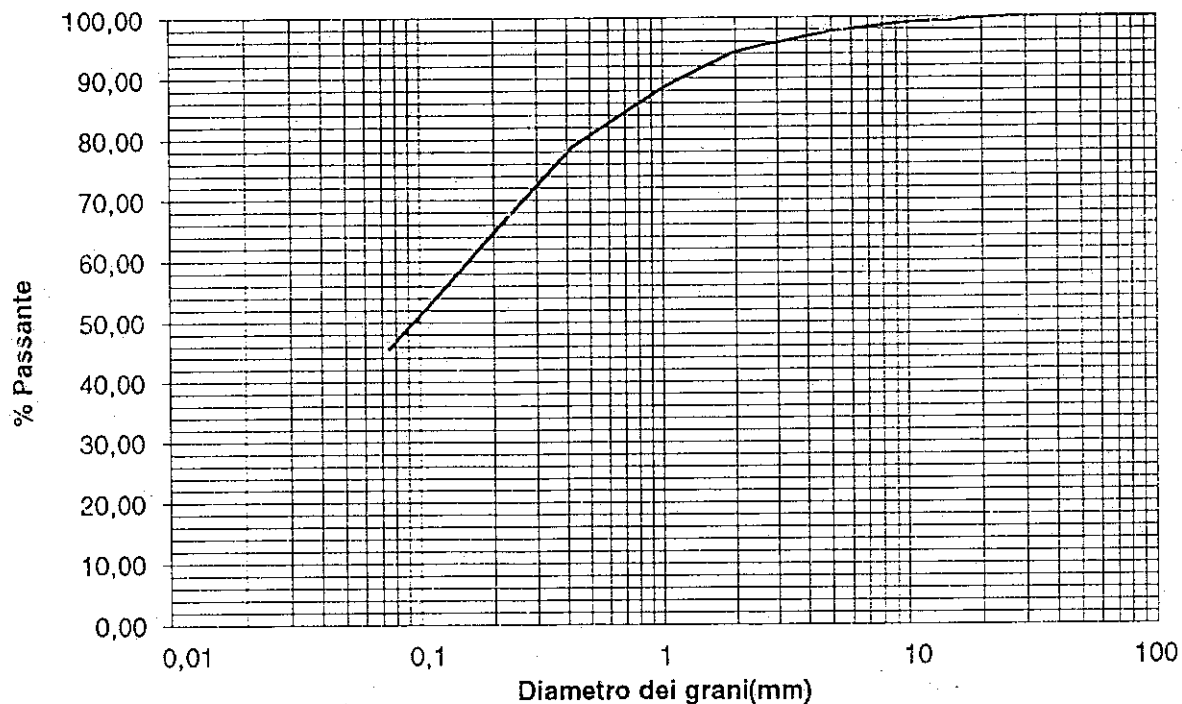
LABORATORIO PROVE MATERIALI
09044 QUARTUCCIU (CA)
SS 125 KM 9,850 - TEL.070/852509

14 NOV. 1994

COMMITTENTE	Imp. Edilgeo s.r.l.	CAMPIONE	C2/P5
CANTIERE	Villaperuccio		

ANALISI GRANULOMETRICA

SETACCI (mm)	PASSANTE %	LIM.LIQUIDO	33%
100	100,00	LIM.PLASTICO	14%
75	100,00	IND.PLASTICO	19
60	100,00	IND.GRUPPO	5
40	100,00	CLASS.UNI-CNR	A6
25	100,00	UMIDITA'	10,67%
15	99,38		
10	99,11		
5	97,68		
2	94,32		
1	38,43		
0,42	78,69		
0,18	52,67		
0,075	45,47		

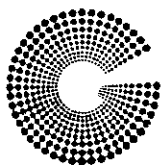


IL TECNICO

[Signature]

IL DIRETTORE

[Signature]



GEOSYSTEM
del Dott. Geol. G.B. Demontis

14 NOV. 1994

LABORATORIO PROVE MATERIALI
09044 QUARTUCCIU (CA)
SS 125 KM 9.850 - TEL. 070 852509

COMMITTENTE	Imp. Edilgeo s.r.l.	SONDAGGIO	
CANTIERE	Villaperuccio	CAMPIONE	C2/P5
LOCALITA'		PROFONDITA'	

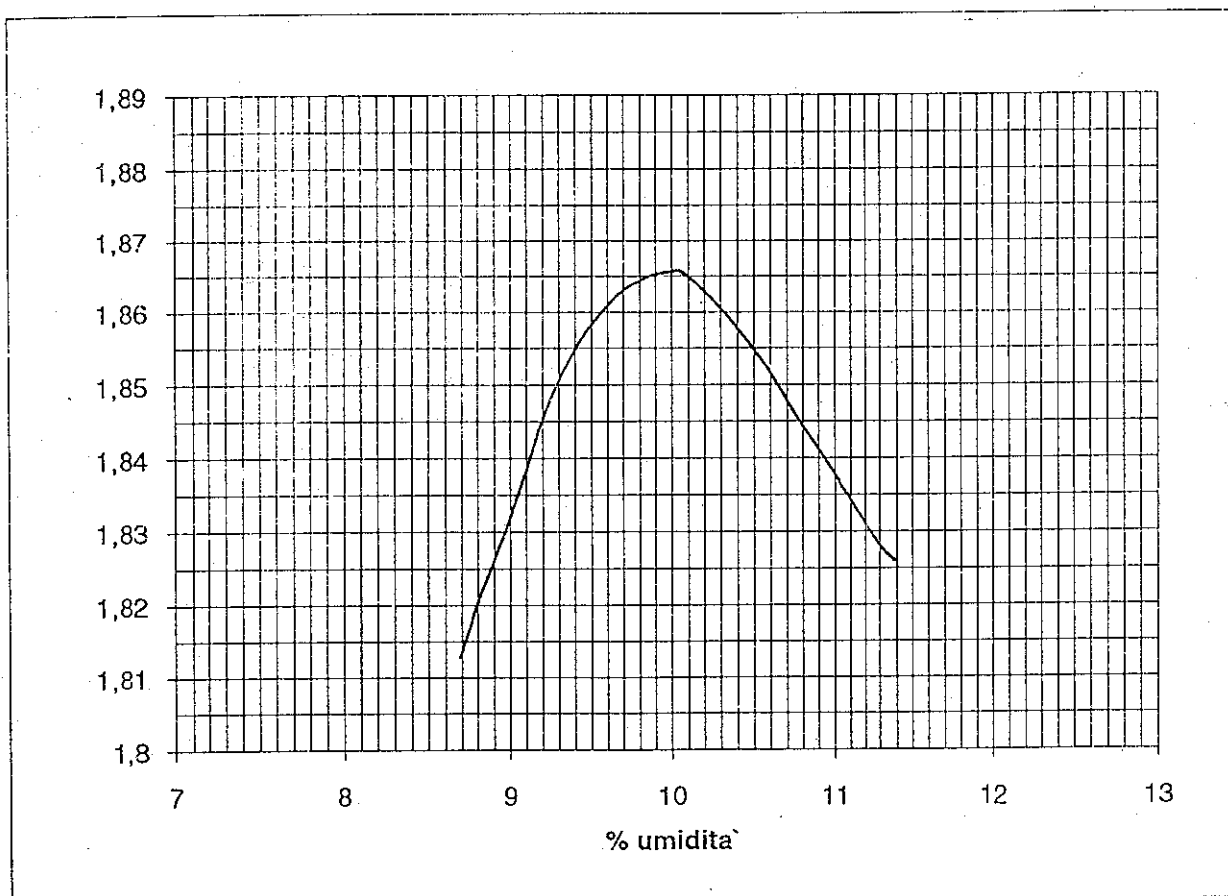
PROVA DI COSTIPAMENTO AASHO

DENSITA' MASSIMA

.....1,866..... g/cmc

UMIDITA' OTTIMA

.....10,00..... %



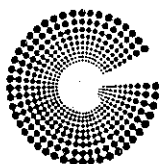
Il tecnico

A. C. M.

Il direttore

Ing. M. B. A. Mengoni

000007



GEOSYSTEM

del Dott. Geol. G.B. Demontis

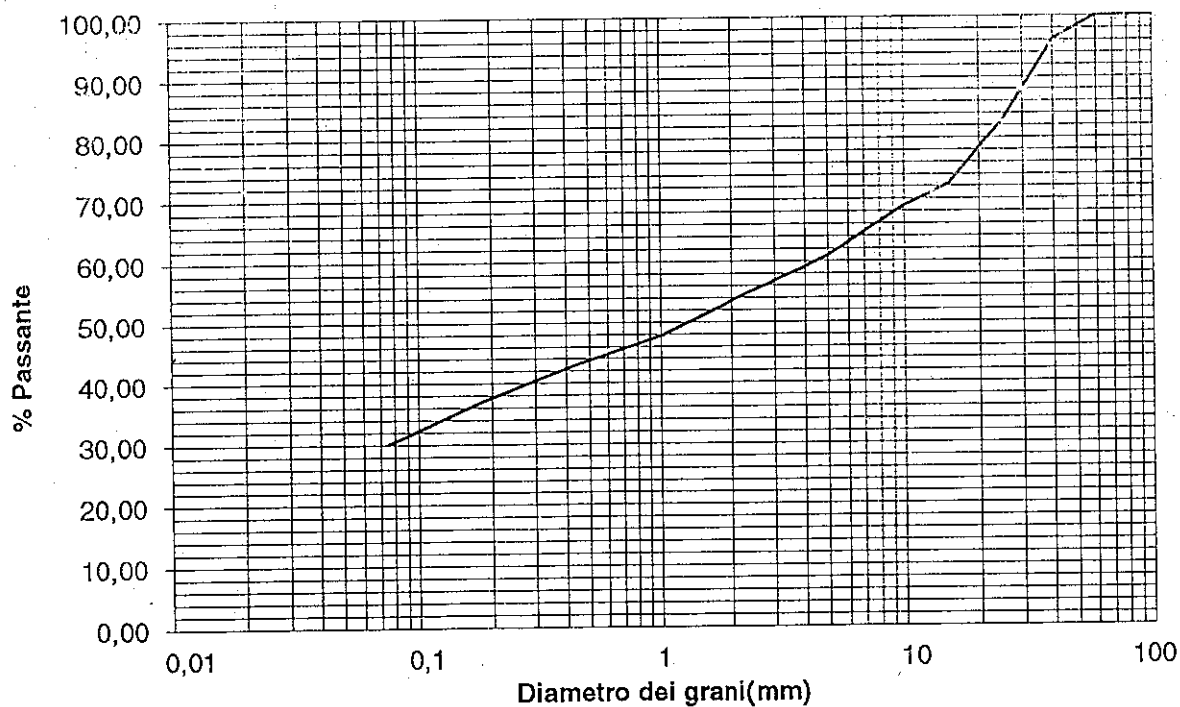
LABORATORIO PROVE MATERIALI
09044 QUARTUCCIU (CA)
SS 125 KM 9,850 - TEL.070 852509

14 NOV. 1994

COMMITTENTE	Imp. Edilgeo s.r.l.	CAMPIONE	C1/P4
CANTIERE	Villaperuccio		

ANALISI GRANULOMETRICA

SETACCI (mm)	PASSANTE %	LIM.LIQUIDO	38%
100	100,00	LIM.PLASTICO	16%
71	100,00	IND.PLASTICO	22
60	100,00	IND.GRUPPO	2
40	96,16	CLASS.UNI-CNR	A2-6
25	82,78	UMIDITA'	8,98%
15	72,36		
10	68,91		
5	60,85		
2	53,45		
1	47,65		
0,42	42,67		
0,18	36,83		
0,075	29,97		

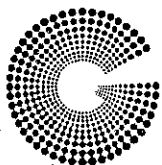


IL TECNICO

[Signature]

IL DIRETTORE

[Signature] G. Montedore



GEOSYSTEM

del Dott. Geol. G.B. Demontis

14 NOV. 1994

LABORATORIO PROVE MATERIALI
09044 QUARTUCCIU (CA)
SS 125 KM 9,850 - TEL.070/852509

COMMITTENTE	Imp. Edilgeo s.r.l.	SONDAGGIO	
CANTIERE	Villaperuccio	CAMPIONE	C1/P4
LOCALITA'		PROFONDITA'	

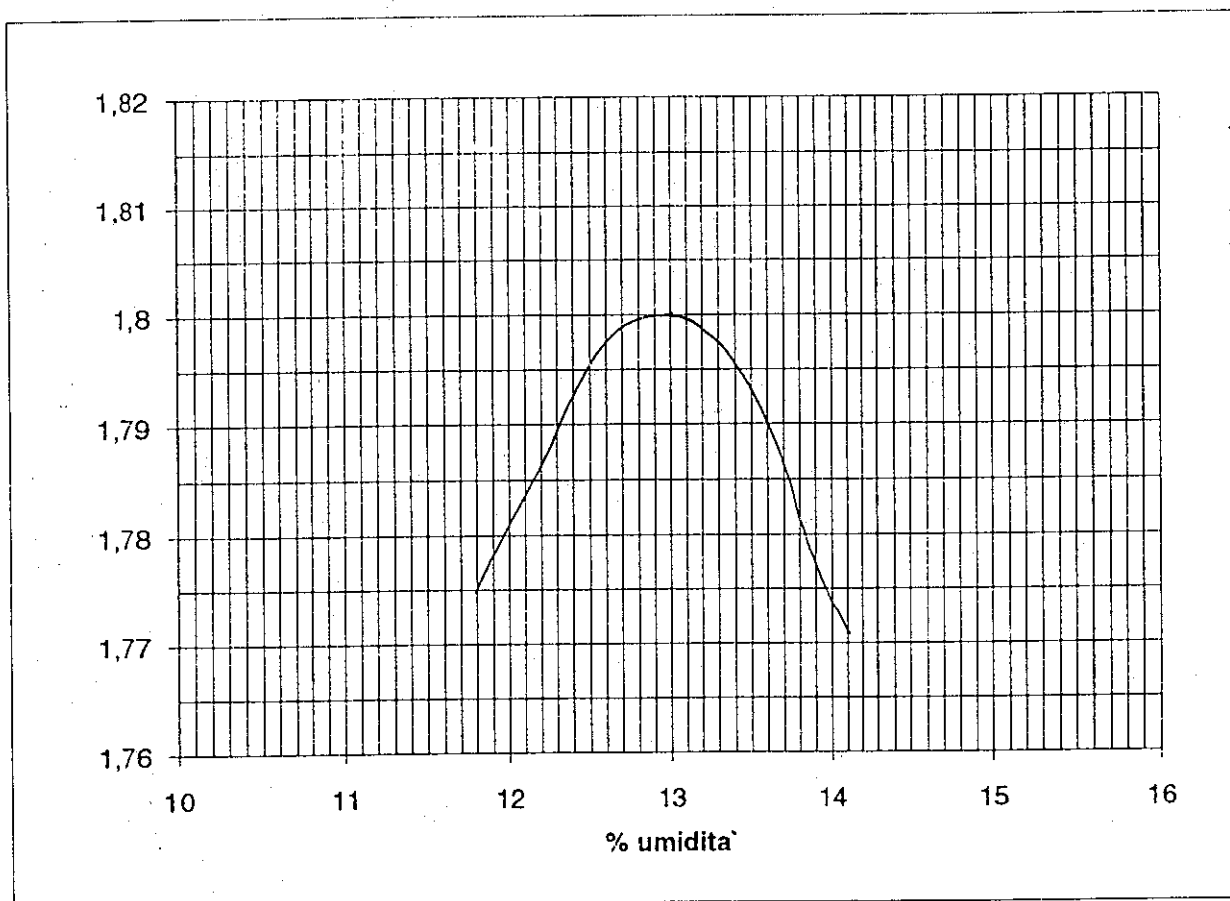
PROVA DI COSTIPAMENTO AASHO

DENSITA' MASSIMA

1,800 g/cm³

UMIDITA' OTTIMA

13,00 %



Il tecnico

Il direttore

Dott. Ing. M. G. ...

COMUNE DI VILLAPERUCCIO

Provincia di Cagliari

REALIZZAZIONE DI UN INVASO COLLINARE DA DESTINARE AD USO IRRIGUO IN AGRO DI VILLAPERUCCIO



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA
PERIZIA SUPPLEMENTIVA E DIVERGANTE
ASSESSORATO DEI LAVORI PUBBLICI

COMITATO TECNICO AMMINISTRATIVO PROVINCIALE
DEI LAVORI PUBBLICI - CAGLIARI

ADUNANZA DEL 25/03/97
VOTO N. 1065

IL SEGRETARIO
(Geom. CLAUDIO SECCI)

ANALISI GEOTECNICHE

E

VERIFICA STABILITA' SBARRAMENTO



Regione Autonoma della Sardegna
ASSESSORATO DEI LAVORI PUBBLICI
SERVIZIO DEL CANTO CIVILE - CAGLIARI

Esaminato, si esprime parere favorevole per
l'approvazione.

Cagliari, li

19 MAR. 1997

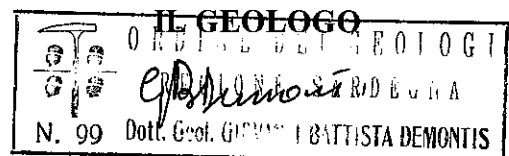
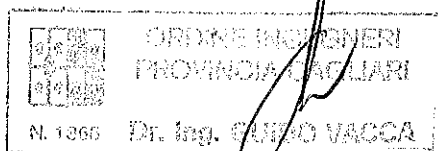
IL FUNZIONARIO ADDETTO

(Ing. Alberto Piras)

VISTO IL COORDINATORE DEL SERVIZIO

(Dr. Ing. Antonio Deplano)

IL PROGETTISTA



1 - Premessa

Il Comune di Villaperuccio ha appaltato i lavori di costruzione di un invaso collinare da destinare ad uso irriguo.

Per la verifica delle stratigrafie e per la valutazione delle caratteristiche di permeabilità dei terreni dell'imposta dello sbarramento e della zona di invaso, sono state eseguite due campagne di indagini con sondaggi, prove in sito e indagini geofisiche.

Nella presente relazione si riferisce sulle analisi di laboratorio eseguite sulle terre, presenti nell'area dell'invaso, che dovranno essere utilizzate per la realizzazione del rilevato di sbarramento.

Come risulta dalle precedenti campagne geognostiche i tipi litologici verificati nella località dell'intervento, dall'alto verso il basso, possono schematizzarsi come segue:

- a) - suolo argilloso e detrito di frana ;
- b) - alluvioni sabbiose limose con ciottoli;
- c) - limi argillosi e argille;
- d) - basamento costituito da vulcaniti a consistenza lapidea.

In questa fase le verifiche sono state orientate all'accertamento delle caratteristiche geotecniche volumetricamente più rappresentate e quindi in particolare delle alluvioni di cui ai punti b) e c) di cui sopra, e ciò al fine di determinare la loro riutilizzabilità per la costruzione del rilevato e ad effettuare la verifica di stabilità dell'opera.

2 - L'indagine

Nel mese di novembre 1996, con l'utilizzo di un retroescavatore si sono prelevati dei campioni, rappresentativi delle due principali formazioni alluvionali, che sono stati poi trasmessi al Laboratorio Geosystem del Dott. G.B. Demontis - Quartucciu per le analisi di rito.

Le analisi geotecniche eseguite sono: analisi granulometrica per via umida, limiti di Atterberg e classificazione secondo la norma CNR-UNI 10006 e USCS e prova di taglio con scatola di Casagrande su campioni ricostruiti con la sola frazione passante al setaccio da 5 mm.

Per quanto riguarda il campione delle alluvioni ciottolose le modalità esecutive di quest'ultima verifica, sono decisamente penalizzanti delle reali caratteristiche di tali materiali per cui i parametri che si riportano saranno a vantaggio della sicurezza dell'opera.

Nella seguente tabella sono riassunti i principali valori risultanti dalle citate analisi.

Campione	Passante 0.2 mm	Passante 0.4 mm	Passante 0.075 mm	limite liquido	indice plastico	Classific. USCS	Classific. UNI-CNR	Angolo attrito	Coesione Kg/cmq
profondo fine	89.30%	79.12%	47.51%	33%	19	S C	A6	28°39'	0.16
superf. con ciottoli	32.83%	23.41%	16.54%	37%	23	G C	A2-6	29°32'	0.16

Dall'esame dei suddetti parametri possono farsi le seguenti deduzioni:

- l'alluvione profonda è classificata SC: sabbia argillosa;
- l'alluvione superficiale è classificata GC: ghiaia argillosa;
- la frazione fine delle due terre presenta plasticità simili;
- l'angolo d'attrito e la coesione delle due terre, determinati su campioni ricostruiti della frazione passante al setaccio da 5 mm, sono pressoché simili.

3- Verifiche di stabilità

Sulla base delle verifiche di laboratorio si è ipotizzato di realizzare il rilevato di contenimento dell'invaso utilizzando le terre presenti nell'area dell'intervento, inclinando le scarpate di circa 25° e con coronamento largo 3.00 metri.

Considerando che il paramento a monte dovrà essere impermeabilizzato e che, anche nel caso di rottura del telo impermeabile, la piezometrica sarà abbattuta dal sistema di dreni che si prevede di realizzare, i parametri che vengono assunti nelle verifiche sono:

$\varphi = 29^\circ$ - angolo di attrito interno delle terre del rilevato

$c = 0$ - coesione

$\gamma = 1.9 \text{ t/mc}$ - peso di volume

3.1. Relazione di calcolo

Le verifiche sono state eseguite utilizzando il programma I.L.A. (Interactive Landslides Analysis) prodotto dalla "geo&soft international".

Il programma ottempera alle specifiche richieste dal D.M. 1988 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate...

Il calcolo è basato su un metodo di equilibrio limite originariamente proposto da S.H. Sarma (1974, 1979) e sviluppato e modificato successivamente da E. Hoek (1981, 1983, 1987).

Il metodo di Sarma è un metodo generale di analisi in condizioni di equilibrio limite che permettendo di eseguire la verifica lungo le superfici di scorrimento che meglio approssimano quella o quelle riconosciute con le indagini (D.M. 1988) consente di ricercare la superficie alla quale corrisponda il coefficiente di sicurezza più basso.

3.2. - Ricerca del fattore di sicurezza

Il fattore di sicurezza (FS) coincide con il valore che assume un parametro riduttivo (PR) delle caratteristiche geotecniche reattive (tangente dell'angolo di attrito e coesione) quando esso porta all'annullamento dell'accelerazione critica.

L'analisi viene effettuata nell'ipotesi che le superfici di scivolamento possano essere schematizzate attraverso sviluppi cilindrici, e quindi i calcoli sono effettuati per uno spessore unitario nella direzione del fronte.

L'accelerazione critica è così definita :

$$k_c = AE/PE$$

dove, essendo n il numero dei conci:

$$AE = a(n) + a(n-1)e(n) + a(n-2)e(n)e(n-1) + \dots + a(1)e(n)\dots e(2)$$

$$PE = p(n) + p(n-1)e(n) + p(n-2)e(n)e(n-1) + \dots + p(1)e(n)\dots e(2)$$

in cui:

$$a(i) = q(i) * (a_1 - a_2 + a_3 + a_4 - a_5)$$

$$p(i) = q(i) w(i) \cos \{ F_b(i) - \alpha(i) \}$$

$$e(i) = q(i) \cos \{ F_b(i) - \alpha(i) + F_s(i) - D(i) \} / \cos (F_s(i))$$

$$q(i) = \cos (F_s(i+1)) / \cos (F_b(i) - \alpha(i) + F_s(i+1) - D(i+1))$$

$$s(i) = C_s(i) d(i) - P_w(i) \tan (F_s(i))$$

$$r(i) = C_b(i) b(i) / \cos (\alpha(i)) - u(i) \tan (F_b(i))$$

dove:

$$a_1 = w(i) + T_v(i) \sin (F_b(i) - \alpha(i))$$

$$a_2 = T_h(i) \cos (F_b(i) - \alpha(i))$$

$$a_3 = r(i) \cos (F_b(i))$$

$$a_4 = s (1 + 1) \sin (F_b(i) - \alpha(i) - D(i+1))$$

$$a_5 = s(i) \sin (F_b(i) - \alpha(i) - D(i))$$

essendo ancora, per l'i-esimo concio:

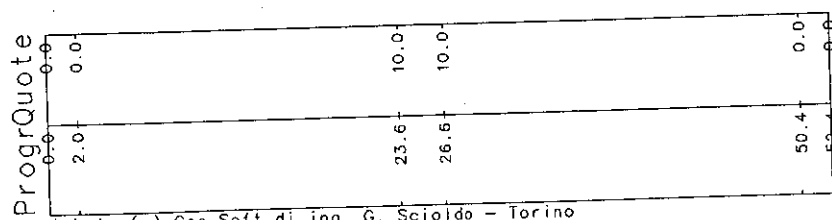
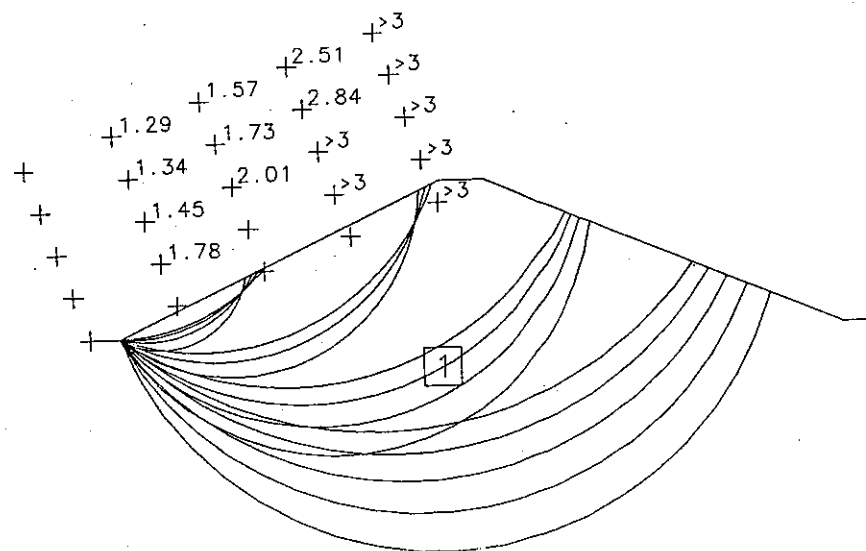
$w(i)$	peso
$d(i)$	lunghezza del lato
$D(i)$	inclinazione del lato
$b(i)$	larghezza della base
$\alpha(i)$	inclinazione della base
$C_b(i)$	coesione di base
$F_b(i)$	angolo di attrito di base
$C_s(i)$	coesione laterale
$F_s(i)$	angolo di attrito laterale
$u(i)$	spinta idraulica normale lungo la base
$P_w(i)$	spinta idraulica normale lungo il lato
$T_v(i)$	forza esterna verticale
$T_h(i)$	foza esterna orizzontale

La soluzione dell'equazione $k_c(PR) = 0$ è ottenuta per via numerica attraverso un procedimento interattivo che assicura una elevata velocità ed affidabilità. Tale procedura restituisce un valore del fattore di sicurezza con un errore per difetto contenuto normalmente entro lo 0.01.

3.3. - Interpretazione dei tabulati

I risultati del calcolo sono riassunti nel grafico e nei tabulati che seguono, in cui sono presentati anche tutti i dati geometrici e geotecnici necessari.

Litotipo 1: $\phi = 29$ $c = 0$ $\gamma = 1.9$



I.L.A. (c) Geo Soft di Ing. G. Scioldo, - Torino

PIANO DI CAMPAGNA

PUNTI				PARAMETRI GEOTECNICI
1 X=	0.00	Y=	0.00	Angolo di attrito=29.00 Coesione= 0.00 Peso di volume= 1.90
2 X=	2.00	Y=	0.00	
3 X=	23.60	Y=	10.00	
4 X=	26.60	Y=	10.00	
5 X=	50.40	Y=	0.00	
6 X=	52.40	Y=	0.00	

SUPERFICIE FALDA

Peso di volume dell'acqua: 0.00

1 X=	0.00	Y=	0.00
2 X=	2.00	Y=	0.00
3 X=	23.60	Y=	10.00
4 X=	26.60	Y=	10.00
5 X=	50.40	Y=	0.00
6 X=	52.40	Y=	0.00

SUPERFICIE DI SCIVOLAMENTO

TIPOLOGIA SUPERFICI: CIRCOLARI PASSANTI PER UN PUNTO

DESCRIZIONE MAGLIA DEI CENTRI

Larghezza maglia: 10	Altezza maglia: 25
N. centri sulla base: 5	N. centri sul lato: 5
Inclinazione maglia: 23	
Ascissa pt. pass.: 2	Ordinata pt. pass.: 0
Fattore di sicurezza:	%-999.00
Fattore di sicurezza:	%-999.00
Fattore di sicurezza:	%-999.00
SUPERFICIE n. 4	
Coordinate del centro:	X = 17.26, Y = 7.33
Fattore di sicurezza:	> 3.00
SUPERFICIE n. 5	
Coordinate del centro:	X = 23.01, Y = 9.77
Fattore di sicurezza:	> 3.00
Fattore di sicurezza:	%-999.00

SUPERFICIE n. 7			
Coordinate del centro:	X =	4.78, Y =	4.74
Fattore di sicurezza:		1.79	
Fattore di sicurezza:		%-999.00	
SUPERFICIE n. 9			
Coordinate del centro:	X =	16.28, Y =	9.63
Fattore di sicurezza:		> 3.00	
SUPERFICIE n. 10			
Coordinate del centro:	X =	22.04, Y =	12.07
Fattore di sicurezza:		> 3.00	
Fattore di sicurezza:		%-999.00	
SUPERFICIE n. 12			
Coordinate del centro:	X =	3.80, Y =	7.04
Fattore di sicurezza:		1.47	
SUPERFICIE n. 13			
Coordinate del centro:	X =	9.55, Y =	9.49
Fattore di sicurezza:		2.03	
SUPERFICIE n. 14			
Coordinate del centro:	X =	15.31, Y =	11.93
Fattore di sicurezza:		> 3.00	
SUPERFICIE n. 15			
Coordinate del centro:	X =	21.06, Y =	14.37
Fattore di sicurezza:		> 3.00	
Fattore di sicurezza:		%-999.00	
SUPERFICIE n. 17			
Coordinate del centro:	X =	2.82, Y =	9.35
Fattore di sicurezza:		1.35	
SUPERFICIE n. 18			
Coordinate del centro:	X =	8.58, Y =	11.79
Fattore di sicurezza:		1.76	
SUPERFICIE n. 19			
Coordinate del centro:	X =	14.33, Y =	14.23
Fattore di sicurezza:		2.78	
SUPERFICIE n. 20			
Coordinate del centro:	X =	20.08, Y =	16.67
Fattore di sicurezza:		> 3.00	
Fattore di sicurezza:		%-999.00	
SUPERFICIE n. 22			
Coordinate del centro:	X =	1.85, Y =	11.65
Fattore di sicurezza:		1.29	
SUPERFICIE n. 23			
Coordinate del centro:	X =	7.60, Y =	14.09
Fattore di sicurezza:		1.60	
SUPERFICIE n. 24			
Coordinate del centro:	X =	13.35, Y =	16.53
Fattore di sicurezza:		2.46	
SUPERFICIE n. 25			
Coordinate del centro:	X =	19.11, Y =	18.97
Fattore di sicurezza:		> 3.00	

Dall'esame di questi allegati risulta che la diga in progetto risulta in tutte le verifiche in condizioni di sicurezza essendo stato verificato, per tutti punti esaminati, un $F_s \cong 1.3$ o superiore.

Per quanto riguarda la spinta idrostatica non è stata effettuata nessuna verifica essendo le forze resistenti, relative alla massa dello sbarramento, notevolmente più grandi rispetto a quelle che saranno generate dall'accumulo dell'acqua anche in condizioni di massimo invaso.

4.0- Conclusioni e proposte operative

Per tutto quanto esposto in precedenza l'imposta dello sbarramento potrà realizzarsi le terre sciolte presenti al di sopra del substrato litoide asportando, per tutta la superficie che sarà interessata dal rilevato,.

Il piano di posa che si metterà a nudo avrà in tal modo caratteristiche geotecniche eccellenti per cui sarà garantita la sicurezza sotto il profilo della portanza ed i cedimenti prevedibili, per effetto dei carichi di esercizio, saranno di entità irrilevante.

La costruzione dello sbarramento potrà essere realizzata con l'impiego delle terre che saranno recuperate con l'esecuzione degli scavi nell'area dell'invaso.

Per una migliore utilizzazione e costipamento di tali materiali si ritiene opportuno miscelare in opera i due tipi litologici procedendo per strati di spessore contenuto 30- 40 cm circa.

In fase esecutiva sarà opportuno verificare il costipamento in opera con prove di densità in sito da rapportare alla AASHO di laboratorio.

La verifica della stabilità dello sbarramento effettuata con i seguenti parametri:

ϕ = 29° = angolo di attrito interno medio ;

c = 0 = coesione

γ = 1.9 t/mc = peso di volume delle terre costipate

ha dimostrato che lo sbarramento è stabile per una inclinazione delle scarpate di circa 25° , in assenza di falda.

Per far fronte a quest'ultimo aspetto si rende necessario eseguire, nel lato a monte, delle opere che assicurino l'impermeabilizzazione dell'opera e perciò il progetto prevede la messa in opera di una guaina impermeabilizzante che sarà incastrata e sigillata all'interno del substrato vulcanico lapideo sia lateralmente che nel piano di posa.

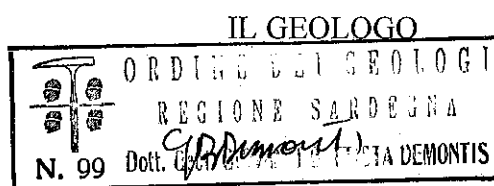
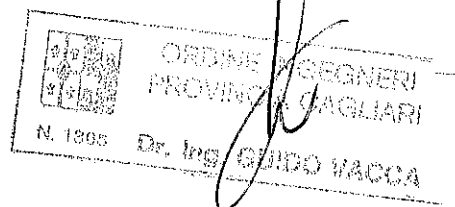
Infine per captare le eventuali infiltrazioni e/o sifonamenti che dovessero comunque interessare le terre del rilevato sarà realizzato un sistema drenante costituito da uno scavo

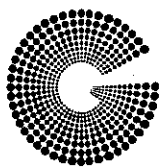
longitudinale, al piede dello sbarramento, rivestito con un geotessile, all'interno del quale sarà posto un tubo drenante affogato in pietrame privo di terra.

Da questo dreno si dipartirà un secondo canale che dovrà posizionarsi secondo i punti che risulteranno più depressi, dopo aver eseguito gli scavi per la messa in luce del substrato vulcanico, e che sarà di lunghezza tale da consentire il deflusso, per gravità, sino a valle dell'area occupata dal rilevato dello sbarramento.

Villaperuccio, 02 dicembre 1996

IL PROGETTISTA



**GEOSYSTEM**

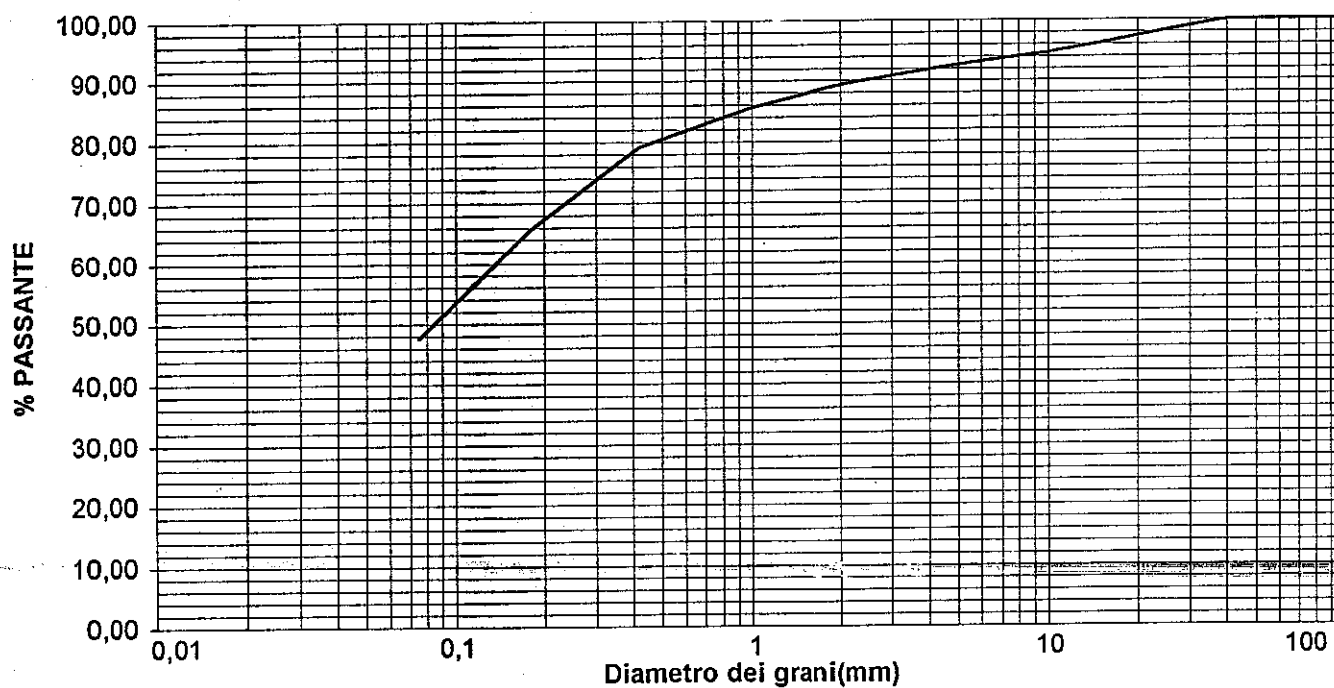
del Dott. Geol. G.B. Demontis

6 NOV. 1996LABORATORIO PROVE MATERIALI
09044 QUARTUCCIU (CA)
SS 125 KM 9,850 - TEL.070/852509

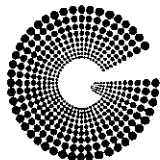
COMMITTENTE	Imp.Vacca S.p.A. - Monserrato	CAMPIONE	materiale profondo
CANTIERE	Villaperuccio		

ANALISI GRANULOMETRICA

SETACCI (mm)	PASSANTE %	LIM.LIQUIDO (%)	33
100	100,00	LIM.PLASTICO (%)	14
71	100,00	IND.PLASTICO	19
60	100,00	IND.GRUPPO	5
40	100,00	CLASS.UNI-CNR	A6
25	98,22		
15	96,09		
10	94,63		
5	92,60		
2	89,30		
1	85,62		
0,42	79,12		
0,18	65,71		
0,075	47,51		

IL TECNICO
*[Signature]*IL DIRETTORE
[Signature]

010044



GEOSYSTEM
del Dott. Geol. G.B. Demontis

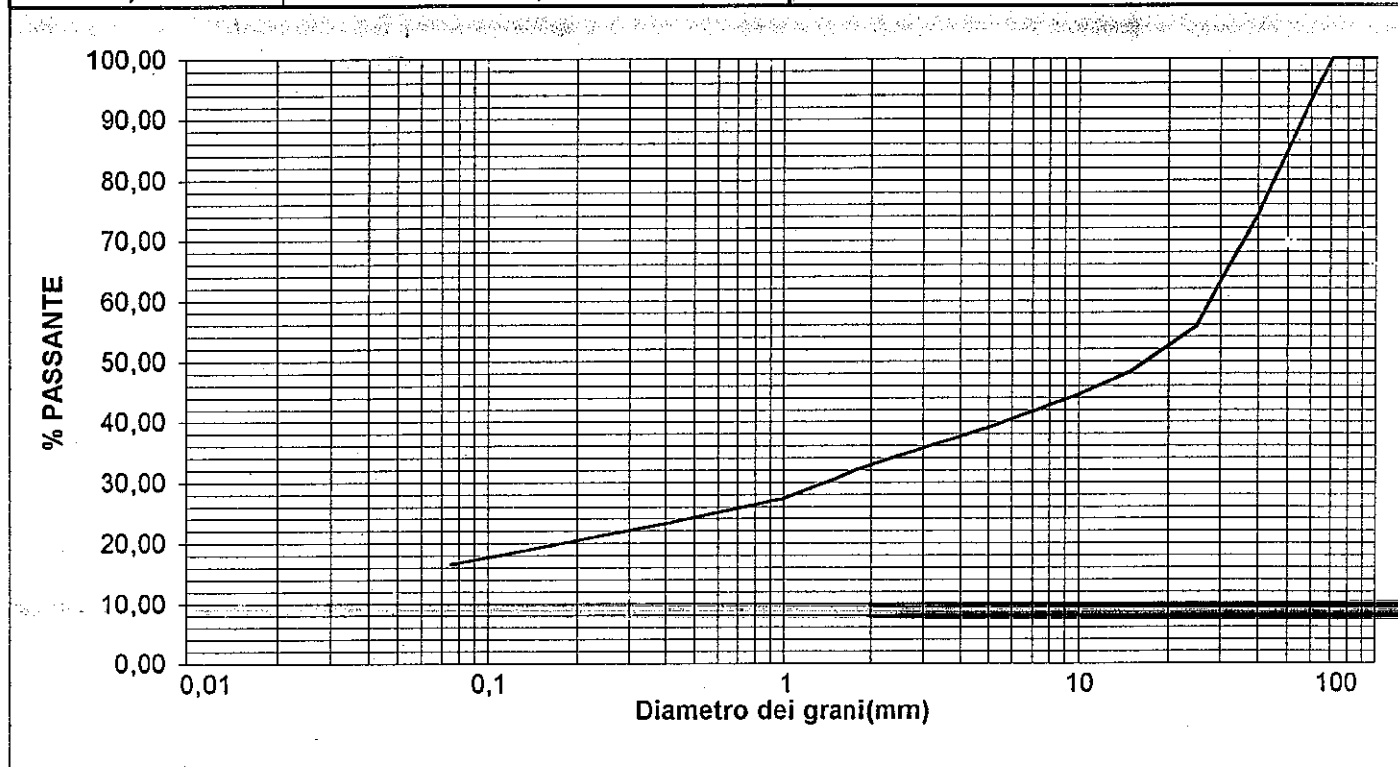
6 NOV. 1996

LABORATORIO PROVE MATERIALI
09044 QUARTUCCIU (CA)
SS 125 KM 9,850 - TEL.070/852509

COMMITTENTE	Imp.Vacca S.p.A. - Monserrato	CAMPIONE	materiale degli scavi
CANTIERE	Villaperuccio		

ANALISI GRANULOMETRICA

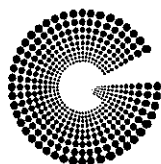
SETACCI (mm)	PASSANTE %	LIM.LIQUIDO (%)	37
100	100,00	LIM.PLASTICO (%)	14
71	100,00	IND.PLASTICO	23
60	92,98	IND.GRUPPO	1
40	74,15	CLASS.UNI-CNR	A2-6
25	55,72		
15	48,28		
10	44,47		
5	38,98		
2	32,83		
1	27,32		
0,42	23,41		
0,18	20,00		
0,075	16,54		



IL TECNICO
Ante Noh

IL DIRETTORE
[Signature]

C10043



COMMITTENTE	Imp. Vacca S.p.A.	CAMPIONE	materiale profondo
CANTIERE	Villaperuccio		

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

TIPO DI PROVA : C.U. su provini ricostruiti

VELOCITA': 0.6 mm/min

CARATTERISTICHE INIZIALI

Umidita' Iniziale
Peso di volume naturale
Peso di volume secco
Peso specifico dei grani
Grado di saturazione
Indice dei vuoti

W %
g/cmc
g/cmc
g/cmc
%
e

1	2	3
12,00	12,00	12,00
1,858	1,869	1,858
1,659	1,669	1,659

ROTTURA

Carico verticale
Scorrimento orizzontale
Sforzo al taglio (massimo)
Sforzo al taglio (residuo)

kg/cm²
%
kg/cm²
kg/cm²

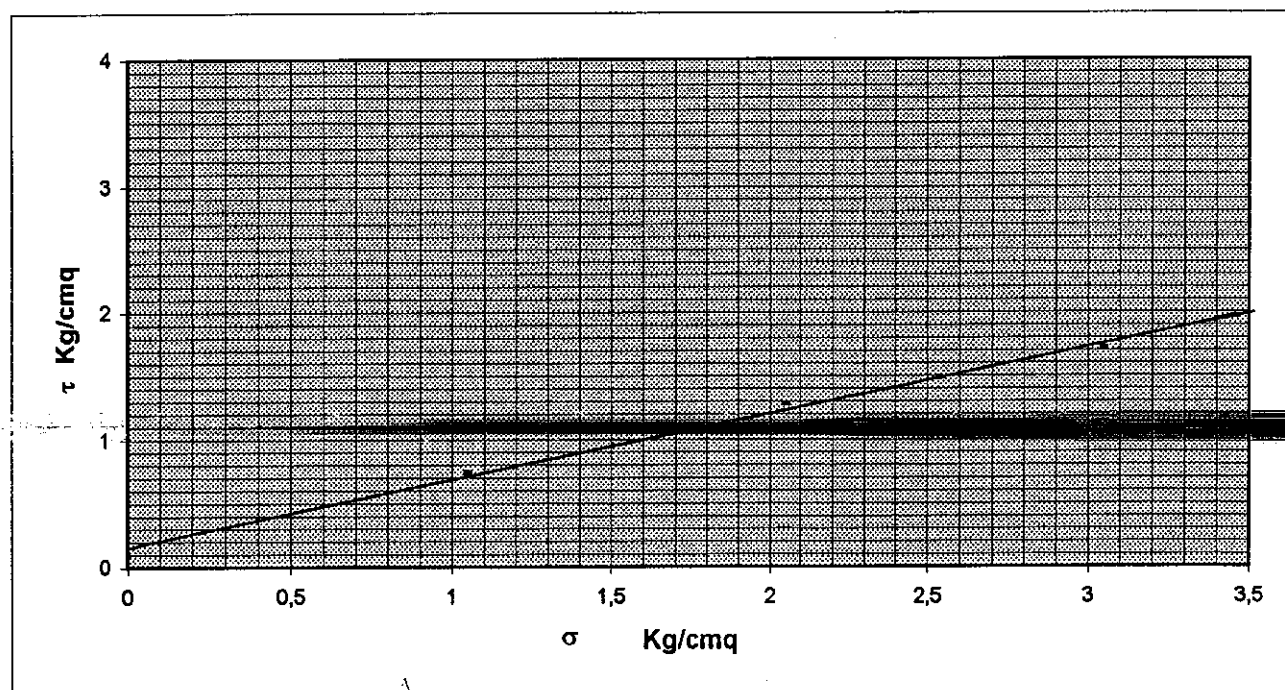
1,04	2,04	3,04
13,33	13,33	13,33
0,74	1,28	1,72

ANGOLO D'ATTRITO

(gradi) 28° 39'

COESIONE C

kg/cm² 0,16



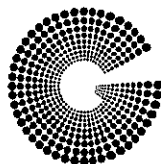
IL TECNICO

Ante 16/1/97

IL DIRETTORE

Dr. G. B. Demontis

010260



GEOSYSTEM
del Dott. Geol. G. B. Demontis

09 GEN. 1997

LABORATORIO PROVE MATERIALI
09044 QUARTUCCIU (CA)
SS 125 KM 9,850 - TEL.070/852509

COMMITTENTE	Imp. Vacca S.p.A.	CAMPIONE	materiale degli scavi
CANTIERE	Villaperuccio		

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

TIPO DI PROVA : C.U. su provini ricostruiti

VELOCITA': 0.6 mm/min

CARATTERISTICHE INIZIALI

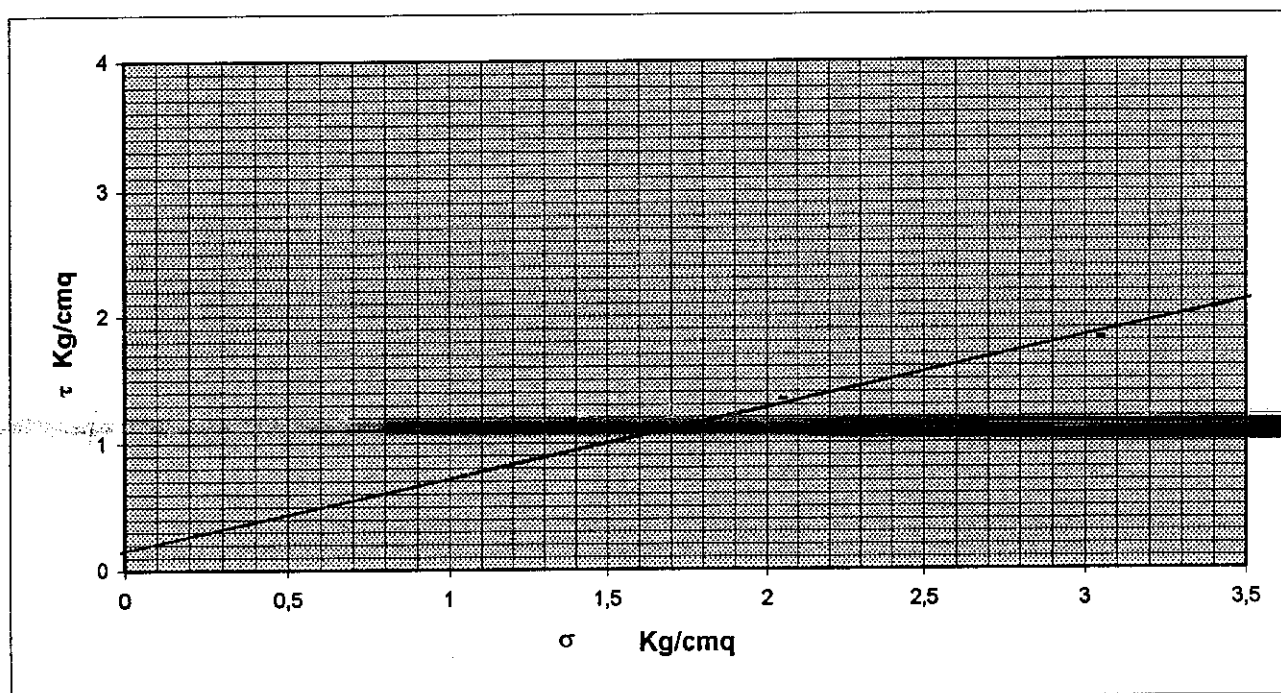
		1	2	3
Umidita' Iniziale	W %	11,56	11,56	11,56
Peso di volume naturale	g/cmc	1,769	1,770	1,772
Peso di volume secco	g/cmc	1,586	1,586	1,588
Peso specifico dei grani	g/cmc			
Grado di saturazione	%			
Indice dei vuoti	e			

ROTTURA

Carico verticale	kg/cm ²	1,04	2,04	3,04
Scorimento orizzontale	%	13,33	13,33	13,33
Sforzo al taglio (massimo)	kg/cm ²	0,74	1,34	1,82
Sforzo al taglio (residuo)	kg/cm ²			

ANGOLO D'ATTRITO (gradi) 29° 32'

COESIONE C kg/cm² 0,16



IL TECNICO

Ante Rukh

IL DIRETTORE

Ing. M. Montedoro

010261

PROVINCIA DI CAGLIARI

COMUNE DI VILLAPERUCCIO

**REALIZZAZIONE DI UN INVASO COLLINARE DA DESTINARE
AD USO IRRIGUO IN AGRO DI VILLAPERUCCIO**

Relazione Geologica e Geotecnica

Committente: Impresa Vacca SpA

Monserrato (CA)



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

ASSESSORATO DEI LAVORI PUBBLICI

**COMITATO TECNICO AMMINISTRATIVO PROVINCIALE
DEI LAVORI PUBBLICI - CAGLIARI**

ADUNANZA DEL

25.03.97

VOTO N.

1064

IL SEGRETARIO

(Geom. CLAUDIO SECCI)

Regione Autonoma della Sardegna

Assessorato dei Lavori Pubblici

Comitato Tecnico Amministrativo Provinciale

dei Lavori Pubblici - Cagliari

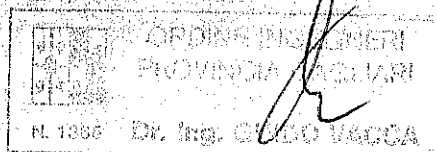
IL FUNZIONARIO ADDETTO

(Ing. Alberto Piras)

VISTO IL COORDINATORE DEL SERVIZIO

(Dr. Ing. Antonio Deplano)

19 MAR 1997



PROVINCIA DI CAGLIARI

COMUNE DI VILLAPERUCCIO

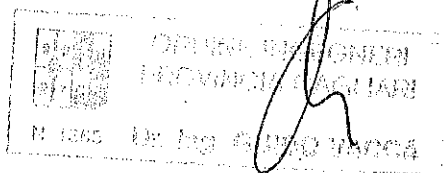
REALIZZAZIONE DI UN INVASO COLLINARE DA DESTINARE
AD USO IRRIGUO IN AGRO DI VILLAPERUCCIO

Relazione Geologica e Geotecnica

Committente: Impresa Vacca SpA

Monsezzato (CA)

03 SET. 1996



Dott. PAOLA SERANGELI
ORDINE DEI GEOLOGI DEL LAZIO

N. 935

Paola Serangeli



INDICE

1. Premesse	Pag. 2
2. Inquadramento geografico generale	Pag. 4
3. Geomorfologia	Pag. 5
4. Geologia generale	Pag. 7
5. Assetto stratigrafico locale. Modellizzazione del volume significativo nella sezione d'imposta	Pag. 8
5.1 Aspetti geotecnici	Pag. 11
5.1 Aspetti idrogeologici e permeabilità	Pag. 13
6. Conclusioni	Pag. 16

Allegati:

- ♦ **Stratigrafie sondaggi**
- ♦ **Grafici e tabelle Prove Lugeon**
- ♦ **Carta geologica**
- ♦ **Sezioni geologiche**

1. Premesse

Su incarico dell'Impresa Vacca SpA, con sede in Monserrato (CA) è stata redatta la presente relazione geologica e geotecnica, destinata a fornire una descrizione delle caratteristiche del sottosuolo dell'area in oggetto, sita in località Agro di Villaperuccio, in corrispondenza dell'alveo del Riu di Bavenu. Tale area è interessata dalla realizzazione di un invaso collinare tramite sbarramento da realizzarsi con una diga in materiali sciolti, dotata di dispositivo di tenuta artificiale (manto) ed avente altezza fuori terra inferiore ai 10 m.

La presente relazione, propedeutica alle fasi di progettazione esecutiva e costruttiva dell'opera, è pertanto finalizzata a descrivere l'assetto stratigrafico dei terreni presenti nel sottosuolo dell'area di imposta dello sbarramento e nell'immediato intorno, nonché ad operare una modellizzazione del volume significativo (volume sensibile agli effetti della costruzione dell'opera) sotto il profilo geotecnico-geomeccanico ed idrogeologico.

Tali azioni sono state espletate sulla base dei dati ottenuti nel corso dell'indagine geognostica, eseguita per conto della Committenza dalla ditta Micropali srl, successivamente messi a disposizione di chi scrive per le relative elaborazioni ed interpretazioni. L'oggetto dell'incarico, pertanto, è limitato alla prestazione di consulenza professionale e non comprende le fasi di programmazione, direzione e realizzazione delle operazioni tecniche relative all'indagine geognostica.

In particolare, i dati forniti dalla Committenza riguardano n.14 perforazioni di sondaggio a rotazione e carotaggio continuo, per complessivi ml.140 di perforazione, la cui ubicazione è rappresentata in fig. 3, nonché i dati bruti relativi a n.28 prove di immissione a pressione in foro (*Prove Lugeon*).

La relazione geologica e quella geotecnica, riunite in unico elaborato, sono state redatte secondo le indicazioni fornite dall'Associazione Geotecnica Italiana relative alle indagini geotecniche ed in accordo con i dettami del D.M. 11.3.88 del Ministero LL.PP. e Circ. LL.PP. 24.9.88 n.30483, nonché del D.M. 24.3.82 sulla progettazione e costruzione delle dighe di sbarramento.

Nel complesso la definizione delle caratteristiche dei terreni interessati dall'influenza della struttura in progetto si è svolta nelle seguenti fasi:

- Analisi bibliografica dei dati relativi alla geologia, alla geomorfologia, all'idrogeologia ed alle caratteristiche geotecniche delle unità geologiche presenti nell'area, ricavati da ricerche e studi eseguiti in precedenza.
- Rilevamento geologico dell'area, con ricostruzione della disposizione geometrica delle unità geologiche coinvolte. Il rilievo di superficie è stato effettuato alla scala 1:5000 per una fascia di circa 30 Ha, dei quali circa 6 Ha dettagliati alla scala 1:500.
- Elaborazione ed interpretazione dei dati forniti, relativi all'indagine eseguita da parte della Committenza:
 - I. Esame dei terreni prelevati nel corso delle perforazioni, completata con determinazioni, per i tratti riguardanti le unità litoidi, relative all'indice RQD (Rock Quality Designation, Deere). Rilievo dei livelli idrici statici nei fori di sondaggio. Elaborazione e rappresentazione delle stratigrafie attraverso programma di elaborazione grafica.

- II. Elaborazione numerica e graficizzazione dei dati relativi alle prove di immissione in foro (Prove Lugeon), con calcolo della permeabilità dei tratti sottoposti a test in termini di Unità Lugeon (U.L. = l/min./m) e di coefficiente di permeabilità equivalente k (cm/sec).
- Ricostruzione dei rapporti spaziali e successiva modellizzazione del volume significativo del terreno; sua parametrizzazione ai fini della previsione del comportamento conseguente all'applicazione dei sovraccarichi indotti dalla struttura, nonché delle condizioni di tenuta idraulica dei terreni di imposta dello sbarramento in condizioni di esercizio.
 - Esame sintetico delle condizioni complessive e definizione delle indicazioni utili ai fini progettuali.

2. Inquadramento geografico generale

Il sito in esame è posto nel Comune di Villaperuccio, in località Agro di Villaperuccio, in corrispondenza dell'alveo del Riu di Baveno, del quale è appunto previsto lo sbarramento attraverso la costruzione dell'opera in progetto.

Nella cartografia ufficiale dell'I.G.M.I. esso è rappresentato nel Foglio 233 III NE (Tavoletta "Villaperuccio"); le sue coordinate geografiche approssimative sono: latitudine 39°08'32" Nord; longitudine 0°03'33" Ovest da Monte Mario.

L'area dello sbarramento è posta all'interno di un'area a vocazione collinare, distante circa 3 km, in direzione NNW, dal centro abitato di Villaperuccio e circa 1.7 km dalla strada Narcao-Villaperuccio.

Consulenze di Geologia Ambientale ed Applicata

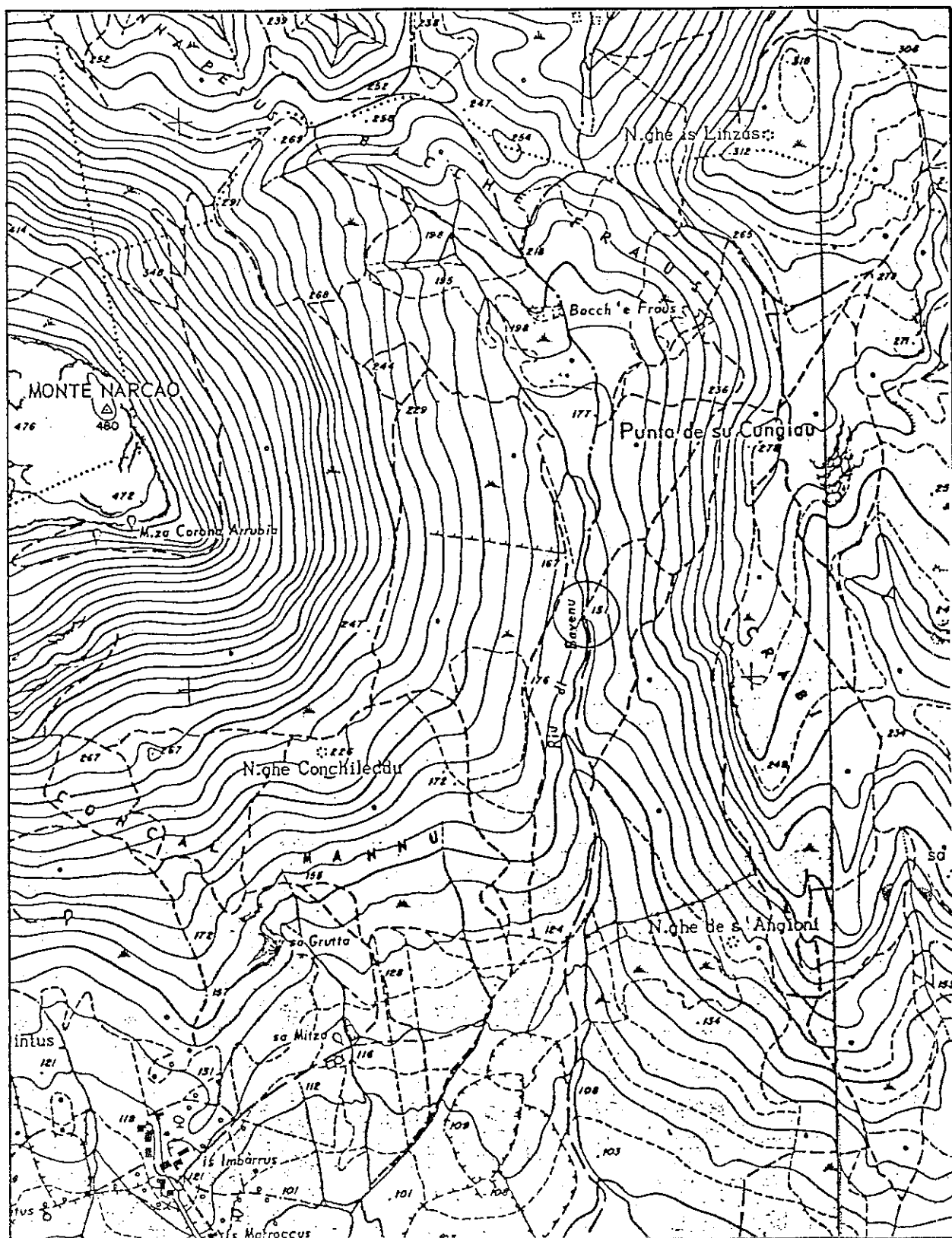


Fig.1 - Stralcio cartografia in scala 1:10000

3. Geomorfologia

L'area oggetto del presente studio è posta in un settore a vocazione agricola e collinare, caratterizzato da una morfologia debolmente articolata, evidentemente controllata nel suo sviluppo dalla natura delle unità geologiche presenti. L'area, nel suo insieme, si distingue per l'alternanza di rilievi dalla tipica conformazione tabulare e da depressioni e fondovalle che ne raccordano i versanti.

Nell'immediato intorno dell'area si raggiungono le maggiori elevazioni in corrispondenza della cima di Monte Narcao (m.480 slm), immediatamente sovrastante la valle di Baveno, mentre in direzione orientale le culminazioni piane dei rilievi si trovano a quote più basse (Punta Coremo, m.313, Monte Murdegno, m.334, Sa Corona Arrubia, m.354).

Queste culminazioni morfologiche corrispondono alle aree di affioramento degli espandimenti ignimbrici (v.par.4), sviluppatasi su di un substrato costituito da unità tufacee o epiclastiche, terrigene, tali da determinare un tale paesaggio morfologico, in cui le sommità dei rilievi sono formate, in pratica, da questi "piastroni" ignimbrici, con superfici piane delimitate da scarpate subverticali. Essi rappresentano frammenti di tavolati tufacei ed ignimbrici, isolati per effetto dell'erosione lineare che ne fa dei relitti dell'antico tavolato originario. Lo sviluppo delle porzioni inferiori dei versanti, invece, a causa della presenza di litologie meno resistenti agli agenti erosivi, assume un andamento più regolare.

La valle attraversata dal Riu di Bavenu, infatti, si sviluppa, con andamento N-S, da quote prossime ai 200 m slm, nella parte sommitale, a quote prossime ai 100 m slm allo sbocco nella depressione principale. Il profilo trasversale della valle si presenta leggermente asimmetrico: il suo versante orografico destro possiede un andamento dapprima regolare, poi più acclive, culminante con la cima di M. Narcao, mentre il versante sinistro, più ripido, termina con il rilievo tabulare, allungato, di Punta de su Cungiau. L'alveo del rio, nel tratto interessato dallo sbarramento, si allarga sensibilmente, acquisendo un fondo piatto a causa del maggiore apporto di trasporto solido, mentre più a valle si mostra maggiormente incassato nelle unità di base, per la probabile presenza, in passato, di una sorta di soglia naturale al limite tra i due tratti.

Il Riu di Bavenu, quindi, dallo sbocco nella depressione di fondovalle (loc. Medau Cabellina) piega verso SE, per confluire, a circa 500 m dall'abitato di Villaperuccio, nel Riu Mannu, il principale corso d'acqua dell'intero settore, appartenente al sistema idrografico del F. Palmas. La valle alluvionale del Riu Mannu, a fondo piatto, pare essersi impostata in corrispondenza di un'importante dislocazione tettonica lineare a direzione SSW-NNE.

4. Geologia generale dell'area

Il settore oggetto del presente studio appartiene all'areale del basso Sulcis, il quale si distingue, per la natura e tipologia delle unità geologiche affioranti, rispetto alle aree contermini. Tutto il settore compreso tra le congiungenti Carbonia-Narcao e Santadi-Nuxis, fino al golfo di Palmas, infatti, viene a costituire un'area di basso strutturale (Bacino del Sulcis), avente forma approssimativamente triangolare.

Nel bacino di Carbonia e nel basso Sulcis, infatti, affiorano terreni relativamente recenti, cenozoici, ben distinguibili rispetto agli adiacenti areali di affioramento delle unità del basamento paleozoico (in facies carbonatica, arenaceo-scistosa e granitica), presenti ad est e a nord del citato settore, dai quali sono separati per effetto della presenza di grossi lineamenti disgiuntivi (Linea di Narcao, Graben di Giba), responsabili del locale ribassamento della struttura. Tali faglie, terziarie, dirette principalmente E-W o NNE-SSW, si sono probabilmente impostate su preesistenti strutture erciniche; esse appartengono ad un'unica famiglia di faglie contemporanee al vulcanismo calcalcalino oligo-miocenico, in parte riattivate nel Pliocene.

Nell'area in esame, pertanto, affiorano unità stratigrafiche post-eoceniche, caratterizzate in prevalenza da formazioni sedimentarie, dapprima in facies lagunare calcareo-marnosa, con orizzonti di lignite (Lignitifero, Auct.), quindi con prevalenza di termini essenzialmente continentali, marnosi, argillosi, arenacei e conglomeratici (Formazione del Cixerri), seguite da unità vulcanitiche, originatesi in corrispondenza

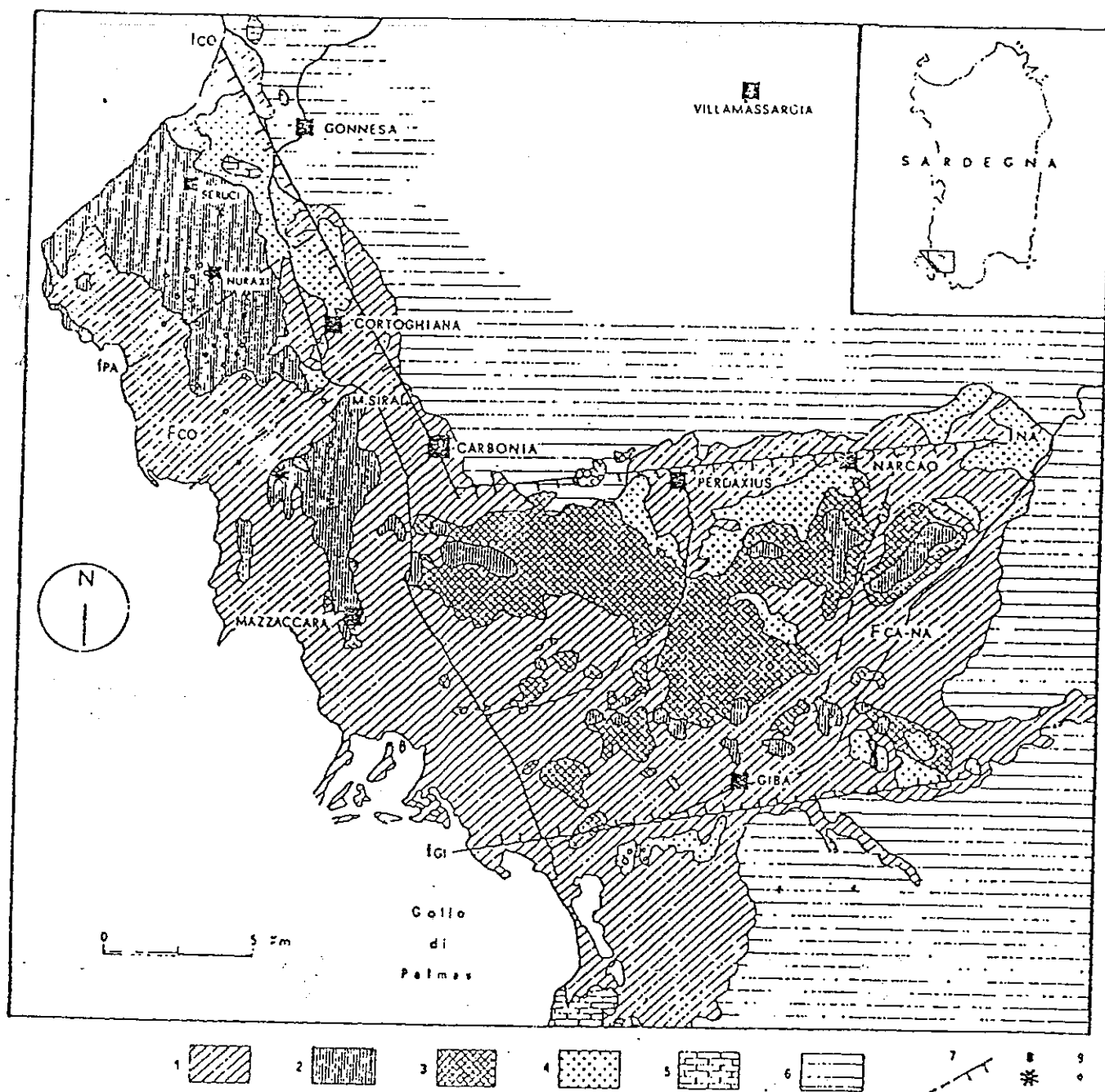


Fig. 2 - Schema geologico semplificato delle vulcaniti del Sulcis (Sardegna sud-occidentale). 1) Sedimenti continentali quaternari. 2) Ignimbriti (rioliti, daciti, comenditi) oligo-mioceniche. 3) Andesiti andesiti-basaltiche e basalti oligo-miocenici. 4) Sedimenti prevalentemente continentali terrigeni riferibili alle Formazione del Cixerri e di Ussana (?) soprastanti un complesso marino-continentale con alla base livelli di carbone («Produttivo» Auct.). Eocene medio-Miocene inferiore. 5) Calcari e dolomie del Mesozoico. 6) Basamento paleozoico Cambro-Siluriano. 7) Principali lineamenti strutturali. 8) Ubicazione del sondaggio n. 37. 9) Ubicazione dei principali sondaggi effettuati dalla Carbosulcis S.p.A.

della successiva fase di attività vulcanica post-oligocenica, costituite da "andesiti" granulari, grigie, nerastre e rossastre a tratti, accompagnate da materiali in facies piroclastica, più o meno stratificate, quali tufi vari (tufi a granaglie, terrosi, spesso biancastri) ed emissioni di colate ignimbriche dalla tipica colorazione vinaccia e rossastra, a fenocristalli di sanidino, molto diffuse nei dintorni di Carbonia. Queste unità, relative ad una fase altamente esplosiva, hanno composizione variabile da riolitica a dacitica a comenditica. Le datazioni assolute prevedono età di circa 32 Ma. per le effusioni andesitiche e di 23-11 Ma. per le unità ignimbriche.

5. Assetto stratigrafico locale. Modellizzazione del volume significativo nella sezione d'imposta.

L'assetto stratigrafico di dettaglio, relativo all'area di sedime dell'intervento in progetto (sezione di imposta dello sbarramento e suo immediato intorno), è stato definito attraverso l'integrazione tra i dati geologici di superficie e la successione dei terreni osservati in corrispondenza delle perforazioni di sondaggio. Nel seguito si fa riferimento allo schema planimetrico di Fig.3 (Carta Geologica) e alle ricostruzioni effettuate nelle sezioni geologiche AA', BB' e CC'.

L'area in oggetto corrisponde alla fascia di transizione stratigrafica tra l'unità sedimentaria della Formazione del Cixerri e i sovrastanti termini piroclastici granulari, terrosi, appartenenti alle unità andesitiche oligo-mioceniche. I terreni affioranti, e in particolare i termini piroclastici, mostrano frequentemente, pertanto, caratteri ibridi. La presenza, a luoghi, di clasti dotati di elevato indice di arrotondamento, nonché di eloquenti strutture sedimentarie, sembra inoltre indicare una possibile deposizione secondaria idrocontrollata, al punto da poter in parte considerare tali depositi come epivulcanici o tufitici.

Procedendo verso le maggiori elevazioni, essi passano stratigraficamente ai sovrastanti termini ignimbrici, che affiorano con giacitura tabulare sulla sommità di M.Narcao e, sul versante Est, di Crabi-Punta de Su Cungiau, a quote superiori ai 230 m. Questi terreni sono interessati da un sistema di fratture primarie e secondarie che suddividono l'ammasso roccioso in prismi isolati, generalmente di dimensioni non elevate (prossime al mc), episodicamente soggetti a distacco, che vanno a costituire una fascia detritica di versante. Tale fascia di accumulo detritico è stata parzialmente interessata, in un tratto di alveo a valle dello sbarramento, da una mobilitazione per effetto della gravità e per erosione del rio in sponda sinistra, con scalzamento alla base e scivolamento al di sopra dei depositi alluvionali (paleofrana).

In prossimità della sezione di sbarramento affiorano diffusamente, sul versante destro, le citate unità piroclastiche in facies litoide (3. Unità litoide di base), ricoperte da un primo

spessore di copertura pedogenica e di roccia parzialmente alterata e allentata: i sondaggi S2, S3, S4, S8 ed S9 attraversano interamente tale formazione.

La fascia corrispondente all'alveo di piena del Riu di Bavenu vede, invece, l'affioramento di depositi alluvionali attuali, con spessore variabile. Tali depositi vengono sostanzialmente ricondotti a due unità: una prima (1. Unità alluvionale attuale), più superficiale, corrispondente alle alluvioni attuali e recenti, sabbioso-limose e ciottolose, di spessore variabile da circa 2 m (S5) a circa 4 m (S6), caratterizzata da interdigitazioni fra termini a diversa granulometria; una seconda (2. Unità limo-argillosa), sottostante, costituisce un deposito lentiforme di limo argilloso marrone, allungato parallelamente all'alveo, il cui asse di massimo spessore è leggermente spostato verso la sinistra idrografica rispetto all'asse dell'alveo di magra (in S5 raggiunge i 7 m circa).

Dalla ricostruzione dei rapporti stratigrafici, raffigurata nelle sezioni AA' e BB', si può ricostruire nel modo seguente la successione evolutiva nell'area dello sbarramento. In una prima fase, in cui la posizione del livello di base relativo del corso d'acqua era inferiore all'attuale, l'asse del paleoalveo del Riu di Bavenu si è andato impostando in una posizione decisamente spostata verso la sinistra idrografica, esercitando una sensibile erosione di sponda ed incidendo l'unità litoide di base; successivamente, un'inversione di tendenza, con innalzamento del livello di base relativo, ha determinato la deposizione di materiale fine in condizioni di scarsa energia; a questa ha fatto seguito una divagazione dell'asse dell'alveo fluviale verso la destra, fino a raggiungere la posizione attuale, accompagnata dall'apporto di materiale più grossolano nelle fasi più recenti.

5.1 Aspetti geotecnici

Di seguito viene fornita una descrizione delle unità direttamente interessate dall'influenza della realizzanda struttura, procedendo dall'alto verso il basso:

• **1. UNITA' ALLUVIONALE ATTUALE**

Questa unità affiora in modo pressoché continuo nell'alveo di piena del rio. Al suo interno sono stati raggruppati diversi termini, omogenei dal punto di vista genetico e del comportamento geotecnico d'insieme. Essi comprendono: depositi ciottolosi elaborati frammisti a matrice limo-argillosa color nocciola, sciolti e di scarsa consistenza; livelli di sabbia grossa limosa, sciolta, mista a ciottoli; limi sabbiosi con ciottoli. Nell'insieme essi si caratterizzano per il grado di addensamento, sempre molto basso, e per l'elevato grado di saturazione, accompagnato dalla costante incidenza di frazione limo-argillosa. Nell'insieme, le proprietà geotecniche dell'unità, pur in mancanza di dati diretti sui parametri di resistenza al taglio, possono essere qualitativamente considerate piuttosto scarse. I terreni appartenenti a tale unità, specie nelle porzioni maggiormente dotate di scheletro ciottoloso, possono peraltro essere impiegati, previa costipazione, quali materiali per riempimento in sostituzione dei sottostanti terreni più scadenti.

• **2. UNITA' LIMO-ARGILLOSA**

Comprende un deposito limo-argilloso color nocciola, piuttosto omogeneo, color marrone, molle o poco consistente, con plasticità piuttosto elevata. A tratti contiene una certa frazione sabbiosa o rari elementi ghiaiosi. I valori di resistenza al penetrometro tascabile, a tratti prossimi a 100 kPa (1 kg/cm²), con frequenti intervalli pari a 50 kPa (0.5

kg/cm²) sono sintomatici di un comportamento scadente sotto il profilo geotecnico. In particolare il terreno, più che per i bassi valori in termini di resistenza al taglio, agevolmente ovviabili vista la profondità, si distingue per un comportamento edometrico prevedibilmente pessimo, con valori di modulo edometrico prossimo ai 2000 kPa (20 kg/cm²). Valori di tale entità, uniti allo spessore considerevole del deposito (7m in S5) e alle modalità di propagazione del sovraccarico al di sotto dell'opera in terra, sono capaci di consentire l'insorgere di cedimenti di entità non tollerabile dall'opera in progetto. Tali cedimenti, inoltre, sarebbero di tipo differenziale, dato lo spessore variabile del deposito. Si sconsiglia, sulla base di quanto esposto, di utilizzare tal quale l'unità in oggetto ai fini della trasmissione dei sovraccarichi.

3. UNITA' LITOIDE DI BASE

E' costituita dai terreni in facies piroclastica, in parte con caratteri di deposizione secondaria, costituiti da alternanze di livelli granulari (tufi a granaglie) e bancate conglomeratiche (puddinghe) eterogenee. L'aspetto della compagine, ad eccezione di un contenuto spessore di alterazione, è sempre francamente litoide. L'assetto geometrico è suborizzontale. La roccia è interessata da un grado di fratturazione piuttosto basso. Le caratteristiche della compagine, in termini di resistenza alla compressione, la fanno ascrivere alla classe delle rocce a bassa resistenza, sottoclasse rocce molto tenere (< 5 MPa) o tenere (5÷10 MPa) (AGI, 1977). Terreni con queste caratteristiche, infatti, posseggono in genere valori di resistenza alla compressione Rc compresi tra 3 e 7 MPa

(30-70 kg/cm²), resistenza al taglio puro da 1.5 a 4 MPa (15-40 kg/cm²), peso di volume prossimo a 16.5 kN/m³ (1.65 g/cm³). La resistenza stessa, comunque, pare aumentare con la profondità. A conferma di ciò, dati di tomografia sismica ricavati in una precedente indagine indicano, per l'unità in oggetto, valori di velocità delle onde sismiche Vp in prevalenza pari a 1000 m/sec. Nelle porzioni più compatte e alle maggiori profondità si raggiungono valori superiori, pari a 2000, fino a 3000 m/sec. La caratterizzazione della roccia in termini di Indice di Qualità (RQD, Deere) consente di definirla come roccia di qualità da buona a eccellente, essendo stati rilevati di frequente tratti con valori di RQD elevato. Questi corrispondono, prevalentemente, ai tratti inferiori dei fori di sondaggio.

Per quanto esposto l'unità in oggetto possiede ottime proprietà per essere utilizzata quale terreno di fondazione dell'opera in terra in progetto, offrendo valori, sia in termini di capacità portante che di modulo elastico (Modulo di Young) di gran lunga superiori a quelli mobilizzabili.

5.1 Aspetti idrogeologici e permeabilità

Il comportamento idrogeologico dei terreni presenti, in termini di permeabilità, viene preso in considerazione ai fini della valutazione della tenuta idraulica della sezione di sbarramento e del grado di sicurezza nei riguardi della suscettibilità al sifonamento.

Date le radicali differenze litologiche esistenti tra le tipologie di terreni presenti, vengono esaminate separatamente, in tal senso, le caratteristiche dei terreni litoidi e dei terreni sciolti del materasso alluvionale.

1. UNITÀ ALLUVIONALE ATTUALE

Quanto esposto sulle caratteristiche di eterogeneità dei terreni ad essa appartenenti e sui relativi rapporti geometrici, irregolari e caratterizzati da frequenti interdigitazioni, impedisce di considerare omogeneamente l'unità sotto l'aspetto della permeabilità e del comportamento idrogeologico. Le caratteristiche granulometriche medie dei depositi in questione, con la forte incidenza di classi ciottolose e ghiaiose e la densità relativa media del deposito, generalmente bassa, sono peraltro inequivocabili indici di una permeabilità elevata dello stesso. A conferma di ciò si è osservata un'apprezzabile circolazione idrica al suo interno, a costituire la falda di subalveo del rio. I livelli statici si sono infatti stabilizzati nei fori di sondaggio a profondità limitata. Il deposito non è pertanto idoneo a garantire una sufficiente tenuta idraulica nei riguardi dell'invaso.

2. UNITÀ LIMO-ARGILLOSA

Le proprietà granulometriche del deposito, nonostante la sua contenuta consistenza, fanno dedurre una permeabilità dello stesso di entità molto bassa. La sua conformazione geometrica, a sviluppo lentiforme, non continua lateralmente nel sottosuolo della sezione di imposta della diga, non è però tale da garantire una tenuta idraulica continua nei riguardi dell'invaso. Pur essendo il deposito piuttosto omogeneo, esso è inoltre interrotto da livelli più sabbiosi (S5), a permeabilità maggiore.

3. UNITÀ LITOIDE DI BASE

Le proprietà idrauliche della formazione litoide sono state accuratamente accertate attraverso l'esecuzione di n.28 prove di immissione a pressione in foro (Prove Lugeon) di cui si allega l'elaborazione. Per ciascuna prova sono stati riportati il grafico pressioni-assorbimento ed i valori medi rappresentativi dei parametri idraulici per il tratto provato, espressi sia come Unità Lugeon (1 U.L. = 1 l/min./m di tratto provato alla pressione di 10 bar) che come coefficiente di permeabilità equivalente k (cm/sec), calcolato secondo la formalizzazione dell'AGI, 1977:

$$k = \frac{Q}{P_e} * \frac{\gamma_w}{C}$$

Dove:

Q = portata assorbita

P_e = pressione effettiva alla quota di prova

$$C = \text{coefficiente di forma} = 2 \pi D \frac{\sqrt{(L/D)^2 - 1}}{\ln (L/D + \sqrt{(L/D)^2 - 1})}$$

In sintesi si può osservare come, com'era lecito attendersi, si registrino costantemente valori di permeabilità più bassi per i tratti di prova eseguiti nelle porzioni inferiori dei fori di sondaggio, corrispondenti a porzioni più compatte dell'unità di base. Correlando i dati nell'ambito di una sezione trasversale, pertanto, si individua un livello di separazione tra una parte superiore dell'unità di base e una porzione inferiore, decisamente meno permeabile.

La prima mostra costantemente valori medi di permeabilità, espressi in U.L., compresi tra minimi di 3.1 e massimi di 4.2, con valori medi rappresentativi di 3.6, corrispondenti a un coefficiente di permeabilità equivalente compreso tra $k = 2.83 \cdot 10^{-5}$ e $4.14 \cdot 10^{-5}$ (valore medio $k = 3.5 \cdot 10^{-5}$).

La seconda possiede valori di U.L. compresi tra 1.47 e 3.5 (valore medio 2.1), corrispondenti a valori di k variabili compresi tra $1.3 \cdot 10^{-5}$ e $3.0 \cdot 10^{-5}$ (valore medio $k = 2.24 \cdot 10^{-5}$).

6. Conclusioni

Sulla base del quadro geologico d'insieme prima descritto e della modellizzazione del volume significativo ai fini geotecnici ed idrogeologici, è possibile fornire alcune indicazioni utili ai fini progettuali, emergenti dall'analisi critica degli elementi disponibili. Al tempo stesso si conferma, peraltro, come le scelte progettuali definitive competano esclusivamente ai tecnici preposti alla progettazione e alla direzione lavori dell'opera in progetto.

• Problemi di fondazione

Per quanto attiene agli aspetti geotecnici relativi alla capacità portante e alla compressibilità dei terreni di fondazione dello sbarramento, si osserva come gran parte dell'opera (Sezioni trasversali all'asse-diga n.6÷11), insista sull'unità litoide di base

affiorante o posta a debole profondità. Da ciò consegue che, in sostanza, tutta la metà (o quasi) del corpo del rilevato che si sviluppa a destra (idrografica), a partire da pochi metri dall'asse del fiume, può essere addentrata nella formazione di base con scavi di entità minima (max 3 m). La restante metà sinistra, invece, a causa della morfologia del paleoalveo, poggia su terreni di proprietà geotecniche molto scadenti, essendo il *bedrock* presente a profondità notevoli (9 m in S5 e S11). Di ciò si dovrà tener conto in sede progettuale esecutiva, in quanto le proprietà dei depositi suddetti, con particolare riferimento alla lente di limo argilloso, fanno prevedere l'insorgere di cedimenti eccessivi. Si impone, pertanto, la necessità di adottare soluzioni tecniche (bonifica, miglioramento delle caratteristiche dei terreni, strutture di sottofondazione) in grado di ovviare a tale inconveniente. La zona più critica in tal senso appare quella compresa tra i sondaggi S5, S6 ed S11 (sezioni 3÷5), mentre all'estrema sinistra (sezioni 1÷3) è possibile, con scavi di circa 4 m, opportunamente gradonati, raggiungere il *bedrock*.

• ***Problemi di tenuta idraulica***

Come detto, l'unica unità in grado di garantire permeabilità contenute è quella di base. All'interno di questa, peraltro, i risultati delle Prove Lugeon consentono di distinguere una prima coltre più esterna, il cui andamento segue quello del tetto del *bedrock*, dotata di valori di permeabilità maggiori rispetto ai livelli litoidi inferiori. Questi ultimi, infatti, posseggono valori rappresentativi di permeabilità senz'altro più indicati per gli scopi in oggetto. Nel caso in cui venga ritenuta eccessiva la permeabilità dei terreni superficiali, si

STUDIO SERANGELI

Consulenze di Geologia Ambientale ed Applicata

potrà adottare la soluzione di una struttura (taglione) tale da ridurre i gradienti idraulici a monte della zona di imposta.

Strutture di questo tipo consentono, infatti, di aumentare notevolmente il percorso dell'acqua al di sotto del corpo diga fino a creare un vero e proprio schermo a tenuta pressoché completa.

Tale capacità è espressa dal valore dell'efficienza:

$E' = h'/h$ dove h' è la differenza tra le altezze piezometriche immediatamente a monte e a valle del diaframma e h è il carico idraulico totale (l'efficienza è quindi pari al 100 % per un diaframma a tenuta completa).

In tal caso potrà essere opportuno prolungare il diaframma in profondità fin dentro la parte meno permeabile dell'unità litoide di base, realizzando in tal modo un collegamento tra la stessa e il manto sintetico impermeabile del paramento di monte.

Il diaframma potrà essere realizzato attraverso una paratia di pali trivellati ed allineati, collegati in testa con un cordolo di ancoraggio della geomembrana. Per quanto attiene alla scelta dell'interasse tra i singoli pali si può far riferimento a quanto accertato nella precedente indagine, considerando la spaziatura in direzione normale a quella del flusso idrico.

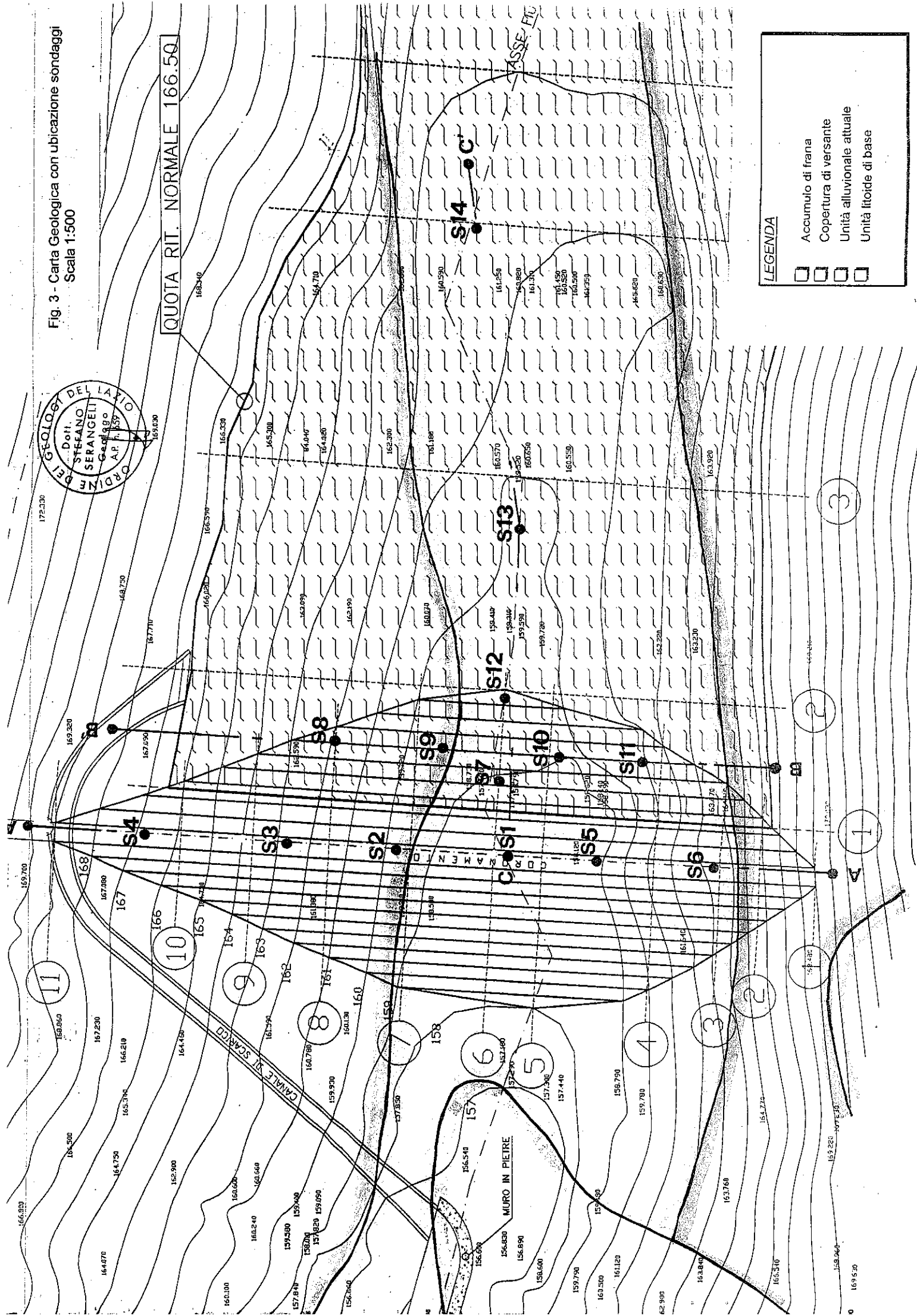
Dott. PAOLA SERANGELI
ORDINE DEI GEOLOGI DEL LAZIO
N. 935

Serangeli Paola



Serangeli

Fig. 3 - Carta Geologica con ubicazione sondaggi
Scala 1:500



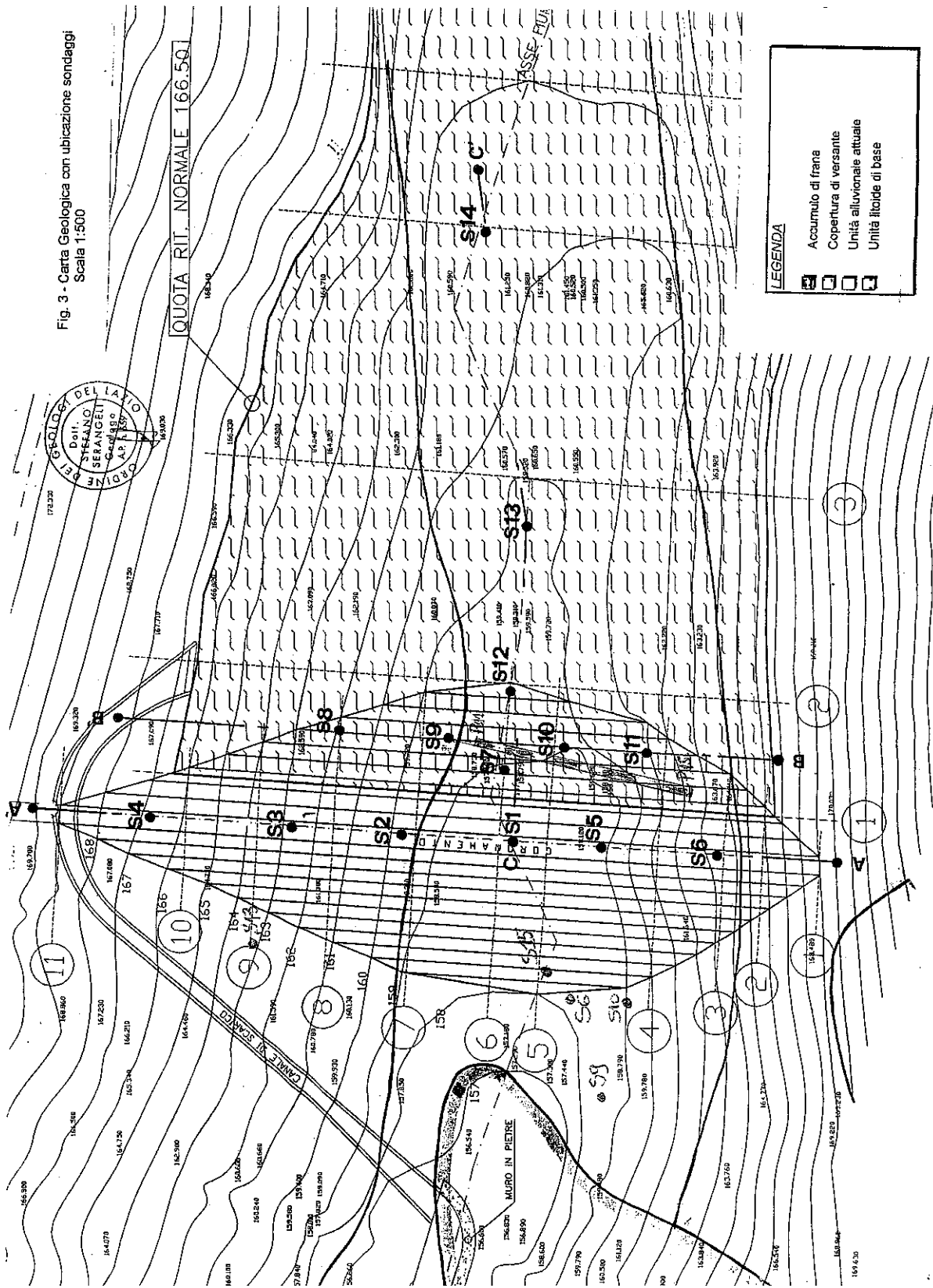
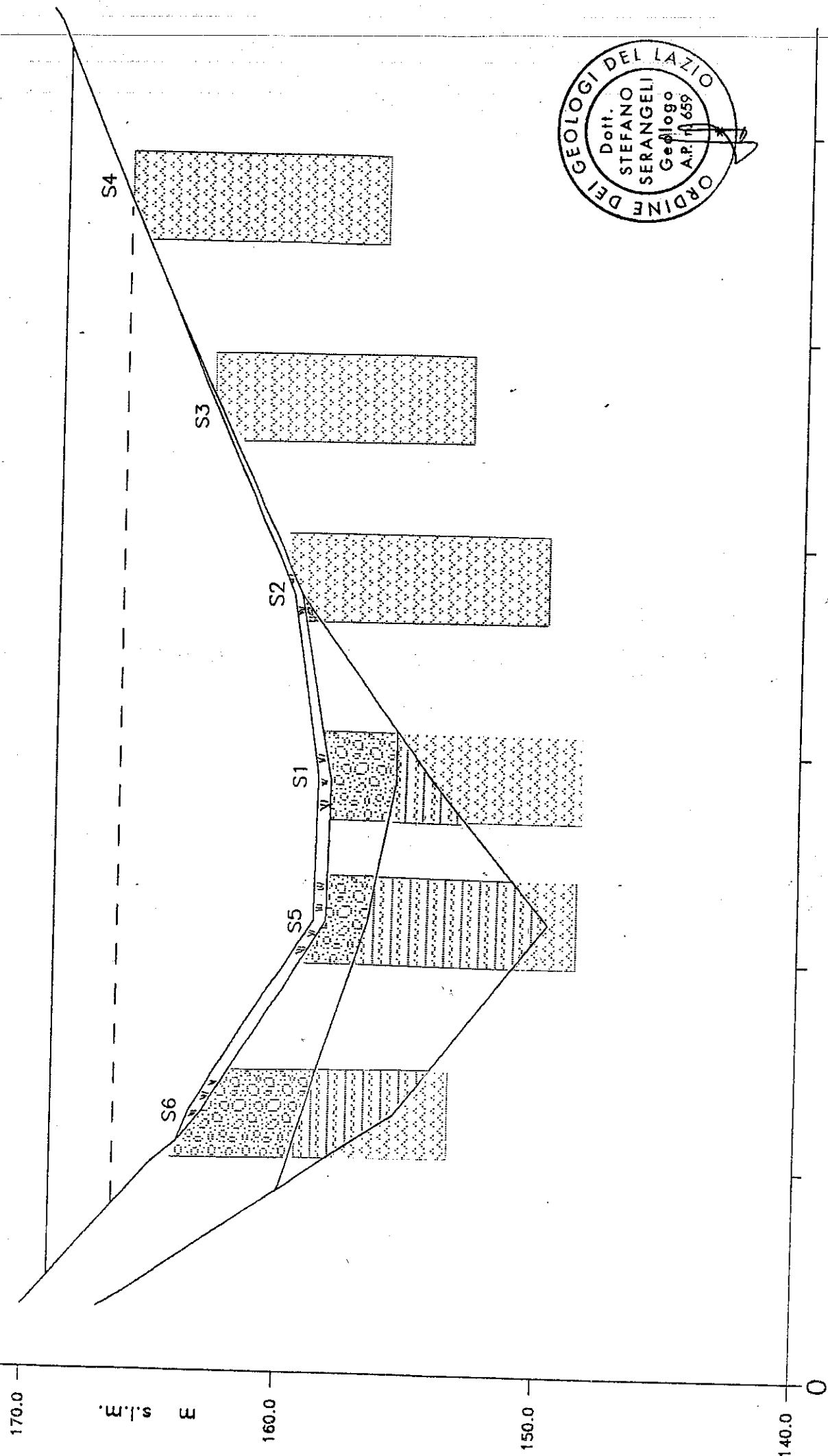


Fig. 3 - Carta Geologica con ubicazione sondaggi
 Scala 1:500

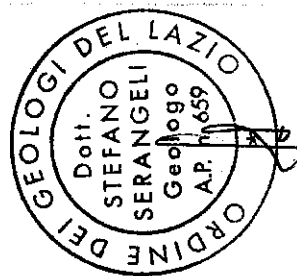
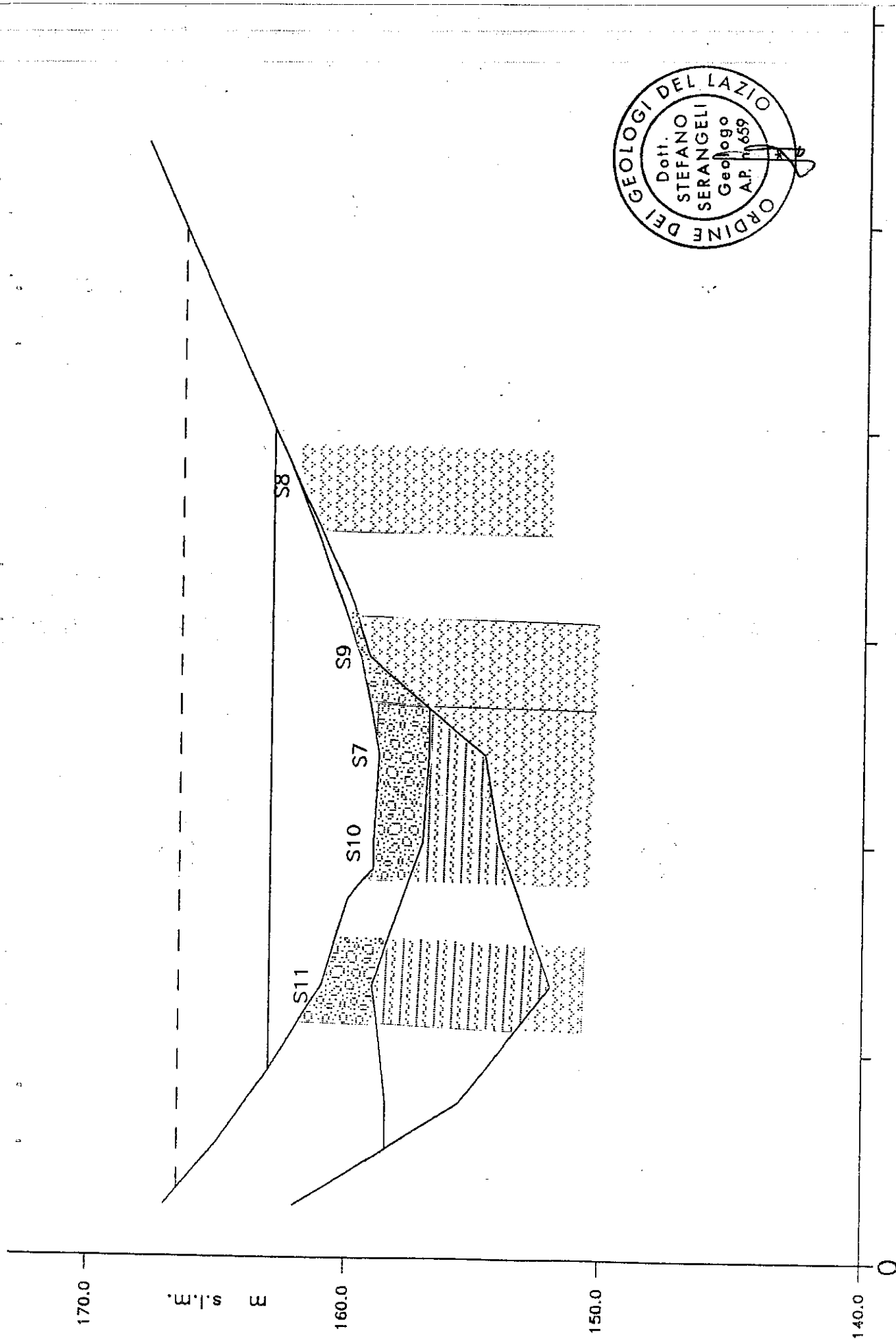
8,00
 91,80
 997,00
 154,80
 36,00
 24,00
 11,00
 3,20



Sezione Geologica AA' (Asse diga)
 Scala 1:500 / 1:200

STUDIO SERANGELI

Consulenze di Geologia Ambientale ed Applicata



Sezione Geologica BB'
Scala 1:500 / 1:200

STUDIO SERANGELI

Consulenza di Geologia Ambientale ed Urbanistica

Quota normale di invaso

m s.l.m.

Corpo Diga

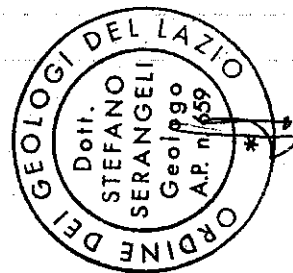
S14

S13

S12

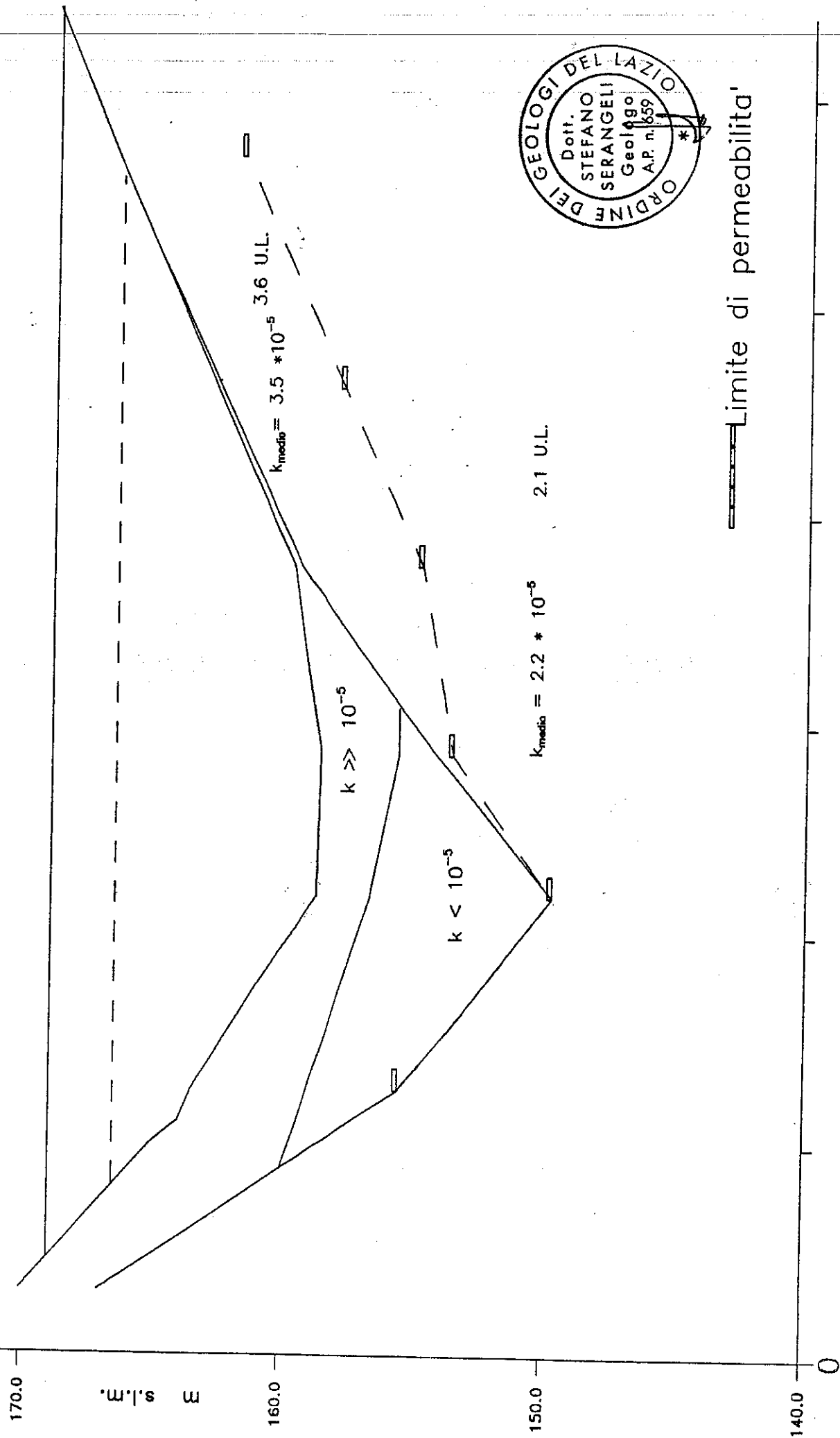
S2

S1



Sezione Geologica CC' (Asse Rio)
Scala 1:500 / 1: 200

STUDIO SERANGELI



Sezione Geologica AA' (Asse diga) – Campi di permeabilità

Scala 1:500 / 1:200

STUDIO SERANGELI

Consulenze di Geologia Ambientale ed Architettonica

STUDIO SERANGELI

Consulenze di Geologia Ambientale ed Applicata

Tabella 1. MODELLIZZAZIONE DEL VOLUME SIGNIFICATIVO DI TERRENO

Schema sintetico dei parametri rappresentativi

UNITÀ	Caratteri generali		Caratteri geotecnici			Caratteri idrogeologici		
	Geometria	Tessitura	γ^* (kN/m ³)	Vp (m/sec)	E* (MPa)	U.L.	k (cm/sec)	
1. Unità alluvionale attuale	Potenza variabile Presenza di falda Estensione discontinua	Ciotoli con limo e argilla, sabbie limose, sciolte	19.0	< 800		—	< 10 ⁻⁵ >> 10	
2. Unità limo-argillosa	Potenza variabile Geometria lentiforme Estensione localizzata	Limo argilloso molle, plastico.	18.5	< 800	2	—	< 10 ⁻⁵	
3. Unità litoidi di base	Potenza elevata Estensione continua Assetto suborizzontale	Roccia in facies piroclastica, poco fratturata	16.5	1000 - 3000	2400	3.6	3.5 * 10 ⁻⁵	2.1 2.2 * 10 ⁻⁵

γ = Peso di volume

E = Modulo edometrico (terre) o elastico (roccia)

Vp = Velocità di propagazione sismica

U.L. = Unità Lugeon

k = Coefficiente di permeabilità

* = Valore non sperimentale



Prova di permeabilità LUGEON

Comune di Villaperuccio (CA)
Costruzione di invaso artificiale

Sondaggio
Prova n. PL1

S1

RISULTATI

Tratto di prova (profondità da b.f., m) 0.0÷5.0
Lunghezza tratto di prova (m) 5.0
Diametro foro (mm) 101

Gradini (bar)	Tempi (min.)	Assorbimenti (l/min./m)	U.L.	k (cm/sec)
3				
6				
10				
MEDIA				

Test non valido per eccessivo assorbimento dei terreni.

Prova di permeabilità LUGEON

Comune di Villaperuccio (CA)
Costruzione di invaso artificiale

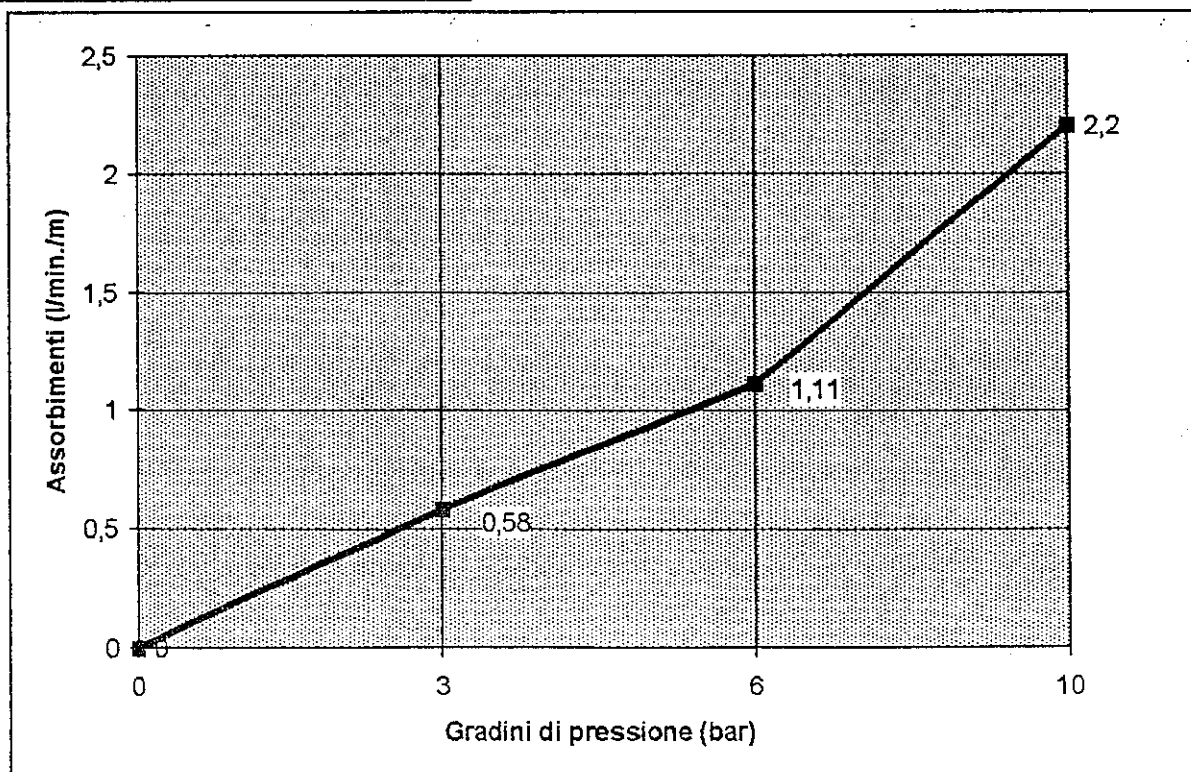
Sondaggio
Prova n. PL2

S1

RISULTATI

Tratto di prova (profondità da b.f., m) 5.0+10.0
Lunghezza tratto di prova (m) 5.0
Diametro foro (mm) 101
Coefficiente di forma (m) 6.827

Gradini (bar)	Tempi (min.)	Assorbimenti (l/min./m)	U.L.	k (cm/sec)
3	10	0.58	1.93	$2.15 \cdot 10^{-5}$
6	10	1.11	1.85	$2.10 \cdot 10^{-5}$
10	10	2.20	2.20	$2.55 \cdot 10^{-5}$
MEDIA			1.93	$2.15 \cdot 10^{-5}$

Grafico pressioni-portate assorbite

Prova di permeabilità LUGEON

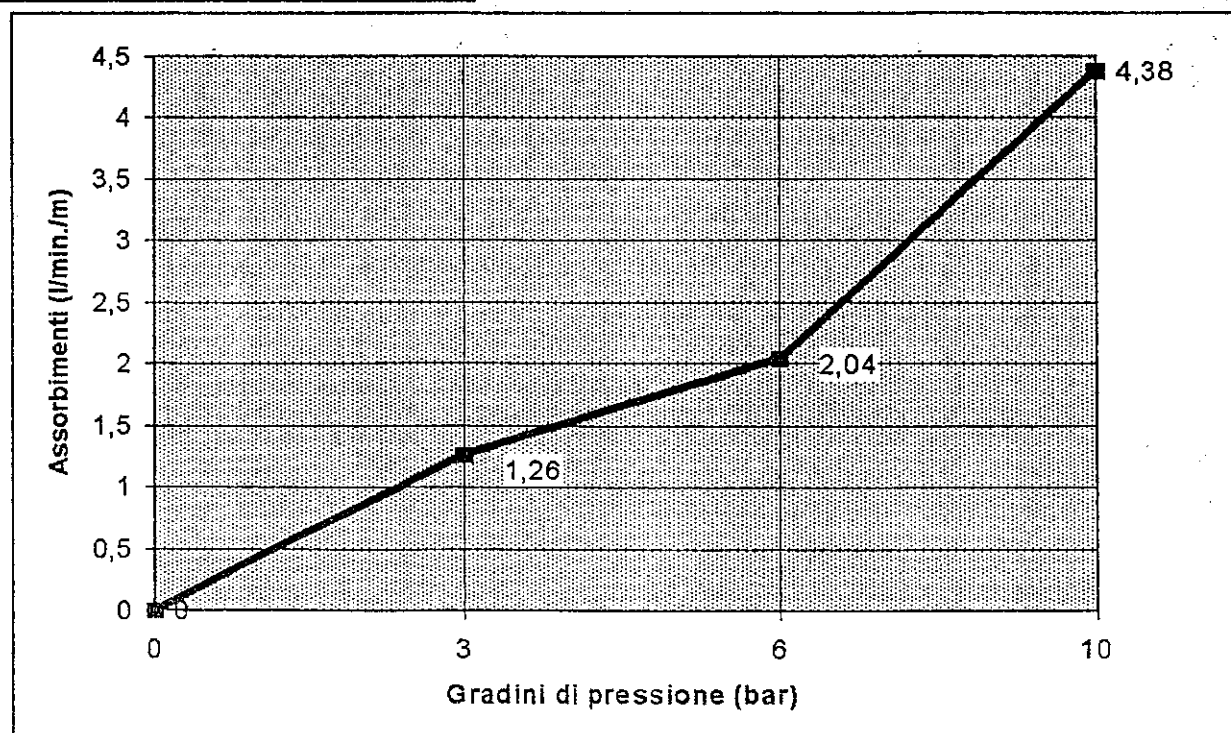
Comune di Villaperuccio (CA)
Costruzione di invaso artificiale

Sondaggio	S2
Prova n. PL3	

RISULTATI

Tratto di prova (profondità da b.f., m)	2.0+5.0
Lunghezza tratto di prova (m)	3.0
Diametro foro (mm)	101
Coefficiente di forma (m)	4.61

Gradini (bar)	Tempi (min.)	Assorbimenti (l/min./m)	U.L.	k (cm/sec)
3	10	1.26	4.2	$4.14 \cdot 10^{-5}$
6	10	2.04	3.4	$3.46 \cdot 10^{-5}$
10	10	4.38	4.38	$4.51 \cdot 10^{-5}$
MEDIA			4.2	$4.14 \cdot 10^{-5}$

Grafico pressioni-portate assorbite

Prova di permeabilità LUGEON

Comune di Villaperuccio (CA)
Costruzione di invaso artificiale

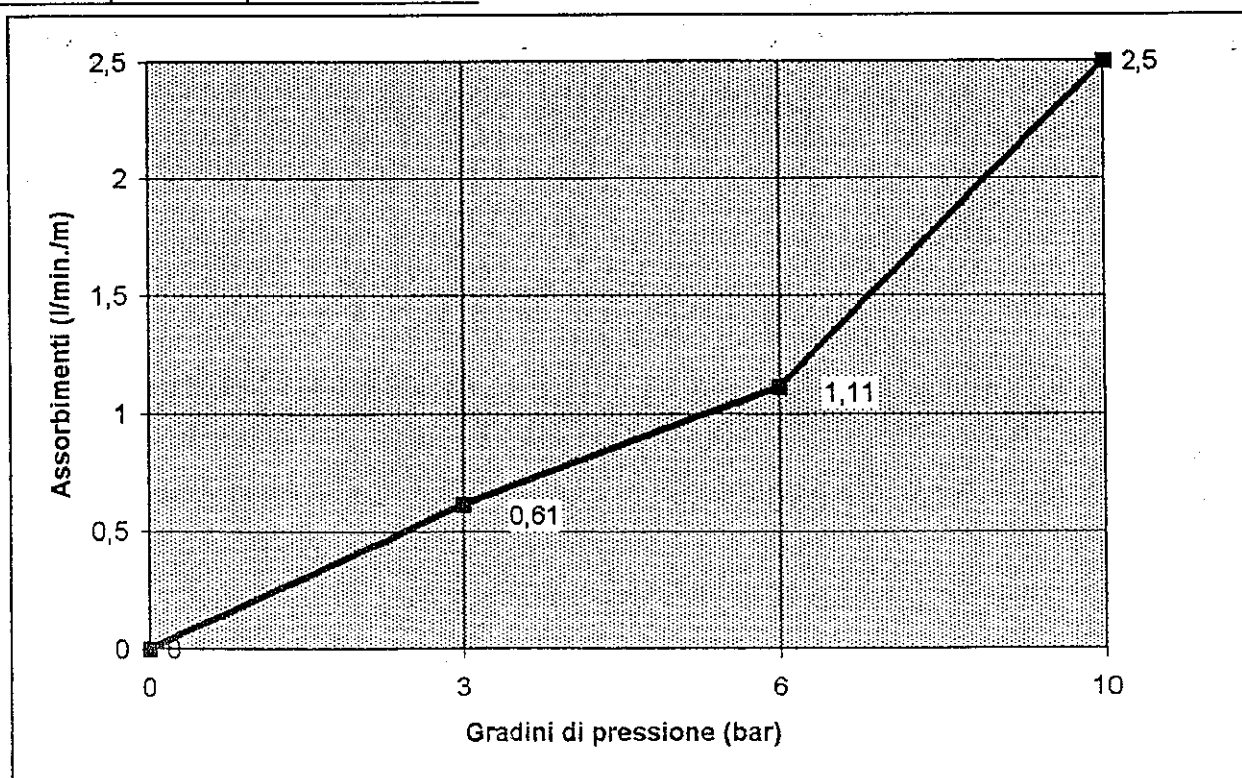
Sondaggio
Prova n. PL4

S2

RISULTATI

Tratto di prova (profondità da b.f., m) 5.0÷10.0
Lunghezza tratto di prova (m) 5.0
Diametro foro (mm) 101
Coefficiente di forma (m) 6.827

Gradini (bar)	Tempi (min.)	Assorbimenti (l/min./m)	U.L.	k (cm/sec)
3	10	0.61	2.03	$2.26 \cdot 10^{-5}$
6	10	1.11	1.85	$2.12 \cdot 10^{-5}$
10	10	2.5	2.5	$2.90 \cdot 10^{-5}$
MEDIA			2.1	$2.43 \cdot 10^{-5}$

Grafico pressioni-portate assorbite

Prova di permeabilità LUGEON

Comune di Villaperuccio (CA)

Costruzione di invaso artificiale

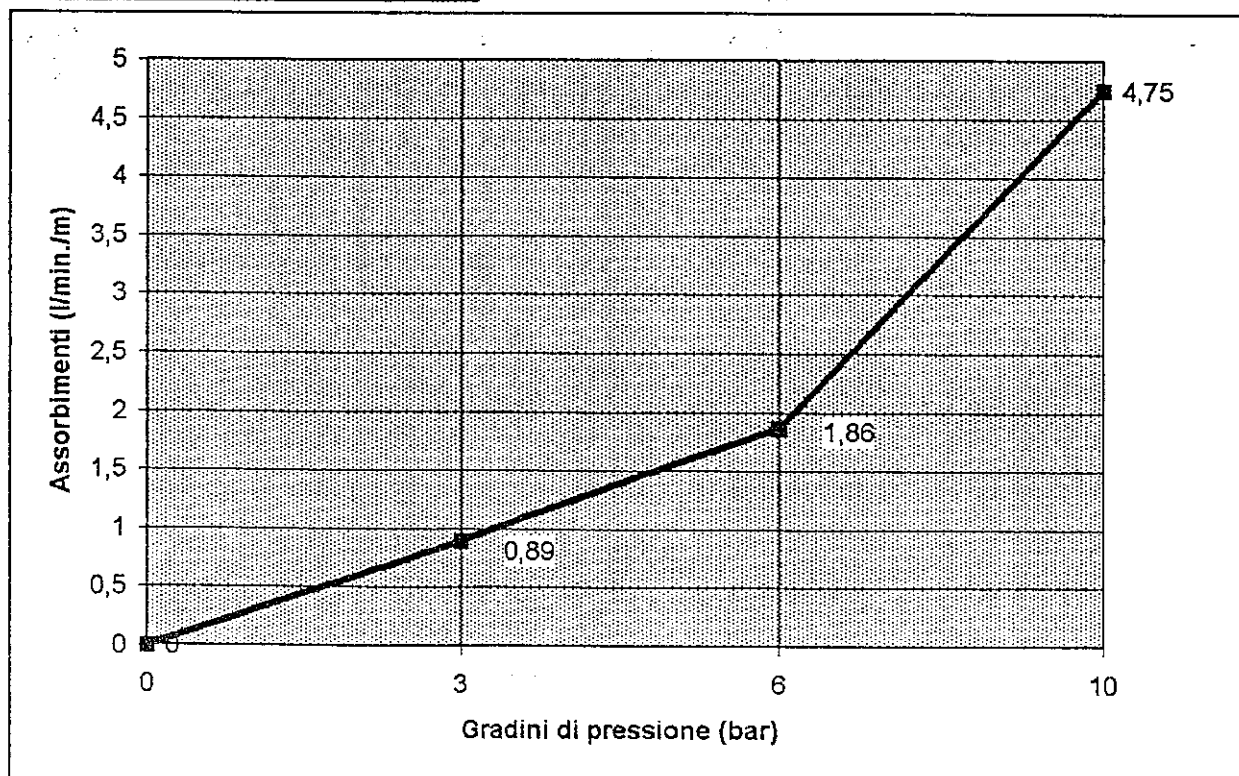
Sondaggio
Prova n. PL5

S3

RISULTATI

Tratto di prova (profondità da b.f., m) 2.0÷5.0
Lunghezza tratto di prova (m) 3.0
Diametro foro (mm) 101
Coefficiente di forma (m) 4.61

Gradini (bar)	Tempi (min.)	Assorbimenti (l/min./m)	U.L.	k (cm/sec)
3	10	0.89	2.97	$2.93 \cdot 10^{-5}$
6	10	1.86	3.1	$3.16 \cdot 10^{-5}$
10	10	4.75	4.75	$5.05 \cdot 10^{-5}$
MEDIA			3.1	$3.16 \cdot 10^{-5}$

Grafico pressioni-portate assorbite

Prova di permeabilità LUGEON

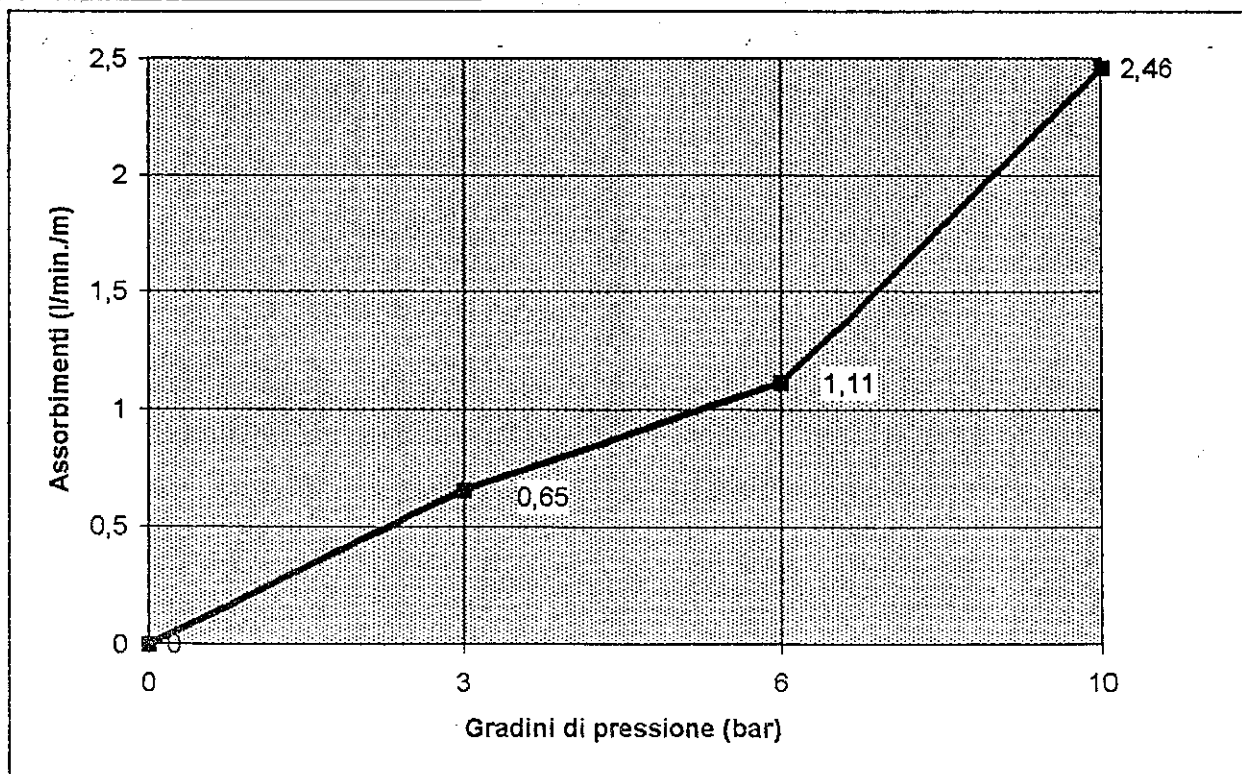
Comune di Villaperuccio (CA)
Costruzione di invaso artificiale

Sondaggio	S3
Prova n. PL6	

RISULTATI

Tratto di prova (profondità da b.f., m)	5.0+10.0
Lunghezza tratto di prova (m)	5.0
Diametro foro (mm)	101
Coefficiente di forma (m)	6.827

Gradini (bar)	Tempi (min.)	Assorbimenti (l/min./m)	U.L.	k (cm/sec)
3	10	0.65	2.17	$2.40 \cdot 10^{-5}$
6	10	1.11	1.85	$2.12 \cdot 10^{-5}$
10	10	2.46	2.46	$2.85 \cdot 10^{-5}$
MEDIA			2.2	$2.55 \cdot 10^{-5}$

Grafico pressioni-portate assorbite

Prova di permeabilità LUGEON

Comune di Villaperuccio (CA)
Costruzione di invaso artificiale

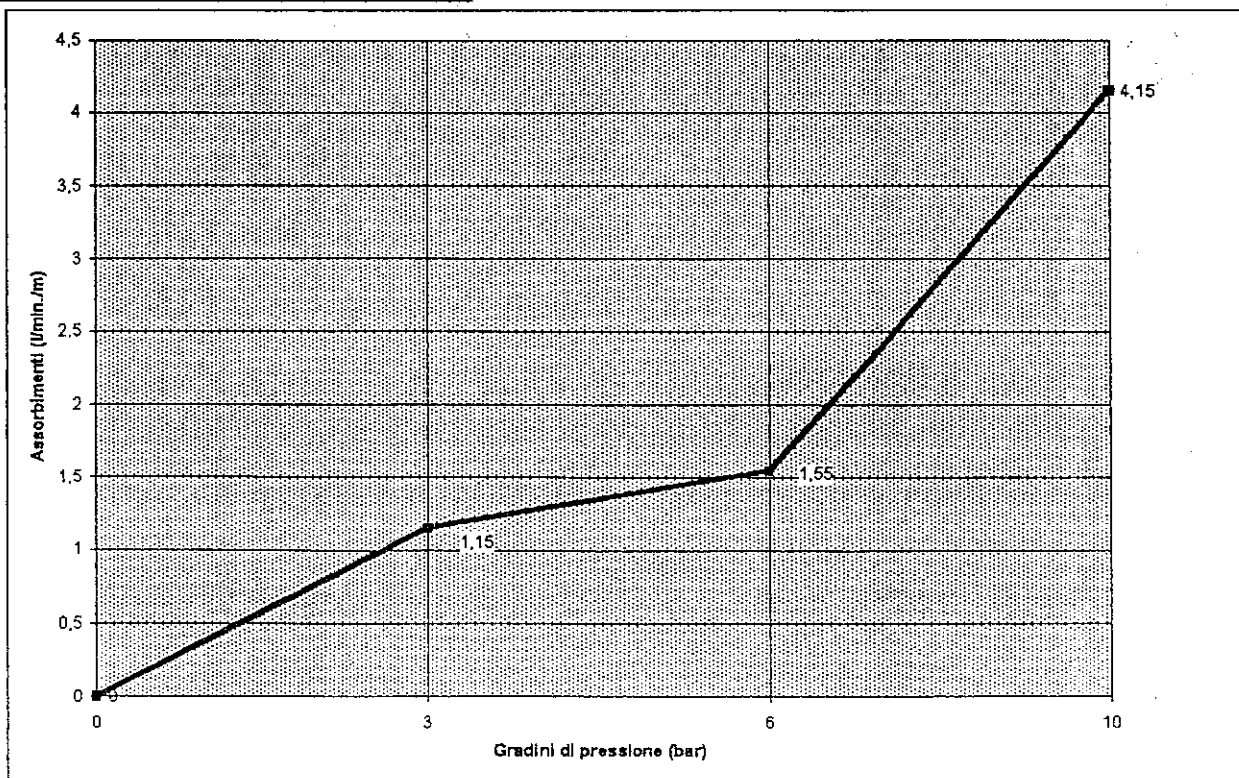
Sondaggio
Prova n. PL7

S4

RISULTATI

Tratto di prova (profondità da b.f., m) 2.0+5.0
Lunghezza tratto di prova (m) 3.0
Diametro foro (mm) 101
Coefficiente di forma (m) 4.61

Gradini (bar)	Tempi (min.)	Assorbimenti (l/min./m)	U.L.	k (cm/sec)
3	10	1.15	3.83	$3.78 \cdot 10^{-5}$
6	10	1.55	2.58	$2.63 \cdot 10^{-5}$
10	10	4.15	4.15	$4.27 \cdot 10^{-5}$
MEDIA			3.9	$4.02 \cdot 10^{-5}$

Grafico pressioni-portate assorbite

Prova di permeabilità LUGEON

Comune di Villaperuccio (CA)
Costruzione di invaso artificiale

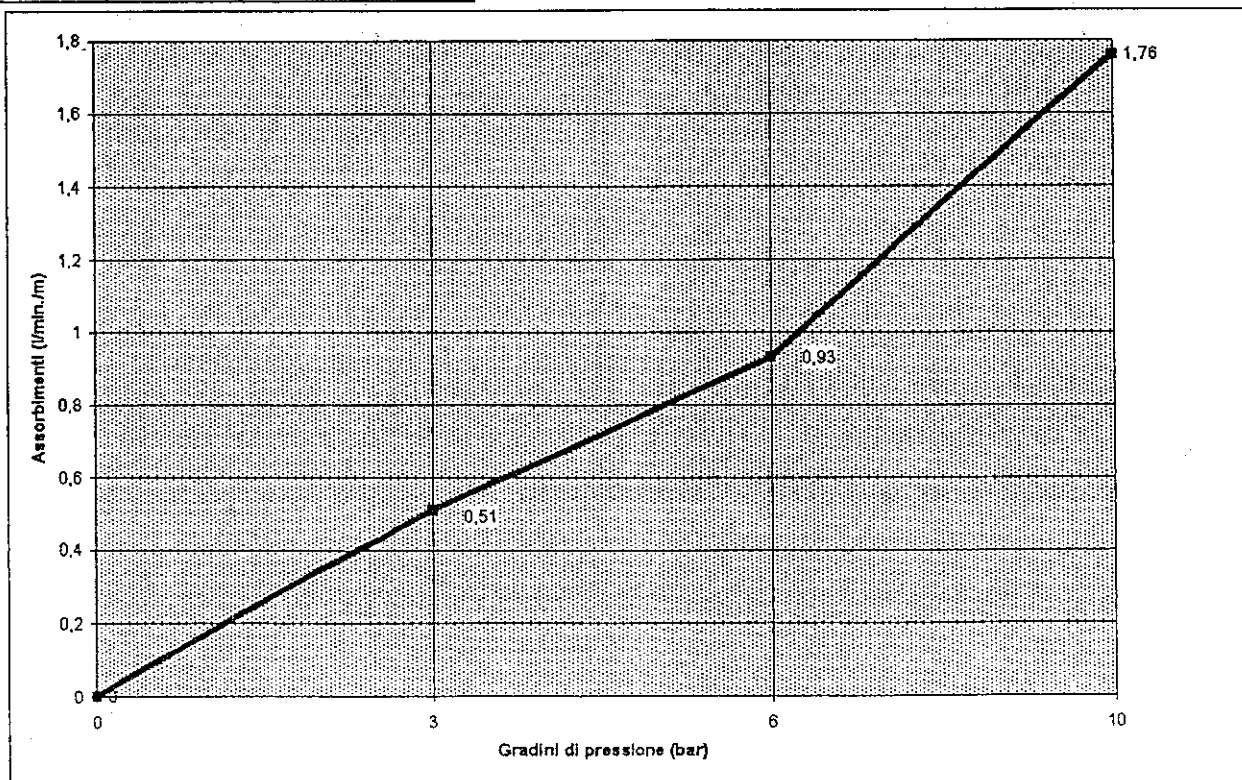
Sondaggio
Prova n. PL8

S4

RISULTATI

Tratto di prova (profondità da b.f., m) 5.0+10.0
Lunghezza tratto di prova (m) 5.0
Diametro foro (mm) 101
Coefficiente di forma (m) 6.827

Gradini (bar)	Tempi (min.)	Assorbimenti (l/min./m)	U.L.	k (cm/sec)
3	10	0.51	1.7	$1.89 \cdot 10^{-5}$
6	10	0.93	1.55	$1.77 \cdot 10^{-5}$
10	10	1.76	1.76	$2.04 \cdot 10^{-5}$
MEDIA			1.76	$2.04 \cdot 10^{-5}$

Grafico pressioni-portate assorbite

STUDIO SERANGELI

Consulenze di Geologia Ambientale ed Applicata

Prova di permeabilità LUGEON

Comune di Villaperuccio (CA)
Costruzione di invaso artificiale

Sondaggio	S5
Prova n. PL9	

RISULTATI				
Tratto di prova (profondità da b.f., m)		0.0÷9.0		
Lunghezza tratto di prova (m)		9.0		
Diametro foro (mm)		101		
Coefficiente di forma (m)		10.90		
Gradini (bar)	Tempi (min.)	Assorbimenti (l/min./m)	U.L.	k (cm/sec)
3				
6				
10				
MEDIA				

Test non valido per eccessivo assorbimento dei terreni.



Prova di permeabilità LUGEON

Comune di Villaperuccio (CA)
Costruzione di invaso artificiale

Sondaggio
Prova n. PL21

S11

RISULTATI

Tratto di prova (profondità da b.f., m)	2.0+8.50
Lunghezza tratto di prova (m)	6.50
Diametro foro (mm)	101
Coefficiente di forma (m)	8.40

Gradini (bar)	Tempi (min.)	Assorbimenti (l/min./m)	U.L.	k (cm/sec)
3				
6				
10				
MEDIA				

Test non valido per eccessivo assorbimento dei terreni.

[Handwritten signature]

Prova di permeabilità LUGEON

Comune di Villaperuccio (CA)
Costruzione di invaso artificiale

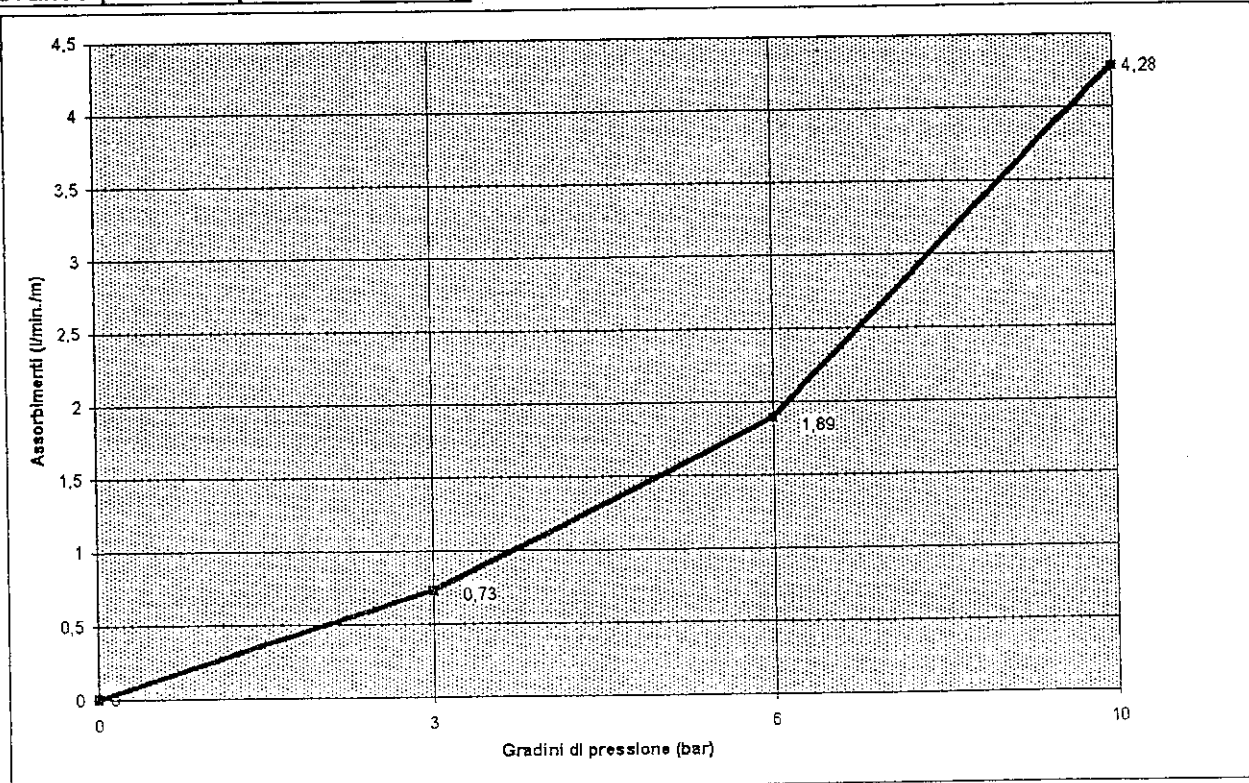
Sondaggio
Prova n. PL22

S11

RISULTATI

Tratto di prova (profondità da b.f., m) 8.50÷10.0
Lunghezza tratto di prova (m) 1.50
Diametro foro (mm) 101
Coefficiente di forma (m) 2.77

Gradini (bar)	Tempi (min.)	Assorbimenti (l/min./m)	U.L.	k (cm/sec)
3	10	0.73	2.43	$2.19 \cdot 10^{-5}$
6	10	1.89	3.15	$2.91 \cdot 10^{-5}$
10	10	4.28	4.28	$3.83 \cdot 10^{-5}$
MEDIA			3.5	$3.0 \cdot 10^{-5}$

Grafico pressioni-portate assorbite

Prova di permeabilità LUGEON

Comune di Villaperuccio (CA)
Costruzione di invaso artificiale

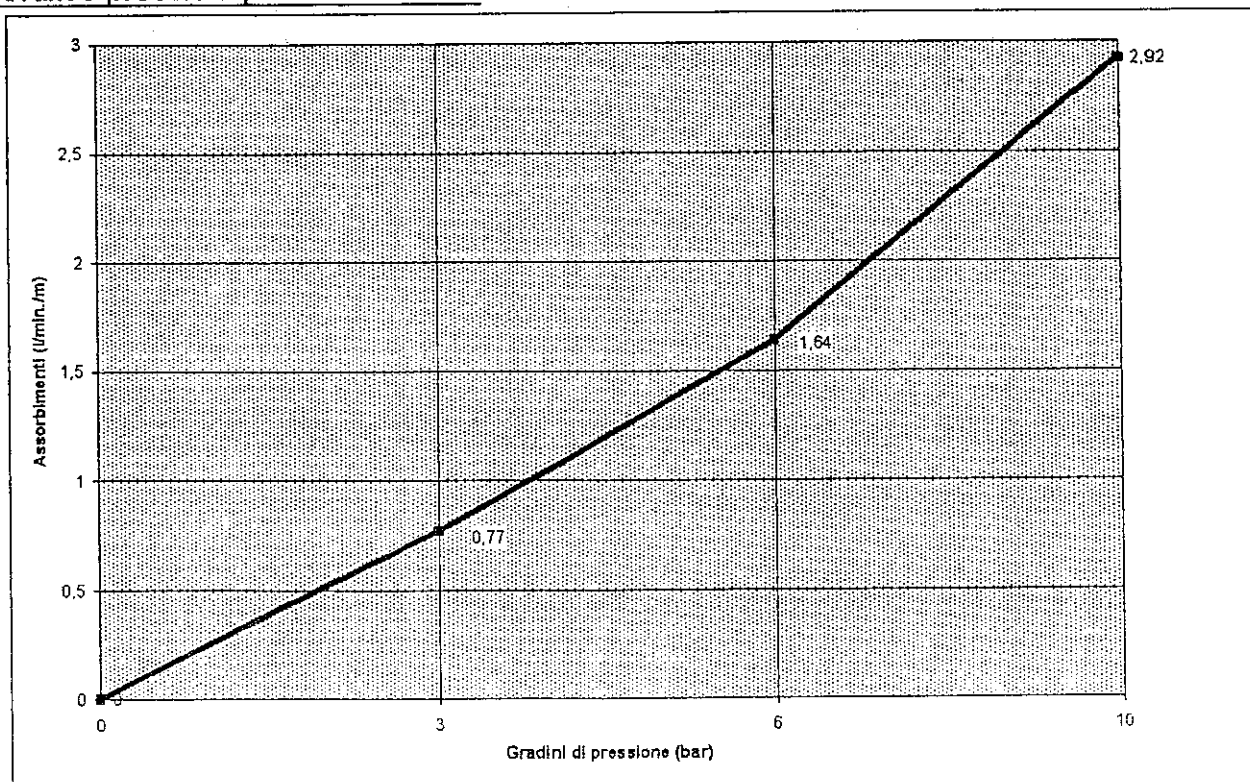
Sondaggio
Prova n. PL23

S12

RISULTATI

Tratto di prova (profondità da b.f., m) 3.0÷5.0
Lunghezza tratto di prova (m) 2.0
Diametro foro (mm) 101
Coefficiente di forma (m) 3.41

Gradini (bar)	Tempi (min.)	Assorbimenti (l/min./m)	U.L.	k (cm/sec)
3	10	0.77	2.57	$2.40 \cdot 10^{-5}$
6	10	1.64	2.73	$2.60 \cdot 10^{-5}$
10	10	2.92	2.92	$2.83 \cdot 10^{-5}$
MEDIA			2.92	$2.83 \cdot 10^{-5}$

Grafico pressioni-portate assorbite

Prova di permeabilità LUGEON

Comune di Villaperuccio (CA)
Costruzione di invaso artificiale

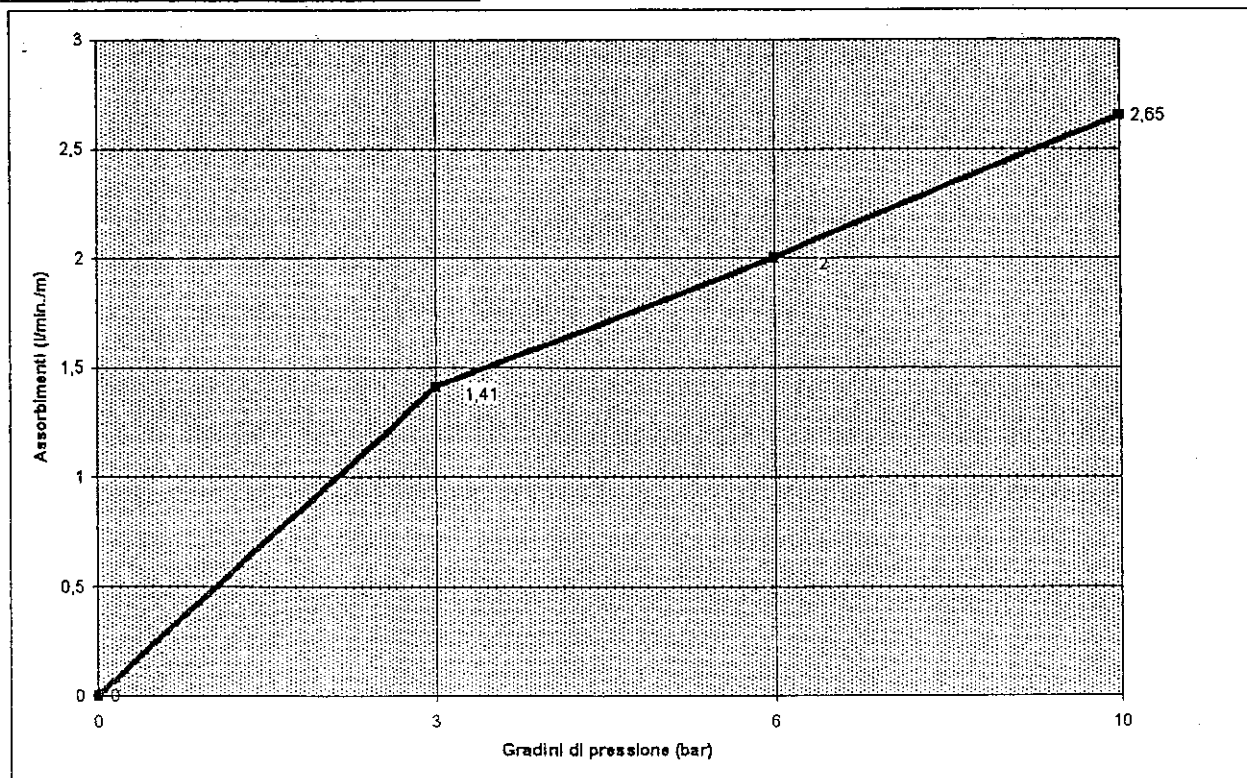
Sondaggio
Prova n. PL10

S5

RISULTATI

Tratto di prova (profondità da b.f., m) 9.0÷10.0
Lunghezza tratto di prova (m) 1.0
Diametro foro (mm) 101
Coefficiente di forma (m) 2.10

Gradini (bar)	Tempi (min.)	Assorbimenti (l/min./m)	U.L.	k (cm/sec)
3	10	1.41	4.7	$3.39 \cdot 10^{-5}$
6	10	2.0	3.3	$2.48 \cdot 10^{-5}$
10	10	2.65	2.65	$2.0 \cdot 10^{-5}$
MEDIA			3.3	$2.48 \cdot 10^{-5}$

Grafico pressioni-portate assorbite

Prova di permeabilità LUGEON

Comune di Villaperuccio (CA)
Costruzione di invaso artificiale

Sondaggio
Prova n. PL11

S6

RISULTATI

Tratto di prova (profondità da b.f., m)	2.0÷8.0
Lunghezza tratto di prova (m)	6.0
Diametro foro (mm)	101
Coefficiente di forma (m)	7.89

Gradini (bar)	Tempi (min.)	Assorbimenti (l/min./m)	U.L.	k (cm/sec)
3				
6				
10				
MEDIA				

Test non valido per eccessivo assorbimento dei terreni.



Prova di permeabilità LUGEON

Comune di Villaperuccio (CA)

Costruzione di invaso artificiale

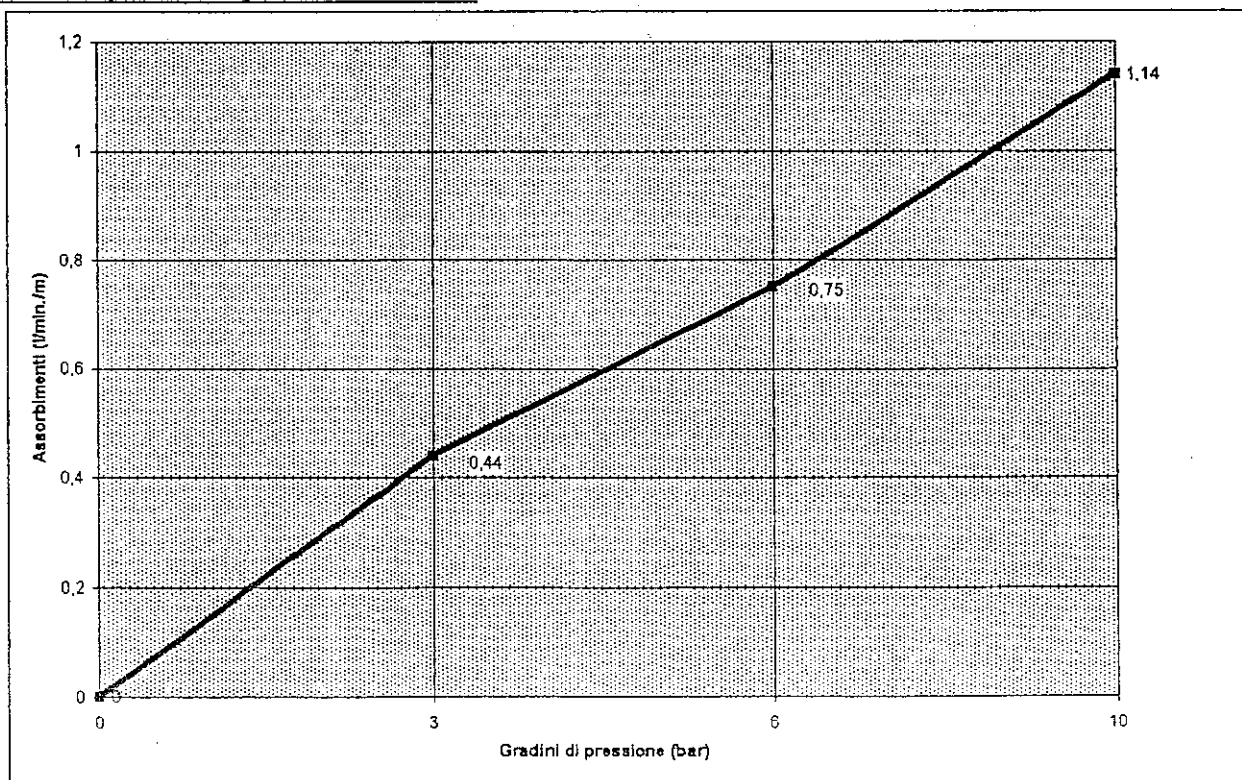
Sondaggio
Prova n. PL12
Δ P

S6

RISULTATI

Tratto di prova (profondità da b.f., m) 8.0÷10.0
Lunghezza tratto di prova (m) 2.0
Diametro foro (mm) 101
Coefficiente di forma (m) 3.41

Gradini (bar)	Tempi (min.)	Assorbimenti (l/min./m)	U.L.	k (cm/sec)
3	10	0.44	1.47	$1.3 \cdot 10^{-5}$
6	10	0.75	1.25	$1.15 \cdot 10^{-5}$
10	10	1.14	1.14	$1.06 \cdot 10^{-5}$
MEDIA			1.47	$1.3 \cdot 10^{-5}$

Grafico pressioni-portate assorbite

STUDIO SERANGELI

Consulenze di Geologia Ambientale ed Applicata

Prova di permeabilità LUGEON

Comune di Villaperuccio (CA)
Costruzione di invaso artificiale

Sondaggio
Prova n. PL13

S7

RISULTATI

Tratto di prova (profondità da b.f., m)	2.0÷5.0
Lunghezza tratto di prova (m)	3.0
Diametro foro (mm)	101
Coefficiente di forma (m)	4.61

Gradini (bar)	Tempi (min.)	Assorbimenti (l/min./m)	U.L.	k (cm/sec)
3				
6				
10				
MEDIA				

Test non valido per eccessivo assorbimento dei terreni.

11

Prova di permeabilità LUGEON

Comune di Villaperuccio (CA)
Costruzione di invaso artificiale

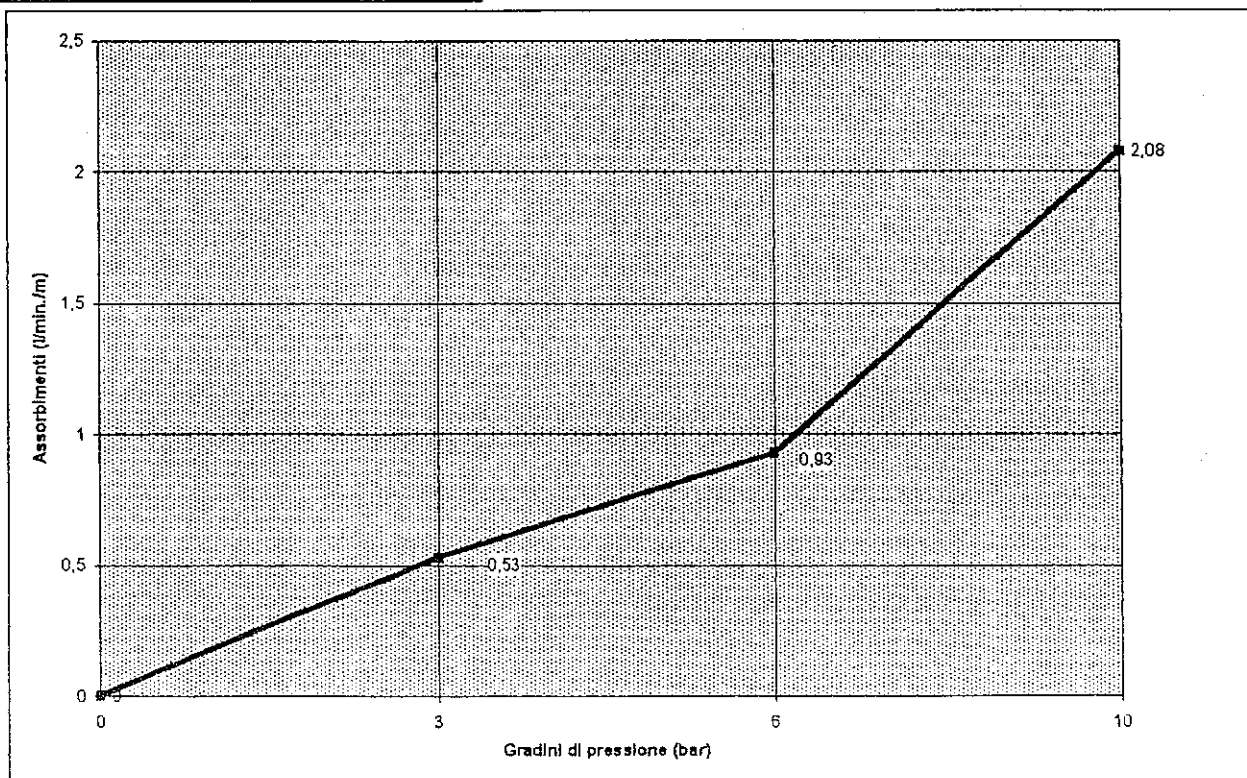
Sondaggio
Prova n. PL14

S7

RISULTATI

Tratto di prova (profondità da b.f., m) 5.0÷10.0
Lunghezza tratto di prova (m) 5.0
Diametro foro (mm) 101
Coefficiente di forma (m) 6.827

Gradini (bar)	Tempi (min.)	Assorbimenti (l/min./m)	U.L.	k (cm/sec)
3	10	0.53	1.77	$1.96 \cdot 10^{-5}$
6	10	0.93	1.55	$1.77 \cdot 10^{-5}$
10	10	2.08	2.08	$2.41 \cdot 10^{-5}$
MEDIA			1.77	$1.96 \cdot 10^{-5}$

Grafico pressioni-portate assorbite

Prova di permeabilità LUGEON

Comune di Villaperuccio (CA)
Costruzione di invaso artificiale

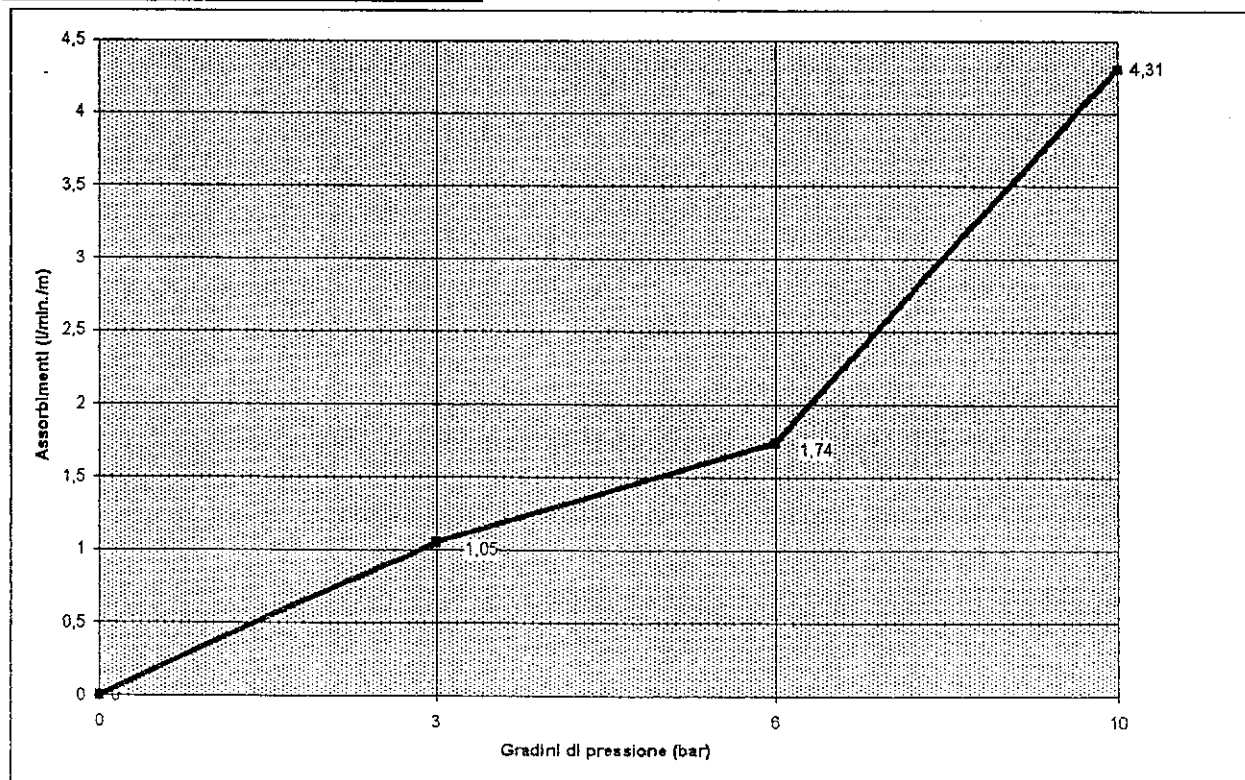
Sondaggio
Prova n. PL15

S8

RISULTATI

Tratto di prova (profondità da b.f., m) 2.0÷5.0
Lunghezza tratto di prova (m) 3.0
Diametro foro (mm) 101
Coefficiente di forma (m) 4.61

Gradini (bar)	Tempi (min.)	Assorbimenti (l/min./m)	U.L.	k (cm/sec)
3	10	1.05	3.5	$3.45 \cdot 10^{-5}$
6	10	1.74	2.9	$2.95 \cdot 10^{-5}$
10	10	4.31	4.31	$4.44 \cdot 10^{-5}$
MEDIA			3.5	$3.45 \cdot 10^{-5}$

Grafico pressioni-portate assorbite

Prova di permeabilità LUGEON

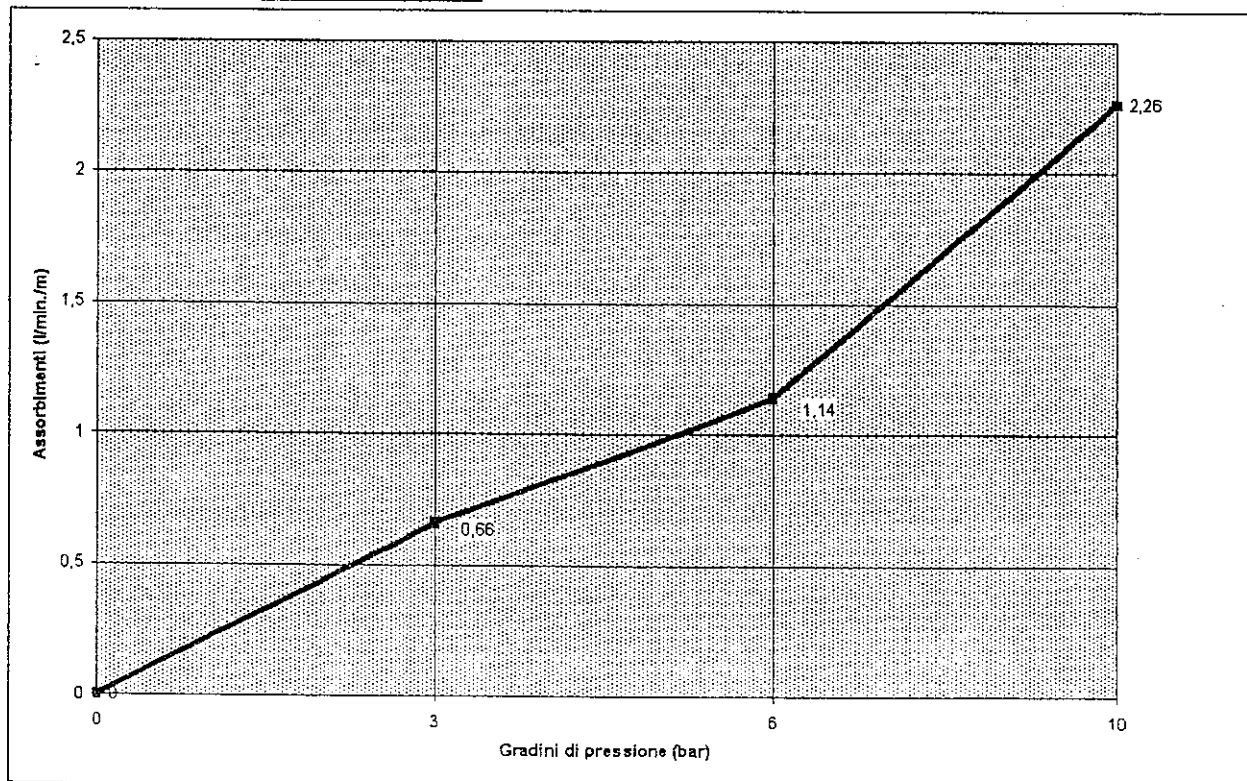
Comune di Villaperuccio (CA)
Costruzione di invaso artificiale

Sondaggio S8
Prova n. PL16

RISULTATI

Tratto di prova (profondità da b.f., m) 5.0÷10.0
Lunghezza tratto di prova (m) 5.0
Diametro foro (mm) 101
Coefficiente di forma (m) 6.827

Gradini (bar)	Tempi (min.)	Assorbimenti (l/min./m)	U.L.	k (cm/sec)
3	10	0.66	2.2	$2.44 \cdot 10^{-5}$
6	10	1.14	1.9	$2.17 \cdot 10^{-5}$
10	10	2.26	2.26	$2.62 \cdot 10^{-5}$
MEDIA			2.26	$2.62 \cdot 10^{-5}$

Grafico pressioni-portate assorbite

Prova di permeabilità LUGEON

Comune di Villaperuccio (CA)
Costruzione di invaso artificiale

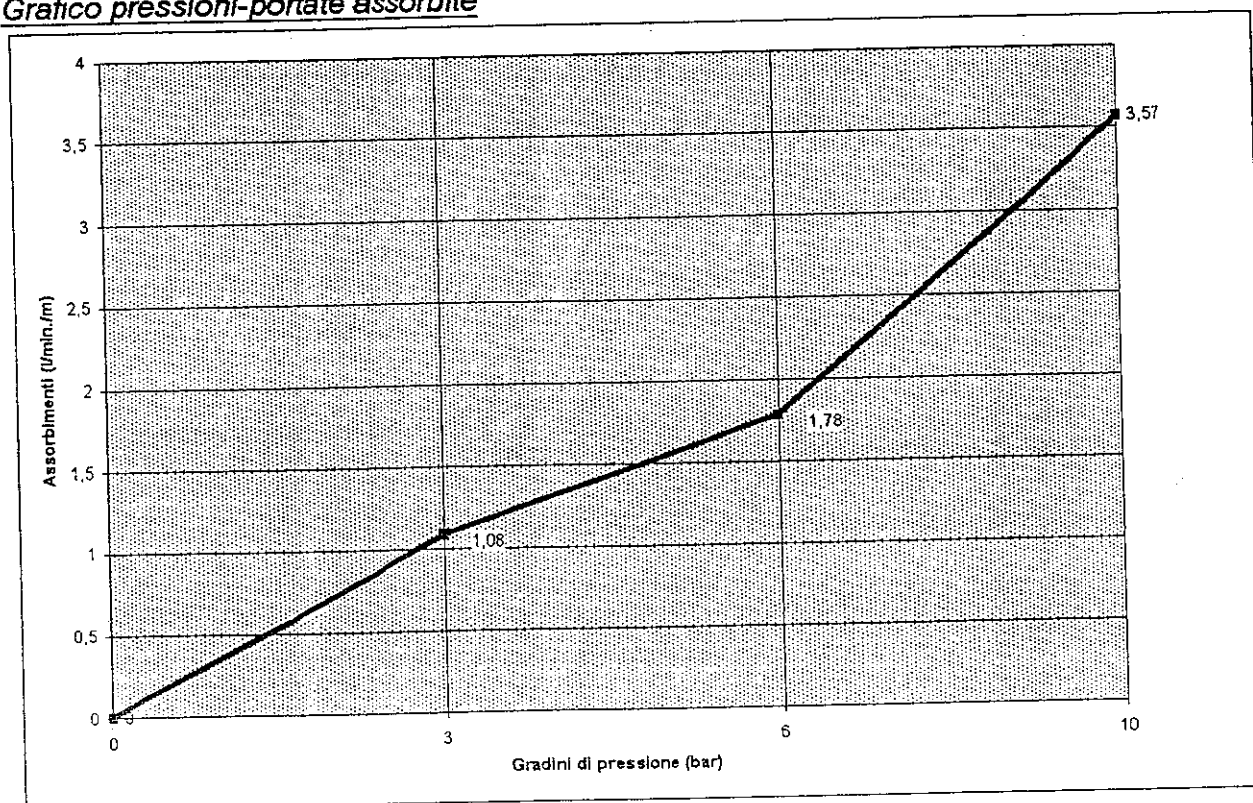
Sondaggio
Prova n. PL17

S9

RISULTATI

Tratto di prova (profondità da b.f., m) 2.0÷5.0
Lunghezza tratto di prova (m) 3.0
Diametro foro (mm) 101
Coefficiente di forma (m) 4.61

Gradini (bar)	Tempi (min.)	Assorbimenti (l/min./m)	U.L.	k (cm/sec)
3	10	1.08	3.6	$3.55 \cdot 10^{-5}$
6	10	1.78	2.97	$3.02 \cdot 10^{-5}$
10	10	3.57	3.57	$3.68 \cdot 10^{-5}$
MEDIA			3.6	$3.55 \cdot 10^{-5}$

Grafico pressioni-portate assorbite

Prova di permeabilità LUGEON

Comune di Villaperuccio (CA)

Costruzione di invaso artificiale

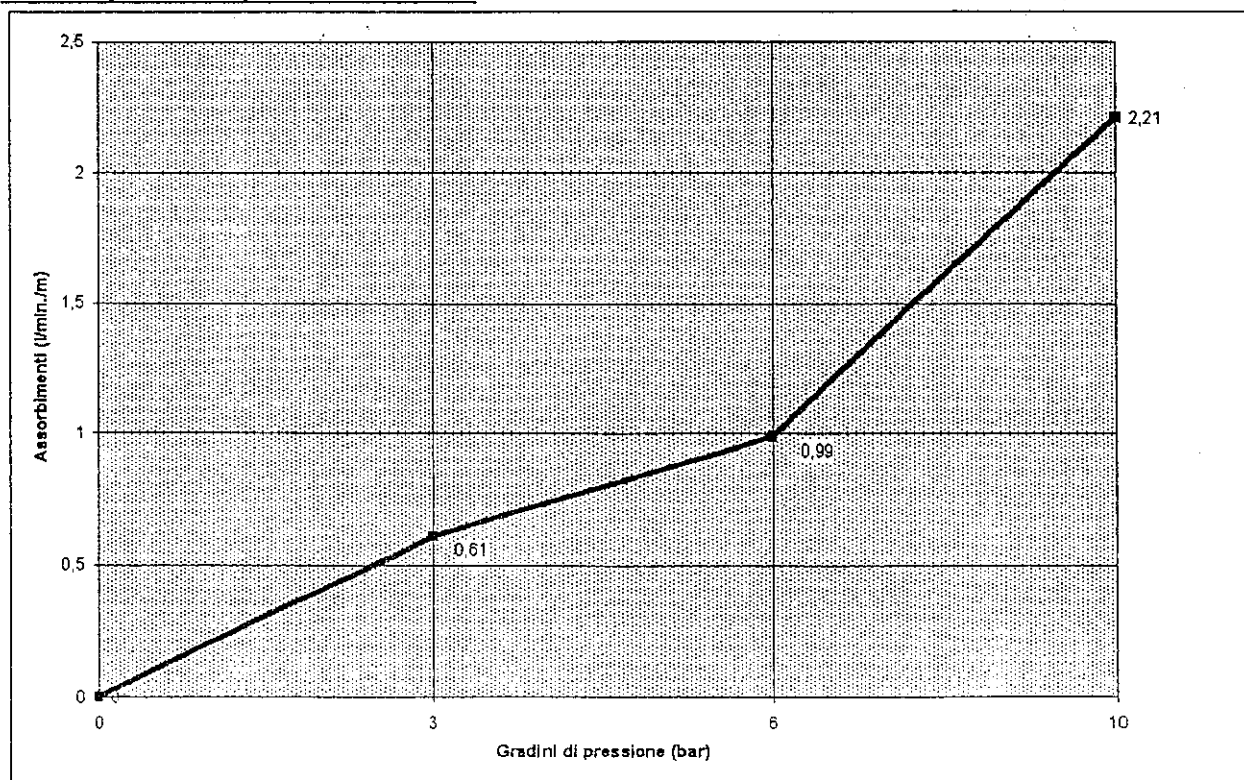
Sondaggio
Prova n. PL18

S9

RISULTATI

Tratto di prova (profondità da b.f., m) 5.0+10.0
Lunghezza tratto di prova (m) 5.0
Diametro foro (mm) 101
Coefficiente di forma (m) 6.827

Gradini (bar)	Tempi (min.)	Assorbimenti (l/min./m)	U.L.	k (cm/sec)
3	10	0.61	2.03	$2.25 \cdot 10^{-5}$
6	10	0.99	1.65	$1.89 \cdot 10^{-5}$
10	10	2.21	2.21	$2.56 \cdot 10^{-5}$
MEDIA			2.21	$2.56 \cdot 10^{-5}$

Grafico pressioni-portate assorbite

Prova di permeabilità LUGEON

Comune di Villaperuccio (CA)
Costruzione di invaso artificiale

Sondaggio	S10
Prova n. PL19	

RISULTATI

Tratto di prova (profondità da b.f., m)	2.0+5.0
Lunghezza tratto di prova (m)	3.0
Diametro foro (mm)	101
Coefficiente di forma (m)	4.61

Gradini (bar)	Tempi (min.)	Assorbimenti (l/min./m)	U.L.	k (cm/sec)
3				
6				
10				
MEDIA				

Test non valido per eccessivo assorbimento dei terreni.

↓

Prova di permeabilità LUGEON

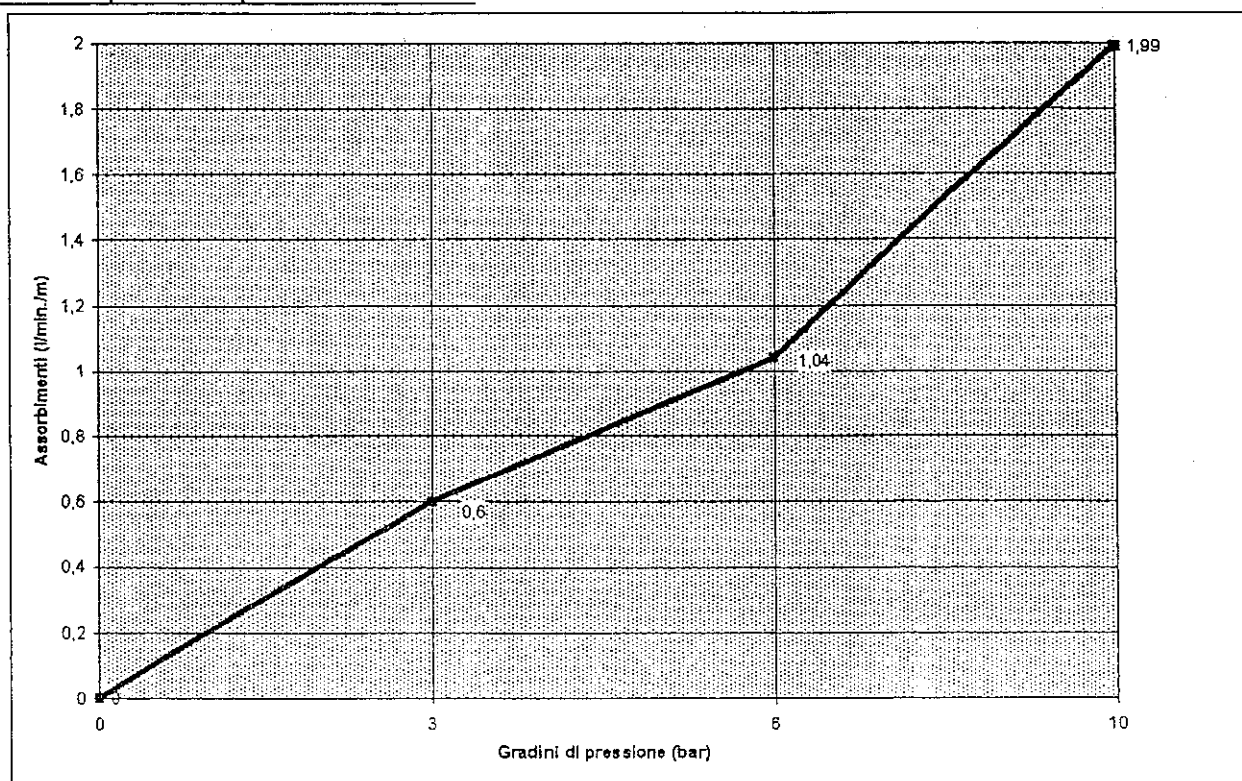
Comune di Villaperuccio (CA)
Costruzione di invaso artificiale

Sondaggio	S10
Prova n. PL20	

RISULTATI

Tratto di prova (profondità da b.f., m)	5.0÷10.0
Lunghezza tratto di prova (m)	5.0
Diametro foro (mm)	101
Coefficiente di forma (m)	6.827

Gradini (bar)	Tempi (min.)	Assorbimenti (l/min./m)	U.L.	k (cm/sec)
3	10	0.6	2.0	$2.22 \cdot 10^{-5}$
6	10	1.04	1.73	$1.98 \cdot 10^{-5}$
10	10	1.99	1.99	$2.31 \cdot 10^{-5}$
MEDIA			2.0	$2.22 \cdot 10^{-5}$

Grafico pressioni-portate assorbite

Prova di permeabilità LUGEON

Comune di Villaperuccio (CA)
Costruzione di invaso artificiale

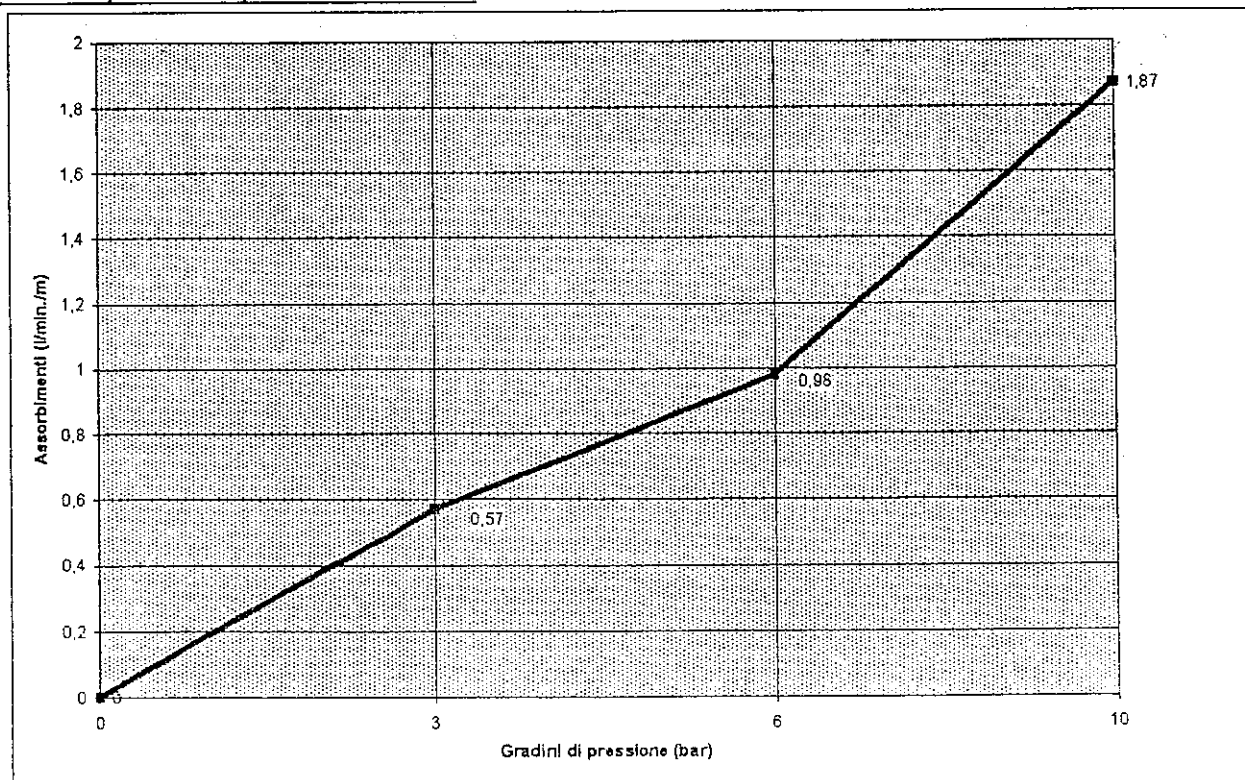
Sondaggio
Prova n. PL24

S12

RISULTATI

Tratto di prova (profondità da b.f., m) 5.0÷10.0
Lunghezza tratto di prova (m) 5.0
Diametro foro (mm) 101
Coefficiente di forma (m) 6.827

Gradini (bar)	Tempi (min.)	Assorbimenti (l/min./m)	U.L.	k (cm/sec)
3	10	0.57	1.9	$2.22 \cdot 10^{-5}$
6	10	0.98	1.63	$1.98 \cdot 10^{-5}$
10	10	1.87	1.87	$2.22 \cdot 10^{-5}$
MEDIA			1.9	$2.22 \cdot 10^{-5}$

Grafico pressioni-portate assorbite

Prova di permeabilità LUGEON

Comune di Villaperuccio (CA)
Costruzione di invaso artificiale

Sondaggio Prova n. PL25	S13
----------------------------	-----

RISULTATI

Tratto di prova (profondità da b.f., m)	2.0÷5.0
Lunghezza tratto di prova (m)	3.0
Diametro foro (mm)	101
Coefficiente di forma (m)	4.61

Gradini (bar)	Tempi (min.)	Assorbimenti (l/min./m)	U.L.	k (cm/sec)
3				
6				
10				
MEDIA				

Test non valido per eccessivo assorbimento dei terreni.

Prova di permeabilità LUGEON

Comune di Villaperuccio (CA)
Costruzione di invaso artificiale

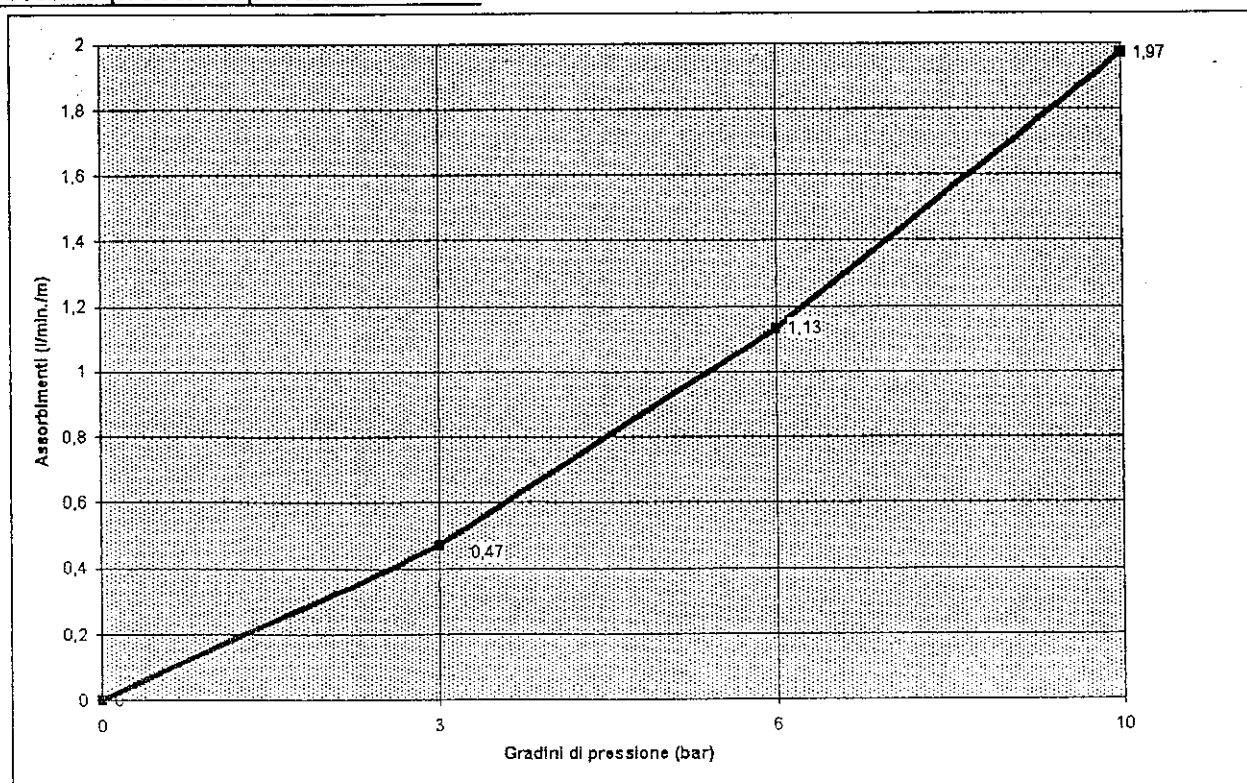
Sondaggio
Prova n. PL26

S13

RISULTATI

Tratto di prova (profondità da b.f., m) 5.0÷10.0
Lunghezza tratto di prova (m) 5.0
Diametro foro (mm) 101
Coefficiente di forma (m) 6.827

Gradini (bar)	Tempi (min.)	Assorbimenti (l/min./m)	U.L.	k (cm/sec)
3	10	0.47	1.57	$1.92 \cdot 10^{-5}$
6	10	1.13	1.88	$2.14 \cdot 10^{-5}$
10	10	1.97	1.97	$2.27 \cdot 10^{-5}$
MEDIA			1.97	$2.27 \cdot 10^{-5}$

Grafico pressioni-portate assorbite

Prova di permeabilità LUGEON

Comune di Villaperuccio (CA)
Costruzione di invaso artificiale

Sondaggio	S14
Prova n. PL27	

RISULTATI

Tratto di prova (profondità da b.f., m)	2.0÷5.0
Lunghezza tratto di prova (m)	3.0
Diametro foro (mm)	101
Coefficiente di forma (m)	4.61

Gradini (bar)	Tempi (min.)	Assorbimenti (l/min./m)	U.L.	k (cm/sec)
3				
6				
10				
MEDIA				

Test non valido per eccessivo assorbimento dei terreni.

↓

Prova di permeabilità LUGEON

Comune di Villaperuccio (CA)

Costruzione di invaso artificiale

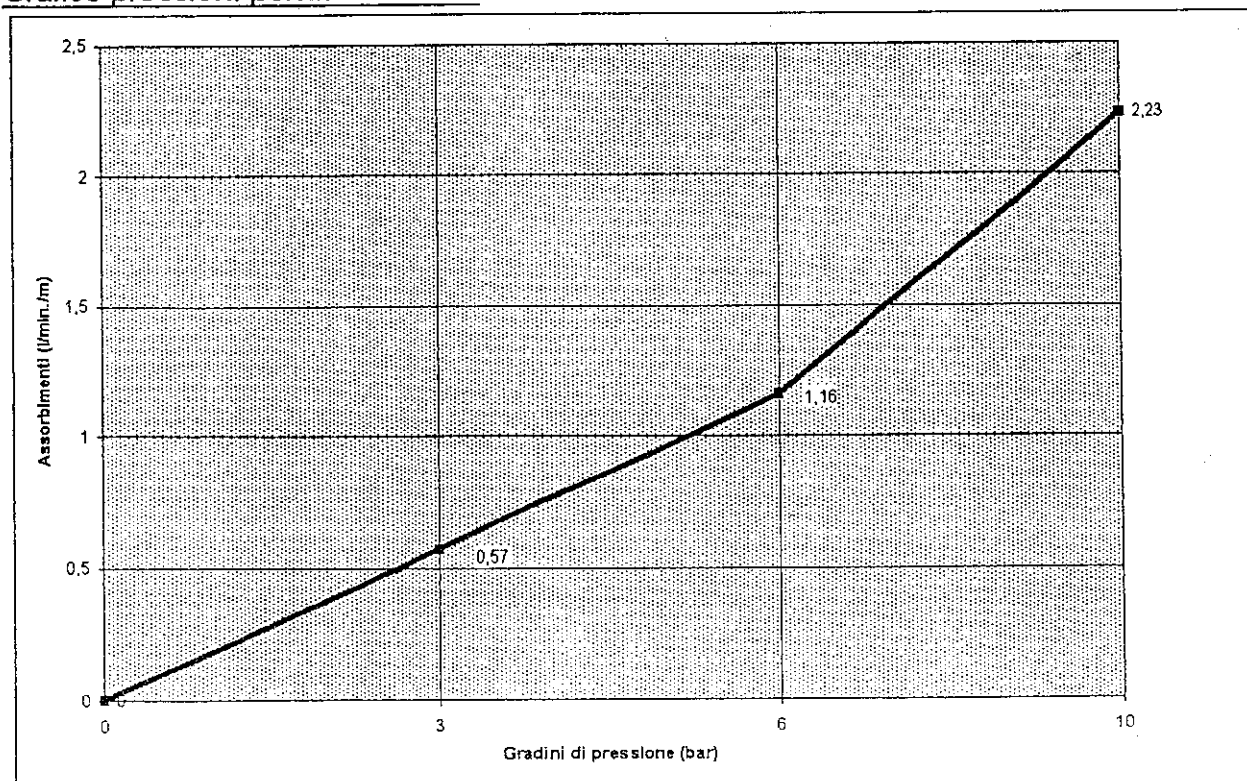
Sondaggio
Prova n. PL28

S14

RISULTATI

Tratto di prova (profondità da b.f., m) 8.0+10.0
Lunghezza tratto di prova (m) 2.0
Diametro foro (mm) 101
Coefficiente di forma (m) 3.41

Gradini (bar)	Tempi (min.)	Assorbimenti (l/min./m)	U.L.	k (cm/sec)
3	10	0.57	1.9	$1.93 \cdot 10^{-5}$
6	10	1.16	1.93	$1.91 \cdot 10^{-5}$
10	10	2.23	2.23	$2.18 \cdot 10^{-5}$
MEDIA			1.93	$1.91 \cdot 10^{-5}$

Grafico pressioni-portate assorbite

Studio
Serangeli

STRATIGRAFIA

SONDAGGIO n° : S1

RIFERIMENTO : Impr. Vacca SpA - Invaso collinare

LOCALITA' : Agro di Villaperuccio

DATA : 4.96

QUOTA : m s.l.m 158.60

mm	m	ACQUA PIEZO.	LITOLOGIA	C	Rp	VT	PREL. % 0 -- 100	S.P.T.	N	RQD % 0 -- 100	DESCRIZIONE
											Terreno vegetale e copertura pedogenica.
	1										Deposito alluvionale costituito da ciottoli elaborati eterogenei in matrice limo-sabbiosa color nocciola, sciolti.
	2										Sabbia grossa limosa bruna, sciolta, frammentata a ciottoli eterometrici.
	3										Limo con argilla, mediamente consistente, di media plasticità, color nocciola.
	4										
	5										Unità litoide di base. Piroclastiti avana, compatte, poco fratturate, a struttura clastica granulare (d=0.5-4 mm), con discontinuità molto distanziate, alternate a livelli rudistici con elementi eterogenei ed eterometrici, varicolori e compatti. Da 4.5 a 7.0 a grossi elementi. Da 7.0 a 10.0 m a grana fine. Roccia di qualità da buona a eccellente (RQD elevato) e bassa resistenza.
101	9										
101	10										

Serangeli

Studio
Serangeli

STRATIGRAFIA

SONDAGGIO n° : S2

RIFERIMENTO : Impr. Vacca SpA - Invaso collinare

LOCALITA' : Agro di Villaperuccio

DATA : 4.96

QUOTA : m s.l.m 159.72

Ø mm	m	ACQUA	PIEZO.	LITOLOGIA	C	Rp	VT	PREL. % 0 -- 100	S.P.T.	N	RQD % 0 -- 100	DESCRIZIONE
	1											Mancato recupero.
	2											
	3											Unità litoide di base. Facies ruditica con grossi elementi irregolari grigiastri in matrice tufacea.
	4											
	5											
	6											
	7											Unità litoide in facies piroclastica a gran fine, color avana-arancio a tratti, compat Indice di qualità elevato.
	8											
	9											
101	10											

Rp = kg/cm²

VANE TEST = kg/cm²

Studio
Serangeli

STRATIGRAFIA

SONDAGGIO n° : S3

RIFERIMENTO : Impr. Vacca SpA - Invaso collinare

LOCALITA' : Agro di Villaperuccio

DATA : 4.96

QUOTA : m s.l.m 162.8

Ø mm	m	ACQUA PIEZO.	LITOLOGIA	C	Rp	VT	PREL. % 0 -- 100	S.P.T.	N	RQD % 0 -- 100	DESCRIZIONE
	1										Mancato recupero
	2										
	3										
	4										
	5										
	6										
	7										
	8										
	9										
101	10										

Unità litoide di base. Alternanza di livelli
tuffitici e conglomeratici. A tratti di aspe-
to terroso, più porosa e tenera.

[Handwritten signature]

Rp = kg/cm²

VANE TEST = kg/cm²

Studio
Serangeli

STRATIGRAFIA

SONDAGGIO n° : S4

RIFERIMENTO : Impr. Vacca SpA - Invaso collinare

LOCALITA' : Agro di Villaperuccio

DATA : 4.96

QUOTA : m s.l.m 166.7

Ø mm	m	ACQUA	PIEZO.	LITOLOGIA	C	Rp	VT	PREL. % 0 -- 100	S.P.T.	N	RQD % 0 -- 100	DESCRIZIONE
	1											Mancato recupero
	2											Unità litoide di base in facies tufacea
	3											avana, a grana grossa (d=2-3 mm), compatta.
	4											Facies ruditica ad elementi eterogenei ed eterometrici, elaborati (puddinga). Matrice granulare.
	5											Alternanza di livelli piroclastici e ruditici
	6											(m. 5.30-7.30; m. 8.60-9.20) dell'unità di base
	7											compatti.
	8											
	9											
101	10											

Rp = kg/cm²

VANE TEST = kg/cm²

Studio
Serangeli

STRATIGRAFIA

SONDAGGIO n° : S5
RIFERIMENTO : Impr. Vacca SpA - Invaso collinare
LOCALITA' : Agro di Villaperuccio
DATA : 4.96
QUOTA : m s.l.m 158.7

Ø mm	m	ACQUA PIEZO.	LITOLOGIA	C	Rp	VT	PREL. % 0 -- 100	S.P.T.	N	RQD % 0 -- 100	DESCRIZIONE
	1										Copertura pedogenica e vegetale.
	2										Deposito alluvionale costituito da ciottoli elaborati, eterometrici, in matrice limosa con argilla, di colore avana, di aspetto sciolto, poco consistente.
	3										Limo argilloso, debolmente sabbioso, marrone da poco consistente a molle.
	4										
	5										
	6										
	7										Limo con sabbia di colore grigio.
	8										Limo argilloso marrone molle. Da m.7.50 a livello di limo con sabbia giallastro, poco consistente.
	9										
101	10										Unità litoide di base in facies granulare omogenea color nocciola, compatta.

Rp = kg/cm²

VANE TEST = kg/cm²

SS 05/90 V 60/2 - Tecn

Studio
Serangeli

STRATIGRAFIA

SONDAGGIO n° : S6
RIFERIMENTO : Impr. Vacca SpA - Invaso collinare
LOCALITA' : Agro di Villaperuccio
DATA : 4.96
QUOTA : m s.l.m 163.5

mm	m	ACQUA PIEZO.	LITOLOGIA	C	Rp	VT	PREL. % 0 -- 100	S.P.T.	N	RQD % 0 -- 100	DESCRIZIONE
	1										Mancato recupero.
	2										
	3										Limo sabbioso color nocciola, poco consistente, contenente ciottoli sparsi. Alluvione attuale del rio.
	4										Livello ciottoloso con grossi elementi.
	5										Limo argilloso mediamente consistente marrone con clasti elaborati dispersi nella matrice.
	6										
	7										
	8										Unità litoide di base con elementi eterogenei, grigio-avana.
	9										
101	10										

Rp = kg/cm²

VANE TEST = kg/cm²

SS 05/90 V 60/2 - Tecnoc

Studio
Serangeli

STRATIGRAFIA

SONDAGGIO n° : S11

RIFERIMENTO : Impr. Vacca SpA - Invaso collinare

LOCALITA' : Agro di Villaperuccio

DATA : 4.96

QUOTA : m s.l.m 161.0

Ø mm	m	ACQUA PIEZO.	LITOLOGIA	C	Rp	VT	PREL. % 0 -- 100	S.P.T.	N	RQD % 0 -- 100	DESCRIZIONE
	1										Mancato recupero.
	2										
	3										Limo con argilla molle, plastico, di colore nocciola, allo stato saturo.
	4										
	5										Mancato recupero
	6										Sabbia grossa con limo, argillosa, sciolta e allo stato saturo, contenente clasti ghiaiosi elaborati.
	7										
	8										
	9										Blocco di ignimbrite litoide, color vinaccia
	10										Unità di base a grana fine con piccoli clasti elaborati.

Rp = kg/cm²

VANE TEST = kg/cm²

SS 05/90 V 60/2 - Tecnoc

Studio
Serangeli

STRATIGRAFIA

SONDAGGIO n° : S12

RIFERIMENTO : Impr. Vacca SpA - Invaso collinare

LOCALITA' : Agro di Villaperuccio

DATA : 4.96

QUOTA : m s.l.m 159.15

Ø mm	m	ACQUA PIEZO.	LITOLOGIA	C	Rp	VT	PREL. % 0 -- 100	S.P.T.	N	RQD % 0 -- 100	DESCRIZIONE
	1										Mancato recupero.
	2										
	3										Ciottolame e frammenti litoidi.
	4										Unità litoida. Molto compatta, di colore grigio e avana.
	5										
	6										
	7										
	8										
	9										
101	10										

Rp = kg/cm²

VANE TEST = kg/cm²

Studio
Serangeli

STRATIGRAFIA

SONDAGGIO n° : S13
RIFERIMENTO : Impr. Vacca SpA - Invaso collinare
LOCALITA' : Agro di Villaperuccio
DATA : 4.96
QUOTA : m s.l.m. 159.8

Ø mm	m	ACQUA PIEZO.	LITOLOGIA	C	Rp	VT	PREL. % 0 -- 100	S.P.T.	N	RQD % 0 -- 100	DESCRIZIONE
	1										Mancato recupero.
	2										
	3										Limo argilloso debolmente sabbioso con rari ciottoli, da poco consistente a molle.
	4										
	5										Unità litoide di base. Facies ruditica con elementi eterogenei ed eterometrici, a tratti elaborati, compatta.
	6										
	7										
	8										
	9										
101	10										

[Handwritten signature]

Studio
Serangeli

STRATIGRAFIA

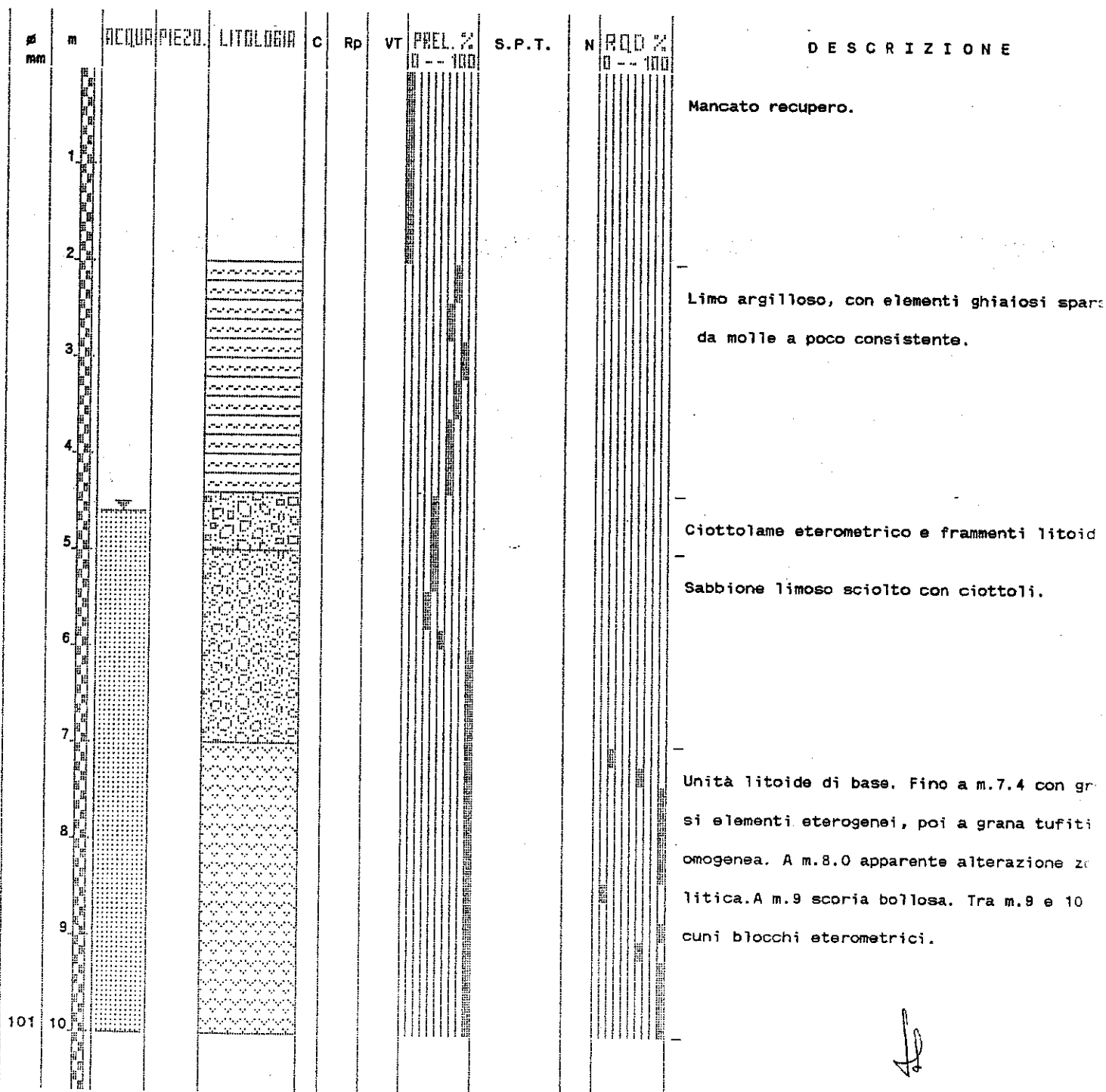
SONDAGGIO n° : S14

RIFERIMENTO : Impr. Vacca SpA - Invaso collinare

LOCALITA' : Agro di Villaperuccio

DATA : 4.96

QUOTA : m s.l.m 161.6



Rp = kg/cm²

VANE TEST = kg/cm²