



**A.GEO.2 – RELAZIONE
IDROGEOLOGICA-
IDROSTRATIGRAFICA POZZI “ATES”**

03 APRILE
2026

A.GEO.2 – RELAZIONE IDROGEOLOGICA- IDROSTRATIGRAFICA POZZI “ATES”

PROGETTO GEOTERMICO OSTELLATO PROVVEDIMENTO AUTORIZZATORIO UNICO REGIONALE – (PAUR)



A.GEO.2 – RELAZIONE IDROGEOLOGICA-IDROSTRATIGRAFICA POZZI “ATES”

<i>Revisione</i>	<i>Documento</i>	<i>Data</i>	<i>Preparato</i>	<i>Controllato</i>	<i>Approvato</i>
REV.0		3 APR 2026	GEOL. GIULIO TORRI	GEOL. ANTONIO DI LAURO	GEOL. GIULIO TORRI



Indice del documento

1	PREMESSA	1
2	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO - IDROSTRATIGRAFICO	1
2.1	L'idrogeologia della pianura emiliano-romagnola	1
2.1.1	Lo studio idrogeologico della pianura ferrarese	4
2.1.1.1	<i>Successione Stratigrafica</i>	4
2.1.1.2	<i>Idrostratigrafia e Sistemi Deposizionali</i>	4
2.1.1.3	<i>Il Gruppo Acquifero A</i>	7
2.1.1.4	<i>Il sondaggio "S1"</i>	8
2.1.1.5	<i>Considerazioni sulla Salinità delle acque</i>	9
3	MONITORAGGIO SISTEMI ACQUIFERI A1 e A2	10
4	POZZO ESPLORATIVO "SAN GIOVANNI 1" – SISTEMA ACQUIFERO PROFONDO IDONEO PER LO STOCCAGGIO TERMICO	12
4.1	Descrizione Litologica Sistemi Acquiferi Profondi	14
4.2	Daily Report	14
5	SEZIONE IDROSTRATIGRAFICA	15
6	TEMPERATURE PREVISTE	19

1 PREMESSA

Questa relazione ha come scopo principale quello inquadrare il contesto idrogeologico-idrostratigrafico presente nel settore del Permesso di Ricerca denominato **"San Giovanni"** e di illustrare, attraverso l'analisi e l'integrazione di dati di sottosuolo: pozzi E&P, pozzi per acqua, sondaggi, la presenza di un acquifero profondo avente caratteristiche idonee per un possibile stoccaggio termico nel sottosuolo: Aquifer Thermal Energy Storage (ATES).

2 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO - IDROSTRATIGRAFICO

Al fine di un inquadramento idrogeologico del settore di ricerca ci si è basati su due studi ad hoc relativi alla caratterizzazione delle riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna.

Il primo edito nel 1998, riguarda gli acquiferi dell'intera regione e permette quindi di avere un quadro idrostratigrafico generale e delle caratteristiche idrogeologiche della pianura emiliano romagnola, di cui è parte anche il territorio Ferrarese oggetto di studio.

Il secondo del 2007, si focalizza invece sulla Provincia di Ferrara e fornisce informazioni dettagliate anche sull'area oggetto del presente lavoro.

2.1 L'idrogeologia della pianura emiliano-romagnola

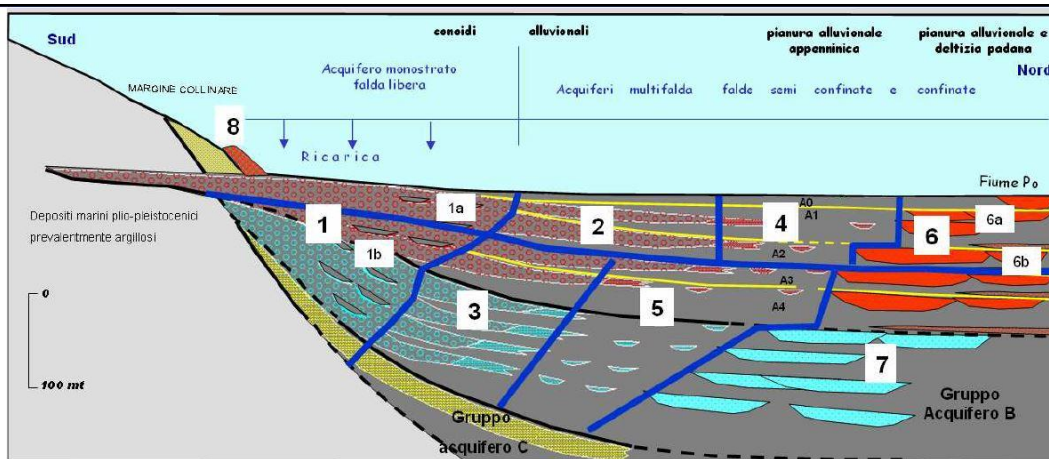
La prosecuzione e l'evoluzione metodologica degli studi idrogeologici a livello regionale e provinciale degli ultimi anni, ha consentito la raccolta di una quantità di dati stratigrafici del sottosuolo della pianura di Parma molto ampia e dettagliata frutto di studi interdisciplinari molto approfonditi.

In particolare, lo sviluppo delle ricerche condotte dalla Regione Emilia-Romagna in collaborazione con l'AGIP (RER-ENI/AGP, 1998), ha portato con l'implementazione della Banca Dati Stratigrafica del sottosuolo a livello locale e alla definizione dell'architettura dei depositi alluvionali, consentendone la suddivisione in unità idrostratigrafiche definite, con precisi significati anche in termini idrodinamici.

● Lo studio applicato **"Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna"** (Eni-RER;1998) suddivide il sottosuolo in tre gruppi acquiferi, denominati dall'alto al basso dalle sigle A, B e C, separati fra loro tramite l'interposizione di importanti acquitardi. Ciascun gruppo acquifero a sua volta è stato suddiviso in tredici unità idrostratigrafiche gerarchicamente inferiori, denominate complessi acquiferi, secondo un modello di suddivisione gerarchico (ENI-AGIP, 1988) basato sul volume complessivo di acquiferi utili in ciascuna unità e su spessore, continuità ed estensione areale del livello acquitardo di ciascuna unità.

Dal punto di vista genetico, gli acquiferi individuati sono essenzialmente di due tipi (fig. 1): a Sud vi sono i depositi di conoide alluvionale composti da ghiaie prevalenti che i fiumi appenninici depositano ed hanno depositato agli sbocchi vallivi e che formano dei grossi corpi ghiaiosi a volte amalgamati e sovrapposti gli uni agli altri per alcune decine di metri di spessore (conoidi); a Nord vi sono le sabbie prevalentemente appartenenti al dominio padano (F. Po) sedimentate lungo il suo percorso del fiume Po e nel suo apparato deltizio (pianura alluvionale).

La figura 1 riporta l'attuale Schema Classificativo degli Acquiferi in Regione Emilia-Romagna.



Note:

- 1: Conoidi alluvionali "amalgamate" – acquifero libero;
- 2: Conoidi alluvionali "multistrato" - acquiferi confinati superiori (acquiferi A1 ed A2);
- 3: Conoidi alluvionali "multistrato" - acquiferi confinati inferiori (acquiferi A3 - C)
- 4: Pianura alluvionale appenninica - acquiferi confinati superiori (acquiferi A1 ed A2)
- 5: Pianura alluvionale appenninica - acquiferi confinati inferiori (acquiferi A3 - C)
- 6: Pianura alluvionale e deltizia padana - acquiferi confinati superiori (acquiferi A1 ed A2, rispet. 6a e 6b)
- 7: Pianura alluvionale e deltizia padana - acquiferi confinati inferiori (acquiferi A3 - C)
- 8: Conoidi alluvionali pedemontane

Figura 1 – Schema concettuale di classificazione dei corpi idrici emiliano-romagnoli

In base alla zonazione degli acquiferi nel settore del permesso di ricerca "S.Giovanni" si incontra come primo acquifero superficiale il sistema acquifero freatico di pianura costiero classificato con Codice: **9020ER-DQ1-FPC**. In termini idrostratigrafici ai sensi dello studio applicato Eni-RER (1998) questo sistema acquifero freatico costiero appartiene al sistema acquifero A0.

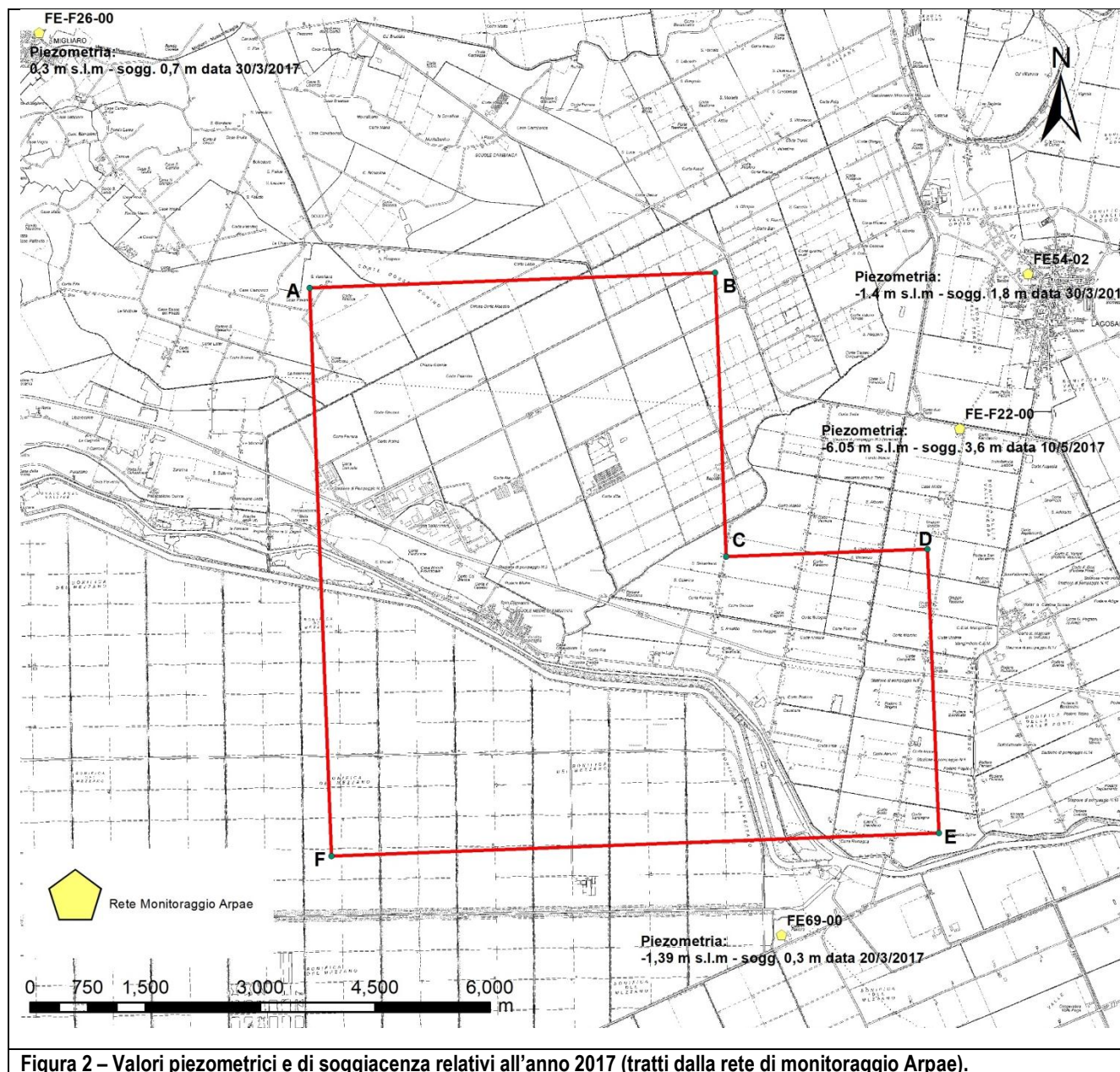
Più in profondità si incontrano sistemi acquiferi confinati appartenenti ai sistemi fluvio-deltizi e transizionali composti prevalentemente da depositi sabbiosi medio-fini con spessori plurimetrici; questi sistemi acquiferi sono idraulicamente separati da barriere di permeabilità alla scala locale composte da depositi prevalentemente fini argilloso-limosi di ambiente alluvionale-palustre, lagunare o di prodelta. Questi sistemi acquiferi possono essere inquadrati come appartenenti agli acquiferi confinati superiori, fino alla base del complesso acquifero A2 e come acquiferi confinati inferiori dal complesso Acquifero A3 fino a tutto il gruppo acquifero C.

Generalmente un complesso acquifero costiero e/o di piana deltizia è suddiviso al suo interno da alternanze cicliche lungo la verticale, organizzate al loro interno nel modo seguente:

- la base, spesso mediamente una decina di metri, è per lo più costituita da limi-argillosi;
- la porzione intermedia, di spessore decametrico con continuità laterale chilometrica, è composta da depositi limoso-sabbiosi spesso alternati a depositi sabbiosi;
- la parte sommitale, di spessore decametrico con continuità laterale chilometrica, è caratterizzata dalla presenza di depositi sabbiosi.

Gli scambi tra i reticoli idrografici superficiali e la -falda sono possibili solamente con il sistema acquifero meno profondo (A0, mentre nei sottostanti il flusso avviene in modo francamente compartimentato in condizioni confinate.

I valori medi di gradiente idraulico sono generalmente molto bassi pari a circa 0.1 - 0.2 ‰ fino ad arrivare a condizioni quasi stagnanti dello stesso flusso di falda.



In base ai pozzi di monitoraggio della rete regionale Arpae è possibile valutare i valori piezometrici e le relative soggiacenze.

Come si può notare dalla figura 2, e in base ai dati a disposizione, si passa da valori piezometrici di circa 0,3 metri (FE 26-00) nel settore limitrofo posto a nord ovest del permesso "S.Giovanni" fino ad



arrivare a valori minimi di circa – 6 m s.l.m. (Fe 22-00) con valori medi di circa -1,3/-1,4 m s.l.m nei settori limitrofi posti sia ad est che a sud rispetto all'area del permesso di ricerca.

Un altro aspetto peculiare di questi sistemi acquiferi confinati è la presenza di intrusione di acqua salmastra/salata provocata generalmente dallo sfruttamento della risorsa idrica attraverso l'emungimento da pozzi superficiali (<100/120 metri di profondità).

2.1.1 Lo studio idrogeologico della pianura ferrarese

Di seguito verranno espone le informazioni riguardanti il settore di studio presenti nel lavoro: "Risorse idriche sotterranee della Provincia di Ferrara" (DB MAP - Firenze – 2007).

Da un punto di vista idrogeologico l'evoluzione del territorio Ferrarese è frutto di una complessa rete di interazioni fra la realtà geologica e lo sviluppo antropico ed economico dell'area.

I processi geomorfologici e sedimentologici che hanno agito sul territorio hanno determinato la distribuzione dei corpi sedimentari acquiferi e delle falde idriche in essi contenute. I rami abbandonati del Po (Volano e Primaro) e la rete di canali determinano la distribuzione dei battenti idraulici di ricarica e di alimentazione delle falde.

Tali tematismi sono essenziali ai fini della corretta interpretazione dei fenomeni idrogeologici dato che l'acqua sotterranea scorre sulla base della distribuzione dei corpi geologici ed in base, per quanto concerne particolarmente la falda freatica, alla distribuzione delle quote altimetriche.

2.1.1.1 Successione Stratigrafica

La successione sedimentaria che interessa la zona oggetto del permesso di ricerca nei primi 300-400 metri di profondità va dal Pleistocene medio-superiore all'Olocene.

Dal punto di vista degli ambienti deposizionali, si passa da uno stadio di sedimentazione marina a uno stadio deposizionale marino-marginale e continentale. Questa successione coincide con il Gruppo Acquifero A delle Riserve Idriche Sotterranee della Regione Emilia-Romagna (RIS) (REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998).

Al fine di inquadrare meglio le unità idrostratigrafiche presenti si riporta in figura 9a il quadro di unione delle sezioni geologiche/idrostratigrafiche presenti nella Banca Dati del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli ed in cui è raffigurata anche la traccia della sezione idrostratigrafica n. 68 tratta dalla Banca Dati del SGSS-RER; la sezione n.68 è altamente rappresentativa dell'assetto idrostratigrafico all'interno del permesso di ricerca in quanto lo attraversa per la sua interezza da NO verso SO.

Da questa sezione è possibile notare come la base del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES) sia posta a circa 380-400 metri di profondità.

2.1.1.2 Idrostratigrafia e Sistemi Deposizionali

L'idrostratigrafia studia l'architettura dei bacini idrogeologici attraverso la definizione e la mappatura di unità idrostratigrafiche (MAXEY, 1964; SEABER, 1988), vale a dire corpi geologici più o meno complessi, cartografabili, in ciascuno dei quali ha sede un sistema idrologico ragionevolmente distinto. L'unità base dell'idrostratigrafia classica è il serbatoio acquifero che deve essere limitato, per gran parte della sua estensione, da corpi geologici a permeabilità bassa o nulla, denominati acquitardi o acquicludi. Le facies omogenee dal punto di vista sedimentologico e petrofisico che costituiscono gli acquiferi e le barriere di permeabilità confinanti, vengono chiamate idrofacies. Insieme di acquiferi, acquitardi e acquicludi vengono accorpati in unità idrostratigrafiche di rango gerarchico crescente fino al termine ultimo che coincide con l'intero bacino idrogeologico.

All'interno della successione studiata (AES) gli ambienti deposizionali individuati attraverso l'analisi di facies, hanno consentito di distinguere a grande scala i seguenti sistemi deposizionali:

- 1) Sistema fluvio-deltizio ad alimentazione padana (PaleoPo);
- 2) Sistema di pianura alluvionale sia ad alimentazione padana che appenninica;
- 3) Sistema litorale e di piattaforma.

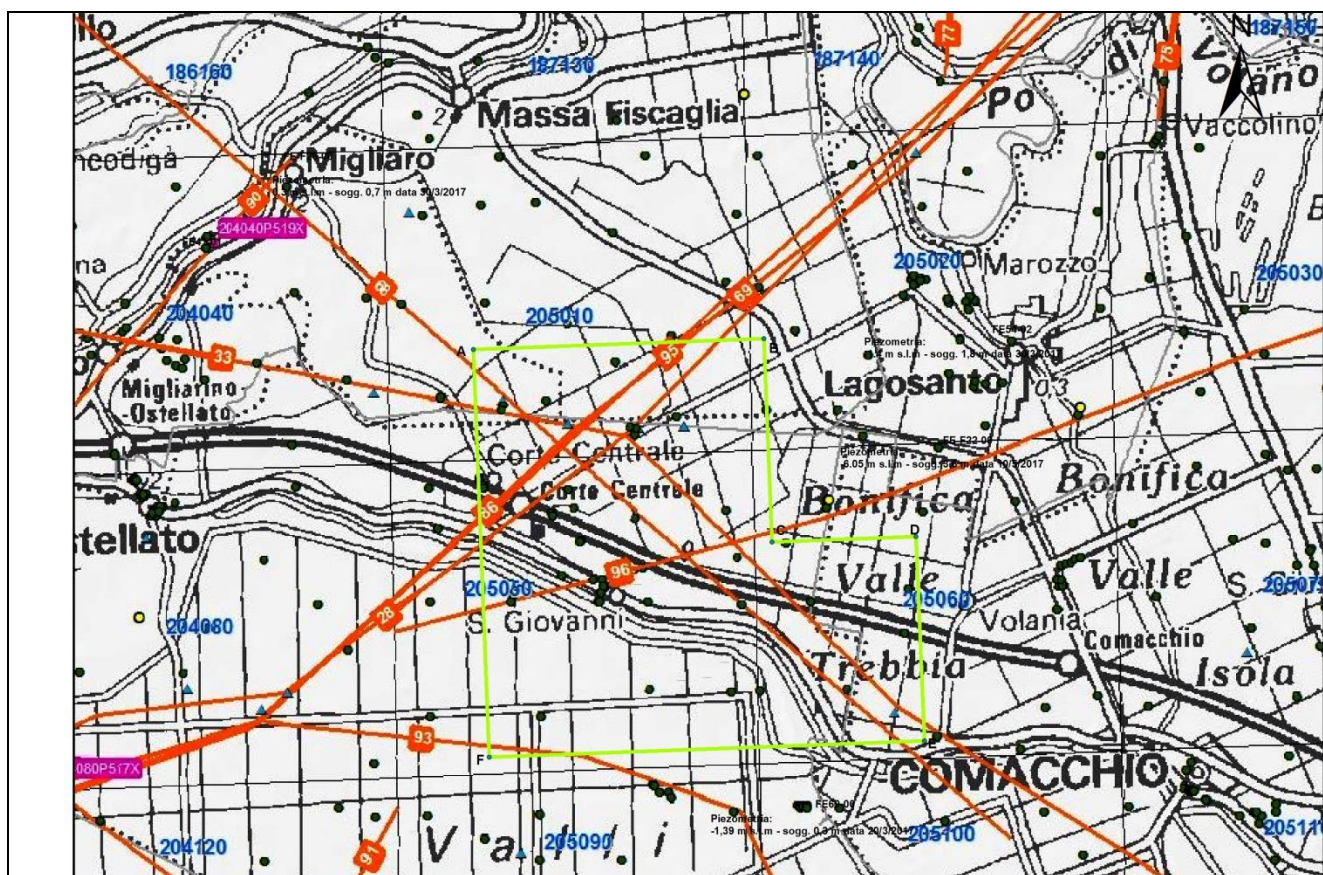


Figura 3 – Quadro di unione tracce sezioni geologiche/idrostratigrafiche (Sito web SGSS – RER) e perimetro del permesso di ricerca “S. Giovanni”

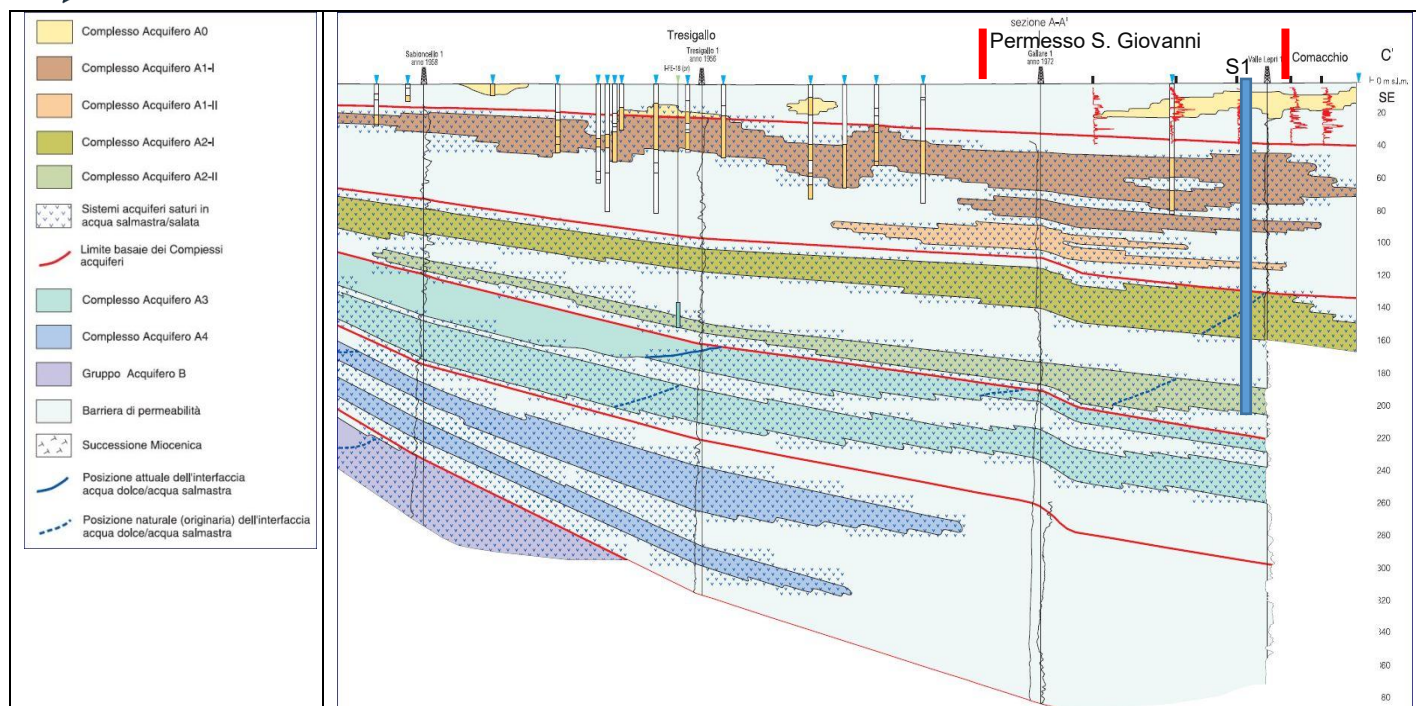


Figura 4 – Sezione Idrostratigrafica n. 68 (Banca dati SGSS-RER) passante all'interno del permesso di ricerca "S. Giovanni" e proiezione del sondaggio "S1" effettuato da FrielGreenHouse nel 2017 a scopo esplorativo

I depositi del Gruppo Acquifero A nel settore emiliano orientale sono essenzialmente caratterizzati da depositi fluvio-deltizii di origine padana e da depositi litorali e marini. Infatti i Complessi Acquiferi più antichi A4 e A3 che si sono depositi dai 400.000 ai 225.000 anni b.p., sono caratterizzati essenzialmente dall'aggradazione di depositi litorali e marini, mentre i complessi acquiferi A2, A1 e A0 dall'aggradazione di depositi fluvio-deltizii e di piana alluvionale.

In particolare i depositi poroso permeabili più grossolani (sabbie medie) di A3 e A4 sono stati interpretati, attraverso l'analisi di facies e le geometrie deposizionali, come depositi di fronte deltizio o di cordone litorale. Mentre i depositi fini limoso-argillosi che separano i corpi acquiferi (acquitardi) sono stati interpretati come depositi di laguna, prodelta e piattaforma. I depositi sabbiosi di fronte deltizio possono raggiungere spessori di 15-20 m, mentre i depositi di cordone litorale hanno spessori più modesti dell'ordine dei 5-10 m. A volte si ha l'amalgamazione di questi corpi sabbiosi che possono raggiungere una potenza di 30-40 m e dare luogo a serbatoi acquiferi ad alta trasmissività. Generalmente questi corpi sedimentari presentano un aumento di granulometria dal basso verso l'alto passando da sabbie fini alla base a sabbie medie al tetto. È inoltre da evidenziare la notevole continuità laterale dei corpi grossolani e l'assenza, al loro interno, di intervalli fini significativi.

I Complessi Acquiferi A4 e A3, in ampi settori dell'area di studio, si trovano a profondità comprese tra i 150/200 m e i 350/400 m.

Nella porzione di tetto del Complesso Acquifero A3 si ha una forte accentuazione dell'evoluzione regressiva verso NE, sia del sistema fluvio-deltizio padano che del sistema fluviale appenninico; questo fa sì che nei Complessi Acquiferi A2 e A1 i depositi poroso permeabili più significativi non siano più marino-marginali ma essenzialmente fluvio-deltizi, di origine padana, e di piana deltizia o alluvionale, di origine sia padana che appenninica.

In particolare le sabbie, che variano da fini a grossolane, vengono interpretate come depositi amalgamati di riempimento di canale fluviale (lobi fluviali deltizi); mentre i depositi fini, limi e argille, sono interpretati come depositi di piana deltizia, di piana alluvionale o come depositi palustri.

I forti tassi di subsidenza, presenti in ampie aree del bacino studiato, e il forte apporto di materiale grossolano dato dal Paleofiume Po, fanno sì che i lobi fluviali deltizi raggiungano spessori di circa 18-20 m e abbiano una notevole continuità laterale.

In definitiva le geometrie deposizionali tabulari e la notevole estensione areale, sono simili a quelle dei depositi di fronte deltizio sopradescritti. Non a caso i lobi fluvio-deltizi appartenenti in particolare ad A2 e A3 passano, verso E-NE, a depositi di fronte deltizio senza soluzione di continuità ed in seguito a depositi prevalentemente fini di prodelta-piattaforma.

Il Gruppo acquifero A, coincidente con la successione di AES, è sicuramente l'unico gruppo acquifero sfruttato in modo intensivo ed in particolare i complessi acquiferi più superficiali A0, A1 e A2.

Al contrario il Gruppo Acquifero B ed il Gruppo Acquifero C, sono essenzialmente composti da depositi di piattaforma e marino marginali senza la presenza di sistemi acquiferi significativi per lo sfruttamento antropico.

2.1.1.3 Il Gruppo Acquifero A

All'interno del Gruppo Acquifero A, sono state individuate 5 Unità Idrostratigrafiche principali denominate Complessi Acquiferi: rispettivamente dall'alto verso il basso Complesso Acquifero A0 (l'acquifero freatico) A1, A2, A3 e A4.

- **Complesso Acquifero A0 (sistema acquifero freatico):** è costituito prevalentemente da corpi sabbiosi nastriformi, sia di origine padana che appenninica. I corpi sabbiosi appenninici occupano gran parte del territorio provinciale, amalgamandosi con i depositi padani solo nell'estremo settore nord. Spesso questi depositi sabbiosi, si incassano all'interno di argille e limi di piana deltizia o di palude/laguna che formano l'acquitardo del sistema acquifero A0. Questi corpi interessano in particolar modo il settore nord occidentale della provincia (Alto Ferrarese).

- **Complesso Acquifero A1:** nel settore orientale della provincia di Ferrara si trova a profondità massime di circa -50/-60 m s.l.m con spessori che raggiungono i 40-50 m.

- **Complesso Acquifero A2:** raggiunge la maggiore estensione tra tutti i complessi acquiferi studiati. La profondità del tetto passa da circa -40 m s.l.m nel settore nord-occidentale a circa -130/-140 m s.l.m. nel settore orientale della Provincia di Ferrara. Nel settore del permesso s. Giovanni il tetto si trova a circa 110-130 m di profondità.

Il sistema acquifero A2 è completamente confinato e non viene ricaricato direttamente nemmeno dal fiume Po. Come per il sistema acquifero A1 il carico idraulico e la piezometria è fortemente influenzata dal regime di pompaggio, con effetti talvolta molto negativi relativamente all'intrusione del cuneo salino per cause antropiche.

- **Complesso Acquifero A3:** anche qui l'andamento della superficie di tetto risulta influenzato più dalla geometria degli assi strutturali sepolti e meno dalle geometrie deposizionali. Infatti esso si trova a profondità di circa -70/-90 m s.l.m. nelle zone di alto strutturale per poi arrivare gradualmente a una profondità massima di -240/-280 m nel settore orientale e quindi anche nel settore del permesso "S. Giovanni" dove il tetto si trova a circa 190-200 metri di profondità.

- **Complesso Acquifero A4:** l'andamento della superficie di tetto risulta fortemente influenzato dalla geometria degli assi strutturali sepolti ed in parte dall'architettura stratigrafico-deposizionale. Infatti esso si trova a circa -90/-100 m s.l.m. nelle zone di alto strutturale per poi arrivare gradualmente a una profondità massima di -280/-300 m nell'estremo settore orientale; nel settore del permesso di ricerca il tetto si colloca appunto circa 260/280 metri di profondità.

In generale i sistemi acquiferi A3 e A4 sono estremamente confinati e, vista la loro profondità, non vengono interessati dal ciclo idrologico attuale essendo saturi prevalentemente di acque fossili o connate.

Va sottolineato come in base alla Banca dati geognostici del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna i Complessi Acquiferi sfruttati a scopo acquedottistico, agricolo e industriale nel settore di studio, interessino essenzialmente i Complessi Acquiferi A1 e A2.

Questo sia perché questi Complessi Acquiferi sono situati a profondità minori (entro i 150-200 metri di profondità).

Lo sfruttamento di questi sistemi acquiferi ha provocato a partire dagli anni 60/70' in poi all'aumento dell'intrusione del cuneo salino per cause antropiche; infatti si prevede, in base a quanto riportato dallo studio "Risorse idriche sotterranee della Provincia di Ferrara" (DB MAP - Firenze – 2007), che nel settore del permesso di ricerca i sistemi acquiferi A1 e A2 siano prevalentemente saturi ad acqua salmastra/salata per cause antropiche (vedi anche sezione n. 68 – fig.4); mentre i sistemi acquiferi più profondi A3 e A4, già per cause naturali, risultano prevalentemente saturi ad acque salmastre/salate connate.

2.1.1.4 Il sondaggio "S1"

Al fine di completare l'inquadratura idrostratigrafica di sottosuolo si riporta di seguito la stratigrafia rinvenuta nel sondaggio S1 ubicato nel terreno di proprietà di Fri-el Green House (FGH)(vedi fig. 10).

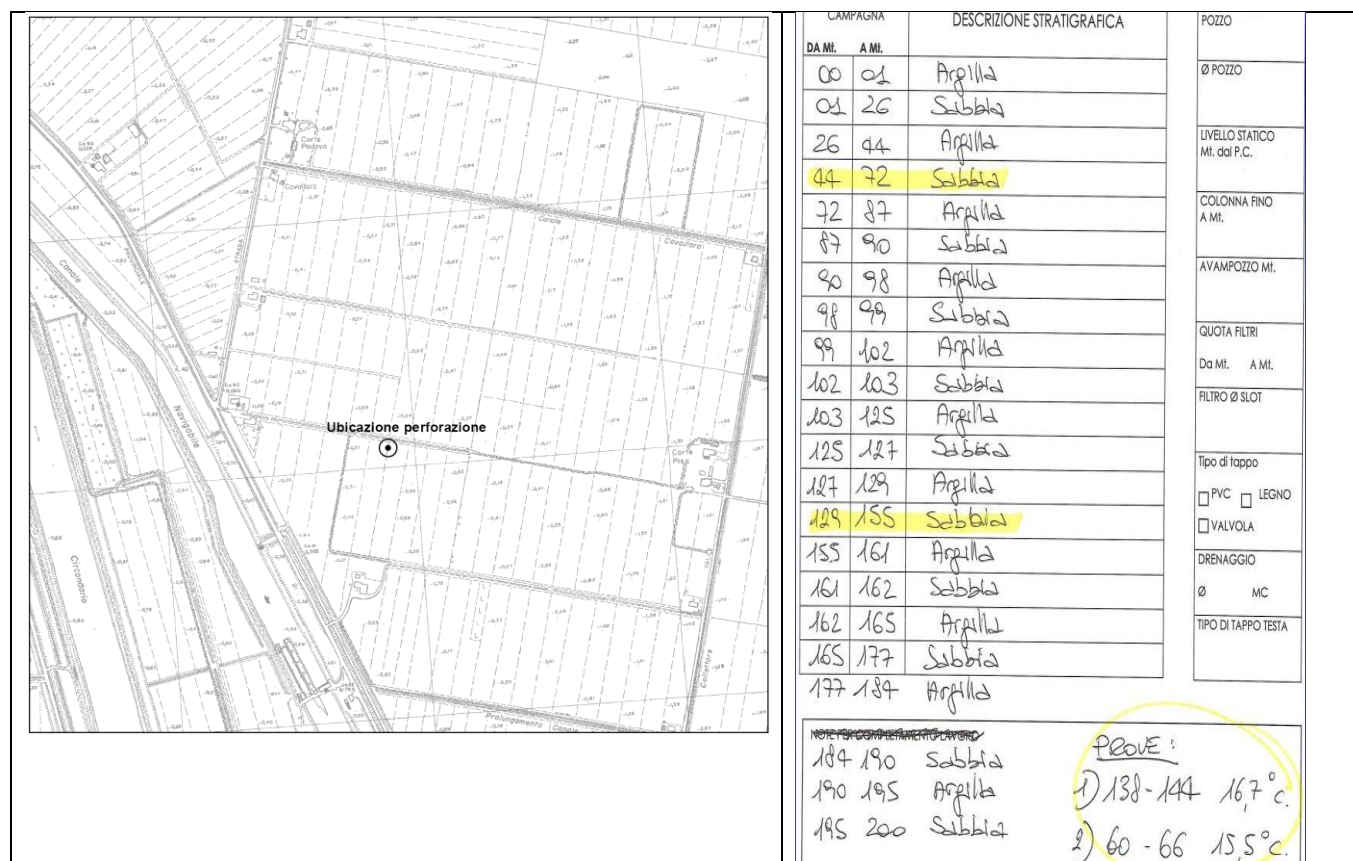


Figura 5 – Ubicazione sondaggio S1 e stratigrafia rinvenuta

Inoltre lo stesso sondaggio è stato proiettato sulla sezione idrostratigrafica n.68 (vedi fig. 9b). In base alla stratigrafia rinvenuta e alla correlazione con la sezione n.68 si riporta quanto segue per quanto riguarda i corpi sabbiosi rinvenuti:

Intervallo Profondità (m)	Litologia	Sistema acquifero
1-26	Sabbia	A0 (Subsintema di Ravenna)
44-72	Sabbia	A1-sup. (Subsintema di Villa Verucchio)
87-90	Sabbia	A1-inf. (Subsintema di Villa Verucchio)
129-155 e 165-177	Sabbia	A2-sup. (Subsintema di Bazzano)
184-190 e 195-200	Sabbia	A2-inf. (Subsintema di Bazzano)

In base a quanto sopra riportato si osserva un'ottima correlazione tra la stratigrafia rinvenuta nel sondaggio S1 e le quote dei principali sistemi acquiferi già correlati e interpretati in precedenza nella sezione n. 68.

Si ritiene quindi che i dati riportati nella sezione n.68 e confermati dal sondaggio S1 siano altamente rappresentativi, almeno fino a profondità di circa 170-200 metri, del quadro idrostratigrafico di sottosuolo presente nel settore del permesso di ricerca "S. Giovanni".

2.1.1.5 Considerazioni sulla Salinità delle acque

Infine in questo paragrafo si mettono in evidenza gli aspetti qualitativi dei sistemi acquiferi nel settore di ricerca.

Per fare questo si rimanda in primis sempre alla sezione n.68 (fig,4) in cui viene evidenziato come in sostanza tutti i sistemi acquiferi confinati presenti nel settore del permesso di ricerca siano con alta probabilità saturi in acqua salmastra/salata.

Questo fenomeno è legato all'intrusione del cuneo salino che, con il trascorrere degli anni e in funzione della depressurizzazione dei sistemi acquiferi a causa dell'emungimento idrico, si è propagato nell'entro terra.

A testimonianza dei dati presenti nella sezione n.68 si evidenzia come anche le analisi chimiche effettuate nel sondaggio S1, e relative al sistema acquifero A1-sup. e A2-sup., mostrino come questi sistemi acquiferi siano saturi in acqua salmastra con valori di **conducibilità elettrica** pari a **4300 us/cm** per il campione prelevato a profondità di 66 metri e relativo al sistema acquifero A1-sup e pari a **10.000 us/cm** per il campione prelevato a profondità di 140 metri e relativo al sistema acquifero A2-sup..

Analysis report: C5596448 Sample code: EDS170713776 Analysis : Standaard mat Location: Via dei Portici nr. 27
 Date report : 17-7-2017 Sampled by : not by GAC Loc. nr. : 8694
 Sampling date : Sample type : Water Pre-Analysis : Copy to :
 Date of receipt : 13-7-2017 Description : FGH20170705_01C

Unadjusted analysis			mS/cm		mmol/l											µmol/l					
Date	Sample	Description	EC	pH	NH ₄ ⁺	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Si	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	Fe	Mn	Zn	B	Cu	Mo
13-07-2017	EDS170713776	FGH20170705_01C	4.3	7.0	0.70	0.2	17.7	6.0	8.5	0.5	< 0.1	25.5	< 0.1	18.5	< 0.05	12.2	11.0	2.8	99	< 0.1	< 0.1

Adjusted analysis based on Ec=3.0			mS/cm		mmol/l											µmol/l						
Date	Sample	Description	EC	EC[c]	pH	NH ₄ ⁺	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Si	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	Fe	Mn	Zn	B	Cu	Mo
Target levels Tomato			3.7	3.0	5.5	< 0.5	6.5		8.1	3.6		18.6		5.5		0.80	20.3	5.7	5.7	41	0.6	0.4
13-07-2017	EDS170713776	FGH20170705_01C	4.3	3.0	7.0	0.70	0.3	17.7	10.3	14.6	0.5	< 0.1	25.5	< 0.1	18.5	< 0.05	20.9	11.0	4.8	170	< 0.1	< 0.1

Figura 11a – Analisi chimiche campione acqua prof.:66 m

Analysis report: C5596449 Sample code: EDS170713779 Analysis : Standaard mat Location: Via dei Portici nr. 27
 Date report : 17-7-2017 Sampled by : not by GAC Loc. nr. : 8694
 Sampling date : Sample type : Water Pre-Analysis : Copy to :
 Date of receipt : 13-7-2017 Description : FGH20170705_02C

Unadjusted analysis			mS/cm		mmol/l											µmol/l					
Date	Sample	Description	EC	pH	NH ₄ ⁺	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Si	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	Fe	Mn	Zn	B	Cu	Mo
13-07-2017	EDS170713779	FGH20170705_02C	10	7.1	1.9	0.7	59.3	8.3	11.7	0.4	<0.1	92.4	<0.1	8.9	<0.05	<0.4	5.0	2.9	138	<0.1	<0.1

Adjusted analysis based on Ec=3.0			mS/cm		mmol/l											µmol/l						
Date	Sample	Description	EC	EC[c]	pH	NH ₄ ⁺	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Si	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	Fe	Mn	Zn	B	Cu	Mo
	Target levels	Tomato	3.7	3.0	5.5	<0.5	6.5		8.1	3.6		18.6		5.5		0.80	20.3	5.7	5.7	41	0.6	0.4
13-07-2017	EDS170713779	FGH20170705_02C	10	3.0	7.1	1.9	2.8	59.3	32.0	45.0	0.4	<0.1	92.4	<0.1	8.9	<0.05	0.8	5.0	11.2	530	<0.1	<0.1

Figura 11b – Analisi chimiche campione acqua prof.:140 m

3 MONITOTAGGIO SISTEMI ACQUIFERI A1 E A2

Al fine di confermare questo quadro idrostratigrafico e idrochimico nei primi 150-170 metri di profondità sono stati realizzati, in prossimità del sito di perforazione del pozzo "San Giovanni 1", due sondaggi denominati PS1 e PS2 in cui sono stati rilevati anche dei profili log: gamma ray, conducibilità idraulica e temperatura.

Inoltre gli stessi sondaggi sono stati completati a piezometro al fine di essere attrezzati per il monitoraggio in continuo dei sistemi acquiferi A1 e A2 (vedi "REL-MON 02 Monitoraggio Piezometri Platea SG").

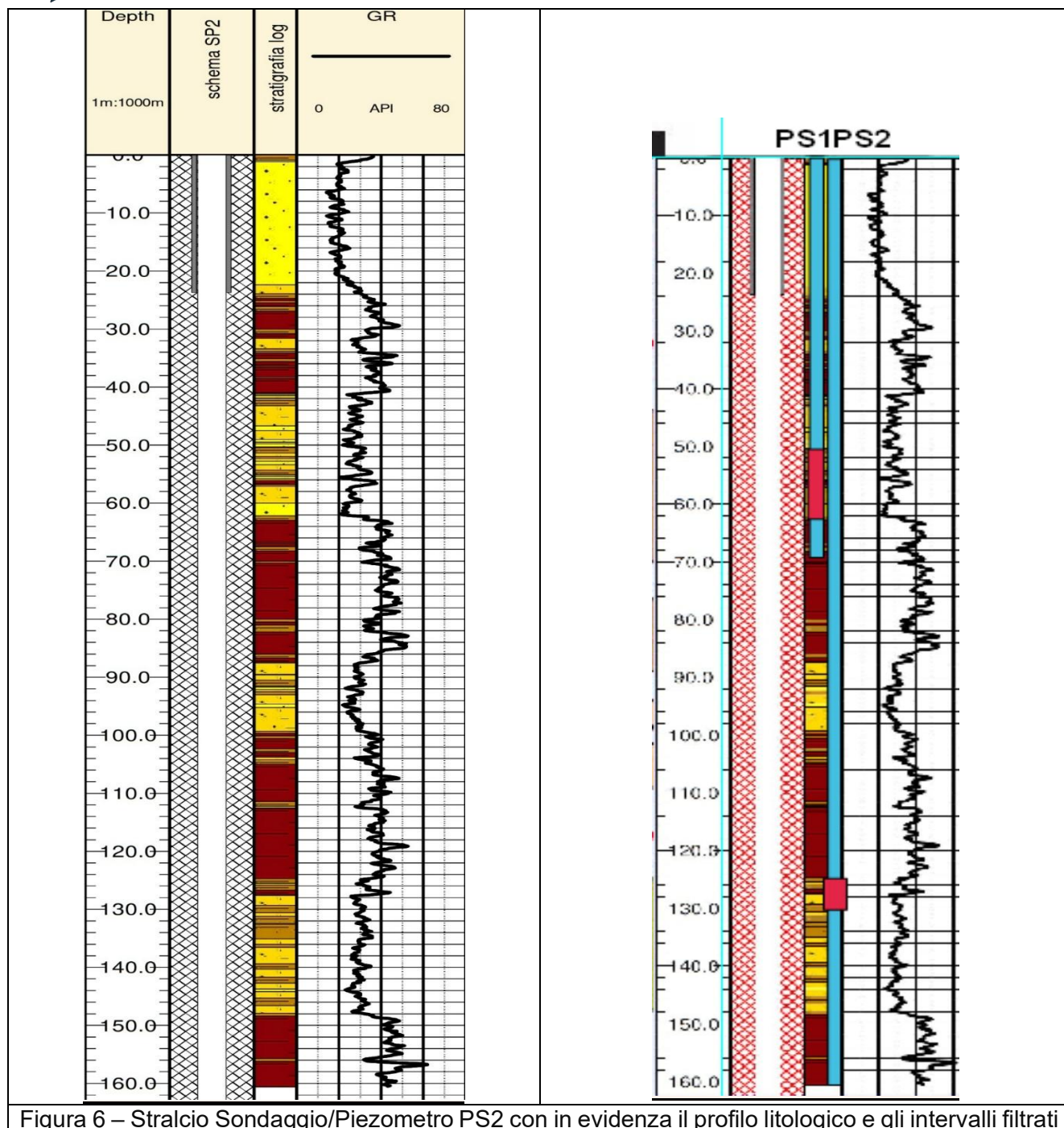


Figura 6 – Stralcio Sondaggio/Piezometro PS2 con in evidenza il profilo litologico e gli intervalli filtrati

4 POZZO ESPLORATIVO “SAN GIOVANNI 1” – SISTEMA ACQUIFERO PROFONDO IDONEO PER LO STOCCAGGIO TERMICO

Di seguito si riporta lo stralcio del *composite log* relativo al pozzo esplorativo “San Giovanni 1” (figura 7 e ALL-ATES-01).

In particolare i dati che saranno analizzati di seguito serviranno ai fini della valutazione della presenza di possibili sistemi acquiferi profondi che si trovino al di sotto dei Complessi Acquiferi A1 e A2 che sono già stati descritti nei paragrafi precedenti.

In figura 7 sono riportati, sulla destra, i dati relativi al Rate of Penetration (ROP) durante la fase di perforazione e la percentuale litologica in base all'analisi dei cuttings (detriti di perforazione); mentre sulla sinistra la colonna litologica derivante dall'interpretazione/analisi dei cuttings e la relativa descrizione litologica.

In base ad una analisi integrata tra l'andamento del grafico dell'ROP e la litologia presente si nota come, generalmente, si abbiano velocità di perforazione maggiori all'interno dei depositi prevalentemente sabbiosi rispetto ai depositi prevalentemente fini.

Sempre in figura 7 si evidenziano due macro-intervalli, uno prevalentemente fine: limi e argille e l'altro prevalentemente sabbioso in cui si nota l'aumento della velocità di perforazione nei depositi sabbiosi.

In particolare sempre in base ai dati presenti nel composite log è possibile identificare un intervallo prevalentemente grossolano (sabbie prevalenti) che si estende da circa 280 metri fino a circa 350/360 metri di profondità. Questo intervallo in base allo spessore e alle caratteristiche litologiche è identificabile come un sistema acquifero profondo e viene considerato il “target” principale per lo stoccaggio termico nel sottosuolo. Ai fini dell'inquadramento idrostratigrafico questo sistema acquifero profondo corrisponde con la porzione superiore del Gruppo Acquifero B (vedi fig. 8b Sezione Idrostratigrafica A-A'– elaborato “ALL-ATES-02”).

I dati acquisiti dalla perforazione del pozzo “San Giovanni 1” hanno consentito di implementare e completare le conoscenze sull'assetto idrostratigrafico presente all'interno del permesso “San Giovanni” fino a profondità di 400-500 metri e di identificare il “target” di fondo pozzo per lo stoccaggio termico in progetto.

Nel capitolo successivo verrà commentata la sezione idrostratigrafica passante per il settore di studio ed anche all'interno dei terreni di proprietà di Fri-El Green House in cui sono fisicamente correlati i sistemi acquiferi principali descritti in questo studio fino al sistema acquifero più profondo e identificabile come idoneo per lo stoccaggio termico (ATES) in progetto.

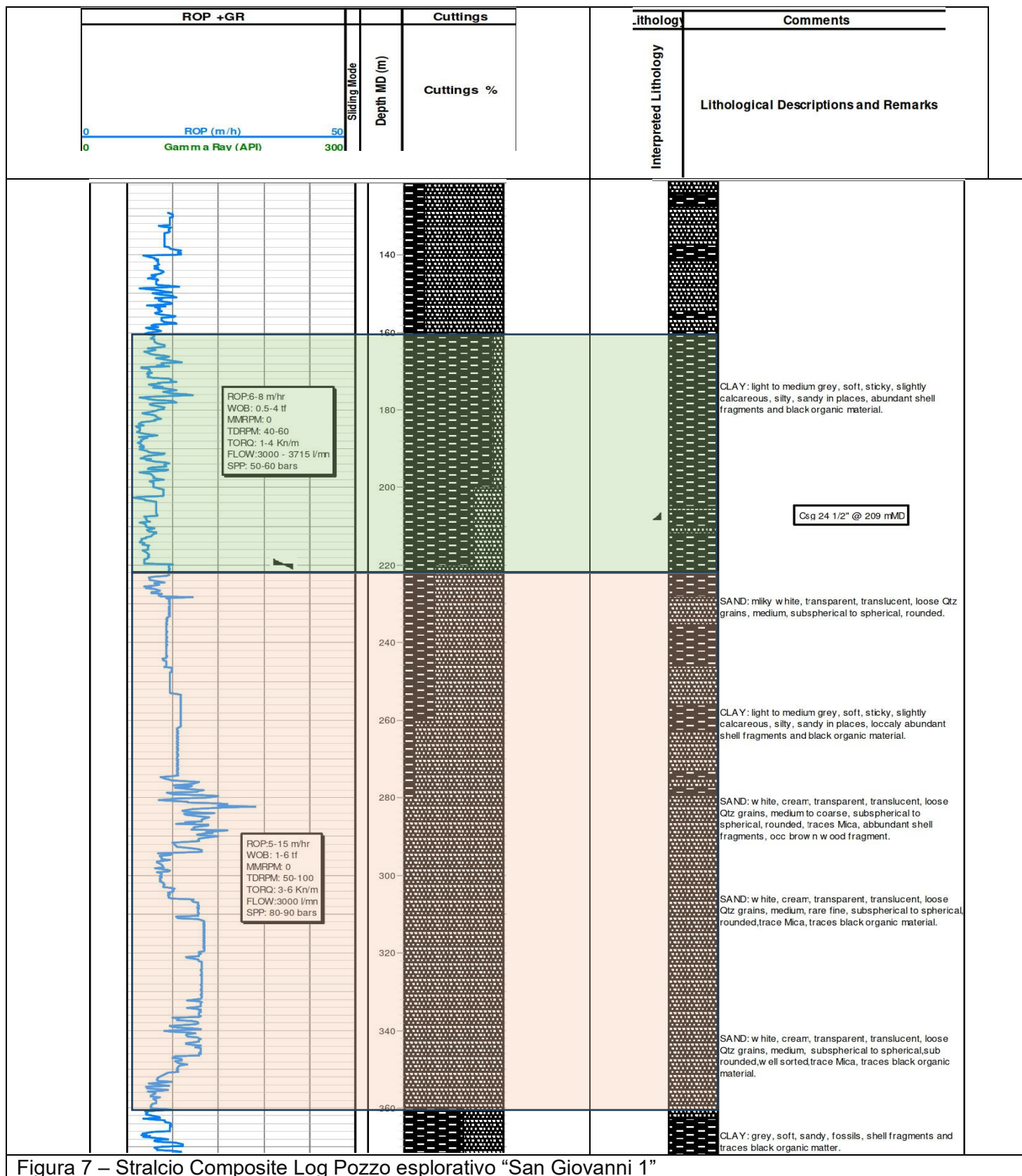


Figura 7 – Stralcio Composite Log Pozzo esplorativo “San Giovanni 1”

4.1 Descrizione Litologica Sistemi Acquiferi Profondi

Descrizione di sintesi degli intervalli sabbiosi derivante dall'analisi dei cuttings di perforazione del pozzo "San Giovanni 1" – intervallo 280 – 360 metri di profondità:

SABBIA: color bianco, crema, trasparente, traslucida, con granuli di quarzo sciolti; granulometria da medio-fine fino a grossolana; granuli da sub-sferici a sferici, arrotondati, ben selezionati, tracce di mica, tracce di materiale organico nero. In alcuni intervalli abbondanti frammenti di conchiglia.

4.2 Daily Report

Di seguito si riporta anche lo stralcio del Daily Report dell'Unità Mudlogging con la descrizione litologica redatta attraverso l'analisi dei cuttings di perforazione nel tratto 220 metri fino a 360 metri di profondità.

Si nota come nel tratto 220 metri fino a 280 metri vi sia una prevalenza pari al 70% di depositi sabbiosi con granulometria da media a grossolana ed in parte minore (30%) la presenza di depositi prevalentemente fini argillosi.

Mentre a partire da 280 metri di profondità fino a circa 360 metri sia stata riscontrata nei cuttings una percentuale pari al 100% di depositi sabbiosi prevalentemente a granulometria media.

Analizzando questi dati assieme all'andamento del ROP presente in figura 7, in via cautelativa si interpreta che vi sia un tratto con intervallo di profondità tra 300 e 310 metri che abbia depositi con una percentuale di fine maggiore rispetto a quella grossolana. Questo intervallo è presente anche nell'interpretazione della sezione idrostratigrafica presente in figura 8b.

LITHOLOGY FROM 00:00 TO 24:00 hrs			
FROM / TO DEPTH	Percentage	Calcimetry (m-M)	Descriptions
220/280	30%	-	CLAY: light to medium grey, soft, sticky, slightly calcareous, silty, sandy in places, locally abundant shell fragments and black organic material.
	70%		SAND: white cream transparent, translucent, loose quartz grains, medium to coarse, subspherical to spherical, rounded, traces Mica, abundant shell fragments, occ brown wooden fragments
280/340	100%		SAND: white, cream, transparent, translucent, loose Qtz grains, medium, rare fine, subspherical to spherical, rounded, trace Mica, traces black organic material.
LITHOLOGY FROM 24:00 TO 06:00 hrs			
FROM / TO DEPTH	Percentage	Calcimetry (m-M)	Descriptions
340/360	100%		SAND: white, cream, transparent, translucent, loose Qtz grains, medium, rare fine, subspherical to spherical, sub-rounded, well sorted, trace Mica, traces black organic material.

5 SEZIONE IDROSTRATIGRAFICA

Di seguito si riporta lo stralcio della sezione idrostratigrafica elaborata ad hoc al fine avere la Drilling Prognosis dei pozzi ATES (si veda elaborato "ALL-ATES 02 – Sezione Idrostratigrafica A-A' ".

In questa sezione sono stati inseriti ed integrati dati geognostici di vario tipo quali:

*Offset Wells E&P

*Sondaggi effettuati nei terreni di proprietà Fri-El Grem House

*Composite Log Pozzo esplorativo "San Giovanni 1".

In base ai dati presenti è stata effettuata una correlazione fisica dei principali corpi sabbiosi che rappresentano i principali sistemi acquiferi sepolti e confinati, è stata attribuita a questi sistemi acquiferi profondi la Classificazione presente in Riserve Idriche Sotterranee Regione Emilia-Romagna (AGIP-RER, 1998).

L'interpretazione idrostratigrafica si estende dai 30-40 metri di profondità fino a circa 400 metri di profondità. Di seguito si riporta la Drilling Prognosis (D.P.) dei pozzi ATES nel settore delle serre della Fri-El Green House. Nella sezione oltre ai principali sistemi acquiferi è stata fisicamente correlata anche la superficie basale del Gruppo Acquifero A.

*Drilling Prognosis

Intervallo di Profondità	Litologia Prevista
44-72 metri	Lobo sabbiosi di fronte deltizio: Sabbie medio- fini prevalenti con possibile presenza di sabbie grossolane
72-128 metri	Depositi fini prevalenti: limi e argille con possibile presenza di intervalli sabbiosi metrici e/o plurimetrici
128-154 metri	Lobo sabbioso di fronte deltizio: Sabbie medio- fini prevalenti con possibile presenza di sabbie grossolane
154-164 metri	Depositi fini prevalenti: limi e argille
164-175 metri	Depositi con sabbie medio-fini prevalenti
175-220 metri	Depositi fini prevalenti: limi e argille con possibile presenza di intervalli sabbiosi metrici e/o plurimetrici
220-258 metri	Lobo sabbioso di fronte deltizio: Sabbie medio- fini prevalenti con possibile presenza di sabbie grossolane
258-294 metri	Depositi fini prevalenti: limi e argille con presenza di intervalli sabbiosi
294-320 metri	Lobo sabbioso costiero/fronte deltizio: Sabbie medio- fini prevalenti (Gruppo acquifero B)
320-328 metri	Depositi fini prevalenti: limi e argille con presenza di intervalli sabbiosi
328-380 metri	Lobo sabbioso di fronte deltizio: Sabbie medio- fini prevalenti con possibile presenza di sabbie grossolane– target primario per stoccaggio calore (ATES) – Gruppo Acquifero B



Basandosi sulla D.P. sopradescritta si ritiene che per caratteristiche di spessore e profondità previste il target primario ai fini dello stoccaggio di calore sia il sistema acquifero profondo di cui si prevede il tetto a circa 325 metri di profondità e la base a circa 380 metri di profondità con uno spessore complessivo di circa 55 metri.

Non si esclude, allo stato di fatto, anche la possibilità di poter utilizzare il sistema acquifero presente a circa 220 metri fino a circa 260 metri di profondità come target secondario.

Entrambe questi sistemi acquiferi sono idraulicamente confinati ed isolati rispetto ai sistemi acquiferi più superficiali da una barriera di permeabilità con spessore di circa 45 metri presente tra i 175 metri fino ai 220 metri di profondità.

Chiaramente nella fase di progettazione definitiva del pozzo/i verrà presa a riferimento la Drilling Prognosis sopradescritta e nel programma di perforazione del primo pozzo sarà prevista, al fine di affinare la D.P. stessa, una fase di approfondimento con indagini geofisiche in pozzo (logging) da circa 180 metri fino a circa 380-400 metri di profondità al fine di valutare in modo più dettagliato la stratigrafia/litologia della successione (si veda a questo proposito l'elaborato "REL- A.GEN.2")

Solo al termine della perforazione del primo pozzo si avranno tutti i dati a disposizione per programmare il completamento finale dello stesso: tubazione cieca e tubazione filtrante e quindi di decidere quale sarà il serbatoio acquifero più idoneo allo stoccaggio termico nel sottosuolo.

Allo stato di fatto, al fine di fare delle simulazioni di scenari attraverso la modellazione numerica di flusso e trasporto di calore si ritiene, come già citato in precedenza, che il sistema acquifero più idoneo sia il sistema acquifero profondo appartenente al Gruppo Acquifero B: tetto a circa 325 metri di profondità e base a circa 380 metri di profondità.

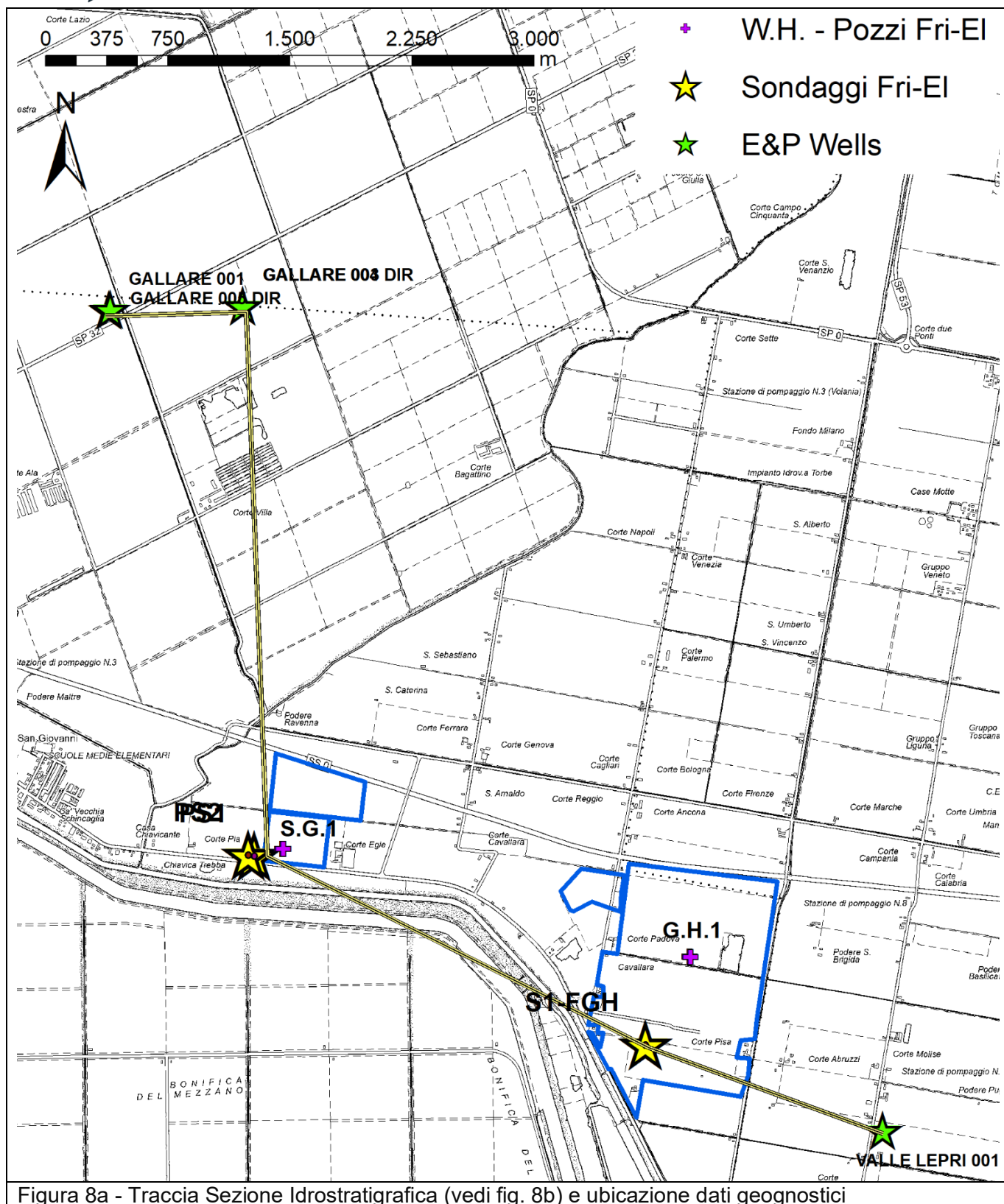


Figura 8a - Traccia Sezione Idrostratigrafica (vedi fig. 8b) e ubicazione dati geognostici

6 TEMPERATURE PREVISTE

Nel pozzo esplorativo San Giovanni 1 (S.G.1), sulla base dei dati condivisi nel documento "Field Rush Print 1000", che includono anche le misurazioni del registro della temperatura, è stato adottato il calcolo analitico con il metodo di Zschocke - Kutasov (2005) per la correzione del BHT.

I dati del BHT sono stati corretti anche con un altro metodo, derivato da Pasquale et al., 2008.

La BHT, che non è completamente stabilizzata poiché disturbata termicamente dal fango di perforazione "più freddo", risulta inferiore a quella della formazione.

Questo metodo di correzione generalmente si dimostra il più corretto e preciso poiché considera anche i diversi parametri del pozzo (vedi sotto).

Zschocke Correction (Zschocke, 2005)

$$T_{\infty} = BHT + \frac{Q}{4\pi K_{in}} \left[E_1 \left(\frac{r_b^2}{4k_{in}t_e} \right) - E_1 \left(\frac{r_b^2}{4k_{in}(t_c + t_e)} \right) \right]$$

Where:

Q: Thermal history of the well, given by Q of Kutasov (Kutasov, 1999);

K_{in}: Rock thermal conductivity;

r_b²: borehole radius;

k_{in}: Rock thermal diffusivity;

t_e: time since circulation;

t_c: circulation time;

E₁: exponential integral;

Pertanto, correggendo con il metodo Zschocke - Kutasov, secondo i dati forniti, si ottiene un valore stabilizzato di 83°C a una profondità di 2600 metri nel pozzo S.G.1, mentre Pasquale et al., 2008 fornisce un valore di 79°C (vedi figura 9). Inoltre in figura 9 è riportato anche il profilo di temperatura del pozzo "Gallare 1". Da notare come il dato di temperatura del pozzo "S.G.1" utilizzando il metodo di Pasquale et al., 2008 fitti bene con i valori di temperatura del pozzo "Gallare 1".

In base all'analisi dei dati di temperatura si osserva come il gradiente geotermico nel pozzo "S.G.1" sia molto simile a quello presente nel pozzo "Gallare 1".

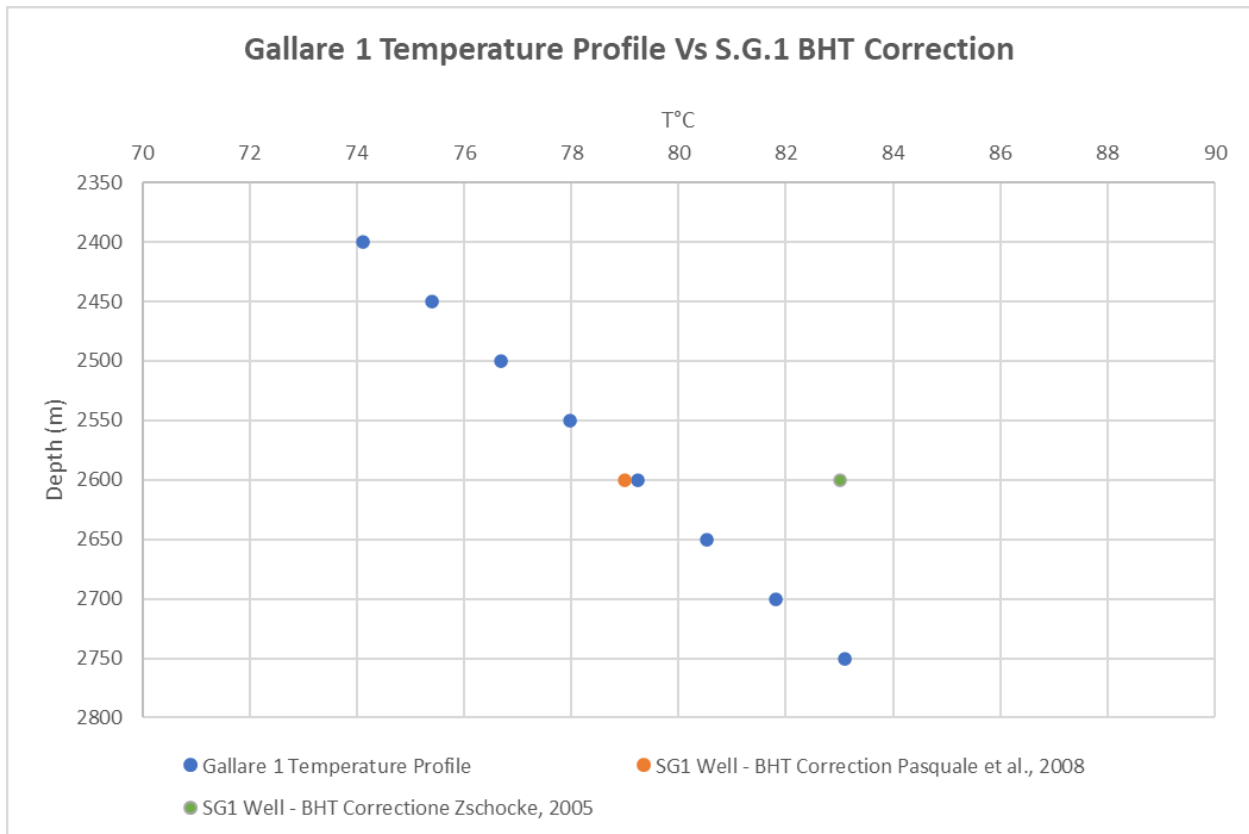


Figura 9 – Correzione dati di temperatura S.G.1 e profilo di temperatura Gallare 1

Profondità (m)	Temperatura (°C)
1700 m	60°C
1900 m	65°C
2400 m	74°C
2450 m	75,5 °C
2500 m	76,5 °C
2550 m	78,0 °C
2600 m	79,0 °C
2650 m	80,5 °C
2700 m	81,8 °C
2750 m	83,0 °C

In base ad un'analisi integrata dei dati di temperatura di seguito si riporta il gradiente geotermico medio stimato relativamente sia alla successione Pleistocenica che a quella Pliocenica sottostante presente all'interno del settore del permesso di ricerca "San Giovanni" partendo da una temperatura media ambiente a piano campagna di 13°C.

**Estimated Geothermal gradient of
Pleistocene Succession) (°C/m)**

0.0275

**Estimated Geothermal gradient of
Pliocene Succession) (°C/m)**

0.0254

In base al gradiente geotermico presente nella successione Pleistocenica si possono stimare temperature di circa 22-23°C all'interno del sistema acquifero considerato come "target" per lo stoccaggio termico.

Per completezza di seguito si riportano anche le temperature registrate nel sondaggio/piezometro "PS2" e che si riferiscono al sistema acquifero A2 a circa 130 metri di profondità: ~ 16,2°C.

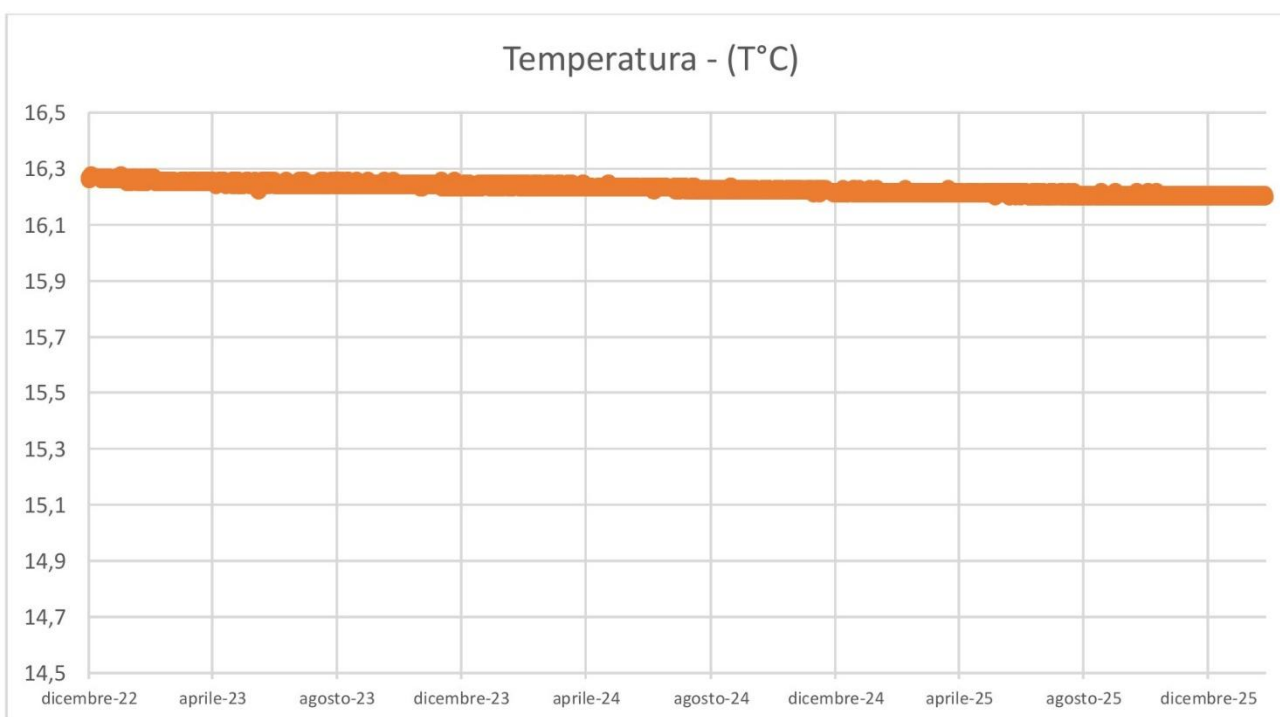


Figura 10 – Temperatura registrata nel piezometro "PS2" e relativa al sistema acquifero A2 – profondità ~ 130 metri



Felino 03/04/2026

Dott. Geol. Giulio Torri



ALLEGATI:

ALL ATES-01 – Composite_0_1133m_SG1_ML_MD

ALL-ATES-02 – Sezione Idrostratigrafica A-A'

REL-MON 02 Monitoraggio Piezometri Platea SG