	<p>Sede Operativa di Crema</p> <p>GIAC – Giacimenti</p>
---	---

CONCESSIONE FIUME TRESTE STOCCAGGIO

LIVELLO C2 - PROGETTO P>Pi

LIVELLO F – PROGETTO DI SVILUPPO

MANAGEMENT SUMMARY

			E. Cairo		
			M. Liberati		
0	Emissione		A. Mantegazzi	D. Marzorati	Ottobre 2013
REV.	DESCRIZIONE		PREPARATO	APPROVATO	DATA

SOMMARIO

LIVELLO C2

- 1 - FINALITA' DEL PROGETTO**
- 2 - IL LIVELLO C2 E L'ATTIVITA' DI STOCCAGGIO**
- 3 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO**
- 4 - RILIEVO SISMICO 3D**
- 5 - PERFORAZIONE POZZO S. SALVO 81 DIR**
- 6 - PROVE IN SITU**
- 7 - PROVE ED ANALISI DI LABORATORIO**
- 8 - STUDIO PETROFISICO INTEGRATO**
- 9 - TENUTA MECCANICA DEI POZZI**
- 10 - ASSESSMENT DEGLI IMPIANTI DI SUPERFICIE**
- 11 - MODELLIZZAZIONE GEOMECCANICA**
- 12 - MODELLIZZAZIONE STATICA E DINAMICA 3D**
- 13 - MONITORAGGIO DEI MOVIMENTI DEL SUOLO**
- 14 - EVENTI SISMICI E TENUTA DEL GIACIMENTO**
- 15 – PROGRAMMA DI MONITORAGGIO**
- 16 - RISULTATI DEL MONITORAGGIO NELLA FASE DI SPERIMENTAZIONE**

LIVELLO F

- 1 - MODELLIZZAZIONE STATICA 3D**
- 2 - MODELLIZZAZIONE DINAMICA 3D**

LIVELLO C2

1 - FINALITÀ DEL PROGETTO

L'esercizio dei giacimenti di stoccaggio in condizioni di sovrappressione, prassi già consolidata a livello internazionale, è ritenuta una soluzione tecnica conveniente ed efficace per conseguire un'ottimizzazione della gestione operativa, attraverso il miglioramento delle prestazioni iniettive ed erogative.

Nell'ambito di un piano di potenziamento complessivo dell'attività di stoccaggio il giacimento di Fiume Treste - Livello C2 è stato individuato fra quelli potenzialmente idonei per la realizzazione di un progetto di superamento della pressione originaria di giacimento ($P > P_i$). Il progetto fa seguito ad altri analoghi realizzati negli scorsi anni da Stogit nelle proprie concessioni di stoccaggio.

Per valutare la fattibilità operativa del progetto è stata realizzata una serie di studi e di interventi operativi, finalizzati in particolare alla raccolta dei dati per una accurata descrizione delle principali caratteristiche del giacimento: una nuova interpretazione del rilievo sismico 3D per la caratterizzazione complessiva (geometria, assetto strutturale), la perforazione di un pozzo geognostico dedicato (con prelievo di carote di fondo, log geofisici, misure geomeccaniche in situ), studi per la caratterizzazione petrofisica e geomeccanica della formazione argillosa di copertura, valutazione dell'integrità dei pozzi e delle facilities di superficie.

Le informazioni acquisite sono state opportunamente integrate attraverso uno studio di modellizzazione dinamica 3D, al fine di valutare correttamente l'idoneità tecnica del giacimento per gli obiettivi prefissati.

I risultati degli studi condotti sul giacimento e sulla tenuta della formazione argillosa di copertura assicurano la possibilità tecnica di raggiungere nel giacimento di Fiume Treste – Livello C2, in condizioni di totale sicurezza, un incremento di pressione statica di giacimento (datum m 1067 l.m.) fino al 120% della pressione originaria di scoperta (S.B.H.P. originaria: $131,5 \text{ kg/cm}^2_{\text{ass.}} = 128,9 \text{ barsa}$; S.B.H.P. finale in sovrappressione prevista: $157,8 \text{ kg/cm}^2_{\text{ass.}} = 154,7 \text{ barsa}$). L'attuale obiettivo del progetto è quello di esercire il giacimento in sovrappressione al **110%** della pressione originaria di scoperta (S.B.H.P. finale in sovrappressione prevista: $144,6 \text{ kg/cm}^2_{\text{ass.}} = 141,8 \text{ barsa}$).

Gli accertamenti eseguiti sugli impianti di superficie (facilities di centrale e condotte di adduzione del gas) hanno evidenziato la possibilità di operare fino al valore di pressione limite operativa di **$138,68 \text{ kg/cm}^2 = 136 \text{ bar}$** . Tale valore consente di disporre di un ampio margine operativo di pressione negli impianti di superficie, che assicurerebbe la fattibilità del raggiungimento dell'attuale target di progetto di

sovrapressione al 110% P_i , nel quale si prevede di raggiungere, in condizioni di superficie, un valore di pressione in esercizio di **129,8 kg/cm² = 127,29 bar = 128,37 barsa**.

Le simulazioni numeriche eseguite sulla base della modellizzazione dinamica 3D del giacimento evidenziano, per un esercizio con $P=110\% P_i$, una potenzialità del volume di Working Gas del Livello C2 pari a circa 1415 MSmc, con un incremento di 200 MSmc rispetto alla situazione a $P=P_i$.

Il progetto per valutare la fattibilità operativa si è articolato in una serie di studi e di interventi operativi, finalizzati in particolare ai seguenti obiettivi:

- descrizione del giacimento (geometria, litologia, petrofisica, proprietà dei fluidi, meccanismi di spinta, ecc.)
- interpretazione strutturale basata su una revisione sismica parziale del rilievo 3D acquisito nel 1999-2000
- limite di fratturazione della roccia-serbatoio
- tensioni e deformazioni del sistema roccioso (serbatoio, copertura)
- definizione di eventuali punti di trabocco (*spill-point*)
- tenuta idraulica della copertura
- integrità dei pozzi e delle facilities di superficie

Le informazioni acquisite sono state opportunamente integrate attraverso una modellizzazione dinamica 3D, al fine di valutare correttamente l'idoneità tecnica del giacimento per gli obiettivi prefissati.

A seguito di specifica autorizzazione ministeriale durante il ciclo di stoccaggio 2012-2013 è stata eseguita una prova di iniezione sperimentale mirata a verificare operativamente la fattibilità dell'esercizio in sovrapressione fino al 110% P_i .

Nel corso della fase di sperimentazione si è raggiunto un valore di pressione medio in giacimento a fine campagna di 135,82 barsa, corrispondente a circa il 105,4% della pressione originaria, a fronte di un volume iniettato in condizioni di sovrapressione di 130 MSmc. Non è stato possibile raggiungere il volume di progetto iniziale della sperimentazione, pari a 200 MSm³ al 110% della P_i , a seguito del mancato approvvigionamento del gas dai clienti; i risultati del test realizzato consentono tuttavia di affermare la fattibilità dei volumi previsionali del progetto.

L'analisi dei monitoraggi eseguiti nella fase di iniezione sperimentale in sovrapressione indica che le operazioni di stoccaggio non hanno comportato criticità nella gestione del campo di Fiume Treste Pool C2. Anche i risultati relativi ai monitoraggi dei movimenti

del suolo, dell'attività microsismica e delle analisi geochimico-ambientali non hanno riscontrato la presenza di situazioni anomale.

A seguito di questa verifica di campo, Stogit richiede, con apposita istanza ai sensi del D.M. 4 febbraio 2011, l'autorizzazione all'ampliamento della capacità di stoccaggio del giacimento di Fiume Treste Pool C2, realizzata mediante incremento della pressione di esercizio fino a valori massimi pari al 110% della pressione statica di fondo originaria (128,9 barsa, cui corrispondono valori a testa-pozzo di 116,7 barsa); a tale incremento di pressione corrisponderebbe un incremento di volume pari a 200 MSmc.

2 - IL LIVELLO C2 E L'ATTIVITA' DI STOCCAGGIO

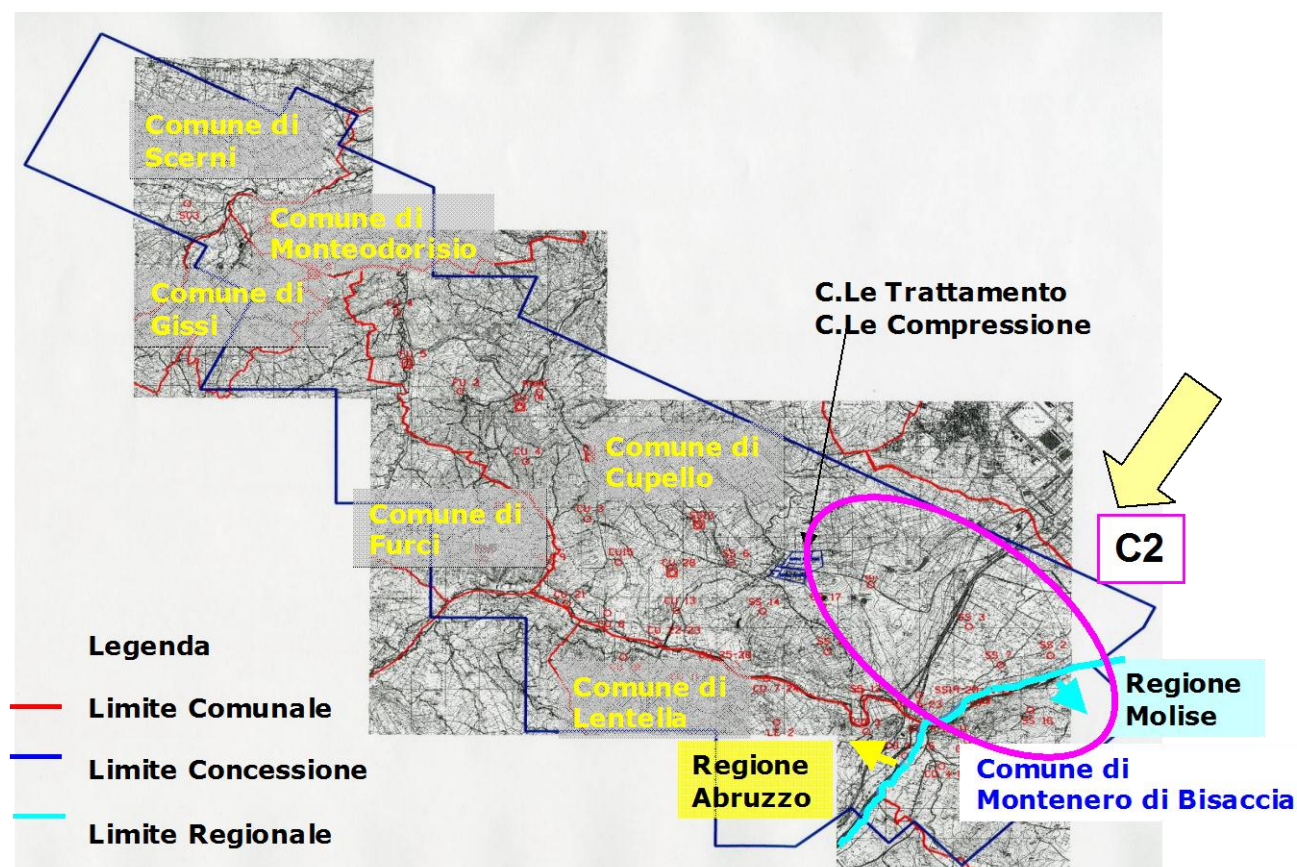
Nella Concessione Fiume Treste Stoccaggio le attività di stoccaggio sono iniziate nel 1982, a seguito della cessata produzione primaria.

Il Livello C2 è costituito da una bancata sabbiosa con geometria deposizionale di tipo pinch-out. Lo spessore delle sabbie, in genere esiguo (pochi metri), raggiunge valori massimi di 25-35 m nella parte sud-orientale del giacimento, in corrispondenza delle culminazioni strutturali denominate La Coccetta e Trigno.

Nel Livello C2, la cui copertura è costituita dalle argille della stessa Formazione Candela-Torrente Tona, la mineralizzazione primaria a gas metano è stata individuata alla profondità di 1067 m da l.m (datum), con una pressione statica iniziale (SBHP) di 131,5 kg/cm² ass. Il livello, che risulta separato idraulicamente dal sottostante pool B,C,C1, è mineralizzato in una fascia diretta NW-SE, con un GWC originario a -1127 m l.m.. Il meccanismo di produzione è associato a spinta dell'acquifero.

Il Livello C2 è stato interessato da un progetto di infilling che ha consentito una prima fase di ottimizzazione dell'attività di stoccaggio. Il progetto è stato programmato sulla base di uno studio di giacimento e di nuovi elementi geologico-strutturali acquisiti tramite l'esecuzione di rilievi sismici di tipo crosswell. L'obiettivo conseguito era quello di migliorare la gestione e di incrementare le prestazioni di stoccaggio in termini di Portata di punta durante la fase erogativa.

Il progetto è stato realizzato con la perforazione di quattro pozzi di infilling, di cui due a traiettoria slanted (S. Salvo 83 dir e 95 dir) e due a traiettoria suborizzontale (S. Salvo 80 Or e 82 Or), eseguita nel corso del 2008.



3 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO

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.

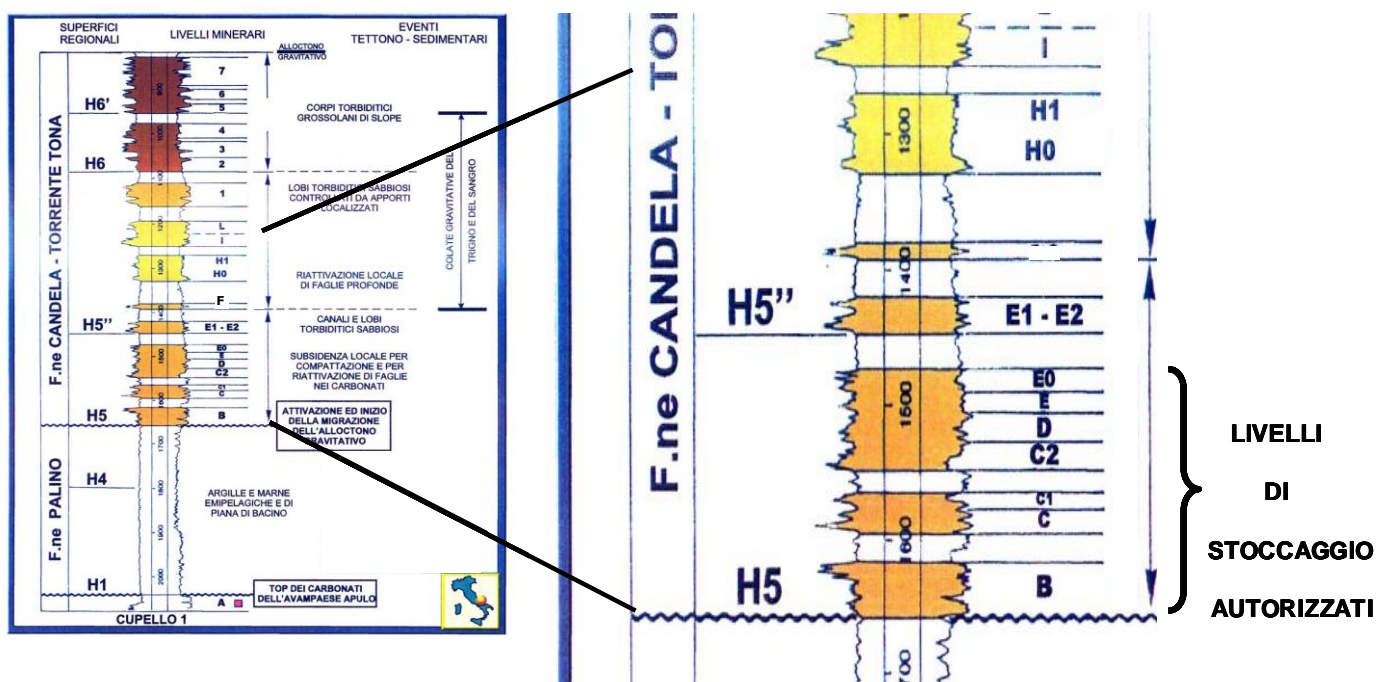
La successione stratigrafica, che comprende nella parte inferiore calcari di piattaforma carbonatica di età cretacea appartenenti all'avampaese apulo, è composta da due principali unità litostratigrafiche, denominate Formazione Palino e Formazione Candela-Torrente Tona.

La Formazione Palino, la cui dinamica deposizionale è condizionata dall'andamento strutturale del sottostante substrato carbonatico tettonizzato, consiste di argille e marne bacinali del Pliocene inferiore e medio.

La Formazione Candela-Torrente Tona è composta da un'alternanza di livelli argillosi e di corpi sabbiosi, talora anche conglomeratici, depositi in corrispondenza del passaggio tra ambienti di scarpata e di piana di bacino, durante il Pliocene medio ed il

Pliocene superiore. Questa formazione comprende i livelli sabbiosi interessati dall'attività di stoccaggio del gas naturale.

L'Alloctono soprastante comprende litotipi argilloso-marnosi fortemente caoticizzati e livelli gessosi. Lo smantellamento della parte emersa dell'Alloctono rappresenta la sorgente principale di apporti sedimentari che alimentano i sistemi bacinali profondi.



4 - RILIEVO SISMICO 3D E RELATIVE ELABORAZIONI

Nell'area sud-orientale della Concessione Fiume Treste è stato acquisito un rilievo sismico 3D nel 1999, finalizzato ad una adeguata risoluzione degli aspetti geologici e strutturali, utili per una corretta modellizzazione statica e dinamica del giacimento. Questo rilievo è stato unificato con quelli adiacenti, acquisiti nel 1997–1998, coprendo complessivamente una superficie pari a 110 km².

Nel corso del 2005 sono stati inoltre acquisiti due profili sismici lineari "Crosswell" (tecnologia innovativa con strumentazioni di pozzo in grado di generare e ricevere onde acustiche), che hanno interessato i pozzi La Coccetta 4 e 5 e S. Salvo 5.

Nell'ambito del progetto è stata eseguita una revisione sismica parziale strettamente finalizzata alla risoluzione di alcuni aspetti dinamici e strutturali che richiedevano un'indagine più dettagliata.

I nuovi elementi introdotti a seguito di un reprocessing del dato sismico implicano la possibilità di applicare un modello tettonico leggermente differente dal precedente,

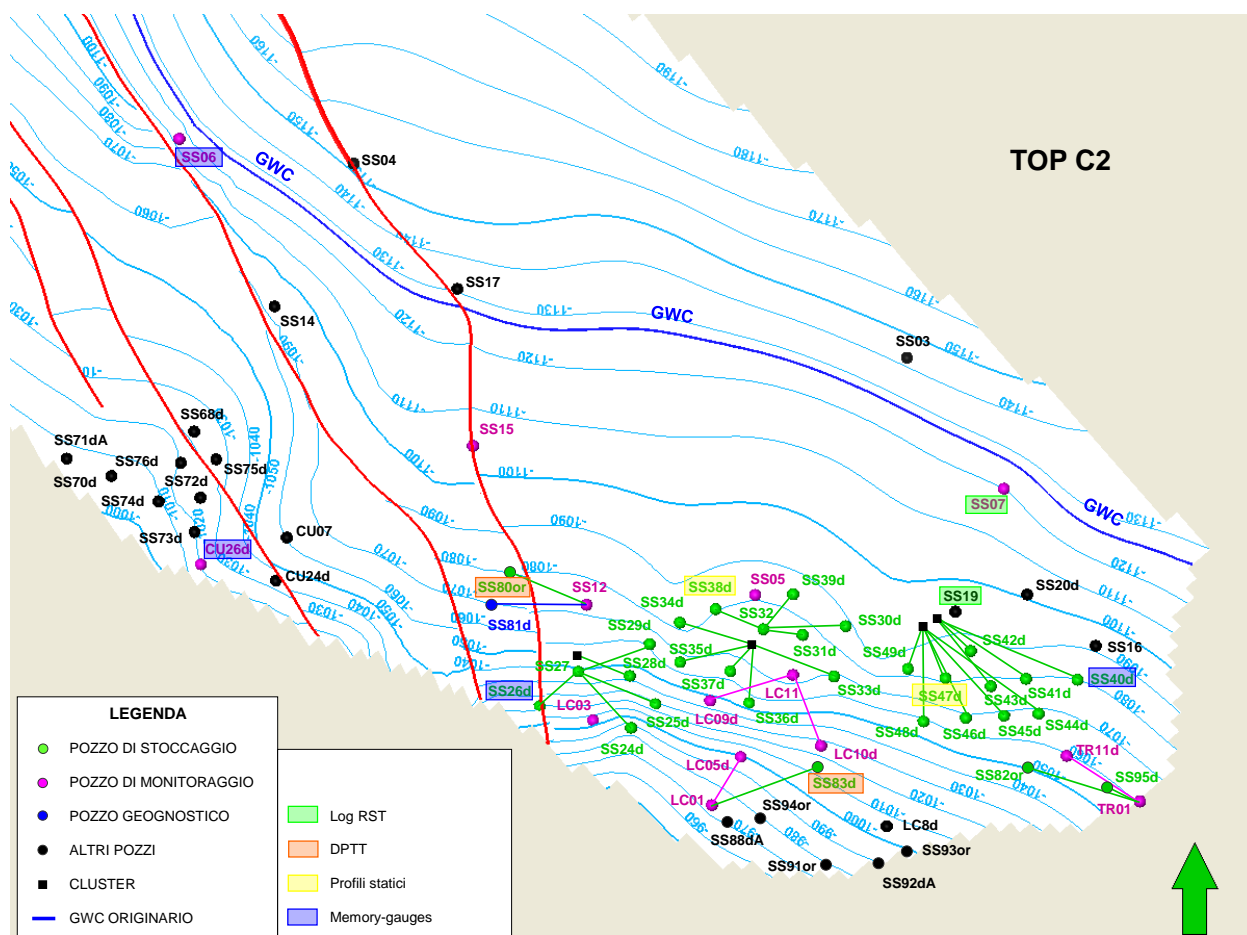
basato su affinità sismiche con il vicino campo di Torrente Tona, anch'esso ubicato nell'Avanfossa Bradanica.

Il modello interpretativo adottato introduce in particolare la presenza di faglie inverse impostate nella serie pliocenica compresa tra il substrato carbonatico e l'alloctono gravitativi.

Tali lineamenti sembrano suggerire l'evidenza di una componente sindeposizionale in grado di influenzare spessore e grado di sabbiosità del livello.

Nel campo sono comunque presenti anche lineamenti distensivi che sembrano essere legati alla riattivazione delle faglie che scompongono il substrato carbonatico.

Nella figura seguente è riportata la mappa strutturale del top del Livello C2.



5 - PERFORAZIONE POZZO S. SALVO 81 DIR

La perforazione del pozzo S. Salvo 81 dir è stata eseguita nel periodo ottobre-novembre 2006. La realizzazione del pozzo si prefiggeva i seguenti principali obiettivi:

- prelievo di carote di fondo nella roccia di copertura e nel reservoir per esecuzione di analisi mirate alla caratterizzazione geomeccanica, e quindi alla valutazione della massima pressione di esercizio ammissibile per l'esercizio del giacimento
- esecuzione di prove in situ per valutazione degli stress in situ e dei gradienti di fratturazione della roccia di copertura
- registrazione di un set di log per descrizione di caratteristiche litologiche e petrofisiche del serbatoio e della roccia di copertura
- allestimento del pozzo con attrezzature idonee al monitoraggio del giacimento

La stringa strumentata è stata installata il 2/02/2010 e la registrazione è stata avviata in modo definitivo il 27/09/2011. Al momento il sistema di comunicazione disponibile (rete cellulare GPRS) consente solo di ricevere i dati che verificano il funzionamento del sistema.

L'analisi dei dati avviene in modo automatico, ripetendo più volte la ricerca su tutti i dati, con parametri e condizioni diversi per l'algoritmo di ricerca. Gli eventuali segnali identificati sono poi analizzati manualmente. Le informazioni acquisite vengono poi esaminate per differenziare i microsismi, definiti come sismi con distanza dal pozzo inferiore a 1 km, da altri eventi sismici o dal rumore.

6 - PROVE IN SITU

Nel corso della perforazione del Pozzo S. Salvo 81 dir sono stati eseguite prove finalizzate alla valutazione della pressione di fratturazione e del relativo gradiente, oltre che dello sforzo orizzontale in situ nella roccia di copertura. L'acquisizione dei dati è stata eseguita con attrezzature MDT Schlumberger, con il posizionamento del tool in intervalli argillosi individuati sulla base dei log elettrici precedentemente registrati.

I risultati più rappresentativi nei litotipi più schiettamente argillosi mostrano valori di minimum stress variabili da 4105 psi = 288,6 kg/cmq (1152 m) a 3380 psi = 237,6 (1190 m). I dati sono ritenuti congruenti con la distribuzione della pressione dei fluidi nei reservoir e in particolare con la presenza di un reservoir inferiore depletato. Il valore di minimum stress denota un elevato gradiente di fratturazione, prossimo ad un ipotetico gradiente di overburden. Tale situazione di stress orizzontale molto elevato risulta coerente con il contesto descritto dallo studio di interpretazione sismica, che rivela la presenza di faglie inverse associate ad un regime tettonico di tipo compressivo.

7 - PROVE ED ANALISI DI LABORATORIO

La fase di caratterizzazione geomeccanica della copertura si è articolata attraverso l'esecuzione di varie analisi, fra cui prove triassiali per verifica del carico di rottura del sistema serbatoio-copertura, prove di pressione di soglia (threshold pressure) sulla roccia di copertura, per determinazione della tenuta idraulica e analisi granulometriche, mineralogiche e petrofisiche (porosità, permeabilità).

Gli esiti di queste indagini hanno permesso di caratterizzare le proprietà geomeccaniche dei terreni soprastanti ai livelli di stoccaggio, che sono risultate quelle tipiche di materiali poco permeabili (comportamento di barriera).

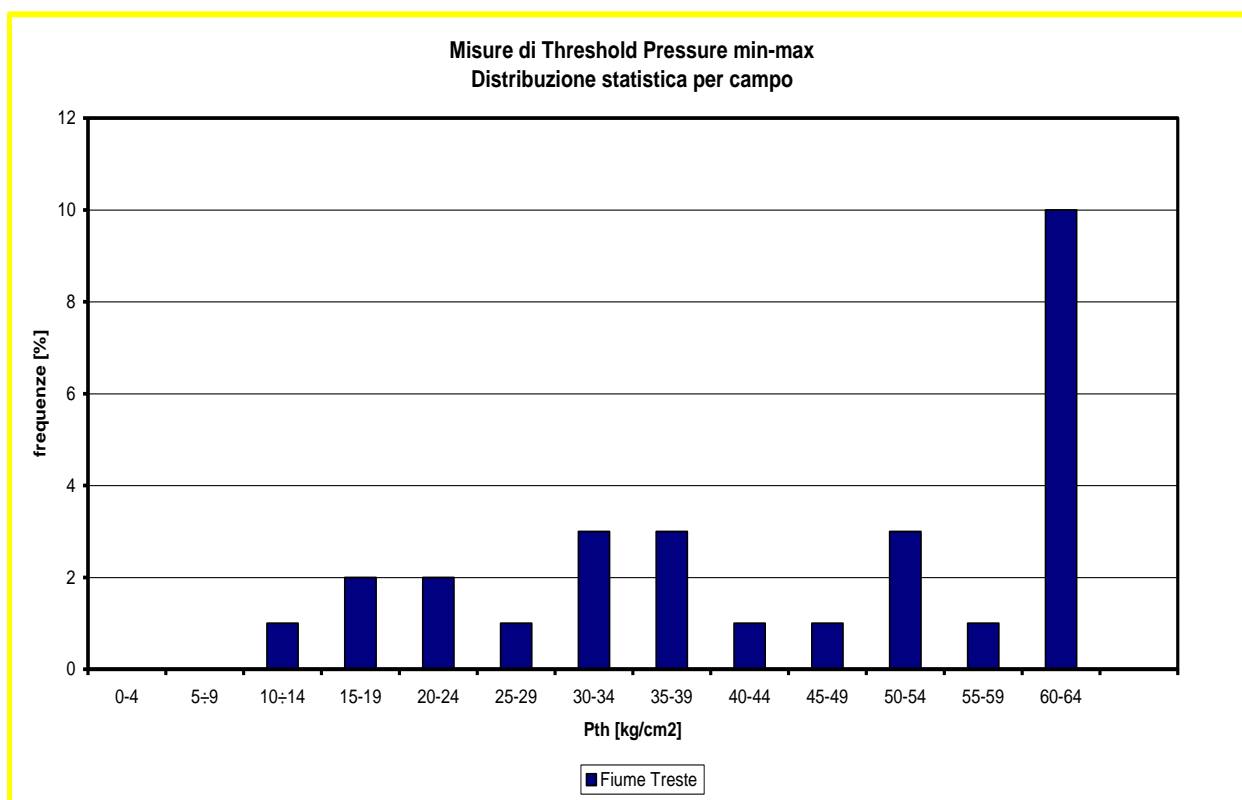
I principali risultati possono essere così riassunti:

- i litotipi argillosi contengono anche una componente di variabile di silt
- la composizione mineralogica delle argille indica tra le frazioni dominanti smectite (70% circa) e illite (20%)
- le argille hanno mostrato comportamento meccanico omogeneo: l'analisi statistica dei parametri indica come valori medio $E_{\text{medio}} = 1380 \pm 190$ MPa (valore riferito alla pressione di confinamento di 7.5 MPa)
- per la valutazione del coefficiente di Poisson delle argille si ritiene valido un valore di 0.1 – 0.2
- l'analisi statistica dei valori di 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.
- per una valutazione più attendibile dei parametri meccanici sono stati utilizzati, ad integrazione del set di prove triassiali sulle sabbie, 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:
 - per il valore del modulo di Young tangente di riferimento si suggerisce il 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: $E_{uni} = 6046 \pm 527$ MPa.

- per il coefficiente di Poisson delle sabbie è stato assunto un valore $\nu = 0.3$.
- i valori di Threshold Pressure misurati nei litotipi più francamente argillosi carotati nel pozzo S. Salvo 81 dir – 2° foro e nei pozzi S.Salvo 82 Or, 83 dir, 88 dir, 89 dir e 92 dir A. , presentano valori medi dell'ordine di 30-40 kg/cm²;

I risultati completi delle analisi condotte sono riportati nel seguente istogramma.



8 - STUDIO PETROFISICO INTEGRATO

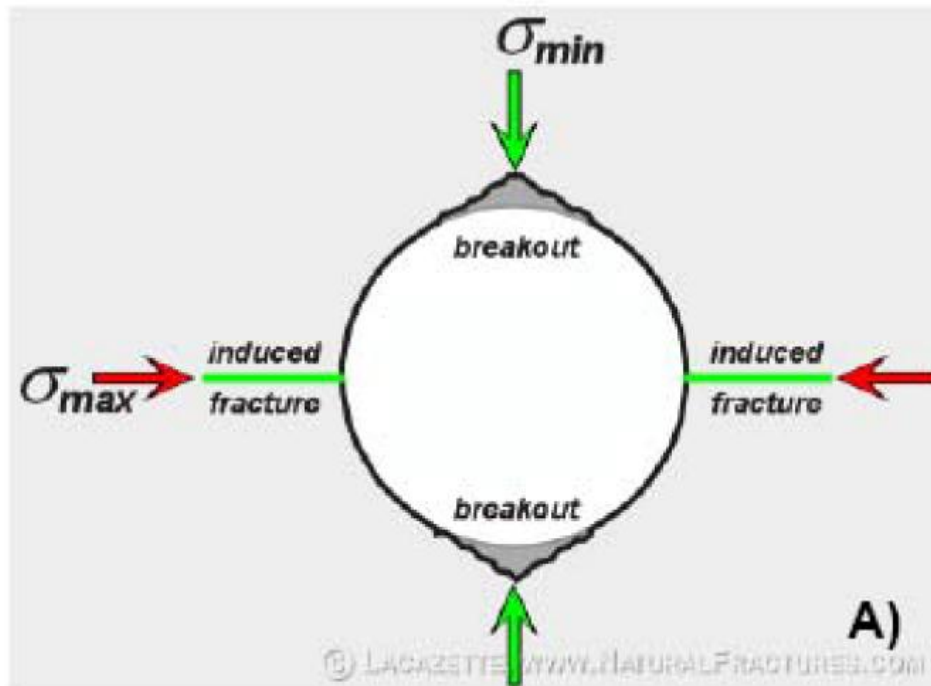
Lo studio petrofisico condotto ha inteso integrare in un quadro coerente le informazioni provenienti dall'analisi delle carote e dai log elettrici acquisiti nel pozzo S. Salvo 81 dir, distinguendo i seguenti tre intervalli:

Argille di copertura (1108-1165 m)

Nelle argille e argille siltose di copertura del Livello C2 le immagini del log FMI mostrano superfici stratigrafiche immergenti verso NE (strike medio 144 N), a basso

angolo, unitamente a fenomeni locali con superfici immergenti prevalentemente verso SSW (strike medio 120 N).

L'analisi dei breakout, di direzione prevalente 64 N (σ_{min}), indica l'orientazione della direzione dello stress orizzontale massimo a 154 N (σ_{max}).

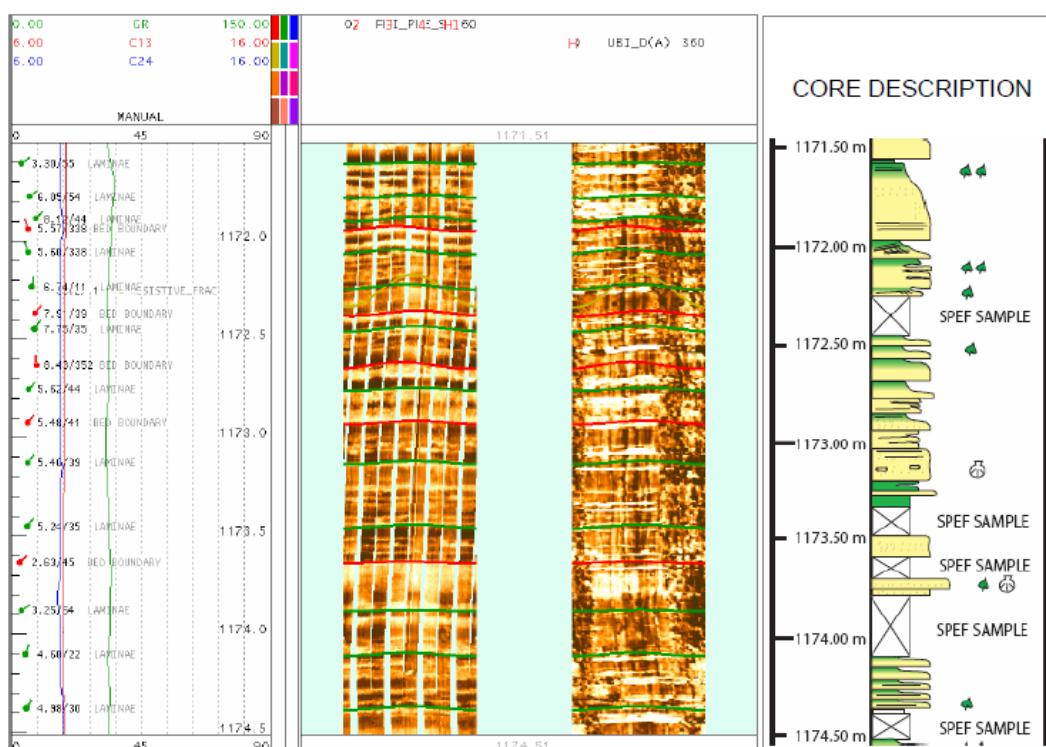


L'analisi sedimentologica delle carote mostrano un'argilla prevalentemente massiva, con presenza di intervalli caratterizzati da blande laminazioni a basso angolo. Si nota altresì la presenza di bioturbazioni e di gusci calcarei di molluschi. Dal punto di vista meccanico le argille esaminate, hanno mostrato comportamento omogeneo, almeno per quanto osservato nei campioni sottoposti all'esecuzione di prove triassiali con un valore medio di $E = 1.380 \pm 190$ MPa (Pressione di confinamento pari a 7,5 MPa). Nella tabella seguente vengono riportati i principali parametri ricavati.

San Salvo 81d							
Profondità m	s ₃ MPa	s ₁ MPa	E ₅₀ MPa	E _{unl} MPa	P ₅₀ MPa	Coesione MPa	Ang. Attrito interno 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		

Livello C2 (1165-1181 m)

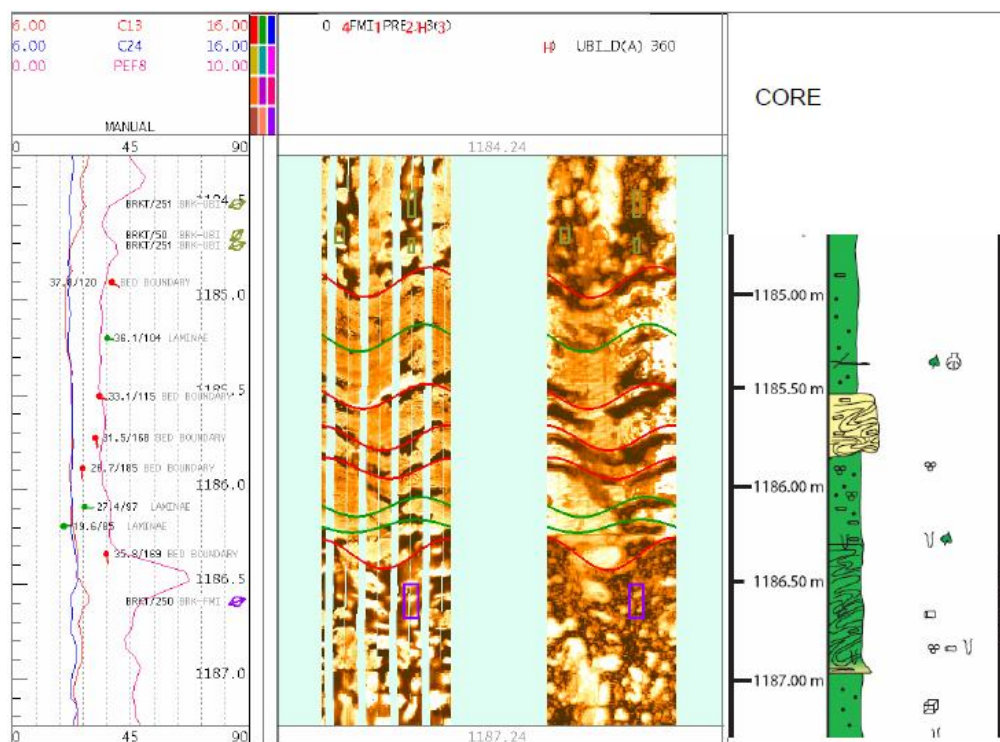
L'intervallo sabbioso del Livello C2 è caratterizzato da strati di sabbia fine con spessore di 10-50 cm, frequentemente interessati da fitte laminazioni a basso angolo ricche in frustoli vegetali. Tali lamine sono state riconoscibili sia sui log di immagine che su carota (strike medio 140 N), così come rare fratture (strike medio 95 N). Non sono presenti breakout e altri fenomeni di fratturazione indotta.



In generale la pendenza strutturale del livello C2 presenta immersione verso NE, le inclinazioni si mantengono in prevalenza intorno ai 5-8°. Litologicamente il livello è costituito da strati di sabbia fine (spessore 10-50 cm) caratterizzati da una porosità media del 23 %e da una permeabilità da 300 a 1300 mD.

Argille basali (1181-1210 m)

Le argille sottostanti al Livello C2 mostrano caratteristiche sedimentologiche differenti da quelle sovrastanti. L’osservazione su carota ha evidenziato la presenza di argille siltose bioturbate, con presenza di 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 argille di copertura (direzione dello stress orizzontale massimo 155 N) e sono concentrati nell’intervallo 1181-1191 m.

9 - TENUTA MECCANICA DEI POZZI

Nell’ambito del progetto sono state eseguite verifiche sulle attrezzature dei pozzi, mirate all’accertamento delle condizioni di sicurezza degli stessi in previsione dell’esercizio a pressioni superiori a quella originaria del giacimento.

Verifica del casing di produzione

La verifica del casing di produzione è stata eseguita per tutti i pozzi di stoccaggio eserciti nel Pool C2, e per i pozzi del Pool B+C che attraversano il Pool C2.

Sono stati inoltre analizzati i casing di produzione dei pozzi di monitoraggio La Coccetta 1, La Coccetta 3, La Coccetta 5, La Coccetta 9 ÷ 11, Trigno 1 e Trigno 11, S.Salvo 5, S.Salvo 7, S. Salvo 12 e S.Salvo 19.

Considerato il numero elevato di pozzi interessati, e verificata la standardizzazione dei profili di tubaggio adottata in fase di progettazione e realizzazione degli stessi, si è scelto di riportare i risultati dei calcoli per soli 6 pozzi rappresentativi dei diversi profili di tubaggio e cementazione presenti nella concessione, ovvero:

Pool C2

- Pozzo Tipo 1: con profilo di tubaggio e cementazione rappresentativo dei pozzi completati durante la fase di sviluppo del campo (S.Salvo 24÷49)
- Pozzo Tipo 2: coincidente con il pozzo S.Salvo 83 Dir, rappresentativo dei pozzi più recenti aventi profilo direzionato (S.Salvo 81, S.Salvo 83 e S.Salvo 95)
- Pozzo Tipo 3: coincidente con il pozzo S.Salvo 82 Or, rappresentativo dei pozzi più recenti aventi profilo orizzontale (S.Salvo 80 e S.Salvo 82)

Pool B+C

- Pozzo Tipo 4: con profilo di tubaggio e cementazione rappresentativo dei pozzi completati durante la fase di sviluppo del campo (S.Salvo 51÷79)
- Pozzo Tipo 5: coincidente con il pozzo S.Salvo 92 Dir, rappresentativo dei pozzi più recenti aventi profilo direzionato (S.Salvo 84÷86, S.Salvo 88÷89 e S.Salvo 92)
- Pozzo Tipo 6: coincidente con il pozzo S.Salvo 93 Or, rappresentativo dei pozzi più recenti aventi profilo orizzontale (S.Salvo 87, S.Salvo 90÷91 e S.Salvo 93÷94).

Tali pozzi sono stati selezionati con l'intento di mostrare i risultati della verifica, nelle condizioni più sfavorevoli, ovvero: massima profondità della scarpa (tutti i pozzi sono stati schematizzati come verticali) e inferiori grado dell'acciaio/spessore del tubo. La loro verifica positiva implica che anche gli altri pozzi rientranti nella medesima categoria siano verificati positivamente.

Per quanto riguarda i gradienti di pressione delle formazioni sono stati considerati dei valori medi rappresentativi del campo, oltre che quelli acquisiti nelle relative campagne di registrazione e nelle recenti perforazioni dei pozzi infilling.

In particolare, per il Pool C2 è stata considerata una pressione pari a 141,8 bar al datum di 1067 m ssl, corrispondente a quella originaria (129 barsa) aumentata del

10%. La corrispondente massima pressione di iniezione calcolata a testa pozzo è di circa 145 bar.

Il Pool B+C è stato infine considerato nella condizione di massima ricostituzione, ovvero con un $P=P_i$ (134,2 kg/cm²a; pari a 131,6 barsa al datum di 1112 m ssl).

I risultati dei calcoli, eseguiti in conformità alle procedure aziendali di Casing Design e con l'utilizzo del software StressCheck® di Landmark, mostrano che i casing di produzione dei pozzi di stoccaggio sono in condizioni di sicurezza; il minore dei safety factor a squarciamento è 1,17 mentre quello a collasso è 1,48 entrambi relativi al pozzo Tipo 1, a fronte di un minimo Safety Factor a squarciamento di 1.05, e a collasso di 1.1. Inoltre i casing di produzione dei pozzi di monitoraggio sono in condizioni di sicurezza.

L'unica eccezione è il pozzo Trigno 1, nel quale i safety factor a squarciamento relativi ad un solo tratto di colonna, sono leggermente inferiori ai valori di casing design aziendali. A tal proposito, va evidenziato che le profondità corrispondenti ai punti di minore resistenza sono risultate essere nel tratto di intercapedine foro-casing cementato. Ciò garantisce una superiore resistenza meccanica del tubo, ovviando a quanto risulta dalle verifiche.

Va anche detto che le procedure aziendali di calcolo adottate sono quelle applicate nelle verifiche in fase di perforazione, e che i relativi criteri si basano su condizioni più sfavorevoli, che possono verificarsi soltanto durante la perforazione del pozzo, rispetto a quelle attuali.

Tenuto conto, infine, dell'assenza di pressioni anomale alle intercapedini e della tipologia di utilizzo del pozzo Trigno 1 (monitoraggio, ovvero in assenza di sollecitazioni di pressione dovute alle attività di iniezione ed erogazione), si può ragionevolmente considerare accettabile la condizione di sicurezza del pozzo. In ogni caso, nei programmi futuri ne è prevista la chiusura mineraria in quanto pozzo non indispensabile per i programmi di gestione monitoraggio di giacimento.

Per quei pozzi nei quali si registrano accumuli di pressione nel casing di produzione, o alle spalle di questo, sono in corso monitoraggi e verifiche periodiche (valori di pressione, scarichi e campionamenti) per assicurare il rispetto dei margini di sicurezza.

Concludendo, considerate le informazioni a disposizione, le verifiche ingegneristiche e i periodici monitoraggi dei pozzi del campo, ad oggi possiamo dichiarare che i casing di produzione dei pozzi che interessano il Pool C2, soddisfano pienamente i requisiti di resistenza a regimi di pressione del 110% della pressione originaria di giacimento.

Verifica del completamento

La verifica del completamento è stata effettuata analizzando individualmente i tre pozzi, di recente costruzione, S.Salvo 82 Or, S.Salvo 83 Dir e S.Salvo 95 Dir, eserciti nel Pool C2, per tenere conto delle specifiche caratteristiche, quali: diametro del tubing, tipo di packer, densità del fluido di completamento, deviazione e pressioni eventualmente presenti nell'annulus.

Anche i completamenti dei pozzi S. Salvo 24÷49, completati nel Pool C2 durante la fase di sviluppo del campo, sono stati analizzati individualmente. Dato l'elevato numero di pozzi, si è scelto di mostrare a titolo di esempio i risultati relativi al solo pozzo S.Salvo 24 Dir, mentre per tutti gli altri pozzi sono stati riportati in forma tabellare i safety factor calcolati.

Sono state considerate le condizioni di carico più gravose che possono verificarsi durante l'intera vita dei pozzi, secondo la seguente tabella.

POZZI DI PRODUZIONE/STOCCAGGIO	A) Produzione gas
	B) Iniezione gas
	C) Inizio iniezione gas
	D) Shut-in Produzione gas
	E) Perdita al top del tubing in fase di iniezione gas
	F) Svuotamento stringa, in presenza di SCP
	G) Svuotamento stringa, in assenza di SCP

Per tutte le condizioni di carico sono stati calcolati i safety factor triassiale e a collasso, secondo le norme API 5C3, e le reazioni vincolari sul packer. La portata massima di iniezione e produzione del gas considerata è 1.600.000 Nmc/g. La pressione massima nel Pool C2 è stata considerata pari a 141,8 bar (144,6 kg/cm²), ovvero il valore originario (129 barsa, 131,5 kg/cm²) aumentato del 10%. Tutte le pressioni sono riferite al datum di 1067 m ssl.

I risultati dei calcoli, eseguiti in conformità alle procedure aziendali di Tubing Design e con l'uso del software WellCat® di Landmark, mostrano che:

- tutti i safety factor triassiali sono accettabili
- tutti i safety factor a collasso sono accettabili

- tutti i design factor calcolati sono soddisfacenti e largamente superiori ai valori minimi richiesti dalle procedure aziendali.

10 - ASSESSMENT DEGLI IMPIANTI DI SUPERFICIE

Per quanto concerne le prestazioni degli impianti di superficie sono state valutate tutte le facilities facenti parte degli impianti di compressione, trattamento, aree pozzo e condotte di interconnessione. Per tutti gli item si è effettuata l'analisi dei documenti costruttivi e di collaudo a disposizione e si è provveduto inoltre ad eseguire uno studio volto a determinare l'idoneità del piping interessato alla futura pressione secondo quanto previsto dalle norme:

- D.L. 17/04/2008,
- D.M. 16/11/1999,
- D.M. 24/11/1984,
- ASME B-31.8.

Gli accertamenti degli impianti di superficie (facilities di centrale e condotte di adduzione del gas) hanno evidenziato la possibilità di operare fino al seguente valore di pressione limite operativa: $138,68 \text{ kg/cm}^2 = 136 \text{ bar}$. Tale valore limite consente pertanto di poter avere a disposizione negli impianti di superficie un ampio margine operativo di pressione, che assicurerebbe la fattibilità del raggiungimento dell'attuale target di progetto previsto fino al 110% Pi dove si prevede di raggiungere, in condizioni di superficie, un valore di pressione in esercizio di $129,8 \text{ kg/cm}^2 = 127,29 \text{ bar}$, corrispondenti a 128,37 barsa.

11 - MODELLIZZAZIONE GEOMECCANICA

Il superamento della pressione di scoperta del giacimento rappresenta il metodo più efficace per aumentare la capacità di uno stoccaggio sotterraneo di gas naturale e per migliorarne le prestazioni erogative. Va da sé che la possibilità di superare la pressione iniziale della formazione richiede la verifica sia della resistenza geomeccanica del sistema alle sollecitazioni indotte dalle attività di stoccaggio sia della tenuta idraulica della roccia di copertura che deve garantire il confinamento del gas naturale.

Nell'ambito del progetto è stato pertanto eseguito un apposito studio, condotto dal Dipartimento di Ingegneria del Territorio, dell'Ambiente e delle Geotecnologie del Politecnico di Torino, con lo scopo di individuare le condizioni tensionali e deformative che si realizzano nel giacimento di stoccaggio di Fiume Treste – Livello C2 e nella sovrastante cap rock, in relazione a differenti pressioni di esercizio.

L'ipotesi di operare il livello di stoccaggio denominato C2 del campo di San Salvo – Concessione Fiume Treste – ad una pressione massima operativa pari al 110% o al 120% della pressione iniziale del giacimento ha richiesto l'analisi del comportamento tenso-deformativo della roccia serbatoio e delle formazioni incassanti negli scenari di esercizio previsti in futuro. A questo scopo è stato messo a punto un modello geomeccanico a larga scala basato su un modello geologico esteso che comprende il dettaglio di tutta la sequenza stratigrafica denominata Formazione Candela – Torrente Tona del giacimento di San Salvo. Oltre al livello C2, potenzialmente oggetto di una gestione futura ad una pressione operativa superiore a quella attuale, sono stati modellizzati anche i livelli mineralizzati che si trovano rispettivamente immediatamente al di sopra e al di sotto, storicamente interessati da produzione primaria e in seguito da operazioni di stoccaggio di gas naturale. Il livello C2 è infatti incassato tra i livelli D,E,E0 a tetto e i livelli B,C,C1 a letto.

Per valutare in modo corretto il comportamento meccanico del livello C2 si è dunque tenuto conto della sovrapposizione degli effetti dovuti alle variazioni di pressione indotte dalle attività minerarie in tutta la sequenza mineralizzata. La caratterizzazione geomeccanica della formazione Candela – Torrente Tona e delle formazioni limitrofe è stata effettuata avvalendosi dei risultati forniti da prove di laboratorio condotte su campioni prelevati dal livello sabbioso C2 e dalla sua copertura argillosa, supportati e integrati sia da dati disponibili in letteratura sia da esperienze pregresse su formazioni analoghe.

La regione oggetto di studio è anche interessata da alcune faglie con estensione verticale limitata, ovvero che interessano la successione stratigrafica sepolta fino a circa 850 m dal piano campagna, e che non permettono il flusso dei fluidi, come si evince dall'analisi dei dati dinamici raccolti negli anni in corrispondenza dei livelli serbatoio.

Poiché la caratterizzazione diretta delle faglie, che potrebbero rappresentare un elemento di debolezza del sistema, risulta estremamente difficile a causa della poca rappresentatività di eventuali indagini di laboratorio, i parametri geomeccanici che definiscono il comportamento delle faglie, ovvero la rigidità normale e di taglio e i parametri di resistenza a taglio, sono stati definiti secondo criteri molto cautelativi, in accordo con la prassi adottata nella meccanica delle rocce e con i dati reperiti dalla letteratura di settore.

Tenuto conto che gli sforzi deviatorici massimi (eventuali condizioni di failure) si raggiungono in corrispondenza delle massime variazioni di pressione, è stata valutata la risposta del modello nelle seguenti condizioni: al termine della fase di produzione primaria (aprile 1982), ovvero al raggiungimento della minima pressione in giacimento;

al termine di un ciclo di iniezione a pressione media pari alla pressione iniziale (novembre 2011); e, infine, ipotizzando una gestione del campo di stoccaggio in condizioni di sovrappressione a pressioni rispettivamente pari al 110%, al 120% e al 150% della pressione iniziale. In relazione al comportamento tenso-deformativo della roccia serbatoio e della cap rock le ipotesi di sovrappressione non hanno evidenziato criticità, in quanto in tutti i casi i fattori di sicurezza risultano elevati e le deformazioni si mantengono entro valori ritenuti accettabili. A causa delle caratteristiche di parziale o totale compartimentazione del livello C2, le faglie che lo attraversano risultano essere gli elementi sottoposti alle maggiori differenze di pressione e, di conseguenza, alle maggiori sollecitazioni indotte. Tuttavia, il comportamento delle faglie interne al giacimento si mantiene sempre in campo elastico e ampiamente lontano dal raggiungimento di condizioni di plasticità in tutti gli scenari analizzati. Le deformazioni indotte in corrispondenza delle faglie si mantengono sempre entro valori molto limitati, con valori massimi dell'ordine di 10-4 m/m anche nelle condizioni più critiche analizzate (faglie caratterizzate da scarse proprietà meccaniche e sovrappressione pari al 150% della pressione originale della formazione).

Lo spessore totale della copertura del livello C2 è di circa 20 metri e, dall'esame dei log registrati in tutti i pozzi del campo, risulta chiaro che i primi 15 metri della cap rock, a partire dal top del livello stesso, sono costituiti da argille schiette. Per quanto riguarda la loro tenuta idraulica, si è fatto riferimento alle proprietà petrofisiche (porosità e di permeabilità) e alle misure della pressione capillare di soglia (threshold pressure) ricavate mediante esperimenti di laboratorio condotti su campioni della copertura prelevati in alcuni pozzi chiave. Generalmente i valori di threshold pressure misurati sono considerevolmente elevati (50÷60 bar) e sono associati a valori di permeabilità dell'ordine di 10^{-6} ÷ 10^{-5} mD; queste caratteristiche evidenziano la presenza di argille schiette in grado di garantire un'ottima tenuta idraulica rispetto a eventuali processi di filtrazione del gas attraverso la copertura. Alcuni campioni hanno mostrato valori potenzialmente critici sia in termini di threshold pressure sia di permeabilità. Va tuttavia notato che altri campioni, prelevati negli stessi pozzi ma a diverse profondità, hanno fornito valori di threshold pressure molto più elevati e tali da garantire la completa tenuta idraulica della roccia di copertura; poiché, infatti, il processo di filtrazione dovrebbe avvenire attraverso tutto lo spessore della copertura, deve essere preso a riferimento il valore di threshold pressure più alto tra quelli misurati.

In conclusione, sulla base di tutti gli studi effettuati, la gestione del livello C2 ad una pressione operativa massima pari al 120% della pressione di scoperta appare del tutto compatibile con le caratteristiche del sistema sia in termini di resistenza geomeccanica sia in termini di assenza di filtrazione di gas attraverso la copertura.

12 - MODELLIZZAZIONE STATICA E DINAMICA 3D

Modellizzazione statica 3D

La definizione del modello geologico-strutturale ha preso avvio dalla revisione e dall'analisi di tutti i log disponibili, per la verifica dei tagli stratigrafici e per la corretta messa in profondità del nuovo input sismico.

La struttura del reservoir si presenta allineata in direzione NO-SE ed è interessata per quasi tutta la sua estensione da un sistema di faglie orientate da NO-SE a NNO-SSE, che però non producono una compartimentazione significativa del giacimento. La mappa strutturale conferma la generale risalita della struttura in direzione SO e la presenza di due zone di alto distinte. Il principale lineamento tettonico è posto in corrispondenza della zona di separazione tra le culminazioni strutturali Cupello (nella porzione centrale del campo) e La Coccetta (nell'area SO) con un rigetto massimo di circa 30 metri; la trappola è pertanto di tipo stratigrafico-strutturale. La chiusura del livello C2 avviene per onlap sulle peliti della Formazione Candela-Torrente Tona verso OSO, verso SSE i corpi porosi chiudono per troncatura contro l'Alloctono, mentre verso NNE la chiusura avviene per pendenza strutturale.

Dalla revisione dei profili log è stato possibile apprezzare come il livello presenti al suo interno variazioni di spessore e di facies, con aree in cui risulta completamente argillificato. Il livello presenta spessori più ridotti (pochi metri) e facies più eterogenee in corrispondenza delle zone di paleoalto (area Cupello ed area NO) e accumuli maggiori e più omogenei nelle zone più depresse del bacino (area La Coccetta e Trigno), dove lo spessore delle sabbie raggiunge valori massimi di 25-35 m.

Il modello statico è stato costruito mediante l'utilizzo del software Petrel 2010.2.2 commercializzato dalla ditta Schlumberger.

La revisione del modello geologico si è articolata nelle seguenti fasi: costruzione del database, costruzione del grid, caratterizzazione petrofisica e definizione delle proprietà di modello, calcolo dei volumi di gas originariamente in posto.

La costruzione del grid è stata effettuata sulla base dei dati sismici di input forniti al termine della fase di revisione del modello strutturale del livello. La giacitura dei piani di faglia modellizzati è stata assunta subverticale. Il grid è stato generato in modo da ottenere una discretizzazione orizzontale che permettesse di descrivere adeguatamente l'assetto strutturale del giacimento, mantenere una geometria delle celle il più possibile regolare ed ottenere un dettaglio sufficiente a descrivere correttamente l'ubicazione dei pozzi nell'area di culmine della struttura interessata dallo stoccaggio. In particolare, si è adottata una suddivisione regolare a maglie quadrate di dimensioni 60x60 m in pianta, in modo da raggiungere un buon compromesso tra il

grado di dettaglio strutturale ed il numero totale di celle del modello. Il grid è stato orientato secondo l'asse principale della struttura (NO-SE).

Una volta generata la struttura del grid si è proceduto alla definizione degli orizzonti stratigrafici di modello (top e bottom del livello C2) e alla definizione del layer di modello corrispondente. Al fine di preservare l'eterogeneità verticale delle formazioni e descrivere il comportamento dinamico del giacimento in modo accurato si è adottata un'ulteriore suddivisione verticale del layer, ripartito in 4 sottolivelli di ugual spessore.

Ai fini di contenere il numero di celle e ridurre i tempi della simulazione dinamica sono state disattivate le celle al di sotto del OGWC. Il grid finale risulta esser composto da 112.064 celle (103 x 272 x 4), di cui 64.896 attive.

Per la definizione del NTG sono state impiegate le curve di potenziale spontaneo e di gamma ray di più di 100 pozzi, calcolando per ciascun pozzo i valori medi. La mappatura del NTG è stata eseguita mediante l'interpolazione dei valori medi di NTG per ciascun intervallo stratigrafico.

I parametri utilizzati per la caratterizzazione petrofisica del reservoir sono stati ripresi dal precedente studio eseguito nel 2000 ed integrati con quelli provenienti dalle analisi sulla carota di fondo recentemente prelevata nel pozzo geognostico San Salvo 81dir.

Si è scelto di utilizzare un valore medio di saturazione in acqua irriducibile del 22.2%, ottenuto dal CPI del pozzo San Salvo 24dir; per quanto riguarda la porosità si è scelto un valore unico pari a 24.5%, ottenuto dalla media dei dati delle carote dei pozzi San Salvo 24dir e 81dir.

Per il calcolo del volume di gas originariamente in posto (GOIP) sono state utilizzate le proprietà petrofisiche medie, la mappa di NTG creata, la posizione del contatto gas-acqua originario (OGWC) alla quota di -1127 m l.m. e un fattore di volume del gas (Bg) rappresentativo della pressione alla profondità media di giacimento pari a 0.007297 mc/MSmc.

Il GOIP statico per l'intero campo è risultato pari a 3.993 MSmc. Nella sola culminazione La Coccetta, posta ad est della faglia principale ed adibita allo stoccaggio, il GOIP è risultato pari a 3.389 MSmc.

Modellizzazione dinamica 3D

L'analisi dei valori di pressione storicamente registrati ai pozzi ha confermato che le faglie che interessano il campo non costituiscono barriere idrauliche, anche se talora rallentano notevolmente la comunicazione.

Le simulazioni effettuate hanno considerato il potenziale incremento dell'efficienza dello stoccaggio con la realizzazione di quattro pozzi addizionali, due direzionati e due di

tipologia orizzontale. I pozzi direzionati sono stati realizzati a sud e sud-est della zona di stoccaggio, mentre i due pozzi orizzontali sono stati perforati rispettivamente a nord-ovest e a sud-est della zona di stoccaggio.

I risultati delle simulazioni hanno mostrato un *working gas* F.T.H.P. @ 68 bars e alla pressione massima pari alla pressione originaria di scoperta P_i di circa 1200 MSmc; in condizioni di pressioni dinamiche superiore all'originale il *working gas* potrebbe incrementare di ulteriori 78 MSmc. Il potenziamento della capacità di trattamento dell'impianto di superficie a valori superiori di 24 MSm³/g, consentirebbe lo sfruttamento dell'intera potenzialità erogativa del campo come dimostrato nel FLT del dicembre 2011.

Per la definizione dell'aumento del *working gas* realizzato mediante la ricostituzione dello stoccaggio ad una pressione superiore della pressione di scoperta del giacimento, sono stati valutati due scenari, ipotizzando di raggiungere una sovrappressione rispettivamente pari al 110% e al 120% della pressione iniziale. L'incremento di Working Gas conseguibile nei due scenari considerati è quantificabile in 200 MSmc nel caso di una sovrappressione del 110% e di 470 MSmc nel caso di una sovrappressione del 120%.

L'analisi geomeccanica della roccia di copertura, effettuata con modellizzazione ad elementi finiti, non ha evidenziato criticità in relazione al comportamento tenso-deformativo della roccia di copertura.

L'applicazione di una sovrappressione del 10% risulta compatibile anche con i valori della pressione di *threshold*.

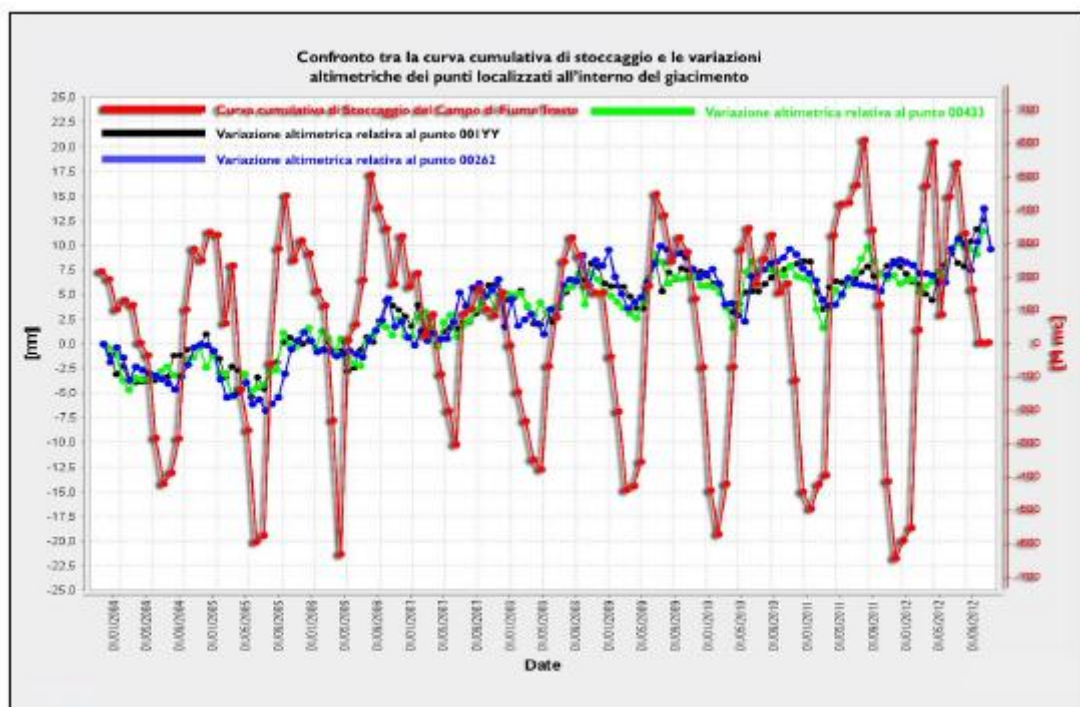
Il GOIP dinamico della zona di stoccaggio La Coccetta è pari a 2803 MSmc.

13 - MONITORAGGIO DEI MOVIMENTI DEL SUOLO

Nel campo di Fiume Treste viene eseguito fin dal 2003 un regolare monitoraggio dei movimenti del suolo attraverso l'analisi interferometrica dei dati Radarsat con la tecnica dei Permanent Scatterers. La metodologia utilizzata si basa sull'analisi di dati acquisiti ripetutamente nel tempo sulla medesima area di interesse, attraverso sensori radar satellitari che consentono l'individuazione di alcuni bersagli al suolo, denominati Permanent Scatterers (PS), su cui risultano possibili misure di spostamento molto accurate. L'immagine che segue mette in evidenza il perimetro della proiezione in superficie del giacimento di Fiume Treste.



Le analisi eseguite sui punti selezionati all'interno del perimetro della proiezione in superficie dei giacimento di Fiume Treste presentano una discreta correlazione con la curva cumulativa dei volumi di gas movimentati, con uno shift di circa tre mesi, come riportato nella figura seguente.



Questo fenomeno, non riscontrato per i punti esterni ai limiti del campo e quindi non influenzati dall'attività di stoccaggio, indica un comportamento elastico dell'intero sistema giacimento-copertura.

I principali risultati dell'analisi condotta, che evidenziano una sostanziale stabilità dell'area di studio, sono così sintetizzati.

Variazioni Altimetriche:

- Trend regionale: non valutabile
- Interne ai limiti di giacimento: + 0,93 mm/anno

Correlazione tra le serie storiche:

- Ampiezza delle curve: 3-5 mm
- Periodicità delle curve: discreta.

14 - EVENTI SISMICI E TENUTA DEL GIACIMENTO

In base ai criteri di definizione del rischio sismico stabiliti dalla normativa nazionale (ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003), la Concessione Fiume Treste Stoccaggio ricade in un'area considerata a basso rischio (Zona 3); la classificazione si basa sulla frequenza e sull'intensità degli eventi sismici registrati storicamente.

L'attività sismica dell'area è infatti concentrata in alcuni settori della retrostante catena appenninica (Maiella a NW, dorsale Sannio-Matese a SW e Foggiano-Gargano a SE), mentre gli epicentri di terremoti medi e forti più vicini si trovano ad oltre 30 km di distanza dal sito. L'area della concessione di stoccaggio e le zone circostanti sono dunque caratterizzate da una bassa sismicità locale, ovvero dalla quasi totale assenza di eventi sismici significativi.

Con riferimento agli aspetti in grado di influenzare le condizioni di sicurezza dei giacimenti di stoccaggio in relazione alla sismicità naturale, si evidenziano alcuni elementi propri dei giacimenti depletati utilizzati da Stogit, tra cui il giacimento di Fiume Treste Pool C2.

Efficienza della trappola geologica

I giacimenti utilizzati in Italia per l'attività di stoccaggio sono il risultato di una complessa evoluzione geologica dei bacini sedimentari in cui sono inseriti, che ha permesso la formazione e la preservazione di accumuli di idrocarburi rimasti intrappolati nel sottosuolo per milioni di anni. Questa considerazione evidenzia la comprovata efficienza geologica delle trappole associate a questi giacimenti, che hanno superato indenni le complesse vicende legate agli eventi sismici e tettonici succedutisi in questo lungo arco di tempo.

Assetto strutturale

Tali giacimenti sono associati a contesti strutturali privi di faglie sismogenetiche, cioè in grado di generare terremoti. Le trappole che ospitano il gas sono infatti legate a semplici elementi stratigrafici (variazioni laterali di porosità dei sedimenti) o sono delimitati al margine delle strutture da faglie la cui attività sismica si è espletata solo nel lontano passato geologico, durante la generazione della trappola.

Argille di copertura e argille basali

I giacimenti utilizzati da Stogit sono caratterizzati dalla presenza al di sopra del reservoir di una formazione di copertura impermeabile di natura argillosa, che presenta spessori elevati (fino ad alcune centinaia di metri) ed è dotata di proprietà geomeccaniche che assicurano un comportamento di tipo elastico, comprovato sia dalle analisi eseguite in laboratorio su campioni di carote che dai monitoraggi tramite satellite relativi ai movimenti del suolo. Queste caratteristiche geomeccaniche inibiscono l'insorgere di fenomeni di microfratturazione in grado di generare eventuali fughe di gas verso l'alto.

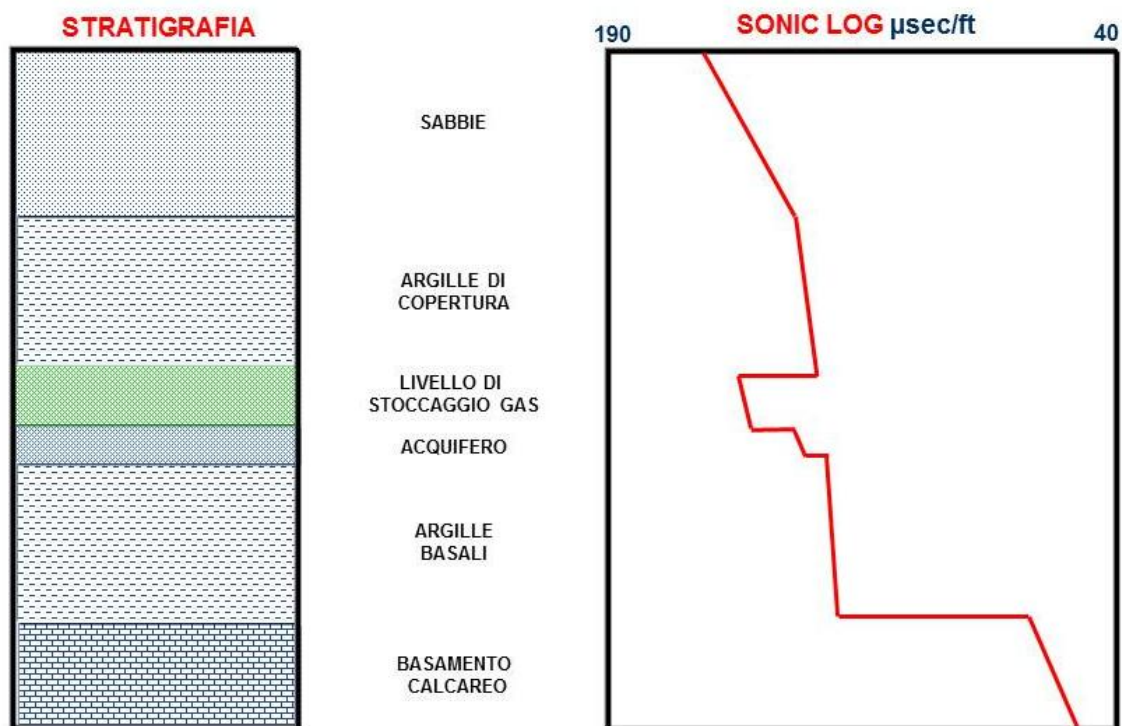
Anche alla base dei giacimenti è presente una formazione di tipo argilloso di elevato spessore, che contribuisce ulteriormente ad isolare dal punto di vista geodinamico la roccia-serbatoio utilizzata per lo stoccaggio del gas, preservandola anche da sollecitazioni legate ad eventi sismici generati in profondità.

Presenza di livelli a gas

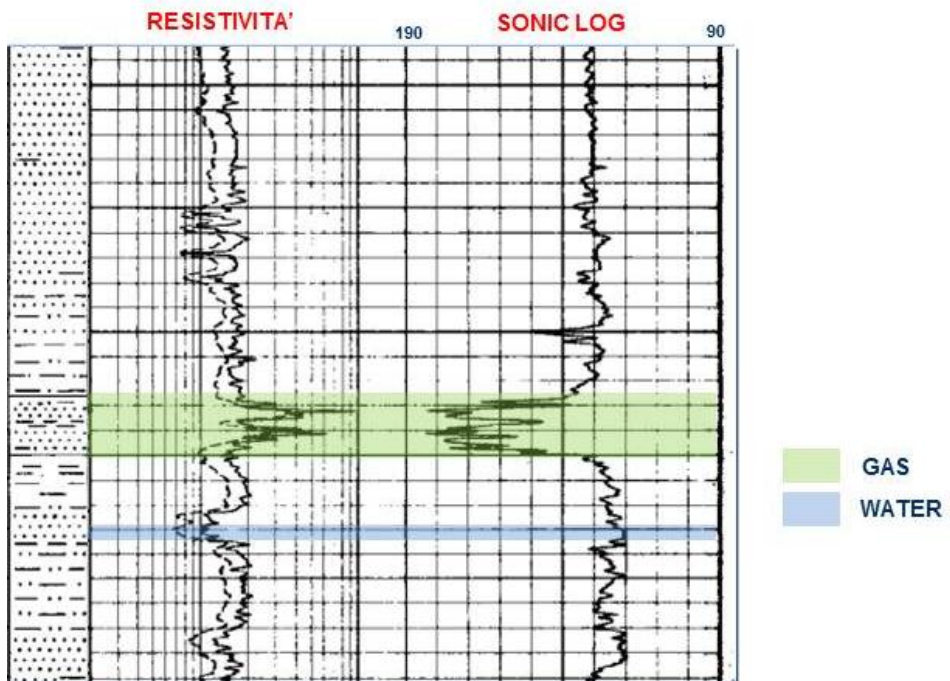
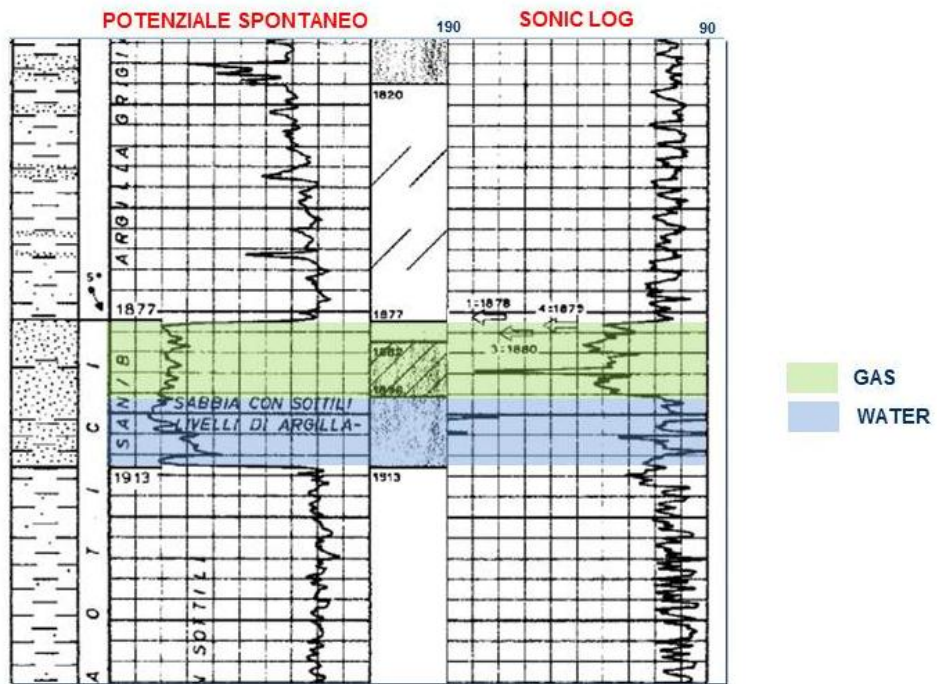
La presenza di livelli porosi saturi in gas esercita un effetto di attenuazione di velocità e di propagazione dell'energia delle onde acustiche generate dai sismi naturali. Queste proprietà dei fluidi gassosi intrappolati nei sedimenti si evidenziano in particolare a seguito della registrazione di log geofisici denominati "Sonic Log". Queste misurazioni, che sono state eseguite in alcuni pozzi per acquisire informazioni sulle caratteristiche geologiche dei livelli attraversati, si basano sull'emissione e sulla ricezione di onde acustiche ad opera di piccoli sensori appositamente calati in pozzo.

In particolare i Sonic Log misurano le velocità di transito delle onde acustiche attraverso una formazione geologica, condizionata da fattori quali litologia, grado di compattazione e di cementazione, tipologia dei fluidi interstiziali (acqua, gas). Nella figura seguente è riportato uno schema stratigrafico semplificato dei giacimenti di stoccaggio, con una successione composta dalle seguenti formazioni (a partire dal basso): substrato carbonatico, argille basali, formazione porosa con acquifero, livello sabbioso utilizzato per lo stoccaggio del gas, formazione argillosa di copertura, livelli porosi superficiali. Per ogni unità stratigrafica sono riportate indicativamente le misure medie fornite dai Sonic Log; l'unità di misura utilizzata è solitamente espressa in una scala inversa alla velocità,

cioè in $\mu\text{sec}/\text{ft}$ = microsecondi /piede. Si evidenzia come i livelli porosi utilizzati per lo stoccaggio del gas (colore verde) presentino valori di Sonic più elevati, che indicano tempi di transito delle onde acustiche inferiori sia rispetto ai livelli soprastanti che a quelli sottostanti del basamento.



A titolo esemplificativo, nelle figure seguenti sono riportati gli stralci di due Sonic Log acquisiti in pozzi delle concessioni di stoccaggio di Settala (pozzo Merlinò 4X dir) e di Alfonsine (pozzo Valle Dane 1). Dall'analisi dei log si nota come in corrispondenza del livello sabbioso mineralizzato a gas (verde) si verifichi un marcato rallentamento delle onde acustiche, generando un fenomeno di attenuazione dell'energia ad esse associata.



15 – PROGRAMMA DI MONITORAGGIO

Le attività di monitoraggio sono finalizzate alla verifica del corretto esercizio del giacimento a pressione superiore a quella originaria di scoperta, attraverso l'esecuzione di un piano di controlli mirati. Il sistema di monitoraggio intende verificare il contenimento del gas all'interno del giacimento di stoccaggio in tutte le condizioni di funzionamento previste ed in base alle principali criticità geostrutturali e dinamiche.

Le metodologie prese in considerazione, in parte già consolidate in altri progetti analoghi messi a punto da Stogit, presentano anche aspetti innovativi e ad elevato contenuto tecnologico e sono inserite in un progetto integrato in grado di fornire un panorama completo sia per quanto riguarda il contesto geologico che quello ambientale ed antropico.

Il programma di monitoraggio, calibrato anche in base alle principali caratteristiche geostrutturali e dinamiche del giacimento e alla massima pressione di esercizio prevista, si inquadra nell'ottica perseguita da Stogit di coniugare l'incremento delle prestazioni operative con elevati standard di sicurezza.

Il programma operativo messo a punto per l'esercizio del Livello C2 a $P > P_i$ si avvale delle seguenti metodologie di indagine:

- MISURE DI PRESSIONE E DI SATURAZIONE GAS-ACQUA
- MONITORAGGIO DEI MOVIMENTI DEL SUOLO
- MONITORAGGIO SISTEMA POZZI
- MONITORAGGIO GEOCHIMICO
- MONITORAGGIO MICROSISMICO DI SUPERFICIE
- MONITORAGGIO MICROSISMICO E GEODETICO DI POZZO

Per quanto riguarda in particolare l'acquisizione dei valori di pressione e di saturazione in gas-acqua, il programma messo a punto intende acquisire una serie di informazioni attraverso periodiche rilevazioni delle misure in alcuni pozzi appositamente predisposti per le operazioni. Il programma operativo è suddiviso nelle seguenti fasi:

- fase 1: raggiungimento pressione originaria ($P = P_i$)
- fase 2: raggiungimento + 5% della pressione originaria ($P = 105 P_i$)
- fase 3: raggiungimento + 10% della pressione originaria ($P = 110 P_i$)

I pozzi interessati dalle operazioni sono i seguenti:

- pozzo S. Salvo 7: pozzo ubicato in posizione strutturale propizia per il monitoraggio del Livello C2; acquisizione di log RST

- pozzo S. Salvo 19: ubicato in posizione strutturale propizia per il monitoraggio del soprastante Livello E0; acquisizione di log RST
- pozzi S. Salvo 80 or e 83 dir: dotati di strumentazione per monitoraggio continuo in tempo reale dei valori di pressione di fondo pozzo con strumentazione DPTT wireline e fungeranno pertanto da riferimento per la cadenza delle operazioni programmate
- pozzi Cupello 26 dir - S. Salvo 26 dir – 38 dir - 40 dir – 47 dir: monitoraggio dei valori di pressione con alloggiamento strumentazione memory gauges o con registrazione di profili statici

Fase 1: $P=P_i$

- Acquisizione log RST: pozzi S. Salvo 7 e S.Salvo 19
- Registrazione valori di pressione:
 - pozzi S. Salvo 80 or e 83 dir (DPTT wireline)
 - registrazione profili statici
 - alloggiamento memory gauges

Fase 2: $P= + 5\% P_i$

- Registrazione valori di pressione:
 - pozzi S. Salvo 80 or e 83 dir (DPTT wireline)
 - registrazione profili statici
 - alloggiamento memory gauges

Fase 3: $P= + 10\% P_i$

- Acquisizione log RST: pozzi S. Salvo 7 e pozzo S. Salvo 19
- Registrazione valori di pressione:
 - pozzi S. Salvo 80 or e 83 dir (DPTT wireline)
 - registrazione profili statici
 - alloggiamento memory gauges

16 - RISULTATI DEL MONITORAGGIO NELLA FASE DI SPERIMENTAZIONE

A seguito di specifica autorizzazione ministeriale durante il ciclo di stoccaggio 2012-2013 è stata eseguita una prova di iniezione sperimentale mirata a verificare operativamente la fattibilità dell'esercizio in sovrappressione fino al 110% P_i .

Nel corso della fase di sperimentazione si è raggiunto un valore di pressione medio in giacimento a fine campagna di 135,82 barsa, corrispondente a circa il 105,4 della pressione originaria, a fronte di un volume iniettato in condizioni di sovrappressione di 130 MSmc. Non è stato possibile raggiungere il volume di progetto iniziale della sperimentazione, pari a 200 MSmc al 110% della P_i , a seguito del mancato approvvigionamento del gas dai clienti; tuttavia i risultati del test realizzato consentono comunque di affermare la fattibilità dei volumi previsionali del progetto.

I risultati dei monitoraggi effettuati durante la sperimentazione all'esercizio in sovrappressione indicano che le operazioni, svolte nel rispetto delle prescrizioni indicate nella nota MSE prot. n° 0019547 del 8 ottobre 2012, non hanno comportato criticità nella gestione del campo di Fiume Treste Pool C2.

Monitoraggio delle pressioni di giacimento

La fase di iniezione del ciclo di stoccaggio 2012-2013, iniziata in aprile e terminata a fine ottobre 2012, ha comportato l'immissione in giacimento di un volume pari a circa 1.200 MSmc, di cui 130 MSmc in condizioni di sovrappressione.

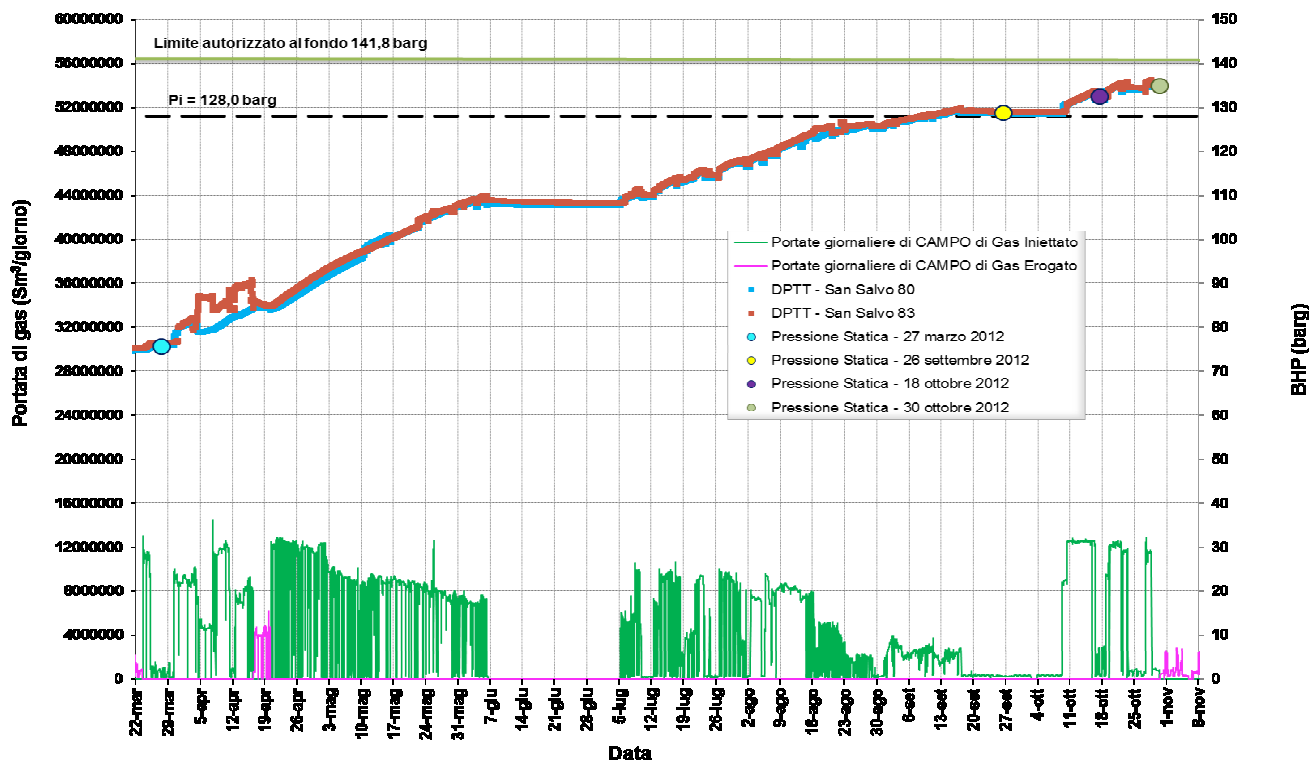
La pressione massima nelle flow-lines misurata al collettore di mandata dei compressori è di 123,71 barg, inferiore rispetto alla pressione autorizzata massima di esercizio degli impianti di superficie pari a 127,29 barg. La pressione statica di testa pozzo (THP) ha raggiunto, al termine dell'iniezione, il valore di 122,5 barsa, inferiore al valore prescritto da MSE di 128,37 barsa.

Il monitoraggio in continuo della pressione di giacimento è stato eseguito nei pozzi S. Salvo 80 or e 83 dir mediante l'utilizzo di DPTT gauges per l'intera durata della campagna iniettiva e nei pozzi S. Salvo 26 dir, 38 dir e 40 dir mediante memory gauges alloggiati per il periodo corrispondente alla fase di ricostituzione in sovrappressione (da agosto 2012).

I valori di pressione registrati nei pozzi, risultati sempre inferiori al limite prescritto 141,8 barsa, hanno evidenziato un dato omogeneo sull'intero giacimento e possono pertanto essere considerati rappresentativi dell'andamento medio della pressione di campo.

Nel corso della fase di iniezione sono state eseguite quattro campagne di registrazione di profili statici di pressione e temperatura, che hanno interessato i pozzi S. Salvo 26 dir, 38 dir, 40 dir e 47 dir. Il valore massimo di pressione raggiunto in condizioni dinamiche in giacimento è stato di 134,6 barsa ($137,3 \text{ kg/cm}^2_a$), misurato al pozzo S. Salvo 83 dir in data 16 ottobre 2012. L'analisi dei dati ha evidenziato che le pressioni risultano sostanzialmente uniformi.

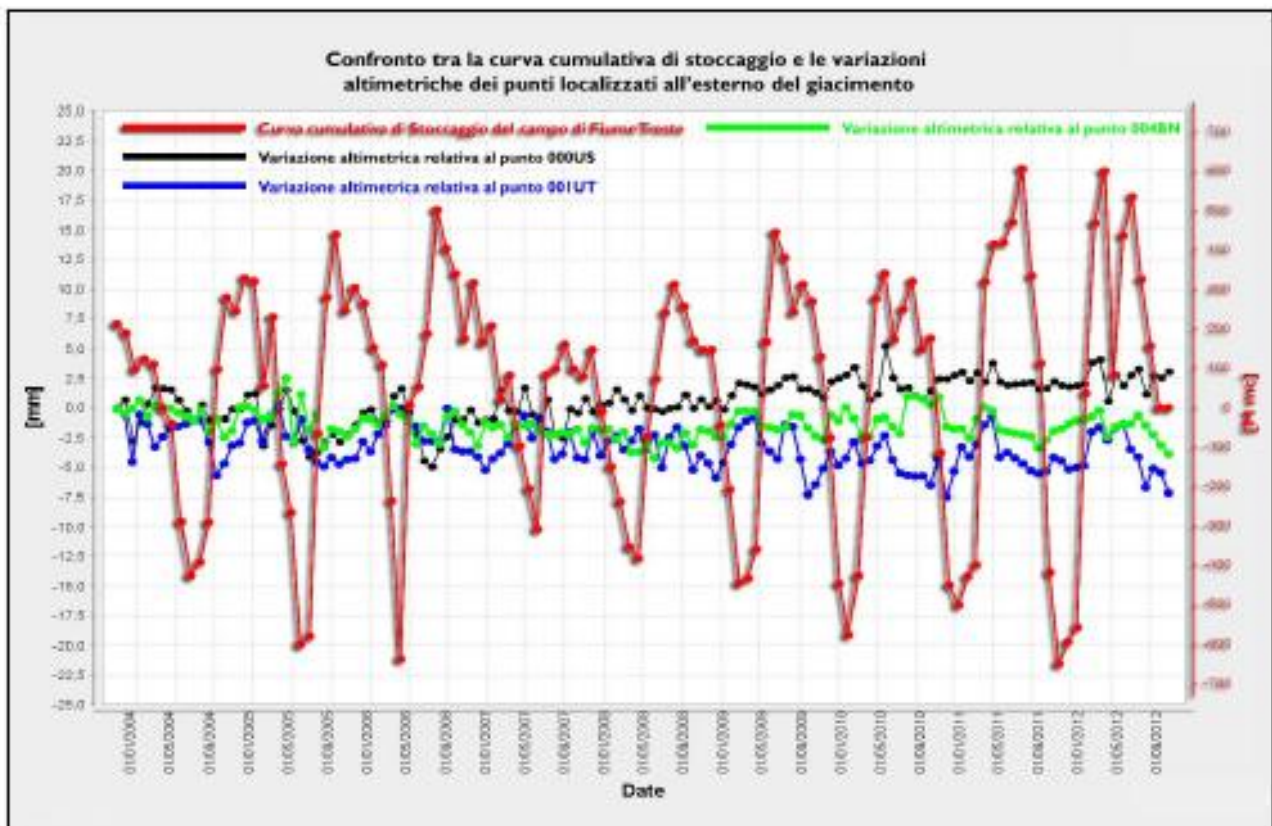
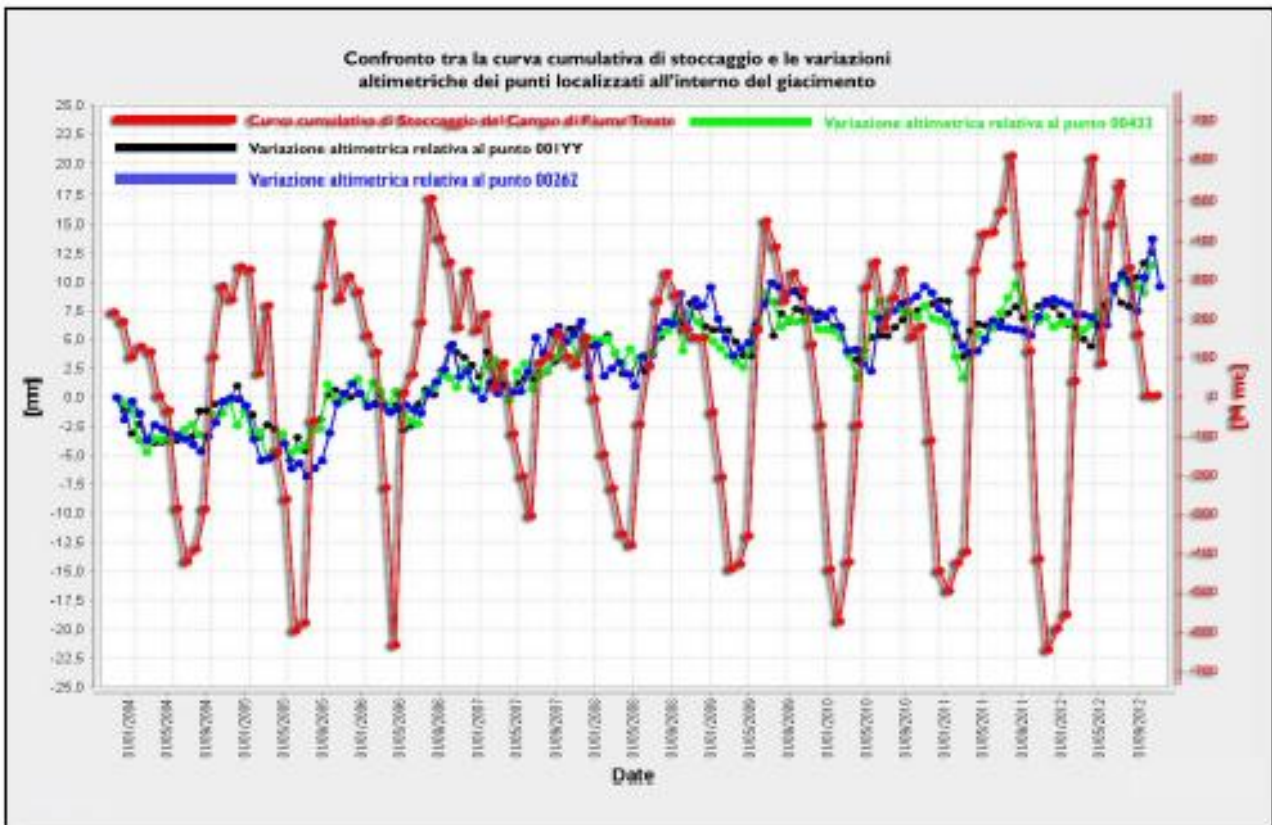
La figura seguente riporta a titolo esemplificativo il confronto tra le misure di pressione rilevate dai profili statici e le registrazioni DPTT per i pozzi S. Salvo 83 dir e S. Salvo 80 or riportate al datum.



Monitoraggio della saturazione in gas-acqua

Durante il ciclo sperimentale di iniezione si è proceduto all’acquisizione di una serie di log RST, finalizzati alla verifica delle variazioni della saturazione in gas e di eventuali spostamenti della tavola d’acqua del giacimento. Le operazioni hanno riguardato i pozzi S. Salvo 7 (monitoraggio della saturazione nel Pool C2) e S. Salvo 19 (monitoraggio della saturazione nel Livello E0, corpo sabbioso soprastante al Pool C2). Le acquisizioni sono state effettuate rispettivamente a $P=80\% P_i$, a $P=P_i$ e a $P \text{ max}=105,4\% P_i$.

Le acquisizioni nel pozzo S. Salvo 7 hanno evidenziato la presenza all’interno del pozzo di un cuscinio di gas sotto il packer (fino a m 1166 circa), che influenza la lettura della saturazione e consente un’interpretazione solo di tipo qualitativo. I dati mostrano peraltro un progressivo abbassamento del cuscinio di circa 1,5 m tra le acquisizioni di agosto e le successive di ottobre-novembre, come evidenziato nella figura seguente; questa evidenza è indicativa di un progressivo incremento di saturazione in gas nel C2 procedendo con l’iniezione fino a $P>P_i$.



Monitoraggio microsismico di pozzo

Nella Concessione Fiume Treste Stoccaggio il monitoraggio microsismico viene attualmente eseguito attraverso apposita strumentazione di pozzo, attiva da fine settembre 2011 nel pozzo S. Salvo 81 dir. L'analisi dei dati si basa sulle registrazioni in continuo di eventi rilevati da cinque sensori a tre componenti posti in profondità in corrispondenza del giacimento di stoccaggio (Pool C2) e della sua roccia di copertura. La stringa di pozzo è collegata ad un'unità di controllo locale, che esegue un pre-processing per individuare la presenza di trigger, cioè di segnali rilevati da più sensori.

Analisi del rumore di fondo

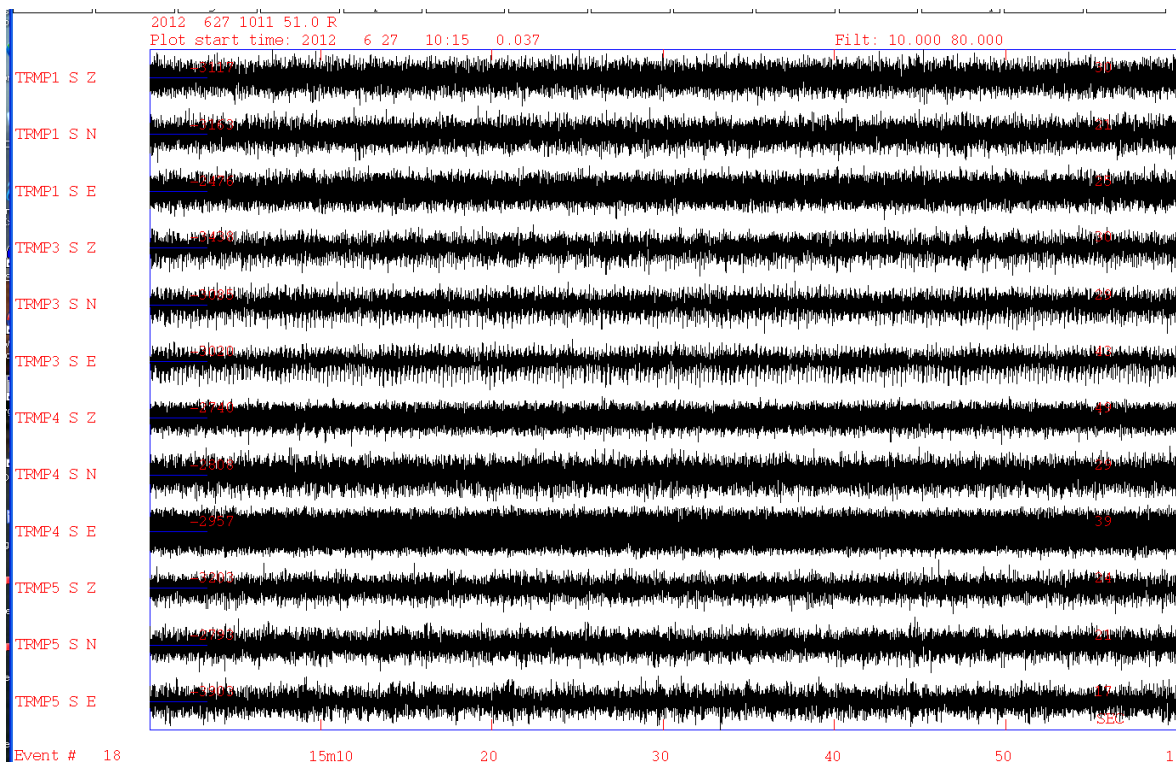
I dati attualmente disponibili includono il periodo fino al 6 Febbraio 2013, comprensivo quindi anche della fase di stoccaggio con iniezione sperimentale in sovrappressione nel Pool C2.

I dati, riguardanti il livello di ampiezza del segnale registrato e la ricerca di potenziali microsismi, indicano che gli eventi riconosciuti hanno carattere generico e collegabile ad attività di superficie o sono attribuibili ad eventi sismici, alcuni dei quali sono riportati anche nel Bollettino INGV.

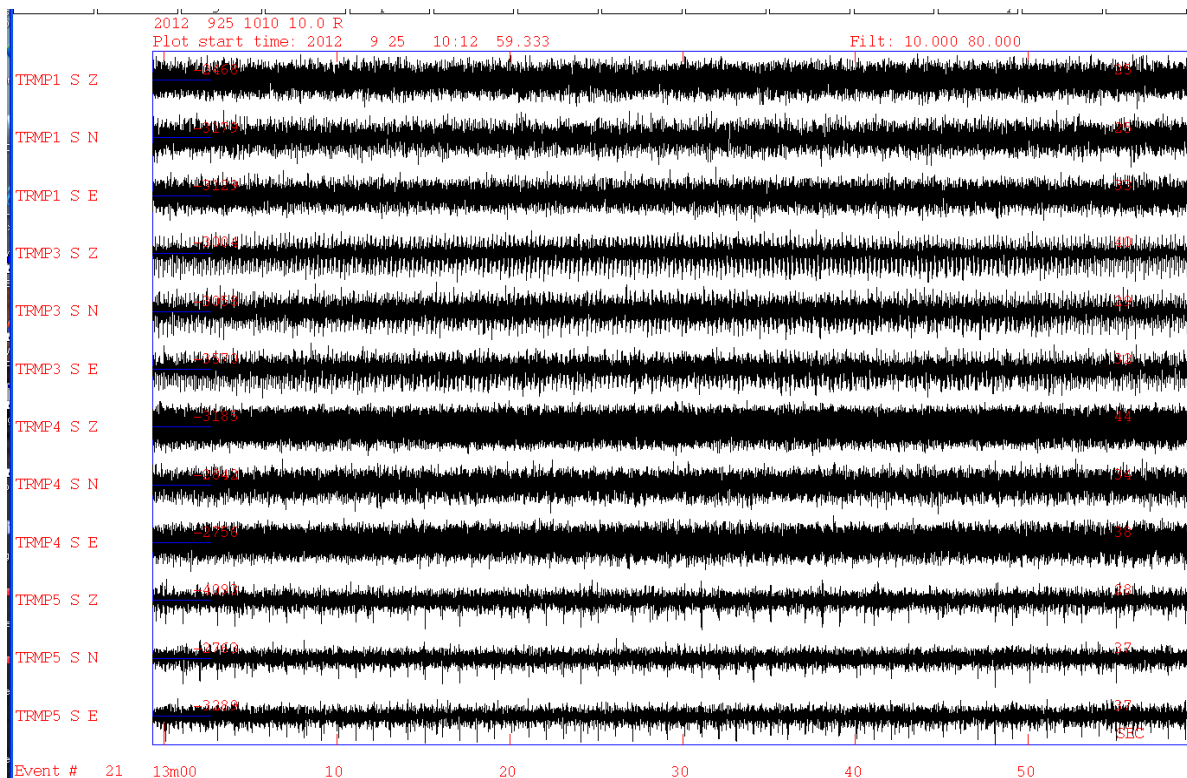
L'interpretazione dei dati è stata finalizzata a caratterizzare le varie fasi del ciclo di ricostituzione del campo (2012):

- periodo in cui il campo è rimasto fermo durante la campagna iniettiva (analisi del bianco);
- periodo con iniezione fino alla pressione originaria ($P=P_i$);
- periodo con iniezione in sovrappressione ($P>P_i$).

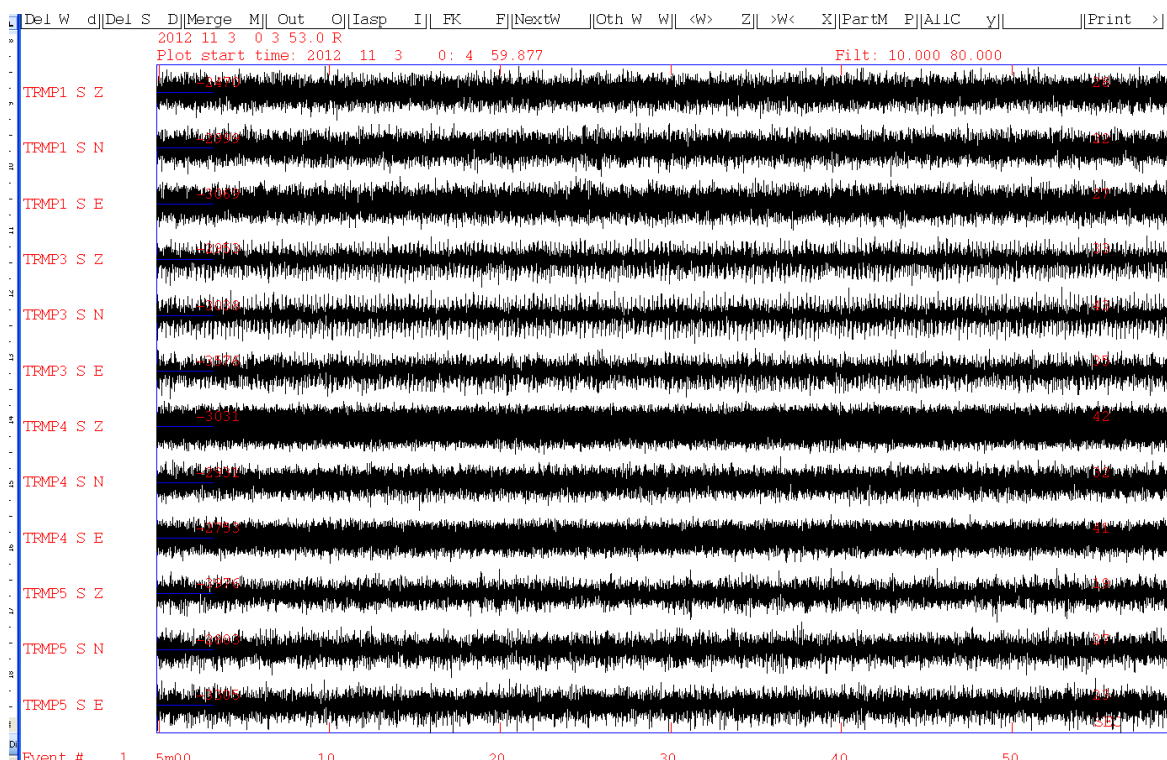
Le figure seguenti riportano, per ciascuna fase, un'immagine del segnale acquisito riferita ad un intervallo temporale di circa 1 minuto, selezionato in quanto privo di disturbi ed interferenze con attività di superficie. Le registrazioni mostrate, riportate nelle figure seguenti, sono pertanto ritenute rappresentative dell'intero periodo del ciclo di stoccaggio cui si riferiscono. Ogni immagine riporta le tracce registrate dai tre sensori posizionati a diverse profondità, la cui escursione di ampiezza è definita dalla velocità delle particelle in arrivo al geofono. In tutte le fasi analizzate i segnali sono filtrati 10-80Hz, per eliminare le componenti a bassa frequenza di 4hz di tipo strumentale.



Periodo in cui il campo è rimasto fermo durante la campagna iniettiva (analisi del bianco) (27 giugno 2012; ora 10:15 UTC = 12.15 ora italiana). I canali Z ed E sono invertiti.



Periodo con iniezione fino alla pressione originaria (P=Pi) (25 settembre 2012; ora 10:12 UTC = 12.12 ora italiana).



Periodo con iniezione in sovrappressione ($P > P_i$) (3 novembre 2012; ora 00:04 UTC = 01.04 ora italiana).

Eventi microsismici indotti

L'analisi delle registrazioni delle singole fasi del ciclo di stoccaggio non evidenzia variazioni significative nell'ampiezza del segnale, a testimonianza dell'assenza di fenomeni microsismici indotta ricollegabili all'esercizio del giacimento in regime di sovrappressione.

Eventi microsismici naturali

Nel corso del 2012 la rete installata nel pozzo S. Salvo 81 dir ha registrato una serie di eventi microsismici naturali, due dei quali inizialmente riconosciuti come microsismi locali con ipocentri posti comunque ad una profondità superiore a quella del giacimento. In seguito, un'analisi di maggior dettaglio dell'insieme degli eventi registrati ha portato alla ridefinizione di questi due eventi, che sono stati classificati come eventi sismici lontani.

Tutti gli altri dati attualmente disponibili si riferiscono ad eventi isolati e lontani, di carattere sismico naturale, ad ulteriore testimonianza del limitato tasso di sismicità della zona della Concessione Fiume Treste Stoccaggio.

In conclusione, correlando le registrazioni relative al periodo di registrazione in bianco con quelle relative al periodo in cui è stata effettuata l'iniezione sperimentale in sovrappressione, non risultano differenze, se non la regolare registrazione del rumore.

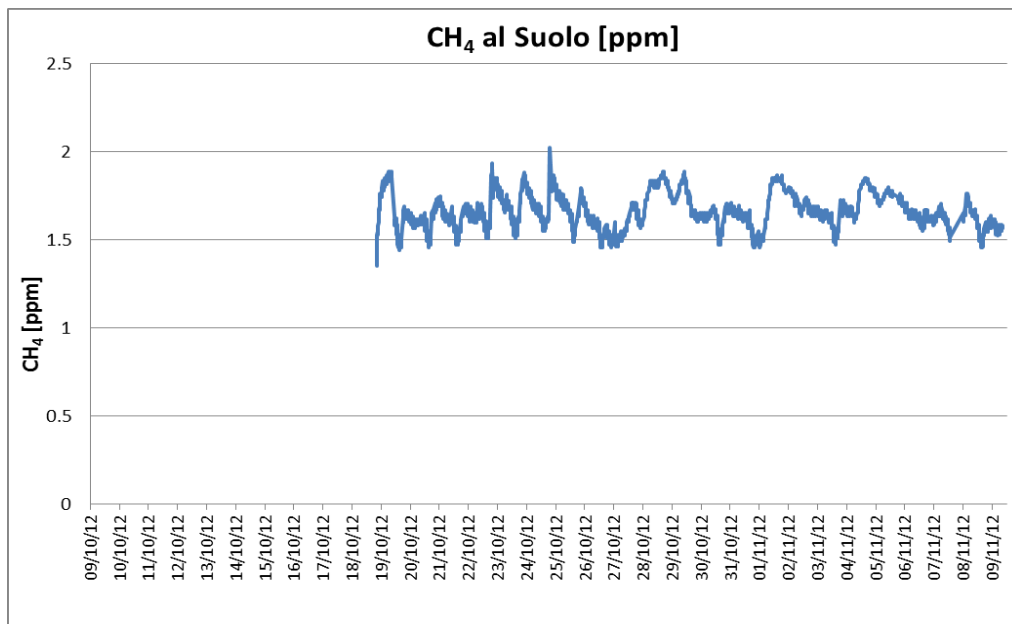
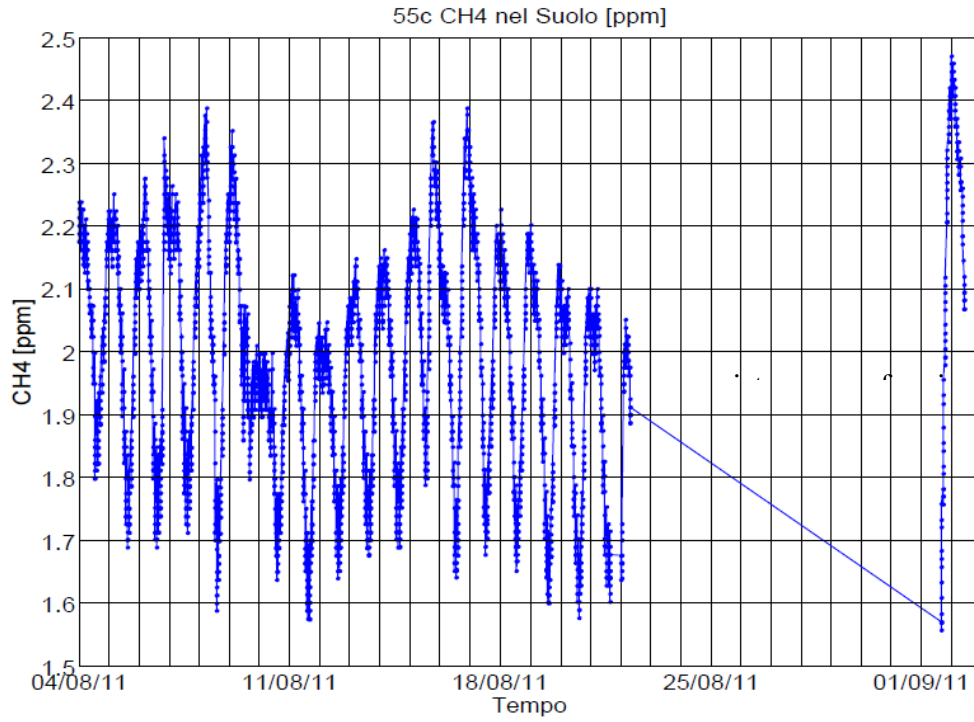
Dopo il primo anno di acquisizione dei dati, la strumentazione del pozzo S. Salvo 81 ha pertanto mostrato una notevole potenzialità di investigazione dei segnali microsismici, grazie alla vicinanza delle sorgenti e al ridotto rumore ambientale. La geometria verticale, anziché areale, consente di individuare segnali più complessi, che richiedono di conseguenza un particolare impegno di analisi e di interpretazione dei dati.

Monitoraggio geochimico-ambientale

Il monitoraggio geochimico-ambientale è finalizzato alla verifica dell'assenza di diffusione di gas del giacimento di stoccaggio nelle componenti ambientali del sito (suolo, aria e falda acquifera superficiale). L'analisi di questi dati, ed in particolare quella del loro contenuto in metano, è stata eseguita attraverso una stazione dedicata installata nella postazione di superficie del pozzo San Salvo 81 dir.

La stazione è stata posizionata nel settembre 2010 e da ottobre 2010 ha iniziato ad acquisire i dati e ad elaborare i grafici dei parametri di acquisizione in modo continuo compatibilmente alla fase di taratura strumentale; attualmente è operativa a pieno regime per la fase di sperimentazione in sovrappressione del Pool C2 dal 19 ottobre 2012. Nel periodo compreso tra il 9 ed il 18 ottobre il sistema non era funzionante per problemi tecnici.

Le figure seguenti mostrano, a titolo esemplificativo, il confronto tra le concentrazioni di CH₄ nel suolo, misurate prima e durante il periodo di iniezione in sovrappressione. La comparazione tra i due grafici non evidenzia variazioni significative nel tenore di CH₄ tra i due periodi; analoghi riscontri si osservano anche nelle altre matrici ambientali analizzate (aria e acqua), anche per quanto riguarda i componenti non-metanici.



LIVELLO F

Il progetto di sviluppo allo stoccaggio del Livello F, di cui si richiede l'autorizzazione all'esercizio, rientra in un piano di ulteriore potenziamento dell'attività svolta nella Concessione di Fiume Treste, già interessata dall'esercizio in tre pool stratigraficamente sottostanti (BCC1, C2 e DEE0).

Per una valutazione preliminare dell'idoneità e delle potenzialità allo stoccaggio del Livello F è stato predisposto un apposito studio di giacimento, che comprende una modellizzazione statica 3D, mirata alla definizione delle caratteristiche geologiche, e una modellizzazione dinamica 3D, che prefigura i possibili scenari operativi e le prestazioni attese dall'esercizio allo stoccaggio.

1 - MODELLIZZAZIONE STATICA 3D

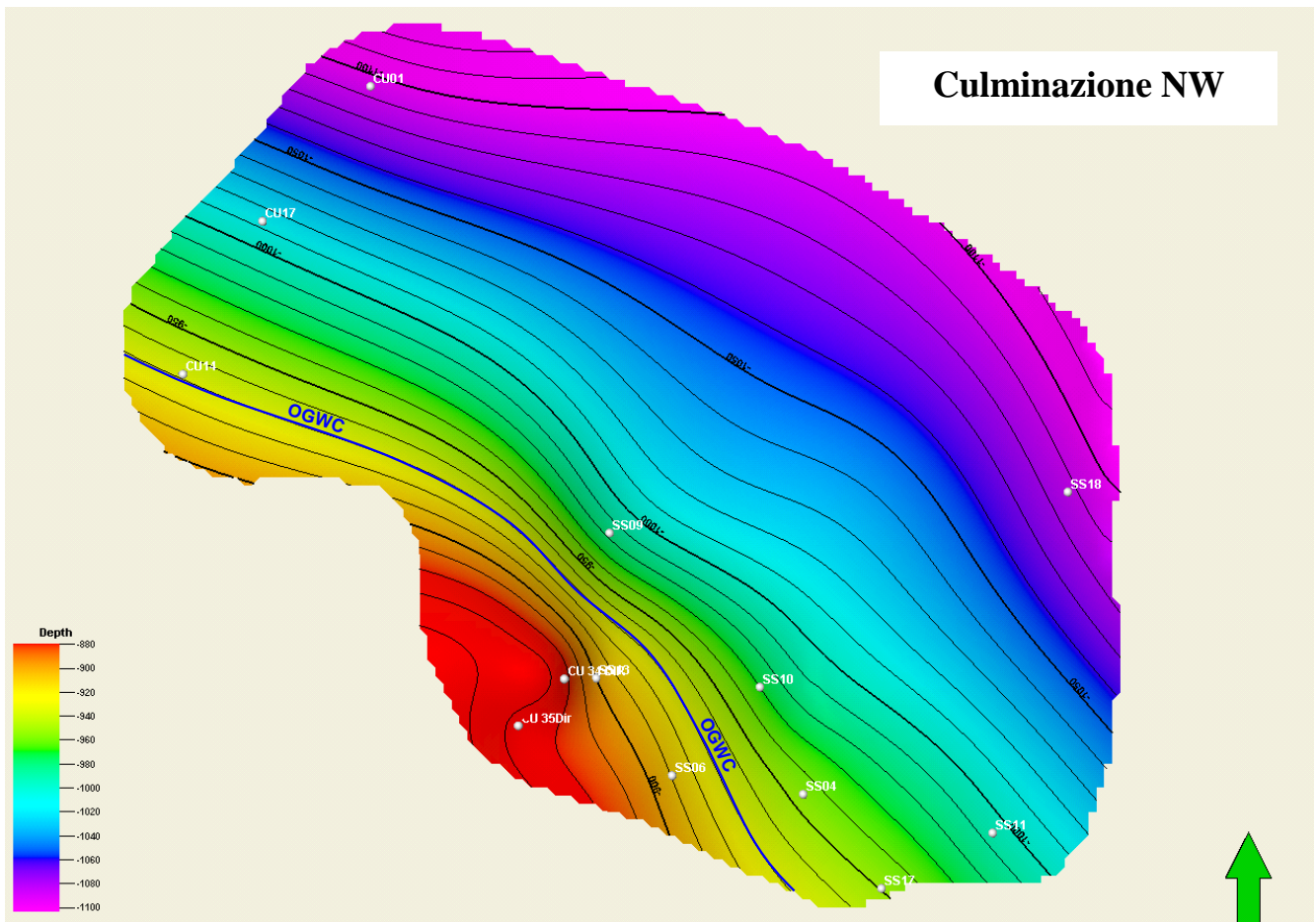
Il Livello F è costituito da corpi sabbiosi con spessore fino a 40-50 m, collocati in posizione stratigrafica soprastante a quella dei livelli utilizzati per l'attività di stoccaggio nella Concessione Fiume Treste; in passato questi livelli, rinvenuti mineralizzati a gas in alcuni pozzi dell'area di S. Salvo, sono stati interessati da attività di coltivazione nella fase di produzione primaria del giacimento.

La recente perforazione da parte di Stogit dei pozzi Cupello 34 dir e Cupello 35 dir, finalizzati allo stoccaggio nei sottostanti livelli D+E, ha evidenziato la presenza nel Livello F di accumuli di gas primario residuo, localizzati nella porzione culminale della struttura, dove il corpo sabbioso conserva elevati spessori.

Il conseguente rinnovato interesse per questo livello ha suggerito la realizzazione di un nuovo studio geologico, basato su un modello deposizionale coerente con le informazioni relative ai regimi di pressione e alle quote delle tavole d'acqua originarie del giacimento, che risultano differenziate tra le due principali culminazioni strutturali (Area NW e Area SE). Nel complesso il Livello F è stato riconosciuto in 14 pozzi ubicati nel settore NW e in 13 pozzi del settore SE.

Lo sviluppo allo stoccaggio è previsto nel solo settore NW, di cui la figura seguente riporta la mappa del top strutturale.

Il giacimento è associato ad una trappola di tipo stratigrafico-strutturale, in cui si evidenziano una chiusura per onlap verso W-SW, per troncatura verso S contro l'alloctono e per pendenza strutturale verso NE



Il Livello F è costituito da depositi sabbiosi legati a piccoli sistemi torbidity di tipo prossimale; dal punto di vista litologico prevalgono sabbie grossolane in strati massivi, con presenza di intercalazioni argilloso-siltose in genere di modesta continuità laterale.

La tabella seguente riporta in sintesi le principali caratteristiche utilizzate per la modellizzazione geologica del Livello F.

CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA E PETROFISICA		
	CULMINAZIONE NW	CULMINAZIONE SE
FORMAZIONE	Candela - T. Tona (Pliocene)	Candela - T. Tona (Pliocene)
LITOLOGIA	Sabbie con intercalazioni argillose	Sabbie con intercalazioni argillose
SPESSORE	25-50 m	15-30 m
TIPO DI TRAPPOLA	Stratigrafico-strutturale	Stratigrafico-strutturale
PROFONDITA'	900-1100 m l.m.	900-1100 m l.m.
POROSITA' MEDIA	30%	30%
PERMEABILITA'	500-800 mD	500-800 mD
NET/GROSS	90%	90%
COPERTURA	Argille (circa 50 m)	Argille (circa 50 m)
SATURAZIONE IN ACQUA	22%	22%
PRESSIONE ORIGINARIA	114,7 barsa	102,9 barsa
MECCANISMO DI PRODUZIONE	Debole spinta dell'acquifero	Debole spinta dell'acquifero
OGWC	930 m l.m. (S. Salvo 13 - 6)	946 - 947 m l.m. (S. Salvo 7 - 2)
AGWC	902 - 910 m l.m. (Cupello 34 dir - 35 dir)	919 m l.m. (S. Salvo 46 dir - 49 dir)

2 - MODELLIZZAZIONE DINAMICA 3D

Il processo di calibrazione del modello dinamico 3D ha dimostrato l'ipotesi, già evidenziata dal modello statico, di separazione idraulica F tra la culminazione nord-occidentale e la culminazione sud-orientale. Lo scenario di sviluppo allo stoccaggio ha considerato la sola culminazione nord-occidentale del Livello F, e prevede la ricostituzione del giacimento ad una pressione pari alla pressione originaria ($P=P_i$), pari a 114,7 barsa.

La scelta di sviluppare allo stoccaggio il Livello F solo nell'area della culminazione nord-occidentale deriva dalle seguenti considerazioni:

- carenza di dati dinamici e geostrutturali nella culminazione sud-orientale
- volumi stimati di Gas In Place (GIP) nella culminazione sud-orientale tali da non rendere economicamente conveniente lo sviluppo.

Le simulazioni hanno evidenziato che per lo sviluppo allo stoccaggio del Livello F nella culminazione nord-occidentale è necessario perforare almeno 4 nuovi pozzi da adibire alle attività di iniezione ed erogazione; infatti i due pozzi esistenti S. Salvo 6 e 13, utilizzati in passato per la produzione primaria, non possiedono un completamento idoneo per la loro eventuale conversione all'attività di stoccaggio.

Di seguito si riportano i risultati emersi dalle simulazioni numeriche eseguite per gli scenari considerati. La scelta del numero dei pozzi da perforare è stata definita tramite due sensitivities fra loro differenti solo per il numero dei pozzi (4 e 6 rispettivamente).

Caso 1: (caso base)

Considera l'utilizzo di 4 nuovi pozzi, due orizzontali e due direzionati, a partire dalla postazione esistente del pozzo S. Salvo 13 verso la culminazione; i principali risultati sono:

- Il *Working gas* @ 68 barsa è pari a **220 MSm³**;
- Il *Cushion gas* @ 68 barsa è pari a **287 MSm³**;
- Il *Cushion gas* ancora da iniettare è pari a **86 MSm³**;
- Le riserve certe originarie sviluppabili @ 45 barsa sono pari a circa **115 MSm³**;
- Le riserve certe originarie totali @ 30 barsa sono pari a circa **201 MSm³**;
- La capacità totale del giacimento (WG+CG) è pari a **507 MSm³**;
- L'efficienza del giacimento allo stoccaggio è pari al **43%**;
- La massima capacità erogativa è pari a **4 MSm³/g**;
- La massima capacità iniettiva è pari a **4 MSm³/g**.

Caso 2:

Considera l'utilizzo di 6 nuovi pozzi, due orizzontali e quattro direzionati, a partire dalla postazione esistente del pozzo S. Salvo 13 verso la culminazione. La realizzazione di ulteriori 2 pozzi direzionati non porta ad un incremento significativo del *Working gas* rispetto al caso 1. Il solo effetto risultante sarebbe un incremento di punta, sia in erogazione che in iniezione, da 4 MSm³/g a 5 MSm³/g.

Caso 3: (caso ottimale)

Considera l'utilizzo di 4 nuovi pozzi di cui 3 orizzontali ed 1 pozzo direzionato a partire dalle postazioni esistenti del pozzo S. Salvo 6 e Cu 34-35 verso la culminazione;

i principali risultati sono:

- Il *Working gas* @ 68 barsa è pari a **220 MSm³**;

- Il *Cushion gas* @ 68 barsa è pari a **287 MSm³**;
- Il *Cushion gas* ancora da iniettare è pari a **86 MSm³**;
- Le riserve certe originarie svilupppabili @ 45 barsa sono pari a circa **115 MSm³**;
- Le riserve certe originarie totali @ 30 barsa sono pari a circa **201 MSm³**;
- La capacità totale del giacimento (WG+CG) è pari a **507 MSm³**;
- L'efficienza del giacimento allo stoccaggio è pari al **43%**;
- La massima capacità erogativa è pari a **4 MSm³/g**;
- La massima capacità iniettiva è pari a **4 MSm³/g**.