



Agencia Nazionale per le Nuove Tecnologie,
l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile



Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Progetto e realizzazione di una rete di monitoraggio geochimica con controllo remoto volta alla caratterizzazione sperimentale dei siti idonei per il sconfinamento geologico della CO₂ e studio degli aspetti socio territoriali all'introduzione delle tecnologie CCS

Salvatore Lombardi, Samuela Vercelli



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Report RdS/2010/x 24

PROGETTO E REALIZZAZIONE DI UNA RETE DI MONITORAGGIO GEOCHIMICA CON CONTROLLO REMOTO VOLTA ALLA CARATTERIZZAZIONE SPERIMENTALE DEI SITI IDONEI PER IL CONFINAMENTO GEOLOGICO DELLA CO₂ E STUDIO DEGLI ASPETTI SOCIO TERRITORIALI LEGATI ALL'INTRODUZIONE DELLE TECNOLOGIE CCS

Salvatore Lombardi, Samuela Vercelli (Università La Sapienza - Roma)

Settembre 2010

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Area: Produzione e fonti energetiche

Tema: Tecnologie di gassificazione del carbone con cattura e sequestro della CO₂

Responsabile Tema: Paolo Deiana, ENEA

Rapporto Tecnico: Progetto e realizzazione di una rete di monitoraggio geochimica con controllo remoto volta alla caratterizzazione sperimentale dei siti idonei per il confinamento geologico della CO₂ e studio degli aspetti socio-territoriali legati all'introduzione delle tecnologie CCS

INDICE

CAPITOLO I. Soil gas survey e monitoraggio in continuo

| | |
|--|----|
| Introduzione | 3 |
| 1.2 Attività svolta e risultati ottenuti | 4 |
| 1.2.1 Soil gas survey | 4 |
| 1.2.2 Prospezione di dettaglio | |
| 1.2.3 Monitoraggio in continuo | 6 |
| 1.2.3.1 Risultati monitoraggio | 7 |
| 1.3 Sviluppi futuri: Monitoraggio in continuo permanente | 9 |
| 1.3.1 Configurazione del sistema | 9 |
| 1.3.2 Controllo remoto | 10 |
| 1.3.3 Messa a punto, calibrazione e test del sistema | 12 |
| 1.3.4 Firmware | 12 |
| 1.3.5 Correzione della risposta dei sensori e calibrazione | 12 |
| 1.3.6 Test in situ | 14 |

CAPITOLO II. Studio del contesto territoriale e sociale legato all'introduzione delle tecnologie CCS

| | |
|---|----|
| 2.1 Obiettivi perseguiti e raggiunti nel periodo di riferimento | 15 |
| 2.2 Intervento sul Territorio di Carbonia – Metodologia e risultati | 16 |
| 2.3 Analisi stampa locale | 17 |

CAPITOLO III. Principali soggetti coinvolti

| | |
|--------------------------------------|----|
| 3.1 Unità operative CERi e affiliate | 19 |
| 3.2 Coinvolgimento del territorio | 19 |

CAPITOLO IV. Diffusione dei risultati

| | |
|---------------------|----|
| BIBLIOGRAFIA | 21 |
|---------------------|----|

Rapporto Tecnico: Progetto e realizzazione di una rete di monitoraggio geochimica con controllo remoto volta alla caratterizzazione sperimentale dei siti idonei per il confinamento geologico della CO₂ e studio degli aspetti socio-territoriali legati all'introduzione delle tecnologie CCS

CAPITOLO I – SOIL GAS SURVEY E MONITORAGGIO IN CONTINUO

Introduzione

Un aspetto critico legato allo stoccaggio geologico della CO₂ prodotta dall'uomo è la possibilità di controllare con tecnologie adeguate le fasi di iniezione e post-iniezione. In particolare, è importantissimo sviluppare tecniche in grado di garantire la tenuta del serbatoio profondo e di individuare velocemente la presenza di eventuali fughe anche di piccola entità.

In questo contesto è fondamentale avere a disposizione diversi approcci che possano essere applicati sia in un'ottica di monitoraggio discontinuo che continuo. Le indagini discontinue sono di fondamentale importanza soprattutto in fase di caratterizzazione del sito e di individuazione della baseline. Tali indagini possono essere condotte utilizzando metodologie geochimiche (soil gas survey, indagini idro-geochimiche), geofisiche (sismica-geoelettrica) e geologiche (rilevamento geologico strutturale-caratterizzazione delle fratture). Tali indagini permettono di ottenere un quadro d'insieme delle caratteristiche generali e delle peculiarità dell'area studiata. L'obiettivo finale di questo tipo di indagine è da un lato l'individuazione delle aree in cui sarà più probabile osservare un'eventuale fuga di CO₂ e quindi dove sarà necessario focalizzare l'attenzione nella pianificazione della rete di monitoraggio in continuo; dall'altro ottenere un database indicativo dei valori di fondo tipici dell'area e della loro variabilità naturale. La adeguata conoscenza della baseline è infatti importantissima in fase di interpretazione dei dati ottenuti dai sistemi di monitoraggio. Le variabili studiate sono infatti caratterizzate oscillazioni naturali legate sia alla stagionalità, sia alla periodica variazione d'intensità nella migrazione di gas endogeni.

L'approccio geochimico al monitoraggio in continuo si basa sulla possibilità di individuare una fuga sulla base di variazioni di concentrazione di gas nella fase insatura del terreno, nei gas disciolti, nel pH, nell'Eh, e nel chimismo delle acque. A differenza di altri metodi si basa quindi su misure dirette. L'efficacia del sistema è subordinata a diverse condizioni tra cui: la sua sensibilità, la capacità di elaborazione statistica dei dati acquisiti (analisi delle serie temporali), la capacità di individuare con precisione i punti di monitoraggio, la possibilità di moltiplicare il numero di punti di misura attraverso lo sviluppo di sistemi a basso costo.

Nell'ambito di questo progetto è stato curato sia l'aspetto legato allo studio della baseline, sia quello relativo alla messa a punto e installazione del sistema di monitoraggio in continuo. Lo studio della baseline è stato condotto mediante campagne di soil gas survey, mentre la parte relativa al monitoraggio è stata sviluppata mettendo a punto un sistema di controllo specifico.

Rapporto Tecnico: Progetto e realizzazione di una rete di monitoraggio geochimica con controllo remoto volta alla caratterizzazione sperimentale dei siti idonei per il confinamento geologico della CO₂ e studio degli aspetti socio-territoriali legati all'introduzione delle tecnologie CCS

1.2 Attività svolte e risultati ottenuti

1.2.1 Soil gas survey

Sulla base dei risultati ottenuti dalla prospezione regionale dei gas del suolo condotta nell'area della concessione mineraria della Carbosulcis nell'ambito della convenzione “The Carbosulcis CO₂-ECBM project” sono state selezionate due zone in cui posizionare le stazioni di monitoraggio in continuo. In particolare, una zona nel settore settentrionale in cui è stato misurato il valore più elevato di concentrazione di elio (5.7 ppm), e una zona nel settore meridionale in cui sono stati rilevati valori di background di CO₂ e CH₄. Entrambe le zone sono localizzate in corrispondenza dell'elemento tettonico che taglia l'area di indagine da nord a sud (Fig. 1). In tali aree è stata condotta una prospezione di dettaglio mirata a migliorare la conoscenza dei valori di fondo tipici presenti e di permettere quindi una migliore interpretazione dei dati raccolti durante il monitoraggio.

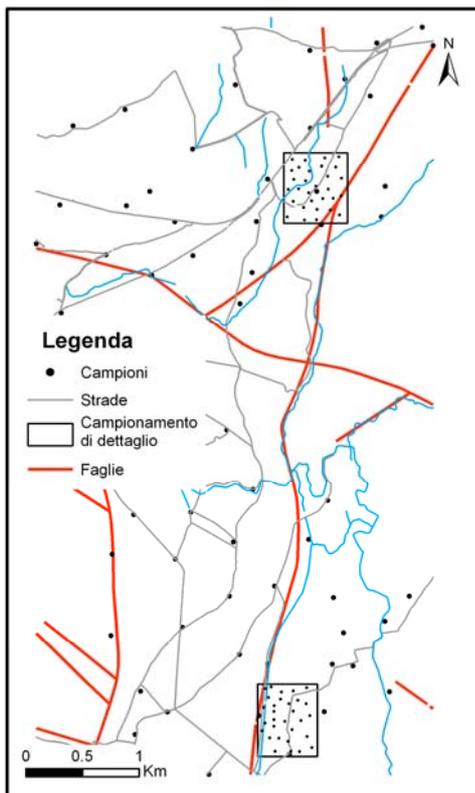


Fig. 1 – area di studio

1.2.2 Prospezione di dettaglio

I campionamenti di dettaglio hanno previsto la raccolta di 60 campioni (30 per zona) al fine di valutare le concentrazioni di He, CO₂, CH₄ e dei flussi di CO₂ alla piccola scala e poter ubicare le

Rapporto Tecnico: Progetto e realizzazione di una rete di monitoraggio geochimica con controllo remoto volta alla caratterizzazione sperimentale dei siti idonei per il confinamento geologico della CO₂ e studio degli aspetti socio-territoriali legati all’introduzione delle tecnologie CCS

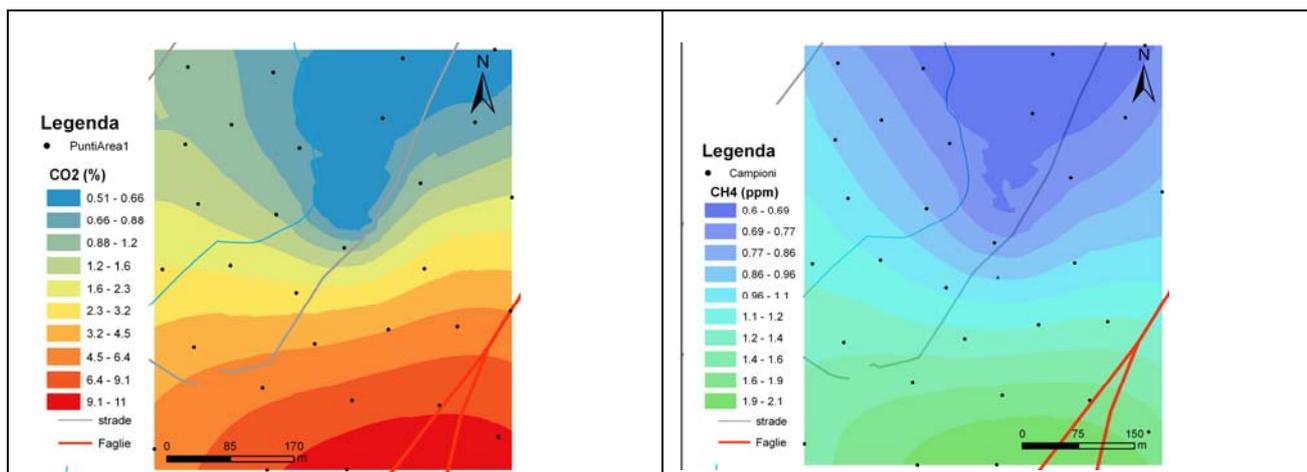
stazioni di monitoraggio in posizioni ottimali. La figura 2a e b mostra l’ubicazione dei punti di campionamento nelle due zone.

Tabella I. principali parametri statistici delle specie gassose analizzate

| | Mean | GM | Median | Min | Max | LQ | UQ | Std.Dev. | CV | |
|-----------------------|------|------|--------|------|------|-------|------|----------|------|-------|
| ZONA 1 | | | | | | | | | | |
| CO ₂ flux | 21 | 2.65 | 1.34 | 2.07 | 0.01 | 6.48 | 0.60 | 4.51 | 2.14 | 81.02 |
| CO ₂ (%) | 30 | 3.41 | 2.24 | 2.23 | 0.51 | 11.03 | 1.03 | 5.09 | 3.07 | 90.03 |
| CH ₄ (ppm) | 30 | 1.13 | 1.06 | 1.04 | 0.60 | 2.13 | 0.80 | 1.37 | 0.41 | 36.65 |
| He (ppb) | 30 | 5.46 | 5.46 | 5.47 | 5.21 | 5.68 | 5.39 | 5.55 | 0.12 | 2.16 |
| ZONA 2 | | | | | | | | | | |
| CO ₂ flux | 30 | 8.72 | 7.99 | 7.78 | 2.78 | 16.44 | 6.17 | 10.69 | 3.60 | 41.30 |
| CO ₂ (%) | 30 | 1.58 | 1.39 | 1.52 | 0.13 | 2.75 | 1.10 | 2.10 | 0.66 | 42.09 |
| CH ₄ (ppm) | 30 | 1.08 | 1.07 | 1.07 | 0.89 | 1.33 | 0.97 | 1.16 | 0.13 | 12.16 |
| He (ppb) | 30 | 5.09 | 5.09 | 5.14 | 4.83 | 5.20 | 5.03 | 5.16 | 0.10 | 2.04 |

La tabella I riporta i parametri statistici principali relativi ai due campionamenti. I risultati ottenuti hanno evidenziato come, in generale, la zona 1 presenta valori di CO₂, CH₄ ed He siano mediamente più elevati, mentre i valori del flusso di CO₂ sebbene abbastanza diversi in media costituiscono valori tipici del fondo naturale. Nella zona 2 tutte le specie gassose analizzate hanno dato valori di concentrazioni pari a quelli del background e sono compatibili con il database di oltre 20.000 campioni raccolti nella penisola italiana in diversi scenari geologici.

L’analisi di dettaglio dell’area intorno al sito di iniezione 1 mostra, inoltre, la presenza di alcuni punti di campionamento con elevati valori di CO₂ ai quali si aggiungono anomalie (anche significative) di elio che sembrano confermare la presenza strutture tettoniche che costituiscono le vie di migrazione principali, come evidenziato dalle mappe riportate nelle figure 2 a e b.



Rapporto Tecnico: Progetto e realizzazione di una rete di monitoraggio geochimica con controllo remoto volta alla caratterizzazione sperimentale dei siti idonei per il confinamento geologico della CO₂ e studio degli aspetti socio-territoriali legati all'introduzione delle tecnologie CCS

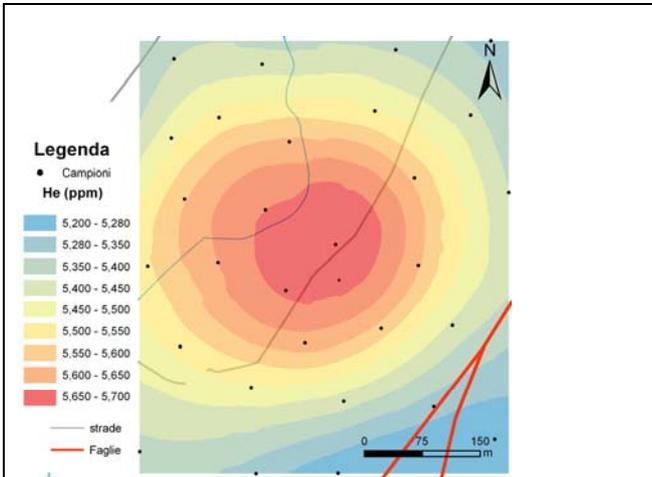


Figura 2a. Distribuzione di CO₂, CH₄ e He nella zona 1.

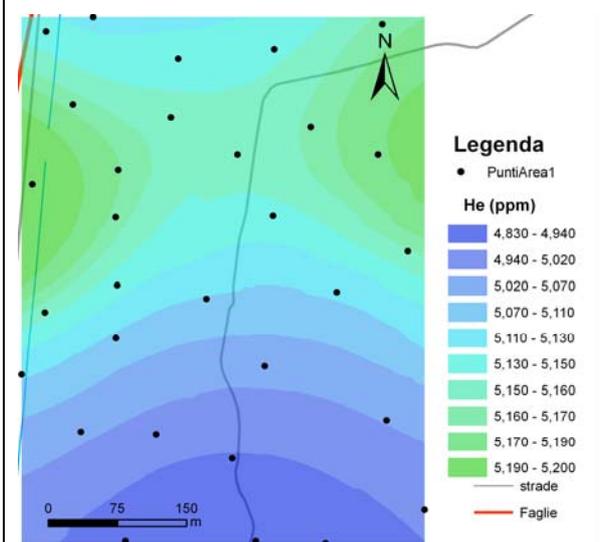
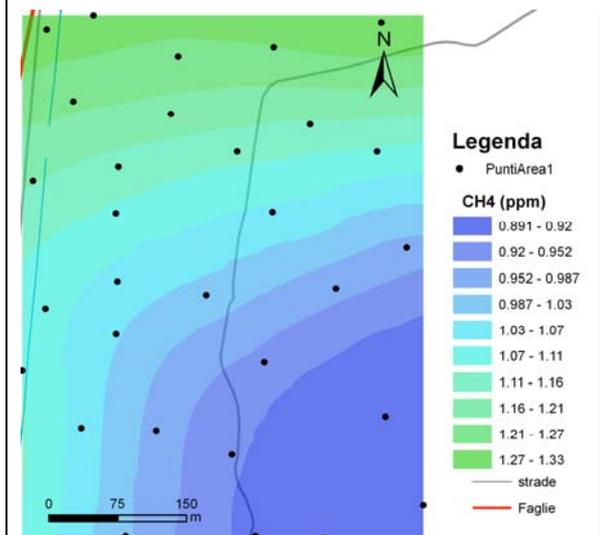
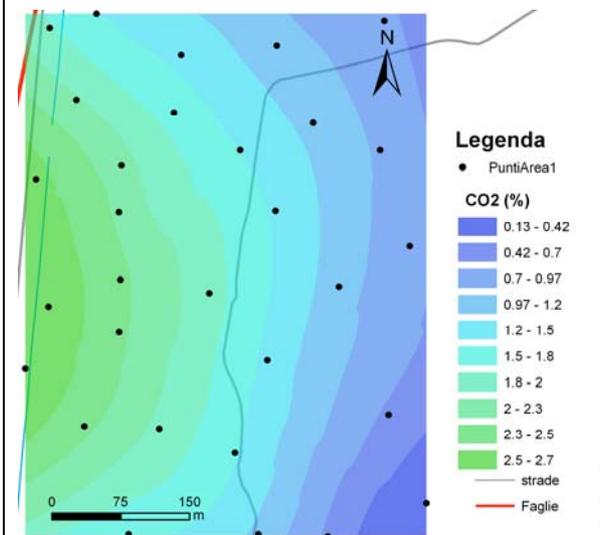


Figura 2b. Distribuzione di CO₂, CH₄ e He nella zona 2.

Rapporto Tecnico: Progetto e realizzazione di una rete di monitoraggio geochimica con controllo remoto volta alla caratterizzazione sperimentale dei siti idonei per il confinamento geologico della CO₂ e studio degli aspetti socio-territoriali legati all'introduzione delle tecnologie CCS

1.2.3 Monitoraggio in continuo

Il monitoraggio dell'area è stato effettuato utilizzando strumentazione portatile equipaggiata con batterie a lunga durata in grado di analizzare periodicamente campioni prelevati tramite l'infissione di sonde infisse a 0.8 e 1.5 metri di profondità. I parametri misurati sono stati: concentrazione di anidride carbonica, temperatura e umidità del terreno. Sono stati complessivamente monitorati 4 punti (2 siti a due diverse profondità) e la strumentazione è stata rimossa dal sito di studio a metà settembre. La figura 3 mostra lo schema di funzionamento del sistema.

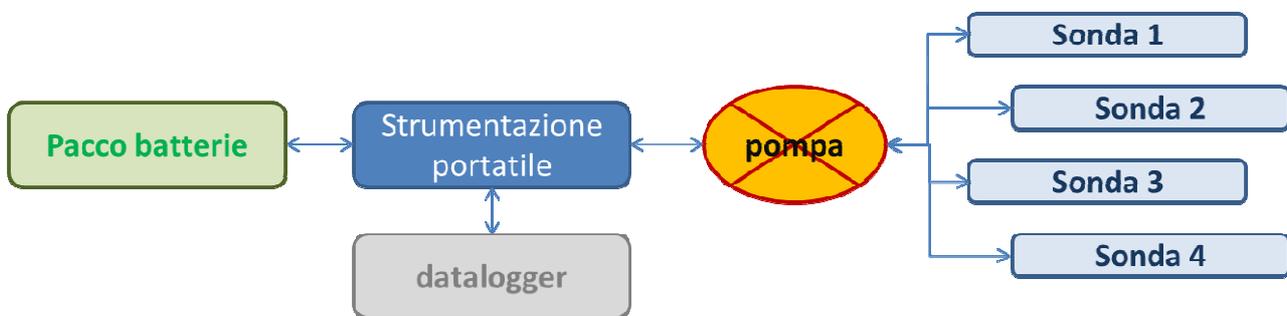


Figura 3. Schema di funzionamento degli apparati portatili utilizzati per i tre mesi di monitoraggio dell'area di studio.

1.2.3.1 Risultati monitoraggio

La strumentazione portatile è stata installata nel mese di giugno 2010 nelle 2 aree in cui sono state effettuate le prospezioni di dettaglio. Il sistema installato nell'area 2 ha subito un inconveniente tecnico che ne ha impedito l'acquisizione dei dati per circa 3 settimane. Grazie alla possibilità di prelevare campioni a 2 diverse profondità è stato possibile acquisire dati non solo sulla concentrazione ma anche di ottenere una stima del flusso di anidride carbonica. Tale valore è infatti calcolabile sulla base del coefficiente di diffusione della CO₂ nelle argille e sulla differenza di profondità tra le sonde. Le figure 4 e 5 mostrano i risultati ottenuti nei 3 mesi di monitoraggio (fino al 10 settembre 2010). Tali risultati si riferiscono solo alla CO₂ in quanto il metano ha presentato costantemente concentrazioni inferiori alla sensibilità dei sensori utilizzati (50 ppm).

Rapporto Tecnico: Progetto e realizzazione di una rete di monitoraggio geochimica con controllo remoto volta alla caratterizzazione sperimentale dei siti idonei per il confinamento geologico della CO₂ e studio degli aspetti socio-territoriali legati all'introduzione delle tecnologie CCS

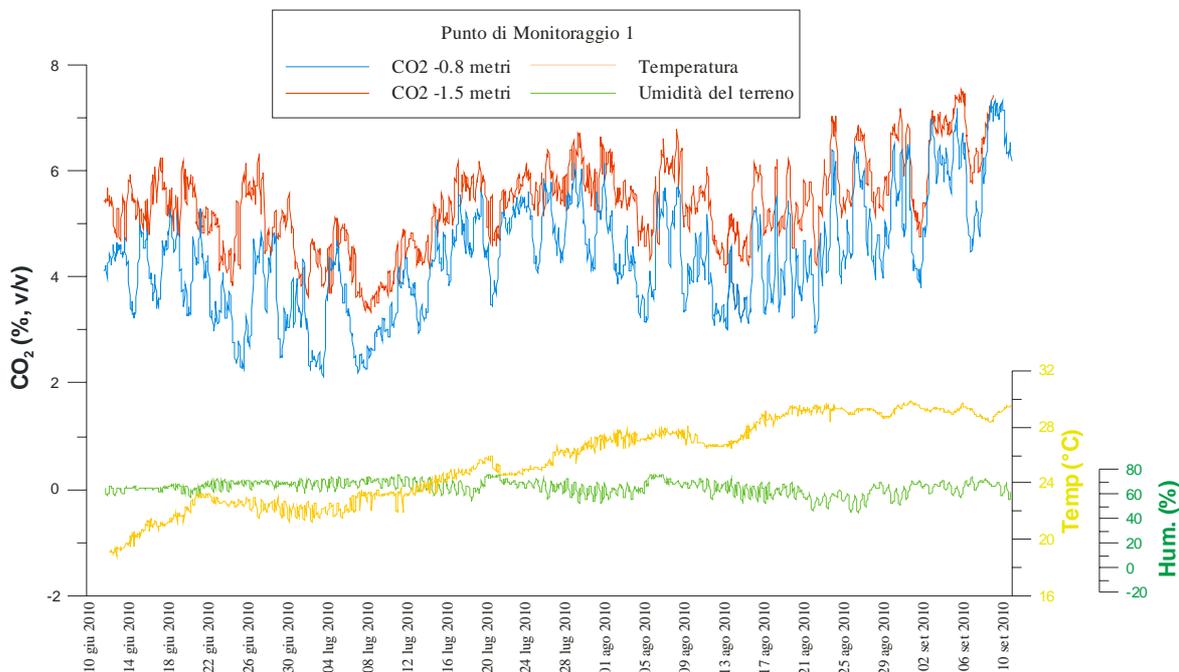


Figura 4. Risultati acquisiti durante 3 mesi di monitoraggio nell'area di studio 1. Si può osservare come i valori di CO₂ ad entrambe le profondità di prelievo siano cresciuti coerentemente con quelli di temperatura confermando una probabile origine biologica dell'anidride carbonica.

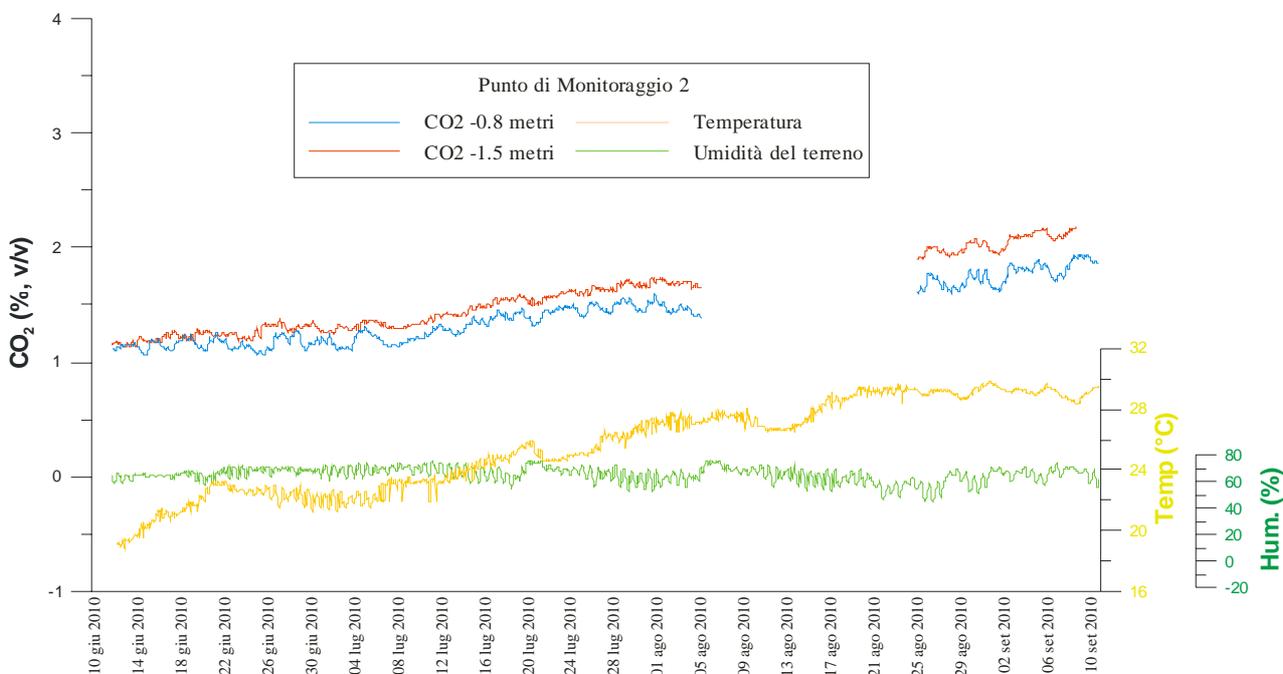


Figura 5. Risultati acquisiti durante 3 mesi di monitoraggio nell'area di studio 2. Si può osservare come i valori di CO₂ ad entrambe le profondità di prelievo siano molto simili e più bassi rispetto all'area di studio 1 confermando che questa zona è caratterizzata da valori molto prossimi alla media nazionale misurata nei gas del suolo.

Rapporto Tecnico: Progetto e realizzazione di una rete di monitoraggio geochimica con controllo remoto volta alla caratterizzazione sperimentale dei siti idonei per il confinamento geologico della CO₂ e studio degli aspetti socio-territoriali legati all’introduzione delle tecnologie CCS

La cross-correlation tra i diversi parametri del sistema di monitoraggio evidenzia la presenza di correlazione solo tra CO₂ e temperatura. Le figure 6a, b mostrano questa elaborazione per la sonda 1 alle due diverse profondità di misura. Si può osservare la presenza di un picco di correlazione massima rispettivamente in corrispondenza del lag -4 e del lag -7. Tale risultato sembrerebbe indicare che a 1.5 m di profondità la concentrazione di CO₂ subisce l’influenza delle variazioni di temperatura con un ritardo di 4 ore mentre alla profondità di 0.8 m questo ritardo sale a 7 ore.

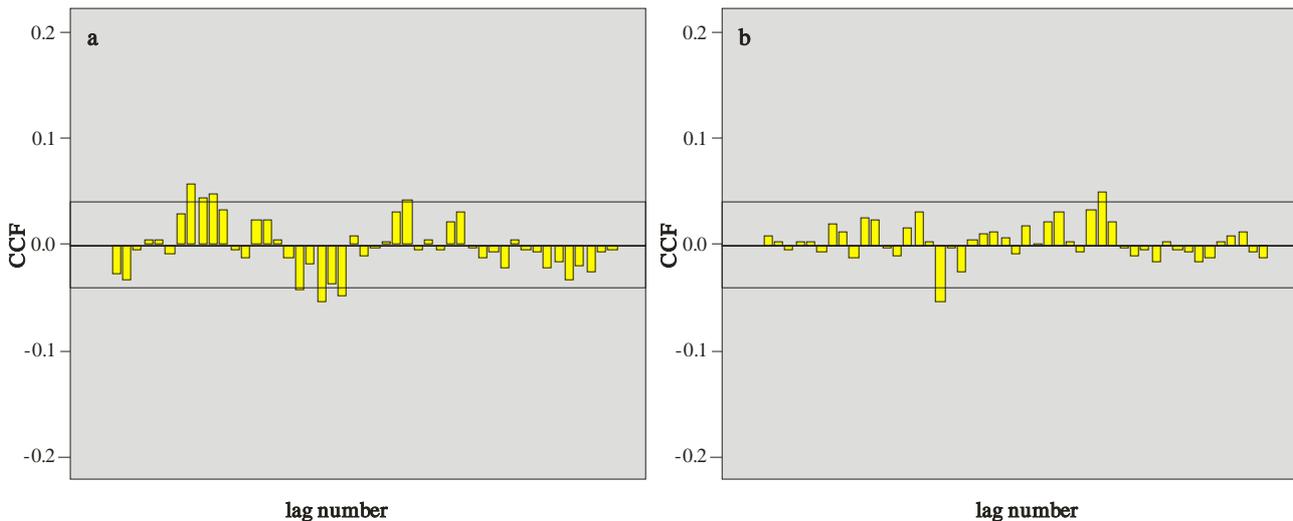


Figura 6. Per la determinazione della correlazione tra concentrazione di anidride carbonica e temperatura bisogna osservare nel grafico il superamento (positivo o negativo) dell’intervallo di confidenza rappresentato dalle 2 righe nere. Tra tutti i casi in cui questo intervallo viene superato, bisogna selezionare quello in cui questo superamento è più marcato. In questo caso questa condizione può essere osservata per un lag pari a -4 nel primo caso (profondità 1.5 m – figura a) e per un lag pari a -7 nel secondo caso (profondità 0.8 m – figura b).

Dall’analisi delle serie temporali è interessante notare come sia la sonda più profonda che quella più superficiale mostrano la presenza di una periodicità nei risultati (stagionalità giornaliera). Questo potrebbe essere legato alle variazioni diurne dei parametri di temperatura. È inoltre interessante osservare come sia diversa l’entità di variazione dei residui. Questa variazione è maggiore nella sonda più superficiale e minore in quella più profonda. Questo fenomeno è probabilmente da imputarsi alla maggiore influenza dei parametri atmosferici sulla sonda più superficiale. Lo scopo principale di questo tipo di elaborazione è quello di cercare una chiave di lettura che permetta di discriminare le anomalie reali dal “rumore” di fondo. In particolare se un “picco” è ubicato in corrispondenza di piccole oscillazioni dei valori residui, può essere considerato attendibile, viceversa un picco corrispondente ad ampie variazioni dei valori residui dovrebbe essere scartato.

1.3 Sviluppi Futuri: monitoraggio in continuo permanente

Il sistema di monitoraggio in continuo è stato sviluppato sulla base delle esperienze maturate in progetti di ricerca comunitari quali CO₂ ReMoVe, CO₂ GeoNET e MovECBM nonché di convenzioni di ricerca stipulate a livello nazionale. Sulla base di queste esperienze, è stato possibile pensare a diverse configurazioni di sistemi di monitoraggio specificatamente dedicati ad operare nell’area del Sulcis sia in acqua che nella zona insatura del terreno. Lo sviluppo del sistema è stato

Rapporto Tecnico: Progetto e realizzazione di una rete di monitoraggio geochimica con controllo remoto volta alla caratterizzazione sperimentale dei siti idonei per il confinamento geologico della CO₂ e studio degli aspetti socio-territoriali legati all'introduzione delle tecnologie CCS

basato non solo sull'accuratezza della misura in un'ottica di riduzione dei costi, ma anche sulla massima flessibilità in termini di numero di punti monitorabili, di possibilità di misurare i parametri di interesse a diverse profondità e di possibilità di accedere facilmente ai dati raccolti anche da parte di più operatori. Il risultato di questo approccio è stato la realizzazione di sonde in grado di operare indifferentemente nella zona insatura del terreno o in acqua e con modalità di accesso ai dati e di controllo del sistema via web molto flessibili e personalizzabili

1.3.1 Configurazione del sistema

Per il sistema definitivo sono state progettate e costruite sonde di piccole dimensioni (82 mm di diametro x 230 mm di altezza), collegate via cavo ad un'unità centrale (fig. 7). Il protocollo di collegamento utilizzato è di tipo seriale RS-485 in grado di operare anche su grandi distanze (> 1000m).

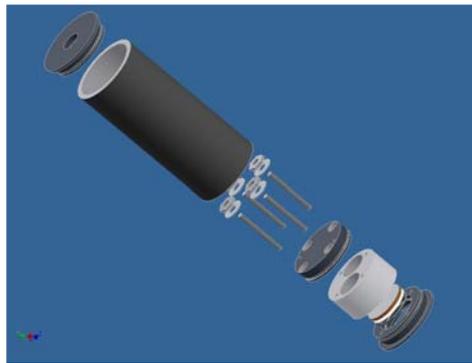


Figura 7. Rappresentazione del case della sonda (a).

Potenzialmente una singola unità centrale è in grado di gestire fino a 10 sonde, in questo caso ognuno dei due sistemi di monitoraggio sarà collegato a 3 sonde.

I sensori utilizzati per la determinazione di CO₂ e CH₄ sono di tipo NDIR, tale scelta permette di minimizzare il consumo delle stazioni mantenendo un'elevata qualità del dato sia in termini di stabilità del segnale (assenza di deriva strumentale tipica dei sensori elettrochimici) che di durata. Oltre a queste determinazioni, ogni sonda è in grado di misurare temperatura e pressione atmosferica (o profondità se installate in acqua). Tali sonde, costruite per essere collegate all'unità centrale, possono lavorare anche in totale autonomia grazie alla progettazione di un piccolo modulo aggiuntivo che ne permette il collegamento ad un pacco batterie. I dati, sia nel caso del collegamento via cavo, sia in quello di alimentazione a batteria possono essere immagazzinati in una memoria (di tipo eeprom o sd card) alloggiata nella sonda stessa. La tensione di alimentazione del sistema è 6.4/18V. Le specifiche tecniche delle sonde sono illustrate in tabella II.

Rapporto Tecnico: Progetto e realizzazione di una rete di monitoraggio geochimica con controllo remoto volta alla caratterizzazione sperimentale dei siti idonei per il confinamento geologico della CO₂ e studio degli aspetti socio-territoriali legati all’introduzione delle tecnologie CCS

Tabella II. Caratteristiche tecniche dei sensori utilizzati

| parametro | Metodo di misura | Range |
|-----------------------------|------------------|----------------------------|
| CO ₂ – sensore 1 | Sensore NDIR | 0-5% |
| CH ₄ – sensore 1 | Sensore NDIR | 0-5% |
| CO ₂ – sensore 2 | Sensore NDIR | 0-10% |
| Temperatura | Sensore digitale | -10°C / +85°C |
| Pressione | membrana | 15 – 115 KPa (0-60m prof.) |

1.3.2 Controllo remoto

I dati raccolti dalle sonde sono memorizzati nell’unità centrale su una sd card. I dati memorizzati possono essere trasferiti via modem o LAN dopo ogni campionamento ad un database ubicato in un server centrale. Il sistema sfrutta una connessione gprs/umts e prevede che ogni stazione di monitoraggio, caratterizzata da un ID univoco, trasferisca i dati sul medesimo database. Questa possibilità semplifica enormemente le operazioni di gestione ed elaborazione dei dati raccolti da reti di monitoraggio complesse. Utilizzando l’interfaccia web è anche possibile modificare numerose impostazioni tra cui tempo di misura, intervallo di analisi ecc.

La figura 8 mostra, ad esempio, la pagina di configurazione della stazione. È possibile impostare in remoto sia i tempi di misura, sia il numero di acquisizioni giornaliere, sia il tipo di collegamento utilizzato.

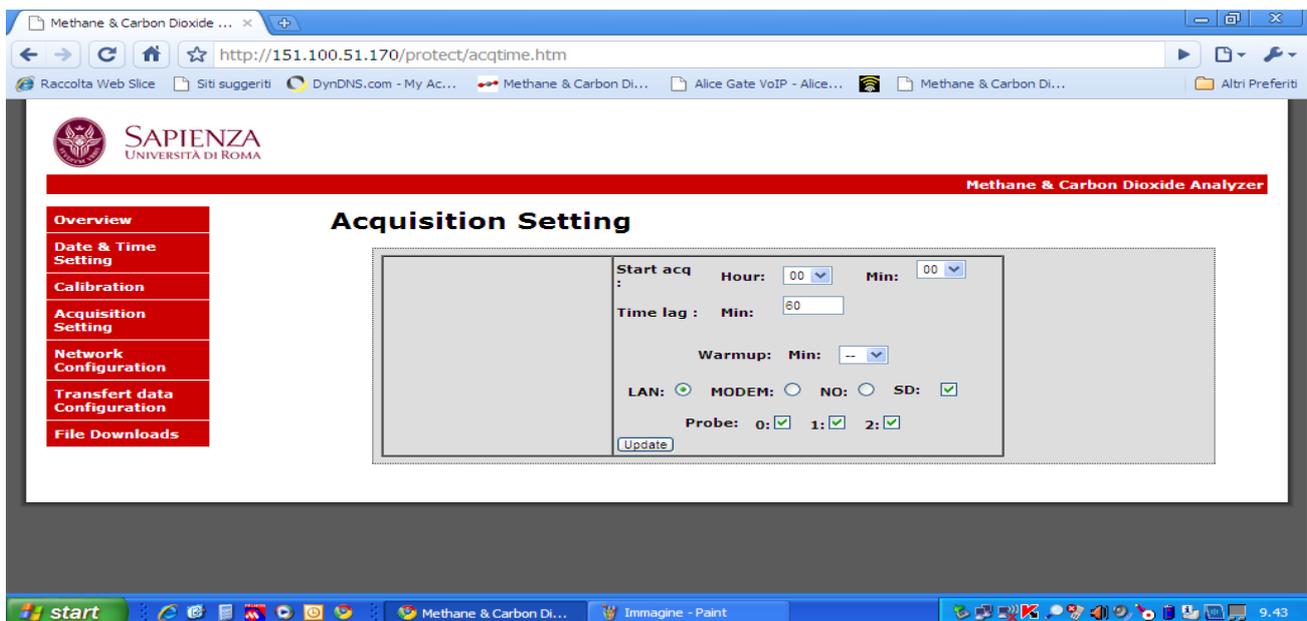


Figura 8. Tramite interfaccia web è possibile modificare velocemente la configurazione delle stazioni di monitoraggio.

Sempre utilizzando lo stesso tipo di interfaccia è possibile scaricare i dati raccolti (fig. 9), calibrare il sistema (fig. 10) e modificare numerose altre impostazioni.

Rapporto Tecnico: Progetto e realizzazione di una rete di monitoraggio geochimica con controllo remoto volta alla caratterizzazione sperimentale dei siti idonei per il confinamento geologico della CO₂ e studio degli aspetti socio-territoriali legati all'introduzione delle tecnologie CCS

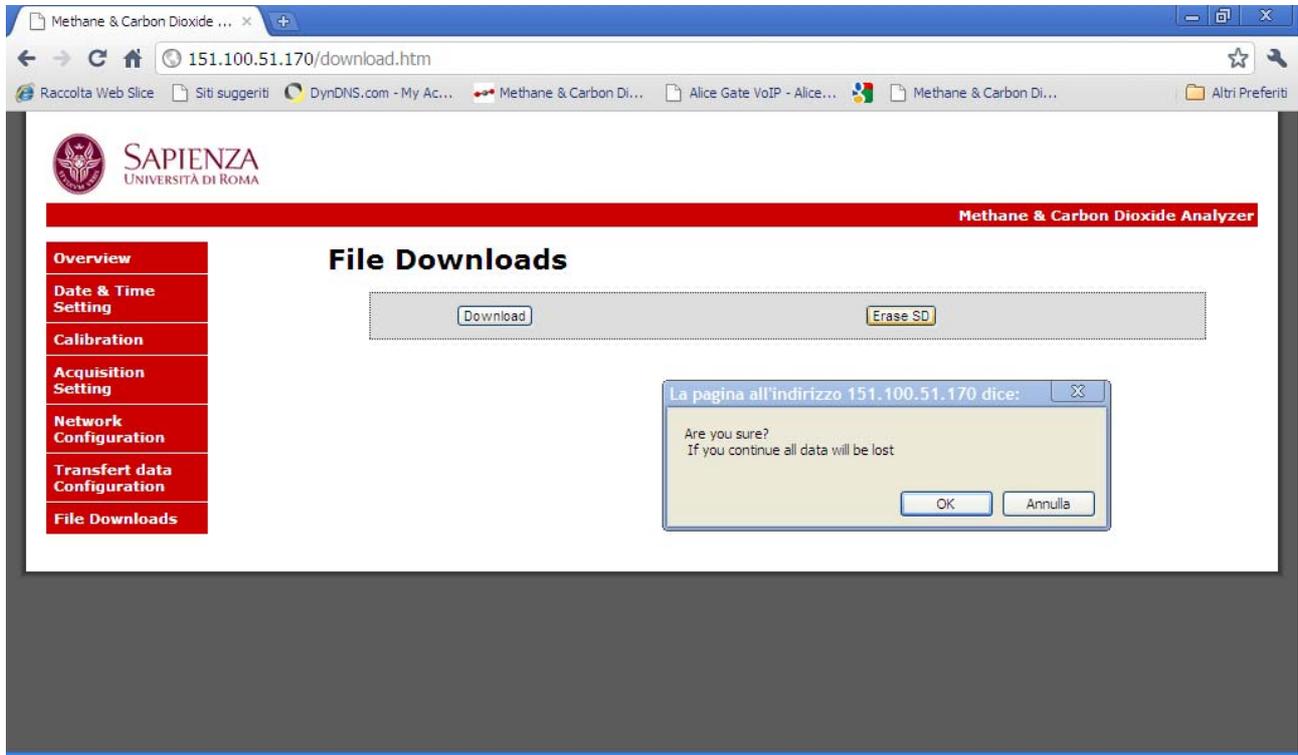


Figura 9. L'acquisizione dei dati raccolti avviene automaticamente ed è possibile anche cancellare i dati memorizzati sulla sd card.

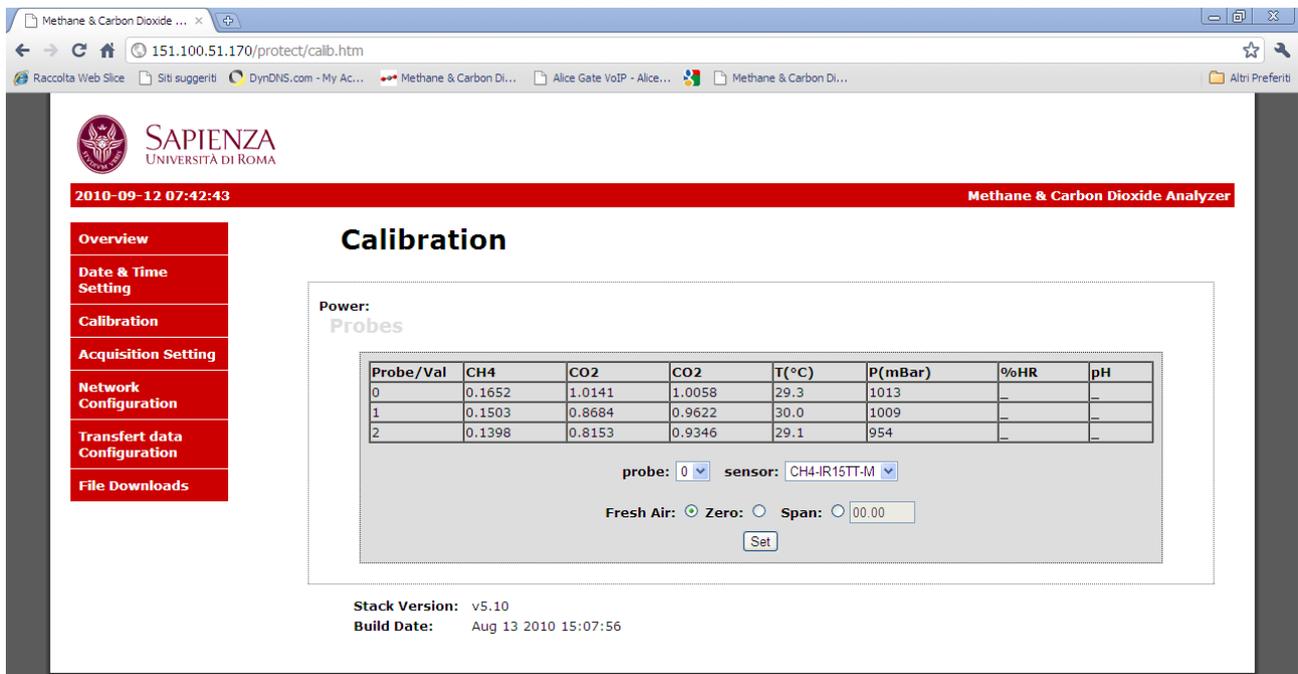


Figura 10. Le singole sonde possono essere calibrate separatamente sia per lo 0 che per i valori naturali (fresh air) sia per lo span.

1.3.3 Messa a punto, calibrazione e test del sistema

Rapporto Tecnico: Progetto e realizzazione di una rete di monitoraggio geochimica con controllo remoto volta alla caratterizzazione sperimentale dei siti idonei per il confinamento geologico della CO₂ e studio degli aspetti socio-territoriali legati all’introduzione delle tecnologie CCS

L’installazione delle stazioni è stata preceduta da una serie di esperimenti di laboratorio che hanno riguardato sia la parte relativa al firmware che l’acquisizione dei parametri sperimentali necessari a correggere l’influenza di parametri come temperatura e pressione sulla risposta dei sensori.

1.3.4 Firmware

La programmazione del microcontrollore delle sonde è stata testata attraverso una simulazione prolungata in cui le sonde hanno lavorato continuamente per 1 mese. Durante questo periodo è stato possibile correggere i “bugs” presenti e verificare la funzionalità della memorizzazione dei dati, dell’upload su server e della possibilità di modificare via LAN la configurazione del sistema.

1.3.5. Correzione della risposta dei sensori e calibrazione

La correzione in temperatura è stata effettuata in acqua al fine di poter modificare facilmente le condizioni dell’esperimento e parallelamente mantenere costante la temperatura durante le misurazioni. È stato così possibile osservare la risposta delle sonde a diverse miscele gassose standard (rispettivamente con concentrazioni pari a 2500ppm, 1%, 5% e 10% di CO₂ e CH₄) alla temperatura di 25, 15 e 5 °C. I risultati ottenuti hanno permesso di calcolare il coefficiente di variazione di risposta dei sensori con la temperatura.

Sia per ottenere i parametri di correzione in temperatura, sia per linearizzare la curva di risposta dei sensori è stato necessario utilizzare nella costruzione dei diagrammi i valori di assorbanza e di trasmittanza normalizzata. In particolare per la correzione in temperatura tali valori sono stati messi in relazione con la differenza tra la temperatura di misura e quella di calibrazione (fig. 11 a, b).

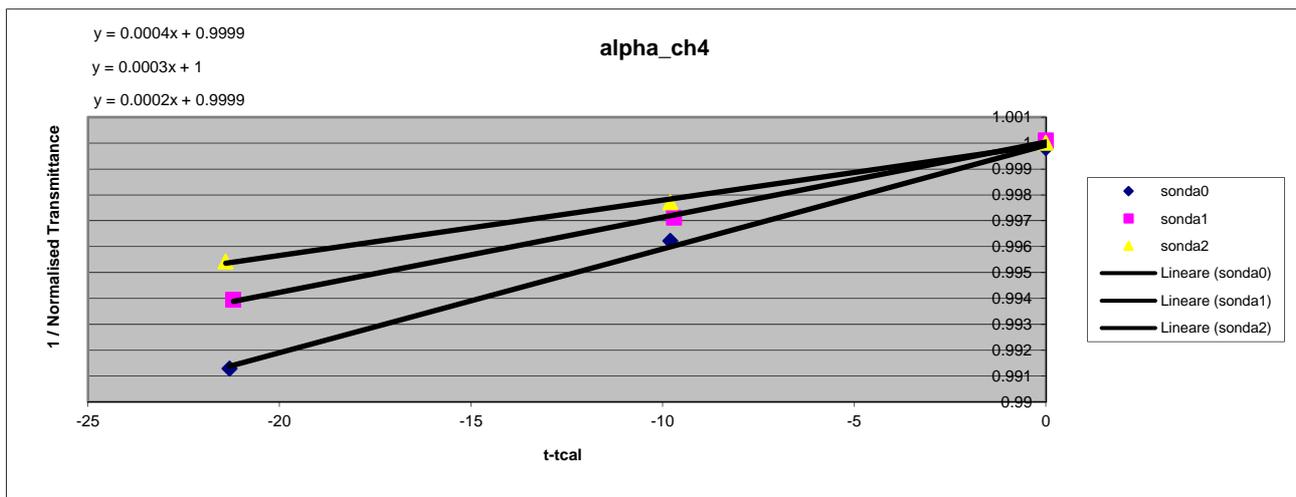


Figura 11a. Variazione dei valori di trasmittanza con la temperatura in azoto.

Rapporto Tecnico: Progetto e realizzazione di una rete di monitoraggio geochimica con controllo remoto volta alla caratterizzazione sperimentale dei siti idonei per il confinamento geologico della CO₂ e studio degli aspetti socio-territoriali legati all’introduzione delle tecnologie CCS

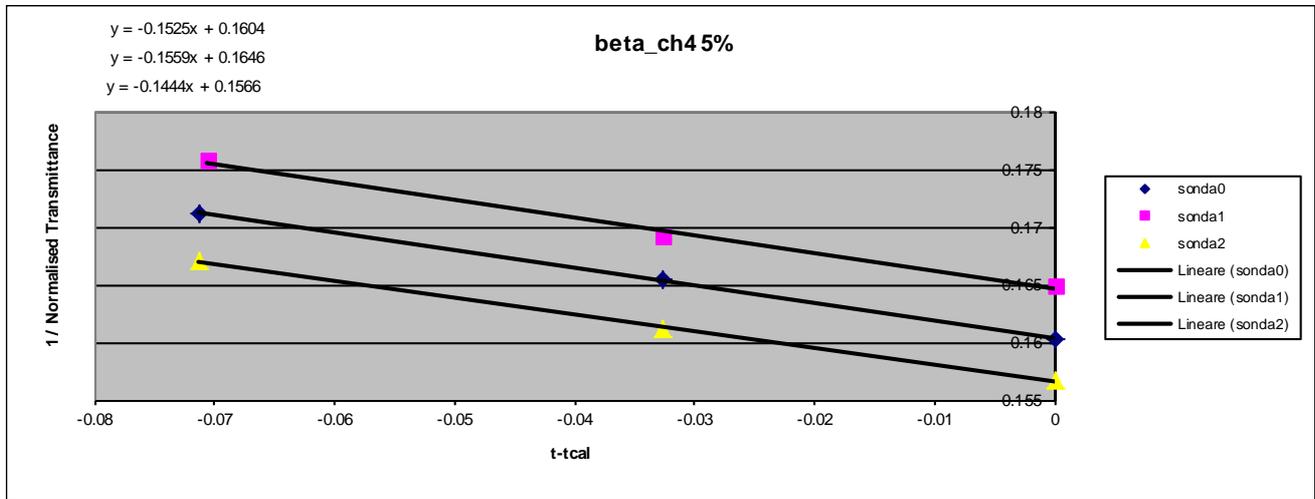


Figura 11b. Variazione dei valori di trasmittanza con la temperatura per concentrazioni di metano pari al 5% (span).

Analogamente a quanto fatto per la temperatura, ma diagrammando i valori di assorbanza rispetto a concentrazioni diverse di CO₂ e CH₄, sono stati individuati i parametri “a” e “n” necessari alla linearizzazione della risposta dei sensori (fig 8).

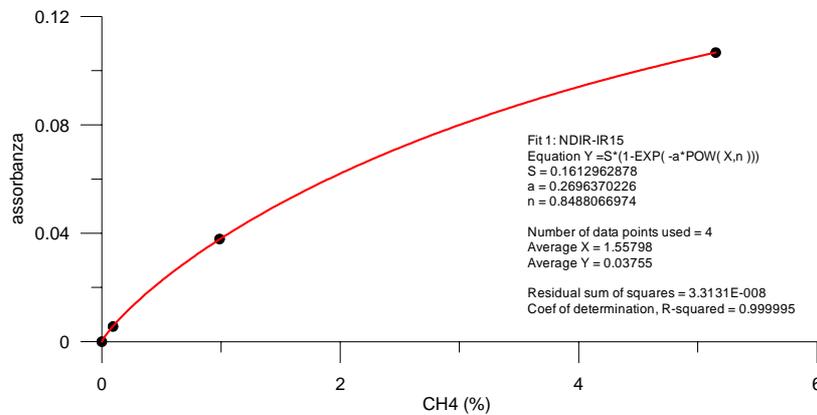


Figura 12. Costruzione dell’equazione di linearizzazione della risposta dei sensori NDIR

I valori calcolati sperimentalmente sono stati inseriti nel firmware delle sonde prima di procedere alla calibrazione definitiva. La calibrazione è stata effettuata utilizzando N₂ per il punto 0 e il fondo scala di ogni sensore per lo span.

1.3.6 Test in situ

Prima dell’istallazione finale il sistema di monitoraggio è stato testato nel lago di Albano. Tale scelta è legata a motivi principalmente logistici e di sicurezza per il sistema stesso (in condizioni on-shore è più facile subire atti di vandalismo che avrebbero potuto compromettere la possibilità di istallazione finale delle stazioni). Tale test ha previsto il posizionamento della sonda ad una profondità di circa 25m per un periodo di 10 giorni durante i quali una delle due sonde utilizzate è stata isolata dall’acqua del lago e immersa in un recipiente contenente acqua arricchita in CO₂ disciolta.

Rapporto Tecnico: Progetto e realizzazione di una rete di monitoraggio geochimica con controllo remoto volta alla caratterizzazione sperimentale dei siti idonei per il confinamento geologico della CO₂ e studio degli aspetti socio-territoriali legati all'introduzione delle tecnologie CCS

La tabella III mostra il confronto tra la lettura del sistema automatico e il risultato dei campioni prelevati *in situ* ed analizzati in laboratorio. I risultati molto vicini confermano l'efficacia delle correzioni apportate alle misure del sistema di monitoraggio e sono in linea con i dati di letteratura (Anzidei et al., 2008).

Tabella III. Risultati test lago di Albano

| CO ₂ disciolta | Acqua lago (μmol/L) | Campionatore con acqua arricchita in CO ₂ (μmol/L) |
|---------------------------|---------------------|--|
| Analisi di laboratorio | 32.4 | 271.4 |
| Misura automatica | 32.1 | 282.8 |

Rapporto Tecnico: Progetto e realizzazione di una rete di monitoraggio geochimica con controllo remoto volta alla caratterizzazione sperimentale dei siti idonei per il confinamento geologico della CO₂ e studio degli aspetti socio-territoriali legati all'introduzione delle tecnologie CCS

CAPITOLO II - Studio del contesto territoriale e sociale legato all'introduzione delle tecnologie CCS

2.1 Obiettivi perseguiti e raggiunti nel periodo di riferimento

Le attività di ricerca fin'ora svolte sono state finalizzate a raccogliere dati utili per creare un panorama delle rappresentazioni sociali inerenti la tecnologia CCS (Carbon Capture and Storage) nel territorio del Sulcis e precisamente nell'area di Carbonia. Per raggiungere questo obiettivo si è scelto di procedere su un doppio livello di analisi: quello della stampa locale e quello dell'opinione dei cittadini, nell'idea che tali dimensioni sono tra loro legate ed entrambe possono contribuire a costruire accettazione, rifiuto o partecipazione al progetto.

Il lavoro portanto avanti fino a questo punto si è quindi orientato su due principali direzioni:

1. Analisi della stampa locale, al fine di individuare come i media locali stiano trattando la tecnologia CCS e come questa sia comunicata al pubblico.
2. Ricerca-intervento sul campo, attraverso la conduzione di focus-group e interviste, per individuare: cosa pensano del CCS gli stakeholder, quale tipo di impatto tale tecnologia può avere sulla percezione della popolazione e quali strategie utilizzare per coinvolgere gli stakeholder nel processo di sviluppo del CCS nel loro territorio.

Avendo seguito metodologie diverse in base all'obiettivo di ricerca tratteremo separatamente sia i metodi che i risultati ottenuti tramite l'analisi della stampa e la ricerca intervento sul campo.

Rapporto Tecnico: Progetto e realizzazione di una rete di monitoraggio geochimica con controllo remoto volta alla caratterizzazione sperimentale dei siti idonei per il confinamento geologico della CO₂ e studio degli aspetti socio-territoriali legati all'introduzione delle tecnologie CCS

2.2 Intervento sul Territorio di Carbonia - Metodologia.

L'organizzazione delle diverse fasi della ricerca è stata supportata dalla teoria dell'analisi della domanda, integrata con i più recenti contributi scientifici in ambito di comunicazione con il pubblico e public engagement. L'analisi della domanda è un modello teorico che permette, a partire da una richiesta da parte di un contesto, di costruire un intervento modulato sulle esigenze di quella persona o di quel gruppo di persone, tenendo in considerazione le loro particolari esigenze, le loro possibilità di sviluppo e le risorse che possono mettere in campo per avviare processi di miglioramento. Inoltre l'attenzione si rivolge alle dimensioni culturali indagabili attraverso le rappresentazioni sociali. Tale modello teorico permette un'integrazione tra domanda, cultura e risorse locali con le ricerche scientifiche portate avanti in campo internazionale sulla comunicazione e sulle esperienze di public engagement degli stakeholder in tema di CCS (Shackley, & al. 2009; Shackley, & al. 2009; Heiskanen, & al. 2007; Coninck, & al. 2006; Fishedick, & al. 2009; Minh, & al. 2010; Malone, & al. 2009; 2009). Fondandosi su tali premesse teoriche sono stati prima contattati gli stakeholder utili al nostro scopo ed in seguito sono stati intervistati tramite focus-group, interviste individuali, o tramite somministrazione di questionari. A precedere questo step di lavoro è stata avviata un'analisi storica e sociale del contesto è tramite la letteratura prodotta nella zona del Sulcis. Abbiamo potuto così costruire un quadro delle dinamiche sociali dell'ultimo secolo per quanto riguarda: il mercato del lavoro e i flussi migratori; le culture delle diverse imprese locali; i rapporti con l'autorità politica; i rapporti con le organizzazioni sindacali; i processi di industrializzazione e de-industrializzazione; i flussi demografici. Solo successivamente siamo entrati in contatto con diversi tipi di stakeholder distinguibili in base ad un diretto interesse nello sviluppo del progetto (aziende implicate nel progetto, enti di ricerca implicati nel progetto, organi politici, ecc...) ed in base ad un interesse indiretto nei riguardi del CSS (associazioni di cittadini, cittadini, associazioni di lavoratori, istituzioni scolastiche, ecc...). I primi avranno un ruolo primario nello sviluppo della tecnologia, in quanto contribuiranno attivamente a sperimentarla e metterla in atto, mentre i secondi avranno un ruolo indiretto, in quanto parte integrante della comunità in cui tale progetto produrrà i suoi effetti. Le analisi emerse in questa fase della ricerca daranno informazioni qualitative e quantitative: sul tipo di conoscenza della tecnologia e delle problematiche ambientali tra i vari stakeholder, sulle risorse sociali utilizzabili per far progredire il processo, sulle possibili modalità di coinvolgere i diversi stakeholder, nonché sulle rappresentazioni sociali che tiene insieme la rete di rapporti nella comunità.

Le successive fasi di ricerca prevedono analisi statistiche dei testi raccolti durante focus-group e interviste al fine di poter avanzare ulteriori e più articolate ipotesi di lavoro. Al momento dopo un'analisi dei questionari somministrati ai cittadini abbiamo raccolto le seguenti informazioni:

Come dimostra la tabella IV poco meno della metà delle persone intervistate (41,9%) affermano di aver sentito parlare di impianti ad emissione zero, mentre il 27,9% ha sentito parlare della tecnologia del CCS. In entrambi i casi è stato chiesto agli intervistati se avessero sentito nominare tali tecnologie. Ulteriori analisi sulle risposte date dagli intervistatori, mostreranno la corrispondenza tra queste informazioni e l'effettiva conoscenza delle tecnologie per gli impianti ad emissione zero. Per quanto riguarda il CCS ulteriori analisi ci permetteranno di capire quali sono i punti meno chiari alla popolazione di tale tecnologia e definire le aree su cui i cittadini cercano maggiori informazioni.

Rapporto Tecnico: Progetto e realizzazione di una rete di monitoraggio geochimica con controllo remoto volta alla caratterizzazione sperimentale dei siti idonei per il confinamento geologico della CO₂ e studio degli aspetti socio-territoriali legati all'introduzione delle tecnologie CCS

Tabella IV. Conoscenza delle possibilità di abbattimento delle emissioni di CO₂

| | SI | NO. | Tot |
|--|-------|-------|------|
| Soggetti che hanno sentito parlare di impianti ad emissione zero | 41.9% | 55.9% | 100% |
| Soggetti che hanno sentito parlare di tecnologia CCS | 27.9% | 72.1% | 100% |

Per quanto riguarda le rappresentazioni e le conoscenze sulle modalità di produzione energetica gli intervistati hanno menzionato principalmente fonti rinnovabili come l'energia solare e l'energia eolica (Tab.V). L'energia nucleare, idroelettrica e l'energia prodotta attraverso la combustione del carbone sono state menzionate da diversi intervistati. Altre fonti come i termovalorizzatori, l'energia geotermica e il petrolio non sono state riportate nella tabella in quanto aventi percentuali al momento non rilevanti.

Tabella V. Fonti energetiche menzionate dagli intervistati

| Fonte | Eolico | Solare | Carbone | Idroelettrica | Nucleare | Biomasse |
|------------|--------|--------|---------|---------------|----------|----------|
| Menzionata | 76.5% | 70.5% | 26.5% | 26.5% | 25% | 10.5% |

In ultima analisi abbiamo valutato in quale ordine le fonti di produzione energetica sono state menzionate per capire quale è più vicina alle conoscenze e alle rappresentazioni della popolazione (Tab.VI). Dalle analisi è emerso come l'eolico sia la prima alternativa che viene in mente agli intervistati (38,2%) quando si parla di produzione energetica, mentre il solare (26,5%) è la seconda opzione. Un dato interessante riguarda il nucleare, mai presente come prima scelta, anche se il 25% lo ha menzionato tra le potenziali fonti energetiche (Tab.V).

Tabella VI. Fonti energetiche menzionate dagli intervistati come prima scelta

| Fonte | Eolico | Solare | Idroelettrica | Carbone | Petrolio | Biomasse | Non sa | Altro | Tot |
|----------|--------|--------|---------------|---------|----------|----------|--------|-------|------|
| I Scelta | 38.5% | 26.5% | 5,9% | 4.4% | 2.9% | 1.5% | 4.4% | 16.2% | 100% |

2.3 Analisi della stampa locale

L'obiettivo che si punta a raggiungere è l'analisi di una raccolta di articoli di giornali attraverso criteri standard al fine di ottenere categorie utilizzabili per esplorare le diverse modalità utilizzate dalla stampa per la diffusione di notizie riguardanti la tecnologia CCS. La selezione delle fonti ha interessato gli articoli pubblicati dal 2005 al 2009 sulla stampa locale della Sardegna, in particolare modo sui giornali. Le seguenti aree sono state esplorate al fine di analizzare come il CCS è presentato dalla stampa:

Contesto. Il tema del CCS è riportato, sulla stampa locale, soprattutto in relazione alla dimensione industriale e alla sua contestualizzazione locale, dimensioni trattate nell'84% circa degli articoli. Seguono, in ordine di importanza, il rapporto con le istituzioni europee e la

Rapporto Tecnico: Progetto e realizzazione di una rete di monitoraggio geochimica con controllo remoto volta alla caratterizzazione sperimentale dei siti idonei per il confinamento geologico della CO₂ e studio degli aspetti socio-territoriali legati all'introduzione delle tecnologie CCS

dimensione economica rispetto all'implementazione della tecnologia, presenti entrambi nel 60% degli articoli analizzati. Tra i temi non ancora marginali, quello della produzione di energia pulita, riportato dal 40% del campione, e quello del cambiamento climatico e dell'inquinamento da gas serra (30%).

Come viene descritta la tecnologia. Generalmente le informazioni disponibili sul tema della tecnologia CCS non sono approssimative. Seppur nella logica di informare molte persone, riportano i termini attuali del dibattito relativo all'innovazione industriale possibile nell'area del Sulcis e dell'utilità della cattura della CO₂ quale contributo alla vita futura di Carbosulcis e Sotacarbo. L'implementazione del CCS è interpretata, in tale contesto, come un possibile vantaggio strategico, in termini di competitività, che queste potrebbero ricevere, se ci fosse una volontà politica forte a sostegno del progetto.

Aspetti economici. Quello sul CCS è un investimento che si rivela molto ambito, per lo sviluppo e l'innovazione delle aziende che inquinano: una partita che si gioca tra l'altro nella dimensione comunitaria. Non è rappresentato nei termini di un investimento economico, ma al contrario di una opportunità di alto profilo, con costi iniziali non bassi da sostenere.

Problematiche. Il 51% degli articoli non presenta la descrizione di problematiche e, quando si ciò si verifica, si descrivono gli ostacoli allo sviluppo della tecnologia CCS esistenti non solo in Sardegna, ma in tutto il Paese e, di concerto con questo tema, l'incerta volontà politica che si delineerebbe dalle notizie circolanti in merito. Un'altra criticità evidenziata sarebbe rappresentata dal fatto di trovarsi ancora nella fase iniziale della ricerca. Questi tre aspetti del problema costituiscono l'ampia maggioranza (76%) sul totale di quelli messi all'attenzione del lettore.

Valutazione della tecnologia. Si ha il prevalente sostegno del CCS (38%), i cui benefici si collocherebbero soprattutto sul versante della possibilità di risollevare un territorio che risente della mancanza di una politica industriale di respiro europeo. Nei pochi casi (6%) in cui si esprimono opinioni avverse al suo sviluppo, si mettono in evidenza dubbi legati alla sua possibile efficacia oppure si pensa ad alternative al carbone.

Connotazione. Appare maggiormente presente (55%) la volontà di esprimersi rispetto a quella di non farlo e predomina nettamente un atteggiamento positivo legato alla sua implementazione. Si tratta, per altro, di una connotazione della cattura della CO₂ legata ai benefici da essa apportati di per sé, indipendentemente perciò dai problemi economici o da quelli connessi alla sua percezione pubblica.

Rapporto Tecnico: Progetto e realizzazione di una rete di monitoraggio geochimica con controllo remoto volta alla caratterizzazione sperimentale dei siti idonei per il confinamento geologico della CO₂ e studio degli aspetti socio-territoriali legati all'introduzione delle tecnologie CCS

CAPITOLO III - PRINCIPALI SOGGETTI COINVOLTI

3.1 Unità operative CERI e affiliate

Il presente lavoro è stato condotto dal CERI e dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Roma “La Sapienza” in collaborazione con la Carbosulcis s.p.a.

Le attività hanno visto la partecipazione del Prof. Salvatore Lombardi (coordinatore), della Prof.ssa Francesca Bozzano, della Prof.ssa Sabina Bigi e della Sig.ra Anna Baccani (tecnico di laboratorio). Hanno inoltre partecipato alla ricerca in qualità di collaboratori la Dott.ssa Sameula Vercelli, Dott. Jonathan Anderlucci e il Dott. Massimiliano Nespola che hanno curato la parte relativa alla comunicazione; il Dott. Stanley Beaubien, il Dott. Giancarlo Ciotoli che hanno curato la parte organizzativa e di elaborazione statistica dei dati; il Dott. Aldo Annunziatellis, il Dott. Stefano Graziani che hanno curato la parte relativa al monitoraggio in continuo.

In questa sezione si specificheranno le attività eventualmente affidate a soggetti esterni, e se ne evidenzierà (in grande sintesi) lo specifico contributo.

Nei soggetti esterni si intendono compresi sia i cobeneficiari che i subcontraenti (principali), che (eventuali) partner senza contributo.

3.2 Coinvolgimento del “Territorio”

Per raccogliere i dati utili alla ricerca sono state condotte le seguenti attività:

1. 8 Focus group:
 - 1.1) 1 Focus group Consiglio dei ragazzi,
 - 1.2) 1 Focus group con ragazzi che svolgono attività di servizio civile nazionale a Carbonia,
 - 1.3) 5 Focus group con dipendenti della Carbosulcis,
 - 1.4) 1 Focus group con l'associazione “Amici della Miniera”,
 - 1.5) 1 Focus group con la Commissione Cultura dell'Assessorato alla Cultura e allo Sport
 - 1.6) 1 Focus group con presidi istituti superiori di Iglesias

2. 13 Interviste individuali non strutturate:
 - 2.1) 9 interviste con dirigenti, ricercatori e addetti “Sotacarbo”
 - 2.2) 1 intervista con dirigente Carbosulcis
 - 2.3) 1 intervista con rappresentante CGIL,
 - 2.4) 2 interviste con collaboratori del “Centro Italiano della Cultura del Carbone” (CICC) – Museo del Carbone
 - 2.5) 1 intervista con Direttore Museo del Carbone
 - 2.6) 1 intervista con sindaco di Iglesias

Rapporto Tecnico: Progetto e realizzazione di una rete di monitoraggio geochimica con controllo remoto volta alla caratterizzazione sperimentale dei siti idonei per il confinamento geologico della CO₂ e studio degli aspetti socio-territoriali legati all'introduzione delle tecnologie CCS

2.7) 1 intervista con professore dell'Università di Cagliari.

3. Sondaggio face to face presso i cittadini di Carbonia, 150 persone sono state intervistate

Nel condurre le attività di ricerca si è prestata particolare attenzione alla costruzione di rapporti di collaborazione che consentano il proseguimento del lavoro con la comunicazione di informazione atta ad una comprensione da parte di tutti, compresi i non addetti ai lavori, della ricerca scientifica che è alla base dei progetti di cattura e stoccaggio dell'anidride carbonica. Di concerto con le istituzioni locali e la realtà industriale e di ricerca sono state pianificate attività nell'ambito delle quali verrà effettuata la comunicazione, quali per esempio la partecipazione al Festival della letteratura per ragazzi e iniziative di convegni pianificati per l'autunno dagli enti di ricerca e industriali impegnati sul territorio. Tali occasioni saranno sfruttate anche per la pubblicizzazione dei materiali informativi prodotti e delle attività di e-learning rese disponibili. In tale ambito verranno inoltre ulteriormente verificate le richieste informative per un eventuale proseguimento del lavoro.

In questa fase ci siamo limitati a valutare la situazione senza avviare processi di sensibilizzazione nella popolazione, nell'idea che un intervento di questo tipo vada calibrato in base allo specifico contesto in cui si va ad intervenire. E' perciò necessario comprendere bisogni, prospettive di sviluppo, e modalità di funzioni nel contesto di riferimento per poi avviare e stimolare attività di partecipazione sul territorio.

CAPITOLO IV - DIFFUSIONE DEI RISULTATI

Tramite la valutazione dello stato dei lavori attuali e del materiale di cui disponiamo, nel medio periodo (2-3 mesi) possiamo presentare dati utili ad orientare attività di sensibilizzazione e di partecipazione dei cittadini sul territorio del Sulcis, puntando a favorire lo sviluppo della tecnologia CCS, mentre nel lungo termine ci sarà la possibilità di avere dati per future pubblicazioni scientifiche diversificate in base al focus del discorso. Tali pubblicazioni potranno riguardare vari aspetti del processo fin qui riportato.

Oltre a quanto descritto, sono in corso di organizzazione convegni e workshop su questi temi e sono previste pubblicazioni (sia di tipo divulgativo che scientifico) per una completa diffusione dei dati ottenuti.

Rapporto Tecnico: Progetto e realizzazione di una rete di monitoraggio geochimica con controllo remoto volta alla caratterizzazione sperimentale dei siti idonei per il confinamento geologico della CO₂ e studio degli aspetti socio-territoriali legati all'introduzione delle tecnologie CCS

BIBLIOGRAFIA

Ashworth P., & al. (2009). An integrated roadmap of communication activities around carbon capture and storage in Australia and beyond, *Energy Procedia*, Volume 1, Issue 1, Greenhouse Gas Control Technologies 9, Proceedings of the 9th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies (GHGT-9), 16-20 November 2008, Washington DC, USA, February 2009, Pages 4749-4756.

Carli R., & Panicia R.M. (2003). *Analisi della domanda. Teoria e intervento in psicologia clinica*. Bologna: Il Mulino.

de Coninck, H., Anderson, J., Curnow, P., Flach, T., Flagstad, O., Groenbergh, H., Norton, C., Reiner, D., Shackley, S., 2006. Acceptability of CO₂ capture and storage—a review of legal, regulatory, economic and social aspects of CO₂ capture and storage, Energy Research Centre of the Netherlands.

Heiskanen, E., & al. (2007). *Factors influencing the societal acceptance of new energy technologies: Meta-analysis of recent European projects*. WP 2 report of the Create Acceptance Project (FP6-2004-Energy-3, SUSTDEV-1.2.8). <http://www.createacceptance.net/fileadmin/create-acceptance/user/docs/E07058.pdf>. Accessed 15 July 2009.

Malone E. L. (2009). Keeping CCS stakeholder involvement in perspective, *Energy Procedia*, Volume 1, Issue 1, Greenhouse Gas Control Technologies 9, Proceedings of the 9th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies (GHGT-9), 16-20 November 2008, Washington DC, USA, February 2009, Pages 4789-4794.

Manfred Fishedick, Katja Pietzner, Nikolaus Supersberger, Andrea Esken, Wilhelm Kuckshinrichs, Petra Zapp, Jochen Lin[ss]en, Diana Schumann, Peter Radgen, Clemens Cremer, Edelgard Gruber, Natalie Schnepf, Annette Roser, Farikha Idrissova, Stakeholder acceptance of carbon capture and storage in Germany, *Energy Procedia*, Volume 1, Issue 1, Greenhouse Gas Control Technologies 9, Proceedings of the 9th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies (GHGT-9), 16-20 November 2008, Washington DC, USA, February 2009, Pages 4783-4787.

Minh H. D. (2010). Social aspects of Total's Lacq CO₂ capture, transport and storage pilot project. In To appear in *Energy Procedia*, September 2010. Proceedings of the 10th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies (GHGT-10), 19-23 September 2010, Amsterdam, NL.

Shackley S., & al., (2009). *The acceptability of CO₂ capture and storage (CCS) in Europe: An assessment of the key determining factors: Part 2. The social acceptability of CCS and the wider impacts and repercussions of its implementation*, *International Journal of Greenhouse Gas Control*, Volume 3, Issue 3, May 2009, Pages 344-356.

Shackley S., & al., (2009). *Stakeholder perceptions of CO₂ capture and storage in Europe: Results from a survey*, *Energy Policy*, Volume 35, Issue 10, October 2007, Pages 5091-5108.