

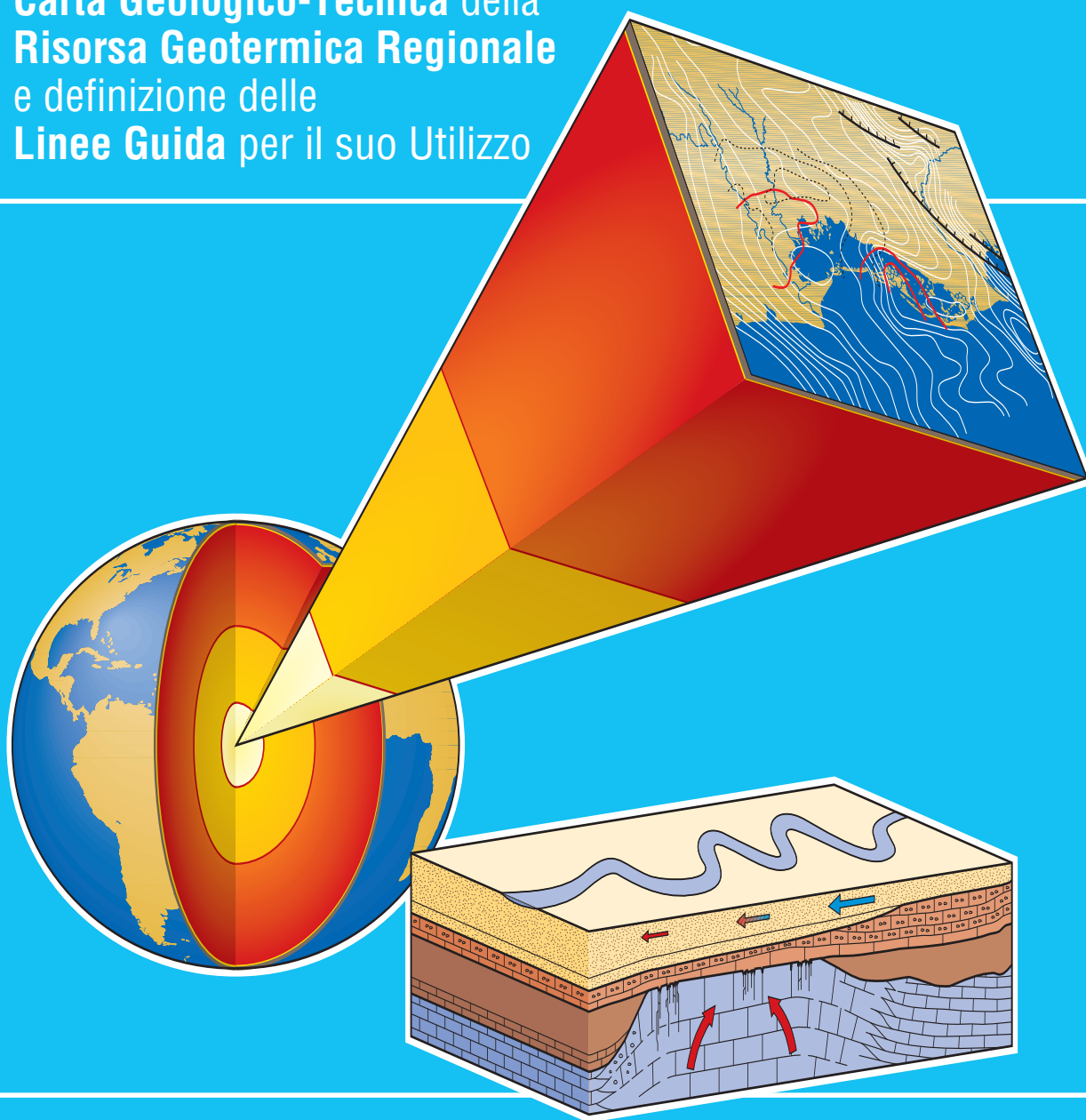


REGIONE AUTONOMA
FRIULI VENEZIA GIULIA

DIREZIONE CENTRALE AMBIENTE
e LAVORI PUBBLICI - Servizio geologico -

Le ACQUE CALDE della PIANURA FRIULANA

Realizzazione della
**Carta Geologico-Tecnica della
Risorsa Geotermica Regionale**
e definizione delle
Linee Guida per il suo Utilizzo




dica

Università di Trieste
Dipartimento di Ingegneria
Civile e Ambientale

DISGAM

Università di Trieste
Dipartimento di Scienze Geologiche
Ambientali e Marine



OGS
Istituto Nazionale di Oceanografia
e Geofisica Sperimentale

ENTE AFFIDATARIO

Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia
Direzione Regionale Ambiente e Lavori Pubblici
Servizio Geologico – Dr. Geol. Tiziano Tirelli – Direttore del Servizio
Dr.ssa Geol. Sara Oberti di Valnera
Ing. Fabio Svaghi
Dr. Geol. Mario Ravalico
Per. Min. Rosella Marcon

STRUTTURE INCARICATE

Università di Trieste - D.I.C.A. (*Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale*)

Prof. Rinaldo Nicolich – Responsabile Scientifico della Convenzione
Prof. Bruno Della Vedova
Dr.ssa Erika Barison
Ing. Claudio Vecellio
Dr. Dario Rizzetto

Università di Trieste - Di.S.G.A.M.

(Dipartimento di Scienze Geologiche, Ambientali e Marine)

Prof. Daniele Masetti – Responsabile Scientifico dell'Unità Operativa
Dr.ssa Aurelie Cimolino
Dr. Geol. Onelio Flora – Laboratorio di Geochimica Isotopica

Ist. Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale - O.G.S.:

Dr. Riccardo Ramella – Responsabile Scientifico dell'Unità Operativa
Dr.ssa Martina Busetti
Dr.ssa Valentina Volpi
Dr. Claudio Zanolla

CON I CONTRIBUTI DI:

Prof. Franco Cucchi - Di.S.G.A.M. – Università di Trieste
Prof. Ruggero Marocco – Di.S.G.A.M. – Università di Trieste
Laboratorio del Dipartimento dei Materiali e delle Risorse Naturali – Università di Trieste
Prof. Francesco Princivalle – D.S.T. - Laboratorio di Mineralogia Applicata - Università di Trieste

INDICE

<i>Presentazione</i>	4
<i>1. La fonte energetica geotermica</i>	5
<i>2. La risorsa in Regione</i>	5
<i>3. Il sottosuolo della Bassa Pianura friulana: l'acquifero entro la piattaforma carbonatica e la genesi dell'anomalia termica</i>	7
<i>4. Gli acquiferi dolci nelle coperture alluvionali</i>	12
<i>5. Idrogeologia e monitoraggio geochimico</i>	22
<i>6. Utilizzo sostenibile della risorsa</i>	24

Presentazione

La Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, al fine di avviare un piano di conservazione e sviluppo dell'utilizzo dell'energia geotermica regionale, ha inteso promuovere la redazione e la diffusione dello studio della "REALIZZAZIONE DELLA CARTA GEOLOGICO-TECNICA DELLA RISORSA GEOTERMICA REGIONALE E DEFINIZIONE DELLE LINEE GUIDA PER IL SUO UTILIZZO".

Lo studio è stato realizzato nell'ambito di una convenzione di ricerca stipulata tra il Servizio geologico della Direzione centrale dell'ambiente e dei lavori pubblici e il Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale (DICA), il Dipartimento di Scienze Geologiche Ambientali e Marine (DiSGAM) dell'Università degli Studi di Trieste e l'Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale (OGS), avente come referente il prof. Rinaldo Nicolich.

Da un lato, tale studio rappresenta la naturale prosecuzione del documento recentemente redatto e divulgato, "Carta delle Strutture Geologiche della Pianura Friulana" e dello studio "Realizzazione dello studio preliminare degli acquiferi profondi della Pianura Friulana" (DICA, OGS).

Dall'altro lato, lo stesso è stato predisposto nel contesto delle attività previste per la realizzazione della Cartografia geologico-tecnica regionale nel cui geodatabase confluiscono anche i dati dei pozzi geotermici.

L'opuscolo costituisce, quindi, un elemento di indubbio valore scientifico, che fornisce indicazioni sulla risorsa geotermica evidenziandone la distribuzione sul territorio regionale ed i presupposti per il suo sviluppo sostenibile.

Peraltro, la promozione di un piano di conservazione e sviluppo dell'utilizzo dell'energia geotermica costituisce uno dei primari interessi dell'Amministrazione Regionale, così come previsto dal Piano energetico regionale.

È, questo, un problema che deve essere affrontato su rigorose basi scientifiche e che rientra nell'ambito più vasto dello sviluppo eco-compatibile; uno sviluppo che tenga conto dell'indispensabile equilibrio tra le esigenze di natura economica-industriale e le necessità, altrettanto importanti, di tutela delle risorse naturali, tra cui gli acquiferi sotterranei.

L'ASSESSORE ALL'AMBIENTE E AI LAVORI PUBBLICI
GIANFRANCO MORETTON



1. La fonte energetica geotermica

Viviamo una crisi energetica a livello mondiale per la crescita dei consumi nei paesi in sviluppo e per la gestione dei prezzi del petrolio solo su basi politiche. Ne consegue la necessità per il nostro paese d'intensificare gli sforzi in ambito scientifico, tecnologico e industriale per l'utilizzo di risorse nazionali di energia, soprattutto di quelle rinnovabili.

Un risparmio sulle fonti energetiche fossili con benefici ambientali ed economici può derivare dall'incentivazione dell'uso diretto del calore geotermico.

Il calore della Terra

Per energia geotermica s'intende l'energia contenuta sotto forma di calore all'interno della Terra. La quantità è enorme, ma è raramente concentrata in serbatoi a profondità raggiungibili per lo sfruttamento industriale.

La temperatura delle rocce aumenta con la profondità secondo un gradiente geotermico medio che è di circa 3 °C ogni 100 m. Le zone d'interesse geotermico sono quelle ove il gradiente è superiore a quello medio, sempre però a profondità tecnicamente ed economicamente raggiungibili.

Il trasporto del calore avviene mediante la migrazione di fluidi geotermici e quelli utili sono in primo luogo l'acqua, penetrata nel sottosuolo nel corso di migliaia di anni e riscaldata al contatto con rocce calde permeabili. Quando l'acqua è riscaldata ad elevate temperature (da 100 °C fino a oltre i 300 °C, e allora può essere per lo più presente sotto forma di vapore) ed è intrappolata in pressione entro i serbatoi profondi, essa può essere utilizzata per la produzione di energia elettrica, che è poi trasportabile a qualsiasi distanza.

Nell'uso non elettrico o diretto del calore, cioè delle acque calde naturali con temperature inferiori a 100 °C, impiegabili per il riscaldamento degli edifici, di serre, in acquacoltura, nei processi agricoli e industriali, in balneoterapia, l'interesse economico può essere rilevante solo se la risorsa è rinvenibile in

vicinanza degli impianti di utilizzo. L'uso diretto dell'energia geotermica soffre, però di notevoli rallentamenti nella predisposizione degli utilizzi, che possono essere di grande variabilità e che necessitano perciò di una specifica attività di promozione ed informazione. Un esempio: l'installazione di pompe di calore può offrire la possibilità di estrarre calore dal terreno o dagli acquiferi ottenendo, per ogni unità di energia (elettrica) consumata dall'impianto della pompa, almeno tre unità di energia sotto forma di calore. È di grande interesse il fatto che è possibile, sempre attraverso l'uso di pompe di calore, anche il condizionamento estivo degli ambienti.

L'individuazione e lo sfruttamento sostenibile della risorsa geotermica è, però, un'attività complessa, che si articola su diverse fasi di esplorazione iniziando con il censimento delle manifestazioni geotermiche e continuando con le indagini geologiche, geochimiche, geofisiche e con la perforazione di pozzi esplorativi. Il monitoraggio, a medio-lungo termine degli effetti dello sfruttamento (riduzione della permeabilità, raffreddamento, subsidenza) permetterà poi di mantenere la risorsa sotto controllo.

Utilizzazioni generalmente realizzate per le alte e per le basse temperature

Per le alte temperature si può investire nella produzione diretta di energia elettrica con trasporto dell'energia a casa dell'utilizzatore.

Per le basse temperature (< 100 °C) si parla di trasporto di calore su distanze brevi via fluido (acqua).

2. La risorsa in Regione

Il territorio del Friuli Venezia Giulia è caratterizzato da rilievi montuosi e collinari che circondano i depositi alluvionali della pianura.

Le rocce carbonatiche presenti nei rilievi montani, permeabili e fratturate, favoriscono l'infiltrazione e il trasporto delle acque meteoriche fino ad elevate profondità. Nell'Alta Pianu-

ra sono invece presenti ampie conoidi di materiale grossolano (ghiaie) molto permeabile, dove l'acqua penetra nel sottosuolo andando a costituire una potente falda freatica (acque sotterranee libere), continuamente alimentata dalle portate dei fiumi e torrenti montani.

Il passaggio dall'Alta Pianura alla Bassa Pianura è individuato in corrispondenza della Linea delle Risorgive, che indica una transizione verso un sottosuolo costituito anche da spessi intervalli argillosi, impermeabili, più o meno continui, che separano strati permeabili dove l'acqua è costretta in acquiferi artesiani (acque sotterranee in pressione). Uno schema illustrativo della variazione delle facies sedimentarie dall'Alta alla Bassa Pianura è indicato in *figura 1*. L'alimentazione delle falde artesiane della Bassa Pianura è assicurata dalle acque sotterranee libere dell'Alta Pianura e si osserva la fuoriuscita dell'acqua in eccesso appunto lungo la Linea delle Risorgive.

La parte meridionale della Bassa Pianura e la fascia lagunare risultano interessate da un'anomalia geotermica positiva che porta al riscaldamento delle acque contenute negli acquiferi artesiani, con temperature man mano più elevate per quelli più profondi. La sorgente di calore deriva dalla lenta risalita di acque, riscaldate dal normale gradiente geotermico terrestre a grandi profondità (alcune migliaia di chilometri), con percorsi sempre entro le formazioni carbonatiche. Esse migrano fin entro il tetto delle culminazioni sepolte, presenti nel sottosuolo della Bassa Pianura e lagune adiacenti, con circolazione convettiva all'interno degli intervalli più permeabili. Questi, infatti, possono costituire serbatoi per le acque calde e sorgenti di calore per gli acquiferi confinati entro le sovrastanti sabbie e ghiaie dei sistemi artesiani.

Gli interventi della Regione

Per predisporre un piano di sviluppo degli utilizzi dell'energia geotermica regionale e della sua conservazione, il Servizio Geologico della Regione, mediante il proprio ufficio per le attività minerarie e le risorse geotermiche,

ha promosso gli studi per una più adeguata valutazione della risorsa:

- ha promosso, tramite convenzione con l'Università degli Studi di Trieste, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale (D.I.C.A.), insieme al Dipartimento di Scienze Geologiche Ambientali e Marine (Di.S.G.A.M.) e all'Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Applicata (OGS), lo studio per la **“Realizzazione della Carta Geologico-Tecnica della Risorsa Geotermica Regionale e Definizione delle Linee Guida per il suo Utilizzo”**;
- è impegnato con il proprio personale per la realizzazione della prima fase del “Progetto Geotermia-Grado” dell'Obiettivo 2, DOCUP 2000-2006, comprendente “La realizzazione di un pozzo esplorativo e la quantificazione e la parametrizzazione della risorsa geotermica in Comune di Grado” a seguito di uno studio apposito realizzato in esecuzione di una specifica convenzione.

La realizzazione della “Carta della Risorsa Geotermica”, è stata predisposta nel contesto delle attività previste per la messa in opera della Cartografia geologico-tecnica regionale. A questo fine, si sono estesi gli obiettivi alla conoscenza dei fenomeni del sottosuolo aventi rilevanza idrogeologica, avendo cura dell'utilizzo e salvaguardia delle risorse primarie.

Attualmente il Servizio sta provvedendo, alla realizzazione del Sistema Informativo Territoriale della Carta Geologico Tecnica (SIT-CGT), in cui confluiscono i dati dei pozzi geotermici e le informazioni relative alla risorsa acqua.

Obiettivo primario del lavoro svolto dagli uffici regionali è la promozione di un piano di conservazione della risorsa e di sviluppo dell'utilizzo dell'energia geotermica in linea con quanto previsto dal Piano energetico regionale (approvato in bozza con la delibera 932 dd. 05/05/06). Esso riserva un significativo interesse ad uno sfruttamento programmato delle risorse geotermiche prevedendo un incremento superiore al 100% entro il 2010.

Lo studio commissionato per la realizzazione della carta della risorsa ha perseguito i seguenti obiettivi:

- definizione del contesto geologico anche con l'acquisizione di profili sismici a riflessione in terra e a mare;
- caratterizzazione termica e geochimica delle acque con indicazione delle aree di ricarica degli acquiferi, delle profondità dei circuiti e dei tempi medi di permanenza negli acquiferi;
- mappatura e classificazione degli acquiferi con quantificazione della risorsa e individuazione degli utilizzi;
- definizione di linee guida per una corretta programmazione dello sfruttamento della risorsa.

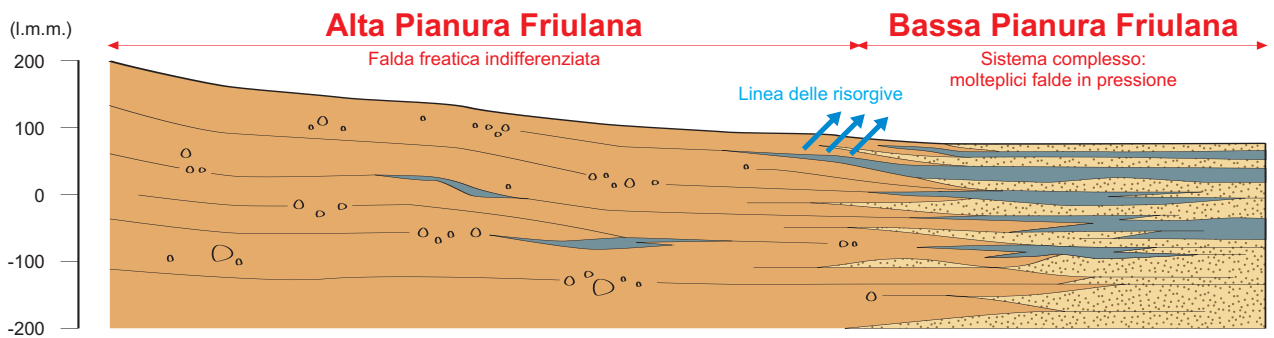


Fig. 1: schema delle variazioni di facies e degli acquiferi in falda ed artesiani fra l'Alta e la Bassa Pianura.

3. Il sottosuolo della Bassa Pianura friulana: l'acquifero entro la piattaforma carbonatica e la genesi dell'anomalia termica

Nella Bassa Pianura e lagune limitrofe si sono osservate delle culminazioni del tetto dei carbonati entro cui è contenuto un acquifero salato o salmastro. Siamo fra 750 e 1000 m di profondità come si osserva nella mappa delle profondità del tetto dei carbonati presentata in figura 2, mappa che copre anche il Golfo di Trieste. In essa sono indicate anche le tracce dei profili sismici acquisiti con la Convenzione, in terra e a mare.

Durante il periodo Cretacico (da 145 a 65 milioni di anni fa) la nostra regione rappresentava un'area tropicale di mare poco profondo in cui vivevano e si accrescevano colonie di vari organismi (fra essi i più caratteristici erano le rudiste, poi estintesi). I sedimenti organici depositati, una volta trasformati in solida

roccia calcarea, hanno mantenuto caratteristiche porosità e permeabilità che hanno permesso l'accumulo in essi del sistema acquifero più caldo, con l'instaurazione di una lenta circolazione idrotermale che ha richiamato fluidi caldi e salati da grandi profondità.

L'osservazione della mappa di figura 2 evidenzia per questa piattaforma carbonatica una morfologia articolata, legata al meccanismo deposizionale e di crescita, originariamente sintetizzabile come un altopiano calcareo che si affacciava in modo asimmetrico sui fondali circostanti: con ripide scarpate verso occidente e con più dolci versanti verso settentrione e verso oriente. I sollevamenti ed abbassamenti del livello marino, con esposizione subaerea della piattaforma sottoposta in questo modo ad erosione, e le successive deformazioni tettoniche, che hanno agito in direzioni e tempi differenti secondo opposti sistemi di faglie, hanno poi modificato l'assetto originario della piattaforma. Le parti sommitali di essa sono

ora evidenti in corrispondenza di un primo settore, immediatamente a nord di Lignano, orientato in senso E-O, e di un secondo, con direzione NO-SE, che dalla laguna di Grado-Marano si spinge fino all'Istria-Punta Salvore.

Per chiarire l'assetto geologico e strutturale, in [figura 3](#) sono riportate in scala 1:1 tre sezioni geologiche schematiche, ottenute dall'interpretazione di profili sismici. Qui in colore azzurro sono rappresentati i depositi più antichi, in gran parte corrispondenti ai calcari cretacei. Essi appaiono direttamente ricoperti da depositi che sono indicati in colore marrone. Si tratta di sedimenti che si sono depositati in bacini marini profondi, che mediamente potevano raggiungere e superare il migliaio di metri. Ad occidente tali formazioni sono costituite da misture di fanghi calcarei ed argille (le cosiddette "Scaglie"), depositatesi come sedimenti fini decantati attraverso tutta la colonna d'acqua. Sui fondali orientali, più o meno nello stesso periodo, frane sottomarine, denominate correnti di torbida, costituiscono i depositi del "Flysch", alternanze di marne e di strati terrigeni sabbiosi, originati dal disfacimento dei fronti della catena dinarica (gli attuali Carsi) che era in fase di sollevamento.

Il colmamento dei suddetti bacini riporta nell'area condizioni di mare poco profondo, ove andranno a deporsi prevalentemente unità terrigene sabbioso-limose (la "Molassa" miocenica che si sovrappone al Flysch e che è indicata in figura in color nocciola). Si tratta di formazioni geologiche di ambiente costiero, ove la linea di costa era in continua evoluzione a seguito del contemporaneo sollevamento della catena delle Alpi Meridionali orientali.

L'ultima successione è riconducibile all'intervallo Pliocene-Quaternario (color giallo) ed

è composta di sedimenti sciolti: si tratta, infatti, di fitte alternanze di materiali impermeabili argilloso-limosi e materiali permeabili ghiaiosi e sabbiosi, riferibili ad ambienti alluvionali costieri e marini poco profondi, anch'essi modellati dalle continue variazioni del livello marino, anche in relazione all'avvicendamento di fasi glaciali ed interglaciali.

L'acquifero salato al tetto della piattaforma carbonatica è idraulicamente separato dai sistemi artesiani immediatamente sovrastanti e contiene le acque più calde di tutto il complesso geotermico, con temperature stimate fino a circa 65 °C. In [figura 4a,b](#) è illustrato l'andamento con la profondità della temperatura corretta (Geoterma) e del gradiente nel pozzo Cesarolo 1, perforato dall'ENI in Veneto.

La [figura 5](#) rappresenta uno schema geologico con il modello di circolazione delle acque calde entro le formazioni carbonatiche. Il modello indica la trasmissione di calore per convezione entro i calcari organogeni di scogliera nella parte alta della piattaforma, una successiva trasmissione per conduzione agli acquiferi artesiani superiori attraverso un setto impermeabile di copertura. Gli acquiferi artesiani più caldi sono quelli più profondi e vicini all'acquifero nei carbonati e la loro stabilità termica, in decenni di sfruttamento, dimostra come il fenomeno sia a regime e quindi interessante dal punto di vista minerario.

Le informazioni caratterizzanti la risorsa nel carbonatico sono oggi ancora puntuali e indirette (da dati geofisici e dal pozzo Cesarolo 1 e Caravella 1) e non circoscritte. Dal progetto Geotermia-Grado, in corso di realizzazione nell'ambito del DOCUP-Obiettivo 2, conseguirà una prima stima per uno sfruttamento sostenibile dell'acquifero nell'area tra Lignano e Grado.

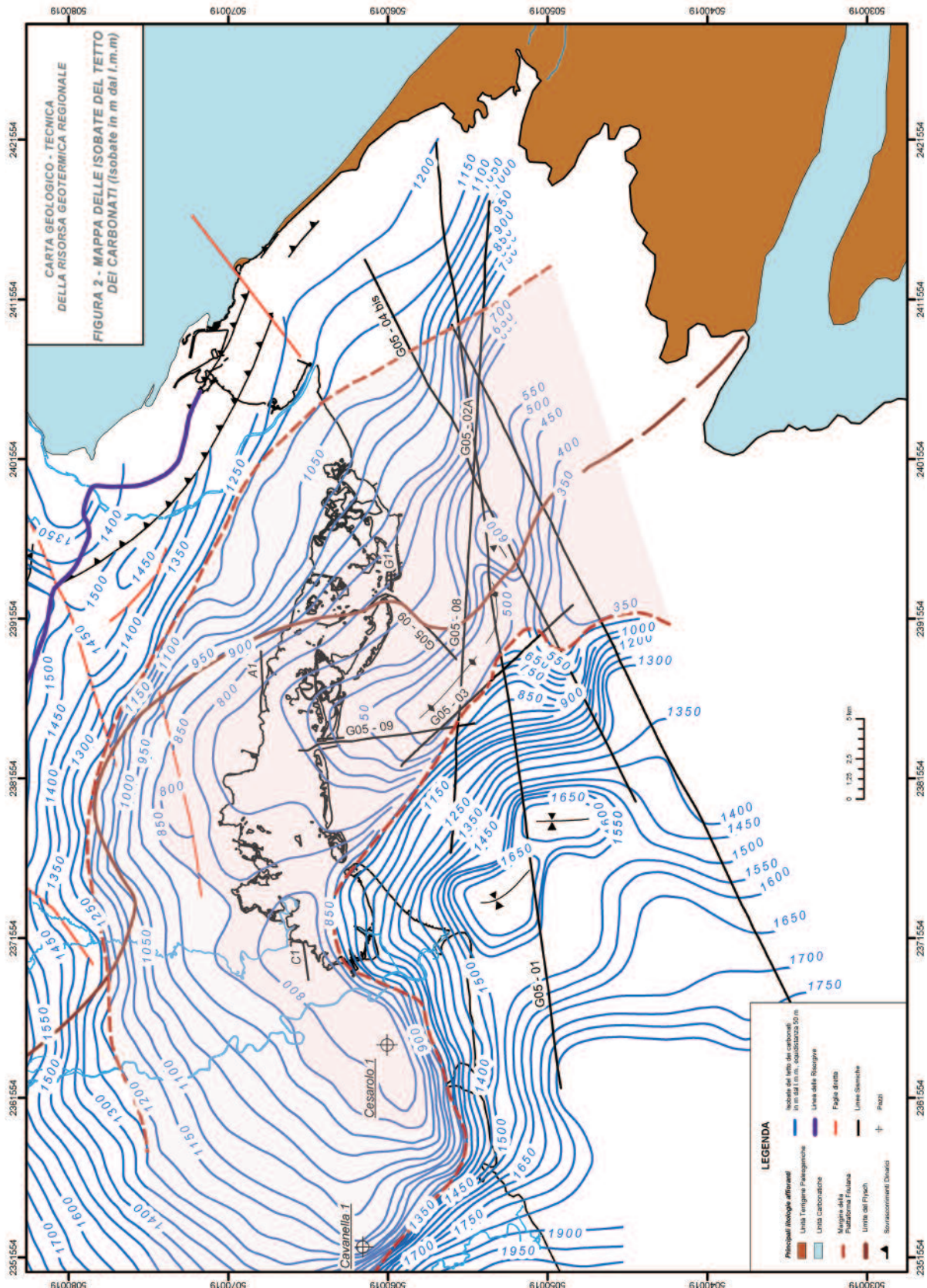


Fig. 2: isobate del tetto dei carbonati nella Bassa Pianura e Golfo di Trieste.

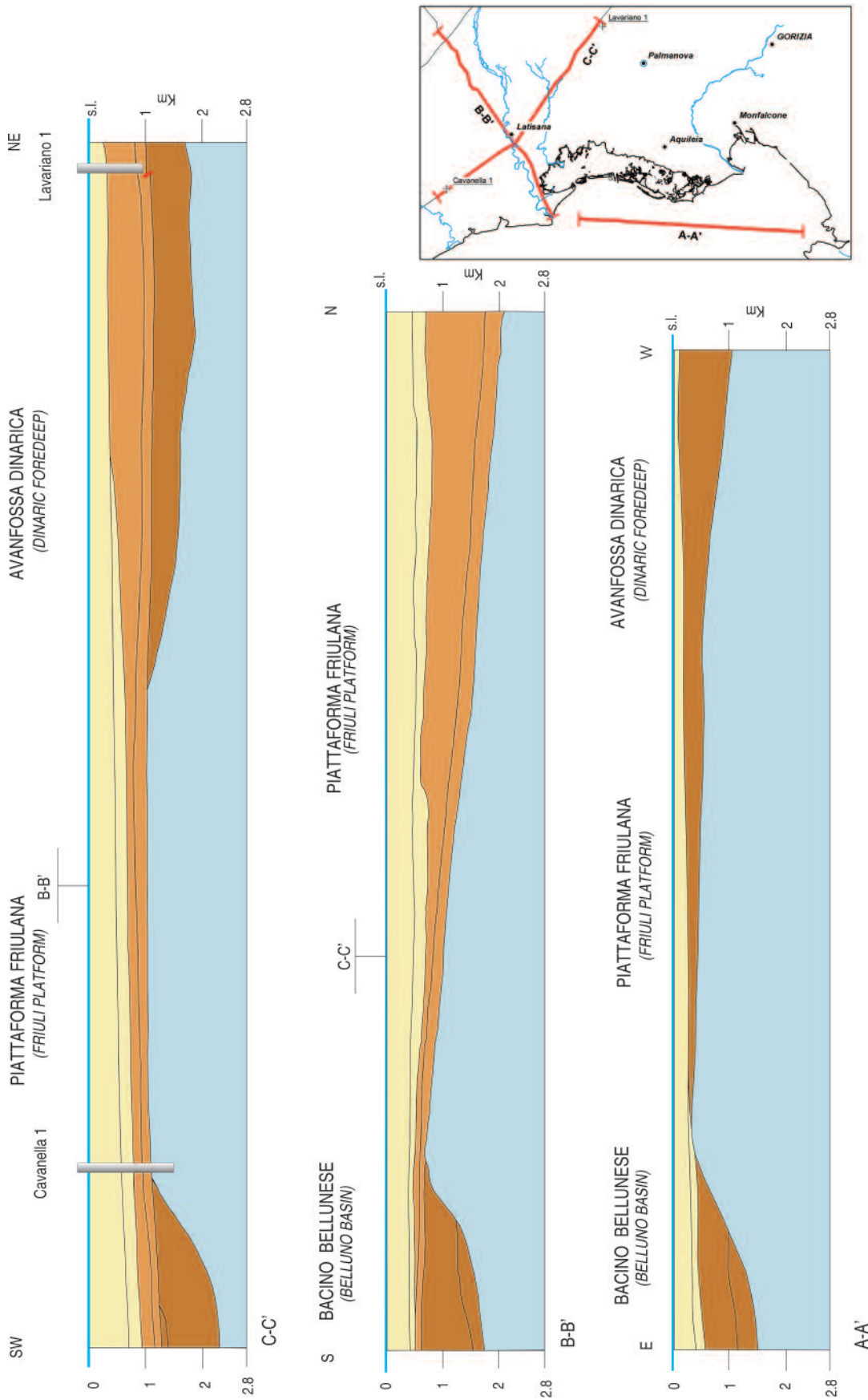


Fig. 3: Sezioni geologiche tratte dai profili sismici al traverso delle culminazioni dei carbonati in scala 1:1. In azzurro la piattaforma carbonatica, in marroncino i bacini della Scaglia e del Flysch, in nocciola la Molassa miocenica, in giallo le alluvioni plio-quadernarie.

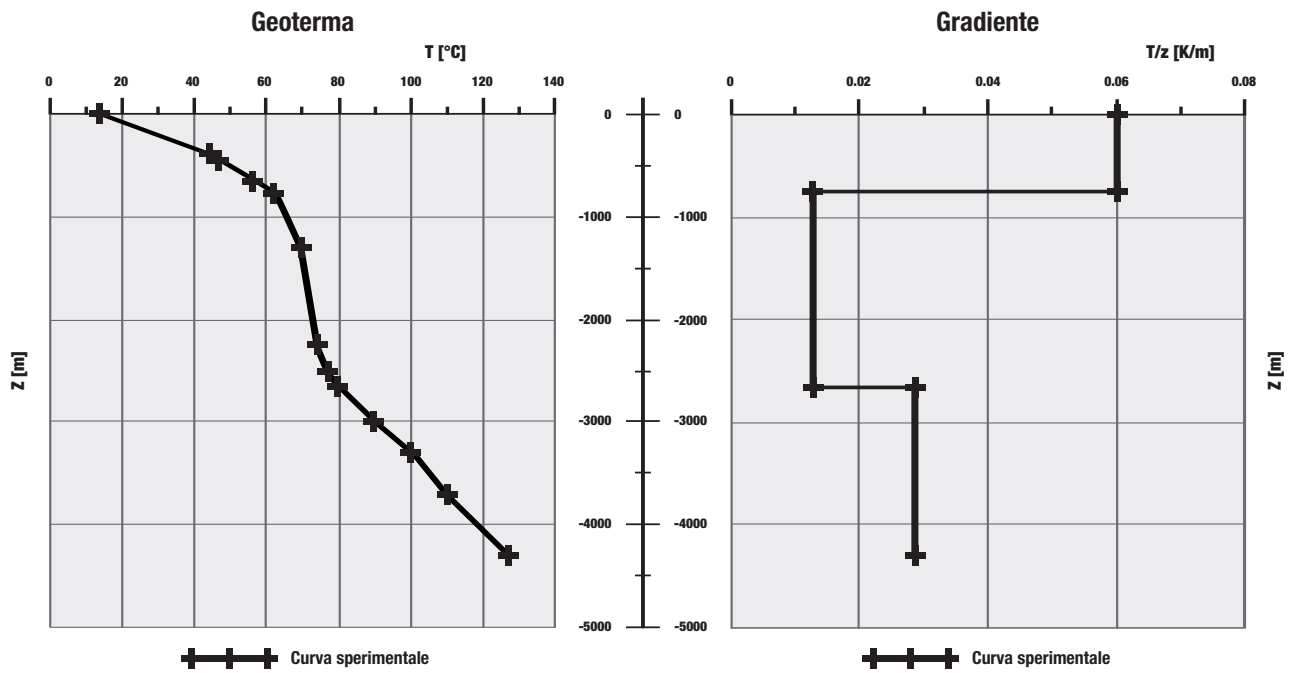


Fig. 4a: andamento della temperatura con la profondità per il pozzo Cesarolo 1 (geoterma sperimentale stimata).

Fig. 4b: andamento del gradiente di temperatura per lo stesso pozzo.

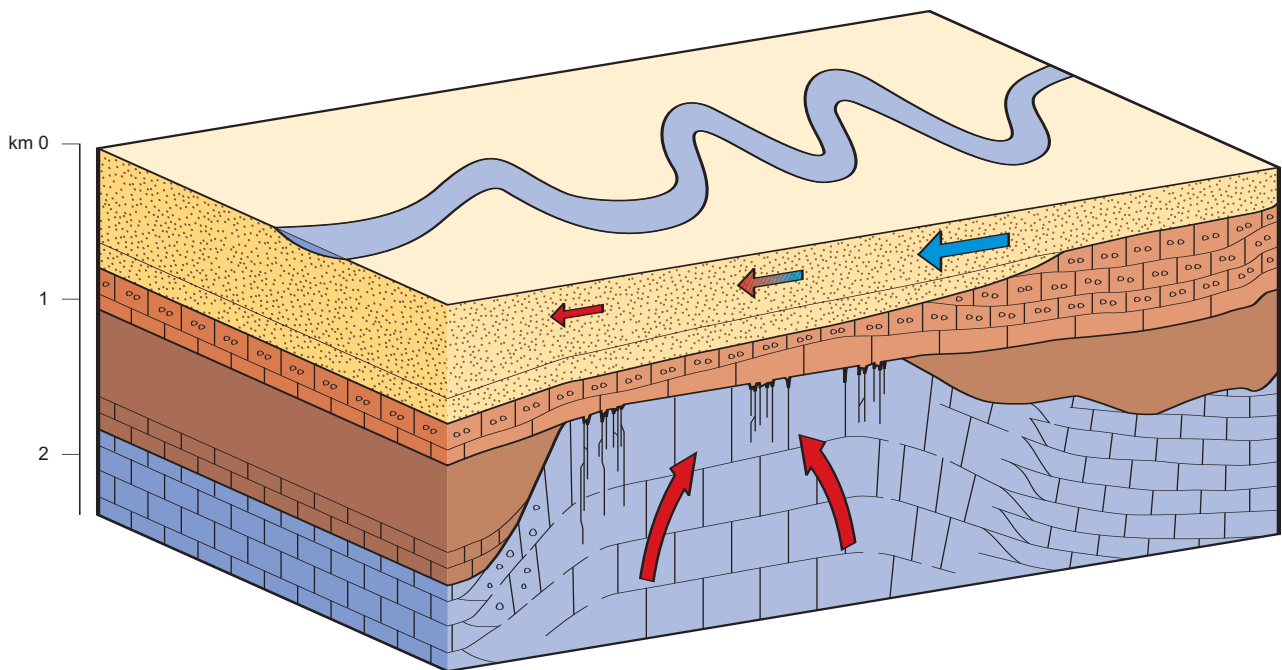


Fig. 5: modello geologico schematico di circolazione delle acque entro i carbonati della piattaforma

4. Gli acquiferi dolci nelle coperture sedimentarie

Per caratterizzare e delimitare gli acquiferi artesiani nelle coperture terrigene delle formazioni carbonatiche, si sono utilizzati i dati puntuali disponibili presso l'Ufficio per le attività minerarie e le risorse geotermiche, integrati con i dati geofisici di nuova acquisizione e con tutte le altre informazioni pregresse disponibili (dati del catasto, dati di perforatori, archivi di altri enti, ...). Sono stati esaminati più di 200 pozzi, significativi dal punto di vista geotermico, inserendo complessivamente 142 litostratigrafie in un database informatizzato. Sono state prodotte le prime carte tematiche georeferenziate, sia in pianta che in sezione, riportando separatamente i diversi acquiferi artesiani.

In [figura 6](#) un'immagine tratta dalla linea sismica ad alta risoluzione acquisita nel territorio del Comune di Aquileia con le interpretazioni strutturali e stratigrafiche della facies sismiche in profondità, riferite agli orizzonti corrispondenti agli acquiferi individuati dai sondaggi: orizzonti D, E, F, G, Q (base Quaternario), P (base Pliocene), L (tetto del Miocene Inferiore), C (tetto dei carbonati).

Nell'ambito del progetto è stato possibile definire e analizzare gli 11 sistemi di acquiferi già noti dalla letteratura (contraddistinti dalle lettere da A ad M), anche se l'attenzione è stata rivolta in particolare ai 7 sistemi geotermici (da E ad M) e all'acquifero carbonatico profondo. Gli acquiferi sono stati tentativamente isolati sulla base di correlazioni litostratigrafiche, effettuate utilizzando tutti i pozzi classificati nel database e sulla base dei dati sismici e geochimici, ove disponibili. Allo scopo di fornire agli operatori uno strumento omogeneo di analisi, valutazione e gestione delle risorse idriche e geotermiche, si è voluto descrivere la distribuzione spaziale di ciascun sistema artesiano stimando la risorsa idrica e geotermica disponibile e la parte ritenuta (ad una prima analisi) sfruttabile, essendo soste-

nibile dal sistema geotermico complessivo. Questo approccio può avere lo svantaggio di dipendere dalla variabilità laterale delle proprietà idrauliche di ciascun sistema acquifero e dalla densità e qualità dei dati di pozzo, sui quali le mappe sono basate.

A titolo di esempio per le correlazioni stratigrafiche si riporta in [figura 7](#) una sezione riferita al sistema di acquiferi H, insieme alle legende utilizzate per la caratterizzazione litostratigrafica e idraulica. La legenda riporta le litostratigrafie e gli acquiferi secondo gli standard accettati per la Provincia di Venezia e il Friuli Venezia Giulia.

Le cartografie dei sistemi di acquiferi E, F, G, H, I+L e la definizione delle profondità e delle linee di uguale temperatura stimata per ognuno di essi (isoterme) e che li caratterizzano, sono riprodotte nelle [Tavole da 1 a 7](#).

Il risultato principale mostrato da queste carte è che le acque dolci entro le coperture sono riscaldate per conduzione, per opera dell'acquifero nei carbonati attraverso gli strati impermeabili che lo ricoprono. Profondità e temperature sono riportate sulla mappa del tetto dei carbonati (per i sistemi I+L) o, per gli altri acquiferi, sulla mappa degli spessori dei sedimenti recenti (Quaternario) comprendente anche informazioni (campiture colorate) sul substrato di base: Flysch eocenico in marroncino, Miocene in nocciola, Pliocene inferiore in giallo. In ogni mappa sono indicati i pozzi che hanno raggiunto l'acquifero (punti verdi) e che sono serviti per caratterizzarlo e i pozzi (punti bianchi) che non hanno incontrato quell'acquifero alla profondità prevista. Gli acquiferi più caldi sono quelli profondi e le loro temperature si correlano con gli andamenti delle culminazioni della piattaforma carbonatica.

Nonostante le incertezze insite nei dati disponibili ed utilizzati, queste mappe sono certamente uno dei risultati più importanti delle indagini svolte, che consentirà agli operatori di effettuare le valutazioni strategiche sulla risorsa.

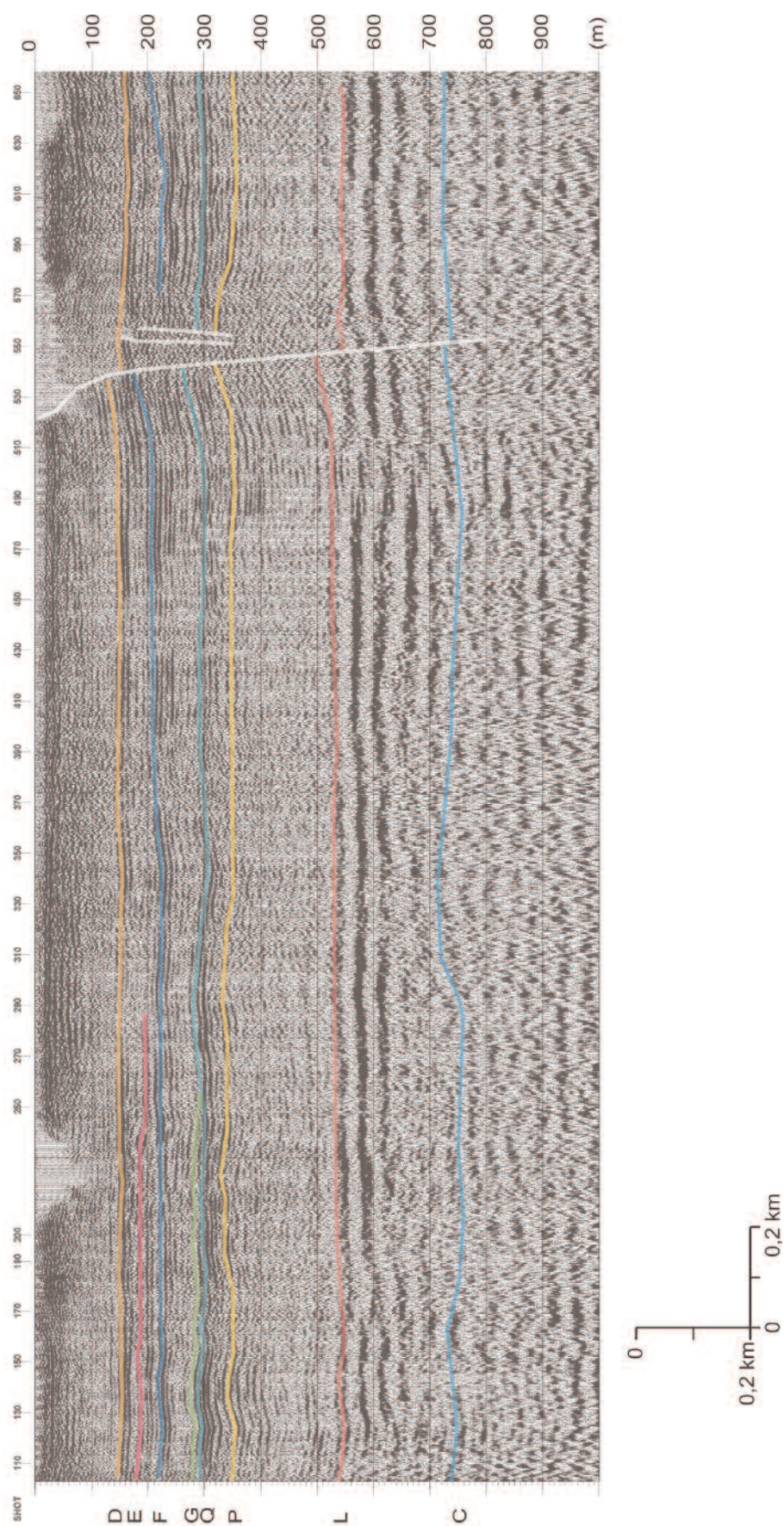


Fig. 6: sezione sismica convertita in profondità per un tratto della linea A1 con individuazione degli orizzonti corrispondenti agli acquiferi D, E, F, G, alla base del Quaternario (Q), del Pliocene (P), al tetto del Miocene Inferiore (L) e dei carbonati (C).

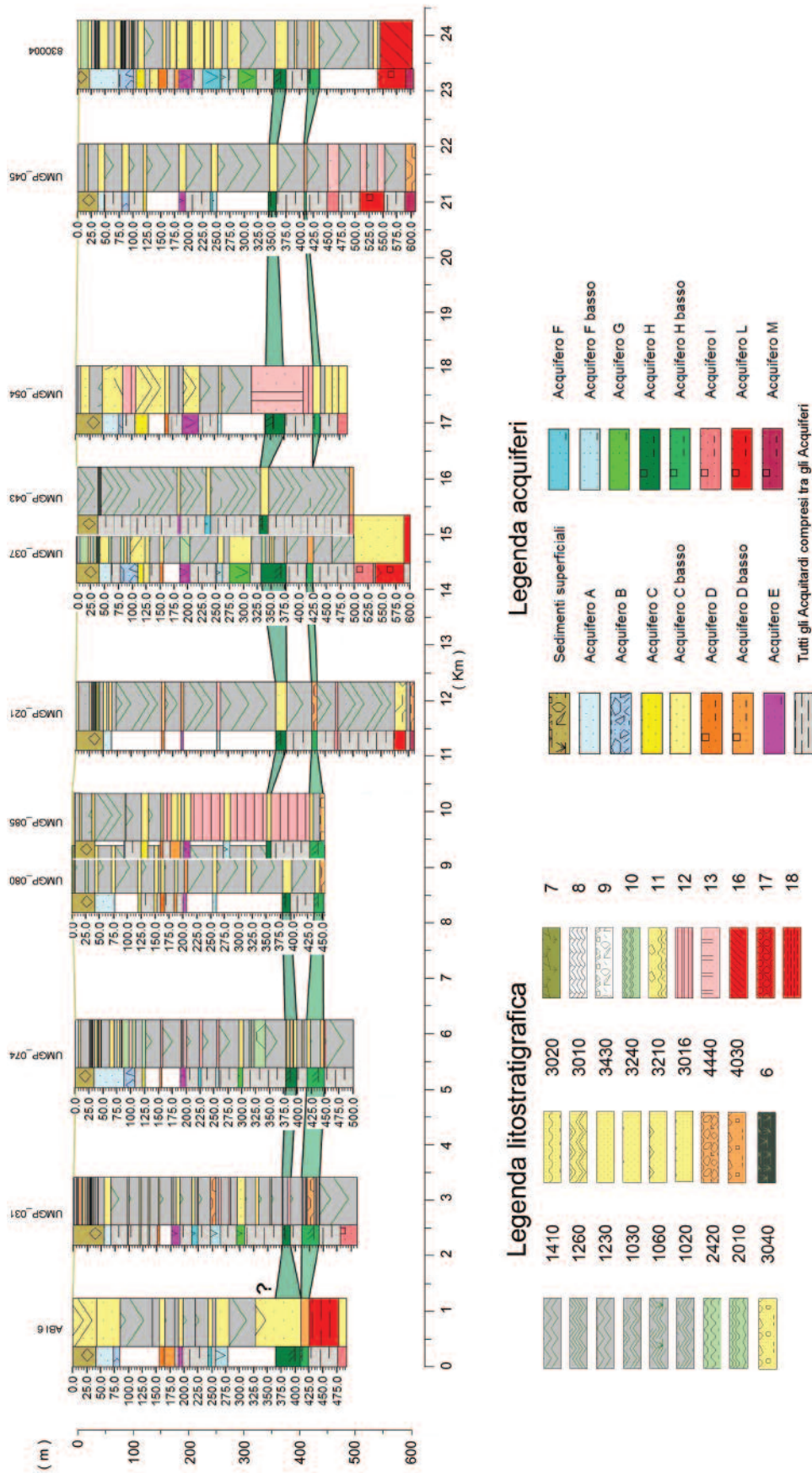
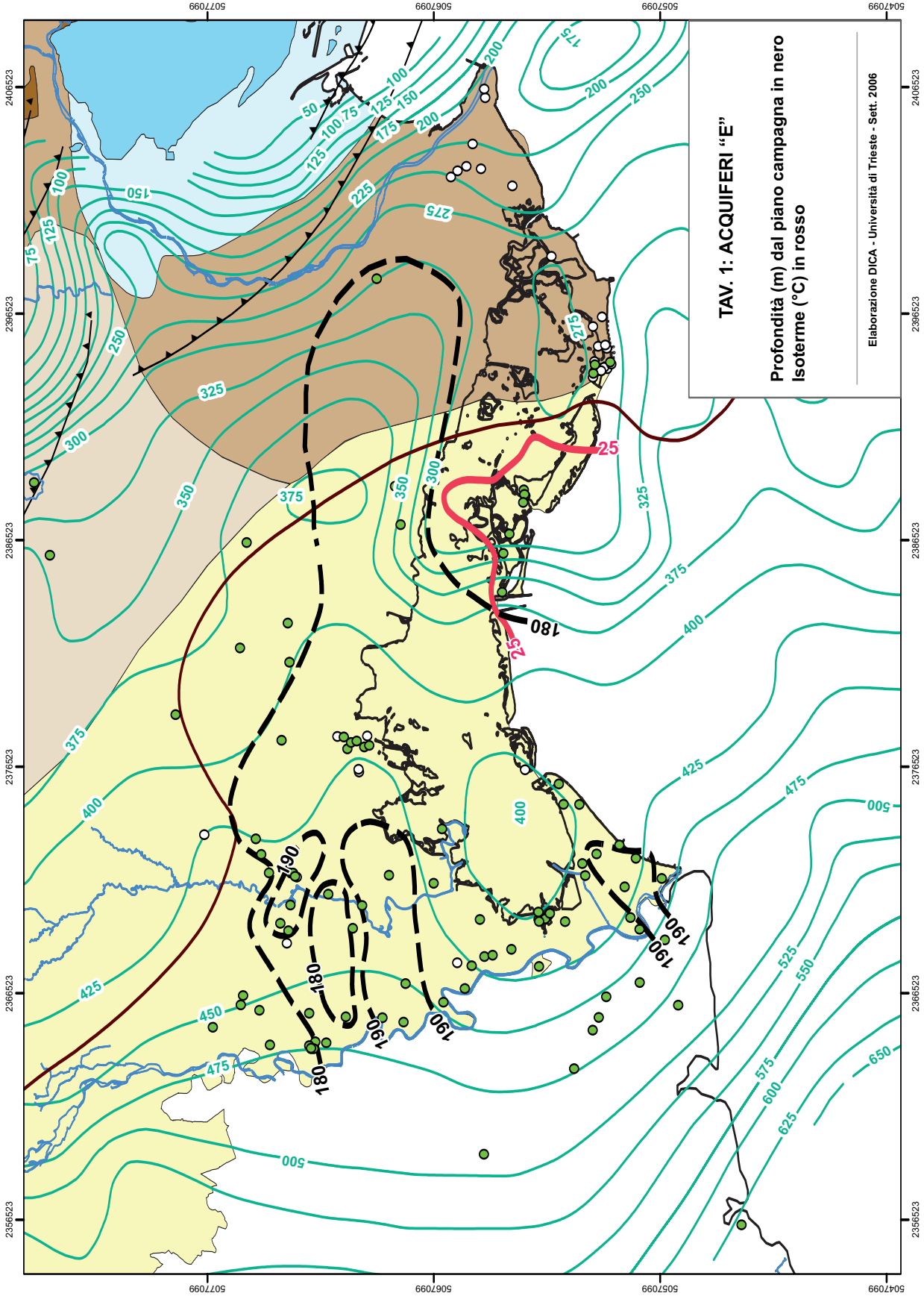
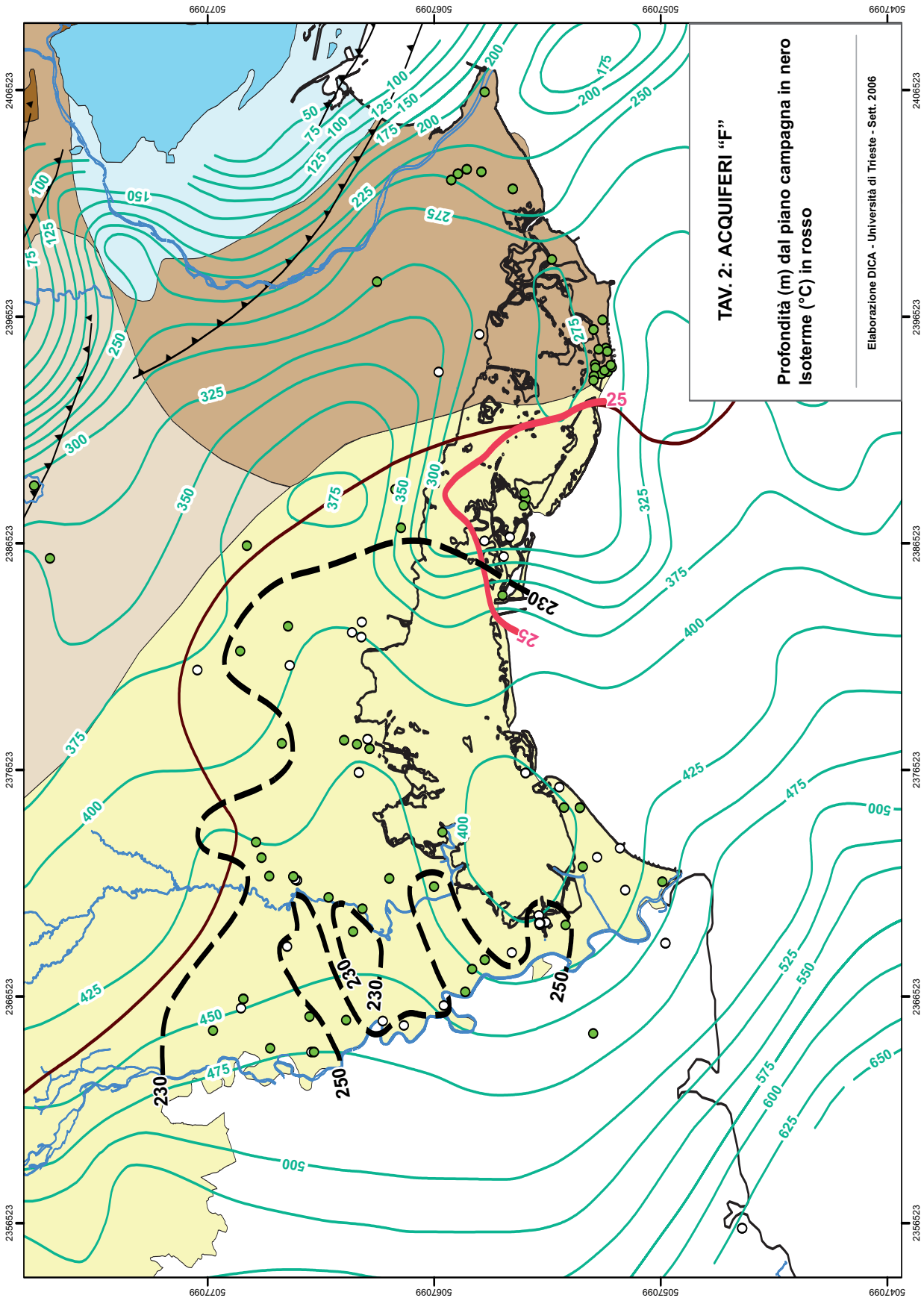
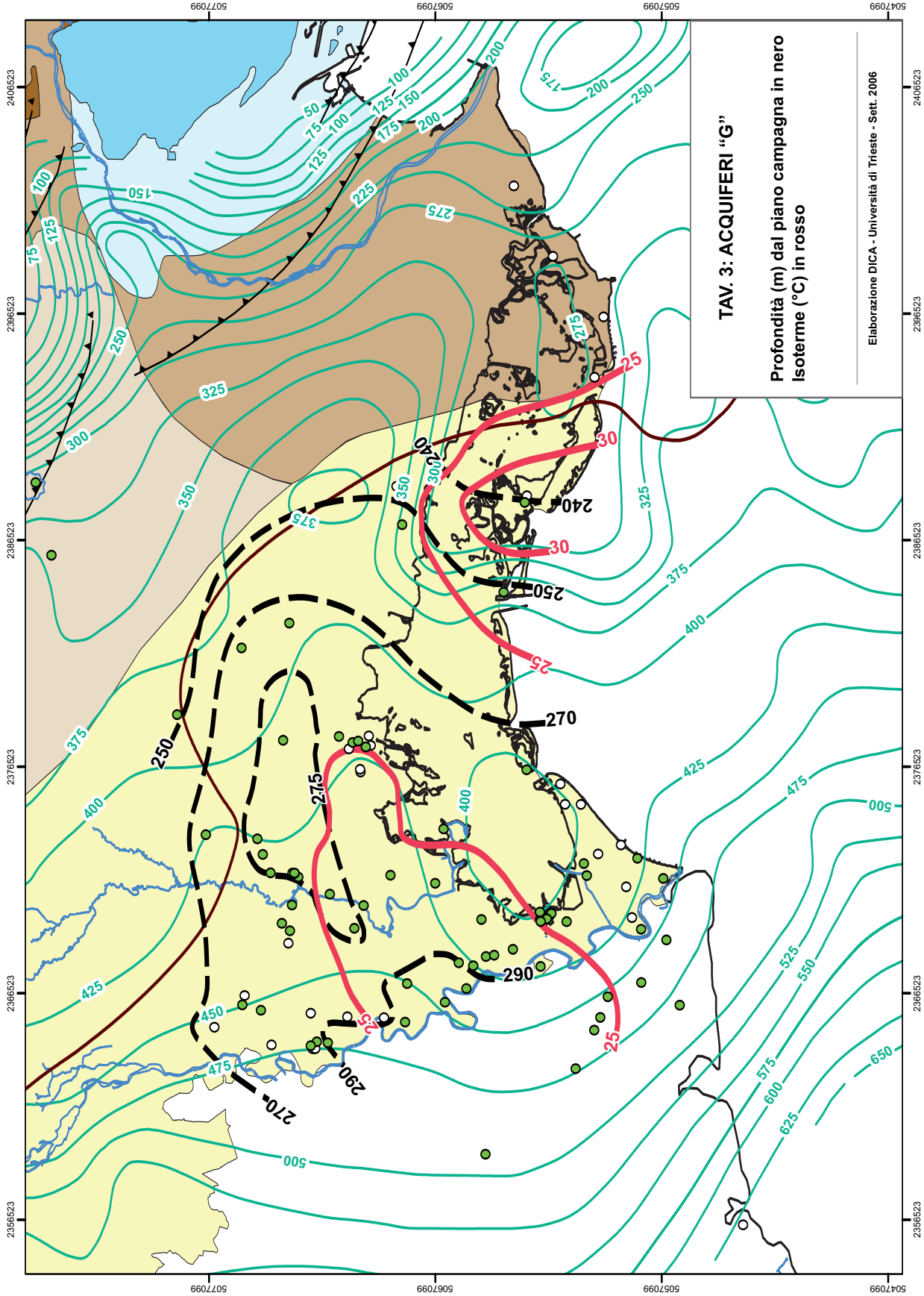
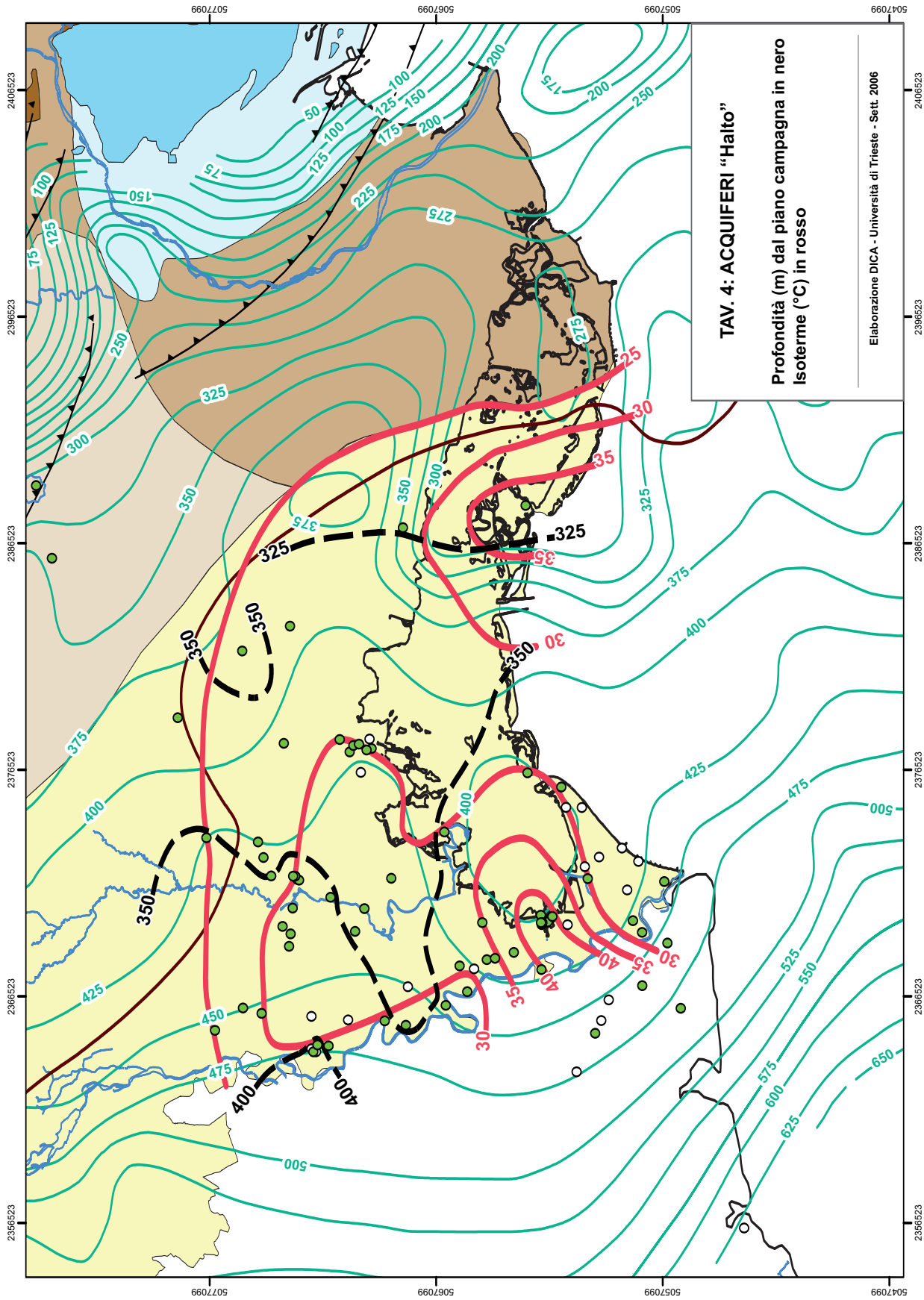


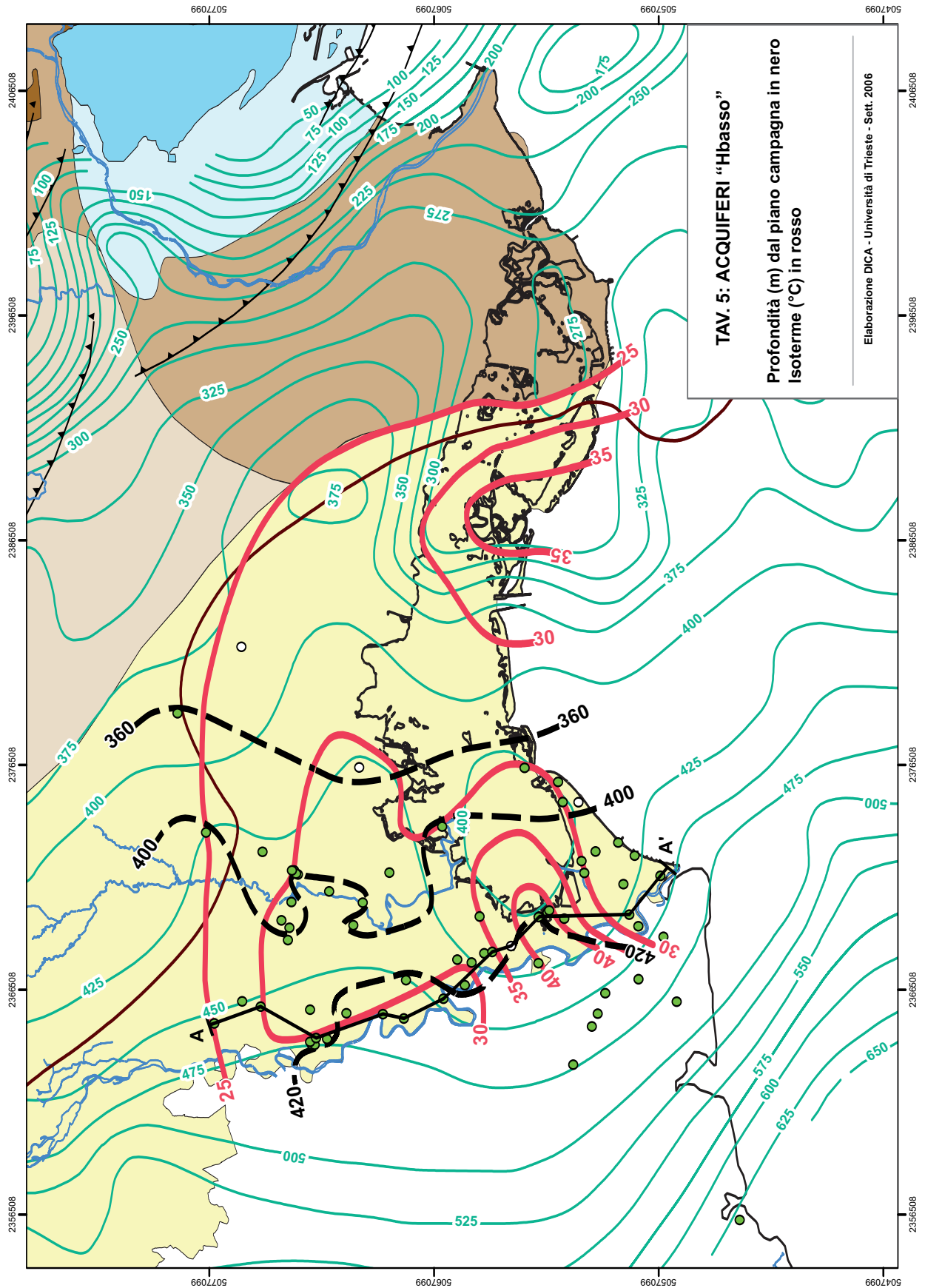
Fig. 7: correlazione litostratigrafica per i pozzi del sistema di acquiferi H. La traccia della sezione è riportata in Tav. 5. Le legende fanno riferimento a colori e codici di classi standardizzate per la Provincia di Venezia e la RAFVG.

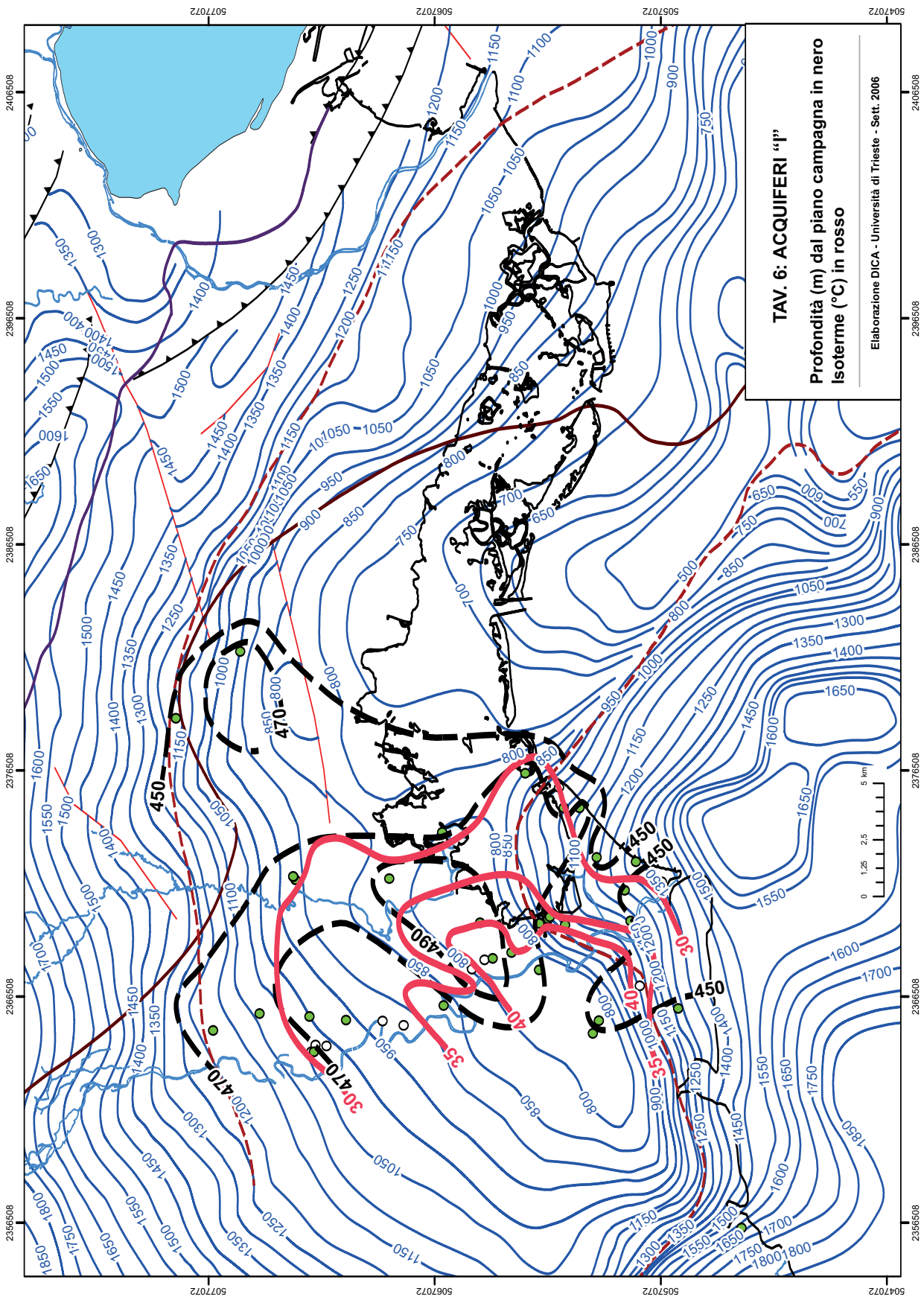


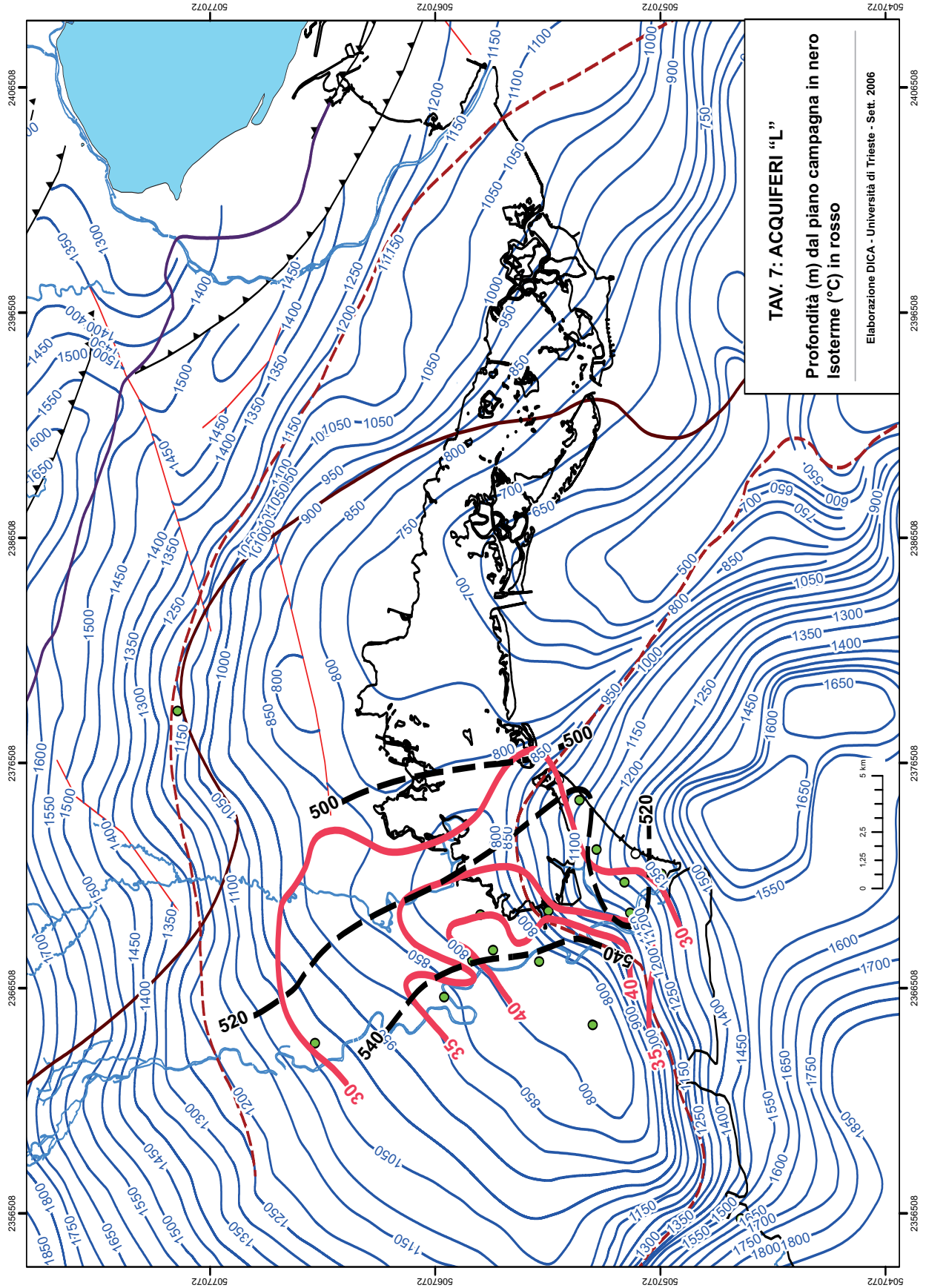












5. Idrogeologia e monitoraggio geochimico

Nel corso dello studio sono stati monitorati bimestralmente (sull'arco di un anno) dieci pozzi artesiani allo scopo di fornire una prima caratterizzazione geochimica dell'area geotermica, individuando le famiglie idrogeologiche, delimitando l'estensione di ciascun corpo idrico, definendo le possibili aree di ricarica e i tempi di residenza medi degli acquiferi stessi. I dati sono stati integrati con tutte le altre informazioni pregresse disponibili. Sulle acque prelevate sono state effettuate sia misurazioni dei parametri chimico-fisici in sito, sia analisi geochimiche ed isotopiche di laboratorio. In [figura 8](#) la distribuzione dei pozzi utilizzati per le indagini geochimiche e per le correlazioni stratigrafiche: contrassegnati in rosso i pozzi oggetto dei monitoraggi.

Le misurazioni sulle acque in sito hanno riguardato i parametri di temperatura, pH, conducibilità elettrica e TDS (Total Dissolved Solids); in laboratorio sono state effettuate le determinazioni delle concentrazioni degli ioni principali Li^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , HCO_3^- , SO_4^{--} , H_2S , Cl^- , F^- , SiO_2 , NH_4^+ , NO_3^- , Fe , nonché il pH e la conducibilità elettrica. Si è proceduto inoltre alle analisi di geochimica isotopica per la determinazione dei contenuti in $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ e Trizio.

Un esempio dei risultati delle misure geochimiche è riportato in [figura 9a](#), che illustra la netta separazione delle concentrazioni degli ioni SO_4^- e Cl^- , tracciante, il primo, delle acque del bacino del Tagliamento, il secondo, degli acquiferi interessati da contaminazione con acque marine (non necessariamente attuali). La [figura 9b](#) illustra la stabilità del rapporto isotopico (δO^{18}) in tutti i campioni nell'arco di un anno, a dimostrazione della stabilità degli acquiferi, non soggetti a significativi contributi periodici provenienti da corpi idrici diversi. Questo fatto rappresenta un'informazione fondamentale per il corretto piano di monitoraggio qualitativo della risorsa.

Dallo studio è risultato che gran parte delle acque esaminate sono caratterizzate da valori di conducibilità elettrica piuttosto bassi attribuibili ad acque bicarbonatiche, mediamente mineralizzate. Alcuni campioni sono riferibili ad acque minerali a conducibilità compresa tra 1320 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mentre per un gruppo ristretto di pozzi si tratta di acque intensamente mineralizzate la cui conducibilità supera i 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (raggiungendo in un caso i 27000 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Partendo dalle concentrazioni dei principali ioni (Ca^{++} , Mg^{++} , HCO_3^- , Cl^- e SO_4^-) sono stati costruiti grafici per confrontare e discriminare le caratteristiche chimiche delle famiglie idrogeologiche. Sono state analizzate nel dettaglio anche le concentrazioni in NH_4^+ , NO_3^- e Fe , utili parametri indicatori di qualità e potabilità per le acque sotterranee, nonché di Li^+ , H_2S , F^- e SiO_2 .

La mineralizzazione più spinta, riscontrata nelle acque artesiane circolanti alle maggiori profondità, solitamente arricchite in Cl^- , Na^+ , K^+ , Li^+ , F^- , Fe , NH_4^+ , H_2S , è stata messa in relazione ad un'origine naturale legata o a contaminazioni marine (non necessariamente attuali) o agli anomali gradienti geotermici locali che possono indurre nelle acque specifiche modificazioni chimiche ("scambio ionico") allorché nel sottosuolo siano presenti depositi argillosi di origine marina o depositi arricchiti in sostanze organiche. Questo fenomeno aumenta al crescere dei tempi medi di residenza negli acquiferi (circolazioni molto lente) e, di conseguenza, delle profondità di circolazione delle acque.

Le analisi isotopiche effettuate (per l'Ossigeno, il Deuterio e il Trizio) hanno ribadito l'origine meteorica di tutte le acque circolanti all'interno delle falde della Bassa Pianura e hanno permesso di definire approssimativamente l'età delle acque campionate, i bacini idrografici di origine e la circolazione nel sottosuolo.

Al momento non sono a disposizione dati certi che possono confermare fenomeni di intrusioni marine attuali negli acquiferi geotermici, ritenuti comunque possibili nel settore costiero

di Lignano a profondità superiori a 400 m. In sintesi, sono stati riconosciuti tre diversi circuiti idrogeologici, sottostanti ad un circuito più superficiale caratterizzato da 4 sistemi di acquiferi artesiani che non sono di interesse geotermico:

- Gli acquiferi artesiani di interesse geotermico più superficiali (acquiferi E-F-G) fino a profondità tra i 230 e i 320 metri. Trattasi di acque che derivano da circuiti poco profondi alimentate dalla falda freatica e con tempi di residenza negli acquiferi generalmente inferiori ai 50 anni. La profondità dei circuiti e i tempi di residenza aumentano progressivamente spostandosi da est verso ovest.
- Gli acquiferi artesiani profondi del settore centrale e occidentale, da 400 a 600 m circa di profondità (acquiferi H-I-L-M); sono tutti d'interesse geotermico e sono caratterizzati da una salinità fra 750 e 1500 mg/l e da tempi di residenza molto lunghi, superiori a 50 anni.
- Gli acquiferi artesiani profondi dell'area di Grado-Isonzo presentano un chimismo con notevole affinità nei caratteri principali, nonostante la diversità del contesto geologico-strutturale. Si tratta di acque probabilmente fossili con elevata concentrazione di sali, che risalgono attraverso sistemi di faglie con possibili contaminazioni (in particolare nell'area di Monfalcone) di acque superficiali.

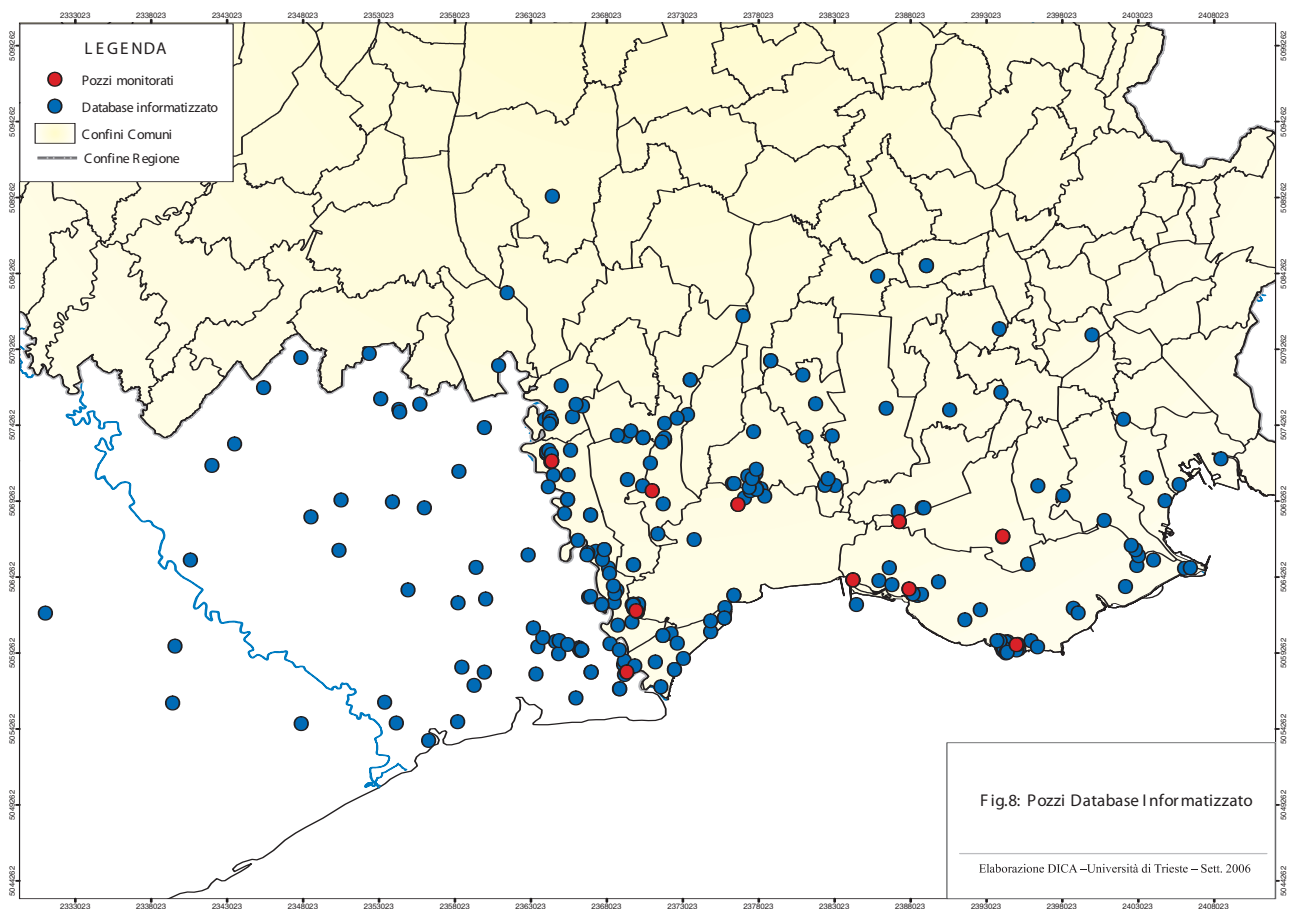


Fig. 8: distribuzione dei pozzi utilizzati per le correlazioni litostratigrafiche, le analisi geochimiche e i monitoraggi (10 pozzi in rosso).

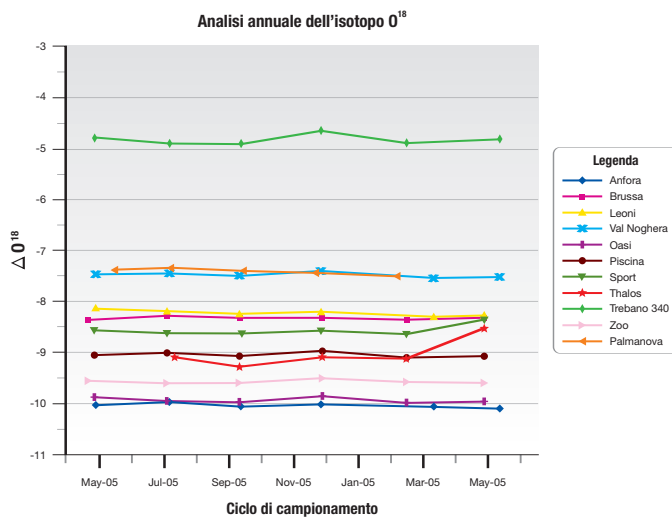


Fig. 9a: acque distinte in classi in base alle concentrazioni di Cloro e di ione solfato

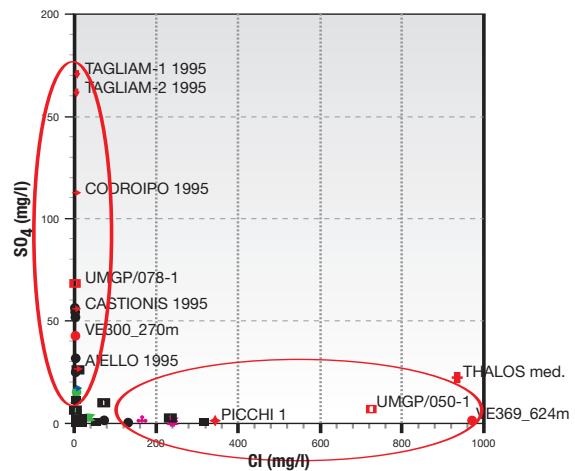


Fig. 9b: misure costanti nel tempo per la variazione dell'isotopo O18.

6. Utilizzo sostenibile della risorsa

Dalle indagini effettuate emerge subito che sin dal 1990 la zona interessata da maggiore richiesta di sfruttamento geotermico è concentrata nei Comuni della Bassa Pianura centro-occidentale, che da sola totalizza l'89% della richiesta spontanea. Ad oggi sono 82 i pozzi regolarmente utilizzati per lo sfruttamento geotermico in regione ed interessano i comuni di Carlino (UD), Grado (GO), Latisana (UD), Lignano (UD), Marano (UD), Monfalcone (GO), Palazzolo dello Stella (UD), Pocenia (UD), Precenicco (UD), Ronchis (UD), S. Giorgio di Nogaro (UD).

La destinazione d'uso dei pozzi è prevalentemente per riscaldamento d'abitazioni, complessi residenziali o stabilimenti generici. In minor misura, le acque geotermiche sono utilizzate per la floricoltura o l'orticoltura in serre, in strutture adibite all'allevamento, alla valcoltura ed all'itticoltura, nel riscaldamento di piscine e strutture termali nonché, sporadicamente, per attività ricreative e turistiche o per la manutenzione degli zoo pubblici. Per ogni sistema di acquiferi si possono individuare le

applicazioni sostenibili per le diverse destinazioni d'uso.

La stima del volume di acqua mobile estraibile, considerando un emungimento ottimizzato in modo da non depauperare la risorsa, indica che ad oggi è sfruttato (considerando i pozzi di sfruttamento geotermico oggetto di concessione o permesso) meno del 10% della risorsa geotermica sostenibile presente nelle alluvioni. Si suggerisce che il piano di sfruttamento debba attentamente valutare i seguenti parametri:

- il raggio di azione di ciascun pozzo (cioè la distanza media fino alla quale arriva, a causa dell'emungimento, una perturbazione sensibile del campo di carico idraulico dell'acquifero): esso è funzione della portata, delle caratteristiche idrauliche dell'acquifero (T, S) e della ricarica;
- l'abbassamento sostenibile del carico idraulico sul pozzo e su quelli adiacenti, per opera degli emungimenti complessivi: esso dipende dal numero di pozzi, dalla loro portata, dalle caratteristiche dell'acquifero, dalla modalità degli emungimenti (continui, intermittenti, alternati, ...), dalla ricarica dell'ac-

quifero e dalla relativa subsidenza indotta dallo sfruttamento.

Per gli acquiferi geotermici sono stati proposti dei modelli semplificati che, definendo la portata, stimano una subsidenza indotta in superficie con emungimento continuo. Una subsidenza in superficie attorno a 1 mm/anno è stata valutata come sostenibile, essendo il valore confrontabile con la subsidenza naturale della Bassa Pianura. Qualora l'emungimento divenga saltuario, secondo le necessità e i salti termici da compensare, ogni impianto andrà valutato con la dovuta cura nelle stime dei carichi ambientali ed energetici indotti.

E' importante sottolineare come il maggior contributo alla subsidenza indotta da emungimento nella Bassa Pianura friulana è causato dai pozzi che pescano negli acquiferi più superficiali. Questi acquiferi sono più comprimibili, sono sfruttati da un più grande numero di pozzi e sono quelli da cui l'acqua è emunta da molti più anni. In conclusione, obiettivo primario dovrà essere il controllo dello sfruttamento del sistema di acquiferi più superficiale. Per quanto concerne gli acquiferi dolci profondi, essi vanno preservati nella loro totalità, anche a monte della fascia geotermica, perché ne rappresentano la ricarica e dovrebbero essere indicati come risorsa strategica.

Per garantire un corretto utilizzo della risorsa sono state individuate alcune linee guida e soluzioni minime finalizzate alla sua conservazione.

È necessario riunire in un unico contesto tutte le banche dati esistenti. Un primo passo è stato fatto dalla Regione con la creazione di una banca dati comune. Manca, però un coordinamento gestionale che consenti di preservare gli acquiferi e di impedire il cattivo uso della risorsa cui dovrebbe ovviare il Piano Generale di Tutela delle Acque, attualmente in fase di predisposizione. Infatti, la risorsa geotermica è per definizione rinnovabile, ma non è illimitata. Dai risultati delle indagini svolte, è emersa la necessità d'intraprendere un'azione di coordinamento fra gli organismi che autorizzano e vigilano sull'utilizzo della risorsa ac-

qua. Uno strumento auspicabile potrebbe essere costituito da una ricognizione approfondita della realtà acque regionale, anche attraverso una normativa di settore, e con forme di incentivazione, a partire dallo snellimento delle procedure amministrative e dalla promozione di corrette metodologie per la ricerca ed utilizzo nell'ambito di una pianificazione degli sfruttamenti e di un monitoraggio degli effetti.

L'attenta progettazione ed esecuzione della perforazione, dei rivestimenti e della impermeabilizzazione, la presenza delle saracinesche, nonché la determinazione dei parametri idraulici dell'acquifero sfruttato, sono fattori critici e cruciali ai fini di uno sfruttamento razionale e della salvaguardia della risorsa. Attualmente i pozzi non risultano omogeneamente distribuiti sul territorio e va verificato il raggio d'azione, almeno per ognuno degli acquiferi riconosciuti.

E' importante evitare lo spreco dell'acqua con lo scorrimento a perdere in rete superficiale. La chiusura o la riduzione drastica della portata, quando non necessaria, aiuta a preservare la temperatura dell'acqua e soprattutto il carico idraulico e quindi limita la subsidenza di fatto, consentendo il rilascio di un maggior numero di permessi e concessioni.

In conclusione, dallo studio effettuato risulta come è necessario intervenire per utilizzare la risorsa acqua definendo per ciascun sistema di acquiferi lo sfruttamento ottimale secondo un criterio di sostenibilità e salvaguardia.

In particolare, i sistemi acquiferi più superficiali (più vulnerabili e a ricarica più veloce), i sistemi di acquiferi "A", "B", potrebbero essere destinati agli utilizzi industriali, agricoli o irrigui, senza limitazione di qualità e per eventuali usi energetici con geoscambio.

I sistemi acquiferi intermedi (meno vulnerabili e a ricarica più lenta), gli acquiferi "C", potrebbero essere destinati agli utilizzi civili e industriali con necessità di acqua di qualità.

I sistemi di acquiferi "D", più profondi, dovrebbero costituire la riserva idrica strategica e non dovrebbero essere sfruttati, se non per la realizzazione di grandi sistemi di prelievo a scopo idropotabile al servizio di grandi comu-

nità. I sistemi acquiferi geotermici plio-quadernari e miocenici della fascia litorale possono essere destinati ad utilizzi geotermici indiretti preferibilmente con re-immissione dei reflui in strato, in particolare quelli che sono più prossimi alla linea di costa ove si potrebbe favorire l'intrusione di acque marine salate.

I sistemi acquiferi geotermici nelle formazioni carbonatiche sono destinati ad utilizzi geotermici indiretti con re-immissione dei reflui in strato.

Sulla base dei modelli discussi nello studio, per quanto molto semplificati, è stato possibile stimare le portate estraibili dagli acquiferi geotermici. Esse sono variabili per ogni acquifero in funzione dei volumi disponibili e delle loro proprietà idrauliche (i valori di trasmissivi-

tà e coefficiente d'immagazzinamento sono stati solo stimati in modo approssimato nell'attesa di disporre di prove in pozzo), con un minimo di 3-5 l/s per ogni km² di estensione per gli acquiferi E, F, G, I+L. Per il sistema di acquiferi H tale portata può essere più elevata (5-10 l/s.km²). Con emungimento intermittente, secondo le necessità e i salti termici da compensare, ogni impianto andrà valutato con la dovuta cura nelle stime dei carichi ambientali ed energetici indotti.

La stima della potenza termica teorica ottenibile dallo sfruttamento sostenibile di tutti gli acquiferi geotermici mappati, indica infine come si può raggiungere la produzione di 500 MW, portando ad un risparmio energetico teorico superiore a 300 ktep/anno.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI ESSENZIALI

- A.G.I.P., 1972 – *Acque dolci sotterranee*. Agip-Eni, 914 pp.
- A.G.I.P., 1977 – *Temperature sotterranee*. Inventario dei dati raccolti durante la ricerca e la produzione di idrocarburi in Italia, 1390 pp.
- BELLANI S., CALORE C., DELLA VEDOVA B., GRASSI S., MARSON I., NICOLICH R., PERUSINI P., SQUARCI P., 1994 – *Valutazione di dettaglio delle strutture profonde della Bassa Pianura Friulana. Inventario delle risorse geotermiche nazionali*. Ministry for Industry, Trade and Commerce, STAR-C.N.R., 19 Tav., 55 pp.
- CALORE C., DELLA VEDOVA B., GRASSI S., MARSON I., NICOLICH R., SQUARCI P., 1995 – *A hydrothermal system along the Coastal Area of Friuli-Venezia Giulia Region (NE Italy)*. In: *Proceedings of the World Geothermal Congress, Florence, 2*, 1269-1274.
- CARULLI G.B., 2006 - *Carta geologica del Friuli Venezia Giulia, scala 1:150.000*. R.A.F.V.G., Direzione Regionale Ambiente e Lavori Pubblici, Servizio Geologico Regionale. Selca, Firenze.
- CASERO P., RIGAMONTI A., IOCCA M., 1990 – *Paleogeographic relationship during Cretaceous between the Northern Adriatic area and the Eastern Southern Alps*. Mem. Soc. Geol. It., 45, 807-914.
- CATI A., SARTORIO D., VENTURINI S., 1987B – *Carbonate platforms in the subsurface of the Northern Adriatic Area*. Mem. Soc. Geol. It., 40, 295-308.
- DAL PRÀ A. & STELLA L., 1978 – *Primo contributo alla conoscenza del termalismo idrico del sottosuolo della Bassa Pianura Veneto-Friulana alle foci del fiume Tagliamento*. Quaderno I.R.S.A., 34(16), 387-40.
- DELLA VEDOVA B. & BRANCOLINI G., 2002 – *Studio preliminare degli acquiferi profondi della Bassa Pianura friulana*. Rapporto Tecnico-Scientifico, Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Direzione Regionale dell'Ambiente, Servizio Geologico, 51 pp.
- GRASSI S., 1994 – *Alcune osservazioni sulle caratteristiche geochimiche delle acque sotterranee della Bassa Pianura Friulana*. Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem., Serie A, v. 101, 1-15.
- NICOLICH R., DELLA VEDOVA B., GIUSTINIANI M., FANTONI R., 2004 – *Carta del Sottosuolo della Pianura Friulana (Map of Subsurface Structures of the Friuli Plain)*. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Direzione centrale Ambiente e Lavori Pubblici, Servizio Geologico Regionale, 4 Tav., Note Illustrative.
- OSSERVATORIO GEOFISICO SPERIMENTALE, 1989 – *Studio delle anomalie geotermiche della Bassa Pianura Friulana. Rilievo di superficie e censimento dei pozzi d'acqua calda*. Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia, convenzione n°4455, A.A.N. n°4685.
- REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA GIULIA, 1990 – *Catasto regionale dei pozzi per acqua e delle perforazioni eseguite nelle alluvioni quaternarie e nei depositi sciolti del Friuli-Venezia Giulia*. Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia, Direzione Regionale Ambiente; 7 volumi.
- STEFANINI S., 1980 – *Il termalismo delle acque artesiane nelle lagune di Grado, Marano e nelle aree adiacenti*. Rassegna Tecnica del Friuli-Venezia Giulia, 5, 19-24.
- STEFANINI S., 1986 – *Litostratigrafie e caratteristiche idrologiche di pozzi nella pianura friulana, dell'anfiteatro morenico del Tagliamento e del campo di Osoppo e Gemona*. Istituto di Geologia e Paleontologia dell'Università di Trieste, 740 pp.



Università di Trieste
Dipartimento di Ingegneria
Civile e Ambientale



Università di Trieste
Dipartimento di Scienze Geologiche
Ambientali e Marine



OGS
Istituto Nazionale di Oceanografia
e Geofisica Sperimentale