

0	DIC. 2012	EMISSIONE			PROGER	PROGER	STOGIT	
REV. REV.	DATA DATE	DESCRIZIONE / DESCRIPTION			DISEGN. DRAFT.	CONTR. CHECK'D	APPROV. APPR'D	STATO REVIS. REV. STATUS
 STOGIT		CONCESSIONE FIUME TRESTE STOCCAGGIO Esercizio A Pmax=1,10 Pi LIVELLO C2 E SVILUPPO NUOVO LIVELLO F STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE						
SAN SALVO 81 dir, CARATTERIZZAZIONE PETROFISICA, GEOSTRUTTURALE E GEOMECCANICA (ENI DIVISIONE E&P, GENNAIO 2007)								
SCALA SCALE	SOSTITUISCE IL SUPERSEDES N.	SOSTITUITO DAL SUPERSEDED BY N.	AREA IMP. PLANT AREA	UNITA' IMP. PLANT UNIT	IDENTIFICATIVO DOCUMENTO DOCUMENT IDENTIFIER			FG. / DI SH. / OF
-					ALLEGATO 37e			-



TITOLO

SAN SALVO 81 DIR foro 2
CARATTERIZZAZIONE PETROFISICA, GEO-
STRUTTURALE E GEOMECCANICA
(RAPPORTO INTEGRATO)

DESTINATARI:

Stogit

cc:

DATA: 31/01/2007

3			
2			
1			
0		R. Berto, M. Brignoli, F.Pampuri	O. Pascolini
		A.Bersani, N. Bona e con la collaborazione di SPES (E. Capoferri)	
REVISIONI		PREPARATO	APPROVATO

	Eni S.p.A. Divisione E&P	SAN SALVO 81 DIR CARATTERIZZAZIONE PETROFISICA, GEOSTRUTTURALE E GEOMECCANICA	Pagina 2 di 58
---	---	--	----------------

INDICE

CAPITOLO 1: INTRODUZIONE E SCOPO DEL LAVORO

CAPITOLO 2: CONCLUSIONI


CAPITOLO 3: INTERPRETAZIONE LOG

- 3.1 Log disponibili
- 3.2 Controllo di qualità ed interpretazione dei log di immaginei
- 3.3 Anilisi dello stress in situ
- 3.4 Controllo di qualità ed interpretazione del log SonicScanner
- 3.5 Valutazione petrofisica da log

CAPITOLO 4: ANALISI DATI CAROTE

- 4.1 Descrizione sedimentologica e petrofisica
- 4.2 Descrizione della fratturazione
- 4.3 Descrizione geomeccanica e petrofica
- 4.4 Geomeccanica

CAPITOLO 5: INTEGRAZIONE E DISCUSSIONE DEI RISULTATI

	Eni S.p.A. Divisione E&P	SAN SALVO 81 DIR CARATTERIZZAZIONE PETROFISICA, GEOSTRUTTURALE E GEOMECCANICA	Pagina 3 di 58
---	---	--	----------------

1. INTRODUZIONE E SCOPO DEL LAVORO

L'area della concessione Fiume Treste Stoccaggio, estesa su 76,79 km², ricade nell'ambito del "Bacino Molisano", appartenente alla più ampia unità nota come "Avanfossa Bradanica". Con questo termine viene designata un'ampia fascia estesa tra la catena appenninica e il bacino adriatico, caratterizzata nelle fasi più recenti dell'evoluzione geologica e strutturale (Pliocene e Pleistocene) da un consistente apporto di sedimenti di natura prevalentemente sabbiosa e argillosa.

La successione stratigrafica, che comprende nella parte inferiore calcari di piattaforma carbonatica di età cretacea appartenenti all'avampaese apulo, è composta da due principali unità litostratigrafiche, denominate Formazione Palino e Formazione Candela-Torrente Tona, a loro volta ricoperte dal cosiddetto Alloctono.

Il pozzo San Salvo 81 Dir foro 2, oggetto di questo lavoro, attraversa la Formazione Candela-Torrente Tona che è composta da un'alternanza di livelli argillosi e di corpi sabbiosi, talora anche conglomeratici, depositi al passaggio tra ambienti di scarpata e di piana di bacino, durante il Pliocene medio ed il Pliocene superiore.

Queste formazioni comprendono al loro interno i livelli sabbiosi interessati dall'attività di stoccaggio del gas naturale.

I livelli attualmente utilizzati per lo stoccaggio (B-C-C1-C2) sono racchiusi nella successione terrigena pliocenica costituente parte del riempimento del Bacino Molisano (Fig. 1.1).

Il pozzo San Salvo 81 Dir foro 2 è stato realizzato con lo scopo di attraversare il livello C2 e le argille sovrastanti e sottostanti al fine di studiarne le caratteristiche petrofisiche e geomeccaniche per le future operazioni di stoccaggio.

L'analisi è stata affrontata integrando le risposte di molteplici dati disponibili quali: log convenzionali, log di immagine, log di risonanza magnetica, log acustico digitale, carote e relative misure di laboratorio. Inoltre, sulle carote sono state fatte descrizioni sedimentologiche e sullo stato di fratturazione di dettaglio.

AVANFOSSA BRADANICA - CONCESSIONE FIUME TRESTE
SCHEMA STRATIGRAFICO

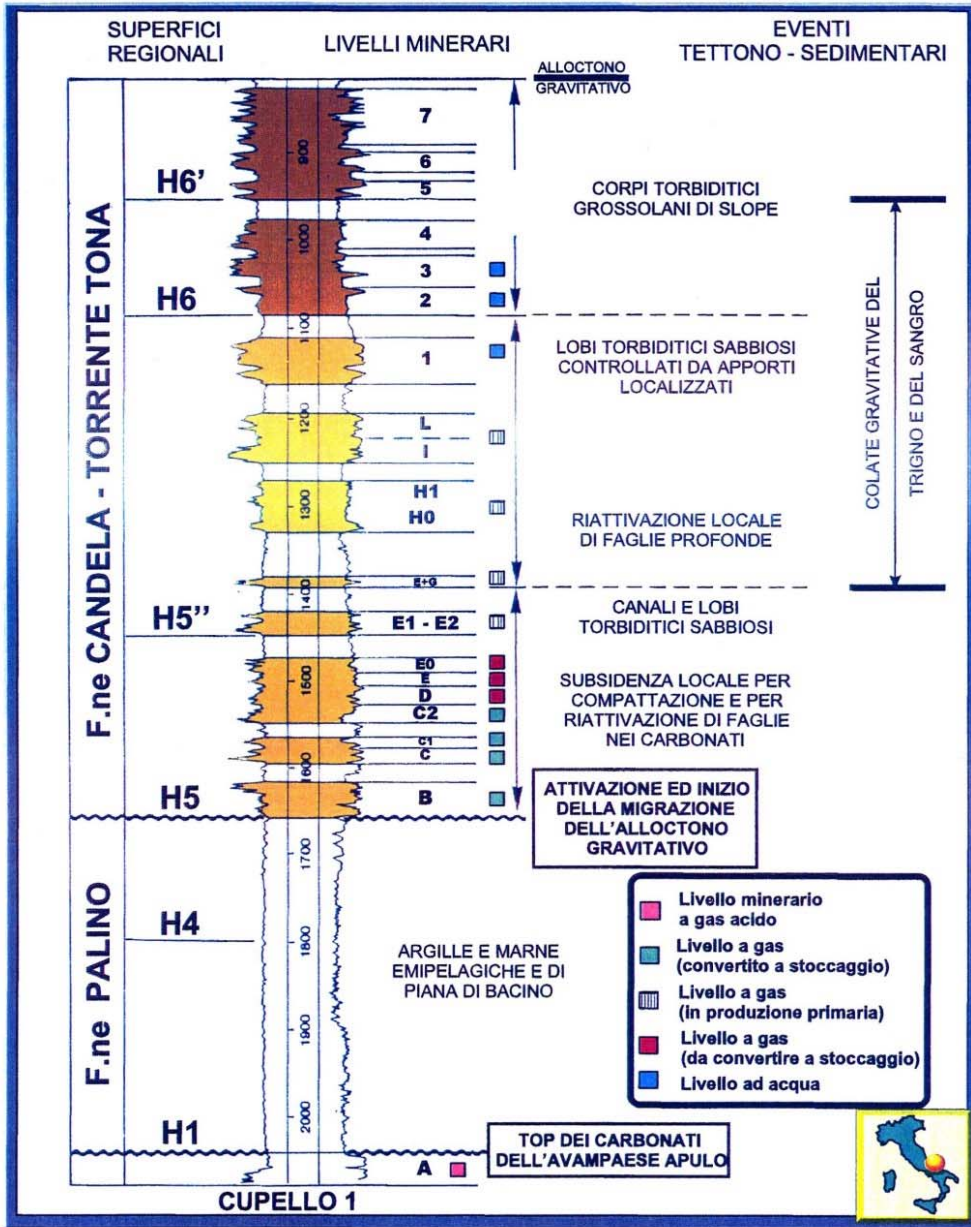




Fig.1.1 Schema stratigrafico dell'Avanfossa Bradanica – Concessione Fiume Treste

	Eni S.p.A. Divisione E&P	SAN SALVO 81 DIR CARATTERIZZAZIONE PETROFISICA, GEOSTRUTTURALE E GEOMECCANICA	Pagina 5 di 58
---	---	--	----------------


2. CONCLUSIONI

I principali risultati possono essere così riassunti:

- L'analisi dei dati log e l'osservazione delle carote hanno permesso di distinguere tre intervalli: argille sommitali (shale 1, 1108-1165 m), sabbie (livello C2, 1165-1181 m) e argille basali (shale 2, 1181-1210 m).
- Le shale 1 sono costituite da argille prevalentemente massive con rare laminazioni a basso angolo immergenti verso NE. L'analisi dei breakout indica la direzione dello stress orizzontale massimo verso 155 N. I log di immagine e l'anisotropia acustica evidenziano entrambi la presenza di superfici con strike 120 N che non sono state riconosciute in nessun modo su carote quindi potenzialmente indotte. D'altro canto, i risultati delle analisi dell'anisotropia acustica mostrano la presenza di tali superfici fino a circa 70 cm all'interno della formazione.
- Il livello C2 è caratterizzato da strati di sabbia fine (spessore 10-50cm) con fitte laminazioni a basso angolo immergenti verso NE e rare fratture (strike medio 95 N), riconosciute in carota. Non sono presenti breakout e altri fenomeni di fratturazione indotta e anche il log sonico evidenzia una anisotropia acustica di rilevanza trascurabile (strike NE15). La porosità media è di 23%, la sw di 30-40%, la k di 300-1300 mD.
- Le shale 2 mostrano caratteristiche sedimentologiche differenti dalle shale 1 e presentano laminazioni interne deformate per *slump* immergenti SSE (strike medio 80 N). I breakout hanno orientazione analoga alle shale 1. La risposta dell'anisotropia acustica (strike 75 N) è conforme con la risposta di log di immagine e carote.
- La fratturazione indotta è presente esclusivamente nelle litozone argillose (shale 1 e shale 2) ed è del tutto assente nel livello C2.
- Per le argille si può parlare più propriamente di argilla siltosa - silt molto argilloso;
- Le frazioni dominanti delle argille sono costituite da smectite (70% circa) e illite (20%).
- La variabilità mostrata, da alcuni campioni "gemelli", nel valore della threshold pressure è da imputare probabilmente alle bioturbazioni e/o alle sottili laminazioni, entrambe presenti ed osservate sulle carote, che potrebbero variare in modo localizzato da un campione all'altro modificandone, in tal modo, le caratteristiche petrofisiche.
- Sulla base delle analisi, è ragionevole supporre che i valori più elevati delle threshold pressure siano riferiti a materiale maggiormente argilloso o dove la frazione argillosa sia disposta in modo tale da aumentarne la tenuta.
- Le argille hanno mostrato comportamento meccanico abbastanza simile; l'esiguo numero di dati sperimentali non permette un'analisi statistica dei parametri che vada al di là di un semplice valor medio: in tal caso si ha $E_{\text{medio}} = 1380 \pm 190$ MPa (valore riferito alla pressione di confinamento di 7.5 MPa).
- Problemi nella valutazione del coefficiente di Poisson non ne consentono una sua analisi statistica; in base alla nostra esperienza un valore di 0.1 – 0.2 potrebbe essere utilizzato.
- Una semplice statistica sui valori della coesione delle argille, τ_{shale} , e del relativo angolo di attrito interno, ϕ_{shale} , fornisce come risultati: $\tau_{\text{shale}} = 2.09 \pm 0.58$ MPa e $\phi_{\text{shale}} = 25.2 \pm 1.4$ gradi.

	Eni S.p.A. Divisione E&P	SAN SALVO 81 DIR CARATTERIZZAZIONE PETROFISICA, GEOSTRUTTURALE E GEOMECCANICA	Pagina 6 di 58
---	---	--	----------------

- Un solo set di prove triassiali sulla sabbia è stato eseguito nel corso dello studio; per permettere una valutazione maggiormente approfondita dei parametri meccanici delle sabbie si sono utilizzati anche i risultati della caratterizzazione eseguita nel corso di uno studio precedente sulle carote provenienti dai pozzi San Salvo 70d e 79d.
- Considerando solo i campioni di sabbia (provenienti dai pozzi 70d, 79d e 81d) simili per granulometria, si possono definire i seguenti valori medi per la coesione e l'angolo di attrito interno: $\tau_{\text{sand}} = 2.65 \pm 0.6$ MPa e $\phi_{\text{sand}} = 28.6 \pm 4.6$ gradi, rispettivamente.
- In merito al modulo di Young:
 - Come modulo di Young tangente di riferimento si suggerisce l'uso del valore determinato nel corso del presente studio: $E_{50} = 2437$ MPa (alla pressione di confinamento di 7.5 MPa) in quanto nel corso dello studio sui pozzi precedenti veniva determinato il modulo di Young secante.
 - Per il modulo di Young durante cicli di scarico-ricarico, sempre alla pressione di confinamento di 7.5 MPa, la media dei valori dei campioni selezionati dei tre pozzi risulta: $E_{\text{uni}} = 6046 \pm 527$ MPa.
- Per il coefficiente di Poisson delle sabbie si suggerisce un valore $\nu = 0.3$

	Eni S.p.A. Divisione E&P	SAN SALVO 81 DIR CARATTERIZZAZIONE PETROFISICA, GEOSTRUTTURALE E GEOMECCANICA	Pagina 7 di 58
---	---	--	----------------

3. INTERPRETAZIONE LOG

3.1 Log disponibili

Nel pozzo San Salvo 81 Dir foro 2, sono stati acquisiti nella fase 8 1/2 “ i seguenti log open hole:


- AIS/GPIT/PPC/MSIP/PPC/GR/ACTS/SP
- TLD/MCFL/APS/GR/ACTS
- UBI/GR/ACTS
- FMI/GR/ACTS prima delle prove di stress
- MDT Dual PKR/GR/ACTS in modalità prova di stress
- FMI/GR/ACTS dopo le prove di stress
- CMR/TLD/GR/ACTS

Il pozzo è sub-verticale con azimuth orientato verso 300°N con massima inclinazione pari a circa 4° nella porzione superiore, mentre si mantiene in media su 2° nelle parti intermedia ed inferiore. Nelle porzioni più competenti è ben evidente, specie dalle immagini acustiche UBI, un fenomeno di key-seat orientato verso ESE.

L’acquisizione dei log copre il livello minerario C2 della F.ne Candela – Torrente Tona ed un intervallo abbastanza ampio delle argille soprastanti e sottostanti le arenarie obiettivo. Il foro è stato perforato con l’utilizzo di un fango FW Avapolyoil Deep Drill, con densità 1400 g/l, viscosità 52 sec, NaCl 5 g/l, pH 11.5.

Per quanto riguarda le prove di sforzo, queste sono state realizzate mediante MDT Dual Packer in corrispondenza dei seguenti nove intervalli intrapacker:

1. 1137.8-1138.8
2. 1137.3-1138.3
3. 1194.6-1195.6
4. 1193.5-1194.5
5. 1198.5-1199.5
6. 1195.7-1196.7
7. 1152.1-1153.1
8. 1194.1-1195.1
9. 1200.0-1201.0

 Eni	Eni S.p.A. Divisione E&P	SAN SALVO 81 DIR CARATTERIZZAZIONE PETROFISICA, GEOSTRUTTURALE E GEOMECCANICA	Pagina 8 di 58
---	---	--	----------------

3.2 Controllo di qualità ed interpretazione dei log d'immagine

3.2.1 Controllo di qualità

Le immagini elettriche ricavate dalle acquisizioni log FMI prima e dopo le prove di stress – il processing è stato eseguito da SPEF utilizzando la piattaforma ‘Recall’ di Petris – sono di discreta-buona qualità, soprattutto se si considera l’elevata rugosità della parete del foro, presente lungo ampi intervalli. Nel dettaglio:

- FMI (fase da 8.5’): il foro si presenta affetto da una zona di “*rat hole*” della fase di perforazione precedente fino a circa 1118m MD. Al di sotto di questa profondità ed all’interno di quasi tutta la facies argillosa superiore l’unità di reservoir (Livello C2), la sezione foro mostra fenomeni di breakout e/o washout. In entrambi le acquisizioni, i caliper della sonda FMI hanno seguito pressoché lo stesso percorso, incanalandosi lungo i tratti con ovalizzazione. Fanno eccezione due intervalli con caliper quasi “*in gauge*” alle profondità 1135.5-1143.0m MD e 1149.0-1155.0m MD. Il foro si presenta perfettamente in calibro e privo di alcuna ovalizzazione in corrispondenza del livello produttivo C2, mentre la qualità della sezione foro si deteriora nella facies argillosa sottostante, in presenza di una diffusa rugosità. In questa porzione però, i fenomeni di ovalizzazione sono meno frequenti rispetto a quanto rilevato nelle argille superiori: i breakout si concentrano fino a 1191m MD. Non si segnalano particolari fenomeni di toolsticking per entrambi le acquisizioni di immagini elettriche eseguite prima e dopo i test di sforzo, a parte una zona di circa due metri di spessore appena sopra il tetto delle arenarie, coperta però dalle immagini acustiche UBI.
- In fase di controllo di qualità delle due registrazioni FMI, è stata verificata mediante cross-plot la centratura delle componenti accelerometriche (Fig. 3.2.1, 3.2.3) e magnetometriche (Fig. 3.2.2, 3.2.4) della cartuccia di orientazione GPIT per la misura delle curve di navigazione.
Tale controllo ha messo in evidenza una buona centralizzazione dei dati relativi alle due componenti x e y , i cui valori sono risultati distribuiti lungo cerchi completi, indicando che lo strumento ha subito delle rotazioni durante l’acquisizione. Una moderata dispersione dei valori è stata rilevata nella distribuzione dei valori di accelerometria (componenti x e y), il che può essere correlabile alla condizione di sub-perpendicolarità del foro.

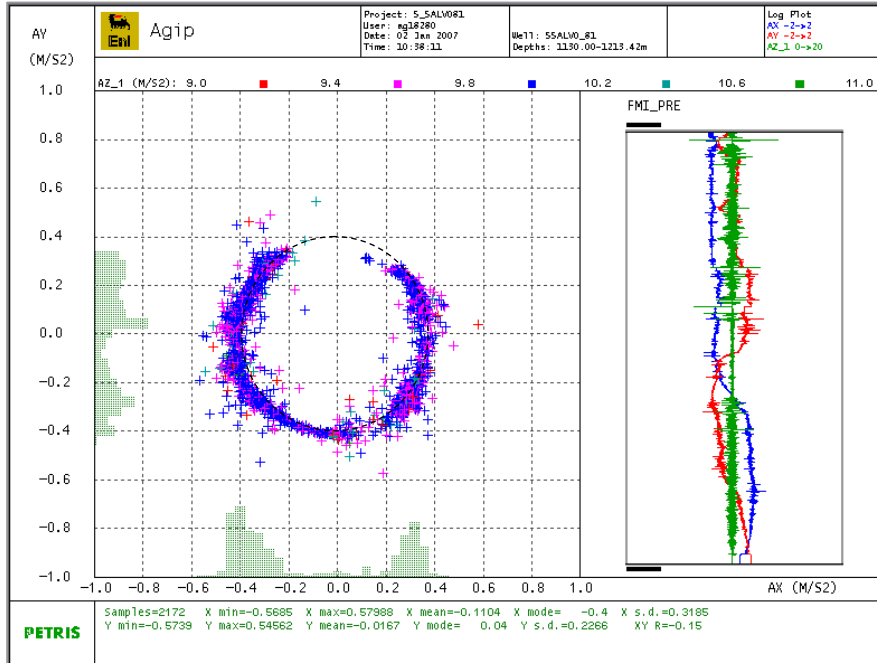


Fig. 3.2.1 – Cross-plot delle componenti accelerometriche x e y dell'acquisizione FMI prima delle prove di stress.

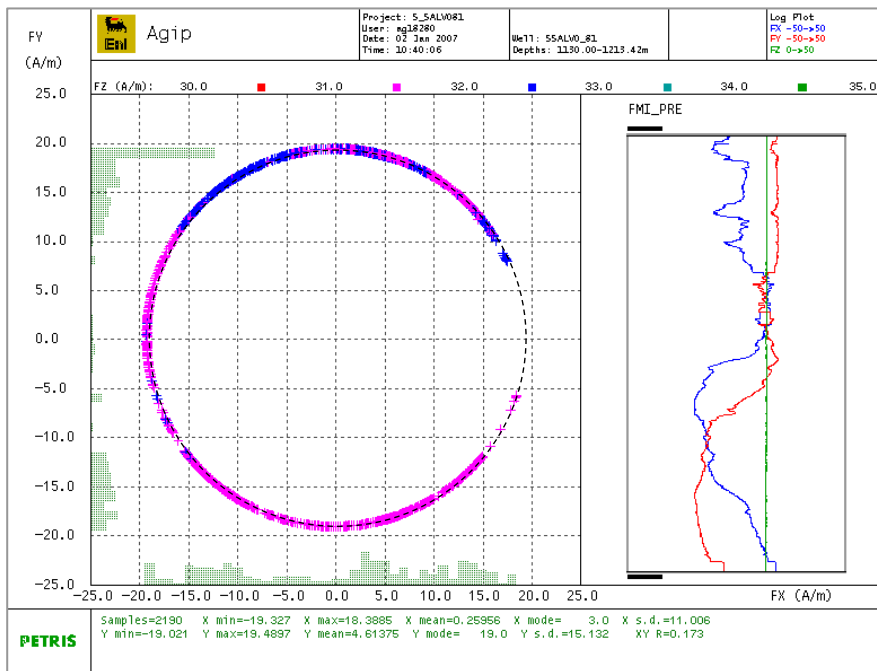


Fig. 3.2.2 – Cross-plot delle componenti magnetometriche x e y dell'acquisizione FMI prima delle prove di stress.

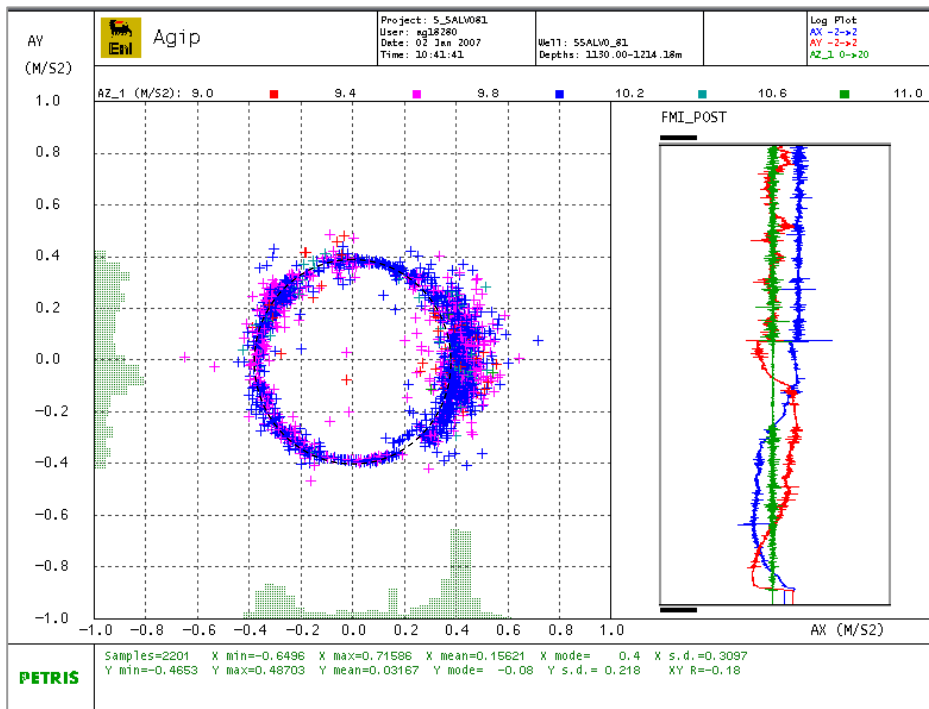


Fig. 3.2.3 – Cross-plot delle componenti accelerometriche x e y dell’acquisizione FMI dopo le prove di stress.

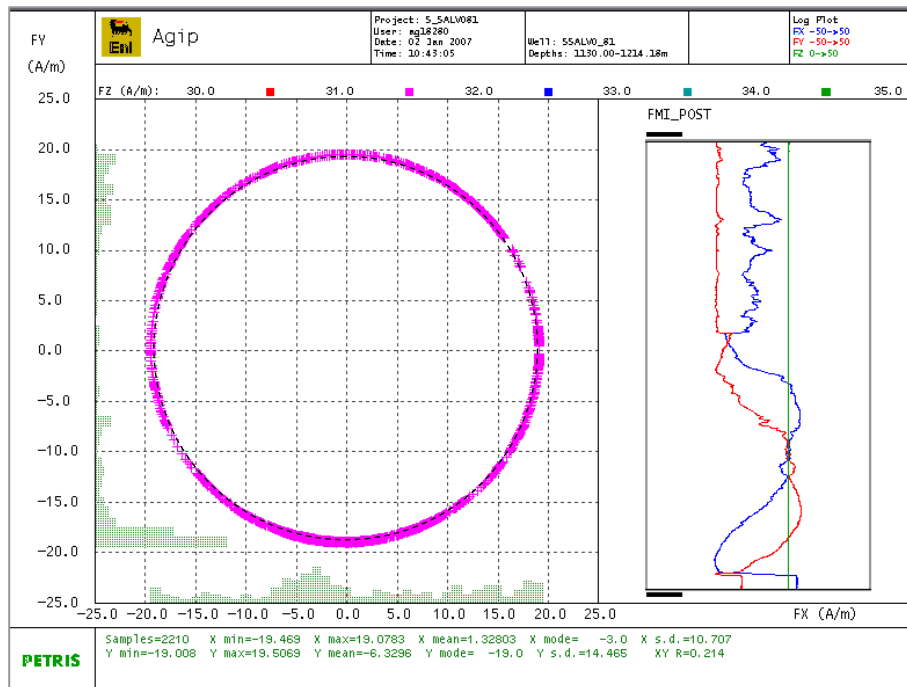




Fig. 3.2.4 – Cross-plot delle componenti magnetometriche x e y dell’acquisizione FMI dopo le prove di stress.

	Eni S.p.A. Divisione E&P	SAN SALVO 81 DIR CARATTERIZZAZIONE PETROFISICA, GEOSTRUTTURALE E GEOMECCANICA	Pagina 11 di 58
---	---	--	--------------------

- Le misurazioni dei valori di intensità ed inclinazione del campo magnetico terrestre e della misura della forza di gravità acquisite dalla cartuccia GPIT sono risultati coerenti con i valori teorici, stimabili sulla base della posizione del pozzo.
- Per quanto riguarda l'immagine acustica UBI, l'acquisizione è stata erroneamente effettuata senza la cartuccia di orientazione GPIT. Per questo motivo, si è dovuto procedere alla riorientazione dell'immagine dell'ampiezza acustica e del tempo di transito, sfruttando le numerose superfici stratigrafiche e/o di fratturazione visibili anche sulle immagini di resistività FMI. Naturalmente, la metodologia empirica usata non assicura una perfetta orientazione di tutti i tratti della registrazione UBI; è quindi preferibile utilizzare questo dato per fini interpretativi solo come supporto ai valori quantitativi estrapolati dall'analisi delle immagini di resistività FMI.

Per ottenere la giacitura degli eventi osservabili sulle immagini elettriche FMI e/o UBI, sia di carattere stratigrafico che relativi alla fratturazione, è stato realizzato un picking di tipo manuale adottando il seguente schema classificativo:

<i>bed boundary:</i>	superficie di strato che rappresenta l'interfaccia tra due diversi fabric – indica la pendenza strutturale della serie;
<i>laminae:</i>	superficie discreta planare all'interno di uno stesso fabric – tale superficie è interpretabile come derivante da processi sedimentari;
<i>conductive_fracture:</i>	superficie lungo la quale si verifica una perdita di coesione tra due blocchi – riconducibile a processi tettonici, eventualmente allargata da dissoluzione con riempimento di materiale argilloso;
<i>resistive_fracture:</i>	frattura cicatrizzata – rilevabile come responso resistivo dai log d'immagine;
<i>fault:</i>	superficie a scala sub-sismica lungo la quale si esplica un movimento tra due blocchi o comunque caratterizzata dalla combinazione di diversi aspetti, tra cui sono da segnalare i seguenti come più significativi: incremento della fratturazione, variazione della pendenza regionale, pieghe di trascinamento (“ <i>drag-effect</i> ”), scavernamenti, rotazione degli stress, presenza di brecce, ripetizione di serie, netta variazione della facies tessiturale;
<i>shear_fracture:</i>	frattura lungo la quale si manifesta un moderato movimento tra due blocchi a contatto;
<i>brk_fmi:</i>	fenomeni di scavernamento localizzato visibili sulle immagini FMI ed orientati a 180° sulla parete del foro, secondo l'orientazione dello stress orizzontale minimo;
<i>brk_ubi:</i>	fenomeni di scavernamento localizzato visibili sulle immagini UBI ed orientati a 180° sulla parete del foro, secondo l'orientazione dello stress orizzontale minimo;
<i>tensile:</i>	fratture di tipo indotto da correlare al disequilibrio, esplicatosi in fase di perforazione, tra peso del fango e perturbazione del campo di stress, orientate secondo la direzione dello stress orizzontale massimo;

	Eni S.p.A. Divisione E&P	SAN SALVO 81 DIR CARATTERIZZAZIONE PETROFISICA, GEOSTRUTTURALE E GEOMECCANICA	Pagina 12 di 58
---	---	--	--------------------

petal-centerline: fratture di tipo indotto sviluppate per processi connessi alle attività di perforazione. Possono avere aspetto petaloide e tendere a coalescere lungo superfici di frattura sub-verticali.

Infine, gli intervalli dove il log non è interpretabile a causa della cattiva qualità delle immagini (es: tool sticking o estese zone di washout/breakout) sono stati contrassegnati con una flag definita come *bad image*.

3.2.2 Assetto strutturale ed analisi della fratturazione

Le superfici di tipo stratigrafico (*bed boundary* e *laminae*) si presentano con continuità e regolarità all'interno dell'unità del reservoir (Livello C2) compresa tra 1165m e 1181m MD. Le facies argillose mostrano invece, sia sulle immagini resistive che su quelle acustiche, un aspetto tessiturale dominato da superfici a medio-elevato angolo. All'interno delle argille poste sopra la zona reservoir sono presenti due intervalli con litologia più siltitica e tessitura caratterizzata da laminazioni più marcate. Tali intervalli corrispondono alle profondità 1136.7-1141.3m e 1152.0-1154.2m MD. Analogamente, un altro intervallo caratterizzato da una facies con marcato layering stratigrafico si trova nella parte inferiore dell'intervallo esaminato, al di sotto di 1205m mD.

In generale, la pendenza strutturale di tutto l'intervallo stratigrafico presenta immersione verso NE, con locali rotazioni delle laminazioni verso S, di natura prevalentemente sedimentologica. L'inclinazione rispetto all'orizzontale si mantiene in prevalenza attorno a 5°-8°. Le caratteristiche della stratificazione ed il risalto sulle immagini log è però diverso nelle varie parti attraversate.

Le sabbie del livello produttivo C2 si presentano infatti fittamente laminate, con forte contrasto resistivo-conduttivo e marcata planarità degli eventi (Fig. 3.2.5). La giacitura si mantiene a basso angolo (<5°) con immersione costante verso NE (in media NE42°, Fig. 3.2.6); quindi, non appare rilevante nel generare fenomeni di anisotropia. Tale assetto sub-orizzontale è ben evidente dall'analisi in carota, nella quale sono stati riconosciuti anche rari eventi a medio angolo riconducibili a fratture (Fig. 3.2.7). L'analisi del log immagine ha permesso di determinare per questi ultimi eventi una orientazione preferenziale W-E, comunque non compatibile con l'anisotropia acustica (Fig. 3.2.8); quest'ultima è però di scarsa rilevanza.

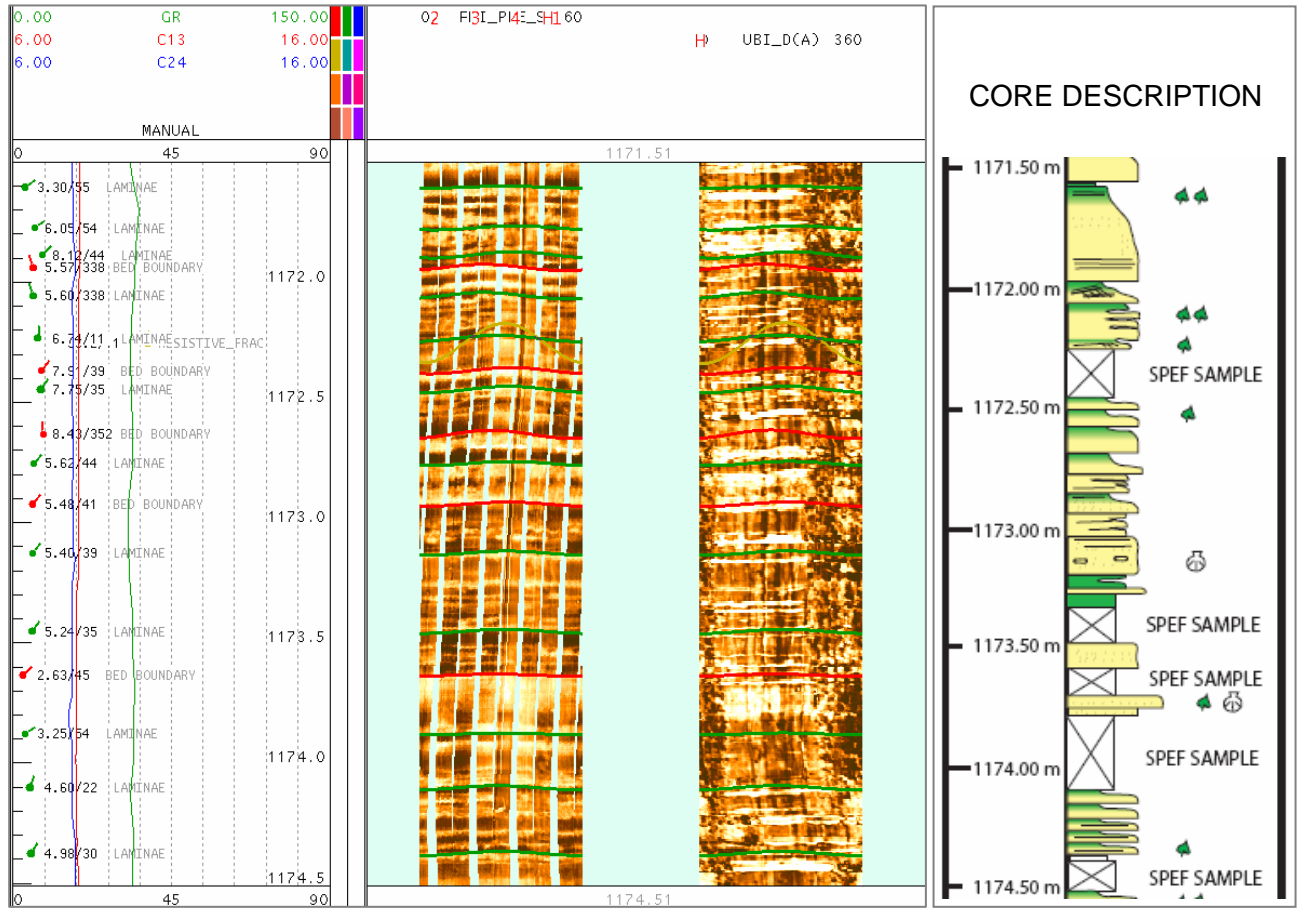


Fig. 3.2.5 – Laminazioni piano-parallele all'interno della facies arenacea del Livello C2 (@1171.5-1174.5m MD).

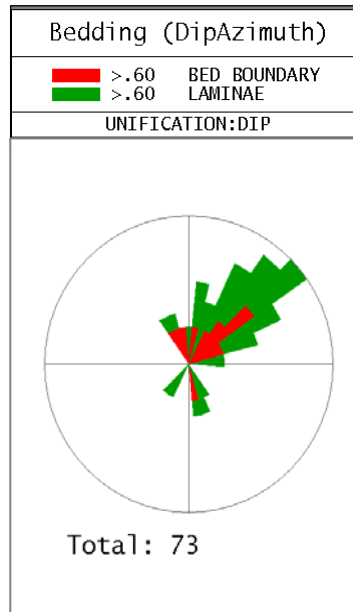


Fig. 3.2.6 - Diagramma a rosa per superfici tipo *bed boundary* e *laminae* nel livello C2 (@ 1165-1181m mD).

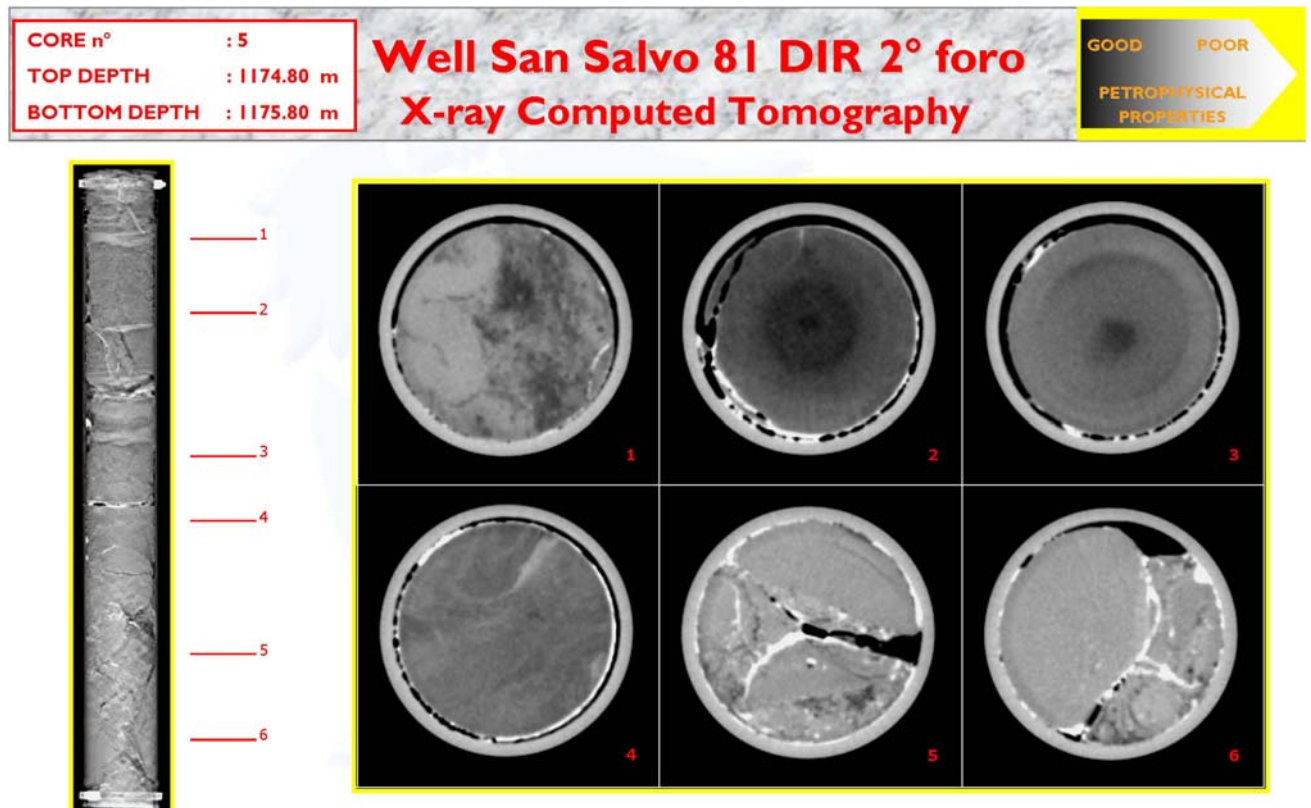


Fig. 3.2.7 – Evidenze da X-Ray della presenza di alcune fratture all'interno della facies arenacea (Liv. C2) (@1174.8-1175.8m MD).

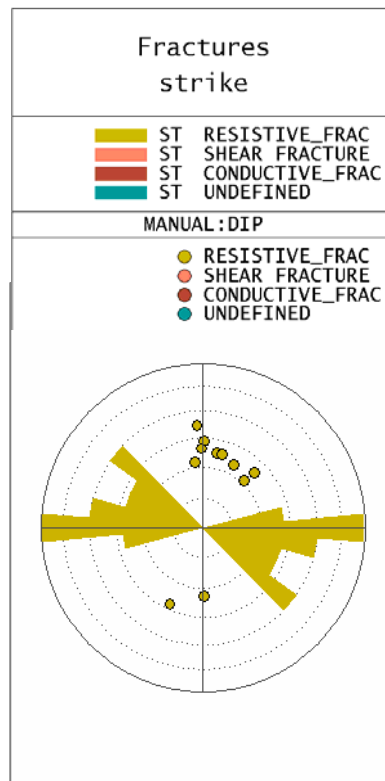


Fig. 3.2.8 – Diagramma a rosa e proiezioni polari (emisfero inferiore) per le superfici tipo fratture resistive individuate all’interno del livello arenaceo C2 (@1165-1181m MD) da log d’immagine.

Differenti sono le caratteristiche dell’assetto della stratificazione all’interno delle unità argillose sottostanti e soprastanti le arenarie. Nelle argille infatti è stata riconosciuta una pendenza strutturale confrontabile con quella identificata nelle arenarie reservoir, alla quale si sovrimponde una tessitura interna dei corpi caratterizzata da superfici a medio ed alto angolo (fino a 70°) (vds. All. 3.2.1), espressione di eventi tipo “slumping”, individuati molto bene nell’analisi sedimentologica su carota.

Per quanto riguarda la litozona inferiore in particolare, i log immagine hanno messo in evidenza intervalli di spessore decimetrico e metrico, con superfici convolute aventi angoli di inclinazione estremamente variabili ed immersione prevalente verso SSE (152°N, vds. Fig. 3.2.9 e All. 3.2.1). Questi piani presentano quindi strike dominante WSW-ENE, comparabile con l’orientazione ottenuta dall’analisi dell’anisotropia da SonicScanner (NE60°). Rare sono le intercalazioni di tipo sabbioso-siltoso in cui la laminazione interna è fortemente deformata per “slump” (Fig. 3.2.10), come individuato dall’analisi su carota.

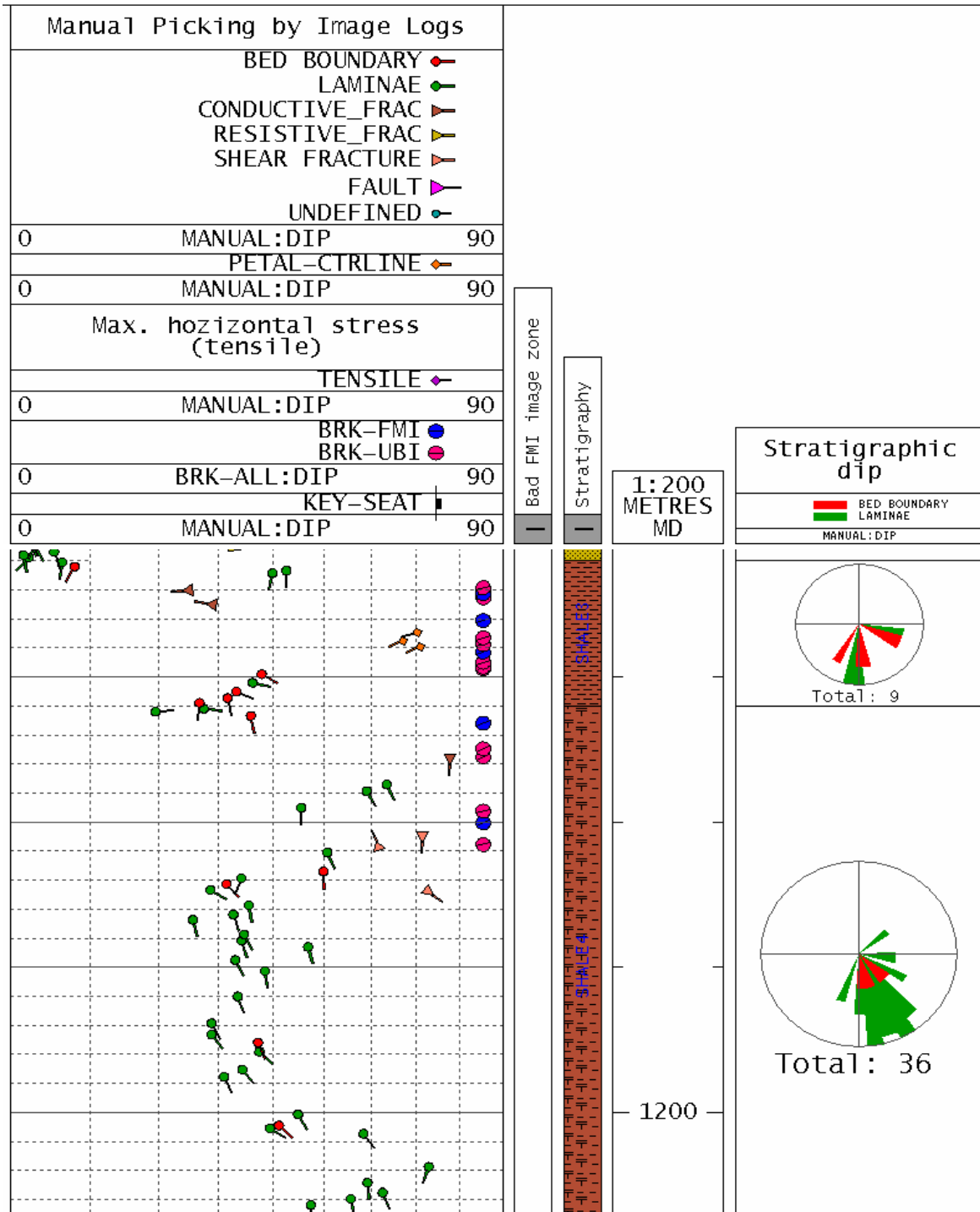


Fig. 3.2.9 – Interpretazione FMI nella facies argillosa sottostante il Livello C2 e diagrammi a rosa per superfici tipo *bed boundary* e *laminae* (@1181-1204m MD).

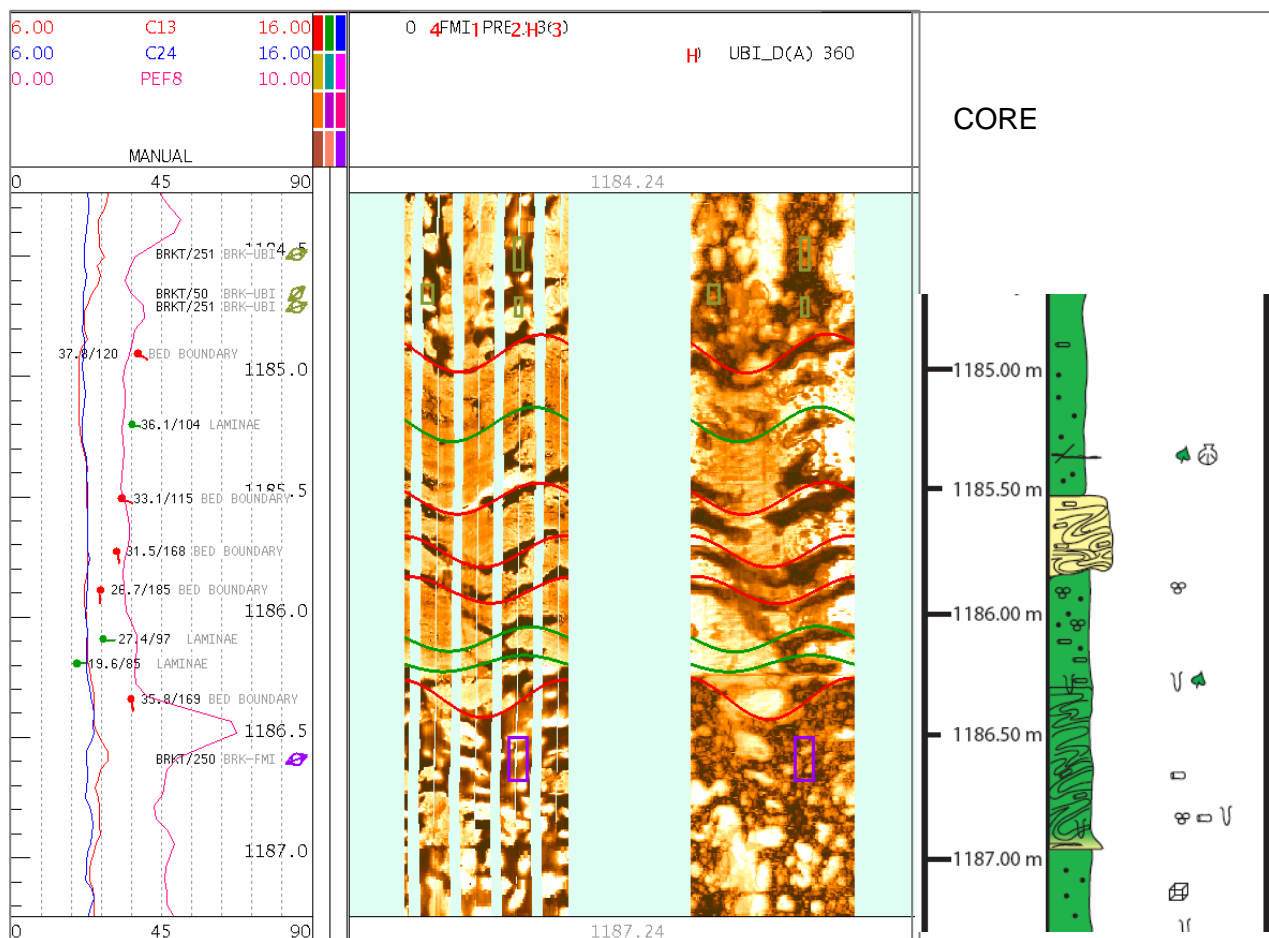


Fig. 3.2.10 – Interpretazione FMI/UBI nella facies argillosa sottostante il Livello C2, in cui è riconoscibile un orizzonte a composizione più sabbioso-siltosa (@1185-1186m MD) con laminazioni riconducibili a fenomeni tipo “slump”.

Per quanto riguarda la litozona argillosa che si trova al tetto del livello C2, l’analisi delle immagini elettriche ed acustiche ha evidenziato la presenza, insieme con una stratificazione a basso angolo (All. 3.2.1), di superfici fortemente conduttive sulle immagini di resistività FMI, con spessore talvolta dell’ordine di una decina di centimetri (Fig. 3.2.11). Queste superfici mostrano una giacitura prevalente con immersione verso SW (strike NE121°, Fig. 3.2.12) ed un risalto di impedenza anche sulle immagini dell’ampiezza del segnale acustico UBI (Fig. 3.2.13). Sono state identificate anche rare fratture conduttive e di taglio: quelle con evidenze di movimento sono collocate nella parte inferiore della facies e potrebbero spiegare la blanda rotazione dello stato di stress in situ rilevata dall’analisi dei breakout nell’intervallo 1157-1165m MD. L’orientazione delle superfici classificate come “undefined” (Fig. 3.2.13) risulta coerente con la direzione di anisotropia rilevata dallo strumento sonico SonicScanner.

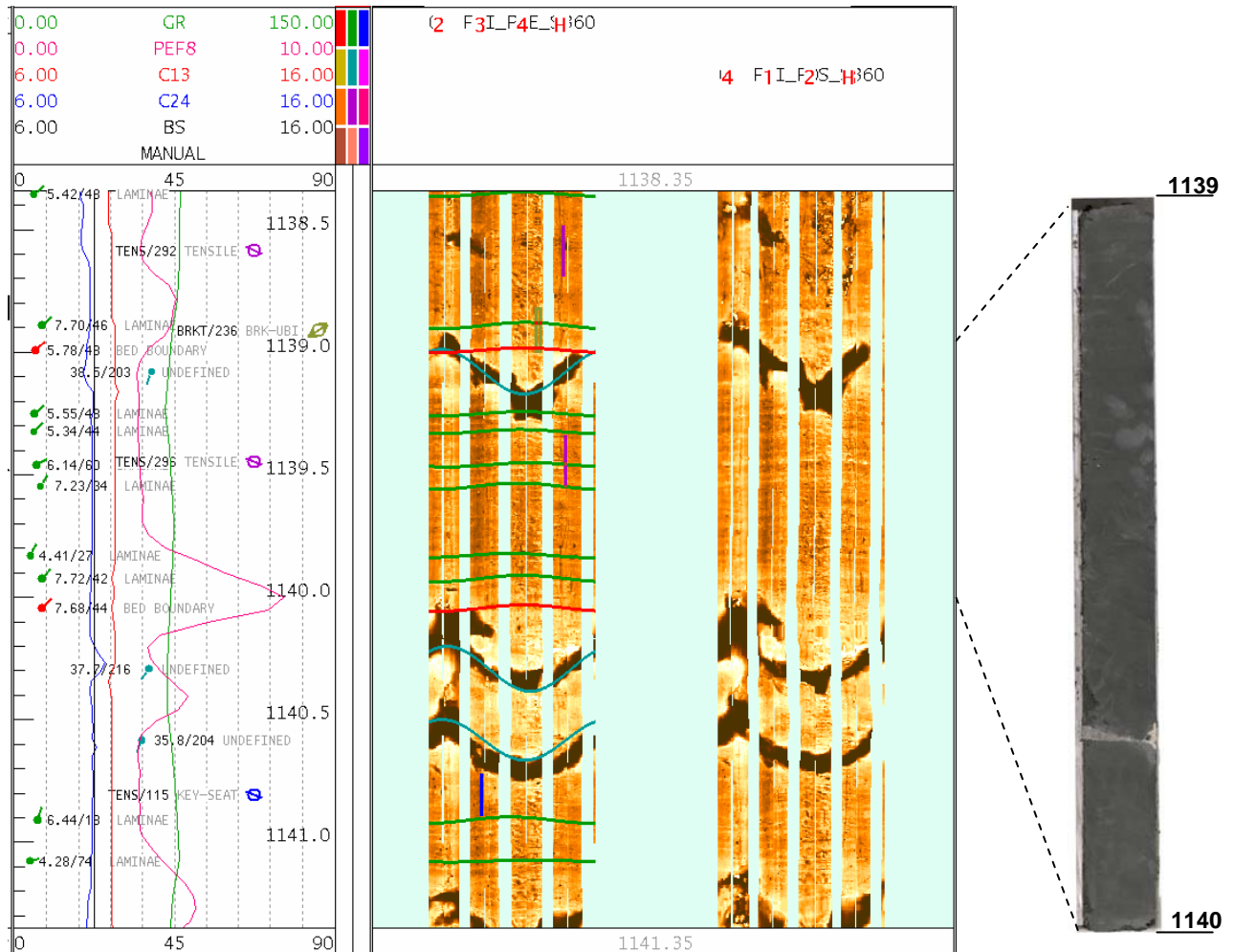


Fig. 3.2.11 – Interpretazione FMI nella facies argillosa soprastante il Livello C2 (@1138.4-1141.4m MD). Sulla destra è riportata l'immagine della carota n.2 tra 1139-1140m.

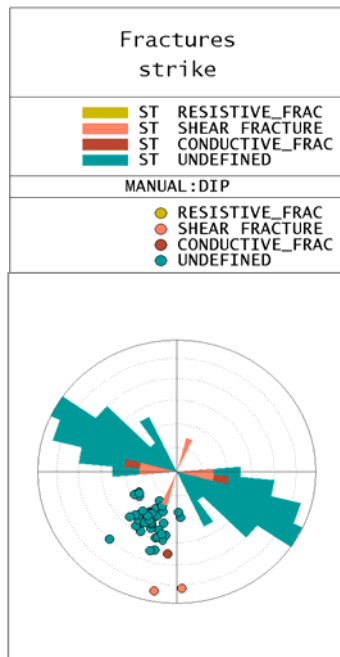


Fig. 3.2.12 – Diagramma a rosa e proiezioni polari (emisfero inferiore) per le superfici tipo fratture conduttive, fratture di taglio e “undefined” individuate nella litozona argillosa soprastante il livello arenaceo C2 (@1118-1165m MD).

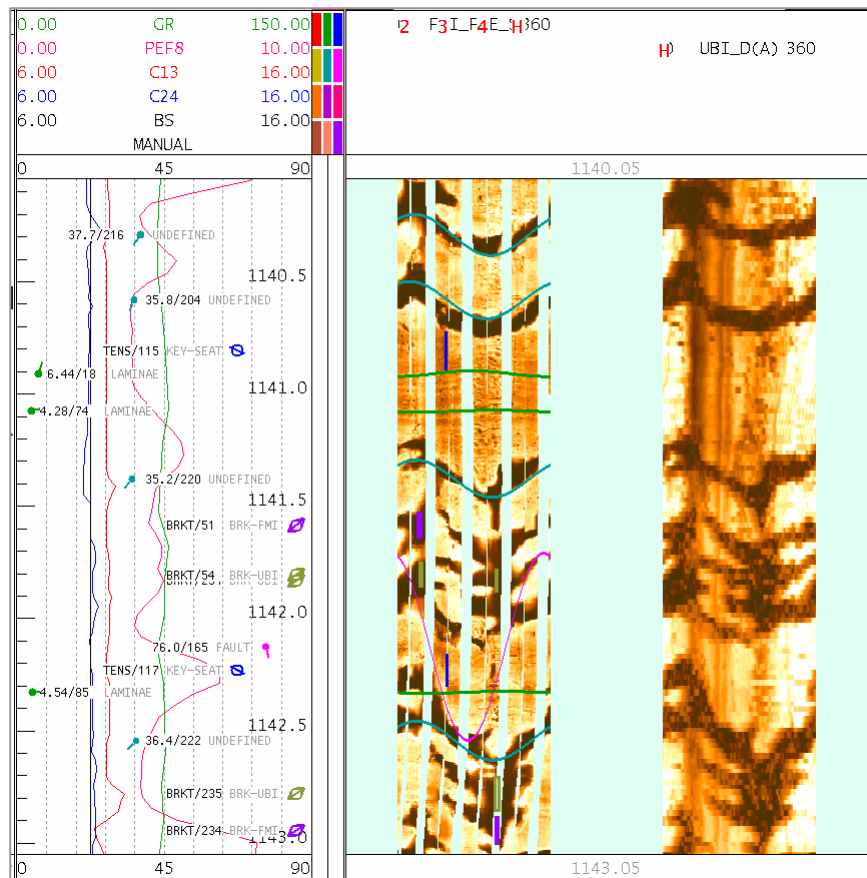



Fig. 3.2.13 – Immagini elettriche ed acustiche nell’intervallo @1140.1-1143.1m MD, sulle quali dominano breakout e superfici a medio angolo. Una piccola faglia sub-sismica è stata interpretata alla profondità @1142.2m MD.

	Eni S.p.A. Divisione E&P	SAN SALVO 81 DIR CARATTERIZZAZIONE PETROFISICA, GEOSTRUTTURALE E GEOMECCANICA	Pagina 20 di 58
---	---	--	--------------------

3.3 Analisi dello stress in-situ

Il pozzo in esame presenta inclinazione rispetto alla verticale di circa 4° alla profondità di 1058m MD e generalmente prossima a 2° per la maggior parte del suo decorso. Tali valori di deviazione, in quanto non distanti dalla condizione di foro sub-verticale, sono entro i limiti di accettabilità per consentire di ricondurre direttamente i breakout all'orientazione dello stress orizzontale minimo.

La caratterizzazione dello stato di stress attuale è stata realizzata tenendo in conto sia delle immagini di resistività FMI che di quelle acustiche UBI, dopo opportuna messa in profondità e riorientazione di queste ultime.

Sulle immagini resistive FMI, i breakout sono stati osservati su due pattini opposti come zone ad alta conduttività, talora con discreta continuità verticale dell'ovalizzazione (Fig. 3.3.14). Il fatto che le zone di breakout si presentino qui con caratteristiche di alta conduttività elettrica è dovuto ai fenomeni di infiltrazione del fango di perforazione all'interno della rete di microfrazture, considerando che la conducibilità del fango a base acqua utilizzato è più elevata rispetto a quella, comunque elevata, della matrice argillosa. Il tipo di fango adottato è Avapolyoil Deep Drill con densità di 1400g/l, pH uguale a 11.5 e resistività del pannello (RMC) pari a 0.99 ohmm ad una temperatura di 12 degC.

L'orientazione dei fenomeni di breakout risulta essere abbastanza consistente lungo tutto il tratto di pozzo esaminato, con orientazione dominante di 064°N (NE-SW). Questa orientazione è sostanzialmente coerente sia per quanto riguarda i risultati ottenuti dalle immagini FMI che da quelle UBI. In corrispondenza della zona intermedia, tra 1155m e 1165m MD, si ha una leggera rotazione dei fenomeni verso W-E (All. 3.2.1), da correlare alla presenza di alcuni eventi di taglio, identificati dalle immagini log.

I fenomeni di fratturazione indotta sono presenti esclusivamente nelle litozone argillose, mentre sono del tutto assenti all'interno del livello produttivo C2.

La ripetitività dei fenomeni dovuti a breakout, per quanto riguarda l'acquisizione FMI prima e dopo l'esecuzione delle prove di stress mediante MDT dual Packer, è molto buona. Alla profondità di circa 1138m MD si è osservato un incremento dell'entità dello scavernamento localizzato, ancora incipiente durante l'acquisizione FMI effettuata prima dei test MDT (Fig. 3.3.15). Nella medesima posizione sono state rilevate alcune fratture con struttura "a petalo" di tipo indotto riconducibili allo stesso meccanismo di stato di stress in situ. Le fratture "a petalo" vengono infatti interpretate come superfici indotte che si formano alla testa dello scalpello, come conseguenza della complessa concentrazione di sforzi che si generano sulle pareti del foro (Lorenz et al., 1990; Li and Schmitt, 1998), spesso favorite dall'uso di fanghi pesanti ed in condizioni di elevata rugosità del foro (Li and Schmitt, 1998). Queste fratture presentano infatti strike orientato verso NW-SE, cioè come la componente orizzontale massima indicata dai breakout.

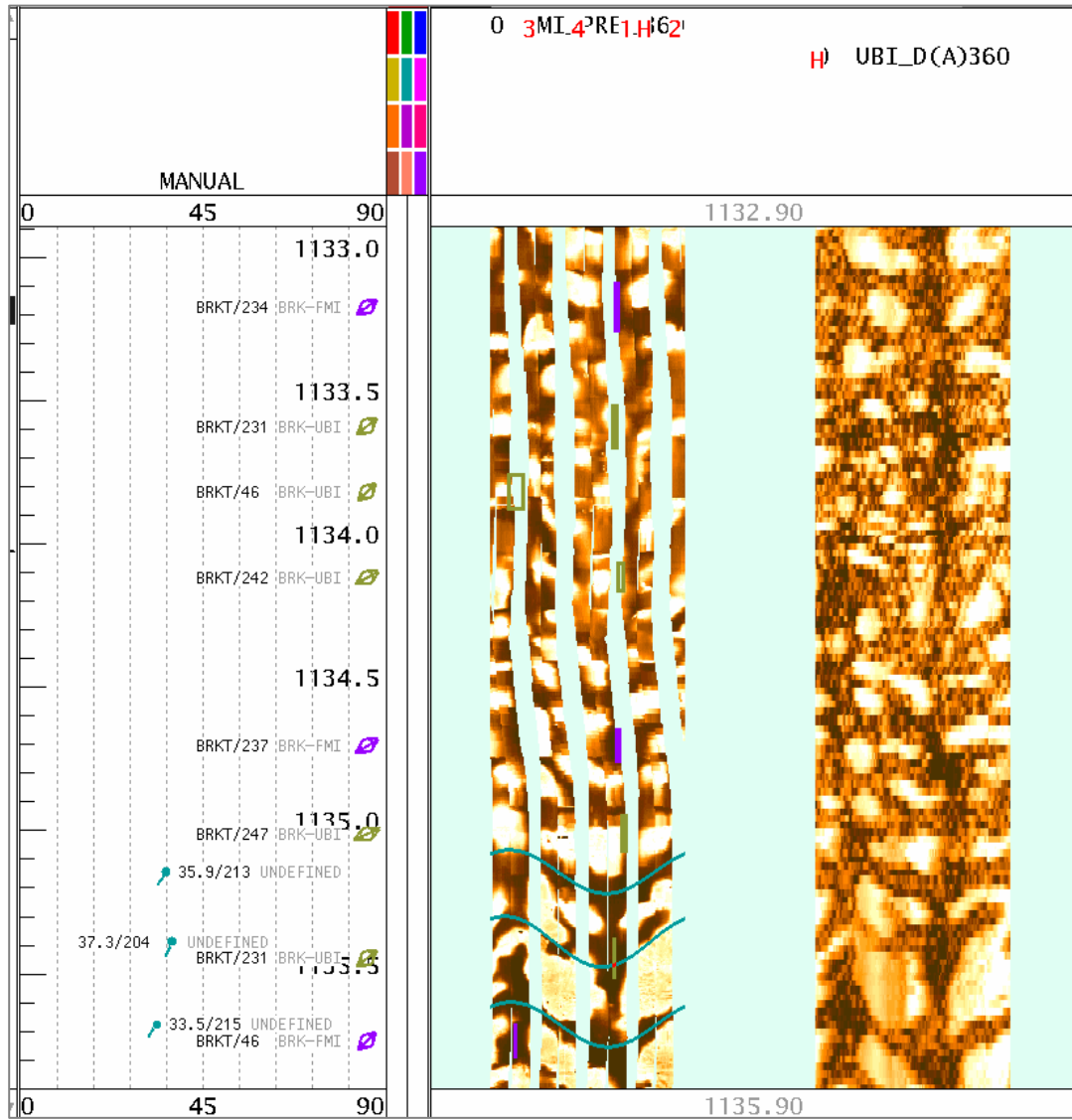


Fig. 3.3.14 – Immagini elettriche ed acustiche in corrispondenza di diffusa ovalizzazione legata ad zona con un breakout (@1133-1136m MD).

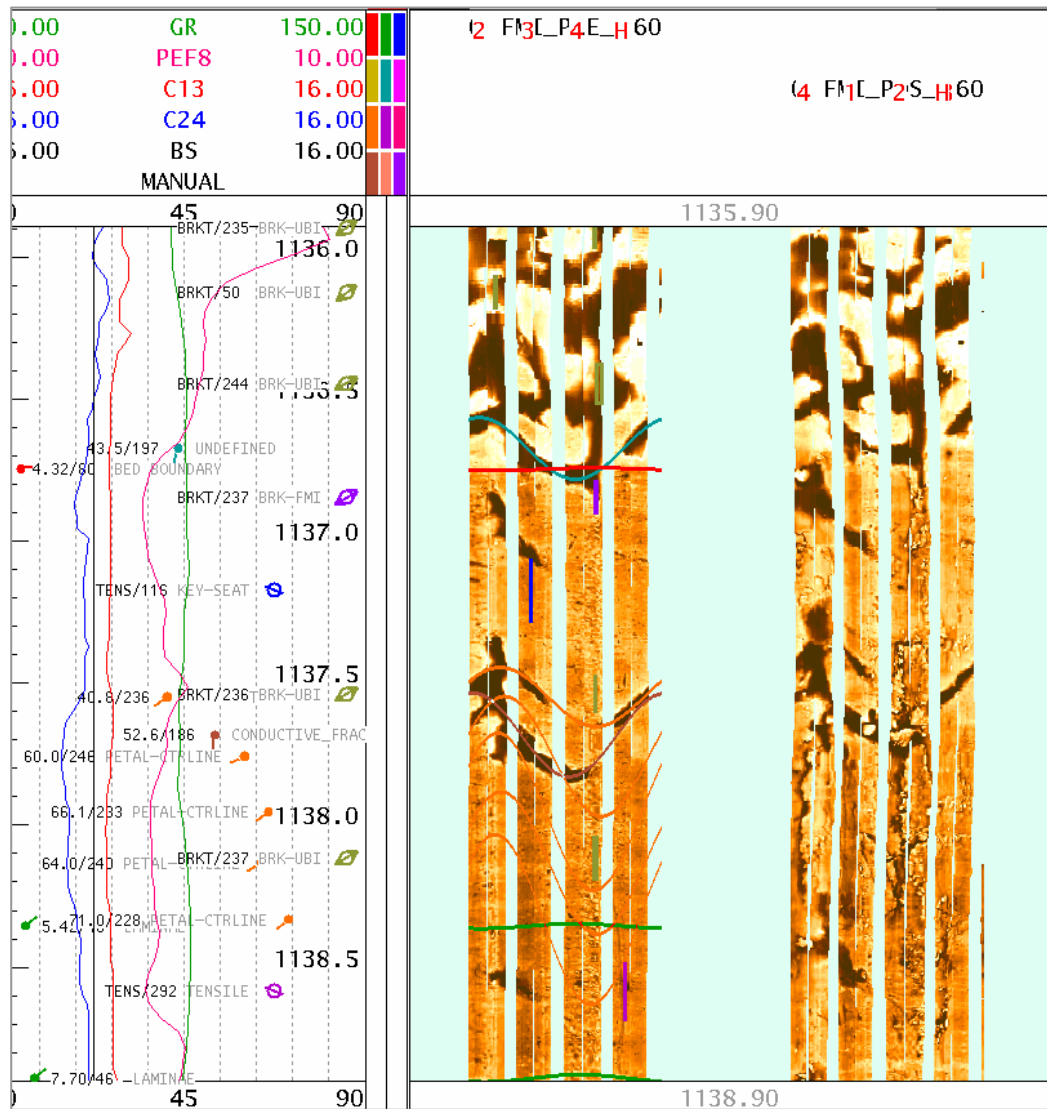


Fig. 3.3.15 – Confronto tra immagini statiche FMI eseguite prima e dopo un test di sforzo (MDT n.2: @1137.3-1138.3m MD). Nell'immagine dopo il test a destra, si evidenzia lo sviluppo di un fenomeno di breakout, che indica l'orientazione dello stress orizzontale minimo verso NE57°. Nella parte bassa della figura sono presenti anche delle superfici indotte con strike orientato come lo stress orizzontale massimo.

3.4 Controllo di qualità ed interpretazione del log SonicScanner

3.4.1 Controllo di qualità del dato raw

Nel pozzo San Salvo 81 foro 2 è stato registrato il nuovo tool sonico digitale SonicScanner (MSIP) di Schlumberger

La caratteristica di questo tool è quella di fornire una risposta acustica monopolare e dipolare secondo l'asse, l'azimuth e il raggio del pozzo permettendo di misurare le variazioni di velocità della formazione in prossimità e lontano dal foro. E' costituito da 13 ricevitori (con 8 elementi) e 6 sorgenti.

Questa vasta quantità di informazioni permette di produrre svariati prodotti interpretativi.

Nel caso di San Salvo 81 foro 2 sono stati elaborati il profilo radiale di velocità del dipolo e monopolo, l'anisotropia delle onde shear e l'anisotropia 3D.

Le elaborazioni di tali dati sono state fatte da Schlumberger Data&Consulting Services – CEU.

In ENI E&P è stato fatto un controllo di qualità, un'analisi critica ed una integrazione di tali dati.

Come è stato già accennato, il pozzo, pur presentando una qualità del foro bassa (eccetto nel livello a sabbia) ha permesso una acquisizione delle onde acustiche di buona qualità.

Qui di seguito in Fig 3.4.1 sono riportate le onde relative ai 13 ricevitori per le diverse modalità di acquisizione FMP, FMP LF –Stoneley ed i due dipoli (XDP e YDP). In proposito si rimanda al rapporto Schlumberger non ancora in versione definitiva.

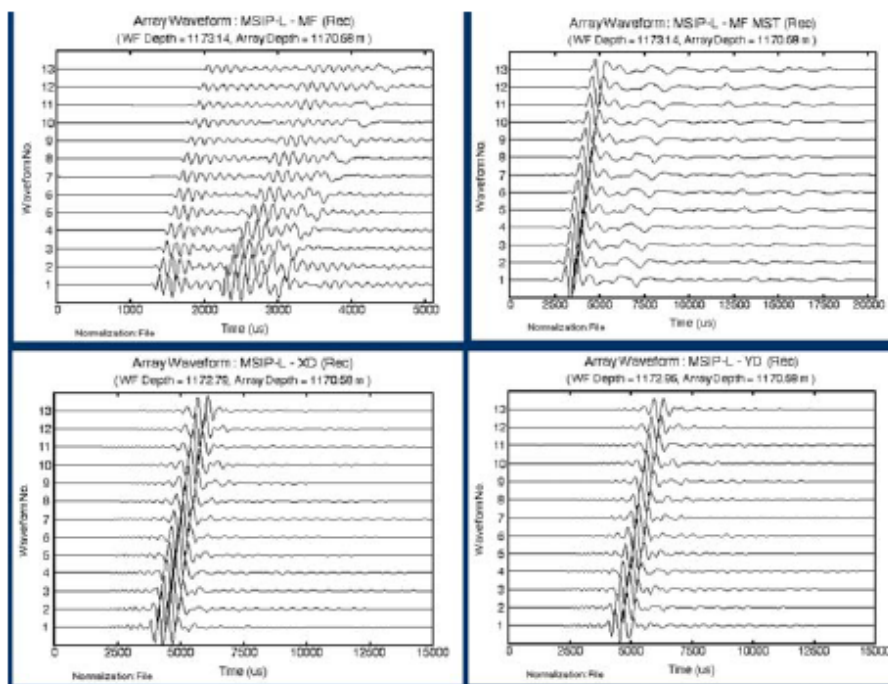


Fig. 3.4.1. Acquisizione FMP, FMP LF –Stoneley ed i due dipoli XDP e YDP – qualità dei 13 ricevitori

Nella figura seguente (Fig. 3.4.2) viene invece presentato un esempio del dato dipolare (fast shear) che mostra coerenza e continuità del segnale.

Nella quarta traccia è rappresentata la coerenza del segnale di Dt shear (il colore rosso mostra la massima coerenza), mentre nella quinta traccia è rappresentata la proiezione della dispersione. Il Dt deve posizionarsi sul limite inferiore della dispersione (come in questo caso).

Si può dire quindi che la qualità del dato è buona.

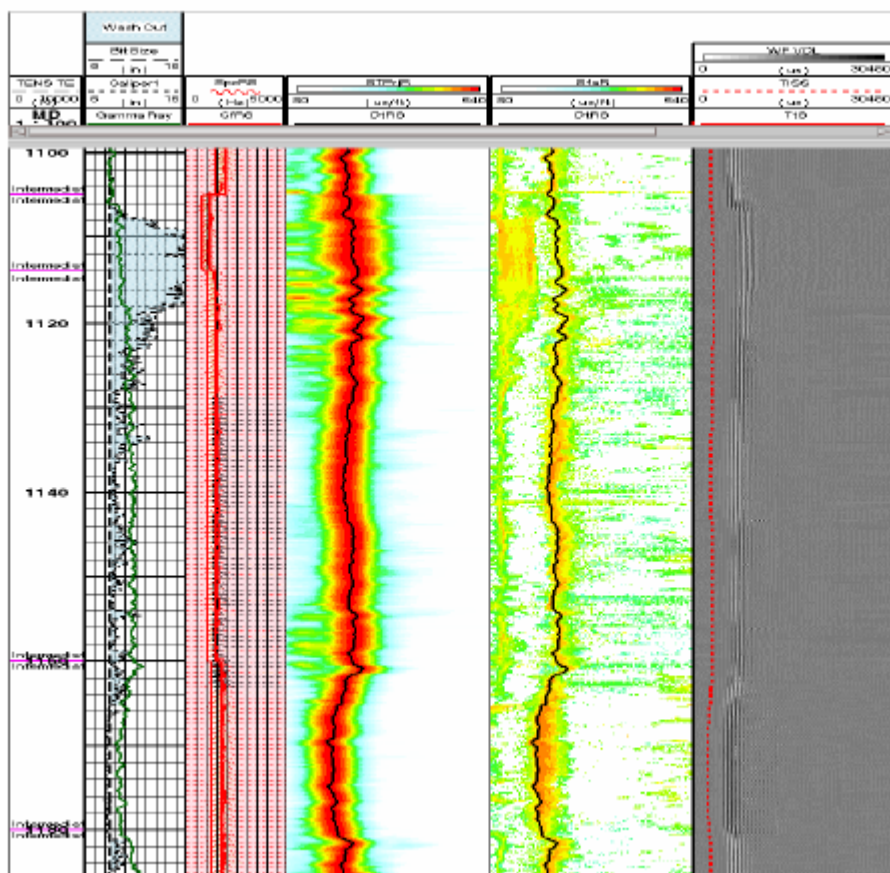


Fig. 3.4.2 Esempio di processing del Dt shear. Nella quarta traccia è rappresentata la coerenza del segnale di Dt shear (il colore rosso mostra la massima coerenza), mentre nella quinta traccia è rappresentata la proiezione della dispersione.

3.4.2 Controllo di qualità del dato interpretato

3.4.2.1 Anisotropia da shear

Quando un'onda shear attraversa una formazione ed incontra una superficie di discontinuità si divide in due componenti ortogonali: una veloce parallela alla superficie ed una lenta perpendicolare ad essa. Attraverso l'acquisizione di dati provenienti da sorgenti dipolari ortogonali e registrati su sensori azimutali è possibile calcolare, attraverso una

	Eni S.p.A. Divisione E&P	SAN SALVO 81 DIR CARATTERIZZAZIONE PETROFISICA, GEOSTRUTTURALE E GEOMECCANICA	Pagina 25 di 58
---	---	--	--------------------

rotazione matematica, la direzione e la velocità dell'onda shear "slow" e "fast" che attraversa la formazione.

Conoscendo l'orientazione del tool è possibile quindi definirne la direzione dell'onda shear veloce che viene definita come "fast-shear azimuth".

Oltre a definire la velocità "lenta" e "veloce" dell'onda shear è possibile calcolare l'anisotropia attraverso l'energia delle onde, lo slowness ed il tempo di transito.

L'anisotropia da energia ha un valore più qualitativo mentre quella da slowness (risoluzione verticale di 3 ft) e da tempo di transito (risoluzione verticale di 13 ft) hanno un valore quantitativo.

L'anisotropia da shear deve mostrare una geometria visibile dal tool : superfici perpendicolari al tool non possono essere viste. Più le superfici sono pendenti rispetto al tool più sono visibili.

Spesso la bassa pendenza provoca delle incertezze nel calcolo del fast shear azimuth.

Quando l'anisotropia è assente o molto bassa il risultato perde di significato.

Nella figura (Fig. 3.4.3 e in allegato 3.4.1) sono riportati i risultati di questo processo

Nella prima traccia è rappresentata l'anisotropia da energia (qualitativa), nella terza traccia il fast shear azimuth con la relativa incertezza di calcolo (banda grigia) e in quarta traccia il Dt fast e slow, l'anisotropia da tempo di transito (azzurra) e quella da slowness (verde).

Si notano sostanzialmente quattro zone:

1. Dal top (1095 m) a 1155 m dove si nota una chiara anisotropia tra il 4 e 8 % con fast shear azimuth di NW60. Questo intervallo corrisponde litologicamente a delle argille. Nella parte alta la qualità del foro è cattiva.
2. Da 1155 m a 1167 m si nota un'anisotropia molto bassa dal 2 al 4% con fast shear azimuth di NE60. Anche questo intervallo è argilloso.
3. Da 1167 a 1180 m il valore di anisotropia è sempre basso (2-4%) con fast shear azimuth di NE15. Questo è l'intervallo a sabbie.
4. Da 1180 m a bottom (1200 m) sempre anisotropia bassa (2-4 %) con fast shear azimuth NE70. Questo corrisponde ad un intervallo argilloso.

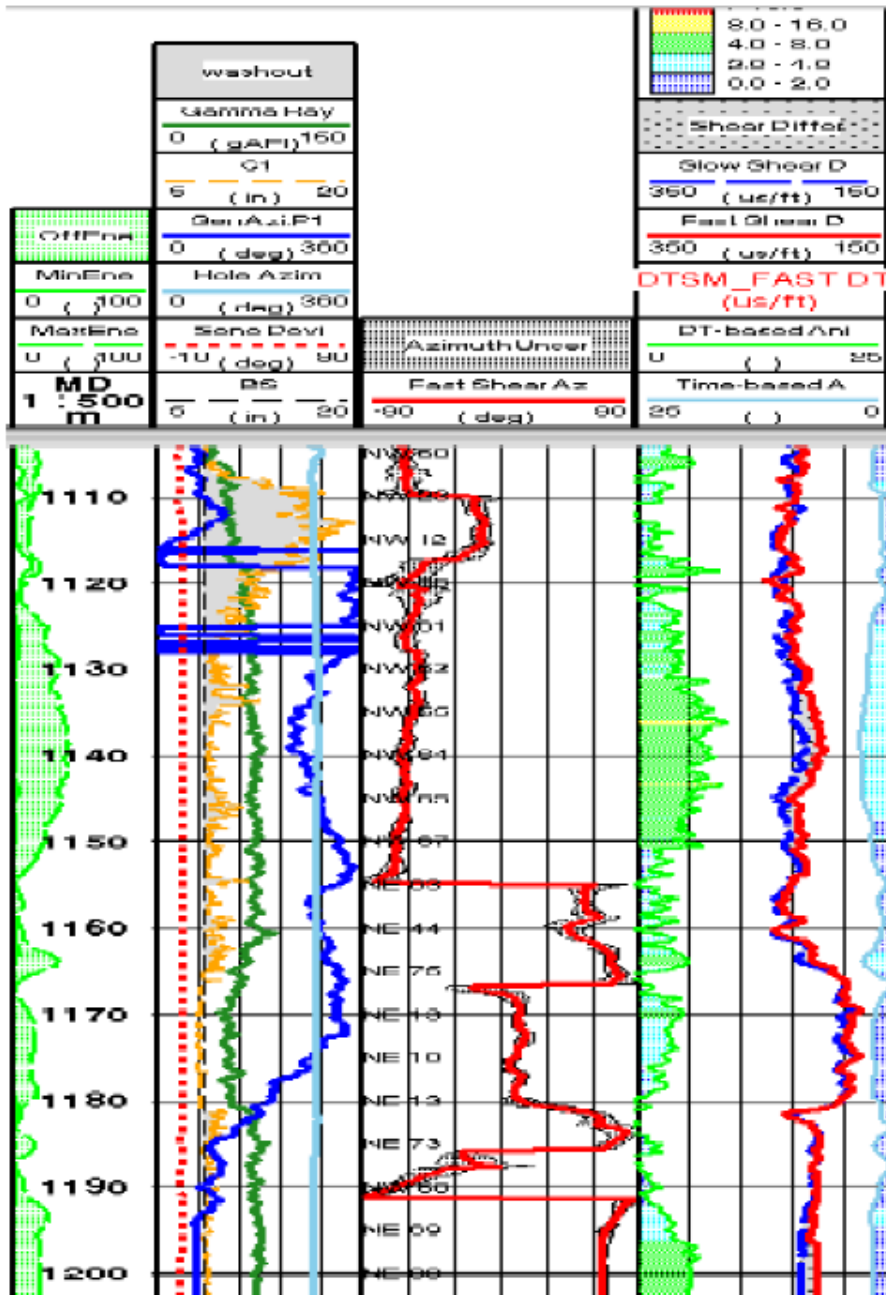


Fig. 3.4.3 Risultato del processo di anisotropia. Nella terza traccia il fast-shear azimuth; nella quarta traccia il fast e slow Dt shear e il valore quantitativo di anisotropia calcolato.

3.4.2.2 Analisi delle dispersioni

Le onde flessurali che vengono registrate dal SonicScanner sono dispersive cioè le basse frequenze investigano più in profondità la formazione mentre le alte frequenze investigano la regione vicino al foro. In questo modo si possono costruire delle curve di dispersione che comparate con un modello isotropico permetterebbero di identificare il meccanismo dell'anisotropia.

In Fig 3.4.4 sono riportati i quattro casi possibili dove in nero è rappresentato il modello isotropico mentre in rosso e blu i dati di fast e slow shear.

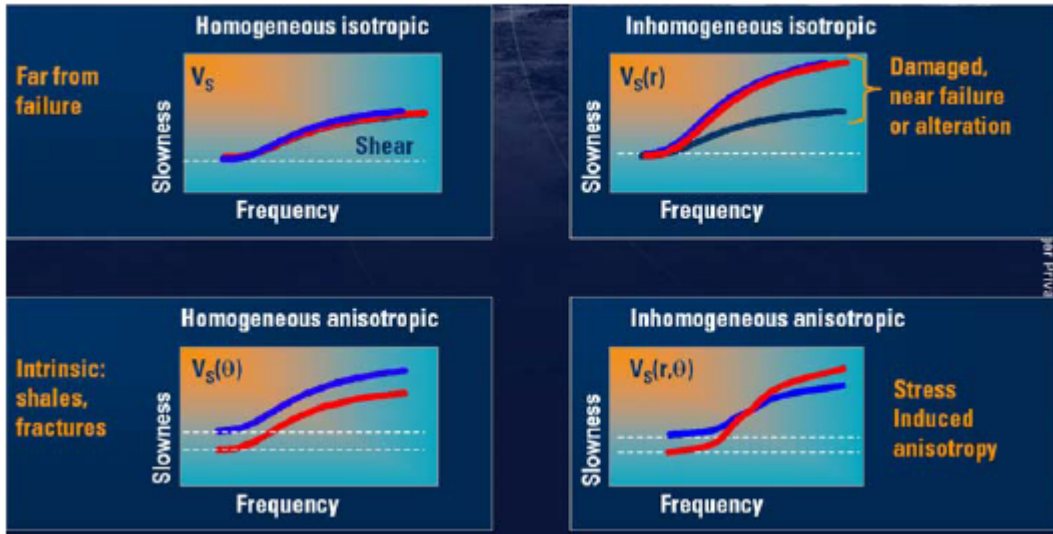


Fig. 3.4.4 . Curve di dispersione che permettono di identificare il meccanismo dell'anisotropia

Schlumberger, a seguito di questa analisi, considera anisotropia intrinseca per le argille ed anisotropia indotta da stress nelle sabbie.

Qui di seguito vengono riportate le curve di dispersione shear dei vari livelli sopra definiti.

In Fig 3.4.5 sono rappresentate le curve di dispersione delle argille sovrastanti le sabbie (shale 1). Si nota in generale un parallelismo tra fast e slow shear che sta ad indicare un'anisotropia di tipo intrinseco. Il parallelismo delle volte viene "deformato" dalla cattiva qualità del foro.

Si nota, inoltre che questo parallelismo è presente sia vicino che lontano dal foro fino a circa 70 cm.

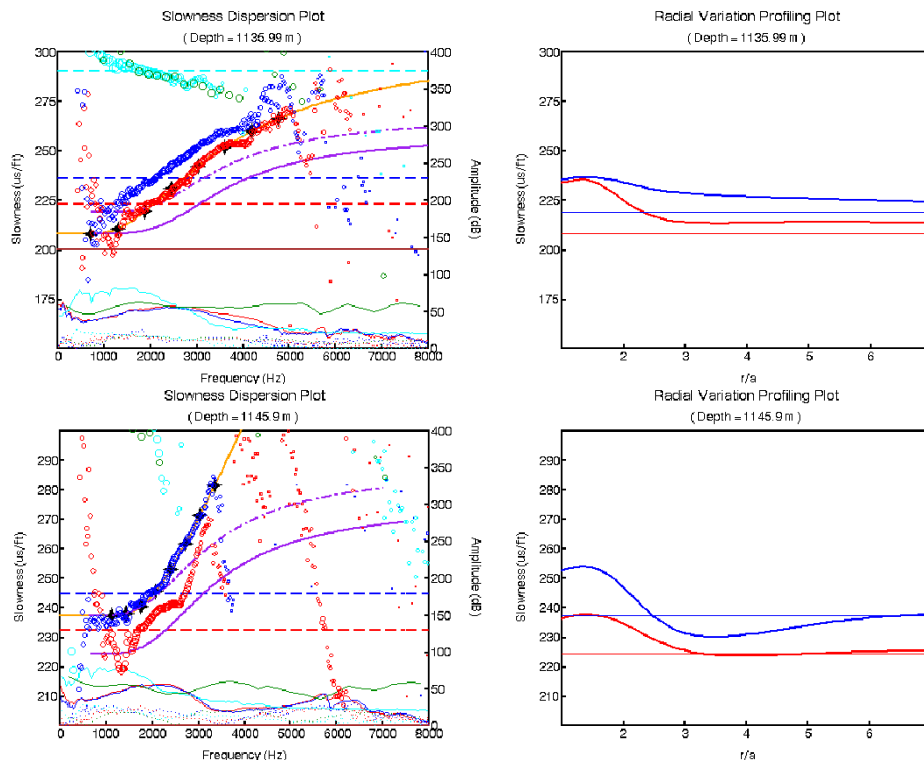


Fig. 3.4.5 Curve di dispersione nelle argille sopra le sabbie – Anisotropia intrinseca.

In Fig. 3.4.6 sono rappresentate le curve di dispersione delle sabbie dove si nota una sovrapposizione dello slow e fast shear che sta ad indicare una situazione di omogeneità.

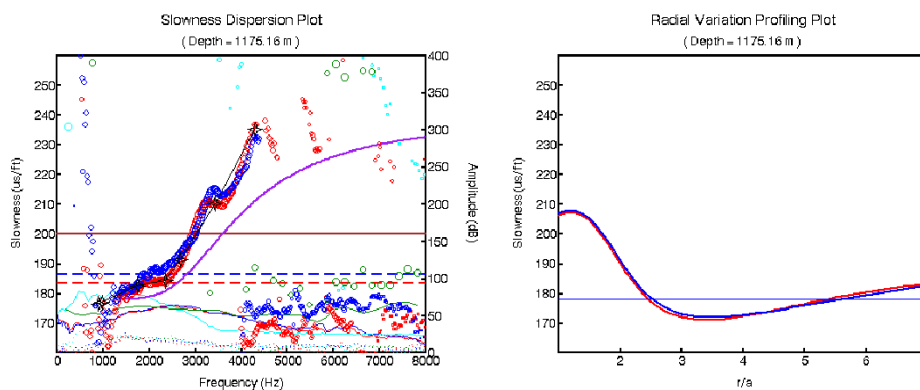


Fig. 3.4.6 Curve di dispersione nelle sabbie che appaiono omogenee.

Sottostanti le sabbie ritroviamo ancora un intervallo argilloso chiamato shale 2 dove si riconosce ancora un fenomeno di anisotropia intrinseca, Fig.3.4.7 (parallelismo delle linee fast e slow shear).

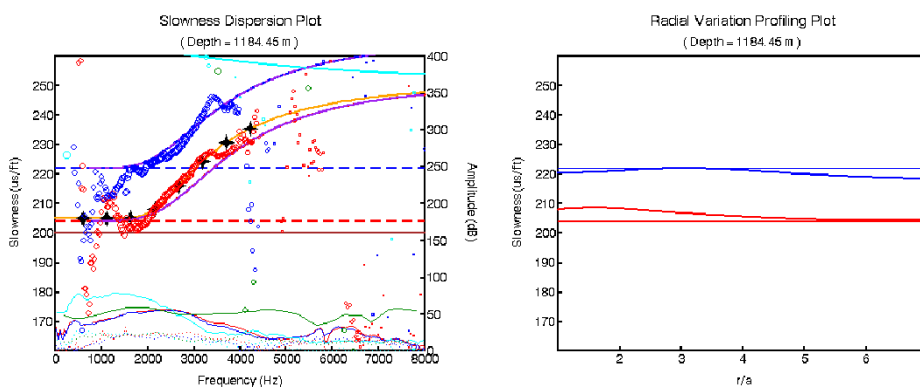


Fig. 3.4.7 Curve di dispersione delle shale 2 che mostrano anisotropia intrinseca.

3.4.2.3 Anisotropia 3D

Con il SonicScanner si misura l'anisotropia sul piano X2-X3 e sul piano X1-X3. Utilizzando l'onda Stoneley si può invertire l'onda shear sul terzo piano ortogonale X1-X2 (Fig. 3.4.7).

Più il piano è rigido più è grande la velocità più è grande C (shear modulus).

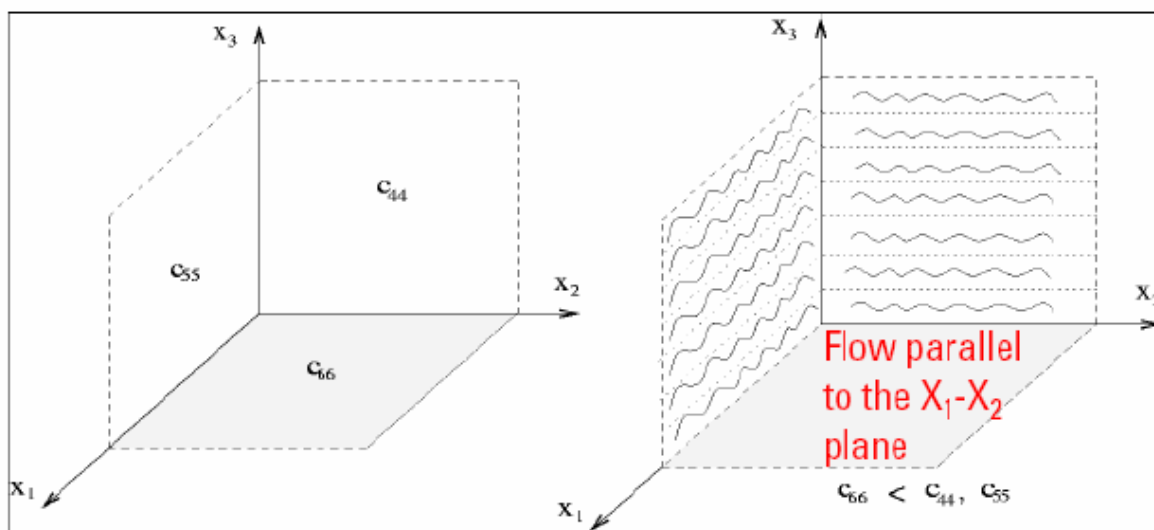


Fig. 3.4.8 Piani dei moduli shear nelle tre dimensioni.

Nel caso di San Salvo 81 $C_{66} < C_{44}$ nelle argille mentre generalmente è esattamente il contrario.

Nelle sabbie invece C_{66} è simile a C_{44} facendo pensare a delle sabbie isotropiche in termini di resistenza (Fig. 3.4.9 e allegato 3.4.2).

ENI E&P considera, in generale, questo approccio non affidabile poiché la relazione velocità, resistenza e stress non è conosciuta.

Inoltre il C_{66} viene derivato da un'onda Stoneley che presenta delle caratteristiche molto diverse (è un onda di tubo e non di corpo) da C_{44} e C_{55} che vengono calcolati da una shear misurata.

In aggiunta l'onda Stoneley è molto influenzata dalla qualità del foro che in questo caso è molto brutta aumentandone l'inaffidabilità.

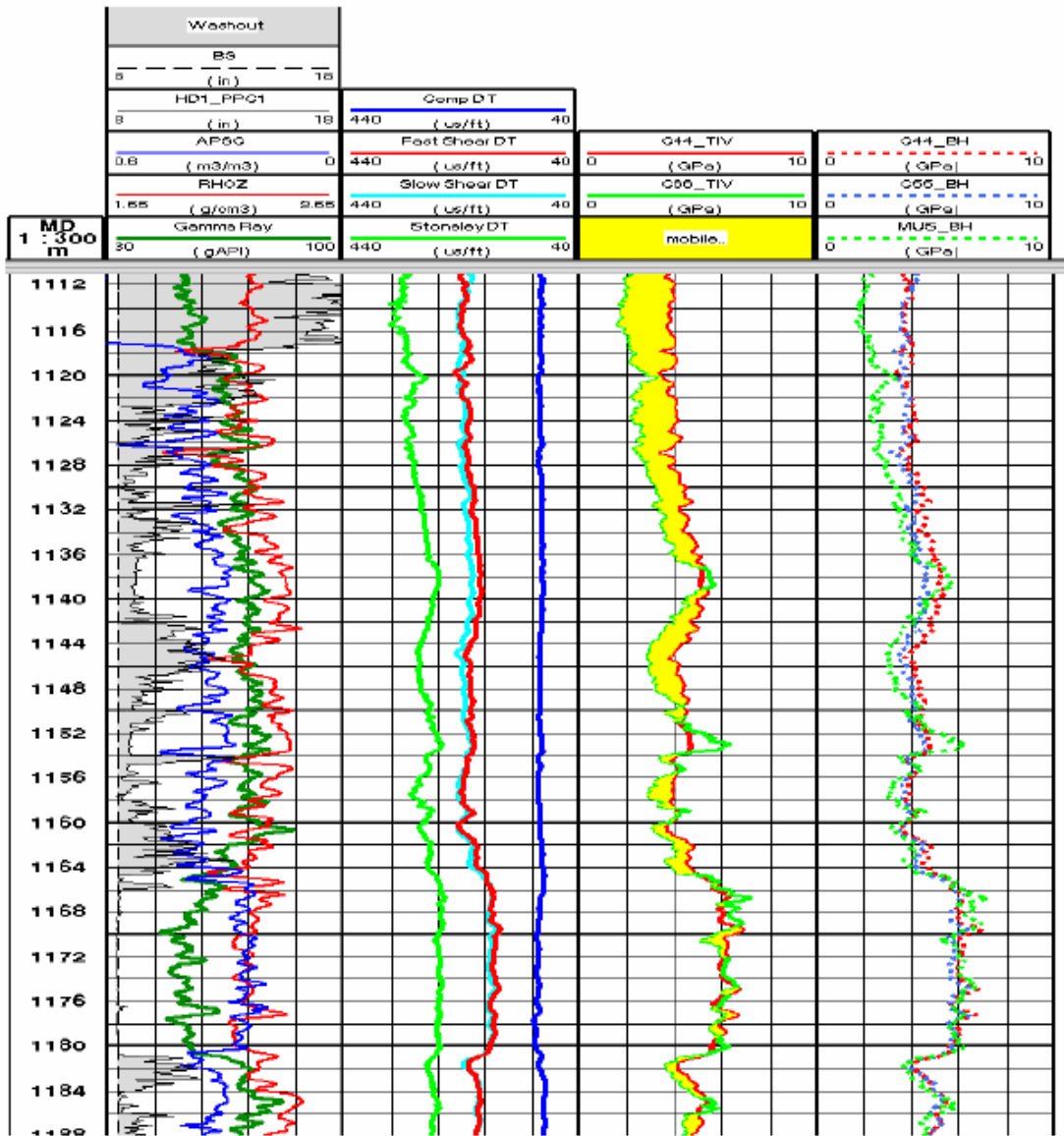


Fig. 3.4.9 Presentazione dei risultati del processing dell'anisotropia 3D.

3.5 Valutazione petrofisica da log

Come già precedentemente menzionato il pozzo San Salvo 1 mostra un foro di cattiva qualità caratterizzato da scavarnamenti, ovalizzazioni e rugosità nelle sezioni argillose mentre nel livello a sabbie il foro è molto buono.

Il log di densità, porosità e l'NMR risentono molto di questo effetto rendendo piuttosto difficile l'analisi.

La valutazione petrofisica da log, ancora a livello di quick look, è stata eseguita sulla piattaforma Geoframe (Schlumberger) utilizzando il software Elan.

Il modello litologico usato, quello tipico dell'Adriatico, è stato il seguente: quarzo, montmorillonite, muscovite, acqua e gas.

La resistività dell'acqua utilizzata per il calcolo della saturazione è pari a 0.135 ohm.m ad una temperatura di 48 ° C.

I log utilizzati sono stati i seguenti: densità, porosità, resistività, e volume di argilla proveniente da NMR

Qui di seguito vengono riportati I parametri utilizzati nella elaborazione.

	Den (gr/cc)	Por (%)	Res (ohm.m)
Quarzo	2.65	-.40	-
Montmorillonite	2.40	.24	3
Muscovite	2.85	.107	-

La formula utilizzata per il calcolo della saturazione in acqua è l'Indonesia:

$$Sw^{**n/2} = (1/Rt^{**1/2}) / Vsh^{**(\alpha + \beta Vsh)} / Rsh^{**1/2} + (\phi^{**m/2}) / a^{*Rw}^{**1/2}$$

dove

a (Archie constant) = 1

m (cementation factor) =2

n (saturation exponent)= 2


α = (coeff.)=1.0

L'interpretazione richiederebbe una revisione per verificare in modo più approfondito la qualità del risultato vista la condizione di scavamento, ovalizzazione e rugosità del foro che hanno influenzato la risposta dei log.

Inoltre, sono ora disponibili, sia i dati di analisi mineralogica quantitativa (diffrattometria raggi X) e di densità, porosità e permeabilità da carota che aggiungerebbero altre informazioni fornendo un panorama più completo.

Attraverso l'elaborazione CPI è possibile riconoscere i seguenti intervalli (vds. All. 3.5.1):

- un intervallo argilloso-siltoso da 1110 (top) a 1166 m definito come shale 1 con un volume di argilla compreso tra 40-100% e uno di muscovite, sempre presente fino al 40%. Le porosità medie sono del 10%.
- un intervallo sabbioso da 1166 a 1181 m che è rappresentato da sabbie quarzose con presenza di muscovite (20-30 %) e argille (10-20 %).La porosità media è di circa 23%, la saturazione in acqua 30-40 %.
- un intervallo ancora argilloso-siltoso da 1181 a 1220 m definito come shale 2 con caratteristiche petrofisiche simili a shale 1.

	Eni S.p.A. Divisione E&P	SAN SALVO 81 DIR CARATTERIZZAZIONE PETROFISICA, GEOSTRUTTURALE E GEOMECCANICA	Pagina 32 di 58
---	---	--	--------------------

4. ANALISI DATI CAROTE

4.1 Descrizione sedimentologica e petrofisica

Sono state prelevate sei carote di cui la numero 4 con recupero molto ridotto per deterioramento del materiale a causa del carotaggio.

Le carote numero 1,2,3 corrispondono alla litozona *shale 1* (precedentemente descritta); la carota 5 al livello C2 e la carota 6 alla litozona *shale 2* (precedentemente descritta).

Qui di seguito una breve descrizione. Per il dettaglio si rimanda agli allegati (All. 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5).

Carota 1 (1122-1134 m):

Argilla siltosa da compatta a laminata, localmente con strati di sabbia fine laminata ricchi in frustoli vegetali.

Carota 2 (1134-1146 m)

Argilla siltosa con presenza di rari frustoli vegetali e locali bioturbazioni. Non sono state rilevate fratture ad eccezione di quelle legate al disseccamento.

Carota 3 (1146-1158 m)

Argilla siltosa con presenza di sottili intercalazioni siltoso-sabbiose tipo “ripple”. Non sono state rilevate fratture ad eccezione di quelle legate al disseccamento. Si notano fratture dovute a rilascio di stress dato dal carotaggio.

Carota 5 (1170-1182 m):

Strati sabbiosi (spessore 10-50 cm) con trend fining-up e laminazione interna evidenziata da frustoli vegetali.

Carota 6 (1182-1194 m):

Argille siltose bioturbate con livelli siltoso-sabbiosi caratterizzati da lamine deformate da fenomeni di slumping.

Sulla carota n. 5 (1170-1182 m) sono stati prelevati 31 campioni orizzontali e 15 campioni verticali (diametro: 1”) per le analisi petrofisiche di routine (porosità, permeabilità orizzontali e grain density). I valori di porosità sono compresi tra 23-28 % mentre quelli di permeabilità sono compresi tra 300-1300 mDc. I risultati delle analisi sono riportati in dettaglio nella tabella in allegato (All. 4.1).

4.2 Descrizione della fratturazione

L’osservazione diretta delle carote (intere e tagliate longitudinalmente per consentire l’analisi sedimentologica) ha escluso la presenza di importanti fenomeni di fratturazione naturale.

Gli unici elementi ad essa riconducibili sono:

- a 1123.5 m, 1124.45 m, 1128.05 m e tra 1135 e 1135.4 m (carote 1 e 2) lo sviluppo di strutture di abrasione meccanica (*slickensides*) chiaramente visibili su interstrati argillosi a basso angolo/suborizzontali. La loro presenza è indice di un avvenuto movimento di taglio lungo i piani. Questi ultimi non hanno però particolare risalto sulla superficie esterna della carota;

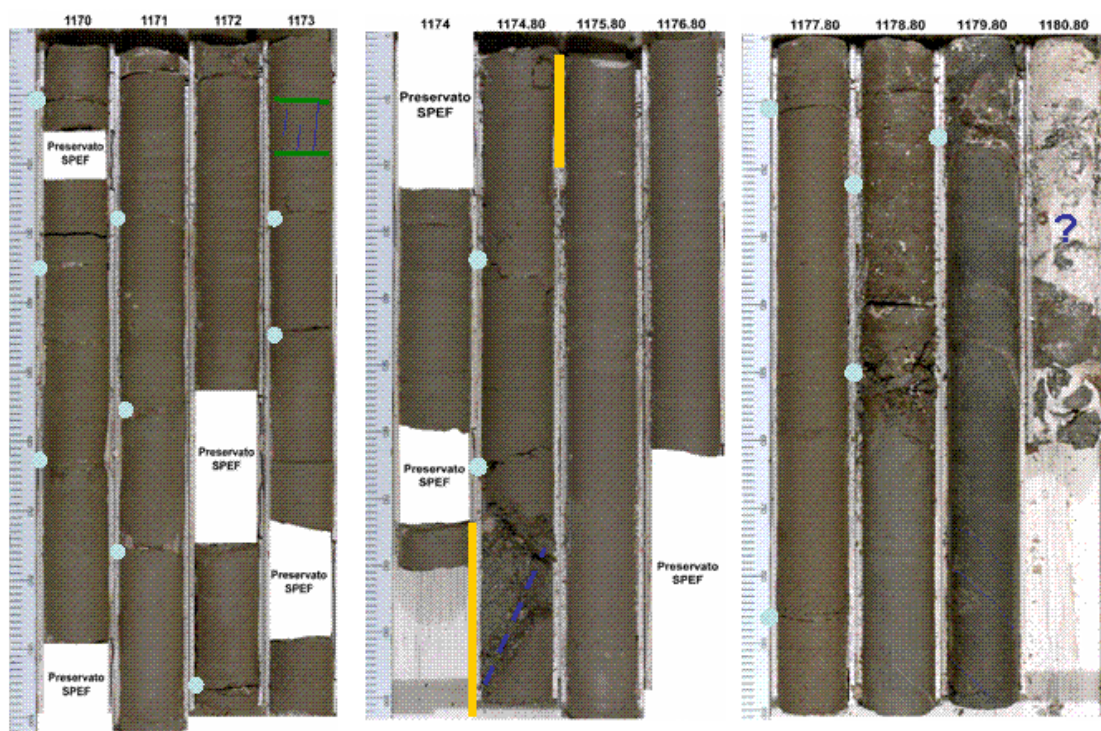
- nella carota 5 (ad esempio a 1173.1 m) possono essere presenti, nei livelli sabbiosi, delle corte esili fratture subverticali che rimangono sempre e comunque confinate all'interno del singolo livello;
- tra 1175.5 e 1175.8 m (carota 5) nonostante la carota si presenti in pessimo stato è plausibile ipotizzare la presenza di un piano di frattura naturale, inclinato circa 50°-60° rispetto all'asse della carota. Può essere interessante notare che nell'immediato intorno di suddetto piano la carota risulta (sensibilmente) più cementata che altrove.
- a 1179.7 m e tra 1180.5 e 1180.8 (carota 5) si osservano esili fratture naturali, aperte e secanti la carota con angoli compresi tra i 40° ed i 50° rispetto all'asse; questi eventi sono riconoscibili sia sulla carota intera che sulla superficie di taglio;
- a 1183.7 una esilissima frattura naturale taglia a relativamente basso angolo delle bioturbazioni fortemente inclinate; anche questa frattura (come i piani di taglio a basso angolo presenti nelle prime due carote) non è praticamente riconoscibile sulla superficie esterna
- tra 1193.7 e 1194 m (bottom del carotaggio) , ancora esilissime fratture naturali secano la carota a medio-alto angolo di inclinazione.

Alcune intercalazioni sabbioso-siltose (ad esempio tra 1126.6 e 1126.75 m – carota 1) riportano begli esempi di micro-tettonica sinsedimentaria; l'evento deformativo è comunque sempre confinato all'interno del singolo livello.

La carota 4 (60 cm recuperati, tra 1168 e 1168.6 m) è di fatto inutilizzabile. L'attuale stato di disaggregazione può essere dovuto a cause meccaniche così come a fattori naturali o ad una combinazione delle due cose.

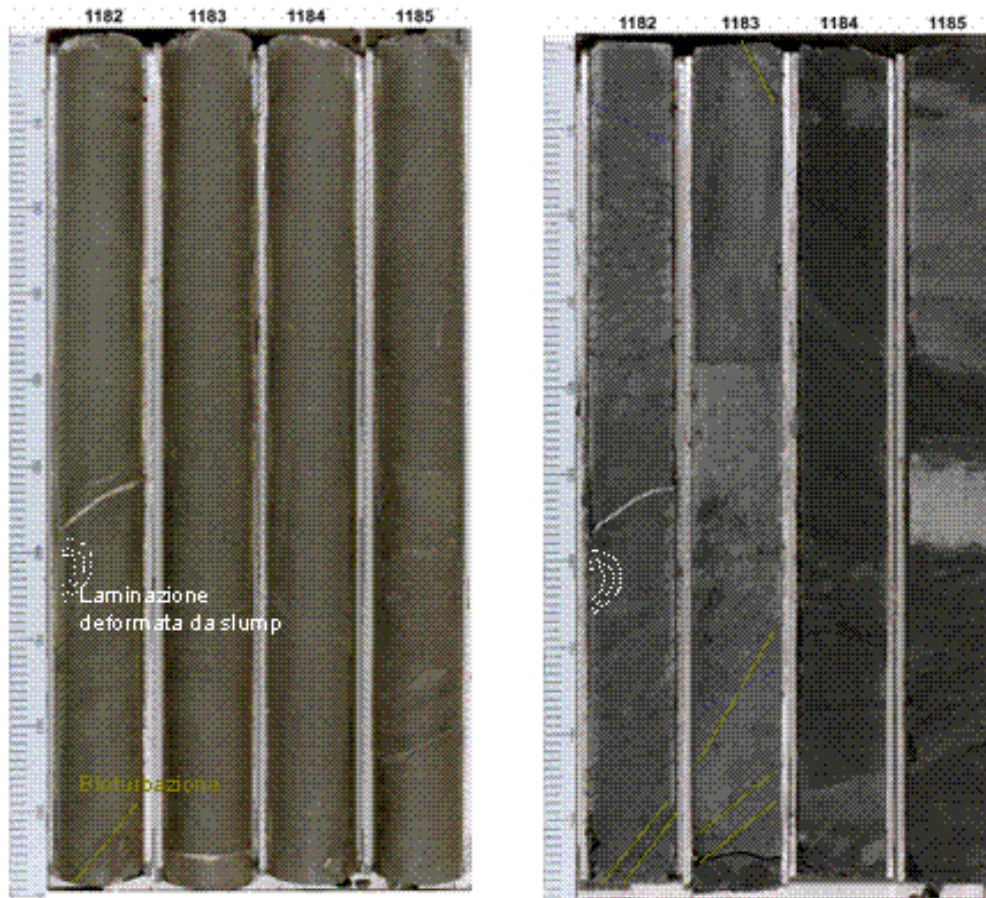
Al di fuori degli eventi sopra citati, tutte le altre "rotture" o rubble zones visibili in carota sono da imputarsi a cause meccaniche, legate alle operazioni di carotaggio e/o trasporto della carota (*disc fractures, petal fractures, induced cone-in cone shear fractures*)

Profondità perforatori e profondità log sono praticamente coincidenti.



San Salvo 81 – carota n.5: le linee blu marcano i piani di frattura naturali individuati in carota. A 1173 m: fini fratture subverticali confinate all'interno dell'intercalazione sabbioso-siltosa; a 1179.8 fratture secanti l'intera carota. Il piano a 1175.6 si sviluppa in un intervallo di carota più cementato.

I pallini celesti sono posizionati in corrispondenza della fratturazione indotta.



San Salvo 81 – carota n.6: le linee blu marcano le esili fratture naturali individuati in carota. Le linee verde-oliva sottolineano le bioturbazioni ad alto angolo; a 1183 una di queste è tagliata da un esile piano di frattura, a più basso angolo.

4.3 Descrizione geomeccanica e petrofisica

4.3.1 Schema di campionamento- petrofisica di giacimento

Pozzo: San Salvo 81 Dir – Foro 2

Sei carote del pozzo San Salvo 81 Dir – Foro 2 sono state ricevute dai laboratori ENI – Divisione E&P nel Novembre 2006.

Sulla carota mineralizzata n. 5 (1170 – 1182 m) sono stati prelevati 31 campioni orizzontali e 15 campioni verticali (diametro: 1”) per le analisi petrofisiche di routine (porosità, permeabilità orizzontali e grain density, come mostrato nella tabella seguente:

Carota 5

Profondità Perforatori: 1170 – 1182 m
Lunghezza totale della carota ricevuta: 11.4 m
Recupero: 95%

Box No.	Profondità Perforatori (m)	Lunghezza ricevuta (m)	No. campioni orizzontali prelevati	No. campioni verticali prelevati
1	1170-1171	1	2	2
2	1171-1172	1	3	2
3	1172-1173	1	4	2
4	1173-1174	1	4	1
5	1174-1175	1	2	0
6	1175-1176	1	3	2
7	1176-1177	1	6	2
8	1177-1178	1	3	2
9	1178-1179	1	3	2
10	1179-1180	1	1	0

Su altri 5 plugs (diametro 1.5”), sono state effettuate le analisi speciali, come mostrato nella tabella sottoriportata:

Campione No.	Prof. Perforatori (m)	Porosità geostatica	Permeabilità geostatica
49	1171.60	X	
50	1171.60		X
54	1173.50		X
55	1173.50	X	
56	1176.60	X	
57	1176.60		X
60	1178.38		X
61	1178.38	X	
62	1178.77		X
63	1178.77	X	

Infine, su 5 plugs da 1" di diametro prelevati nella carota 3, sono state eseguite le misure di threshold pressure come mostrato nella tabella:

Prof. Perforatori (m)	Threshold pressure
1151.0-1151.20	X
1154.0-1154.1	X
1156.3-1156.5	X

Altre prove di threshold pressure sono state eseguite su 2 campioni provenienti dalle carote del 1° foro:

Prof. Perforatori (m)	Threshold pressure
1094.70-1094.85	X
1096.05-1096.30	X

4.3.2 Handling delle carote e dei plug

- **Tecnica di carotaggio**
 - Ricevute sei carote
 - Diametro delle carote: 4 pollici
 - Tipo di carotiere: 4" Aluminium Inner Tube

- **Dati sul fango**
 - Fango ad acqua
 - Tipo di fango: FW-AVAPOLYOIL/DEEPDRILL

- **Preparazione dei campioni per le analisi**
 - I campioni sono stati lavati in Soxhlet alternando toluene e una miscela acqua-metanolo alla temperatura di ca. 110°C.
 - Procedura di lavaggio: Dean-Stark / Soxhlet

Per le analisi sono stati utilizzati i seguenti fluidi:

Brine	
Salinità equiv. NaCl	30.5 g/l
Density @ 20°C	1.022 g/cm ³
Usato per:	Porosità geostatiche

Azoto filtrato e deumidificato	
Viscosità @ 20°C	0.0176 cp
Usato per:	Permeabilità geostatiche e threshold pressure

4.3.2. Analisi di routine - procedure sperimentali

Le determinazioni di routine sono state eseguite utilizzando le seguenti procedure:

Lavaggio dei campioni

Il lavaggio dei campioni è stato effettuato utilizzando la metodologia Dean-Stark. I campioni sono stati posti in celle Soxhlet e flussati con toluene a 110 °C, per 48 ore. I vapori del solvente, passando attraverso il campione, estraggono la maggior parte dei fluidi in esso presenti. Il lavaggio è stato completato utilizzando una miscela acqua-alcool metilico, i cui vapori estraggono il sale contenuto nel campione.


Permeabilità orizzontale e verticale al gas

La permeabilità è stata misurata posizionando i plugs in una cella tipo “Hassler” e sottoponendoli ad una pressione laterale (di confine) di 20 bar. Una certa quantità di azoto è stata quindi usata attraverso il plug, parallelamente all’asse, in condizioni stazionarie e in regime laminare. La permeabilità è stata calcolata applicando la legge di Darcy, mediante la seguente formula:

$$k = 2000 \frac{L\mu Q P_2}{A(P_1^2 - P_2^2)}$$

dove:

k = Permeabilità al gas, mD

	Eni S.p.A. Divisione E&P	SAN SALVO 81 DIR CARATTERIZZAZIONE PETROFISICA, GEOSTRUTTURALE E GEOMECCANICA	Pagina 38 di 58
---	---	--	--------------------

L = Lunghezza del plug, cm

A = Area di base del plug, cm²

= Viscosità dell'azoto, cp

P₁, P₂ = Pressione dell'azoto alla faccia d'ingresso e alla faccia d'uscita del plug, atm

Q = Portata volumetrica dell'azoto misurata alla pressione P₂, cm³/s

Porosità

Dopo la determinazione della permeabilità, i campioni sono stati pesati e poi saturati con acqua. Quest'operazione è stata effettuata creando nei campioni un alto vuoto (10⁻⁵ mbar), e quindi immergendoli in acqua sintetica e degassata, avente la medesima salinità dell'acqua di formazione, per 8 ore ad una pressione di 150 bar. A saturazione completata i campioni sono stati nuovamente pesati. Nota la densità dell'acqua di saturazione e la differenza tra il peso (secco) del campione prima della saturazione ed il peso (saturo) registrato dopo la saturazione, è stato possibile determinare il volume poroso (dei pori comunicanti). Il volume totale dei campioni è stato calcolato pesandoli immersi in acqua, e applicando il principio di Archimede. La porosità è stata infine ottenuta con la seguente formula:

$$\Phi = 100 \frac{m_{\text{sat}} - m_{\text{sec}}}{m_{\text{sat}} - m_{\text{imm}}}$$

dove:

= Porosità, %

m_{sat} = Peso del campione saturo, g

m_{sec} = Peso del campione secco, g

m_{imm} = Peso del campione saturo e immerso in acqua, g

Grain Density

La "grain density" della roccia (o densità reale) è stata determinata applicando la seguente relazione:

$$\text{Grain Density} = \rho_w \frac{m_{\text{sec}}}{m_{\text{sat}} - m_{\text{imm}}} \cdot \frac{100}{100 - \Phi}$$

dove:

_w = Densità dell'acqua di saturazione, g/cm³

m_{sat} = Peso del campione saturo, g

m_{sec} = Peso del campione secco, g

m_{imm} = Peso del campione saturo e immerso in acqua, g

= Porosità, %

4.3.3 Analisi di routine - dati e grafici

San Donato Milanese, 8 Gennaio 2007

Bollettino n. 1/07 SPEF

Carote di fondo del pozzo San Salvo 81 Dir - Foro 2

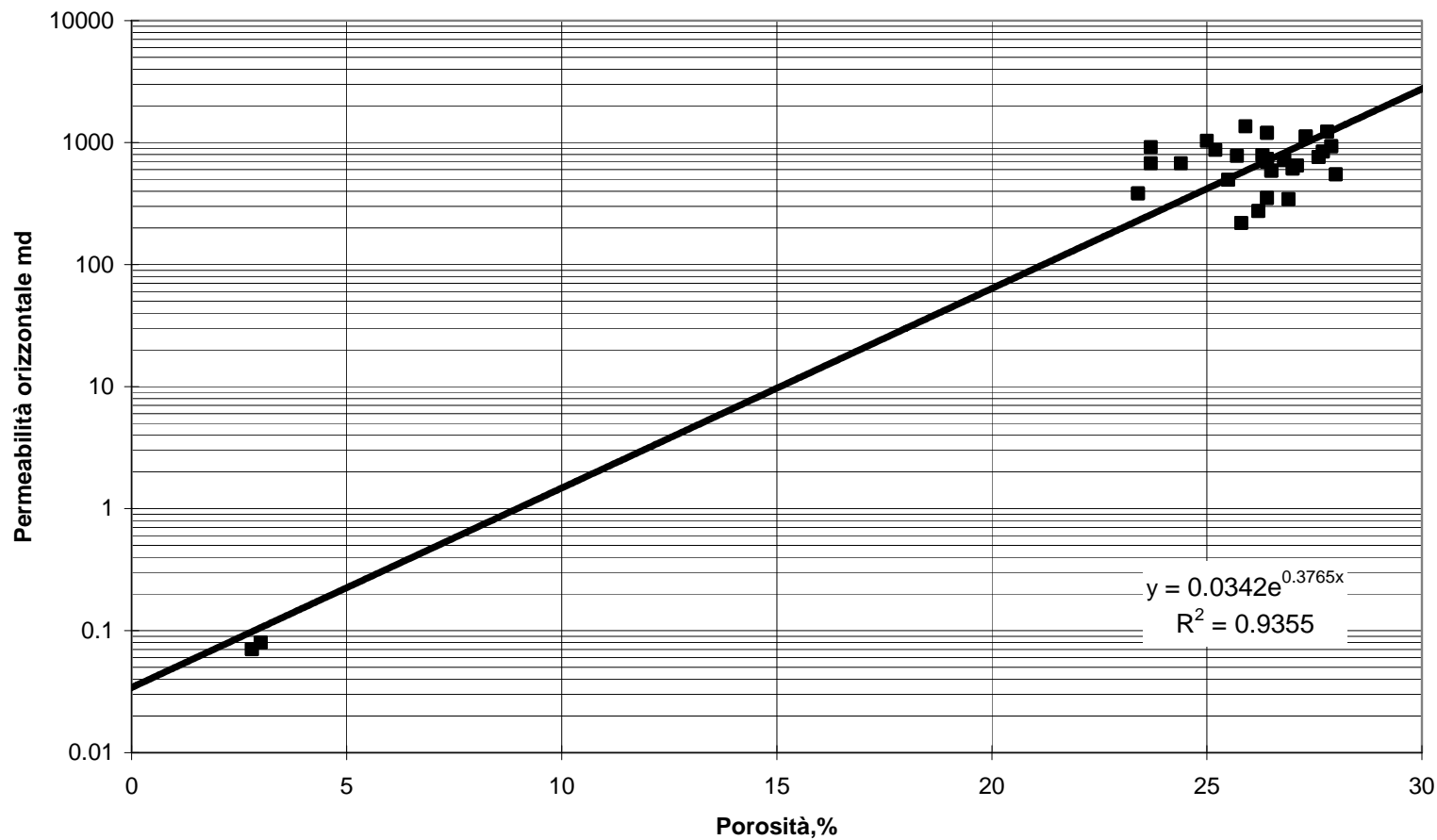
Carota n. 5

Campione	Profondità Perforatori	Porosità (plugs orizzontali)	Grain Density (plugs orizzontali)	Porosità (plugs verticali)	Grain Density (plugs verticali)	Permeabilità orizzontale	Permeabilità verticale
N.	m	%	g/cc			mD	mD
1	1170.25	26.5	2.669			587	
2	1170.25	26.4	2.670			693	
32	1170.25			26.2	2.665		707
33	1170.25			26.4	2.669		738
3	1171.07	28.0	2.656			548	
4	1171.32	26.4	2.660			734	
5	1171.32	26.3	2.651			788	
34	1171.32			27.4	2.660		782
35	1171.32			27.3	2.662		934
6	1172.15	26.8	2.654			716	
7	1172.15	25.8	2.656			219	
36	1172.15			26.7	2.656		588
37	1172.15			27.0	2.655		694
8	1172.89	27.0	2.653			610	
9	1172.89	27.1	2.649			649	
10	1173.4	27.7	2.661			840	
11	1173.4	26.4	2.663			352	
12	1173.6	26.2	2.654			274	
13	1173.6	26.9	2.662			344	
38	1173.6			27.1	2.657		331
15	1174.4	25.5	2.607			494	
16	1175.18	27.9	2.630			931	
17	1175.18	27.6	2.625			760	
39	1175.18			24 (*)	2.55 (*)		693
40	1175.18			29.2	2.647		1127
18	1175.45	23.4	2.666			382	
19	1176.08	3.0	2.676			0.08	
20	1176.08	2.8	2.677			0.07	
41	1176.08			3.3	2.680		0.14
42	1176.08			4.0	2.676		0.11
21	1176.32	27.3	2.627			1122	
22	1176.32	27.8	2.636			1227	
23	1176.82	26.4	2.646			1197	
24	1176.82	25.2	2.624			869	
43	1177.09			27.8	2.636		797
44	1177.09			27.2	2.27		1413
25	1177.4	25.9	2.637			1359	
26	1177.9	25 (*)	2.582 (*)			1031	
27	1177.9	23.7 (*)	2.576 (*)			676	
28	1178.23	23.7	2.629			917	
29	1178.23	24.4	2.642			677	
45	1178.23			26.2	2.634		1863
46	1178.23			26.6	2.630		-
30	1178.69	25.7	2.637			779	
31	1179.19	-	-			745	

*: porosità e grain density probabilmente sottostimate causa perdita grani

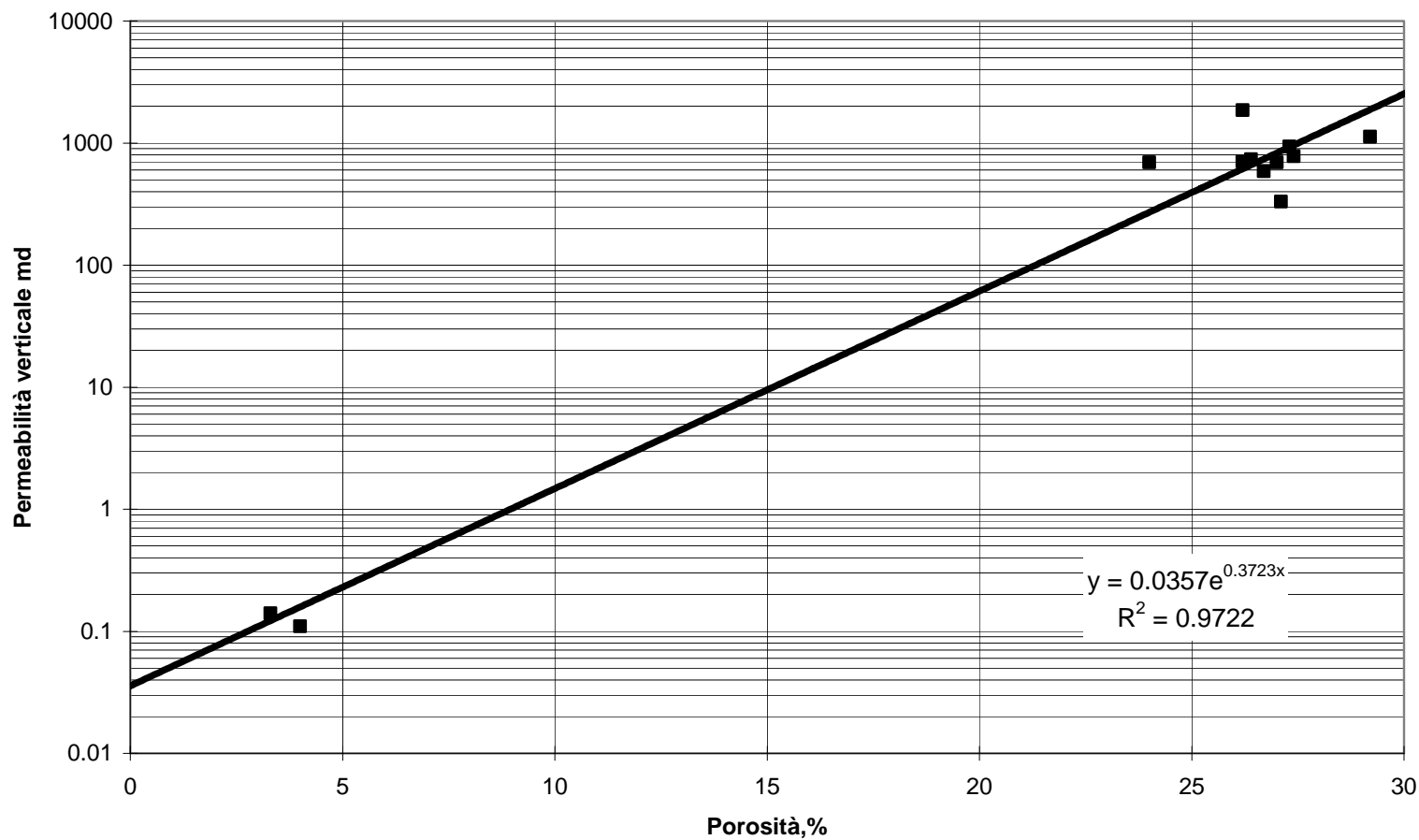


Pozzo San Salvo 81 Dir - II Foro
Carota 5 Profondità Perforatori : 1170- 1182 m
Permeabilità orizzontale vs. porosità



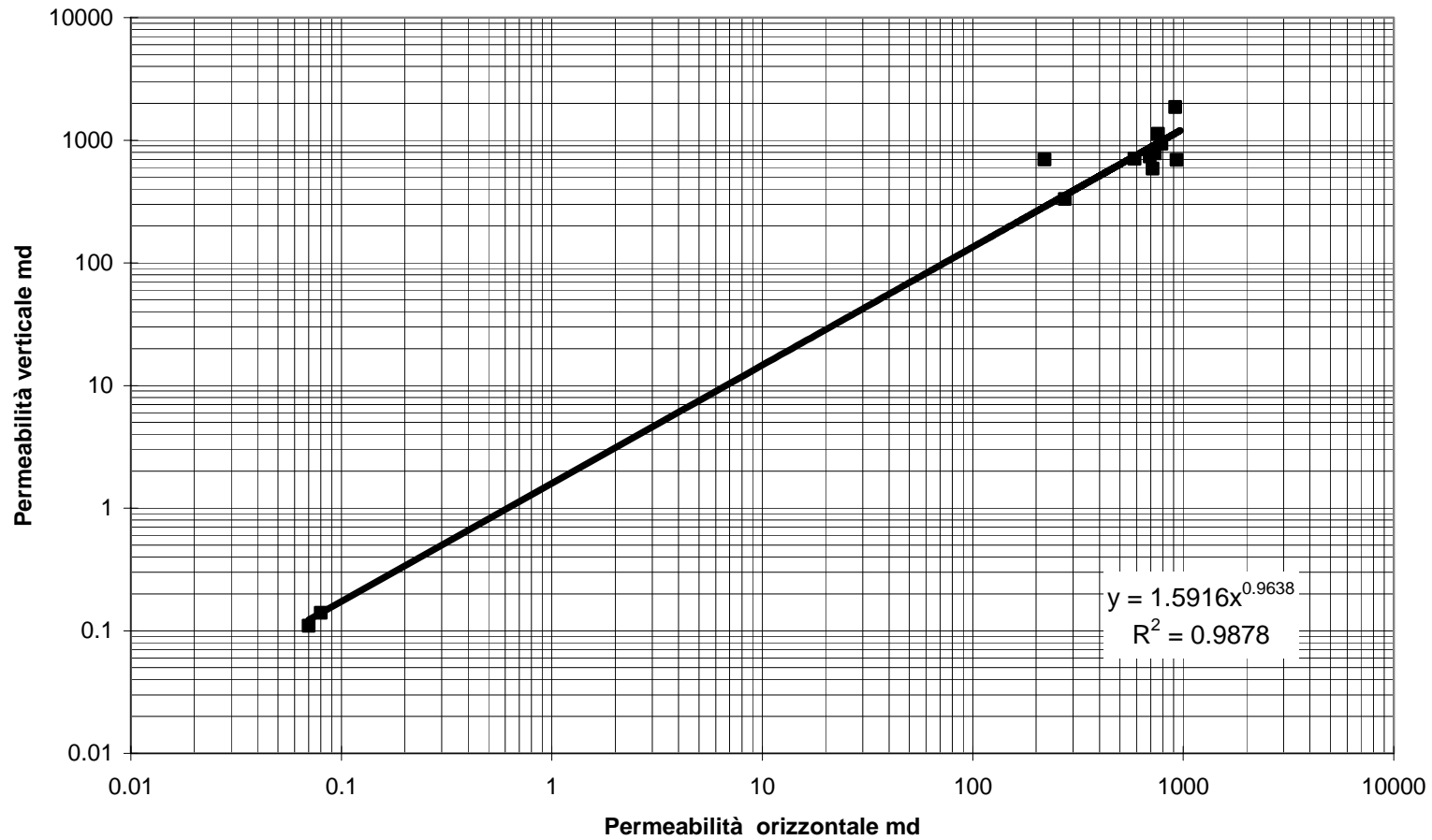



Pozzo San Salvo 81 Dir - II Foro
Carota 5 Profondità Perforatori : 1170- 1182 m
Permeabilità verticale vs. porosità





Pozzo San Salvo 81 Dir - II Foro
Carota 5 Profondità Perforatori : 1170- 1182 m
Permeabilità verticale vs. permeabilità orizzontale



	Eni S.p.A. Divisione E&P	SAN SALVO 81 DIR CARATTERIZZAZIONE PETROFISICA, GEOSTRUTTURALE E GEOMECCANICA	Pagina 43 di 58
---	---	--	--------------------

4.3.3 Porosità e permeabilità geostatiche

Le misure di porosità geostatica sono state effettuate su 5 plugs, applicando la seguente procedura:

- i campioni sono stati saturati al 100% in acqua, quindi sistemati in una cella “Hassler” e sottoposti a 2 step di pressione di confine (20 e 75 Bar)
- All’equilibrio, è stato misurato il volume di acqua fuoriuscito dai campioni e calcolata la corrispondente riduzione di porosità.

Le misure di permeabilità geostatica sono state eseguite su campioni prelevati alla stessa profondità di quelli utilizzati per le prove di porosità geostatica, secondo la seguente procedura:

- I campioni, secchi, sono stati sistemati in una cella “Hassler” e sottoposti agli stessi step di pressione della porosità geostatica. Ad ogni step è stata misurata la permeabilità assoluta al gas.

S. Donato Milanese, 16 Gennaio 2007

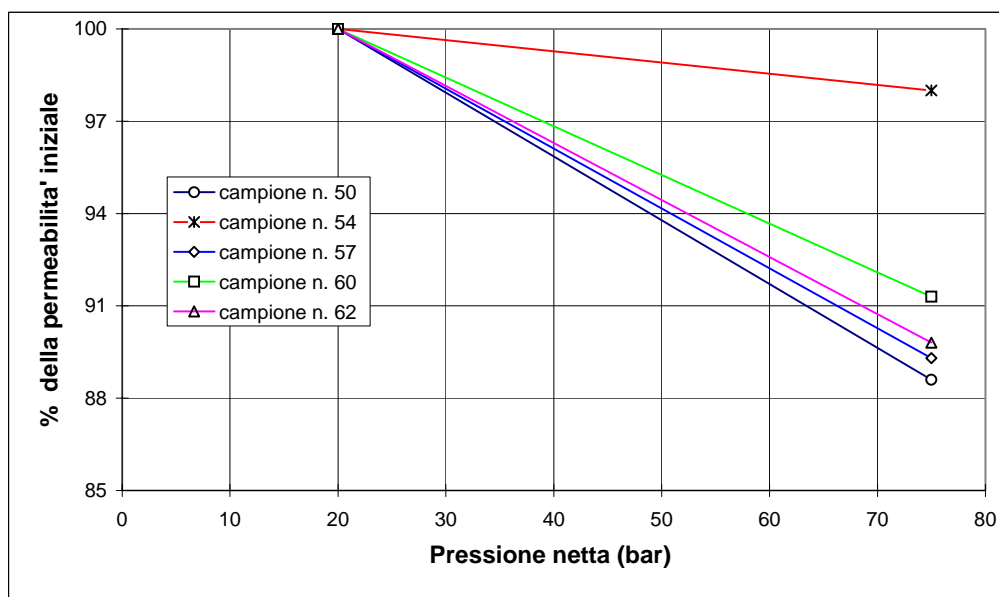
Bollettino n. 3/07 SPEF

Carote di fondo del pozzo San Salvo 81 Dir - Foro 2

Effetto della pressione geostatica sulla permeabilita'

Permeabilita', % rispetto alla permeabilita' iniziale alla pressione di (kg/cm²)

Campione N.	Profondita' Perforatori (m)	Permeabilita' (md)	20	75
50	1171.60	691	100.0	88.6
54	1173.50	312	100.0	98.0
57	1176.60	857	100.0	89.3
60	1178.38	310	100.0	91.3
62	1178.77	561	100.0	89.8





S. Donato Milanese, 16 Gennaio 2007

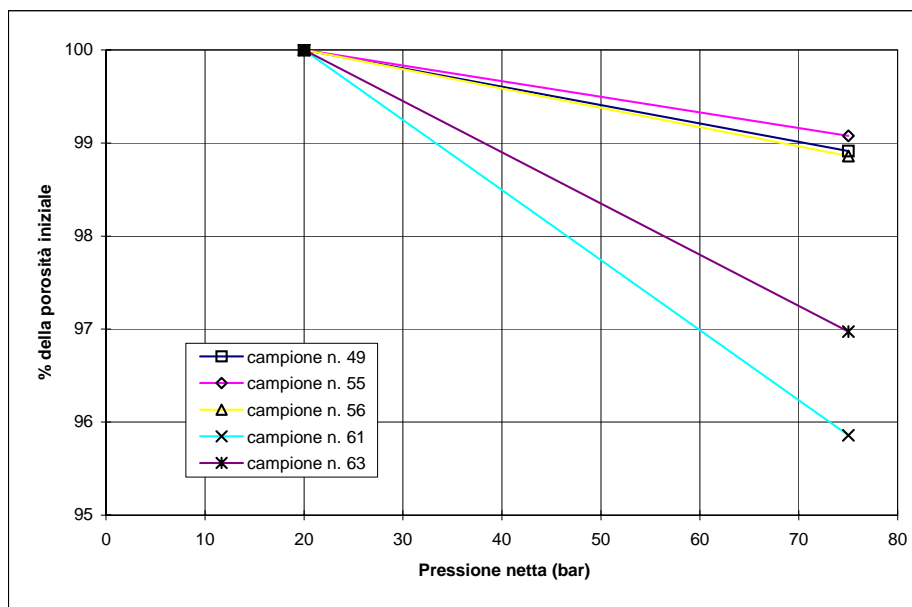
Bollettino N. 4/07 SPEF

Carote di fondo del pozzo San Salvo 81 Dir - Foro 2

Effetto della pressione geostatica sulla porosità

Porosità,% della porosità iniziale alla pressione di (kg/cm²)

Campione N.	Prof. Perforatori (m)	Porosità (%)	Porosità,% della porosità iniziale alla pressione di (kg/cm ²)	
			20	75
49	1171.60	28.3	100.0	98.9
55	1173.50	25.1	100.0	99.1
56	1176.60	25.7	100.0	98.9
61	1178.38	26.8	100.0	95.9
63	1178.77	23.7	100.0	97.0



4.3.4 Threshold pressure

Le misure di threshold pressure sono state effettuate su 5 campioni prelevati nelle zone argillose della carota 3 (2° foro) e su 4 campioni dalle carote del 1° foro.

I campioni sono stati posti in celle hassler e sottoposti ad una pressione di confine di 75 Bar (Net Overburden Pressure). I plugs sono stati poi flussati con azoto a pressioni crescenti, partendo da 5 bar ed incrementando la pressione fino ad arrivare alla pressione di sfondamento dell'argilla (la pressione, cioè, alla quale viene osservata per la prima volta una fuoriuscita di gas dal plug).

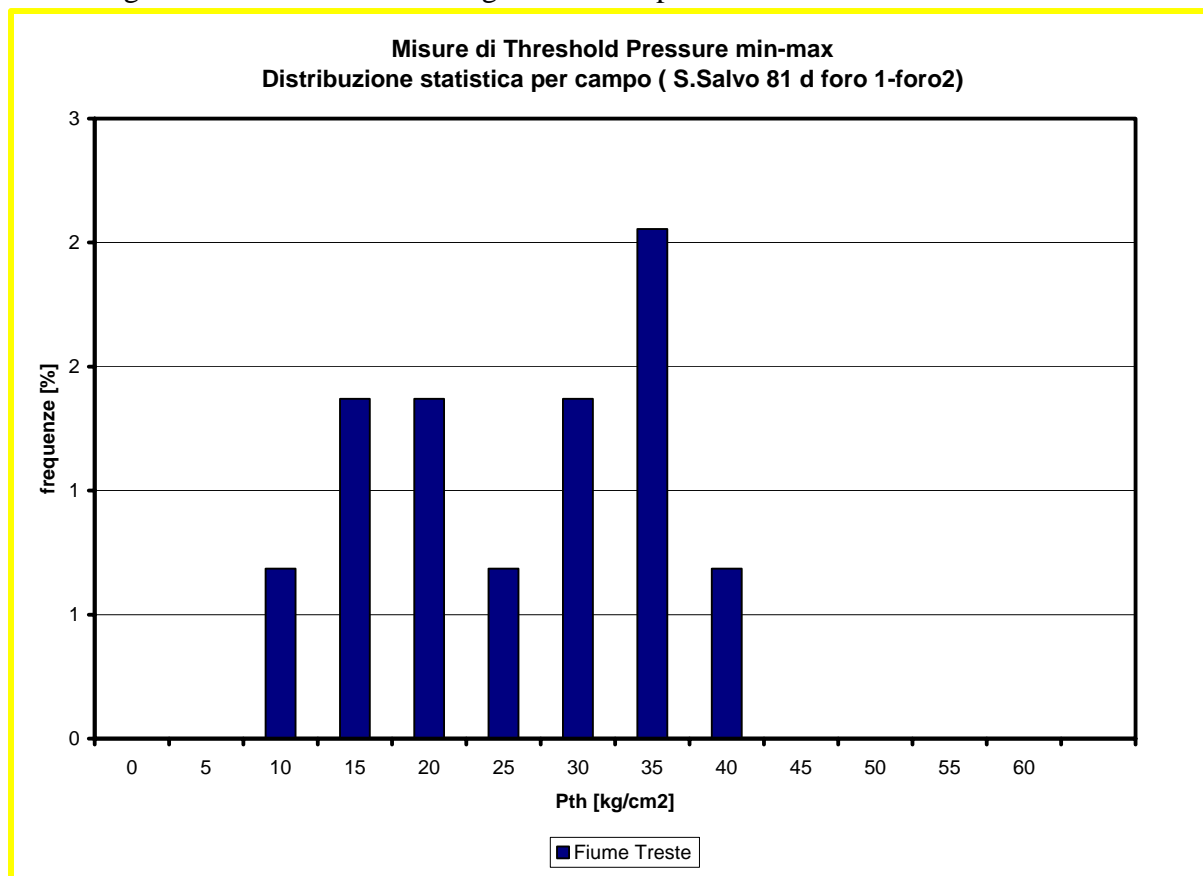
Per ogni step di pressione il tempo di stabilizzazione è stato di una settimana.

Nella tabella seguente sono riportati i risultati delle prove e le misure di porosità e densità eseguite su altri campioni provenienti dalle carote di materiale argilloso, mentre su fondo giallo sono riportati i parametri dei campioni sabbiosi.

San Salvo 81 d			
Profondità Perforatori	Porosità	Grain Density	Threshold Pressure
m	%	g/cc	kg/cm2
<u>1o Foro</u>			
1094.10-1094.28	13.3	2.659	
1094.70-1094.85	12.7	2.645	0 – 5
1094.70-1094.85	12.8	2.644	0 – 5
1096.05-1096.30	10.8	2.660	15 – 20
1096.05-1096.30	12.5	2.658	20 – 25
1098.50-1098.70	14.3	2.646	
1098.50-1098.70	12.2	2.669	
1101.50-1101.70	12.7	2.657	
1101.50-1101.70	13.3	2.654	
1101.50-1101.70	13.2	2.642	
<u>2o Foro</u>			
1151.00-1151.20	16.9	2.378	30 – 35
1151.00-1151.20	9.0	2.557	5 – 10
1154.00-1154.10	8.4	2.526	30 – 35
1154.00-1154.10	11.6	2.544	
1154.00-1154.10	6.5	2.559	
1156.30-1156.50	6.3	2.500	35 – 40
1156.30-1156.50	6.0	2.525	10 – 15
1172.50-1172.60	28.8	2.708	
1172.60 – 1172.70	27.4	2.701	
1177.40 – 1177.60	32.6	2.720	

Osservazioni:

- I dati relativi ai campioni di m 1094.70-1094.85 non sono da considerare rappresentativi in quanto i campioni erano affetti da notevole disturbo e anche maggiormente disidratati (quindi affetti da microfrazture che ne pregiudicano la capacità di tenuta).
- Le discrepanze osservate sui campioni “gemelli” dalle carote del 2° foro sono forse da imputare alle bioturbazioni e/o alle sottili laminazioni, entrambe presenti ed osservate sulle caroteni modo più o meno caotico, che potrebbero variare in modo localizzato da un campione all’altro variandone, in tal modo, le caratteristiche petrofisiche.
- Sulla base delle analisi granulometriche e mineralogiche (sez. 4.2 e 4.3) risulta che i campioni della copertura sono costituiti da silt e argille (per cui si può parlare di argilla siltosa)
- La distribuzione statistica di tutti i dati di threshold pressure (dati min e max di entrambi i fori), riportata nella seguente figura, sembra indicare due famiglie di valori: una a 15-20 kg/cm² e l’altra a 30-35 kg/cm²
- Dalle osservazioni e dalle considerazioni dei punti precedenti, è ragionevole supporre che i valori più elevati delle threshold pressure siano riferiti a materiale maggiormente argilloso o dove la frazione argillosa sia disposta in modo tale da aumentarne la tenuta.



4.4 Geomeccanica

4.4.1 Campionamento

Nella tabella seguente è riportata la lista dei campioni utilizzati per la caratterizzazione meccanica e delle prove eseguite su di essi.

In tutte le tabelle in cui sono presenti entrambe le litologie, con le celle con fondo giallo sono identificati i campioni delle sabbie del reservoir.

pozzo S.SALVO 81 DIR – 1° foro			
Profondità (m)	Analisi mineralogich	Granulometri	Prove Triassia
1093.10-30	X	X	X
1094.10-20	X	X	
1094.70-85	X	X	
1096.05-30	X	X	
1098.50-80	X	X	X
1101.5-1101.8	X	X	
pozzo S.SALVO 81 DIR – 2° foro			
Profondità (m)	Analisi mineralogich	Granulometri e	Prove Triassial
1134	X		
1137	X		
1141	X		
1151-1151.20	X	X	X
1153.25	X		
1154-1154.10	X	X	X
1156.30-1156.50	X	X	
1158	X		
1168.7	X		
1172.50-1172.60	X	X	
1172.60-1172.70	X	X	
1177.40-1177.60	X	X	X
1180	X		
1181.5	X		

4.4.2 *Analisi mineralogiche*

Nella tabella seguente sono riportati i risultati dell'analisi mineralogica (effettuata con diffrattometria X) su alcuni campioni delle carote di S. Salvo 81 d:

pozzo S.SALVO 81 DIR – 1° foro						
Profondità (m)	Carbonati		Silicati			
	calcite	dolomite	quarzo	Kfeld-spato	plagio-clasio	arg tot
1093.10-30	37.9	6.1	17.0	2.0	4.5	32.5
1094.10-20	36.0	4.9	16.6	1.5	4.0	37.0
1094.70-85	35.0	4.5	16.5	0.9	4.6	38.5
1096.05-30	34.3	5.9	17.1	1.0	4.8	36.9
1098.50-80	36.2	5.6	15.9	0.9	2.9	38.5
1101.5-1101.8	36.1	5.3	17.9	1.5	4.1	35.1
pozzo S.SALVO 81 DIR – 2° foro						
Profondità	Carbonati		Silicati			
	calcite	dolomite	quarzo	Kfeld-spato	plagio-clase	arg tot
1134	34.2	3.0	15.3	1.1	3.0	43.4
1137	34.0	3.8	14.1	0.9	3.0	44.2
1141	32.0	3.2	14.6	1.2	4.0	45.0
1151-1151.20	34.5	5.1	14.5	1.0	3.0	41.9
1153.25	31.2	2.9	16.0	1.0	3.7	45.2
1154-1154.10	33.3	5.1	15.5	0.9	3.2	42.0
1156.30-1156.50	30.5	4.5	15.9	0.9	3.0	45.2
1158	33.0	3.1	15.0	0.9	3.1	44.9
1168.7	43.0	2.5	37.2	6.3	4.0	7.0
1172.50-1172.60	29.1	6.5	32.3	12.5	10.2	9.4
1172.60-1172.70	20.3	1.2	50.9	10.5	10.9	6.2
1177.40-1177.60	21.0	1.1	49.7	10.2	11.0	7.0
1180	32.4	3.3	15.3	1.0	3.8	44.2
1181.5	30.8	3.2	22.0	2.0	5.0	37.0

Le analisi riportate in fondo giallo sono relative a campioni delle sabbie di giacimento.

In generale i campioni del 2° foro, più profondi, mostrano un contenuto argilloso superiore a quelli del 1° foro mentre la frazione carbonatica si riduce.

La composizione della frazione argillosa è riportata nelle prossime tabelle:

SAN SALVO 81 DIR – 1° foro				
Prof. m	smectite	illite	kaolinite	clorite
1093.10-30	73.4	17.1	5.3	4.2
1094.10-20	72.0	18.1	5.4	4.5
1094.70-85	71.5	18.8	5.5	4.2
1096.05-30	70.8	20.1	5.0	4.1
1098.50-80	66.8	24.1	4.9	4.2
1101.5-1101.8	69.9	21.5	4.7	3.9
San Salvo 81d – 2° foro				
Prof. m	smectite	illite	kaolinite	clorite
1134	64.8	24.7	5.2	5.3
1137	69.4	20.2	5.0	5.4
1141	68.5	20.3	5.5	5.7
1151-1151.20	72.8	18.7	4.1	4.4
1153.25	67.0	23.3	4.7	5.0
1154-1154.10	72.5	19.5	4.0	4.0
1156.30-1156.50	76.2	15.3	4.2	4.3
1158	67.6	22.6	5.0	4.8
1168.7	68.4	24.6	3.0	4.0
1172.50-1172.60	73.3	13.3	7.1	6.3
1172.60-1172.70	61.3	24.8	6.6	7.3
1177.40-1177.60	59.0	26.2	7.5	7.3
1180	70.6	20.1	4.5	4.8
1181.5	69.8	20.1	4.9	5.2

Dalle analisi si nota che il costituente principale delle argille è la smectite, con un 20% circa di illite e solo il 10% circa è dato da caolinite e clorite insieme.

4.4.3 Analisi granulometriche

Secondo il sistema di classificazione Wentworth, la composizione dei campioni analizzati si può così riassumere (nelle tabelle, d è il diametro dei grani):

San Salvo 81 dir – 1° foro						
	Profondità (m)					
	1093.10- 1093.30	1094.10- 1094.20	1094.70- 1094.85	1096.05- 1096.30	1098.50- 1098.80	1101.80
Argilla (d<3.9 um)	41	48	45	41	47	40
Silt (3.9<d<63 um)	59	52	55	59	53	60
Sabbia (63<d<2000 um)	0	0	0	0	0	0

San Salvo 81 dir – 2° foro						
	Profondità (m)					
	1151.00- 1151.20	1154.00- 1154.10	1156.30- 1156.50	1172.50- 1172.60	1172.60- 1172.70	1177.40- 1177.60
Argilla (d<3.9 um)	45	48	43	0	0	0
Silt (3.9<d<63 um)	55	52	57	16	12	15
Sabbia (63<d<2000 um)	0	0	0	84	88	85

In generale, per i campioni argillosi si può parlare di silt molto argilloso mentre per i campioni di giacimento selezionati sono caratterizzabili come sabbia siltosa.

4.4.4. Caratterizzazione meccanica

Prove triassiali - Argilla

Le prove sulla roccia di copertura del giacimento sono state eseguite su campioni “tal quali” prelevati dalle carote, montate in cella triassiale e lasciati consolidare alla pressione di confinamento selezionata per la prova (0.5, 7,5 e 15 MPa).

La fase deviatorica è stata condotta a velocità di carico bassa (0.00289 MPa/min), in modo da evitare condizioni non drenate durante la prova stessa.

I risultati dei tests sono riportati nella tabella seguente:

San Salvo 81d							
Profondità	s_3	s_1	E_{50}	E_{unl}	P_{50}	Coesione	Ang. Attrito interno
m	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	deg
1093.10-1093.30	0.5	6.10	178	332	-----	2.01	25.6
	7.5	28.26	1478	2891	0.24		
	15	42.72	1668	6909	0.20		
1098.50-1098.80	0.5	4.86	198	-----	0.03	1.35	26.9
	7.5	25.98	1171	4926	0.01		
	15	43.35	2460	7226	0.06		
1151.00-1151.20	0.5	6.19	195	-----	0.12	2.24	24.8
	7.5	29.24	1279	5894	0.01		
	15	41.75	1919	6375	0.01		
1154.20-1154.40	0.5	7.9	330	-----	0.02	2.76	23.6
	7.5	29.17	1591	12015	0.13		
	15	41.83	1755	5677	0.08		

Nella tabella precedente, s_3 è la pressione di confinamento, s_1 è il relativo carico di rottura, E_{50} il modulo di Young tangente calcolato al 50% del carico di rottura, E_{unl} il modulo di Young determinato durante un ciclo di scarico-ricarico e P_{50} il coefficiente di Poisson tangente al 50% del carico di rottura.

Coesione ed angolo di attrito sono ricavati dall'involuppo lineare, a rottura, di Mohr-Coulomb.

Le argille esaminate hanno mostrato comportamento abbastanza simile, con un certo irrigidimento (aumento del modulo di Young, E_{unl}) con la profondità. L'esiguo numero di dati non permette un'analisi statistica dei parametri elastici che vada al di là di un semplice valor medio; in tal caso si ha $E_{medio} = 1380 \pm 190$ MPa riferito alla pressione di confinamento di 7.5 MPa.

La variabilità mostrata dai valori del coefficiente di Poisson (legata sia al tipo di materiale che alle problematiche sperimentali della determinazione di tale parametro) non consente di definire un valore medio rappresentativo; in base alla nostra esperienza un valore di 0.15 – 0.20 potrebbe essere comunque utilizzato.

Una semplice statistica sui valori della coesione, τ_{shale} , e dell'angolo di attrito interno, ϕ_{shale} , da come risultati:

$$\tau_{\text{shale}} = 2.09 \pm 0.58 \text{ MPa}$$

$$\phi_{\text{shale}} = 25.2 \pm 1.4 \text{ gradi}$$

Prove triassiali - Sabbie

I risultati dell'unico set di prove triassiali su sabbia che è stato possibile eseguire, sono riassunti nella seguente tabella:

San Salvo 81d							
Profondità	s ₃	s ₁	E ₅₀	E _{unl}	P ₅₀	Coesione	Ang. Attrito interno
m	MPa	MPa	MPa	MPa		MPa	deg
1177.40	0.5	5.68	351	-----	0.19	1.64	25.4
	7.5	25.38	2437	6173	0.26		
	15	41.95	2883	8253	0.10		

Prove Triassiali (2) – Sabbie


Per permettere una valutazione maggiormente approfondita dei parametri meccanici delle sabbie del giacimento, si riportano in questa sezione i risultati delle prove triassiali eseguite, dal laboratorio della società D'Appolonia, nel corso di uno studio precedente sulle carote provenienti dai pozzi San Salvo 70d e 79d.

Le prove sono state eseguite, secondo le raccomandazioni ISRM e ASTM¹, su campioni cilindrici con diametro 25.4 mm e altezza 50.8 mm, saturati con una soluzione di NaCl 28g/L.

San Salvo 79d							
Profondità	s ₃	s ₁	E _{se}	E _{unl}	P _{se}	Coesione	Ang. Attrito interno
m	MPa	MPa	MPa	MPa		MPa	deg
1318.40-1318.50	0.5	10.65	726	642	0.22	1.77	38.5
	3.5	26.50	1466	6008	0.21		
	7.5	51.70	3076	9886	0.38		
	15	72.90	3100	12886	0.31		
1318.70-1318.90	0.5	16.35	641	1238	0.48	2.7	33.6
	3.5	nd	nd	nd	nd		
	7.5	40.31	2344	5268	0.33		
	15	66.80	4218	11556	0.21		
1319.00-1319.15	0.5	11.27	566	946	0.4	0.88	44.9
	3.5	nd	nd	nd	nd		
	7.5	51.70	2642	11870	0.27		
	15	nd	nd	nd	nd		
1321.55-1321.60	0.5	9.34	252	1471	0.32	3.61	29.3
	3.5	34.10	1473	7787	0.14		
	7.5	42.38	1726	9435	0.3		
	15	56.30	2034	10322	0.38		

¹ E.T. Brown (editor), Rock Characterization, testing and monitoring. ISRM Suggested methods. 1981. Pergamon Press.

San Salvo 70d							
Profondità	s ₃	s ₁	E _{sc}	E _{uni}	P _{sc}	Coesione	Ang. Attrito interno
m	MPa	MPa	MPa	MPa		MPa	deg
1188.70-1188.75	0.5	9.18	621	2108	0.18	2.76	30.5
	3.5	26.90	1957	8891	0.32		
	7.5	40.75	2230	8437	0.27		
	15	55.60	3356	11337	0.31		
1194.10-1194.15	0.5	16.37	946	3192	0.14	2.08	40.2
	3.5	35.10	3150	6203	0.43		
	7.5	47.48	2905	10278	0.35		
	15	85.70	5714	16388	0.30		
1198.55-1198.60	0.5	8.16	442	1673	0.31	3.01	24
	3.5	22.80	866	6166	0.22		
	7.5	31.72	1448	6350	0.27		
	15	44.70	1524	6615	0.37		
1204.75-1204.80	0.5	6.16	513	1908	0.18	2.63	26.6
	3.5	25.50	1257	4662	0.37		
	7.5	33.06	1450	8060	0.31		
	15	47.60	2798	6830	0.46		
1208.70-1208.75	0.5	6.32	454	1222	0.34	1.93	28.6
	3.5	22.30	865	4200	0.24		
	7.5	31.30	1384	3688	0.35		
	15	50.10	2689	8823	0.29		
1212.70-1212.75	0.5	10.26	577	887	0.31	2.23	31.3
	3.5	20.90	1098	5006	0.26		
	7.5	40.56	2397	6393	0.41		
	15	55.70	3314	6908	0.21		
1217.75-1217.80	0.5	6.75	472	731	0.38	1.98	32.6
	3.5	25.40	1220	4264	0.36		
	7.5	39.80	2104	6069	0.27		
	15	57.30	3901	8137	0.40		
1223.35-1223.40	0.5	8.87	388	428	0.20	2.23	32.6
	3.5	56.40	2015	6250	0.34		
	7.5	39.73	2200	6221	0.22		
	15	59.20	2863	10068	0.23		
1224.20-1224.25	0.5	12.76	560	1487	0.34	3.38	27.7
	3.5	23.70	917	5400	0.15		
	7.5	40.77	1908	7083	0.19		
	15	52.50	2314	10262	0.21		
1228.40-1228.45	0.5	10.79	650	1484	0.41	2.71	32.2
	3.5	27.50	1197	5987	0.22		
	7.5	43.62	2439	5438	0.26		
	15	59.90	3210	6248	0.17		
1230.30-1230.35	0.5	11.44	552	1146	0.35	2.97	32.3
	3.5	30.80	1717	4043	0.12		
	7.5	43.60	2439	8193	0.25		
	15	61.80	3527	11737	0.18		

	Eni S.p.A. Divisione E&P	SAN SALVO 81 DIR foro 2 CARATTERIZZAZIONE PETROFISICA, GEO- STRUTTURALE E GEOMECCANICA	Pagina 55 di 58
---	---	--	--------------------

Nelle tabelle precedenti, s_3 è la pressione di confinamento, s_1 è il relativo carico di rottura, E_{se} il modulo di Young secante calcolato al 50% del carico di rottura, E_{uml} il modulo di Young determinato durante un ciclo di scarico-ricarico e P_{se} il coefficiente di Poisson secante al 50% del carico di rottura.

Coesione ed angolo di attrito sono ricavati dall'involuppo lineare, a rottura, di Mohr-Coulomb.

I campioni evidenziati nelle celle verdi sono quelli che, dello studio precedente, hanno granulometria simile alle sabbie testate nel corso dello studio attuale.

Considerando solo i campioni simili per granulometria², provenienti dai pozzi 70d, 79d e 81d, si possono definire i seguenti valori medi per la coesione e l'angolo di attrito interno di tali sabbie:

$$\tau_{sand} = 2.65 \pm 0.6 \text{ MPa}$$

$$\phi_{sand} = 28.6 \pm 4.6 \text{ gradi}$$

Per i moduli di Young, un confronto tra E_{se} (dati San Salvo 70d e 79d) ed E_{50} (dal pozzo 81d) non è significativo in quanto i due parametri vengono calcolati in modo differente.

Pertanto come E_{50} di riferimento si suggerisce l'uso del valore determinato nel corso del presente studio:

$$E_{50} = 2437 \text{ MPa (alla pressione di confinamento di 7.5 MPa)}$$

Per il modulo E_{uml} , sempre alla pressione di confinamento di 7.5 MPa, la media dei valori dei campioni selezionati dei tre pozzi risulta:

$$E_{uml} = 6046 \pm 527 \text{ MPa}$$

Per il coefficiente di Poisson vale quanto detto nel paragrafo precedente relativo ai tests su argilla; si suggerisce, per le sabbie un valore $\nu = 0.3$.

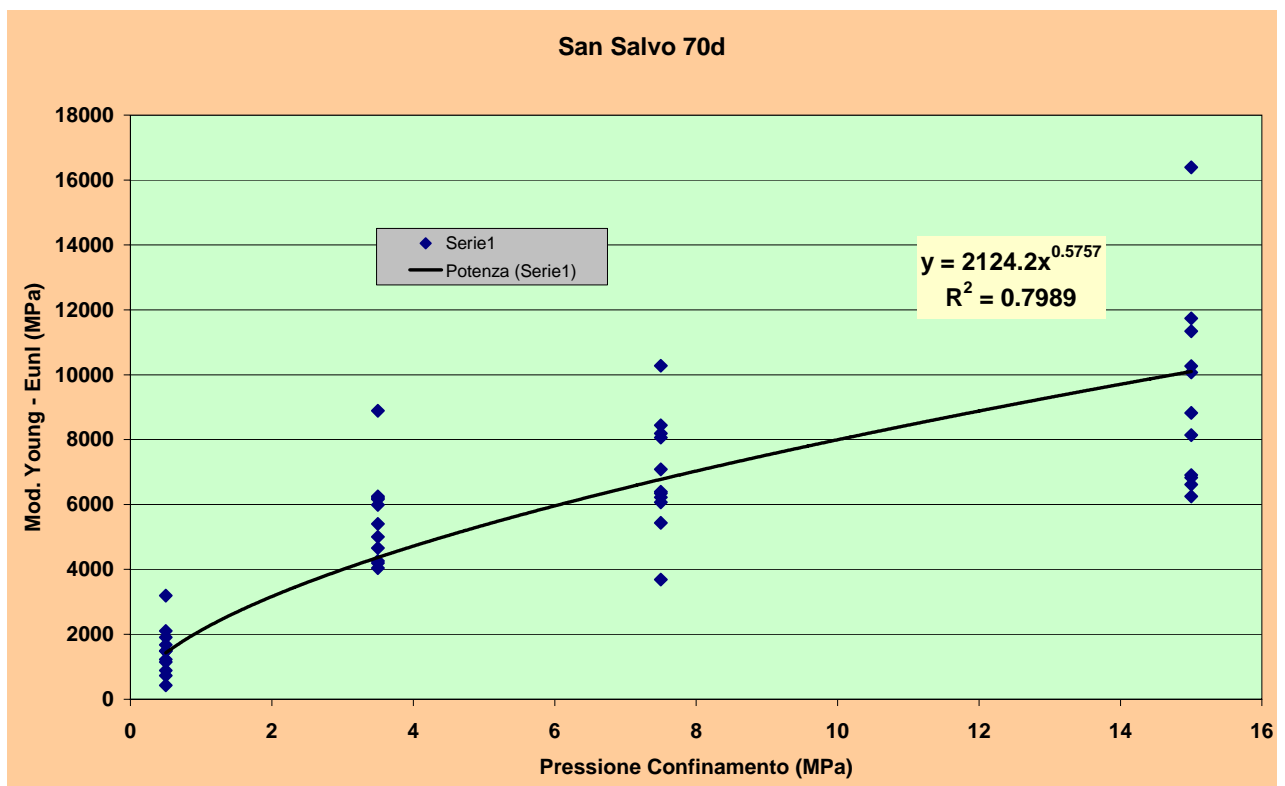
² Nel corso dei passati lavori su San Salvo 70d e 79d, non vennero eseguite analisi mineralogiche e quindi per il confronto ci si è limitati alle determinazioni granulometriche.


Considerando tutti i campioni sabbiosi, con l'aiuto di un'analisi statistica, si possono determinare i valori medi dei moduli di Young E_{unl} che risultano essere, alla pressione di confinamento di 7.5 MPa, di circa 9000 MPa e 7000 MPa per i campioni di San Salvo 79d e 70d, rispettivamente.

SanSalvo 79d	E unloading (MPa)	
	Media	Dev. Standard
7.5 MPa	9115	2774.063
15 MPa	11588	1282.299

SanSalvo 70d	E unloading (MPa)	
	Media	Dev. Standard
7.5 MPa	6928	1760.1
15 MPa	9396	3027.7

In alternativa, è possibile definire una relazione non lineare tra E_{unl} e la pressione di confinamento, che per San Salvo 70d è riportata nel grafico seguente.



	Eni S.p.A. Divisione E&P	SAN SALVO 81 DIR foro 2 CARATTERIZZAZIONE PETROFISICA, GEO- STRUTTURALE E GEOMECCANICA	Pagina 57 di 58
---	---	--	--------------------

5. INTEGRAZIONE E DISCUSSIONE DEI RISULTATI

Successivamente al controllo di qualità eseguito su log tradizionali, log di immagine e SonicScanner, i risultati sono stati interpretati ed integrati insieme con i dati di carote. Per poter meglio illustrare in modo organico le osservazioni fatte sono stati presi in considerazione 3 intervalli:

- Le argille sommitali (sopra le sabbie) che chiameremo *shale 1* (1108-1165 m)
- Le sabbie che chiameremo *livello C2* (1165-1181 m)
- Le argille basali (sotto le sabbie) che chiameremo *shale 2* (1181-1210 m)

Shale 1

In questo intervallo si notano delle incongruenze tra le caratteristiche sedimentologiche su carote, i log di immagine e la risposta dell'anisotropia registrata dal SonicScanner.

Le immagini FMI mostrano delle superfici stratigrafiche immergenti verso NE (strike medio 144 N) a basso angolo e delle superfici fortemente conduttive immergenti prevalentemente verso SSW (strike medio 121 N).

All'interno di questa litozona si evidenziano due livelli (1136.5-1141.5 m e 1151-1154 m) dove il foro mostra sezione regolare e l'aspetto delle immagini è più omogeneo.

L'analisi dei breakout indica la direzione dello stress orizzontale massimo verso 155 N. Una rotazione con stress orizzontale massimo N si osserva nell'intervallo 1155-1165 m.

Le carote mostrano un'argilla prevalentemente massiva con intervalli caratterizzate da blande laminazioni a basso angolo. Si nota altresì la presenza di bioturbazioni e di gusci calcarei.

Il SonicScanner evidenzia dei piani di anisotropia con strike 120 N. E' da segnalare la presenza di un cambio nello strike (1155-1167 m) che ruota verso est (NE60). Tale variazione non è compatibile con le altre osservazioni.

La maggiore criticità dell'integrazione dei dati disponibili è la difficoltà di una caratterizzazione delle superfici visibili sui log (strike 120 N) rispetto all'osservazione su carote che non evidenzia una reale anisotropia litologica, almeno alla scala del foro. Una possibile causa di anisotropia potrebbe essere dato dallo stato di sforzo che, dai dati degli stress tests eseguiti, potrebbe essere di tipo trascorrente ($\sigma_H > \sigma_v > \sigma_h$).


La presenza di bioturbazioni e residui di fossili può invece alterare localmente le caratteristiche, specialmente petrofisiche, di queste argille, comunque ricche di silt. Tale potrebbe essere la causa, insieme ai noti problemi di danneggiamento delle carote argillose dovuti al rilascio delle tensioni, della distribuzione bimodale delle *threshold pressure* osservate in laboratorio.

Dal punto di vista meccanico le argille esaminate, hanno mostrato comportamento simile ma va sottolineato il fatto che il lungo tempo necessario per l'esecuzione delle prove triassiali ha permesso di caratterizzare solo un numero limitato di campioni (m 1093.10 e 1098.50 del 1° foro; m 1151 e 1154.20 del 2° foro).

Livello C2

L'intervallo è caratterizzato da strati aventi spessore da 10cm a 50cm di sabbia fine, frequentemente caratterizzata da fitte laminazioni a basso angolo, ricche in frustoli vegetali. Tali lamine sono state riconosciute sia su log di immagine che su carota (strike medio 140 N), così come rare fratture (strike medio 95 N).

Non sono presenti breakout e altri fenomeni di fratturazione indotta.

	Eni S.p.A. Divisione E&P	SAN SALVO 81 DIR foro 2 CARATTERIZZAZIONE PETROFISICA, GEO- STRUTTURALE E GEOMECCANICA	Pagina 58 di 58
---	---	--	--------------------

Il SonicScanner vede un basso valore di anisotropia con piano di strike NE15. Tale evidenza, di scarsissima entità, non trova alcuna correlazione né con i log di immagine né con le carote. La caratterizzazione petrofisica e geomeccanica non ha mostrato particolari anomalie di comportamento; la parte geomeccanica è stata integrata con dati provenienti da studi effettuati sulle carote dei pozzi San Salvo 70d e 79d.

Shale 2

Queste argille mostrano delle caratteristiche sedimentologiche molto diverse da quelle delle argille sovrastanti il livello sabbioso C2.

L'osservazione su carota ha evidenziato la presenza di argille siltose bioturbate con rare intercalazioni sabbioso-siltose con laminazioni interne deformate per *slump*. Tali laminazioni a medio ed alto angolo dovute a *slumping* e bioturbazioni sarebbero quindi delimitate da superfici di strato sub-orizzontali, in corrispondenza dei principali cambi litologici, con giacitura coerente con quanto osservato nelle due litozone superiori.

I log di immagine confermano queste osservazioni con lamine immergenti SSE (strike medio 80 N).

I breakout hanno una disposizione analoga a quanto osservato nella parte superiore delle shale 1 (direzione dello stress orizzontale massimo 155 N) e sono concentrati nell'intervallo 1181-1191 m.

Il SonicScanner evidenzia dei piani di anisotropia (strike 75 N) compatibili con quanto osservato sia su log di immagine che su carote.

Non è stata fatta una caratterizzazione meccanica e petrofisica di queste argille.