

L'ESPLORAZIONE GEOFISICA DEI GIACIMENTI DI ANIDRIDE CARBONICA NATURALE

A.M. BALDI, A. CIVELI, S. MENCARINI

S.G.G. – Studio di Geologia e Geofisica s.r.l. - *Siena* Italy info@sgg.it

Cosa c'entra la prospezione geofisica
con la CO₂ nell'atmosfera, il
riscaldamento della terra, la
mutazione del clima.....

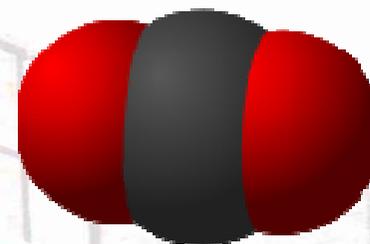
NIENTE



Jean Baptiste Van Helmont

(1579 – 1644)

È ritenuto il fondatore della chimica pneumatica e l'inventore della parola *gas* a lui si deve l'intuizione, nel 1638, del "gas silvestre" ora anidride carbonica



Formula bruta **CO₂**

Nome IUPAC : *diossido di carbonio*

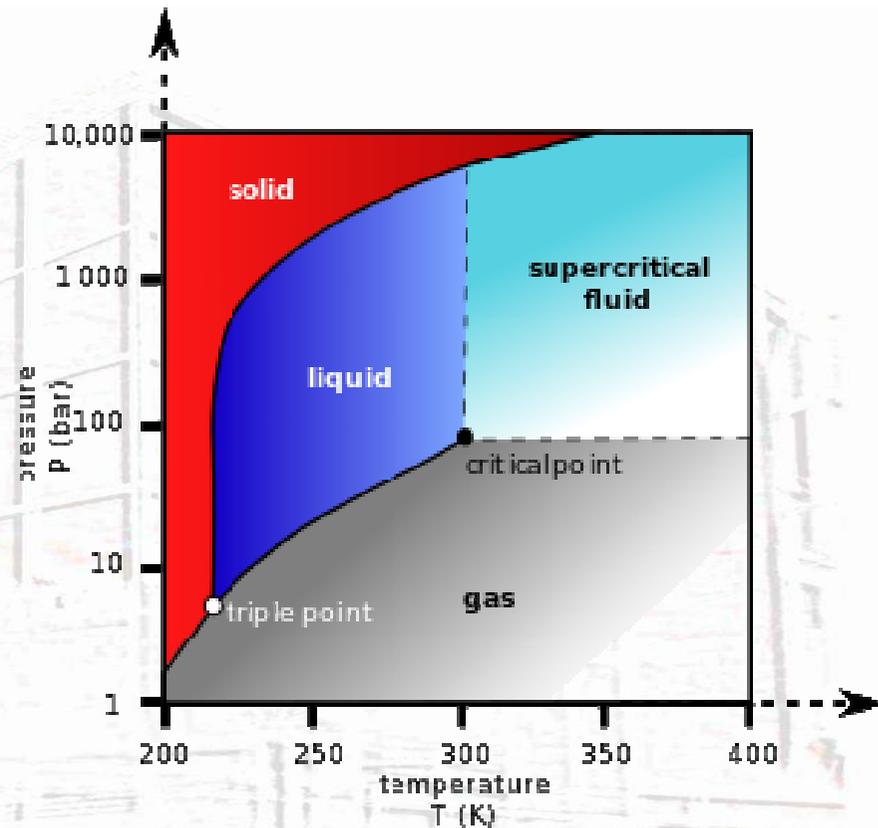
Nomi alternativi :

biossido di carbonio

anidride carbonica (termine obsoleto)

gas silvestre

A cosa serve la CO₂ ?



Origine naturale :

Settore alimentare (effervescenza, lievitazione, bibite, ecc),

Medicale (freddo, laser medicali, ecc) .

Sintesi chimica :

Congelamento (ghiaccio secco),

Siderurgia,

Numerosi altri usi (es. giubbotti gonfiabili e salvagenti, estintori, sabbiatura criogenica, ecc) .

Attualmente l'Italia è un'importatrice di CO₂

Atmosfera modificata



La CO₂ di origine naturale

➤ In Italia ci sono N° 10 Concessioni Minerarie:

- Mofeta Palaci (*Sicilia*)
- DAM (*Campania*)
- Pergine (*Toscana*)
- Bagno **in chiusura** (*Toscana*)
- Pratantico **in chiusura** (*Toscana*)
- Michelangelo **in chiusura** (*Toscana*)
- Acquabugliola (*Toscana*)
- Sant'Albino ed Acquapuzzola Villa Contucci (*Toscana*)
- Ambra (*Toscana*)
- Poggio Santa Cecilia (*Toscana*)

➤ La produzione italiana di CO₂ naturale, in termini di prodotto arricchito, è di 20 tons/ora (1 litro = 1,98 gr a 0°C e pressione 1 bar)

La CO₂ di origine naturale

DA DOVE PROVIENE :

1. Metamorfismo regionale

livelli degli scisti calcarei del paleozoico (*Gianelli 1985*):



2. A seguito delle reazioni di idratazione dei gessi che costituiscono l'origine di molte sorgenti termali.

A COSA E' ASSOCIATA :

- Acqua termale
- Percentuali minime di altri gas (acido solfidrico, metano, azoto, elio, idrogeno, ecc.)

GIACIMENTI DI CO₂

PECULIARITA' :

- Non si tratta di gas fossile, ma sono giacimenti in continua ricarica;
- Sono sempre presenti dei serbatoi superficiali nei quali la CO₂ si disperde;
- Spesso è associata a fluidi termali (caldi e/o freddi) e la risalita in superficie trascina appunto l'acqua di strato;
- Sono spesso presenti delle manifestazioni superficiali (mofete, sorgenti solfuree, ecc.).

ELEMENTI DEI GIACIMENTI DI CO₂

1. Origine tettonica o geotermica Legata a particolari linee tettoniche ove queste presentano un carattere disgiuntivo :

- *Vie preferenziali di risalita;*
- *Possono esserci dei serbatoi superficiali di migrazione.*

2. Origine termale Legata all'idratazione dei gessi ed a lineazioni attraverso le quali la CO₂ spinge in superficie anche l'acqua termale:

- *Serbatoio termale profondo;*
- *Vie preferenziali di risalita dei fluidi termali (acqua + CO₂).*

3. Mista : tettonica e termale

- *Vie preferenziali di risalita;*
- *Serbatoio termale profondo;*
- *Possono esserci dei serbatoi superficiali di migrazione.*

ESPLORAZIONE GEOFISICA DEI GIACIMENTI:

- **Prospezioni dalla superficie** per la ricostruzione della struttura o l'individuazione di zone mineralizzate;
- **Logs geofisici** per individuare elementi peculiari dei pozzi : stratigrafia, correlazioni stratigrafiche, *zone mineralizzate, venute di acqua, rottura dei tubi e delle cementazioni, ecc.*

Peculiarità dell'esplorazione geofisica dalla superficie

Siamo sempre in presenza di strutture minerarie estremamente complesse ed anche in presenza di numerose perforazioni rimane difficile ipotizzare un **modello geologico** ed **modello minerario** sufficientemente provato.

Concessione Ambra :

- Superfici 0,56 ha con n° 15 pozzi (di cui 5 improduttivi)

Concessione Sant'Albino :

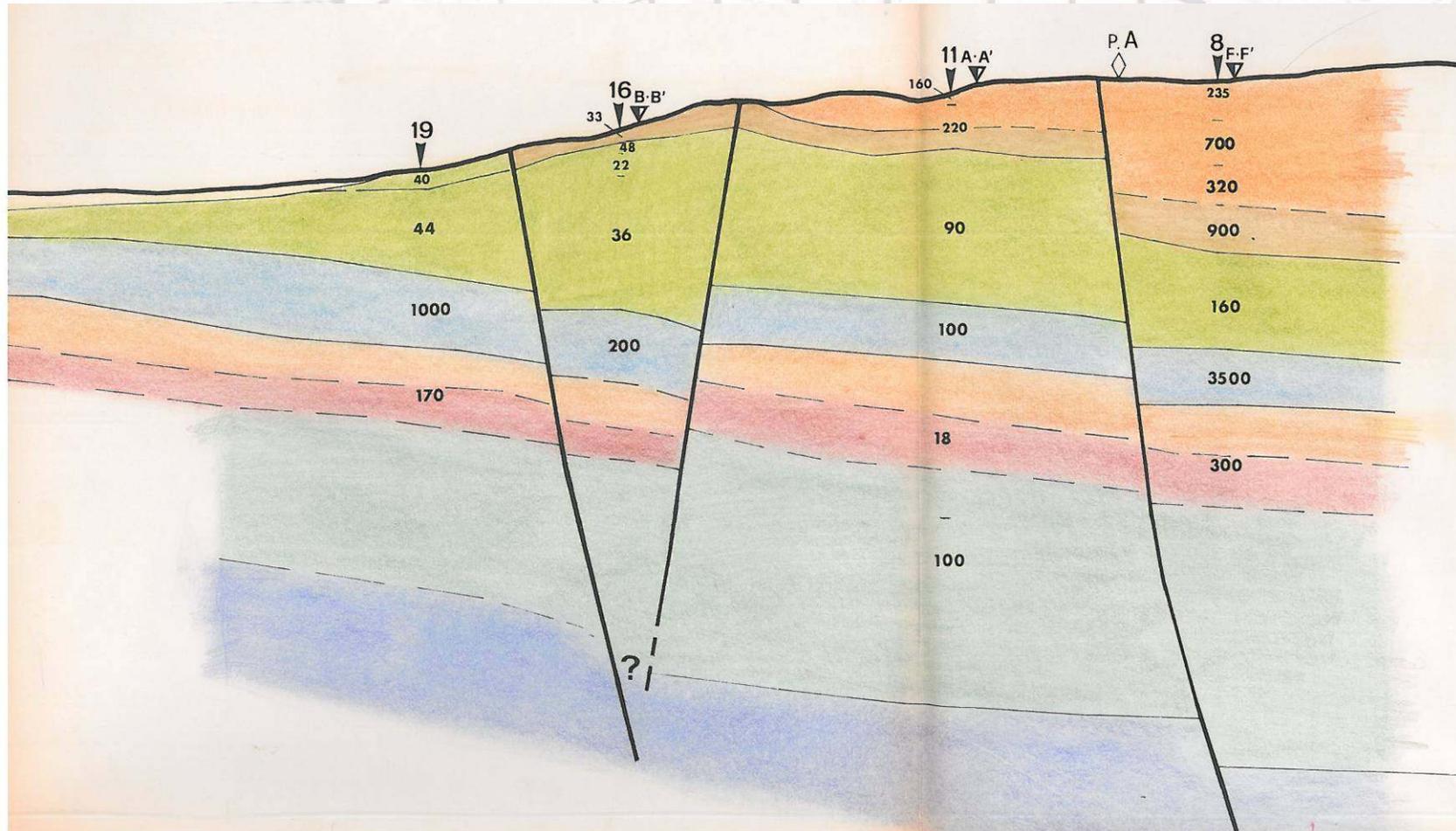
- Superficie circa 12 ha con n° 16 pozzi



**ESPLORAZIONE GEOFISICA DALLA
SUPERFICIE PER RICOSTRUIRE
LE STRUTTURE GEOLOGICHE**

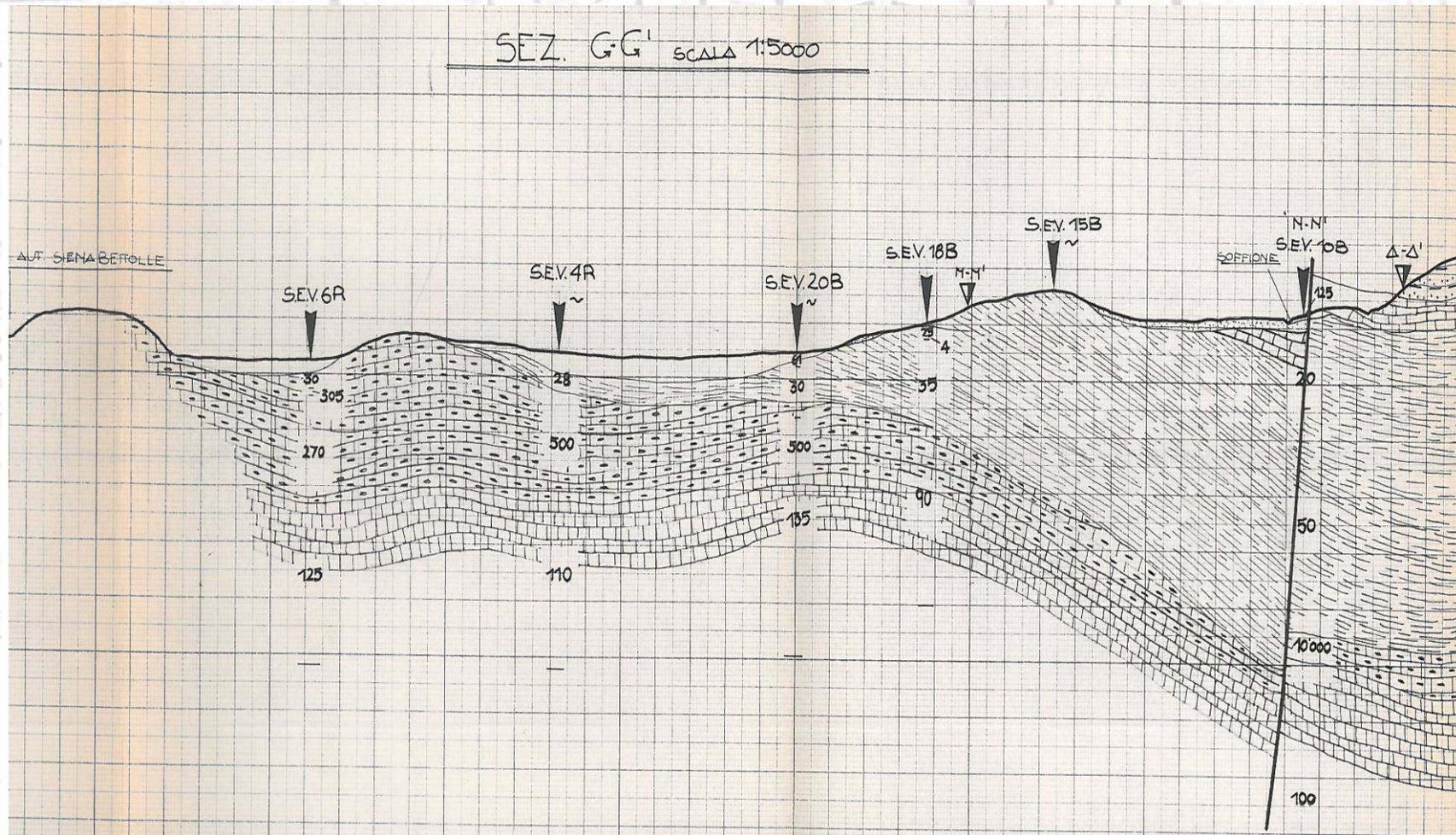
Giacim.to Poggio Santa Cecilia 1986

tipologia : origine tettonica



Giacim.to Poggio Santa Cecilia 1986

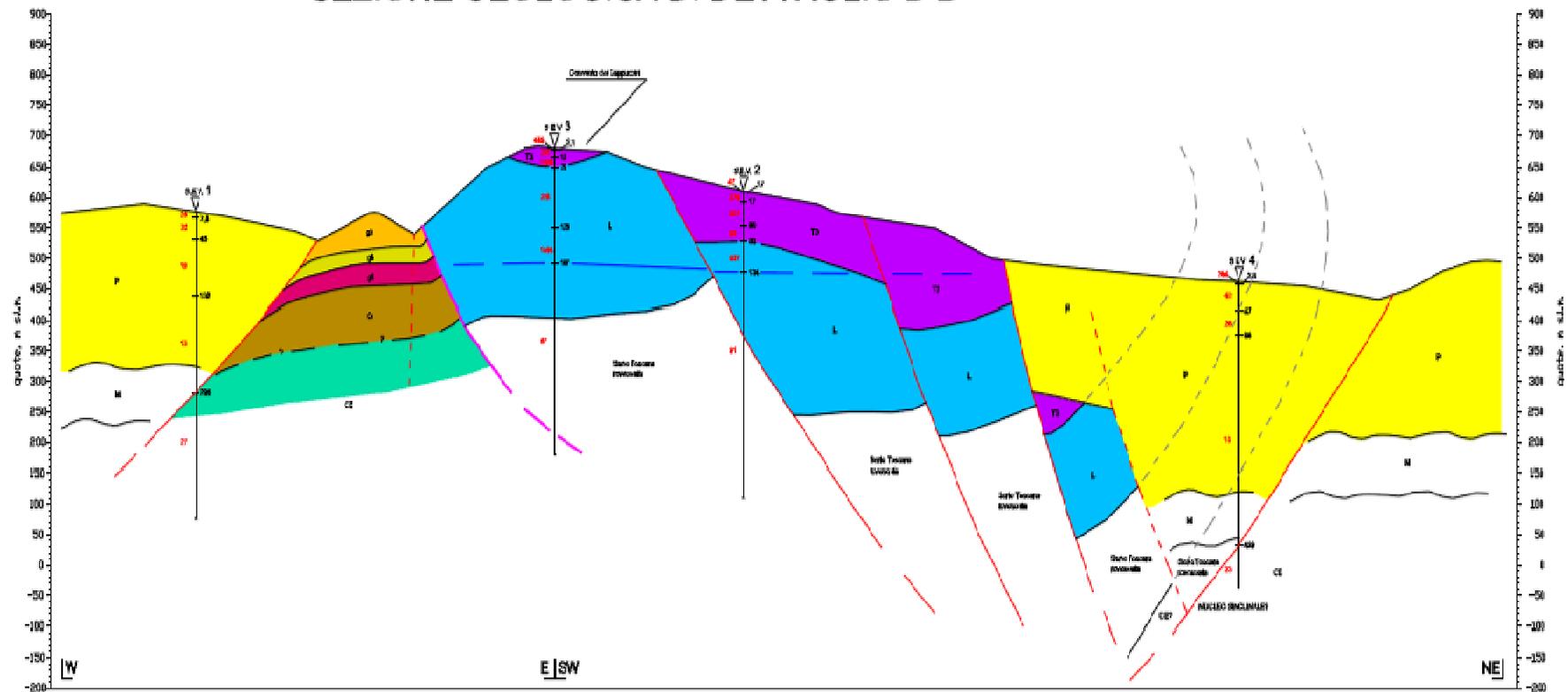
tipologia : origine tettonica



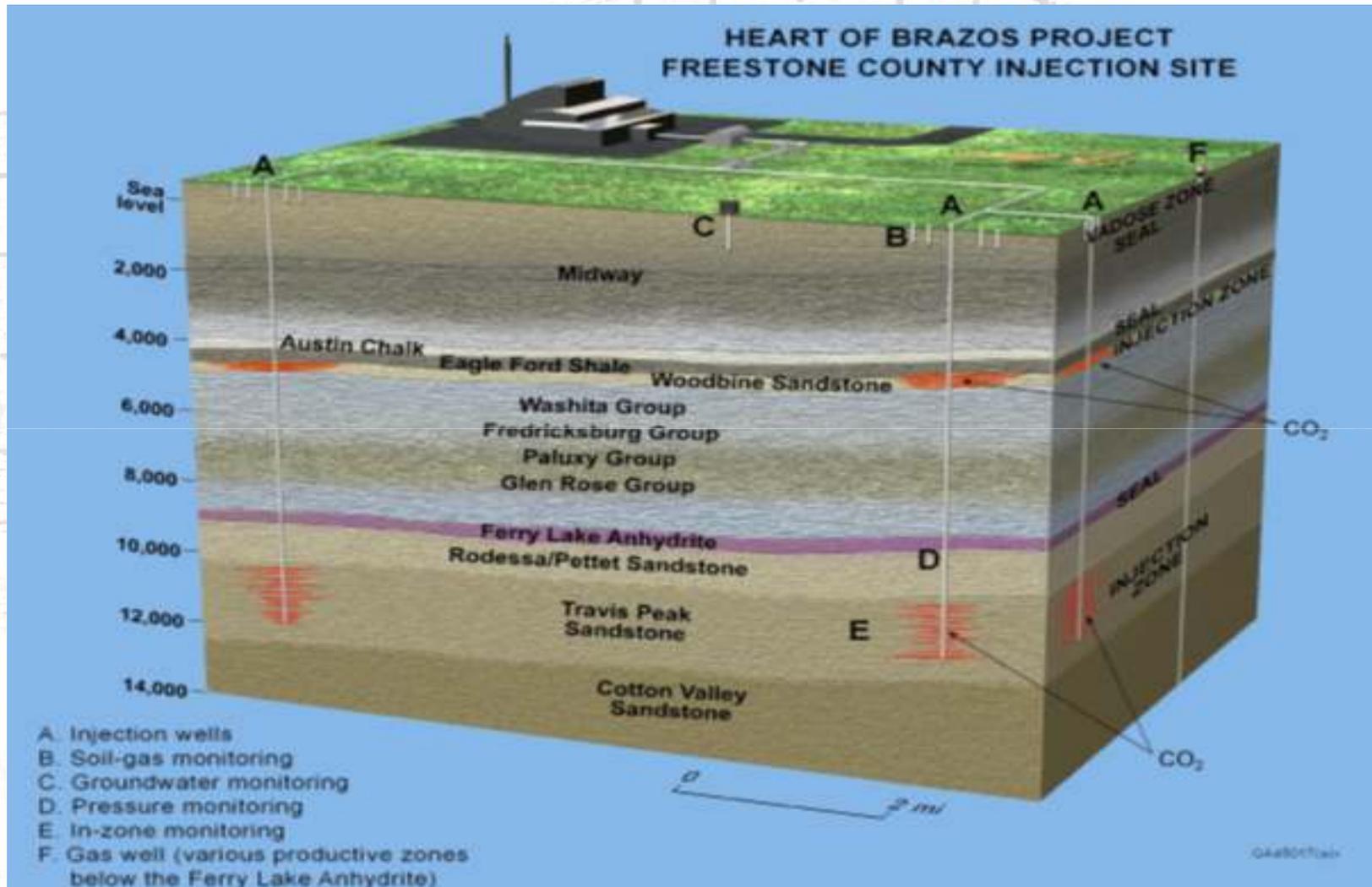
GIACIMENTO di SANT'ALBINO 2005

tipologia : origine mista

SEZIONE GEOLOGICA DI DETTAGLIO B-B'



Giacim.to “Santos-Cabana” Costa Rica



Ricostruzione 3D del giacimento minerario

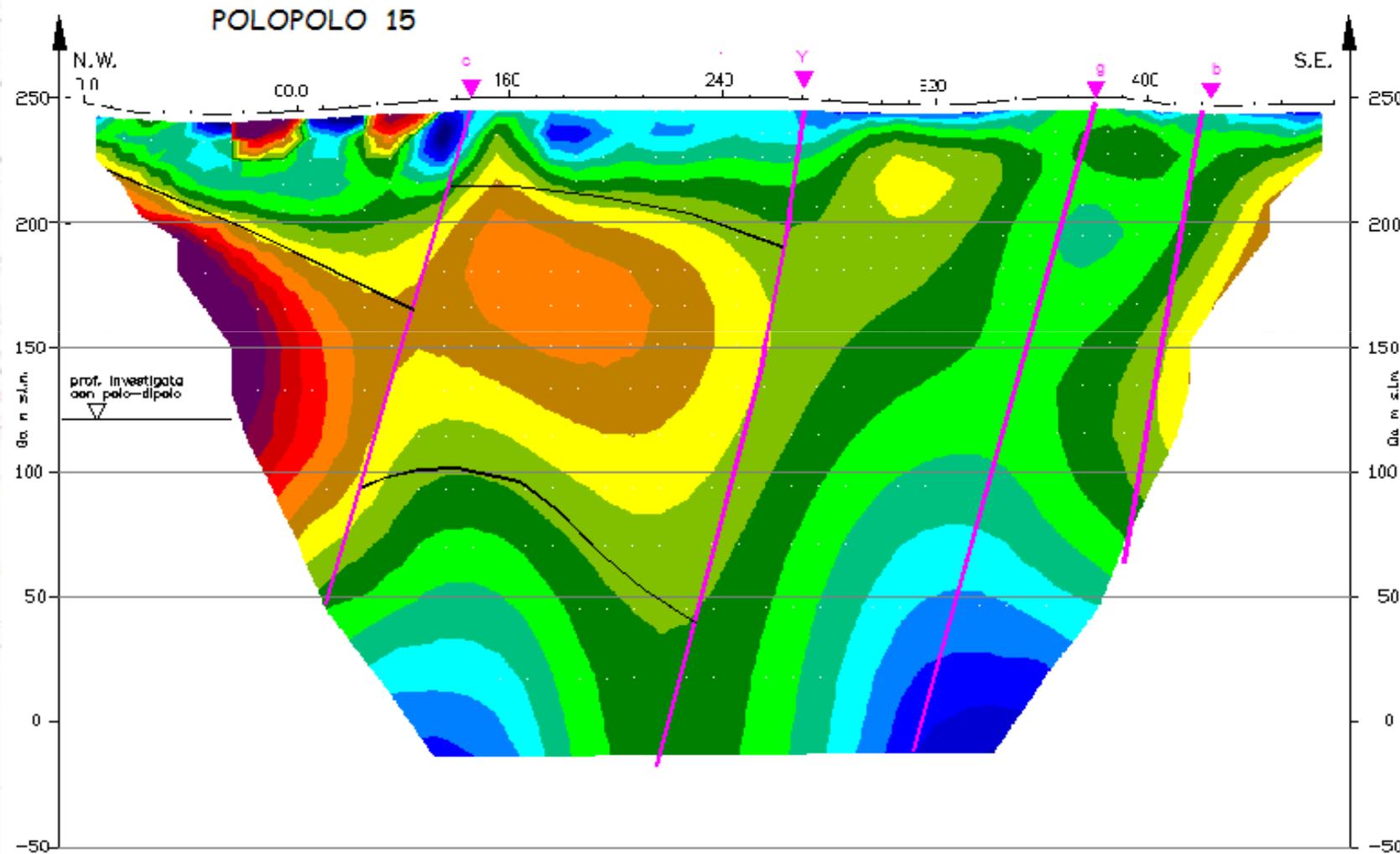
A 3D wireframe model of a multi-story building structure, showing the skeletal framework of columns and beams. The model is rendered in a light blue color against a white background. The text is overlaid on the model.

ESPLORAZIONE 2D PER LA RICOSTRUZIONE DEL GIACIMENTO

MODELLO GEOFISICO STATICO

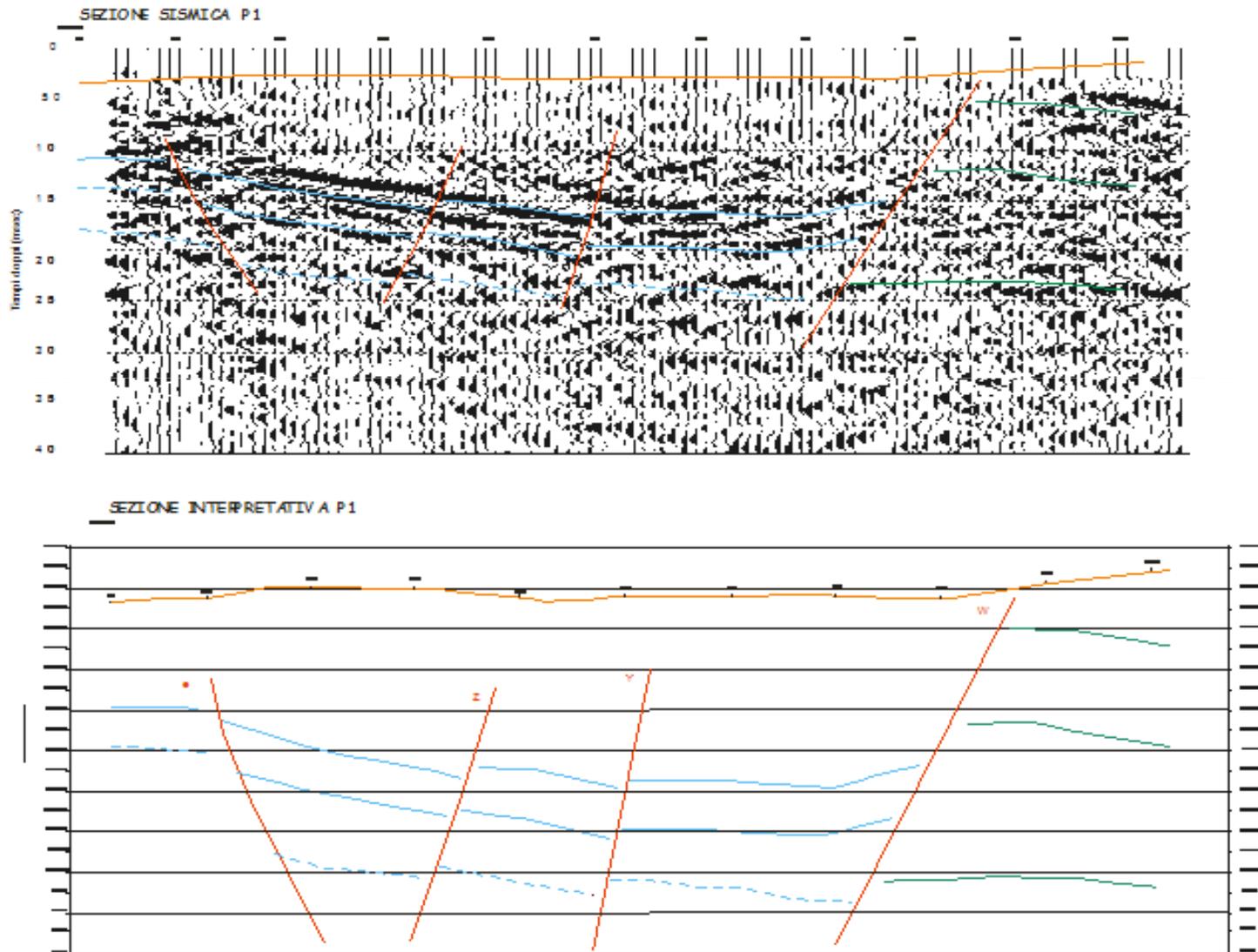
Pergine Val d'Arno 2000

tipologia : origine tettonica
polo polo



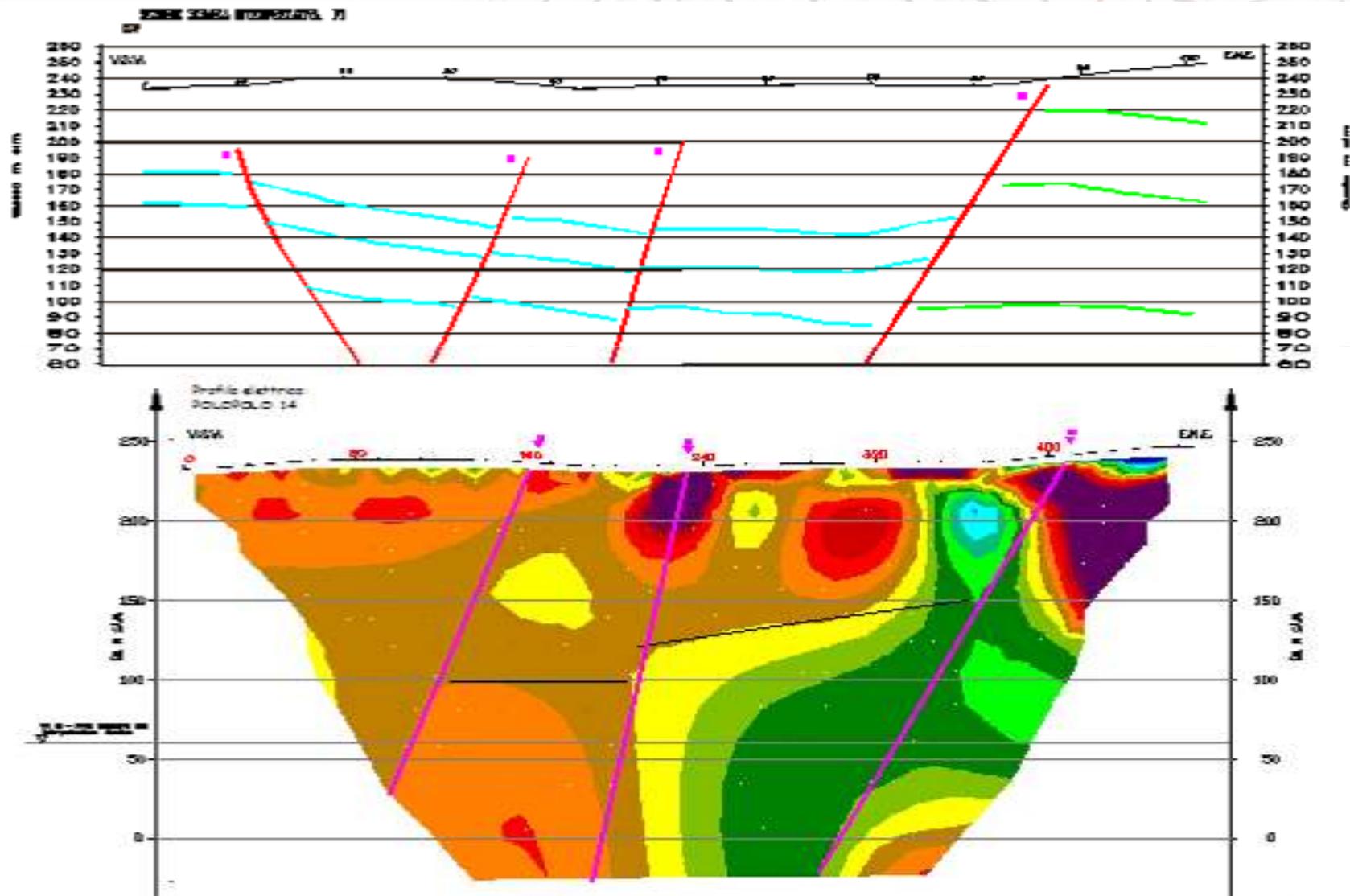
Pergine Val d'Arno 2002

tipologia : origine tettonica



Pergine Val d'Arno 2002

tipologia : origine tettonica



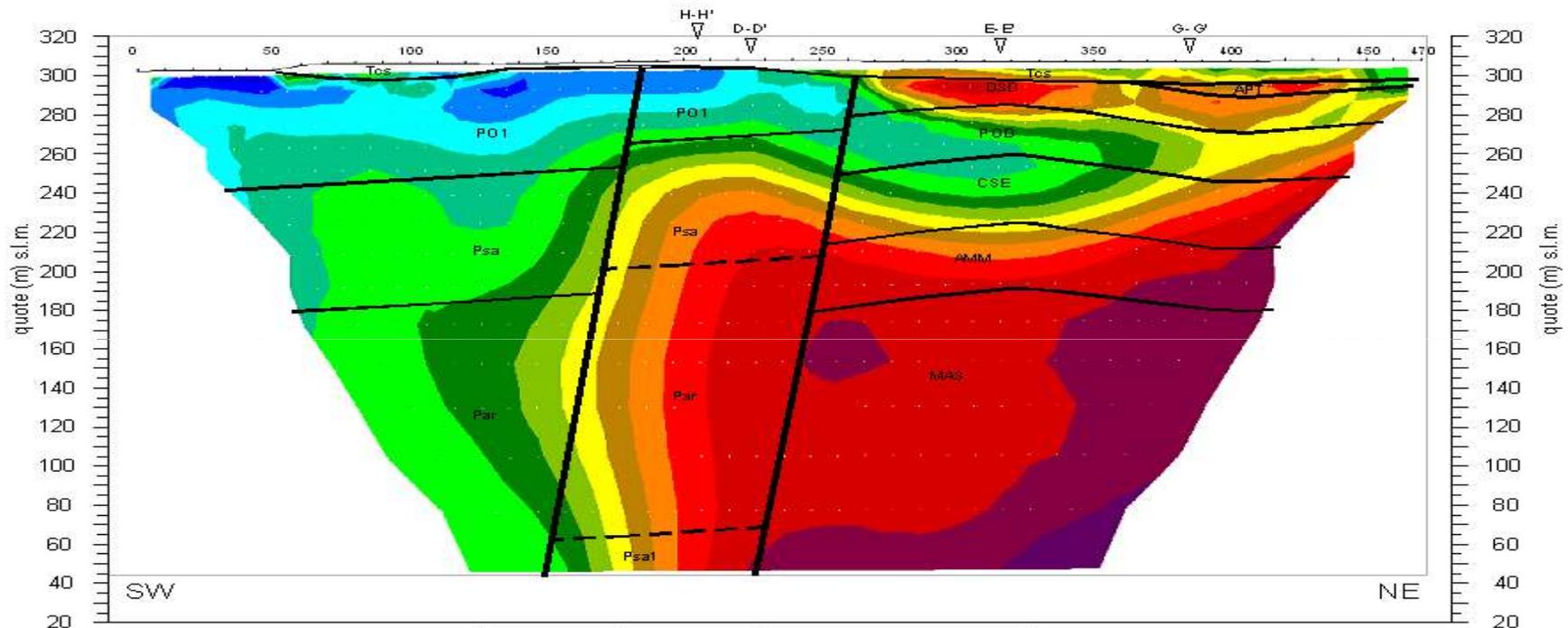


**ESPLORAZIONE GEOELETRICA
PER LA RICOSTRUZIONE DELLA
STRUTTURA GEOLOGICA E
MINERARIA**

MODELLO GEOFISICO DINAMICO

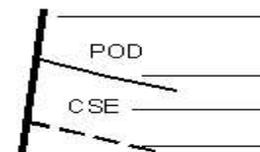
Modello geofisico statico

Sezione elettrotomografica - POLO POLO



- Progressive di riferimento espresse in metri
- Superficie topografica

Scala colorimetrica di resistività (ohm x m)



- Intersezione con le sezioni geologiche interpretative
- Principali faglie dirette
- Contatto stratigrafico certo
- Sigle identificative dei litotipi
- Contatto stratigrafico incerto

Giacimenti di CO₂

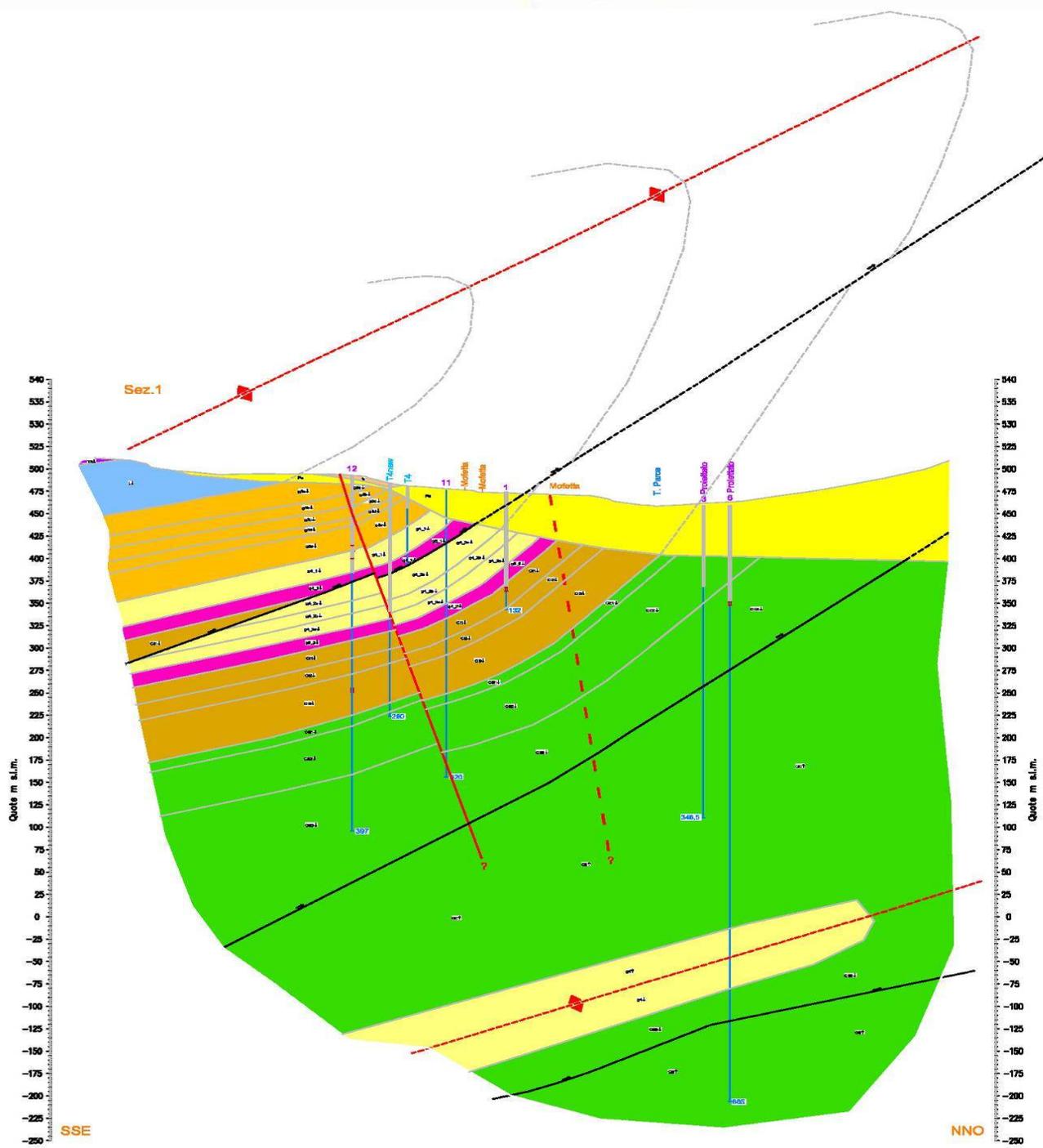
MODELLO GEOFISICO DINAMICO

PECULIARITA' :

Il **modello geofisico** interpretativo del giacimento minerario risente del flusso della CO₂ e dell'acqua termale e si modifica in relazione a tali elementi.

PROBLEMATICHE :

1. Il **modello geologico** del giacimento non coincide con il **modello geofisico**, mentre questo può coincidere con il **modello minerario**;
2. L'effetto del gas (conduttivo) maschera gli elementi tettonici.



GIACIMENTO Sant'Albino

tipologia : origine mista

Sezione geologica generale nord-sud

(n°7 pozzi con una lunghezza di 600 ml)

Giacim.to SANT'ALBINO

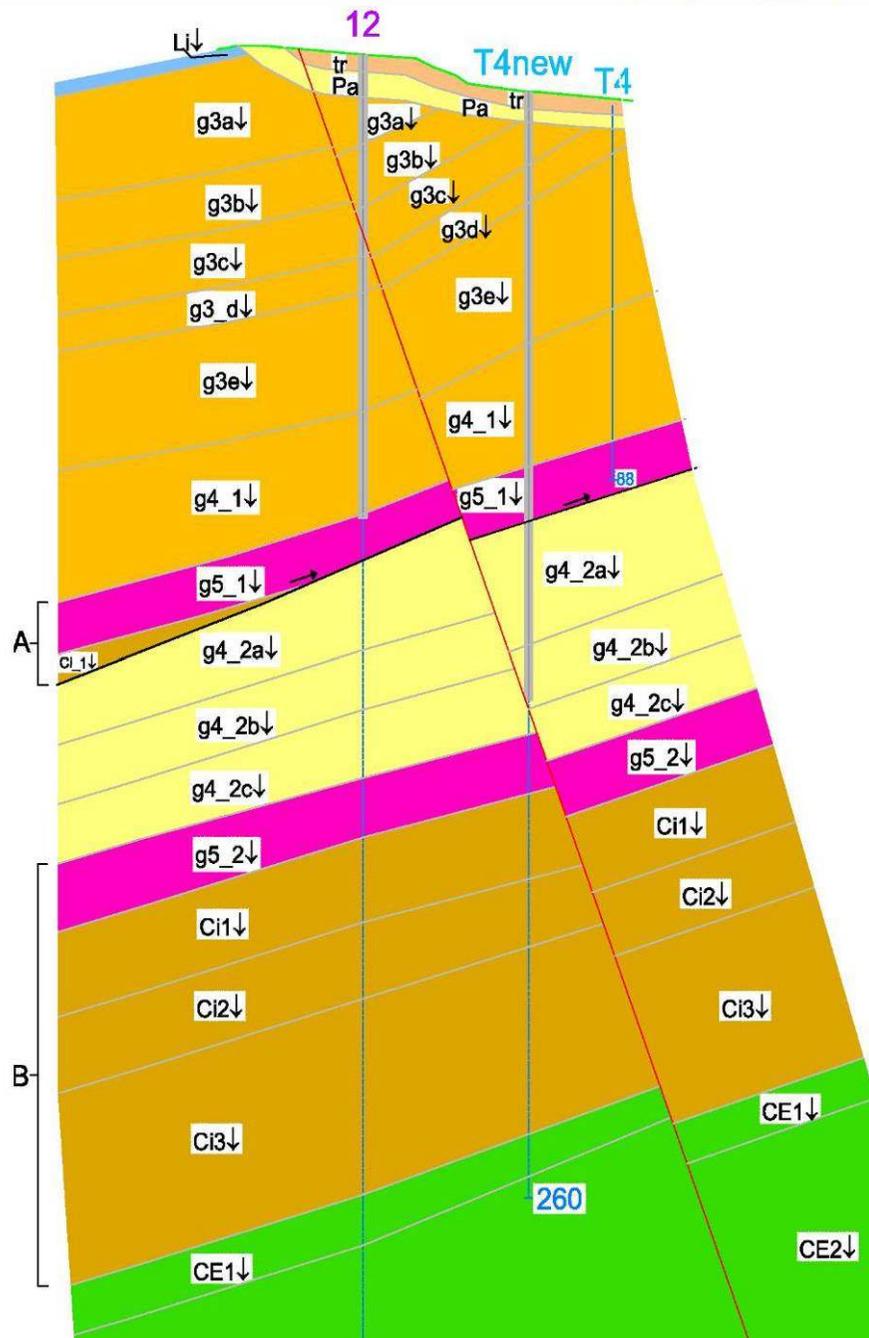
Particolare della sezione
geologica generale

Distanza tra i due pozzi: 22m

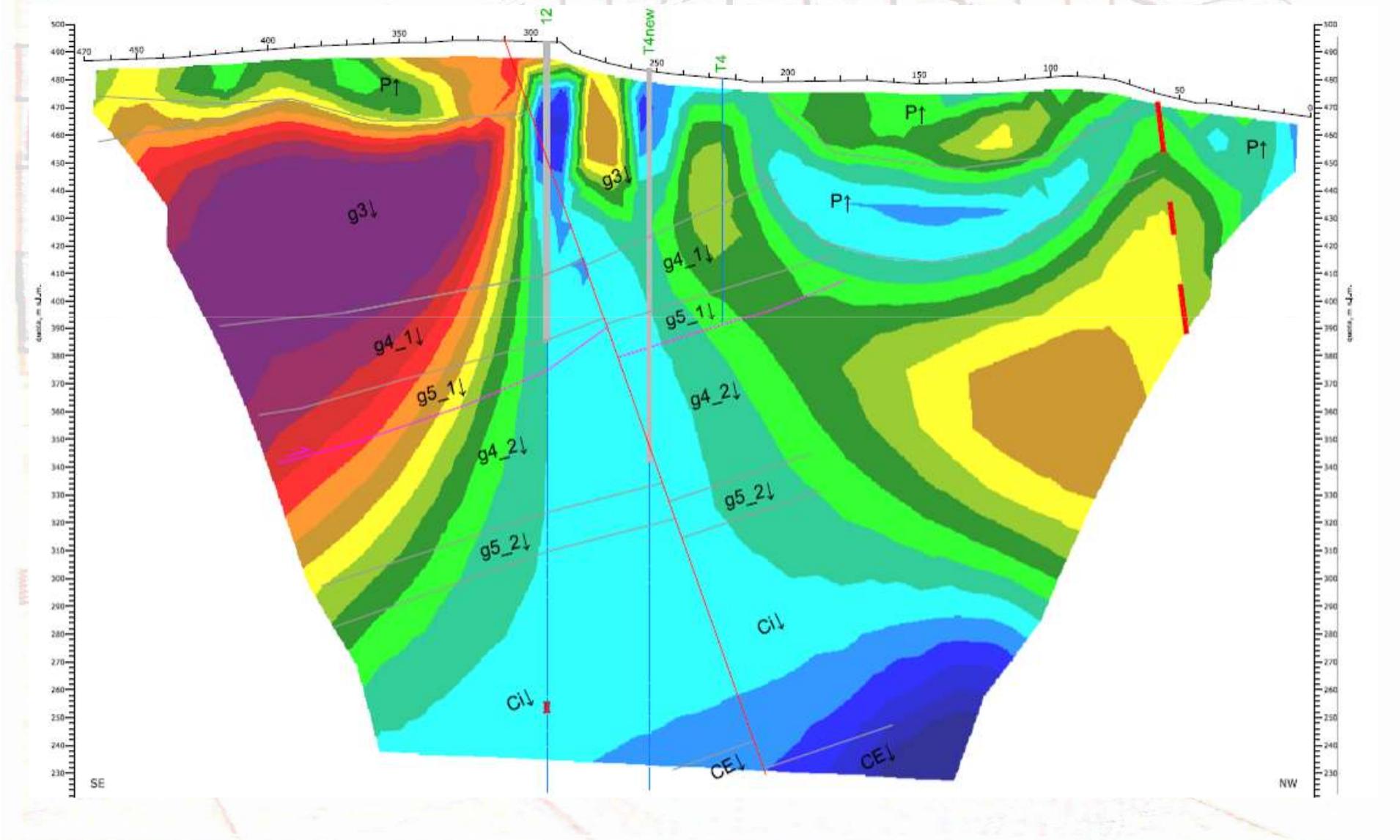
MODELLO GEOLOGICO

E

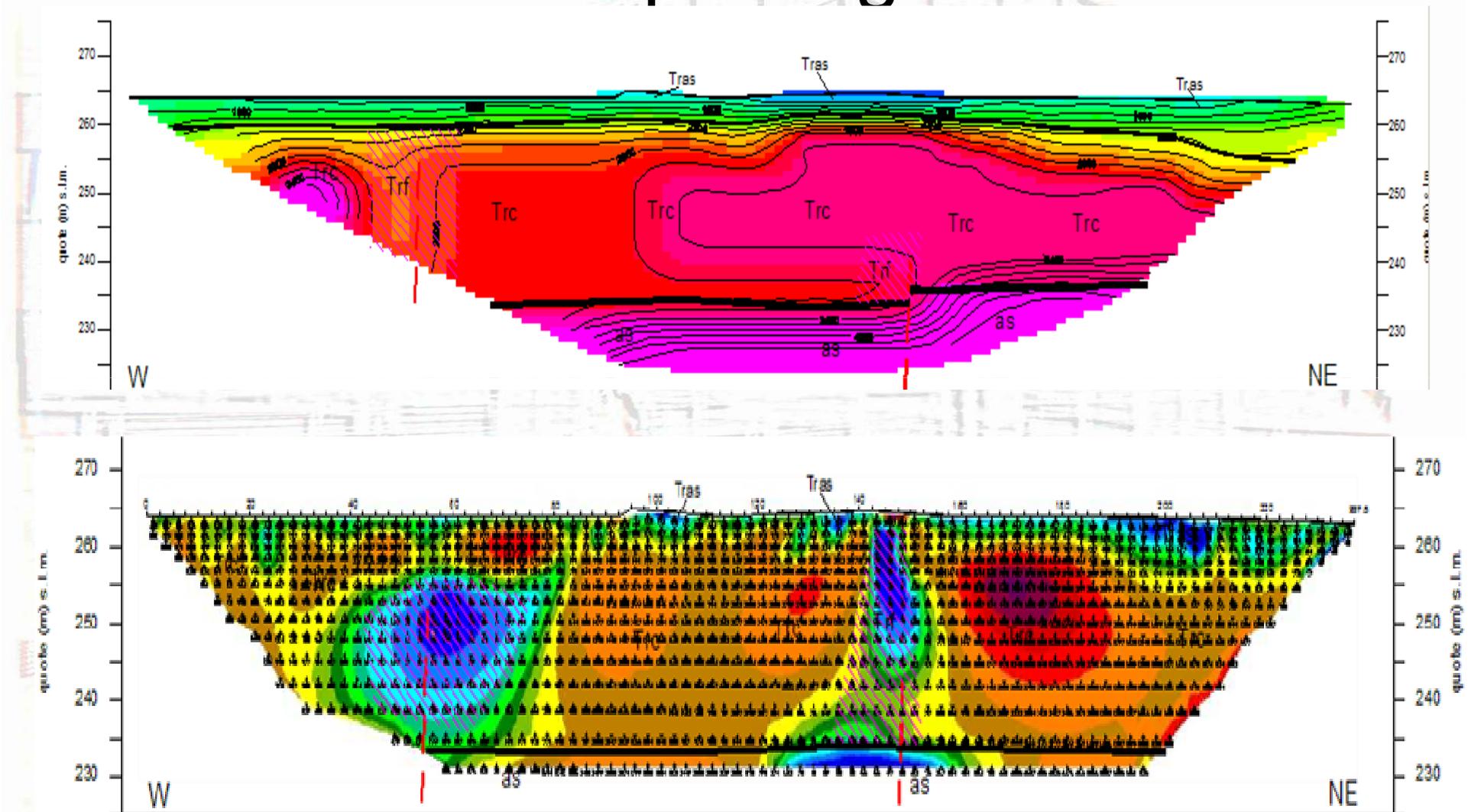
MODELLA MINERARIO



Giacim.to SANT'ALBINO : sezione geoelettrica con sovrapposta sezione geologica



Confronto tra il modello sismico a rifrazione e quello geoelettrico



Giacim.to Sant'Albino - geoelettrica 3D : modello dinamico interpretativo

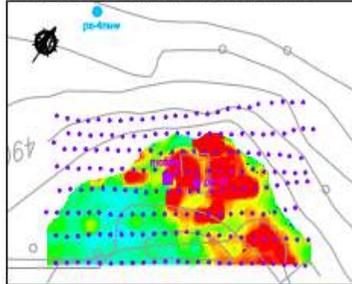
Indagine per verificare le perdite superficiali nell'intorno di un pozzo (produzione a 5 bar)

E' stata eseguita una tomografia elettrica 3D:

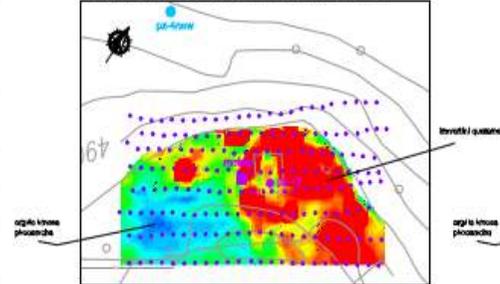
- 192 elettrodi disposti su griglia 2,5 x 5,0 metri ;
- acquisizione del tipo *cross-cable* con metodologia dipolo-dipolo 3D e polo-dipolo 3D.

Giacim.to Sant'Albino - geoelettrica 3D : modello dinamico interpretativo

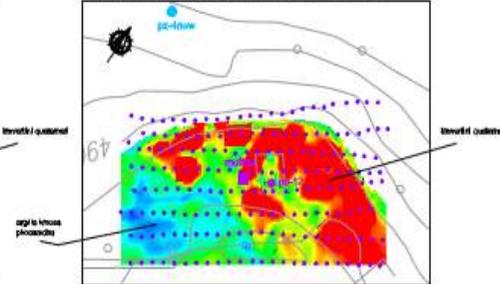
Carta della resistività elettrica alla quota di 482,0 metri s.l.m.



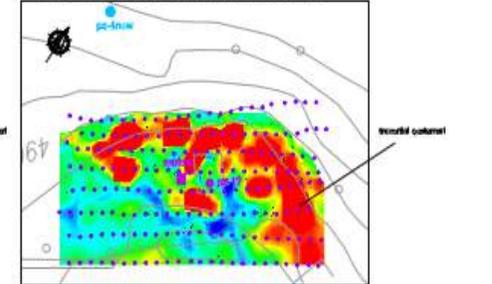
Carta della resistività elettrica alla quota di 481,0 metri s.l.m.



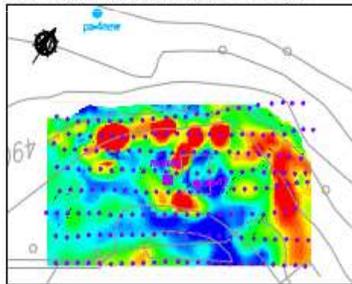
Carta della resistività elettrica alla quota di 480,0 metri s.l.m.



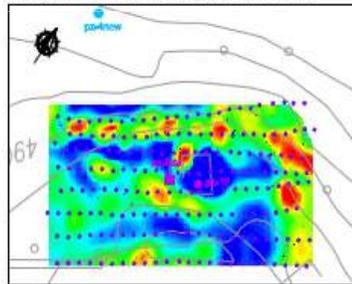
Carta della resistività elettrica alla quota di 489,0 metri s.l.m.



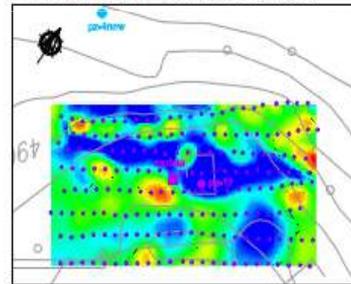
Carta della resistività elettrica alla quota di 488,0 metri s.l.m.



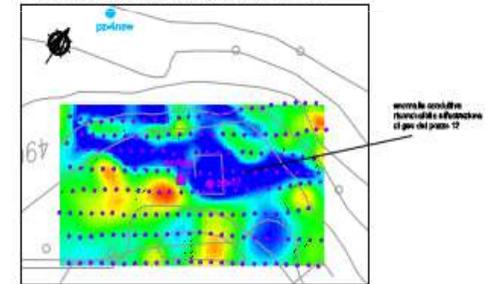
Carta della resistività elettrica alla quota di 487,0 metri s.l.m.



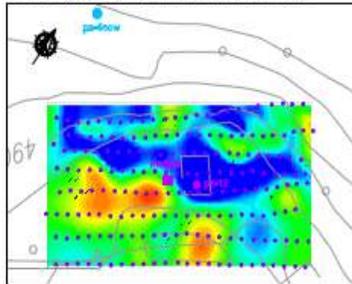
Carta della resistività elettrica alla quota di 486,0 metri s.l.m.



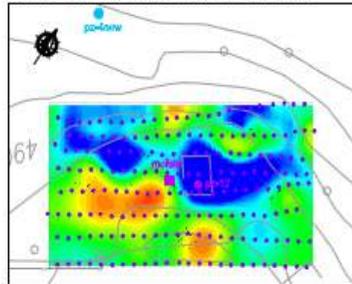
Carta della resistività elettrica alla quota di 485,0 metri s.l.m.



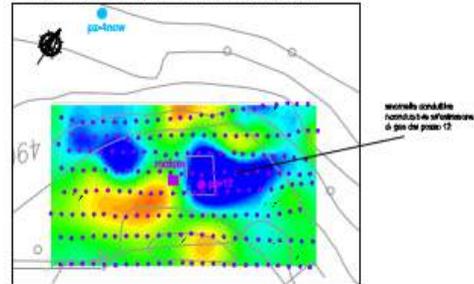
Carta della resistività elettrica alla quota di 484,0 metri s.l.m.



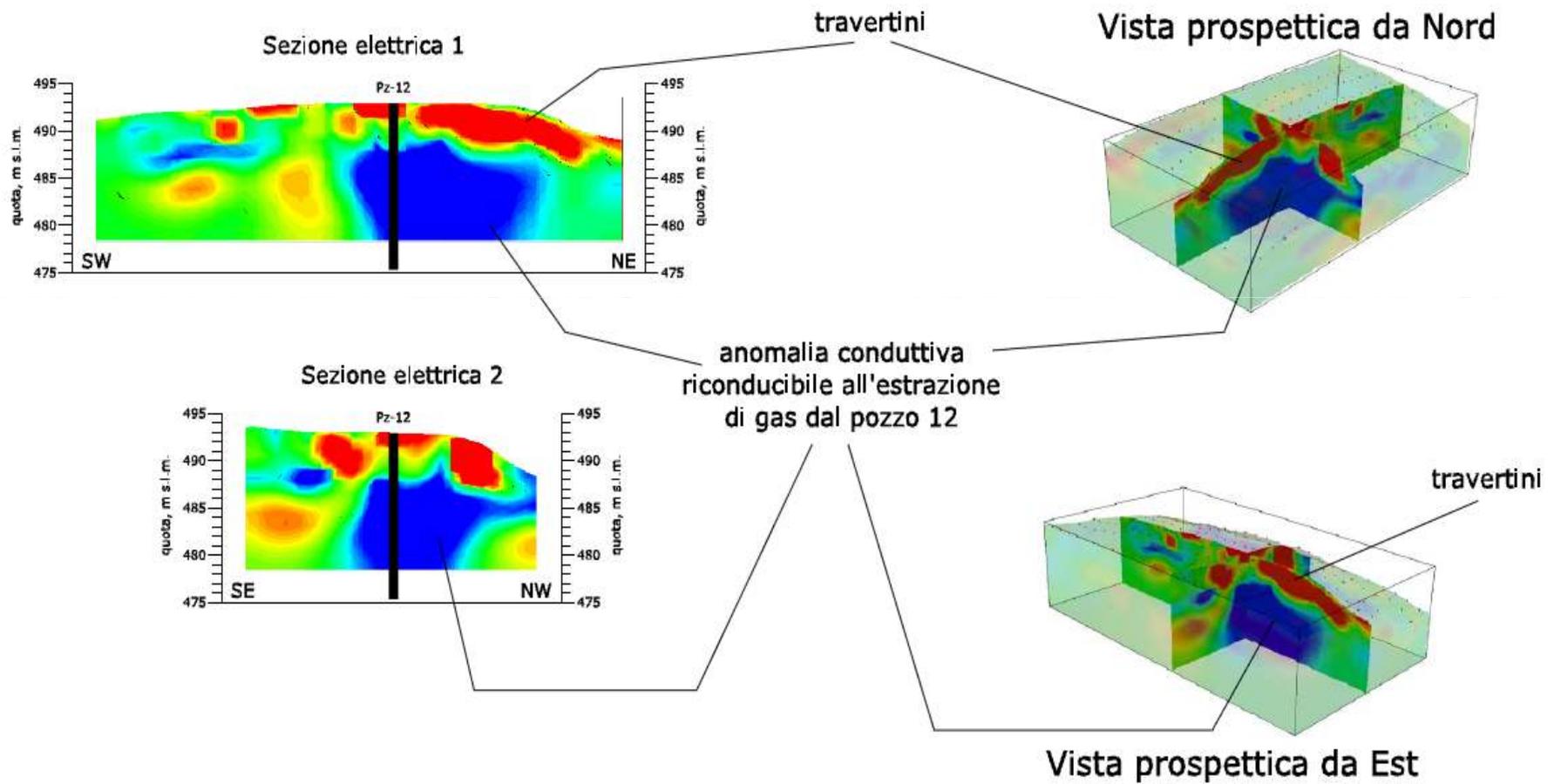
Carta della resistività elettrica alla quota di 483,0 metri s.l.m.



Carta della resistività elettrica alla quota di 482,0 metri s.l.m.

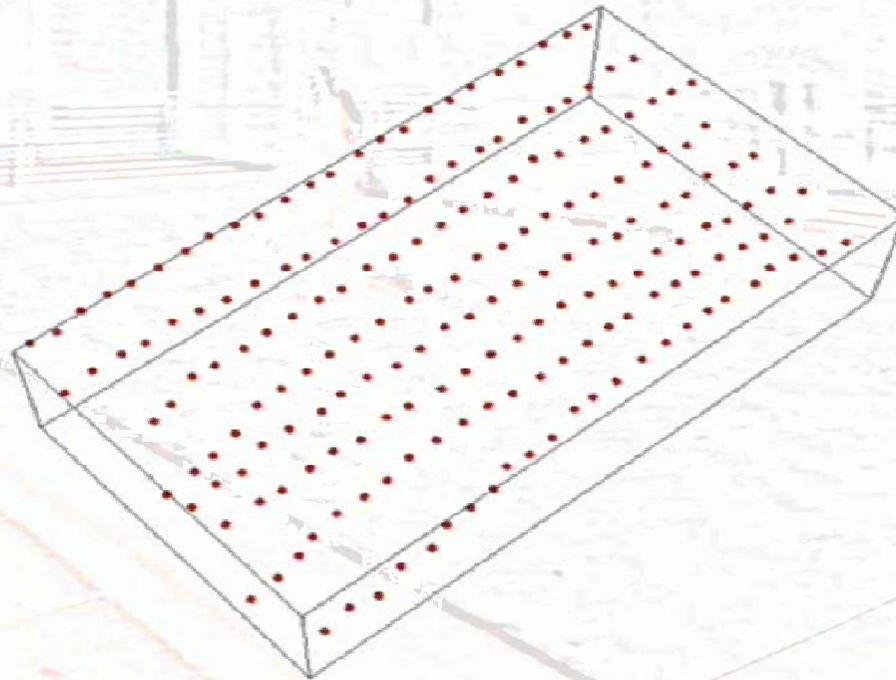


Giacim.to Sant'Albino - geoelettrica 3D : modello dinamico interpretativo



Giacim.to Sant'Albino - geoelettrica 3D : modello dinamico interpretativo

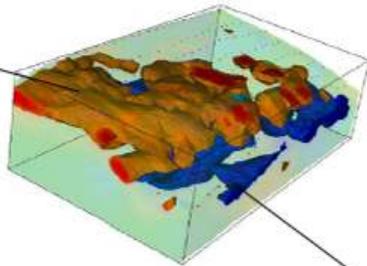
Tomografia Elettrica 3D



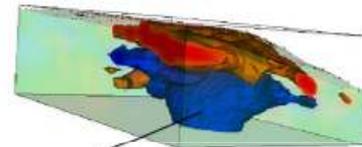
Giacim.to Sant'Albino - geoelettrica 3D : modello dinamico interpretativo

Vista prospettica da Nord

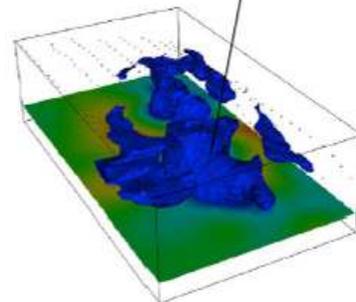
travertini



Vista prospettica da Est

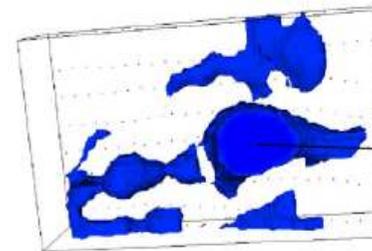


anomalia conduttiva
riconducibile all'estrazione
di gas dal pozzo 12



Vista prospettica da Est

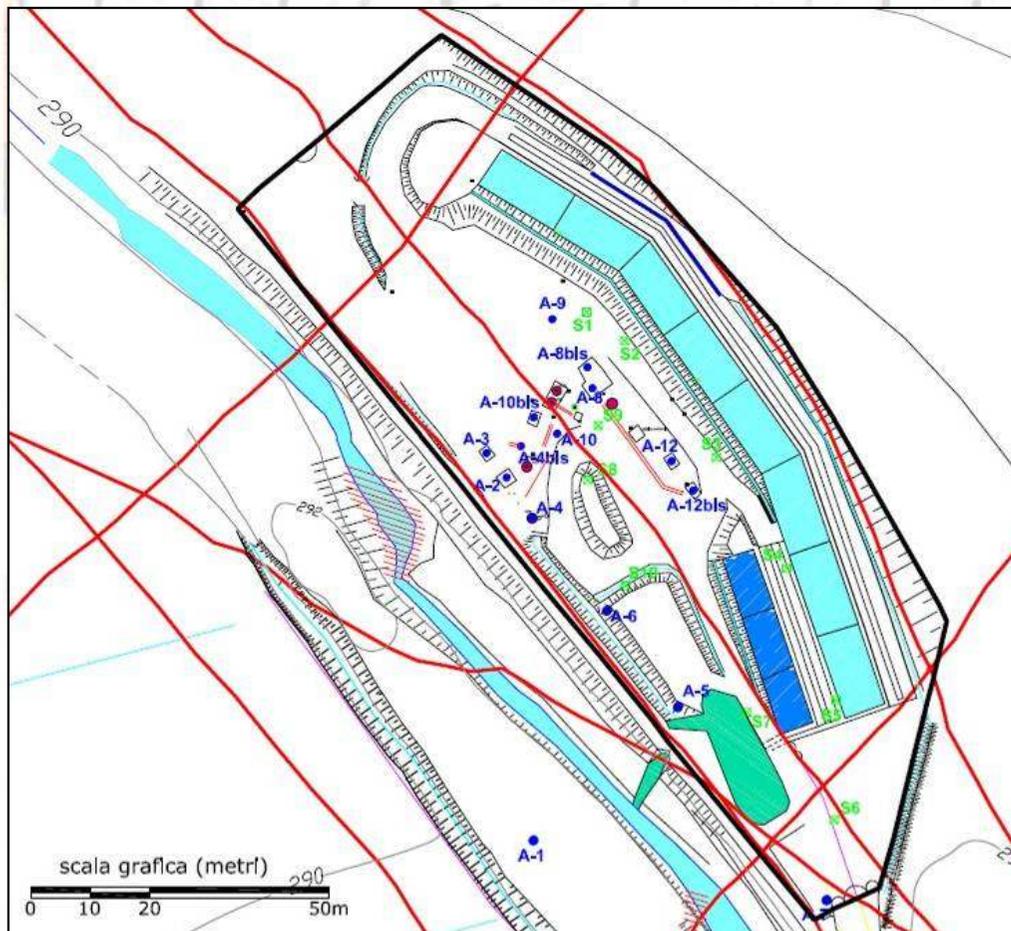
Vista dal basso verso l'alto



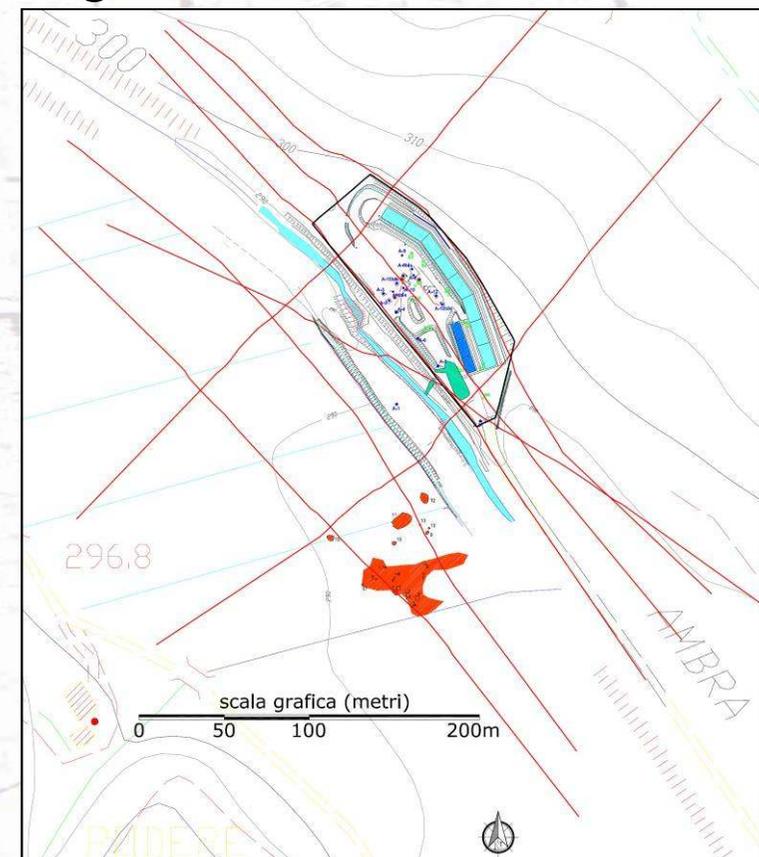
anomalia conduttiva
riconducibile all'estrazione
di gas dal pozzo 12

Giacim.to AMBRA - geoelettrica 3D : modello dinamico interpretativo

Dettaglio del campo pozzi
del giacimento di Ambra



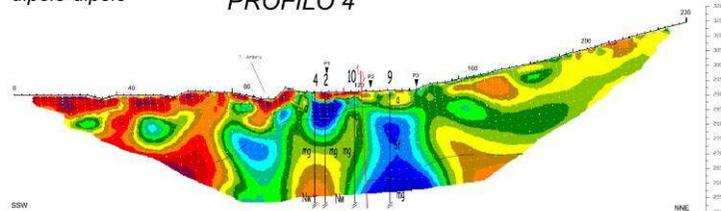
Disposizione planimetrica
delle linee geofisiche sul
giacimento di Ambra



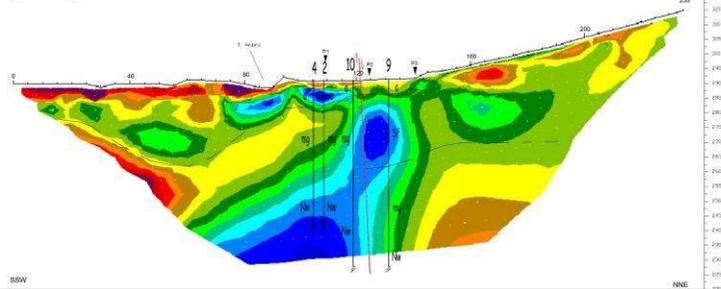
Giacim.to AMBRA - geoelettrica 3D : modello dinamico interpretativo

dipolo-dipolo

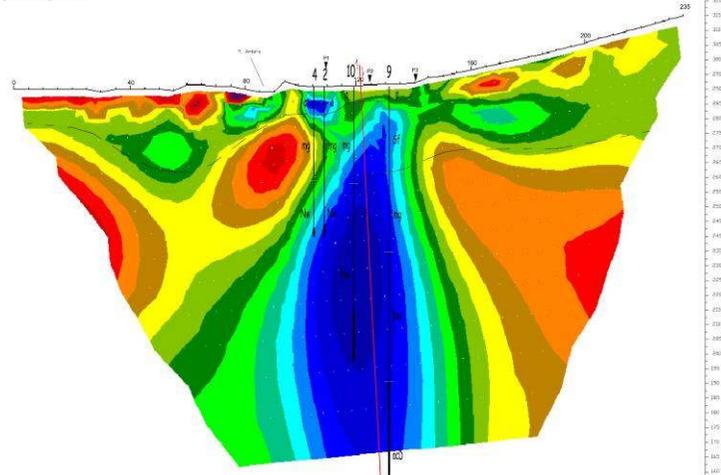
PROFILO 4



polo-dipolo



polo-polo



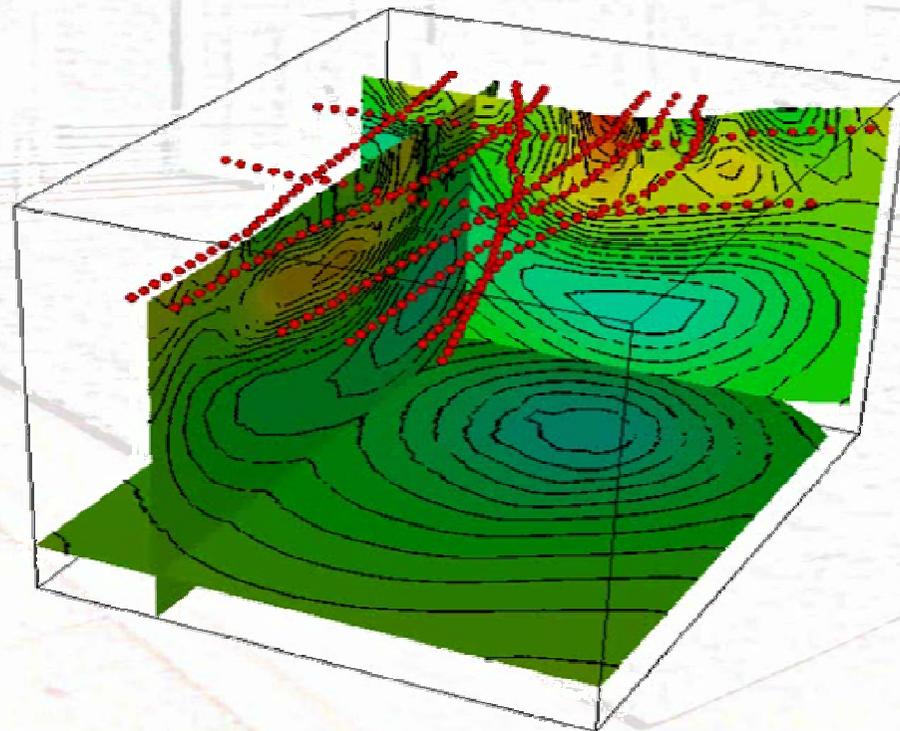
Particolare relativo al profilo 4 dell'indagine geoelettrica 2D eseguita nel 2002 (furono eseguiti complessivamente 4 profili, passo 5 m).

Le tre immagini mostrano tre differenti metodologie di acquisizione, evidenziando l'anomalia conduttiva al centro (riferibile alla CO_2).

Si evince la difficoltà di una ricostruzione prettamente geologica del campo pozzi

Giacim.to AMBRA - geoelettrica 3D : modello dinamico interpretativo

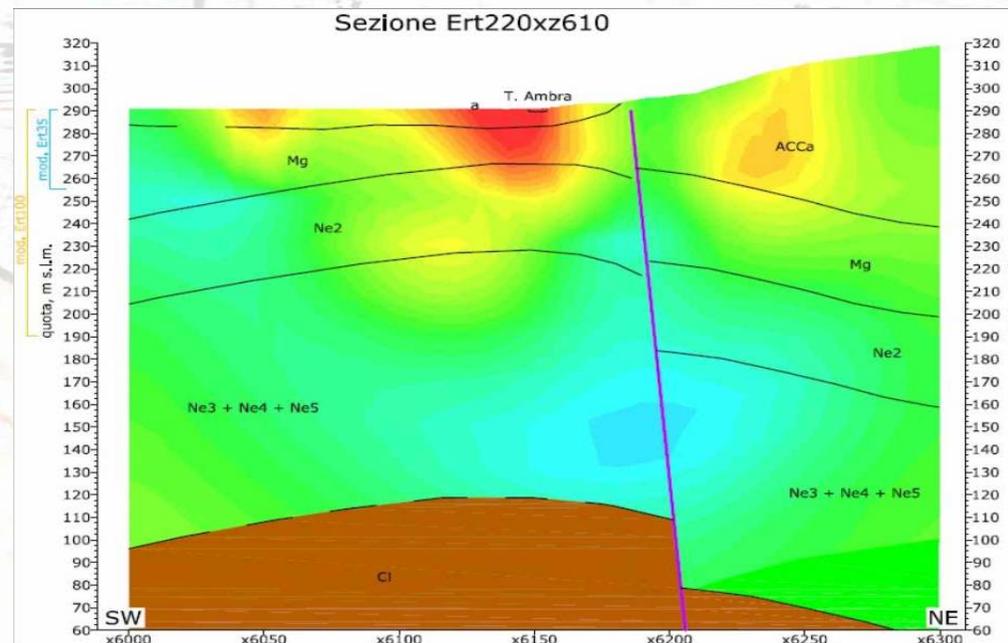
MODELLO MINERARIO
e
MODELLO GEOFISICO



Giacim.to AMBRA - geoelettrica 3D : modello dinamico interpretativo

MODELLO GEOLOGICO e MODELLO GEOFISICO

sezioni SW-NE



Logs geofisici in pozzo



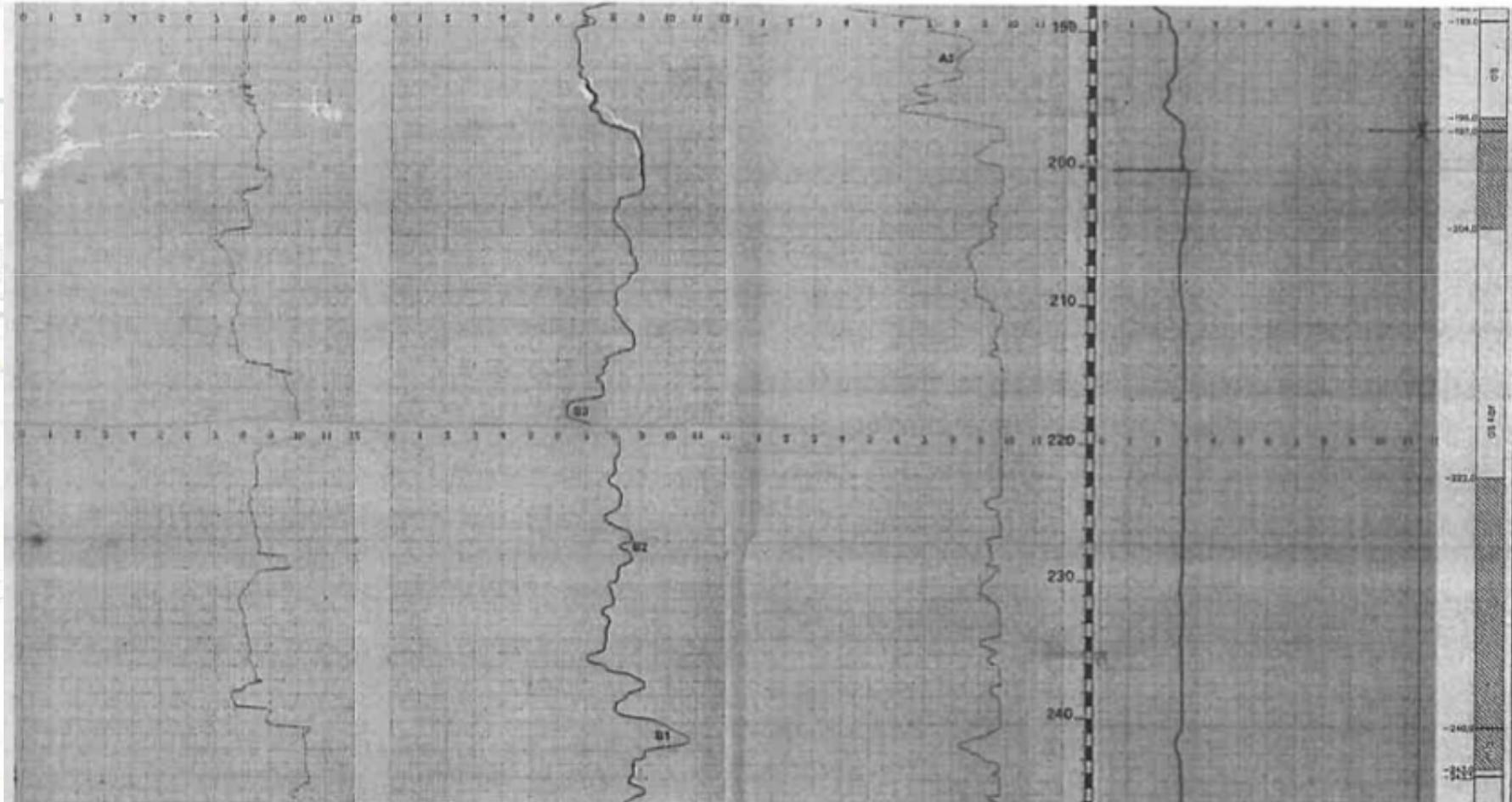
Peculiarità dell'esplorazione geofisica nei pozzi

Elemento essenziale da ricordare sempre è che nel pozzo per CO₂ c'è sempre una certa pressione e sono comunque da evitare le eruzioni del pozzo.

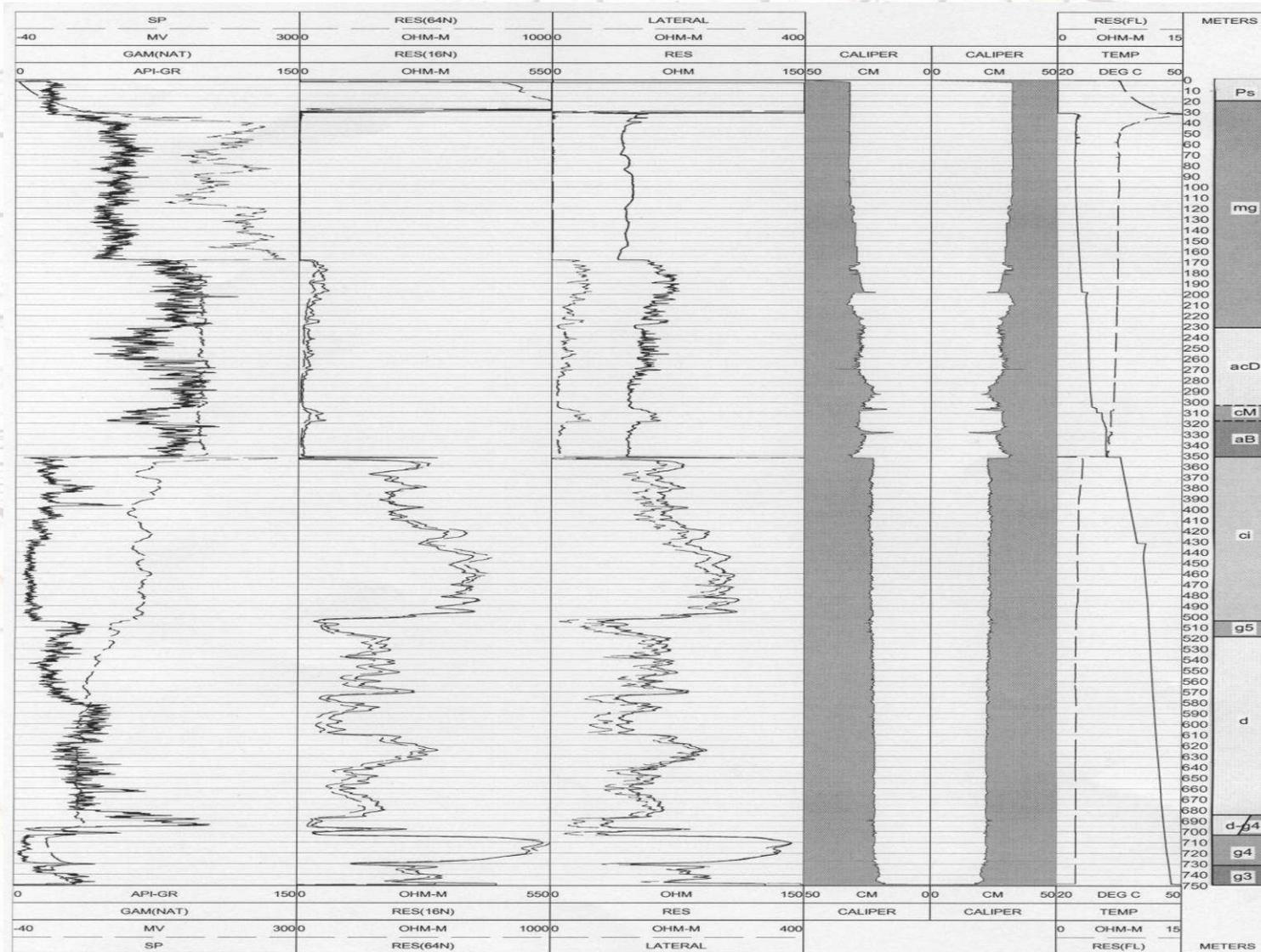


Giacimento di Acquabugliola

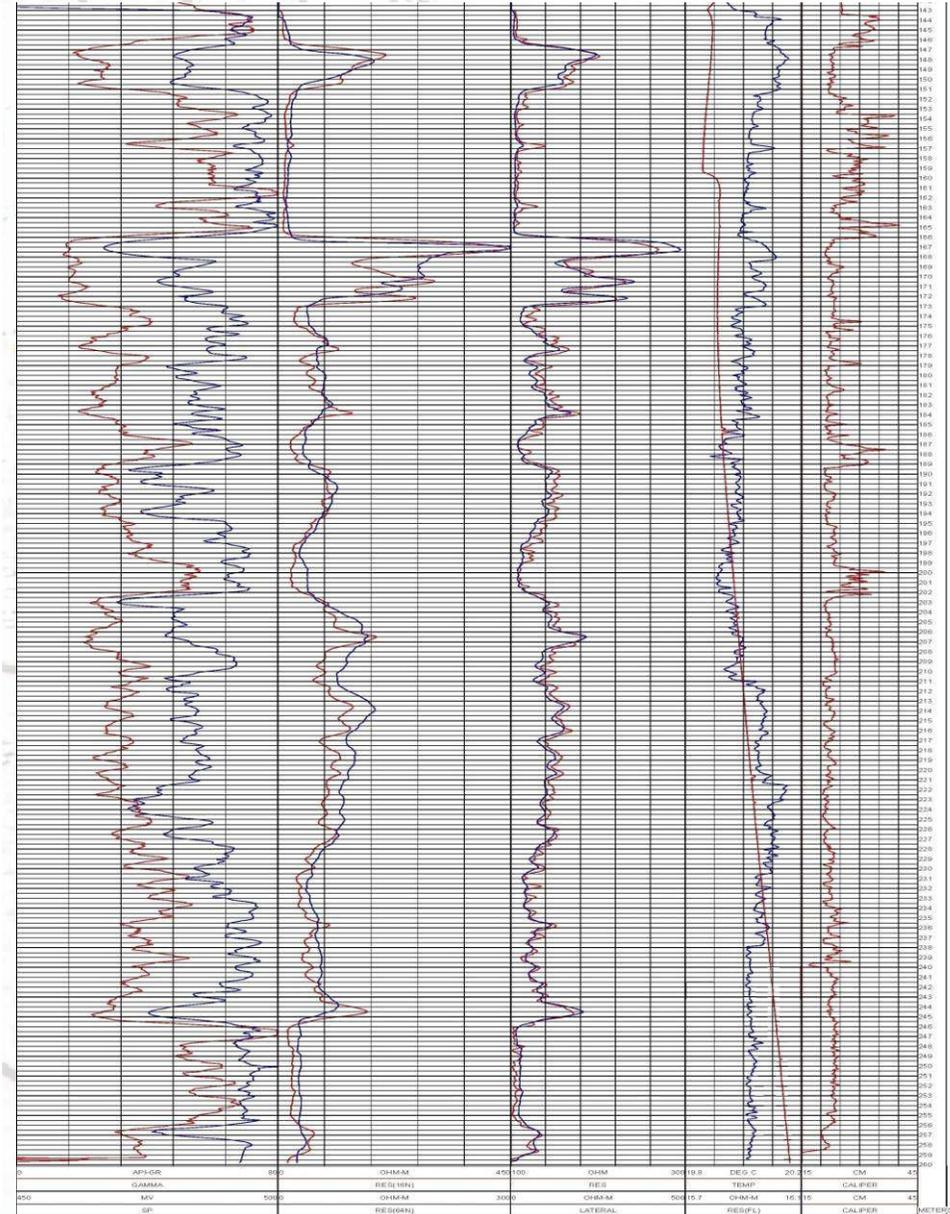
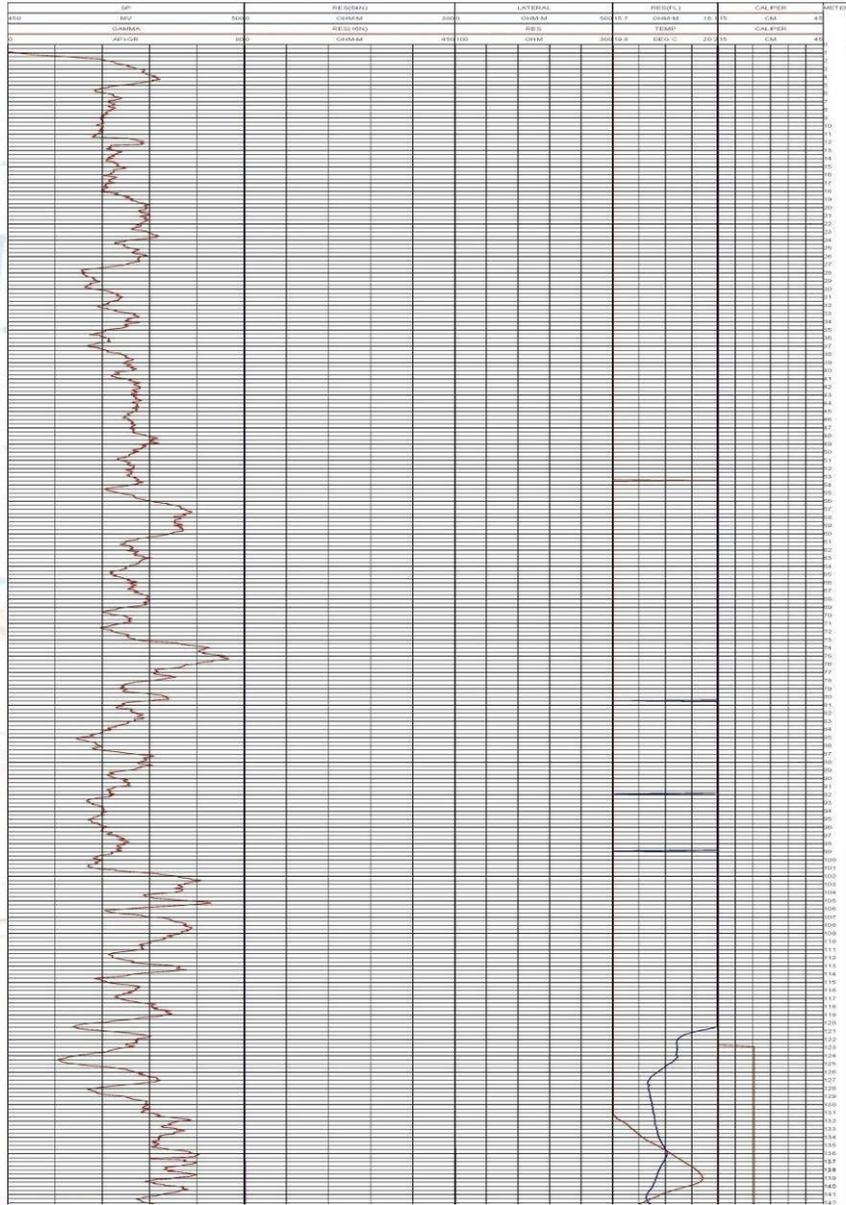
logs eseguito con Iliceto il 30 luglio 1999



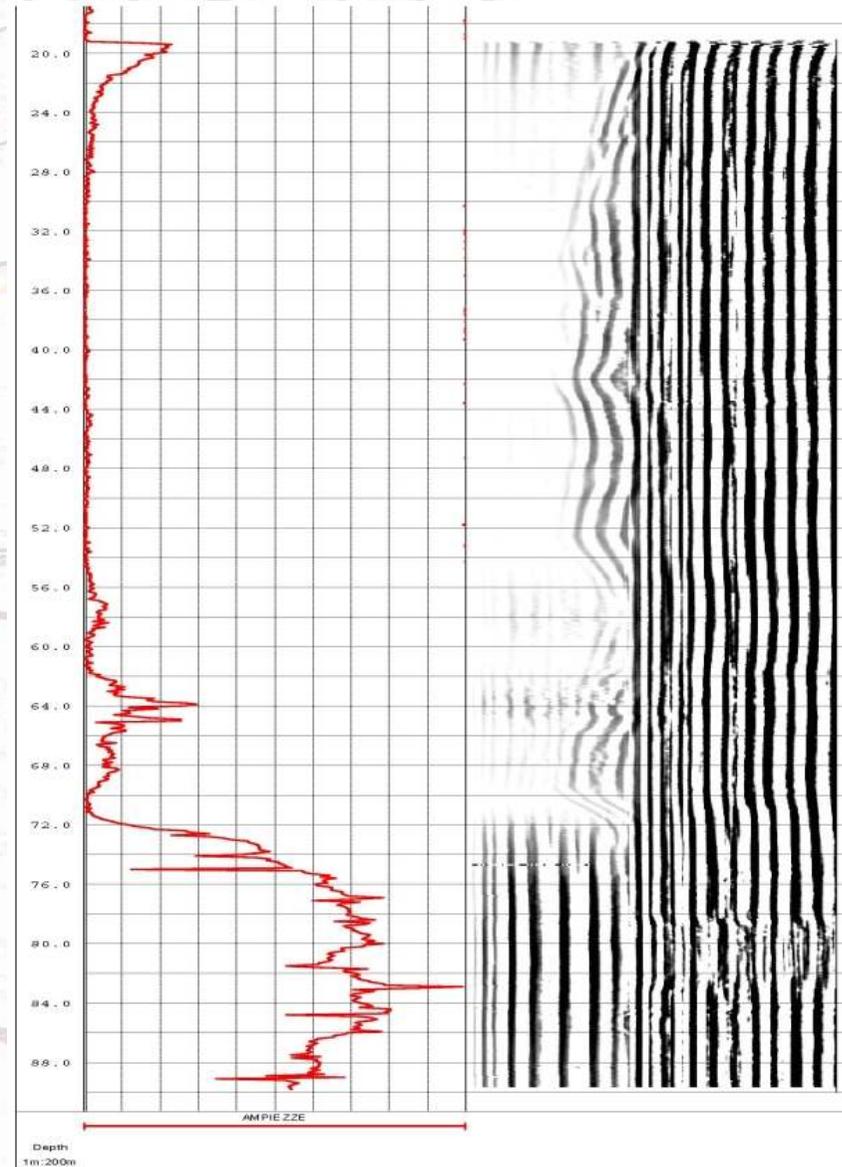
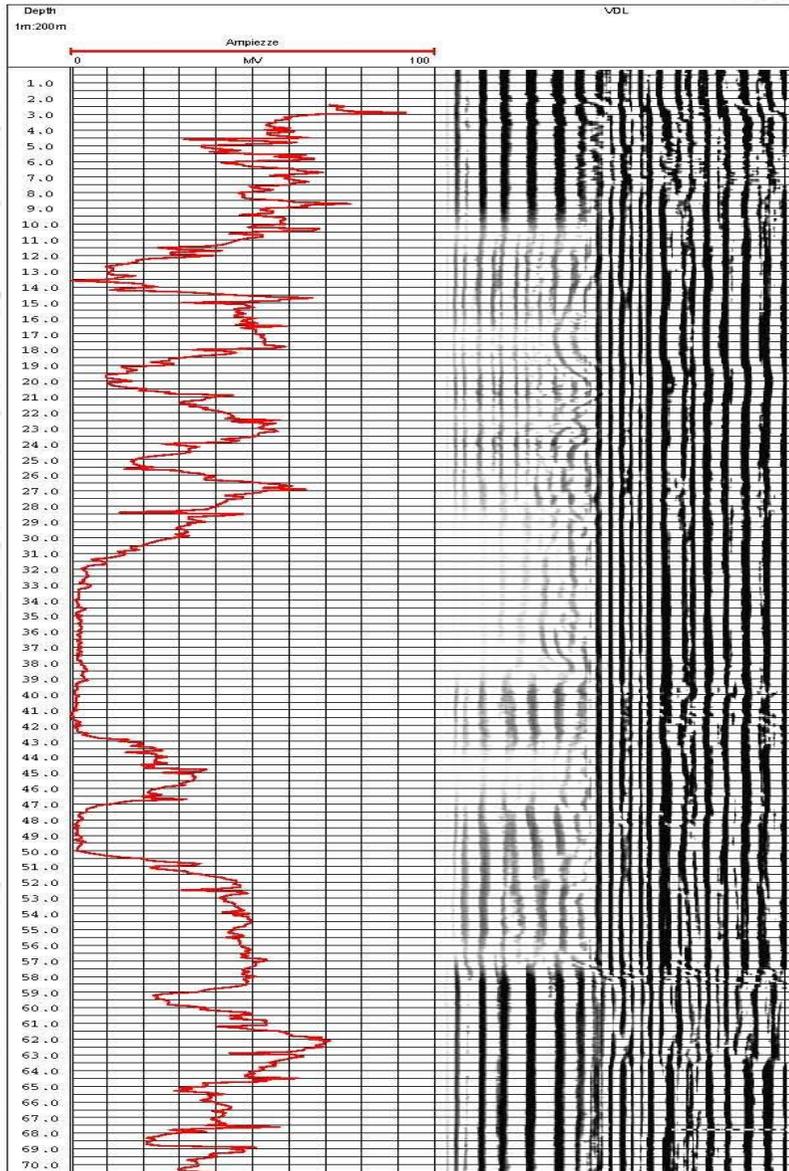
Giacimento AMBRA



Giacimento Sant'Albino



Giacimento Sant'Albino

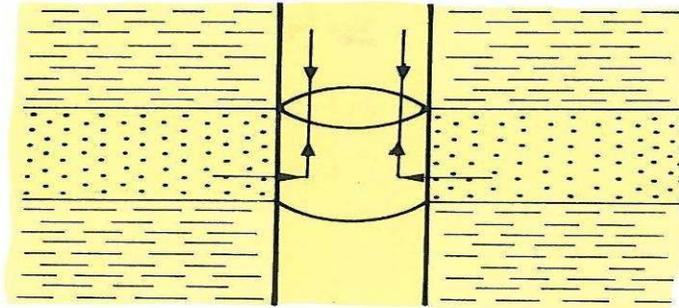


Giacimento Sant'Albino

Filmato di video-ispezione

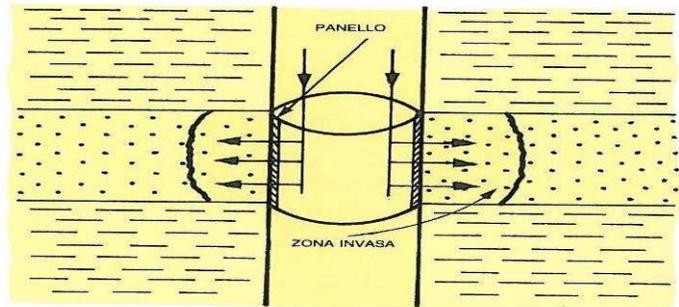


Il log PS come indicatore di CO₂



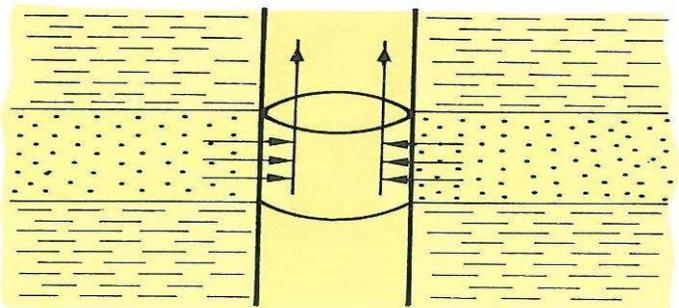
Caso teorico

$$HP = SBHP$$



Caso normale

$$HP > SBHP$$



Caso anomalo

$$HP < SBHP$$

Il log PS come indicatore di CO₂

Peculiarità:

- La CO₂ è mantenuta dal fango di perforazione all'interno dello strato mineralizzato;
- Nel contempo però il fango è in grado di assorbire al suo interno disciolta della CO₂ in una quantità circa uguale al suo volume; superato tale limite si formano le bolle che risalgono in superficie (molte "bolle" innescano l'eruzione);
- Circa l'1% della CO₂ disciolta nel fango, combinandosi con H₂O, diviene acido carbonico: H₂CO₃ oppure CO(OH)₂

Il log PS come indicatore di CO₂

- L'acido carbonico modifica il Ph del fango facendolo passare da basico a leggermente acido, e provocando così la dissociazione della bentonite (si aggiunge generalmente della soda) ;
- L'acido carbonico è un acido debole che si dissocia in vari ioni: idrossonio, carbonato e idrogenocarbonatico; tali ioni, in ragione delle loro cariche, originano di conseguenza dei PS all'interno del fango;
- Inoltre la CO₂ chimicamente è un reagente elettrofilo che aggredisce molti metalli;

Il log PS come indicatore di CO₂

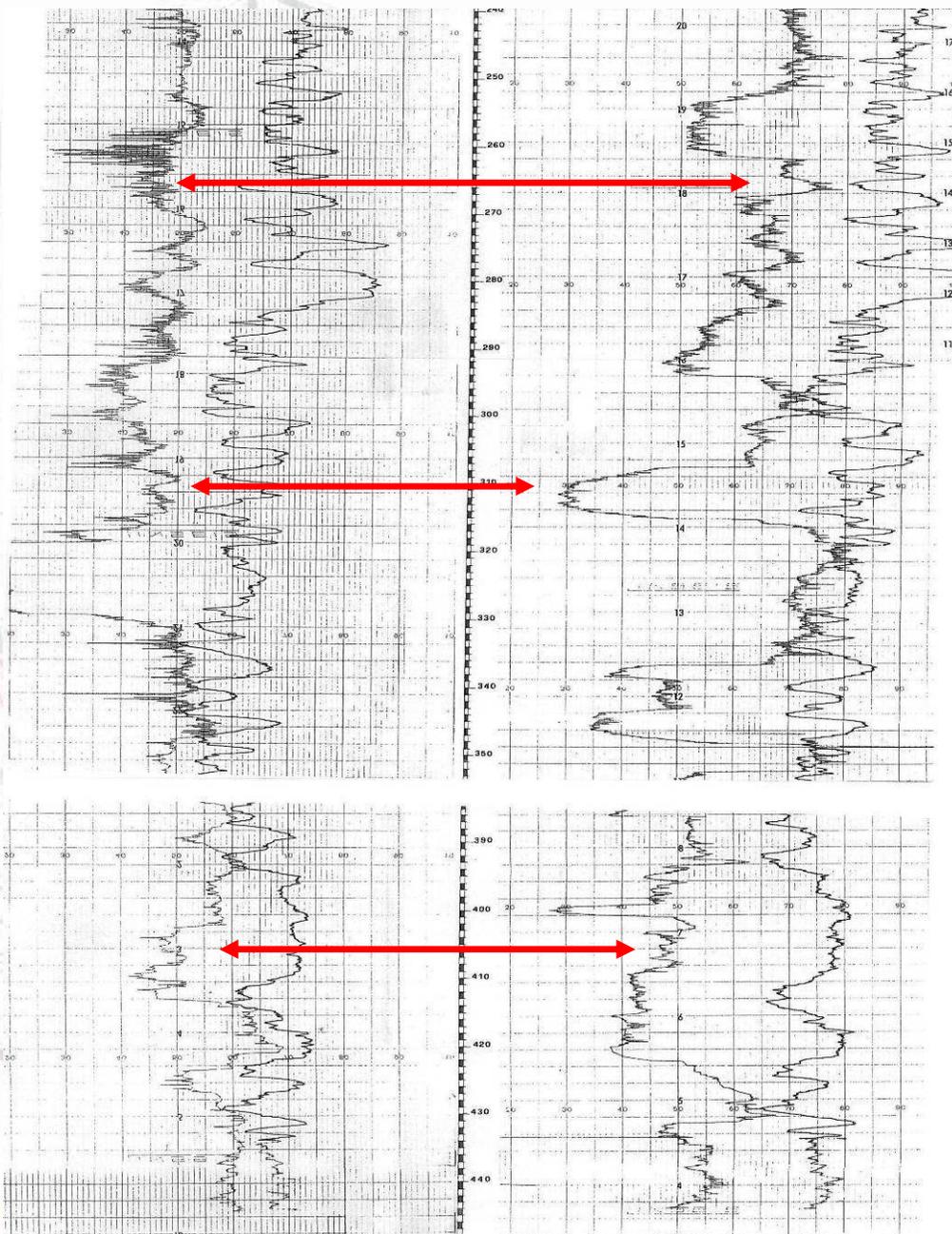
- I diversi passaggi della sonda PS nel pozzo registra andamenti della curva anche opposti proprio in corrispondenza dello strato mineralizzato; il confronto tra le curve evidenzia la mineralizzazione dello strato in CO₂.
- Inoltre la sostituzione dell'elettrodo della sonda log (in Pb) con un metallo meno stabile e suscettibile di aggressione chimica da parte dell'acido carbonico (rame, ottone, argento ed oro) consente, con passaggi multipli, di evidenziare variazioni di PS che mettono in luce gli strati mineralizzati.

Giacim.to di Pergine
1986

Confronto tra le
curve di PS
eseguite con vari
elettrodi (Pb – Cu).

Curve: PS res

PS res



CONCLUSIONI :

- Per la mineralizzazione a CO₂ devono sempre essere ricercate zone di disgiunzione crostale.
1. Il **MODELLO GEOLOGICO** è generalmente tratto dalla stratigrafia dei pozzi ottenuta con i logs geofisici e confrontata con la stratigrafia ufficiale (la descrizione formazionale nel tempo può cambiare in relazione all'evoluzione degli studi geologici regionali).
 2. Il **MODELLO GEOFISICO** fornisce indicazioni per il modello geologico ma è fondamentale per ricostruire il GIACIMENTO MINERARIO.

CONCLUSIONI :

3. Il **MODELLO GEOFISICO** fornisce indicazioni circa i vari livelli mineralizzati a CO_2 presenti nel GIACIMENTO MINERARIO.
4. Il **MODELLO MINERARIO** è indispensabile per la coltivazione ottimale del giacimento e per contenere la risalita delle acque termali che, in assenza di specifico utilizzo, devono essere trattate prima dello scarico in corpi idrici superficiali.

Bibliografia

12) Caratteri strutturali del bordo orientale degli affioramenti mesozoici di Rapolano Terme (SI).

(*Baldi A.M. - Rossi C.*) Memorie della Società Geologica Italiana, vol. 35 pp. 457-479 - Roma 1986.

37) Nuove individuazioni di giacimenti di anidride carbonica in Toscana.

(*Baldi A.M. - Marzocchi A. - Menegoli M.*) Rivista: Geoingegneria Ambientale e Mineraria (Bol. Ass. Min. Subalpina) anno XXIX n°4 dicembre 1992 -Torino.

68) Nuove captazioni alle Terme “Antica Querciolaia” – Rapolano Terme (Siena) .

(*A.M. Baldi, A. Civeli, S. Mencarini*) Atti 2nd International Wordshop – 4th National Conccress on the Protection and Management of Groundwater : GEAM Parma 2005

73) The geoelectrical exploration of the layers of CO₂ of Val d’Arno

(*A. M. Baldi, S. Mencarini, M. Mondet*) Atti: fifteenth international symposium on Mine Planning & Equipment Selection. Vol. 2 pp. 1243- 1248. Torino 2006

74) The extraction of the layer of CO₂ “Torrente Ambra” in the Province of Siena

(*A. M. Baldi, A. Civeli ; M. La Bella ; H. Seitz*) Atti: fifteenth international symposium on Mine Planning & Equipment Selection . Vol. 2 pp. 939-945. Torino 2006

95) Il sistema termale di Rapolano Terme (Siena)

(*A.M. Baldi, A. Civeli*) Riv. “Acque Sotterranee” n° 120 pp. 29 – 41, giugno 2010

110) L’evoluzione delle indagini geofisiche per lo studio delle strutture termali

(*A.M.Baldi, A.Civeli, J.De Luca,. S.Mencarini*) Atti XI Workskop di geofisica della Fondazione del Museo Civico di Rovereto.- Rovereto 2014



Grazie!