

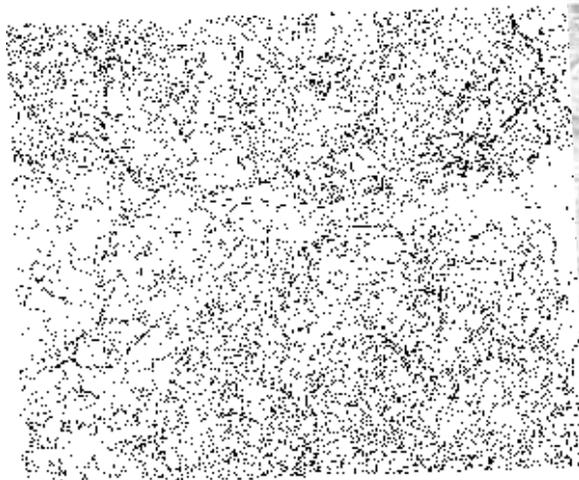
“IL LAGO DI QUARTO” LA GRANDE FRANA, LA DIGA

Indagini geognostiche e parametri geomeccanici
Sezioni Geologiche della grande frana

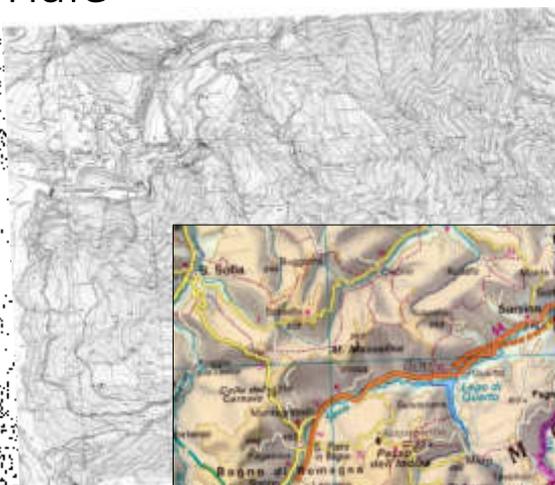
Campagne geognostiche:

- | | |
|--|--|
| 1. Trevi/Trevisani (1979) | 5. Prof. Cestelli Guidi (1990) |
| 2. Impresa Ambrogetti + Geol. C. Fabbri (1987) | 6. Impresa Ambrogetti + Geol. C. Fabbri (1990) |
| 3. Prof. C. Cestelli Guidi (1987) | 7. Prof. P. Lunardi (1991) |
| 4. Prof. C. Cestelli Guidi (1989) | 8. Ing. Solaroli + Geol. C. Fabbri (1998)
(per acque infiltrazione) |

Inquadramento territoriale

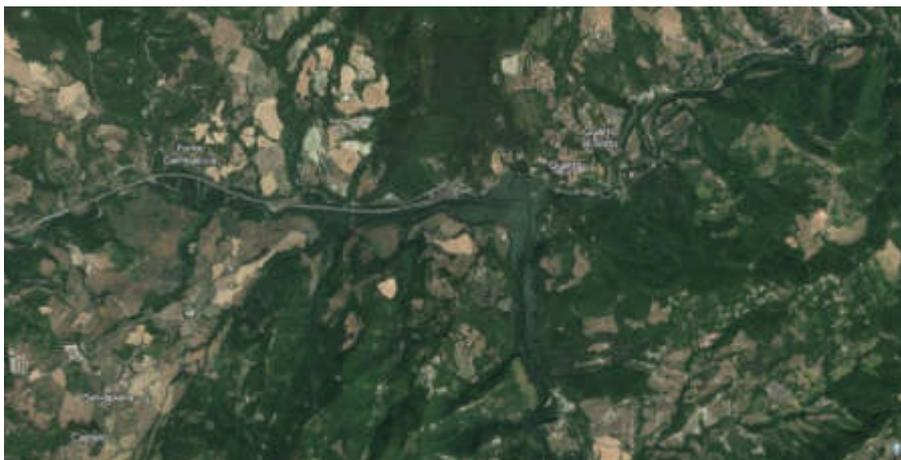


da CTR Emilia-Romagna (1998), scala 1:5.000



da Carta fisico-politica Emilia-Romagna (2016)
scala 1:250.000

Foto aerea



da GoogleMap (2023)

Descrizione del dissesto

Frana del lago di Quarto (1812)



Nell'anno 1812, alle ore otto anzi il mezzodi del 21 di marzo, il culmine di Montalto, elevatissimo e dominatore di ogni altura, circostante, si aprì dalla cima per mezzo in larga e profonda *rupina*. L'enorme scoscendimento si vide fra dense nubi di polvere calare tutto insieme colle capanne ed i pastori, e giù giù essere attratto dalla voragine; poi come di un balzo tutto sparire capovolto e chiuso nelle sue viscere.

Lo scoscendimento che ruinò selve estesissime e molta parte di seminato, si estese per una linea di metri mille in senso parallelo alla corrente del Savio, e corse di fronte, masse e masse accavallando, per metri due mila, oltre un miglio, fino a cozzare e stringersi coi monti opposti. Le acque allora serrate e crescenti nella vallata superiore alzandosi a dismisura, vedevansi a poco a poco sott'esse sparire ogni piano, ogni fabbrica. Le piene sempre nuove ed incalzanti della Parra e del Savio conversero infine quel bacino in lago profondo metri 120: altezza uguale a ben cinque volte quella di un alto palagio. In lago pure mutossi il letto dei due fiumi influenti onde ciascuno indi a poi si navigò per due miglia¹¹.

Relazione dell'ingegnere pontificio Giovanni Bertone (Memoria del Lago di Quarto, 1843, Roma)

La diga



Da sito internet INGAM (Ingegneria Ambiente Montagna)

	Superficie (m ²)	Volume (m ³)
1925 (costruzione)*	872.750	4.542.784
1933*	886.806	2.182.699
1938**		1.600.000
1958**		617.000
1980**		460.000
Oggi***	110.000	350.000

fonti

* Il trasporto solido nei corsi d'acqua italiani – Alto bacino del Savio (1934)

** tesi C. De Lorenzo

*** Wikipedia

Archivio fotografico

Lago di Quarto nel 1928



da Archivio storico Istituto Luce



da Archivio storico Istituto Luce

Archivio fotografico

Lago di Quarto (1990)

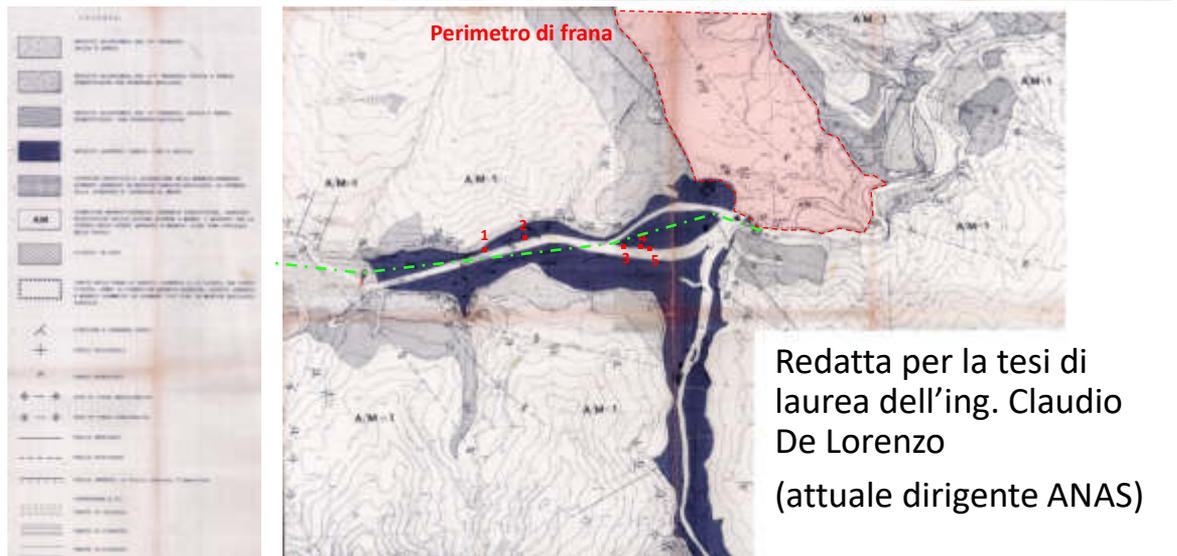


Archivio fotografico

Lago di Quarto oggi (Marzo 2023)

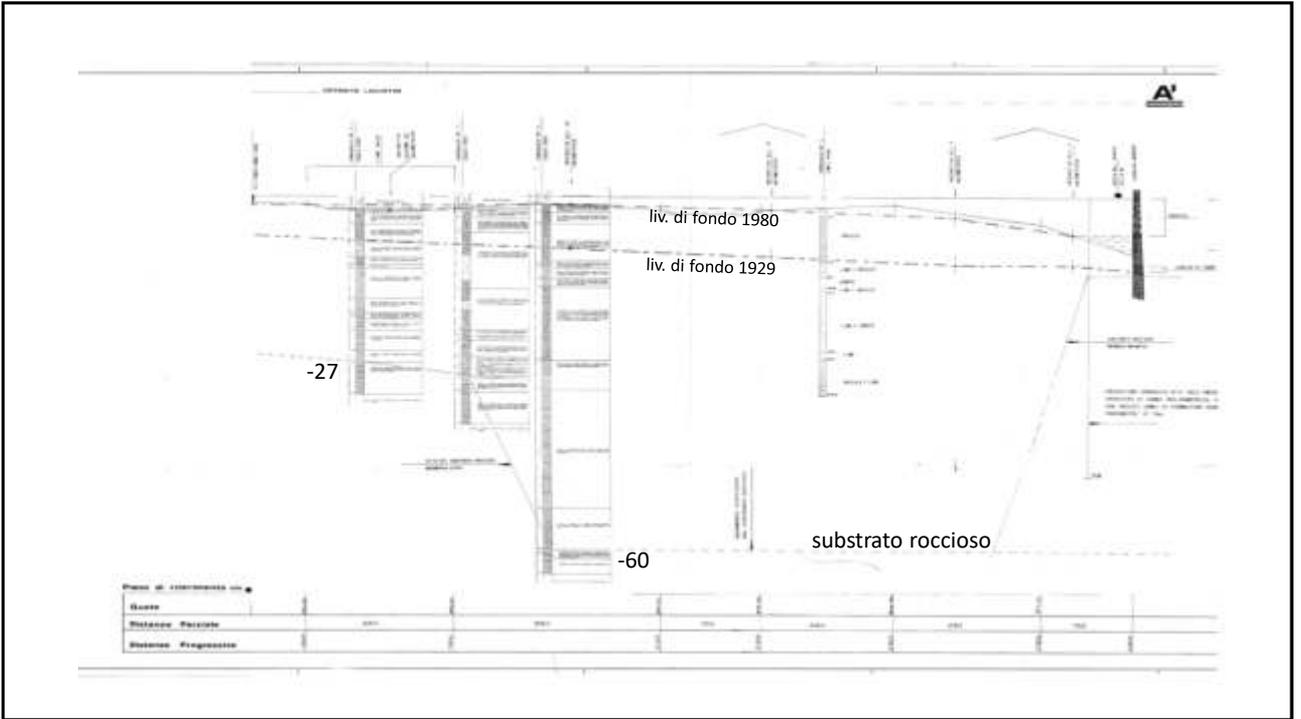
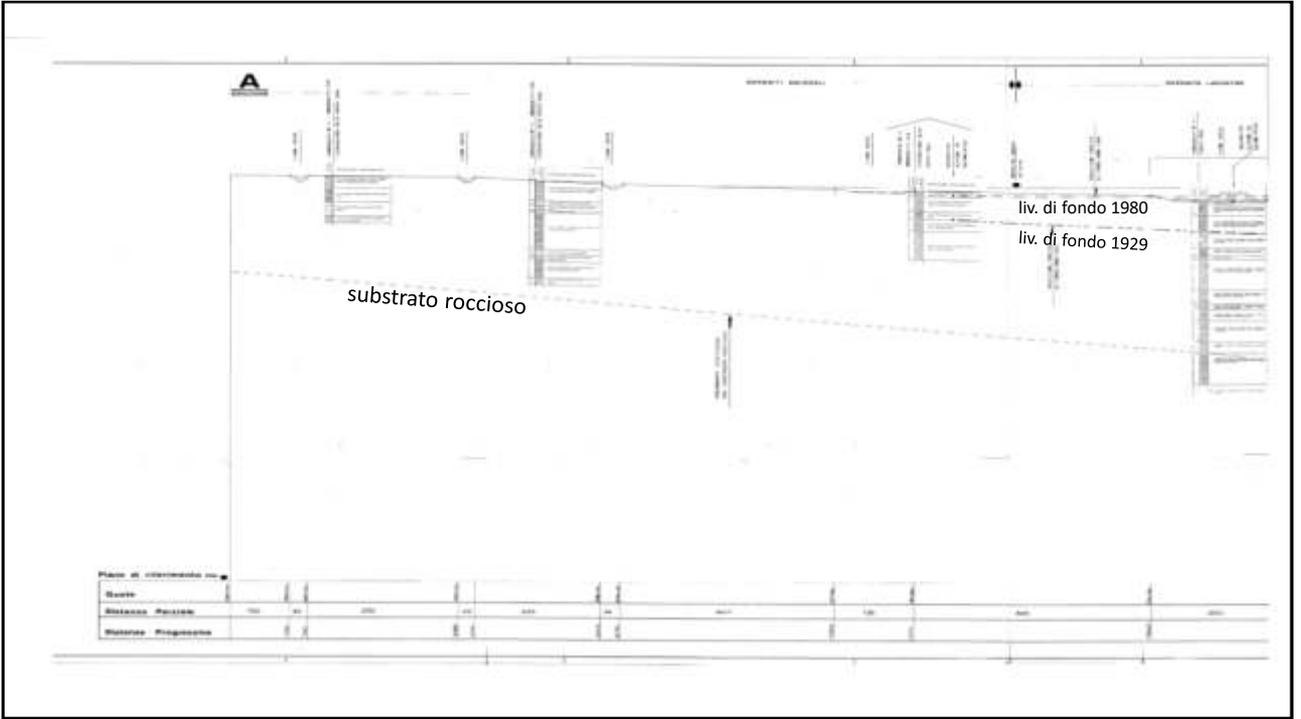


Carta geologica



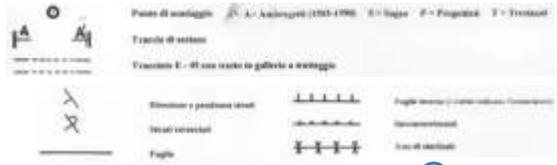
Sezione geologica Lago di Quarto

dalla tesi di laurea dell'ing. Claudio De Lorenzo

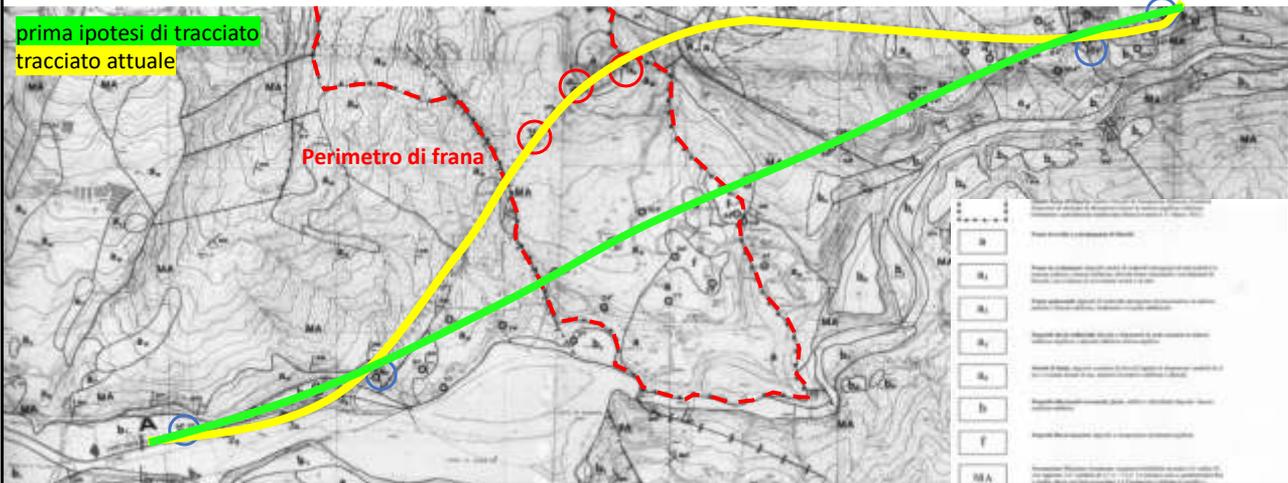


Carta geologica del 1998

con tutti i punti delle campagne geognostiche precedenti

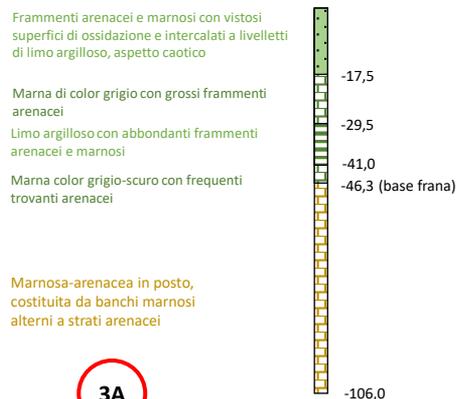
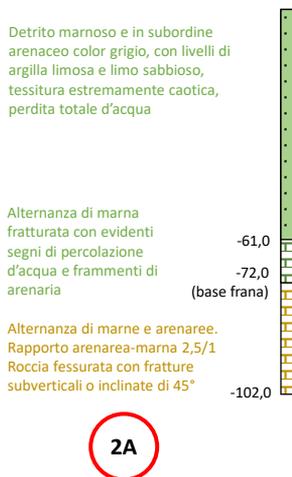


prima ipotesi di tracciato
tracciato attuale

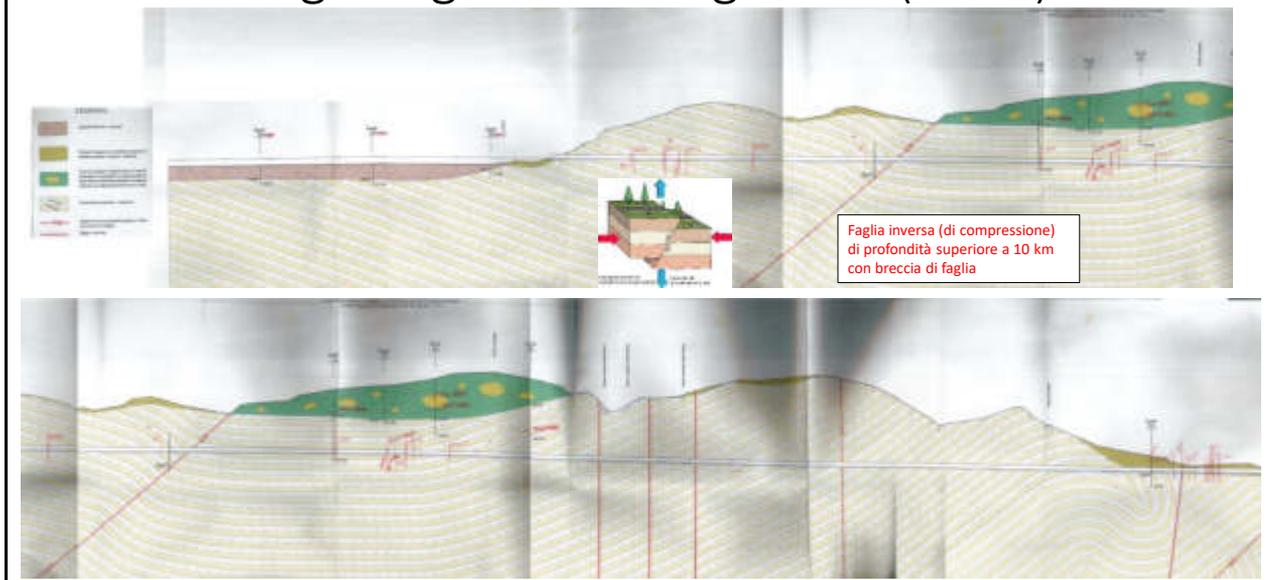


Stratigrafie significative

I sondaggi iniziarono nel 1982 (prima campagna geognostica) e terminarono nel 1991 (ottava campagna geognostica). Considerata la lunghezza delle colonne stratigrafiche e l'elevato grado di dettaglio, si riportano in forma schematica.



Sezione geologica in asse galleria (1998)



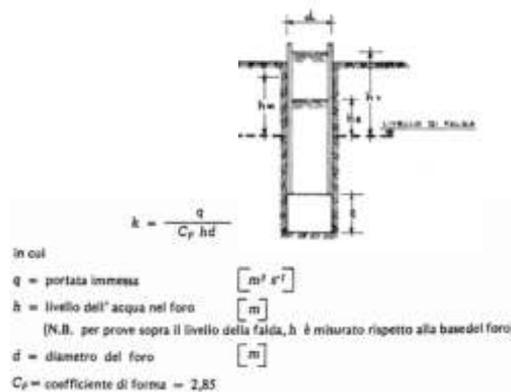
Caratteristiche idrauliche

dedotte da prove effettuate dal prof. Cestelli Guidi (Campagna geognostica 1990 – Progetto Esecutivo)

- Prova a carico costante (Lefranc)

sondaggio	prova	profondità	k
n.	n.	(m)	(cm/s)
1	1	10,5	$8,34 \times 10^{-3}$
4	2	6,7	$7,3 \times 10^{-4}$
18	3	8,0	$4,72 \times 10^{-4}$

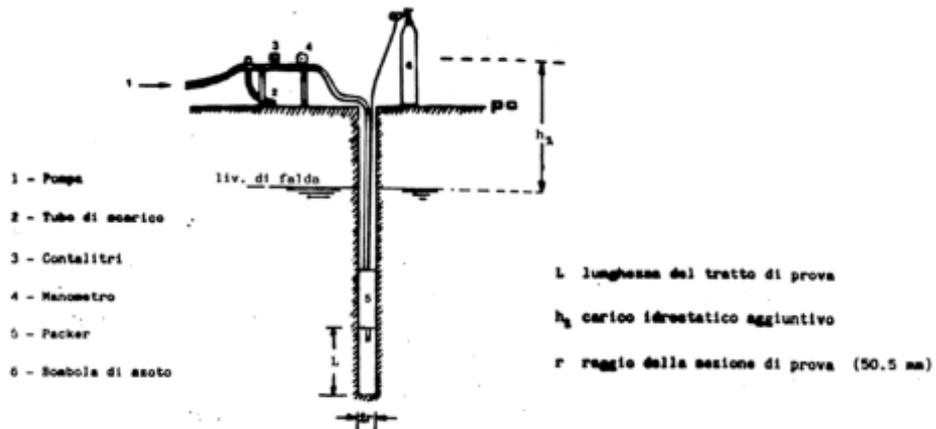
terreni



(da Raccomandazioni AGI 1977)

- Prova Lugeon (schema di prova)

effettuate dal prof. Cestelli Guidi (Campagna geognostica 1990 – Progetto Esecutivo)



- Prova Lugeon (roccia)

effettuate dal prof. Cestelli Guidi (Campagna geognostica 1990 – Progetto Esecutivo)

moto laminato:
$$K_e = \frac{Q}{2 \pi L H} \ln \frac{L}{r}$$
 1 U.L. = l/m a 10 bar per 1 minuti in 1 m di foro

dove:

$$1 \text{ U.L.} = 0,6 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$$

Q = portata assorbita (l/min.)

L = lunghezza del tratto di prova (m)*

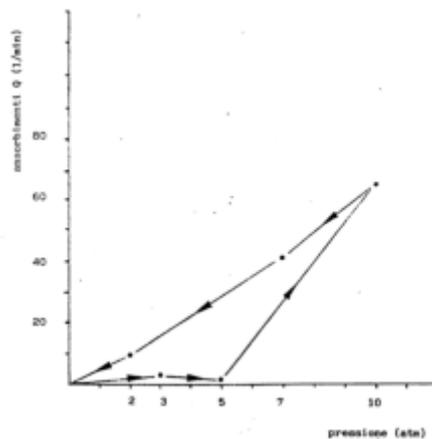
r = raggio della sezione di prova (m)*

H = pressione effettiva nel tratto in prova $(h_1 + h_2)$
(atm)

- Prova Lugeon (risultati)

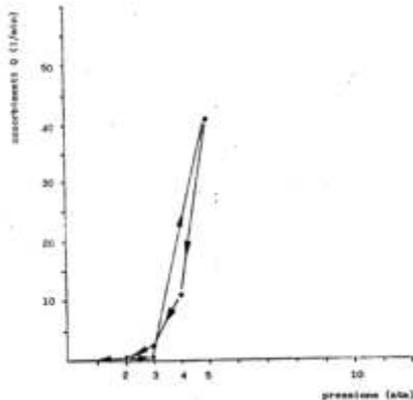
sondaggio	prova	profondità
n	n	da - a (m)
4	1	33,1 - 35,0
18	2	23,0 - 24,0
21	3	13,5 - 15,0

rocce



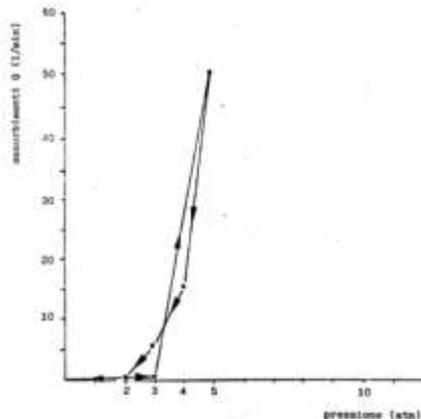
ass. unitari
(l/min x m x atm)

0.39	3 atm	$K_e = 2.22 \times 10^{-6}$ cm/sec
0.1	5 atm	$K_e = 7.17 \times 10^{-6}$ cm/sec
3.14 UL	10 atm	$K_e = 2.54 \times 10^{-6}$ cm/sec
2.85	7 atm	$K_e = 2.14 \times 10^{-6}$ cm/sec
2.31	2 atm	$K_e = 1.06 \times 10^{-6}$ cm/sec



Sondaggio n.18 - prova n.1

3 atm	$K_e = 1.07 \times 10^{-6}$ cm/sec
5 atm	$K_e = 7.62 \times 10^{-6}$ cm/sec
4 atm	$K_e = 2.00 \times 10^{-6}$ cm/sec
7 atm	$K_e = 1.77 \times 10^{-6}$ cm/sec
2 atm	$K_e = 6.40 \times 10^{-6}$ cm/sec



Sondaggio n.21 - prova n.1

3 atm	$K_e = 3.86 \times 10^{-6}$ cm/sec
5 atm	$K_e = 1.54 \times 10^{-6}$ cm/sec
4 atm	$K_e = 5.26 \times 10^{-6}$ cm/sec
3 atm	$K_e = 1.30 \times 10^{-6}$ cm/sec
2 atm	$K_e = 4.72 \times 10^{-6}$ cm/sec

- Prove di permeabilità

La roccia, impermeabile per sua genesi, presenta una permeabilità secondaria per fratturazione legata ai sistemi KKD e KKI, con permeabilità ridotta.

Prove sui limi del Savio (non lago)

effettuate dal prof. Cestelli Guidi (Campagna geognostica 1990 – Progetto Esecutivo)

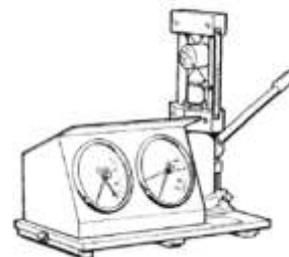
sondaggio	campione	profondità	W	L.L.	L.P.	I.P.	c_d	φ_d
n	n	da – a (m)	(%)	(%)	(%)		(kg/cm ²)	(°)
18	1	2,5 - 3	45,9	47	26	21		
18	A	5 – 5,5	18	16	np	-		
18	A	8 – 8,5	22,4	22	15	7		
18	3	9,5 – 10	26	25	15	10	0,52	32
18	C	11 – 11,5	32,3	33	18	15		
18	D	14 – 14,45	37,5	21	18	17		
18	2	7					0,77	30,1
18	4	2,5					0,6	30

Prove su roccia (marnoso-arenacea)

effettuate dal prof. Cestelli Guidi (Campagna geognostica 1990 – Progetto Esecutivo)

Furono prelevati 55 campioni di roccia, sottoposti a prove Point Load Strength Test, sia perpendicolari che paralleli alla stratificazione.

tipo litologico	resistenza a compressione monoassiale			
	min	max	valori medi	
	MPa	MPa	MPa	kg/cm ²
arenaria	36,8	83,9	64	640
marna	19,1	53,4	33	330



Prove su roccia (marnoso-arenacea)

Secondo il B.G.D. (Basic Geotechnical Description) le arenarie presentano un valore medio grande e un valore medio per le marne.

Non è stato possibile reperire le prove di taglio su giunto in base alle relazioni del prof. Cestelli Guidi, che sono state ricavate dal rilievo geomeccanico del dott. Fabrizio Zampa su tre A.R.S. (Aree Rilievo Strutturale dell'ammasso).

Si riportano i valori dei rilievi.

Prove su roccia (marnoso-arenacea)

campione	RQD	resistenza a compressione	JRC	grado di alterazione	angolo di attrito di base (ϕ_b)	angolo di attrito interno (ϕ)	angolo di attrito residuo (ϕ_r)
n	%	kg/cm ²		(%)	(°)	(°)	(°)
1A	82	727	4	W3	30	36	31
1M	16	498	2	W4	27	29	26
2A	82	681	4	W3	30	36	31
2M	49	422	2	W4	27	29	26
3A	95	692	4	W3	30	36	31
3M	66	419	2	W4	27	29	26
4A	87	695	4	W3	30	36	31

Classificazione dell'ammasso roccioso

secondo R.M.R. (Rock Mass Rating) di Bieniawski

- Le arenarie ricadono nella terza classe (discreta)
- Le marne ricadono nella quarta classe (scadente)

secondo Rabcewicz-Pacher

- classe III L = 2540 m lato Roma
- classe IV L = 160 m
- classe VA L = 220 m

Progressiva	Classe
da - a (m)	
0 - 50	IV
50 - 610	III
610 - 650	IV
650 - 2230	III
2230 - 2270	IV
2270 - 2492	VA
2492 - 2522	IV

lato Ravenna

Classificazione dell'ammasso roccioso

secondo Rabcewicz-Pacher

Il prof. Cestelli Guidi consigliò:

- classe III: uso di esplosivo a sezioni parziali, bullonatura (3 – 4 m) con spaziatura di 1,5 – 2 m, rete metallica, calcestruzzo spruzzato da 5 – 10 cm.
- classe IV: forti venute d'acqua, opere di impermeabilizzazione e drenaggio, roccia spingente, scavo a sezione parziale (calotta – strozzo – piedritti – arco rovescio), avanzamento di 1,5 m, scavo meccanico, centine, bullonatura, rete metallica, spritz beton da 10 – 15 cm
- classe VA: forti venute d'acqua, scavo per via meccanica, ombrelli con infilaggi in calotta e sulle pareti, scavo a sezione parziale, centine pesanti a 1 m con rete elettrosaldata, spritz beton da 20 – 25 cm

Prove su roccia (marnoso-arenacea)

effettuate dal prof. P. Lunardi nella relazione del 1993 per conto di TOTO S.p.A , impresa esecutrice delle gallerie e in base alle prove di laboratorio.

ARENARIE: comportamento fragile, fratture ben definite e regolarmente spaziate, la persistenza è confinata dallo spessore dello strato

MARNE: comportamento più plastico, presentano una tendenza alle deformazioni e sviluppano una serie di microfratture ad andamento irregolare e di dimensioni esigue

Prove su roccia (marnoso-arenacea)

RESISTENZA E DEFORMABILITA' DELL'AMMASSO ROCCIOSO

Individua tre gruppi a comportamento geotecnico omogeneo, determina due tratti uno precedente e uno seguente la zona della frana di Quarto:

gruppo	progressiva	peso specifico	angolo di attrito (φ)	coesione (c)	modulo elastico (E)
n	da - a (km)	ton/m ³	(°)	(MPa)	(kg/cm ²)
1	1+110 - 1+320	2,4	27 - 30	0,7 - 10	25000 - 75000
2	1+320 - 1+ 900	2,4	24 - 27	0,25 - 0,4	25000
1	1+900 - 2+700	2,4	27 - 30	0,7 - 10	25000 - 75000
2	2+700 - 2+800	2,4	24 - 27	0,25 - 0,4	25000
3 (nella copertura detritica)	2+800 - 3+100	1,9	24 - 27	0,0 - 0,05	5000

Prove ISMES (Luglio1991)

Fattibilità dello sfruttamento di risorse idriche nella valle del Savio - Consorzio Acque per le Province di Forlì e Ravenna

Il rapporto ISMES prevede:

- Rimozione parziale dell'interrimento del lago di Quarto;
- Vasche di accumulo a valle della centrale Enel di Quarto;
- Serbatoio di Monte Apruno (diga sul medio torrente Para)
- Serbatoio di Gualchiere (diga su affluente in sinistra del Savio, studiata nuovamente dallo scrivente unitamente al chiar.mo Prof. Brath nel 2018 per conto di Romagna Acque – Società delle Fonti)

Prove ISMES (Luglio1991)

L'indagine ISMES fu articolata mediante:

- esecuzione di 5 sondaggi geognostici (Maggio 1990) di cui 4 a carotaggio continuo e 1 a distruzione di nucleo (profondità tra 10,52 e 32 m);
- prelievo di 20 campioni oggetto di prove fisico-meccaniche;
- 14 prove penetrometriche dinamiche (aprile/maggio 1990) con profondità 14 m.

Prove ISMES (Luglio1991)

I sondaggi attraversano limi, argille e sabbie fini limose **con presenza calcarea di CaCO_3 fra il 19% e il 39%**. Il contenuto di carbonato abbassa il punto di fusione del terreno portandolo a 900° invece di 1300° , situazione ottimale per fabbrica di laterizi e argille espanse.

Il materiale può essere impiegato nell'**agricoltura** e come **riempimento di cave dismesse**. Può essere utilizzato anche nell'**industria del laterizi**.

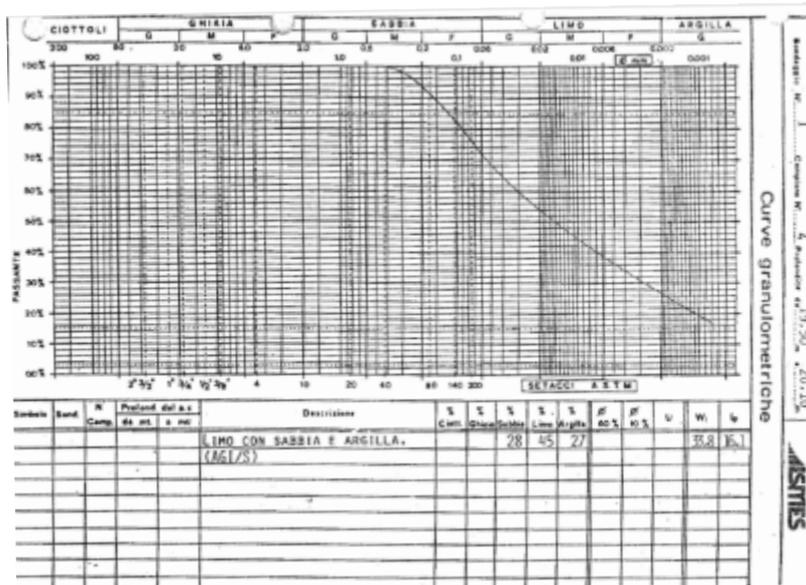
Prove ISMES (Luglio 1991)

sondaggio	campione	profondità	W	Peso di volume (γ)	Peso volume secco (γ _d)	Peso assoluto (G)	Indice dei vuoti (e)	grado di saturazione (S)	sabbia (0,06 - 2 mm)	limi (0,002 - 0,06 mm)	argilla (< 0,002 mm)
n	n	da - a (m)	(%)	(t/m ³)	(t/m ³)	(t/m ³)		(%)	(%)	(%)	(%)
1	1	3,0 - 3,6	44,3	1,78	1,23	2,71	1,203	100	2	74	24
1	2	7,4 - 7,8	35,4	1,89	1,4	2,78	0,914	100	44	46	10
1	4	19,5 - 20,10	24,4	1,98	1,59	2,7	0,698	94	28	45	27
2	1	2,5 - 3,1	39,9	1,86	1,33	2,71	1,045	100	4	66	30
2	2	5,5 - 6,1	39,7	1,85	1,33	2,71	1,037	100	12	64	24
2	3	9,6 - 10,2	35,9	1,88	1,39	2,69	0,935	100	27	63	10
3	1	3,3 - 3,9	37,2	1,9	1,38	2,71	0,964	100	4	68	28
4	3	9,5 - 10,1	27,7	2,02	1,58	2,69	0,702	100	27	57	16
4	4	15,3 - 15,8	32	1,93	1,46	2,7	0,849	100	14	63	23
4	5	19,0 - 19,5	37,5	1,74	1,27	2,71	1,134	90	6	63	31

$$W = 100 \times W_{\text{acqua}} / W_{\text{grani}}$$

$$e = 100 \times V_{\text{vuoti}} / V_{\text{grani}}$$

$$S = 100 \times V_{\text{acqua}} / V_{\text{vuoti}}$$



Prove ISMES (Luglio1991)

sondaggio	campione	profondità	W	L.L.	L.P.	I.P.	I.C.	A	Pocket-penetrometer	Vane test	Sensitività (da Vane test)
n	n	da - a (m)	(%)	(%)	(%)	(%)	(t/m ³)		(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(%)
1	1	3,0 - 3,6	44,3	32,4	20,8	11,6	-	0,48	0,3 - 0,5	0,2	-
1	2	7,4 - 7,8	35,4	26,5	20,2	6,1	-	0,61	-	-	-
1	4	19,5 - 20,10	24,4	33,8	17,7	16,1	0,58	0,6	2 - 2,5	1,3	-
2	1	2,5 - 3,1	39,9	36,1	20,2	15,9	-	-	0,3 - 0,5	0,2	0,53
2	2	5,5 - 6,1	39,7	29,5	19,3	10,2	-	0,042	0,4	0,2	-
2	3	9,6 - 10,2	35,9	27,3	21,1	6,2	-	0,62	0,3	0,15	-
3	1	3,3 - 3,9	37,2	33,2	19,2	14,0	-	0,5	0,1 - 0,2	0,1	0,5
4	3	9,5 - 10,1	27,7	26,0	16,9	9,1	-	0,57	0,1 - 0,2	0,1	-
4	4	15,3 - 15,8	32	31,9	19,9	12	-	0,52	0,4	0,2	-
4	5	19,0 - 19,5	37,5	34,6	20,3	14,3	-	0,46	0,1 - 0,2	0,1	-

PI: 5-15
(poco plastico)

A < 0,75
terreno inattivo

Prove ISMES (Luglio1991)

Commento:

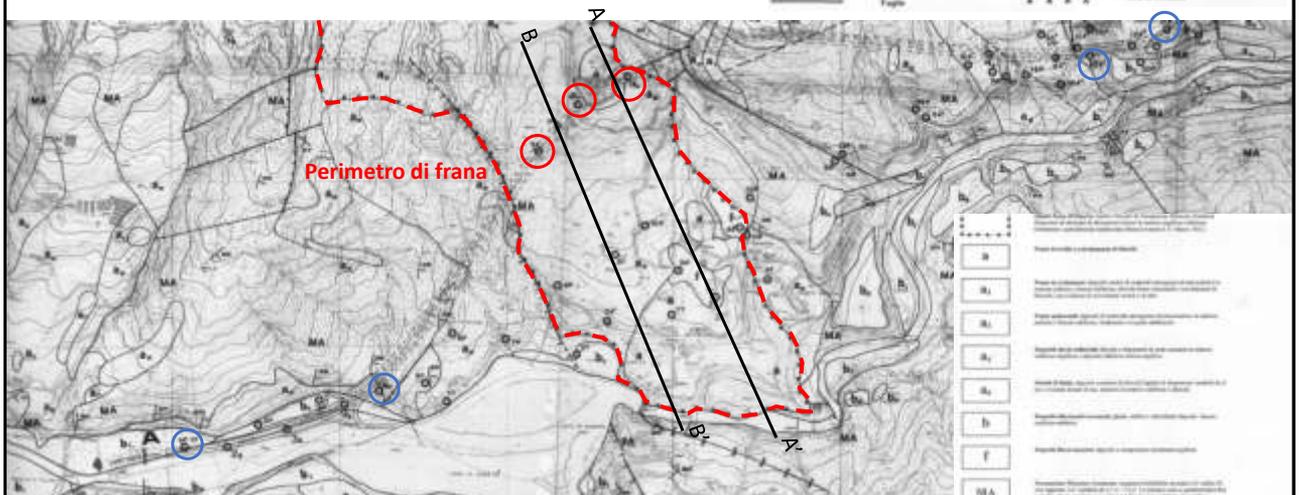
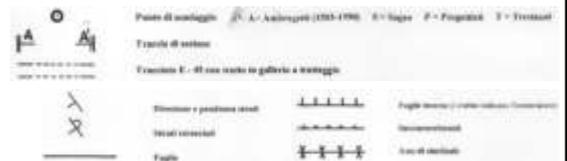
- il contenuto d'acqua è sempre elevato, tra il 24 e il 44%;
- il grado di saturazione è sempre intorno al 100%, trattasi di terreni saturi;
- il peso specifico è tipico di terreni ad alto contenuto limoso
- l'indice dei vuoti è compreso tra 0,698 e 1,203 per cui la porosità è tra lo 0,41 e 0,53%
- la carta di Casagrande classifica i terreni come limi di media e bassa compressibilità, e argilla inorganica di medio-bassa plasticità e inattive
- la coesione c_u ha bassi valori, compresi tra 0,1 e 0,2 kg/cm²
- il pocket-penetrometer ha dato valori di resistenza tra 0,1 e 0,5 kg/cm²

Elaborazione geologo C. Fabbri

Sulla base dei sondaggi e delle risultanze delle prove lungo due sezioni longitudinali della frana di Quarto

Carta geologica del 1998

con sezioni geologiche-tecniche per verifiche di stabilità



Discarica di smarino delle gallerie di Quarto



Sintesi delle indagini geognostiche

Prof. Cestelli Guidi:

- 21 sondaggi a carotaggio continuo per 710 m
- 186 prove SPT
- Prelevati 141 campioni rimaneggiati, 36 indisturbati
- Messa in opera di 6 piezometri per 200 m
- Messa in opera di 3 tubi inclinometrici per 90 m
- Esecuzione di 3 prove di permeabilità a carico costante (Lefranc)
- Esecuzione di 3 prove di permeabilità Lugeon
- Esecuzione di 145 prove granulometriche complete
- Esecuzione di 100 limiti di Atterberg
- Esecuzione di 55 Point Load test
- Esecuzione di 36 prove edometriche
- Esecuzione di 10 prove penetrometriche S-CPT
- 9 stendimenti sismici a rifrazione con basi di 330 m e uso di esplosivo

Sintesi delle indagini geognostiche

TREVI S.p.A.:

- (1979) 3 sondaggi profondità 144 m

Prove ISMES:

- (1991) 5 sondaggi per 120 m

Ambrogetti S.p.A.:

- (1987) 3 sondaggi per 230 m
- (1990) 3 sondaggi per 336 m

TOTALE SONDAGGI: 1636 m

Geoemme 2 S.a.s.:

- (1989) 1 sondaggio per 30 m
- (1990) 1 sondaggio per 67 m

Considerazioni finali

Purtroppo tutta questa preziosa risorsa scientifica di prove e dati è andata dispersa ad eccezione di quella in possesso di chi, come lo scrivente, l'abbia archiviata e mantenuta negli anni.

Sarebbe auspicabile una Legge Nazionale di deposito di tutti i dati geognostici presso le sede regionali con possibilità di accesso da parte dei tecnici.

È assurdo infatti disperdere un patrimonio culturale di elevatissimo valore economico !!

Sarebbe inoltre utilissimo per l'intera vallata del Savio riaprire la discarica del Fosso della Fonte per la sistemazione permanente di terra e roccia di scavo non inquinante e certificata.

Infatti, tra Verghereto e Cesena non sono presenti aree di stoccaggio permanente di materiali di scavo !!

Carlo Fabbri