



**petroleum
engineering
group**

A graphic element consisting of three horizontal red bars stacked vertically, with a black vertical bar extending downwards from the center of the bottom red bar.

CONTRATTO DI RICERCA TRA IL
POLITECNICO DI TORINO – DIATI E SNAM-STOGIT

CAMPO DI FIUME TRESTE

POOL C2

**Relazione tecnica
in ottemperanza alla Prescrizione A4)
di cui al D.M. n.0000120 del 18/05/2017**

Dicembre 2017



1. Premessa

La presente nota è stata predisposta al fine di ottemperare alla prescrizione A.4 di cui al D.M. n.0000120 del 18/05/2017 del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.

In particolare la prescrizione richiede che il modello geologico sia aggiornato con la realizzazione di un modello tridimensionale termo-fluido-dinamico del flusso polifasico-policomponente reattivo nelle rocce eterogenee porose, fratturate/fagliate ed elastiche dello stoccaggio di gas sia a pressione originaria che in sovrappressione. Richiede inoltre che il modello sia calibrato in base a tutti i dati originari di campo, ai dati relativi alla fase prima della produzione gas e successivamente a quelli specifici del periodo di stoccaggio in condizioni di pressione originaria. Richiede infine che tale modello sia utilizzato ai fini dell'identificazione e valutazione degli impatti sull'ambiente in conseguenza della gestione a pressione originaria e della gestione in sovrappressione e, in particolare, "per identificare e monitorare le possibili vie di fuga del gas stoccato, incluse quelle per diffusione e dispersione idrodinamica, e particolarmente quelle relative alle cosiddette perdite fisiologiche che possono apparentemente avere valori nell'ordine di grandezza dell'uno per mille, equivalenti quindi ad una consistente quantità di metri cubi di gas persi annualmente."

La relazione predisposta, oltre a illustrare il flusso di lavoro seguito per lo studio del giacimento di stoccaggio Fiume Treste - Pool C2 e ad evidenziare come lo studio e l'attività modellistica abbiano preso in considerazione tutti gli aspetti citati nella prescrizione, chiarisce in particolare i seguenti aspetti:

- le rocce serbatoio (livello C2) e le rocce di copertura del giacimento appartengono a sequenze di tipo terrigeno (sabbioso o argilloso), con comportamento deformativo elastico durante i cicli di stoccaggio;
- la risposta tenso-deformativa delle formazioni rocciose al variare delle condizioni di pressione (inclusa la sovrappressione) è stata studiata mediante la realizzazione di un modello geomeccanico 3D;
- i risultati delle simulazioni condotte con il modello geomeccanico 3D non hanno evidenziato alcuna criticità in relazione alla possibilità che l'esercizio allo stoccaggio potesse comportare la riattivazione delle faglie principali esistenti;
- le variazioni plano-altimetriche rilevate alla scala dell'area della concessione che comprende il giacimento hanno effetti del tutto trascurabili sulle strutture antropiche. Inoltre, si ritiene che l'eventuale esercizio futuro del Livello C2 in



regime di sovrappressione a $P=110\% P_i$ non comporti significative variazioni nel *trend* medio di variazioni plano-altimetriche dell'area;

- i giacimenti di idrocarburi sono considerati sistemi isotermi (ad eccezione dei giacimenti ad olio pesante in cui vengono applicati processi termici per Enhanced Oil Recovery). Tuttavia, nel caso dello stoccaggio del gas naturale è possibile che i ripetuti cicli di erogazione/iniezione del gas comportino un raffreddamento dell'ordine di qualche grado centigrado nel corso di una o più decine di anni: il leggero raffreddamento della struttura ha un impatto sul comportamento PVT del gas e questo aspetto viene tenuto in conto modificando opportunamente il fattore di volume del gas;
- la natura poli-componente di qualsiasi miscela di idrocarburi è tenuta in conto mediante l'assegnazione dei parametri PVT al modello fluido-dinamico del giacimento; peraltro nel caso dello stoccaggio del gas naturale si tratta di una miscela con contenuto di metano di gran lunga prevalente rispetto alle altre componenti (etano e propano) e con bassissime percentuali di azoto e anidride carbonica (altre componenti sono presenti in tracce); tale miscela non è reattiva rispetto alle rocce serbatoio e alle rocce di copertura;
- l'assenza di migrazione del gas verso la superficie è garantita dalla presenza delle argille di copertura, impermeabili al gas e in grado di confinare il gas stesso nel giacimento per milioni di anni alla pressione originaria della formazione. Poiché, inoltre, in nessun caso anche durante i brevi periodi in sovrappressione si prevede di superare la pressione minima di soglia (threshold pressure), alla quale il gas inizia a spiazzare l'acqua che satura le argille di copertura – pur senza creare ancora vie di flusso attraverso di essa – di fatto il gas non può defluire verso la superficie. I fenomeni di diffusione, presenti naturalmente, non comportano alcuna migrazione di gas degna di rilievo; infatti i risultati degli scenari analizzati evidenziano come l'entità del volume di gas che potrebbe essere perso in 200 anni risulta inferiore allo 0.00015% del volume di gas inizialmente in posto nel giacimento, ovvero è assolutamente trascurabile.

2. Flusso di lavoro

Dal punto di vista del giacimento la procedura per stabilire il valore massimo di sovrappressione applicabile in uno stoccaggio sotterraneo del gas naturale prevede un'accurata fase di analisi mediante:



- Studio geologico-strutturale e stratigrafico di giacimento
- Modellizzazione geologica 3D a grande scala del volume di roccia sotterranea comprendente il giacimento, la sequenza stratigrafica sovrastante e le formazioni attorno e al di sotto del giacimento in base a dati sismici 3D e a dati di pozzo
- Modellizzazione geologica 3D di dettaglio a scala di giacimento in base a dati sismici 3D e a dati di pozzo;
- Studio del giacimento mediante analisi dei dati di produzione, di stoccaggio e di pressione;
- Modellizzazione fluido-dinamica 3D del giacimento, ed eventualmente dell'acquifero che lo delimita, tramite simulatore numerico;
- Analisi su carote e definizione dei parametri geomeccanici in situ ed in laboratorio durante e dopo la perforazione di un pozzo geognostico;
- Verifica delle pressioni capillari di soglia (*threshold pressure*) relative alle argille di copertura mediante analisi di laboratorio;
- Studio e modellizzazione geomeccanica 3D per la simulazione del comportamento tenso-deformativo della roccia serbatoio, della roccia di copertura e delle formazioni geologiche nell'intorno del giacimento.

3. Modello geologico

Il modello geologico utilizzato è di tipo tridimensionale.

Il giacimento di Fiume Treste è costituito da livelli sabbiosi che appartengono alla Formazione Candela-Torrente Tona, composta da un'alternanza di livelli argillosi e di corpi sabbiosi, talora anche conglomeratici, depositisi durante il Pliocene medio ed il Pliocene superiore. In particolare la successione, partendo dal basso (in senso stratigrafico), è costituita da:

- Pool BCC1 (esercizio a $P=P_i$);
- Pool C2 (attualmente a $P=P_i$ e di cui STOGIT richiede l'esercizio in sovrappressione fino a $P=110\% P_i$);
- Pool DEE0 (esercizio $P=P_i$).

Il livello F è posto in posizione stratigrafica soprastante ai precedenti, al *top* del volume di stoccaggio in concessione Stogit.

Tutti i *pool* di stoccaggio sono fra loro separati dal punto di vista geologico e idraulico, in virtù dell'interposizione di livelli impermeabili di natura argillosa, con spessori di alcune



decine di metri e continuità laterale su tutto il giacimento. I singoli *pool* presentano pertanto regimi di pressione e contatti gas-acqua differenziati. In particolare, il Livello C2 ed il Livello F risultano separati dinamicamente in quanto caratterizzati da:

- una diversa pressione iniziale (128,96 barsa o 131,5 kg/cm²_a al *datum* di 1.067 m l.m. per il livello C2; 114,7 barsa o 116,96 kg/cm²_a al *datum* di 931 m.l.m. per il livello F);
- un diverso contatto gas-acqua (1.127 m.l.m. per il livello C2 e 930 m.l.m. per il livello F).

Ad ulteriore conferma della separazione idraulica, sono stati confrontati il profilo statico misurato nel Livello F in data 21/4/2010 durante la perforazione del pozzo Cupello 35 con il corrispondente valore di pressione statica del Livello C2, calcolato a partire dalle misure di profili statici effettuate in data 16/3/2010 al termine della campagna erogativa. A tale data nel livello C2 è stata misurata una pressione media di 87,57 barsa (89,3 kg/cm²_a), mentre la pressione statica misurata nel Livello F in data 21/4/2010 risultava pari a 68,16 barsa (69,5 kg/cm²_a).

In aggiunta, tra il Livello C2 ed il Livello F sono interposti i livelli costituenti il Pool DEE0, separati dal sottostante Livello C2 e dal soprastante Livello F rispettivamente da circa da 25 e 50 metri di argille. Inoltre, i singoli *pool* di stoccaggio interessano porzioni di giacimento arealmente differenti, come evidenziato nella fig.3. Il livello C2, interessato all'attività di stoccaggio dal 1982, si sviluppa nel settore sud-orientale del campo, mentre nell'area nord-occidentale lo stesso livello risulta poco sviluppato, per lo più argillificato e non in comunicazione idraulica con la porzione dello stesso livello presente nel settore sud-orientale. Poiché il Livello F si estende nel settore nord-occidentale, è di fatto esclusa la possibilità di interferenza con il Livello C2 (Fig. 1).

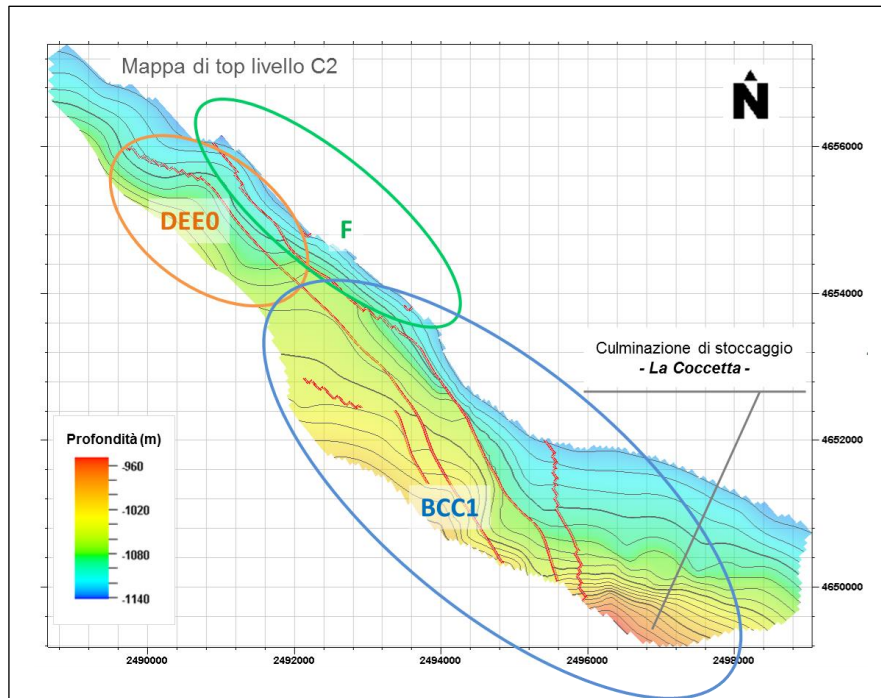


Fig. 1 Mappa di top del livello C2 e distribuzione areale dei *pool* di stoccaggio

4. Modello fluido-dinamico

Il modello fluido-dinamico, anch'esso tridimensionale, descrive il flusso multifase gas-acqua nel livello di stoccaggio, costituito da rocce porose permeabili con limitato grado di eterogeneità, sia a pressione originaria sia in sovrappressione. Si precisa inoltre che nel caso del livello di stoccaggio C2 del campo di Fiume Treste né le rocce serbatoio né le rocce di copertura sono di tipo fratturato.

Si fa presente che il modello dinamico utilizzato, commercializzato dalla principale società di servizi per il settore petrolifero al mondo, è in grado di descrivere il movimento dei fluidi e la distribuzione delle pressioni in giacimento in base alle equazioni fluido-dinamiche della letteratura tecnica di riferimento. La natura poli-componente di qualsiasi miscela di idrocarburi è tenuta in conto mediante l'assegnazione dei parametri PVT al modello fluido-dinamico del giacimento; peraltro nel caso dello stoccaggio del gas naturale si tratta di una miscela con contenuto di metano di gran lunga prevalente rispetto alle altre componenti (etano e propano) e con bassissime percentuali di azoto e anidride carbonica (altre componenti sono presenti in tracce). Tale miscela non è reattiva rispetto alle rocce serbatoio e alle rocce di copertura. Inoltre, nel mondo petrolifero i giacimenti in produzione primaria, così come gli stoccaggi sotterranei del gas naturale,



sono considerati sistemi isotermi (ad eccezione dei giacimenti ad olio pesante in cui vengono applicati processi termici per Enhanced Oil Recovery). Tuttavia, nel caso dello stoccaggio del gas naturale è possibile che i ripetuti cicli di erogazione/iniezione del gas nel corso di decenni comportino un raffreddamento dell'ordine di qualche grado centigrado: il leggero raffreddamento della struttura ha un impatto sul comportamento PVT del gas e questo aspetto viene tenuto in conto modificando opportunamente il fattore di volume del gas, che dipende dalla temperatura.

Il modello dinamico viene di prassi calibrato in base ai dati storici di produzione del gas in fase primaria e in base ai dati storici di iniezione ed erogazione del gas in fase di stoccaggio attraverso il confronto tra i dati di pressione statica simulata e i dati di pressione statica misurati in corrispondenza dei pozzi di stoccaggio e, eventualmente, dei pozzi di monitoraggio. La taratura del modello fluido-dinamico del livello C2 del campo di Fiume Treste è ritenuta affidabile in quanto il modello stesso consente di riprodurre con buona approssimazione tutti i dati storici di produzione del giacimento disponibili sin dalla data di scoperta del livello. In particolare il modello onora in modo soddisfacente i dati di pressione statica di fondo pozzo misurati durante tutta la vita del giacimento, i valori di pressione dinamica misurati a testa pozzo, i volumi movimentati e la produzione di acqua dai singoli pozzi. A titolo di esempio, nelle fig. 2 e 3 si riportano l'andamento della pressione statica simulata e dei dati di pressione statica misurati rispettivamente per il pozzo San Salvo 5 e per il pozzo San Salvo 40D. La sovrapposizione dei dati di pressione simulati e dei dati storici indica che il modello è stato ben calibrato.

Come da prassi consolidata nel settore petrolifero, il modello calibrato è stato successivamente impiegato per definire in via previsionale i volumi di gas da iniettare ed erogare e le corrispondenti pressioni massime e minime nell'ipotesi che la massima pressione statica raggiungesse rispettivamente la pressione iniziale P_i e il 110% della pressione iniziale. Nel caso dello scenario di esercizio in sovrappressione al 110% della pressione iniziale la simulazione dinamica 3D ha permesso di valutare un incremento del volume di *Working Gas* pari a $200 \cdot 10^6$ Smc (Politecnico di Torino-Stogit. "Campo di San Salvo Concessione Fiume Treste – Livello C2 – Aggiornamento delle produzioni, delle pressioni statiche e degli scenari previsionali", settembre 2017).

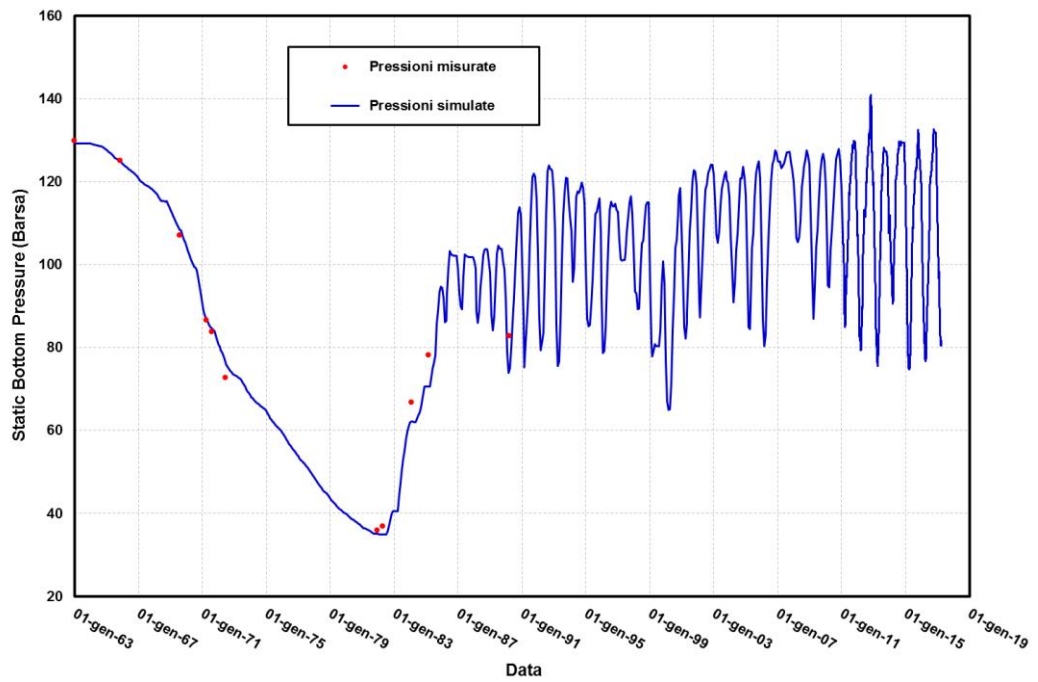


Fig. 2 Confronto tra l'andamento della pressione statica simulata e i dati di pressione statica misurati per il pozzo San Salvo 5

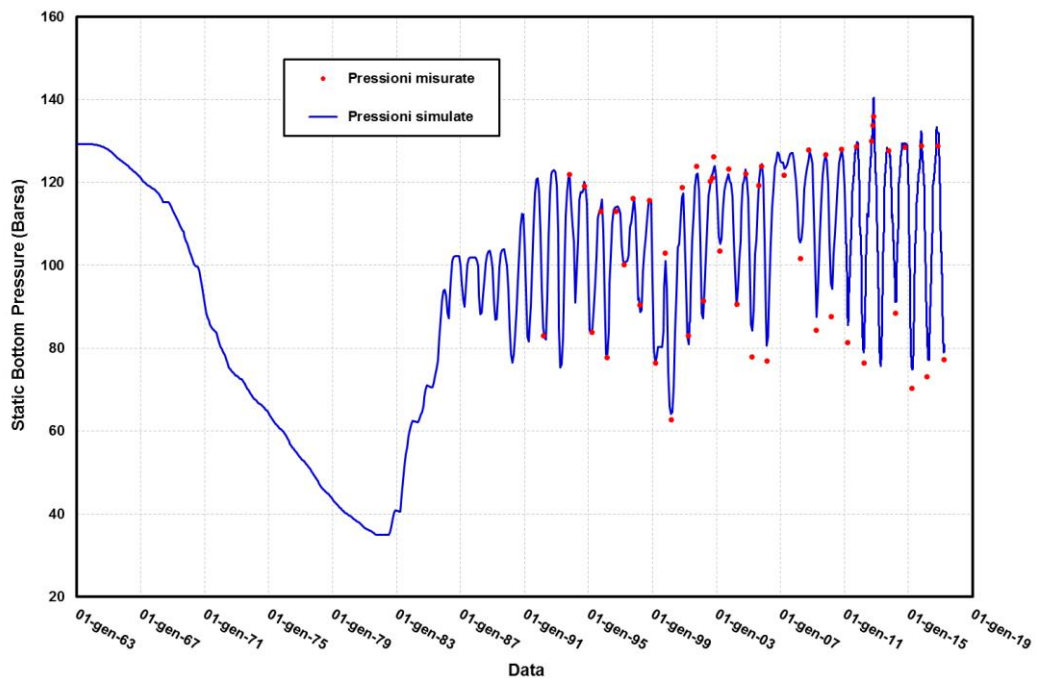


Fig. 3 Confronto tra l'andamento della pressione statica simulata e i dati di pressione statica misurati per il pozzo San Salvo 40D

L'assenza di migrazione del gas verso la superficie è garantita dalla presenza delle argille di copertura, di fatto impermeabili al gas e in grado di confinare il gas stesso nel giacimento per milioni di anni alla pressione originaria della formazione. Poiché, inoltre, anche durante i brevi periodi in sovrappressione in nessun caso si prevede di superare la pressione minima di soglia (*threshold pressure*), alla quale il gas inizia a spiazzare l'acqua che satura le argille di copertura – pur senza creare ancora vie di flusso attraverso di essa – di fatto il gas non può defluire verso la superficie. Infine i fenomeni di diffusione, presenti naturalmente, non comportano alcuna migrazione di gas degna di rilievo.

5. Perdite fisiologiche di gas attraverso la copertura

La dispersione idrodinamica, che determina la propagazione di una portata di massa di soluto per unità di superficie sia nella direzione del flusso sia nelle direzioni ad esso trasversali, comprende i fenomeni di dispersione cinematica e quelli di diffusione molecolare.

In considerazione dei bassissimi valori di permeabilità che tipicamente competono alle argille di copertura dei giacimenti (dell'ordine di 10^{-6} mD o inferiori) e inoltre della presenza di una pressione capillare di soglia (in base a misure di laboratorio su campioni prelevati dalla copertura del giacimento di Fiume Treste compresa tra 40 e 60 bar), al di sotto della quale il gas non può infiltrarsi nelle argille già sature di acqua, attraverso la roccia di copertura non si verifica flusso di gas. Di conseguenza, la dispersione cinematica, dovuta alla tortuosità del percorso del liquido attraverso il mezzo poroso, è nulla. Per la valutazione dei fenomeni diffusivi che potrebbero eventualmente causare perdite di gas dal giacimento attraverso la roccia di copertura è stato invece sviluppato uno studio apposito (“Studio dei fenomeni diffusivi attraverso le rocce di copertura dei giacimenti adibiti a stoccaggio sotterraneo del gas naturale” - Politecnico di Torino, Dicembre 2017).

Lo studio è stato eseguito attraverso la generazione di un modello numerico fluidodinamico sintetico, comprendente un livello poroso saturo in gas (giacimento), un livello impermeabile di natura argillosa saturo in acqua sovrastante il giacimento (roccia di copertura) e un ulteriore livello poroso saturo in acqua al di sopra della roccia di copertura (livello di monitoraggio), che ha consentito di simulare i fenomeni di diffusione molecolare del gas. Il modello numerico è stato impiegato per effettuare simulazioni ad una scala temporale geologica (circa 2.5 milioni di anni) in modo da valutare l'evoluzione dei

fenomeni diffusivi su un arco temporale compatibile con la formazione dei giacimenti, mentre i risultati di dettaglio in termini di potenziali migrazioni di gas attraverso la roccia di copertura sono stati valutati per un intervallo temporale molto più limitato (200 anni), confrontabile con la scala temporale delle attività antropiche anche future di sfruttamento dei giacimenti di idrocarburi ad uso stoccaggio sotterraneo del gas naturale. Oltre a variare lo spessore e la porosità della roccia di copertura (la permeabilità – coerentemente con quanto precedentemente riportato - è stata posta pari a zero) le simulazioni sono state condotte adottando un coefficiente di diffusione molecolare compreso tra 10^{-9} e 10^{-5} m²/giorno.

I risultati delle simulazioni mostrano che un coefficiente di diffusione molecolare del gas dell'ordine di 10^{-5} m²/giorno non può essere considerato realistico in quanto le simulazioni a scala temporale geologica evidenziano che una diffusione di tale entità provocherebbe una riduzione importante della pressione originaria del giacimento, ovvero la pressione scenderebbe al di sotto del valore idrostatico a cui invece tipicamente è rinvenuto il gas. Sulla base di tali considerazioni si ritiene che valori ragionevoli del coefficiente di diffusione debbano essere pari o inferiore a 10^{-6} m²/giorno. In questo caso, anche nell'ipotesi conservativa di spessore della roccia di copertura pari a un solo metro, l'entità del volume di gas che potrebbe essere perso in 200 anni risulta inferiore allo 0.00015% del volume di gas inizialmente in posto nel giacimento ovvero assolutamente trascurabile.

6. Sperimentazione a $P > P_i$

Per confermare l'attendibilità del modello in fase previsionale è buona norma procedere ad una prova sperimentale sino al valore di pressione autorizzato. Una volta eseguita la prova sperimentale, si procede ad un'accurata analisi dei risultati della sperimentazione stessa. In particolare si analizzano i monitoraggi eseguiti durante e dopo la sperimentazione, ovvero dell'andamento della pressione di fondo pozzo (registrato in continuo in corrispondenza di alcuni pozzi chiave), dell'andamento della pressione di testa pozzo registrato in continuo in corrispondenza di tutti i pozzi dello stoccaggio, delle variazioni di saturazione in gas mediante log RST in corrispondenza di alcuni pozzi chiave. Si procede poi alla verifica della corrispondenza tra il comportamento dinamico atteso in base alla modellizzazione dinamica 3D dello stoccaggio (risultati delle simulazioni previsionali effettuate prima della sperimentazione) e il comportamento realmente osservato in termini di pressione e di volumi.



Durante la sperimentazione in regime di sovrappressione, condotta durante il ciclo di iniezione 2012/2013, si è raggiunto un valore di pressione statica in giacimento a fine campagna di 135,82 barsa, corrispondente al 105,4% della pressione originaria, a fronte di un volume iniettato addizionale (in condizioni di sovrappressione) pari a $130 \cdot 10^6$ Smc. Il valore massimo di pressione raggiunto in condizioni dinamiche in giacimento è stato di 137,06 barsa ($139,7 \text{ kg/cm}^2_a$), misurato al pozzo San Salvo 83 in data 28 ottobre 2012. L'analisi dei dati di pressione registrati in continuo, opportunamente distribuiti per monitorare l'intero volume del giacimento, mostra che le pressioni risultano sostanzialmente uniformi in tutto il livello.

Non è stato possibile raggiungere il volume di progetto previsto e autorizzato per la fase di sperimentazione, pari a $200 \cdot 10^6$ Smc al raggiungimento del 110% della P_i , esclusivamente a causa del mancato approvvigionamento del gas dai clienti.

I risultati del test realizzato confermano l'andamento previsionale antecedente la sperimentazione e dunque consentono di confermare la fattibilità dei volumi previsionali del progetto alla pressione del 110% della P_i .

In merito all'affidabilità dei risultati ottenuti dalla sperimentazione, nella fig. 4 si riporta il confronto tra l'andamento dei valori di pressione al fondo misurati in corrispondenza dei pozzi chiave di monitoraggio (la cui ubicazione è riportata nella fig. 5) con i dati ottenuti dal modello dinamico in fase previsionale. Il grafico evidenzia una buona sovrapposizione tra i dati misurati e quelli da modello, a conferma della validità dei dati simulati. Pertanto sulla base dei riscontri ottenuti a valle della sperimentazione non si ravvisano criticità del modello dinamico tali da metterne in discussione la capacità previsionale e dunque la possibilità di impiegarlo come strumento attendibile per la simulazione del comportamento dinamico dello stoccaggio anche a pressioni pari al 110% della P_i .

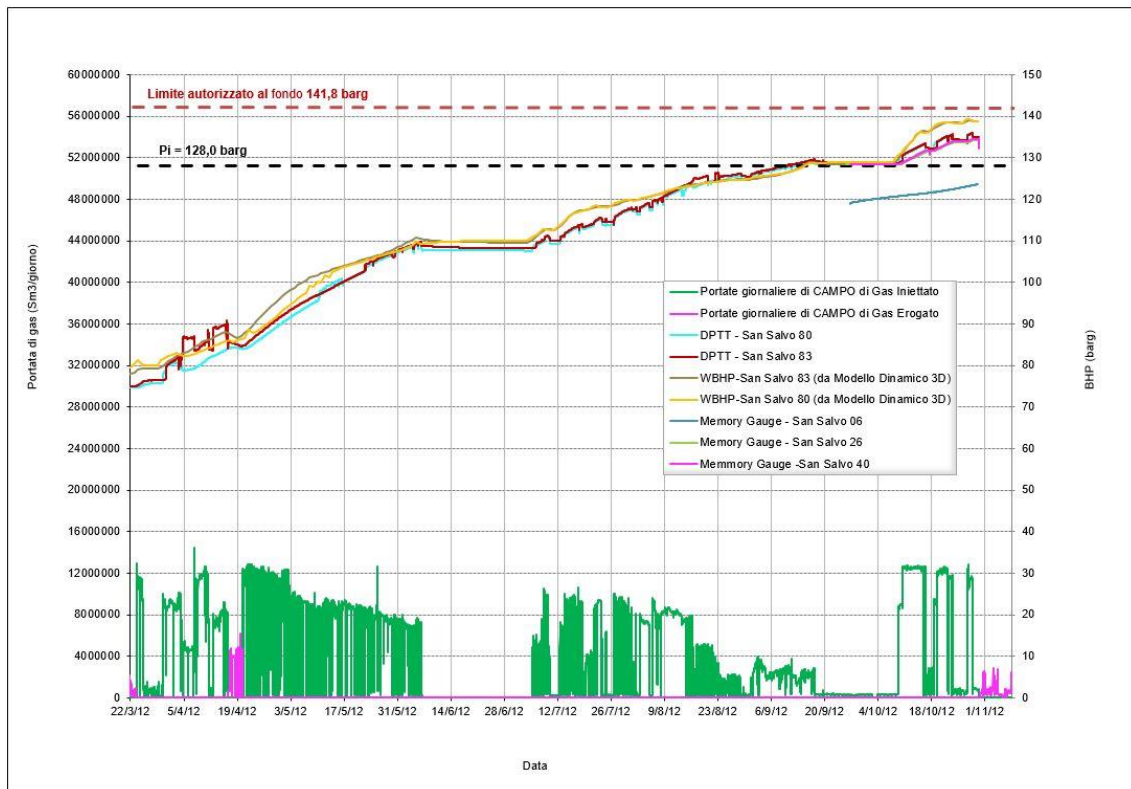


Fig. 4 Andamento dei valori di pressione al fondo misurati e simulati in corrispondenza dei pozzi utilizzati per il monitoraggio in continuo

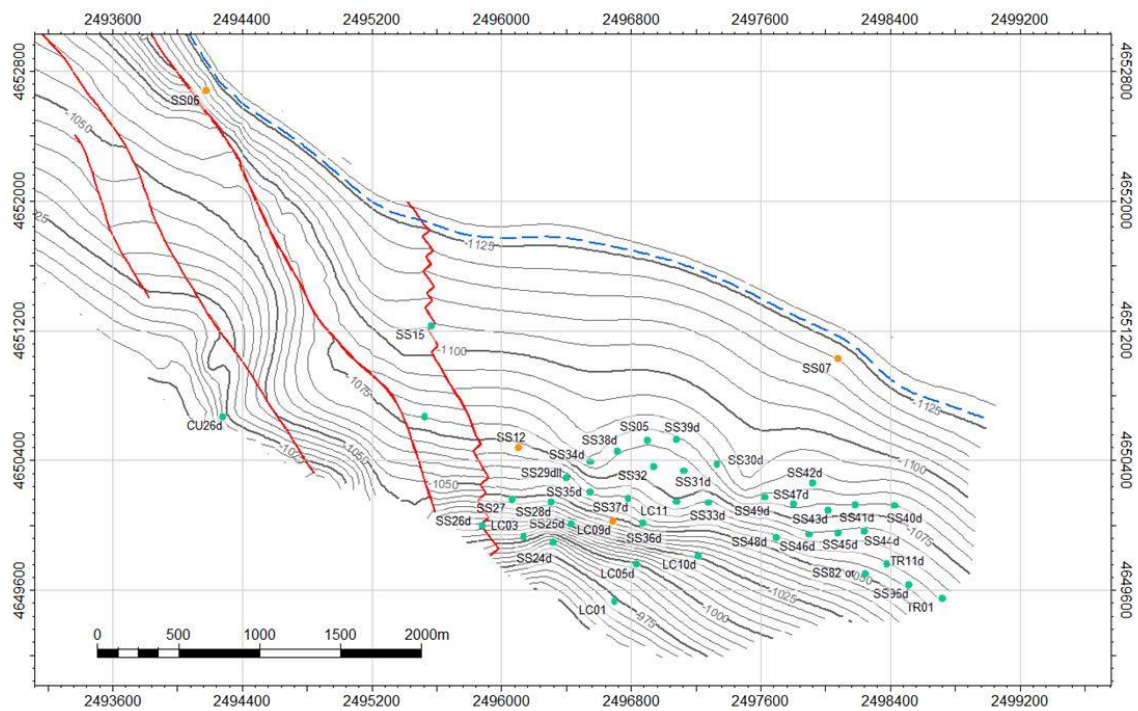


Fig. 5 Ubicazione dei pozzi di stoccaggio e di monitoraggio (in verde) e dei pozzi spia (in arancione).

7. Modello geomeccanico

Un ulteriore aspetto da tenere in considerazione è lo studio e la modellizzazione geomeccanica del comportamento tenso-deformativo della roccia serbatoio, della roccia di copertura e delle formazioni geologiche nell'intorno del giacimento a scala regionale nonché la valutazione delle eventuali variazioni tensionali prodotte dall'attività di stoccaggio sulle faglie.

A questo scopo è stato predisposto un modello geomeccanico, anch'esso 3D, che si basa sul modello geologico esteso. Tale modello comprende tutte le faglie principali individuate dall'interpretazione dei dati acquisiti mediante rilievi geofisici a riflessione ed è stato utilizzato per simulare le condizioni di pressione a fine produzione primaria, di stoccaggio a $P = P_i$ e di stoccaggio in sovrappressione a $P = 110\% P_i$ (fig. 6).

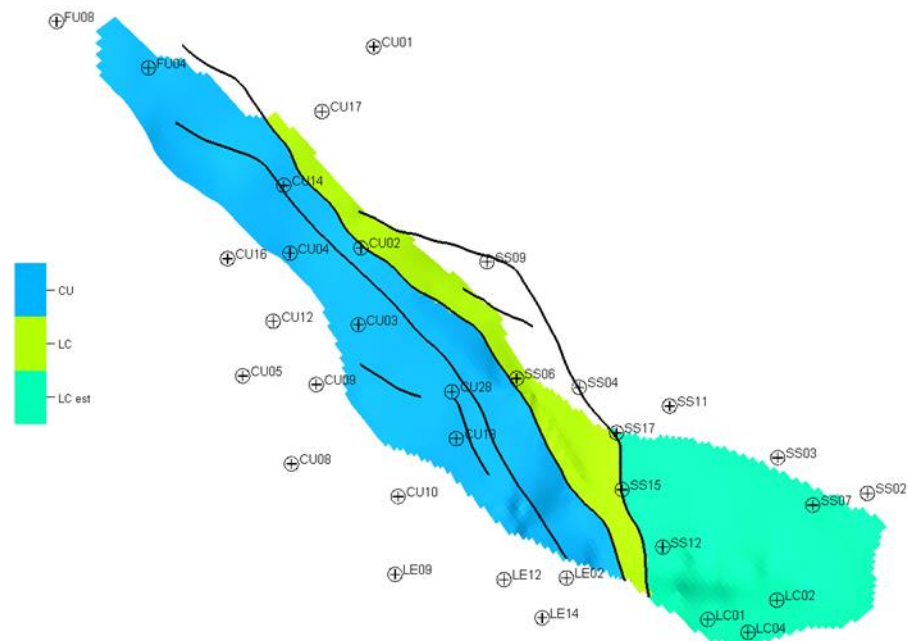


Fig. 6 Traccia delle faglie in corrispondenza del livello C2.

La sperimentazione di laboratorio su campioni di argille prelevati dalla copertura è stata finalizzata alla misura dei parametri di deformabilità (modulo elastico, coefficiente di Poisson) e di resistenza (angolo di attrito e coesione). Inoltre è stato realizzato un MDT *Stress Test* (prova di campo) che ha fornito lo stress principale minimo. I valori ottenuti dalle prove di laboratorio e di campo sono stati utilizzati per caratterizzare le argille di copertura e popolare il modello geomeccanico.

L'analisi tenso-deformativa effettuata con il modello geomeccanico ha dimostrato che, in tutte le condizioni tensionali esaminate, le rocce serbatoio così come le rocce di

copertura presentano un comportamento deformativo elastico e che sussistono sempre condizioni di sicurezza evidenziate da valori di *failure* (descrivibile come la minima distanza dalla superficie di plasticità definita con il criterio di Mohr-Coulomb) sempre ampiamente negativi e quindi lontani dalle condizioni di rottura.

Inoltre i risultati delle simulazioni non hanno evidenziato alcuna criticità in relazione alla possibilità che l'esercizio allo stoccaggio potesse comportare la riattivazione delle faglie principali esistenti. Per quanto riguarda le faglie secondarie che non comportano separazione idraulica del giacimento, esse non rappresentano punti di debolezza in quanto non soggette a stress differenziali.

8. Monitoraggio dei movimenti del suolo

Tra le varie misure che vengono regolarmente effettuate in base al piano di monitoraggio messo a punto per il controllo del giacimento, è compreso il monitoraggio dei movimenti del suolo (interferometria PS Radar). L'interpretazione dei dati Radarsat con la tecnica dei Permanent Scatterers (PS) consente di ottenere informazioni di estrema precisione sui movimenti plano-altimetrici del suolo. Per ogni singolo PS si ricavano la posizione (coordinate geografiche e altitudine), il trend medio di deformazione (calcolato come interpolazione lineare dello spostamento misurato nell'intero periodo di monitoraggio) e l'intera serie temporale di deformazione. Per ricavare i tassi di deformazione media verticale vengono utilizzate le informazioni relative alle due geometrie di acquisizione (ascendente e discendente). I valori ottenuti sono di tipo differenziale, dopo aver identificato uno o più punti di riferimento (*reference point*), di coordinate note. Infatti la misurazione è di tipo relativo e comparata ad un punto di riferimento con comportamento geodinamico ritenuto stabile nel tempo.

Per quanto riguarda il monitoraggio dei movimenti del suolo effettuato in corrispondenza del campo di Fiume Treste si esprimono le seguenti considerazioni. Questa indagine viene eseguita con regolarità fin dal 2003 in tutta l'area della concessione di stoccaggio e fornisce un riscontro di grande affidabilità e precisione sui movimenti plano-altimetrici del suolo. La misurazione del piano campagna è di tipo relativo e comparata ad un punto di riferimento con comportamento geodinamico ritenuto stabile nel tempo. I dati finora acquisiti indicano variazioni altimetriche di entità molto contenute, con un lieve fenomeno di sollevamento medio pari a 0,93 mm/anno su tutta l'area della concessione. Gli spostamenti altimetrici dei punti selezionati all'interno della proiezione in superficie del giacimento mostrano una discreta correlazione con la curva dei volumi di gas di



stoccaggio complessivamente movimentati, documentando un comportamento reologico di tipo elastico dell'intero sistema.

Si rammenta che, in base all'Eurocodice del 1997, il parametro da valutare ai fini della stabilità degli edifici non è la variazione plano-altimetrica dell'area su cui sorgono gli edifici stessi, ma i cedimenti differenziali alla scala del singolo edificio; il valore ammissibile della rotazione relativa delle strutture in laterizio (che sono le più vulnerabili) è di 1/300. Altri lavori indicano i cedimenti differenziali massimi ammissibili per il singolo edificio in 20-60 mm, in funzione della tipologia delle fondazioni e della natura dei terreni. Pertanto le variazioni plano-altimetriche rilevate alla scala dell'area della concessione che comprende il giacimento hanno effetti del tutto trascurabili sulle strutture antropiche. Inoltre, si ritiene che l'eventuale esercizio futuro del Livello C2 in regime di sovrappressione a $P=110\% P_i$ non comporti significative variazioni nel *trend* medio di variazioni plano-altimetriche dell'area.