

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						
CONCESSIONE FIUME TRESTE STOCCAGGIO PROGETTO LIVELLO C2 P>Pi, MANAGEMENT SUMMARY (STOGIT, MAGGIO 2012)								
SCALA SCALE	SOSTITUISCE IL SUPERSEDES N.	SOSTITUITO DAL SUPERSEDED BY N.	AREA IMP.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 37d			-

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

CONCESSIONE FIUME TRESTE STOCCAGGIO

LIVELLO C2

PROGETTO P>Pi

MANAGEMENT SUMMARY

			E. Cairo		
0	Emissione		A. Mantegazzi	D. Marzorati	Maggio 2012
REV.	DESCRIZIONE		PREPARATO	APPROVATO	DATA

SOMMARIO

- 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 – PROGRAMMA DI MONITORAGGIO**

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.) al 110% della pressione originaria di scoperta (S.B.H.P. originaria : $131,5 \text{ kg/cm}^2_{\text{ass.}} = 150,4 \text{ barsa}$; S.B.H.P. finale in sovrappressione prevista : $144,6 \text{ kg/cm}^2_{\text{ass.}} = 165,4 \text{ barsa}$).

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 di $149,9 \text{ kg/cm}^2 = 146 \text{ bar}$, corrispondente ad una sovrappressione del 125% rispetto ai valori statici di pressione statica originaria misurati a testa pozzo (S.T.H.P. originaria: $119 \text{ kg/cm}^2_{\text{ass.}} = 116,7 \text{ barsa}$). 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 del target di progetto previsto al 110% P_i con il valore di pressione di $130,9 \text{ kg/cm}^2_{\text{ass.}} = 128,37 \text{ barsa}$.

La tabella seguente presenta le pressioni massime di esercizio delle facilities; il collettore da 24", che presenta una pressione massima operativa di 133,13 bar, nella fermata di centrale predisposta dal 6 giugno al 6 luglio 2012, verrà messo fuori esercizio e sostituito da due collettori da 20" con pressione di esercizio pari a 147 Bar. Le flow-lines dei pozzi S. Salvo 80, 82/95 e 83 sono state progettate per pressione di esercizio di 150 Bar. Il limite operativo rimane pertanto vincolato dai separatori con pressione di bollo di 146 Bar.

TRATTO TUBAZIONE	Diametro (NPS)	Materiale Linea	Spc. linea/ Spess. eff. (mm)	P. op. max (bar)
Linea mand. Compressore TC-1/2	12"	API 5LX52	16B/12.89	162.77
Linea mand. Compressore TC-1/2	16"	API 5LX52	16B/17.04	171.54
Linea mand. Compressore TC-3/4	20"	API 5LX52	16Z/21.22	170.9
Linea mand. Compressore TC-3/4	24"	API 5LX52	16Z/25.38	170.23
Collettore da gruppi compr. a C.le Trattamento	24"	API 5LX52	16B/25.38	170.23
Collettore da C.le Trattamento a Cluster B	24"	API 5LX52	902/20.85	133.13
Collettore da Cluster B a Cluster A	16"	API 5LX52	902/15.66	157.65
Collettore da Cluster B a Cluster C	16"	API 5LX52	D98/15.66	157.65
Separatori cluster A-B-C				146

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, al fine di valutare correttamente l'idoneità tecnica del giacimento per gli obiettivi prefissati.

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

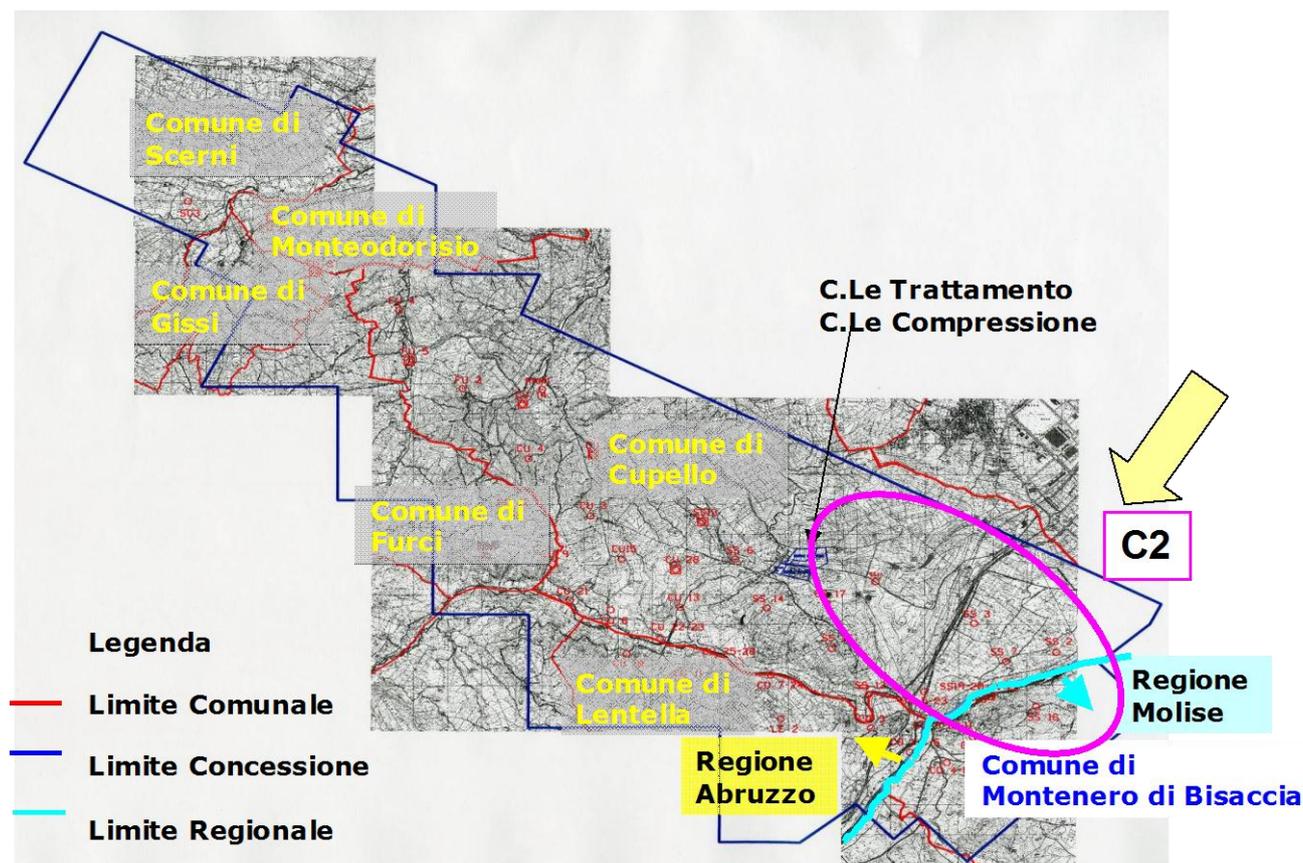
Nella Concessione Fiume Treste Stoccaggio le attività di stoccaggio sono iniziate nel 1982, a seguito della cessata produzione primaria.

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.

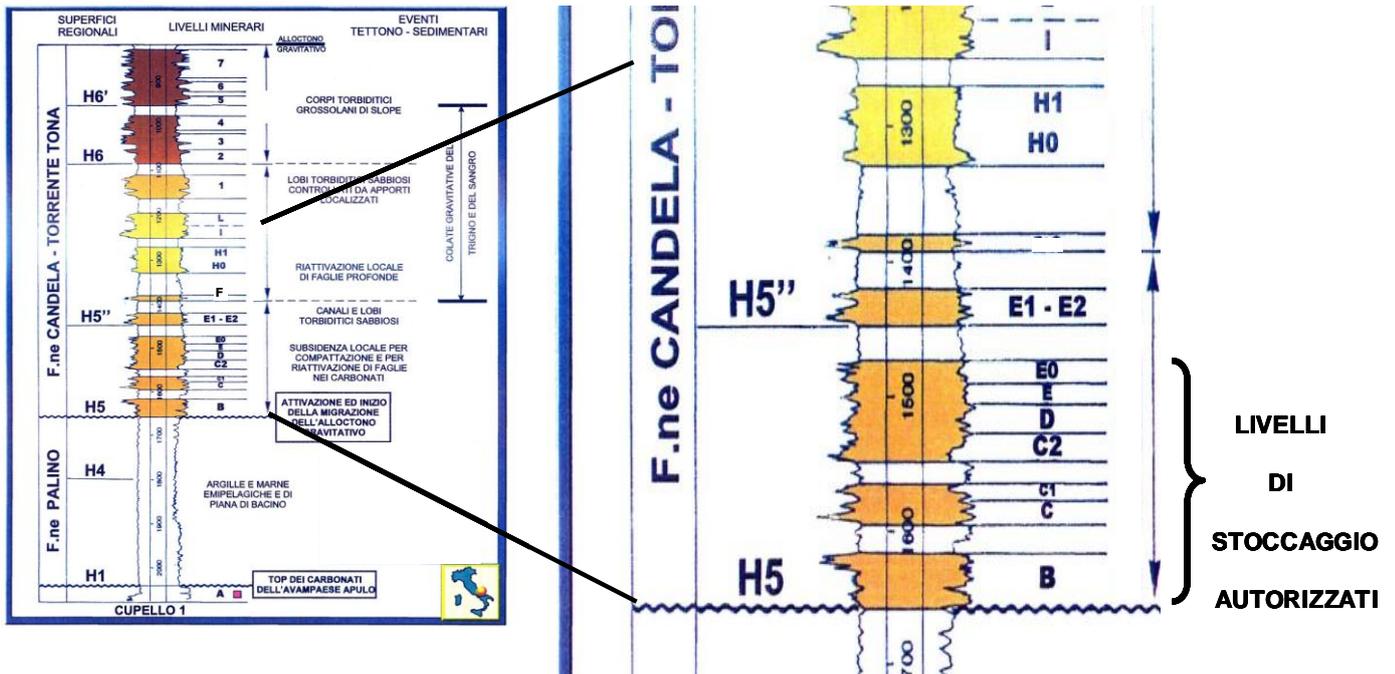
La successione stratigrafica, che comprende nella parte inferiore calcari di piattaforma carbonatica di età cretacea appartenenti all'avampaese apulo, è composta da due principali unità litostratigrafiche, denominate Formazione Palino e Formazione Candela-Torrente Tona.

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, deposti 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

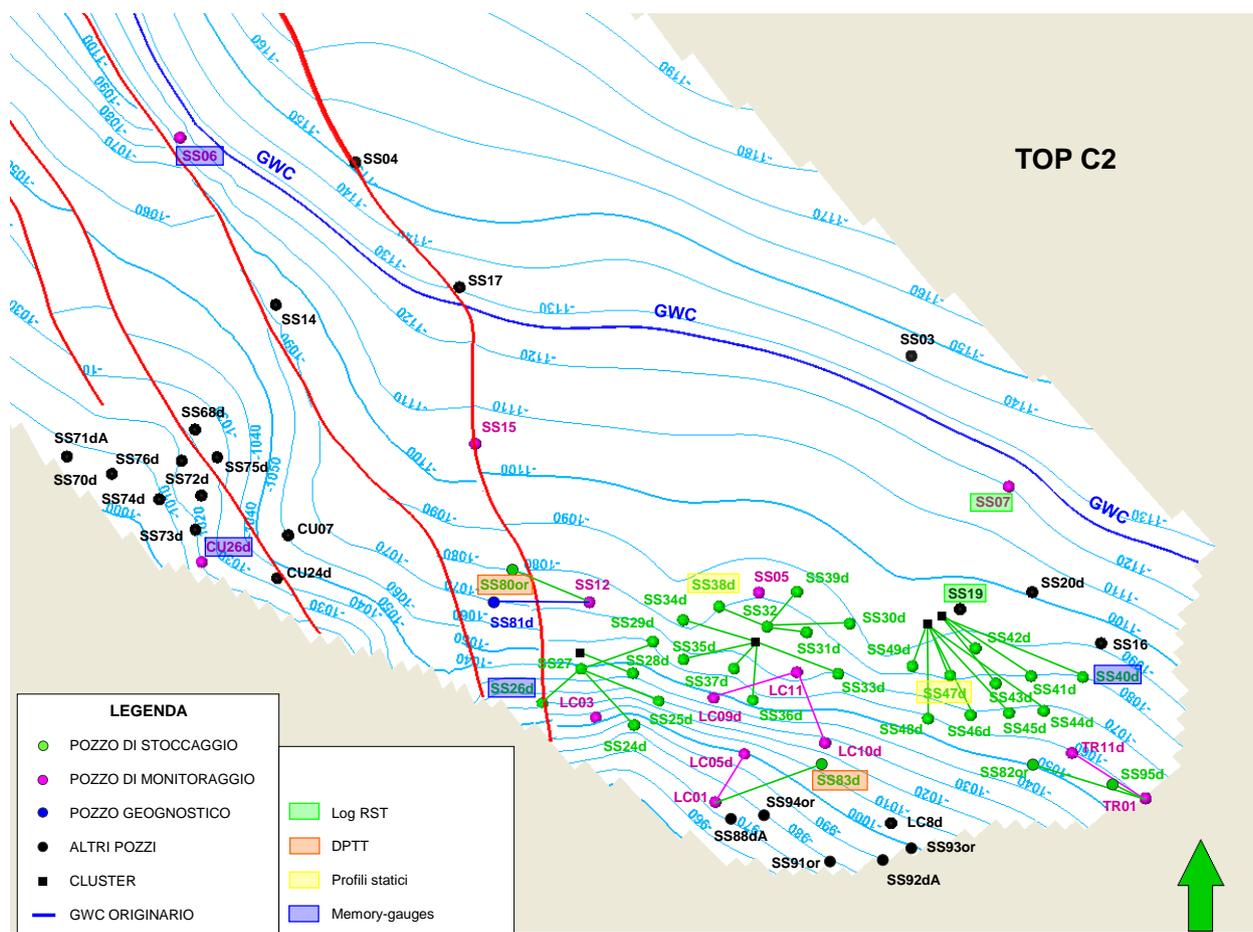
Nell'area sud-orientale della Concessione Fiume Treste è stato acquisito un rilievo sismico 3D nel 1999, finalizzato ad una adeguata risoluzione degli aspetti geologici e strutturali, utili per una corretta modellizzazione statica e dinamica del giacimento. Questo rilievo è stato unificato con quelli 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).

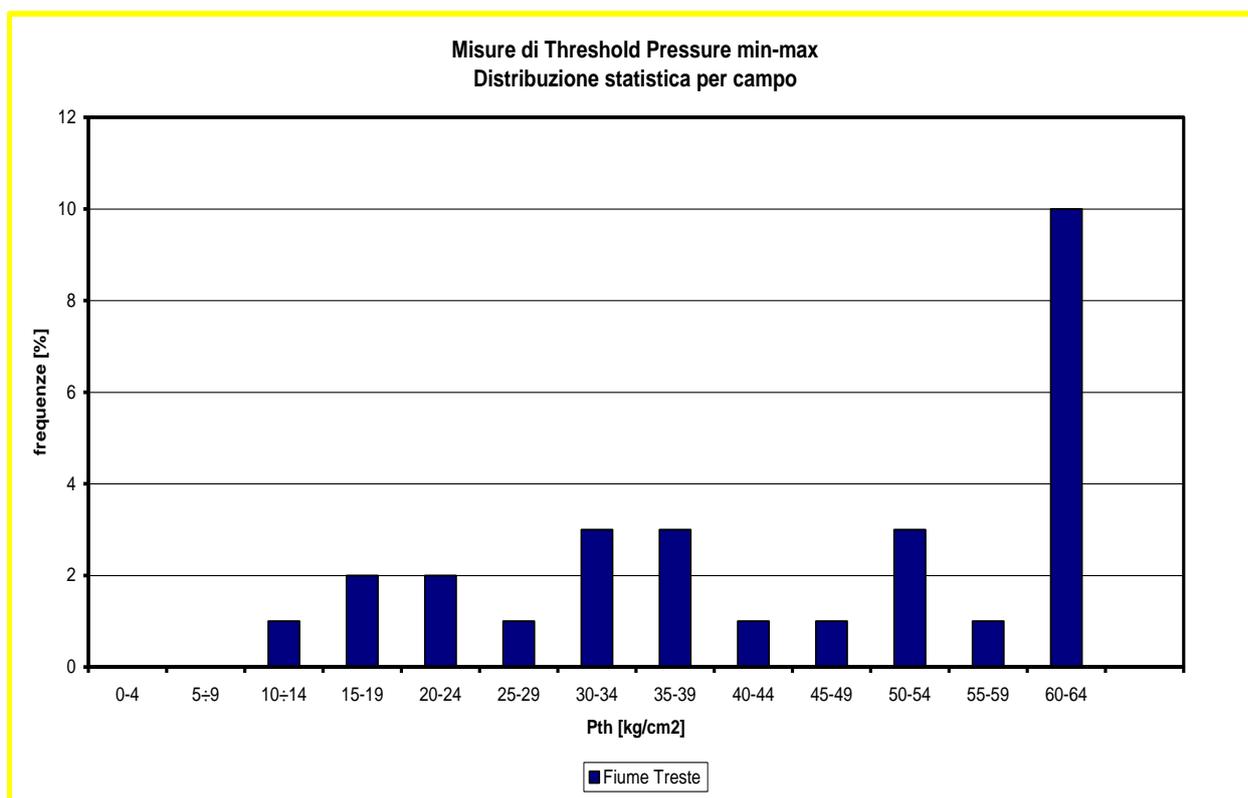
Gli esiti di queste indagini hanno permesso di caratterizzare le proprietà geomeccaniche dei terreni soprastanti ai livelli di stoccaggio, che sono risultate quelle tipiche di materiali poco permeabili (comportamento di barriera).

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: $E_{\text{uni}} = 6046 \pm 527$ 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.



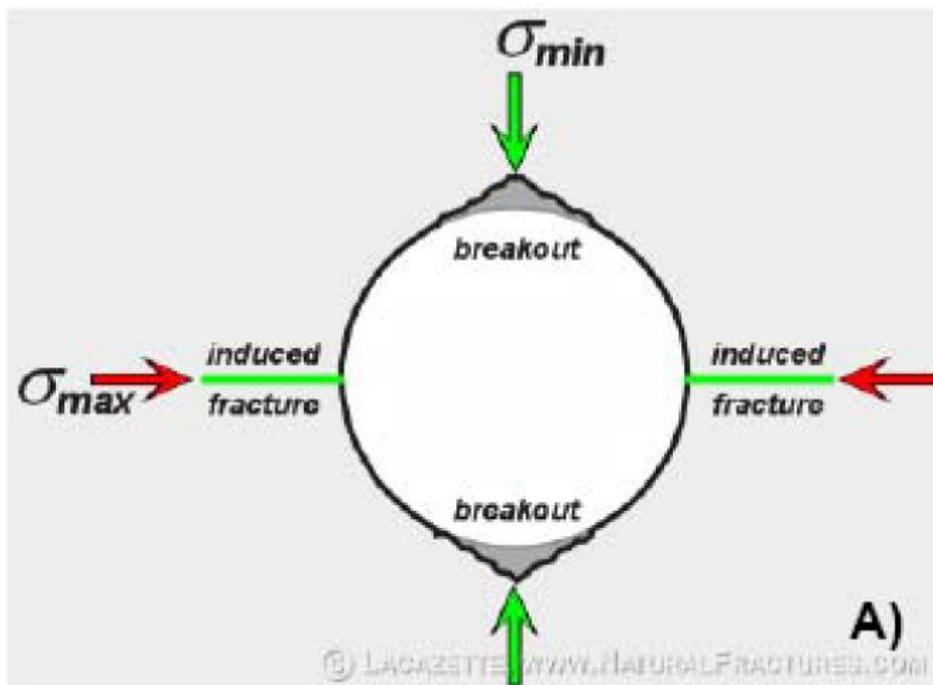
8 - STUDIO PETROFISICO INTEGRATO

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}).

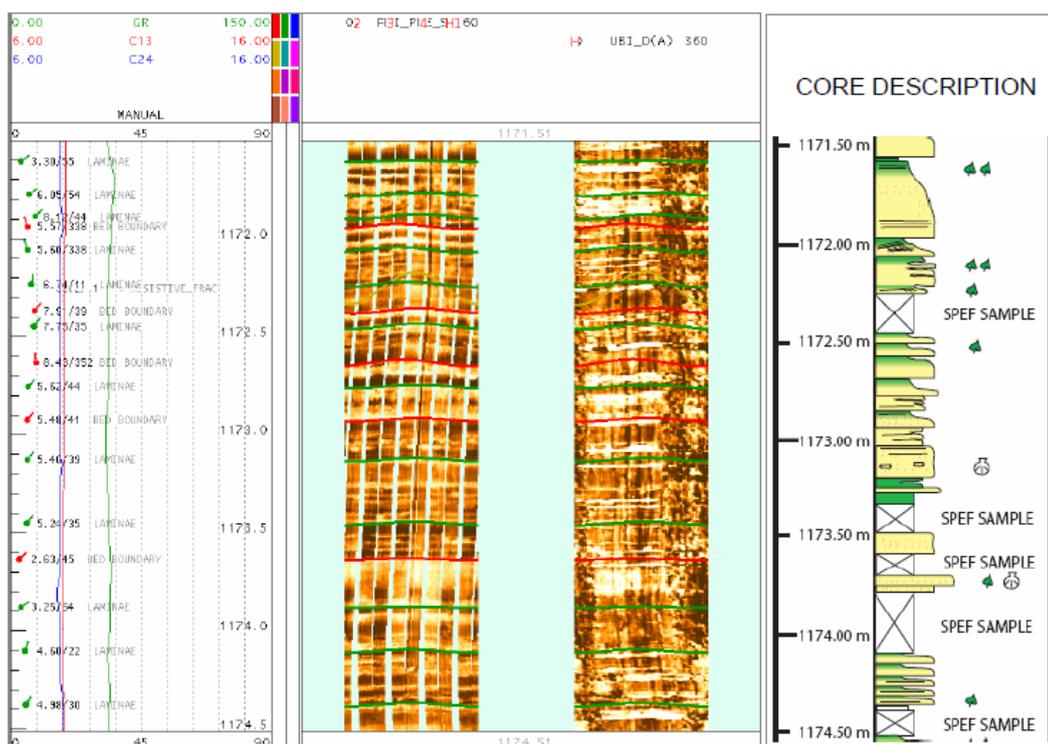


L'analisi sedimentologica delle carote mostrano un'argilla prevalentemente massiva, con presenza di intervalli caratterizzati da blande laminazioni a basso angolo. Si nota altresì la presenza di bioturbazioni e di gusci calcarei di molluschi. Dal punto di vista meccanico le argille esaminate, hanno mostrato 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)

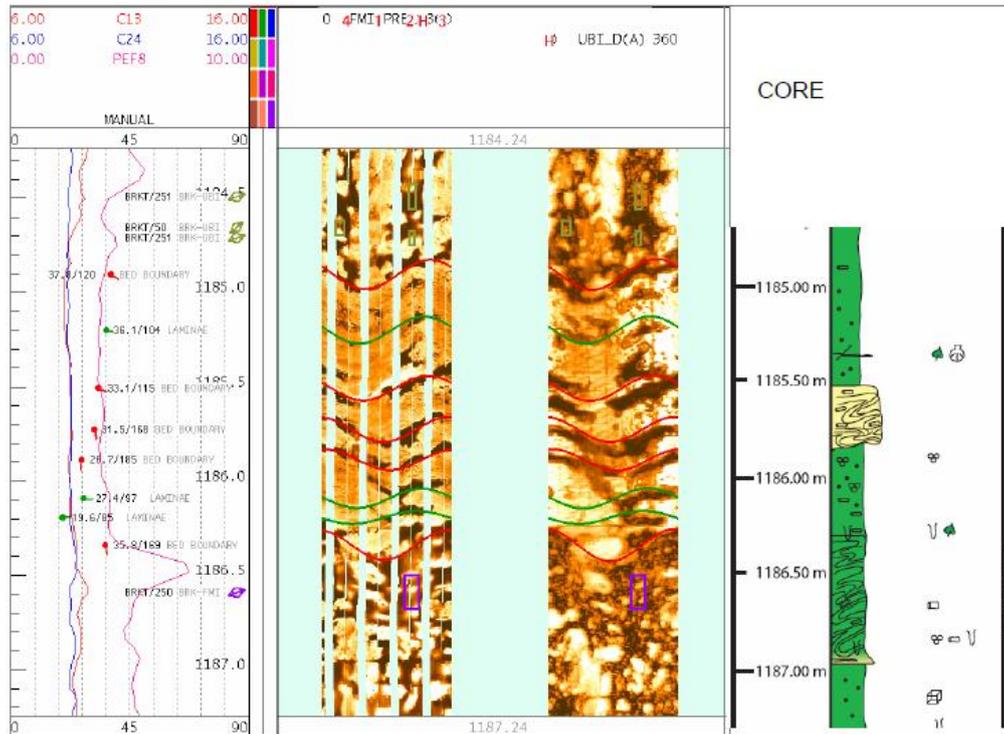
L'intervallo sabbioso del Livello C2 è caratterizzato da strati di sabbia fine con spessore di 10-50 cm, frequentemente interessati da fitte laminazioni a basso angolo ricche in frustoli vegetali. Tali lamine sono state riconoscibili sia sui log di immagine che su carota (strike medio 140 N), così come 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 paker. 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/cmq), ovvero il valore originario (129 barsa, 131,5 kg/cmq a) 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

Nell'ambito del progetto sono state compiuti gli opportuni accertamenti volti a verificare l'idoneità degli impianti di superficie (facilities di centrale e condotte di adduzione del gas) alle prestazioni richieste.

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: $149,9 \text{ kg/cm}^2 = 146 \text{ bar}$, corrispondente ad una sovrappressione del 125 % rispetto ai valori statici di pressione statica originaria misurati a testa pozzo (S.T.H.P. originaria: $119 \text{ kg/cm}^2_{\text{ass.}} = 116,7 \text{ barsa}$). 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 del target di progetto previsto al 110% Pi con il seguente valore di pressione : $130,9 \text{ kg/cm}^2_{\text{ass.}} = 128,37 \text{ barsa}$.

La tabella seguente presenta le pressioni massime di esercizio delle facilities; il collettore da 24", che presenta una pressione massima operativa di 133,13 bar, nella fermata di centrale predisposta dal 6 giugno al 6 luglio 2012, verrà messo fuori esercizio e sostituito da due collettori da 20" con pressione di esercizio pari a 147 Bar. Le flow-lines dei pozzi S. Salvo 80, 82/95 e 83 sono state progettate per pressione di esercizio di 150 Bar. Il limite operativo rimane pertanto vincolato dai separatori con pressione di bollo di 146 Bar.

TRATTO TUBAZIONE	Diametro (NPS)	Materiale Linea	Spc. linea/ Spess. eff. (mm)	P. op. max (bar)
Linea mand. Compressore TC-1/2	12"	API 5LX52	16B/12.89	162.77
Linea mand. Compressore TC-1/2	16"	API 5LX52	16B/17.04	171.54
Linea mand. Compressore TC-3/4	20"	API 5LX52	16Z/21.22	170.9
Linea mand. Compressore TC-3/4	24"	API 5LX52	16Z/25.38	170.23
Collettore da gruppi compr. a C.le di Trattamento	24"	API 5LX52	16B/25.38	170.23
Collettore da C.le Trattamento a Cluster B	24"	API 5LX52	902/20.85	133.13
Collettore da Cluster B a Cluster A	16"	API 5LX52	902/15.66	157.65
Collettore da Cluster B a Cluster C	16"	API 5LX52	D98/15.66	157.65
Separatori cluster A-B-C				146

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

La modellizzazione 3D del giacimento è stata condotta da Stogit in collaborazione con il Petroleum Engineering Group del Politecnico di Torino, e comprende anche una valutazione della capacità di stoccaggio in condizioni di underpressure.

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 barsa 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 $M\text{Sm}^3/\text{g}$, 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.

Recupero della capacità di stoccaggio in Underpressure

Nell'ambito dello studio è stata definita, tramite simulazioni con modello dinamico 3D, una metodologia operativa per la definizione di criteri di valutazione della stabilità nell'erogazione di volumi a pressioni di testa pozzo inferiori alle pressioni del metanodotto (underpressure).

Lo studio si è posto come obiettivo la riclassificazione di una parte del volume di Pseudo Working Gas (inteso come differenza tra il Working gas erogabile spontaneamente a 70 barsa e il Working Gas del ciclo di emergenza a 48 barsa) come working gas addizionale ed esercibile stabilmente tramite l'utilizzo di unità di compressione in un ciclo di stoccaggio. Il volume di Pseudo Working Gas rimanente viene considerato come componente del Cushion Gas.

La metodologia adottata ha permesso di calcolare il volume di Working Gas ricostituibile ogni anno in modo stabile nel tempo sia in erogazione spontanea (natural depletion) che in underpressure con l'ausilio di unità di compressione in estrazione.

In particolare il Working Gas massimo erogabile sino ad una F.T.H.P di 48 barsa in condizioni di pressione massima di esercizio pari a quella originaria di scoperta è di 1470 MSmc ed è caratterizzato da una sufficiente stabilità e da una produzione di acqua contenuta. Ciò apporterebbe un incremento di working gas di 192 MSmc, rispetto al valore massimo esercibile a F.T.H.P. @ 68 barsa.

In condizioni di esercizio in sovrappressione al 110% della pressione originaria di scoperta il volume di working gas è incrementabile di ulteriori 200 MSmc mantenendone la stabilità.

L'erogazione in underpressure con l'ausilio di unità di compressione in estrazione presenta alcuni punti di attenzione, in particolare per quanto riguarda il controllo del

comportamento reale a basse pressioni, che dovrà essere debitamente monitorato per confermare le previsioni da modello dinamico.

L'erogazione dell'intero Working Gas con la componente incrementale di Pseudo Working Gas necessita inoltre di una elevata disponibilità di gas dal mercato, per una repentina ricostituzione del giacimento e per il controllo di una possibile risalita dell'acquifero.

La produzione di acqua, che appare stabile, necessita una disponibilità completa degli impianti di trattamento e di reiniezione liquidi.

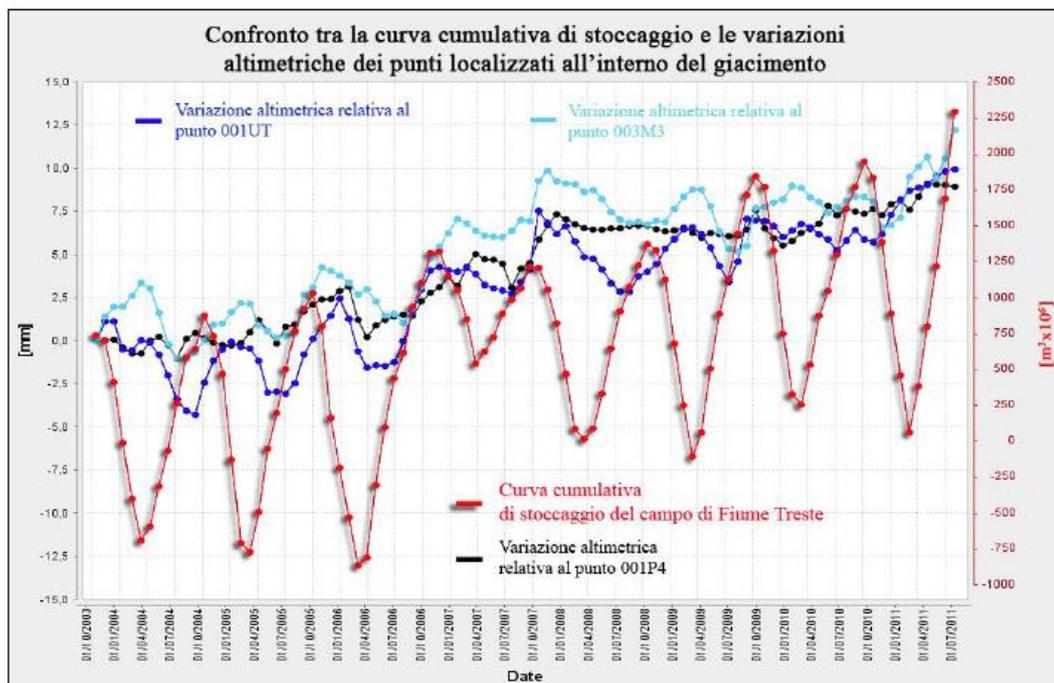
13 - MONITORAGGIO DEI MOVIMENTI DEL SUOLO

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 del 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: + 0,85 mm/anno

Correlazione tra le serie storiche:

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

14 – 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 e registrazione valori di pressione
- pozzo S. Salvo 14: ubicato in posizione strutturale propizia per il monitoraggio del soprastante Livello D. Acquisizione di log RST e registrazione valori di pressione (previa esecuzione di operazioni di pulizia del foro e registrazione delle condizioni attuali di saturazione)

- 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 14
- Registrazione valori di pressione:
 - pozzi S. Salvo 80 or e 83 dir (DPTT wireline)
 - pozzi n. 2 (registrazione profilo statico)
 - pozzi n. 3 (alloggiamento memory gauges)

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

- Registrazione valori di pressione:
 - pozzi S. Salvo 80 or e 83 dir (DPTT wireline)
 - pozzi n. 2 (registrazione profilo statico)
 - pozzi n. 3 (alloggiamento memory gauges)

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

- Acquisizione log RST: pozzi S. Salvo 7 e pozzo S. Salvo 14
- Registrazione valori di pressione:
 - pozzi S. Salvo 80 or e 83 dir (DPTT wireline)
 - pozzi n. 2 (registrazione profilo statico)
 - pozzi n. 3 (alloggiamento memory gauges)