

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

**CONCESSIONE FIUME TRESTE STOCCAGGIO**

**LIVELLO C2**

**TECNICHE E PROGRAMMA  
 DI MONITORAGGIO**

			E. Cairo		
			M. Liberati		
0	Emissione		A. Mantegazzi	D. Marzorati	Giugno 2012
<b>REV.</b>	<b>DESCRIZIONE</b>		<b>PREPARATO</b>	<b>APPROVATO</b>	<b>DATA</b>

## INDICE

### INTRODUZIONE

#### Monitoraggio di base

1 - MISURE DI PRESSIONE E DI SATURAZIONE GAS-ACQUA

2 - MONITORAGGIO DEI MOVIMENTI DEL SUOLO

#### Monitoraggio avanzato

3 - MONITORAGGIO SISTEMA POZZI

4 - MONITORAGGIO GEOCHIMICO-AMBIENTALE

5 - MONITORAGGIO MICROSISMICO DI SUPERFICIE

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 nella Concessione Fiume Treste, il Livello C2, oggetto di una serie di studi mirati ad acquisire conoscenze dettagliate del giacimento, è stato individuato fra quelli potenzialmente idonei per la realizzazione di un progetto di superamento della pressione originaria ( $P > P_i$ ).

Il Livello C2 è adibito all'esercizio dello stoccaggio di gas naturale fin dal 1982. Attualmente per tale attività sono utilizzati 31 pozzi, di cui 27 organizzati in 3 cluster (denominati A, B e C) e 4 perforati più recentemente a partire da postazioni di superficie esistenti, 2 dei quali a traiettoria suborizzontale (S. Salvo 80 Or e 82 Or). L'attività di stoccaggio in questo livello interessa la culminazione strutturale La Cocchetta, ubicata nel settore sud-orientale del giacimento.

Il progetto di esercizio in sovrappressione 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 Fiume Treste – Livello C2, 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 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.

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

Il programma di monitoraggio, calibrato in base alle principali caratteristiche geostrutturali 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 Livello C2 a  $P > P_i$ , distinto in una fase di attuazione immediata (**monitoraggio di base**, per  $P < 110\%$ ) e in una successiva e integrativa, a maggiore contenuto tecnologico, in parte sperimentale (**monitoraggio avanzato**, per  $P > 110\%$ ) si avvale delle seguenti metodologie di indagine:

#### **MONITORAGGIO DI BASE**

- MISURE DI PRESSIONE E DI SATURAZIONE GAS-ACQUA
- MONITORAGGIO DEI MOVIMENTI DEL SUOLO

#### **MONITORAGGIO AVANZATO**

- MONITORAGGIO SISTEMA POZZI
- MONITORAGGIO GEOCHIMICO-AMBIENTALE
- MONITORAGGIO MICROSISMICO DI SUPERFICIE
- 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 è considerato un valido strumento di analisi delle dinamiche di migrazione dei fluidi in giacimento utile ai fini della calibrazione della modellistica numerica di campo e di garanzia del confinamento del gas in giacimento. Esso rappresenta inoltre un supporto per le analisi geomeccaniche ed un elemento di integrazione per l'interpretazione del monitoraggio microsismico.

L'attività di monitoraggio deve essere correlata alla massima 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 specie durante la fase di sperimentazione, durante la 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.

Si prevede inoltre la verifica della tenuta idraulica della roccia di copertura mediante il monitoraggio della pressione in un livello poroso immediatamente sovrastante in posizione di culmine strutturale, in grado di intercettare eventuali fughe di gas rilevabili grazie all'innalzamento della pressione originale.

La verifica delle variazioni di saturazione viene effettuata ripetutamente al crescere della pressione di giacimento tramite acquisizioni di log di pozzo, dopo aver rilevato le condizioni di saturazione iniziale, antecedentemente al primo ciclo di iniezione della fase di sperimentazione.

### **Programma**

Il monitoraggio delle pressioni nel Livello C2, finalizzato alla verifica del corretto esercizio dell'attività, viene attualmente eseguito attraverso periodiche misurazioni nei pozzi, di seguito elencati:

- Cupello 26 dir
- S. Salvo 6 - 7 – 19 - 26 dir - 38 dir – 40 dir – 47 dir – 80 or – 83 dir

Il programma messo a punto per l'esercizio a  $P > P_i$  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 + 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 19: ubicato in posizione strutturale propizia per il monitoraggio del soprastante Livello E0. 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 fungerà pertanto da riferimento per la cadenza delle operazioni programmate
- pozzi Cupello 26 dir - S. Salvo 6 - 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=Pi**

- Acquisizione log RST: pozzi S. Salvo 7 e S.Salvo 19
- Registrazione valori di pressione:
  - pozzi S. Salvo 80 or - 83 dir (DPTT wireline)
  - pozzi S. Salvo 38 dir – 47 dir (registrazione profilo statico)
  - pozzi Cupello 26 dir – S. Salvo 6 – 26 dir – 40 dir (alloggiamento memory gauges)

**Fase 2: P= + 5% Pi**

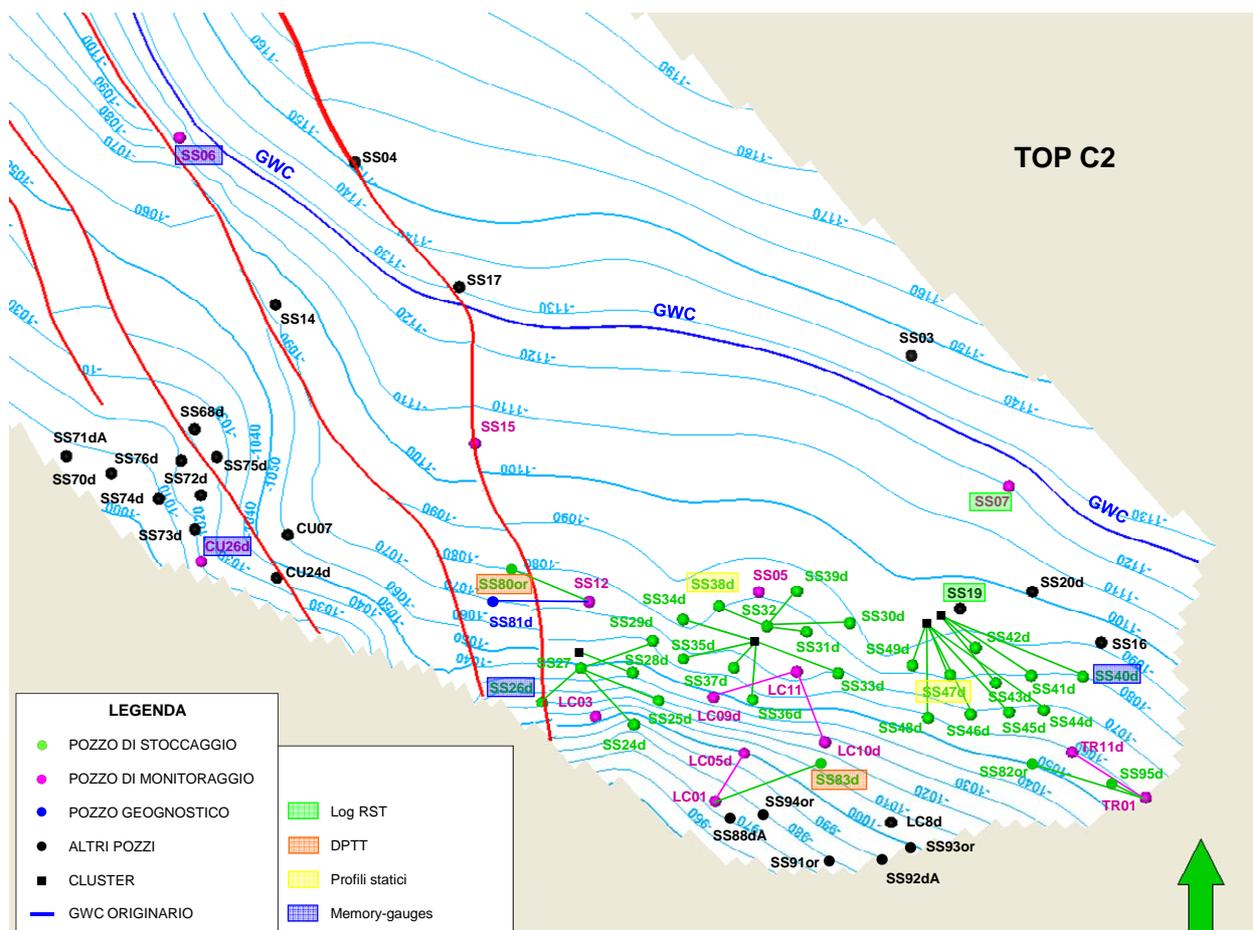
- Registrazione valori di pressione:
  - pozzi S. Salvo 80 or - 83 dir (DPTT wireline)
  - pozzi S. Salvo 38 dir – 47 dir (registrazione profilo statico)
  - pozzi Cupello 26 dir – S. Salvo 6 – 26 dir – 40 dir (alloggiamento memory gauges)

**Fase 3: P= + 10% Pi**

- Acquisizione log RST: pozzi S. Salvo 7 e pozzo S. Salvo 19
- Registrazione valori di pressione:
  - pozzi S. Salvo 80 or - 83 dir (DPTT wireline)
  - pozzi S. Salvo 38 dir – 47 dir (registrazione profilo statico)

- pozzi Cupello 26 dir – S. Salvo 6 – 26 dir – 40 dir (alloggiamento memory gauges)

La mappa seguente (top strutturale Livello C2) evidenzia i pozzi utilizzati per le attività di monitoraggio descritte.



## 2 - MONITORAGGIO DEI MOVIMENTI DEL SUOLO

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 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, già in atto dal 2003, prevede un aggiornamento dei dati con report a cadenza annuale, attraverso l'acquisizione e l'interpretazione delle immagini satellitari disponibili relative al sito.

## **MONITORAGGIO AVANZATO**

### **3 - 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. Un pozzo è considerato meccanicamente integro se non si verificano perdite significative di fluidi attraverso il rivestimento e il completamento. I test d'integrità meccanica interna devono inoltre verificare che gli elementi di completamento del pozzo siano in grado di contenere il gas alle condizioni di progetto.

Sulla base di queste verifiche si ottiene una valutazione su eventuali perdite di pressione, con indicazioni sulla necessità di programmare interventi operativi mirati a ripristinare le condizioni originarie.

### **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*).

L'integrità meccanica del pozzo viene verificata in occasione di operazioni di *workover*, con la valutazione tramite prove di pressione idraulica o con altri metodi alternativi (rilevamenti di temperatura, noise log, casing inspection log).

#### **4 - MONITORAGGIO GEOCHIMICO-AMBIENTALE**

Per i progetti P>Pi si rende opportuno provvedere anche ad un monitoraggio di superficie, finalizzato alla verifica dell'assenza di diffusione di gas di stoccaggio nelle falde acquifere soprastanti, nei suoli e in aria.

A questo proposito è stata installata una stazione geochimico-ambientale in corrispondenza dell'area del pozzo San Salvo 81 dir (figura sottostante), alimentata da corrente elettrica di rete. La stazione costituisce un sistema di monitoraggio avanzato con il compito di rilevare la qualità dell'aria, del suolo e dell'acqua di falda superficiale durante l'esercizio allo stoccaggio del campo di Fiume Treste alle massime condizioni di pressione operative 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.



L'obiettivo della stazione geochimica-ambientale è di acquisire le seguenti informazioni e di monitorare in continuo i seguenti parametri:

- contenuto di  $\text{CH}_4$  in aria;
- contenuto di  $\text{CH}_4$  nel gas nel suolo;
- contenuto di  $\text{CH}_4$  nel gas disciolto in acqua (il pozzo di campionamento acque è stato scavato sino al raggiungimento della prima falda);
- misure meteo tramite tacogonioanemometro, termoigrometro, pluviometro, barometro e radiometro;
- misure accessorie (stato di funzionamento e diagnostiche).

Essa è costituita da:

1. un container che ingloba la strumentazione (figura seguente, a sinistra)
2. un primo sistema elettronico di analisi chimica dei gas in aria e nel suolo (fotometro IR e gas-cromatografo) corredato da un campionatore in aria ed uno in pozzetto nel suolo (figura seguente, a destra)
3. un secondo sistema elettronico di analisi chimica dei gas disciolti in acque di falda (fotometro IR e gas-cromatografo)
4. centralina meteorologica
5. sistemi accessori comprendenti climatizzatore
6. un sistema elettronico di acquisizione dati e gestione automatizzata della stazione

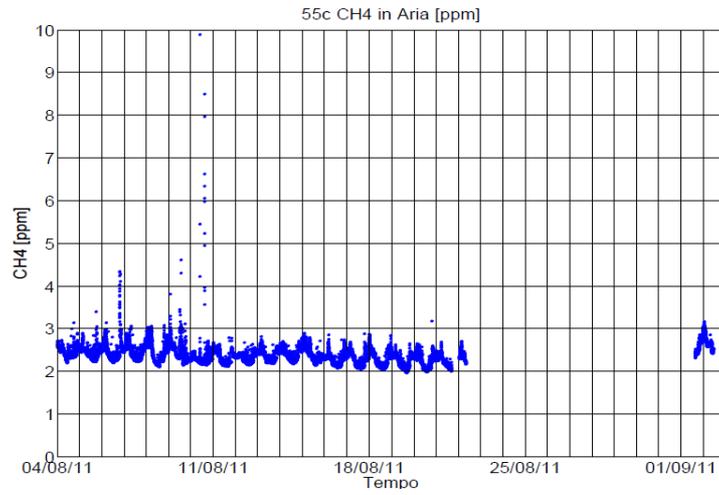
## 7. un sistema di acquisizione dati

**Programma**

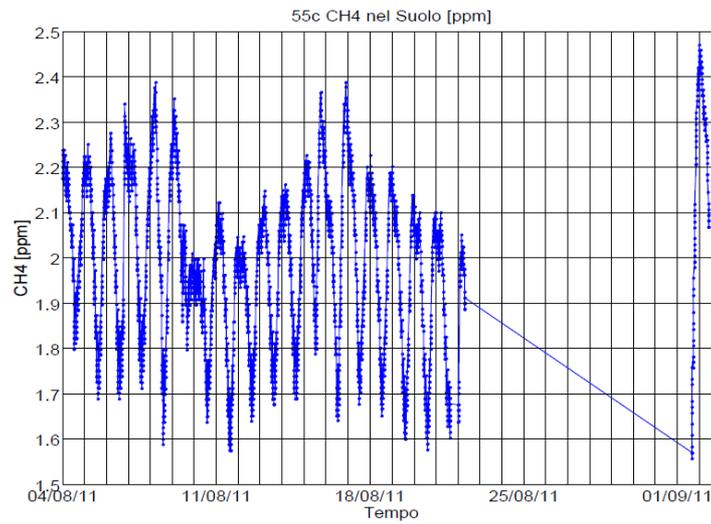
La stazione è stata posizionata nel settembre 2010 e dal mese di ottobre 2010 ha iniziato ad acquisire i dati e ad elaborare i grafici dei parametri di acquisizione in modo continuo compatibilmente alla fase di taratura strumentale; attualmente è ancora in fase di sperimentazione e sarà operativa a pieno regime per la fase di sperimentazione in sovrappressione del Pool C2.

Le figure seguenti illustrano alcuni dei grafici che posso essere elaborati dalla stazione geochimica in tempo reale.

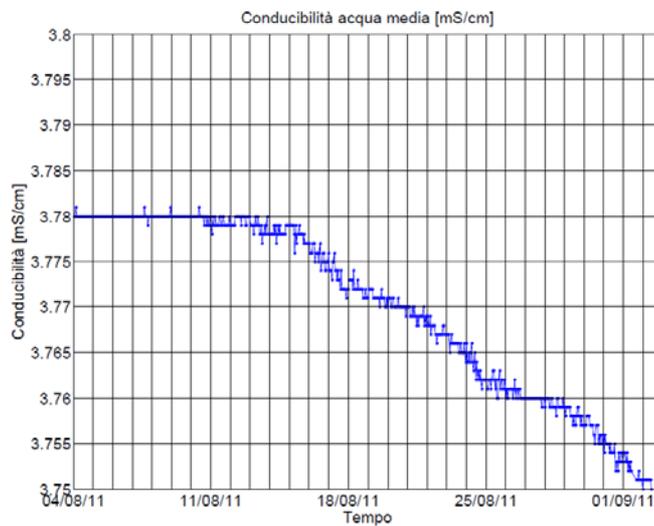
### Linea Aria



### Linea Suolo



### Linea Acqua di prima falda



## 5 - MONITORAGGIO MICROSISMICO DI SUPERFICIE

In considerazione dell'ampia estensione areale del giacimento di Fiume Treste e della sua complessità geologica, con presenza di più livelli in esercizio o in programma di attivazione allo stoccaggio, è stata programmata l'installazione di una rete microsismica di superficie per garantire una copertura sull'intera estensione dei vari pool di stoccaggio in attività o di futuro sviluppo e monitorare il grado di sismicità naturale dell'area. La Concessione ricade peraltro in un'area considerata con basso livello di rischio sismico (Zona 3 in base alla classificazione nazionale).

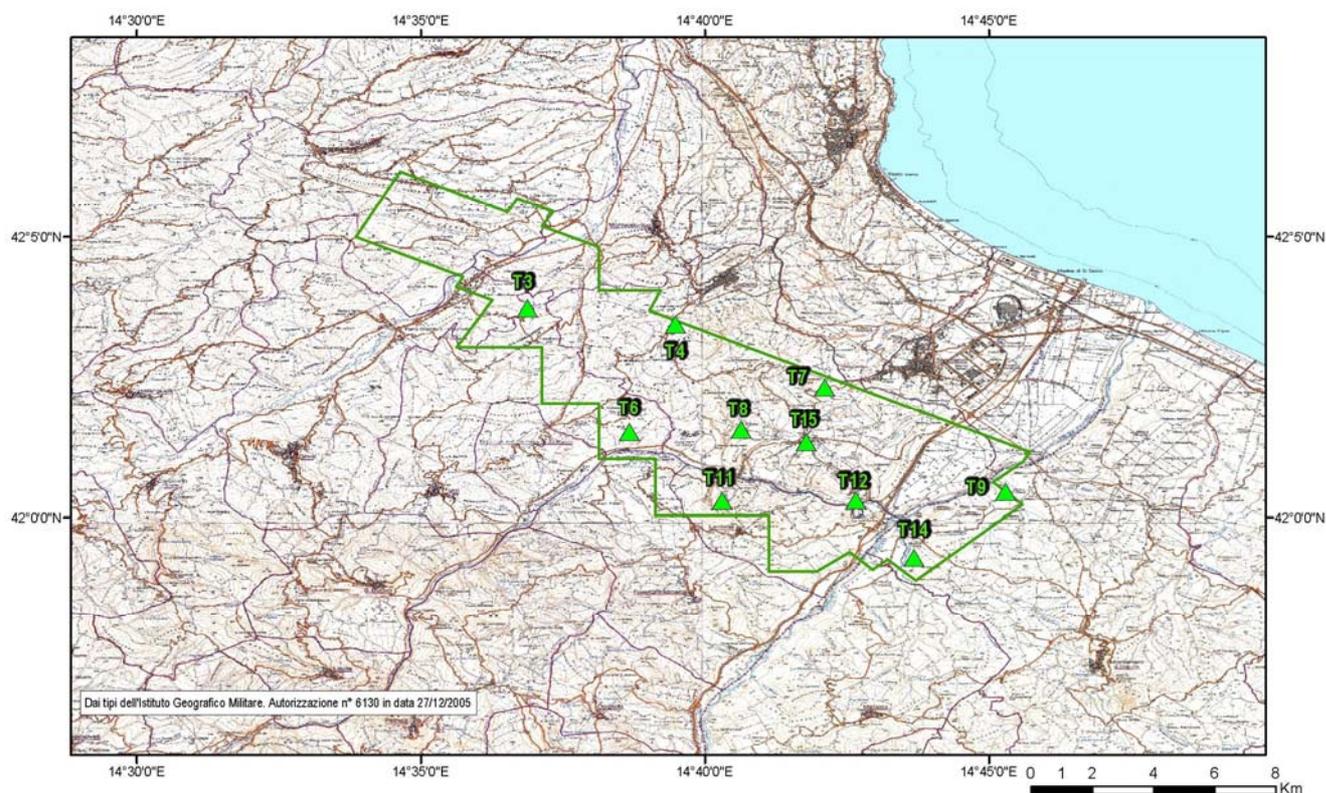
Lo studio di fattibilità messo a punto prevede in una prima fase l'installazione sul territorio di n° 10 stazioni fisse, a cui faranno seguito in futuro di altre stazioni fino ad un massimo di 15, dotate di sensori sismometrici 3D ad alta frequenza, per la cui ubicazione ottimale sono state seguite alcune indicazioni:

- posizionare le stazioni al contorno dell'area e prevedere una o più stazioni al centro della stessa
- posizionare le stazioni esterne alla zona da investigare ad una distanza dal bordo pari a 2-3 volte la profondità a cui si presume possano originarsi gli eventi
- dimensionare la rete in modo che la distanza media tra le stazioni non superi il doppio della profondità di interesse
- evitare configurazioni orientate essenzialmente lungo una direzione privilegiata

### Programma

La rete microsismica è attualmente in fase di progettazione avanzata, attraverso uno studio mirato alla definizione del tipo di strumentazione e delle modalità di trasmissione dei dati più adeguate.

Attualmente sono in corso attività di procurement, permitting e opere civili, per l'individuazione delle ubicazioni delle postazioni. Si prevede l'attivazione della rete entro il 2013.



## 6 - MONITORAGGIO MICROSISMICO E GEODETICO DI POZZO

La sorveglianza microsismica in un'area può essere attuata, oltre che in superficie, anche 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 ed in tempo reale eventi microsismici eventualmente generati da fenomeni di assestamento delle formazioni che costituiscono il giacimento e la formazione di copertura, da microfratturazione o da riattivazione di faglie.

La metodologia di monitoraggio, i cui dati forniscono elementi di valutazione utili anche per una migliore caratterizzazione del comportamento meccanico del reservoir, si basa sulla rilevazione di modifiche allo stato di stress delle rocce causate dalle variazioni della pressione dei pori in relazione all'esercizio dell'attività di stoccaggio.

Le stazioni in pozzo sono provviste di sensori a 3 componenti assemblati nella stringa di pozzo insieme a tiltmetri di precisione. I moduli microsismici sono dotati di bussola

magnetica, la quale permette di determinare con precisione ed in modo continuo l'orientamento dei sensori.

La stringa di pozzo è collegata a un'unità di controllo locale, installata nel piazzale del pozzo, la quale provvede ad inviare ed archiviare i dati ricevuti dal GPS e dalla stringa, esegue un pre-processing tramite il sw Seislog per individuare la presenza di trigger.

### **Programma**

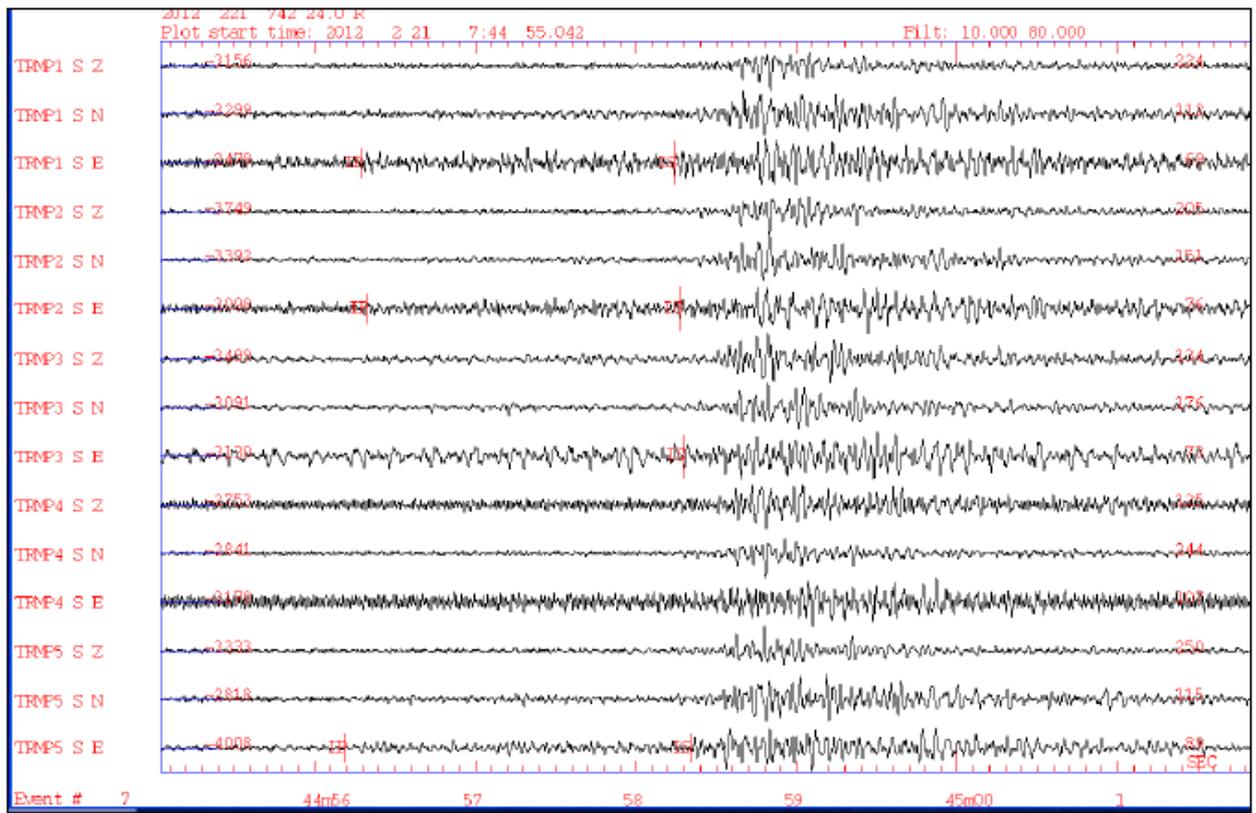
Il programma ha preso avvio con l'installazione nel pozzo San Salvo 81 dir, di recente perforazione (2006) ed espressamente dedicato al monitoraggio del giacimento, di una serie di moduli strumentali.

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.

I dati disponibili ad oggi da quando è entrata in funzione la rete non hanno evidenziato la registrazione di microsismi connessi all'attività di stoccaggio di gas naturale, ma solo eventi isolati e lontani di carattere sismico naturale ad ulteriore testimonianza del limitato tasso di sismicità della zona.

Nella figura sottostante si riporta, come esempio, l'immagine dello spettro delle onde P ed S registrate dagli strumenti in pozzo a seguito di un evento sismico lontano il giorno 21 febbraio 2012.



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

**CONCESSIONE FIUME TRESTE STOCCAGGIO**

**LIVELLO F**

**TECNICHE E PROGRAMMA  
DI MONITORAGGIO**

			E. Cairo		
			M. Liberati		
0	Emissione		A. Mantegazzi	D. Marzorati	Febbraio 2013
<b>REV.</b>	<b>DESCRIZIONE</b>		<b>PREPARATO</b>	<b>APPROVATO</b>	<b>DATA</b>

## INTRODUZIONE

Questa nota illustra le metodologie di indagine che saranno utilizzate per il monitoraggio di giacimento del Livello F, di cui è in programma la conversione all'attività di stoccaggio del gas naturale. I monitoraggi specificati si svolgeranno nelle seguenti attività:

- monitoraggio delle pressioni di giacimento (profili statici)
- monitoraggio della saturazione del livello in gas-acqua (log RST)

A queste attività si aggiungono quelle eseguite a scala dell'intero giacimento di Fiume Treste, ovvero:

- monitoraggio dei movimenti del suolo (interferometria PS Radar)
- monitoraggio microsismico (rete di superficie)

In particolare il monitoraggio delle pressioni di giacimento sarà eseguito attraverso l'acquisizione di profili statici, all'inizio e al termine della campagna di iniezione, in due pozzi ubicati rispettivamente in prossimità del culmine strutturale e sul fianco della struttura. Per il monitoraggio della saturazione e della tavola d'acqua verranno utilizzati pozzi ubicati in posizione strutturale favorevole per evidenziare eventuali spostamenti del contatto gas-acqua.

I monitoraggi relativi ai movimenti del suolo e alla microsismicità rientrano fra quelli riguardanti in generale l'attività di stoccaggio nei livelli già in esercizio in questa concessione.

## MONITORAGGIO DELLE PRESSIONI DI GIACIMENTO E DELLA SATURAZIONE

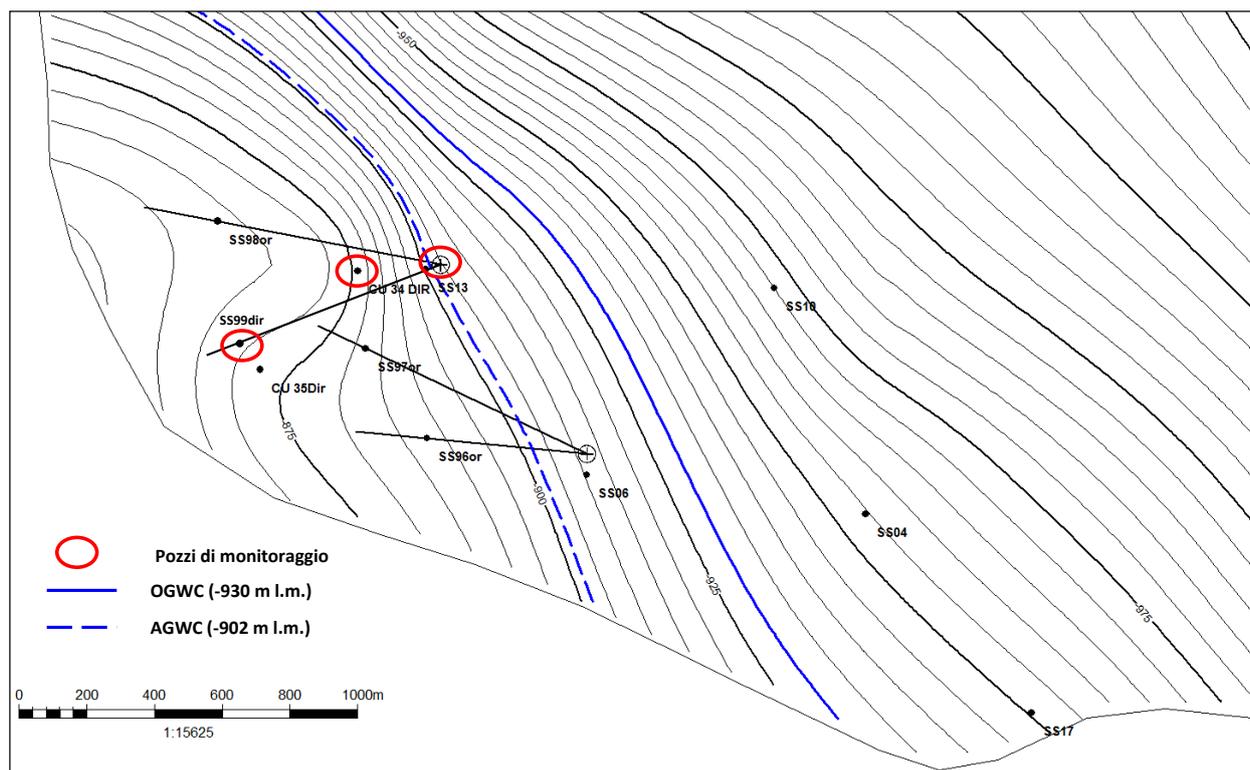
In previsione della conversione allo stoccaggio del Livello F del giacimento di Fiume Treste è stato messo a punto un programma di monitoraggio per la misurazione delle pressioni in giacimento e del grado di saturazione in gas-acqua.

Per quanto riguarda le pressioni le misure saranno eseguite nei pozzi S. Salvo 13, collocato sul fianco della struttura, e nel nuovo pozzo in programma S. Salvo 99 dir, posto in prossimità del culmine strutturale. Il monitoraggio si articolerà nelle seguenti fasi:

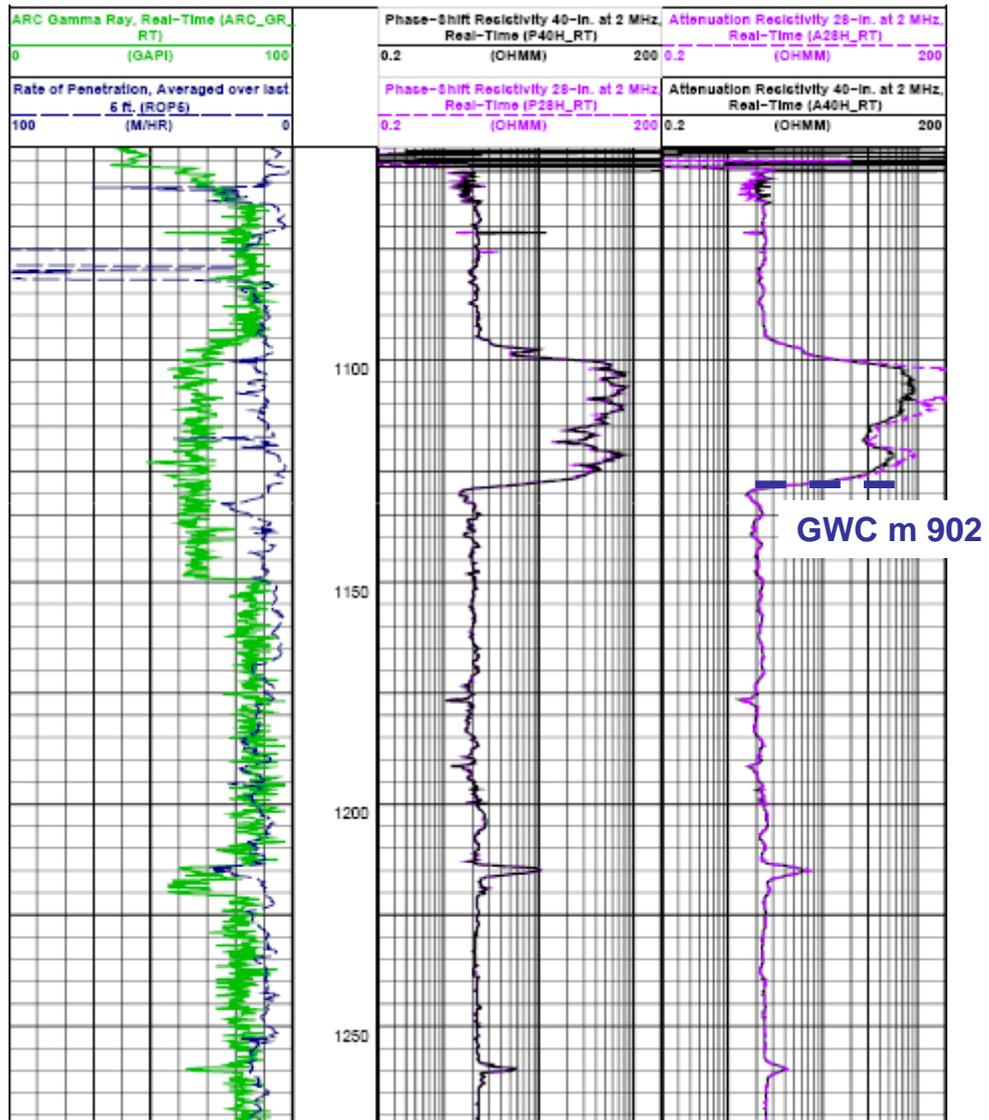
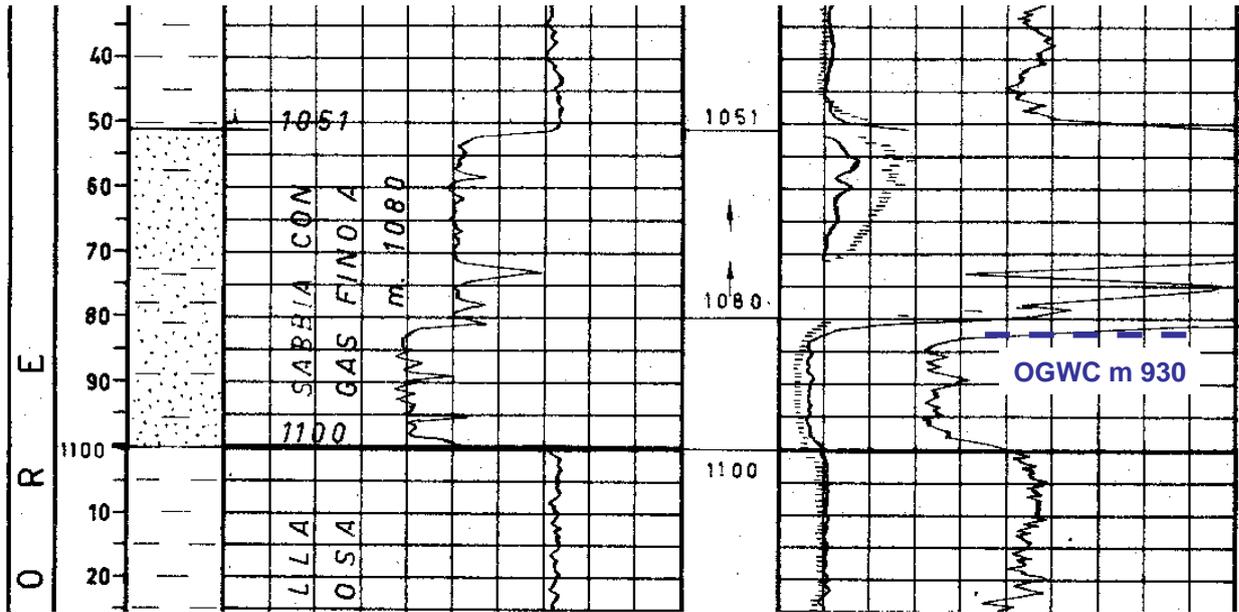
- acquisizione di profili statici all'inizio della campagna di iniezione
- acquisizione di profili statici al termine della campagna di iniezione

Per l'acquisizione periodica di log RST per valutare il grado di saturazione in gas-acqua del Livello F ed eventuali spostamenti della tavola d'acqua, i pozzi posti in posizione strutturale favorevole per il monitoraggio sono S. Salvo 13 e Cupello 34 dir.

La mappa seguente, riferita al top strutturale del Livello F, evidenzia l'ubicazione dei pozzi da utilizzare per le attività di monitoraggio descritte.



Le figure seguenti riportano gli stralci dei log dei pozzi S. Salvo 13 e Cupello 34 dir, con evidenza rispettivamente della tavola d'acqua originaria (m 930 l.m.) e di quella attuale (m 902 l.m.).



## MONITORAGGIO DEI MOVIMENTI DEL SUOLO

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

I PS sono “bersagli radar” privilegiati, che l’occhio del satellite identifica sul territorio, e hanno caratteristiche tali da permettere misure accurate della loro distanza dal sensore, con la possibilità di apprezzare spostamenti di ordine millimetrico. I PS sono in genere rappresentati da edifici, strutture metalliche, rocce esposte, o comunque da elementi le cui caratteristiche elettromagnetiche non variano sensibilmente di acquisizione in acquisizione.

La frequenza di campionamento del dato, cioè l’acquisizione della misurazione della quota altimetrica relativa dei singoli PS, corrisponde alla frequenza di passaggio dei satelliti utilizzati (Radarsat-1 e Radarsat-2), ed è pari a 24 giorni.

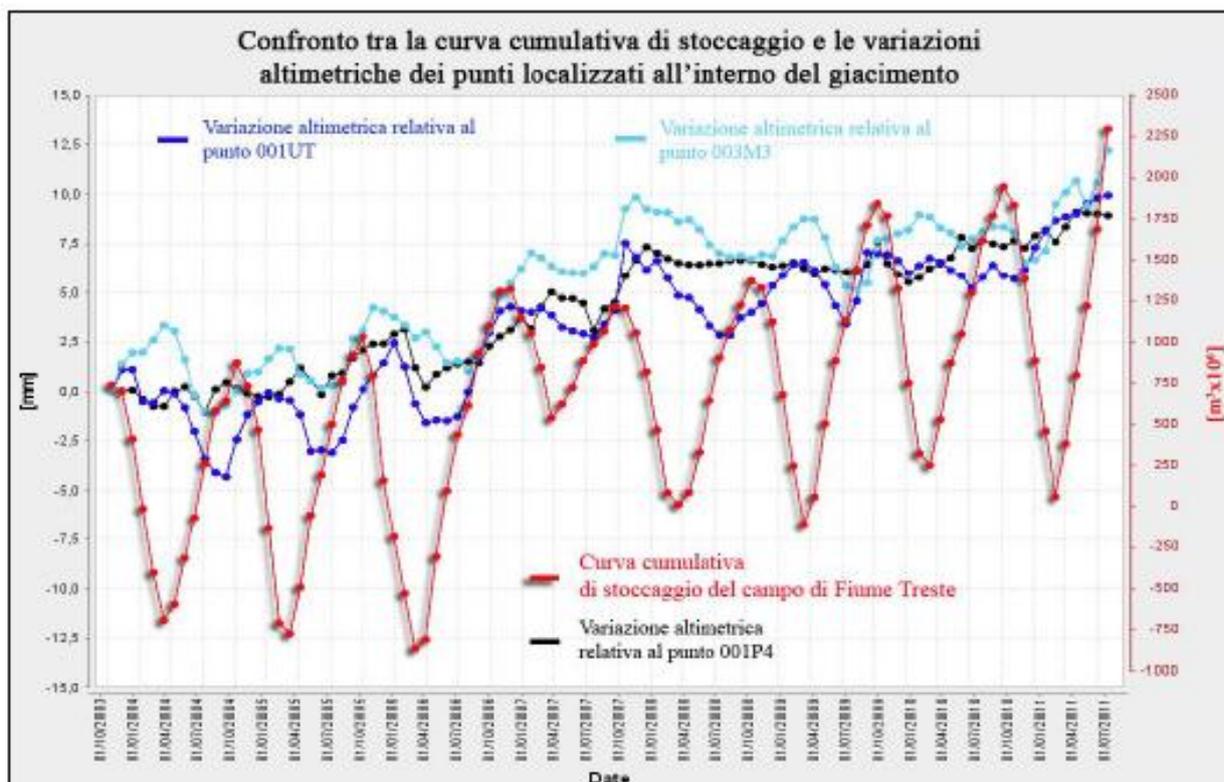
Per ciascun PS si ricavano ad ogni acquisizione la posizione (coordinate geografiche: latitudine, longitudine, altezza), il trend medio di deformazione (calcolato come l’interpolazione lineare dello spostamento misurato nell’intero periodo di monitoraggio) e l’intera serie temporale di deformazione. Dall’elaborazione dei dati si ricava un modello digitale di elevazione del terreno e si calcola la differenza di quota tra punti vicini.

I valori ottenuti per ogni singolo PS sono di tipo differenziale e vengono riferiti ad un punto di riferimento al quale viene assegnata una velocità verticale pari a zero. Nel caso della Concessione di Fiume Treste, le misure vengono riferite alla posizione di punto utilizzato in fase di processing dei dati e localizzato presso l’abitato di San Salvo. Le misure effettuate dal 2003 indicano una variazione positiva di 0,93 mm/anno.

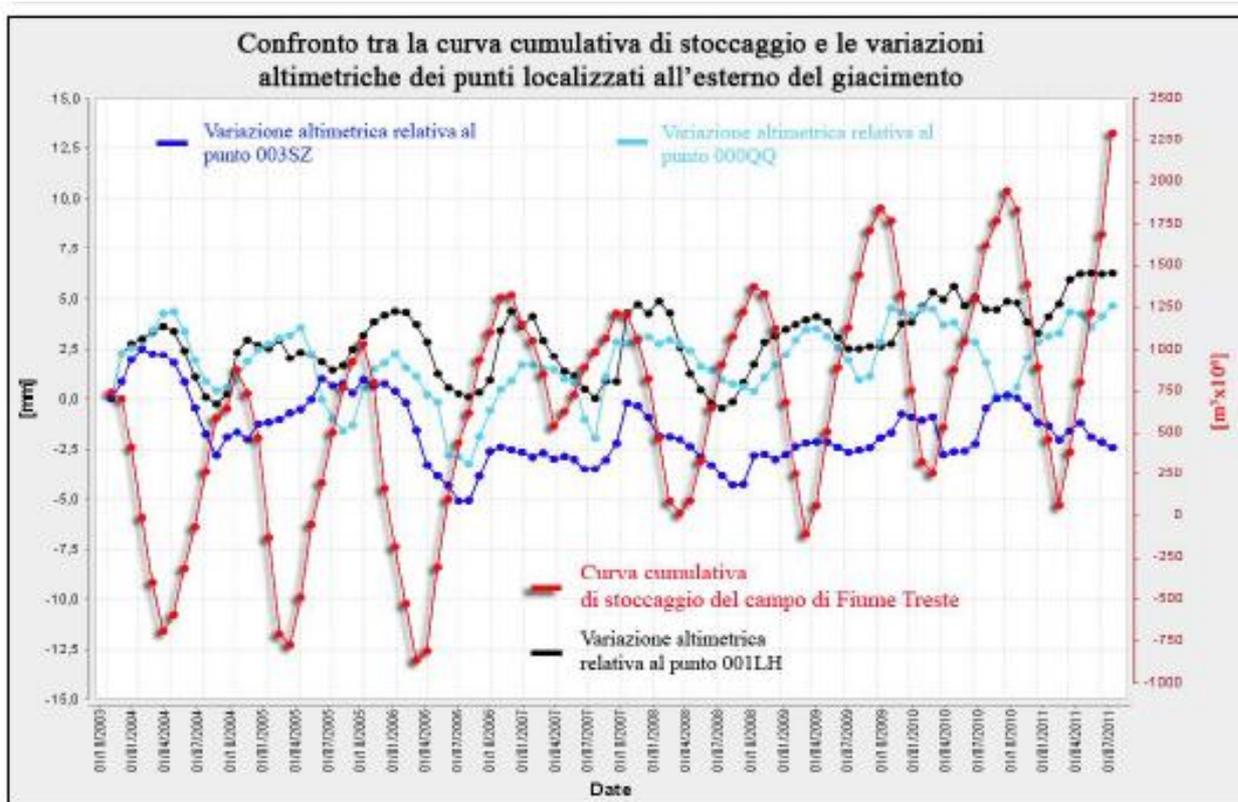
Per cercare di individuare una correlazione tra il movimento del suolo e l’attività dell’esercizio allo stoccaggio di gas naturale, l’analisi dei dati è stata effettuata selezionando alcuni punti rappresentativi posti sia all’interno che all’esterno dell’area mineralizzata della concessione di stoccaggio Fiume Treste come riportato nella figura sottostante. In questo modo è possibile avere, oltre alle variazioni altimetriche relative di quel punto rispetto al punto di riferimento, anche gli spostamenti mensili di quel singolo punto nel periodo considerato.



Tale monitoraggio è attivo nella Concessione di Stoccaggio Fiume Treste sin dal 2003, nella figura a pagina seguente si riportano i valori degli scostamenti misurati all'interno dell'area mineralizzata comparati con la curva dei volumi di gas movimentato. Dal grafico si evidenzia una correlazione tra i volumi di gas movimentati dall'attività di stoccaggio e le variazioni altimetriche del suolo.



Lo stesso grafico è stato ottenuto anche per i tre punti selezionati all'esterno dell'area mineralizzata della concessione; in questo caso non si evidenzia nessuna correlazione tra il movimento dei suolo e l'attività di stoccaggio.



## MONITORAGGIO MICROSISMICO

L'area della Concessione Fiume Treste Stoccaggio ricade in una zona considerata a basso livello di rischio sismico (Zona 3 in base alla classificazione nazionale); il programma di monitoraggio messo a punto prevede un controllo finalizzato a verificare sia il grado di sismicità naturale che ad escludere l'eventuale microsismicità indotta dall'attività di stoccaggio.

L'analisi microsismica viene eseguita tramite la misurazione dei tempi di arrivo delle onde sismiche, valutando lo scostamento temporale tra Onde P (compressionali) e Onde S (di taglio) e l'ampiezza del loro segnale, al fine di calcolare la magnitudo dell'evento per differenziare gli eventi macrosismici (Magnitudo > 3) da quelli microsismici (Magnitudo ≤ 3).

Le Onde P (onde primarie) sono onde longitudinali che si propagano dilatando e comprimendo la roccia nella stessa direzione di propagazione dell'onda. Le onde primarie sono quelle che si propagano più rapidamente e sono le prime ad essere avvertite e registrate dai sismografi. Possono raggiungere la velocità di 10 km/s. La velocità delle Onde P, che si possono propagare sia nei solidi che nei fluidi, dipende dalle costanti di elasticità e dalla densità ed aumenta con la profondità. L'ampiezza è contenuta e dipende dall'intensità e dalla distanza dell'ipocentro del sisma; in ogni caso è inferiore a quella delle onde S.

Le Onde S (onde secondarie) sono onde trasversali che si propagano con oscillazioni su un piano perpendicolare alla direzione di propagazione. Le Onde S sono più lente di quelle P e raggiungono i 4,6 km/s. La velocità delle onde S è in funzione della rigidità e della densità del materiale in cui si propagano. Se la rigidità è pari a zero, come nei liquidi, la velocità è nulla e infatti nei fluidi, che non oppongono resistenza al taglio, le Onde S non si propagano.

Il monitoraggio microsismico nella Concessione Fiume Treste Stoccaggio verrà realizzato tramite l'installazione di una rete di superficie costituita 10 stazioni dotate di sismometri per il controllo del grado di sismicità naturale dell'area, finalizzato al controllo su tutta l'area della concessione, ivi inclusa quella interessata dal progetto di stoccaggio nel Livello F. Informazioni integrative saranno disponibili grazie all'attrezzatura di pozzo installata nel pozzo San Salvo 81 dir, finalizzata alla verifica di eventuale microsismicità indotta dall'attività di stoccaggio, con particolare riferimento all'esercizio in sovrappressione nel Pool C2.

### **Monitoraggio microsismico di superficie**

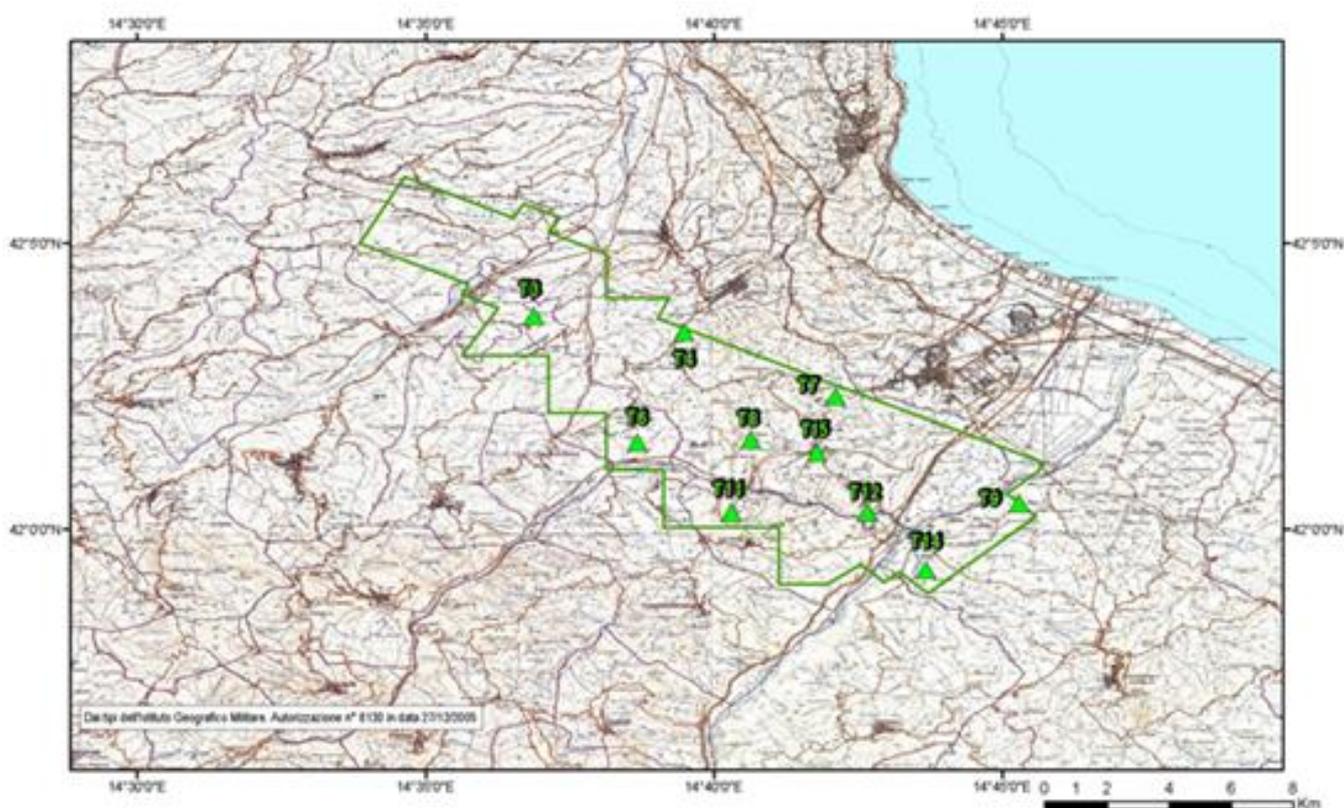
In considerazione dell'ampia estensione areale del giacimento di Fiume Treste e della sua complessità geologica, con presenza di più livelli in esercizio o in programma di attivazione allo stoccaggio, è stata programmata l'installazione di una rete microsismica di superficie, per garantire una copertura sull'intera estensione dei vari pool di stoccaggio in attività o di futuro sviluppo dell'area.

Lo studio di fattibilità messo a punto prevede l'installazione di 10 stazioni fisse dotate di sensori 3D ad alta frequenza, per la cui ubicazione ottimale sono state adottate le seguenti indicazioni:

- posizionare le stazioni al contorno dell'area e prevedere una o più stazioni al centro della stessa

- posizionare le stazioni esterne alla zona da investigare ad una distanza dal bordo pari a 2-3 volte la profondità a cui si presume possano originarsi gli eventi
- dimensionare la rete in modo che la distanza media tra le stazioni non superi il doppio della profondità di interesse
- evitare configurazioni orientate essenzialmente lungo una direzione privilegiata

Nella figura sottostante vengono riportate le ubicazioni delle stazioni sismiche individuate nell'area della concessione di stoccaggio Fiume Treste. Si prevede l'attivazione della rete entro il 2013.



Vincoli di progetto della rete microsismica di superficie:

1. Localizzare con precisione i sismi nell'intervallo di profondità da 1 a 4 km e permettere lo studio delle profondità sino a 10 km.
2. Classificare l'evento sulla base :
  - a. della magnitudo: macrosisma ( $M > 3$ ), microsisma ( $M \leq 3$ )
  - b. della distanza dall'epicentro: locali (con epicentro entro la rete e fino a 10 km), regionali (con epicentro tra 10 e 100 km) e telesismi (epicentro  $> 100$  km).
3. I dati registrati dovranno essere disponibili H24 presso il centro di elaborazione

4. Confrontare i dati registrati con quelli provenienti dai sismometri ubicati nel pozzo San Salvo 81 dir

La rete microsismica si avvarrà di strumentazione e modalità di trasmissione dei dati adeguate per gli scopi previsti e dovrà comunque soddisfare i seguenti requisiti minimi:

- Digitizer a 24 bit con dinamica di circa 140 dB
- Campionamento a 100 Hz
- Banda utile di segnale 1-40 Hz
- Segnale temporale derivato dal segnale GPS
- Acquisizione in continua di tutti i dati registrati.

Le postazioni avranno la strumentazione installata in una piccola area recintata di circa 30 m<sup>2</sup>, all'interno della quale sono disposti un pozzetto contenente il sismometro e il digitizer/registratore, il pannello solare e il contenitore del gruppo di batterie tampone.

Di seguito si riporta un esempio di stazione microsismica di superficie.



Durante la fase di controllo dei segnali registrati si farà riferimento a livelli di attenzione differenziati per i seguenti casi specifici:

- eventi con Magnitudo  $>2$  localizzati all'interno del giacimento
- eventi con Magnitudo  $>3$  con distanze dal giacimento e profondità degli ipocentri inferiori a 10 km

In caso di superamento dei valori di Magnitudo indicati saranno attivate specifiche procedure di comunicazione per le opportune verifiche tecniche.

I dati acquisiti saranno catalogati in un apposito database e riportati periodicamente in un apposito bollettino.

Le modalità con cui assicurare l'accessibilità e la notifica dei dati microsismici da parte degli organi di controllo pubblico saranno concordati con gli enti incaricati.