

TECNICHE TERMOMETRICHE APPLICATE ALLA VERIFICA DELLA CORRETTA
ESECUZIONE DI POZZI PER ACQUA TERMALE.



Dott. Geol. Vincenzo Buchignani, Dott. sa Geol. Michéle Luisa Vuillermin

Figura 1: Stato dei luoghi.

1. PREMESSA.

Lo studio qui illustrato è stato eseguito per la costituzione di un nuovo polo termale in prossimità di Ghezzano (Pisa), previa l'approntamento di un pozzo pilota.

Il pozzo termale, perforato a seguito di studi preliminari, a fine perforazione si rilevò inquinato e con una termalità inferiore alle attese; ne seguì un contenzioso, volto a determinare le ragioni dell'inquinamento e della bassa termalità dello stesso.

Le conclusioni a cui si è giunti sono state supportate sia dalle indagini idrogeologiche preliminari s.s. (rilievi geologico strutturali ed idrogeologici, prove di pompaggio, analisi chimico fisiche...), che da diverse tipologie di logs in pozzo (fra cui il log termodifferenziale) , che insieme sono serviti ad identificare e validare quanto illustrato ai punti seguenti.

Per comprendere l'esito delle indagini geofisiche qui eseguite, è necessario inquadrare l'area dal punto di vista idrogeologico.

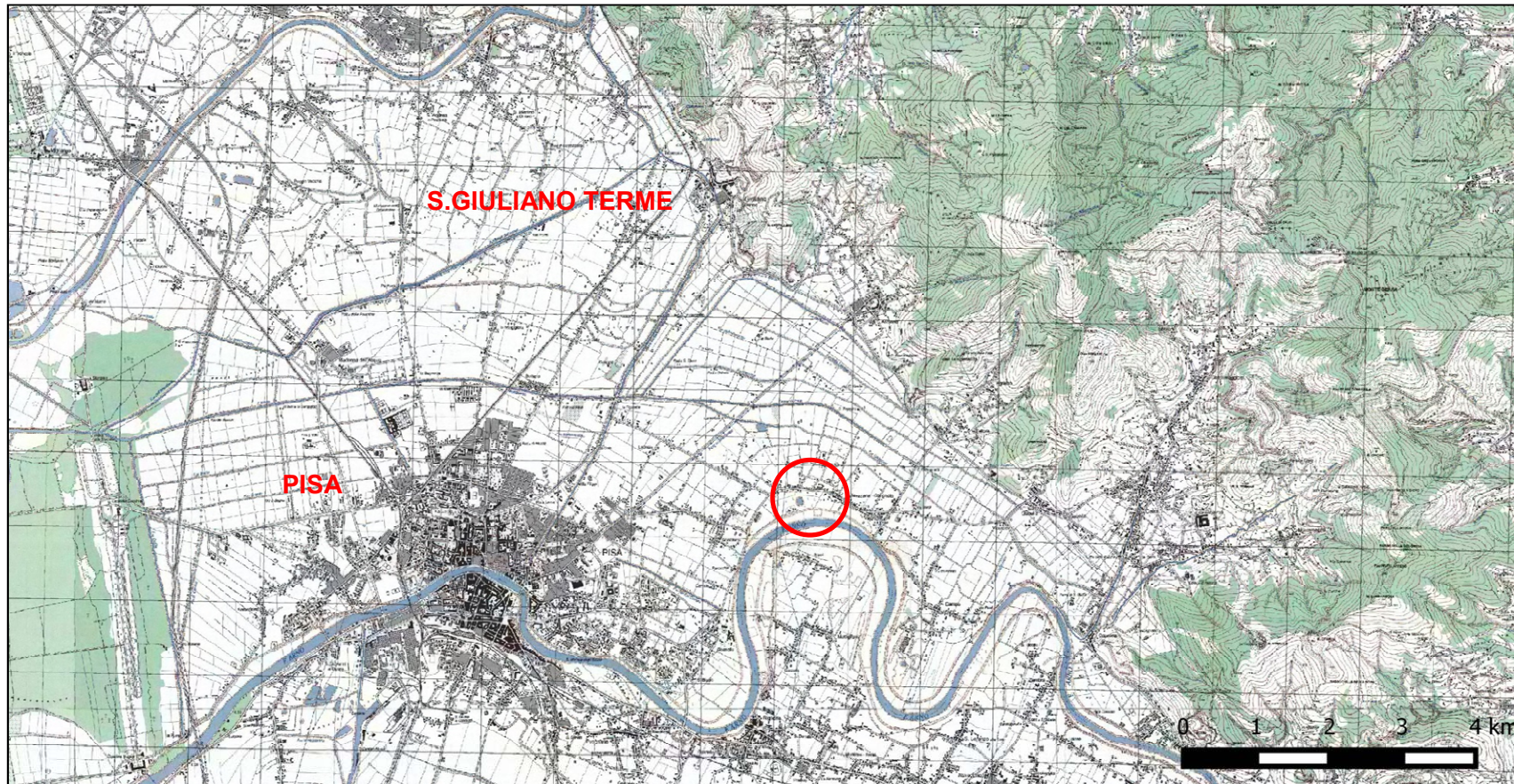


Figura 2: Inquadramento corografico.

L'area oggetto dello studio si ubica nel settore orientale della piana di Pisa, delimitata ad Ovest dal Mar Ligure/Alto Tirreno, in continuità a Nord con il bacino lacuale di Massaciuccoli e la pianura versiliese, orlata ad Est dal massiccio dei Monti Pisani; a Sud la piana è delimitata dalle blande alture delle Colline Livornesi.

2. RAGIONI DELLO STUDIO ED INQUADRAMENTO GEOLOGICO STRUTTURALE LOCALE.

Lo scopo del pozzo era quello di accertare la presenza di acqua nelle rocce che formano il substrato roccioso alla base della successione quaternaria di terreni continentali e marini che riempiono la depressione della pianura pisana ed eventualmente di acque termali e/o minerali.

In particolare il *target* della ricerca era il raggiungimento dei calcari triassici noti col nome di “Grezzoni”, rappresentati da dolomie e dolomie ricristallizzate grigio-scure con limitate ricristallizzazioni metamorfiche. La parte alta della serie è generalmente costituita da dolomie con patina di alterazione giallastra con tracce di filladi lungo i giunti di strato, la parte intermedia da dolomie grigio chiare e grigio-scure stratificate, la parte inferiore da brecce a elementi dolomitici. Tale formazione, appartenente alla Unità metamorfica di S. Maria del Giudice, è localmente caratterizzata da fenomeni carsici.

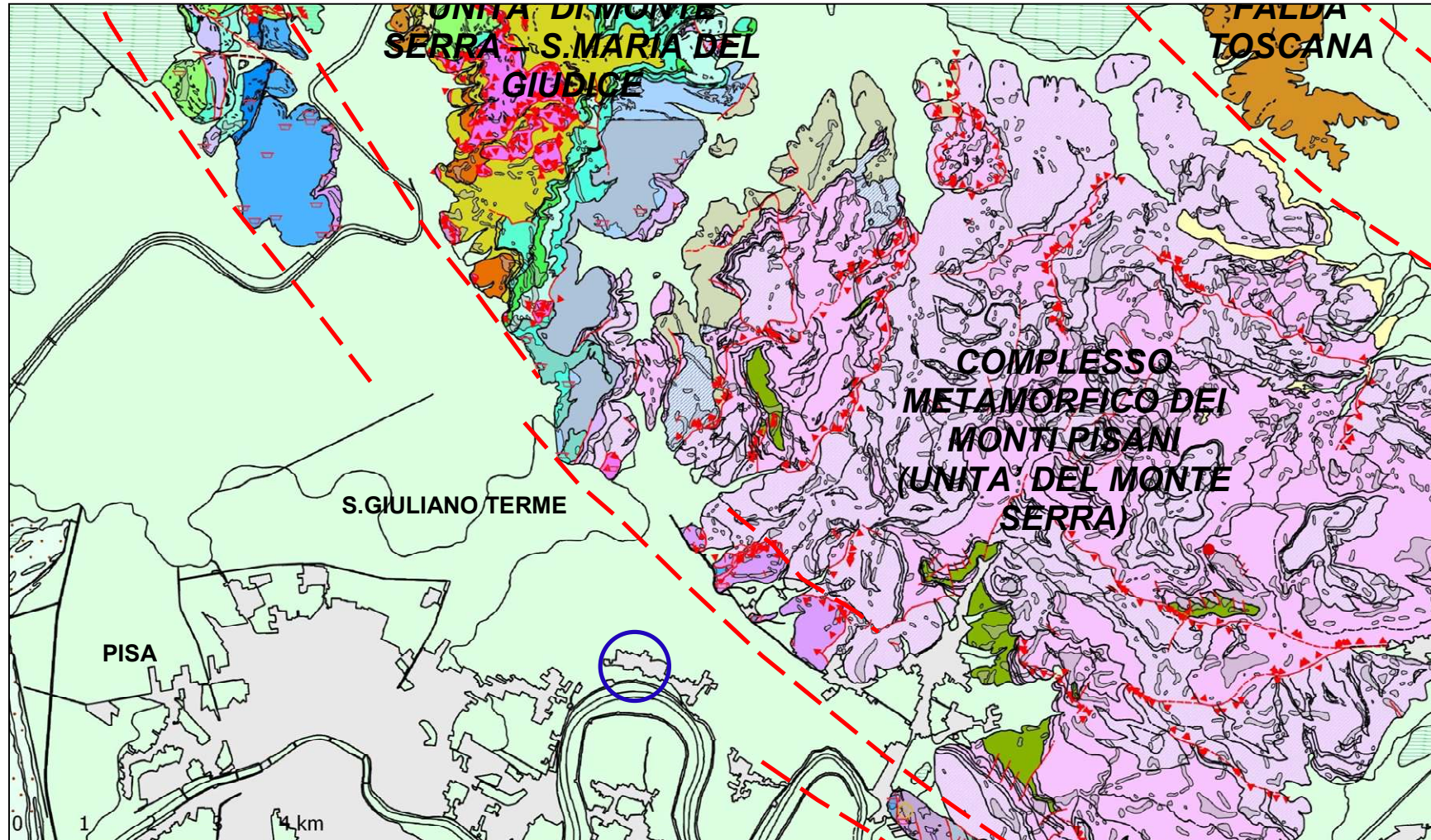
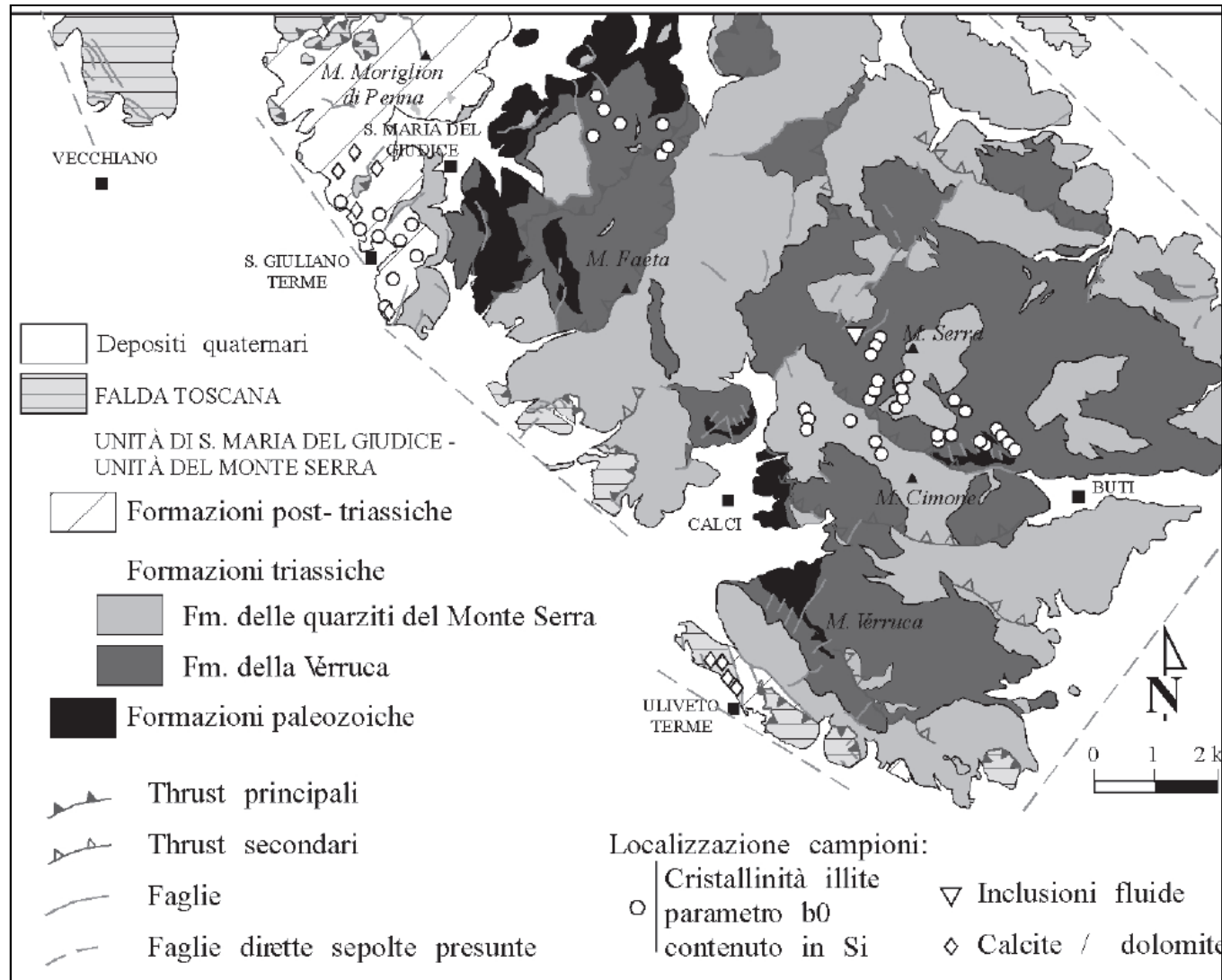


Figura 3: Inquadramento geologico strutturale

Nella zona di divagazione attuale e pregressa dell'Arno a ridosso del Monte Pisano prevalgono largamente i sedimenti sabbiosi che facilitano gli scambi verticali tra il fiume e la falda e quelli tra la falda più profonda e le acque di superficie.



La zona di alimentazione delle acque in profondità è presumibilmente condizionata da una serie di lineazioni testimoni delle strutture tettoniche locali e del «gradino morfologico» caratteristico di quest'area, che separano la serie della falda Toscana dalla depressione della pianura pisana.

Figura 4: Schema geologico strutturale dei monti pisani.
 (Leoni et alii, 2009)

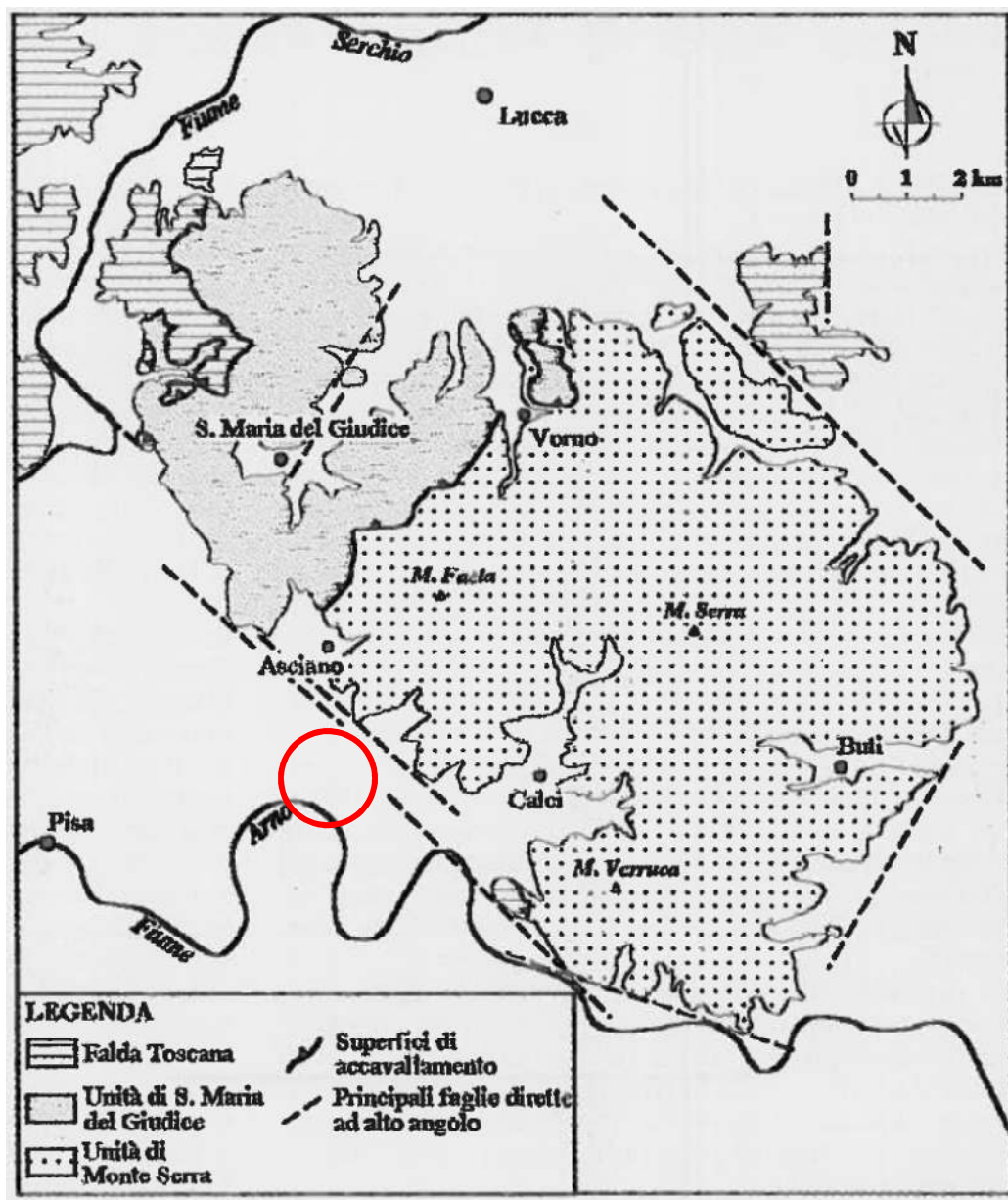


Figura 5: Schema tettonico del massiccio dei monti pisani

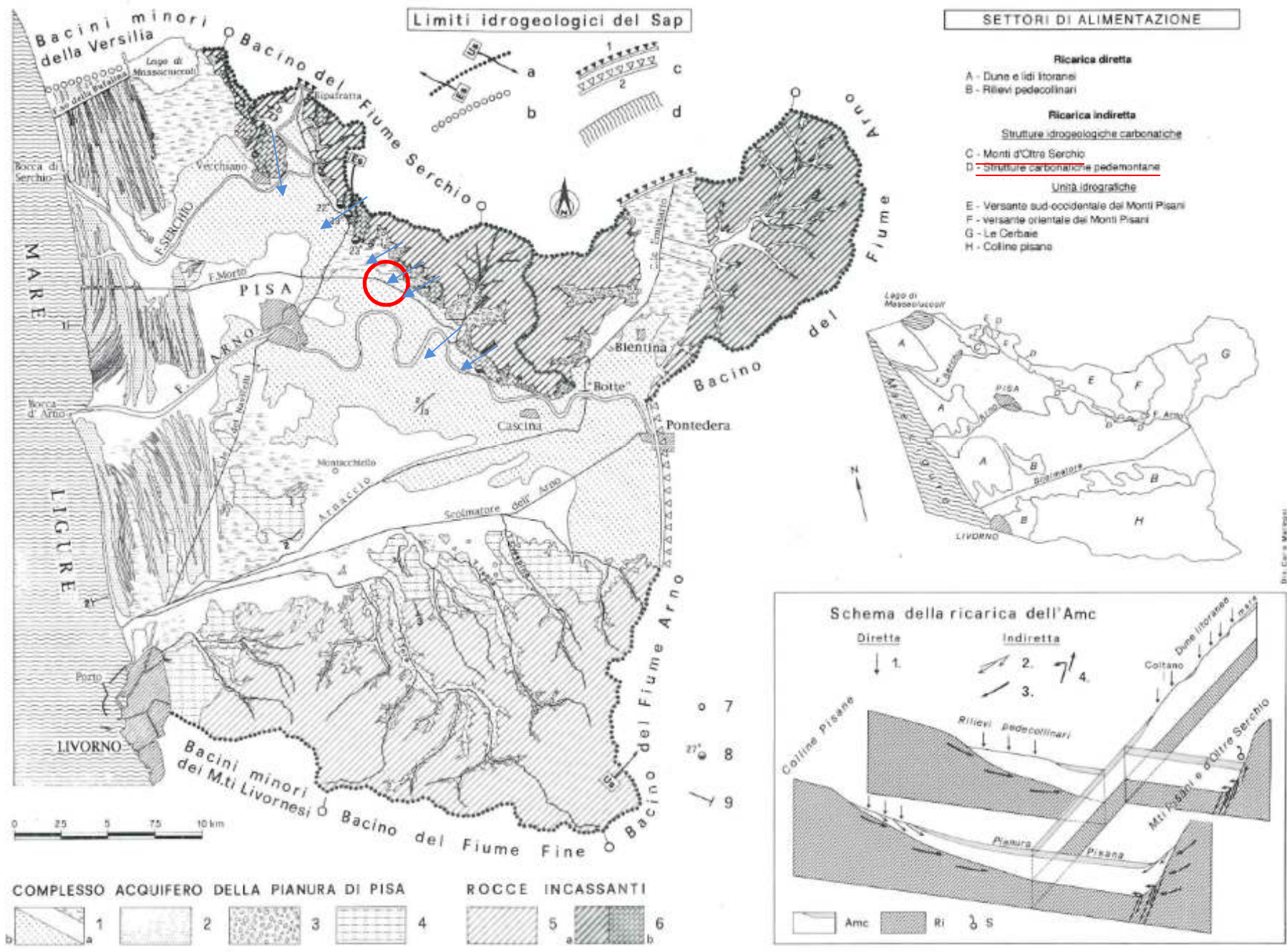
A. Dini, P. Orlandi, G. Protano, F. Riccobono, 1998

Le strutture tettoniche principali sono orientate in prevalenza secondo direzioni NW-SE, con fratture secondarie in posizione di taglio rispetto alla direzione normale ad esse secondo NNE-SSW.

Una serie di sorgenti di allineamento testimoniano il trend tettonico rilevato (vedi anche figura 4).

La «ricarica indiretta» degli acquiferi avviene anche ad opera delle strutture carbonatiche pedemontane (vedi figura 6).

Figura 6: Risorse idriche della pianura pisana. (F. Baldacci, L. Bellini, G. Raggi, 1994)



2.1. Il pozzo e gli studi preliminari di dettaglio.

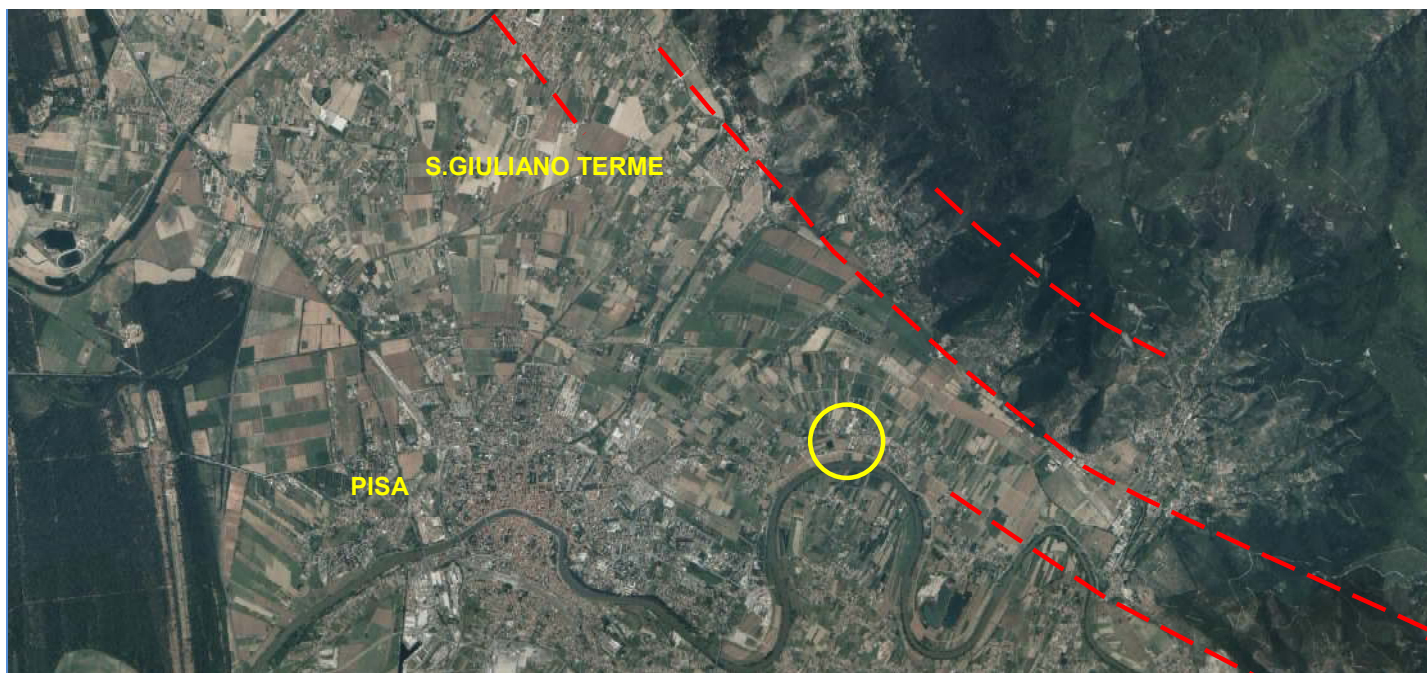


Figura 7: Foto satellitare (ortofotocarta Regione Toscana)

Il pozzo (di 508 m di profondità) realizzato presso il complesso Eden Park di Ghezzano si trova nella parte più depressa della fossa strutturale creata dalle faglie che delimitano il fianco sud-occidentale del Monte Pisano. Di questo ne è dimostrazione la giacitura di un livello continuo di ghiaie grossolane intercalate nella sequenza alluvionale il cui tetto si incontra a circa 40 m di profondità nella zona del Mortaiolo, a ridosso delle Colline Livornesi, costituite in prevalenza da depositi pliocenici e pleistocenici, e che si approfondisce in modo costante fino a 150-200 m e oltre nella zona della città di Pisa.

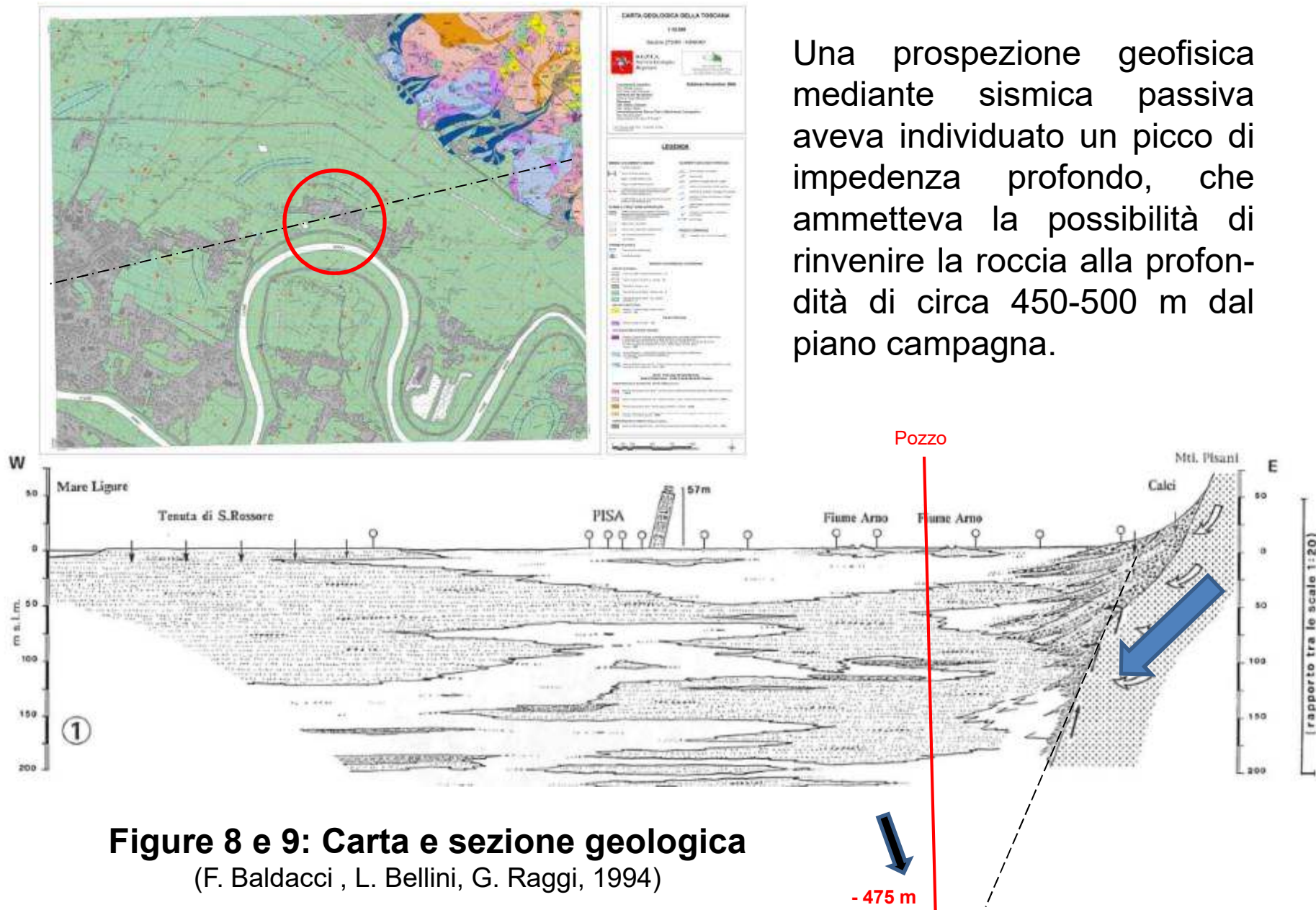
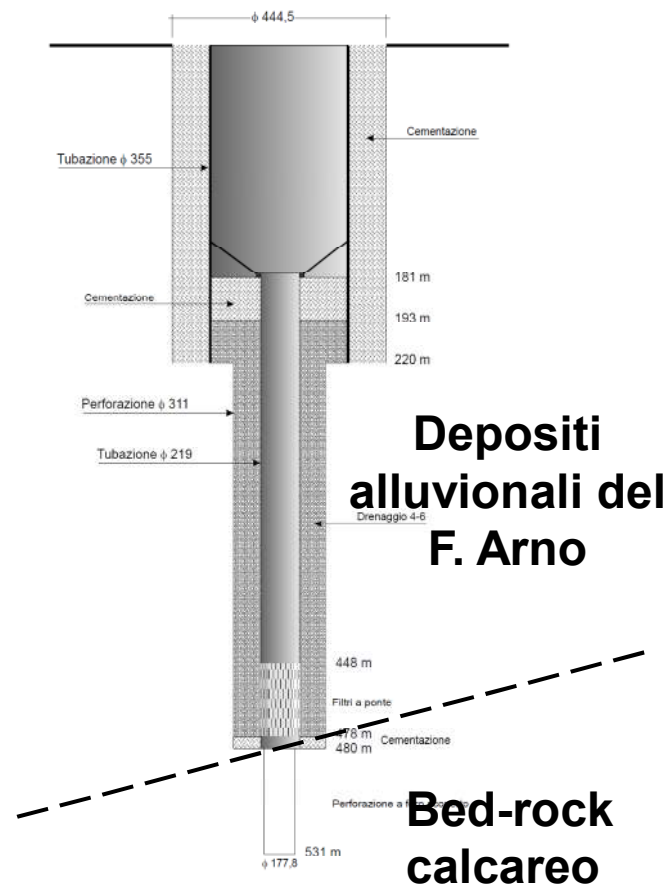


Figure 8 e 9: Carta e sezione geologica
(F. Baldacci , L. Bellini, G. Raggi, 1994)

In base a questo e in funzione della ricostruzione geologica dell'area tra i Monti Pisani e Pisa, era stato realizzato il pozzo esplorativo secondo lo schema indicato in figura 10. Nel progetto originario era prevista una impermeabilizzazione tra le profondità -200/-450.



Una volta terminato e sviluppato il pozzo, raggiunto il bed-rock prevalentemente calcareo alla profondità di circa 470 m dal p.c., furono effettuati i campionamenti per la determinazione dei parametri chimico-fisici della falda intercettata. Considerando che nella pianura pisana il gradiente geotermico medio è leggermente più alto di quello normale, ovvero si aggira intorno ai 5°C ogni 100 metri, vista anche la presenza di due centri termali a Nord e Sud-Est dell'area dell'Eden Park (San Giuliano Terme e Uliveto Terme), ci si aspettava una temperatura delle acque dell'ordine di almeno 36-38°C. In realtà la temperatura rilevata si stabilizzava intorno ai 29-30°C, sensibilmente inferiore rispetto a quella attesa.

Figura 10: Schema del pozzo.

2.2. Gli studi idrogeologici di seconda fase.

Oltre alla termalità inferiore alle previsioni, il pozzo risultò essere inquinato. Per cercare di capire se l'esito del pozzo dipendesse da errata interpretazione geologica o da cattiva esecuzione dello stesso, la Committenza decise di estendere le analisi chimiche al fiume Arno e ad un vicino pozzo irriguo di circa 50 m di profondità, alimentato dalle acque del fiume e di eseguire prove di pompaggio sui due pozzi per accertarne l'alimentazione.

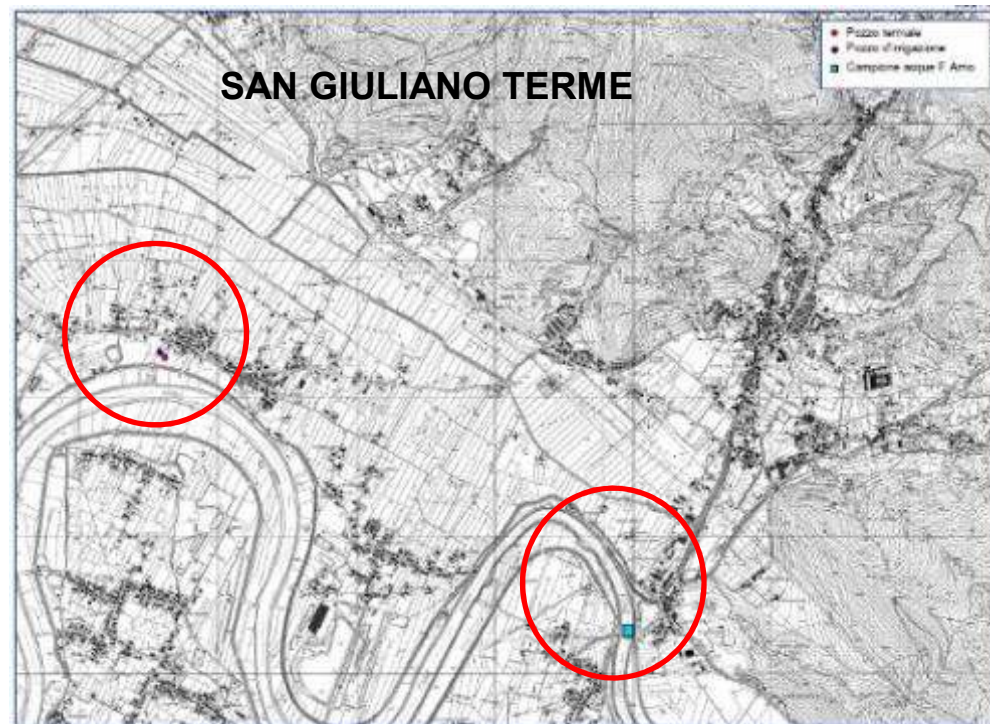


Figura 11: Ubicazione dei punti di campionamento delle acque.

FONDAZIONE MCR - CONVEGNO DI ROVERETO 2016 «TRA GEOLOGIA E GEOFISICA»
TECNICHE TERMOMETRICHE APPLICATE ALLA VERIFICA DELLA CORRETTA ESECUZIONE DI POZZI PER ACQUA TERMALE

	U.d.M.	Pozzo profondo			Pozzo irrigaz.	Acqua Arno
		26/04/2011	28/05/2011	27/08/2012	27/08/2012	
Durezza totale	°F			187	36	38
pH		6,3	6,11	6,5	7,4	8
Conducibilità	μS/cm	3900	4550	4120	834	1392
Idrogeno solforato	mg/l	< 0,1	-	-		
Bicarbonati	mg/l	1421	1647	1430	400	252,5
Bromuri	mg/l	2,4	36,1	1,59	0,38	0,3
CO ₂	mg/l	940	328	-		
Cloruri	mg/l	461	673	510	250	238
Solfati	mg/l	632	1223	611	0,8	197,3
Nitrati	mg/l NO3	< 0,5	89,6	0,2	< 0,1	6,6
Nitriti	mg/l NO2	< 0,05	< 0,036	< ,003	< 0,003	1,29
Fosfati	mg/l P	0,26	-	0,03	0,2	0,4
Fosforo totale	mg/l P	-	4,71	0,03	0,2	0,4
Fluoruri	mg/l	0,85	22,6	0,94	0,15	0,27
Azoto ammoniacale	mg/l NH4	0,14	< 0,5	2	2,82	0,17
Calcio	mg/l	425	427,68	531	99	106,3
Magnesio	mg/l	110	78,7	119	22	26,9
Sodio	mg/l	390	110,4	429	65	164
Potassio	mg/l	29	27,3	61	circa 36	circa 39
Silice	mg/l	30	21,5	-		
Alluminio	mg/l	0,84	70,5	0,072	0,181	7,98
Ferro	mg/l	1,61	0,299	1,854	1,508	1,484
Manganese	mg/l	0,12	0,213	0,212	0,384	0,154
Stronzio	mg/l	7	-	7	circa 4	circa 5
Litio	mg/l	-	54,3	3	<0,1	circa 0,1
Ioduri	mg/l	-	32,1	-		
Coliformi totali	UFC/100ml	115	-	10		
Colonie 36°C	UFC/1ml	50	-	-		
Colonie 22°C	UFC/1ml	80	-	0		

Figura 12: Analisi chimiche dei tre punti di prelievo.

Le analisi chimiche dei tre punti di prelievo mostrarono sul pozzo profondo una più elevata mineralizzazione e pH e temperatura diversi (come ci si aspettava) grazie al contributo di alimentazione dal serbatoio carbonatico. Emersero anche delle anomalie nei tenori dei fosfati, dell'azoto ammoniacale, dei nitrati e dei coliformi.

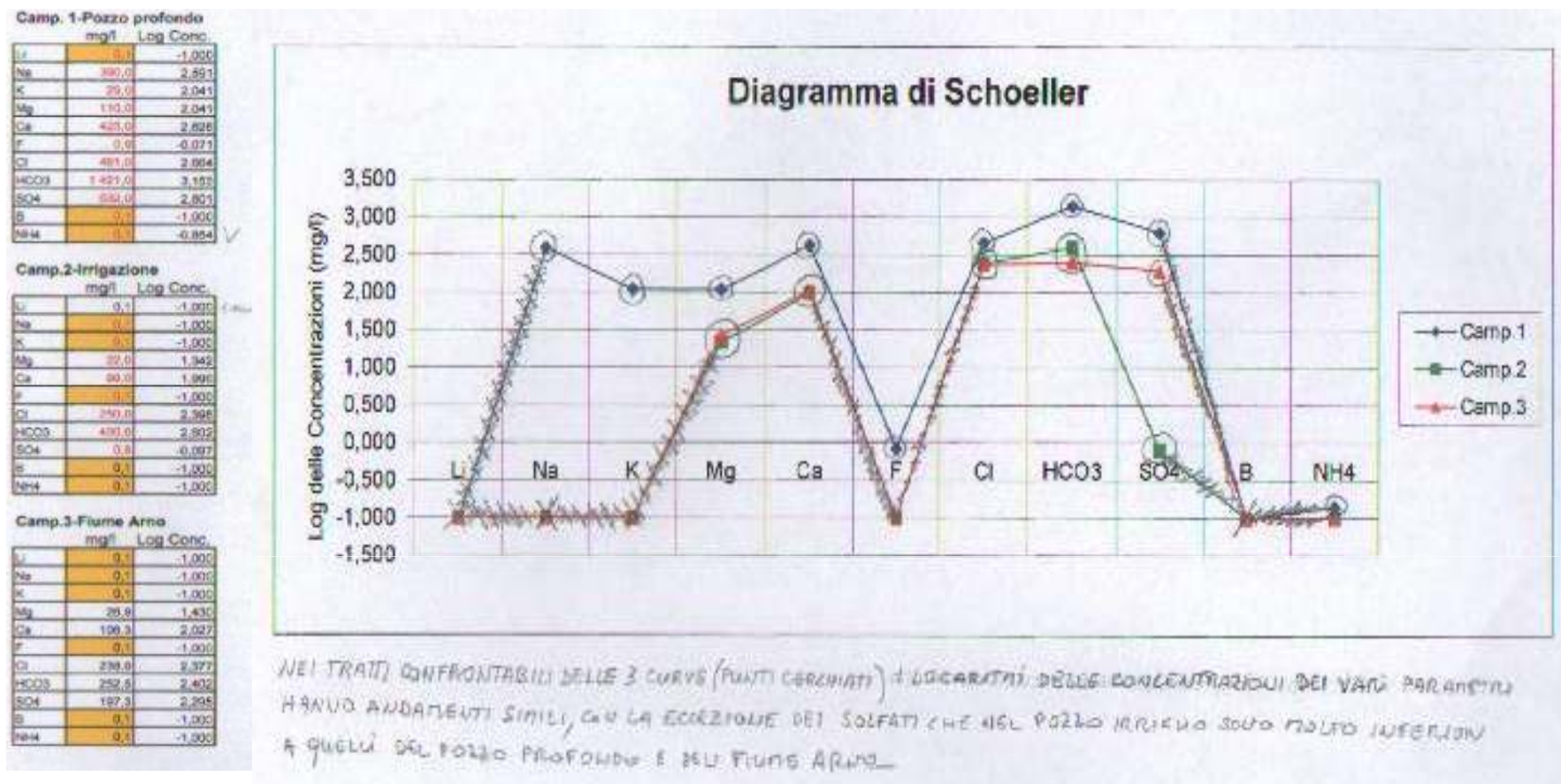


Figura 13: Diagramma di Schoeller per i tre punti di prelievo.

Il fatto che le tratte confrontabili del diagramma di Schoeller per i tre punti d'acqua avessero andamenti simili, (oltre alla presenza sui tre di coliformi e azoto ammoniacale), supportava la possibilità che i filtri della parte alta del pozzo profondo captassero e miscelassero fra loro sia l'acqua della falda dell'Arno, che le acque meno superficiali.

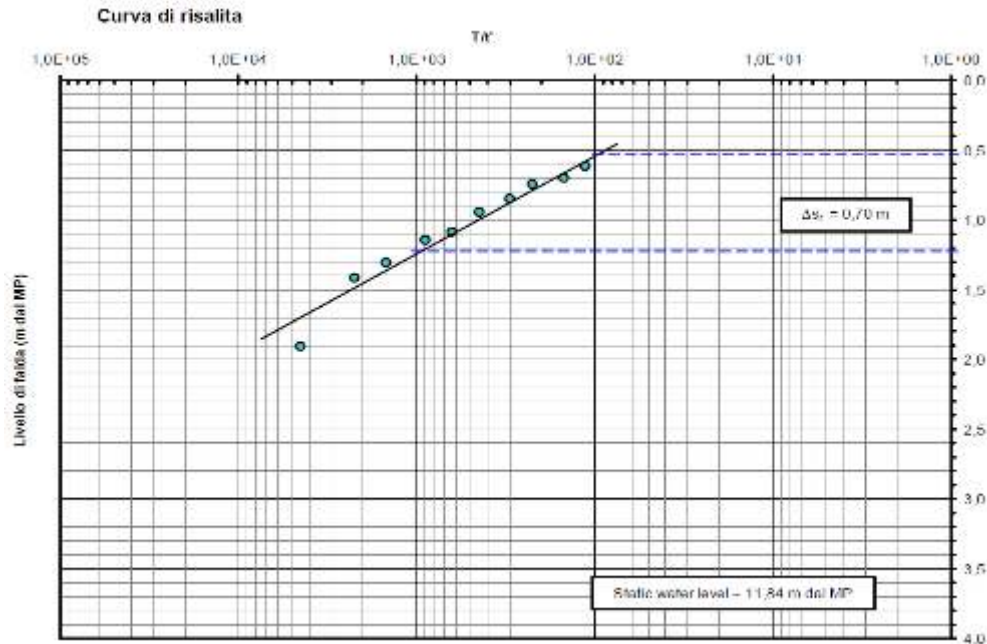


Figura 14:
Prova di pompaggio sul pozzo di irrigazione.

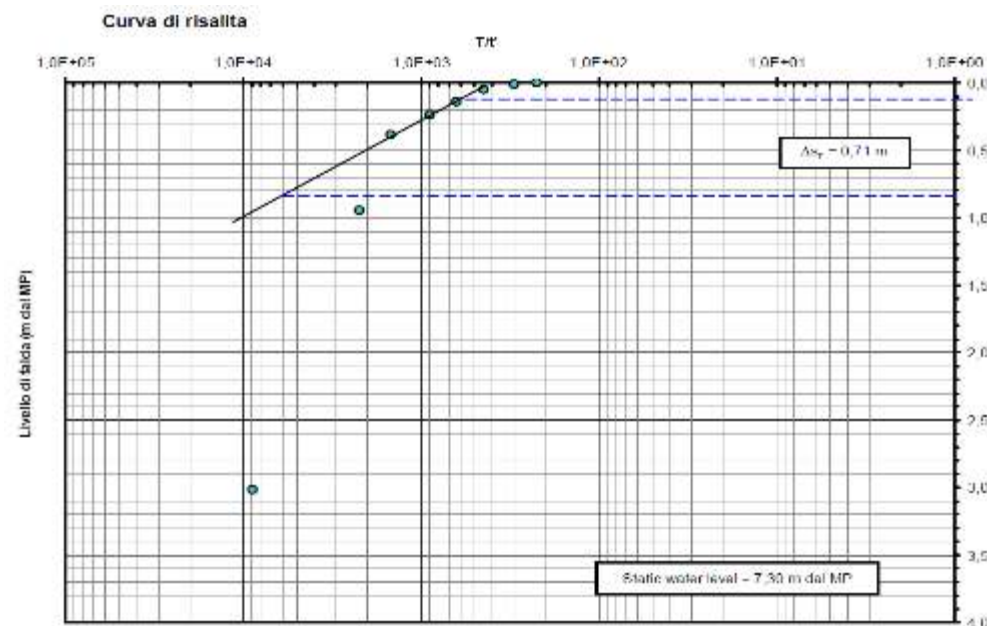


Figura 15:
Prova di pompaggio sul pozzo profondo.

Nell'agosto 2012 furono eseguite prove di pompaggio in risalita sui due pozzi (Dott. V. Buchignani), da cui si osservò una sostanziale analogia nei valori di trasmissività idraulica. Mentre la permeabilità orizzontale era la stessa, la trasmissività variava fra 166,è m²/day del pozzo termale e 56,46 m²/day del pozzo irriguo: tale differenza era dovuta però al diverso spessore di acquifero messo in produzione.

I due pozzi mostravano inoltre diverso livello statico.

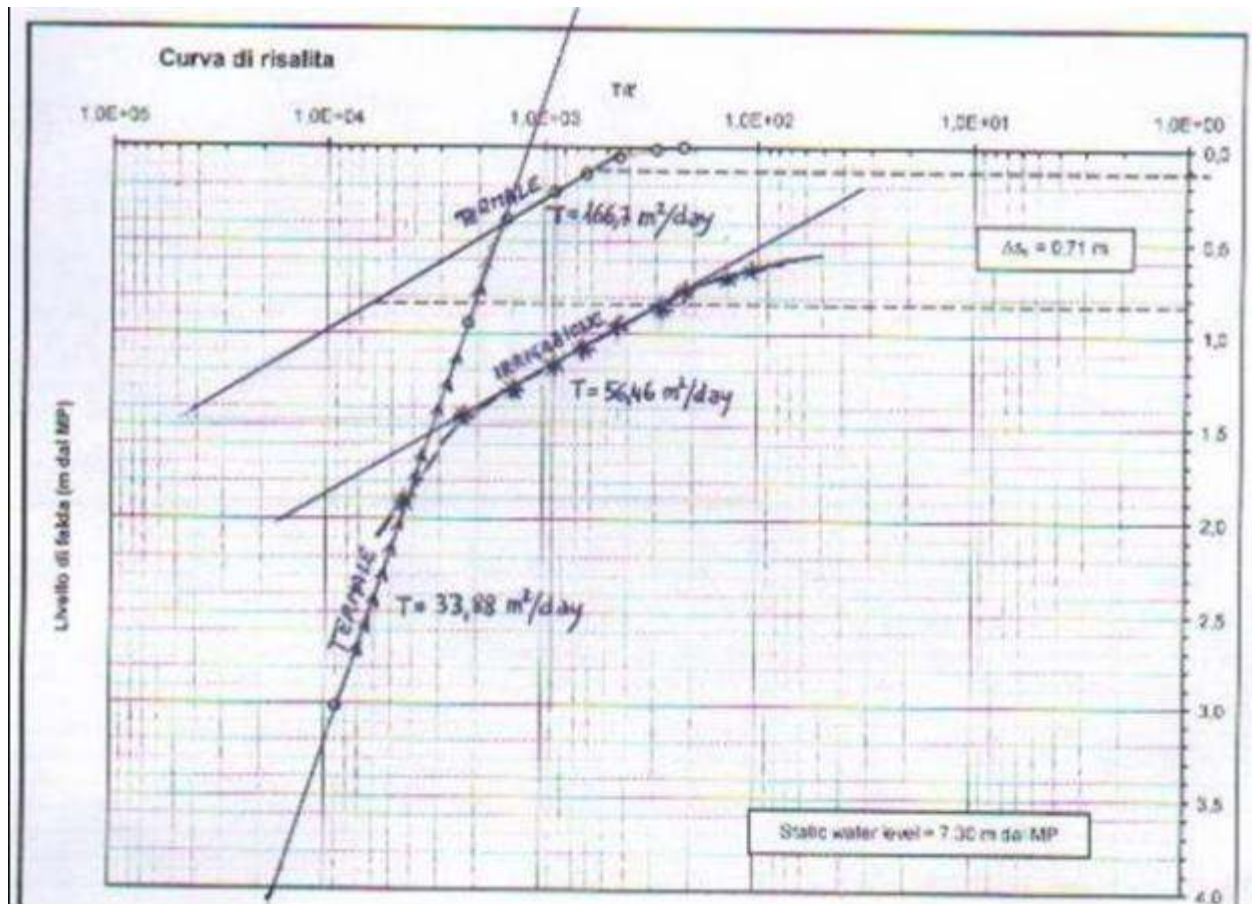


Figura 16: Grafico di comparazione.

Riportando la curva di risalita del pozzo irriguo sul grafico del pozzo termale si rileva che anche quest'ultimo è alimentato prevalentemente dalla falda alluvionale, mentre il contributo dal serbatoio termale è molto ridotto rispetto a quello dalla falda alluvionale, forse anche per miscelazione e/o intasamento a fondo foro.

3. LE RAGIONI DEL CONTENZIOSO ED I LOG IN POZZO.

Osservando la documentazione esistente, le considerazioni di carattere chimico-idrogeologico alle quali giunsero i tecnici furono le seguenti:

a) La ricarica operata dall'Arno (che drena un ampio bacino intensamente sfruttato dall'agricoltura) sta all'origine degli apporti di fosfati, che in falda restano in soluzione a causa dell'assenza di strati argillosi potenti e continui. Questo avallava l'ipotesi che non fosse stato effettuato il tamponamento o cementazione del pozzo tra i -220 ed i -450 m, ma che si fossero intercettate le varie falde sovrapposte presenti nei sedimenti quaternari depositi dal F. Arno.

b) Il pozzo è inquinato chimicamente (nitrati) e batteriologicamente (coliformi), evidentemente a causa di infiltrazione di acque superficiali.

c) Il tratto finale del foro, quello che doveva essere l'obiettivo del pozzo, è risultato intasato presumibilmente da bentonite e detriti di perforazione. La presenza consistente di fosfato nell'acqua del pozzo è probabilmente da collegare anche agli additivi per lo spurgo del fango di perforazione (polifosfati?).

Da qui nacque un contenzioso con la Ditta esecutrice che portò alla esecuzione di prospezioni televisive in foro e di prospezioni geofisiche per accertare l'origine della "contaminazione" chimica e batteriologica.

3.1. I log in pozzo del 2011 e 2012.

Non riuscendo a trovare una soluzione, né a pervenire ad un accordo, la Proprietà Eden Park decise di convocare altri tecnici che, preso atto della situazione, proposero un log termometrico in foro, per verificare eventuali connessioni con acque di falda non profonde.

Per tale ragione, nell'agosto 2012 la correlatrice (dott.sa Michèle L. Vuillermin) effettuò un'indagine «termodifferenziale» sul pozzo, sino alla profondità di -400 m da p.c..

Per prima cosa si analizzò la stratigrafia del pozzo. Si rilevò però che esistevano due stratigrafie talora discordanti (anche perché non egualmente dettagliate), redatte da tecnici diversi. A questo punto si rese necessario rianalizzare e confrontare anche tutte le altre indagini pregresse fatte eseguire dalla Committenza.

Si ritenne di dover rianalizzare anche i logs in pozzo eseguiti in precedenza, dalla cui comparazione si ricavarono importanti informazioni, necessarie alla comprensione dello schema idrico locale, alquanto complesso.

3.2. Stato delle conoscenze e breve premessa metodologica.

Per analizzare lo stato del pozzo erano già stati eseguiti in precedenza a carico della Committenza, oltre a quanto illustrato ai capitoli precedenti anche i seguenti logs in pozzo, sino alla massima profondità di circa 508 m da p.c.:

- **Log gamma ray**: i livelli acquiferi sono identificabili con i valori di AP/GR più bassi e quelli impermeabili dai valori più alti. Una volta tarato il modello litologico locale, in assenza di anomalie, consente di distinguere le diverse granulometrie, aiutando a reinterpretare anche la stratigrafia.
- **Log di resistività delle acque**: i valori più bassi indicano acque maggiormente mineralizzate e/o più calde; quelli più alti, con valori che generalmente sono superiori a 7-9 ohmxm, indicano afflusso di acque fredde dolci poco mineralizzate. Acque a 3-5 ohmxm indicano una elevata mineralizzazione e/o un aumento di temperatura. Si specifica che il log dopo pompaggio risulta diversamente significativo in quanto miscela i valori di resistività, richiamando acqua da tutti gli acquiferi captati, mentre quello in discesa e pozzo in quiete, consente di distinguere meglio le venute d'acqua meno rilevanti (e di conseguenza anche le variazioni litologiche) .
- **Ispezione televisiva** in foro.

In figura 17 sono riportati i logs pregressi.

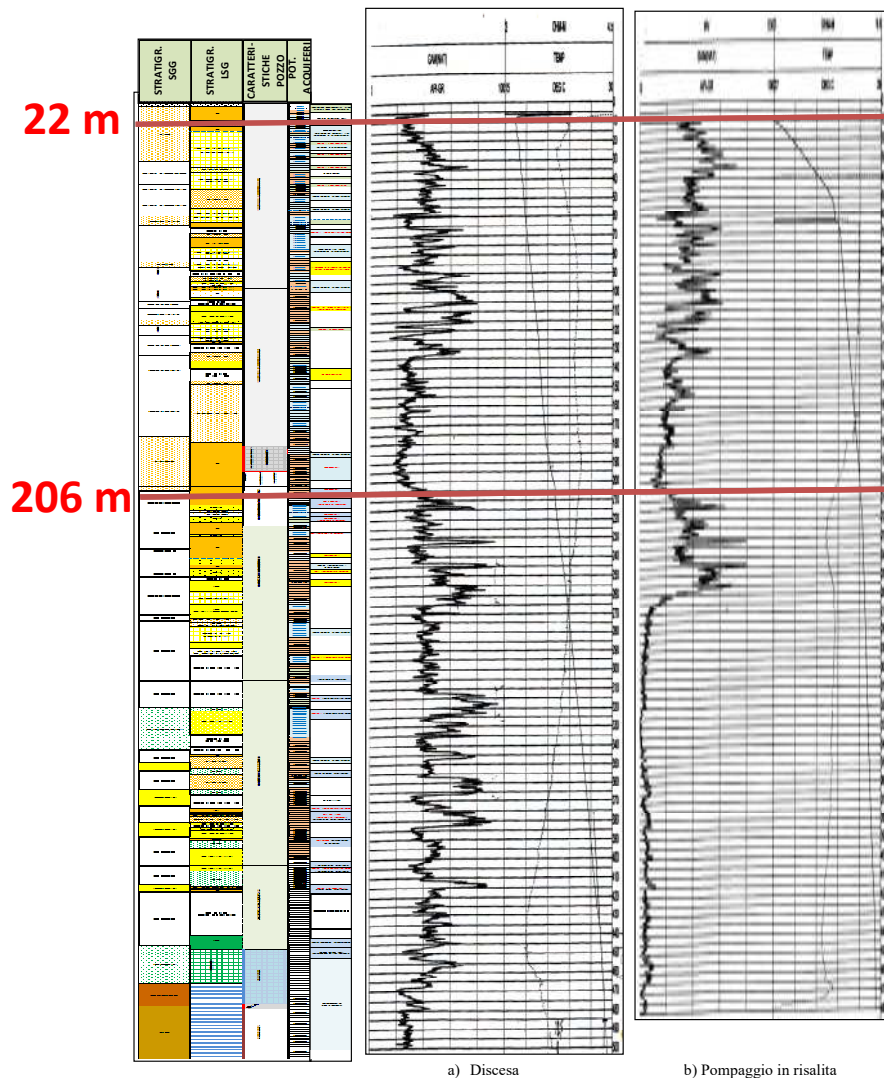


Figura 17: Logs di resistività delle acque e stratigrafia del pozzo.

I logs ramma ray e di resistività confermarono la possibilità che non fosse stata fatta la corretta sigillatura del pozzo. Infatti, l'inquinamento da nitrati e da coliformi può avvenire solo da acque superficiali, già nei primi 20 metri di profondità. E' inoltre presumibile che lo spurgo non sia stato fatto correttamente, in maniera da rendere il pozzo improduttivo proprio in corrispondenza dell'acquifero obiettivo della ricerca.

Un altro elemento è costituito dalla infiltrazione nel pozzo di acqua a bassa temperatura e dagli esiti della videoispezione, che aveva rilevato un "movimento turbolento al passaggio di diametro in corrispondenza del raccordo fra le due tubazioni di diametro diverso." intorno alla quota di **206 m**.

4.3 Log termodifferenziali: la metodologia adottata.

Per cercare di appurare lo “stato di salute” del pozzo, oltre rilevare gli orizzonti acquiferi, si sono individuate le «anomalie» rispetto a quanto dichiarato nella stratigrafia, cercando innanzitutto di individuarne le ragioni.

Per raggiungere tale obiettivo si è operato come segue, utilizzando una sonda termometrica con lettura al 10° di grado ed stima del 20° :

- esecuzione di una serie di misure termometriche in «discesa» su pozzo stabilizzato da un congruo tempo di «quiete» (**Ti**);
- esecuzione di una serie di misure termometriche in «risalita» dopo rimescolamento ed omogeneizzazione della colonna d'acqua (**Tm**);
- elaborazione dei dati di gradiente riferiti alle temperature in «quiete» (**Gi**), utili per definire le variazioni locali rilevabili nel dettaglio (+o – 1 m);
- elaborazione dei dati di gradiente riferiti alle temperature «miscelate» (**Gm**), utili per definire le variazioni di gradiente sulla colonna;
- identificazione degli orizzonti potenzialmente acquiferi freddi-aquifer (**F** in azzurro), impermeabili-aquiclude (**C** in rosa) o degli aquitar (**T** in verde) e delle anomalie di temperatura;
- ricerca di eventuali «**anomalie**» rispetto ai dati stratigrafici (in rosso sugli elaborati);
- raffronto con i dati degli altri log in pozzo e taratura dei «dati anomali».

Per scremare i dati e comprenderne l'interpretazione si partì dalle seguenti considerazioni:

- Gli acquiferi (F) se freddi sono generalmente identificabili da temperature costanti od in diminuzione e bassi gradienti inferiori a quello medio (Gm) e/o totale (o omotermico) dei siti (Gtot). I limiti inferiore e superiore di gradiente dei «potenziali acquiferi» dei siti vanno comunque tarati su un'analisi dei dati e degli acquiferi locali; le venute d'acqua sono confermabili anche da una variazione positiva della resistività delle acque, che risente anche della termalità delle stesse (oltre che dal grado di mineralizzazione).
- Gli aquitar (T) sono generalmente identificabili da un gradiente eguale o molto vicino a quello medio locale (Gm).
- Gli aquiclude (C) sono generalmente identificabili da un gradiente più elevato di quello medio locale (Gm) e/o di quello totale omotermico.
- Gli acquiferi caldi implicano perlomeno (se con portata e spessore consistente) l'aumento della temperatura e/o del gradiente e la diminuzione della resistività.
- Le variazioni negative di temperatura sono da valutare di volta in volta.
- Quando $T_m = T_i$ si passa da un orizzonte acquifero all'altro.
- L'effetto della presenza di torbe, corrosioni, scavarnamenti ed altri fattori indicati anche in bibliografia andava comunque tarato e «verificato» .

L'illustrazione delle diapositive seguenti si svilupperà nel seguente modo:

- analisi delle variazioni termometriche e di gradiente a larga scala;
- analisi e raffronto (a larga scala) del log termo differenziale con i log di resistività e con il log Gamma ray;
- analisi delle «anomalie» ogni 100 metri di profondità;
- analisi delle variazioni di «gradiente progressivo» con la profondità;
- analisi di dettaglio, identificazione e taratura delle principali anomalie caratterizzanti i diversi «status» lungo la colonna;
- considerazioni conclusive.

Le anomalie individuate sono rappresentate anche singolarmente in due diverse colonnine relativamente ai «log di resistività + gamma ray» e relativamente al solo «log termodifferenziale».

FONDAZIONE MCR - CONVEGNO DI ROVERETO 2016 «TRA GEOLOGIA E GEOFISICA»
 TECNICHE TERMOMETRICHE APPLICATE ALLA VERIFICA DELLA CORRETTA ESECUZIONE DI POZZI PER ACQUA TERMAL

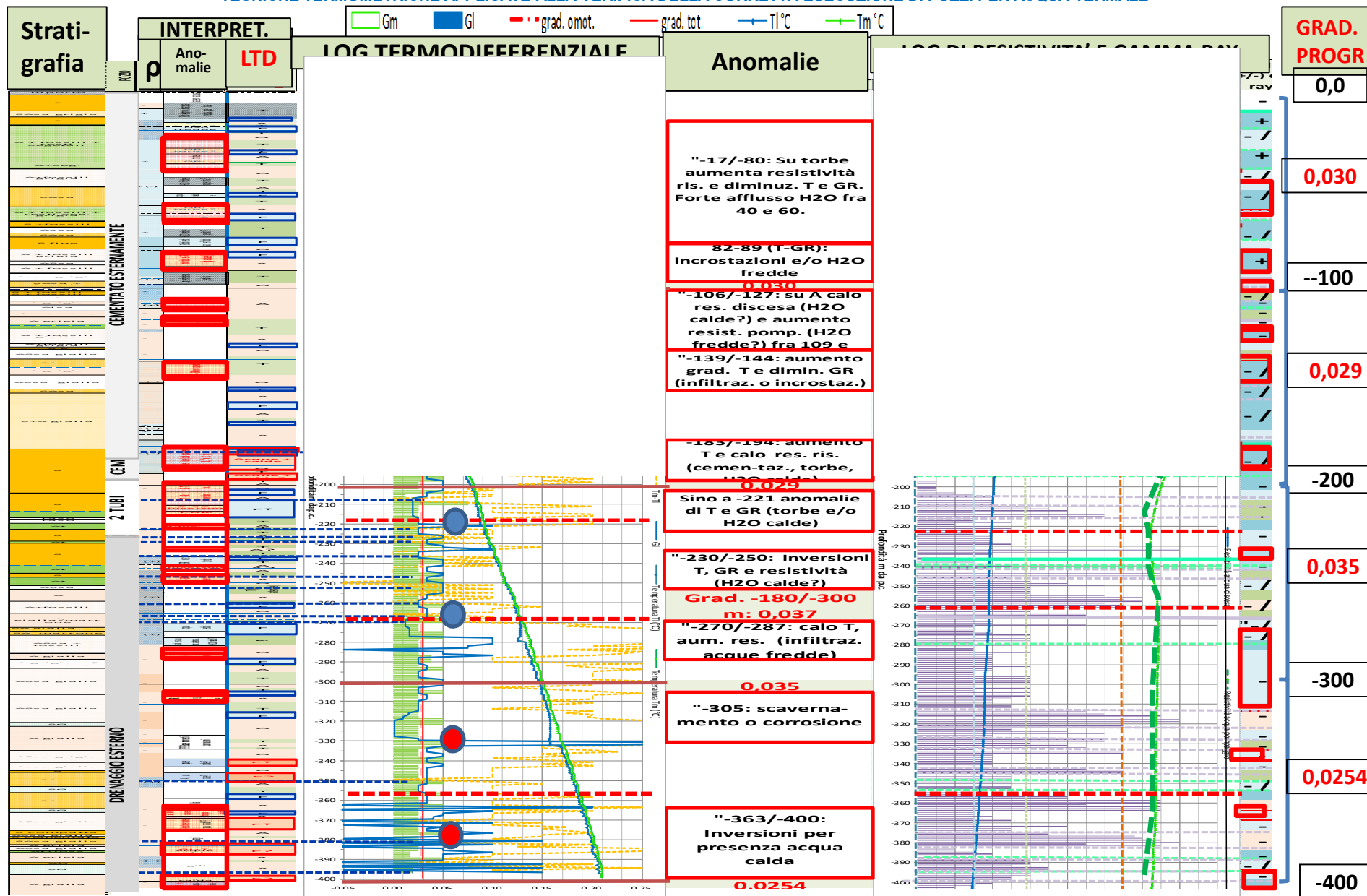


Figura 18: Raffronto fra il «Log termodifferenziale» e gli altri logs in pozzo.

Dr. geol. Vincenzo Buchignani - Via Per Corte Capanni 149/D, Lucca
 Tel/cell 3487766109, e mail: vbuchig@tin.it

dr. geol. Michèle L. Vuillermin - viale Verona 56, Trento
 Tel: 0461923182, cell: 3286930310, e mail: ml.vuillermin@geotaspec.it

5 falde di acqua dolce. “Anomalie” sino a -80 m da p.c. in prevalenza costituite da torbe, che producono un aumento di gamma ray e di temperatura e riduzione di resistività.

- Acqua fredda fra -45 e -58 m da p.c (log termodifferenziale e gamma ray.)

- Prima vera anomalia fra **-82 e -89** m da p.c. dove, su argille gamma ray diminuisce e Gi diventa negativo; imputabile ad incrostazioni sulle tubature, con possibile infiltrazioni di acque fredde di base.

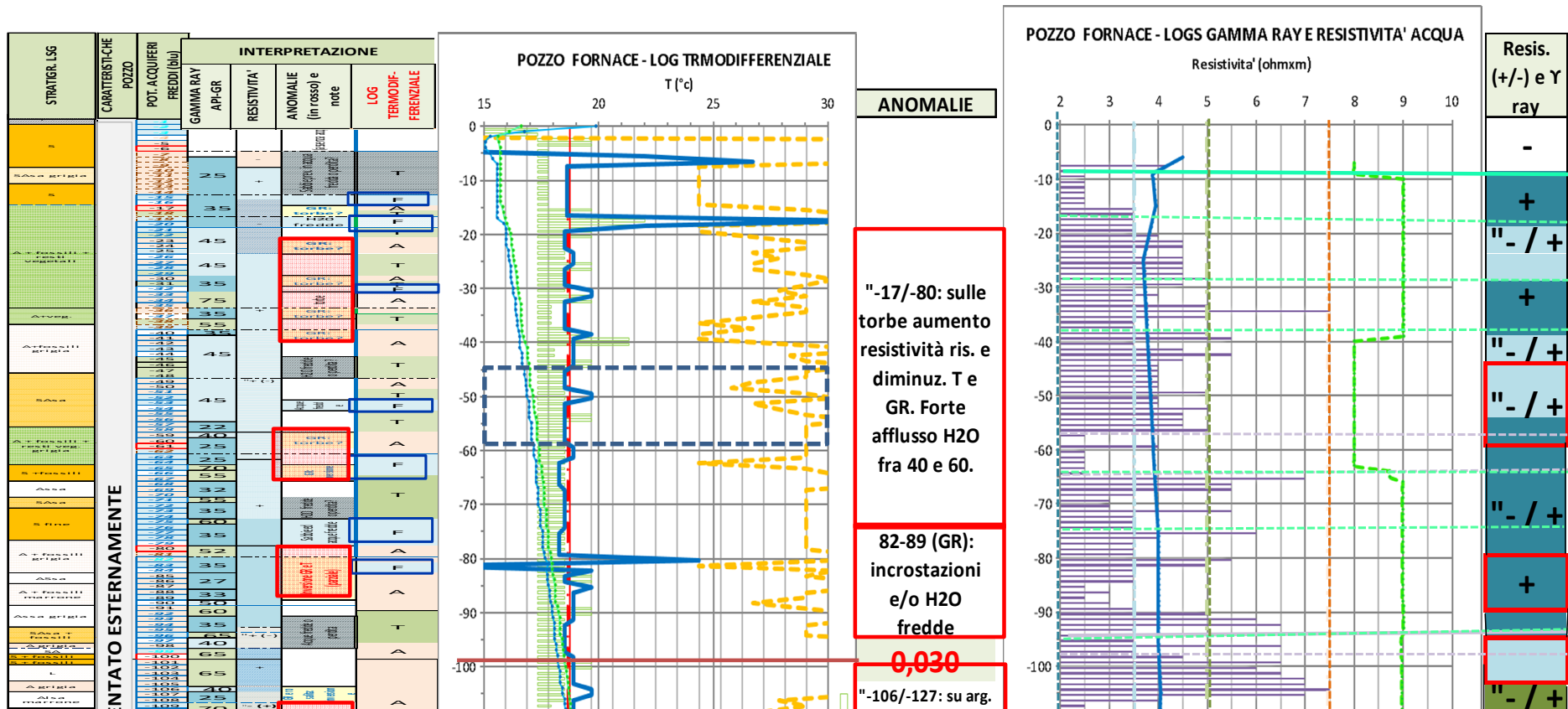


Figura 19: Raffronto fra il «Logs termodifferenziale» e gli altri log in pozzo – 0-100.

FONDAZIONE MCR - CONVEGNO DI ROVERETO 2016 «TRA GEOLOGIA E GEOFISICA»
 TECNICHE TERMOMETRICHE APPLICATE ALLA VERIFICA DELLA CORRETTA ESECUZIONE DI POZZI PER ACQUA TERMAL

Profondità m da p.c.	LOG TD STABILIZZATO		LOG TD MISCELATO		Gm-Gl	Tm-Tl	STRATIGR. LSG	INTERPRETAZIONE			
	Temperatura Tl (°C)	Grad. locale GI	Temperatura Tm (°C)	Grad. medio Gm				GAMMA RAY API-GR	RESISTIVITA'	ANOMALIE t _i (in rosso) e note	LOG TERMODIFFERENZIALE
-35	16,55	0,025	16,60	0,012	-0,013	0,050					
-36	16,60	0,025	16,60	0,012	-0,012	0,000	A+veg.	35	+	GR: torbe?	T
-37	16,60	0,025	16,65	0,025	0,000	0,050					
-38	16,65	0,050	16,65	0,050	0,000	0,000	A+fossili grigia	55		GR: torbe?	A
-39	16,70	0,033	16,70	0,085	0,052	0,000					
-40	16,70	0,033	16,79	0,085	0,052	0,085					
-41	16,70	0,033	16,87	0,015	-0,018	0,170					
-42	16,80	0,033	16,89	0,015	-0,018	0,085					

-81	17,95	-0,100	17,95	0,025	0,125	0,000	A + fossili grigia	52			A
-82	17,85	0,050	17,98	0,025	-0,025	0,125	ASsa	35	Inversione GR e T (parziale)	F	
-83	17,90	0,025	18,00	0,050	0,025	0,100					
-84	17,90	0,025	18,05	0,050	0,025	0,150	A+fossili marrone	27		A	
-85	17,95	0,050	18,10	0,025	-0,025	0,150					
-86	18,00	0,033	18,10	0,025	-0,008	0,100					
-87	18,00	0,033	18,10	0,025	-0,008	0,100					
-88	18,05	0,033	18,10	0,025	-0,008	0,050					
-89	18,10	0,033	18,20	0,050	0,017	0,100					
-90	18,10	0,033	18,25	0,050	0,017	0,150					

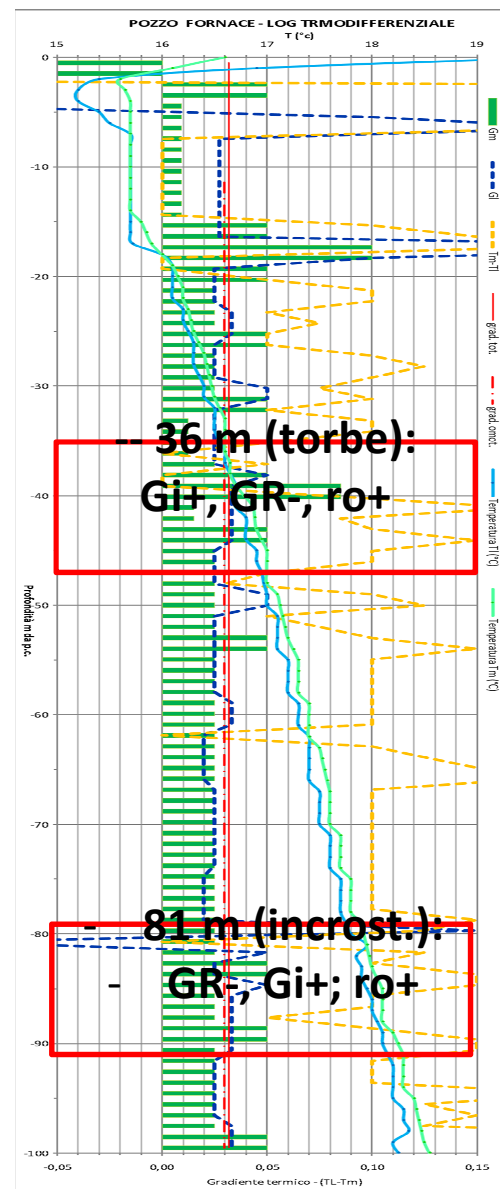


Figura 19 a: Tabelle dati – Analisi delle anomalie – 0-100 m.

- Fra **-106/-127** m da p.c., (su A) diminuzione resistività in discesa e aumento di resistività dopo pomp. (venute fredde dall'esterno?) fra **-109 e -111** m da p.c.
- Fra **-138 e -144** m da p.c. aumento di grad. T e resistività delle acque, diminuzione di gamma ray ed andamento "inverso" sulle due curve di resistività (quindi anomalo) sino a circa **-194** m da p.c, al disotto del tratto cementato del pozzo (infiltrazioni di acque fredde e/o incrostazioni).
- Fra **-183 e -194** m da p.c. si ha aumento di gradiente termico rilevante e diminuzione della resistività in risalita in corrispondenza di terreni sabbiosi, solo in parte imputabile alla cementazione del foro, in quanto l'anomalia è più estesa di essa.

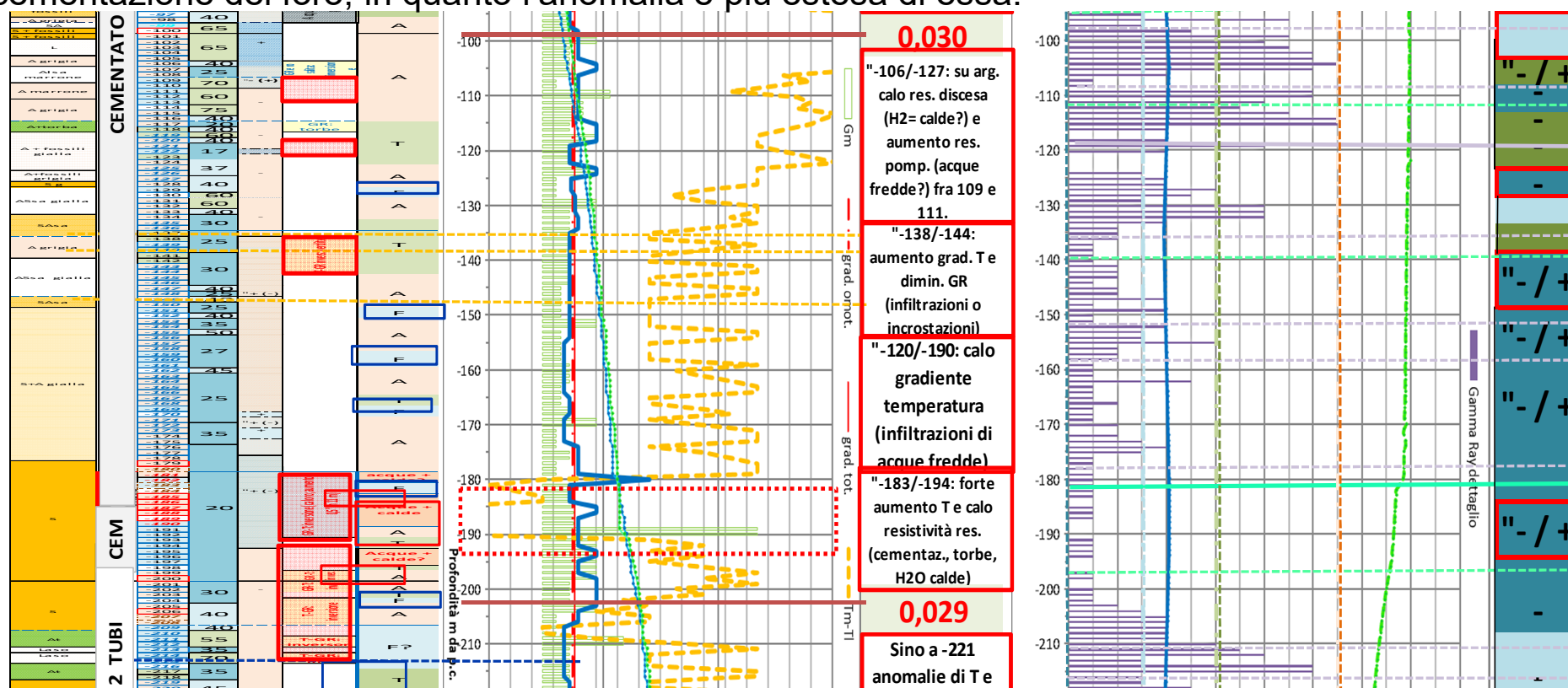


Figura 20: Raffronto fra il «Logs termodifferenziale» e gli altri log in pozzo – 100-200 m.

FONDAZIONE MCR - CONVEGNO DI ROVERETO 2016 «TRA GEOLOGIA E GEOFISICA»
TECNICHE TERMOMETRICHE APPLICATE ALLA VERIFICA DELLA CORRETTA ESECUZIONE DI POZZI PER ACQUA TERMAL

Profondità m da p.c.	LOG TD STABILIZZATO		LOG TD MISCELATO		Gm-Gl	Tm-Tl	STRATIGR. LSG	INTERPRETAZIONE			
	Temperatura Tl (°C)	Grad. locale GI	Temperatura Tm (°C)	Grad. medio Gm				GAMMA RAY API-GR	RESISTIVITA'	ANOMALIE (in rosso) e note	LOG TERMODIFFERENZIALE
-136	19,50	0,025	19,60	0,025	0,000	0,100	SAsa				
-137	19,50	0,025	19,70	0,025	0,000	0,200					
-138	19,55	0,025	19,70	0,025	0,000	0,150					
-139	19,60	0,025	19,70	0,025	0,000	0,100	A grigia	25		T-GR invers: perdite	T
-140	19,60	0,025	19,70	0,025	0,000	0,100					
-141	19,60	0,025	19,80	0,025	0,000	0,200					
-142	19,60	0,025	19,80	0,025	0,000	0,200					
-143	19,70	0,025	19,80	0,025	0,000	0,100					
-144	19,70	0,025	19,80	0,025	0,000	0,100					
-145	19,70	0,025	19,90	0,017	-0,008	0,200	ASsa gialla	30			

-180	20,60	0,100	20,60	0,012	-0,087	0,000					
-181	20,70	0,025	20,65	0,025	0,000	-0,050					acque + calde?
-182	20,70	0,025	20,68	0,025	0,000	-0,025					F
-183	20,70	0,025	20,70	0,029	0,004	0,000					
-184	20,70	0,025	20,70	0,029	0,004	0,000		"+ (-)			
-185	20,80	0,050	20,70	0,029	-0,021	-0,100					
-186	20,80	0,050	20,70	0,029	-0,021	-0,100					Acque + calde
-187	20,90	0,033	20,70	0,029	-0,005	-0,200					
-188	20,90	0,033	20,70	0,029	-0,005	-0,200					
-189	20,90	0,033	20,70	0,200	0,167	-0,200	S				
-190	21,00	0,033	20,90	0,200	0,167	-0,100					
-191	21,00	0,033	21,10	0,050	0,017	0,100					A
-192	21,00	0,033	21,15	0,050	0,017	0,150					T
-193	21,10	0,050	21,20	0,050	0,000	0,100					
-194	21,10	0,050	21,25	0,050	0,000	0,150					
-195	21,20	0,033	21,30	0,050	0,017	0,100					Acque +

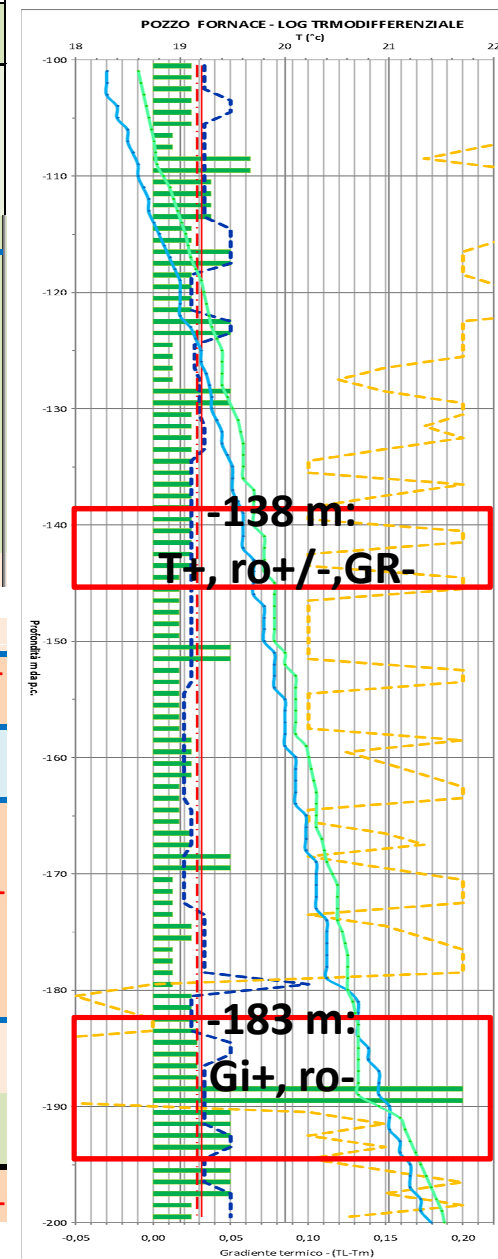
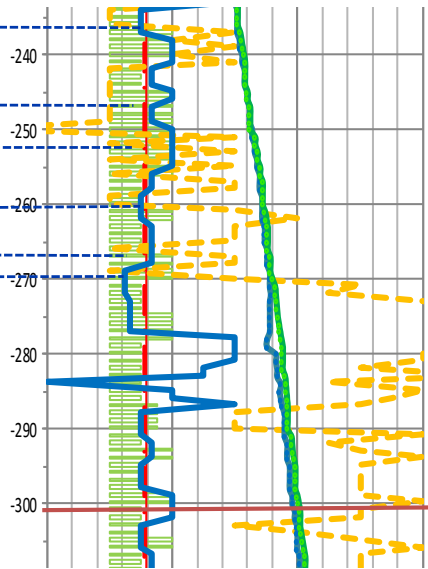
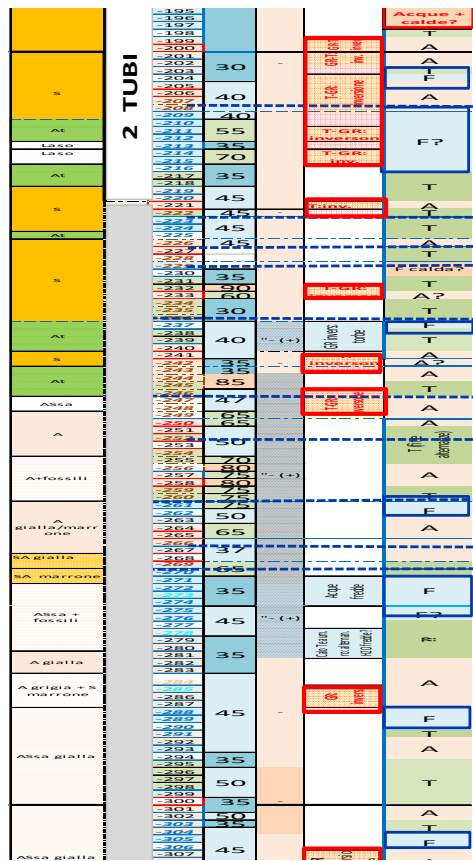


Figura 20 a: Tabelle dati – Analisi delle anomalie – 100-200 m.

LOG TERMOMETRICO

-Le anomalie termiche o di gamma
sabbiosi, in acque progressivamer
-Fino a **-299** m da p.c. (in corrisp
ad acque più calde e/o a zone più
-Fra **-270** e **-287** da p.c. forte ca
corrispondenza di un orizzonte fos



016 «TRA GEOLOGI
RETTE ESECUZIONE DI F

■ GI - - - grad. omo

-221 m da p.c.,

ono alcune “inv

sistività in risalita

H2O calde
0,029

Sino a **-221** anomalie
di T e GR (torbe e/o
H2O calde)

**"-230/-250: Inversioni
T, GR e resistività
(H2O calde?)**
**Grad. -180/300
m: 0,037**

**"-270/-287: calo T,
aum. res. (infiltraz.
acque fredde)**
0.035

limoso
outabili
dda in

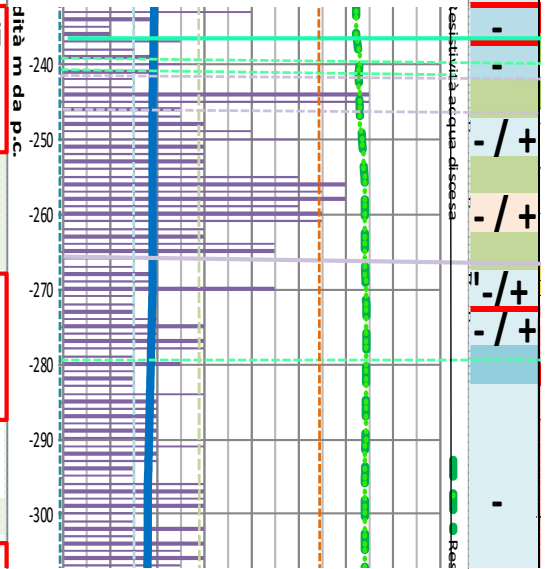


Figura 21: Raffronto fra il

Dr. geol. Vincenzo Buchignani - Via
Tel/cell 3487766109, e m

ale» e gli altr

dr. geol. Michéle L.
1923182, cell: 32869303

0 m.

FONDAZIONE MCR - CONVEGNO DI ROVERETO 2016 «TRA GEOLOGIA E GEOFISICA»
 TECNICHE TERMOMETRICHE APPLICATE ALLA VERIFICA DELLA CORRETTA ESECUZIONE DI POZZI PER ACQUA TERMAL

Profondità m da p.c.	LOG TD STABILIZZATO		LOG TD MISCELATO		Gm-Gl	Tm-Tl	STRATIGR. LSG	INTERPRETAZIONE			
	Temperatura Tl (°C)	Grad. locale Gl	Temperatura Tm (°C)	Grad. medio Gm				GAMMA RAY API-GR	RESISTIVITA'	ANOMALIE (in rosso) e note	LOG TERMODIFFERENZIALE
-237	22,60	0,025	22,70	0,050	0,025	0,100	At	40	"- (+)	GR invers: torbe	F
-238	22,70	0,050	22,75	0,050	0,000	0,050					T
-239	22,70	0,050	22,80	0,050	0,000	0,100					
-240	22,80	0,050	22,85	0,050	0,000	0,050	S	35	-	T: inversion	A
-241	22,80	0,050	22,90	0,025	-0,025	0,100					A?
-242	22,90	0,033	22,90	0,025	-0,008	0,000					
-243	22,90	0,033	22,90	0,025	-0,008	0,000		35			A

-270	23,90	0,013	24,00	0,050	0,038	0,100	SA marrone					
-271	23,90	0,013	24,10	0,025	0,012	0,200	ASsa + fossili	35	"- (+)	Acque fredde	F	
-272	23,95	0,013	24,13	0,025	0,012	0,175						
-273	23,90	0,017	24,15	0,025	0,008	0,250						
-274	23,90	0,017	24,18	0,025	0,008	0,275	A gialla	45	"- (+)	Calo T e aum. ro: alternan. H2O fredde?	??	
-275	23,90	0,017	24,20	0,050	0,033	0,300						
-276	23,90	0,017	24,25	0,050	0,033	0,350						
-277	23,90	0,017	24,30	0,050	0,033	0,400	A grigia + S marrone	35	"	GR: invers.	A	
-278	23,80	0,100	24,35	0,050	-0,050	0,550						
-279	23,80	0,100	24,40	0,025	-0,075	0,600						
-280	23,80	0,100	24,40	0,025	-0,075	0,600						
-281	24,15	0,100	24,40	0,025	-0,075	0,250						
-282	24,20	0,075	24,40	0,025	-0,050	0,200						
-283	24,20	0,075	24,50	0,025	-0,050	0,300						
-284	24,35	-0,050	24,53	0,025	0,075	0,175						
-285	24,30	0,050	24,55	0,025	-0,025	0,250						
-286	24,35	0,050	24,58	0,025	-0,025	0,225						
-287	24,40	0,100	24,60	0,037	-0,063	0,200						

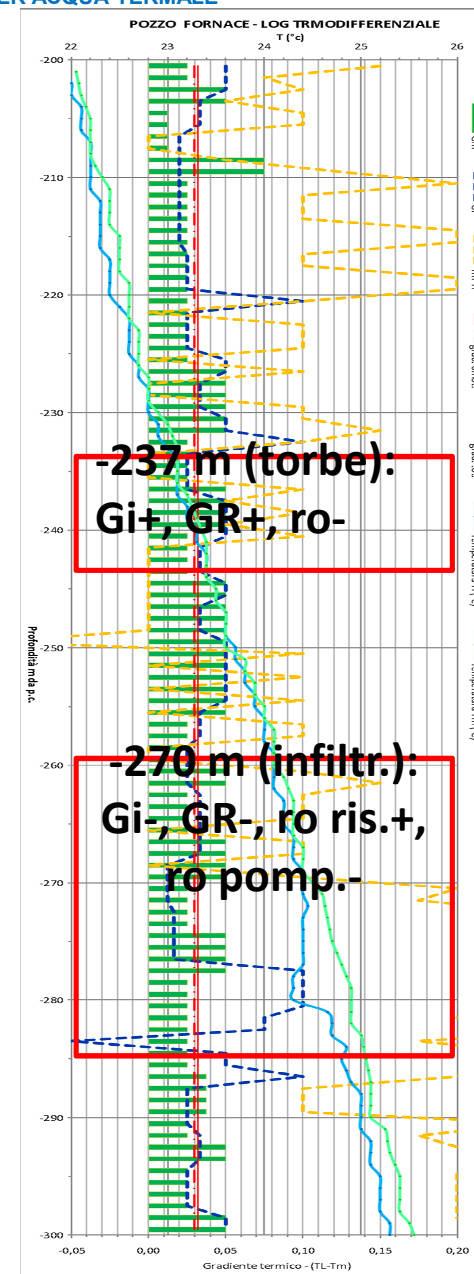


Figura 21 a: Tabelle dati – Analisi delle anomalie – 200-300 m.

- Seguono una serie d'inversioni probabilmente causate da presenza di acqua calda, sino a -339 m dove si ha un afflusso di acque meno termalizzate sino a -342 m da p.c. ed a -315 e -329 con scavernamenti e/o corrosioni.
- Fra -363 e -400 su AS ed SA grossa inversione di gradiente e gamma ray e calo continuo della resistività, per presenza di acqua calda, sempre su tratto con dreno .

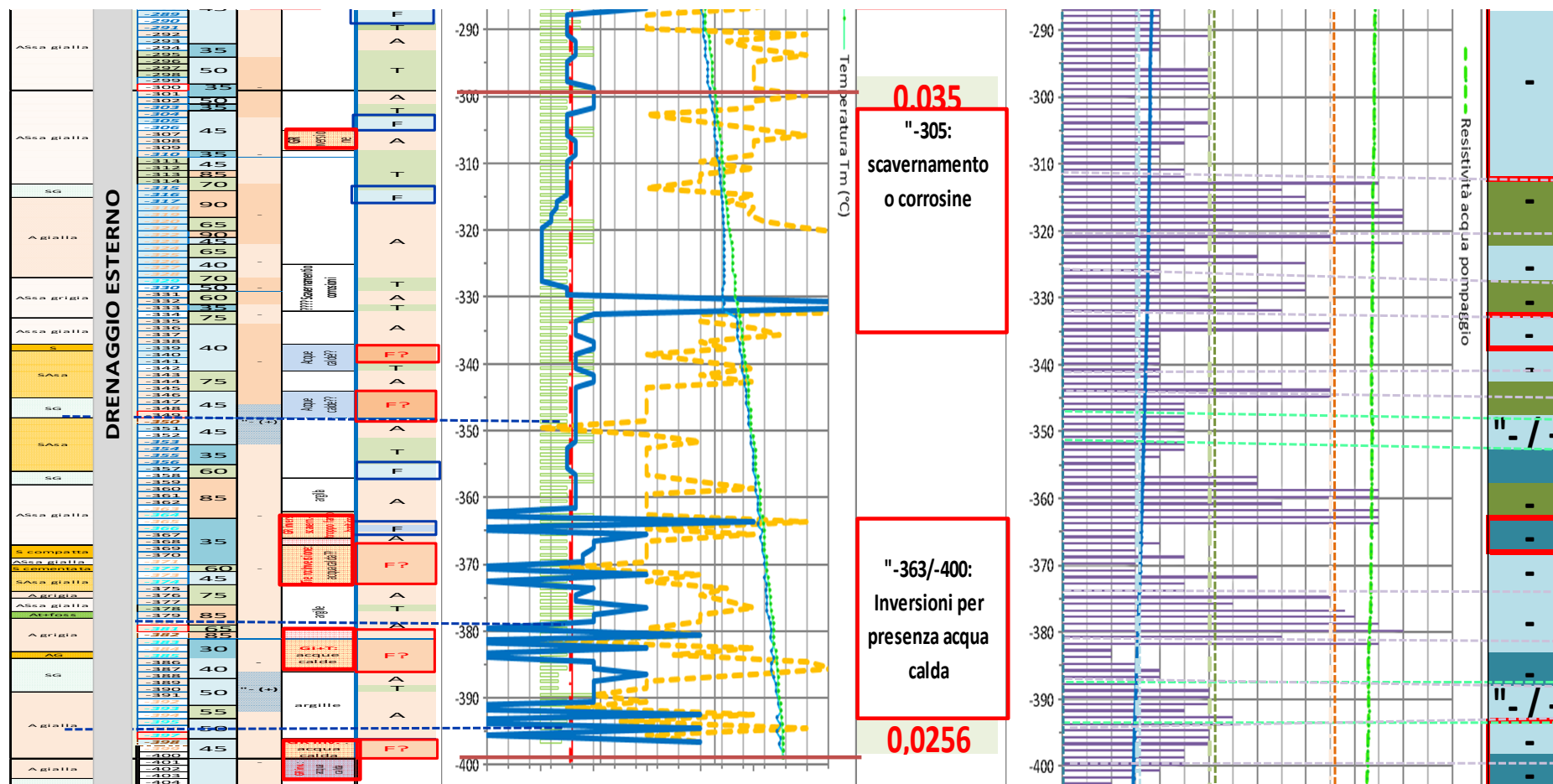


Figura 22: Raffronto fra il «Logs termodifferenziale» e gli altri log in pozzo – 300-400 m.

FONDAZIONE MCR - CONVEGNO DI ROVERETO 2016 «TRA GEOLOGIA E GEOFISICA»
 TECNICHE TERMOMETRICHE APPLICATE ALLA VERIFICA DELLA CORRETTA ESECUZIONE DI POZZI PER ACQUA TERMALE

Profondità m da p.c.	LOG TD STABILIZZATO		LOG TD MISCELATO		Gm-Gl	Tm-Tl	STRATIGR. LSG	INTERPRETAZIONE							
	Temperatura Tl (°C)	Grad. locale GI	Temperatura Tm (°C)	Grad. medio Gm				GAMMA RAY API-GR	RESISTIVITA'	ANOMALIE (in rosso) e note	LOG TERMODIFFERENZIALE				
-328	25,40	0,001	25,90	0,025	0,024	0,500	Assa grigia	70	-	Calo T: scavern. o corrosioni	T				
-329	25,35	0,025	25,90	0,025	0,000	0,550		50	-						
-330	25,35	0,025	25,90	0,025	0,000	0,550		60	-						
-331	25,40	0,275	26,00	0,050	-0,225	0,600		35	-						
-332	25,40	0,275	26,05	0,050	-0,225	0,650		75	-						
-333	25,95	0,050	26,10	0,050	0,000	0,150	Assa gialla	40	Acque calde??	F?					
-334	26,00	0,033	26,15	0,050	0,017	0,150					-				
-335	26,00	0,033	26,20	0,025	-0,008	0,200					-				
-336	26,00	0,033	26,23	0,025	-0,008	0,225					-				
-337	26,10	0,050	26,25	0,025	-0,025	0,150					-				
-338	26,10	0,050	26,28	0,025	-0,025	0,175	Assa gialla	85	GR invers: scavern. troppo fango barritico	F					
-339	26,20	0,033	26,30	0,050	0,017	0,100					-				
-340	26,20	0,033	26,35	0,050	0,017	0,150					-				
-341	26,20	0,033	26,40	0,050	0,017	0,200					-				
-342	26,30	0,050	26,45	0,050	0,000	0,150					-				
-363	27,00	-0,100	27,10	0,050	0,150	0,100					S compatta	35	Ti e ro: Inversione: acqua calda??	F?	
-364	26,90	0,200	27,15	0,050	-0,150	0,250									-
-365	27,10	-0,100	27,20	0,025	0,125	0,100									-
-366	27,00	0,100	27,20	0,025	-0,075	0,200									-
-367	27,10	0,050	27,20	0,025	-0,025	0,100									-
-368	27,10	0,050	27,20	0,025	-0,025	0,100	-								
-369	27,20	0,040	27,30	0,025	-0,015	0,100	-								
-370	27,20	0,040	27,30	0,025	-0,015	0,100	-								
-371	27,28	-0,080	27,30	0,025	0,105	0,020	-								
-372	27,20	0,100	27,35	0,025	-0,075	0,150	-								
-373	27,30	-0,050	27,40	0,025	0,075	0,100	SAssa gialla	45							
-374	27,25	0,050	27,43	0,025	-0,025	0,175					-				
-375	27,30	0,033	27,45	0,025	-0,008	0,150					-				

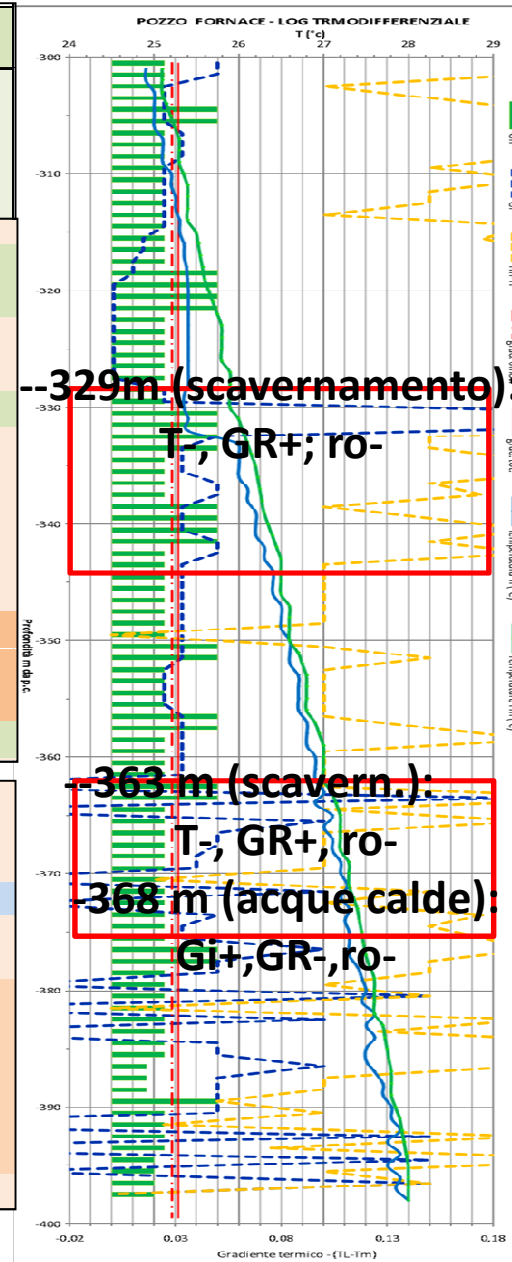


Figura 22 a: Tabelle dati – Analisi delle anomalie –300-400 m.

Altre inversioni causate da acque calde sono rilevabili sino a **-447 m** da p.c., al passaggio ad **acque dolci e fredde** (aumento della resistività delle acque e netto calo di temperatura delle misure pregresse, che si estendono sino a fondo foro, dove non si è rilevato nessun tipo di termalità. Questo tratto **è interessato dai filtri**.

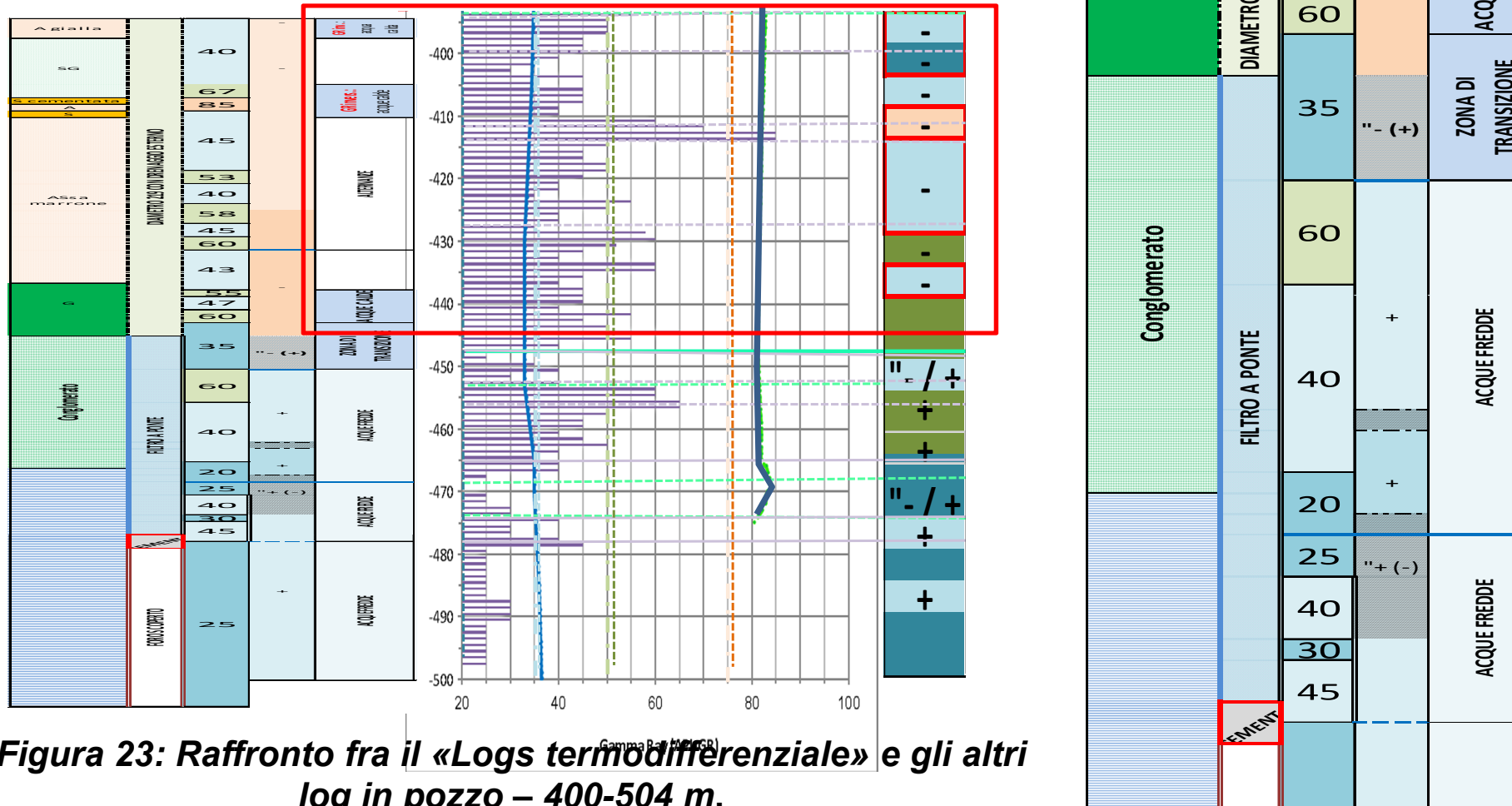


Figura 23: Raffronto fra il «Logs termodifferenziale» e gli altri log in pozzo – 400-504 m.

Le considerazioni derivate dall'analisi dei logs eseguiti in foro hanno portato a confermare le seguenti considerazioni relativamente alle «anomalie» ed inversioni rilevate nel pozzo dell'Eden Park:

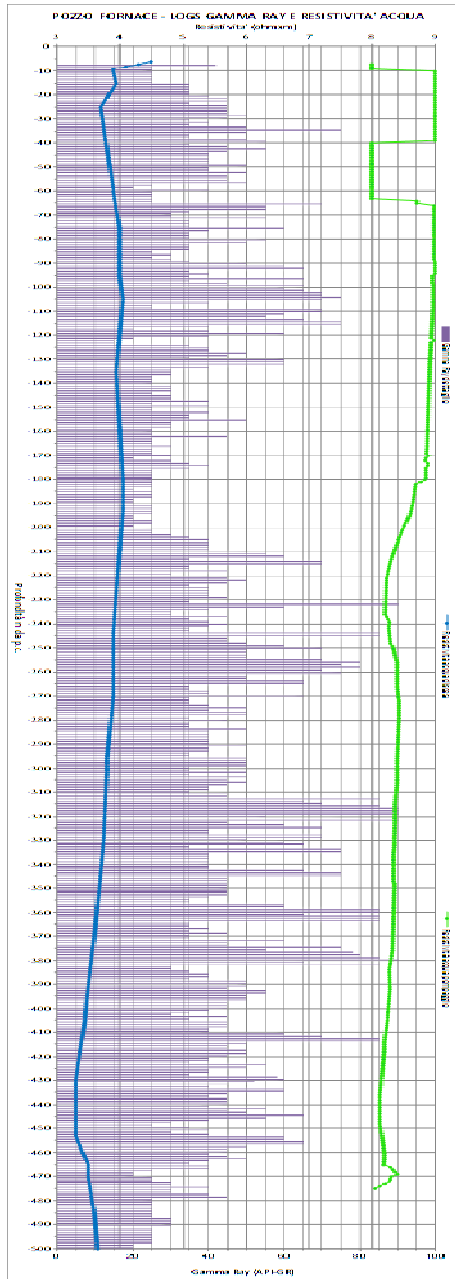
- 1) Presenza di torbe induce: aumento di gradiente termico locale, aumento del valore di gamma ray e diminuzione della resistività.
- 2) Presenza di corrosioni sulle tubature con conseguenti infiltrazioni di acque induce: aumento del gradiente termico locale e della resistività e diminuzione di gamma ray.
- 3) Presenza di scavernamenti induce: diminuzione della temperatura, aumento di gamma ray e diminuzione della resistività.
- 4) Presenza di acque calde induce: aumento di gradiente termico, diminuzione del valore di gamma ray e della resistività.

Tarate le anomalie rispetto ai possibili scenari, si rimanda l'analisi globale alle seguenti conclusioni.

5. CONCLUSIONI.

Già con gli studi preliminari si era verificato quanto segue:

- nei sedimenti quaternari della pianura pisana il gradiente medio (superiore alla media) è di circa 0,4; ci si sarebbe aspettata quindi, se l'acqua captata dal pozzo fosse venuta solo dall'acquifero produttivo profondo, una temperatura di almeno 32°-35°C, invece dei 27°-29°C misurati (in condizioni diverse) a fondo pozzo
- Il pozzo profondo (come dimostra l'elevata mineralizzazione, il pH e la temperatura diversi), riceve un consistente contributo di alimentazione dal serbatoio carbonatico, nonostante l'intasamento a fondo foro, accertato con la video ispezione.
- la presenza di coliformi e azoto ammoniacale nel pozzo profondo e le tratte confrontabili del diagramma di Schoeller per i tre punti d'acqua analizzati (che hanno andamenti simili), porterebbero ad ipotizzare un mescolamento fra le acque superficiali e quelle profonde.
- le prove di pompaggio effettuate mostrano una sostanziale analogia nei valori di trasmissività idraulica del pozzo profondo e del pozzo più superficiale e risulta evidente come il primo sia alimentato prevalentemente dalla falda alluvionale.
- le videoriprese effettuate nel pozzo termale rilevano presenza di incrostazioni ed un mulinare di acque a circa -180 m di profondità.
- Pare che erroneamente si sia approntato un materasso drenante fra -193 a -478 m da p.c.



Logs in pozzo pregressi: i logs di resistività.

A premessa dell'analisi dei dati va osservato che, anche se il log di resistività andrebbe eseguito solo con pozzo in quiete stabilizzato, il log eseguito in risalita fornisce comunque dei dati utilizzabili, in quanto individua delle inversioni di tendenza rispetto a quello in quiete; tali "inversioni" presumibilmente evidenziano venute di acque fredde da giunzioni **non ben sigillate** fra i diversi tratti della camicia.

La resistività delle acque sul log in quiete infatti, era approssimativamente compresa fra 3 e 4 ohm x m, ad effetto della termalità delle acque di fondo che hanno riscaldato tutta la colonna presente nel pozzo e che, solo dopo prolungato pompaggio, si è avuto un rilevante aumento di resistività (da 3-4 ohm x m a 7-9 ohm x m), che solo acque fredde potevano produrre.

Anche solo questo fatto porta a determinare con certezza che i filtri non sono ubicati correttamente e che si hanno delle indesiderate venute d'acqua, per modalità costruttive inadeguate del pozzo. Con il log termodifferenziale si è confermato quanto sopra.

Con i logs in pozzo integrativi ed il log termo differenziale si sono rilevate le seguenti «anomalie» principali:

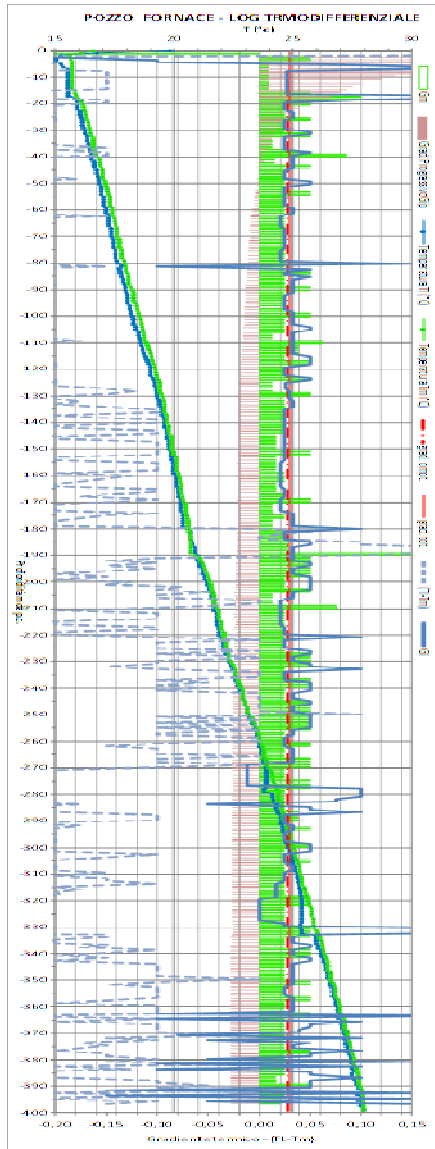


Figura 24: Log termo differenziale

- Fra **-82 e -89 m** da p.c. incrostazioni sulle tubature, con possibile fuoriuscita di seppur limitate acque fredde dall'orizzonte di base leggermente più sabbioso.
- Fra **-138 e -149 m** da p.c. venute di acque meno calde (possibile circolazione).
- Fra **-138 e -144 m** da p.c. grossa anomalia, imputabile a lievi infiltrazioni di acque fredde, o ad incrostazioni. Anche le due curve di resistività hanno un andamento "inverso" e quindi anomalo sino a circa **-194 m** da p.c, al disotto del tratto cementato del pozzo.
- Fra **-183 e -194 m** da p.c. si ha l'anomalia principale in prossimità del raccordo fra i tubi a due diversi diametro, solo in parte imputabile alla cementazione del foro, in quanto è più estesa di essa.
- Fino a **-299 m** da p.c. (in corrispondenza con il dreno) seguono alcune "inversioni" imputabili ad acque più calde e/o a zone più mineralizzate.
- Fra **-271 e -274 m** da p.c. tutti i parametri rilevano una venuta di **acqua fredda** in corrispondenza di un orizzonte fossilifero.
- Seguono una serie d'inversioni probabilmente causate da presenza di acqua calda, sino a **-339 m** dove si ha un afflusso di acque meno termalizzate sino a **-342 m** da p.c.
- Altre inversioni causate da acque calde sono rilevabili sino a **-447 m** da p.c., dove si rileva il passaggio ad acque dolci e fredde, che si estendono sino a fondo foro, dove non si è rilevato nessun tipo di termalità. Questo tratto è interessato dai filtri.

Dall'analisi dei dati si rilevano i seguenti fatti salienti particolarmente significativi:

- Alcune delle “anomalie” identificate sono costituite da possibili **infiltrazioni di acque fredde**, a varie profondità lungo tutta la colonna, che mettono in contatto fra loro molti degli acquiferi locali, individuati lungo la colonna.
- La camicia del pozzo invece di essere in acciaio inossidabile **è di materiali più scadenti ossidabili**. Per tale ragione altre anomalie importanti sono attribuibili ad **incrostazioni** della camicia del pozzo, che potrebbero aver corroso; infatti, nel pozzo a varie profondità sono state intercettate le acque termali aggressive. Fra -181 e -182 m da p.c., in corrispondenza della sigillatura fra i due diametri diversi del pozzo, si è rilevata la presenza di una venuta di acqua fredda, che si miscela con le acque termali di fondo foro.
- Inoltre, il filtro di fondo foro è stato ubicato in modo erraneo, in quanto capta e **mette in comunicazione** una falda acquifera fredda ed una più calda termale
- A conferma di quanto sopra, si rileva anche che i **gradienti termici progressivi** ogni 100 m indicano un valore massimo di **0,037** fra -180 e --300 m da p.c mentre il gradiente minimo di **0,0254** interessa gli ultimi cento metri terminali del pozzo, entro i quali è ubicato l'orizzonte produttivo termale.
- Il pozzo è stato realizzato male, perché, anche se si ammette che a -200 m non ci sia infiltrazione di acqua fredda, il dreno mette in relazione falde diverse. E' inoltre evidente che non è stato fatto uno **spurgo** adeguato per rendere produttivo il pozzo in corrispondenza dell'acquifero obiettivo.

“In conclusione, nel pozzo si sono rilevate molte anomalie di tipo **costruttivo**, alcune delle quali costituite da possibili venute di acque fredde, lungo tutta la colonna e non solo di fondo foro, .

Altre anomalie importanti potrebbero essere costituite dalle incrostazioni legate anche alla presenza di acque acide (pH 6.5) che potrebbero avere corrosivo il *casing* del pozzo, come sembrerebbe dimostrare anche il filmato eseguito dalla Committenza, a causa di inadeguato utilizzo di materiali scadenti per le tubazioni, in luogo di quelli previsti nel progetto in origine.

Altro fattore che sicuramente costituisce un errore di progettazione e di costruzione del pozzo è costituito dal fatto che il filtro di fondo è stato ubicato in modo erroneo, in quanto mette in comunicazione una falda acquifera fredda ed un acquifero caldo, contravvenendo gravemente alle norme tecniche nazionali.

GRAZIE PER L'ATTENZIONE