

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

**CONCESSIONE FIUME TRESTE STOCCAGGIO**

**LIVELLO C2**

**TECNICHE E PROGRAMMA  
 DI MONITORAGGIO**

**NOTA INTEGRATIVA**

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

## INTRODUZIONE

Questa nota, che fa seguito alla documentazione tecnica allegata all'istanza di esecuzione di prove sperimentali di iniezione per l'esercizio dello stoccaggio in sovrappressione ( $P > P_i$ ) nel Livello C2 della Concessione Fiume Treste (prot. Stogit n. 749/WB del 7 agosto 2012), fornisce alcune integrazioni su aspetti legati al programma di monitoraggio. Le informazioni fornite riguardano in particolare le seguenti attività:

- monitoraggio delle pressioni di giacimento e della saturazione in gas-acqua
- monitoraggio dei movimenti del suolo (interferometria PS Radar)
- monitoraggio geochimico-ambientale (stazione geochimica fissa)
- monitoraggio microsismico (rete di superficie e attrezzatura di pozzo)

## MONITORAGGIO PRESSIONI DI GIACIMENTO E SATURAZIONE GAS-ACQUA

In previsione della sperimentazione allo stoccaggio in sovrappressione fino al 110%  $P_i$  nel Pool C2 è stato messo a punto un programma di monitoraggio per la misurazione delle pressioni in giacimento e della saturazione del livello in gas-acqua. 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 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. Il pozzo Cupello 26 dir, compreso fra quelli del programma di monitoraggio, non sarà disponibile durante questa fase di sperimentazione in quanto soggetto ad intervento operativo di ricompletamento con discesa di un'attrezzatura idonea alla misurazione in tempo reale dei parametri di pressione.

Il monitoraggio si articolerà nelle seguenti fasi:

**Fase 1:  $P=P_i$**

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

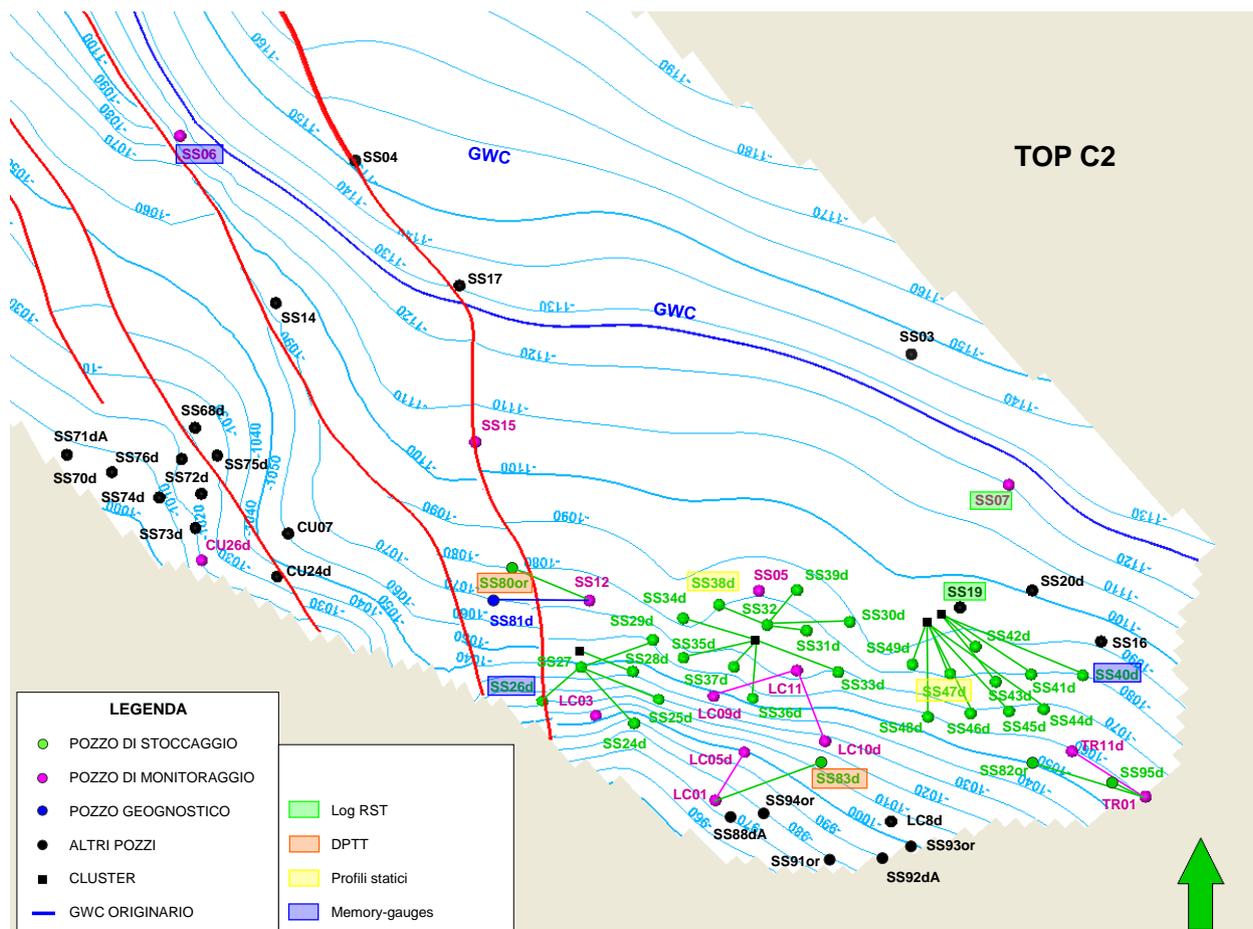
**Fase 2:  $P= + 5\% P_i$**

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

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

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

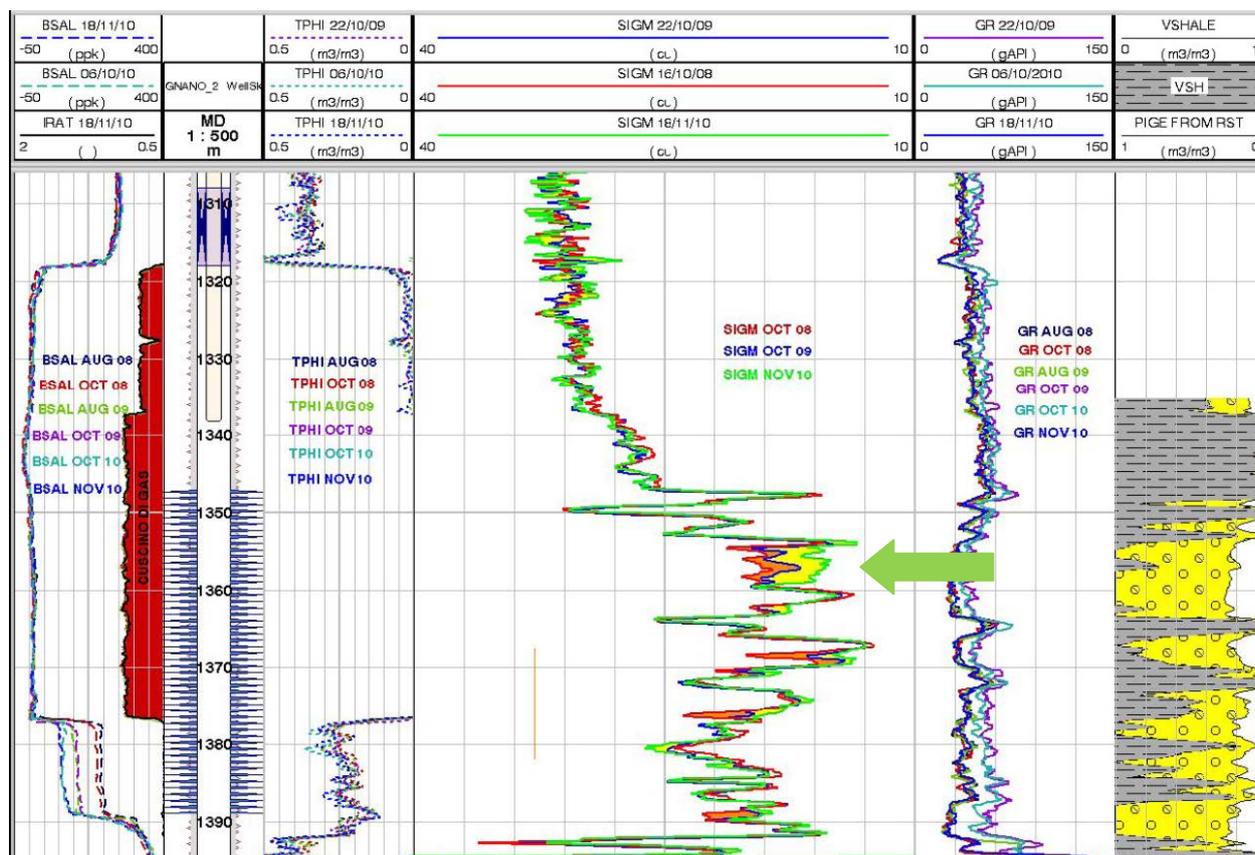
La mappa seguente (top strutturale Livello C2) evidenzia i pozzi utilizzati per le attività di monitoraggio descritte.



I risultati conseguiti durante la fase di sperimentazione con iniezione a  $P=110\% P_i$  saranno sintetizzati in grafici che mostrano l'andamento delle pressioni di giacimento in relazione alle portate e ai volumi iniettati.

L'analisi e l'interpretazione dei log di saturazione RST forniranno indicazioni sul grado di saturazione in gas del livello di stoccaggio, attraverso il confronto tra le curve di acquisizione a  $P=P_i$  e in corrispondenza del massimo invaso. Il Pool C2 ha evidenziato nel pozzo S. Salvo 7 il contatto originario con l'acquifero di fondo alla quota di 1127 m s.l.m.

Attraverso l'acquisizione di log RST in periodi differenti ( a  $P=P_i$  e a  $P=110\%P_i$ ) sarà possibile determinare un eventuale abbassamento della tavola d'acqua dovuta alla sovrappressione in giacimento che potrebbe spingere il gas in aree non drenate dai pozzi. Si riporta a titolo esemplificativo una traccia del log RST (curve di sigma che sono funzione della concentrazione di gas) acquisito durante la fase di sperimentazione nel giacimento di Sergnano, in cui la freccia evidenzia solo un incremento di saturazione in gas nei livelli a maggiore permeabilità, senza manifestare una variazione della quota della tavola d'acqua in giacimento.



### 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.

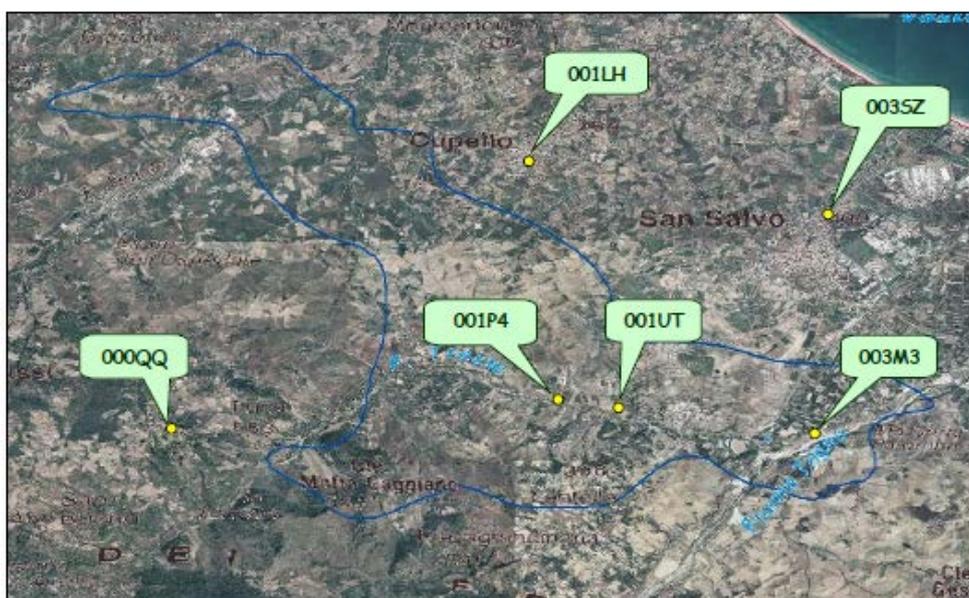
La frequenza di campionamento del dato, cioè l’acquisizione della misurazione della quota altimetrica relativa dei singoli PS, corrisponde alla frequenza di passaggio dei satelliti utilizzati (Radarsat-1 e Radarsat-2), ed è pari a 24 giorni.

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.

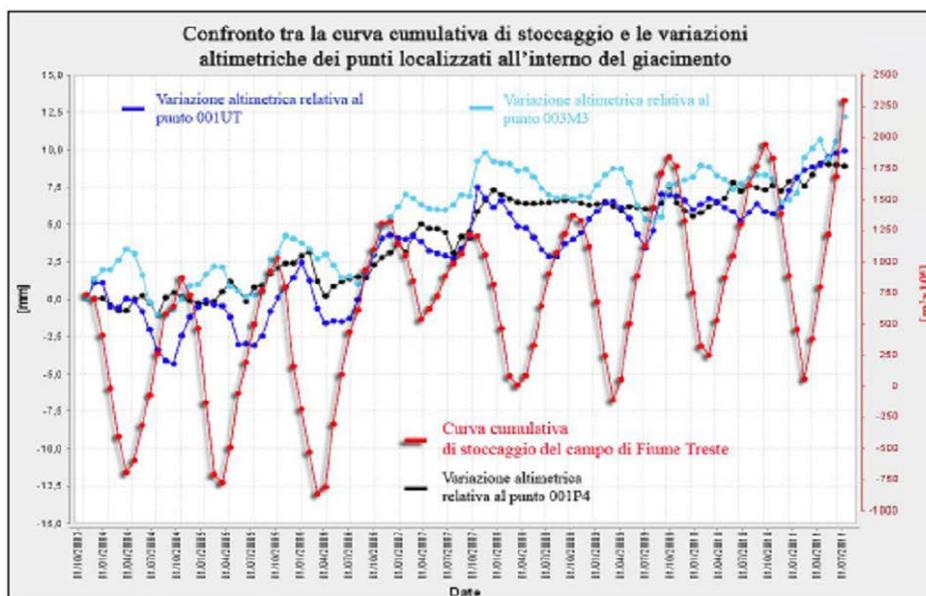
I valori ottenuti per ogni singolo PS sono di tipo differenziale e vengono riferiti ad un punto di riferimento al quale viene assegnata una velocità verticale pari a zero. Nel caso della Concessione di Fiume Treste, le misure vengono riferite alla posizione di punto utilizzato in fase di processing dei dati e localizzato presso l'abitato di San Salvo. Le misure effettuate dal 2003 indicano una variazione positiva di 0,85 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 soprastante. 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.

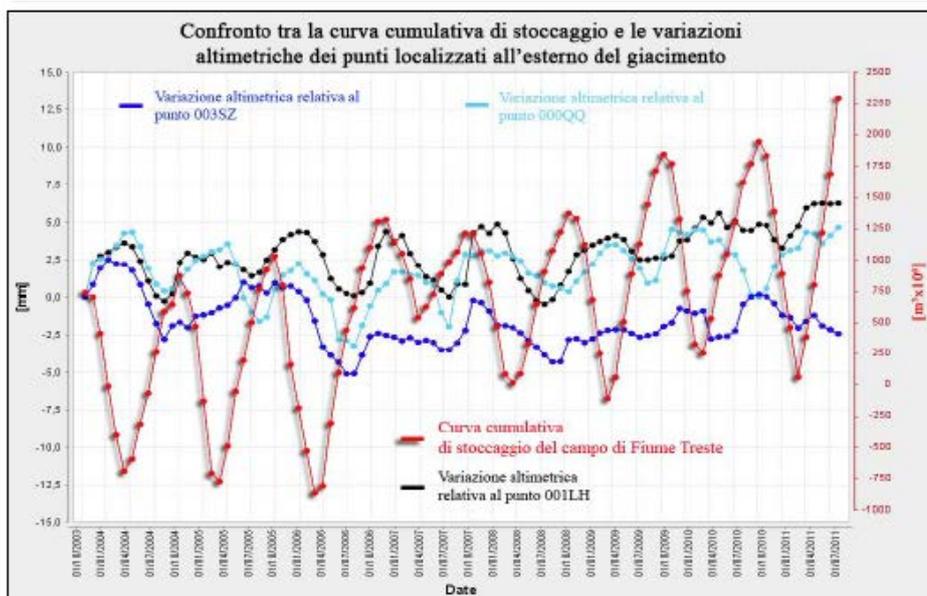


Tale monitoraggio è attivo nella Concessione di Stoccaggio Fiume Treste sin dal 2003, nella figura sottostante si riportano i valori degli scostamenti misurati all'interno dell'area mineralizzata comparati con la curva dei volumi di gas movimentato. Dal grafico si evidenzia una correlazione tra i volumi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

La frequenza di rilevazione dei dati consentirà di monitorare la fase di sperimentazione prima, durante e dopo il periodo di sovrappressione a cui il giacimento verrà sottoposto. Il monitoraggio del movimento del suolo continuerà anche al termine della fase di sperimentazione.



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 del suolo e l'attività di stoccaggio.



## MONITORAGGIO GEOCHIMICO-AMBIENTALE

Per il monitoraggio di superficie finalizzato alla verifica dell'assenza di diffusione di gas, proveniente dall'attività di stoccaggio, nelle falde acquifere, nei suoli e in aria è stata installata una stazione geochimico-ambientale in corrispondenza dell'area del pozzo San Salvo 81 dir (figura sottostante). La stazione, alimentata da corrente elettrica di rete, rileva la qualità dell'aria, del suolo e dell'acqua di falda superficiale, discriminando tra le componenti "naturale locale" ed "indotta dal sito".

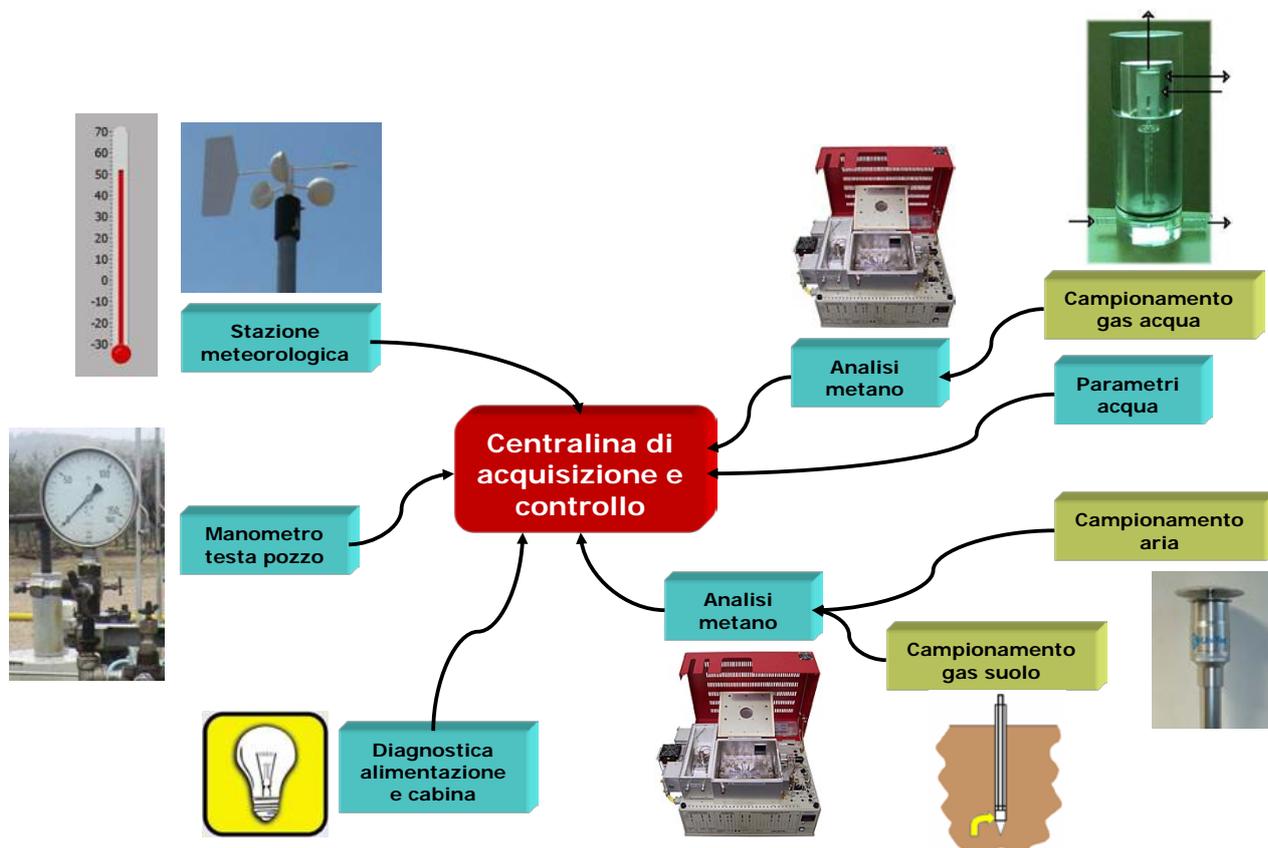


La stazione acquisisce informazioni in continuo riferite ai seguenti parametri:

- contenuto di CH<sub>4</sub> in aria;
- contenuto di CH<sub>4</sub> nel gas nel suolo;
- contenuto di CH<sub>4</sub> nel gas disciolto in acqua (il pozzo di campionamento acque è stato scavato sino al raggiungimento della prima falda);
- contenuto in gas non metanici (NMHC) nelle varie componenti
- misure meteo tramite tacogonioanemometro, termoigrometro, pluviometro, barometro e radiometro;
- misure accessorie (stato di funzionamento e diagnostiche).

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.

La figura seguente illustra schematicamente i principi di funzionamento per l'acquisizione e l'analisi dei dati di monitoraggio.



I dati attualmente disponibili come raw data, sono in fase di elaborazione per una prima valutazione dei valori di base dei parametri monitorati. La stazione sarà operativa per monitorare prima, durante e dopo la fase di sperimentazione in sovrappressione del Pool C2 al fine di monitorare i parametri di acquisizione.

### 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 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  $\leq 3$ ).

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 due metodologie complementari:

- installazione di una rete di superficie costituita 10 stazioni dotate di sismometri per il controllo del grado di sismicità naturale dell'area
- attrezzatura di pozzo composta da una serie di 5 sensori posti in profondità lungo il profilo del pozzo S. Salvo 81, per la verifica di eventuale microsismicità indotta dall'attività di stoccaggio.

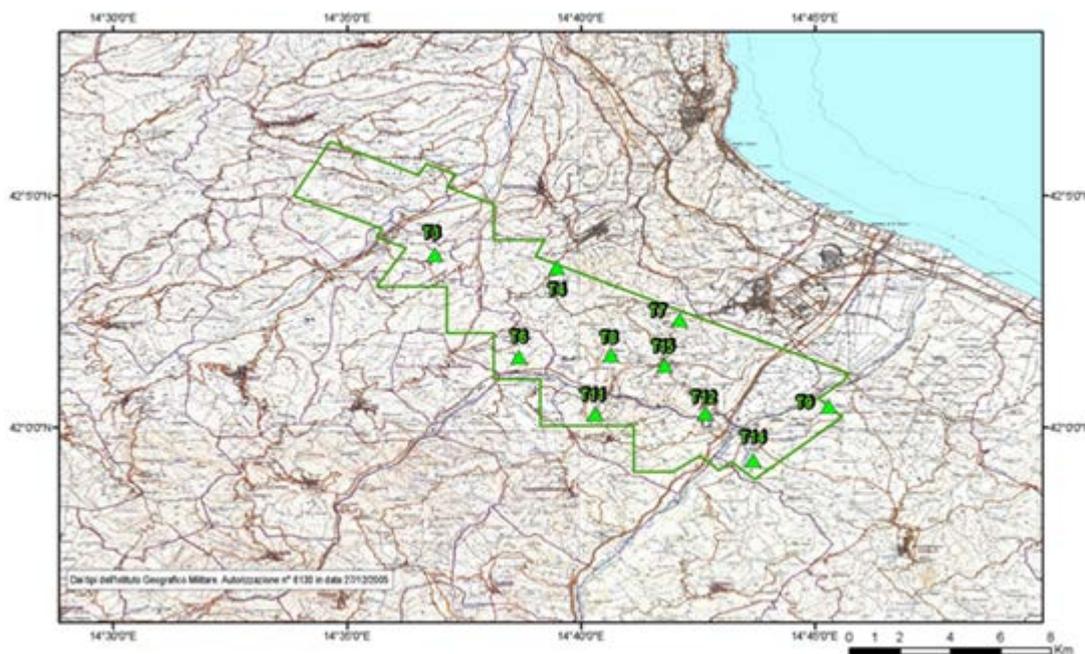
### **Monitoraggio microsismico di superficie**

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 SS 81

La rete microsismica si avvarrà di strumentazione e modalità di trasmissione dei dati adeguate per gli scopi previsti e dovrà comunque soddisfare ai 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.



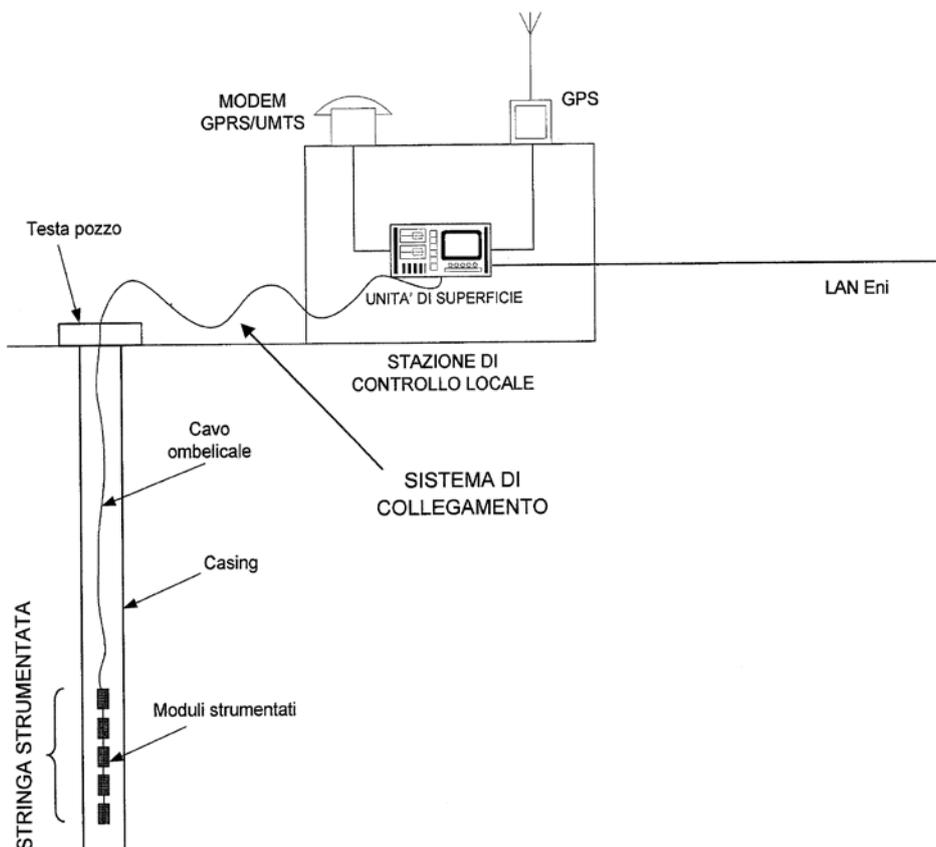
## Monitoraggio microsismico di pozzo

Il monitoraggio microsismico di pozzo ha preso avvio con l'installazione nel pozzo San Salvo 81 di una serie di moduli strumentali composta da geofoni triassiali e da inclinometri per il controllo geodetico della variazione di inclinazione della formazione in esame. La stringa strumentata è stata installata il 2/02/2010 e la registrazione è stata avviata in modo definitivo il 27/09/2011.

L'analisi si basa sulle registrazioni in continuo di eventi rilevati da 5 sensori a tre componenti posti in profondità in corrispondenza del giacimento di stoccaggio (Pool C2) e della sua roccia di copertura, in previsione dell'esercizio allo stoccaggio in sovrappressione al 110% della pressione originaria di scoperta.

I 5 sensori (TRMP-1, TRMP-2, TRMP-3, TRMP-4, TRMP-5) sono assemblati nella stringa di pozzo insieme a tiltmetri di precisione. I moduli microsismici sono dotati di bussola magnetica che permette di determinare con precisione e in modo continuo l'orientamento dei sensori.

La stringa di pozzo è collegata ad un'unità di controllo locale, sviluppata ed installata nel piazzale del pozzo. L'unità di controllo riceve il flusso di dati dalla stringa, esegue un pre-processing per individuare la presenza di trigger (segnale su più sensori) e archivia i dati raw e trigger acquisiti.



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 indotte dall'attività di stoccaggio.

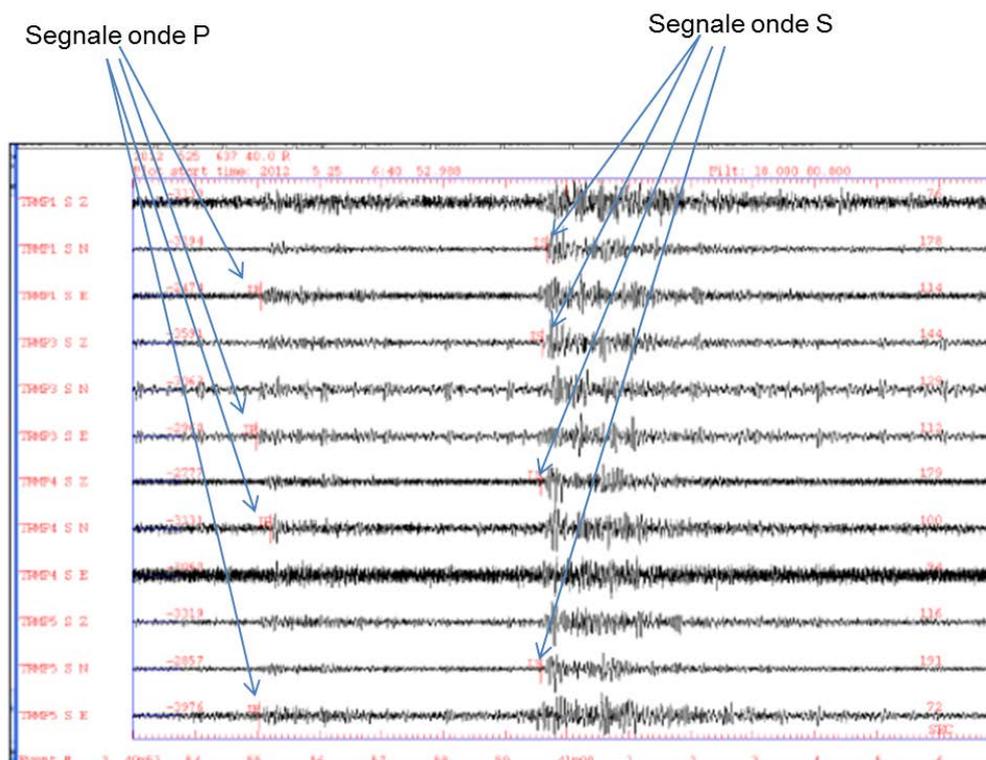
L'analisi dei dati avviene in modo automatico e gli eventuali segnali identificati sono poi analizzati manualmente. Le informazioni acquisite (triggers) vengono poi esaminate per differenziare i microsismi locali ( definiti come sismi con distanza dal pozzo inferiore a 2 km) da altri eventi sismici o dal rumore di fondo (bianco).

Il rumore di fondo è stato analizzato nel settembre 2011, quando il campo era chiuso all'iniezione; i valori di ampiezza massimi registrati sui 5 sensori risultano compresi tra 70 e 160 count, che trasformati in velocità equivalgono a valori tra 1,6 e 3,7  $\mu\text{m/s}$ . Tali valori indicano un livello di rumore dello stesso ordine di grandezza di quello che si ottiene per stazioni di superficie poco rumorose. Il 27 marzo è stato comunque modificato il parametro dei Gain sui digitizer per migliorare la qualità del rapporto segnale/rumore; sono in corso analisi per verificare il miglioramento.

Per quanto riguarda la differenziazione dei microsismi da altri eventi, vengono analizzate le seguenti condizioni:

- 1- Le fasi P e S devono essere identificabili.
- 2- Ci deve essere una differenza di ampiezza tra le due fasi, in genere maggiore per le S.
- 3- I vettori di polarizzazione delle fasi P e S devono essere ortogonali.
- 4- Il contenuto in frequenza deve essere a larga banda, ovvero i segnali nel tempo devono essere impulsivi.
- 5- Il move-out e la variazione del ritardo degli arrivi P e S attraverso l'array deve essere consistente con l'angolo di polarizzazione.
- 6- L'ampiezza di ogni fase dovrebbe variare in accordo all'ordine di arrivo ad ogni stazione.
- 7- Il Ts-p (differenza tra i tempi di arrivo delle onde S e P) è dell'ordine al massimo di qualche decimo di secondo.

Di seguito si riporta un esempio di registrazione di un evento sismico in cui si evidenzia come i tempi di arrivo delle onde P precedano di circa 5 secondi quello delle onde S dotate di maggiore ampiezza. L'evento è riferito al macrosisma verificatosi in data 25 maggio 2012 nel Ferrarese.

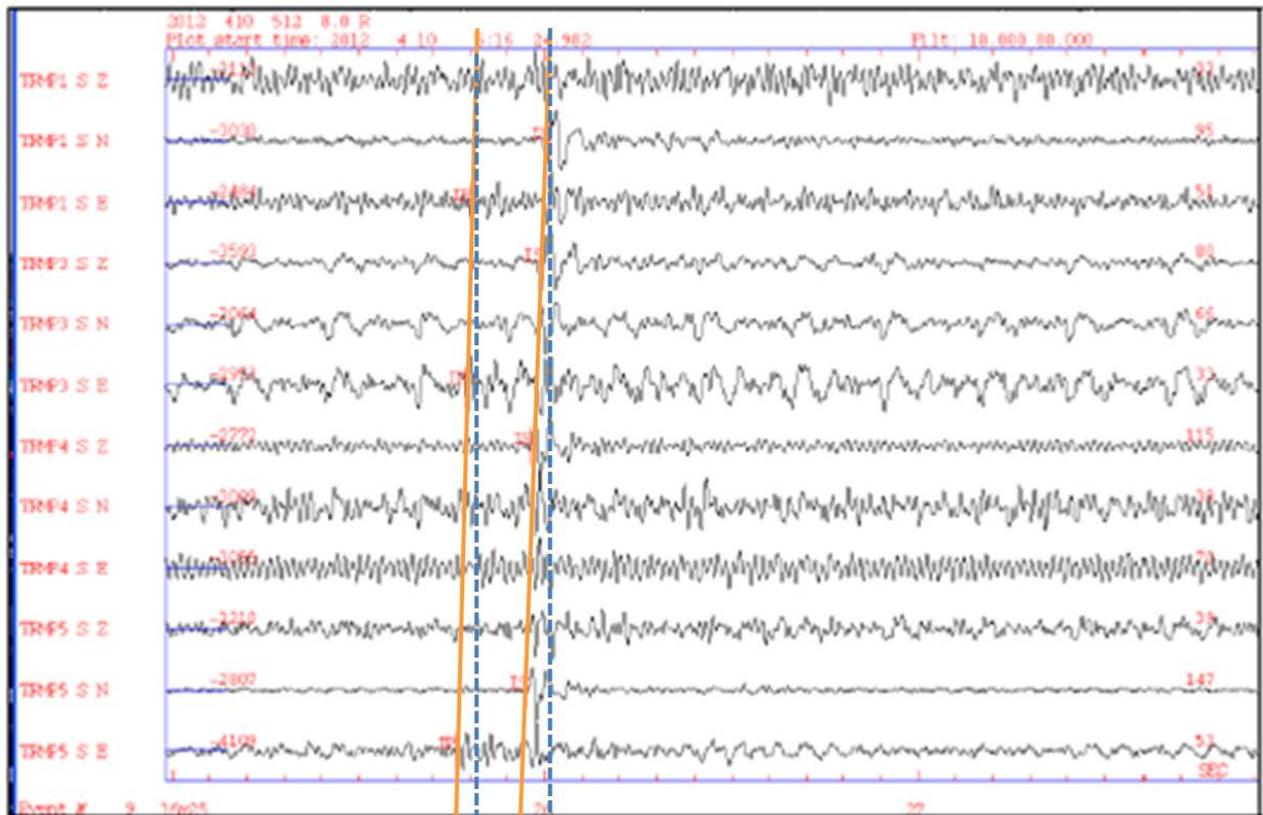


Evento del 25/05/2012 ore 06:40 - Tempo T onde S-P= ca 5 sec.

I dati disponibili ad oggi, comparati anche con quelli riportati nel Bollettino INGV, hanno evidenziato unicamente la registrazione di eventi sismici naturali e microsismi isolati, di bassa intensità e lontani dal sito (ipocentri a distanza maggiore di 5 km), ad ulteriore testimonianza del limitato tasso di sismicità della zona.

Unicamente in data 10 aprile 2012 alle ore 05.16 la rete ha registrato un microsisma di bassissima energia (magnitudo < 0), con ipocentro stimato a profondità più elevate rispetto al giacimento di circa 1 km e pertanto non correlabile con l'attività di stoccaggio.

Nella figura successiva viene riportata l'immagine di tale evento, in cui si può vedere il move-out degli arrivi delle onde P e S (linea arancio continua); per move-out s'intende lo sfasamento temporale tra i vari sensori di ricezione del segnale (tra il sensore più profondo posto in basso nella figura e quello più superficiale). Tale sfasamento temporale indica la direzione di provenienza dell'evento posta ad 1 km al di sotto del giacimento.



Move-out onde S      Linea di riferimento a Move-out=0

Move-out onde P