



**STOGIT**

**CONCESSIONE FIUME TRESTE**

**SISMICITA' E MONITORAGGIO  
MICROSISMICO**

0

**Concessione Fiume Treste Stoccaggio**

**SISMICITA' DELL'AREA E  
MONITORAGGIO MICROSISMICO**

**Data di emissione: Ottobre 2013**

		E. Cairo		
		M. Liberati		
		A. Mantegazzi		D. Marzorati
	AGGIORNAMENTI	PREPARATO DA	IL RESPONSABILE	



STOGIT

CONCESSIONE FIUME TRESTE

SISMICITA' E MONITORAGGIO  
MICROSISMICO

0

## SOMMARIO

<b>1. INTRODUZIONE</b>	<b>pag. 3</b>
<b>2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE</b>	<b>pag. 3</b>
<b>3. LIVELLO DI SISMICITA' DELL'AREA</b>	<b>pag. 6</b>
<b>4. ZONE SISMOGENETICHE</b>	<b>pag. 12</b>
<b>5. MONITORAGGIO MICROSISMICO</b>	<b>pag. 13</b>
<b>5.1 Rete microsismica di superficie</b>	<b>pag. 14</b>
<b>5.2 Monitoraggio con attrezzatura di pozzo (S. Salvo 81 dir)</b>	<b>pag. 16</b>
<b>5.2.1 Analisi del rumore di fondo</b>	<b>pag. 17</b>
<b>5.2.2 Eventi microsismici indotti</b>	<b>pag. 20</b>
<b>5.2.3 Eventi microsismici naturali</b>	<b>pag. 20</b>
<b>5.3 Conclusioni</b>	<b>pag. 20</b>

## 1. INTRODUZIONE

I giacimenti di stoccaggio gestiti da Stogit, che rientrano nella categoria dei giacimenti di idrocarburi in fase di esaurimento (Depleted Field), sono ben conosciuti dal punto di vista geologico e dinamico grazie ad una serie di informazioni relative alla fase di scoperta e di coltivazione e alle successive conoscenze acquisite durante l'attività di stoccaggio, che per alcuni giacimenti si protrae da oltre 40 anni.

Il piano complessivo di monitoraggio dei giacimenti include, oltre ad un accurato controllo delle pressioni di giacimento attraverso pozzi appositamente attrezzati per lo scopo ("pozzi-spia") e alla periodica registrazione di log per verifica della movimentazione dei fluidi e degli spostamenti della tavola d'acqua, anche una serie di metodologie di indagine mirate alla valutazione di aspetti quali i movimenti del suolo e la sismicità dell'area.

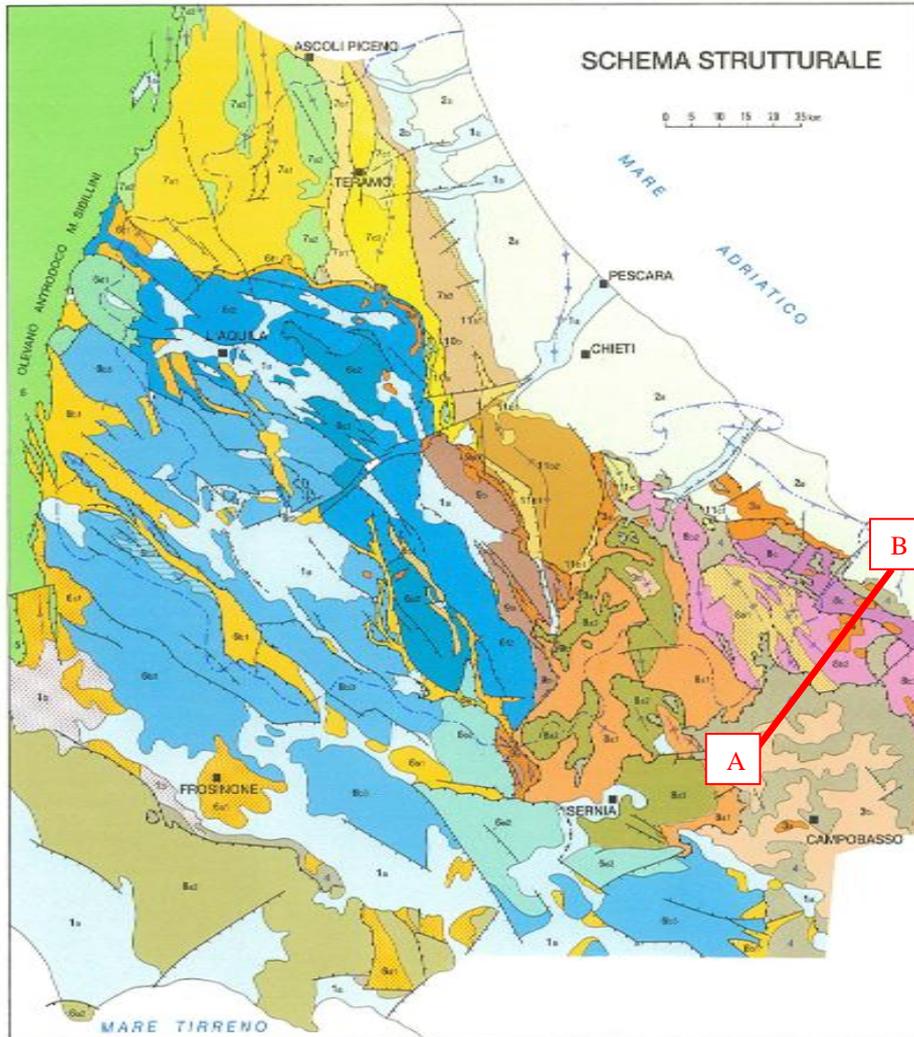
L'occorrenza di eventi sismici e le conseguenti attività di monitoraggio da eseguire per il controllo del giacimento sono strettamente correlate al livello di sismicità naturale dell'area e al contesto geologico regionale. In questa nota, dopo un'introduzione sugli aspetti geologico-strutturali del giacimento, vengono illustrati i risultati di studi sulla sismicità naturale pregressa dell'area della concessione di stoccaggio Fiume Treste.

## 2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE

Il giacimento di Fiume Treste, ubicato al confine tra Abruzzo e Molise, ricade dal punto di vista geologico in un settore marginale della catena appenninica, interessato dalla presenza di fronti compressivi che coinvolgono marginalmente anche i livelli sabbiosi adibiti allo stoccaggio, appartenenti a formazioni di età pliocenica (Candela-Torrente Tona).

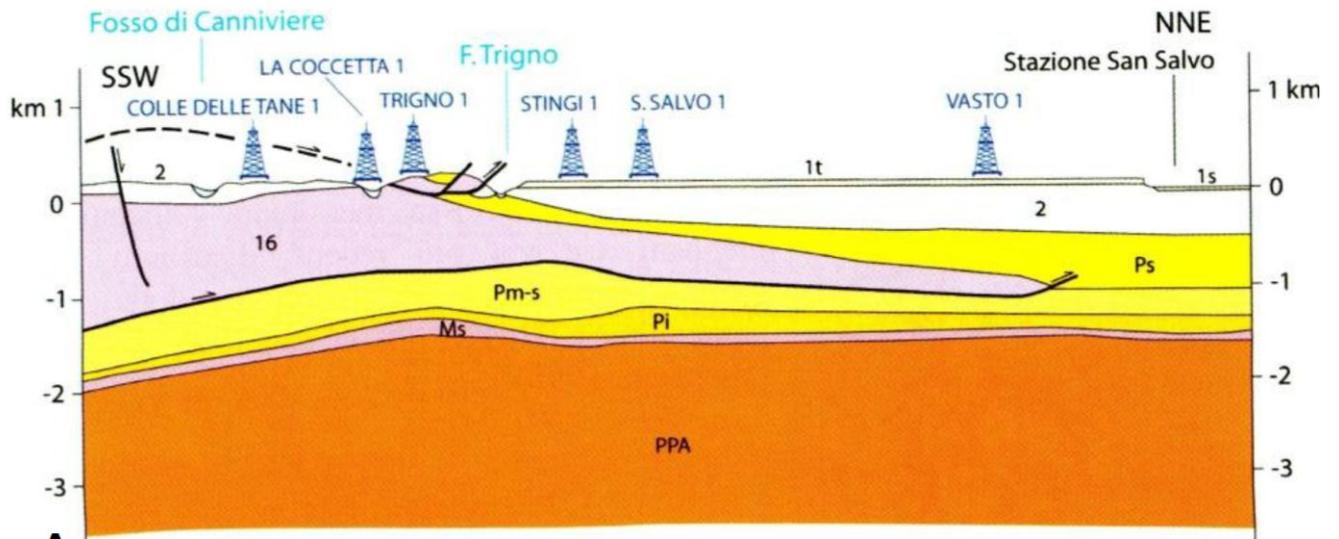
La successione stratigrafica descritta è ricoperta da unità ad assetto caotico per fenomeni di risedimentazione in massa (Alloctono), mentre inferiormente il substrato è costituito da formazioni calcaree di piattaforma carbonatica di età cretacea (Piattaforma Apula), interessate da tettonica di tipo distensivo.

Le figure seguenti riportano una carta geologica regionale semplificata dell'area appenninica in esame (Fig. 1a) ed una sezione geologica schematica (traccia A-B), in cui è evidenziata nel riquadro l'area in cui ricade il giacimento (Fig. 1b).



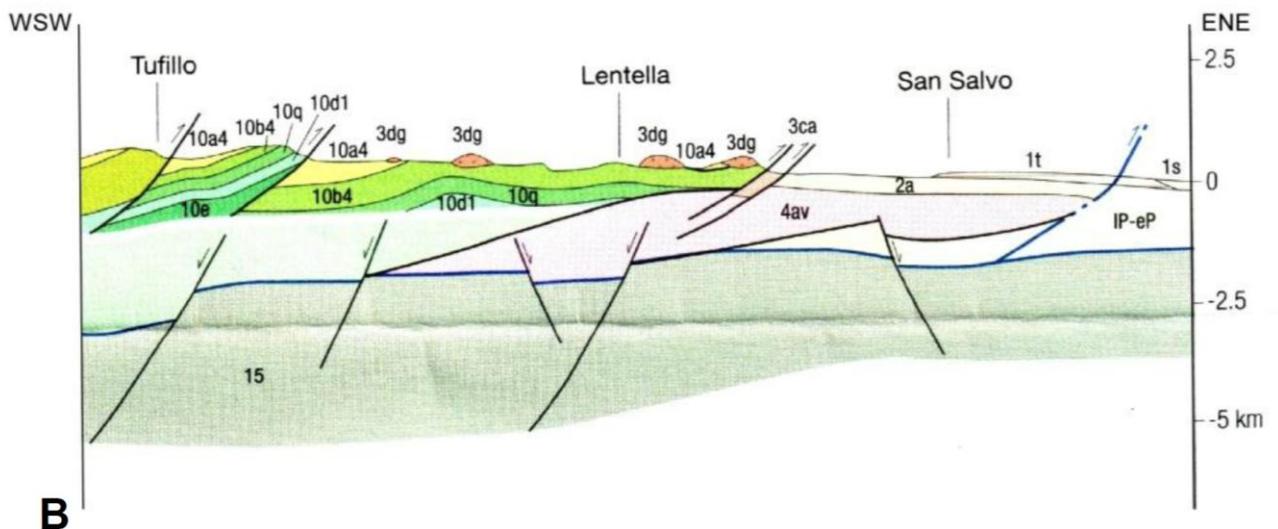


Le figure successive illustrano in maggior dettaglio l'assetto strutturale dell'area (Fig. 2a, 2b e 2c).



**A**

Fig. 2a



**B**

Fig. 2b



STOGIT

CONCESSIONE FIUME TRESTE

SISMICITA' E MONITORAGGIO  
MICROSISMICO

0

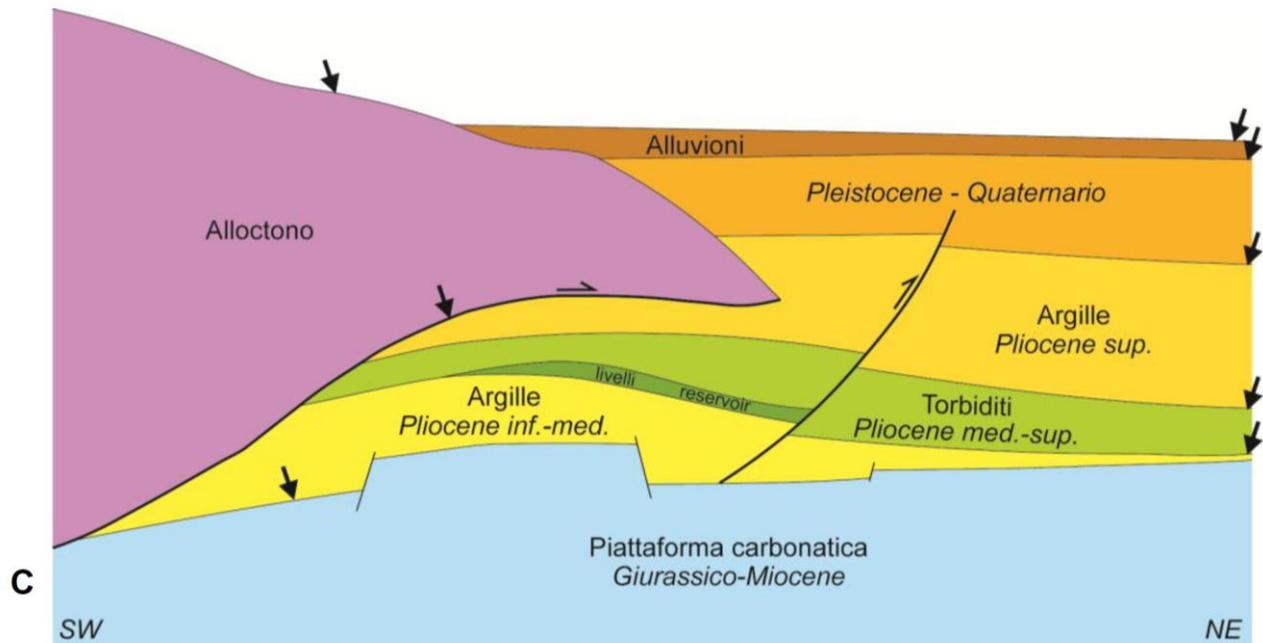


Fig. 2c

### 3. LIVELLO DI SISMICITA' DELL'AREA

La definizione del livello di rischio sismico del territorio è definito, a seguito di specifici provvedimenti legislativi (ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003), sulla base di una classificazione in quattro categorie, conseguente alla valutazione della frequenza degli eventi e della loro intensità. La zonazione, effettuata su base comunale ed in fase di continuo aggiornamento, prevede il seguente schema di classificazione:

- Zona 1: sismicità alta
- Zona 2: sismicità media
- Zona 3: sismicità bassa
- Zona 4: sismicità molto bassa

Tutti i comuni interessati dalla Concessione Fiume Treste (Scerni, Monteodorisio, Cupello, S. Salvo, Lentella, Fresagrandinaria, Furci, Gissi, Mafalda e Montenero di Bisaccia) rientrano nella Zona 3, come evidenziato nella Figura 3.

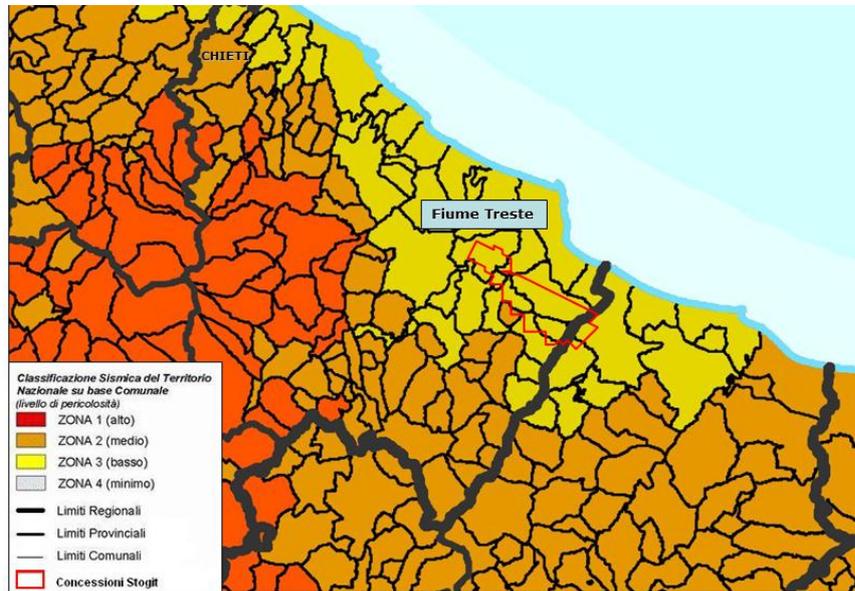


Fig. 3

Inoltre, la mappa di pericolosità sismica relativa all'area in cui ricade la Concessione di stoccaggio di Fiume Treste evidenzia come i valori di  $a(g)$  massimi attesi siano compresi tra 0,075 e 0,125 (Fig. 4), rientrando quindi nella zona sismica 3 definita dall'OPCM del 28 aprile 2006 (Fig. 5).

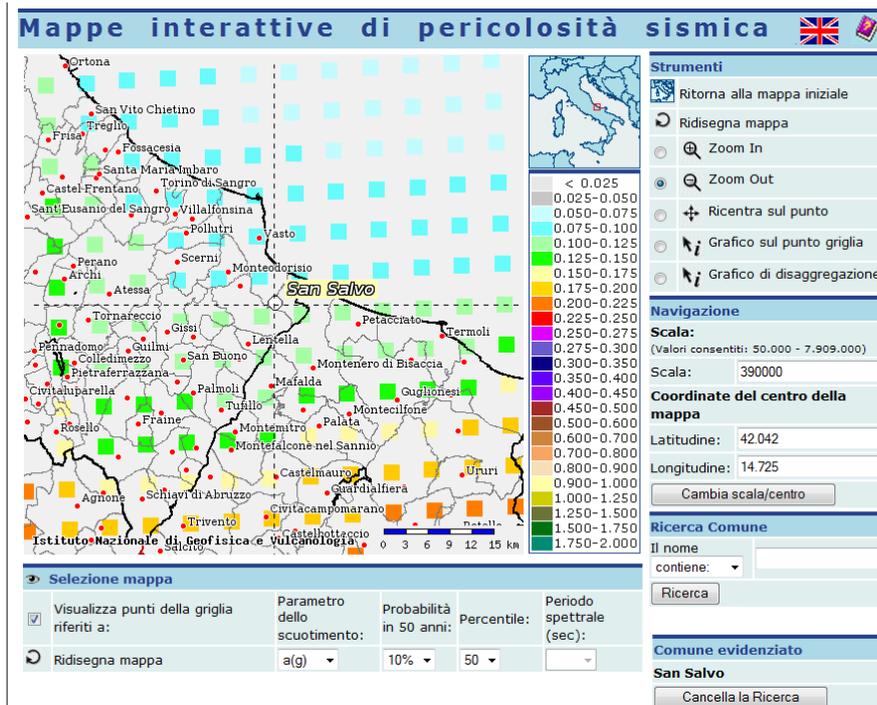


Fig. 4

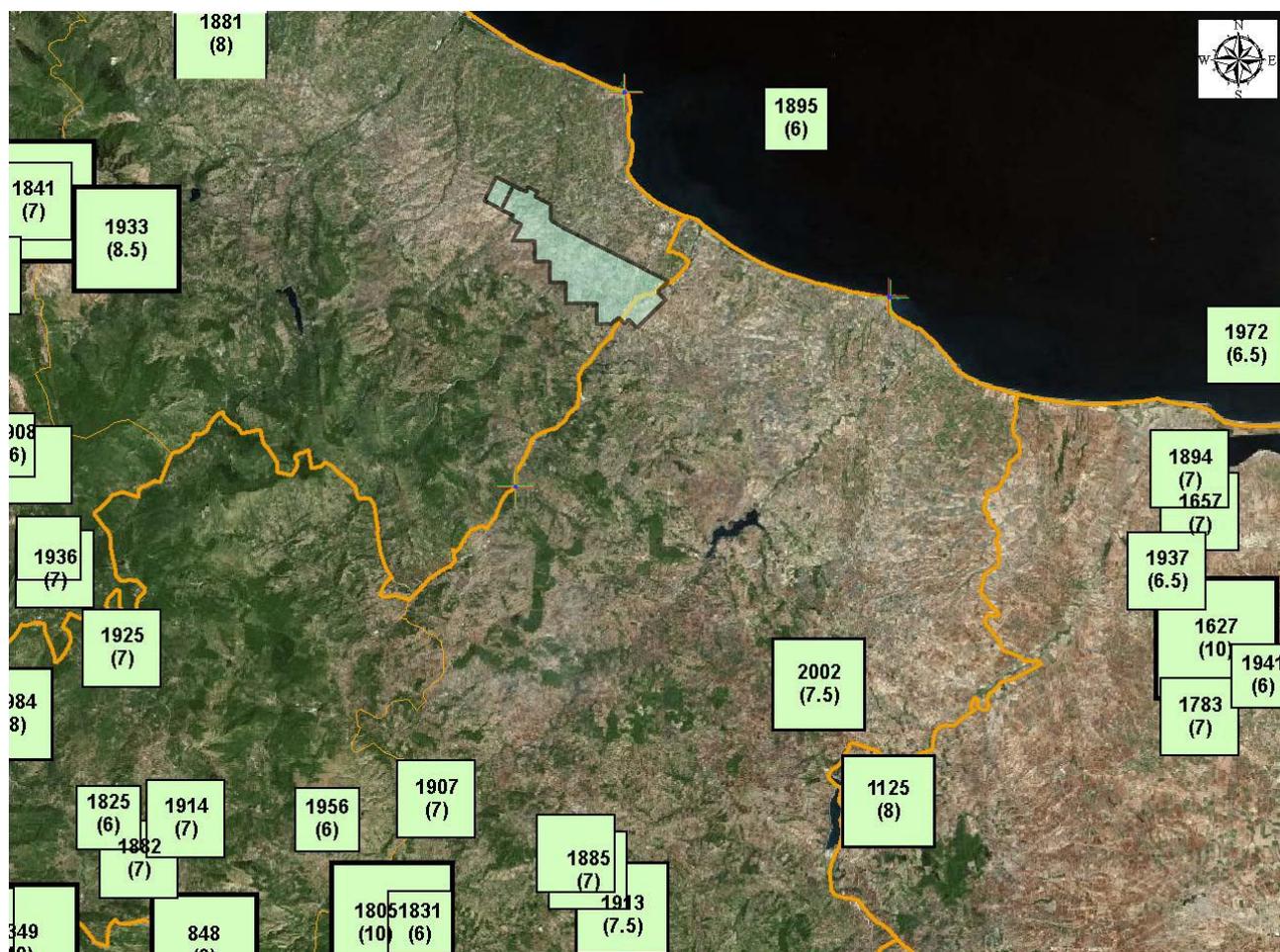
 <b>STOGIT</b>	<b>CONCESSIONE FIUME TRESTE</b>		
	<b>SISMICITA' E MONITORAGGIO MICROSISMICO</b>		
	0		

zona	accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [a <sub>g</sub> ]	accelerazione orizzontale massima convenzionale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [a <sub>g</sub> ]
1	0,25 < a <sub>g</sub> ≤ 0,35 g	0,35 g
2	0,15 < a <sub>g</sub> ≤ 0,25 g	0,25 g
3	0,05 < a <sub>g</sub> ≤ 0,15 g	0,15 g
4	≤ 0,05 g	0,05 g

**Fig. 5**

Per l'analisi del livello di sismicità naturale dell'area sono state condotte ricerche sia sulla sismicità storica che su quella recente.

Per "sismicità storica" si intende l'insieme degli eventi sismici le cui informazioni sono state reperite con tecniche di ricerca documentale e storiografica, piuttosto che strumentale (reti sismometriche). La ricerca sulla sismicità storica dell'area in esame è stata effettuata consultando il Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani e le sue pubblicazioni accessorie. Questo catalogo ingloba le informazioni parametrizzate di quasi 2000 terremoti storici italiani verificatisi dall'Età Antica fino al 31-10-2002 (terremoto di San Giuliano di Puglia). La Figura 6 mostra una mappa satellitare della zona in esame sulla quale è riportato il poligono che delimita la Concessione di Fiume Treste. Su tale mappa sono stati riportati gli epicentri di tutti i terremoti storici registrati nel citato catalogo. Ogni terremoto è identificato da un quadrato in cui sono riportati l'anno di accadimento e, tra parentesi, l'intensità macrosismica epicentrale (espressa in gradi Mercalli-Cancani-Sieberg, o "MCS"). Il simbolo ha una dimensione proporzionale all'intensità stessa ed è collocato in corrispondenza dell'epicentro del sisma. Da tale mappa si può notare come l'attività sismica sia concentrata in alcuni settori della retrostante catena appenninica (Maiella a NW, dorsale Sannio-Matese a SW e Foggiano-Gargano a SE). Nel contempo, si osserva come nella zona della Concessione Fiume Treste vi sia una totale assenza di epicentri di terremoti storici documentati. Gli epicentri di terremoti medi e forti più vicini si trovano ad oltre 30 km di distanza dal sito, mentre quello del sisma molisano del 2002 dista circa 35 km verso SE. L'area della concessione di stoccaggio e le zone circostanti sono dunque caratterizzate da una bassa sismicità locale, ovvero dalla quasi totale assenza di eventi sismici significativi.



**Fig. 6**

Per "sismicità recente" si intende l'insieme degli eventi sismici le cui informazioni sono state collezionate con tecniche di registrazione ed analisi strumentale, ovvero attraverso l'utilizzo di reti di monitoraggio sismometrico. Si tratta in genere di molte migliaia di terremoti di piccola, media e grande magnitudo registrati nell'arco degli ultimi decenni. La ricerca sulla sismicità recente dell'area in esame è stata effettuata consultando il Bollettino della Sismicità Strumentale compilato dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. Questo catalogo ingloba le informazioni parametrizzate di oltre 50.000 terremoti italiani verificatisi tra il 1983 ed il 2005. La Figura 7 mostra una mappa satellitare in cui è riportata la localizzazione della Concessione e che mostra gli epicentri di tutti i terremoti registrati nel suddetto catalogo; ogni terremoto è identificato da un cerchio giallo corrispondente alla "sfera equivalente al volume focale dell'evento", ovvero corrispondente al volume crostale scaricatosi dall'energia



STOGIT

CONCESSIONE FIUME TRESTE

SISMICITA' E MONITORAGGIO  
MICROSISMICO

0

elastica, per semplicità dipendente dalla sua magnitudo.

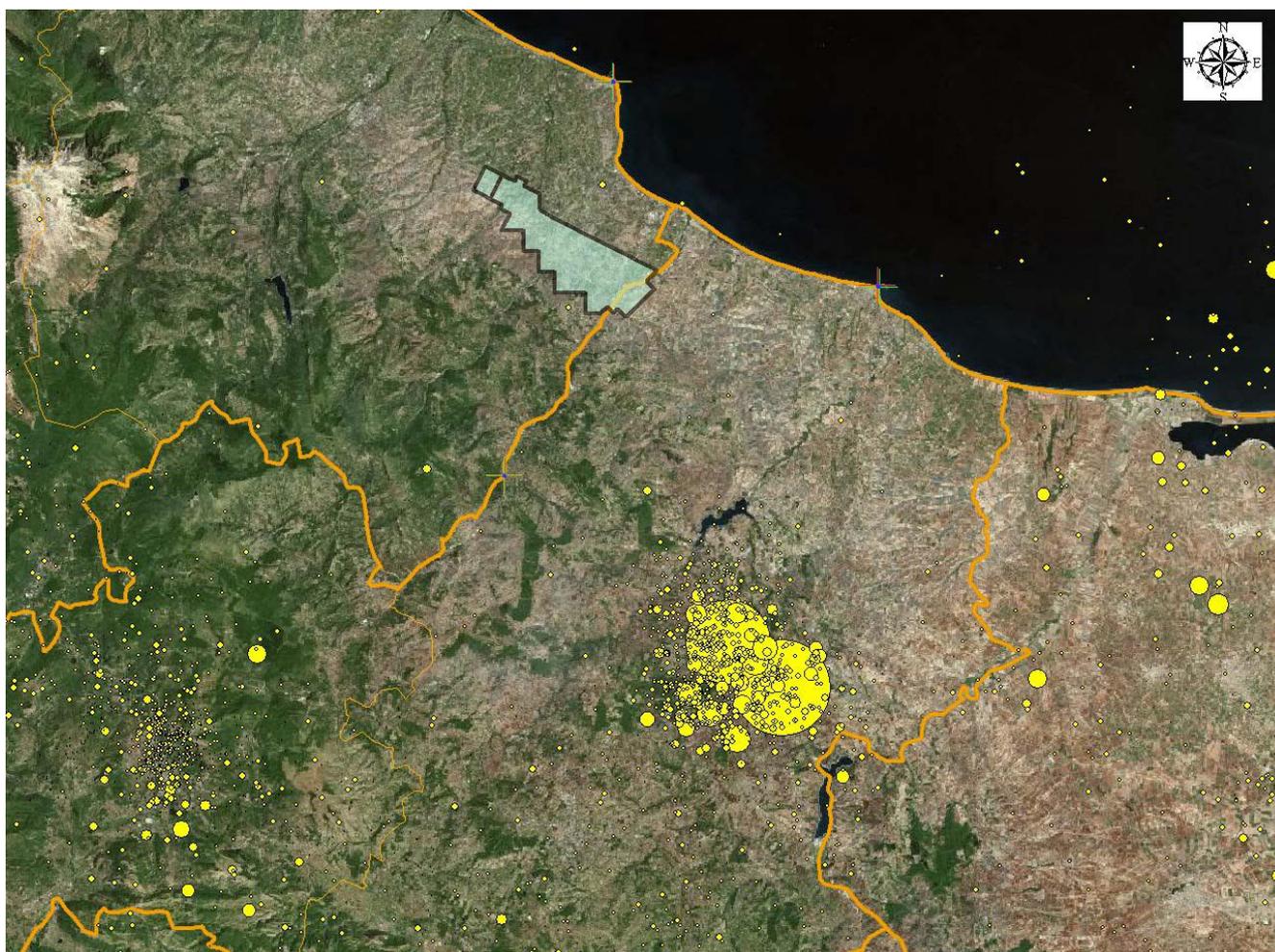


Fig. 7

Questa mappa, relativa ad un arco temporale di registrazioni sismiche di poco più di venti anni, conferma il quadro già evidenziato dalla sismicità storica: i processi sismogenetici non sono uniformemente diffusi sul territorio, ma si concentrano solo in alcune zone, probabilmente corrispondenti a strutture sismogenetiche oggi attive, con vario grado di attività ed a varie profondità; il cluster di centinaia di terremoti evidenziati è relativo allo sciame registrato durante alcuni mesi in occasione del sisma molisano del 2002.

Anche in questo caso si può notare che la zona della Concessione di Fiume Treste è quasi totalmente priva di epicentri.

Nella Tabella 1 sono riportati i dati dei terremoti registrati dal 1983 al 2005 con epicentro entro 15 km dai limiti della concessione stessa.



STOGIT

CONCESSIONE FIUME TRESTE

SISMICITA' E MONITORAGGIO  
MICROSISMICO

0

Anno	Mese	Giorno	Latitudine	Longitudine	LonE (km)	Z (km)	Magn	Rerr (km)
1986	1	17	42.089	14.402	13.9	5	2.7	18
1986	2	9	41.989	14.668	7.4	15	3.0	12
1988	3	16	42.048	14.895	5.2	5	2.6	6
1991	8	23	41.983	14.823	2.4	5	2.5	3
1992	3	17	42.197	14.673	9.2	10	2.8	10
1992	7	21	41.872	14.618	1.9	10	2.4	2
2000	10	4	42.088	14.703	1.7	5	3.1	3
2000	10	4	42.073	14.789	1.5	5	2.7	3
<b>2002</b>	<b>10</b>	<b>31</b>	<b>41.900</b>	<b>14.797</b>	<b>2.1</b>	<b>10</b>	<b>2.5</b>	<b>9</b>
2003	11	5	41.918	14.839	1.2	10	2.5	4
2005	7	17	41.908	14.675	0.0	19	1.6	0

Tab. 1

Dall'analisi di questi dati si rileva quanto segue:

- gli undici sismi registrati ricadono esternamente alla concessione e ad almeno 1 km dai suoi limiti;
- la magnitudo di questi eventi, compresa tra 1.6 e 3.1, è molto limitata;
- gli epicentri sono collocati ad almeno 5 km di profondità e spesso oltre i 10 km;
- in concomitanza con la crisi sismica molisana del 2002, la cui area sorgente si colloca ad almeno 30 km a SE della concessione, è stato registrato un solo evento in prossimità della stessa (evidenziato in grassetto nella tabella soprastante).

In sostanza, la presenza nell'arco di oltre venti anni di questi piccoli eventi sismici nella zona a ridosso della Concessione può essere considerata alla stregua della "sismicità di fondo" che caratterizza l'intero territorio nazionale.

Gli eventi sismici rilevati in quest'area presentano solitamente ipocentri a profondità elevata (> 20 km), ben superiore a quella di interesse per il giacimento, che risulta inoltre "isolato" geodinamicamente da consistenti formazioni argillose presenti sia superiormente che alla base dello stesso e che contribuiscono, grazie alle loro proprietà elastiche, ad assorbire la propagazione in sottosuolo delle onde acustiche.

Il monitoraggio in continuo dei valori di pressione del giacimento in pozzi opportunamente selezionati, con misurazioni effettuate sia a testa-pozzo che al fondo, rappresenta un ulteriore strumento di controllo per valutare eventuali anomalie nel regime idraulico complessivo del giacimento stesso.



#### 4. ZONE SISMOGENETICHE

Sulla base di uno studio condotto da INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) e della relativa pubblicazione (Meletti e Valensise, 2004) sono state individuate nel territorio nazionale alcune aree sismogenetiche, rappresentate da zone nelle quali sono attesi terremoti con magnitudo  $M \geq 5$ .

Questa zonazione rappresenta il principale punto di riferimento per le valutazioni di pericolosità sismica del territorio, in particolare per quanto attiene ai criteri di costruzione degli edifici. La sua realizzazione si basa su informazioni legate alla localizzazione delle sorgenti sismogenetiche (faglie attive), al catalogo dei terremoti e sull'elaborazione del modello sismotettonico.

La Figura 8a, tratta dalla pubblicazione citata, riporta la localizzazione delle zone sismogenetiche con la loro denominazione.

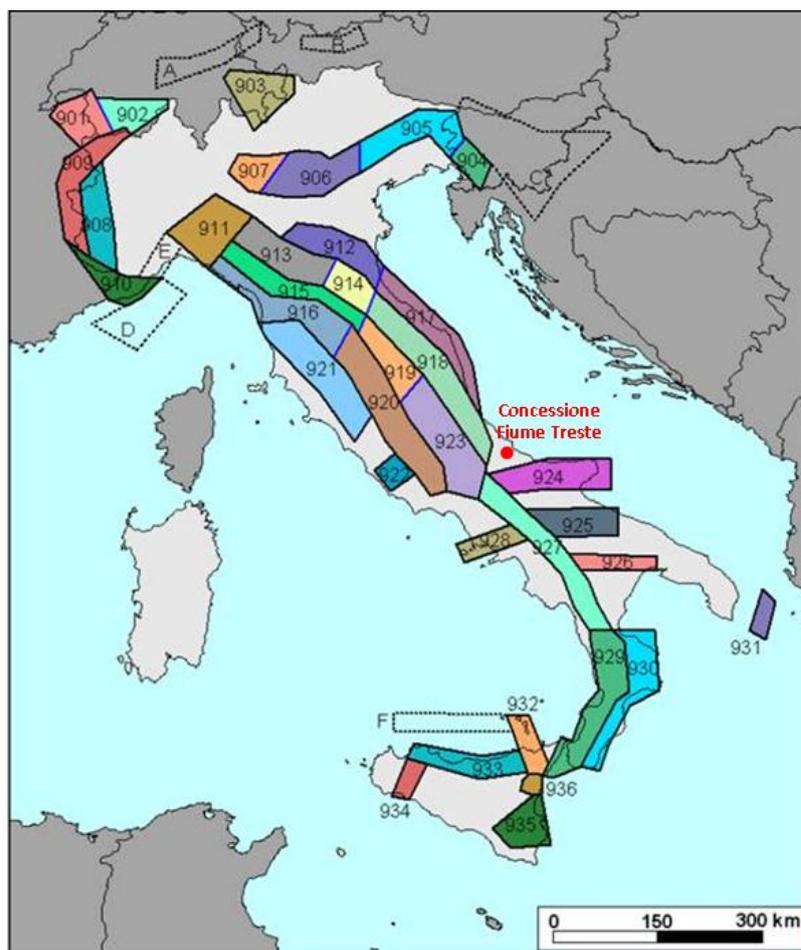


Fig. 8a

Come evidenziato nella Figura 8b, l'area della concessione di stoccaggio di Fiume Treste non rientra fra le zone sismogenetiche; le aree sismicamente attive più prossime si trovano nella retrostante catena appenninica abruzzese (Zona 918) e nell'area molisana e bradanica (Zona 924).



**Fig. 8b**

## 5. MONITORAGGIO MICROSISMICO

Il programma di monitoraggio microsismico nella Concessione Fiume Treste Stoccaggio prevede sia il controllo dell'esercizio in sovrappressione del Pool C2 con sismometri nel pozzo S. Salvo 81 dir (attivo da fine settembre 2011), che l'installazione di una rete di superficie finalizzata al monitoraggio areale di tutta la concessione (attivazione prevista nel 2013).



L'acquisizione di dati con l'attrezzatura di pozzo installata in S. Salvo 81 dir consente l'indagine con un raggio di investigazione stimato in circa 2 km (vedi area cerchiata in Fig. 9).

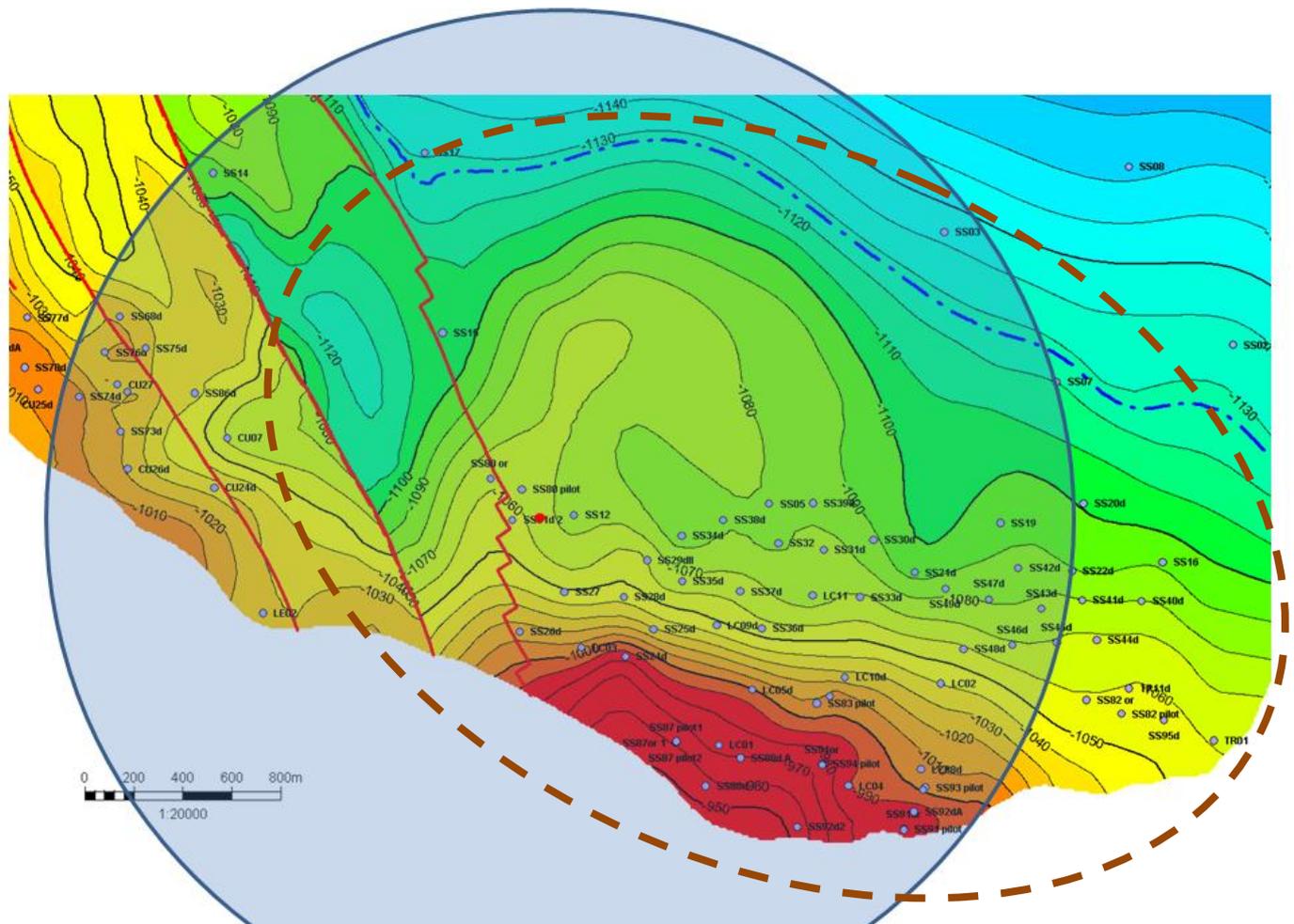


Fig. 9

I dati acquisiti con il monitoraggio del pozzo S. Salvo 81 dir assicurano pertanto la copertura dell'area del giacimento interessata dall'esercizio dello stoccaggio in sovrappressione in programma nel Pool C2 Culminazione La Coccetta (vedi area tratteggiata in Fig. 9). L'installazione della rete di superficie consentirà, invece, di ottenere informazioni complementari sull'intera area della concessione, integrando il quadro delle informazioni di carattere microsismico.

### 5.1 Rete microsismica di superficie

Il piano di monitoraggio microsismico prevede l'installazione di una rete di superficie per garantire una copertura sull'intera estensione dei vari pool di stoccaggio in attività o di futuro



sviluppo. La rete è finalizzata al monitoraggio del grado di sismicità naturale dell'area, che ricade peraltro in un territorio considerato a 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 10 stazioni fisse, cui faranno seguito in futuro altre stazioni fino ad un massimo di 15, dotate di sensori sismometrici 3D ad alta frequenza. La progettazione della rete si è basata sui seguenti criteri e requisiti tecnici:

- ubicazione delle stazioni al contorno dell'area da indagare, con una o più stazioni al centro della stessa
- posizionamento delle 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 sismici
- dimensionamento della rete con distanza media tra le stazioni non superiore al doppio della profondità di interesse per l'indagine

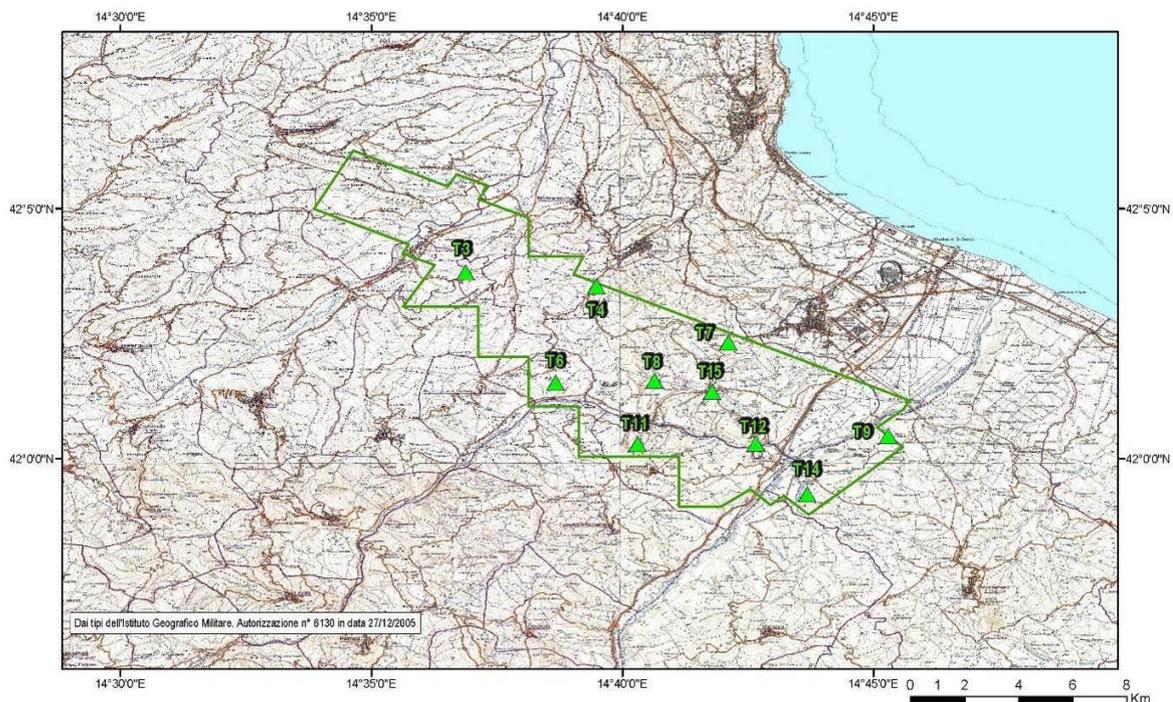


Fig. 10

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



STOGIT

CONCESSIONE FIUME TRESTE

SISMICITA' E MONITORAGGIO  
MICROSISMICO

0

adeguata; sono in corso attività di procurement per l'acquisto delle attrezzature, permitting ed opere civili per l'acquisizione delle aree e predisposizione delle postazioni. Si prevede l'attivazione effettiva della rete entro il 2013.

La Figura 10 mostra la geometria della rete con l'ubicazione delle stazioni microsismiche poste all'interno della Concessione di Stoccaggio.

## 5.2 Monitoraggio con attrezzatura di pozzo (S. Salvo 81 dir)

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. L'attrezzatura è composta da una serie di "moduli strumentati" distanziati di alcune decine di metri e posti lungo la parte inferiore del pozzo, a profondità corrispondente a quella del livello di stoccaggio e della formazione argillosa di copertura. I moduli microsismici sono dotati di bussola magnetica, che permette di determinare con precisione ed in modo continuo l'orientamento dei sensori.

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.

La strumentazione consente quindi di monitorare in continuo ed in tempo reale eventi microsismici eventualmente generati da fenomeni di assestamento, microfratturazione o riattivazione di faglie.

La stringa strumentata è stata installata il 2 febbraio 2010 nel pozzo San Salvo 81 dir, di recente perforazione (2006) ed espressamente dedicato al monitoraggio del giacimento. La registrazione è stata avviata in modo definitivo il 27 luglio 2011.

La stringa di pozzo è collegata ad una unità di controllo locale, installata nella postazione del pozzo, che provvede ad inviare ed archiviare i dati ricevuti dal GPS e dalla stringa, eseguendo, tramite uno specifico software (Seislog), un pre-processing finalizzato ad individuare la presenza di trigger, cioè di segnali legati a potenziali eventi microsismici.

L'analisi dei dati avviene in modo automatico, ripetendo più volte la ricerca con diversi parametri ed algoritmi. Gli eventuali segnali identificati vengono poi analizzati manualmente.



STOGIT

CONCESSIONE FIUME TRESTE

SISMICITA' E MONITORAGGIO  
MICROSISMICO

0

Le informazioni acquisite vengono esaminate per differenziare i microsismi, definiti come sismi con distanza dal pozzo inferiore ad 1 km, da altri eventi o dal rumore di fondo.

Si riporta, come esempio, l'immagine dello spettro delle onde P ed S registrate dagli strumenti in pozzo a seguito di un evento sismico con epicentro lontano avvenuto in data 21 febbraio 2012 (Fig. 11).

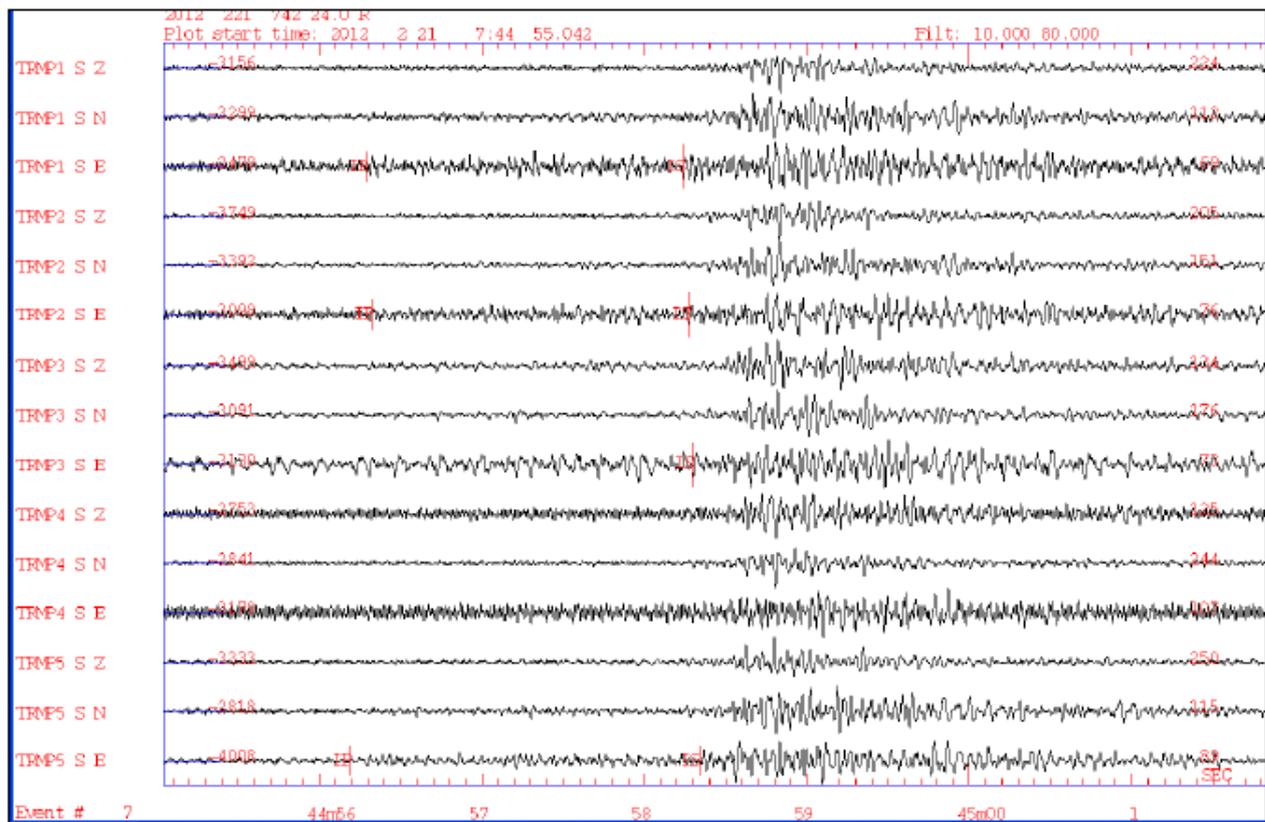


Fig. 11

### 5.2.1 Analisi del rumore di fondo

I dati attualmente disponibili includono il periodo fino al 6 Febbraio 2013, comprensivo quindi anche della fase di stoccaggio con iniezione sperimentale in sovrappressione nel Pool C2.

I dati, riguardanti il livello di ampiezza del segnale registrato e la ricerca di potenziali microsismi, indicano che gli eventi riconosciuti hanno carattere generico e collegabile ad attività di superficie o sono attribuibili ad eventi sismici, alcuni dei quali sono riportati anche nel Bollettino INGV.



STOGIT

CONCESSIONE FIUME TRESTE

SISMICITA' E MONITORAGGIO  
MICROSISMICO

0

L'interpretazione dei dati è stata finalizzata a caratterizzare le varie fasi del ciclo di ricostituzione del campo (2012):

- periodo in cui il campo è rimasto fermo durante la campagna iniettiva (analisi del bianco);
- periodo con iniezione fino alla pressione originaria ( $P=P_i$ );
- periodo con iniezione in sovrappressione ( $P>P_i$ ).

Le figure seguenti (Fig. 12a, 12b e 12c) riportano, per ciascun periodo, un'immagine del segnale acquisito riferita ad un intervallo temporale di circa 1 minuto, selezionato in quanto privo di disturbi ed interferenze con attività di superficie. Le registrazioni mostrate, riportate nelle figure seguenti, sono pertanto ritenute rappresentative dell'intero periodo del ciclo di stoccaggio cui si riferiscono. Ogni immagine riporta le tracce registrate dai tre sensori posizionati a diverse profondità, la cui escursione di ampiezza è definita dalla velocità delle particelle in arrivo al geofono. In tutte le fasi analizzate i segnali sono filtrati 10-80Hz, per eliminare le componenti a bassa frequenza di 4Hz di tipo strumentale.

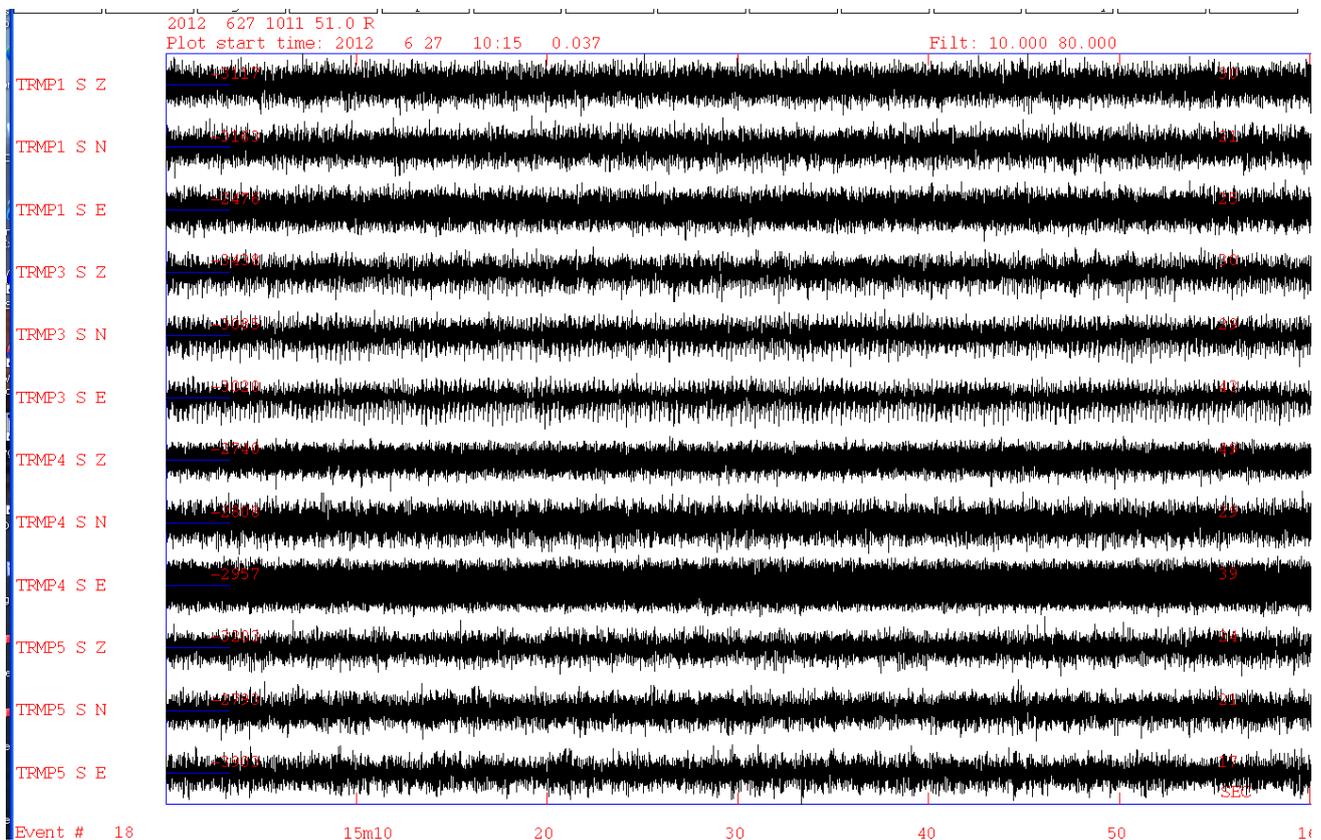


Fig. 12a. Periodo in cui il campo è rimasto fermo durante la campagna iniettiva (analisi del bianco) (27 giugno 2012; ora 10:15 UTC = 12.15 ora italiana). I canali Z ed E sono invertiti.



STOGIT

CONCESSIONE FIUME TRESTE  
SISMICITA' E MONITORAGGIO  
MICROSISMICO

0

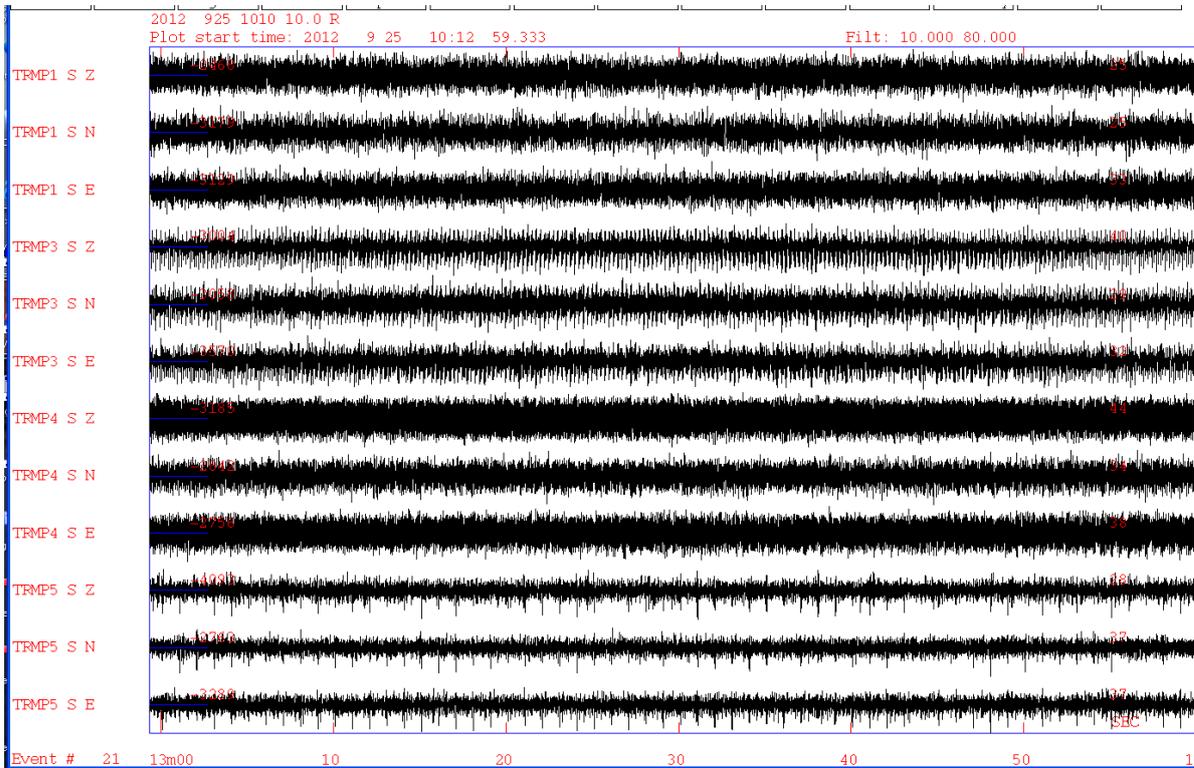


Fig. 12b. Periodo con iniezione fino alla pressione originaria ( $P=P_i$ ) (25 settembre 2012; ora 10:12 UTC = 12.12 ora italiana).

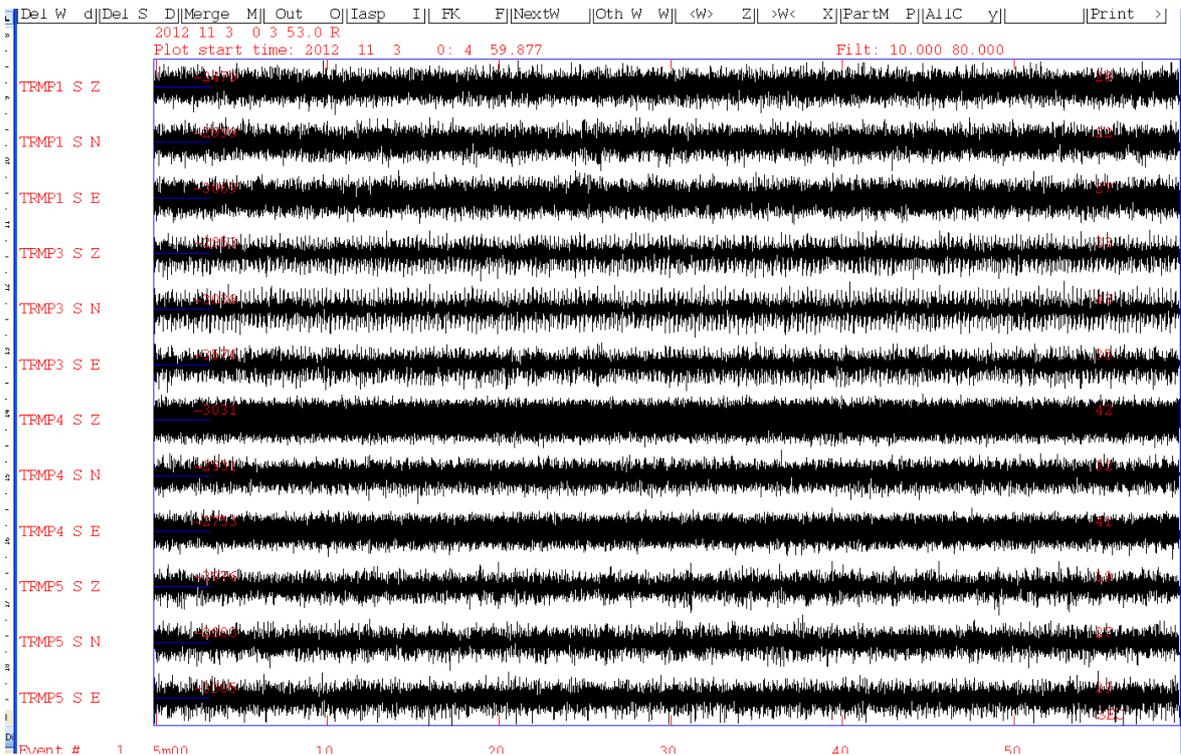


Fig. 12c. Periodo con iniezione in sovrappressione ( $P>P_i$ ) (3 novembre 2012; ora 00:04 UTC = 01.04 ora italiana).

	<b>CONCESSIONE FIUME TRESTE</b>		
	<b>SISMICITA' E MONITORAGGIO MICROSISMICO</b>		
	0		

### **5.2.2 Eventi microsismici indotti**

L'analisi delle registrazioni delle singole fasi del ciclo di stoccaggio non evidenzia variazioni significative nell'ampiezza del segnale, a testimonianza dell'assenza di fenomeni microsismici indotti ricollegabili all'esercizio del giacimento in regime di sovrappressione.

### **5.2.3 Eventi microsismici naturali**

Nel corso del 2012 la rete installata nel pozzo S. Salvo 81 dir ha registrato una serie di eventi microsismici naturali, due dei quali inizialmente riconosciuti come microsismi locali con ipocentri posti comunque ad una profondità superiore a quella del giacimento. In seguito, un'analisi di maggior dettaglio dell'insieme degli eventi registrati ha portato alla ridefinizione di questi due eventi, che sono stati classificati come eventi sismici lontani.

Tutti gli altri dati attualmente disponibili si riferiscono ad eventi isolati e lontani, di carattere sismico naturale, ad ulteriore testimonianza del limitato tasso di sismicità della zona della Concessione Fiume Treste Stoccaggio.

In conclusione, correlando le registrazioni relative al periodo di registrazione in bianco con quelle relative al periodo in cui è stata effettuata l'iniezione sperimentale in sovrappressione, non risultano differenze, se non la regolare registrazione del rumore.

### **5.3 Conclusioni**

Dopo il primo anno di acquisizione dei dati, la strumentazione del pozzo S. Salvo 81 ha pertanto mostrato una notevole potenzialità di investigazione dei segnali microsismici, grazie alla vicinanza delle sorgenti e al ridotto rumore ambientale. La geometria verticale, anziché areale, consente di individuare segnali più complessi, che richiedono di conseguenza un particolare impegno di analisi e di interpretazione dei dati.