



Ricerca di Sistema elettrico

## Realizzazione e valorizzazione del CCS nel Sulcis

*S. Lombardi, S. Colella, S. Graziani e M.C. Tartarello*

## REALIZZAZIONE E VALORIZZAZIONE DEL CCS NEL SULCIS

S. Lombardi, S. Colella, S. Graziani e M.C. Tartarello (Università degli Studi di Roma "Sapienza" – CERI)

Settembre 2013

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2012

Area: Produzione di energia elettrica e protezione dell'ambiente

Progetto: Cattura e sequestro della CO<sub>2</sub> prodotta dall'utilizzo di combustibili fossili

Obiettivo: Tecnologie per la rimozione permanente della CO<sub>2</sub>

Responsabile del Progetto: Stefano Giammartini, ENEA



Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "*Monitoraggio geochimico per lo stoccaggio geologico della CO<sub>2</sub> e sua applicazione presso l'area del bacino minerario del Sulcis*"

Responsabile scientifico ENEA: Paolo Deiana

Responsabile scientifico per l'Università degli Studi di Roma "Sapienza": Salvatore Lombardi

## Indice

SOMMARIO .....	4
1 INTRODUZIONE .....	5
2 ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI .....	7
2.1 STAZIONE "SARDEGNA" .....	8
2.2 STAZIONE "SARDEGNA 1" .....	9
2.3 STAZIONE "SARDEGNA 2" .....	9
2.4 STAZIONI "RILANCIO", "SUGHERETO", "CANE MORTO" .....	12
3 CONCLUSIONI .....	14
4 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....	15

## Sommario

Il monitoraggio è essenziale per la selezione e la predisposizione di un sito di stoccaggio geologico dell'anidride carbonica. Nell'area della concessione mineraria "Monte Sinni" del Sulcis si rendono necessarie rapide ed efficaci identificazioni di anomalie che possano essere attribuite a fughe dalla trappola geologica. L'insieme degli studi dovrà fornire accanto alla prospezione dei gas del suolo finalizzata alla determinazione della "baseline", una mappatura geologico-strutturale dell'area ed un dataset completo da utilizzare per confronti puntuali con le misure effettuate successivamente. Tali misure, oltre a permettere di comprendere lo stato del sistema naturale in condizioni indisturbate, permetteranno di ottenere informazioni preziosissime da utilizzare in tutte le attività di coinvolgimento della popolazione locale. Tali studi dovranno interessare tutte le fasi del processo di stoccaggio (prima, durante e dopo l'iniezione di CO<sub>2</sub>). Tale dataset sarà inoltre di grande supporto per il successo delle attività mirate alla "public acceptance" del processo di stoccaggio geologico.

Dopo le verifiche e le manutenzioni effettuate lo scorso anno, in questo periodo di attività i sistemi di monitoraggio sono stati in grado di memorizzare i dati nella SD-Card interna e di trasmetterli in tempo reale al server. In questa fase è stata necessaria inoltre l'installazione di tre sonde nella stazione "Sardegna 2" in sostituzione alla strumentazione rubata.

I dati descritti in questo report hanno confermato il corretto funzionamento del sistema, nonché una buona correlazione tra i due sensori di cui è corredata ogni sonda. Questa correlazione esclude gli errori di misura e conferma l'attendibilità dei dati.

Anche in quest'anno di monitoraggio, come nel 2012 è stato infine possibile osservare che la variabilità naturale delle concentrazioni di CO<sub>2</sub>, soprattutto nelle misure relative alla zona insatura del terreno, è piuttosto marcata (ben al di sopra della deviazione standard della popolazione statistica) confermando l'importanza di studiare accuratamente questo aspetto in un'ottica di definizione puntuale della baseline e, di conseguenza, della possibilità di discriminare le anomalie vere e proprie dalle variazioni naturali tipiche delle variabili ambientali.

## 1 Introduzione

Le attività dell'uomo hanno avuto sempre un impatto sull'ambiente più o meno grande. Tra le attività recenti che sono considerate tra le più pericolose per l'ambiente c'è l'uso di combustibili fossili per la produzione d'energia primaria e/o per usi industriali. La combustione di tali risorse naturali immette nell'atmosfera ingenti quantitativi di anidride carbonica alterando così il ciclo naturale del carbonio. L'enorme quantitativo di anidride carbonica immessa nell'atmosfera contribuisce al "riscaldamento del pianeta" e ai cambiamenti climatici attuali (effetto serra) e, infine, potrebbe portare a fenomeni più pericolosi come l'acidificazione degli oceani con la conseguente ricaduta sugli organismi marini (scomparsa di numerose specie planctoniche alla base della catena alimentare).

Occorrono azioni radicali ed immediate per evitare che l'attuale concentrazione di 387 ppm della CO<sub>2</sub> nell'atmosfera (circa 40% in più rispetto all'era pre-industriale) cresca in modo indiscriminato.

È possibile ridurre drasticamente le massicce emissioni di CO<sub>2</sub> dei grandi impianti industriali (acciaierie, raffinerie, cementifici, etc.) e delle centrali elettriche, che producono energia bruciando carbone o idrocarburi liquidi e/o gassosi, mediante: cattura della CO<sub>2</sub> presso gli impianti e poi stoccaggio della stessa in rocce permeabili poste a profondità maggiori di 800-1000m (Carbon Capture and Storage - CCS).

Lo stoccaggio geologico della CO<sub>2</sub> prevede l'iniezione diretta in particolari trappole quali:

- giacimenti petroliferi (con possibilità di EOR (Enhanced Oil Recovery) con recupero di più combustibile tramite iniezione di CO<sub>2</sub> e conseguente riduzione dei costi);
- acquiferi salini;
- giacimenti di carbone non sfruttabili (con possibilità di ECBM con recupero di metano grazie all'iniezione di CO<sub>2</sub> e conseguente riduzione dei costi).

Questa tecnologia è considerata, nel breve termine, la più efficace per la riduzione delle immissioni di gas serra nella atmosfera. Essa dovrebbe essere ovviamente affiancata da altre iniziative quali ad esempio riduzione dei consumi e degli sprechi, o da altre tecnologie quali l'uso di fonti di energia rinnovabili.

Gli studi condotti negli ultimi 20 anni hanno evidenziato che eventuali fughe di CO<sub>2</sub> da siti di stoccaggio possono avvenire prevalentemente da pozzi o in corrispondenza di faglie.

Alla luce di quanto esposto, negli ultimi anni sono stati effettuati studi multidisciplinari mirati alla potenzialità dei giacimenti di carbone non sfruttabili economicamente all'interno della concessione mineraria "Monte Sinni" della Carbosulcis S.p.A. per lo stoccaggio della CO<sub>2</sub>.

L'area di studio è stata sottoposta a indagini geofisiche, geologiche e geochimiche che hanno coinvolto diversi gruppi di ricerca nazionali ed internazionali.

Limitatamente alla parte geochimica, è stata dapprima effettuata una prospezione dei gas del suolo finalizzata alla determinazione della baseline e alla individuazione di eventuali vie preferenziali di migrazione dei gas (ipotesi di monitoraggio discontinuo).

Successivamente, sulla base dei risultati ottenuti e delle informazioni fornite dalla Carbosulcis, sono stati individuati tre siti in cui, ad agosto 2011, sono stati installati i sistemi di monitoraggio sviluppati (prototipo di monitoraggio continuo).

A questo proposito, è opportuno ricordare che la possibilità di rilevare velocemente una potenziale perdita di CO<sub>2</sub> dal serbatoio profondo è uno degli aspetti più critici legato alle ipotesi di stoccaggio geologico della CO<sub>2</sub> (CCS) prodotta dall'uomo e che l'uso di strumenti adeguati per il monitoraggio delle aree selezionate per il CCS potrà giocare un ruolo chiave per il successo di questa tecnologia di mitigazione delle emissioni di gas serra in atmosfera.

L'obiettivo è stato quello di acquisire informazioni sulla variabilità naturale della CO<sub>2</sub> in condizioni indisturbate e di verificare l'eventuale presenza di gas bearing faults.

Il Laboratorio di Chimica dei Fluidi del Dipartimento Scienze della Terra della Sapienza Università di Roma è impegnato da oltre 10 anni nello sviluppo di sonde per il monitoraggio della CO<sub>2</sub>.

Il lavoro di ricerca e ingegnerizzazione dei sistemi è stato da sempre mirato ad ottenere sistemi di monitoraggio con le seguenti caratteristiche basilari:

- basso costo;
- possibilità di utilizzo in scenari diversi;
- bassa deriva dei sensori e basso assorbimento energetico finalizzati ad ottenere lunghi periodi di acquisizione senza necessità di manutenzione;
- facilità di utilizzo anche da parte di personale non specializzato.

Come descritto nei rapporti precedenti, nel Settembre 2011 è avvenuto il completamento dell'installazione delle 3 stazioni (fig.1): "Sardegna" (Littoria, 39°10'54" N, 8°27'52"E), "Sardegna 1" (Monte Ulmus, 39°9'51" N, 8°27'45" E), "Sardegna 2" (Matzaccara, 39°8'12" N, 8°27'27" E).

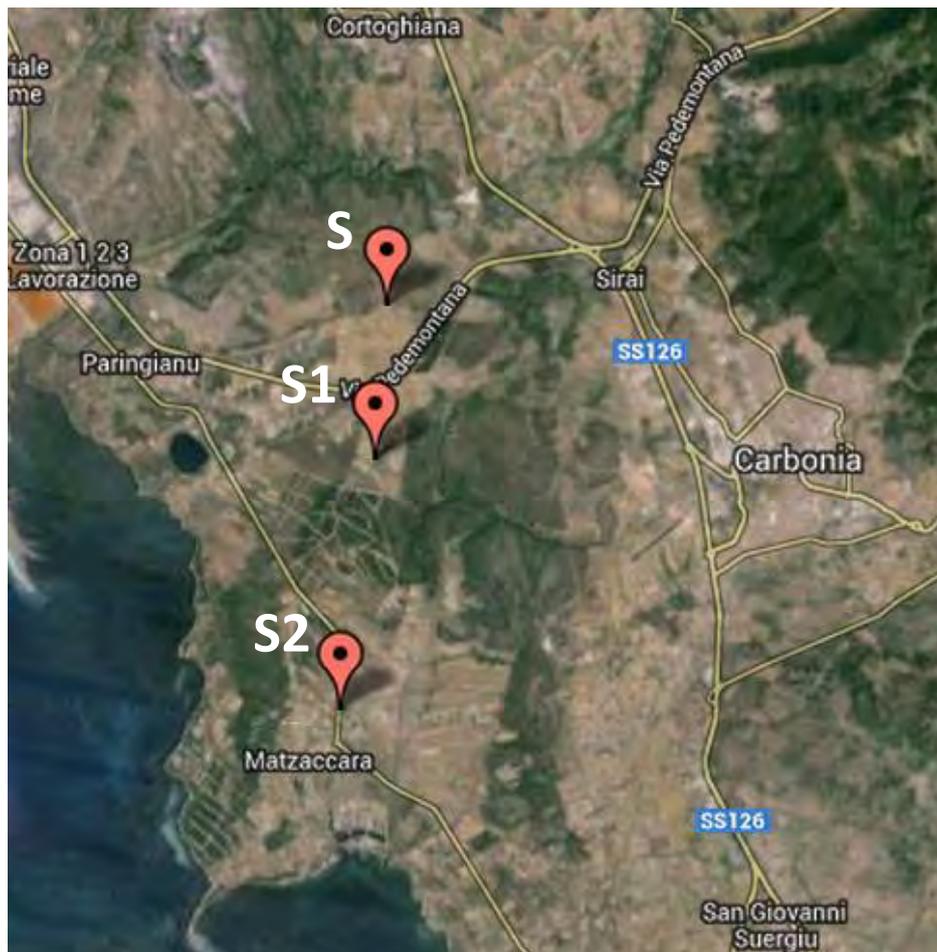


Figura 1. Posizionamento stazioni "Sardegna" (S), "Sardegna 1" (S1), "Sardegna 2" (S2).

L'anno di attività 2013 è stato caratterizzato da un monitoraggio continuo con l'upload automatico dei dati acquisiti al server centrale e dove necessario il recupero periodico delle sonde per il download dei dati ed il loro inserimento manuale nel database centrale.

Durante questo periodo di attività si è verificato il furto della stazione "Sardegna 2", avvenuto dopo 15 giorni di monitoraggio. Data l'importanza della posizione di questa stazione con modem GPRS e sonde collegate via cavo, sono state installate, in sostituzione, 2 sonde di nuova generazione con batterie a litio, datalogger interno e connessione USB.

Le sonde sono state posizionate nei pozzi pre-esistenti, nei quali è stata rilevata la presenza di acqua a 5 m di profondità dal piano campagna. A settembre 2013 si è nuovamente verificato un furto, stavolta di una delle due sonde posizionate a Matzaccara.

Dopo gli interventi di manutenzione e sostituzione delle sonde danneggiate effettuati a maggio 2012, nelle stazioni "Sardegna" e "Sardegna 1" non si è resa necessaria alcuna manutenzione straordinaria.

## 2 Attività svolte e risultati

L'essenziale fase di monitoraggio continuo del 2013 ha dato una visione più ampia sull'idoneità del sito per lo stoccaggio della CO<sub>2</sub>. Le stazioni di monitoraggio sono state tutte in funzione e i dati raccolti hanno fornito importanti indicazioni per il raffinamento delle conoscenze sulla variabilità naturale della concentrazione di anidride carbonica. Questa fase di monitoraggio del sistema naturale contribuisce, in caso di utilizzo del sito per lo stoccaggio della CO<sub>2</sub> (CCS) a individuare la presenza di fughe distinguendole da eventuali falsi positivi.

Sulla base di quanto emerso durante il monitoraggio negli anni passati, nel 2012 sono state effettuate alcune significative modifiche ai sistemi di monitoraggio finalizzate a rendere più stabile la risposta dei sensori nel tempo. Queste modifiche hanno permesso di acquisire misure esenti da deriva strumentale per un tempo più lungo.

Come descritto nel rapporto del 2012, la configurazione del sistema di monitoraggio prevede il collegamento di sonde di piccole dimensioni (82 mm di diametro x 230 mm di altezza), collegate via cavo ad un'unità centrale che ne gestisce il funzionamento, fornisce l'alimentazione e assicura la possibilità di memorizzazione e di trasferimento dei dati. La tensione di alimentazione del sistema è 12V. Le specifiche tecniche delle sonde sono illustrate in tabella I.

PARAMETRO	METODO DI MISURA	RANGE
CO <sub>2</sub> – sensore 1	Sensore NDIR	0-5%
CH <sub>4</sub> – sensore 1	Sensore NDIR	0-5%
CO <sub>2</sub> – sensore 2	Sensore NDIR	0-10%
Temperatura	Sensore digitale	-10°C / +85°C
Pressione	Membrane	15 – 115 KPa (0-60m prof.)

**Tabella 1. Caratteristiche tecniche dei sensori utilizzati**

Per la descrizione delle modalità di controllo remoto e gestione del sistema si rimanda al report presentato a settembre 2011. Ogni stazione di monitoraggio può controllare fino a 6 punti di misura (corrispondenti a 3 coppie di sonde ubicate a 3 e 5 metri di profondità). Questa configurazione è stata preferita ad un disegno di campionamento in cui le sei sonde sono ubicate tutte alla stessa profondità in quanto nel primo caso è possibile anche una stima del flusso di anidride carbonica calcolato sulla base del gradiente di concentrazione alle due diverse profondità e al coefficiente di diffusione della CO<sub>2</sub> proprio del tipo di suolo/roccia presente.



**Figura 2. Stazioni di monitoraggio con piezometri nel Sulcis.**

Il sistema prevede inoltre la possibilità di essere rapidamente interrogato dalle autorità locali consentendo tempestivi interventi in caso di rilevazione di anomalie nelle concentrazioni di CO<sub>2</sub>.

Per ogni stazione sono stati posizionati 3 piezometri profondi 5m e distanti 20m, mentre i cavi di alimentazione e trasmissione dati sono stati interrati (fig.2).

Il sistema di monitoraggio nel Sulcis prevede l'upload automatico dei dati acquisiti al server centrale, oltre alla registrazione in locale su una scheda di memoria sebbene tutti i dati relativi alle stazioni di monitoraggio siano consultabili via web previa autenticazione.

Collegandosi localmente alla stazione di monitoraggio è inoltre possibile: configurare il sistema (frequenza di campionamento, tempo di riscaldamento dei sensori e frequenza di trasmissione dei dati al server), scaricare i dati presenti nella scheda di memoria ed effettuare la calibrazione dei sensori.

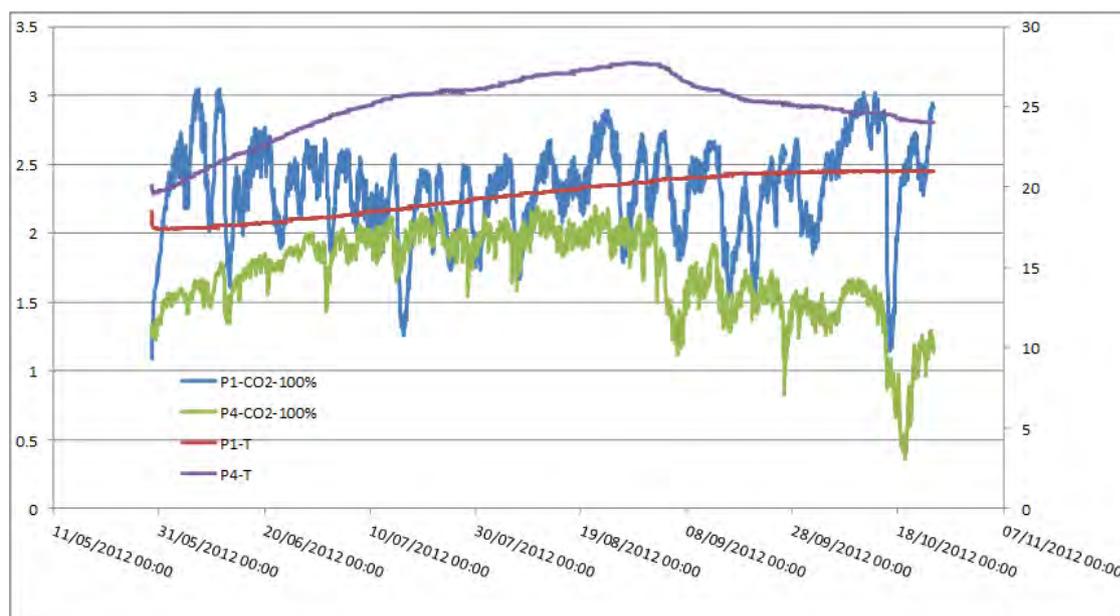
## 2.1 Stazione "Sardegna"

La stazione Sardegna ha registrato il database più corposo, in quanto i pozzi in cui sono state posizionate le sonde (equipaggiate con filtro idrofobico) non hanno mai subito nessun danneggiamento e non sono mai stati interessati dalla presenza di acqua. Gli interventi effettuati dall'installazione ad oggi hanno riguardato esclusivamente le ri-calibrazioni delle sonde stesse.

Nei valori di CO<sub>2</sub> registrati nel tempo si nota una variabilità molto marcata intorno alla media. Questo conferma la necessità di raccogliere il maggior numero di dati in un robusto database per comprendere a pieno i valori tipici del baseline. Solo così, nell'eventuale utilizzo del sito per lo stoccaggio di anidride carbonica, sarà possibile distinguere concentrazioni indicatrici di micro fughe dal serbatoio da semplici variazioni naturali.

Dal monitoraggio di tale stazione è emerso che le concentrazioni misurate sono più alte (mediamente pari a circa 1.6%) nel periodo più caldo, in cui l'attività biologica è maggiore e più basse (mediamente intorno allo 0.75%, nonché più variabili) nel periodo più freddo, in cui l'attività biologica è minore. Tale comportamento sembra confermare l'origine superficiale della CO<sub>2</sub> misurata.

Le modifiche apportate nel 2012 (vedi rapporto relativo al periodo di lavoro 2011-2012) riguardanti la tensione di alimentazione della lampada del sensore e l'abbreviazione del tempo di warm-up, come previsto hanno allungato gli intervalli di misurazione ed hanno permesso il monitoraggio automatico.



**Figura 3. Concentrazione di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) e valori di temperatura (T) misurate nell'arco di circa 7 mesi nella stazione di monitoraggio "Sardegna" delle sonde P1 e P4.**

Dalla valutazione delle misure effettuate da sonde a diverse profondità nello stesso punto emerge che:

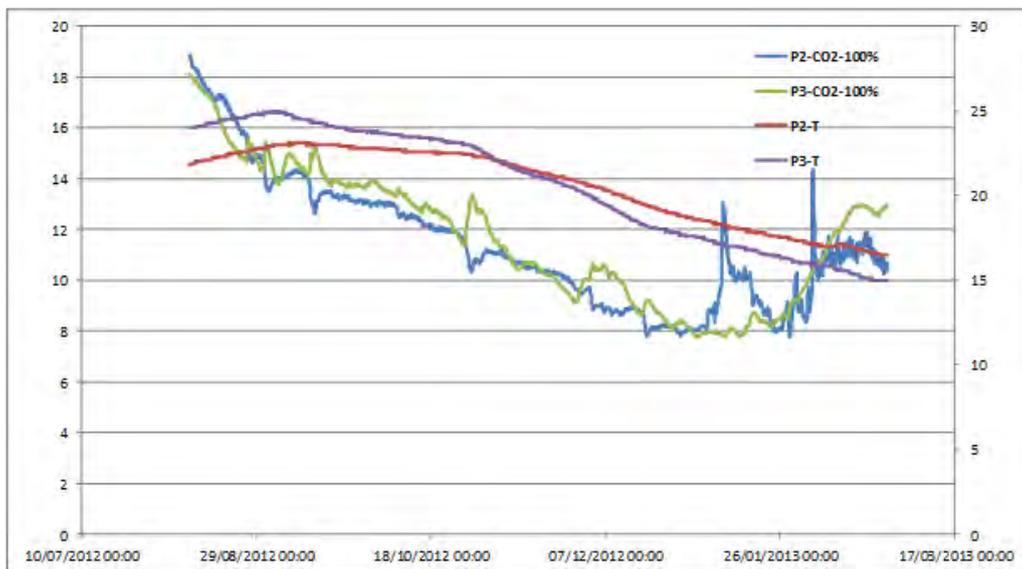
- I valori sono mediamente più alti nelle sonde più profonde
- L'andamento delle concentrazioni è molto simile e l'ampiezza delle variazioni è maggiore nelle sonde più profonde
- Le variazioni di temperatura misurate a profondità maggiori hanno ampiezza minore

Incrociando i dati delle concentrazioni misurate a diverse profondità con la permeabilità del terreno, è possibile determinare il flusso di CO<sub>2</sub> (fig.3).

## 2.2 Stazione "Sardegna 1"

Come descritto nel rapporto relativo all'anno 2012, la sonda posizionata nel pozzo 2 da 2.5 metri (in assenza di acqua) è stata esposta ad una concentrazione di CO<sub>2</sub> molto superiore al suo fondo scala (10%) ed ha quindi fornito valori inizialmente molto sovrastimati (fino 45%) ed in seguito non determinabili (fig.4).

Negli altri due pozzi invece è presente acqua, quindi le misure devono essere lette come pressioni parziali. Le concentrazioni misurate sono molto più costanti di quelle raccolte nella zona insatura del terreno permettendo una più facile definizione della baseline. È comunque opportuno sottolineare che questa condizione non si tradurrà automaticamente in una maggiore facilità di discriminazione tra anomalie reali e variabilità naturale. È infatti presumibile che i valori di CO<sub>2</sub> disciolti siano soggetti a minori oscillazioni anche in caso di fughe di CO<sub>2</sub>.



**Figura 4. Concentrazione di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) e valori di temperatura (T) misurate nell'arco di circa 8 mesi nella stazione di monitoraggio "Sardegna 1" delle sonde P2 e P3.**

## 2.3 Stazione "Sardegna 2"

La stazione SARDEGNA2 (fig.5) è stata oggetto di furto dopo soli 15 giorni dalla sua installazione; si è pertanto deciso di riposizionare 2 sonde con batterie e datalogger senza centralina di trasmissione. I dati verranno periodicamente scaricati dalle sonde ed inseriti nel database. Queste sono state installate a luglio 2013 e programmate per acquisire dati ogni ora. A questa frequenza di campionamento, la durata delle batterie è di circa 6 mesi.

Come esposto nel rapporto precedente, in tutti i pozzi della stazione SARDEGNA2 è presente acqua, in particolare nel pozzo 0 alle due profondità standard di 3 e 5 metri. Si osserva inoltre che, al contrario di

quanto visto per le misure della zona insatura relativa alla stazione Sardegna, in questo caso la sonda più profonda presenta la pressione parziale di CO<sub>2</sub> maggiore.



Figura 5. Stazione di monitoraggio "Sardegna 2" nel Sulcis.

Anche in questo caso le concentrazioni misurate sono molto più costanti di quelle raccolte nella zona insatura permettendo una più facile definizione della baseline.

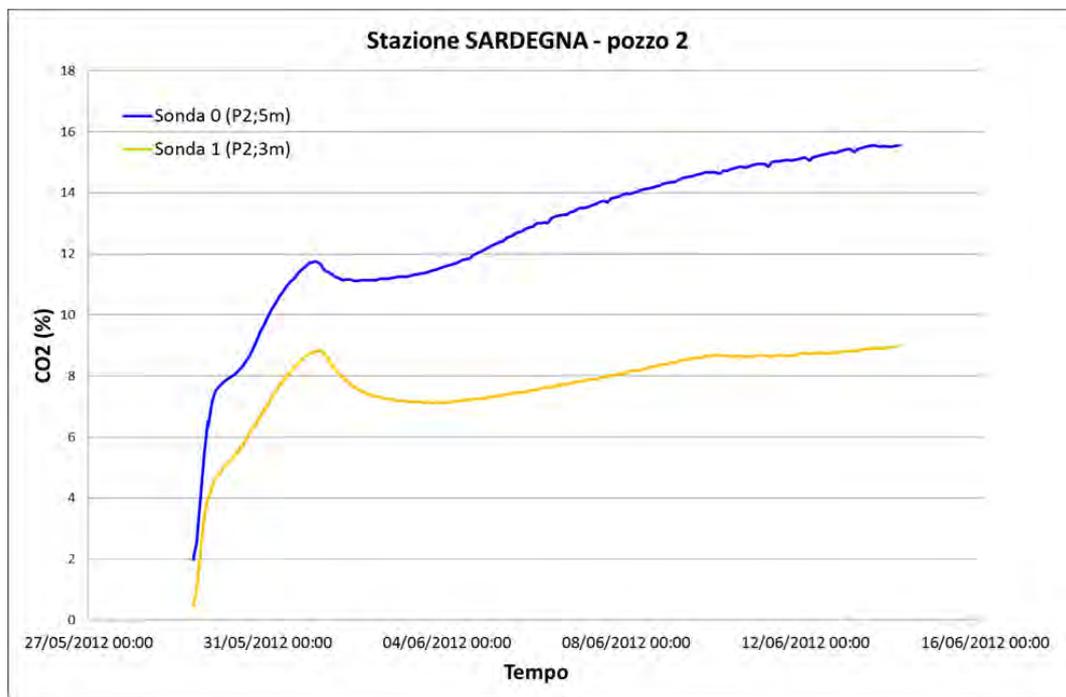
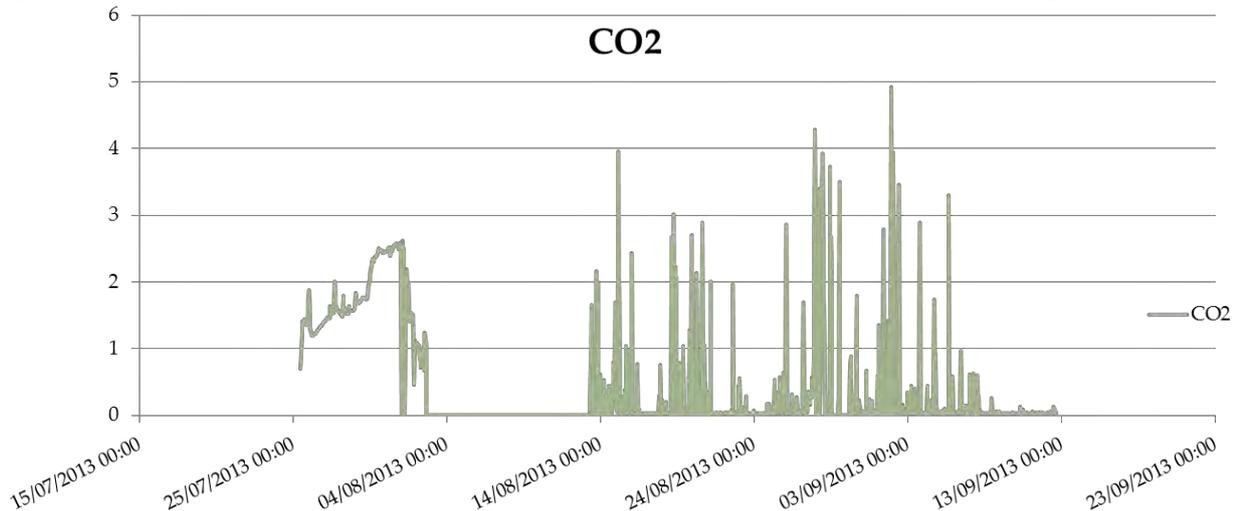


Figura 6. Concentrazione di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) misurata nella stazione di monitoraggio "Sardegna 2" dalle sonde P0 e P1.

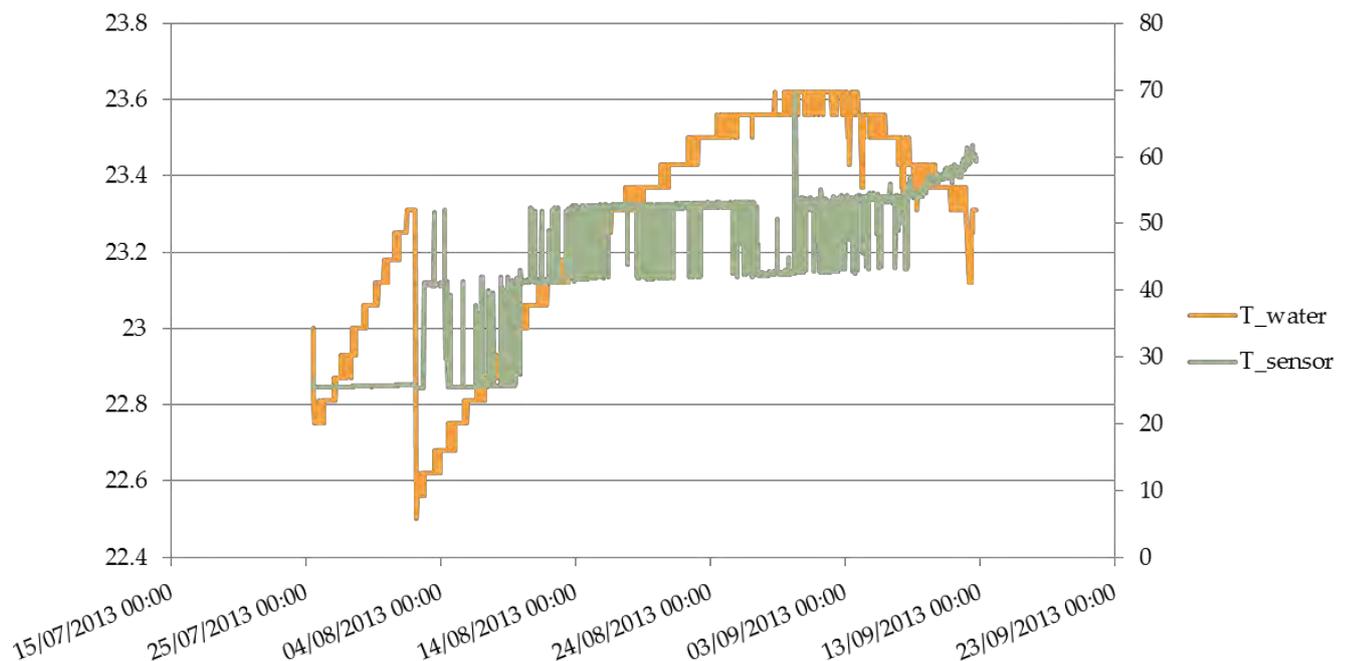
A settembre 2013 è stato effettuato il primo download dei dati dalle sonde di Matzaccara che ha evidenziato il furto della sonda 1.

La sonda 2 ha invece acquisito i dati per l'intero periodo temporale. Dall'analisi dei dati si può osservare che la concentrazione di CO<sub>2</sub> comincia a salire, raggiungendo una concentrazione del 2.5% il 2 agosto 2013 la sonda 2 ha registrato un evento anomalo: una brusca variazione della temperatura dell'acqua. Inoltre, dal 2 agosto, la temperatura del sensore di CO<sub>2</sub> comincia a salire fino a raggiungere i 50 °C.



**Figura 7. Concentrazione di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) misurata dalla dalle sonde 2 posizionata in Matzaccara.**

Si considerano quindi attendibili i dati precedenti all'evento anomalo e si rende necessaria una verifica della strumentazione installata.



**Figura 8. Temperatura esterna ed interna misurata dalla sonda P2.**

## 2.4 Stazioni “Rilancio”, “Sughereto”, “Cane morto”

Dopo la prima fase di monitoraggio in continuo effettuata nei siti “Sardegna” (Littoria, 39°10’54” N, 8°27’52”E), “Sardegna 1” (Monte Ulmus, 39°9’51” N, 8°27’45” E), “Sardegna 2” (Matzaccara, 39°8’12” N, 8°27’27” E) durata quasi due anni si sono acquisite preziose informazioni per la determinazione della baseline. Per meglio comprendere la distribuzione delle concentrazioni nel suolo e vista la possibilità di poter utilizzare sonde con batterie e datalogger con le seguenti caratteristiche:

- basso costo;
- basso impatto ambientale;
- nessuna necessità di manutenzione;
- periodi di acquisizione di circa 6 mesi;

si è deciso di ampliare l’area di indagine con monitoraggio continuo. In accordo con ENEA e Carbosulcis , la scelta è ricaduta su una zona posta a nord-ovest rispetto al posizionamento delle stazioni precedenti nell’intorno della discarica per lo stoccaggio di ceneri della centrale Enel. La decisione è stata guidata dalla necessità di indagare meglio le variazioni di concentrazioni a valle e a monte della discarica. La presenza di pozzi utilizzabili messi a disposizione dalla Carbosulcis, ha reso il posizionamento delle sonde più semplice ed economicamente vantaggioso.

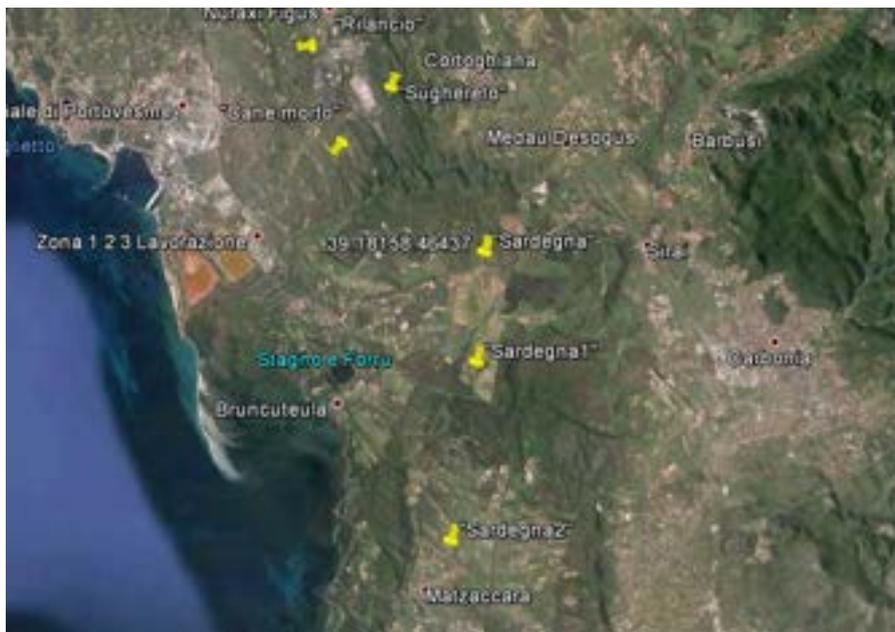


Figura 9. Posizionamento delle sonde nei piezometri.

Il 25 settembre 2013 sono state completate le operazioni di installazione di tre nuove sonde nei punti denominati "Rilancio"(39°12'57" N, 8°25'59" E), "Cane morto"(39°12'7" N, 8°26'17" E) e "Sughereto"(39°12'26" N, 8°26'45" E). Le tre sonde sono state posizionate rispettivamente ad una profondità di 3m,7m e 30m. Al momento del posizionamento nessuna delle 3 sonde risultava sommersa. I piezometri di nuova costruzione con un diametro di 3,5" sono stati chiusi con appositi lucchetti.



**Figura 10. Posizionamento sonde "Rilancio", "Cane morto", "Sughereto".**



**Figura 11. Punti di campionamento dell'intera area.**

### 3 Conclusioni

I sistemi di monitoraggio sono risultati idonei allo studio delle aree potenzialmente valide per lo stoccaggio dell'anidride carbonica. Le tecniche sviluppate hanno dato ottimi risultati e si sono mostrate efficaci per la sensibilità dei dati ottenuti, ma soprattutto per il rapporto costo-risultati.

Il monitoraggio in continuo è uno strumento irrinunciabile per la comprensione delle oscillazioni naturali della CO<sub>2</sub>. Le stazioni installate hanno permesso di costruire un robusto database finalizzato a comprendere i valori tipici di CO<sub>2</sub> che caratterizzano il sito di studio (baseline) per poter discriminare variazioni indicatrici di microfughe dal serbatoio da semplici variazioni naturali.

L'elevata quantità di dati raccolti dalla stazione "Sardegna" hanno confermato l'elevata variabilità nel tempo delle concentrazioni di CO<sub>2</sub> misurate e la necessità di acquisire dati per lunghi periodi di tempo per apprezzare in maniera più significativa le variazioni di concentrazioni. Mentre le misure delle sonde sommerse hanno dato utili informazioni sulla CO<sub>2</sub> disciolta, il robusto database acquisito ha fornito importanti indicazioni per la baseline nelle diverse stagioni, tenendo conto in questo modo del diverso grado di attività della degradazione della materia organica.

Si osserva inoltre che le concentrazioni misurate in acqua sono molto più costanti di quelle raccolte nella zona insatura del terreno permettendo una più facile definizione della baseline.

Nei tre siti monitorati si sta delineando un quadro completo delle variazioni di CO<sub>2</sub> sulla base dei risultati ottenuti nonché in considerazione delle nuove acquisizioni.

Tutto ciò si renderà utile nelle fasi di iniezione e post-iniezione del processo di CCS, per distinguere la presenza di reali fughe dal serbatoio di stoccaggio dalle normali variazioni naturali.

Questo progetto si propone perciò di effettuare un monitoraggio discontinuo (con prospezioni periodiche dei gas nel suolo), un monitoraggio continuo nei punti selezionati e un'accurata indagine geologico-strutturale che porteranno alla totale comprensione del sistema naturale in condizioni indisturbate, e di conseguenza alla previsione e al riconoscimento di vere anomalie nel caso in cui questo rappresenti davvero un sito di stoccaggio.

## 4 Riferimenti bibliografici

1. Annunziatellis A., Ciotoli G., Lombardi S. and Nolasco F. (2003). Short- and long-term gas hazard: the release of toxic gases in the Alban Hills volcanic area (central Italy): *Journal of Geochemical Exploration*, v. 77, p. 93-108.
2. Baines S. J. and Worden R. H. (2004). The long-term fate of CO<sub>2</sub> in the subsurface: natural analogues for CO<sub>2</sub> storage, in Baines, S. J. and Worden, R. H., eds., *Geological Storage of Carbon Dioxide*, Volume Special Publication, 233: London, The Geological Society of London, p. 59-86.
3. Beaubien S. E., Ciotoli G. and Lombardi S. (2003). Carbon dioxide and radon gas hazard in the Alban Hills area (central Italy): *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 123, p. 63-80.
4. Beaubien S. E., Lombardi S., Ciotoli G., Annunziatellis A., Hatziyannis G., Metaxas A. and Pearce J. M. (2005). Potential hazards of CO<sub>2</sub> leakage in storage systems - learning from natural systems, *Proceedings of the 7th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies*. vol.1: Peer-Reviewed Papers and Plenary Presentations. Rubin, E.S., Keith, D.W, and Gilboy, C.F. (eds.): Oxford, UK, Elsevier, p. 551-560.
5. Holloway S., Pearce J. M., Hards V. L., Ohsumi T. and Gale J. (2007). Natural emissions of CO<sub>2</sub> from the geosphere and their bearing on the geological storage of carbon dioxide: *Energy*, v. 32, p. 1194-1201.
6. Lewicki J. L., Birkholzer J. and Tsang C. F. (2007). Natural and industrial analogues for leakage of CO<sub>2</sub> from storage reservoirs: identification of features, events, and processes and lessons learned: *Environ. Geol.*, v. 52, p. 457-467.
7. Pearce J. M. (2006). What can we learn from natural analogues?, in Lombardi, S., Altunina, L. K. and Beaubien, S. E., eds., *Advances in the Geological Storage of Carbon Dioxide*, Springer, p. 129-140.
8. Pearce J. M. (2004). Natural analogues for the geological storage of CO<sub>2</sub>: British Geological Survey, Final Report of the Nascent project, pages: 122.

## 5 Curriculum del gruppo di ricerca

Il Centro di Ricerca CERI, istituito con Decreto Rettorale n. 00353 del 31 luglio 2003 (su delibera conforme del Senato accademico del 24 aprile 2003 e del Consiglio di Amministrazione del 22 luglio 2003) promuove, coordina ed esegue attività di ricerca nel campo dei rischi geologici (frane, inondazioni, rischio sismico e vulcanico) e della bonifica dei siti inquinati, sperimentando la messa a punto di metodologie innovative (ex art. 1 comma 2 dello Statuto). Per perseguire i propri obiettivi il Centro articola le proprie attività (ex art. 4 comma 2 dello Statuto) in:

- ricerche sperimentali, di laboratorio e di campo, e ricerche teoriche per l'analisi della pericolosità e del rischio di frana;
- ricerche sperimentali, di laboratorio e di campo, e ricerche teoriche per l'analisi della pericolosità e del rischio di esondazione;
- ricerche sperimentali, di laboratorio e di campo, e ricerche teoriche per l'analisi della pericolosità e del rischio di inquinamento, compresa la bonifica dei siti inquinati, dei grandi sistemi acquiferi idropotabili causati anche da eventi di piena;
- ricerche sperimentali, di laboratorio e di campo, e ricerche teoriche per l'analisi della pericolosità e del rischio sismico;
- ricerche sperimentali e teoriche per lo sviluppo di sistemi di monitoraggio di eventi naturali connessi con il rischio idrogeologico e sismico, per il preavviso e allarme a fini di protezione civile;
- definizione di linee guida e standard operativi basati sui risultati delle ricerche, innovativi nel campo della normativa nazionale di riferimento;
- specifici percorsi di alta formazione nazionale e internazionale, con la possibilità di attivare dottorati di ricerca e borse post-doc, finanziati con canali autonomi;
- divulgazione scientifica con pubblicazioni, incontri, convegni nazionali e internazionali;
- sviluppo di metodologie informatiche per la realizzazione di cartografia tematica;
- attività di consulenza mediante contratti e/o convenzioni, secondo quanto disposto dal Regolamento d'Ateneo, e di assistenza tecnico-scientifica nel campo di rischi geologici alla pubblica amministrazione, ad enti locali, regionali e comunitari, ad organizzazioni nazionali ed internazionali, ad altri enti privati.