



**petroleum  
engineering  
group**



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

## **CAMPO DI RIPALTA**

***POOL A***

**Relazione tecnica  
in ottemperanza alla Prescrizione A4)  
di cui al D.M. n.0000089 del 07/04/2017**

**Dicembre 2017**



## 1. Premessa

La presente nota è stata predisposta al fine di ottemperare alla prescrizione A.4 di cui al D.M. n.0000089 del 07/04/2017 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 Ripalta - Pool A 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 (Pool A) 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 Pool A 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;

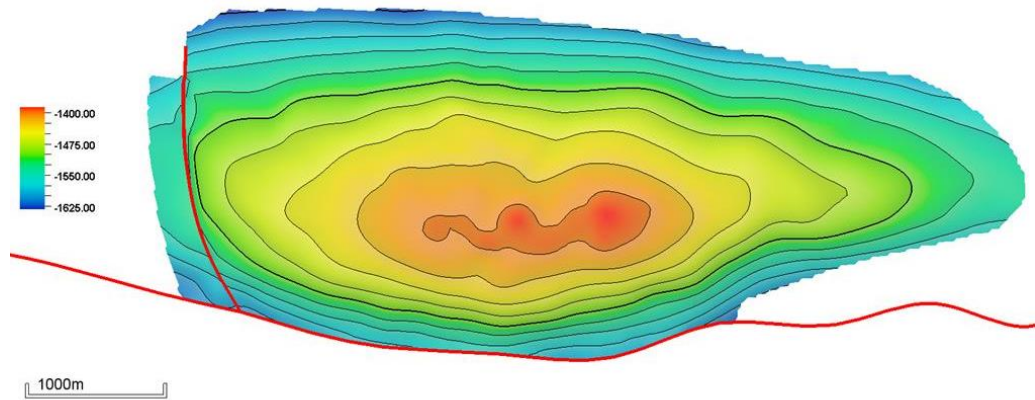
- Modellizzazione geologica 3D a grande scala del volume di roccia sotterranea comprendente il giacimento, la sequenza stratigrafica sovrastante e le formazioni attorno e al di sotto del giacimento in base a dati sismici 3D e a dati di pozzo;
- Modellizzazione geologica 3D di dettaglio a scala di giacimento 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 del campo è di tipo tridimensionale.

Strutturalmente il giacimento di Ripalta è costituito da un'anticlinale ad asse est-ovest e vergenza meridionale delimitata a sud da una faglia regionale (fig. 1). Sulla base delle informazioni fornite dall'interpretazione sismica, è stata riconosciuta all'interno del giacimento una faglia normale a direzione nord-sud, ubicata a ovest della zona di culmine.

Quest'ultimo risulta internamente suddiviso nei livelli sabbioso-siltosi denominati A1 e A2, separati da un setto argilloso di spessore relativamente modesto (3-5 m) e continuo per tutta l'estensione del campo. I due livelli, in origine idraulicamente separati, sono stati messi in comunicazione attraverso i pozzi. Dal punto di vista geologico i depositi di cui è composto il Pool A appartengono alla formazione delle Sabbie di Caviaga (Pliocene inf.), mentre la *cap rock*, costituita da un intervallo argilloso con locali intercalazioni sabbione spesso circa 560 m, appartiene alle sovrastanti Argille del Santerno (Pliocene med.-sup.). Gli spessori medi dei livelli mineralizzati a gas sono di circa 30 m per il livello A1, 40 m per il livello A2.



**Fig. 1 Mappa di top del Pool A**

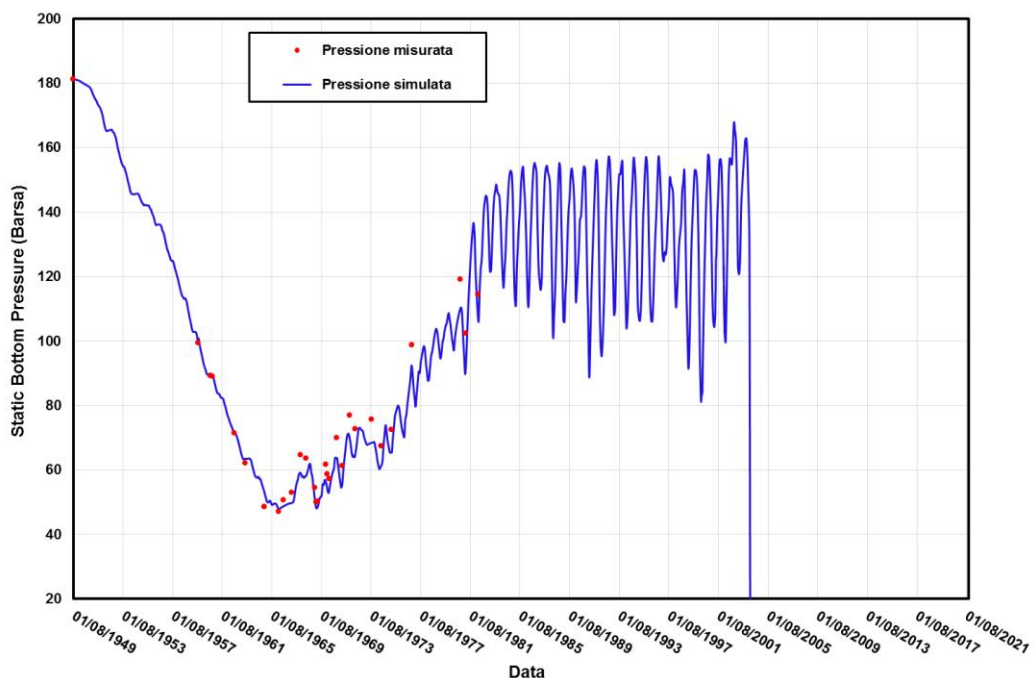
#### **4. Modello fluido-dinamico**

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 A di stoccaggio del campo di Ripalta né le rocce serbatoio né le rocce di copertura sono di tipo fratturato.

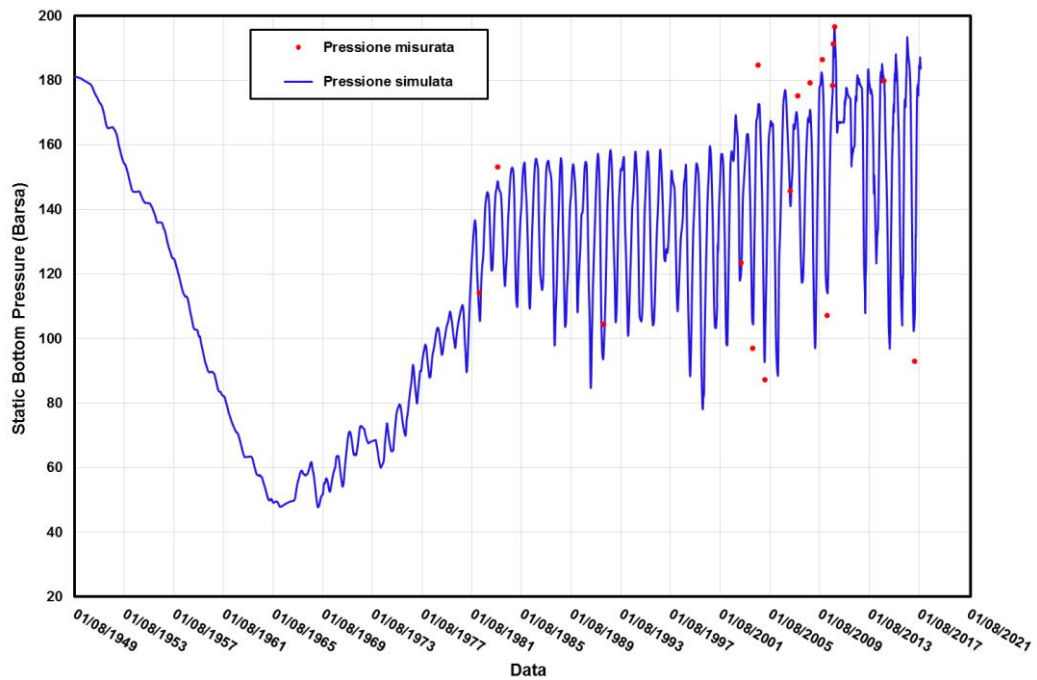
Si fa presente che il modello dinamico utilizzato, commercializzato dalla principale società di servizi per il settore petrolifero al mondo, è in grado di descrivere il movimento dei fluidi e la distribuzione delle pressioni in giacimento in base alle equazioni fluido-dinamiche della letteratura tecnica 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 A del campo di Ripalta 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 Ripalta 5 e per il pozzo Ripalta 35D. La sovrapposizione dei dati di pressione simulati e dei dati storici indica che il modello è stato ben calibrato.



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



**Fig. 3 Confronto tra l'andamento della pressione statica simulata e i dati di pressione statica misurati per il pozzo Ripalta 35D**

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  $P_i$ , il 110% della  $P_i$  e il 120% della  $P_i$ . 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  $340 \cdot 10^6$  Smc, mentre nel caso di sovrappressione pari al 120% della pressione iniziale l'incremento di *Working Gas* risulta pari a  $550 \cdot 10^6$  Smc (Politecnico di Torino-Stogit. "Campo di Ripalta – Analisi del comportamento dinamico del sistema, ottimizzazione della gestione operativa e calcolo delle riserve e cushion gas – MODELLO DINAMICO", settembre 2012").

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 delle Argille del Santerno generalmente compresa tra 45 e 70 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  $10^{-5}$  m<sup>2</sup>/giorno.

I risultati delle simulazioni mostrano che un coefficiente di diffusione molecolare del gas dell'ordine di  $10^{-5}$  m<sup>2</sup>/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  $10^{-6}$  m<sup>2</sup>/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.

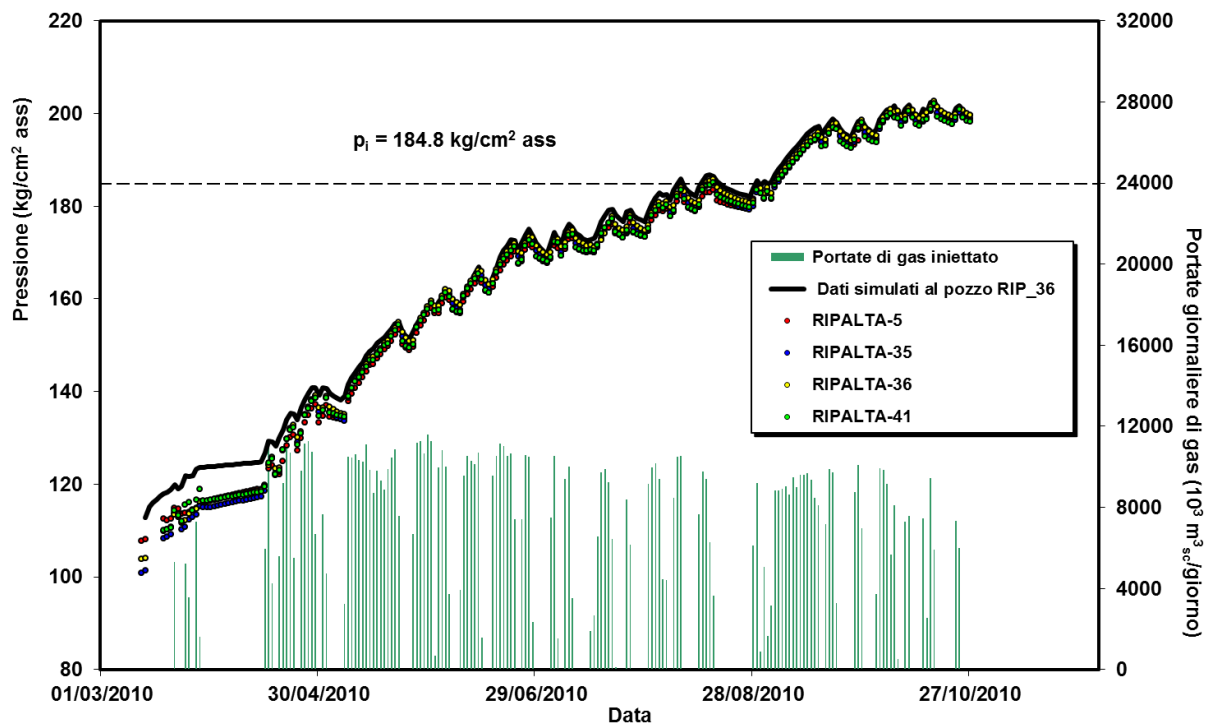
Durante la sperimentazione in regime di sovrappressione, condotta durante il ciclo di iniezione 2010/2011, si è raggiunto un valore di pressione statica in giacimento a fine campagna di 196,2 barsa, corrispondente al 108,2% della pressione originaria, a fronte di un volume iniettato addizionale (in condizioni di sovrappressione) pari a  $300 \cdot 10^6$  Smc. Il valore massimo di pressione raggiunto in condizioni dinamiche in giacimento è stato di 198,81 barsa ( $202,74 \text{ kg/cm}^2_a$ ), misurato al pozzo Ripalta 36 in data 17 ottobre 2010. L'analisi dei dati di pressione registrati in continuo, opportunamente distribuiti per



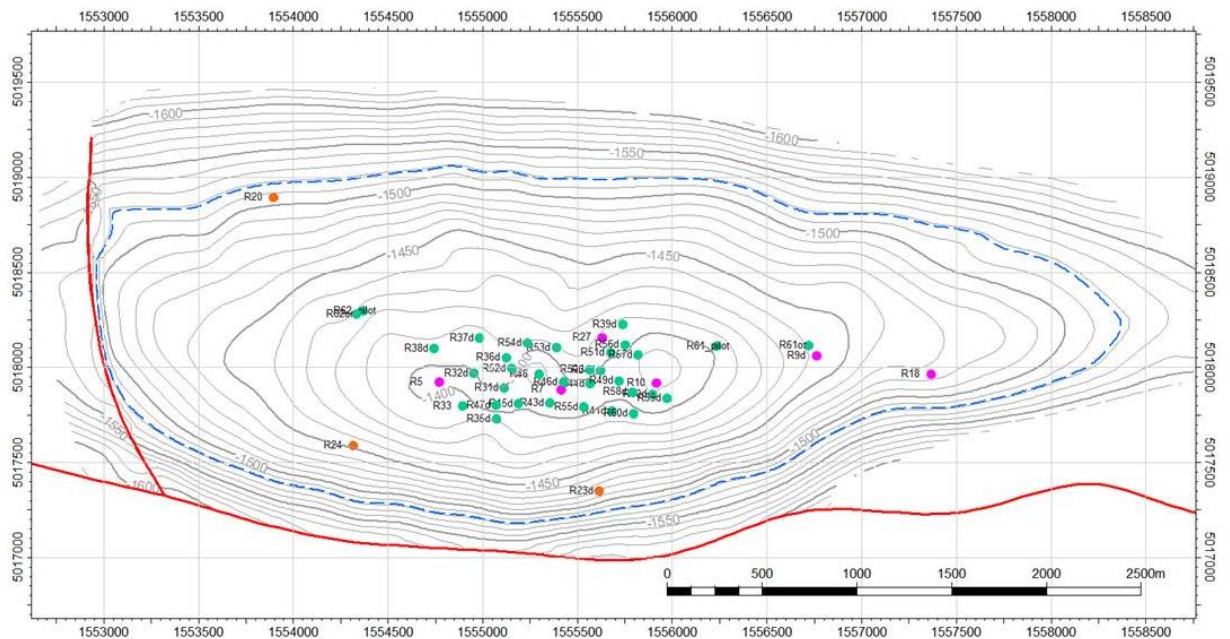
monitorare l'intero volume del giacimento, mostra che le pressioni risultano sostanzialmente uniformi in tutto il livello. Non è stato possibile raggiungere il volume di progetto previsto e autorizzato per la fase di sperimentazione, pari a  $340 \cdot 10^6$  Smc al raggiungimento del 110% della  $P_i$ , 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  $P_i$  o superiori.



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

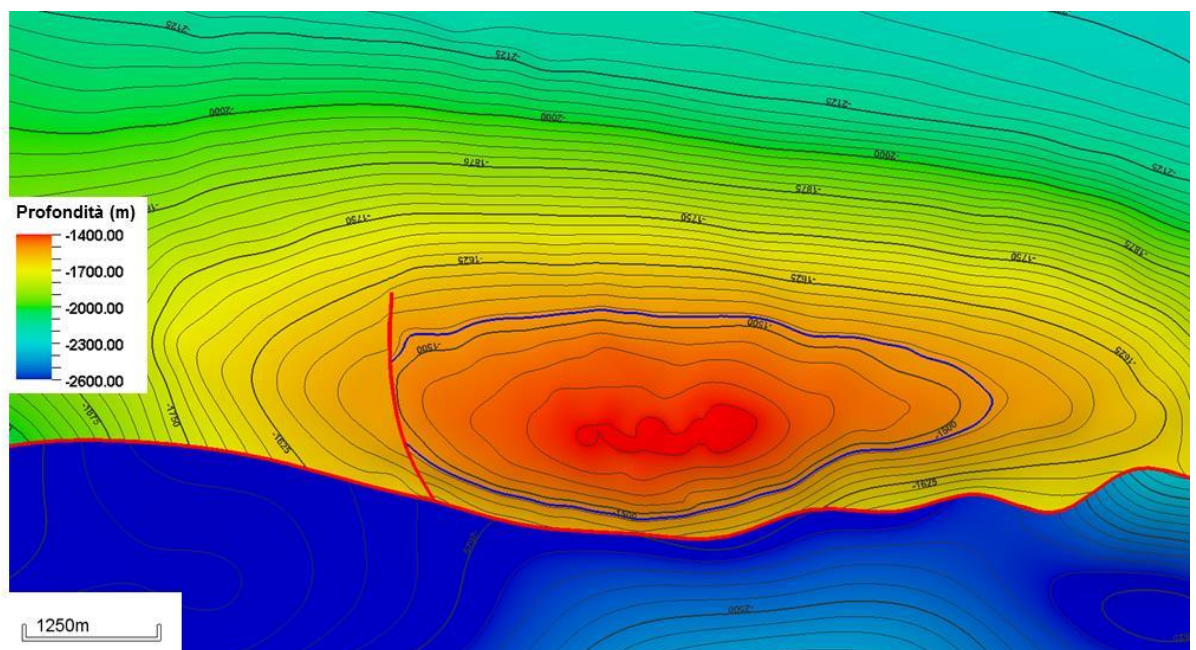


**Fig. 5** Ubicazione dei pozzi di stoccaggio (in verde), di monitoraggio (in viola) e dei pozzi spia (in arancione)

## 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  $P = 110\% P_i$  o a  $P = 120\% P_i$  (fig. 6).



**Fig. 6** Traccia delle faglie in corrispondenza del Pool A.

La sperimentazione di laboratorio su campioni prelevati dalle argille di copertura è stata finalizzata alla misura dei parametri di deformabilità (modulo di Young) e di resistenza (angolo di attrito e coesione). I parametri di resistenza della roccia di giacimento sono stati invece desunti dai risultati ottenuti dalle prove di laboratorio condotte sulle carote del giacimento di Bordolano-Pool B, in virtù della forte analogia con il Livello A.

I valori ottenuti dalle prove di laboratorio sono stati utilizzati per caratterizzare le formazioni oggetto di indagine 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 della faglia che delimita il giacimento a sud. La faglia secondaria a est del giacimento non comporta separazione idraulica e pertanto non è soggetta a stress differenziali; essa quindi non rappresenta un potenziale punto di debolezza.

## **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 Ripalta 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 lievissimo fenomeno di sollevamento medio pari a 0,38 mm/anno su tutta l'area della concessione;

locali fenomeni di subsidenza a sud-ovest dell'area di monitoraggio e di fenomeni deformativi a carattere stagionale nella componente verticale a nord-est dell'area di monitoraggio non sono riconducibili alle attività di stoccaggio. Gli spostamenti altimetrici del punto di monitoraggio ubicato in corrispondenza del centro della proiezione in superficie del giacimento mostrano una buona correlazione con la curva dei volumi di gas di stoccaggio complessivamente movimentati, documentando un comportamento reologico del sistema di tipo elastico; tale correlazione risulta evidente meno in corrispondenza degli altri 2 punti di monitoraggio, ubicati in zone più marginali al limite della proiezione in superficie del giacimento ed è del tutto assente in corrispondenza dei punti di monitoraggio esterni all'area della proiezione in superficie del giacimento.

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 A in regime di sovrappressione a  $P=110\% P_i$  o a  $P=120\% P_i$  non comporti significative variazioni nel *trend* medio di variazioni plano-altimetriche dell'area.