



STOGIT

CONCESSIONE
BORDOLANO STOCCAGGIO

Studio Geostrutturale

GIAC



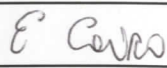

PAG. 1

DI 59

**Concessione
Bordolano Stoccaggio**

STUDIO GEOSTRUTTURALE

Data di emissione: Giugno 2014

				
		G. Tango		
				
		V. Pozzovivo	E. Cairo	C. Coti
	AGGIORNAMENTI	PREPARATO DA	CONTROLLATO DA	IL RESPONSABILE



STOGIT

**CONCESSIONE
BORDOLANO STOCCAGGIO**

Studio Geostrutturale

GIAC

PAG. 2

DI 59

SOMMARIO

EXECUTIVE SUMMARY	3
CAPITOLO 1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE	4
1.1 INQUADRAMENTO DELL'AREA	4
1.2 ASSETTO GEOLOGICO REGIONALE	5
1.3 INTERPRETAZIONE STRATIGRAFICO-STRUTTURALE	8
1.4 LINEA DEL TARO.....	17
CAPITOLO 2 STUDIO DI GIACIMENTO	19
2.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO DEL GIACIMENTO	19
2.3 NUOVI POZZI.....	22
2.4 SISMOGRAMMA SINTETICO E WELL TIE	27
2.5 INTERPRETAZIONE SISMICA DEL GIACIMENTO	40
2.6 INTERPRETAZIONE STRUTTURALE DEL GIACIMENTO	43
2.7 CONVERSIONE IN PROFONDITA'	49
BIBLIOGRAFIA.....	58

	CONCESSIONE BORDOLANO STOCCAGGIO Studio Geostrutturale	GIAC
		PAG. 3
		DI 59

EXECUTIVE SUMMARY

L'obiettivo primario del seguente studio è la revisione strutturale del campo di Bordolano in risposta alla prescrizione ministeriale contenuta nel *DVA-0001633* del 12/11/2009 (*prescrizione A7 punto 2*) richiesta dal *Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare* (MATTM) che recita testualmente:

- *Sulla base delle stratigrafie accertate dalle nuove perforazioni dovrà essere predisposto uno studio per la ricostruzione del modello geostrutturale del giacimento, anche mediante apposite linee sismiche, rappresentativo dell'areale che sarà interessato dai processi di iniezione e prelievo del metano. Tale studio dovrà essere finalizzato alla verifica delle previsioni progettuali, con riferimento alla struttura geologica profonda, evidenziando eventuali elementi di novità rispetto al sistema geostrutturale relativo al contatto tra Alpi ed Appennini (linea del Taro) che è riconducibile alla zona di Bordolano;*

Lo studio è stato suddiviso in due parti. Nella prima parte sono stati caratterizzati gli elementi strutturali profondi da un punto di vista regionale, con particolare attenzione al limite e ai rapporti reciproci tra strutture alpine e appenniniche presenti nella zona del campo di Bordolano, utilizzando i seguenti dati:

- Dati di letteratura.
- Dati di pozzo (log elettrici, stratigrafie).
- Linee sismiche 2D (proprietà Eni).
- Volume sismico 3D del campo di Bordolano.

Nella seconda parte dello studio è illustrato l'assetto stratigrafico-strutturale del campo aggiornato sulla base dei dati provenienti dai pozzi recentemente perforati per il progetto di conversione allo stoccaggio (pozzi da Bordolano 22 Dir a 28 Dir) e della revisione di dati pregressi. I dati utilizzati sono:

- Dati di pozzo (log elettrici, stratigrafie).
- Volume sismico 3D del campo di Bordolano.
- Volume di continuità sismica.
- Interpretazione geologica del rilievo sismico 3D.



CAPITOLO 1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE

1.1 INQUADRAMENTO DELL'AREA

Il campo di Bordolano è ubicato in Pianura Padana, circa 18 km a NW di Cremona, nella Concessione Bordolano (Fig. 1). La scoperta del campo risale al 1951 (pozzo Bordolano 1). L'area sottesa dalla struttura di Bordolano è di circa 41 Km² ed è situata sul margine meridionale dell'arco sud alpino lombardo ad ovest della Monoclinale Mantovana.

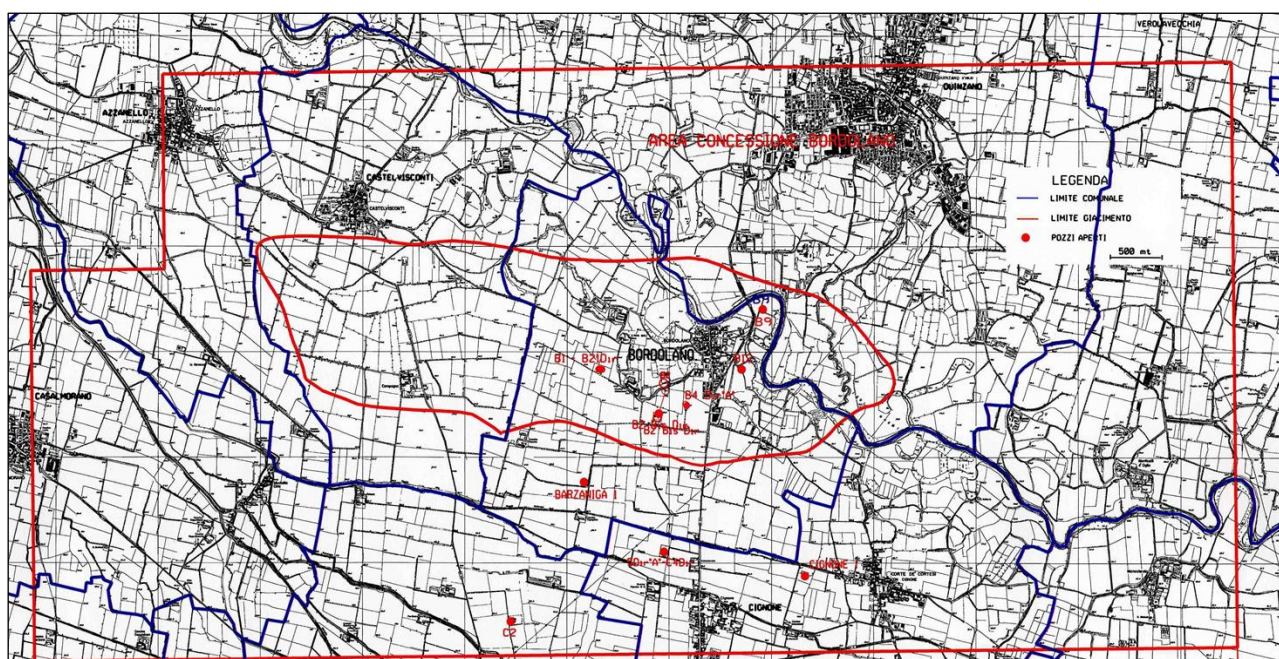



Figura 1 *Mappa dell'ubicazione della concessione Bordolano stoccaggio, in figura è rappresentata la proiezione superficiale del giacimento e i limiti della concessione.*

I livelli mineralizzati appartengono alla Formazione “Sabbie di Caviaga” ed hanno età compresa tra il Messiniano post-evaporitico ed il Pliocene inferiore. I corpi costituenti il *reservoir* (Pool B), sono rappresentati da ghiaie sabbioso-siltose, talvolta cementate che, nella parte inferiore passano a sabbie da medie a fini, talvolta siltose e cementate. Tali corpi sono separati da depositi pelitici (marne argilloso-siltose).

	CONCESSIONE BORDOLANO STOCCAGGIO Studio Geostrutturale	GIAC
		PAG. 5
		DI 59

1.2 ASSETTO GEOLOGICO REGIONALE

La successione sedimentaria presente nel sottosuolo della Pianura Padana è caratterizzata da depositi marini che, durante il periodo Permiano-Triassico inferiore, vanno a depositarsi sul basamento ercinico e vengono in seguito ricoperti da depositi carbonatici di piattaforma e di bacino intra-piattaforma, di età dal Triassico al Paleogene. Questa successione viene in seguito colmata da un notevole spessore di apporti clastici, principalmente risalenti al periodo Pliocenico-Quaternario, provenienti dalla catena alpina e appenninica in fase di formazione.

Dalla fine del Cretaceo infatti, la Pianura Padana rappresenta l'avampese di queste due catene a vergenza opposta: le Alpi Meridionali Sud-vergenti e l'Appennino Settentrionale Nord-vergente (*Robertson e Grasso, 1995*), i cui strutture sepolte più esterne si fronteggiano nel sottosuolo al di sotto dei sedimenti plio-quadernari.

Le principali strutture tettoniche della pianura padana sono state mappate grazie ai numerosi dati sismici a riflessione utilizzati per la ricerca di idrocarburi (*Pieri e Groppi, 1981*) e ai dati di pozzo, disponibili già dagli anni 50.


Il fronte sepolto della catena Nord-appenninica è formato da tre archi strutturali: Arco del Monferrato, Arco Emiliano e Arco Ferrarese-Romagnolo.

L'*Arco del Monferrato* ricade nell'area piemontese della Pianura Padana Occidentale, delimitata a Nord e ad Ovest dalle Alpi Occidentali, a Sud dalle Alpi Liguri e dalla porzione settentrionale della catena Appenninica.

L'*Arco Emiliano* si estende dall'Appennino vogherese fino all'altezza del Sillaro e, nel tratto più orientale si accavalla sull'arco delle pieghe ferraresi-romagnole. A sua volta il fronte dell'arco si accavalla, verso Nord-Est, sulla Monoclinale Pedevalpina.

L'*Arco Ferrarese-Romagnolo* si accavalla sulla monoclinale Pedevalpina e su quella Adriatica. I diversi assetti stratigrafico-strutturali permettono di suddividere ulteriormente tale arco in tre strutture relativamente minori: Pieghe Ferraresi, Pieghe Romagnole e Pieghe Adriatiche.

Per quanto concerne il dominio alpino, partendo dal margine sepolto della catena e procedendo verso Sud, sono state distinte le *Unità terziarie embricate* (*Bersezio et alii, 2001*). Ubicate in una fascia parallela e contigua al margine sudalpino, queste unità sono caratterizzate da un'elevata profondità della successione carbonatica mesozoica e da una

	CONCESSIONE BORDOLANO STOCCAGGIO Studio Geostrutturale	GIAC
		PAG. 6
		DI 59

forte deformazione della successione clastica terziaria organizzata in embrici, sostenuti da un piano di scollamento basale collocato nelle peliti al tetto della Scaglia (*Cretaceo-Eocene medio*).

Nell'avampaese padano si distinguono le *Strutture della Media pianura lombarda* (*Bersezio et alii, 2001*), costituite da unità carbonatiche mesozoiche coinvolte in pieghe chilometriche coinvolgenti il basamento cristallino (Strutture di Malossa-Canonica, Seregna-Pobbiano, S.Bartolomeo-Brignano, Martinengo, Belvedere-Chiari, Fig.2). Tali piegamenti deformano lo scollamento basale al tetto della Scaglia sotto le unità terziarie embricate.

Procedendo verso Sud si distinguono le *Strutture Centro Padane* (*Bello et alii 2002, Fantoni et alii 2004*) che rappresentano i fronti più esterni della catena alpina (Ripalta, Caviaga, Soresina, Bordolano, Fig. 2). Le strutture Centro Padane consistono in blande strutture anticlinaliche nella successione clastica terziaria, tagliate o debolmente traslate dal successivo incuneamento profondo delle strutture appenniniche verso Nord.

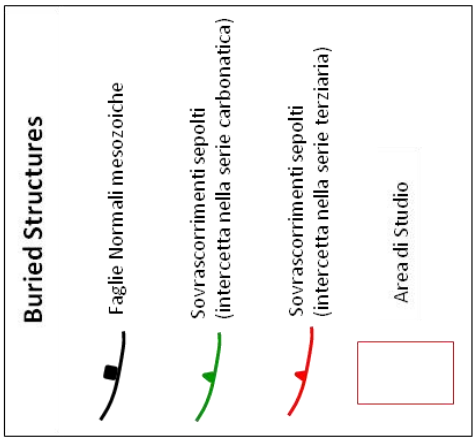
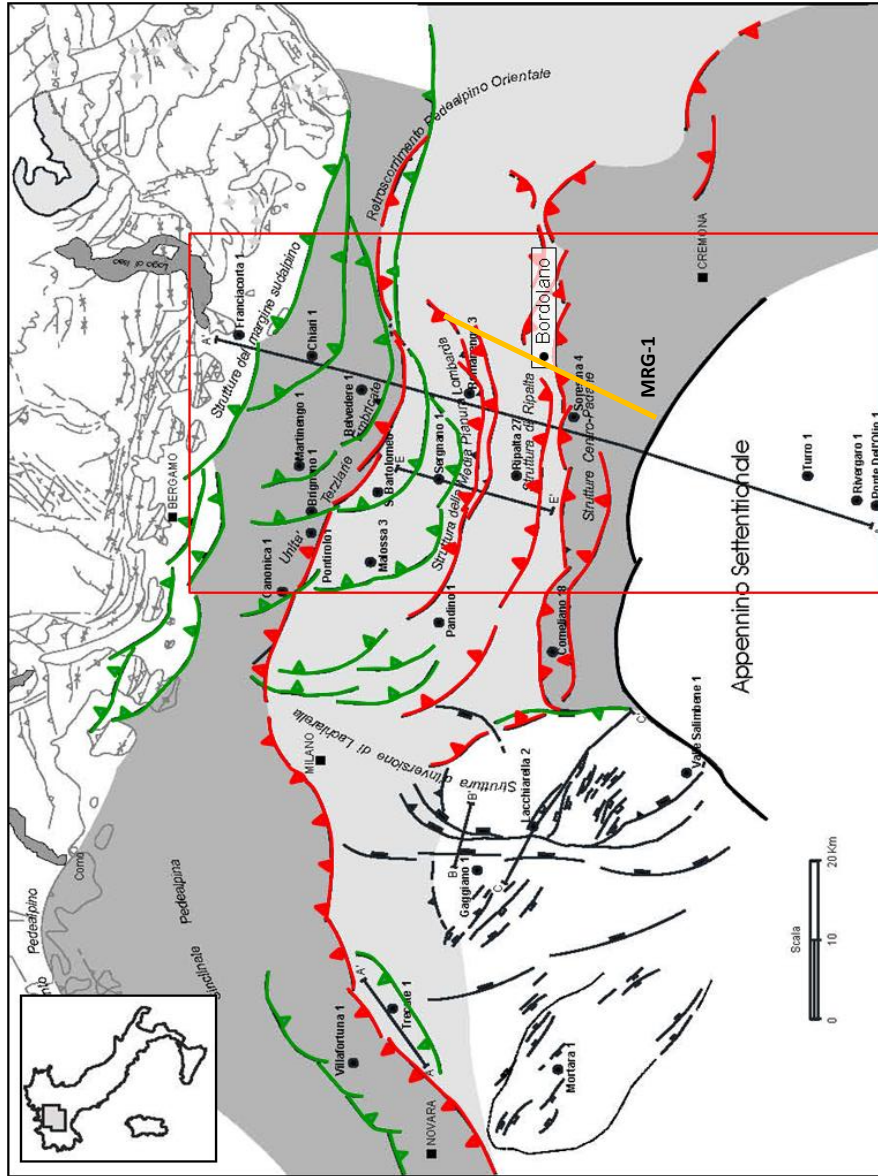


Figura 2 Mappa strutturale semplificata del settore centrale della catena alpina e dell'avampanese sud alpino, (modificato da Fantoni et alii, 2004). In nero la sezione A-A' oggetto degli studi precedenti e rappresentativa dell'area, in giallo la sezione MRG-1 oggetto del presente studio.



1.3 INTERPRETAZIONE STRATIGRAFICO-STRUTTURALE

Il campo di Bordolano ricade dal punto di vista strutturale nella zona in cui si fronteggiano le strutture compressive sudalpine esterne e le strutture sepolte appenniniche (*Fantoni et alii 2004*), tale zona è stata profondamente studiata ai fini dell'esplorazione per ricerca di idrocarburi come testimoniato dalle molteplici pubblicazioni sull'area.

L'interpretazione a scala regionale delle strutture tettoniche profonde è stata effettuata analizzando linee sismiche 2D (acquisite dal 1979 al 1991) passanti per la concessione di Bordolano ed il volume sismico 3D del campo (Fig. 3). I dati sismici sono stati integrati con i dati di pozzo e con le pubblicazioni relative all'area di studio.

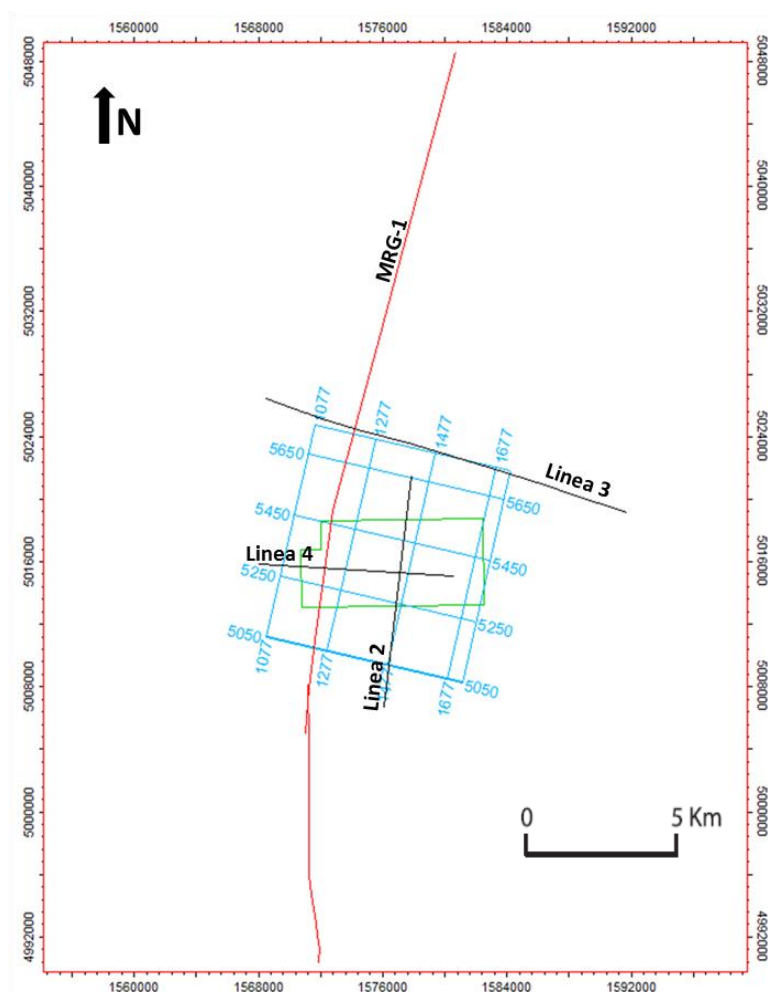


Figura 3 Mappa ubicazione linee sismiche e volume sismico 3D (linee blu), il poligono verde corrisponde alla concessione di Bordolano.

	CONCESSIONE BORDOLANO STOCCAGGIO Studio Geostrutturale	GIAC
		PAG. 9
		DI 59

La linea MRG-1 (Fig. 3-4), è il risultato dell'unione di 3 differenti linee sismiche regionali e si estende in direzione Nord-Sud per una lunghezza complessiva di circa 30 km. Per un controllo delle geometrie dell'area sono state visionate ulteriori linee sismiche parallele (linea 2) e trasversali a quella appena descritta (linee 3-4).

La linea MRG-1 è stata valutata come sezione sismica chiave per rappresentare lo stile strutturale profondo dell'area in quanto taglia ortogonalmente le strutture tettoniche alpine ed appenniniche, permettendone la valutazione delle geometrie reali in profondità. Per motivi di riservatezza dei dati di proprietà Eni, è stato possibile pubblicare solo la porzione che ricade al di sotto della concessione di Bordolano (Fig. 4). L'utilizzo delle linee 2D si è reso necessario ai fini dello studio in quanto caratterizzate da una maggiore profondità di investigazione rispetto al volume sismico 3D che presenta tuttavia un maggior contenuto in frequenze e quindi una miglior risoluzione verticale e una copertura maggiore dell'area.

Nella fase iniziale di interpretazione sismica sulle linee 2D, è stata effettuata un'analisi delle facies sismiche basata sui parametri sismici delle riflessioni (geometria, continuità, ampiezza, frequenza) e relative terminazioni. La geometria delle facies sismiche e la loro associazione spaziale riflette l'ambiente deposizionale e i processi sedimentari che le hanno generate fornendo informazioni sulle possibili associazioni litologiche che le costituiscono. La continuità della riflessione dipende dalla continuità ed omogeneità del contrasto di impedenza acustica lungo i limiti dei differenti strati, tale parametro risulta molto importante per valutare variazioni laterali di impedenza acustica e la presenza di strutture tettoniche che tagliano i limiti stratigrafici considerati. L'ampiezza delle riflessioni è governata principalmente dal contrasto di impedenza acustica lungo le superfici di strato. La frequenza delle riflessioni è determinata dai parametri sismici di acquisizione (sorgente delle onde sismiche, geometria di acquisizione, ecc.), dal coefficiente di assorbimento dei litotipi attraversati e dalle variazioni laterali di velocità indotte dalle presenza di fluidi e/o da eventuali variazioni litologiche.



STOGIT

CONCESSIONE
BORDOLANO STOCCAGGIO

Studio Geostrutturale

GIAC

PAG. 10

DI 59

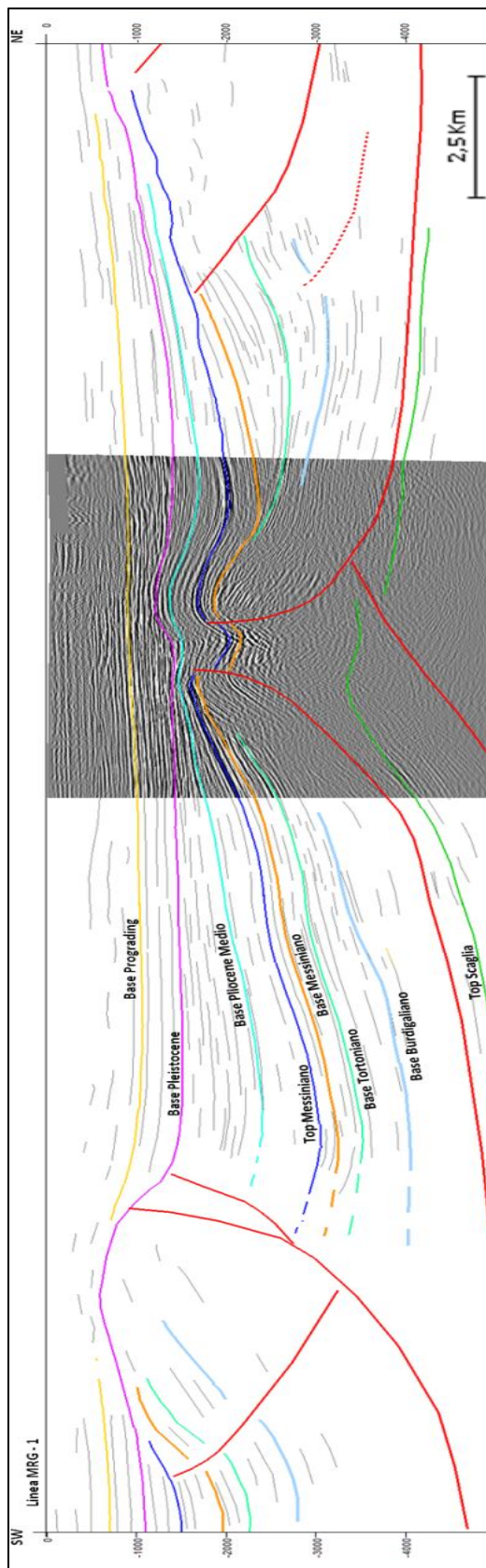



Figura 4 Interpretazione stratigrafico-strutturale linea sismica MRG-1.


	CONCESSIONE BORDOLANO STOCCAGGIO Studio Geostrutturale	GIAC
		PAG. 11
		DI 59

La metodologia seguita per l'analisi delle facies sismiche può essere così riassunta:

1. Distinzione dei differenti pattern sismici in funzione dei parametri sismici e delle geometrie riscontrate.
2. Descrizione qualitativa delle riflessioni.
3. Integrazione con dati di pozzo e dati di letteratura.

Mediante tale approccio sono state riconosciute le superfici corrispondenti ai limiti stratigrafici delle principali sequenze deposizionali (Fig. 4). Nello specifico sono stati interpretati 8 orizzonti che dal basso verso l'alto corrispondono a:

- Top Scaglia: La sequenza carbonatica è caratterizzata da un imaging sismico molto scarso in cui risulta complesso distinguere le geometrie dei riflettori interni. Il top della sequenza è caratterizzato da riflessioni ad alta ampiezza, indotte dal forte contrasto di impedenza acustica tra la Scaglia e la sovrastante successione terrigena, e scarsa continuità. La qualità del dato sismico non permette di distinguere ulteriori sequenze sismo-stratigrafiche a profondità maggiori.
- Base Burdigaliano: L'orizzonte identificato come Base Burdigaliano corrisponde al top di una sequenza caratterizzata da riflessioni con scarsa continuità, bassa ampiezza e bassa frequenza. La geometria della sequenza segue l'andamento degli elementi strutturali.
- Base Tortoniano: La sequenza compresa tra la base del Burdigaliano e la base Tortoniano è caratterizzata da riflettori a bassa continuità, bassa frequenza ed ampiezza maggiore rispetto alle precedenti sequenze. La sequenza risente del controllo strutturale mostrando una geometria cuneiforme.
- Base Messiniano: La sequenza è compresa tra la base del Tortoniano e la base del Messiniano. I riflettori sono caratterizzati da bassa continuità, media ampiezza, e bassa frequenza. Anche questa sequenza mostra una geometria cuneiforme.
- Top Messiniano: La sequenza è compresa tra la Base del Messiniano e il Top del Messiniano. Il limite superiore della sequenza è caratterizzato da riflessioni con continuità ed ampiezza molto alte e rappresenta una superficie erosionale a scala regionale, conosciuta in letteratura come Unconformity Messiniana. In generale la sequenza mostra delle riflessioni sub-parallele, caratterizzate da buona continuità, bassa frequenza ed ampiezze che variano da basse a medie.

	CONCESSIONE BORDOLANO STOCCAGGIO Studio Geostrutturale	GIAC
		PAG. 12
		DI 59

- Base Pliocene Medio: La sequenza è compresa tra il Top de Messiniano e la Base del Pliocene Medio, le riflessioni presentano terminazioni ad “onlap” sulla Unconformity Messiniana con maggiore evidenza nelle zone di alto strutturale. I riflettori sono caratterizzati da buona continuità bassa ampiezza e alta frequenza.
- Base Pleistocene: La sequenza è compresa tra la base del Pliocene Medio e la base del Pleistocene. La facies sismica della sequenza mostra forti variazioni di impedenza acustica, la continuità risulta essere molto variabile da media a buona con frequenza medio-alta. Si notano terminazioni ad “onlap” sulla Base del Pliocene medio. La geometria della sequenza è fortemente ondulata con notevoli variazioni di spessore procedendo dalla zona di culmine strutturale verso i fianchi.
- Base Prograding: La sequenza è compresa tra la Base del Pleistocene e la base della “Progradazione Padana” (Pleistocene Medio-Inferiore). La facies sismica di questa sequenza è caratterizzata da riflettori tabulari ad alta ampiezza, indotta da forti contrasti di impedenza acustica, buona continuità ed alta frequenza. Anche in questa sequenza si notano terminazioni ad “onlap” sulla base del Pleistocene. L’orizzonte Base Prograding segna il passaggio alla successione pleistocenica progradante marginale-deltizia e ai sovrastanti sedimenti continentali di piana alluvionale quaternaria.

Di seguito vengono illustrati i principali risultati dell’interpretazione sismico-strutturale riferiti alla linea MRG-1 (Fig. 4), comparati ai modelli stratigrafico-strutturali regionali di studi precedenti nell’area (*Fantoni et alii, 2004*; Fig. 5 - 6). Come mostrato in figura 2, La linea MRG-1 è orientata sub-parallela alla linea A-A’. Le principali strutture tettoniche interpretate, sono riconducibili ad un regime tettonico compressivo tipico delle catene a pieghe e sovrascorrimenti come Alpi e Appennini. Come precedentemente accennato, la profondità di indagine delle linee sismiche 2D ha permesso il riconoscimento delle superfici di scollamento (*decollement*) dei fronti esterni alpini ed appenninici e di stabilire una cronologia deformativa. I lineamenti strutturali indagati hanno come superficie di scollamento un’importante limite reologico rappresentato dal top della Scaglia (*Paleocene-Eocene Medio*, linea rossa tratteggiata in Fig. 6). Tale limite è rappresentato in sezione da riflettori a scarsa continuità e ampiezza molto alta, individuati tra 4 e 5 secondi TWT (oltre i 5 km di profondità). Il top della Scaglia segna il passaggio verso una sedimentazione terrigena molto fine rispetto ai sottostanti carbonati della serie Giurassico-



STOGIT

CONCESSIONE BORDOLANO STOCCAGGIO

Studio Geostrutturale

GIAC

PAG. 13

DI 59

Cretaceo inferiore. Tale differenza composizionale e granulometrica induce un alto contrasto di competenza che ha costituito una via preferenziale per lo scollamento dei thrust superficiali che non arrivano quindi a coinvolgere il sottostante basamento.

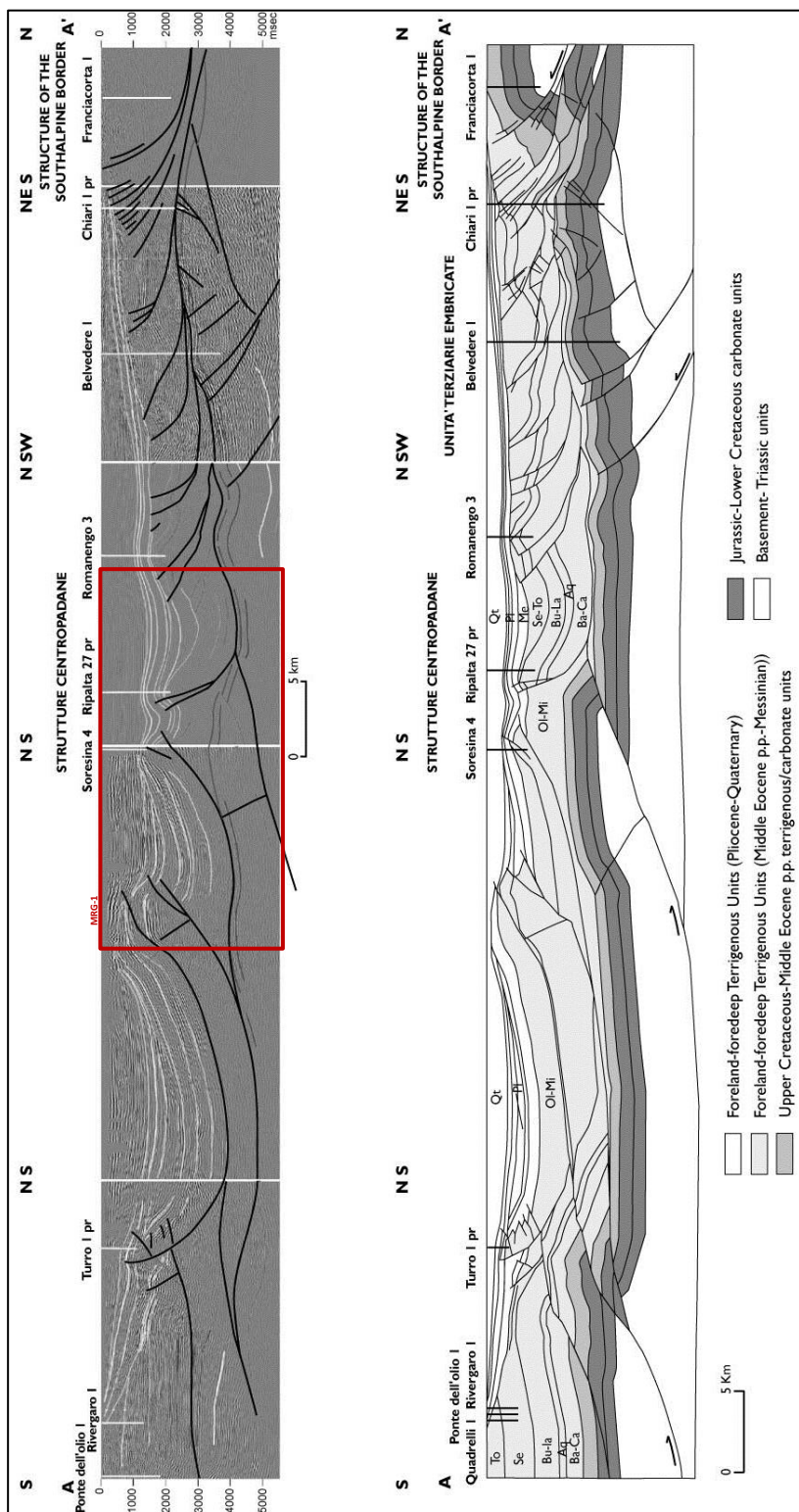


Figura 5 Sezione sismica e sezione geologica del margine sud alpino e dell'avampata padana, il rettangolo rosso rappresenta l'estensione della zona di indagine e la proiezione della linea MRG-1.



Come è osservabile nel modello geologico di figura 5, lo scollamento basale al tetto della Scaglia sembra essere cinematicamente legato ai thrust che deformano la sequenza Mesozoica al bordo del Sud Alpino (*Fantoni et alii*, 2004).

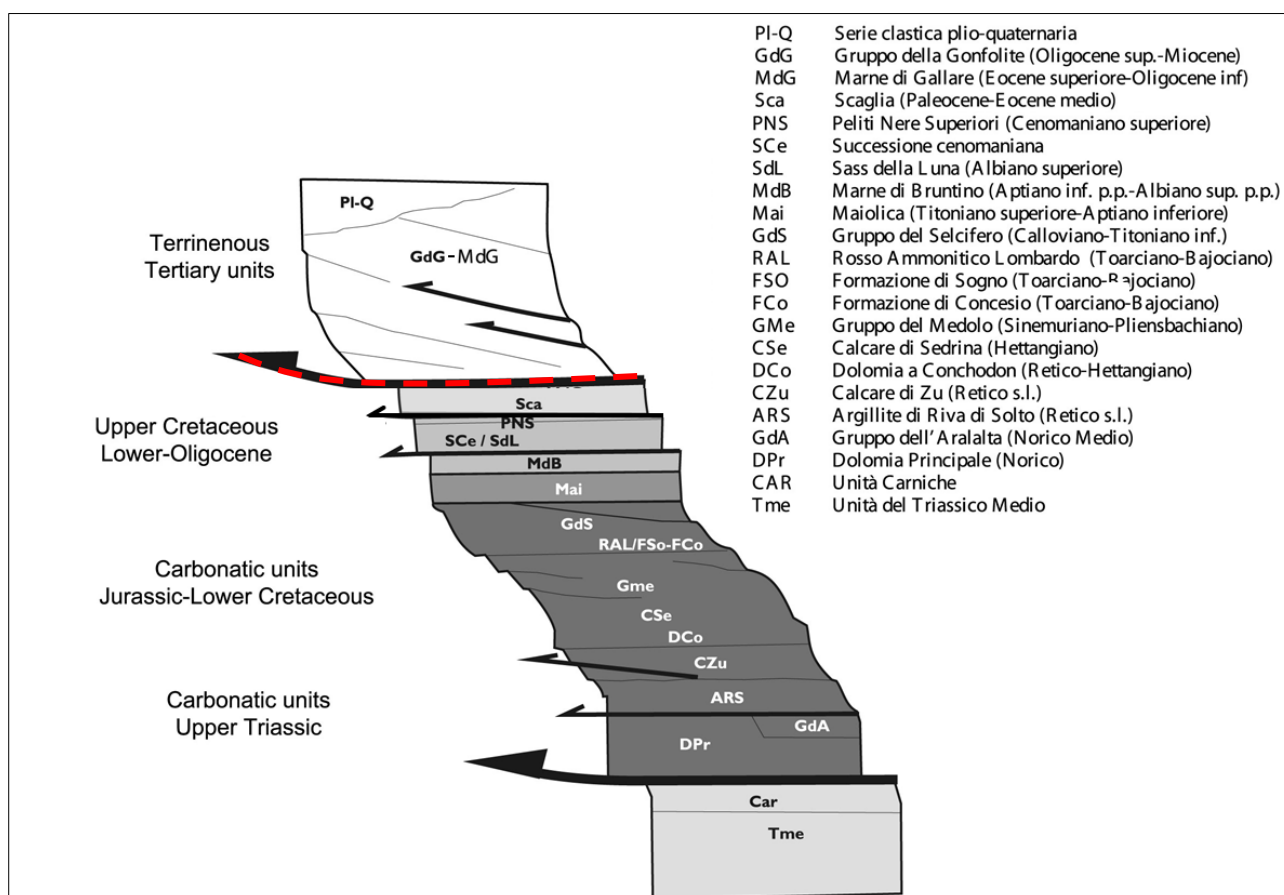


Figura 6 Sequenza reologica del sud alpino lombardo. In figura è rappresentata la stratigrafia e i principali decollement (frecche nere) relativi alle strutture indagate (modificato da *Fantoni et alii*, 2004). La linea rossa tratteggiata indica il decollement riferito ai lineamenti strutturali del presente studio.

La perdita di continuità laterale dei riflettori, la dislocazione dei principali orizzonti stratigrafici e la presenza di uncinature, ha permesso di identificare i lineamenti strutturali Nord vergenti e Sud vergenti riferiti ai fronti sepolti esterni dei domini Appenninico e Alpino (Fig. 4) confermando lo stile deformativo dei modelli strutturali esistenti nell'area di studio (Fig. 5). Per quanto concerne la cronologia della deformazione, in accordo con i precedenti studi, è stato riscontrato che l'attività delle strutture Alpine sud vergenti si è arrestata alla fine del Messiniano Inferiore. Risultano marcate le strutture di crescita indotte dalla deformazione tettonica che caratterizza la sequenza Serravalliano-Tortoniano e, procedendo verso il Messiniano inferiore, tale fenomeno assume sempre minore



importanza. L'anticlinale appare marcata nell'alto strutturale a causa di fenomeni di compattazione differenziale, tipici delle successioni messiniane in pianura padana. Tale fenomeno è il risultato della differenza di compattazione tra gli alti strutturali e i fianchi ed è dovuto alla presenza di materiale scarsamente litificato ad alta porosità.

Successivamente all'attività alpina Sud vergente si sono sviluppate le strutture superficiali compressionali appenniniche Nord vergenti. L'attività di tali thrust ciechi si è arrestata nel Pleistocene inferiore-medio oltre il quale non sono stati riscontrati segni di deformazione tettonica. L'assetto strutturale e morfologico finale è imputabile all'incuneamento di una struttura appenninica profonda che interessa i carbonati della serie Giurassico-Cretacea. Tale lineamento è stato riconosciuto da più autori nell'area di studio (Fig.7).

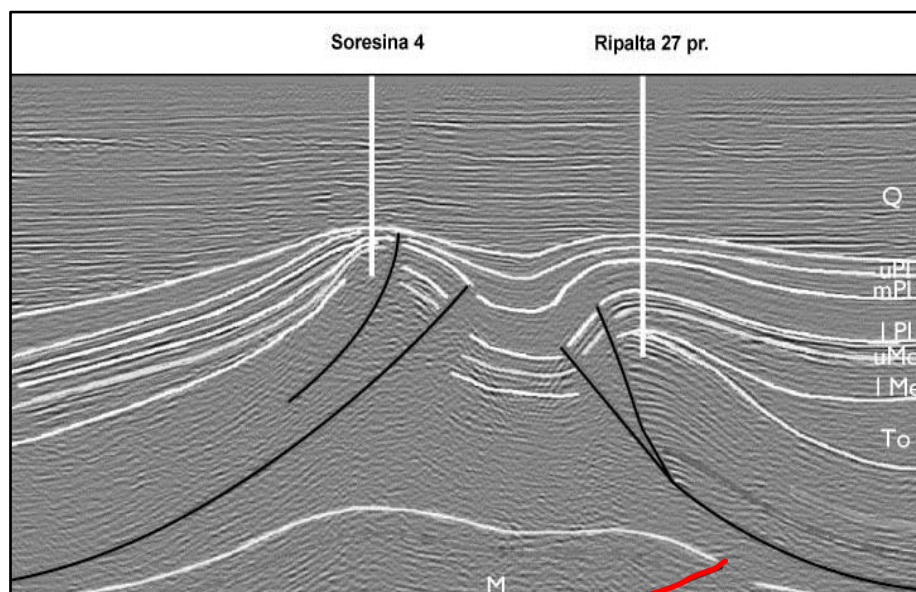


Figura 7 Riattivazione delle strutture centro padane. La struttura sudalpina di Ripalta è rideformata, in una struttura a triangolo, dall'incuneamento profondo di un thrust appenninico (linea rossa) coinvolgente la successione carbonatica mesozoica (modificata da Fantoni et Alii, 2004).

L'attività di questo thrust, osservabile nella sezione MRG-1 tra 3500-5000 msec, ha coinvolto nella zona di Bordolano la successione carbonatica mesozoica e le unità terrigene superiori arrivando a dislocare il top della Scaglia. E' probabile che le strutture alpine sovrastanti siano state riattivate in questa fase deformativa (Bersezio et alii, 2001; Bello & Fantoni, 2002). Tale riattivazione non ha prodotto grossi rigetti ed è terminata nel Pleistocene in quanto non sono presenti evidenze di deformazione oltre il prograding



quaternario. Tali depositi quaternari, in particolare quelli del Pleistocene medio-superiore, rappresentano degli accumuli a scala di bacino con geometrie lenticolari, facilmente interpretabili come colmamento delle depressioni residue del sistema bacinale pliocenico precedente. La loro distribuzione simmetrica rispetto agli alti strutturali confinati e l'assenza di apprezzabili e significative geometrie cuneiformi, documentano il forte rallentamento dell'attività tettonica durante questo periodo.

L'ultimo lineamento tettonico presente nella zona indagata risulta essere la struttura appenninica più meridionale della sezione MRG-1 (Fig.8). Si tratta di un sistema thrust-back thrust fuori sequenza sviluppatosi alle spalle del thrust appenninico più esterno. La posizione e l'attività tettonica di tale struttura testimonia una probabile migrazione della deformazione dal fronte esterno della catena verso i settori più interni, durante il rallentamento dell'attività tettonica delle strutture esterne su cui è collocato il campo di Bordolano.

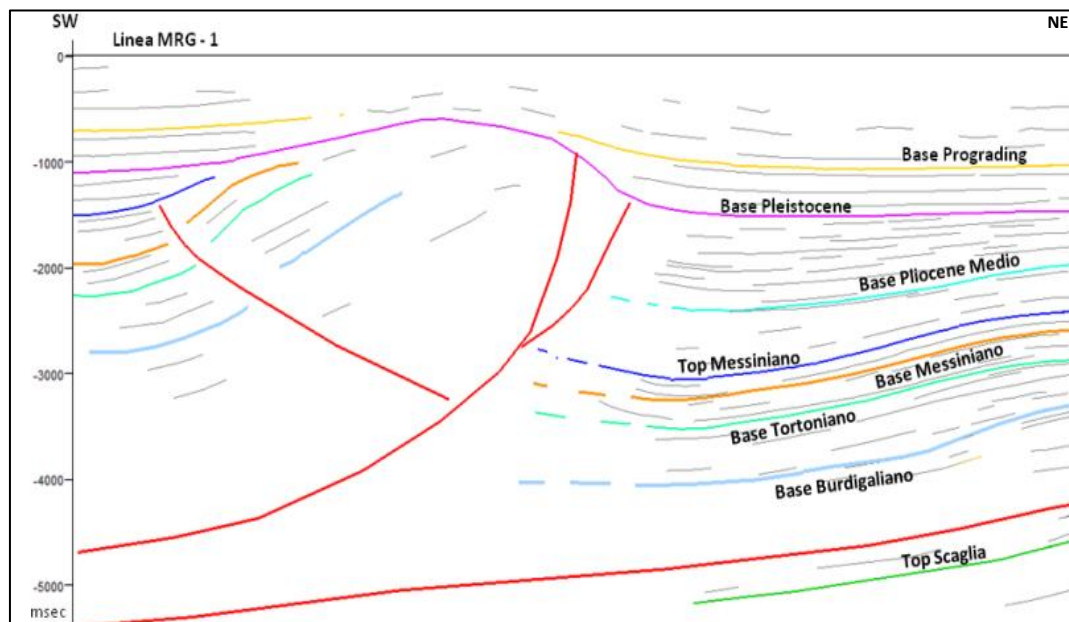


Figura 8 Dettaglio della linea MRG-1 che mostra il thrust appenninico fuori sequenza nel settore più interno della catena appenninica.



1.4 LINEA DEL TARO

In risposta alla richiesta ministeriale relativa alla definizione del sistema geostrutturale al contatto tra Alpi ed Appennini, viene illustrata nel seguente paragrafo l'assenza di continuità e correlazione strutturale tra il campo di Bordolano e la Linea del Taro (fig. 9).

I lineamenti trasversali alla catena appenninica, noti in letteratura come “lineamenti anti-appenninici” (sistemi di faglie a direzione trasversale NE-SW al fronte della catena Appenninica), prendono il nome dai corsi d'acqua su cui sono impostati: Taro, Enza, Secchia, Sillaro, Montone.

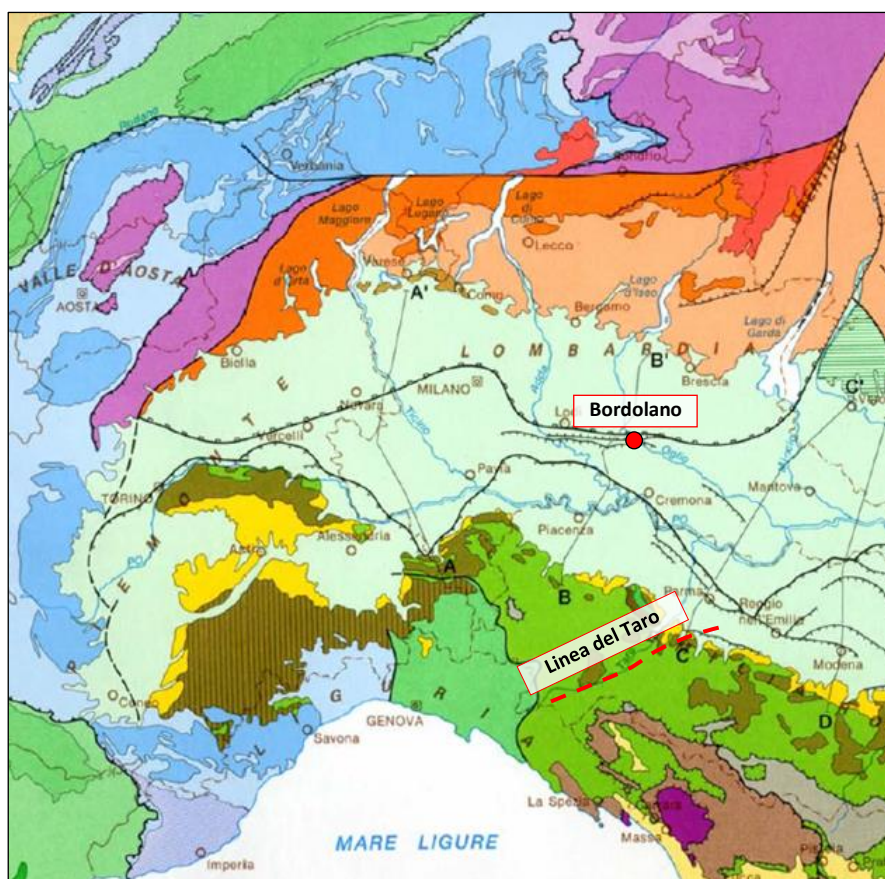


Figura 9 Carta geologico strutturale che mostra l'ubicazione del campo di Bordolano e della linea del Taro.

Risulta ancora oggi discusso da molti autori il ruolo, l'età di formazione e di riattivazione di tali strutture, la loro cinematica e l'eventuale prosecuzione sotto la Pianura Padana. Per esempio, *Sorgi et alii* (1998) attribuiscono ai lineamenti trasversali una cinematica trascorrente sinistra che, favorendo il movimento differenziato di segmenti della catena

durante l'orogenesi, avrebbe prodotto la distorsione del fronte esterno dell'Appennino, in origine quasi lineare (Fig. 10). Altri autori (*Boccaletti e Martelli, 2004; Boccaletti et alii, 2010*) suggeriscono invece che le linee anti-appenniniche siano fronti di sovrascorrimento capaci di accomodare il raccorciamento NE-SW indotto da una compressione parallela all'asse di massimo di stress.

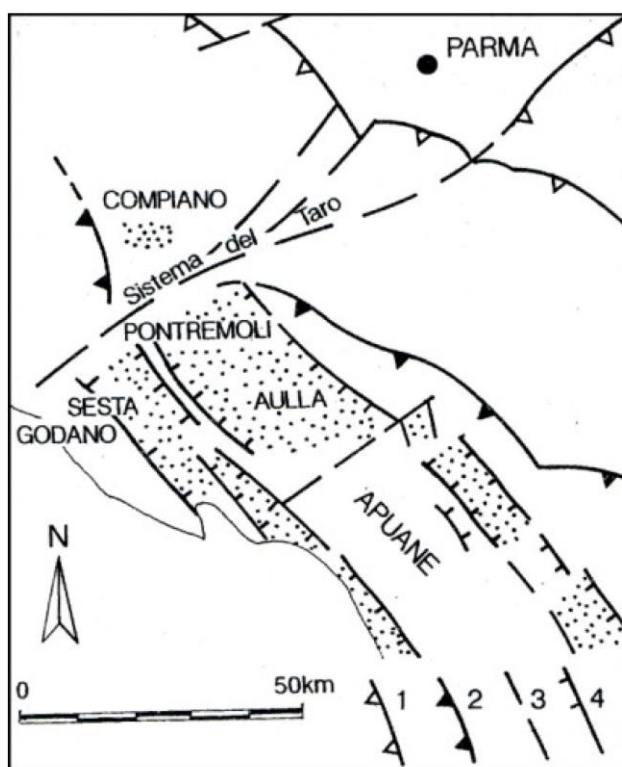


Figura 10 Assetto tettonico del Sistema Enza-Taro e dintorni (modificato da Bernini et alii, 1994).

A) Distribuzione dei bacini intermontani appenninici (puntinati) in rapporto al Sistema Enza-Taro.

1) Sovrascorrimenti padani 2) Fronte della Falda Toscana 3) Lineamenti trasversali 4) Faglie normali.

In questo contesto regionale il sistema Enza-Taro corrisponderebbe, in entrambi i casi, alla transizione tra i due principali archi strutturali appenninici, ovvero le Pieghe Emiliane e Ferraresi, costituendo una struttura di svincolo tra i due fronti sepolti. Sebbene il quadro dei lineamenti anti-appenninici (tra cui il sistema Enza-Taro) sia ancora piuttosto incerto, è opportuno mettere in evidenza che una eventuale prosecuzione nella Pianura Padana non intercetterebbe il limite Alpi-Appennini riscontrato nelle strutture profonde di Bordolano.



CAPITOLO 2

STUDIO DI GIACIMENTO

2.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO DEL GIACIMENTO

Il campo di Bordolano è situato sul margine meridionale dell'arco subalpino lombardo ad Ovest della monoclinale mantovana. Il reservoir è costituito da sedimenti torbiditici eterogenei arenaceo-conglomeratici di piattaforma (Formazione Sabbie di Caviaga) del Messiniano post-evaporitico. Questi ricoprono in para-conformità il substrato marnoso miocenico (Formazione Marne del Gallare) e localmente vi terminano in onlap.

La copertura è assicurata da 40-50 metri di peliti torbiditiche che segnano la fase di disattivazione dei sistemi che hanno generato il reservoir e da uno spessore di circa 450 metri di Argille del Santerno (Pliocene Medio -Superiore) come mostrato in figura 11.

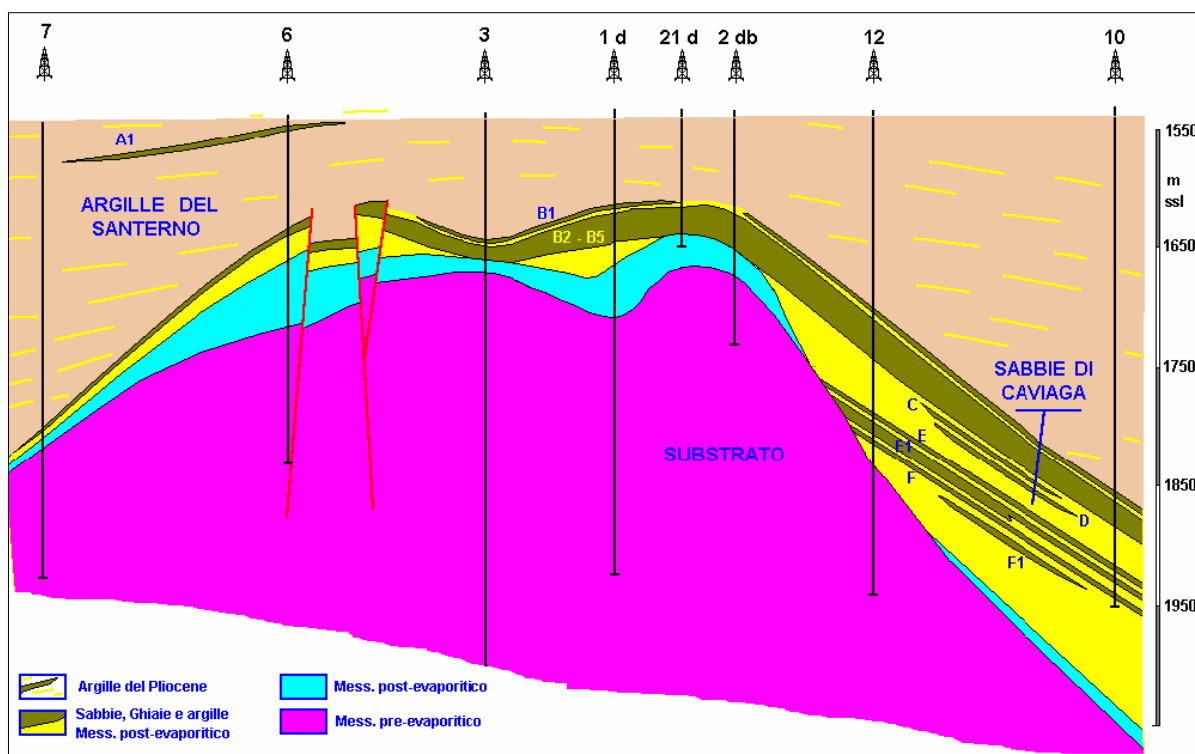


Figura 11 Sezione geologica schematica del giacimento di Bordolano.

La successione è chiusa dai depositi progradanti marino marginali-deltizi e dai sedimenti continentali di piana alluvionale quaternari (Fig. 12).



STOGIT

CONCESSIONE
BORDOLANO STOCCAGGIO

Studio Geostrutturale

GIAC

PAG. 20

DI 59

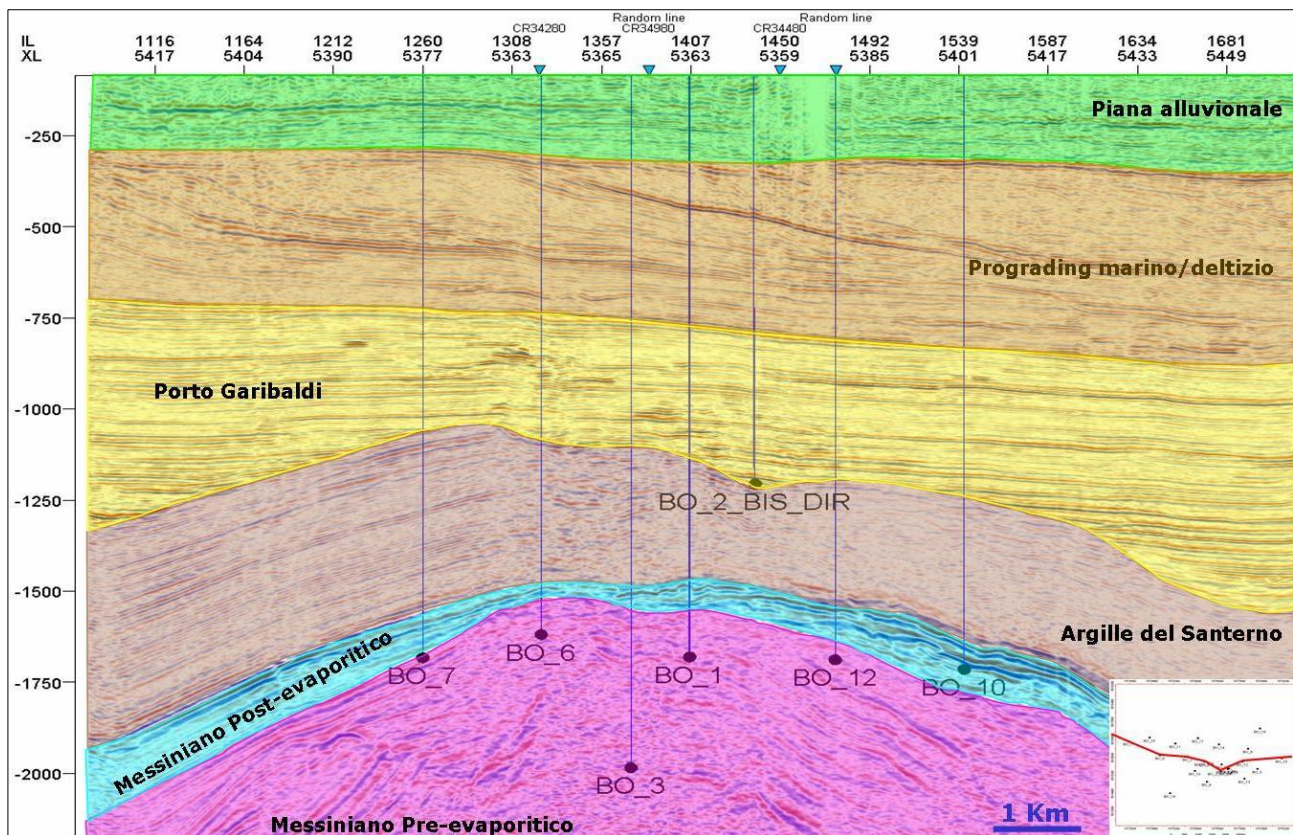


Figura 12 Sezione sismica schematica del campo.

I corpi costituenti il reservoir, Pool B (Fig. 13), sono ghiaie sabbioso-siltose, talvolta cementate, generate da debris-flow sottomarini che passano nella parte inferiore a sabbie da medie a fini, talvolta siltose e cementate, deposte da flussi torbidity più diluiti. Tali corpi sono separati da depositi pelitici (marne argilloso-siltose), anch'essi di origine torbidity. La sequenza di facies della successione registra un'evoluzione degli ambienti deposizionali a partire da un contesto di piattaforma silicoclastica esterna che viene successivamente annegata con il passaggio a depositi profondi di tipo gravitativo (lobi torbidity arenaceo conglomeratici). La disattivazione di questi vede l'instaurarsi di una deposizione torbidity pelitica di tipo bacinale.

La trappola strutturale è costituita da un'anticlinale Sud-vergente con il fianco meridionale scomposto da più faglie a vergenza sia appenninica che alpina. Tale struttura è il prodotto della sovrapposizione della fase tettonica appenninica Nord-vergente, di età medio-pliocenica, alle preesistenti strutture alpine Sud-vergenti, con conseguente riattivazione delle stesse strutture alpine.

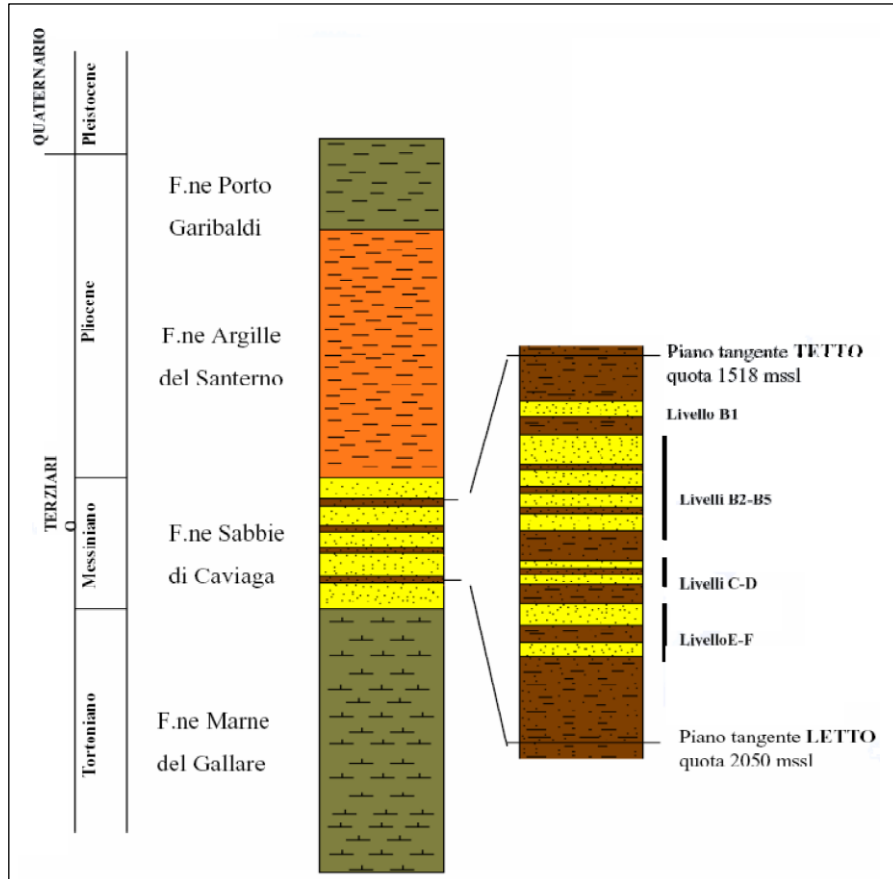



Figura 13 Schema litostratigrafico.

	CONCESSIONE BORDOLANO STOCCAGGIO Studio Geostrutturale	GIAC
		PAG. 22
		DI 59

2.3 NUOVI POZZI

Il progetto di conversione allo stoccaggio del giacimento di Bordolano si inserisce in un ampio piano di potenziamento dell'attività intrapreso da Stogit, basato anche su un incremento delle prestazioni di altri campi già in esercizio.

Il progetto è stato avviato nel corso del 2007 con l'acquisizione di un rilievo sismico 3D, la cui interpretazione ha fornito elementi di dettaglio per la corretta definizione dell'assetto geologico-strutturale del giacimento.

La programmazione dei pozzi da adibire allo sviluppo del giacimento allo stoccaggio si è basata su riscontri ricavati da simulazioni numeriche del Modello Dinamico 3D. I principali criteri di carattere tecnico che hanno guidato l'ubicazione dei pozzi in programma sono stati mirati ad ottimizzare l'esercizio del giacimento, in riferimento alle seguenti finalità:

- ricostituzione del giacimento con modalità di infilling omogenee e per quanto possibile uniformi, grazie ad una corretta distribuzione areale dei pozzi di sviluppo;
- ottimizzazione dello spiazzamento dell'acquifero durante la fase di ricostituzione, a seguito delle evidenze di risalita della tavola d'acqua verificata recentemente in alcuni pozzi;
- stabilizzazione del volume di Working Gas e riduzione del volume di acqua di strato producibile, con conseguente garanzia di una maggiore capacità produttiva del giacimento.

La perforazione dei pozzi Bordolano 22 Dir, Bordolano 23 Dir, Bordolano 24 Dir, Bordolano 25 Dir, Bordolano 26 Dir, Bordolano 27 Dir e Bordolano 28 Dir, rappresenta uno degli interventi progettati per avviare lo sviluppo dello stoccaggio del giacimento.

I pozzi Bordolano 22 Dir, Bordolano 23 Dir, Bordolano 24 Dir e Bordolano 25 Dir sono ubicati nel cluster B della concessione di stoccaggio, i pozzo Bordolano 26 Dir, Bordolano 27 Dir e Bordolano 28 Dir, nel cluster A.

L'ubicazione e la traiettoria dei pozzi sono state definite sulla base di uno studio di prefattibilità operativo mirato all'individuazione delle migliori soluzioni tecnico-economiche per le attività di perforazione e completamento (Fig. 14).

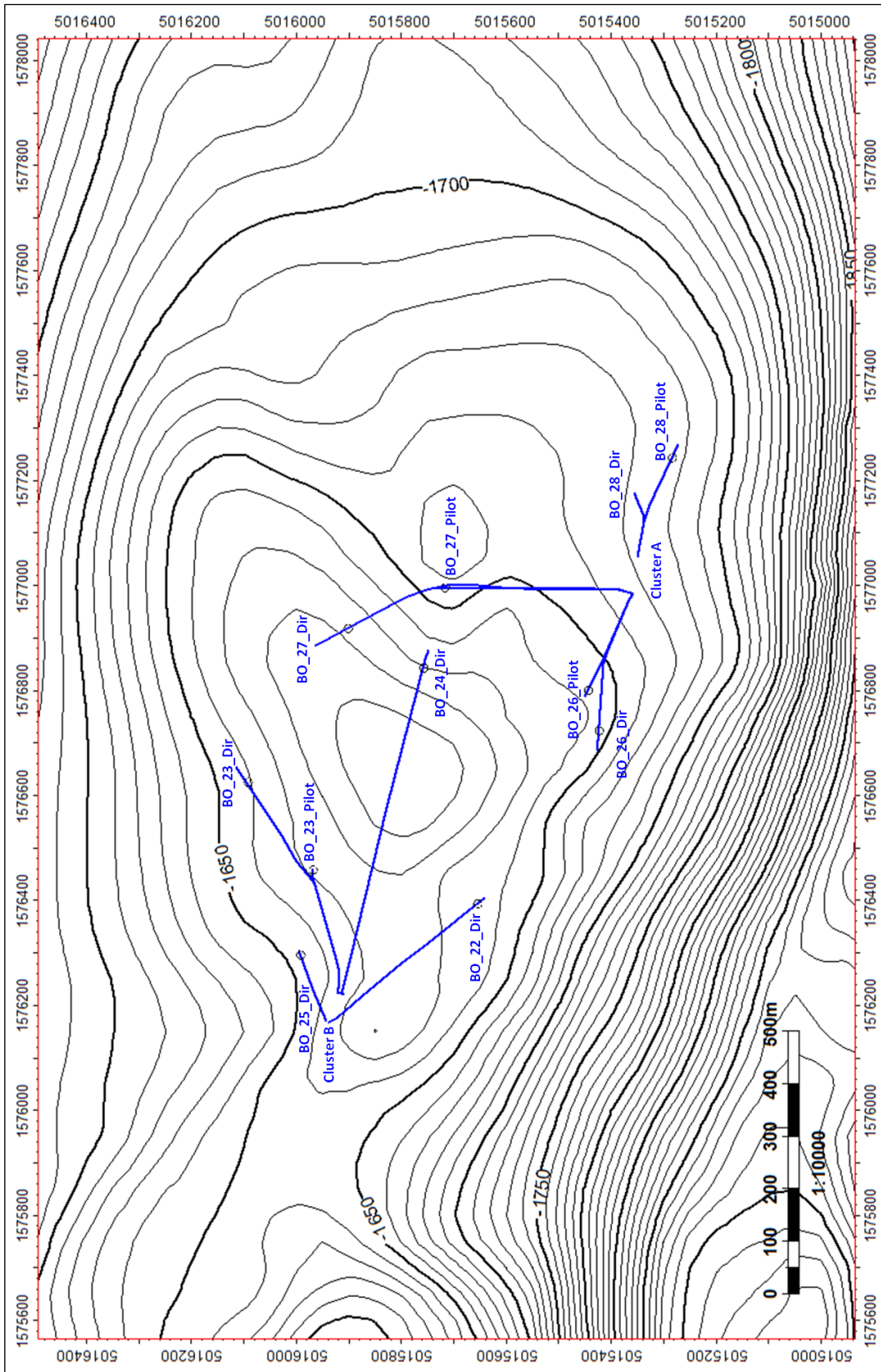



Figura 14 Ubicazione pozzi cluster A e cluster B.

	CONCESSIONE BORDOLANO STOCCAGGIO Studio Geostrutturale	GIAC
		PAG. 24
		DI 59

I tagli stratigrafici e i relativi spessori del Pool B, riscontrati a seguito delle nuove perforazioni, sono riassunti in *Tabella 1*.

Complessivamente lo spessore del Pool B varia da un minimo di 29,5 m e un massimo di 47 m circa e in tutti i pozzi è caratterizzato da:

- livello sommitale prevalentemente ghiaioso con uno spessore variabile da 3 m a 5 m circa,
- interlayer argilloso-siltoso con uno spessore compreso tra 3 m e 5 m circa,
- corpo sabbioso-ghiaioso con uno spessore compreso tra 15 m e 20 m circa,
- corpo sabbioso-arenaceo basale con uno spessore variabile da 10 m a 15 m circa.

Il composite del pozzo Bordolano 24 Dir (Fig. 15), mostra nel dettaglio quanto appena descritto.



CLUSTER B	BORDOLANO 22 DIR			BORDOLANO 23 PILOT HOLE		
TR (m l.m.)	71			71		
	MD	TVD	TVDSS	MD	TVD	TVDSS
Top Argille del Santerno	1270,0	1247,0	1175,8	1250,0	1222,2	1151,2
Top Pool B	1760,0	1706,6	1635,6	1732,2	1699,7	1628,7
Bottom Pool B	1801,5	1745,9	1674,9	1779,0	1746,5	1675,5
Spessore			39,3			46,8
CLUSTER B	BORDOLANO 23 DIR			BORDOLANO 24 DIR		
TR (m l.m.)	71			71		
	MD	TVD	TVDSS	MD	TVD	TVDSS
Top Argille del Santerno	1250,0	1222,2	1151,2	1345,0	1255,1	1184,1
Top Pool B	1802,5	1712,7	1641,7	1853,0	1698,6	1627,6
Bottom Pool B	1844,5	1746,3	1675,3	1905,5	1745,0	1674,0
Spessore			33,6			46,4
CLUSTER B	BORDOLANO 25 DIR					
TR (m l.m.)	71					
	MD	TVD	TVDSS			
Top Argille del Santerno	1250,0	1246,1	1175,1			
Top Pool B	1729,0	1717,5	1646,5			
Bottom Pool B	1768,0	1756,0	1685,0			
Spessore			38,5			
CLUSTER A	BORDOLANO 26 PILOT HOLE			BORDOLANO 26 DIR		
TR (m l.m.)	72,3			72,3		
	MD	TVD	TVDSS	MD	TVD	TVDSS
Top Argille del Santerno	1350,0	1339,8	1267,5	1350,0	1339,8	1267,5
Top Pool B	1737,5	1713,9	1641,6	1766,0	1716,6	1644,3
Bottom Pool B	1776,0	1751,1	1678,8	1811,0	1753,9	1681,6
Spessore			37,2			37,3
CLUSTER A	BORDOLANO 27 PILOT HOLE			BORDOLANO 27 DIR		
TR (m l.m.)	72,3			72,3		
	MD	TVD	TVDSS	MD	TVD	TVDSS
Top Argille del Santerno	1335,0	1302,5	1230,2	1335,0	1302,5	1230,2
Top Pool B	1797,6	1731,8	1659,5	1885,0	1694,5	1622,2
Bottom Pool B	1829,0	1761,3	1689,0	1949,0	1733,2	1660,9
Spessore			29,5			38,7
CLUSTER A	BORDOLANO 28 PILOT HOLE			BORDOLANO 28 DIR		
TR (m l.m.)	72,3			72,3		
	MD	TVD	TVDSS	MD	TVD	TVDSS
Top Argille del Santerno	1395,0	1390,0	1317,7	1395,0	1390,0	1317,7
Top Pool B	1784,0	1748,8	1676,5	1755,0	1743,4	1671,1
Bottom Pool B	1839,0	1795,8	1723,5	1798,5	1786,1	1713,8
Spessore			47,0			42,7

Tabella 1 Tagli stratigrafici e spessore Pool B nei nuovi pozzi Bordolano cluster A e cluster B.



STOGIT

CONCESSIONE BORDOLANO STOCCAGGIO

Studio Geostrutturale

GIAC

PAG. 26

DI 59

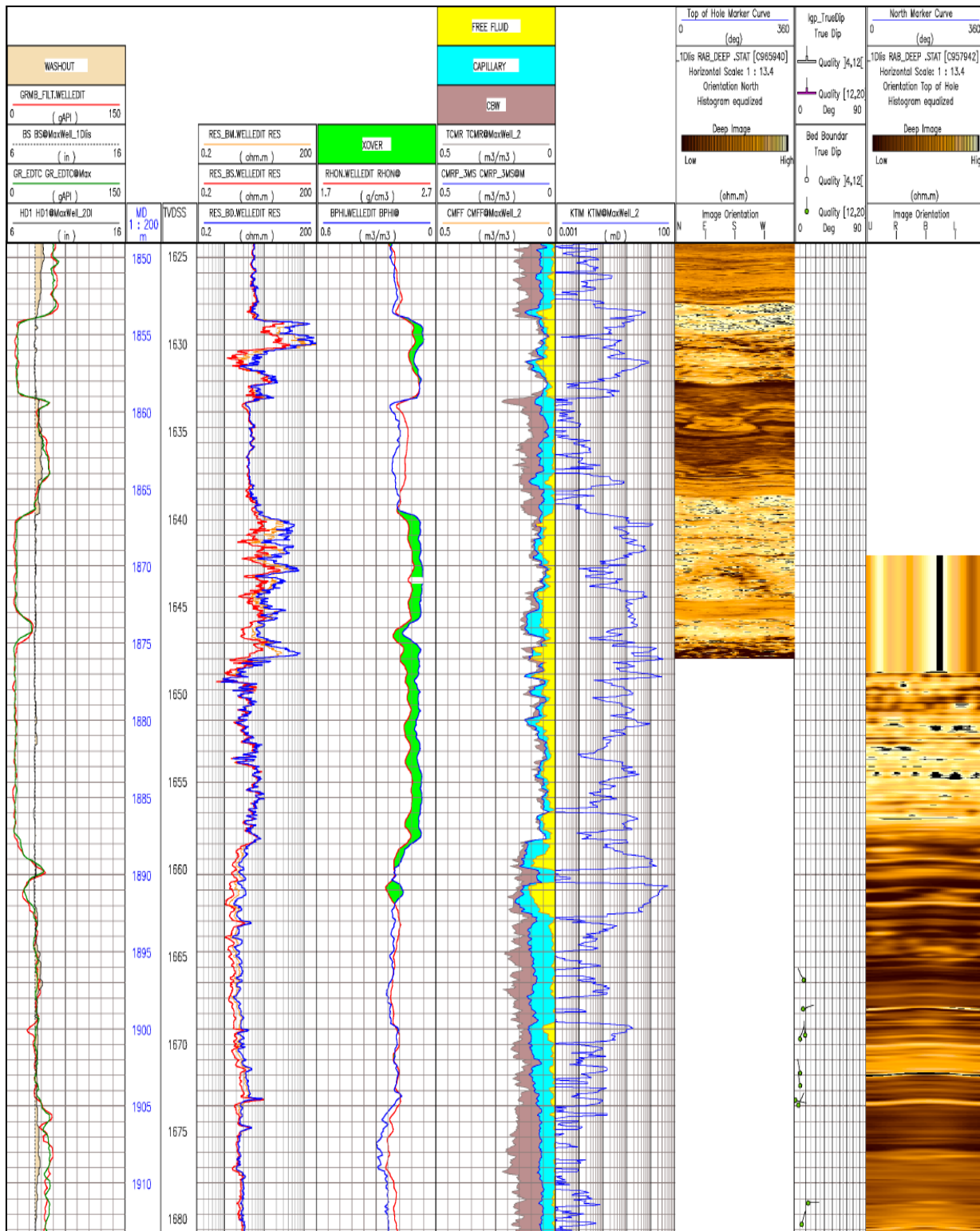


Figura 15 Composite pozzo Bordolano 24 Dir.



STOGIT

CONCESSIONE
BORDOLANO STOCCAGGIO

Studio Geostrutturale

GIAC

PAG. 27

DI 59

2.4 SISMOGRAMMA SINTETICO E WELL TIE

A seguito delle nuove perforazioni effettuate nel campo di Bordolano (pozzi Bordolano 22 Dir – 28 Dir) è stato effettuato il tie sismica-pozzo al fine di validare l'interpretazione sismica effettuata nei precedenti studi e per poter ampliare le informazioni inerenti alla caratterizzazione acustica del giacimento.

Nella *Tabella 2* sono riportati i parametri principali generali del volume sismico 3D calcolati in base ai parametri derivati dall'estrazione di un'ondina statistica (Fig. 16) nell'intervallo 1000ms – 1700ms.

Periodo (T) ms		20	
Frequenza dominante (fd) Hz	1/T	50	
Frequenza di picco (fp) Hz	Fd/1.3	38.4	
Spessore tuning (tw) ms	1/(2,6fp)	10	
Risoluzione verticale (tw) ms	1/(3fp)	8.68	
Risoluzione media verticale (Dz) m	Dz=v/5.2fp	15.17	Per v=3030 m/s Top B1

Tabella 2 Parametri principali del volume sismico 3D ricavati dall'ondina statistica.

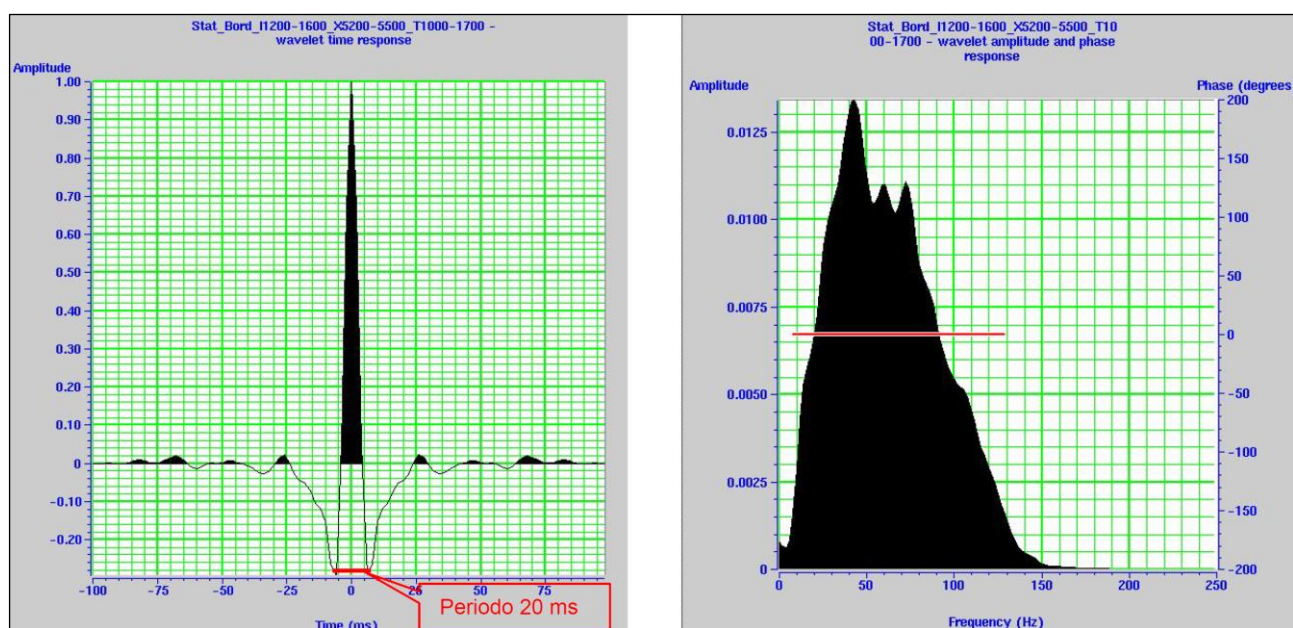


Figura 16 Ondina statistica e spettro di frequenza per l'intervallo 1000-1700 ms.



A causa del contenuto in frequenza più elevato nella sequenza più superficiale (da circa 1000ms a 1400 ms) e più modesto a livello del target (Pool B), si è deciso di utilizzare un'ondina sintetica (Ricker 35Hz) che meglio rappresentasse lo spettro di frequenze al target. In questo modo si è evitato di introdurre una serie di modulazioni nel sismogramma sintetico che non sono reali o rappresentative della sequenza indagata. In *Tabella 3* sono riportati i parametri principali del volume sismico 3D, calcolati in base all'ondina Ricker 35Hz (Fig. 17) utilizzata per lo studio.

Periodo (T) ms		28.5	
Frequenza dominante (fd) Hz	$1/T$	35	
Frequenza di picco (fp) Hz	$Fd/1.3$	26.92	
Spessore tuning (tw) ms	$1/(2,6fp)$	14.28	
Risoluzione verticale (tw) ms	$1/(3fp)$	12.38	
Risoluzione media verticale (Dz) m	$Dz=v/5.2fp$	21.64	Per $v=3030$ m/s Top B1

Tabella 3 Parametri principali del volume sismico 3D ricavati dall'ondina Ricker 35 Hz.

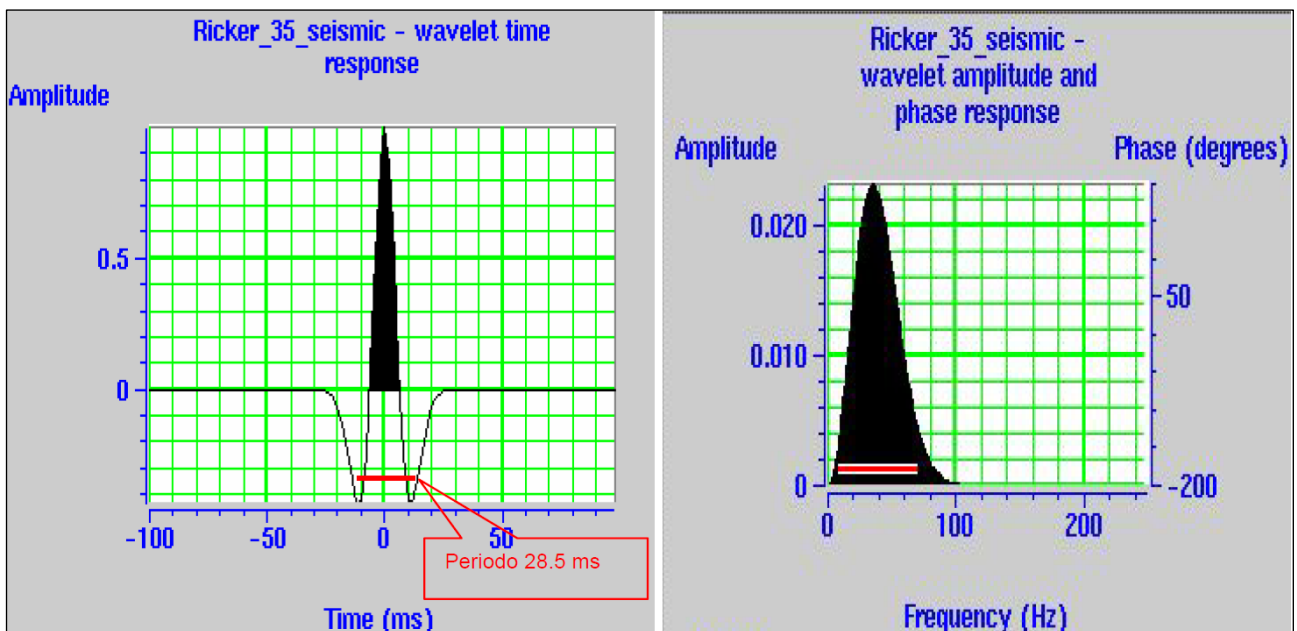



Figura 17 Ondina Ricker 35 Hz e spettro di frequenza.

Sulle superfici interpretate del top e del bottom della Formazione "Sabbie di Caviaga" (Top e bottom Pool B) è stato effettuato il tie con il dato di pozzo e la caratterizzazione acustica

	CONCESSIONE BORDOLANO STOCCAGGIO Studio Geostrutturale	GIAC
		PAG. 29
		DI 59

di giacimento. Il corretto posizionamento in tempi sul volume sismico 3D dei principali marker stratigrafici, è stato effettuato grazie al riconoscimento sul volume stesso del top della Formazione Sabbie di Caviaga (Top Pool B), tale marker sismico è stato utilizzato per l'aggancio assoluto dei tempi per i pozzi Bordolano 4 Dir A e 21 Dir nei precedenti studi dell'area (S. Martinelli et alii, *Revisione sismica campo di Bordolano, Rapporto interno Eni 2008*). L'analisi del comportamento acustico delle Sabbie di Caviaga effettuata in tali studi, ha mostrato che:


- **Livello Top Pool B:** il passaggio tra le Argille del Santerno e i corpi sabbiosi della F.ne Caviaga è caratterizzato da un aumento di impedenza acustica e il segnale sismico che caratterizza tale superficie è una gola di forte ampiezza (polarità Europea o sismica, Fig. 18).
- **Livello Bottom Pool B:** il passaggio tra le Sabbie di Caviaga e le sottostanti Marne di Gallare è caratterizzato da una diminuzione di impedenza acustica e, di conseguenza, il segnale sismico associato a tale superficie è un picco (polarità Europea o sismica) di forte ampiezza dovuta al significativo contrasto di impedenza acustica.

Tuttavia dato il ridotto spessore del *reservoir* (prossimo al limite di risoluzione sismica verticale) e le frequenze ad esso associate, i due marker acustici costituiscono un unico loop sismico (gola-picco). Per tale motivo la base del *reservoir* (Bottom Pool B) risulta essere localmente in interferenza con il top (più marcato – Top Pool B) e per questo potrebbe essere mascherata più o meno intensamente dalla gola associata al top.

Le figure 19-22 mostrano le correlazioni sismica-pozzo e le Inline-Xline passanti per le tracce dei due pozzi (Bordolano 4 Dir A e 21 Dir) con la relativa interpretazione (S. Martinelli et alii, *Revisione sismica campo di Bordolano, Rapporto interno Eni 2008*).

Il tie sismica-pozzo effettuato in questo studio sui nuovi pozzi, ha confermato la corretta calibrazione in tempi e le caratteristiche acustiche del livello di stoccaggio. Sui pozzi Bordolano 23 Pilot, 26 Pilot, 27 Pilot, 28 Pilot è stato possibile elaborare i sismogrammi sintetici grazie alla disponibilità dei log sonici e di densità in pozzo (Fig. 23-28).

Tali log, necessari per il calcolo dell'impedenza acustica, hanno permesso di ricavare la traccia di riflettività. Quest'ultima, convoluta con l'ondina Ricker 35 Hz precedentemente

	CONCESSIONE BORDOLANO STOCCAGGIO Studio Geostrutturale	GIAC
		PAG. 30
		DI 59

descritta, ha consentito la generazione dei sismogrammi sintetici e la correlazione con il dato sismico. Per i pozzi 26 Pilot e 28 Pilot la disponibilità dei log di pozzo è limitata soltanto al livello del reservoir, per tale motivo i sismogrammi sintetici generati sono di spessore ridotto.

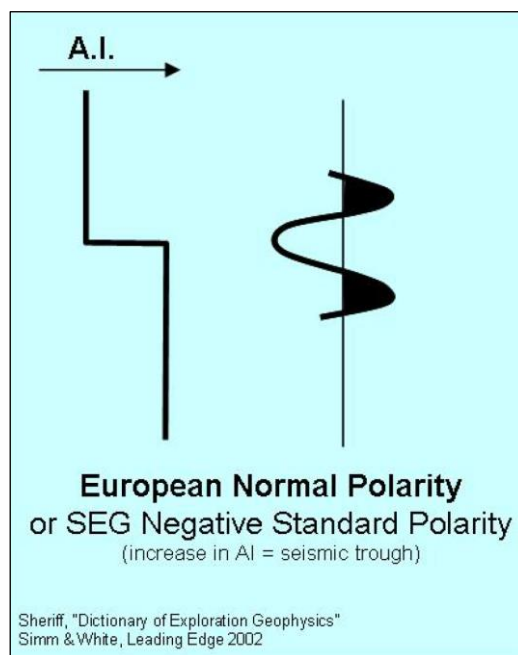


Figura 18 Schema polarità sismica.



STOGIT

CONCESSIONE
BORDOLANO STOCCAGGIO

Studio Geostrutturale

GIAC

PAG. 31

DI 59

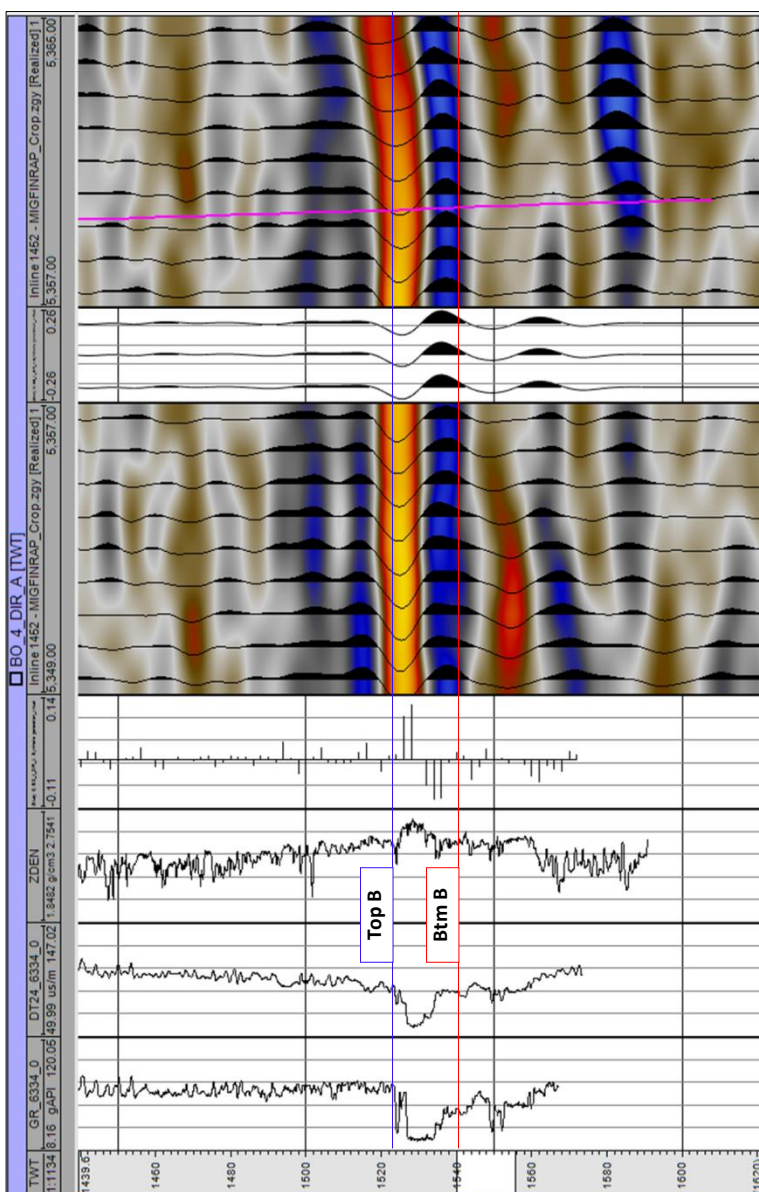


Figura 19 TIE sismica pozzo Bordo 4 Dir A.

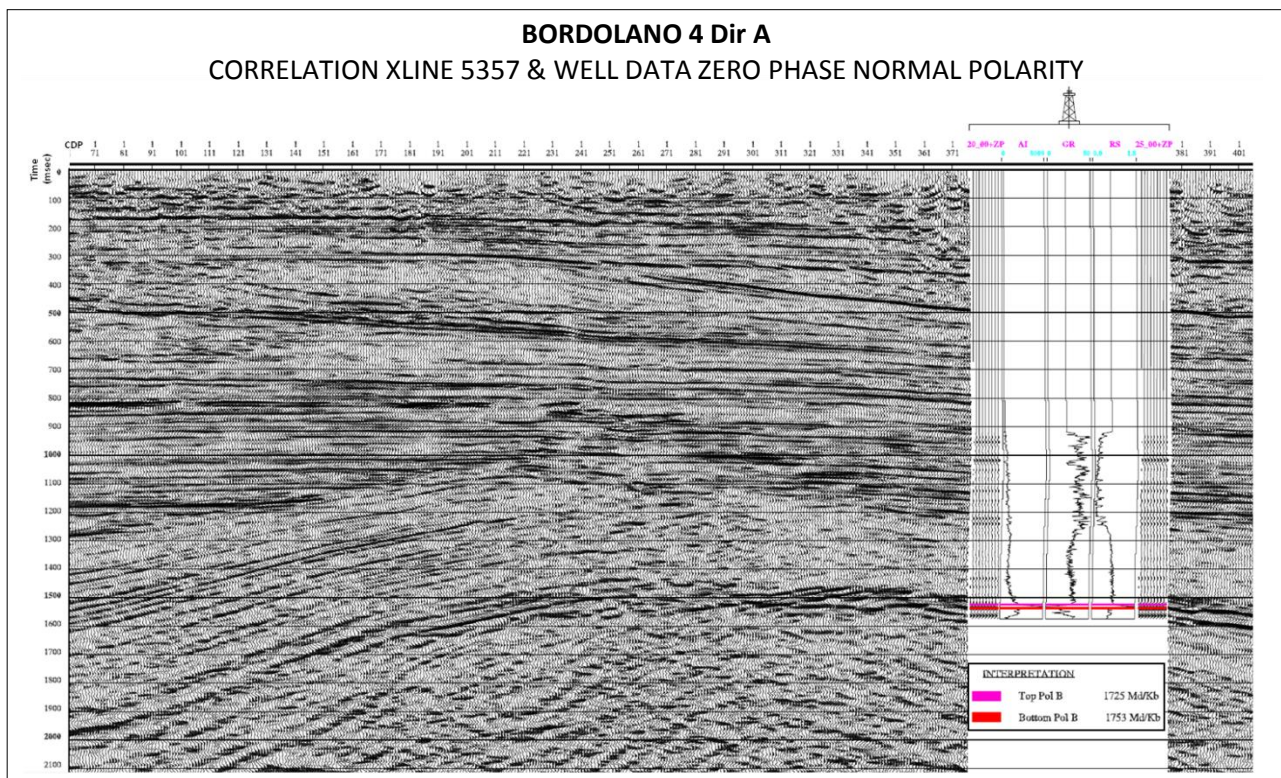
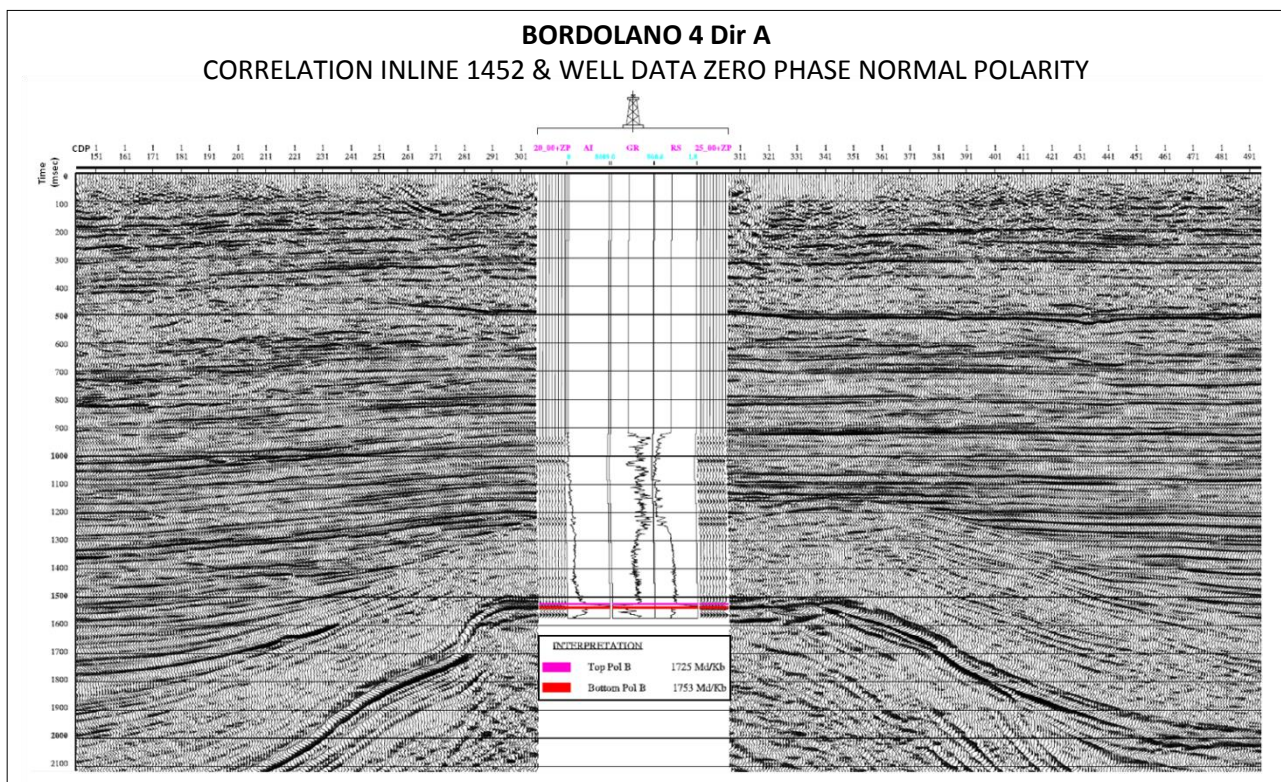


Figura 20 Tie sismica pozzo Inline-Xline Bordolano 4 Dir A.



STOGIT

CONCESSIONE
BORDOLANO STOCCAGGIO

Studio Geostrutturale

GIAC

PAG. 33

DI 59

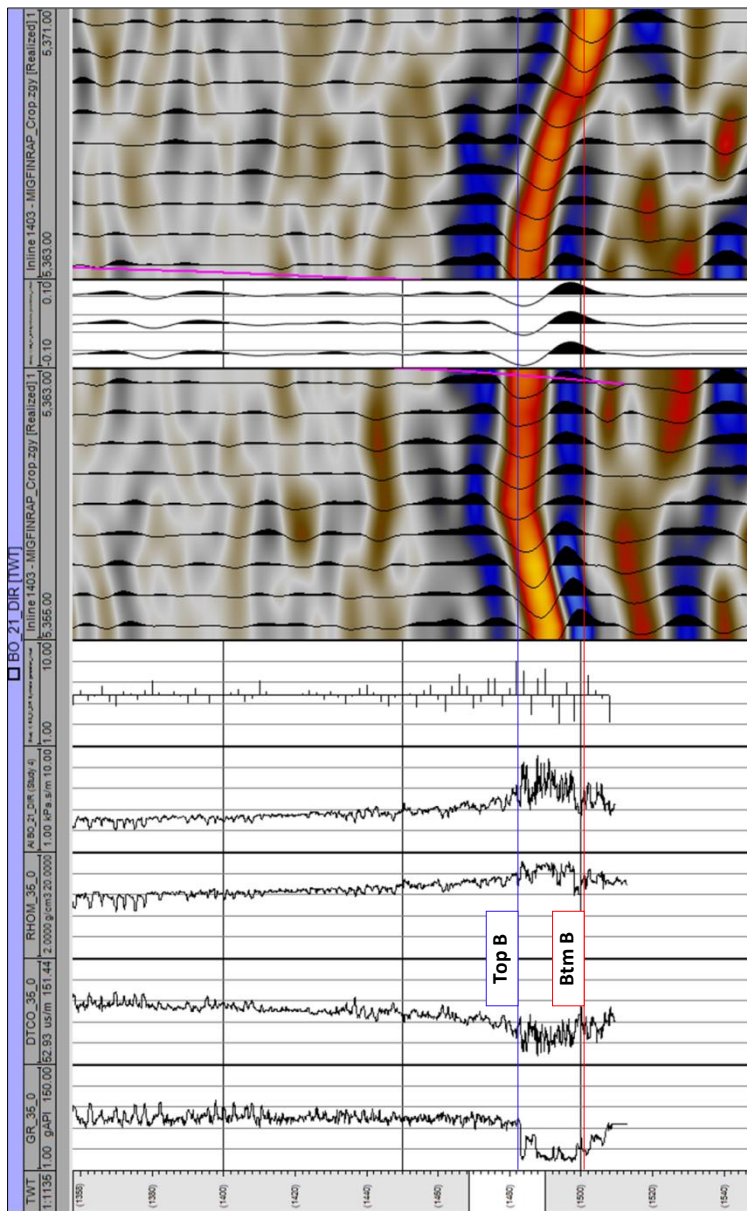


Figura 21 TIE sismica pozzo Bordolano 21 Dir.

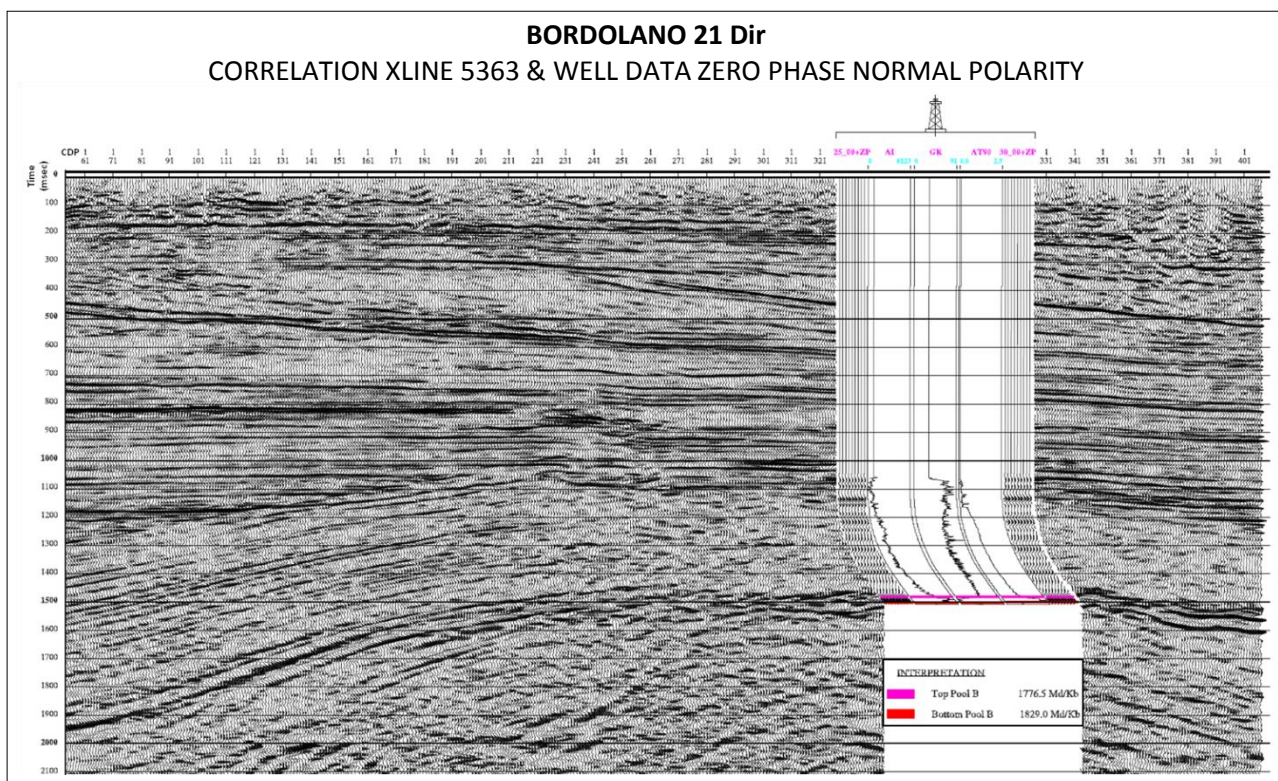
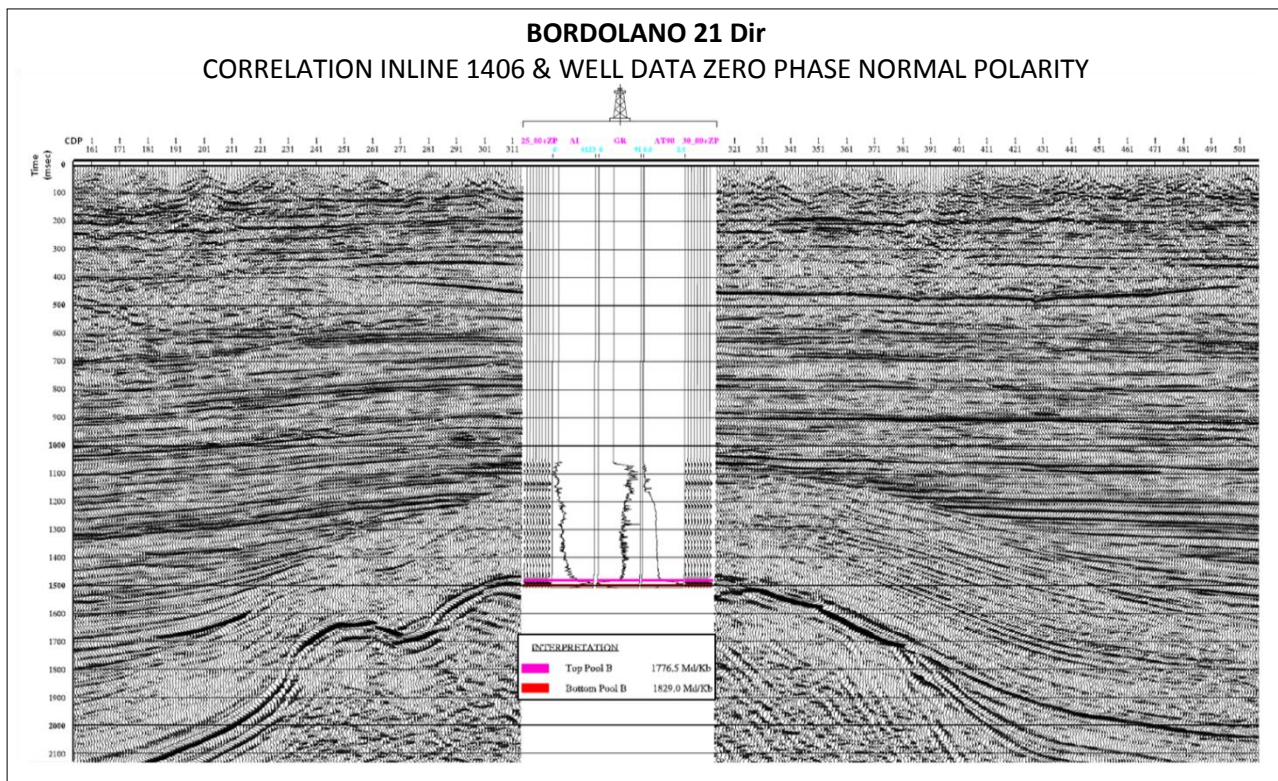


Figura 22 Tie sismica pozzo Inline-Xline Bordolano 21 Dir.



STOGIT

CONCESSIONE
BORDOLANO STOCCAGGIO

Studio Geostrutturale

GIAC

PAG. 35

DI 59

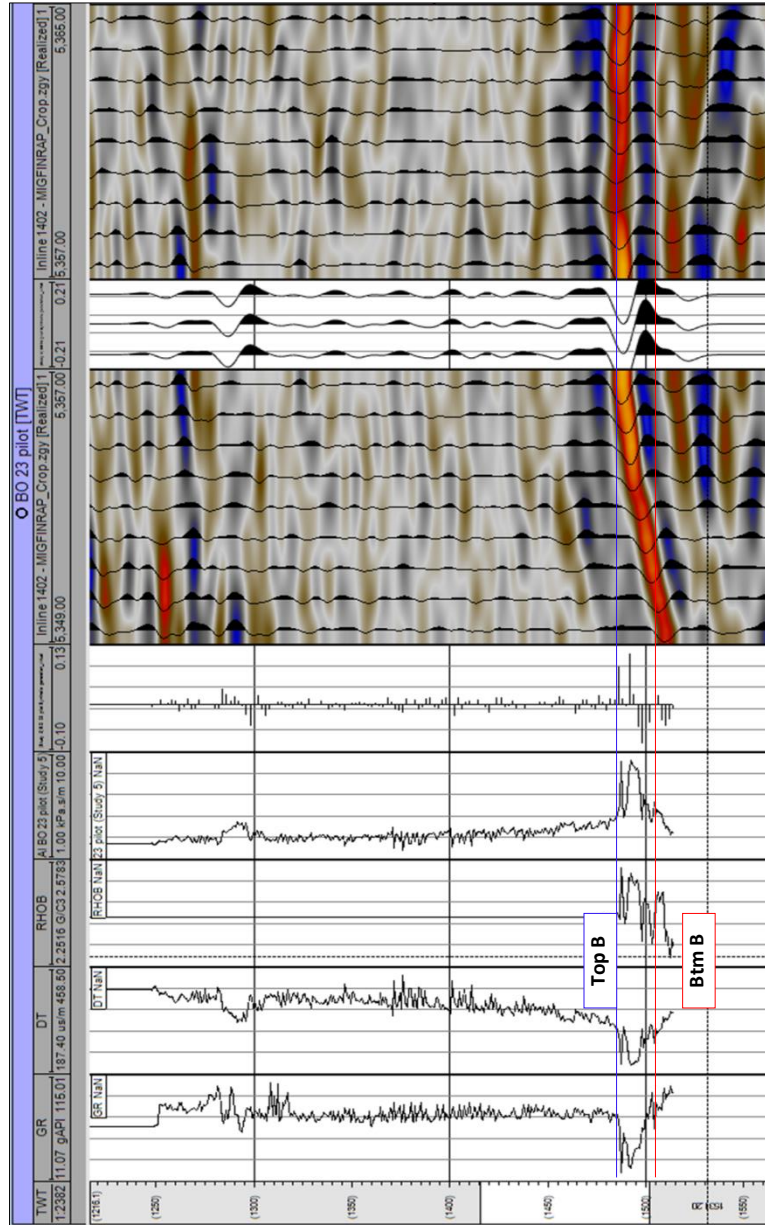


Figura 23 TIE sismica pozzo Bordolano 23 Pilot.

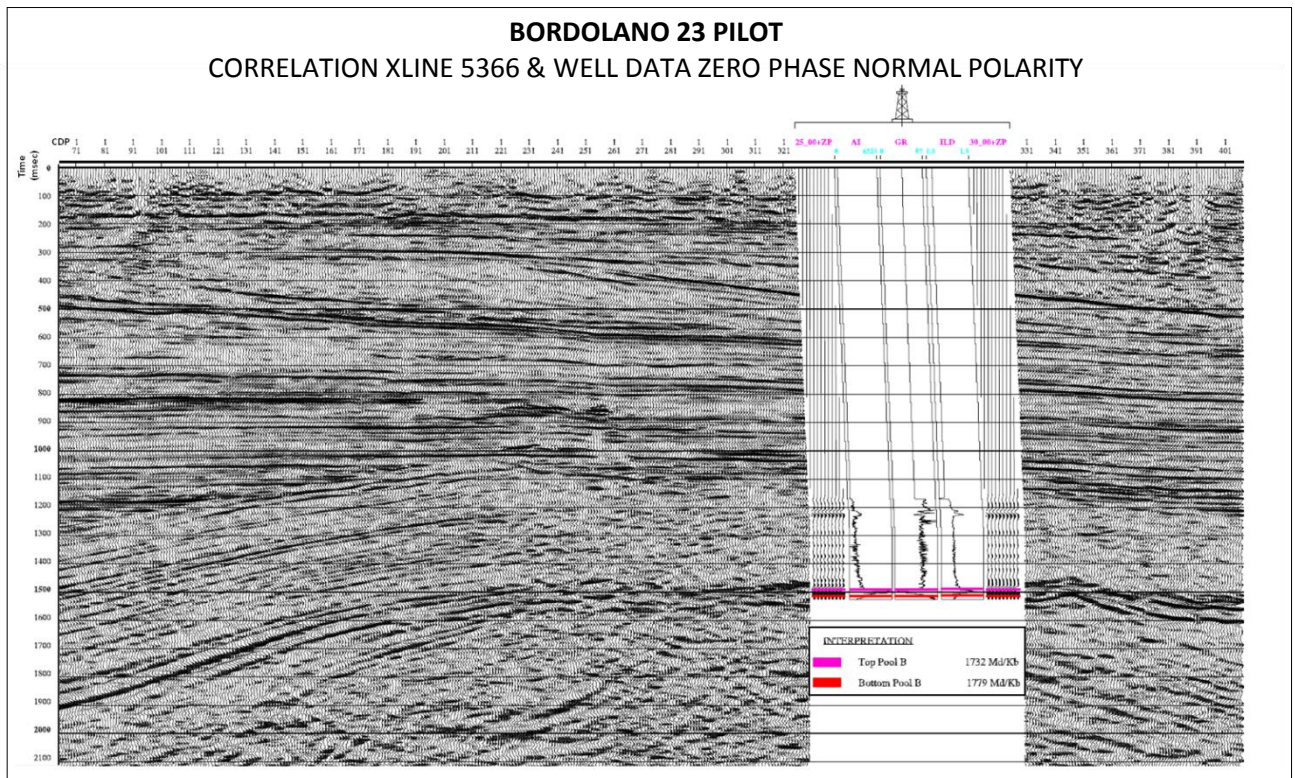
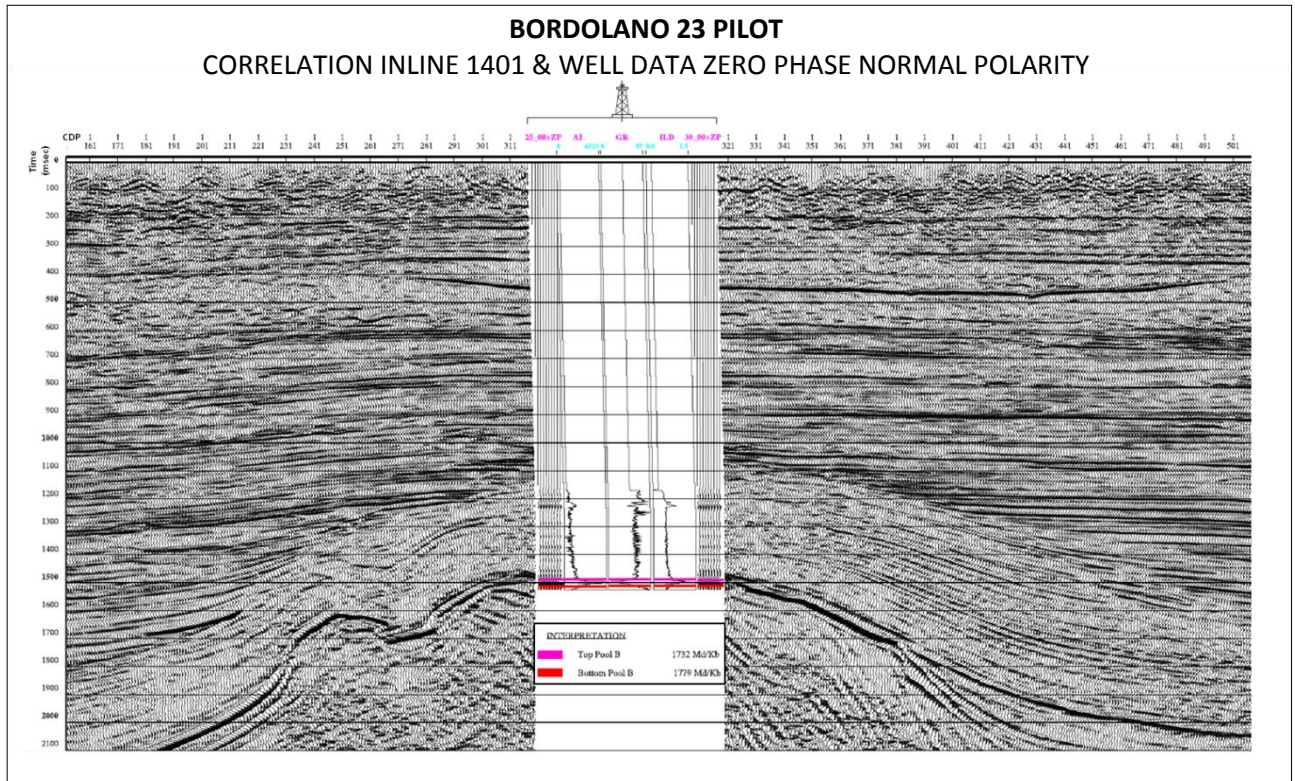


Figura 24 Tie sismica pozzo Inline-Xline Bordolano 23 Pilot.



STOGIT

CONCESSIONE
BORDOLANO STOCCAGGIO

Studio Geostrutturale

GIAC

PAG. 37

DI 59

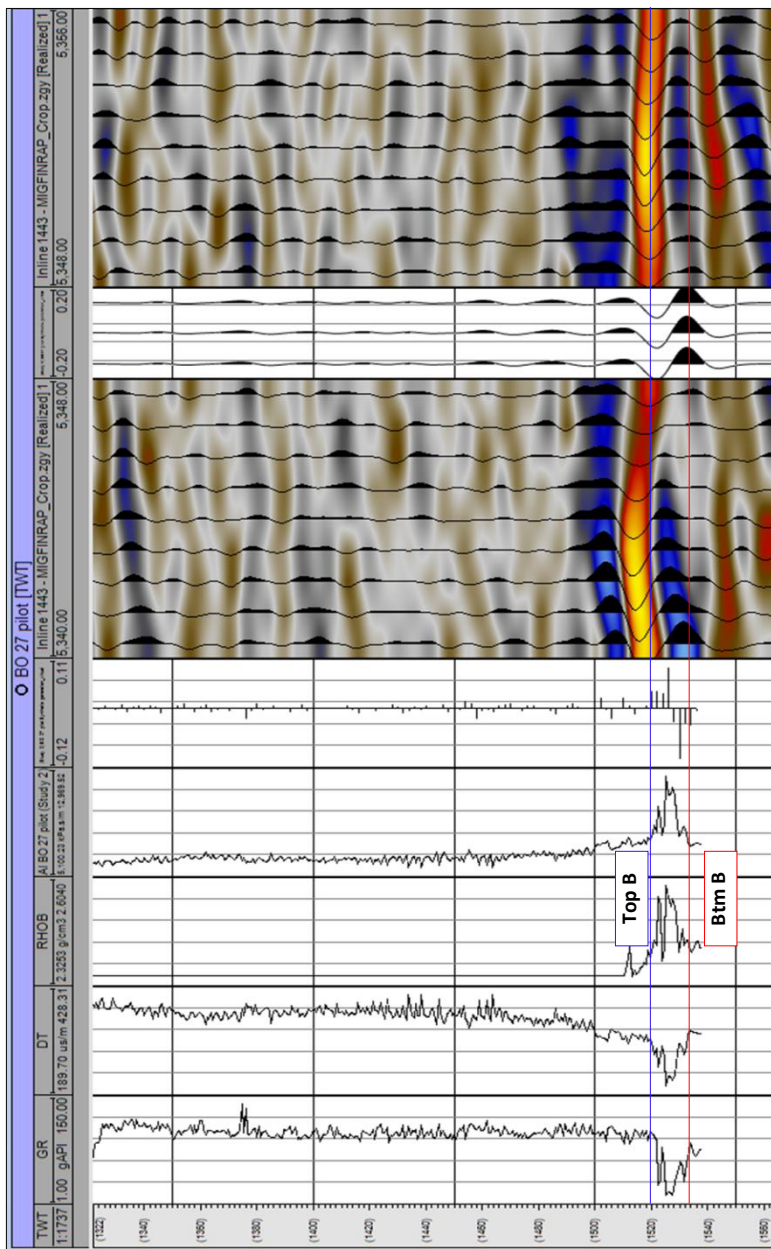


Figura 25 TIE sismica pozzo Bordolano 27 Pilot.

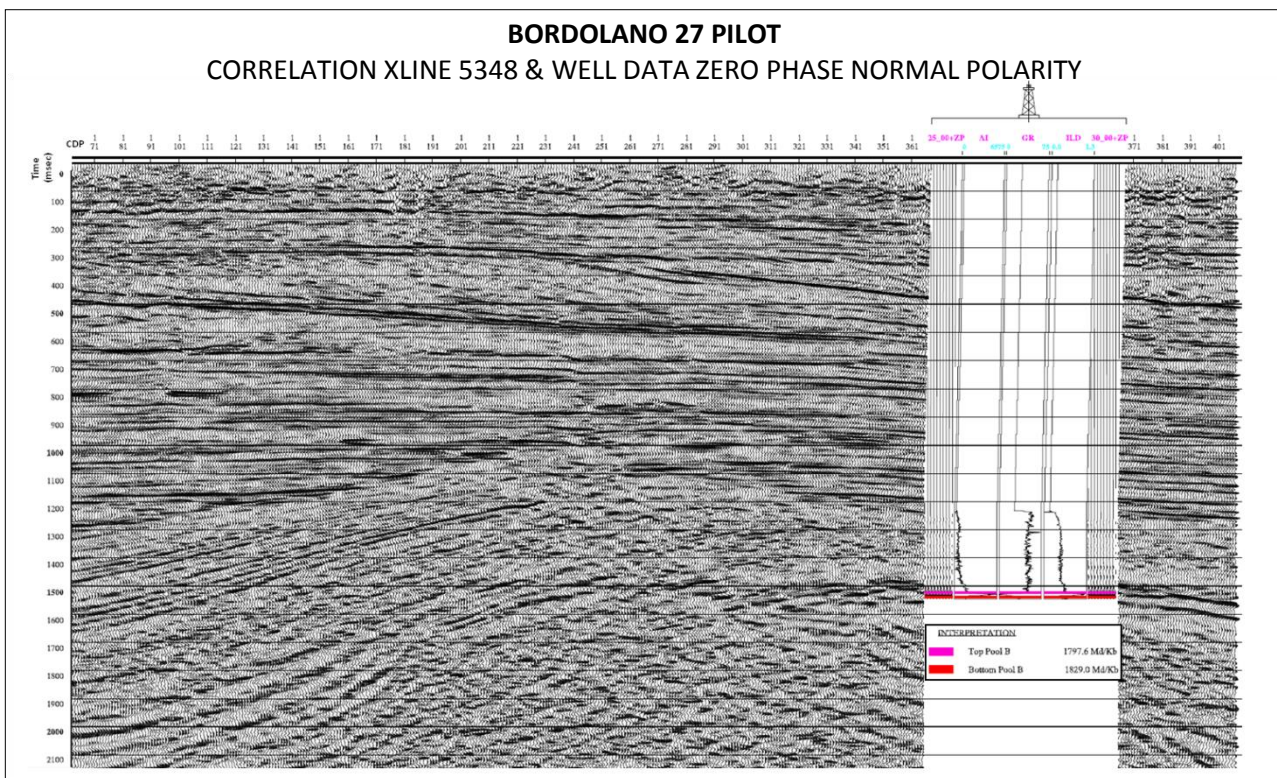
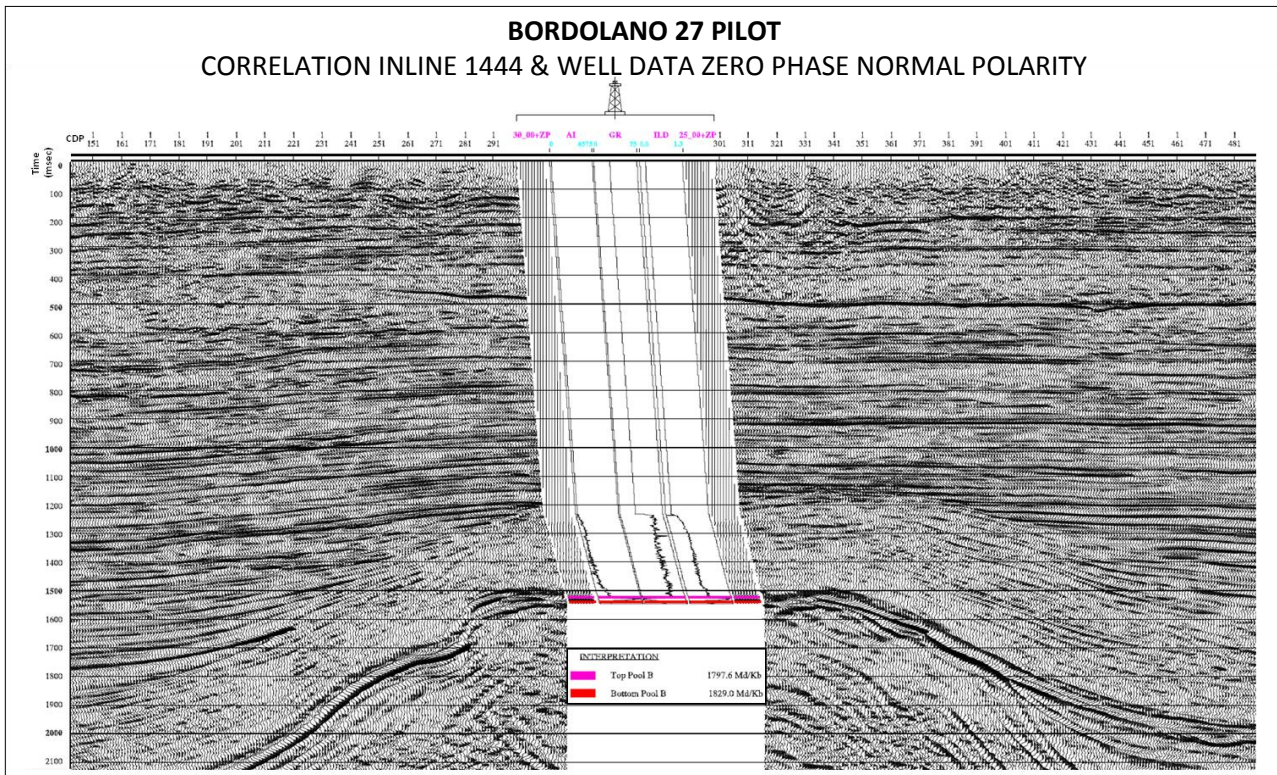


Figura 26 Tie sismica pozzo Inline-Xline Bordolano 27 Pilot.

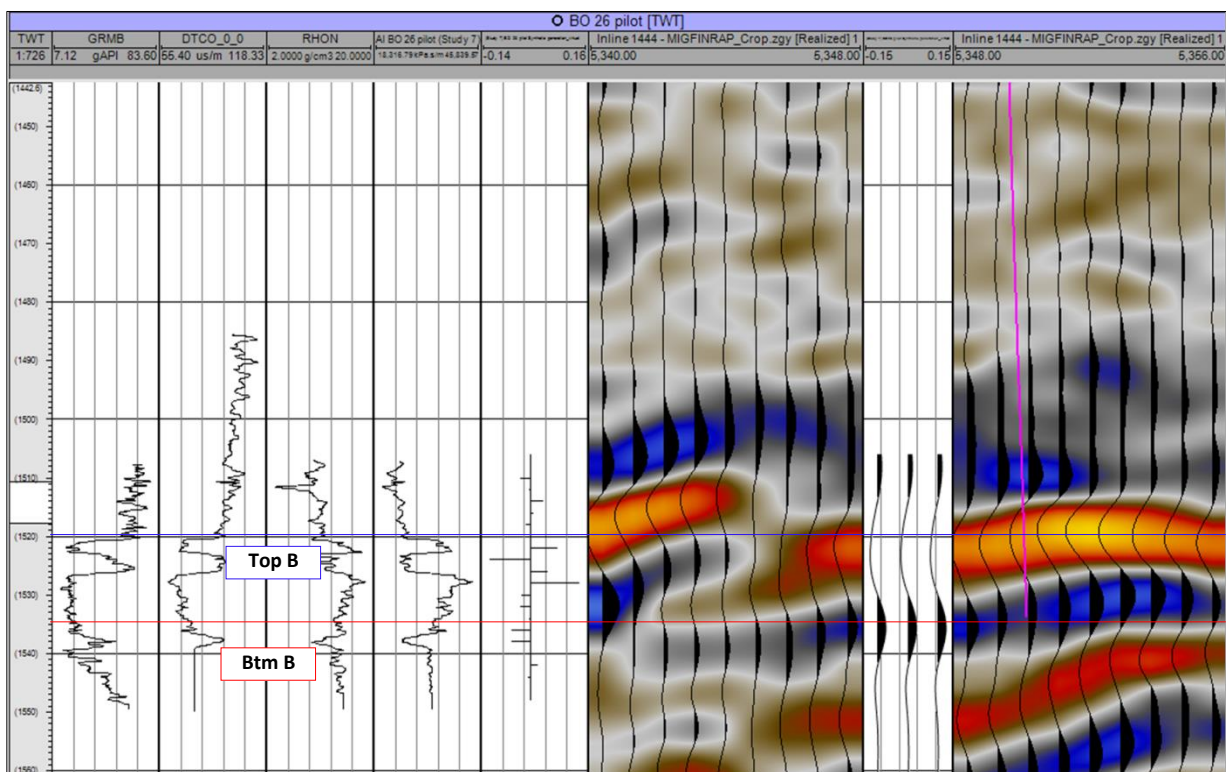


Figura 27 TIE sismica pozzo Bordolano 26 Pilot.

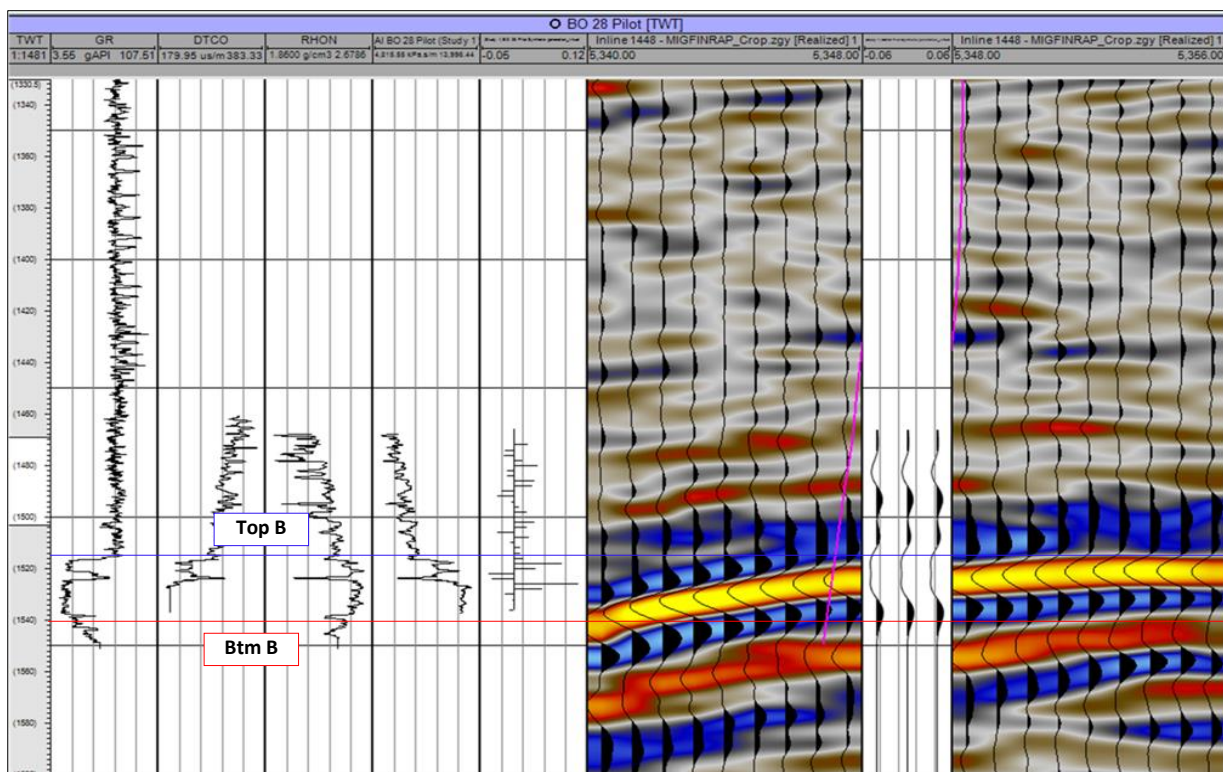


Figura 28 TIE sismica pozzo Bordolano 28 Pilot.



2.5 INTERPRETAZIONE SISMICA DEL GIACIMENTO

Seguendo il modello acustico di riferimento illustrato nel precedente paragrafo e utilizzando i dati provenienti dalle nuove perforazioni, si è proceduto alla revisione della precedente interpretazione sismica dei due livelli target sull'intero volume sismico, utilizzando il software Petrel™. Per restituire al meglio la morfologia di ciascun livello sono state interpretate una In-line e una Cross-line ogni dieci. Tale griglia è stata variamente infittita nei punti dove la descrizione dell'andamento morfologico degli orizzonti ha presentato maggiori difficoltà e lungo il culmine della struttura. I livelli top e bottom del pool B risultano essere in genere sismicamente paralleli e ben interpretabili su tutta l'area. I nuovi tagli stratigrafici e i dati raccolti durante la perforazione dei nuovi pozzi (Bordolano 22 Dir – 28 Dir), hanno confermato le precedenti interpretazioni sismiche. Le nuove mappe relative al top e bottom Pool B (Fig. 29-32) presentano leggere variazioni unicamente nella zona di culmine dell'anticlinale.

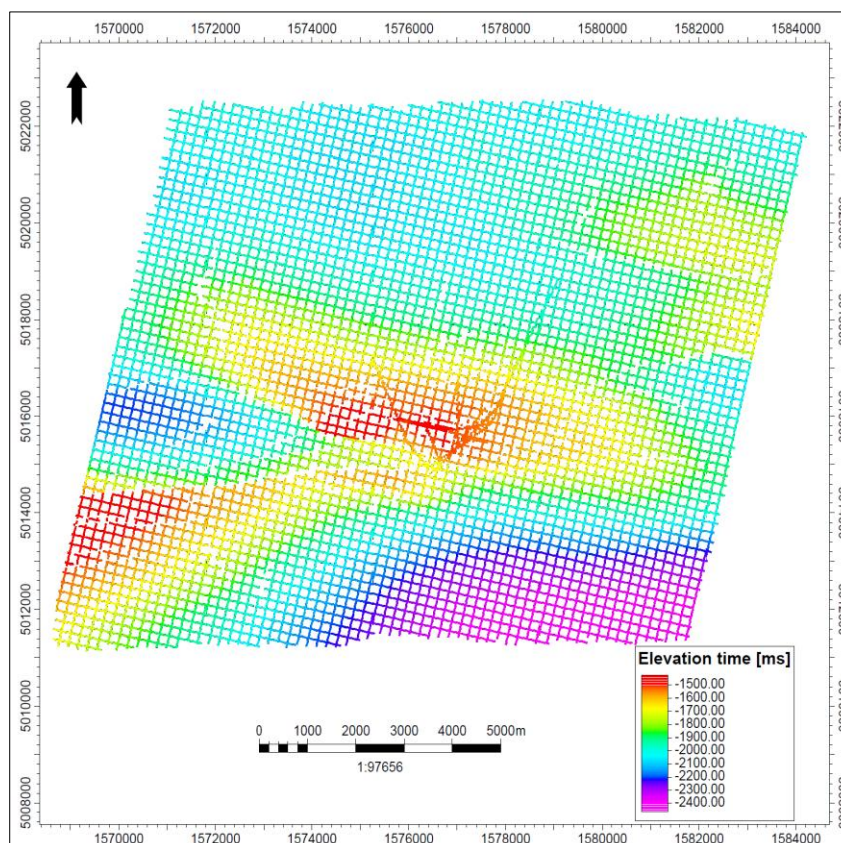


Figura 29 Griglia interpretativa livello top Pool B.

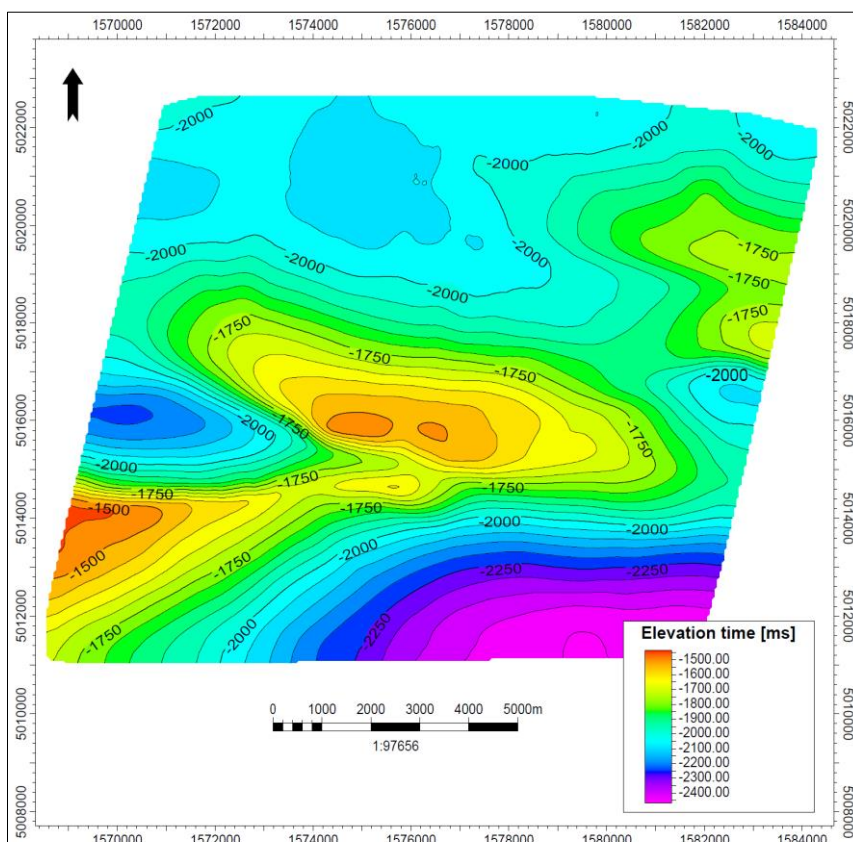


Figura 30 Mappa isocrone top Pool B.

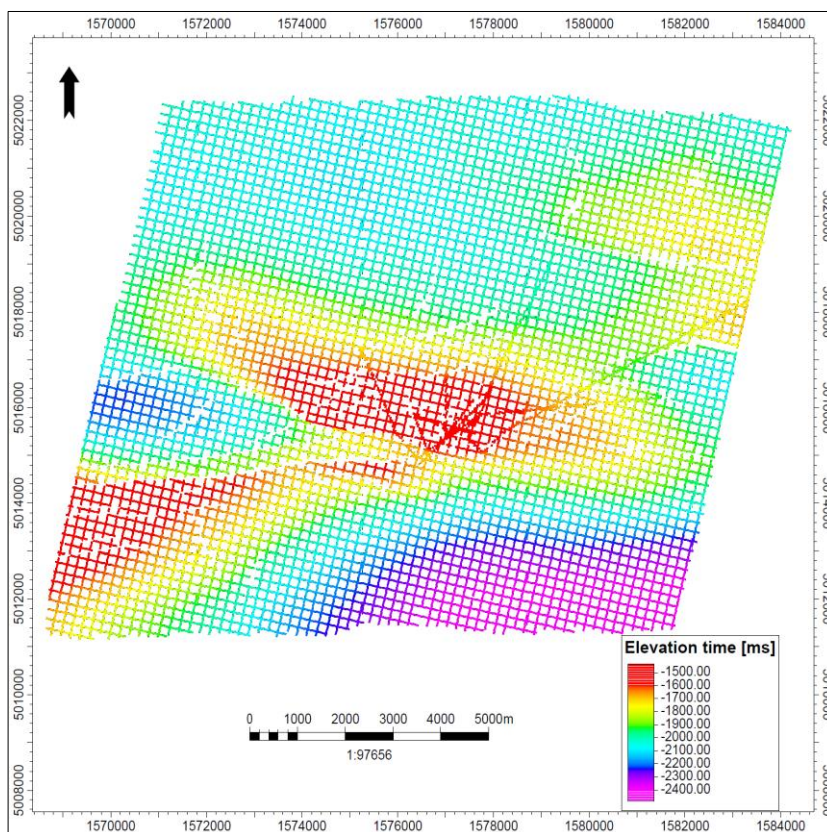


Figura 31 Griglia interpretativa livello bottom Pool B.

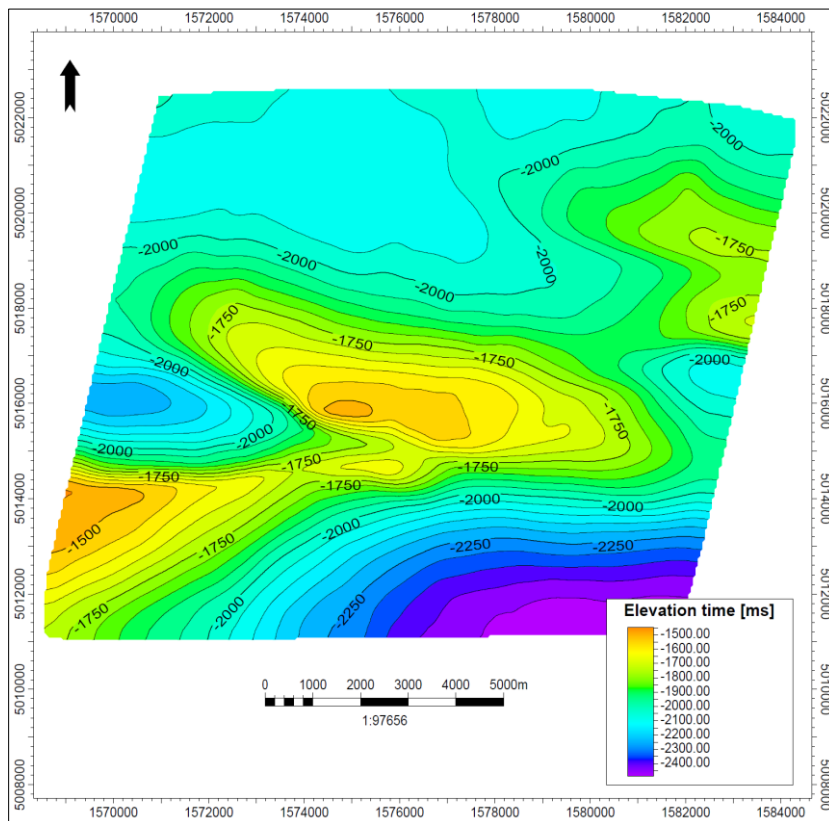


Figura 32 Mappa isocrone bottom Pool B.

	CONCESSIONE BORDOLANO STOCCAGGIO Studio Geostrutturale	GIAC
		PAG. 43
		DI 59

2.6 INTERPRETAZIONE STRUTTURALE DEL GIACIMENTO

L'interpretazione strutturale è stata eseguita analizzando il volume sismico 3D, utilizzando il volume di continuità sismica e le mappe di attributi sismici (continuità, ampiezza e RMS) estratte lungo le superfici interpretate. In particolare il volume e le mappe di continuità sono risultate fondamentali per evidenziare la presenza di elementi strutturali con rigetti molto bassi (inferiori o prossimi alla risoluzione sismica), difficilmente osservabili sulle sezioni sismiche. Il volume di continuità utilizzato è stato prodotto da Eni grazie all'ausilio di un algoritmo sviluppato internamente, decisamente più robusto ed affidabile rispetto a quelli commerciali e capace di processare correttamente la sismica anche in caso di forti pendenze dei riflettori.

Sia per il top che per il bottom del reservoir, gli attributi sono stati estratti all'interno di una finestra opportunamente dimensionata: trattandosi in entrambi i casi di una superficie abbastanza regolare, l'estrazione è stata eseguita lungo gli orizzonti utilizzando una finestra di ± 5 ms.

Dal punto di vista tettonico, alla zona del campo di Bordolano sono riconducibili le *strutture compressionali centro padane* (Fantoni et alii, 2004). Le strutture alpine sud vergenti, attive fino al Messiniano, sono state coinvolte dalla successiva deformazione tettonica appenninica a partire dal Pliocene Medio generando una anticlinale con asse circa est-ovest tagliata sul fianco meridionale da sistemi di thrust che isolano le porzioni meridionale ed occidentale del campo. Le sezioni sismiche (Fig. 33-36), mostrano l'assetto strutturale dell'area in direzione ortogonale all'asse dei thrust alpini ed appenninici. Nella zona SW del campo si nota la presenza sia dei fronti alpini che appenninici, mentre nel settore NE questi ultimi non sono presenti.



STOGIT

CONCESSIONE
BORDOLANO STOCCAGGIO

Studio Geostrutturale

GIAC

PAG. 44

DI 59

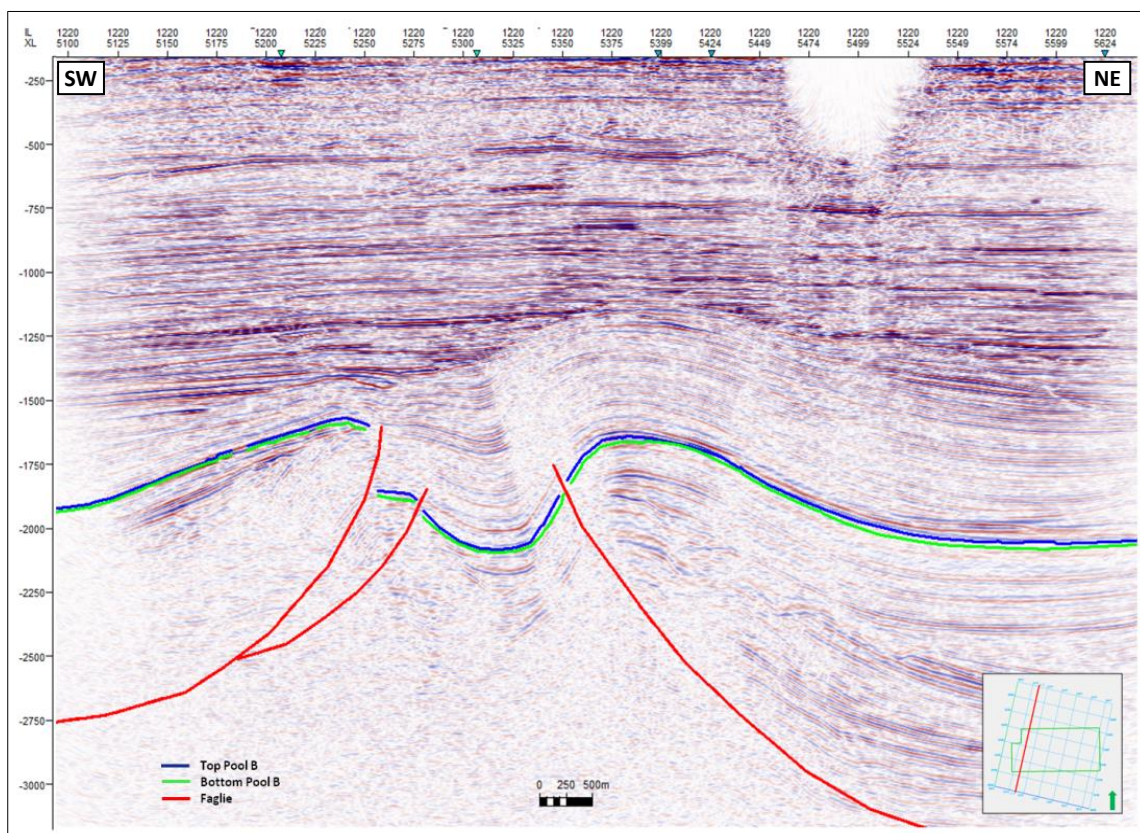


Figura 33 Sezione sismica IL1220.

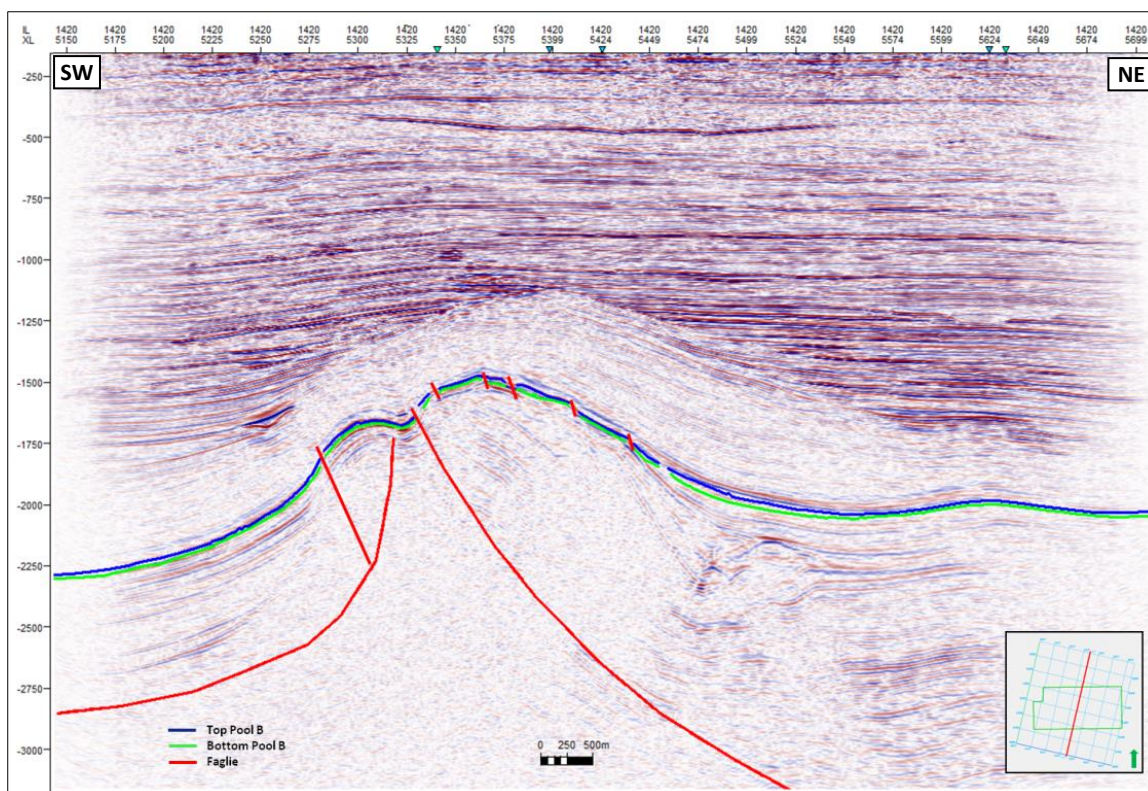


Figura 34 Sezione sismica IL1420.



STOGIT

CONCESSIONE
BORDOLANO STOCCAGGIO

Studio Geostrutturale

GIAC

PAG. 45

DI 59

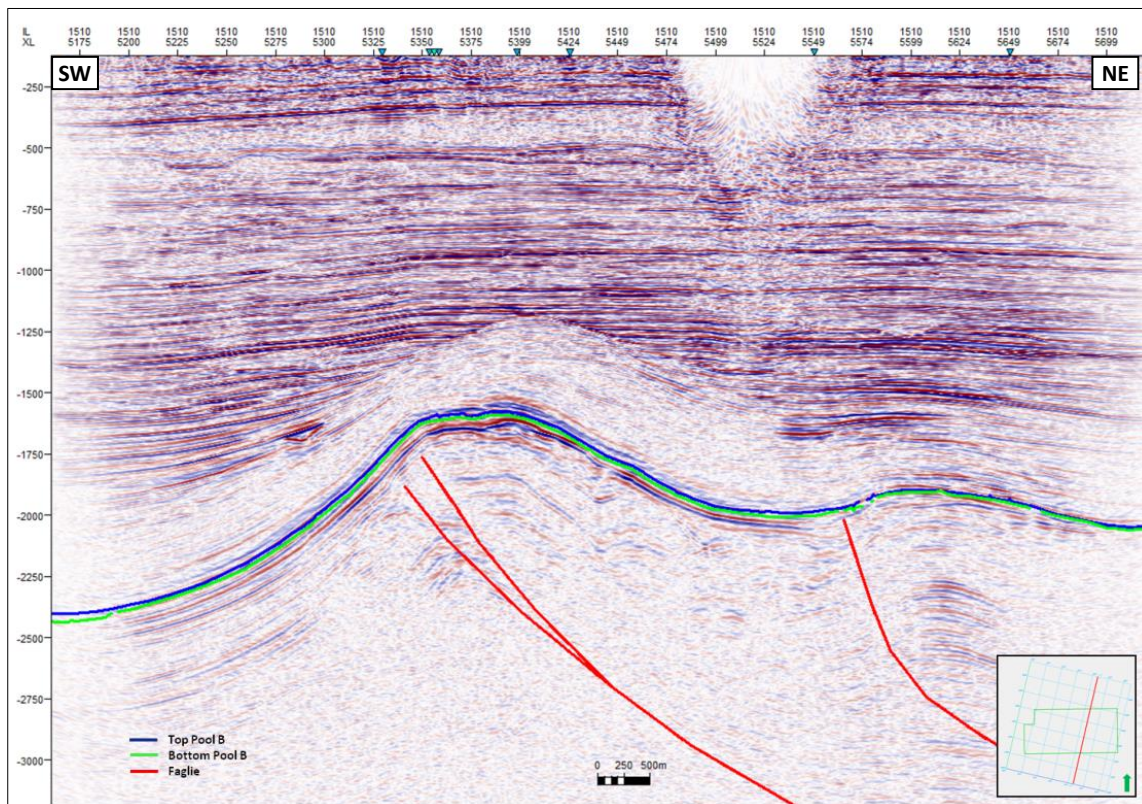


Figura 35 Sezione sismica IL1510.

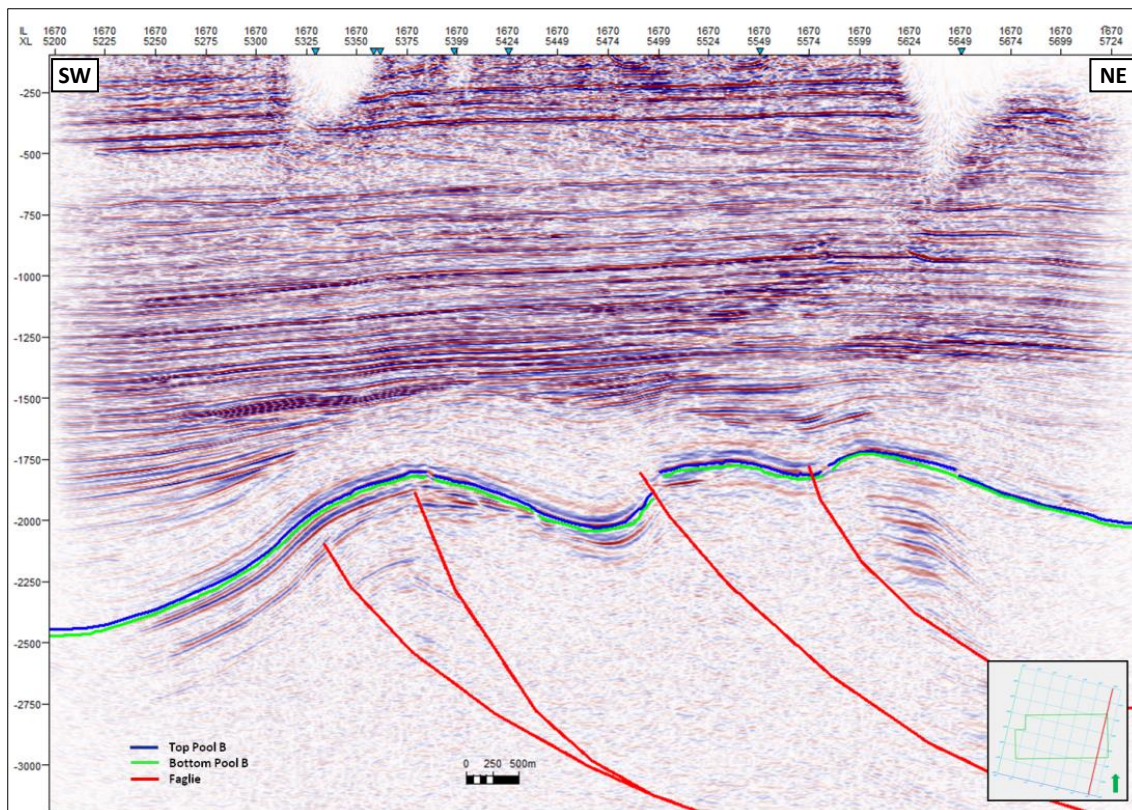


Figura 36 Sezione sismica IL1670.



Alcune faglie con rigetti molto bassi sono state individuate nella zona di culmine della struttura, tali lineamenti hanno scarsissima evidenza in sezione sismica (Fig.34) in quanto i rigetti risultano essere inferiori alla risoluzione sismica verticale. Sono stati riconosciuti grazie alle mappe di continuità generate al top del pool B (Fig. 37), tali lineamenti rappresentano faglie normali da collasso crestale generatesi conseguentemente al piegamento della struttura di Bordolano la cui attività è cessata con l'arresto dell'attività tettonica dei thrust appenninici. Alcune di queste discontinuità vengono messe in evidenza anche dalle mappe di ampiezza estratte per i due orizzonti con la stessa finestra utilizzata per la continuità (Fig 38-39).

La figura 40 mostra una mappa di ampiezza RMS calcolata fra gli orizzonti top e bottom Pool B in una finestra di estrazione di +10 ms dal top e -10 ms dal bottom. Questa mappa è stata poi sovrapposta in trasparenza alla mappa di continuità estratta precedentemente. Questo è servito ad evidenziare ulteriormente le discontinuità interne del reservoir.

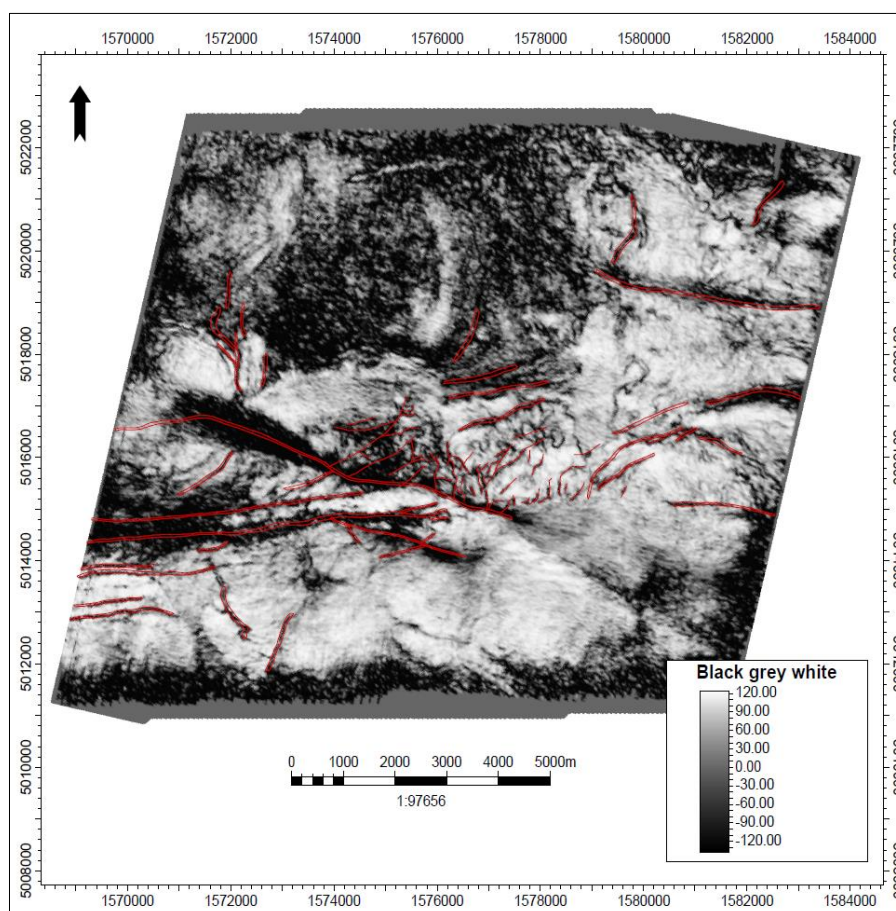


Figura 37 Attributo di continuità per il livello Top Pool B (finestra di calcolo 5 ms), in rosso sono evidenziati i poligoni di faglia riscontrati.

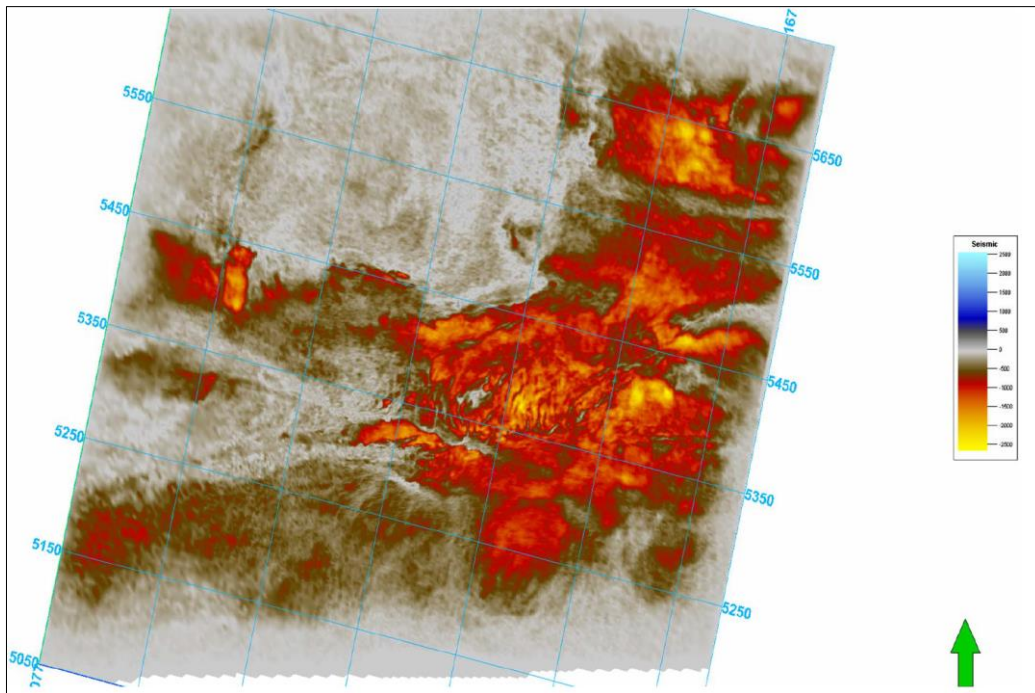


Figura 38 Mappa di ampiezza estratta dall'orizzonte Top pool B (finestra di calcolo 5ms).

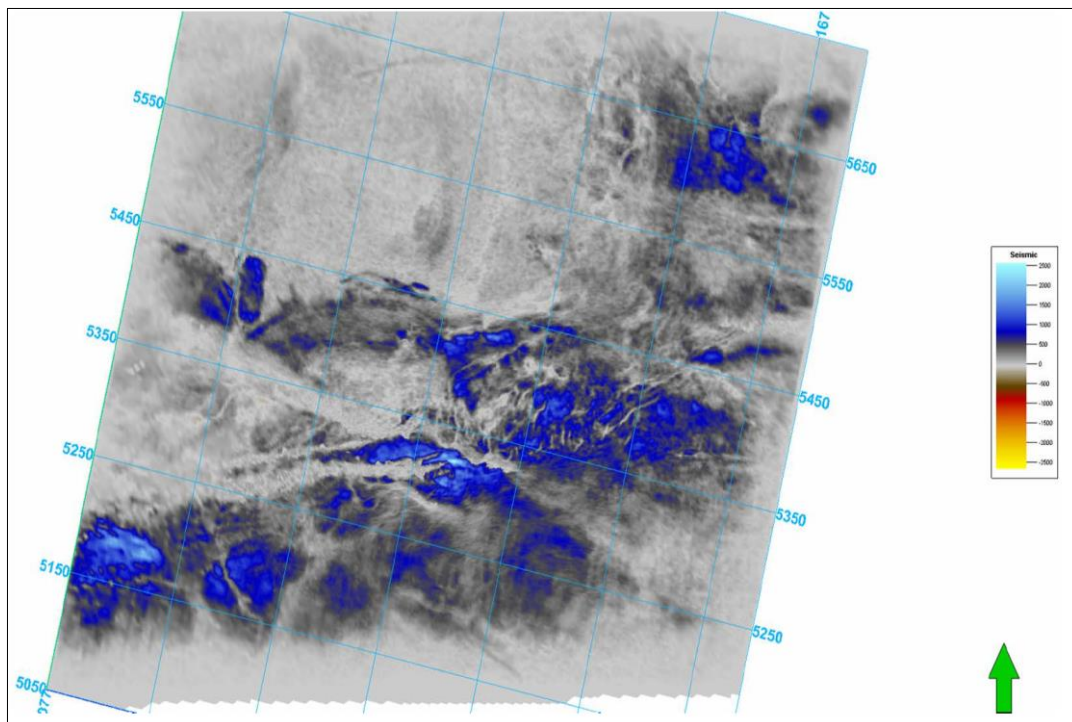


Figura 39 Mappa di ampiezza estratta dall'orizzonte Bottom pool B (finestra di calcolo 5ms).

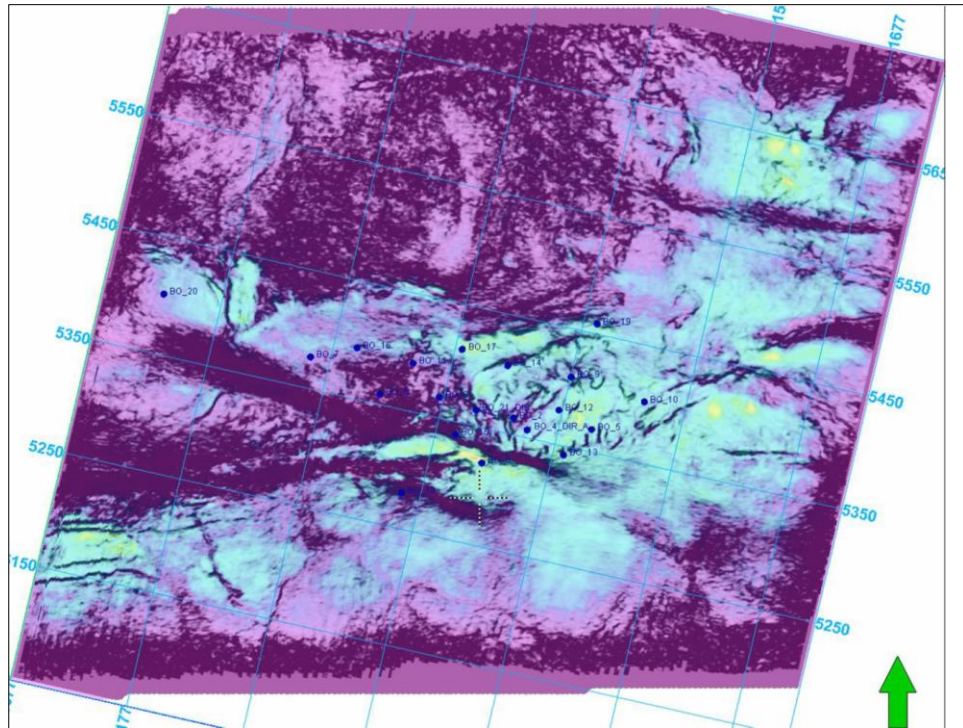


Figura 38 *Mappa RMS fra i livelli Top e Bottom Pool B sovrainposta alla mappa di continuità (finestra di calcolo +10ms dal top e -10 ms dal bottom).*



2.7 CONVERSIONE IN PROFONDITA'

Dopo avere completato l'interpretazione tempi, si è potuto procedere con lo studio di velocità per produrre le mappe profondità degli orizzonti.

Sono stati esaminati i dati disponibili sia per i pozzi che per il volume sismico. Si è optato per un approccio che partisse dalle velocità sismiche (stacking velocity functions, Fig. 41) in modo da meglio definire l'andamento delle velocità nell'overburden che supera i 2000 metri di spessore. Il flusso di lavoro è mostrato in Fig. 42.

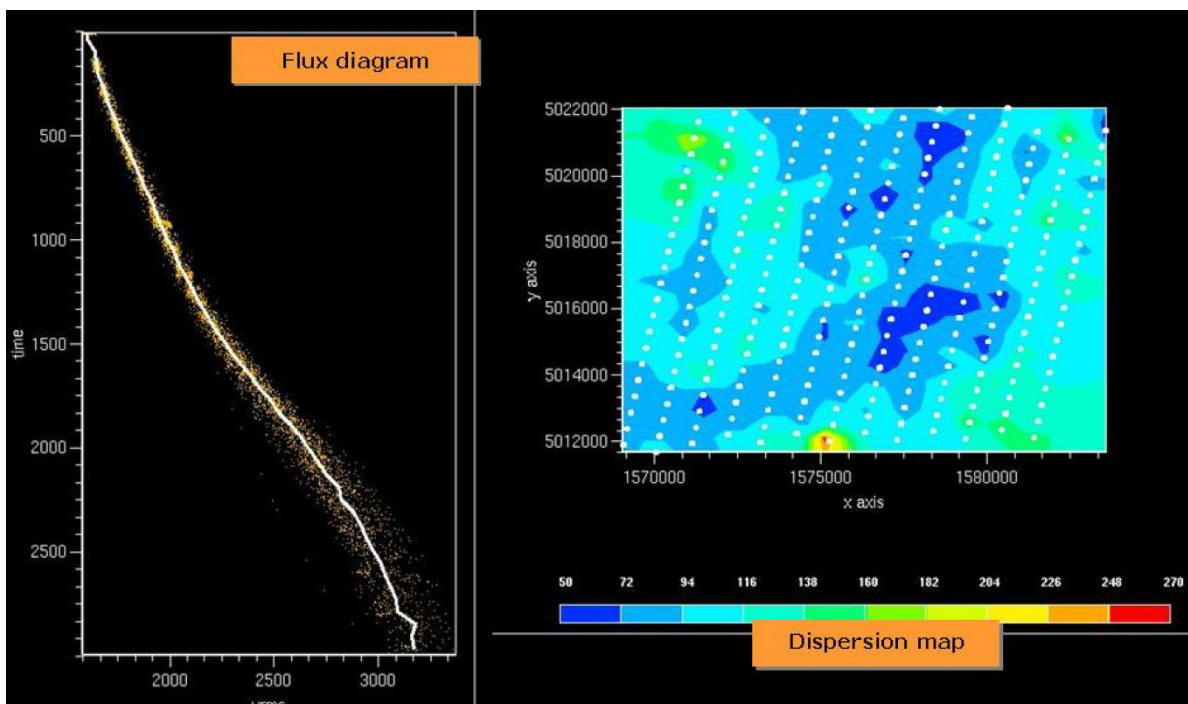


Figura 41 Diagnostici di velocità sulle velocità sismiche di input.

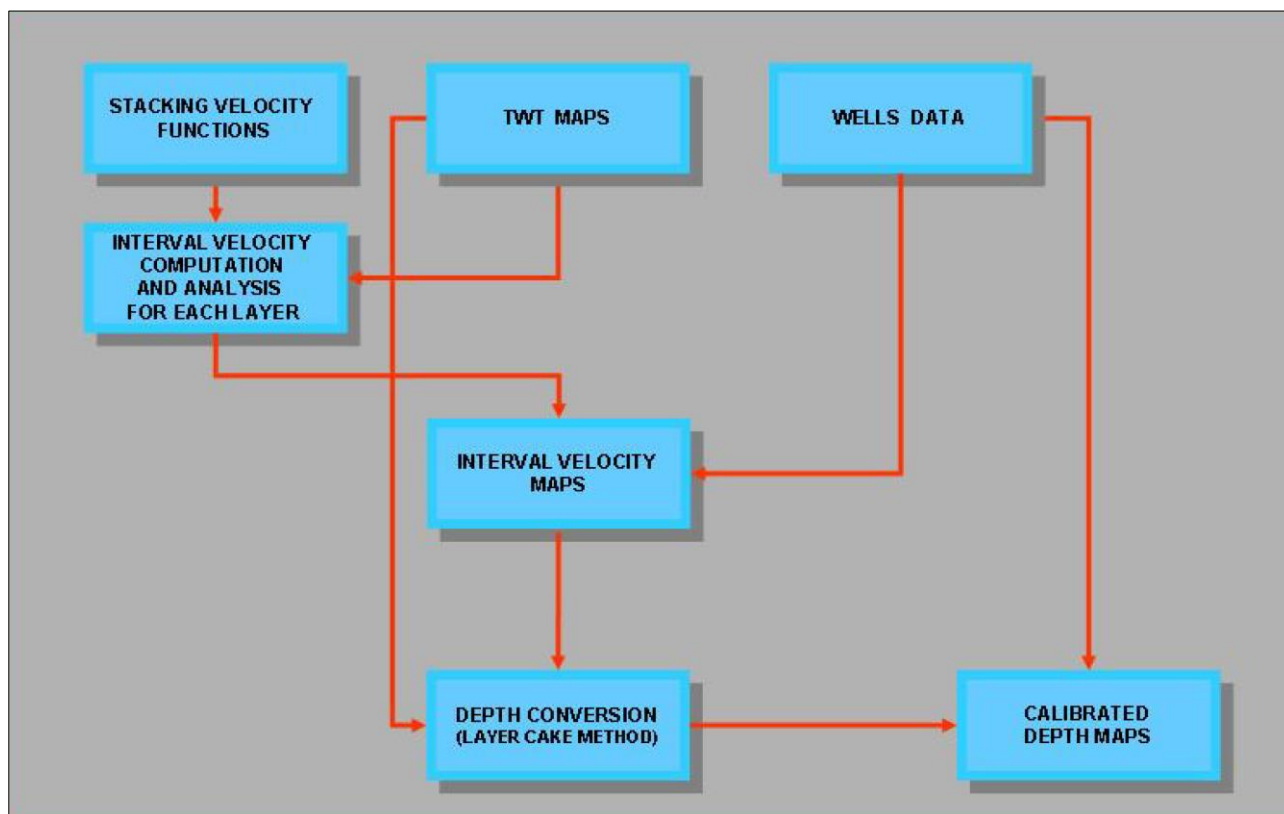


Figura 42 Schema del flusso di lavoro per la conversione in profondità.

Sono stati considerati due layers di velocità (Fig. 43), il primo dal datum sismico al marker geofisico H, ed il secondo da H al top reservoir. La scelta degli intervalli è stata guidata dalla rilevanza geologico-geofisica e dall'entità degli spessori (velocity layers troppo sottili non producono valori di velocità affidabili).



STOGIT

CONCESSIONE
BORDOLANO STOCCAGGIO

Studio Geostrutturale

GIAC

PAG. 51

DI 59

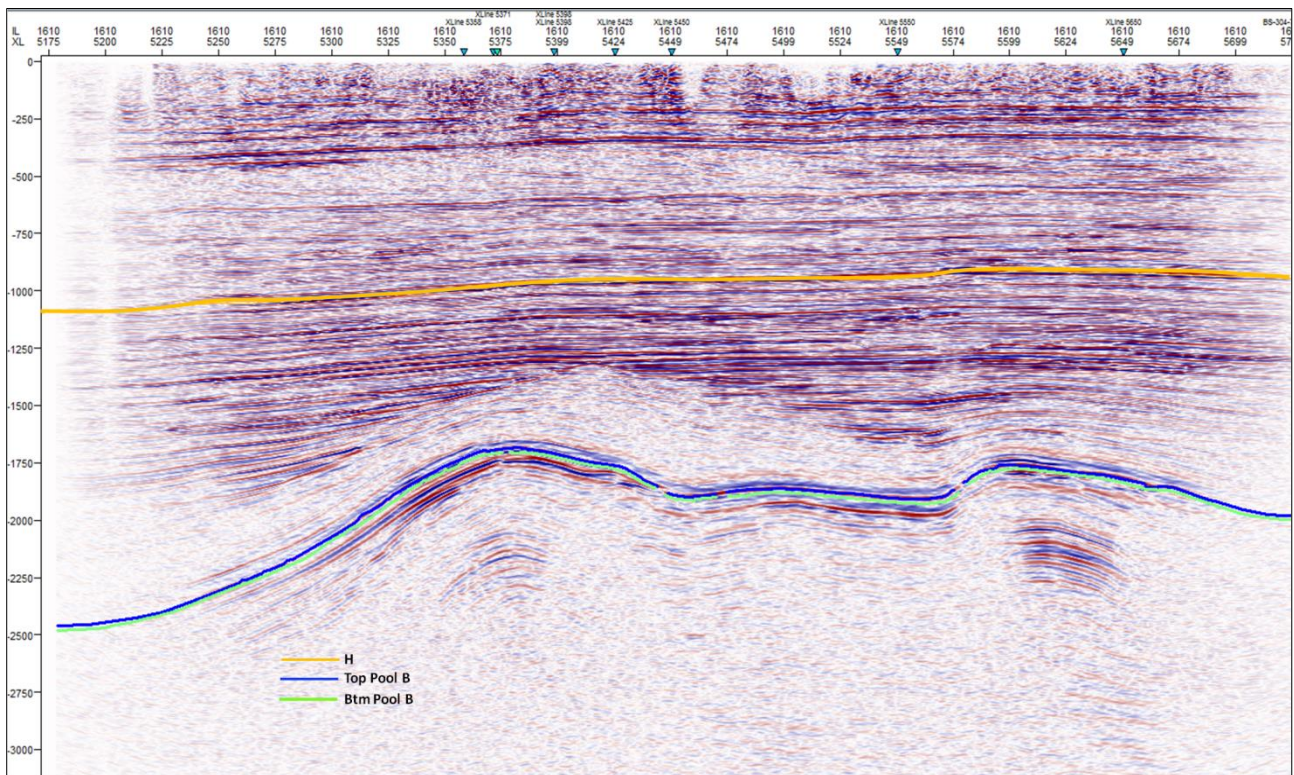


Figura 43 Layers utilizzati per la conversione in profondità.

Le informazioni di pozzo sono state integrate nelle mappe che sono calibrate in profondità a tutti i pozzi disponibili. I pozzi per i quali sono disponibili le tarature sono elencati di seguito nella Tabella 4.

Per ciascuno degli orizzonti tempi (H, top Pool B e bottom Pool B) sono stati creati i grid (grid interval 50x50) e le relative mappe tempi. I poligoni di faglia utilizzati nel gridding sono stati importati dal progetto Petrel.

Le funzioni di velocità sismiche relative al volume 3D ammontano a 270 e danno una copertura soddisfacente dell'area di studio. Sui dati è stato effettuato un QC per l'eliminazione di eventuali anomalie incompatibili con il modello geologico (velocità irrealisticamente alte o basse, spikes ecc.).

Le velocità relative ai due layers (datum – H, H – top Pool B) sono state stimate, in ambiente LIVE, basandosi sulle funzioni di velocità sismiche al fine di identificare le variazioni laterali della velocità. La figura 44 mostra la mappa di velocità intervallare relativa al layer H – top Pool B. Tale mappa è stata calibrata ai pozzi disponibili.

**STOGIT****CONCESSIONE
BORDOLANO STOCCAGGIO****Studio Geostrutturale****GIAC**PAG. **52**

DI 59

Le velocità precedentemente analizzate sono servite come input per la conversione in profondità secondo la metodologia “Layer Cake”.

Le mappe ottenute in dominio profondità sono state quindi calibrate a tutti i pozzi disponibili. Le mappe in profondità mostrano un’immagine geologica in linea con il modello regionale e con le evidenze di pozzo.

Sono stati prodotti grid in profondità relativi a: orizzonte H, top Pool B (Fig. 45) e bottom Pool B (Fig. 46).

E’ stata inoltre calcolata la mappa isopaca top Pool B – bottom Pool B (Fig. 47).

Well	Surface	X	Y	TVDSS
BO_1	Top pool B	1576311,0	5015832,9	1624,91
BO_10	Top pool B	1579138,5	5015977,9	1839,36
BO_12	Top pool B	1577702,4	5015836,7	1697,08
BO_13	Top pool B	1577777,2	5015065,7	1798,02
BO_14	Top pool B	1576843,5	5016600,6	1753,11
BO_15	Top pool B	1575964,6	5015414,1	1800,66
BO_18	Top pool B	1575059,2	5014415,8	1959,78
BO_19	Top pool B	1578344,3	5017313,7	2115,13
BO_21_DIR	Top pool B	1576607,3	5015752,7	1603,46
BO_3	Top pool B	1575695,4	5016059,0	1640,32
BO_4_DIR	Top pool B	1577424,4	5015350,1	1674,66
BO_4_DIR_A	Top pool B	1577216,8	5015548,2	1656,39
BO_5	Top pool B	1578251,2	5015503,9	1748,08
BO_8	Top pool B	1576406,3	5014928,7	1942,78
BO_9	Top pool B	1577908,0	5016405,0	1763,28
BO_11	Top pool B	1575252,8	5016640,3	1754,9
BO_16	Top pool B	1574312,9	5016906,9	1808,47
BO_17	Top pool B	1576077,6	5016881,6	1852,68
BO_2	Top pool B	1576941,5	5015703,6	1645,73
BO_2_BIS_DIR	Top pool B	1576966,1	5015607,0	1640,13
BO_6	Top pool B	1574692,7	5016112,0	1631,39
BO_7	Top pool B	1573530,6	5016749,8	1798,26
BO_10	Bottom pool B	1579138,5	5015977,9	1881,02
BO_12	Bottom pool B	1577702,4	5015836,7	1743,43
BO_13	Bottom pool B	1577777,2	5015065,7	1857,52
BO_4_DIR	Bottom pool B	1577434,6	5015340,6	1723,87
BO_5	Bottom pool B	1578251,2	5015503,9	1799,77
BO_21_DIR	Bottom pool B	1576637,5	5015742,6	1640,98



Well	Surface	X	Y	TVDSS
BO_1	Bottom pool B	1576311,0	5015832,9	1653,4
BO_11	Bottom pool B	1575252,8	5016640,3	1769,63
BO_14	Bottom pool B	1576843,5	5016600,6	1779,66
BO_15	Bottom pool B	1575964,6	5015414,1	1835,96
BO_16	Bottom pool B	1574312,9	5016906,9	1817,36
BO_17	Bottom pool B	1576077,6	5016881,6	1871,61
BO_18	Bottom pool B	1575059,2	5014415,8	1992,41
BO_19	Bottom pool B	1578344,3	5017313,7	2147,52
BO_2	Bottom pool B	1576941,5	5015703,6	1664,14
BO_2_BIS_DIR	Bottom pool B	1576967,0	5015611,5	1659,78
BO_3	Bottom pool B	1575695,4	5016059,0	1657,59
BO_4_DIR_A	Bottom pool B	1577217,6	5015549,0	1684,33
BO_6	Bottom pool B	1574692,7	5016112,0	1646,88
BO_7	Bottom pool B	1573530,6	5016749,8	1811,34
BO_8	Bottom pool B	1576406,3	5014928,7	1978,6
BO_9	Bottom pool B	1577908,0	5016405,0	1802,14
BO_22DIR	Top pool B	1576393,9	5015655,8	1635,6
BO_23PILOT	Top pool B	1576458,4	5015970,0	1628,7
BO_23DIR	Top pool B	1576625,5	5016094,2	1641,7
BO_24DIR	Top pool B	1576842,0	5015759,0	1627,6
BO_25DIR	Top pool B	1576295,8	5015993,5	1646,5
BO_26PILOT	Top pool B	1576800,5	5015445,0	1641,6
BO_26DIR	Top pool B	1576724,7	5015424,3	1644,3
BO_27PILOT	Top pool B	1576995,9	5015719,3	1659,5
BO_27DIR	Top pool B	1576918,2	5015902,6	1622,2
BO_28PILOT	Top pool B	1577244,0	5015284,8	1676,5
BO_28DIR	Top pool B	1577178,0	5015354,3	1671,1
BO_22DIR	Bottom Pool B	1576402,4	5015645,5	1674,9
BO_23PILOT	Bottom Pool B	1576458,4	5015970,1	1675,5
BO_23DIR	Bottom Pool B	1576648,9	5016111,5	1675,3
BO_24DIR	Bottom Pool B	1576865,9	5015752,2	1674,0
BO_25DIR	Bottom Pool B	1576301,2	5015995,6	1685,0
BO_26PILOT	Bottom Pool B	1576791,5	5015449,5	1678,8
BO_26DIR	Bottom Pool B	1576699,6	5015426,8	1681,6
BO_27PILOT	Bottom Pool B	1576996,1	5015729,9	1689,0
BO_27DIR	Bottom Pool B	1576893,6	5015947,2	1660,9
BO_28PILOT	Bottom Pool B	1577169,9	5015272,6	1723,5
BO_28DIR	Bottom Pool B	1577185,3	5015358,0	1713,8

Tabella 4 Tagli stratigrafici utilizzati durante la conversione in profondità.



STOGIT

CONCESSIONE
BORDOLANO STOCCAGGIO

Studio Geostrutturale

GIAC

PAG. 54

DI 59

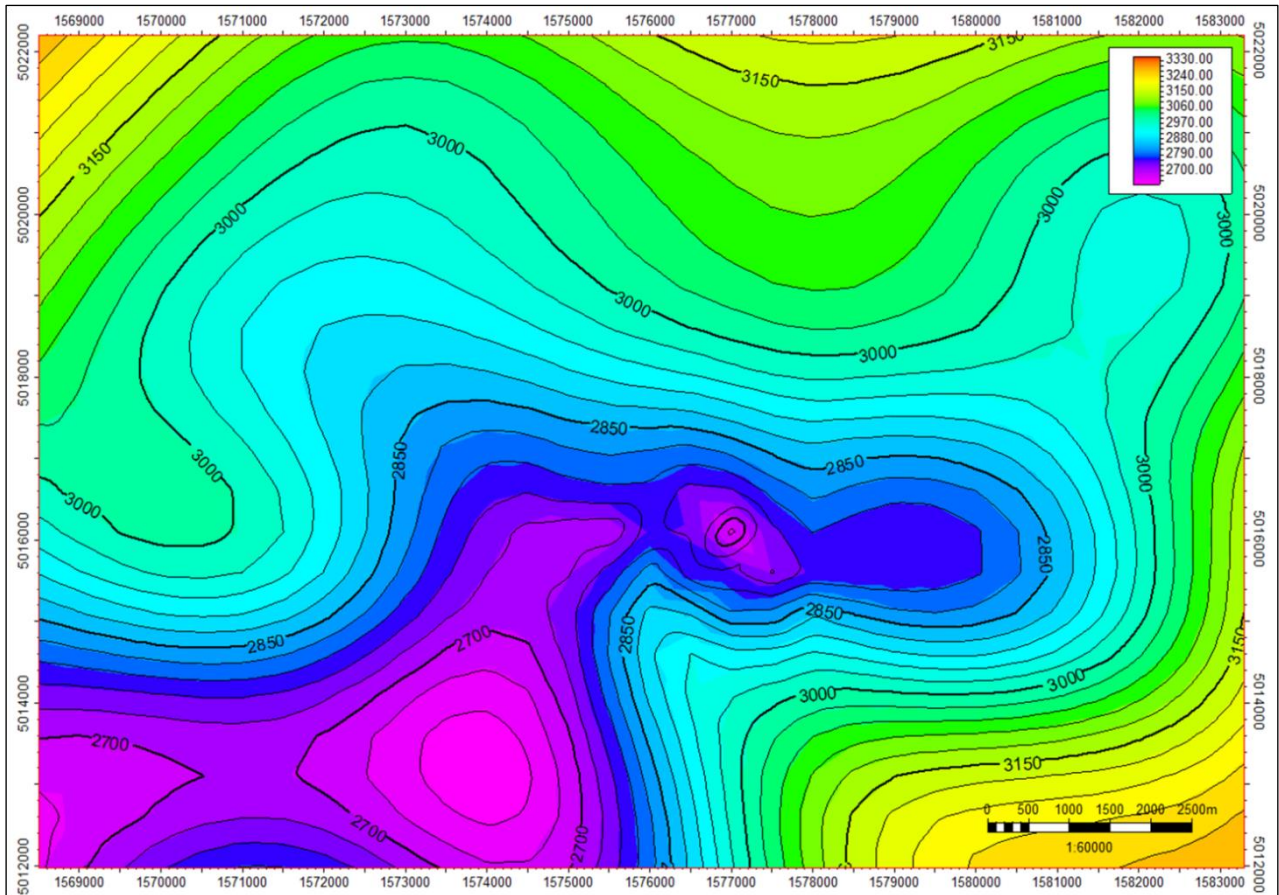


Figura 44 Mappa di velocità intervallare relativa al layer H – top Pool B.



STOGIT

CONCESSIONE
BORDOLANO STOCCAGGIO

Studio Geostrutturale

GIAC

PAG. 55

DI 59

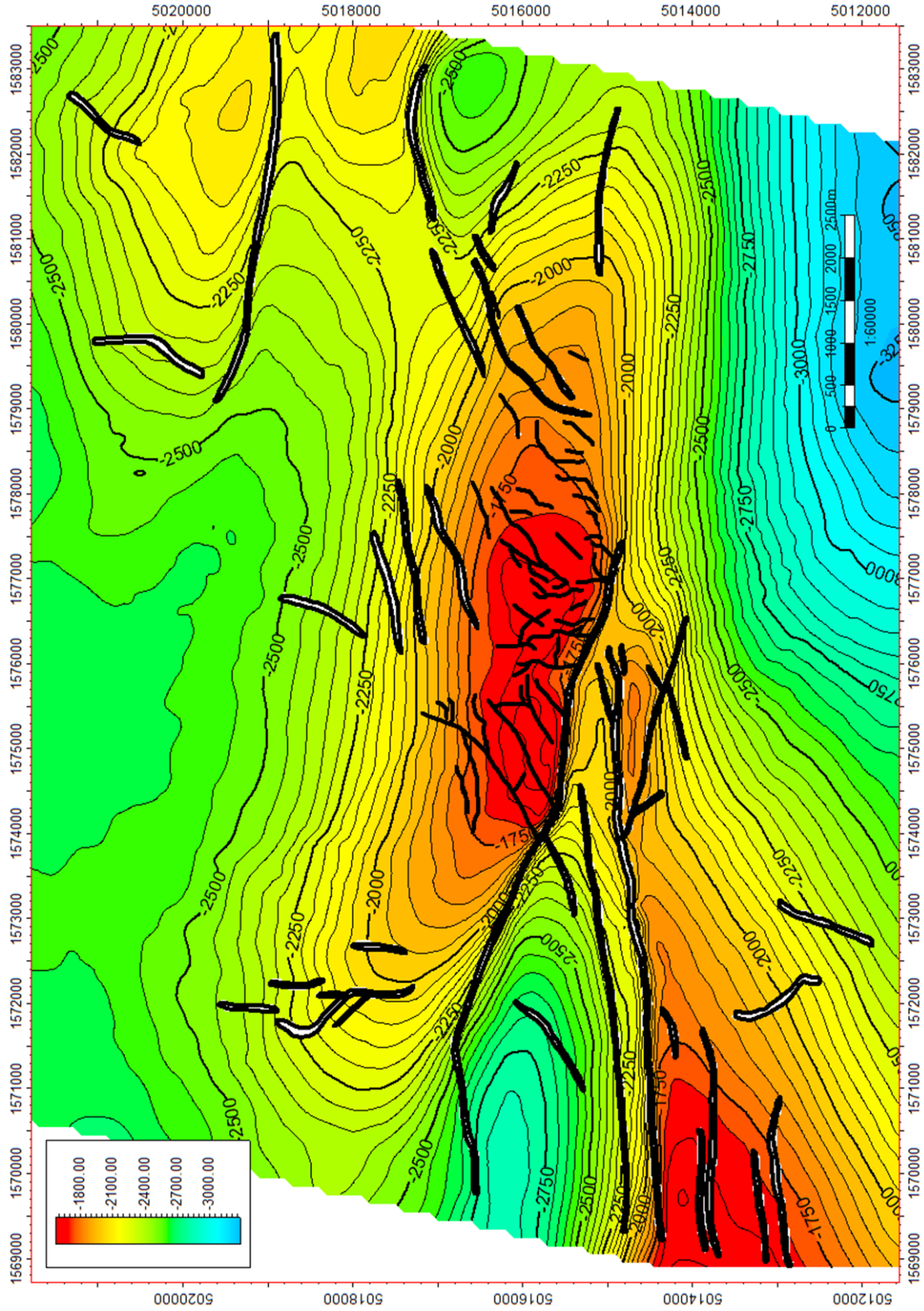


Figura 45 Mappa in profondità con poligoni di faglia del top Pool B.



STOGIT

CONCESSIONE
BORDOLANO STOCCAGGIO

Studio Geostrutturale

GIAC

PAG. 56

DI 59

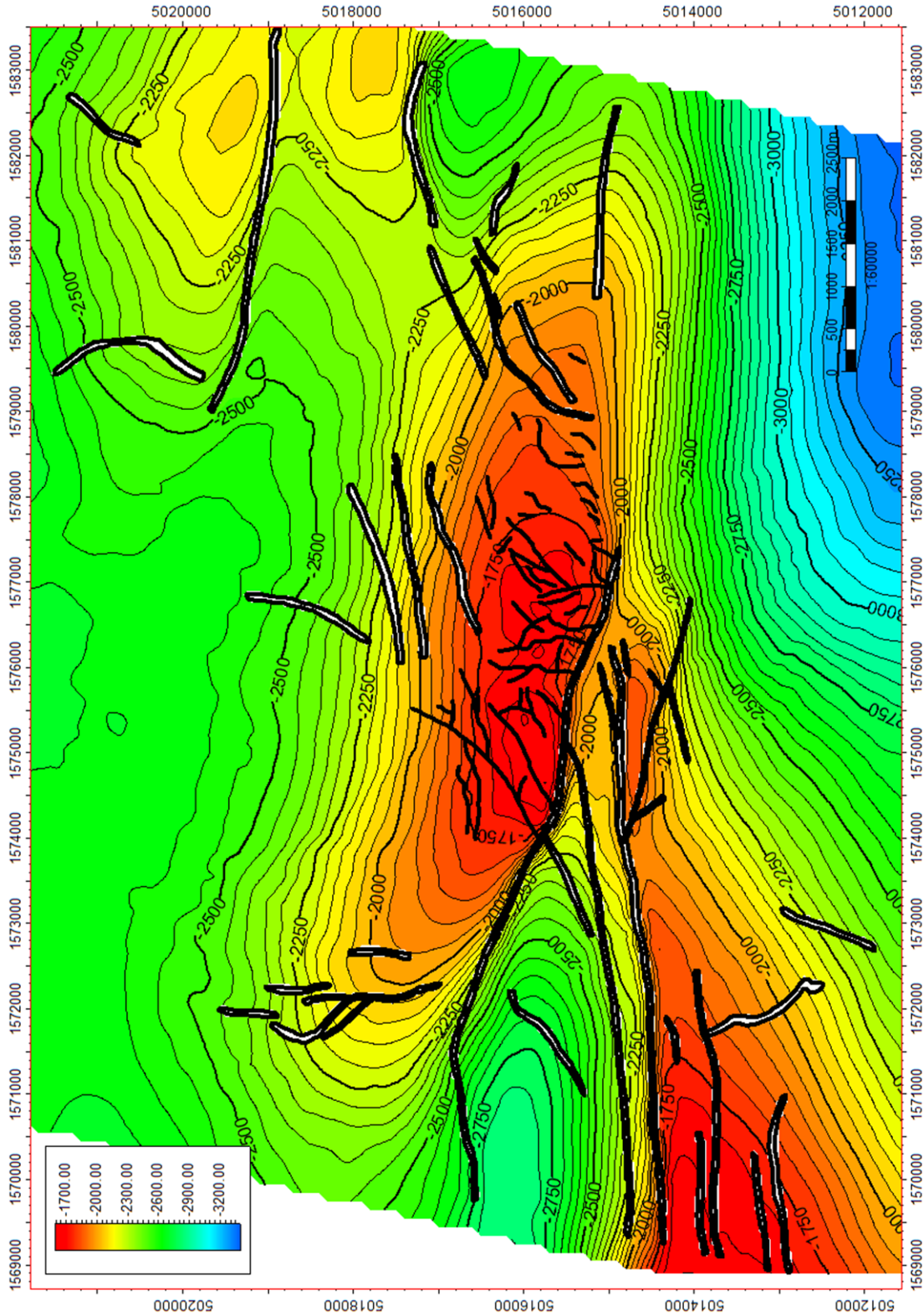


Figura 46 Mappa in profondità con poligoni di faglia del bottom Pool B.



STOGIT

CONCESSIONE
BORDOLANO STOCCAGGIO

Studio Geostrutturale

GIAC

PAG. 57

DI 59

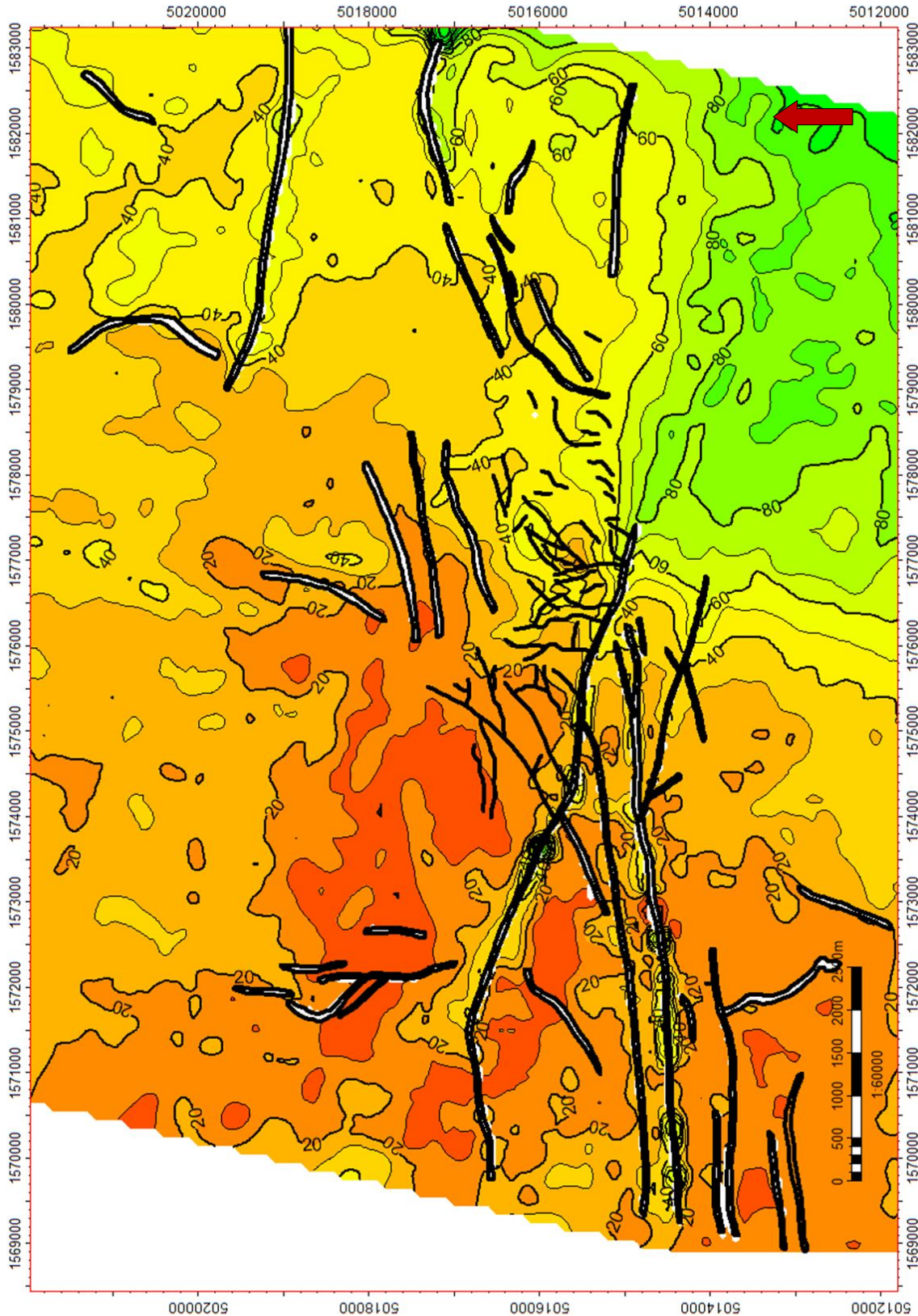




Figura 47 Mappa isopaca top Pool B- bottom Pool B.

	CONCESSIONE BORDOLANO STOCCAGGIO Studio Geostrutturale	GIAC
		PAG. 58
		DI 59

BIBLIOGRAFIA

- BABBUCCI D., BACCHETTI M., BAGLIONE M., BALDI P., CENNI N., D'INTINOSANTE V., FABBRONI P., FALCIANI F., FIANCHISTI G., MANTOVANI E., MARTELLI L., TAMBURELLI C., VANNUCCHI A., VITI M. (2013). *Assetto tettonico e potenzialità sismogenetica dell'appennino Tosco-Emiliano-Romagnolo e Val Padana*.
- BELLO M. & FANTONI R. (2002). *Deep oil play in Po Valley. Deformation and hydrocarbon generation in a deformed foreland. AAPG Hedberg Conference Deformation, Fluid Flow and reservoir Appraisal in Foreland Fold and Thrust Belts, May 14-18, 2002 Palermo Abstracts book, 4*.
- BERNINI M., BERTOLDI R., PAPANI G., VESCOVI P. (1994). *Evoluzione in regime compressivo del bacino Villafranchiano di Campiano (Parma). Atti Tic. Sc. Terra, 37, 155-171*.
- BERSEZIO R., FANTONI R. & PESSINA C. (2001). *L'assetto strutturale del margine sudalpino-padano: contributo alla conoscenza del sottosuolo nel settore bergamasco. Geol. Insubr., 6 (1), 81-93*.
- BOCCALETTI M., MARTELLI L. (2004). *Carta sismo-tettonica della Regione Emilia-Romagna, scala 1:250.000 e note illustrative. Selca, Firenze*.
- BOCCALETTI, M., CORTI, G., MARTELLI, L. (2010). *Recent and active tectonics of the external zone of the Northern Apennines (Italy). Int. J. Earth Sci. (Geologische Rundschau)*.
- BRACK P. (1984). *Geologie der Intrusiva und Rahmengesteine des Sudwest-Adamello (Nord-Italien). Mitt. Geol. Insitute ETH Univ. Zurich, 7612, 253*.
- DEL CAMPANA I., MARZORATI D., MELCHIORI F., REDAELLI M. (1999). *Campo di Bordolano Studio di Giacimento per il progetto di stoccaggio Pool B – Modello Statico - Rapp. int. Agip*.
- DEL MORO A., PARDINI G., QUERCIOLI C., VILLA I.M. & CALLEGARI E. (1983). *Rb/Sr and K/Ar chronology of Adamello granitoids, Southern Alps. Mem. Soc. Geol. It., 26, 285-299*.
- FANTONI R., BERSEZIO R. & FORCELLA F. (2004). *Alpine structure and deformation chronology at the Southern Alps-Po Plain border in Lombardy. Boll. Soc. Geologica Italiana, 473-476*.

	CONCESSIONE BORDOLANO STOCCAGGIO Studio Geostrutturale	GIAC
		PAG. 59
		DI 59

- GHIELMI M., ROGLEDI S. E ROSSI M. (1998). *Studio stratigrafico-sedimentologico dell'area padana: sedimentologia, stratigrafia fisica e play concept della successione messiniano-pleistocenica. Rapp. int. Agip.*
- MARTINELLI S., PALEARI G., MARCHESINI M. (2008). *Campo di Bordolano Revisione sismica. Rapp. Int. Eni.*
- PIERI M. & GROPPPI G. (1981). *Subsurface geological structure of the Po plain, Italy. Prog. Finalizzato Geodinamica C.N.R. Publ., 414.*
- SORGI C., DEFFONTAINES B., HIPPOLYTE J.C., CADET J.P. (1998). *An integrated analysis of transverse structures in the northern Apennines, Italy. Geomorphology, 25, 193-206.*
- TRUMPY R. (1973). *The timing of orogenic events in the Central Alps. In Gravity and Tectonics, 229-251.*