

	Sede Operativa di Crema GIAC - Giacimenti
---	---

CONCESSIONE MINERBIO STOCCAGGIO

PROGETTO P>Pi

TECNICHE E PROGRAMMA DI MONITORAGGIO

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

INDICE

INTRODUZIONE

Monitoraggio di base

- 1 - MISURE DI PRESSIONE E DI SATURAZIONE GAS-ACQUA**
- 2 - MONITORAGGIO ALTIMETRICO CON INTERPRETAZIONE IMMAGINI DA SATELLITE**
- 3 - MONITORAGGIO MICROSISMICO DI SUPERFICIE**

Monitoraggio avanzato

- 4 - MONITORAGGIO SISTEMA POZZI**
- 5 - MONITORAGGIO GEOCHIMICO-AMBIENTALE**
- 6 - MONITORAGGIO MICROSISMICO E GEODETICO DI POZZO**

INTRODUZIONE

L'esercizio dei giacimenti di stoccaggio in condizioni di sovrappressione, prassi già consolidata a livello internazionale, è considerata 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 dell'attività di stoccaggio il giacimento di Minerbio, oggetto di una serie di studi mirati ad acquisire conoscenze dettagliate degli aspetti geologici e dinamici, è stato individuato fra quelli potenzialmente idonei per la realizzazione di un progetto di superamento della pressione originaria ($P > P_i$).

Il progetto, che prevede anche una serie di interventi operativi intende perseguire un'ottimizzazione della gestione e delle prestazioni in termini di portata di punta ed un ampliamento della capacità di stoccaggio.

Questa nota è stata predisposta con le seguenti finalità:

- illustrare le principali tecniche di monitoraggio applicabili nel giacimento di Minerbio, ritenute in grado di garantire un corretto e sicuro esercizio nell'attività di stoccaggio a $P > P_i$
- proporre un programma di monitoraggio per il controllo di parametri riguardanti sia il giacimento che gli aspetti di carattere ambientale

Le metodologie prese in considerazione, in parte convenzionali e già consolidate, ma anche innovative e ad elevato contenuto tecnologico, 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.

Le attività descritte 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, realizzato sia con interventi di carattere operativo (dati di pozzo) che con analisi e studi di natura geochimica, geomeccanica e geodinamica.

Il programma di monitoraggio, calibrato in base alle principali caratteristiche geologico-strutturali e dinamiche del giacimento e alla massima pressione di esercizio prevista, intende verificare il contenimento del gas all'interno del giacimento di stoccaggio in tutte le condizioni di funzionamento previste.

Il programma operativo messo a punto per l'esercizio del giacimento a $P > P_i$, distinto in una fase di attuazione immediata (**monitoraggio di base**, per $P < 107\%$) e in una successiva e integrativa, a maggiore contenuto tecnologico, in parte sperimentale

(**monitoraggio avanzato**, per $P>107\%$), si avvale delle seguenti metodologie di indagine:

MONITORAGGIO DI BASE

(operatività immediata)

- MISURE DI PRESSIONE E DI SATURAZIONE GAS-ACQUA
- MONITORAGGIO ALTIMETRICO CON INTERPRETAZIONE IMMAGINI DA SATELLITE

Nella concessione di Minerbio è inoltre attiva fin dal 1979 una rete microsismica adibita al

- MONITORAGGIO MICROSISMICO DI SUPERFICIE

MONITORAGGIO AVANZATO

(operatività in parte immediata e in parte a medio termine)

- MONITORAGGIO SISTEMA POZZI
- MONITORAGGIO GEOCHIMICO-AMBIENTALE
- MONITORAGGIO MICROSISMICO E GEODETICO DI POZZO

MONITORAGGIO DI BASE

1 - MISURE DI PRESSIONE E DI SATURAZIONE GAS-ACQUA

Il monitoraggio in continuo dell'andamento delle pressioni di giacimento, vincolo imposto dal disciplinare che regola l'attività di stoccaggio, è considerato un valido strumento di analisi delle dinamiche di migrazione dei fluidi in giacimento, utile anche ai fini della calibrazione della modellistica numerica di reservoir. Esso rappresenta inoltre un supporto indispensabile per le analisi geomeccaniche ed un elemento di integrazione per l'interpretazione del monitoraggio microsismico.

L'attività di monitoraggio deve essere correlata alla pressione di esercizio prevista. Vengono acquisiti con regolarità profili statici della pressione in pozzo, avendo cura di raggiungere preventivamente condizioni stabilizzate. L'iniezione del gas viene periodicamente interrotta per un tempo sufficiente a consentire la rilevazione della pressione media del giacimento.

I controlli sono particolarmente accurati durante il primo ciclo di iniezione, durante il quale si realizzano per la prima volta le condizioni operative di progetto, allo scopo di verificare che il comportamento delle formazioni sia conforme a quello previsto.

Nel giacimento di Minerbio si farà ricorso anche all'utilizzo di sensori remoti a trasmissione elettromagnetica, per il rilevamento della pressione in tempo reale mediante misuratori permanenti alloggiati a fondo pozzo (DPTT wireline).

Il programma operativo è stato attualmente messo a punto fino al raggiungimento del 107% della pressione originaria, pari al limite operativo attuale degli impianti.

Programma

Il programma messo a punto intende acquisire una serie di informazioni finalizzate alla misurazione dell'incremento di pressione e della saturazione in gas-acqua nel livello in alcuni pozzi appositamente predisposti per le operazioni.

Il programma operativo di monitoraggio riguardante le acquisizioni di dati di pressione e di saturazione gas/acqua è suddiviso nelle seguenti fasi:

- fase 1: raggiungimento pressione originaria ($P=P_i$)
- fase 2: raggiungimento + 4% della pressione originaria ($P=104\% P_i$)
- fase 3: raggiungimento + 7% della pressione originaria ($P=107\% P_i$)

I pozzi interessati dalle operazioni (fig. 1) sono i seguenti:

- pozzo Minerbio 21: ubicato in posizione strutturale propizia per il monitoraggio della tavola d'acqua, con acquisizione di log RST
- pozzo Minerbio 83 dir A: dotato di strumentazione per monitoraggio continuo in tempo reale dei valori di pressione di fondo pozzo con attrezzatura DPTT wireline; acquisizione di informazioni di riferimento per la cadenza delle operazioni programmate
- pozzi Minerbio 35 - 50 dir:: monitoraggio dei valori di pressione attraverso la discesa di memory-gauges
- pozzi Minerbio 45 dir – 47 dir – 53 dir – 55 dir – 65 dir – 68 dir – 82 dir: monitoraggio dei valori di pressione con registrazione periodica di profili statici

Il programma operativo prevede le seguenti attività:

Fase 1: P=Pi

- Acquisizione log RST: pozzo Minerbio 21
- Registrazione valori di pressione:
 - pozzo Minerbio 83 dir A (DPTT wireline)
 - pozzi Minerbio 35 – 50 dir (Memory-gauges)
 - pozzi Minerbio 45 dir – 47 dir – 53 dir – 55 dir – 65 dir – 68 dir – 82 dir (registrazione profilo statico)

Fase 2: P= + 4% Pi

- Registrazione valori di pressione:
 - pozzo Minerbio 83 dir A (DPTT wireline)
 - pozzi Minerbio 35 – 50 dir (Memory-gauges)
 - pozzi Minerbio 45 dir – 47 dir – 53 dir – 55 dir – 65 dir – 68 dir – 82 dir (registrazione profilo statico)

Fase 3: P= + 7% Pi

- Acquisizione log RST: pozzo Minerbio 21
- Registrazione valori di pressione:
 - pozzo Minerbio 83 dir A (DPTT wireline)
 - pozzi Minerbio 35 – 50 dir (Memory-gauges)
 - pozzi Minerbio 45 dir – 47 dir – 53 dir – 55 dir – 65 dir – 68 dir – 82 dir (registrazione profilo statico)

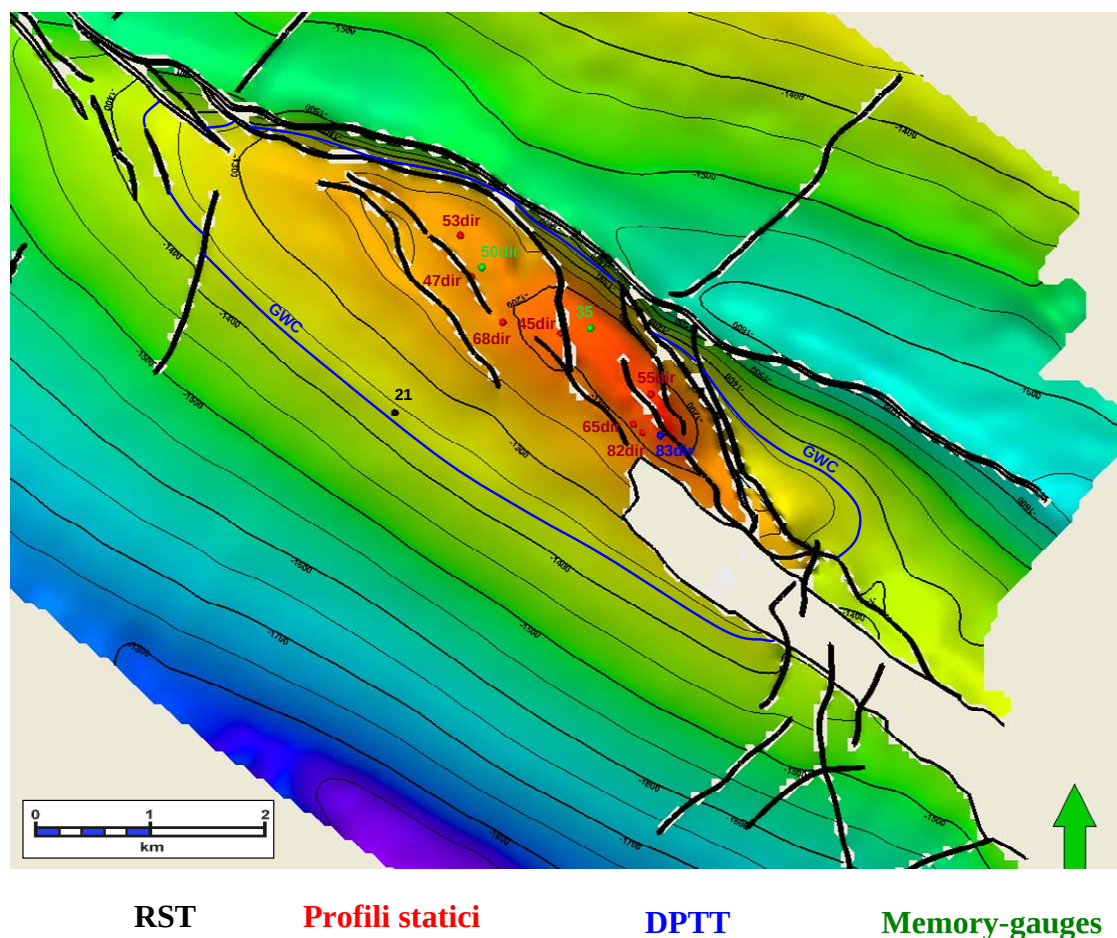


Fig. 1 – Ubicazione pozzi di monitoraggio

2 - MONITORAGGIO ALTIMETRICO CON INTERPRETAZIONE IMMAGINI DA SATELLITE

Obiettivo di questo monitoraggio è la misura diretta delle deformazioni dei terreni, operata attraverso i movimenti dei *Permanent Scatterers* (PS), utilizzando dati satellitari Radar ad Apertura Sintetica (SAR).

La Tecnica dei Diffusori Permanenti (Permanent Scatterers, PS) è uno strumento estremamente efficace per il monitoraggio con accuratezza millimetrica di fenomeni di deformazione della superficie terrestre, basato sull'impiego di serie temporali di immagini radar satellitari.

Si può immaginare la griglia di PS come una rete di stazioni GPS (Global Positioning System) naturali, utilizzabili per il monitoraggio di vaste aree di interesse con una frequenza di aggiornamento del dato mensile e con una densità spaziale di punti di misura estremamente elevata (in aree urbane 100-300 PS/kmq).

Dall'elaborazione dei dati si ricava un modello digitale di elevazione del terreno e si calcola la differenza di quota tra punti vicini. Utilizzando poi un punto di riferimento all'interno dell'area esaminata, di cui è nota la quota, è possibile ottenere una misura assoluta di elevazione. I valori di velocità dei dati SAR sono riferiti ad un punto origine a cui viene assegnato il valore zero. Questa approssimazione non permette di utilizzare i valori di velocità forniti come valori assoluti a meno di un'integrazione con altri dati di monitoraggio.

Tale metodologia è consigliabile soprattutto per giacimenti di stoccaggio di gas naturale interessati da elevate sovrappressioni, ubicati in strutture poco profonde e con caratteristiche geodinamiche complesse.

Programma

Il programma di monitoraggio dei movimenti del suolo prevede un aggiornamento dei dati con cadenza annuale, attraverso l'acquisizione e l'interpretazione delle immagini satellitari disponibili relative al sito.

3 - MONITORAGGIO MICROSISMICO DI SUPERFICIE

La rete microsismica di Minerbio (fig. 2) è stata installata nel 1979.

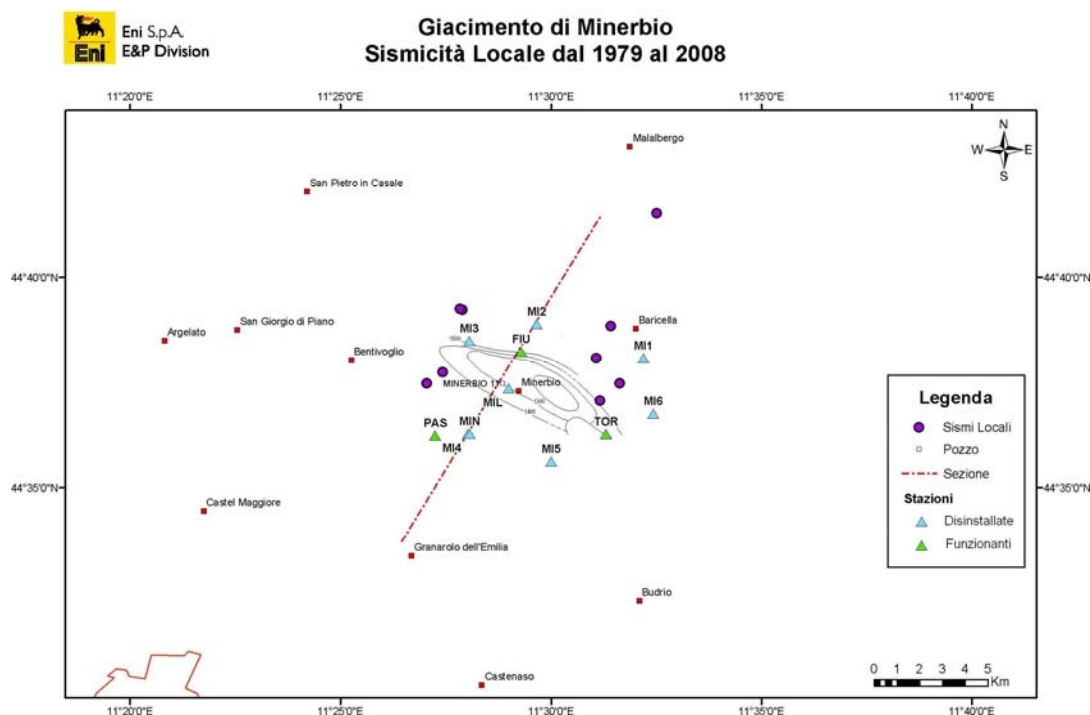


Fig. 2 - Rete microsismica di Minerbio; i triangoli indicano la posizione delle stazioni

I dati acquisiti vengono trasmessi via linea telefonica al centro di elaborazione Eni di S. Donato Milanese.

Nel corso degli anni, per migliorare la qualità dei segnali registrati, sono state utilizzate varie configurazioni di rete con strumenti di diverso tipo, tra cui sismometri installati in pozzo a profondità di alcune centinaia di metri.

L'analisi del rumore, svolta nel periodo iniziale di funzionamento della rete, mostrò che il rumore diurno, dovuto all'attività antropica presente nell'area, limitava il livello di energia minima delle scosse registrabili a $ML > 1$. Di conseguenza si procedette all'installazione di tre sismometri in pozzi a profondità variabile da 100 a 250 m. Si ottennero così una sensibile riduzione delle ampiezze del rumore e l'attenuazione dei disturbi a frequenze superiori a 15 Hz, con conseguente miglioramento del rapporto Segnale/Rumore. L'utilizzo di sismometri a tre componenti permise poi di migliorare la capacità di localizzazione delle scosse, mostrando la difficoltà di individuare le fasi S sulla sola componente verticale.

A seguito dell'evidenza di un'assenza di sismicità correlabile all'attività di stoccaggio, nel 1986 fu deciso di ridurre la rete a una singola stazione 3C, come presidio minimo del monitoraggio.

Con il passaggio della gestione in carico direttamente a ENI fu deciso di ripristinare il monitoraggio a livello di rete locale, implementando la strumentazione moderna di tipo digitale e sismometri a 3C.

Negli anni di operatività della rete sono stati registrati solo pochi eventi a carattere locale, peraltro non correlabili allo stoccaggio in quanto esterni all'area o più profondi del giacimento (fig. 3). Tale sismicità è riconducibile all'attività tettonica delle vicine strutture appenniniche. I risultati sono presentati nella tabella seguente.

La rete microsismica è tuttora operativa, data la valenza strategica del giacimento e l'esistenza di una sporadica attività sismica a livello strumentale.

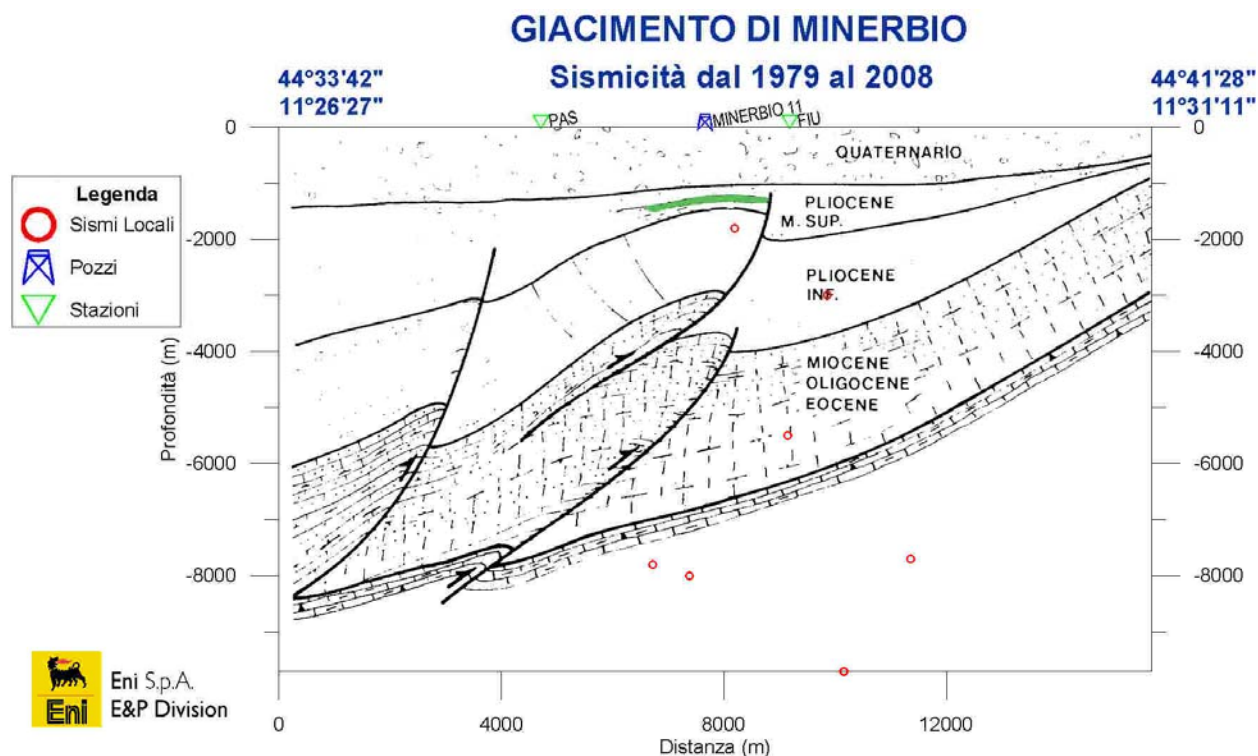


Fig. 3 - Sismicità registrata; sono riportati solo gli ipocentri con profondità < 10 km

MONITORAGGIO AVANZATO

4- MONITORAGGIO SISTEMA POZZI

Il monitoraggio del sistema pozzi è finalizzato alla verifica dello stato di corrosione dei materiali metallici e al controllo e manutenzione delle varie attrezzature, al fine di garantirne l'integrità meccanica.

Programma

I controlli per verifica della corrosione vengono effettuati periodicamente tramite una serie di rilevamenti, esami visivi, campagne di misure o eventualmente log, in concomitanza con interventi di pozzo (*workover*).

5 - MONITORAGGIO GEOCHIMICO-AMBIENTALE

Per i progetti P>Pi si rende opportuno provvedere anche ad un monitoraggio di superficie, finalizzato al controllo delle dinamiche di diffusione/migrazione del gas nel giacimento e alla verifica dell'assenza di diffusione di gas nelle falde, nei suoli e in aria.

Il monitoraggio geochimico - ambientale si effettua mediante un sistema integrato di controllo con rilievi fissi e mobili, acquisiti in continuo, e con campagne periodiche con tecniche di remote sensing, puntuali e areali, con campionamenti di falde, suoli ed aria, discriminando tra le componenti "naturale locale" ed "indotta dal sito".

Lo scopo del sistema nel suo complesso è quello di studiare i pattern di migrazione del gas naturale nei vari mezzi, la loro evoluzione nel tempo, la loro associabilità alle fonti di origine.

L'eventuale migrazione di gas naturale dal giacimento verso la superficie, oltre le formazioni di copertura, sia che avvenga attraverso le formazioni geologiche sovrastanti sia lungo pozzi con problemi di tenuta, interesserà gli acquiferi presenti negli strati permeabili sovrastanti il giacimento e gli strati di suolo in superficie, oppure potrà diffondersi in atmosfera.

Per tenere sotto controllo questi aspetti occorre:

- monitorare in continuo i principali parametri chimico-fisici dell'acqua prelevata, nonché qualitativamente e quantitativamente i gas disciolti nell'acquifero o presenti nel suolo a piccola profondità e nell'aria immediatamente sopra la superficie del suolo
- analizzare i pattern di concentrazione di questi gas e la loro evoluzione areale nel tempo, al fine di riconoscere diffusioni anomale.

Programma

Il programma è attualmente in fase di definizione attraverso uno studio di caratterizzazione di dettaglio del sito, attività propedeutica alla progettazione delle reti di controllo e alla programmazione di campagne mobili di rilevamento che saranno attuate con l'esercizio del giacimento a P>Pi.

6 - MONITORAGGIO MICROSISMICO E GEODETICO DI POZZO

La sorveglianza microsismica in un'area può essere attuata in superficie, attraverso l'installazione di una rete con stazioni fisse di sensori sismometrici 3D ad alta frequenza e posizionamento in pozzi dedicati di geofoni e di inclinometri, oppure in pozzi geognostici appositamente attrezzati.

L'installazione in pozzo di strumentazione microsismica consiste nella posa di geofoni triassiali e di inclinometri per il controllo geodetico della variazione di inclinazione della formazione in esame, integrati in una serie di "moduli strumentati" distanziati di alcune decine di metri e posti lungo la parte inferiore del pozzo.

Il sistema consente di monitorare in continuo e in tempo reale eventuali fenomeni relativi al “Passive Reservoir Characterization” durante le attività di stoccaggio, e in particolare gli stress indotti durante l’esercizio dell’attività.

La metodologia di monitoraggio si basa sulla rilevazione di eventuali modifiche allo stato di stress causate dalla diminuzione (attività di erogazione) o dall’aumento (attività di iniezione) della pressione dei pori. Lo studio e il monitoraggio di una eventuale microsismicità associata all’esercizio dell’attività di stoccaggio può inoltre contribuire ad una migliore caratterizzazione del comportamento meccanico del reservoir.

Programma

Il programma prevede l’installazione nel pozzo Minerbio 85 dir, di recente perforazione (2010) ed espressamente dedicato al monitoraggio del giacimento, di una serie di moduli strumentali attualmente in fase di progettazione avanzata.