



## Ricerca di Sistema elettrico

# Studio esecutivo per la sperimentazione di iniezioni di CO<sub>2</sub> in sottosuolo finalizzato allo sviluppo di sistemi di monitoraggio

A. Plaisant, E. Maggio (Sotacarbo S.p.A.)

S. Bigi, R. Cesaroni, S.E. Beaubien, M.C. Tartarello, F. Poletto, A. Schleifer, G. Pinna, A. S. Lombardi (CERI-Università La Sapienza, Roma)

## STUDIO ESECUTIVO PER LA SPERIMENTAZIONE DI INIEZIONI DI CO<sub>2</sub> IN SOTTOSUOLO FINALIZZATO ALLO SVILUPPO DI SISTEMI DI MONITORAGGIO

A. Plaisant, E. Maggio (Sotacarbo S.p.A.)

S. Bigi, R. Cesaroni, S.E. Beaubien, M.C. Tartarello, F. Poletto, A. Schleifer, G. Pinna, A. S. Lombardi  
(CERI-Università La Sapienza, Roma)

Settembre 2017

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2016

Progetto: *Tecnologie e metodologie low carbon e Edifici a energia quasi zero (nZEB) - CUP: I12F16000180001*

Obiettivo: Parte A – Tecnologie per l'impiantistica energetica 'low carbon'

Tema B: Monitoraggio e confinamento geologico della CO<sub>2</sub>

Task 3: Studio fattibilità e progetto esecutivo del test di sperimentazione di iniezione di CO<sub>2</sub> in sottosuolo finalizzato allo sviluppo di sistemi di monitoraggio

Responsabile del Progetto: dott.ssa Franca Rita Picchia ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "*Tecnologie e metodologie low carbon e Edifici a energia quasi zero (nZEB)*"

Responsabile scientifico ENEA: ing. Paolo Deiana

Responsabile scientifico SOTACARBO: ing. Enrico Maggio

## Indice

SOMMARIO .....	4
1 INTRODUZIONE .....	5
2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI .....	6
3 ALLEGATI.....	9

## Sommario

Questo lavoro si inserisce nell'ambito dell'Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA sulla Ricerca di Sistema Elettrico, Piano Annuale di Realizzazione 2016, relativamente al tema di ricerca PARTE A Titolo B: Monitoraggio e confinamento geologico della CO<sub>2</sub>, Task.3 "Studio fattibilità e progetto esecutivo del test di sperimentazione di iniezione di CO<sub>2</sub> in sottosuolo finalizzato allo sviluppo di sistemi di monitoraggio".

Le attività realizzate sino ad oggi nel sito nel Sulcis hanno permesso di individuare un'area dove poter realizzare delle sperimentazioni legate all'iniezione di piccole quantità di CO<sub>2</sub> in sottosuolo.

L'attività in esame prevede la prosecuzione delle attività sviluppate sino ad ora.

Nello specifico il report in esame tratta lo sviluppo di uno studio esecutivo per la realizzazione di un laboratorio di superficie (Sulcis Fault Lab) dove effettuare un test di iniezione su una faglia precedentemente individuata, per studiarne il comportamento e testare gli strumenti e le diverse tecniche di monitoraggio.

Lo studio comprende una relazione specialistica, la definizione dei parametri di processo, gli schemi impiantistici e il quadro economico del test site

## 1 Introduzione

Sotacarbo ha in programma di condurre una sperimentazione sul campo del monitoraggio della risalita di CO<sub>2</sub>, in una simulazione controllata di perdita di CO<sub>2</sub> su un'area di circa 2 ettari.

Durante l'esperimento saranno studiate le migrazioni del gas a seguito di iniezione nel sottosuolo attraverso una struttura geologica appositamente individuata per sperimentare un'ampia gamma di tecniche di controllo. Con osservazioni dirette e modellazione fluidodinamica associata le strumentazioni e gli esperimenti permetteranno di comprendere meglio lungo quali strutture il gas migri di preferenza, portando a migliorare le conoscenze sulle tecnologie di monitoraggio e fornire indicazioni sul comportamento delle strutture geologiche interessate da iniezione di CO<sub>2</sub>. Saranno effettuate iniezioni di piccole quantità di CO<sub>2</sub> a circa 250 metri di profondità che saranno monitorate attraverso molteplici sistemi di controllo, superficiali e sotterranei.

Per l'iniezione e il monitoraggio del gas si prevede di realizzare una nuova struttura sperimentale, denominata Sulcis Fault Lab. La progettazione delle infrastrutture e delle attività di sperimentazione sono state sviluppate dall'Università La Sapienza di Roma col supporto di Sotacarbo e di OGS.

L'Università di Roma "La Sapienza" nello specifico ha redatto il presente studio esecutivo della piattaforma sperimentale. L'esperimento che verrà realizzato presso il sito del SFL, ha come scopo la realizzazione della migrazione di CO<sub>2</sub> attraverso una faglia fino alla superficie. Questo avverrà nelle rocce di copertura, per simulare un leakage da un potenziale sito di stoccaggio.

Il documento contiene il Programma lavori, descrive le tecniche operative che verranno adottate, i mezzi impiegati, le indagini effettuate, le misure previste per il recupero dei rifiuti prodotti e le misure di prevenzione dei rischi durante la perforazione dei pozzi e tutte le altre attività necessarie per lo svolgimento del programma lavori, compreso il piano di emergenza generale.

Contiene inoltre una stima budgettaria dei costi basata sulle conoscenze del mercato delle attività assimilabili per la ricerca di idrocarburi in Italia e dovranno poi trovare riscontro effettivo a seguito del confronto col mercato, una volta sviluppati i programmi operativi di dettaglio e definita la strategia contrattuale.

Particolare enfasi è inoltre data alla sensibilizzazione del pubblico, i ricercatori dell'Università della Sapienza insieme a Sotacarbo condurranno un lavoro con la popolazione locale per spiegare il CCS in generale, e nello specifico gli esperimenti proposti, con organizzazione di eventi pubblici, prima, durante e dopo l'iniezione.

## 2 Descrizione delle attività svolte e risultati

Nell'ambito delle ricerche per la caratterizzazione geologico-strutturale del bacino del Sulcis, è stato sviluppato un programma di attività volto a studiare i processi di migrazione della CO<sub>2</sub> e le tecnologie di monitoraggio in prossimità di faglie, per valutarne il comportamento qualora a contatto con la migrazione dei gas. Queste ricerche saranno effettuate utilizzando un laboratorio di superficie denominato "Sulcis Fault Lab" (SFL) di cui è stata redatta una progettazione esecutiva.

Nel SFL verrà sviluppata la sperimentazione di sistemi di monitoraggio geochimico e geofisico innovativi e a basso costo per l'individuazione di potenziali perdite di CO<sub>2</sub> che saranno testati per garantire una procedura di stoccaggio sicura e efficiente.

L'esperimento che verrà realizzato presso il sito del SFL, simulerà una migrazione di CO<sub>2</sub> attraverso una faglia fino alla superficie. Questo avverrà nelle rocce di copertura, per simulare un *leakage* da un potenziale sito di stoccaggio. A differenza di test precedenti condotti principalmente in sedimenti non consolidati e effettuati a profondità inferiori a 20 metri, nel SFL l'iniezione verrà effettuata nella zona di deformazione associata ad una faglia normale ad una profondità stimata di 250 metri.

La struttura impiantistica del Sulcis Fault Lab consisterà di:

- Un **pozzo di iniezione inclinato di 45°** che interseca la faglia definita tramite indagini sismiche. Il pozzo deve raggiungere la faglia il più possibile ortogonalmente, o se le procedure di deviazione non lo permettano, con angolo ridotto fino a 30°. La faglia sarà penetrata ad una quota verticale di circa 250 m e poi carotata per la caratterizzazione. La profondità di iniezione proposta è 250 m (TVD). Il pozzo sarà sigillato per prevenire dispersione di gas lungo il pozzo e sarà anche equipaggiato di strumenti geofisici posizionati in maniera permanente, sia tra il rivestimento (*casing*) e il pozzo, che a fondo pozzo. Il casing finale di rivestimento sarà strumentato all'esterno con geofoni e un cavo a fibre ottiche atto a rilevare tutti i parametri necessari durante i test di iniezione della CO<sub>2</sub>.

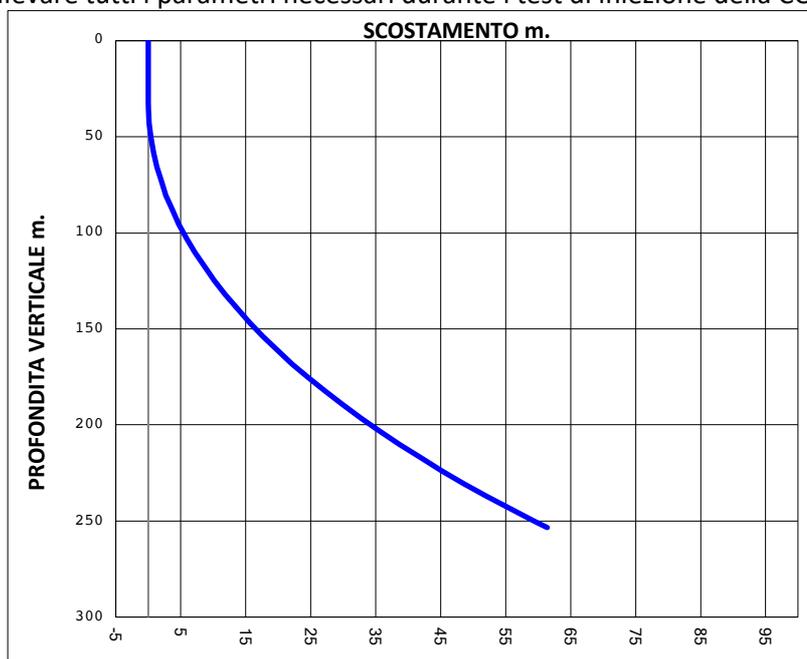


Figura 1 Profilo del pozzo deviato

- Un **pozzo verticale di osservazione** a profondità di 250 m (TVD) per la definizione della stratigrafia con un relativo campionamento mediante carotaggio continuo e il successivo utilizzo come pozzo di monitoraggio. Sarà equipaggiato con strumenti geofisici posizionati in maniera permanente sia tra il rivestimento (*casing*) e il pozzo che a fondo pozzo e sarà utilizzato per misure con strumenti rimovibili, geofoni per misure di profili sismici verticali (VSP) e poi misure 'cross-well'. Si prevede l'impiego di un impianto di perforazione di tipo trasportabile e di minimo impatto ambientale.

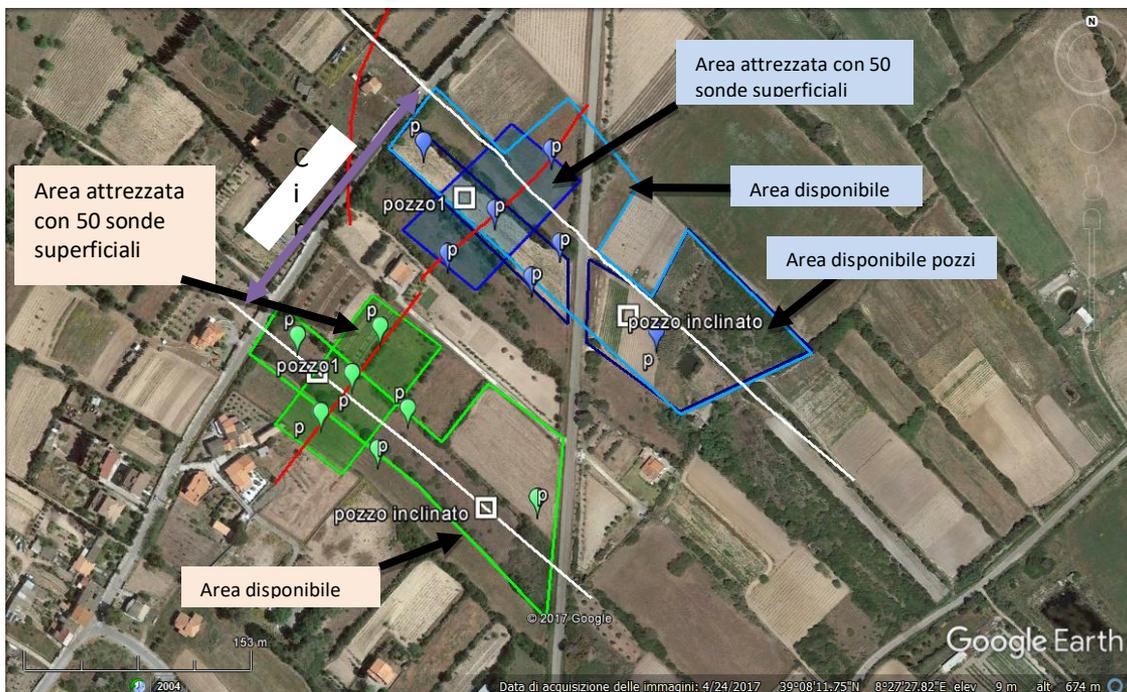
- Nove pozzi di monitoraggio delle acque del sottosuolo (**piezometri**) perforati fino ad una profondità massima di 10 – 15 m (TVD), sigillati in PVC;
- 50 **sonde di monitoraggio della CO<sub>2</sub>** distribuite su una griglia ad una profondità di circa 80 cm;
- Una **stazione meteorologica** per misurare il vento, la temperatura, la pressione barometrica e le precipitazioni;
- Un **sistema on-site di stoccaggio e controllo di iniezione della CO<sub>2</sub>**;
- Un **edificio** per il personale.

Per la caratterizzazione geomeccanica, petrofisica e dinamica delle sequenze attraversate e dei livelli interessati ai fini dei test di iniezione della CO<sub>2</sub>, sono previste acquisizioni di log con lo scopo, tra l'altro, di ottenere:

- caratterizzazione petrofisica delle formazioni attraversate (porosità, permeabilità, capacità di contenimento, fluidi),
- caratterizzazione geomeccanica delle formazioni attraversate e della faglia,
- caratterizzazione mineralogica della matrice,
- aggiornamento dei modelli statici e dinamici (migrazione della CO<sub>2</sub>),
- verifica del profilo di pressione e temperatura.

Ove possibile si procederà al campionamento delle acque di formazione, importanti per la modellazione del comportamento della CO<sub>2</sub> con i fluidi di formazione.

Si prevede inoltre di raccogliere una serie di carote nei tratti più significativi comprese le zone di faglia, per caratterizzare la sequenza interessata da un punto di vista petrofisico, mineralogico, chimico e geomeccanico. Per il posizionamento di pozzi e centraline sono state fatte due ipotesi, che dipenderanno dalla disponibilità dei proprietari dei terreni alla cessione degli stessi per lo sviluppo dell'infrastruttura.



**Figura 2. Proposte per il posizionamento del SFL**

Le condizioni prevedibili per il test di iniezione sono:

- il volume di CO<sub>2</sub> da iniettare sarà nell'ordine delle 10 tonnellate con portata massima di iniezione di 100 kg/day e durata di circa 2 settimane
- le pressioni da raggiungere saranno di circa 25 atm (non superiori a 35 atm);

- la CO<sub>2</sub> da iniettare potrà essere fornita in loco su bombole standard da 80 kg (circa 30 bombole) raccolte su un container aperto e non è previsto l'uso di compressori



Figura 3 Assieme bombole CO<sub>2</sub>.

I programmi di indagine e le soluzioni tecniche ipotizzate possono essere soggette ad adeguamenti o modifiche a seconda delle condizioni operative e geologiche riscontrate in campo e dei risultati derivati dalla perforazione dei pozzi. In particolare alcune soluzioni dipendono dal progetto del drilling, in particolare dalle soluzioni adottate per la fase di completamento, e dalle geometrie finali dei pozzi.

I costi previsti sulla base della progettazione possono quindi essere considerate delle stime budgetarie, basate sulle conoscenze del mercato delle attività assimilabili per la ricerca di idrocarburi in Italia, che potranno però subire variazioni in funzione delle disponibilità del mercato di riferimento e dei volumi di attività in Italia ad esso correlati.

### 3 Allegati

## **“Sulcis Fault Lab”**

*Progetto per lo sviluppo di un’infrastruttura per lo studio della  
migrazione di CO<sub>2</sub> in corrispondenza di una faglia*

*S. Bigi, R. Cesaroni, S.E. Beaubien, M.C. Tartarello, F. Poletto, A. Schleifer,  
G. Pinna, A. S. Lombardi*

*Settembre, 2017*



**SAPIENZA**  
UNIVERSITÀ DI ROMA

**Affiliazioni**

**R. Cesaroni**

**Oil & Gas Consultant, Milano Italia**

**S. Bigi, S.E. Beaubien, M.C. Tartarello, L. Lombardi**

**Centro di ricerca Previsione, Prevenzione e Controllo dei Rischi Geologici – CERI**

**Università di Roma “La Sapienza”.**

**F. Poletto, G. Pinna & A. Schleifer**

**OGS - Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale**

**Il presente documento è da intendersi come preliminare ed è redatto a supporto della documentazione richiesta e finalizzata all'ottenimento di tutti i permessi necessari per l'implementazione del progetto. Questo studio dovrà essere completato in dettaglio nella fase di implementazione progettuale. Il documento verrà utilizzato solo per lo scopo per il quale è stato redatto.**

## SOMMARIO

1	INTRODUZIONE .....	8
2	DESCRIZIONE DEL SITO .....	8
2.1	Inquadramento geologico regionale .....	8
2.2	Inquadramento geologico di dettaglio.....	10
2.3	Acquiferi .....	11
3	PANORAMICA SULLO SVILUPPO DEL SITO PROPOSTO.....	12
3.1	Permessi del sito, comunicazione, ecc. ....	13
4	DESCRIZIONE E SCOPO DELL'ESPERIMENTO SULCIS FAULT LAB.....	14
PARTE 1 – INGEGNERIA DI DUE POZZI PROFONDI.....		16
1	DATI GENERALI POZZI .....	16
1.1	Perforazione .....	16
1.2	Sequenza operativa .....	17
1.3	Anagrafica ed ubicazioni .....	18
2	OBIETTIVO DEI SONDAGGI.....	19
2.1	Stratigrafia .....	19
2.2	Area dei sondaggi.....	22
2.2.1	Criteri per la scelta della posizione.....	22
2.2.2	Lavori di preparazione delle aree di cantiere .....	24
3	IMPIANTO DI PERFORAZIONE .....	25
3.1	Specifiche tecniche dell'impianto.....	25
3.1.1	Capacità principali impianto .....	25
3.1.2	Top Drive .....	26
3.1.3	Caratteristiche pompe fango.....	26
3.1.4	Circuito Fango .....	26
3.1.5	Unità Batch Mixer .....	26
3.1.6	Generatori.....	27
3.2	Planimetria dell'impianto di perforazione.....	27
4	ARCHITETTURA DEI POZZI .....	29
4.1	Pozzo verticale .....	29
4.2	Pozzo deviato.....	30
4.2.1	Schema di Pozzo Deviato.....	31
4.3	Gradienti.....	33
4.3.1	Gradiente Geostatico .....	33

4.3.2	Gradiente di Fratturazione .....	33
5	Problemi di Perforazione previsti .....	36
6	Profilo Casing.....	37
6.1	Profilo Casing.....	37
6.1.1	Tubo Guida/Casing superficiale .....	37
6.1.2	Casing di Produzione a circa 250 m. Prof. Vert.....	37
7	DIMENSIONAMENTO E CALCOLO DEI CASING.....	38
7.1	Criteri di calcolo e dimensionamento dei casing 6"5/8" .....	39
7.1.1	6"5/8 Casing di Iniezione pozzo WI Dir.....	39
7.2	6"5/8 Casing di Iniezione pozzo W1 .....	43
8	TESTA POZZO E BOP .....	46
8.1	Dimensionamento della Testa Pozzo e configurazione dei BOP's .....	46
8.2	Configurazione Diverter per Fase 8"1/2 o 12"1/4 .....	48
9	CROCE DI INIEZIONE.....	48
10	Fluidi di Perforazione e Stima Reflui.....	49
10.1	Fase Superficiale in diametro 12"1/4.....	50
10.2	Fase finale in diametro 8" 1/2.....	50
10.3	Calcolo dei volumi.....	51
10.3.1	Stime dei volumi dei fanghi.....	51
10.3.2	Raccolta Dei Detriti Di Perforazione .....	52
11	CEMENTAZIONI.....	53
11.1	Programmi di Cementazione dei Casing.....	53
11.2	Cementi resistenti alla CO <sub>2</sub> .....	53
11.3	Conductor Pipe .....	54
11.4	Casing 6" 5/8.....	55
12	Programma di acquisizione dati (preliminare).....	56
12.1	DATI GEOFISICI.....	56
12.1.1	Scopo e sviluppo del piano di monitoraggio .....	56
12.2	CAROTAGGI .....	64
12.2.1	Carote di fondo.....	64
12.3	Intervalli di Prelievo dei Campioni .....	64
12.4	REGISTRAZIONI ELETTRICHE .....	64
12.4.1	Wireline Logging.....	64
12.5	Completamento pozzo di iniezione .....	65
12.6	TEST DI INIETTIVITÀ.....	65
12.6.1	Organizzazione del cantiere durante la fase di iniezione .....	70

13	Controllo eruzioni.....	71
13.1	Premessa.....	71
13.1.2	Sistemi Primari .....	73
13.1.3	Sistemi Secondari.....	73
13.4	Attività preventiva.....	74
14	TEMPI.....	75
15	COSTI.....	77
PARTE 2 – PIEZOMETRI E POZZETTI SUPERFICIALI.....		78
1	PIEZOMETRI/ POZZI DI OSSERVAZIONE DELLE ACQUE SUPERFICIALI.....	78
2	SONDE PER IL MONITORAGGIO DELLA CO <sub>2</sub> DEL SUOLO (GASPRO) .....	80
3	STIMA PRELIMINARE DEI COSTI DEI PIEZOMETRI .....	81
ALLEGATI .....		84
ALLEGATO 1	Piano di emergenza generale.....	85
1.1	Rischi Operativi .....	85
1.2	Gestione della CO <sub>2</sub> .....	85
1.3	Emergenze.....	85
ALLEGATO 2	Leak-off Test (LOT) .....	88
ALLEGATO 3	Note sull'utilizzo della CO <sub>2</sub> .....	91
1	Introduzione.....	91
2	Caratteristiche chimiche .....	91
3	Caratteristiche fisiche .....	91
4	Tipologia delle bombole.....	93
5	Valvole.....	93
6	Misura del livello di riempimento.....	93
7	Effetti fisiologici e di sicurezza.....	94
ALLEGATO 4	- Dettaglio costi .....	95
ALLEGATO 5	tempi di realizzazione.....	98
16	BIBLIOGRAFIA.....	100

#### INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.	Stratigrafia del Bacino carbonifero del Sulcis (modificato da ISPRA, 2012).....	9
Figura 2.	Stralcio della carta geologica 1:50000 F° 564 “Carbonia” (ISPRA, 2012). .....	10
Figura 3.	Superficie piezometrica della falda superficiale nei sedimenti olocenici; è evidente un flusso verso SW. (per gentile concessione di Sotacarbo S.p.A.). .....	11
Figura 4.	Panoramica dell'area proposta per la costruzione del “Sulcis Fault Lab”. Sono riportate le tracce delle linee sismiche HR1 e HR2. In verde è riportata la configurazione della infrastruttura in corrispondenza della sezione HR1 e in verde la configurazione in corrispondenza della linea HR2. Sono riportate le posizioni dei due pozzi, dei piezometri e l'area di posizionamento delle sonde superficiali.....	12
Figura 5.	Linea sismica HR1 in profondità, con l'ubicazione dei pozzi, la geologia dell'area e la posizione della faglia target. Notare che la faglia in profondità è indicata con una	

zona tratteggiata corrispondente ad una zona di incertezza del posizionamento del piano di faglia. Il Pozzo W1 è prolungato (tratteggio) fino ai 350 metri. ....	21
Figura 6. Localizzazione del pozzo W1. ....	23
Figura 7 Localizzazione del pozzo WI. ....	23
Figura 8 Esempio di impianto oleodinamico. ....	25
Figura 9 Esempio di generatori. ....	27
Figura 10 Schema planimetrico dell'impianto di perforazione. ....	28
Figura 11 Profilo di deviazione. ....	33
Figura 12 grafico che illustra l'andamento dei gradienti della tabella corrispondente. ....	34
Figura 13 Previsione condizioni di pozzo. ....	35
Figura 14 Sequenza selezione casing. ....	39
Figura 15 Testa pozzo per pozzi verticali. L'uscita dei cavi della strumentazione outside casing non è rappresentata. ....	46
Figura 16 Testa pozzo per pozzi deviati. L'uscita dei cavi della strumentazione outside casing non è rappresentata. ....	47
Figura 17 Diverter Stack. ....	47
Figura 18 Testa pozzo con X-Mas Tree. Per i diametri del casing, si veda la sezione 7.1.1. ....	48
Figura 19 Configurazione CSG strumentato & dettaglio componenti. ....	63
Figura 20 Variazione di volume di 1 t di CO <sub>2</sub> con la profondità, assumendo un gradiente costante di pressione idrostatica. ....	66
Figura 21 Assieme bombole CO <sub>2</sub> . ....	67
Figura 22 Grafico mostrante quante bombole da 80 kg (asse y a sinistra) e quanti porta bombole da 15 unità, 80 kg di bombole (asse y a destra) servirebbero per un dato numero di tonnellate iniettate di CO <sub>2</sub> . ....	67
Figura 23 Schema del sistema di iniezione. ....	68
Figura 24 Regolatore di flusso. ....	68
Figura 25 Batteria di iniezione. ....	69
Figura 26 Layout di cantiere. ....	71
Figura 27 Profilo dello strumento idraulico GeoProbe (HPT) (a) conducibilità elettrica altamente dettagliata e risultati della massima pressione misurata fino a circa 20 m di profondità ( <a href="http://geoprobe.com/hpt-hydraulic-profiling-tool">http://geoprobe.com/hpt-hydraulic-profiling-tool</a> ). ....	80
Figura 28. Fotografia di una sonda GasPro di monitoraggio della CO <sub>2</sub> (a) e la sua procedura di installazione (b). ....	81

#### INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1. Anagrafica dei pozzi W1 e WI. ....	18
Tabella 2. Obiettivi minerari. ....	18
Tabella 3. Ubicazione dei pozzi W1 e WI. ....	19
Tabella 4. Programma geologico del pozzo W1. ....	19
Tabella 5. Programma geologico del pozzo WI. ....	20
Tabella 6. Descrizione delle litologie attraversate. ....	20

Tabella 7. Tabella di calcolo dei gradienti. Gov (overburden), Gi (idraulico) e Gf (fratturazione).....	34
Tabella 8. Previsione delle mineralizzazioni e degli assorbimenti del pozzo W1.....	36
Tabella 9. Previsione delle mineralizzazioni e degli assorbimenti del pozzo WI.....	36
Tabella 10. Tipologia dei fanghi di perforazione .....	49
Tabella 11. Requisiti dei fanghi (@ 50 °C).....	49
Tabella 12. Stima volumi fango per pozzo verticale .....	51
Tabella 13. Stima volumi fango per pozzo direzionato. ....	51
Tabella 14. Calcolo del volume dei detriti. ....	52
Tabella 15. Programma di cementazione.....	54
Tabella 16. Programma di cementazione casing 6”5/8.....	55
Tabella 17. Attrezzature geofisiche. ....	62
Tabella 18. Fasi pozzo - segnali di allarme. ....	73
Tabella 19. Sistemi di prevenzione attivi e passivi. ....	74
Tabella 20. Stime dei costi per le diverse configurazioni dei piezometri, sulla base dei prezzi pubblicati in RAdS (2009). ....	82
Tabella 21. Stime dei costi per le diverse configurazioni dei piezometri, sulla base dei prezzi pubblicati in RB (2015).....	82

## 1 INTRODUZIONE

Nell'ambito delle ricerche per la caratterizzazione geologico-strutturale del bacino del Sulcis, ai fini di verifica per un progetto di stoccaggio geologico di CO<sub>2</sub>, è stato sviluppato un programma di attività volto a studiare i processi di migrazione della CO<sub>2</sub> e le tecnologie di monitoraggio in prossimità di faglie, per valutare la capacità di tenuta alla migrazione dei gas di queste ultime.

Queste ricerche saranno effettuate utilizzando una infrastruttura / laboratorio denominato "Sulcis Fault Lab" (SFL) che consisterà di:

- Un pozzo inclinato (profondità verticale di 250 m dal p.c.) per l'iniezione di CO<sub>2</sub> gassosa in una faglia normale,
- Un pozzo verticale per il monitoraggio geofisico (profondo 250m), eventualmente da approfondire fino a 300 m;
- 9 pozzi superficiali (piezometri) per il monitoraggio della falda (ad una profondità di 10-15 m),
- l'infrastruttura superficiale necessaria per le perforazioni e per condurre l'esperimento (per esempio, serbatoi di CO<sub>2</sub>, condutture, valvole, sistemi di controllo/sicurezza, alimentazione elettrica, un ufficio di cantiere, ecc.).

Rispetto ad altri siti di questo tipo, questo laboratorio sarà unico nel suo genere in quanto l'iniezione di CO<sub>2</sub> verrà effettuata nella zona di deformazione associata ad una faglia normale (esperimenti precedenti sono stati condotti principalmente in sedimenti non consolidati) ad una profondità stimata di 250 metri (finora i test di iniezione di CO<sub>2</sub> sono stati effettuati a profondità inferiori a 20 metri).

Questo documento contiene il Programma lavori, descrive le tecniche operative che verranno adottate, i mezzi impiegati, le indagini effettuate, le misure previste per il recupero dei rifiuti prodotti e le misure di prevenzione dei rischi durante la perforazione dei pozzi e tutte le altre attività necessarie per lo svolgimento del programma lavori.

## 2 DESCRIZIONE DEL SITO

### 2.1 Inquadramento geologico regionale

Il Bacino carbonifero del Sulcis ha iniziato a formarsi nel Terziario inferiore, in seguito alla tettonica legata all'apertura del Mediterraneo Occidentale e alla rotazione del blocco sardo-corso. Successivamente, il bacino è stato colmato da depositi sedimentari, vulcanici ed alluvionali, che includono la successione marina e continentale (che comprende l'unità del Produttivo) di età paleogenica, vulcaniti calco-alcaline (ignimbriti) dell'Oligocene-Miocene e depositi fluviali e fluvio-lacustri quaternari (si veda la colonna stratigrafica in Figura 1). Il bacino comprende un'area di circa 200 km<sup>2</sup> ed è bordata ad est da rocce di età paleozoica, che costituiscono il basamento, e verso ovest dal mare.

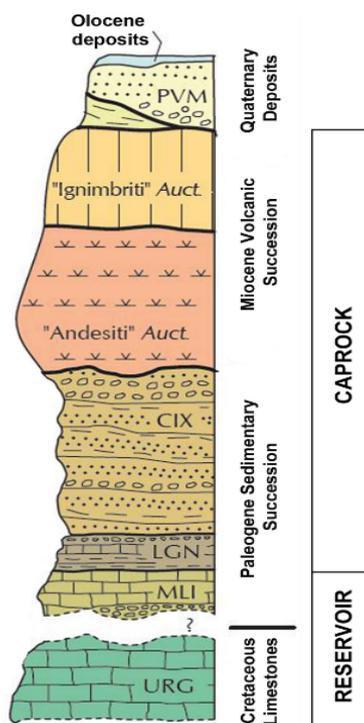


Figura 1. Stratigrafia del Bacino carbonifero del Sulcis (modificato da ISPRA, 2012).

La successione paleogenica nel bacino del Sulcis raggiunge uno spessore massimo di 140 m e mostra una sequenza trasgressivo-regressiva. La deposizione dei depositi continentali, nei quali sono inclusi i letti di carbone, sono ascrivibili al picco regressivo (Dreesen et al., 1997). Questa unità, denominata Produttivo, giace al di sopra di calcari di acque basse (Miliolitico) ed è coperta in discordanza da depositi fluviali, che costituiscono la Formazione del Cixerri. Il Produttivo affiora in superficie nei pressi dei rilievi orientali, ma è noto che in profondità copre un'area maggiore di 100 km<sup>2</sup>, immergendo verso SSW con un'inclinazione di circa 8-10°. Lo spessore varia da 40 m nella miniera di Monte Sinni (a circa 400 m di profondità) a un massimo di 70 m verso SW.

Le vulcaniti oligo-mioceniche a composizione calco-alkalina sono il prodotto dell'attività magmatica di arco che ha avuto luogo tra 32.4 e 13.8 Ma (Beccaluva and Civetta, 1985), in concomitanza con l'apertura del Mediterraneo occidentale e della rotazione antioraria del blocco sardo-corso (Vigliotti and Langenheim, 1998). L'attività vulcanica nella regione, totalmente sub-aerea, può essere suddivisa in due fasi principali: una iniziale (28.4 – 17.7 Ma) dominata dalla messa in posto di lave con composizione da basaltica a intermedia, fino a calco-alkalina, e subordinatamente di prodotti piroclastici; questi ultimi aprono la seconda fase (17.6 – 13.8 Ma), caratterizzata dall'emissione di grandi volumi di ignimbriti, con composizione da calco-alkalina a peralkalina, fino a dacitica e riolitica (Poli and Rosi, 2005). Queste ignimbriti riolitiche e dacitiche si rinvengono in affioramento in tutta l'area di studio, laddove sono presenti i rilievi topografici. Le loro giaciture sono variabili, in parte controllate dalle paleomorfologie. Nell'area in esame, in affioramento, i terreni più recenti di questa sequenza mostrano giaciture di circa 10° verso W. Infine, i depositi recenti (Neogene – Quaternario) variano da ghiaie a sabbie a Sud e lungo la costa, mentre nella porzione

settentrionale del bacino si rinvencono conglomerati intervallati a sabbie, silt e argille. Questi depositi hanno giaciture orizzontali. Il Produttivo è stato dislocato da faglie orientate E-W e NNW-SSE, le quali possono essere messe in relazione con la rotazione antioraria del blocco sardo-corso durante le varie fasi dell'orogenesi alpina (*Poli and Rosi, 2005*). La deformazione successiva all'attività vulcanica è abbastanza blanda, con faglie verticali che mostrano rigetti di 40 m e tilt dei blocchi dislocati, che hanno portato alla parziale sommersione del bacino (*Dreesen et al., 1997*).

## 2.2 Inquadramento geologico di dettaglio

La geologia dell'area di studio, desunta dal Foglio geologico 564 "Carbonia" alla scala 1:50.000 (*ISPRA, 2012*), è mostrata in Figura 2. Le unità affioranti includono le vulcaniti mioceniche, i depositi eolici ed alluvionali pleistocenici, e i depositi quaternari (alluvioni, sabbie, depositi lacustri/palustri).

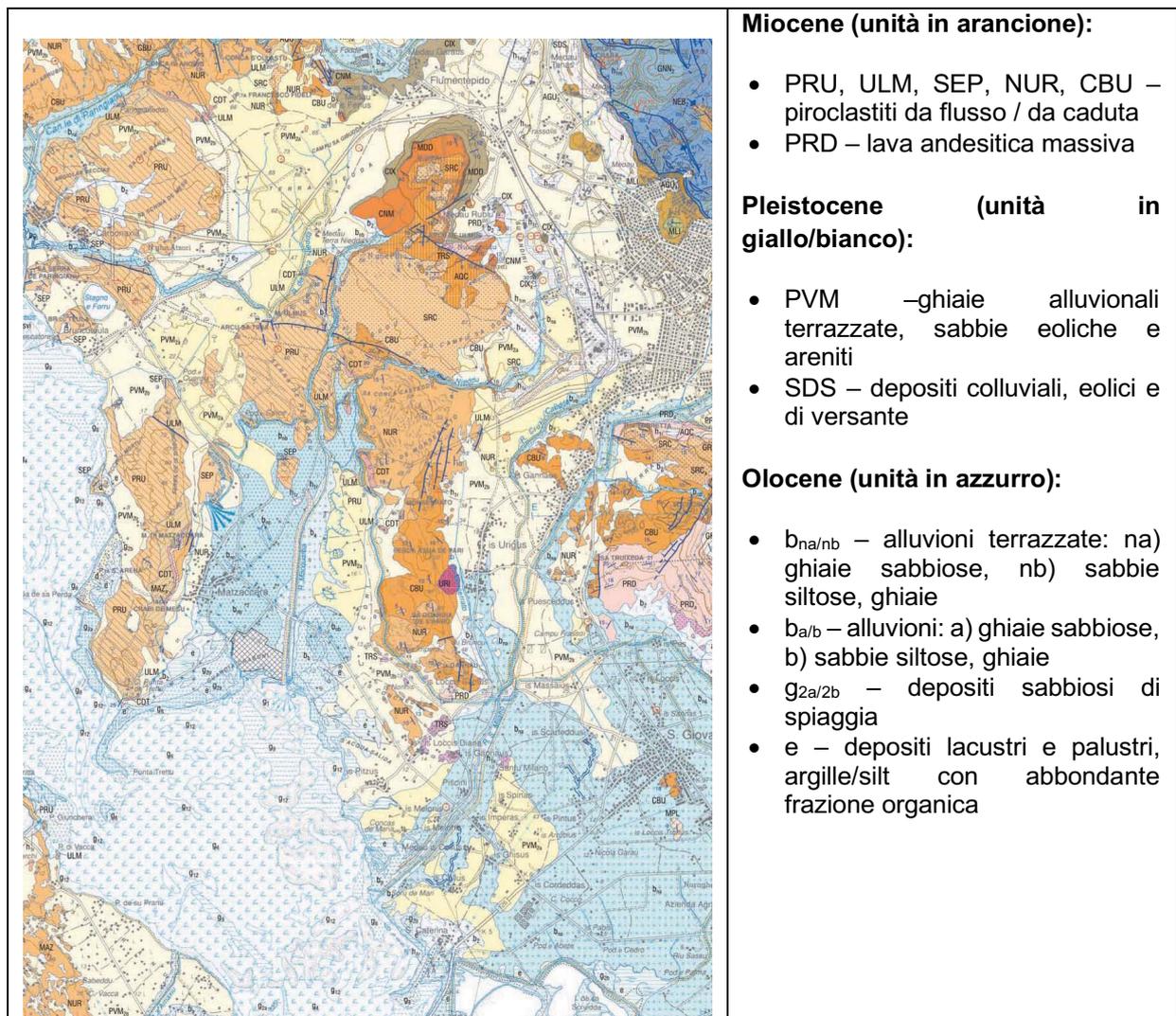


Figura 2. Stralcio della carta geologica 1:50000 F° 564 "Carbonia" (ISPRA, 2012).

In generale, l'area è compresa tra due dorsali orientate circa N-S (con quote fino a 40 m slm) e da un rilievo collinare ad est (circa 70 m slm), composti da rioliti mioceniche (in arancione sulla mappa), che delimitano una zona ribassata (0-15 m slm) riempita da sedimenti pleistocenici e recenti (rispettivamente in giallo e azzurro sulla mappa). Le quote topografiche tendono ad aumentare verso nord.

### 2.3 Acquiferi

Nell'area del Foglio 564 – Carbonia possono essere riconosciuti tre acquiferi principali (ISPRA, 2012): i) nei depositi alluvionali lungo le aree costiere, costituiti da sabbie argillose o depositi sabbioso-ghiaiosi di versante; ii) in rocce vulcaniche con una trasmissività relativamente bassa; e iii) nelle rocce paleozoiche, ed in particolare i carbonati del Cambriano con alta trasmissività. Il regime locale delle acque sotterranee è controllato sia dalla topografia sopra descritta, sia dai contrasti di permeabilità tra le varie litologie.

Nella porzione sud-occidentale dell'area di studio, dove i sedimenti olocenici riempiono la depressione esistente tra i due rilievi vulcanici, la falda superficiale non confinata ha un gradiente piezometrico con un andamento da nord a sud, con le curve iso-piezometriche che tendono ad essere parallele alle due dorsali che bordano la piana (Figura 3).

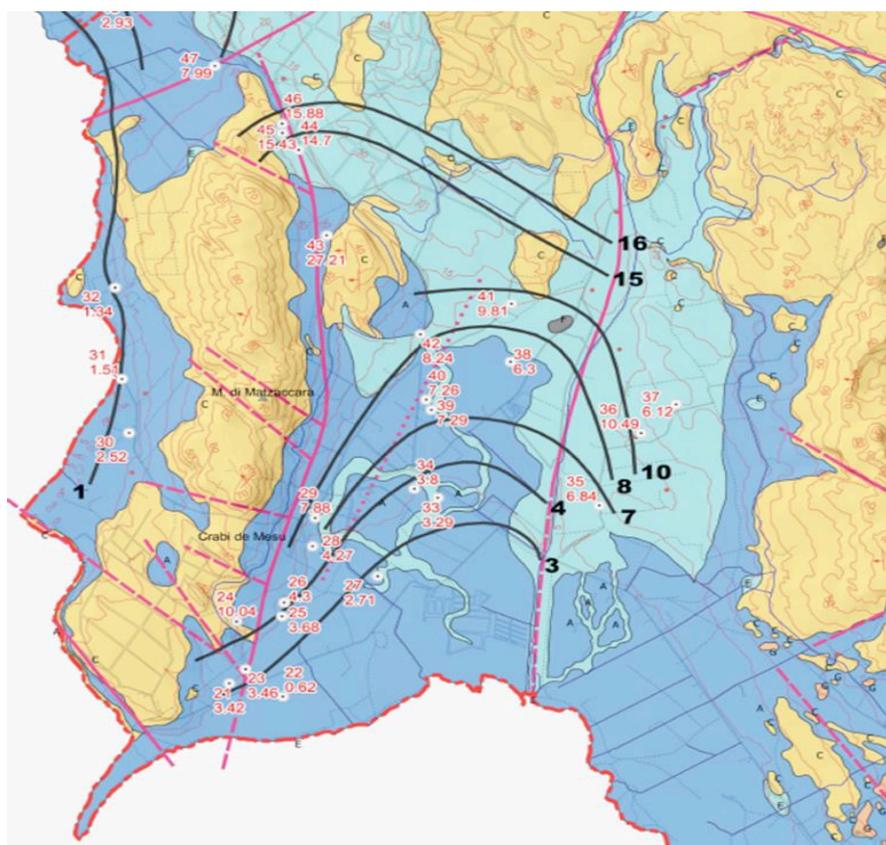
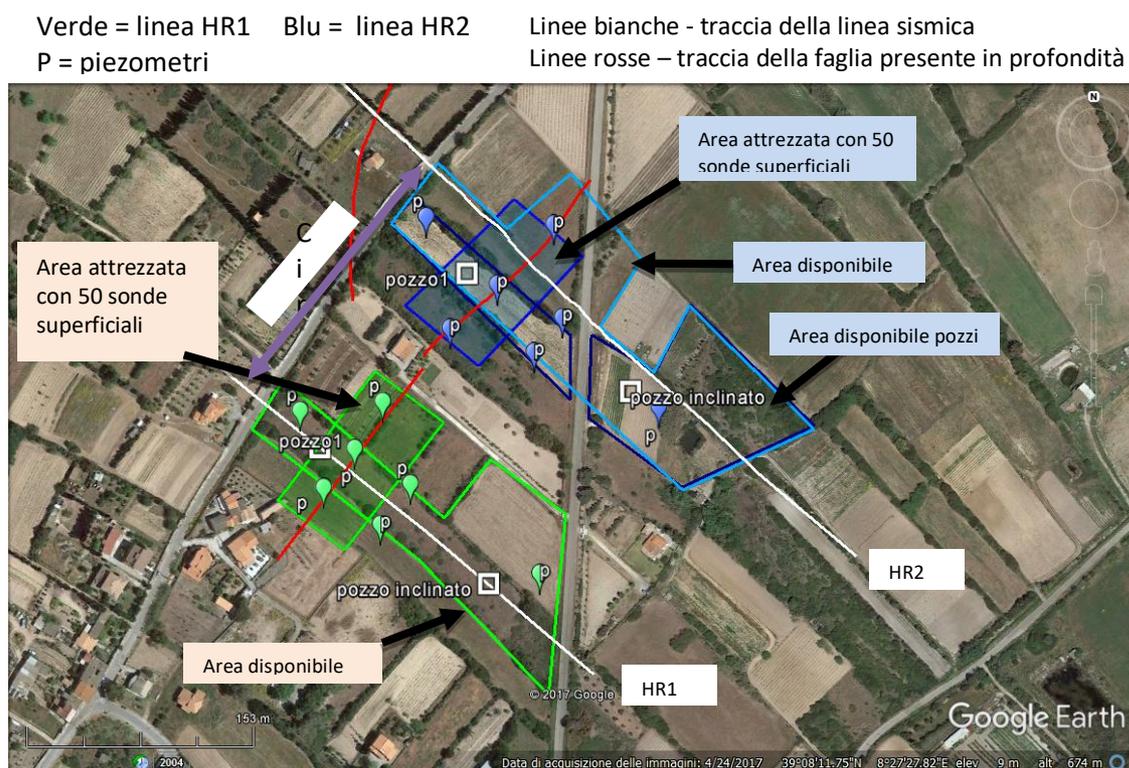


Figura 3. Superficie piezometrica della falda superficiale nei sedimenti olocenici; è evidente un flusso verso SW. (per gentile concessione di Sotacarbo S.p.A.).

### 3 PANORAMICA SULLO SVILUPPO DEL SITO PROPOSTO

Nella Figura 4 sono riportate le due possibili configurazioni dell'infrastruttura lungo le due linee sismiche disponibili acquisite per Sotacarbo da OGS nel 2016. La scelta più specifica è funzione della disponibilità dei terreni e della disponibilità della popolazione dell'area. Questo documento si è focalizzato sulla configurazione lungo la linea sismica HR2 come la più conveniente secondo questi ultimi criteri, mentre da un punto di vista puramente scientifico la più conveniente risulta la configurazione lungo la linea HR1.



**Figura 4. Panoramica dell'area proposta per la costruzione del "Sulcis Fault Lab". Sono riportate le tracce delle linee sismiche HR1 e HR2. In verde è riportata la configurazione della infrastruttura in corrispondenza della sezione HR1 e in verde la configurazione in corrispondenza della linea HR2. Sono riportate le posizioni dei due pozzi, dei piezometri e l'area di posizionamento delle sonde superficiali.**

Durante la stesura di questo documento, in seguito a comunicazione da parte del committente in una riunione tenutasi ad Ottobre 2017, la definizione della disponibilità dei terreni da parte di Sotacarbo S.p.A. ha consentito di focalizzarsi lungo la linea HR1. Durante il corso dello studio di preparazione quindi la locazione del pozzo di iniezione è stata più volte spostata, anche con ri-ubicazione del sito e variazione della profondità di iniezione in faglia, con un ricalcolo delle inclinazioni del pozzo stesso che renderebbero più difficoltoso il raggiungimento di punti di iniezione in faglia più superficiali. In seguito a questi aggiustamenti è possibile che si renda necessario adeguare la profondità del pozzo di osservazione verticale al fine di garantire la realizzabilità dei monitoraggi geofisici. Le profondità qui valutate possono subire modifiche in funzione della configurazione di installazione dei sensori geofisici (sismici ed elettrici) in pozzo, che a sua volta dipende dal progetto di completamento del pozzo.

Il Laboratorio della Faglia del Sulcis (SFL) consisterà di:

- Un **pozzo di iniezione inclinato** di 45° che interseca la faglia definita tramite indagini sismiche. La profondità di iniezione proposta è 250 m (TVD). Il pozzo di iniezione sarà sigillato per prevenire dispersione di gas lungo il pozzo. Il pozzo sarà anche equipaggiato di strumenti geofisici posizionati in maniera permanente sia tra il rivestimento (*casing*) e il pozzo che a fondo pozzo.
- Un **pozzo verticale di osservazione** per una profondità di almeno 250 m (TVD) Questo sarà equipaggiato con strumenti geofisici che saranno posizionati in maniera permanente sia tra il rivestimento (*casing*) e il pozzo che a fondo pozzo e sarà utilizzato per misure con strumenti rimovibili, inizialmente geofoni (o idrofoni) per misure di profili sismici verticali (VSP) e poi misure 'cross-well', in particolare sorgenti sismiche da pozzo. Per rendere efficaci le misure e per non essere un punto di fuga del CO<sub>2</sub>, il pozzo dovrà essere cementato. Alla luce delle più recenti configurazioni di iniezione, non è da escludere che la profondità del pozzo debba essere maggiore, almeno 300 – 350 m per gli scopi del monitoraggio geofisico.
- Nove pozzi di monitoraggio delle acque del sottosuolo (**piezometri**) perforati fino ad una profondità massima di 10 – 15 m (TVD), sigillati in PVC; due piezometri avranno un diametro più grande per consentire l'inserimento di sensori per misure continue. Tali pozzi potranno essere anche usati per misure geoelettiche, se si rendesse necessario.
- 50 **sonde di monitoraggio della CO<sub>2</sub>** distribuite su una griglia ad una profondità di circa 80 cm.
- Una **stazione meteorologica** per misurare il vento, la temperatura, la pressione barometrica e le precipitazioni.
- Un **sistema on-site di stoccaggio della CO<sub>2</sub>** e un **sistema di controllo di iniezione di gas** / collettore, quest'ultimo in una struttura protettiva o edificio. Il sistema di controllo avrà bisogno di elettricità per il computer di monitoraggio e di elettrovalvole, controllori di flusso di massa, ecc.
- Un **edificio per l'alloggio del personale di ricerca**, per computer, strumenti, conservazione e una piccola officina, con elettricità e connessione internet.
- Un **edificio per l'alloggio del personale tecnico** durante la perforazione e l'iniezione.

### 3.1 Permessi del sito, comunicazione, ecc.

La maggior parte dei siti di test di iniezione descritti in letteratura sono stati posizionati su un terreno di proprietà o gestiti da uno dei partner della ricerca. Di conseguenza i permessi erano spesso già in atto (o facilmente ottenuti) per gli esperimenti con poca necessità di comunicare e ottenere supporto da parte della popolazione locale (si veda il Report "Sulcis Fault Lab" Feasibility study, Sapienza, 2016).

Per quanto riguarda il permesso di costruire e utilizzare il laboratorio SFL, Sotacarbo ha già una concessione mineraria per l'area che consente di condurre la perforazione ed è in procinto di contattare i vari dipartimenti governativi e le autorità locali per le autorizzazioni a condurre gli esperimenti. Di importanza critica sarà spiegare chiaramente che la quantità di iniezione è piccola e che sarà condotta solo a fini sperimentali, e pertanto non dovranno essere considerate le leggi che regolano lo stoccaggio di grandi volumi di CO<sub>2</sub>. Inoltre, Sotacarbo sta contattando i proprietari dei terreni del sito proposto per negoziare l'accesso. Sarà necessario acquisire/rinnovare/integrare nei permessi anche i permessi per le misure ed operazioni geofisiche di superficie nell'area vicino al sito.

Per quanto riguarda la sensibilizzazione del pubblico, i ricercatori dell'Università della Sapienza insieme a Sotacarbo condurranno un lavoro con la popolazione locale per spiegare il CCS in generale, e nello specifico gli esperimenti proposti. Questo lavoro comprenderà l'organizzazione di eventi pubblici, prima, durante e dopo l'iniezione di CO<sub>2</sub>, dando accesso al pubblico interessato (previo accordo) durante le attività scientifiche di perforazione e iniezione, e istituendo un gruppo di parti interessate per trasferire informazioni. Simili temi dovranno essere considerati per il SFL, soprattutto se si considera che la mancanza di supporto locale potrebbe potenzialmente bloccare completamente la costruzione e l'utilizzo del sito sperimentale. Inoltre, il supporto locale può risultare utile anche per ridurre il rischio di atti vandalici nel sito.

#### 4 DESCRIZIONE E SCOPO DELL'ESPERIMENTO SULCIS FAULT LAB

L'esperimento che verrà realizzato presso il sito del SFL, ha come scopo la realizzazione della migrazione di CO<sub>2</sub> attraverso una faglia fino alla superficie. Questo avverrà nelle rocce di copertura, per simulare un *leakage* da un potenziale sito di stoccaggio.

Al fine di garantire una procedura di stoccaggio sicura e efficiente, infatti, il progetto europeo ENOS svilupperà la sperimentazione di sistemi di monitoraggio geochimico e geofisico innovativi e a basso costo per l'individuazione di potenziali perdite di CO<sub>2</sub> che saranno testati nell'infrastruttura del SFL, di proprietà di uno dei partner di ENOS, la società Sotacarbo.

L'infrastruttura del SFL descritta in questo programma deve quindi avere un certo numero di requisiti fondamentali finalizzati alla realizzazione del monitoraggio.

Il monitoraggio geochimico, consisterà in due parti: lo studio delle concentrazioni dei gas nel suolo in modo continuo e discontinuo e lo studio della variazione delle concentrazioni di CO<sub>2</sub> disciolta nell'acqua di falda.

Per il monitoraggio continuo saranno installate delle sonde che monitoreranno la CO<sub>2</sub> nel suolo. Il progetto ENOS prevede la realizzazione di questi sensori (50 unità) per monitorare le concentrazioni di gas al suolo durante l'esperimento di iniezione. Inoltre, almeno altre 3-5 unità dovranno essere installate sul sito di iniezione il più presto possibile per avviare il monitoraggio della variazione naturale stagionale e diurna. Tutti i sensori GasPro dovranno essere installati in un punto di monitoraggio sulla griglia almeno un mese prima dell'iniezione

per assicurarsi che l'intero sistema funzioni e che i dati di baseline siano disponibili per l'intera griglia.

Al monitoraggio continuo verrà affiancato quello discontinuo. Misure di gas al suolo e del flusso sono state condotte nell'area vasta, tuttavia dovranno essere raccolti dati temporali più dettagliati nei mesi precedenti l'iniezione. Le concentrazioni al suolo di CO<sub>2</sub> e i valori di flusso variano naturalmente a causa di processi biologici, sia nel tempo (a scala diurna e stagionali) che spazialmente (in funzione del tipo di terreno, umidità, ecc.), come evidenziato nel monitoraggio geochimico effettuato nell'area negli anni precedenti (vedi report Sapienza).

Per questo motivo, i campioni saranno raccolti su una griglia regolare nel sito prescelto del SFL in due o tre occasioni differenti nei mesi che precedono l'iniezione per definire la variabilità basale e le anomalie biogeniche. Oltre alle misure di flusso di CO<sub>2</sub>, tutti i campioni di gas al suolo dovranno essere analizzati per concentrazione di CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, idrocarburi leggeri e He, mentre un quantitativo di gas dovrà essere analizzato per determinare la composizione degli isotopi stabili di CO<sub>2</sub> ( $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$ ). I campioni di gas al suolo verranno raccolti tra 50 e 80 cm di profondità utilizzando un tubo in acciaio inox del diametro di 6 mm, mentre il flusso verrà misurato utilizzando una camera di accumulo posta sulla superficie del terreno.

Poiché le concentrazioni di CO<sub>2</sub> in prossimità della superficie e i valori di flusso variano naturalmente a causa di processi biologici e delle condizioni meteorologiche, una stazione meteo dovrà essere installata sul sito per tutto il periodo di riferimento. Tale stazione dovrebbe essere in grado di monitorare almeno le precipitazioni, la velocità del vento, la temperatura dell'aria, e l'irraggiamento solare.

Per quanto riguarda il monitoraggio delle falde, verranno eseguiti 9 piezometri per permettere il monitoraggio del livello piezometrico, e la campionatura ripetuta per la definizione dei parametri chimico-fisici e geochimici dell'acqua. Le procedure di dettaglio e i tempi di ripetizione delle campionature sono specificati in questo testo nel paragrafo dedicato ai piezometri.

Per quanto riguarda il monitoraggio geofisico, questo verrà realizzato mediante acquisizione di dati geoelettrici e dati sismici, questi ultimi con VSP e fibre ottiche. Tale monitoraggio cercherà di individuare, mediante le variazioni della densità e della velocità dovute alla presenza della CO<sub>2</sub> all'interno della roccia, la posizione del *plume* di CO<sub>2</sub> e la sua migrazione. Per ottenere questo risultato sarà necessario che l'installazione dei geofoni, delle fibre ottiche e delle sorgenti sismiche nei due pozzi permetta l'illuminazione della zona dell'iniezione e della eventuale migrazione lungo il piano di faglia e che sia possibile effettuare una acquisizione geofisica completa prima dell'iniezione, che costituisca la baseline geofisica. Sarà inoltre necessario prevedere operazioni di superficie a supporto di tali acquisizioni, come la presenza di Vibroseis, l'installazione di sorgenti di medio-piccole dimensioni e stendimenti di ricevitori.

Il secondo scopo dell'esperimento che verrà realizzato nel SFL sarà quello di provare a definire quali caratteristiche di una zona di faglia favoriscono la migrazione della CO<sub>2</sub> al suo interno (quali sono più permeabili e quali impermeabili). A tale scopo verranno effettuate sia misure indirette (monitoraggio geofisico) e misure dirette su campioni di roccia provenienti dalla faglia in questione.

Un carotaggio continuo per l'intera lunghezza di almeno un pozzo profondo è necessario, poiché i dati ottenuti saranno utilizzati sia per popolare il modello geologico statico che per modellare gli scenari di migrazione dei gas. Le carote prelevate saranno oggetto di analisi stratigrafiche, mineralogiche, chimiche e analisi degli elementi in traccia, e inoltre altri campioni dovranno essere raccolti per determinare la porosità, la permeabilità, le condizioni di stress, nonché per lo svolgimento di esperimenti geochimici. Particolare attenzione dovrà essere posta nel raccogliere campioni intatti e nel conservarli in situ per mantenere la loro integrità geotecnica e chimica.

Altrettanto indispensabile sarà effettuare il carotaggio continuo del tratto del pozzo deviato che attraverserà la zona di faglia. Questi campioni saranno indispensabili per descrivere le caratteristiche della zona di faglia e per localizzarla al meglio ai fini dell'iniezione. Inoltre i campioni dovranno essere resi disponibili per altri partner del progetto ENOS per analisi mineralogiche e petrografiche.

Infine, subordinatamente a quanto deciderà il proprietario dell'infrastruttura, si procederà ad una chiusura temporanea dei pozzi, che potranno essere eventualmente riutilizzati per simili esperimenti in futuro e costituire una infrastruttura di ricerca di importanza internazionale.

## PARTE 1 – INGEGNERIA DI DUE POZZI PROFONDI

### 1 DATI GENERALI POZZI

#### 1.1 Perforazione

L'attività di perforazione in programma prevede la realizzazione di due pozzi esplorativi di cui uno verticale da utilizzare come pozzo di monitoraggio e di raccolta dati durante i test ed uno direzionato per intercettare la faglia presente in direzione Nord Ovest da utilizzare come pozzo di iniezione e al contempo di raccolta dati. Per il pozzo esplorativo in progetto l'attività di perforazione in programma prevede, vista la limitata profondità degli obiettivi, l'impiego di un impianto di tipo trasportabile e di minimo impatto ambientale.

Le operazioni inizieranno con il posizionamento dell'impianto sulla postazione identificata per poi procedere con la perforazione del pozzo esplorativo, effettuata in più fasi corrispondenti alla realizzazione di tratti di foro dal diametro via via decrescente. Al termine di tale operazione, si prevede di effettuare prove di iniezione di CO<sub>2</sub>, della durata indicativa di alcuni giorni, atte a provocare la propagazione della CO<sub>2</sub> nel sottosuolo. Si procederà quindi ad una chiusura temporanea dei pozzi.

## 1.2 Sequenza operativa

La sequenza operativa consisterà nei seguenti punti salienti:

- Lavori civili di preparazione della postazione per accogliere l'impianto di perforazione nei due siti scelti (WI e W1);
- Mobilizzazione e montaggio sul sito di un impianto di perforazione;
- Perforazione del primo pozzo verticale a carotaggio continuo;
- Acquisizione dei logs previsti;
- Effettuazione dei test di iniettività;
- Misure VSP nel pozzo W1
- Discesa, installazione dei sensori elettrici all'esterno del casing (se il casing è di fiber glass) e cementazione della colonna di rivestimento;
- Effettuazione della chiusura mineraria temporanea;
- Movimentazione sul pozzo successivo (WI deviato);
- Mobilizzazione e montaggio sul sito dell'impianto di perforazione;
- Perforazione del pozzo deviato;
- Acquisizione dei logs previsti (prima dell'installazione del casing);
- Acquisizione VSP (prima dell'installazione del casing);
- Acquisizione di altri dati geoelettrici opzionali (come misure geoelettriche per ERT cross well con il pozzo W1);
- Discesa e cementazione della colonna di rivestimento;
- Effettuazione dei test di iniettività;
- Discesa completamento;
- Strumentazione e cementazione del primo tratto del pozzo;
- Carotaggio continuo nella parte finale del pozzo;
- Installazione della croce di iniezione;
- Effettuazione della chiusura mineraria temporanea.

### 1.3 Anagrafica ed ubicazioni

I pozzi saranno localizzati nel Comune di San Giovanni Suergiu in Provincia di Carbonia-Iglesias in una zona pianeggiante a una distanza di circa 0,5 Km dal centro abitato di Matzaccara.

Tabella 1. Anagrafica dei pozzi W1 e WI

VOCE	DESCRIZIONE
Nome e sigla pozzo 1	W1
Nome e sigla pozzo 2Dir	WI
Classificazione iniziale	
Profondità finale prevista pozzo W1 (MD - RT)	267 m (MD)
Profondità finale prevista pozzo W1 (TVDSS)	250 m (300 m)
Profondità finale prevista pozzo WI (MD - RT)	275,3 m
Profondità finale prevista pozzo WI (TVDSS)	259, 3m (309 m)
Operatore	
Quote di titolarità	
Comune	San Giovanni Suergiu
Provincia	Carbonia - Iglesias
Regione	Sardegna
Quota Tavola Rotary RT (m s.l.m.)	10 m sul p.c.
Quota piano campagna (m. s.l.m.)	+6m (WI); +7 m (W1)

Tabella 2. Obiettivi minerari.

OBIETTIVI MINERARI	
Linee sismiche di riferimento	HR1
Litologia obiettivo per il pozzo W1	Rioliti
Formazione obiettivo per il pozzo W1	Rioliti di Monte Crobu (CBU)
Litologia obiettivo per il pozzo WI	Zona di faglia tra Rioliti di Monte Crobu e i sottostanti basalti
Formazione obiettivo per il pozzo W1	Zona di faglia tra Rioliti di Monte Crobu e i sottostanti basalti

Tabella 3. Ubicazione dei pozzi W1 e WI

DATI	RIFERIMENTI TOPOGRAFICI - UBICAZIONE	
	W1	WI
Latitudine di partenza (geografica) N/S	39°8'11.59508"N	39°8'9,20853" N
Longitudine di partenza (geografica) E/W	8°27'20.72748"E	8°27'24,6249" E
Latitudine di partenza (metrica) N	4332071.33 N	4331997,2 N
Longitudine di partenza (metrica)	452963.67 E	453056,8 E
Latitudine di fondo pozzo (geografica) N/S	39°8'11.59508"N	39°8'10.9591" N
Longitudine di fondo pozzo (geografica) E/W	8°27'20.72748"E	8°27'22,9099" E
Latitudine di fondo pozzo (metrica)	4332071.33 N	43320051,4 N
Longitudine di fondo pozzo (metrica)	452963.67 E	453016 E
Tipo di proiezione	WGS84– UTM32N	WGS84 – UTM 32N
Semiassse maggiore		
Central meridian	9.00	9.00
Falso Est	500000,00000000	500000,00000000
Falso Nord	0,00000000	0,00000000
Scale Factor	0,99960000	0,99960000

## 2 OBIETTIVO DEI SONDAGGI

### 2.1 Stratigrafia

Di seguito sono riportate le tabelle relative alla previsione di perforazione dei due pozzi considerati e la descrizione delle litologie. In generale, la stratigrafia di riferimento è stata ottenuta dalla interpretazione della sezione HR1 Figura 5 e dalla geologia di superficie. Altri pozzi di riferimento non sono disponibili integralmente. I dati provenienti dalle stratigrafie di due pozzi esistenti nella zona più a nord dell'area in esame, sono ricavate dai dati pubblicati nella carta del Bacino del Sulcis (Carbosulcis, 1993).

Tabella 4. Programma geologico del pozzo W1

Programma geologico Pozzo W1 (verticale)				
Top	Incl al top	Depth uncertainty	azimuth	Nome formazione e descrizione
m TVDSS	deg	+/- mTVD		
-7,00		0		Quaternario (alluvioni e Sintema di Portovesme)
13,90	16	+/- 5 m	116,57	Rioliti di Monte Ulmus (ULM)
24,60	16°	+/- 5 m	116,57	Comenditi di Cala Saboni (CDT)
31,90	7°	+/- 5 m	153,43	Daciti di Matzaccara (MAZa)
37,70	5°	+/- 5 m	153,43	Rioliti di Nuraxi (NUR)
81,70	0°	+/- 10 m	135,00	Rioliti di Monte Crobu (CBU)
200,90	2°	+/- 2 m	296,57	basalts
204,20	68°	+/- 5 m	116,57	faglia normale
250,00				TD

Tabella 5. Programma geologico del pozzo W1

Programma geologico Pozzo WI (deviato)				
Top	Incl alt top	Depth uncertainty	azimuth	Nome formazione e descrizione
m TVDSS	deg	+/- mTVD		
-6	0	0		Quaternario (alluvioni e Sintema di Portovesme)
47	1	+/-10 m	333.43	Rioliti di Monte Ulmus (ULM)
71,8	2	+/- 5 m	312.66	Comenditi di Cala Saboni (CDT)
78,8	2	+/- 5 m	300.85	Daciti di Matzaccara (MAZa)
86,1	4	+/- 5 m	315.00	Rioliti di Nuraxi (NUR)
138	4	+/- 10 m	296.57	Rioliti di Monte Crobu (CBU)
197,7	70	+/- 2 m	121.39	faglia all'interno di CBU
247,6	2		296.57	basalti
255,4	74	+/- 2 m	126,49	faglia all'interno di basalti
259,3				TD

Tabella 6. Descrizione delle litologie attraversate.

LITOLOGIA
<p>➤ <b>Quaternario:</b> depositi alluvionali terrazzati (ghiaie con subordinate sabbie, sabbie con limi e ghiaie, limi e argille, spessore fino a 5-6 m); <i>Sintema di Portovesme</i> (sabbie e arenarie eoliche con subordinati detriti e depositi alluvionali; spessore fino a 20 m)</p> <p>➤ <b>ULM:</b> depositi piroclastici di flusso in genere da incipientemente a densamente saldati con tessitura eutassica, con evidenti strutture di flusso nella parte bassa, a composizione riolitica iperalcalina. Le fratture tendono a interrompersi in corrispondenza delle laminazioni e degli strati; la fratturazione cambia di frequenza in funzione dello spessore degli intervalli litologici e, in particolare, della presenza di intervalli a granulometria ridotta. Spaziatura media 18,75 cm; P10 (1/m) =5.42</p> <p>➤ <b>CDT:</b> depositi piroclastici in più unità di flusso da non saldati (tufi, tufi a lapilli), a densamente saldati, a composizione comenditica; intercalazioni di livelli piroclastici di caduta, epiclastici e paleosuoli.</p> <p>➤ <b>MAZa:</b> depositi piroclastici di caduta, subordinate epiclastiti e piroclastiti di flusso non saldate, a composizione dacitica.</p> <p>➤ <b>NUR:</b> depositi piroclastici di flusso densamente saldati, con marcata foliazione, porfirici, a composizione riolitica. Spaziatura media 19.72 cm P10 (1/m) = 9.6</p> <p>➤ <b>CBU:</b> depositi piroclastici di flusso da densamente saldati a non saldati (tufi, tufi a lapilli, tufi-breccia) a composizione riolitica.</p>

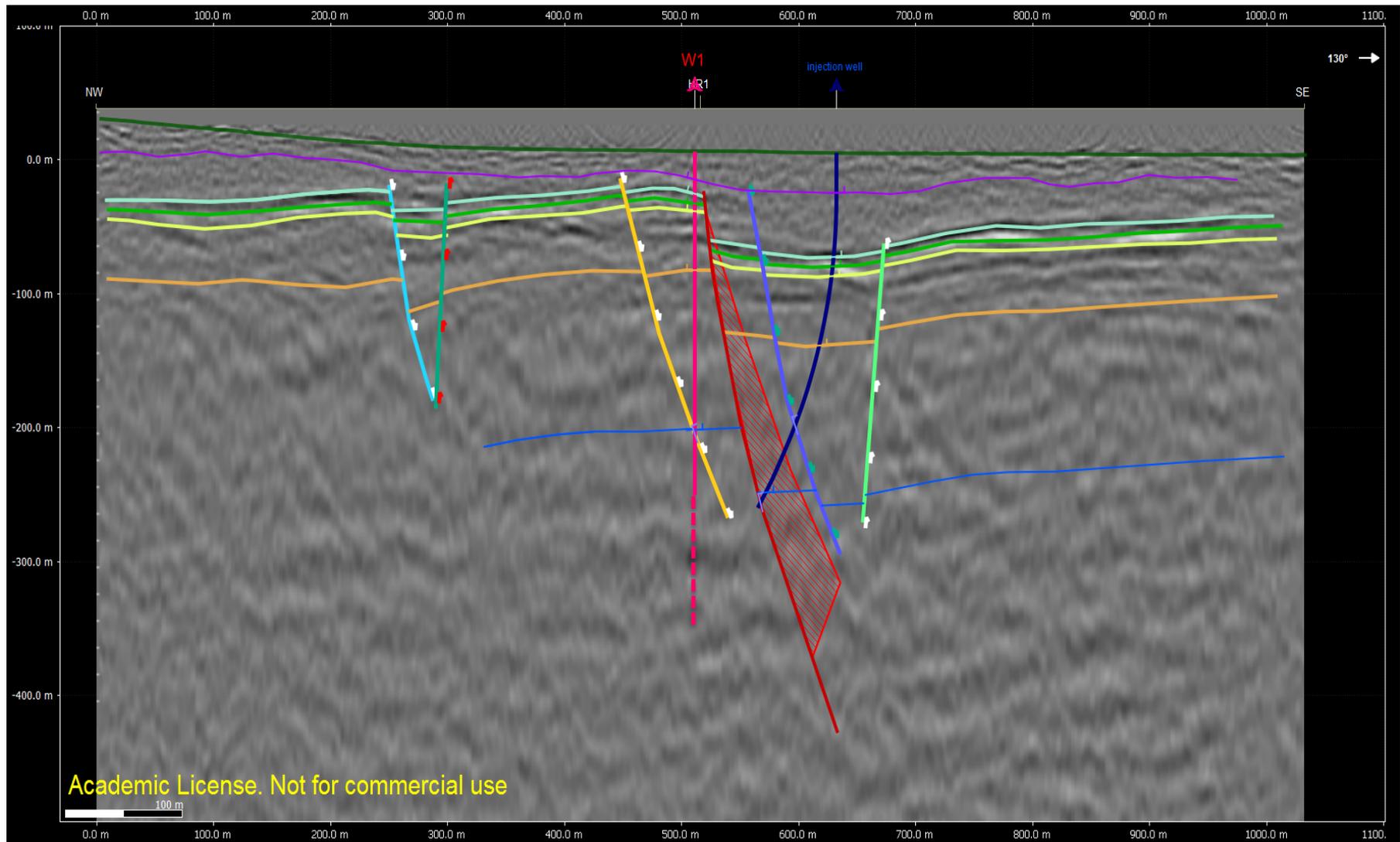


Figura 5. Linea sismica HR1 in profondità, con l'ubicazione dei pozzi, la geologia dell'area e la posizione della faglia target. Notare che la faglia in profondità è indicata con una zona tratteggiata corrispondente ad una zona di incertezza del posizionamento del piano di faglia. Il Pozzo W1 è prolungato (tratteggiato) fino ai 350 metri.

## 2.2 Area dei sondaggi

### 2.2.1 Criteri per la scelta della posizione

I criteri principali per l'individuazione delle aree idonee per la localizzazione delle postazioni pozzo sono riassunti nell'elenco seguente:

- minimizzazione della distanza tra le postazioni ed il culmine degli obiettivi dei sondaggi;
- minimizzazione dei possibili impatti del cantiere sulle componenti ambientali;
- contenimento delle limitazioni alla fruizione del paesaggio;
- rispetto scrupoloso dei vincoli di legge e delle disposizioni delle diverse Autorità.
- Risultati delle misure geofisiche e geologiche

Oltre alle valutazioni sopra elencate, la localizzazione delle postazioni è stata definita anche sulla base di altre variabili, quali:

- le condizioni topografiche e morfologiche;
- l'accessibilità al sito (l'area è raggiungibile tramite l'esistente viabilità);
- la superficie libera e l'utilizzo dell'area (l'uso del suolo delle aree di ubicazione delle postazioni consiste attualmente in attività di agricoltura attiva con coltivazioni di erba medica);
- la distanza da punti critici, quali:
  - luoghi densamente abitati (non vi sono centri abitati nelle immediate vicinanze);
  - aree protette/sottoposte a vincolo.



Figura 6. Localizzazione del pozzo W1.



Figura 7 Localizzazione del pozzo Wl.

## 2.2.2 Lavori di preparazione delle aree di cantiere

L'intera postazione coprirà un'area di superficie complessiva pari a circa 2000 m<sup>2</sup>, sarà comprensiva delle seguenti aree funzionali:

- Strada di accesso;
- Area di occupazione temporanea, utilizzata per le piazzole di perforazione di dimensioni 44 m x 31 m (vedi 3.2 Planimetria dell'impianto di perforazione), suddivisa in:
  - zona impianto;
  - zona bacino di stoccaggio provvisorio dei fluidi esausti di perforazione (Vasca Fanghi);
  - zona bacino acqua industriale di perforazione (Vasca Acqua);
  - zona serbatoio gasolio e deposito lubrificanti.

La zona operativa descritta in questo testo è stata disegnata tenendo conto delle restrizioni e dei vincoli dovuti alle dimensioni dei terreni disponibili. Tuttavia prevede una via di accesso al cantiere di TIR per il trasporto del materiale e tiene conto delle attività di manovra e carico/scarico.

L'area del cantiere dovrà essere preparata opportunamente mediante compattazione e rullatura dell'area interessata dalla postazione sonda e dal parcheggio.

L'area sarà opportunamente impermeabilizzata con una protezione tipo HDPE, tessuto non tessuto, per evitare eventuali contaminazioni del suolo e/o delle falde superficiali. Sarà inoltre posta una recinzione semi-permanente durante la perforazione dei pozzi, che verrà poi sostituita da una recinzione permanente nella sola parte destinata ai laboratori e alla zona di iniezione.

Per quanto riguarda le solette in cemento, queste possono essere previste, a discrezione dell'operatore, al di sotto delle vasche dei fanghi, oltre come base di appoggio dei container destinati ad uso laboratorio, anche se in quest'ultimo caso si può sostituire il cemento con blocchetti di cemento, meno impattanti e rimovibili al termine delle operazioni.

### 3 IMPIANTO DI PERFORAZIONE

Per quanto riguarda l'impianto di perforazione, seppur non ancora identificato in quanto sarà selezionato con apposita gara, vengono qui definite le principali caratteristiche considerate ottimali in funzione delle condizioni e dei massimi carichi stimabili per la realizzazione dei pozzi.



Figura 8 Esempio di impianto oleodinamico.

In questa fase preliminare, si è ipotizzato l'impiego di un impianto "a funzionamento oleodinamico, installato su Autocarro" del tipo **Massenza 150**, che rappresenta una scelta ottimale in termini operativi e di minor impatto ambientale (es. Figura 8).

#### 3.1 Specifiche tecniche dell'impianto

##### 3.1.1 Capacità principali impianto

ITEM	DESCRIZIONE	CAPACITA' STATICA	NOTE
1	Torre di perforazione (Mast)	40 ton	
2	Capacità taglia fissa (crown block)	40 ton	
3	Capacità sollevamento cilindri idraulici	35 ton	
4	Capacità sollevamento Top Drive	35 ton	
5	Capacità spinta (pull down)	22 ton	
6	Argano principale di servizio capacità	9 ton	
7	Cavo di perforazione (drilling line) carico massimo diametro 20 mm	4920	Tiro diretto coefficiente di sicurezza = 5
9	Potenza motore diesel kW	227	(305 hp)
10	Massimo tiro che l'impianto può esercitare	35 ton*	*Con cilindri idraulici,

### 3.1.2 Top Drive

ITEM	DESCRIZIONE	CAPACITA' STATICA	NOTE
1	Costruttore		Massenza
2	Potenza massima in ingresso	35 HP	
3	Capacità massima sollevamento	35 ton	

### 3.1.3 Caratteristiche pompe fango

ITEM	DESCRIZIONE	POMPA FANGO 1	POMPA FANGO 2
1	Modello	Ballerini D1M 5-1/2 x 8	Dowson Geo Astra 7x10
2	Tipo fluid end	Duplex	Duplex
3	Potenza nominale hp	73 HP	120 HP
4	Massima corsa pistoni	8"	10"
5	Diametro massimo liners	5.1/2	7"
6	Portata massima	1020 lt/min. (259 GPM)	1500 lt/min. (396,20 GPM)
7	Pressione massima esercizio	70 bar (1015 psi)	60 bar (870,2 psi)
8	Potenza motore diesel:	(derivato da motore perforatrice 305 hp)	180 hp

### 3.1.4 Circuito Fango

ITEM	DESCRIZIONE	VASCA 1	VASCA 2
1	Utilizzo	Trattamento fango e Vibrovaglio	Circolazione e riserva fango
2	Capacità	12 mc	12 mc
3	Agitatori:	-	2
4	Vibrovaglio	Brandt doppio	-
5	Centrifuga	-	5x6 con miscelatore fango

### 3.1.5 Unità Batch Mixer

Equipaggiabile con unità "Batch Mixer" per cementazioni/acidificazioni di capacità 15 mc, divisa in due scomparti da 7,5 mc cadauno, separati idraulicamente con possibilità di comunicazione attraverso l'apertura di valvole, utilizzabile per confezionare la malta di cemento e le soluzioni saline (brine).

### 3.1.6 Generatori

L'impianto sarà dotato di generatori da 100 kVA insonorizzati, con certificazione CE e con potenza adattabile a seconda della configurazione di cantiere.



Figura 9 Esempio di generatori.

### 3.2 Planimetria dell'impianto di perforazione

Nella planimetria riportata in Figura 10 sono riportati tutti gli elementi che saranno installati nel cantiere di lavoro. Poiché la zona di perforazione è vicina ad un centro abitato, sarà necessario, da parte dell'operatore, valutare la posizione delle discharge lines del cantiere e in particolare del Diverter, da definire in base alle direzioni dei venti. Nell'area i venti dominanti sono da NW e da W ([https://www.meteoblue.com/it/tempo/previsioni/modelclimate/matzaccara\\_italia\\_2524202](https://www.meteoblue.com/it/tempo/previsioni/modelclimate/matzaccara_italia_2524202)).



## 4 ARCHITETTURA DEI POZZI

I due pozzi previsti dal progetto sono:

- un pozzo perforato ad una profondità (TD) di circa 250 m con lo scopo di definire la stratigrafia dell'area che verrà successivamente utilizzato come pozzo spia. Si ricorda che, in base alla configurazione di acquisizione geofisica, potrebbe essere più profondo (fino a 350m);
- un pozzo ad una profondità verticale di circa 250 m e direzionato verso la faglia con lo scopo di eseguire un test di lunga durata per l'iniezione di CO<sub>2</sub>.

Se non altrimenti specificato tutte le profondità indicate in questo documento si intendono misurate (MD) o verticali (TVD) e riferite al Piano Tavola Rotary (PTR o RT), la cui elevazione sul piano campagna è assunta di circa 10.0 m (+6 m (WI) +7 m (W1) riferito a livello mare). Tale elevazione potrà essere aggiornata in funzione dell'impianto di perforazione che al momento non è definito. In funzione degli scopi dei due pozzi e in considerazione dei test di iniezione che dovranno essere condotti, si propongono le configurazioni e profili pozzo descritte nelle sezioni che seguono.

### 4.1 Pozzo verticale

Lo scopo del pozzo verticale è la definizione della stratigrafia con un relativo campionamento mediante carotaggio continuo e il successivo utilizzo come pozzo di monitoraggio.

Il casing finale di rivestimento sarà "strumentato" (all'esterno) con elettrodi per le misure geoelettriche durante i test di iniezione della CO<sub>2</sub>.

A questo scopo la sequenza operativa più consona alla loro realizzazione consisterà in:

- Perforazione di un foro di diametro 12" ¼ fino a 40 m
- Scesa e cementazione del Conductor Pipe (CP) da 9"5/8 cementato a giorno. Il CP avrà anche lo scopo di isolare eventuali falde idriche superficiali.
- Installazione di un diverter come precauzione di sicurezza per l'eventuale presenza di "Shallow Gas".
- Perforazione di un foro di diametro 8" ½ fino a TD mediante carotaggio continuo con carotiere 6"¼ x 4" e scarpa diamantata 8"½ come da programma (vedi 12.2.1 Carote di fondo).
- Esecuzione dei Log elettrici previsti (vedi 12.4 REGISTRAZIONI ELETTRICHE).

- Discesa di un casing 6"5/8 in fiberglass, posizionamento degli elettrodi per la ripetizione dei log elettrici successivi, cementazione se possibile con cemento CO<sub>2</sub> resistant (potrebbe essere sufficiente un cemento pozzolanico o un normale cemento addizionato con terre diatomee).
- Completamento a seconda delle necessità di strumentazioni da utilizzare durante il test.
- Installazione della testa pozzo (vedi Figura 15 e Figura 16)

## 4.2 Pozzo deviato

Lo scopo del pozzo deviato è quello di raggiungere la faglia il più possibile ortogonalmente, penetrandola ad una quota verticale di circa 250 m e poi carotarla per un suo certo riconoscimento e caratterizzazione. Nell'eventualità che le procedure di deviazione non lo permettano, l'angolo di incidenza sul piano di faglia potrà essere ridotto fino ad un angolo di 30°. Il pozzo verrà quindi utilizzato per il test di iniezione di CO<sub>2</sub> per il periodo necessario al raggiungimento dei risultati previsti dal progetto.

Il casing finale di rivestimento sarà "strumentato" (all'esterno) con geofoni e un cavo a fibre ottiche atto a rilevare tutti i parametri necessari durante i test di iniezione della CO<sub>2</sub>.

Per il profilo del pozzo valgono le stesse considerazioni fatte per il pozzo verticale. A questo scopo la sequenza operativa più consona alla sua realizzazione consisterà in:

- Perforazione di un foro di diametro 17" ½ fino a 40 m
- Scesa e cementazione del Conductor Pipe (CP) da 13"3/8, cementato a giorno. Il CP avrà anche lo scopo di isolare eventuali falde idriche superficiali.
- Installazione e test di un diverter come precauzione di sicurezza per l'eventuale presenza di "Shallow Gas".
- Perforazione di un foro di diametro 12"¼ fino ad un massimo di 25 m di distanza prima della faglia, ad una quota di circa 210 m TVDSS. La perforazione verrà effettuata in modalità direzionata a partire da circa 38-40 m VD (KOP) e con un angolo di "build-up" massimo intorno ai 4° per 30 m perforati, fino al raggiungimento di un angolo di circa 30 gradi che verrà mantenuto fino a fondo pozzo,
- Carotaggio continuo con carotiere 6"¼ x 4" e scarpa diamantata 8"½ degli intervalli in prossimità e attraverso la faglia.
- Perforazione sino alla quota scelta per la discesa del casing ed esecuzione dei Logs previsti (vedi 12.4 REGISTRAZIONI ELETTRICHE).

- Installazione degli strumenti geofisici (fibra ottica e eventuali geofoni) solidali con il casing
- Discesa di un casing 6"5/8 cementato, se possibile con cemento CO<sub>2</sub> resistant (potrebbe essere sufficiente un cemento pozzolanico o un normale cemento addizionato con terre diatomee).
- Completamento da definirsi a seconda delle necessità di strumentazioni da utilizzare durante il test.
- Installazione della croce di iniezione.
- È rimandata al programma operativo la valutazione se la scarpa 6"5/8 sia da posizionare al fondo o 20/25 m al di sopra del fondo pozzo per lasciare un tratto di foro libero per avere formazione libera alla quota di iniezione della CO<sub>2</sub>.
- Si possono comunque individuare due procedure operative per il raggiungimento di tale scopo:
  - A. Prima della discesa del casing eseguire, a fondo pozzo, un tappo di sabbia per una altezza di 20/25 m allo scopo di proteggere la formazione da future contaminazioni di cemento durante la cementazione del casing. Una volta cementato il casing, discendere uno scalpello da 4" ¾ per il fresaggio della scarpa del casing e per la rimozione in circolazione del tappo di sabbia rendendo così il pozzo idoneo per il completamento e l'iniezione di CO<sub>2</sub>.
  - B. Discendere il casing come al punto 5. Una volta cementato il casing, discendere uno scalpello da 4" ¾ per il fresaggio della scarpa del casing e proseguire nella perforazione di terreno vergine per almeno 30 m. per avere così formazione incontaminata.
  - C. In entrambe i casi (A e B) si raccomanda l'esecuzione, con acqua, di un "Leak-Off" (LOT) test (Vedi Allegato 1) e/o un test di iniezione.

#### 4.2.1 Schema di Pozzo Deviato

##### Progetto di deviazione

PROGETTO DI DEVIAZIONE					
POZZO	WI DIREZIONATO				
Coordinate Geografiche		gradi	minuti	secondi	Metriche
Coordinate di testa	Lat.:	39	8	9,20853	4331997,2 N
	Long:	8	27	24,6249	453056.8 E
Coordinate al target	Lat.:	39	8	10,9591	4332051.4 N
	Long:	8	27	22,9099	453016.0 E
Profondita' target m		259,3	direzione	323 N	
			scos. m.	67,3	
Scostamento al target m		67,30			

PARAMETRI DEVIAZIONE					
<b>KOP m</b>	32	B.U.R.	4	deg/30m	
		D.O.R.	NA	deg/30m	
<b>Secondi N/S</b>	-1,57	NORD	48,30	m	NORD
<b>Secondi E/W</b>	1,58	OVEST	37,90	m	OVEST
<b>Tang β</b>	38,14	Direzione	NORD	38,14	OVEST
<b>Scostamento</b>	67,30	m			
DATI FINE CURVA					
<b>Inclinazione</b>			30,48	deg	
<b>Scostamento</b>			59,40	m	
<b>Profondita' verticale</b>			250,00	m	
<b>Profondita' misurata</b>			260,60	m	
<b>Profondita' misurata TD</b>			278,55	m	

Incl. gradi	MD (m)	TVDSS (m)	Scost. m
0	0	-6	0
0	32	26	0
0,5	35,6	29,59993146	0
1,5	43,1	37,09850364	0,1
2,5	50,6	44,59364944	0,4
3,5	58,1	52,08308577	0,8
4,5	65,6	59,56453126	1,3
5,5	73,1	67,03570701	2
6,5	80,6	74,49433721	2,7
7,5	88,1	81,9381499	3,7
8,5	95,6	89,36487762	4,7
9,5	103,1	96,77225811	5,9
10,5	110,6	104,158035	7,2
11,5	118,1	111,5199586	8,6
12,5	125,6	118,8557862	10,2
13,5	133,1	126,1632835	11,8
14,5	140,6	133,4402243	13,7
15,5	148,1	140,6843922	15,6
16,5	155,6	147,8935804	17,7
17,5	163,1	155,0655929	19,9
18,5	170,6	162,1982452	22,2
19,5	178,1	169,2893645	24,6
20,5	185,6	176,3367908	27,2
21,5	193,1	183,3383774	29,9
22,5	200,6	190,2919915	32,7
23,5	208,1	197,1955151	35,6
24,5	215,6	204,0468451	38,6
25,5	223,1	210,8438947	41,8
26,5	230,6	217,5845934	45,1
27,5	238,1	224,2966011	48,5
28,5	245,6	230,9788955	52
29,5	253,1	237,6314768	55,7

30,5	260,6	244,1888768	59,4
30,5	264,6	247,6353934	61,4
<b>30,5</b>	<b>278,1</b>	<b>259,3</b>	<b>67,3</b>



Figura 11 Profilo di deviazione.

### 4.3 Gradienti

#### 4.3.1 Gradiente Geostatico

La conoscenza del gradiente Geostatico (Overburden Gradient) consente una stima, anche se pur sempre approssimativa, del gradiente dei pori e del gradiente di fratturazione. Questi parametri sono fondamentali per una corretta e sicura esecuzione dei sondaggi. Il metodo di calcolo del gradiente Geostatico è quello basato sui dati di velocità di intervallo dai rilevamenti sismici, che vengono poi trasformati in Densità integrata dei sedimenti (Bulk density) o da dati di pozzi assimilabili.

#### 4.3.2 Gradiente di Fratturazione

La formula adoperata per il calcolo del gradiente di fratturazione, in formazioni con comportamento elastico, deriva direttamente dall'equazione di Terzaghi:

$$\text{Frac.gr.} = \text{P.gr.} + K * (\text{Ov.gr.} - \text{P.gr.})$$

dove:

$$K = 2\nu/(1-\nu)$$

Frac.gr (Gradiente di fratturazione) è espresso in kg/cm<sup>2</sup>/10m

P.gr (Gradiente dei pori) e Ov.gr (Gradiente di Overburden) sono espressi in kg/cm<sup>2</sup>/10m

$\nu$  è il modulo di Poisson (adimensionale)

Il gradiente di fratturazione è stato quindi calcolato dalla su espressa formula assumendo un valore di 0.2 per il modulo di Poisson (corrispondente ad un  $K = 0.5$ ).

Tabella 7. Tabella di calcolo dei gradienti. Gov (overburden), Gi (idraulico) e Gf (fratturazione).

CALCOLO GRADIENTI				
V.D.	Gov	Gi	MW	Gf
m	Kg/cm <sup>2</sup> *10m	Kg/cm <sup>2</sup> *10m	Kg/l	Kg/cm <sup>2</sup> *10m
0		1,03		
30	1,69	1,03	1,10	1,359
100	1,85	1,03	1,10	1,442
150	1,92	1,03	1,10	1,477
200	1,97	1,03	1,10	1,501
250	2,01	1,03	1,10	1,521
300	2,05	1,03	1,10	1,538

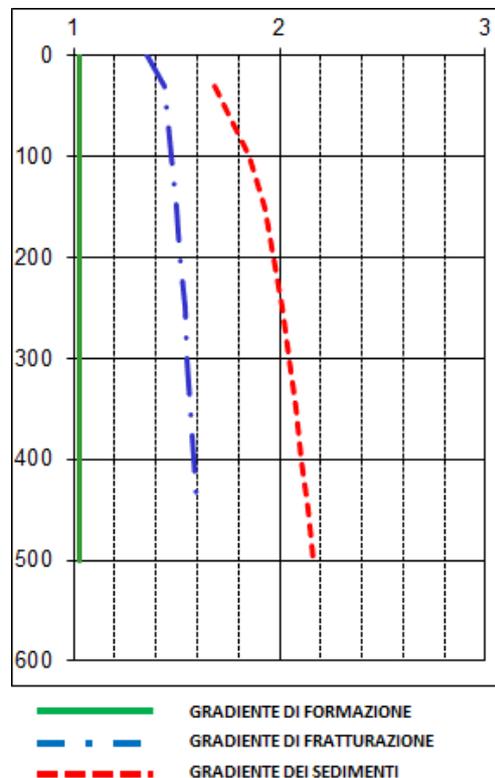


Figura 12 grafico che illustra l'andamento dei gradienti della tabella corrispondente.

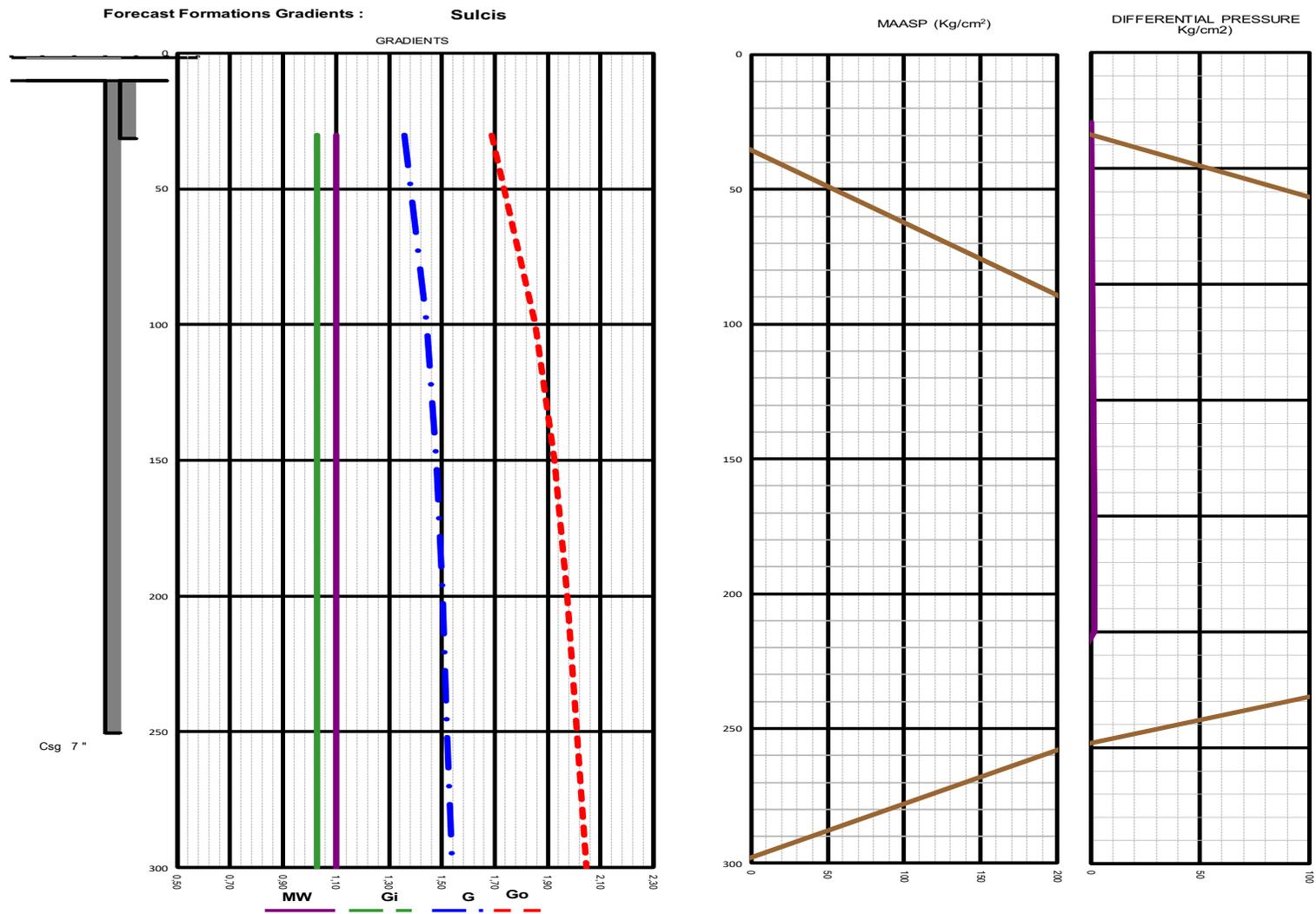


Figura 13 Previsione condizioni di pozzo.

## 5 PROBLEMI DI PERFORAZIONE PREVISTI

Nell'attraversamento della zona superficiale, bisognerà essere preparati a fronteggiare possibili perdite di circolazione, anche totali, del fluido di perforazione. In questi casi sarà necessario aggiungere materiali LCM (lost-circulation material) per fronteggiare gli assorbimenti. Come fluido di perforazione per assicurare il raffreddamento dello scalpello e la pulizia del pozzo si utilizzerà acqua viscosizzata con bentonite.

Nella restante parte di pozzo non si prevedono particolari difficoltà di perforazione eccetto una possibile instabilità meccanica del foro dovuta alla tipologia delle rocce perforate, che sono specificate nella Tabella 8 e Tabella 9. Si esclude inoltre la presenza di shallow gas nelle formazioni oggetto di perforazione.

**Tabella 8. Previsione delle mineralizzazioni e degli assorbimenti del pozzo W1**

Top	Top	Top	Nome formazione e descrizione	Mineralizzazione	Gradiente gas/condensato se applicabile	Previsti assorbimenti*
m TVDSS	m TVDRT	m MDRT				
-7,00	10,00	10,0	Quaternario (alluvioni e Sintema di Portovesme)	acqua	no gas	assorbimenti per presenza di materiale sciolto
13,90	30,90	30,9	Rioliti di Monte Ulmus (ULM)	acqua	no gas	-
24,60	41,60	41,6	Comenditi di Cala Saboni (CDT)	acqua	no gas	-
31,90	48,90	48,9	Daciti di Matzaccara (MAZa)	acqua	no gas	-
37,70	54,70	54,7	Rioliti di Nuraxi (NUR)	acqua	no gas	-
81,70	98,70	98,7	Rioliti di Monte Crobu (CBU)	acqua	no gas	assorbimenti
200,90	217,90	217,9	Basalts			
204,20	221,20	221,2	faglia normale	acqua	no gas	assorbimenti
250,00	267,00	267,0	TD			

**Tabella 9. Previsione delle mineralizzazioni e degli assorbimenti del pozzo WI**

Top	Top	Top	Nome formazione e descrizione	Mineralizzazione	Gradiente gas/condensato se applicabile	Previsti assorbimenti*
m TVDSS	m TVDRT	m MDSS				
-6	10	-6,0	Quaternario (alluvioni e Sintema di Portovesme)	acqua	no gas	assorbimenti per presenza di materiale sciolto
47	63	29,9	Rioliti di Monte Ulmus (ULM)	acqua	no gas	-
71,8	87,8	77,9	Comenditi di Cala Saboni (CDT)	acqua	no gas	-
78,8	94,8	85,0	Daciti di Matzaccara (MAZa)	acqua	no gas	-
86,1	102,1	92,3	Rioliti di Nuraxi (NUR)	acqua	no gas	-
138	154	145,3	Rioliti di Monte Crobu (CBU)	acqua	no gas	parte bassa assorbimenti
197,7	213,7	208,5	faglia all'interno di CBU	acqua	no gas	assorbimenti
247,6	263,6	264,2	basalti			
255,4	271,4	273,1	faglia all'interno di basalti	acqua	no gas	assorbimenti
259,3	275,3	278,1	TD	acqua	no gas	-

## 6 PROFILO CASING

### 6.1 Profilo Casing

Al fine di garantire la stabilità delle pareti del pozzo saranno utilizzati tubi di acciaio o in fibra di vetro (Fiber-Glass), detti casing o colonne, di diametro decrescente a partire dalla superficie. I casing saranno posizionati ad intervalli di profondità preventivamente decisi in base alla stratigrafia e all'obiettivo da raggiungere. Inoltre, i diametri dei casing indicati sono funzionali alla strumentazione outside casing che andrà installata. Tale dimensioni potranno variare in funzione delle dimensioni degli strumenti da installare outside casing.

Le principali funzioni del tubaggio sono:

- isolare l'eventuale acquifero superficiale;
- evitare il crollo delle pareti del foro al di sopra dello scalpello, che può portare al bloccaggio/perdita della batteria di perforazione;
- evitare l'ingresso in pozzo di possibili fluidi liquidi o gassosi;
- permettere lo svolgimento dei test e di raccolta dati previsti dal progetto.

#### 6.1.1 Tubo Guida/Casing superficiale

Lo scopo primario di questa fase è di discendere una tubazione con funzioni di Tubo Guida (Conductor Pipe) o casing superficiale ad una profondità sufficiente da permettere il montaggio del diverter e nel contempo anche quello di garantire la condizione necessaria per poter circolare il fango in vasca durante la perforazione del foro successivo.

A causa della durezza della formazione superficiale sarà impossibile l'infissione di un tubo guida mediante la battitura con battipalo. Sarà pertanto necessario eseguire la perforazione del foro ed il successivo tubaggio e cementazione di un Casing superficiale.

#### 6.1.2 Casing di Produzione a circa 250 m. Prof. Vert.

Scopo di questa sezione è quello di attraversare la faglia prevista alla profondità di +/- 250 m.

Una volta eseguiti tutti Logs di accertamento minerario (vedi 12.4 REGISTRAZIONI ELETTRICHE) la parte terminale del pozzo verrà posta la scarpa della colonna di rivestimento.

Vista la diversa funzione dei 2 pozzi previsti dal progetto si dovranno usare due differenti profili Casing come schematizzato qui di seguito:

Sintesi del Profilo casings per il pozzo verticale W1						
Diametro del Foro In.	Profondità (TVD – m)	Diametro Del Casing In.	Casing selezionato	Cementazione	Densità Fango kg/l	NOTE
12"1/4	35 m.	9"5/8	API	A giorno	1,05-1,10	
8"1/2	250 m	6"5/8	Fiberglass 1500	A giorno	1,10-1,15	

Sintesi del Profilo Casings per il pozzo direzionato WI						
Diametro del Foro In.	Profondità (TVD – m)	Diametro Del Casing In.	Casing selezionato	Cementazione	Densità Fango kg/l	NOTE
17"1/2	35 m.	13"3/8	API	A giorno	1,05-1,10	
12"1/4	250 m	6"5/8	API	A giorno	1,10-1,15	

**NOTA IMPORTANTE:** all'esterno del casing di WI Dir sarà necessario utilizzare centralizzatori (preparati e forniti a costi del Drilling) per proteggere i cavi dei sensori che verranno cementati all'esterno del casing stesso. La tipologia dei centralizzatori dovrà essere concordata con Silixa, la società che dovrà installare il cavo a fibra ottica.

## 7 DIMENSIONAMENTO E CALCOLO DEI CASING

Le combinazioni di fori e tubi di rivestimento (Casings), che l'operatore può scegliere di utilizzare, possono essere diverse in funzione delle necessità operative e delle condizioni di progetto di un pozzo.

Per un normale pozzo di esplorazione, è raccomandata la sequenza in rosso con un diametro di fine pozzo da 8" 1/2 lasciando un foro da 6" come diametro di riserva o di emergenza.

La Figura 14 sottostante mostra la scelta dei diametri disponibili sia per i fori da perforare che per le colonne di rivestimento.

Su questa base per i pozzi nell'area di interesse si sono ipotizzate le combinazioni descritte nella tabella sottostante. La selezione scelta è stata condizionata dalle condizioni di strumentazioni necessarie al rilevamento dei dati durante lo svolgimento dei test di iniezione della CO<sub>2</sub>.

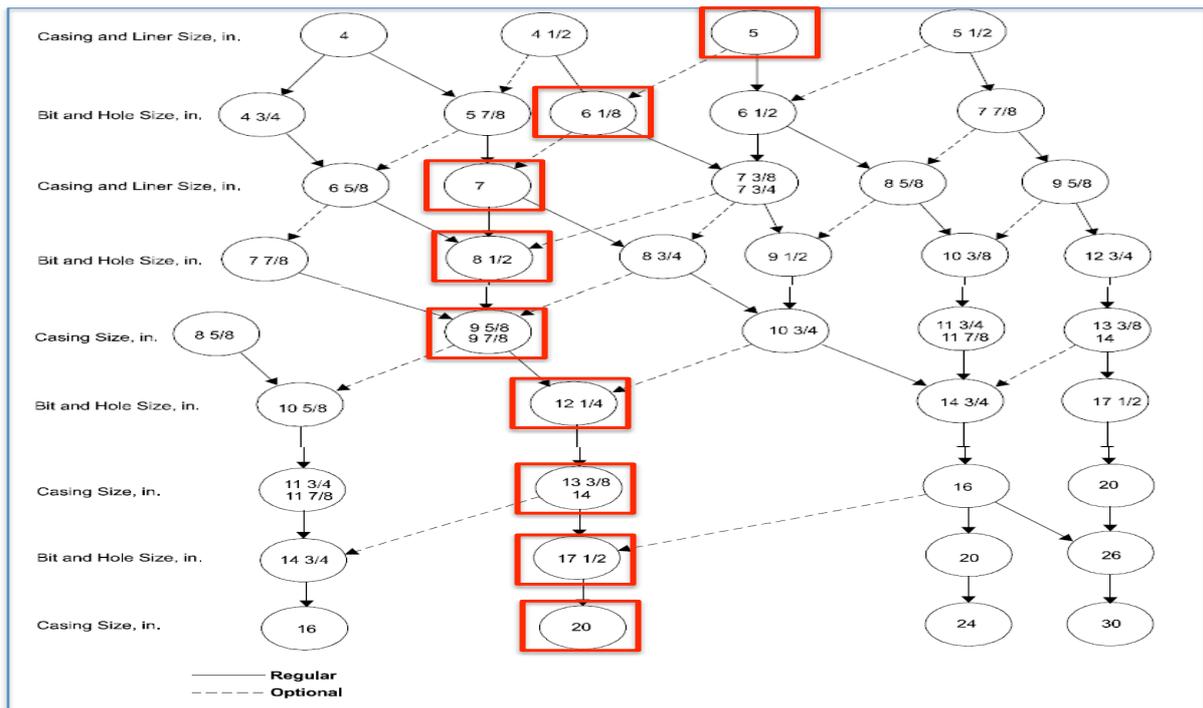


Figura 14 Sequenza selezione casing.

Fasi	Pozzi di monitoraggio	Pozzo di iniezione Direzionato	Profondità TVD (m.)	Fango Tipo/ densità Kg/l
Foro	12"1/4	17"1/2	30/40	Bentonitico/1,10
CP	9"5/8	13"3/8		
Foro	8"1/2	12"1/4	250	Polimeri / 1,15
Prod. CSG	6"5/8	6"5/8		
Foro (contingente)		5"7/8		
Slotted Liner (se necessario)		4"1/2		

## 7.1 Criteri di calcolo e dimensionamento dei casing 6"5/8"

### 7.1.1 6"5/8 Casing di Iniezione pozzo WI Dir

Il casing da 6"5/8, essendo il casing nel quale verranno discesi il packer e i tubing di iniezione da 2 7/8", è stato verificato come casing di produzione. In questo modo garantirà la tenuta delle pressioni in qualsiasi condizione, anche nel caso del tutto ipotetico di una rottura dei tubing di produzione.

Le sollecitazioni verificate sono:

Schiacciamento:

Pressione Interna: La condizione peggiore è quella ipotetica di casing vuoto.

Pressione Esterna: Pressione Idrostatica del fango alle spalle.

Squarciamento:

a. Pressione Interna:

- In superficie:
  - Max. pressione interna a testa pozzo in caso rottura tubing.
- Al fondo:
  - Max pressione interna a testa pozzo in caso rottura tubing +pressione idrostatica fluido di completamento.

b. Pressione Esterna:

- Pressione esercitata dal gradiente dei pori.

Trazione:

Questa verifica considera il peso proprio del casing in aria e nel fango in cui è tubato (quindi considerando la spinta di galleggiamento). A questo sono aggiunti, dove richiesto, i carichi addizionali derivanti dal “bending” (nel caso di pozzi direzionati) e dall’aumento di tensione indotto dalla pressione di test del casing e/o dalla pressione esercitata al contatto tappi alla fine dello spiazzamento del cemento durante la cementazione.

Design Factors

I casing sono accettati quando il rapporto tra il massimo carico ammissibile sul casing ed il massimo carico derivato dalle condizioni di lavoro soddisfa o supera i “design factors” indicati di seguito:

<b>Squarciamento (Burst)</b>	<b>Schiacciamento (Collapse)</b>	<b>Trazione (Tensile and Axial loads)</b>
1,10	1,05	1,6

Verifica Dimensionamento Casing 6"5/8 Pozzo WI Dir

Well : **WI Dir**

**CASING DESIGN**

**CASING PRODUCTION 6 5/8 ON-SHORE**

BURST

Packer Depth	m	<b>250</b>
Fluid Formation Density	Kg/l	<b>1,03</b>
Pore Gradient at TD	Kg/cm <sup>2</sup> /10m	1,03
Pore Pressure at TD	Kg/cm <sup>2</sup>	30,9
Internal Pressure at Packer Depth	Kg/cm <sup>2</sup>	38,0
Internal Pressure at Well Head	Kg/cm <sup>2</sup>	11,8
Internal Pressure at Shoe	Kg/cm <sup>2</sup>	31,3
External Pressure at Well Head	Kg/cm <sup>2</sup>	0,0
External Pressure at Shoe	Kg/cm <sup>2</sup>	19,1
External Pressure at Packer	Kg/cm <sup>2</sup>	25,8
Acting Pressure at Well Head	Kg/cm <sup>2</sup>	11,8
Acting Pressure at Shoe	Kg/cm <sup>2</sup>	12,1
Acting Pressure at Packer Depth	Kg/cm <sup>2</sup>	12,3

COLLAPSE

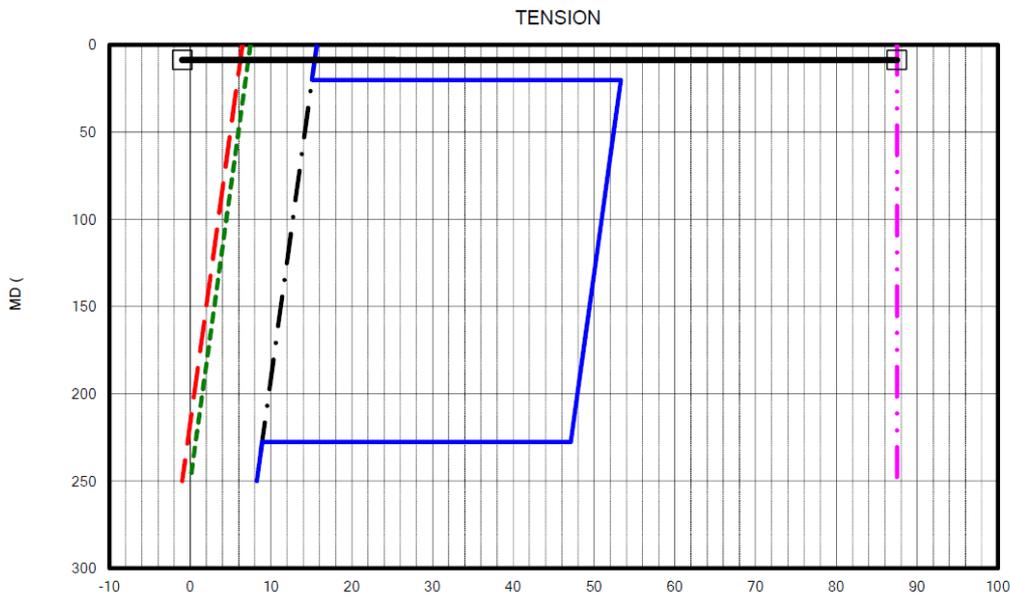
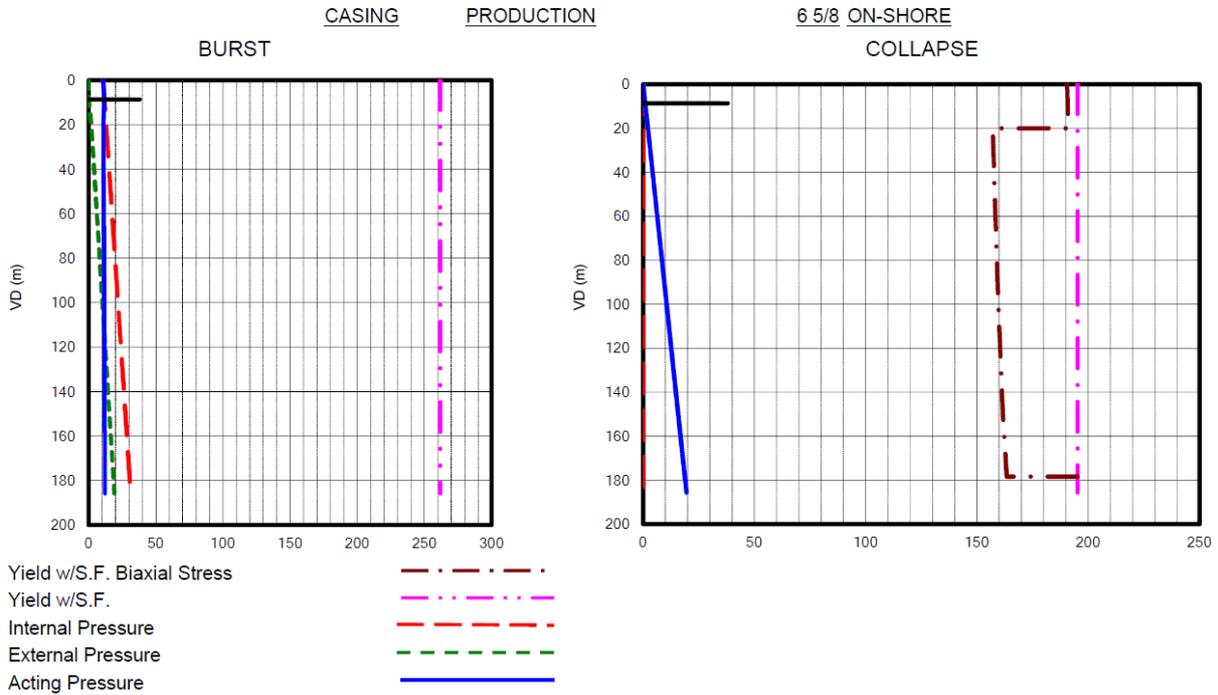
Packer Fluid Density	Kg/l	<b>1,05</b>
Mud Dropped Level	m	<b>240</b>
Mud Density During Run Casing	Kg/l	<b>1,05</b>
Well Fluid Density During Set Packer	Kg/l	<b>1,05</b>
Internal Pressure at Well Head	Kg/cm <sup>2</sup>	0,0
Internal Pressure at Shoe	Kg/cm <sup>2</sup>	-5,7
External Pressure at Mud Dropped Level	Kg/cm <sup>2</sup>	25,2
External Pressure at Well Head	Kg/cm <sup>2</sup>	0,0
External Pressure at Shoe	Kg/cm <sup>2</sup>	19,5
Acting Pressure at Well Head	Kg/cm <sup>2</sup>	0,0
Acting Pressure at Mud Dropped Level	Kg/cm <sup>2</sup>	25,2
Acting Pressure at Shoe	Kg/cm <sup>2</sup>	25,2

TENSION

Weight in Air	ton	7,4
Buoiancy Factor		0,9
Weight in Mud	ton	6,4
Pressure at Bumping Plugs	Kg/cm <sup>2</sup>	<b>50,0</b>
Additional Tension + Bumping Plugs	ton	9,2
Well Head Tension	ton	15,7
Maximum Tension	ton	53,3

CASING DATA					BURST				COLLAPSE				TENSION			
Diameter inch	Grade	Weight lb/ft	from m	to m	Stress Kg/cm <sup>2</sup>	Yield csg Kg/cm <sup>2</sup>	S.F. request	S.F. request	Stress Kg/cm <sup>2</sup>	Yield csg Kg/cm <sup>2</sup>	S.F. Biax.stres	S.F. request	Stress ton	Yield csg ton	S.F. request	S.F. request
6 5/8	J55	20	0	250	12,1	<b>288,0</b>	23,71	1,10	19,5	<b>205,0</b>	9,16	1,05	53,3	<b>140,0</b>	2,63	1,60

Note: Perfectly aligned with Casig design Manual



Yield w/S.F. - - - - -  
 Weight in Air - - - - -  
 Weight in Mud - - - - -  
 Bumping Plugs Additional Tension - · - · -  
 Total Tension —————

CASING DATA					BURST				COLLAPSE				TENSION			
Diameter	Grade	Weight	from	to	Stress	Yield csg	S.F.	S.F.	Stress	Yield csg	S.F.	S.F.	Stress	Yield csg	S.F.	S.F.
inch		lb/ft	m	m	Kg/cm2	Kg/cm2		request	Kg/cm2	Kg/cm2	Biax.stres	request	ton	ton		request
6 5/8	J55	20	0	250	12,1	288,0	23,71	1,10	19,5	205,0	9,16	1,05	53,3	140,0	2,63	1,60

Note: Perfectly aligned with Casig design Manual

## 7.2 6"5/8 Casing di Iniezione pozzo W1

Per il pozzo verticale W1 di raccolta dati il casing da 6"5/8, dovrà essere strumentato al suo esterno con elettrodi ad esso solidali e cementati nell'intercapedine. A tale scopo è stato scelto un casing in "Fiberglass" atto ad assicurare l'isolamento elettrico degli elettrodi esterni. Non è stato quindi verificato come casing di produzione. Sono state comunque ipotizzate condizioni estreme per garantire la totale sicurezza nell'uso di tali Casings. Inoltre nel pozzo W1 non verrà iniettata CO<sub>2</sub>, quindi non ci sarà il relativo tubing. In fase di realizzazione dei pozzi verranno implementate procedure ad hoc (raccomandate dal fornitore) tali da garantire l'impiego ottimale di questa tipologia di Casing.

Le sollecitazioni verificate sono:

### Schiacciamento:

Pressione Interna: La condizione peggiore è quella ipotetica di casing vuoto.

Pressione Esterna: Pressione Idrostatica dei un fango alle spalle alla stessa densità della malta cementizia.

### Squarciamento:

a. Pressione Interna:

la pressione interna alla scarpa è assunta pari alla pressione di fratturazione alla stessa profondità, mentre alla testa è assunta pari al 60% del valore di tale pressione di fratturazione diminuita del battente di gas (gradiente del gas considerato pari a 0,3 kg/cm<sup>2</sup>/10m).

b. Pressione Esterna:

Pressione esercitata dal gradiente dei pori.

### Trazione:

Questa verifica considera il peso proprio del casing in aria e nel fango in cui è tubato (quindi considerando la spinta di galleggiamento). A questo sono aggiunti i carichi addizionali derivanti dall'aumento di tensione indotto dalla pressione di test del casing e/o dalla pressione esercitata al contatto tappi alla fine dello spiazzamento del cemento durante la cementazione.

### Design Factors

I casing sono accettati quando il rapporto tra il massimo carico ammissibile sul casing ed il massimo carico derivato dalle condizioni di lavoro soddisfa o supera i "design factors" indicati di seguito:

Squarciamento (Burst)	Schiacciamento (Collapse)	Trazione (Tensile and Axial loads)
1,10	1,05	1,6

### Verifica Dimensionamento Casing 6"5/8 Pozzo W1

Pozzo : **W1 Vert**

#### CASING DESIGN

CASING DI PRODUZIONE 6 5/8 ON-SHORE

#### SQUARCIAMENTO

Quota Packer	m	250
Densità Fluido di Formazione	Kg/l	1,03
Gradiente dei Pori a Fondo Pozzo	Kg/cm <sup>2</sup> /10m	1,03
Pressione dei Pori a Fondo Pozzo	Kg/cm <sup>2</sup>	30,9
Pressione Interna a Quota Packer	Kg/cm <sup>2</sup>	31,4
Pressione Interna a Testa Pozzo	Kg/cm <sup>2</sup>	5,2
Pressione Interna alla Scarpa	Kg/cm <sup>2</sup>	31,4
Pressione Esterna a Testa Pozzo	Kg/cm <sup>2</sup>	0,0
Pressione Esterna alla Scarpa	Kg/cm <sup>2</sup>	19,1
Pressione Esterna a Quota Packer	Kg/cm <sup>2</sup>	25,8
Pressione Agente a Testa Pozzo	Kg/cm <sup>2</sup>	5,2
Pressione Agente alla Scarpa	Kg/cm <sup>2</sup>	12,3
Pressione Agente a Quota Packer	Kg/cm <sup>2</sup>	5,7

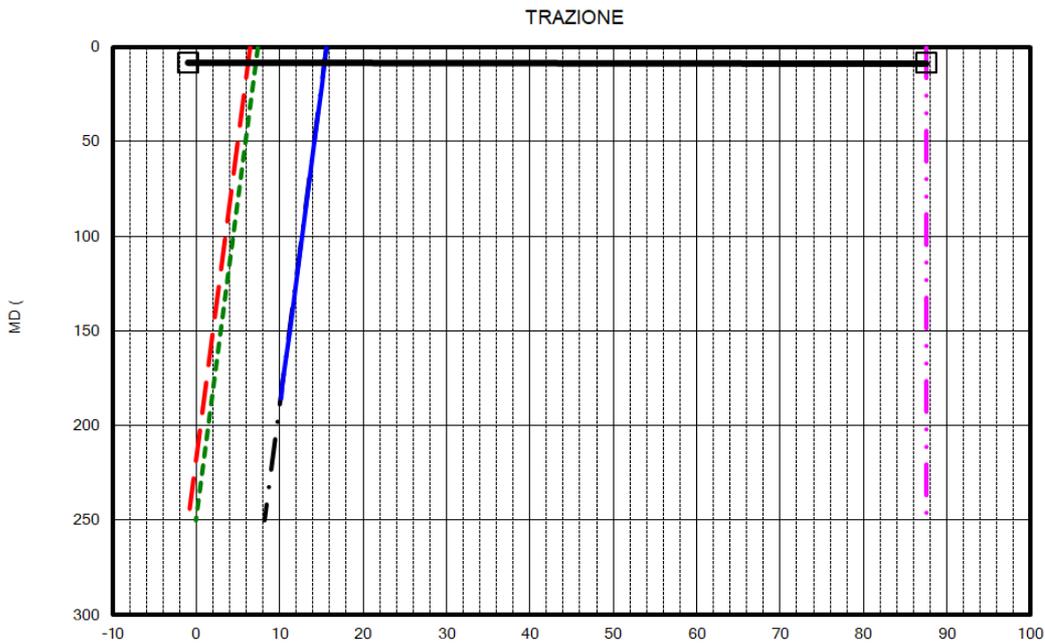
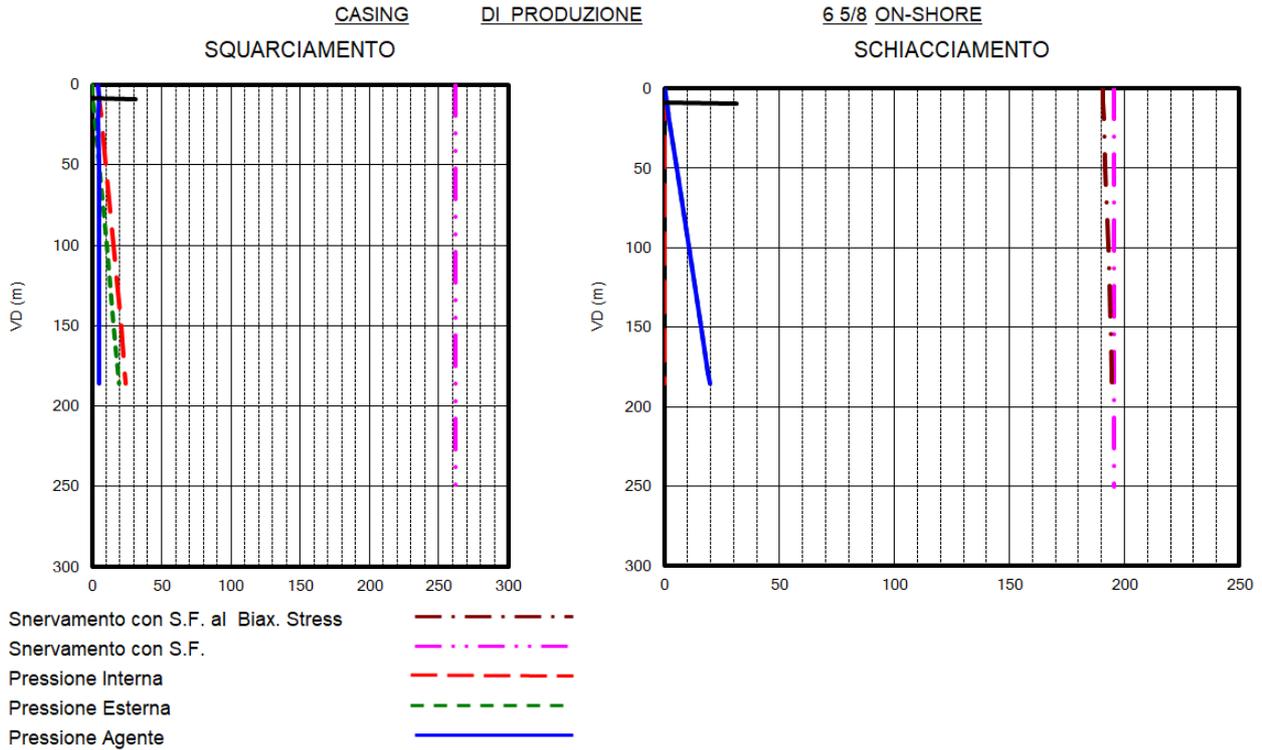
#### SCHIACCIAMENTO

Densità del Fluido Sopra Packer	Kg/l	1,05
Battente del Fango Previsto	m	240
Densità del Fango Durante la Discesa Casing	Kg/l	1,05
Densità del Fluido in Pozzo al Fissaggio Packer	Kg/l	1,05
Pressione Interna a Testa Pozzo	Kg/cm <sup>2</sup>	0,0
Pressione Interna alla Scarpa	Kg/cm <sup>2</sup>	1,1
Pressione Esterna a Quota Battente Fango	Kg/cm <sup>2</sup>	25,2
Pressione Esterna a Testa Pozzo	Kg/cm <sup>2</sup>	0,0
Pressione Esterna alla Scarpa	Kg/cm <sup>2</sup>	26,3
Pressione Agente a Testa Pozzo	Kg/cm <sup>2</sup>	0,0
Pressione Agente a Quota del Battente Fango	Kg/cm <sup>2</sup>	25,2
Pressione Agente alla Scarpa	Kg/cm <sup>2</sup>	25,2

#### TRAZIONE

Peso in Aria	ton	7,4
Fattore di Galleggiamento		0,9
Peso in Fango	ton	6,4
Pressione al Contatto Tappi	Kg/cm <sup>2</sup>	50,0
Tensione Addizionale al Contatto Tappi	ton	9,2
Tensione in Testa	ton	15,7
Tensione Massima	ton	15,7

DATI CASING					SQUARCIAMENTO				SCHIACCIAMENTO				TRAZIONE			
Diametro	Grado	Peso	da	a	Sollecit.	Yield csg	S.F.	S.F.	Sollecit.	Yield csg	S.F.	S.F.	Sollecit.	Yield csg	S.F.	S.F.
inch		lbf/ft	m	m	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>		richiesto	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Biax.stres	richiesto	ton	ton		richiesto
6 5/8	FGS	20	0	250	5,3	288,0	54,54	1,10	19,5	205,0	10,48	1,05	15,7	140,0	8,93	1,60



Snervamento con S.F.  
 Peso in aria  
 Peso in fango  
 Trazione al contatto tappi  
 TOT al contatto tappi + bending force

DATI CASING					SQUARCIAMENTO				SCHIACCIAMENTO				TRAZIONE			
Diametro	Grado	Peso	da	a	Sollecit.	Yield csg	S.F.	S.F.	Sollecit.	Yield csg	S.F.	S.F.	Sollecit.	Yield csg	S.F.	S.F.
inch		lb/ft	m	m	Kg/cm2	Kg/cm2		richiesto	Kg/cm2	Kg/cm2	Biax.stres	richiesto	ton	ton		richiesto
6 5/8	FGS	20	0	250	5,3	288,0	54,54	1,10	19,5	205,0	10,48	1,05	15,7	140,0	8,93	1,60

## 8 TESTA POZZO E BOP

### 8.1 Dimensionamento della Testa Pozzo e configurazione dei BOP's

La pressione di esercizio della Testa Pozzo per il pozzo di iniezione, vista la ridotta profondità del sondaggio, potrebbe essere limitata a 1000 psi Wp. La difficile reperibilità di materiale a queste pressioni di esercizio potrà richiedere l'uso di materiale sovradimensionato ma di più facile reperibilità. Nel caso di strumentazione permanente esterna al casing (IDAS fiber optic cable, geofoni, elettrodi, ecc) per il pozzo deviato e nel caso di installazione di elettrodi nel pozzo verticale, sarà necessario prevedere l'uscita dei cavi nella configurazione della testa pozzo.

Il BOP non è necessario in quanto non sono previste formazioni mineralizzate a gas né in superficie, né a più elevate profondità. Inoltre, dalle indagini superficiali effettuate negli ultimi anni, non sono state rinvenute concentrazioni di idrocarburi gassosi nei suoli tali da far presupporre la presenza di shallow gas nelle formazioni perforate. Infine, le formazioni oggetto di perforazione sono vulcaniti di età miocenica, e in quanto tali non sono considerate potenziali reservoir di gas.

Qui di seguito è raffigurato il disegno di detta Testa Pozzo (Figura 15) configurabile per i pozzi verticali in:

- API 11" x 2000 psi Casing Head Housing (Section A).
- API 11" x 2000 x 9" 2000 psi Casing Head Spool. (Section B).

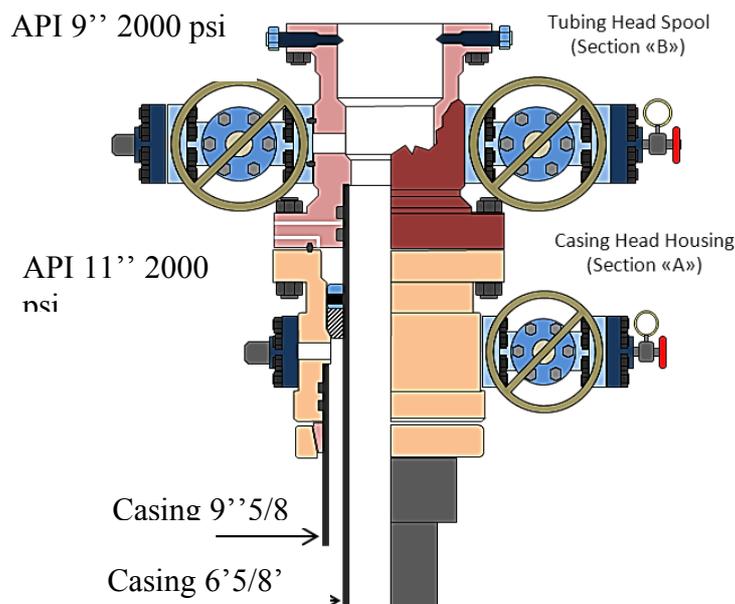


Figura 15 Testa pozzo per pozzi verticali. L'uscita dei cavi della strumentazione outside casing non è rappresentata.

La Testa Pozzo per Il Pozzo di iniezione direzionato (Figura 16) è configurabile in:

- API 13 5/8" x 3000 psi Casing Head Housing (Section A).
- API 11" x 2000 x 9" 3000 psi Casing Head Spool. (Section B).

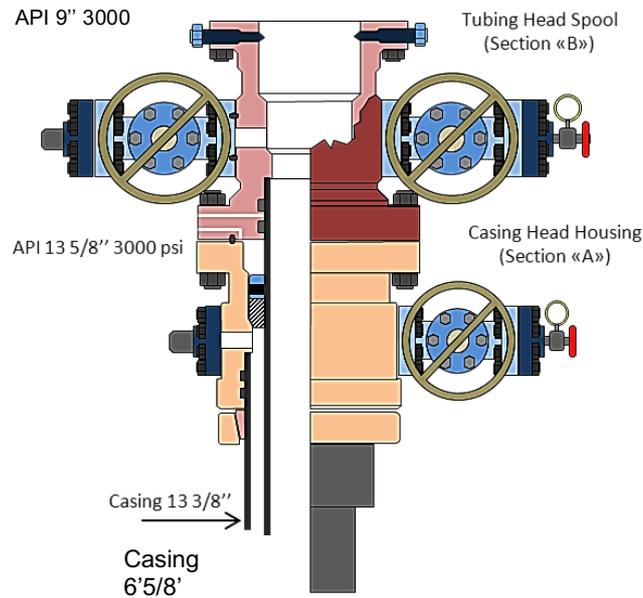


Figura 16 Testa pozzo per pozzi deviati. L'uscita dei cavi della strumentazione outside casing non è rappresentata

Vista la limitata profondità dei due pozzi, la sequenza litostratigrafica e l'assenza di obiettivi minerali ad idrocarburi non si ritiene necessaria l'installazione di uno "Stack" completo di BOP's.

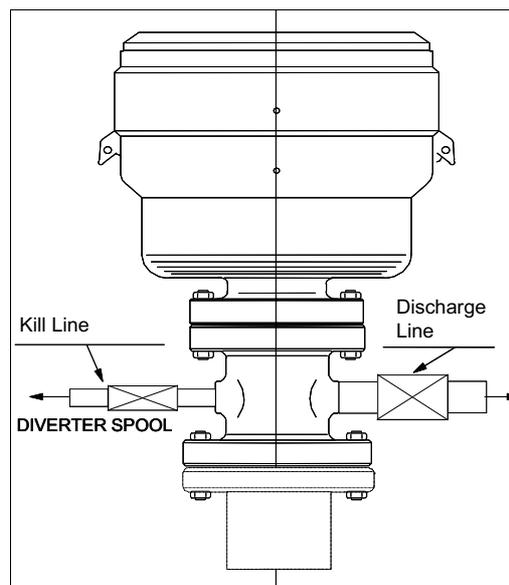


Figura 17 Diverter Stack.

## 8.2 Configurazione Diverter per Fase 8"1/2 o 12"1/4

Comunque per garantire una condizione di totale sicurezza verrà installato sulla Colonna di Superficie (C.P) un Preventer Anulare a Sacco tipo Shaffer 13,5/8" x 5.000 psi, corredato di Diverter Spool e scarichi laterali con funzione di "Diverter". (Figura 17). Questo garantirà il possibile trattamento in piena sicurezza di qualsiasi manifestazione nel fango di perforazione.

## 9 CROCE DI INIEZIONE

Qui di seguito viene illustrata una possibile configurazione della testa pozzo e della Croce di iniezione (Figura 18). La configurazione proposta è compatibile con tutti i casing e tubing inclusi nella figura.

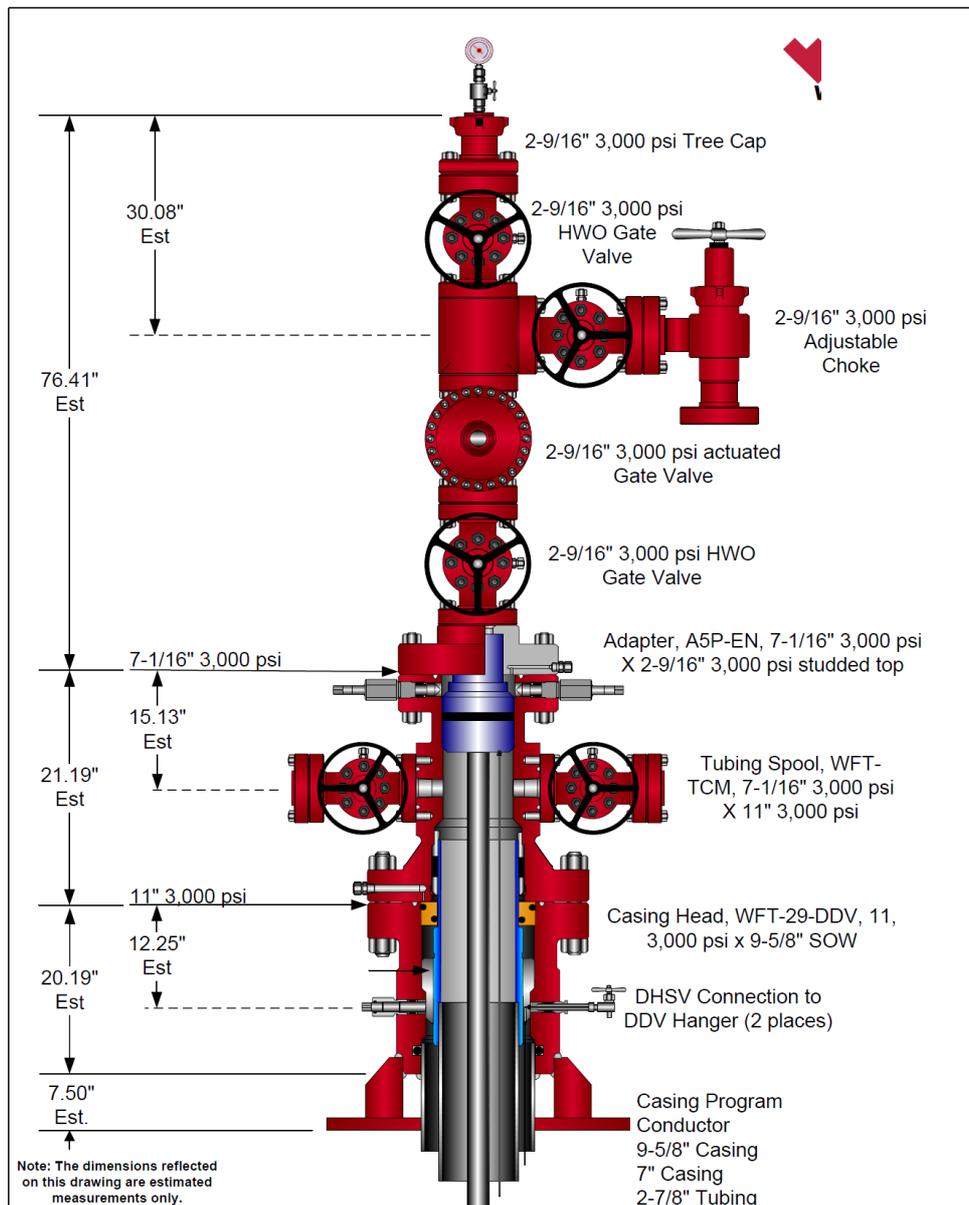


Figura 18 Testa pozzo con X-Mas Tree. Per i diametri del casing, si veda la sezione 7.1.1.

## 10 FLUIDI DI PERFORAZIONE E STIMA REFLUI

I fluidi impiegati nel corso della perforazione dovranno essere in grado di assicurare la pulizia del foro (capacità di trasporto dei cuttings in condizioni dinamiche e capacità di mantenere in sospensione il carico solido in condizioni statiche), soprattutto per quanto riguarda le fasi iniziali (di diametro maggiore) e per i fori deviati. Il fango di perforazione utilizzato dal CP al TD sarà un fango addizionato con un biopolimero, facilmente degradabile e rimovibile, che non va ad intaccare la qualità della roccia e le caratteristiche della faglia.

Il programma fango è basato sulle previsioni dei gradienti e dai dati desunti da pozzi simili. La seguente tabella illustra le tipologie di fluidi previsti per la perforazione pozzo W1 e WI Dir. Tutte le informazioni rilevanti sui fluidi necessari per le diverse fasi di perforazione (comprese le caratteristiche fango previste, i volumi fango stimati e il sistema composizione fango, ecc.) sono riassunti nelle seguenti tabelle. Le caratteristiche dei fanghi proposti dalla società di servizio, dovranno soddisfare i requisiti riassunti nella tabella che segue.

Il programma fango prevede l'utilizzo di fanghi a base acquosa e di additivi specifici, differenziati per le diverse fasi di perforazione (Tabella 10).

**Tabella 10. Tipologia dei fanghi di perforazione**

Fase (in)	Profondità RKB (m)	Diametro Csg (in)	Tipo di fango (*)	Densità fango (kg/l)
17" 1/2 - 12" 1/4	30	13" 3/8 - 9 5/8	FW--GE/ cuscini viscosi	1.05 – 1.10
12" 1/4 - 8" 1/2	250	6" 5/8	FW-PO	1.05 – 1.10
			Fluido di Completamento	1.00

(\*) Descrizione Codice Fango: FW-GE Fango bentonitico a base d'acqua dolce; FW-PO Fango a base acqua dolce e polimeri

**Tabella 11. Requisiti dei fanghi (@ 50 °C).**

Diametro foro (in)	17" 1/2 - 12" 1/4	12" 1/4 - 8" 1/2
Tipo di Fango	FW-GE	FW- PO
Profondità TVD RKB (m)	30	250
Max density (kg/lit.)	1.05 – 1.10	1.10 -1.15
Funnel viscosity (sec/qt)	40	30
PV (cps)	18 - 22	18 - 22
YP (gr/100 cm <sup>2</sup> )	12 - 15	10 - 12
Gels 10" /10' (gr/100 cm <sup>2</sup> )	6 / 7	6 / 7
API filtrate (cc/30')	< 10	< 5
MBT (kg/cm)	< 10	< 10
PH	9 - 10	9 - 10
LGS %	< 7	< 6

Viste le caratteristiche dei pozzi, non sono attesi particolari problemi circa la pulizia del foro.

Nel caso in fase operativa la pulizia del foro dovesse diventare un problema, è possibile migliorare la capacità pulente in diversi modi, come:

- aumento della portata del flusso, se possibile,
- modifica della reologia dei fanghi,
- riduzione della velocità di penetrazione (ROP)
- pulitura del foro con pillole viscosive idonee.

Il metodo andrà selezionato caso per caso, sulla base delle condizioni reali del pozzo, come compromesso tra pulizia del foro, densità di circolazione equivalente e potenziali perdite di circolazione.

### 10.1 Fase Superficiale in diametro 12"¼

La perforazione del pozzo all'interno della zona dell'acquifero (fascia dal piano di campagna alla quota di circa 35 m) avverrà mediante l'impiego, come fluido di perforazione, di sola acqua potabile ed utilizzata per i fabbisogni civili della zona senza l'utilizzo di alcuna sostanza inquinante ma con l'esclusiva aggiunta di bentonite (argilla naturale), sostanza naturale nota per le sue proprie assorbenti, che verrà utilizzata per dare al fluido di perforazione la viscosità necessaria. Inoltre, alla fine della fase di perforazione, verrà inserito un "casing" (tubo di acciaio) di protezione di tale fascia al fine di non permettere alcun contatto tra la falda acquifera e le sostanze che verranno utilizzate durante le successive fasi di perforazione.

Alla realizzazione del pozzo non è connessa alcuna emissione liquida inquinante, ma solo la produzione di acque reflue provenienti dalla disidratazione del fango in eccesso che saranno idoneamente stoccate e smaltite tramite ditte specializzate presso impianti autorizzati.

Inoltre la durata delle attività di perforazione in esame è trascurabile, comportando non più di un totale di 1/2 giorni di lavoro.

### 10.2 Fase finale in diametro 8" ½

Per questa sezione di foro sarà adoperato un sistema fango ai polimeri del tipo non – dispersed (tipo di fango nel quale le argille non vengono disperse).

Per minimizzare il problema di idratazione e rigonfiamento delle argille, che potrebbero essere la causa di frane, scavarnamenti del foro e forzamenti della batteria di perforazione, potrebbe essere necessario realizzare una stabilizzazione delle argille mediante l'uso di sali inibitori tipo KCL.

Il peso del fango sarà tenuto alla densità minima consentita dalle condizioni del foro.

Il polimero utilizzato sarà un biopolimero distruggibile a fine fase in modo da non creare barriere alla penetrazione della CO<sub>2</sub> iniettata durante il test di iniezione.

### 10.3 Calcolo dei volumi

#### 10.3.1 Stime dei volumi dei fanghi

La Tabella 12 riporta una stima preliminare dei volumi di fango da produrre nel caso di un pozzo verticale.

Tabella 12. Stima volumi fango per pozzo verticale

CALCOLO VOLUMI FANGO per i pozzi W1				
Fase		12 ¼"	8 ½"	Totale
Mud type	Kill mud	FW-POL	FW-POL	
Densità (kg/l)	1.40	1,10	1,15	
TVD RKB (m)		30	220	250,00
Volume foro (m <sup>3</sup> )		2,28	7,92	10,20
Volume in superficie (m <sup>3</sup> )		15	15	30,00
Volume nel Casing (m <sup>3</sup> )		0	1,2	1,20
Fattore di Diluizione		2,0	2,0	
Volume di Diluizione (m <sup>3</sup> )		4,56	15,84	20,40
Volume fango per fase (m <sup>3</sup> )		21,8	40,0	61,80
Vol. ricevuto da fase precedente (m <sup>3</sup> )		0	30	30,00
Volume Confezionato (m <sup>3</sup> )	50	21,84	9,96	31,80

La Tabella 13 riporta una stima preliminare dei volumi di fango da produrre nel caso di un pozzo direzionato.

Tabella 13. Stima volumi fango per pozzo direzionato.

CALCOLO VOLUMI FANGO per il pozzo WI				
Fase		17 ½"	12 ¼"	Totale
Mud type	Kill mud	FW-POL	FW-POL	
Densità (kg/l)	1.40	1,30	1,30	
TVD RKB (m)		30	240	270,00
Volume foro (m <sup>3</sup> )		4,66	18,24	22,90
Volume in superficie (m <sup>3</sup> )		15	15	30,00
Volume nel Casing (m <sup>3</sup> )		0	2,46	2,46
Fattore di Diluizione		2,0	2,0	
Volume di Diluizione (m <sup>3</sup> )		9,31	36,48	45,79
Volume fango per fase (m <sup>3</sup> )		28,97	72,18	101,14
Vol. ricevuto da fase precedente (m <sup>3</sup> )		0	30	30,00
Volume Confezionato (m <sup>3</sup> )	50	28,97	42,18	71,14

### 10.3.2 Raccolta Dei Detriti Di Perforazione

Durante la perforazione del pozzo viene prodotta una quantità di detriti dovuta al foro perforato. La Tabella 14 mostra la stima delle quantità di detriti (cuttings) e di fanghi di perforazione esausti che verranno prodotti durante la perforazione del pozzo. Tali quantitativi sono normalmente calcolati secondo le assunzioni ed i criteri seguenti:

- 30% di maggiorazione per i fori da 36" e da 26";
- 20% di maggiorazione per i fori da 16", 12 ¼" e 8 ½";
- Fango a base acquosa ritenuto dai detriti = 70 % v/v cuttings;
- Densità dei cuttings (bagnati da fango) = 1.8 kg/l.

Tabella 14. Calcolo del volume dei detriti.

CALCOLO VOLUME/PESO DETRITI DA ASPORTARE NEL POZZO VERTICALE							
Fase	metri perforati	Capacità l/m	cuttings m <sup>3</sup> teorici	maggiorazione	cuttings m <sup>3</sup> reali	m <sup>3</sup> cuttings + fango	Peso (ton)
Foro 12 ¼"	30	76,04	2,28	1,20	2,74	4,65	8,38
foro 8 ½"	220	36,61	8,05	1,20	9,67	16,43	29,58
<b>Totale</b>	<b>250</b>		<b>10,34</b>		<b>12,40</b>	<b>21,08</b>	<b>37,95</b>
CALCOLO VOLUME/PESO DETRITI DA ASPORTARE NEL POZZO DIREZIONATO							
Fase	metri perforati	Capacità l/m	cuttings m <sup>3</sup> teorici	maggiorazione	cuttings m <sup>3</sup> reali	m <sup>3</sup> cuttings + fango	Peso (ton)
Foro 17 1/2"	30	155,20	4,66	1,20	5,59	9,50	17,10
Foro 12 ¼"	240	76,04	18,25	1,20	21,90	37,23	67,01
<b>Totale</b>	<b>250</b>		<b>22,91</b>		<b>27,49</b>	<b>46,73</b>	<b>84,11</b>
Fango base acqua che rimane sui cuttings 70 % v/v cuttings							
Densità cuttings contaminati 1,80 kg/l.							

## 11 CEMENTAZIONI

### 11.1 Programmi di Cementazione dei Casing

I programmi relativi alle cementazioni dei casing riportati di seguito sono indicativi e finalizzati alla programmazione di massima. Dovranno essere rivisti in fase di ingegneria di dettaglio e alla luce delle reali condizioni di pozzo dopo i logs.

La formulazione delle malte dovrà essere fatta sulla base di prove di laboratorio utilizzando i prodotti presenti in cantiere con congruo anticipo rispetto l'esecuzione dei lavori.

Il programma di dettaglio per ogni lavoro che richieda il confezionamento di malte di cemento sarà preparato dal Fornitore del relativo servizio e sottoposto per approvazione prima dell'inizio delle operazioni.

### 11.2 Cementi resistenti alla CO<sub>2</sub>

In presenza di CO<sub>2</sub>, nel cemento avviene un processo di degenerazione/corrosione che si può riassumere in tre fasi:

- La formazione di acido carbonico in presenza di umidità;
- La carbonatazione della Portlandite e delle fasi C-S-H: infatti l'acido carbonico penetra nella matrice del cemento e preferenzialmente reagisce con la Portlandite per formare carbonato di calcio;
- L'erosione/disgregazione del cemento formando prodotti altamente solubili in acqua (p.e. bicarbonato di calcio), che possono percolare facilmente fuori della matrice cementizia.

L'aggiunta al cemento di materiali pozzolanici (per esempio terra di diatomee, cenere vulcanica, fumo di silice, meta caolino, ceneri volatili, argilla calcinata) è un modo efficace per ridurre in percentuale la quantità di Portlandite, di rafforzare la matrice e diminuire la permeabilità del cemento.

La componente "SiO<sub>2</sub>" dei materiali pozzolanici reagisce con la Portlandite per formare ulteriori fasi C-S-H in base al "comportamento pozzolanico":



Finora, i materiali pozzolanici sono stati generalmente aggiunti cementi API come estensori per malte cementizie di riempimento "filler slurries".

I materiali pozzolanici hanno generalmente un peso specifico inferiore a quello del cemento, di conseguenza, in un costante rapporto acqua /materiale secco, le aggiunte pozzolaniche ridurranno la densità della malta cementizia. Al contrario, ad una densità costante della

malta l'aggiunta di pozzolana ridurrà la quantità di acqua nell'impasto. Ciò comporta una diminuzione significativa della permeabilità del cemento al raggiungimento della presa.

Infine, la sostituzione parziale di cemento con materiali pozzolanici chimicamente relativamente inerti contribuisce essenzialmente ad un ulteriore miglioramento della resistenza alla corrosione da CO<sub>2</sub>.

### 11.3 Conductor Pipe

Il Conductor pipe da 9"5/8, pozzo W1 e da 13" 5/8, pozzo WI, verranno cementati con l'ausilio di uno stinger e fino all'arrivo della malta a giorno.

Al termine della cementazione primaria, dopo qualche ora di attesa della presa cemento, se necessario, si dovrà eseguire una ricementazione dall'alto con la discesa di tubini da 1" nell'intercapedine Foro - Tubo guida. La Tabella 15 evidenzia i programmi di cementazione per i due pozzi.

Tabella 15. Programma di cementazione.

Programma di Cementazione Casing Superficiale 9 5/8" pozzo W1			
O. Hole Dia, in	F. Shoe MD, m	F. Collar MD,m	Top Tail cmt, m
12,25	35	N/A	p.c.
Xcess on OH, %	Last csg MD, m	Last csg od, in	Inner Str. Y/N
80	N/A	N/A	Y
Shoe Track Vol. mc.	0,00	Slurry Volume mc.	1,82
Csg.-O. H. Vol. mc.	1,01	Slurry Weight	1,9 kg/l
Xcess Vol on OH, mc.	0,81	Extender Type	
Csg.-Csg. Vol, mc.	0,00	Extender %	
Total slurry vol, mc.	1,82	Cement Cl G Ton.	2,6
Lead slurry Vol, mc.	1,82	Fresh Water mc.	1,2
Tail slurry Vol, mc.	0,00	Extender Ton.	

Programma di Cementazione Casing Superficiale 13 3/8" pozzo WI			
O. Hole Dia, in	F. Shoe MD, m	F. Collar MD,m	Top cmt, m
17,5	35	N/A	p.c.
Xcess on OH, %	Last csg MD, m	Last csg od, in	Inner Str. Y/N
80	N/A	N/A	Y
Shoe Track Vol. mc.	0,00	Slurry Volume mc.	4,06
Csg.-O. H. Vol. mc.	2,25	Slurry Weight	1,9 kg/l
Xcess Vol on OH, mc.	1,80	Extender Type	

Csg.-Csg. Vol, mc.	0,00	Extender %	
Total slurry vol, mc.	4,06	Cement CI G Ton.	5,7
Lead slurry Vol, mc.	4,06	Fresh Water mc.	2,6
Tail slurry Vol, mc.	0,00	Extender Ton.	

#### 11.4 Casing 6" 5/8

È prevista la cementazione con risalita della malta a giorno. I volumi considerati sono calcolati teoricamente. La Tabella 16 evidenzia i programmi di cementazione per i due pozzi.

Tabella 16. Programma di cementazione casing 6"5/8

Programma di Cementazione Casing Verticale 6 5/8" pozzo W1			
O. Hole Dia, in	F. Shoe MD, m	F. Collar MD,m	Top Tail cmt, m
8,5	250	240	p.c.
Xcess on OH, %	Last csg MD, m	Last csg od, in	Inner Str. Y/N
10	35	N/A	N
Shoe Track Vol. mc.	0,19	Slurry Volume mc.	5,65
Csg.-O. H. Vol. mc.	3,07	Slurry Weight	1,9 kg/l
Xcess Vol on OH, mc.	0,31	Extender Type	
Csg.-Csg. Vol, mc.	2,08	Extender %	
Total slurry vol, mc.	5,65	Cement CI G Ton.	7,9
Lead slurry Vol, mc.	5,65	Fresh Water mc.	3,6
Tail slurry Vol, mc.	0,00	Extender Ton.	
Programma di Cementazione Casing 6 5/8" Pozzo Direzione WI			
O. Hole Dia, in	F. Shoe MD, m	F. Collar MD,m	Top Tail cmt, m
12,25	270	260	p.c.
Xcess on OH, %	Last csg MD, m	Last csg od, in	Inner Str. Y/N
10	35	N/A	N
Shoe Track Vol. mc.	0,19	Slurry Volume mc.	16,15
Csg.-O. H. Vol. mc.	12,62	Slurry Weight	1,9 kg/l
Xcess Vol on OH, mc.	1,26	Extender Type	
Csg.-Csg. Vol, mc.	2,08	Extender %	
Total slurry vol, mc.	16,15	Cement CI G Ton.	22,6
Lead slurry Vol, mc.	16,15	Fresh Water mc.	10,4
Tail slurry Vol, mc.	0,00	Extender Ton.	

## 12 PROGRAMMA DI ACQUISIZIONE DATI (PRELIMINARE)

Per la caratterizzazione geomeccanica, petrofisica e dinamica delle sequenze attraversate e dei livelli interessati ai fini dei test di iniezione della CO<sub>2</sub>, sono previste acquisizioni di log con lo scopo, tra l'altro, di ottenere:

- caratterizzazione petrofisica delle formazioni attraversate (porosità, permeabilità, capacità di contenimento, fluidi),
- caratterizzazione geomeccanica delle formazioni attraversate e della faglia,
- caratterizzazione mineralogica della matrice,
- aggiornamento dei modelli statici e dinamici (migrazione della CO<sub>2</sub>),
- verifica del profilo di pressione e temperatura.

Si procederà inoltre se possibile, al campionamento delle acque di formazione, la cui caratterizzazione è importante per la modellazione del comportamento della CO<sub>2</sub> con i fluidi di formazione.

Si prevede inoltre di raccogliere una serie di carote nei tratti più significativi (interessando anche le zone di faglia) così da poter caratterizzare da un punto di vista petrofisico, mineralogico, chimico e geomeccanico la sequenza interessata.

### 12.1 DATI GEOFISICI

Il piano di monitoraggio geofisico (di OGS HR1 Sulcis Fault Lab) comprende:

- Misure durante la perforazione e dopo la perforazione;
- Misure prima dell'iniezione e dopo l'iniezione;

da effettuarsi mediante l'installazione di sensori permanenti e non permanenti.

I programmi di indagine e le soluzioni tecniche ipotizzate possono essere soggette ad adeguamenti e / o modifiche a seconda delle condizioni operative e geologiche di campo e i risultati derivati dalla perforazione dei pozzi.

#### 12.1.1 Scopo e sviluppo del piano di monitoraggio

Per le diverse tipologie di pozzo sono previsti i seguenti strumenti/tecnologie di raccolta dati:

### 12.1.1.1 Pozzo W1 (primo pozzo)

Per il pozzo verticale si prevedono:

- **Vertical seismic profiling (VSP)** per l'esplorazione e la caratterizzazione del sito, dopo la perforazione del pozzo;
- **Logs** registrati prima della discesa del casing, per la caratterizzazione delle formazioni e da utilizzare per la calibrazione geofisica dati sismici di pozzo e di superficie. Includono logs sonici e di resistività ed il loro costo è a carico del Drilling.
- **Cross Well (Xwell) Sorgenti Sismiche (borehole sparker and/or borehole air gun)**. Per la caratterizzazione geofisica di dettaglio fra i pozzi e il monitoraggio del movimento della CO<sub>2</sub> in relazione alla sua iniezione. Da effettuare, dopo la perforazione di entrambi i pozzi, una prima registrazione per individuare le condizioni di base seguita ad intervalli di tempo da altre dopo l'iniezione di CO<sub>2</sub>.
- **Installazione Permanente di Elettrodi**, installazione di elettrodi esterni al casing (necessario l'uso di un casing in fiberglass) e ad esso solidali con la cementazione del casing stesso. Tali elettrodi sono necessari per la caratterizzazione geofisica fra i pozzi od attorno al pozzo verticale con l'uso di elettrodi alla superficie e/o nei pozzetti dei piezometri del monitoraggio del movimento della CO<sub>2</sub> in relazione alla sua iniezione. Da effettuare una prima registrazione per individuare le condizioni di base seguita da una o più altre misure dopo l'iniezione di CO<sub>2</sub>.

### 12.1.1.2 Pozzo WI (iniezione)

Per il pozzo direzionato di iniezione si prevedono:

- **OPZIONALE Vertical seismic profiling (VSP)** per l'esplorazione e la caratterizzazione del sito, dopo la perforazione del pozzo;
- **Logs** registrati prima della discesa del casing, per la caratterizzazione delle formazioni e da utilizzare per la calibrazione geofisica dati sismici di pozzo e di superficie. Includono logs sonici e di resistività.
- **Cross Well (Xwell) Ricevitori Sismici**
- **Fiber optic DAS**, tipo Constellation (alta sensibilità), richiesto Wounded Helical per la sua ampia risposta di sensibilità laterale (necessaria per crosswell). Installazione permanente del DAS all'esterno del casing, Per l'uso efficace di questi sensori è necessario che il punto più basso di misura sia il più vicino possibile alla zona di faglia (le nuove ipotesi di revisione del drilling non sembrano adeguate per questo scopo), e, al tempo stesso il pozzo verticale sia approfondito sino a 300-350 m per tenere conto delle recenti interpretazioni del punto di iniezione e modifiche del progetto.

- **Borehole 3C** (tre componenti) catena di geofoni. Richiesto per la sensibilità dell'analisi e la caratterizzazione delle onde P e S, in confronto con DAS. Consigliato un allineamento di 10 (minimo Cinque) o più geofoni da installare e cementare all'esterno del casing, nella sua parte inferiore.
- Possibile installazione di sensori sulla stringa di iniezione (DAS speciale e/o idrofoni da pozzo) per discendere sino ai punti più profondi di iniezione e rendere efficaci le misure di monitoraggio dal pozzo verticale W1 e, in questo caso, anche dalla superficie, cosa quest'ultima che potrebbe rendersi necessaria nel caso di fuoriuscita laterale della CO<sub>2</sub> e non solo nel piano contenente i due pozzi progettati.

Per la caratterizzazione geofisica di dettaglio fra i pozzi e il monitoraggio del movimento della CO<sub>2</sub> in relazione alla sua iniezione.

Da effettuare una prima registrazione per individuare le condizioni di base seguita da una o più altre misure dopo l'iniezione di CO<sub>2</sub>.

A titolo di riferimento, la

Tabella 17 evidenzia le caratteristiche delle attrezzature impiegabili e ne illustra l'aspetto.

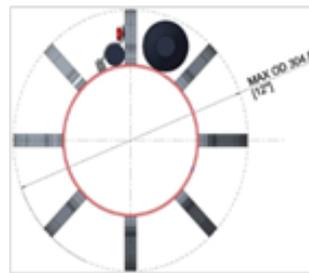
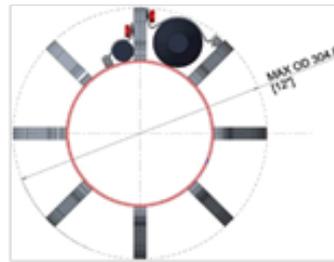
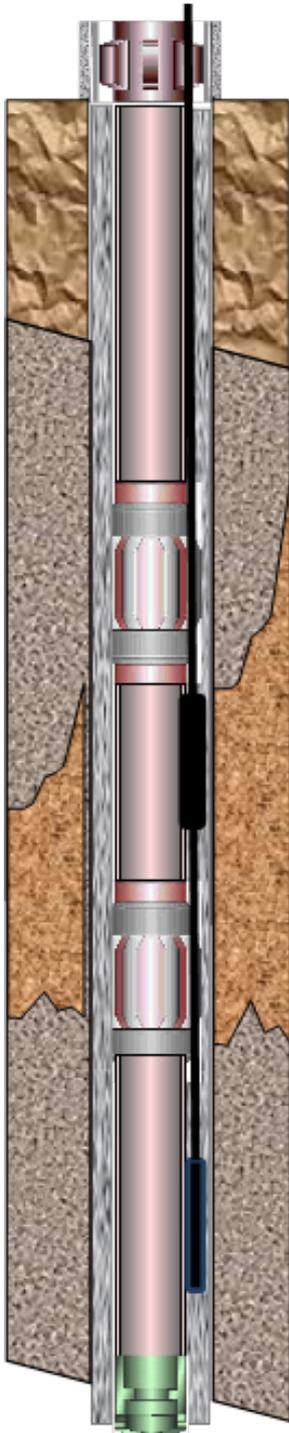
Si sottolinea il fatto che le considerazioni tecniche sopra esposte sono da considerarsi preliminari, soggette a revisione e conferma complessiva, in fase di prossima pianificazione, tenendo conto dei tempi tecnici di procacciamento e preparazione della strumentazione geofisica. Data la grande importanza della fase di monitoraggio nell'ambito del progetto, anche in prospettive future, sono ancora in fase di attenta valutazione soluzioni tecniche diversificate per il monitoraggio geofisico, con diverse opzioni, sia per l'installazione dei sensori permanenti che per l'esecuzione dei rilievi geofisici con sensori non permanenti. Nella definizione finale del progetto alcune di queste potranno venire confermate o scartate a seconda dell'analisi tecnica costi/benefici, tempi e fasi di realizzazione, ed anche in funzione di problematiche ed imprevisti che possono emergere in fase di perforazione.

In particolare alcune soluzioni dipendono dal progetto del drilling, in particolare dalle soluzioni adottate per la fase di completamento, e dalle geometrie dei pozzi, che sono mutate nel corso del progetto. Dato che ora l'iniezione prevista si è spostata in profondità, il pozzo verticale W1 richiederebbe un approfondimento maggiore, o, in alternativa le traiettorie del pozzo deviato richiederebbero una ulteriore revisione per raggiungere punti di

iniezione

più

superficiali.



Centralizzatori, Con e Senza Clampa, per i Geofoni



Casing 6" 5/8 con geofoni e centralizzatori



Clampa fissaggio ravi

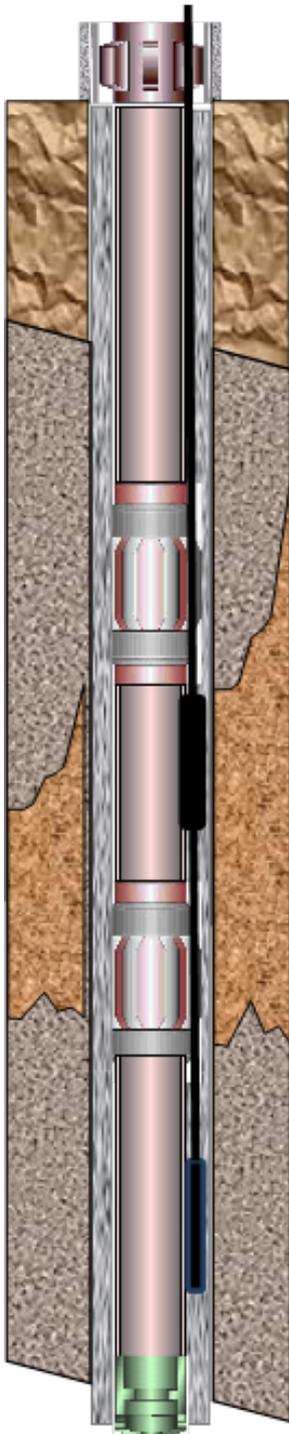
Figura 19 illustra alcune delle condizioni in pozzo delle attrezzature di fondo.



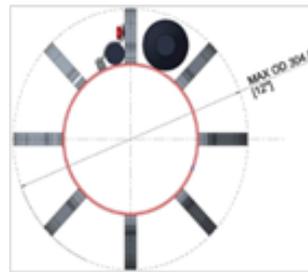
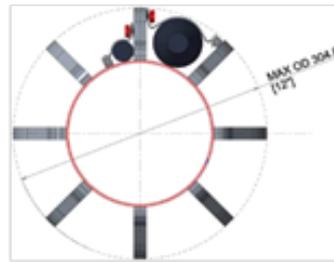
Tabella 17. Attrezzature geofisiche.

n.	Description	Manufacturer	OD mm	length	Model	Application
1	Hydrophone array	Geotomographie	50 (cable 20)	300 m	BHC-4	VSP and crosswell wireline
2	3C geophone chain, 5 elements	Geospace Seiscable	45.72 cable 16.3	300 m	M-180 OMNI-2400	VSP and crosswell buried outside casing
3	Borehole geophone	Avalon	87	1850 m	ASR	VSP and crosswell wireline
4	Borehole geophone	Avalon	44	1850 m	GSR	VSP and crosswell wireline
5	Air-gun	Bolt	78	500 m	5500 H	Crosswell
6	Sparker	Geotomographie	44	1200 m	SBS-42	Crosswell
7	24 Electrode array	Astier	20 cable 10	300 m		Geoelectric crosshole survey
8	Geoelectric System	MPS				Surface and surface-hole geoelectric

					
2 – Geospace Seiscable	3 - Borehole geophone ASR-1	4 - Borehole geophone GSR-1	Winch and Tycho cable (OD 8.3 mm)	Minivib	
					
6 – Sparker SBS42	1 - Hydrophone array	5 - Bolt air-gun			



Casing 6" 5/8 con geofoni e centralizzatori



Centralizzatori, Con e Senza Clampa, per i Geofoni



1C or 3C Geophone Borehole Cable



Clampa fissaggio cavi

Figura 19 Configurazione CSG strumentato & dettaglio componenti.

## 12.2 CAROTAGGI

### 12.2.1 Carote di fondo

Per soli scopi stratigrafici, potranno essere prelevate delle carote di fondo di circa 9 metri ciascuna. Le carote dovranno essere tagliate il più possibile indisturbate e prelevate - possibilmente - negli intervalli previsti.

W1	WI
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tratti da carotare: carotaggio continuo da 30 m a -250 m TVDSS (finché non si intercetta l'ultima formazione prevista)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipologia di carote: standard</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tratti da carotare: da 210 m TVDSS a TD (nella zona di faglia)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipologia di carote: standard</li> </ul> </li> </ul>

### 12.3 Intervalli di Prelievo dei Campioni

Il campionamento è previsto dal primo ritorno di fango a giorno. I cuttings saranno campionati con una frequenza di campionamento che in linea di massima dovrà essere come riportato nella tabella sottostante e compatibile con le velocità di avanzamento. Tutti i campioni dei cuttings saranno successivamente inviati presso il centro di stoccaggio della Committente.

Intervallo (mTR)	Campioni non lavati e non asciugati 1serie	Campioni lavati ed asciugati	Campioni trattati con H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 1 serie
Da 40 m a Fondo	Ogni 5 m	Ogni 5 m	Ogni 5 m

La quantità di cutting da raccogliere ai vibrovagli (per le serie non lavati/non asciugati) dovrà essere circa 200 cc per serie (con esclusione dei campioni trattati con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Tutti i sacchetti dei campioni prelevati dovranno riportare, con inchiostro indelebile, il nome del pozzo, la profondità di prelievo ed il numero della serie.

Si precisa comunque che variazioni sulla frequenza di campionamento potranno essere effettuate a discrezione del geologo di cantiere e del geologo delle operazioni.

## 12.4 REGISTRAZIONI ELETTRICHE

### 12.4.1 Wireline Logging

I log elettrici che verranno acquisiti durante la perforazione del pozzo sono descritti di seguito.

Nel foro 12"1/4 (WI) verranno registrati:

- Gamma ray, resistivity log e sonic log (prima discesa);
- Dipmeter, caliper e Gamma ray (seconda discesa).
- Nel foro 8"1/2 (W1) verranno registrati:
- Gamma ray, resistivity log e sonic log.

È anche prevista l'acquisizione di VSP lungo l'intero intervallo perforato.

Il suddetto programma potrà subire eventuali modifiche a seguito dei dati che emergeranno durante la perforazione e delle condizioni del foro.

### **12.5 Completamento pozzo di iniezione**

Successivamente alla discesa del casing finale il pozzo di iniezione sarà completato con tubing 2 3/8". Di seguito viene illustrata, a scopo puramente indicativo, la tipologia di completamento, per permettere l'iniezione in sicurezza della CO<sub>2</sub> al fondo.

La composizione della "string" di completamento, una volta confermati i diametri dei casing, in ogni caso dovrà (a partire dal fondo) consistere in:

- Un Packer, a fissaggio idraulico o meccanico, per casing 6 5/8";
- Una serie di landing nipples per l'alloggiamento dei registratori di fondo (pressione, temperatura);
- Una valvola di circolazione;
- Una valvola di sicurezza;
- Un tubing hanger per l'alloggiamento nella testa pozzo.

La configurazione della testa pozzo è illustrata in Figura 18.

### **12.6 TEST DI INIETTIVITÀ**

Scopo ultimo del progetto è l'esecuzione di un test di iniezione al fine di verificare la reale iniettività della formazione e la conseguente diffusione della CO<sub>2</sub>.

Il test di iniezione verrà eseguito con CO<sub>2</sub>, in foro scoperto, in un intervallo di circa 10/20 metri.

In tutti i test descritti in letteratura riguardanti l'iniezione di CO<sub>2</sub> per scopi legati al CCS, è stata usata essenzialmente CO<sub>2</sub> pura, che è quindi consigliata per il SFL. Teoricamente altri

gas traccianti potrebbero essere mescolati con la CO<sub>2</sub>, come ad esempio l'He o l'H<sub>2</sub>, ma questo potrebbe incrementare i costi.

L'effettiva quantità di CO<sub>2</sub> e il tasso di iniezione saranno funzione della permeabilità dell'orizzonte in cui si inietta e della faglia. Un problema correlato che dovrebbe essere considerato è come la profondità di iniezione la pressione idrostatica in situ influenzeranno il volume del gas (e di conseguenza la quantità di CO<sub>2</sub> che deve essere acquistata per l'esperimento). La Figura 20 mostra il volume occupato da 1 t di CO<sub>2</sub> a varie profondità e le pressioni in situ associate (assumendo la pressione idrostatica costante). Si nota come il gas iniettato ad una data profondità aumenta di volume man mano che esso migra verso l'alto. Ad esempio, il gas iniettato a 100 m aumenterebbe di circa 10 volte in volume se raggiungesse la superficie (da 50 a 500 m<sup>3</sup>), e questa espansione contribuirà ai meccanismi che regolano la migrazione. Questa relazione avrà anche un impatto sulla capacità dei metodi geofisici di rilevare un'anomalia, in quanto una data massa di CO<sub>2</sub> risulterà essere un volume molto più piccolo a grandi profondità, piuttosto che una massa equivalente a minori profondità.

Anche la solubilità della CO<sub>2</sub> influenzerà la migrazione, in quanto la solubilità di un gas aumenta con il crescere della pressione, ma decresce con l'aumento della salinità. Non è noto se l'acqua interstiziale in profondità nel Sulcis sia salina o meno, considerando la vicinanza con il mare.

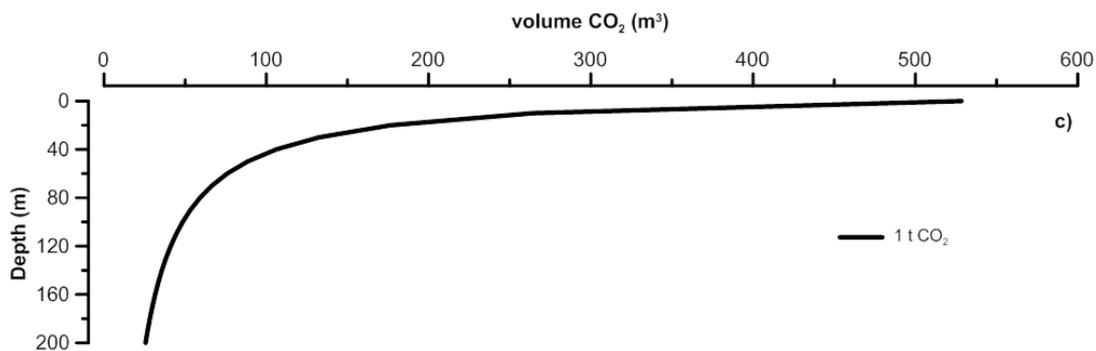


Figura 20 Variazione di volume di 1 t di CO<sub>2</sub> con la profondità, assumendo un gradiente costante di pressione idrostatica.

Le condizioni prevedibili per il test di iniezione sono:

- il volume di CO<sub>2</sub> da iniettare sarà nell'ordine delle decine di tonnellate;
- la portata di iniezione dovrà essere al massimo di 100 kg/day;
- l'iniezione durerà circa 2 settimane;
- le pressioni da raggiungere saranno di circa 25 atm (non superiori a 35 atm). In ogni caso non si dovrà superare la pressione di fratturazione determinata anche, se possibile, attraverso leak-off dopo discesa casing 6"5/8

- per l'iniezione non è previsto, al momento, l'uso di compressori;
- la CO<sub>2</sub> da iniettare potrà essere fornita in loco su bombole standard da 80 kg (circa 30 bombole) raccolte su un container aperto (dotato per la sicurezza di un allarme CO<sub>2</sub>) (Figura 21; Figura 22);



Figura 21 Assieme bombole CO<sub>2</sub>.

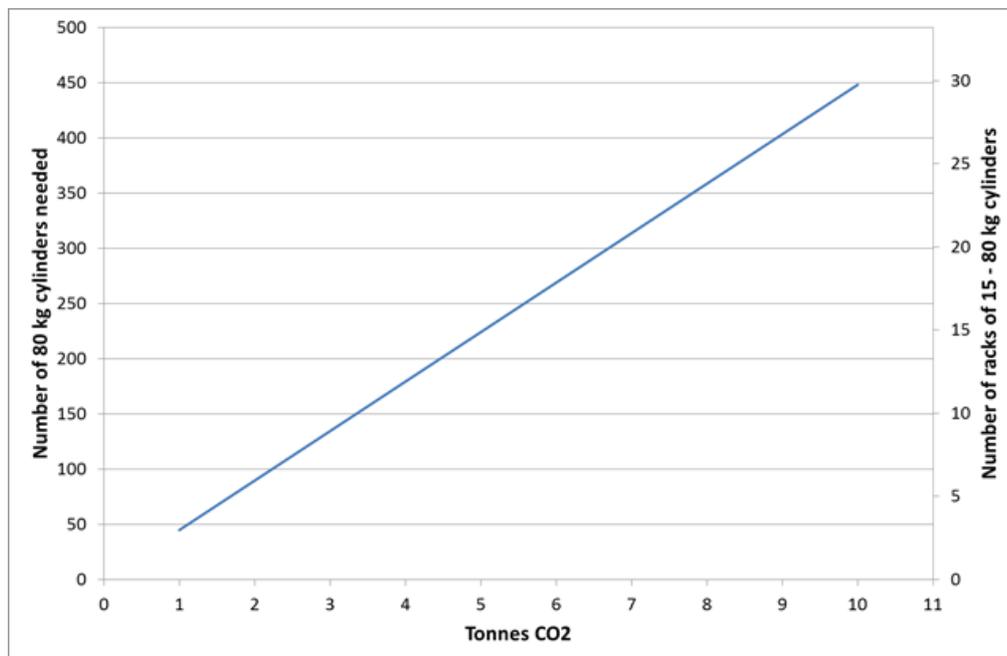


Figura 22 Grafico mostrante quante bombole da 80 kg (asse y a sinistra) e quanti porta bombole da 15 unità, 80 kg di bombole (asse y a destra) servirebbero per un dato numero di tonnellate iniettate di CO<sub>2</sub>.

- le bombole saranno collegate ad un unico manifold di raccolta del gas dalle bombole e collegato alla testa pozzo (Figura 23);
- il sistema deve garantire un flusso costante ed il mantenimento della pressione entro limiti prefissati;

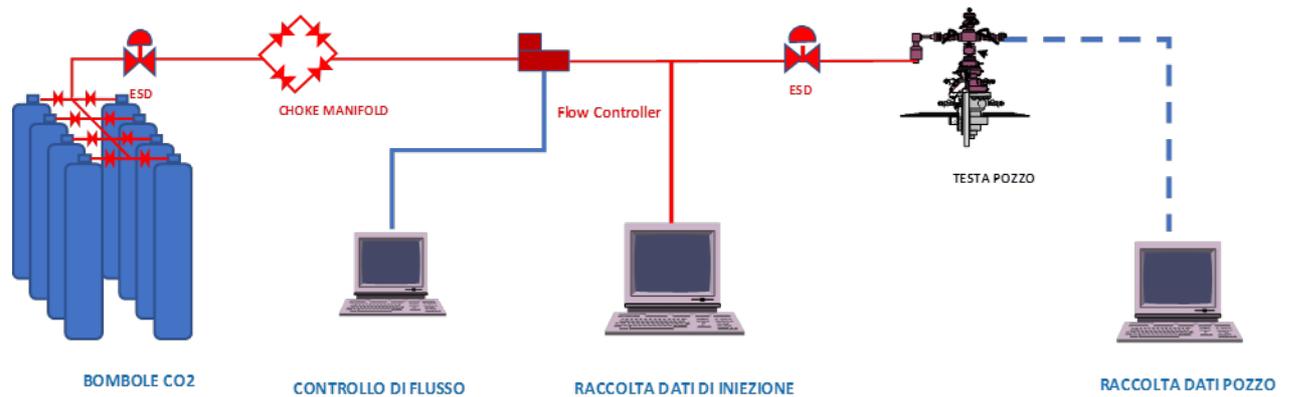


Figura 23 Schema del sistema di iniezione.

- deve essere previsto un sistema per prevenire il congelamento (dovuto alla caduta di pressione) del manifold e della linea di adduzione al pozzo;
- la portata deve essere regolata da un sistema di controllo del flusso (Figura 24);
- il sistema deve prevedere la registrazione continua di temperatura, pressione e portata del gas.



Figura 24 Regolatore di flusso.

NOTA: Per quanto concerne dati e l'utilizzo della CO<sub>2</sub> nelle fasi di preparazione ed iniezione fare riferimento all'Allegato 3.

Di seguito si riporta una schematizzazione della possibile configurazione della batteria di iniezione (Figura 25).



### 12.6.1 Organizzazione del cantiere durante la fase di iniezione

La fase di iniezione della CO<sub>2</sub> avverrà dopo la rimozione dell'impianto di perforazione.

Tutti i tests di tenuta delle attrezzature di pozzo (Testa pozzo, batteria di completamento, packer e attrezzature di fondo) ed i tests di formazione (Leak-Off, iniettività) saranno eseguiti prima del rilascio dell'impianto di perforazione.

Il nuovo cantiere deve essere autonomo, funzionare nell'arco delle 24 ore e opportunamente munito di Tecnici e maestranze. Il cantiere conterrà tutto il sistema Bombole CO<sub>2</sub> e relative scorte nel quantitativo previsto dal programma più almeno 20% di capacità aggiuntiva e dovrà avere un sistema di logistica che preveda la presenza di (vedi Figura 26) containers attrezzati come:

- Ufficio attrezzato con due/tre scrivanie, linea telefonica, computers, accesso a sistema di trasmissione dati.
- Unità di controllo e raccolta dati collegata a tutti i sensori ed unità di controllo del sistema.
- Unità laboratorio geochimico e geologico.
- Unità Servizi contenente un punto attrezzato per ristoro e pronto soccorso
- Un sistema di illuminazione con pali da cantiere e fari a luce bianca di almeno 1000 watt di potenza.
- Unità WC chimico o container wc e docce (simile a quanto in uso nell'impianto di perforazione) collegato alla preesistente fossa settica.
- Un generatore di elettricità a 220v e di potenza adeguata a sopperire a tutte le utenze previste in condizioni di massimo impiego (più almeno un 30% di ulteriore capacità per allacci non previsti).
- Avere l'accessibilità, al bisogno, di una gru da almeno 10 Ton di portata.
- Prevedere anche un sistema di controllo ingressi/uscite per avere sempre presente il numero di individui presenti in cantiere (POB) e tutta la cartellonistica di sicurezza richiesta dalle normative.

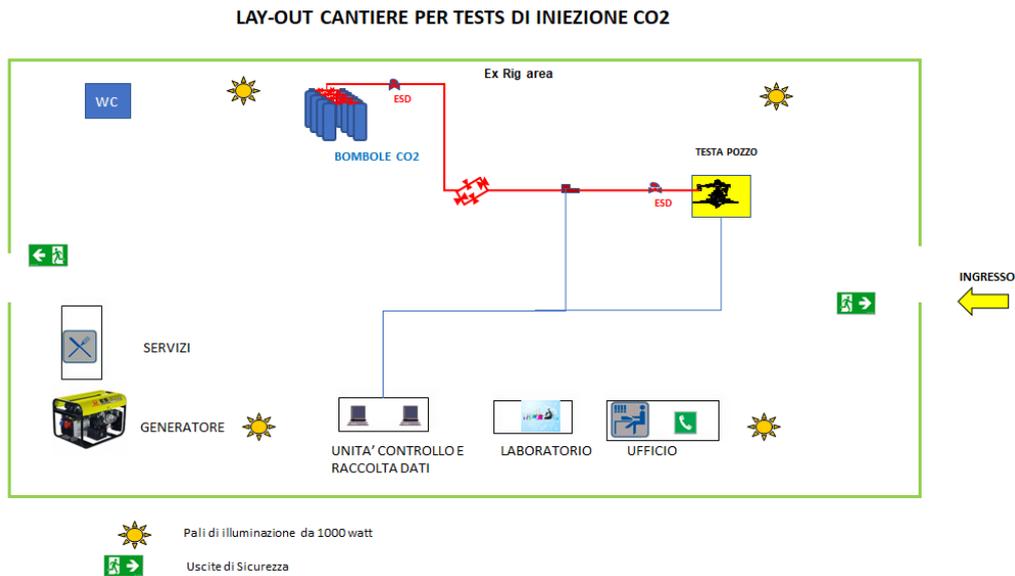


Figura 26 Layout di cantiere.

## 13 CONTROLLO ERUZIONI

### 13.1 Premessa

Durante la perforazione di un pozzo le formazioni attraversate possono essere rocce molto compatte o possedere delle caratteristiche di porosità.

La porosità viene definita primaria se costituita da vacuoli o da interstizi comunicanti e secondaria se costituita da fratture. Queste porosità sono quasi sempre il serbatoio di accumulo dei fluidi generati dalle formazioni ad esse adiacenti (rocce madri).

I fluidi in questione, siano essi acque o idrocarburi, devono, durante l'attività di perforazione, essere contenuti all'interno della formazione e la loro erogazione in superficie permessa e regolata solo attraverso un controllo continuo.

Quando questo controllo viene meno si parla di eruzione.

L'eruzione di un pozzo (anche detta Blow-Out) è un fenomeno che non si manifesta improvvisamente ma avviene con una certa gradualità e con dei segnali di allarme che ne permettono il riconoscimento e quindi consentono di intervenire per riportare il sistema alle condizioni di sicurezza iniziali.

La tabella seguente (

Tabella 18) elenca alcune di queste situazioni durante le varie fasi della vita di un pozzo.

Tabella 18. Fasi pozzo - segnali di allarme.

FASI	CAUSE	SEGNALI DI ALLARME
PERFORAZIONE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carico Idrostatico</li> <li>• Pistonaggio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variazioni del livello del fango</li> <li>• Presenza di fluidi di strato nel fango</li> </ul>
COMPLETAMENTO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carico Idrostatico</li> <li>• Pistonaggio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variazioni del livello del brine</li> <li>• Presenza di fluidi di strato nel brine</li> </ul>
TEST D'INIEZIONE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Malfunzionamento del "down Hole" equipment o della testa pozzo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pressioni alle intercapedini</li> </ul>
CHIUSURA MINERARIA/ABBANDONO TEMPORANEO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mancata tenuta dei tappi di chiusura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Venuta a giorno di fluidi di strato</li> </ul>

Teoricamente, questo controllo può venire meno in qualsiasi momento della vita di un pozzo:

- Durante la perforazione;
- Durante il completamento;
- Durante i test d'iniezione;
- Dopo la sua chiusura-temporanea.

In tutte queste fasi il controllo dei fluidi di formazione avviene mediante sistemi divisibili in:

- Primari o Attivi
- Secondari o Passivi.

### 13.1.2 Sistemi Primari

Sono quei sistemi che unitamente ad adeguate procedure operative, prevengono l'ingresso involontario in pozzo dei fluidi di formazione (es. un fango di perforazione o un fluido di completamento di adeguata densità).

### 13.1.3 Sistemi Secondari

Sono quei complessi di attrezzature e di apparecchiature di sicurezza (Preventers) consistenti in sistemi di valvole ridondanti, sia in termini di pressioni di esercizio che in numero di funzioni, aventi la capacità di chiudere ermeticamente il pozzo qualora esistesse la minaccia di una eruzione o quando questa fosse già in atto.

Alla chiusura delle apparecchiature di sicurezza l'eventuale gas presente verrà dirottato verso la fiaccola e qui bruciato.

La Tabella 19 elenca alcune di queste situazioni durante le varie fasi della vita di un pozzo.

Tabella 19. Sistemi di prevenzione attivi e passivi.

FASI	SISTEMI DI PREVENZIONE ATTIVI (Barriere Primarie)	SISTEMI DI PREVENZIONE PASSIVI (Barriere Secondarie)
PERFORAZIONE	Fango di perforazione	Blow Out Preventers
COMPLETAMENTO	Brine	Blow Out Preventers
TEST D'INIEZIONE	Completamento ( <i>Packer + Tubings</i> )	Valvole di sicurezza Testa di iniezione Valvole manuali
CHIUSURA MINERARIA TEMPORANEA	Tappi di chiusura mineraria eseguiti ad arte ed in ottemperanza alle leggi minerarie	Valvole attuate

### 13.4 Attività preventiva

Vista la peculiarità del progetto che non prevede la ricerca di Idrocarburi ma solo una formazione porosa/permeabile per testare l'iniettabilità di fluidi, il rischio Blow-out è da considerarsi praticamente nullo.

Ai sistemi "hard" si aggiungeranno, comunque, anche strumenti "soft" quali:

- un'adeguata ed accurata programmazione ingegneristica sia per l'attività routinaria che per le situazioni di potenziale pericolo o emergenza;
- l'addestramento (certificato da ente esterno) di tutto il personale preposto al controllo del pozzo;
- procedure di verifica e collaudo periodico di tutte le attrezzature di controllo del pozzo sia nella fase di installazione iniziale che periodicamente nel corso delle attività;
- utilizzo di sistemi computerizzati per il controllo dei parametri di lavoro;
- analisi automatica (Gas detection e Cromatografia) dei fluidi in circolazione.

## 14 TEMPI

DIAGRAMMA DI AVANZAMENTO PREVISTO					
Nome del pozzo	SULCIS			W1 Verticale	
Fase	MD (m)	Ore	Ore Totali	Giorni	Operazioni
	0	0	0	0,00	
12"1/4 per CP 9"5/8	0	6	6	0,25	Preparativi
	40	20	26	1,08	PERFORA @ 40m
	40	8	34	1,42	Set CP 9"5/9 & CMT
		6	40	1,67	WoC Rig-up Diverter
8 1/2" per csg 6" 5/8	100	24	64	2,67	Drill 8"1/2
	150	24	88	3,67	Coring
	250	23	111	4,63	Run & cement csg
	250	10	121	5,04	Well-head

DIAGRAMMA AVANZAMENTO W1 Verticale

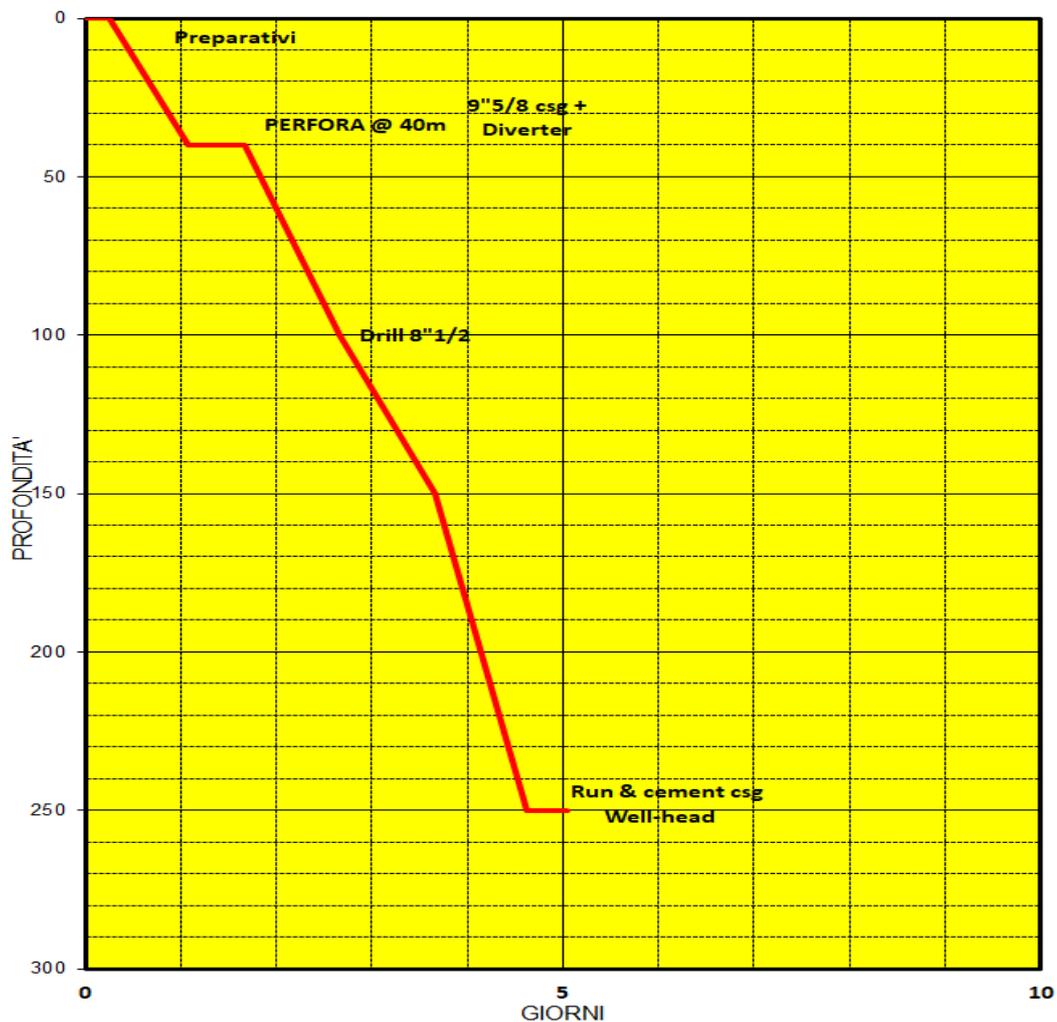
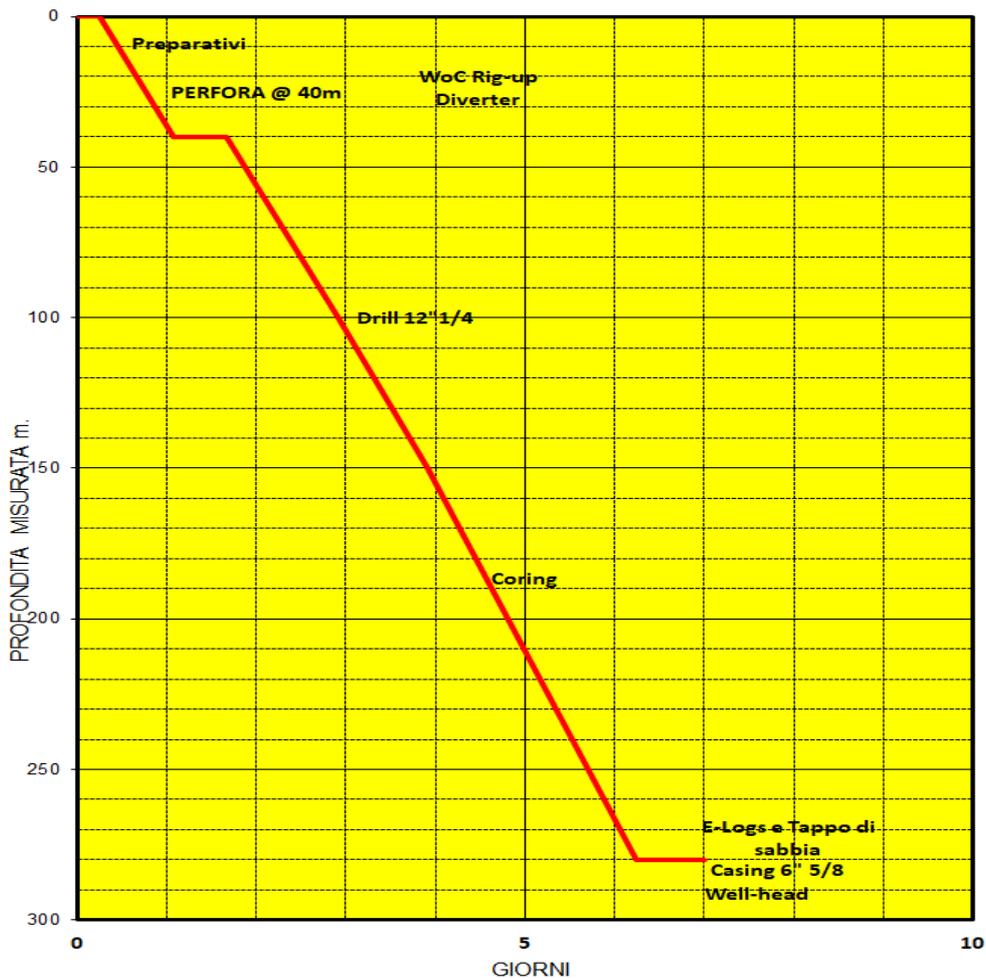


DIAGRAMMA DI AVANZAMENTO PREVISTO					
Nome del pozzo	SULCIS			WI Direzionato	
Fase	MD (m)	Ore	Ore Totali	Giorni	Operazioni
17"1/2 CP 13"3/8	0	6	6	0,25	Preparativi
	40	20	26	1,08	PERFORA @ 40m
	40	8	34	1,42	Set CP 13"3/9 & CMT
		6	40	1,67	WoC Rig-up Diverter
12 1/4" csg 6 5/8"	100	30	70	2,92	Drill 12"1/4
	150	24	94	3,92	carotaggio
	280	24	118	4,92	carotaggio
	280	20	138	5,75	E-Logs e Tappo di sabbia
	280	12	150	6,25	Run & cement csg
	280	10	160	6,67	Perfora scarpa e lava T. sabbia
	280	8	168	7,00	Well-head

DIAGRAMMA AVANZAMENTO POZZO DIR.



## 15 COSTI

I costi di seguito indicati costituiscono una stima budgettaria basata sulle conoscenze del mercato delle attività assimilabili per la ricerca di idrocarburi in Italia e non sono frutto né di indagini del mercato né di richieste preliminari di quotazioni a fornitori di beni e servizi per questo tipo di attività. Potranno subire variazioni in funzione delle disponibilità del mercato di riferimento e dei volumi di attività in Italia ad esso correlati.

Detta stima dovrà essere rivisitata una volta sviluppati i programmi operativi di dettaglio, definita la strategia contrattuale (p. es. Singoli Contratti Separati, Contratti Integrati, Contratti con ATI, Contratti Chiavi in Mano ecc.) e richiesto, se necessario, ai potenziali fornitori specifiche quotazioni preliminari. L'allegato 4 riporta le stime di dettaglio, sia per il pozzo Verticale che per quello Direzioneato.

Estimated Cost Summary Well:	SULCIS W1 Verticale			
	Dry Hole + P&A	Well Test	Compl.	Note:
Days	5	0	1	
Location	23.000	0	1.000	
Materials (tangible + intangible)	196.000	0	45.000	
Rig Expenditures	98.000	0	8.000	
Drlg. Services Expenditures	163.000	0	2.000	
DST/WT Services Expenditures	0	0	0	
Logistic services Expenditures	8.000	0	3.000	
Well Operations Supervision	19.000	0	5.000	
Contingency	51.000	0	7.000	
<b>Totale</b>	<b>558.000</b>	<b>0</b>	<b>71.000</b>	
<b>totale</b>				<b>629.000</b>
<b>Estimated Cost Summary Well:</b>				
	SULCIS WI Direzioneato			
	Dry Hole	Well Test	Compl.	Note:
Days	8	0	1	
Location	25.000	0	1.000	
Materials (tangible + intangible)	204.000	0	45.000	
Rig Expenditures	121.000	0	8.000	
Drlg. Services Expenditures	245.000	0	7.000	
DST/WT Services Expenditures	0	150.000	15.000	
Logistic services Expenditures	13.000	0	3.000	
Well Operations Supervision	31.000	0	5.000	
Contingency	65.000	15.000	9.000	
<b>Total</b>	<b>704.000</b>	<b>165.000</b>	<b>93.000</b>	
<b>totale</b>				<b>962.000</b>

## PARTE 2 – PIEZOMETRI E POZZETTI SUPERFICIALI

### 1 PIEZOMETRI/ POZZI DI OSSERVAZIONE DELLE ACQUE SUPERFICIALI

Un totale di 9 piezometri sarà installato nel sito, con le seguenti caratteristiche:

- Perforati fino ad una profondità di 10-15 m.
- fenestrati sullo strato poroso più profondo incontrato, probabilmente al di sopra di un intervallo dai 50 a 100 cm, a seconda dello spessore dell'unità.
- ciascun foro deve essere lavato, e completato per buona connessione idraulica.
- Packer di sabbia per l'intervallo fenestrato, copertura di bentonite per resto del tubo verticale.
- I piezometri dovrebbero avere un diametro interno di almeno 5 cm per consentire l'impiego di sensori di monitoraggio continuo, con due pozzi aventi un diametro di 10 cm per l'utilizzo di strumenti più grandi.
- I piezometri possono essere realizzati con PVC standard.
- La perforazione può essere fatta con "hollow stem auger"
- I cuttings dovrebbero essere registrati (in assenza di carotaggi) per eseguire analisi mineralogiche.
- carotaggio continuo di almeno un piezometro, per caratterizzare la porzione superficiale del sito.
- Alcuni pozzetti potrebbero essere equipaggiati con degli array permanenti a fondo foro sulla superficie esterna dei piezometri per condurre, ad esempio, misure di resistività.
- Test a carico crescente e di pompaggio dovrebbero essere condotti per determinare la permeabilità e la connessione idraulica tra i pozzi.
- Poiché questi pozzi sono appena al di sopra del punto di iniezione, bisogna fare attenzione ad assicurarsi che siano sigillati e che non rappresentino essi stessi dei potenziali punti di leakage.

Una volta realizzati, nei piezometri di superficie dovranno essere eseguite:

- prove idrauliche sia del tipo *slug test* che *bail test* (cioè aggiungendo o rimuovendo rispettivamente, una colonna d'acqua da un pozzo per monitorare il recupero del livello dell'acqua in condizioni di equilibrio) in modo di poter calcolare la trasmissività e / o permeabilità dell'orizzonte interessato dal flusso dell'acqua.
- prove di pompaggio per determinare la connettività idraulica tra i piezometri superficiali.
- misure statiche precise del livello d'acqua per definire la direzione locale del flusso nella falda/e acquifera monitorata

- monitoraggio passivo della pressione a bocca utile per determinare se ci sono eventuali variazioni giornaliere (ad esempio, l'influenza delle maree, che indicherebbe la permeabilità su larga scala) o variazioni stagionali.
- controllo del valore della salinità delle acque sotterranee in funzione della profondità nel pozzo di iniezione, considerando la vicinanza del sito al mare, poiché la solubilità della CO<sub>2</sub> è fortemente dipendente da questo parametro e dovrà essere considerata durante la modellazione. Inoltre, sarà necessario capire se esiste qualche rischio di mobilitazione verso l'alto (verso la falda superficiale) dell'acqua salina presente in profondità.

Per almeno tre volte prima dell'iniezione, saranno raccolti campioni d'acqua in tutti i pozzetti, pozzi e piezometri disponibili, per definire le caratteristiche chimiche del sistema e determinare eventuali variazioni temporali causate da processi naturali o di recupero dopo la perforazione. I campioni dovranno essere analizzati per tutti i parametri del sistema carbonatico (pH, pCO<sub>2</sub>, alcalinità e DIC), per analizzare la chimica degli ioni maggiori, gli elementi in traccia (in particolare, i metalli tossici che possono essere rilasciati durante l'iniezione di CO<sub>2</sub>), T, ossigeno disciolto, salinità, TDS e Eh. I dati geochimici della baseline dell'acqua saranno confrontati con i dati del periodo di iniezione per individuare eventuali anomalie di CO<sub>2</sub> indotte, e saranno utilizzati come input per la modellazione geochimica e per la preparazione di esperimenti di laboratorio.

La tecnologia Direct Push è uno strumento potenzialmente utile per definire l'idrostratigrafia nei primi 20 m, e deve essere presa in considerazione per lavori dettagliati alla SFL se i fondi lo permettono. Questi strumenti consistono nell'introdurre nel sottosuolo una sonda per misurare i vari parametri con un alto dettaglio. Per lo scopo del presente lavoro la misura della conducibilità elettrica (CE) e della permeabilità tramite uno strumento idraulico (HPT) sarebbe molto utile; un esempio di uno di questi strumenti commerciale è mostrato in Figura 27.

Tali dati sarebbero di supporto per determinare la stratigrafia e l'idrostratigrafia del sito, come input nel modello geologico statico (dato che i sedimenti superficiali formeranno una barriera per la risalita di CO<sub>2</sub>), per scegliere la profondità e la posizione dei piezometri superficiali, e come supporto al GPR.

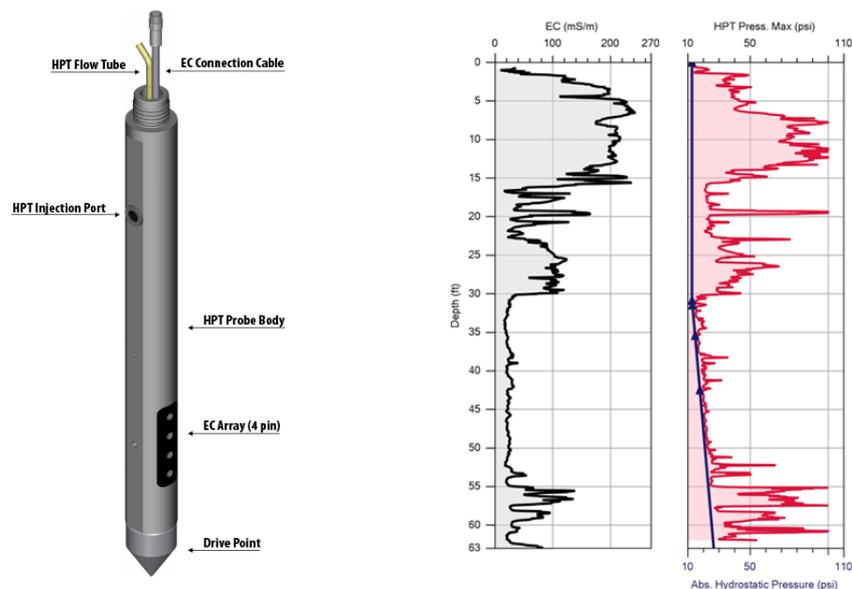


Figura 27 Profilo dello strumento idraulico GeoProbe (HPT) (a) conducibilità elettrica altamente dettagliata e risultati della massima pressione misurata fino a circa 20 m di profondità (<http://geoprobe.com/hpt-hydraulic-profiling-tool>).

## 2 SONDE PER IL MONITORAGGIO DELLA CO<sub>2</sub> DEL SUOLO (GASPRO)

Una serie di sensori GasPro per il monitoraggio in continuo della concentrazione della CO<sub>2</sub> e della temperatura nello strato di terreno sottosaturato (Figura 28a) saranno installati a una profondità di circa 80 cm in buchi perforati a mano aventi 10 cm di larghezza (Figura 28b), formando una griglia 2D; alcune sonde misureranno anche l'umidità del suolo. La griglia sarà composta da 50 sensori con una spaziatura nominale dai 10 ai 20 m (a seconda dello spazio disponibile), con il potenziale per una copertura più dettagliata nelle vicinanze dei punti con un rischio di fuoriuscita di CO<sub>2</sub> (ad esempio, in prossimità del pozzo di iniezione, di osservazione o dei piezometri).

Il sensore sarà sepolto a 80 cm di profondità e sarà collegato via cavo ad una scatola impermeabile posizionata appena sotto la superficie del terreno (Figura 28b), che ospiterà batterie intercambiabili e una antenna a radio frequenza che comunicherà in modalità wireless con una stazione di controllo centrale. Questa stazione di controllo, che si troverà molto probabilmente nell'ufficio in loco interrogherà ogni sonda individualmente su base oraria, e caricherà quindi questi dati in un server centrale presso l'Università di Roma. Questo monitoraggio in tempo reale consentirà di individuare rapidamente eventuali errori di sistema (e la loro risoluzione tempestiva), così come di valutare e riconoscere qualsiasi segnale di leakage associato con l'esperimento.

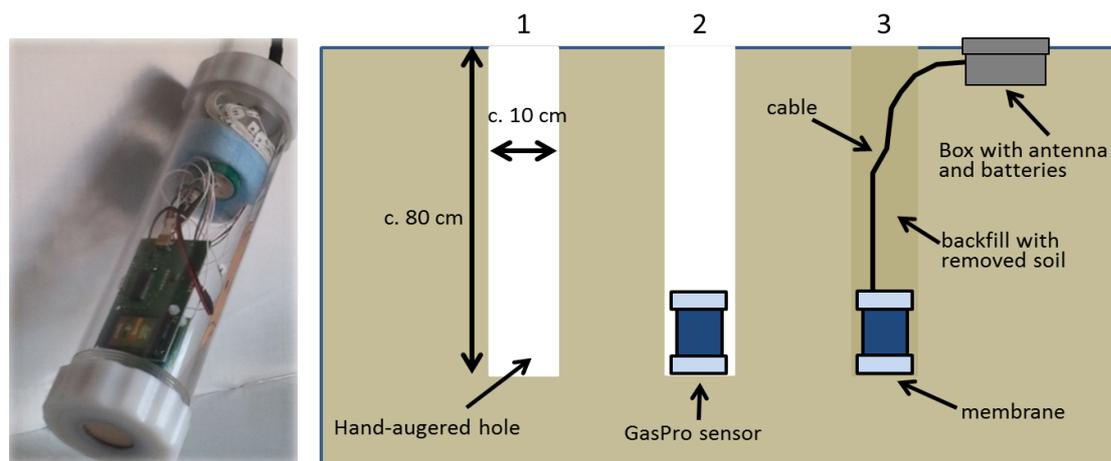


Figura 28. Fotografia di una sonda GasPro di monitoraggio della CO<sub>2</sub> (a) e la sua procedura di installazione (b).

### 3 STIMA PRELIMINARE DEI COSTI DEI PIEZOMETRI

Stime dei costi precise e dettagliate non sono possibili senza lo svolgimento di una effettiva gara, in cui sono specificati gli esatti dettagli tecnici delle infrastrutture necessarie. Alcune stime iniziali per la perforazione e il completamento di un pozzo possono comunque essere fatte, sulla base di informazioni pubbliche disponibili dal governo. Per la seguente discussione, i costi illustrati sono presi dal "Prezzario Regionale dei Lavori Pubblici" della Regione Autonoma della Sardegna (RAdS, 2009) e la "Tariffa unificata di Riferimento dei Prezzi per l'Esecuzione di opere pubbliche" della Regione Basilicata (RB, 2015). Mentre è stato possibile trovare prezzari più recenti per le altre regioni (e.g., RB, 2015), il documento relativo a 7 anni fa sembra essere la versione più recente disponibile su internet per questa regione.

La Tabella 20 riporta alcuni esempi di calcolo realizzati con i costi rappresentativi per la Sardegna riportati nel RAdS (2009). Per la stima dei costi, sono stati scelte voci di costo singole, probabilmente approssimate per difetto e quindi dovranno essere ricalcolate sulla base di offerte più aggiornate. Alcune variabili importanti sono:

- Diametro foro.
- Profondità della perforazione. I prezzi per le varie opzioni di perforazione di solito sono indicati per 3 diversi intervalli: 0-20m, 20-40m, e 40-60m.
- Litologia / durezza della roccia - sedimenti. Sono previsti diversi prezzi per il carotaggio in continuo nei sedimenti formati da (in ordine di prezzo crescente): i) sabbie e argille; ii) sabbie ghiaiose con alcune rocce; iii) ghiaia, ghiaia sabbiosa e rocce. Considerando che la stratigrafia esatta del sito non è conosciuta, la litologia più grossolana (e più costosa) è stata scelta per questi calcoli.

- Casing e completamento del pozzo. La descrizione in RAdS (2009) afferma che nel costo di perforazione è "compresa la tubazione di rivestimento del foro", ma il tipo di materiale o lo spessore non è descritto, il che significa che ci potrebbero essere costi aggiuntivi. Inoltre, sviluppo, spurgo e sigillatura tramite cementazione non è menzionato, e quindi questi possono comportare costi aggiuntivi.
- Altri costi. Questi includono la mobilitazione, l'ubicazione del pozzo, e la fornitura di core boxes.

Considerando che i prezzi della regione Sardegna hanno più di 7 anni, e che i prezzi indicati possono essere non aggiornati, alcuni calcoli di esempio sono stati effettuati anche utilizzando i valori di un simile, ma molto più recente, documento della Regione Basilicata (RB, 2015).

La Tabella 21 riporta questi calcoli. Come detto in precedenza, varie ipotesi sono state necessarie per quanto riguarda il tipo di roccia, profondità e intervalli di profondità, e diametri del pozzo. In generale, i costi calcolati qui sono superiori di circa il 50% rispetto a quelli stimati in Tabella 20, il che può essere dovuto all'inflazione nel corso degli ultimi 7 anni, e / o ai maggiori costi in Basilicata, e / o diversi voci di costo. Questo confronto mette in evidenza l'importanza di ottenere stime più accurate e aggiornate dei prezzi locali.

**Tabella 20. Stime dei costi per le diverse configurazioni dei piezometri, sulla base dei prezzi pubblicati in RAdS (2009).**

Codice	Descrizione	u.m.	prezzo	numero	metri / pozzo	prezzo parziale	prezzo totale (per unità)
<b>Cantiere</b>							
D.0002.0001.0001	Impianto di cantiere per indagini geognostiche	caduno	830.57	1		831	<b>831</b>
<b>Piezometri fino 12 m profondità, diametro 101 mm, con carotaggio continuo</b>							
D.0002.0001.0002	Installazione di attrezzatura per sondaggio	caduno	242.91	9		2,186	
D.0002.0001.0014	Perforazione (vedi descrizione)	m	71.89	9	12	7,764	
D.0002.0001.0044	Fornitura e posa di piezometro, tipo casagrande	m	18.05	9	12	1,949	
D.0002.0001.0032	Fornitura di cassetta catalogatrice	caduno	32.83	9	12	709	<b>12,609</b>
<b>Piezometri fino 12 m profondità, diametro fino 145 mm, con distruzione di nucleo</b>							
D.0002.0001.0002	Installazione di attrezzatura per sondaggio	caduno	242.91	9		2,186	
D.0002.0001.0025	Perforazione 0-20 m (vedi descrizione)	m	49.41	9	12	5,336	
D.0002.0001.0044	Fornitura e posa di piezometro, tipo casagrande	m	18.05	9	12	1,949	<b>9,472</b>

**Tabella 21. Stime dei costi per le diverse configurazioni dei piezometri, sulla base dei prezzi pubblicati in RB (2015).**

		u.m.	prezzo	numero	metri / pozzo	prezzo parziale	prezzo totale (per unità)
<b>Cantiere</b>							
M.04.001	Trasporto in andata e ritorno di attrezzatura per sondaggi	km	2.43	100		243	
M.04.002	Approntamento di attrezzature per sondaggi e prove in sito	corpo	556.5	1		557	<b>800</b>
<b>Piezometri fino 12 m profondità, diametro minimo 85 mm, con carotaggio continuo</b>							

M.04.003	Installazione di attrezzatura per sondaggio	cadun o	298.36	9		2,685	
M.04.006	Perforazione 0-20m (vedi descrizione)	m	151.29	9	12	16,339	
M.05.001.0 2	Fornitura e posa in opera di piezometri a tubo aperto in PVC	m	19.79	9	12	2,137	
M.04.017	Fornitura di cassetta catalogatrice	cadun o	28.73	9	12	621	<b>21,782</b>
<b>Piezometri fino 12 m profondità, diametro 85 - 145 mm, con distruzione di nucleo</b>							
M.04.003	Installazione di attrezzatura per sondaggio	cadun o	298.36	9		2,685	
M.04.009	Perforazione 0-30 m (vedi descrizione)	m	78.62	9	12	8,491	
M.05.001.0 2	Fornitura e posa in opera di piezometri a tubo aperto in PVC	m	19.79	9	12	2,137	<b>13,314</b>

Per quanto riguarda i costi per l'acquisto dell'anidride carbonica richiesta per l'esperimento, si può fare una stima grossolana assumendo 55 euro per una bombola di CO<sub>2</sub> gassosa del volume di 62 L a 200 bar, per cui 10 tonnellate di CO<sub>2</sub> costerebbero circa 25.000 euro. Tuttavia, l'acquisto all'ingrosso dovrebbe essere molto più economico. Inoltre, andrebbe fatta una valutazione dei costi se si utilizza CO<sub>2</sub> liquida.

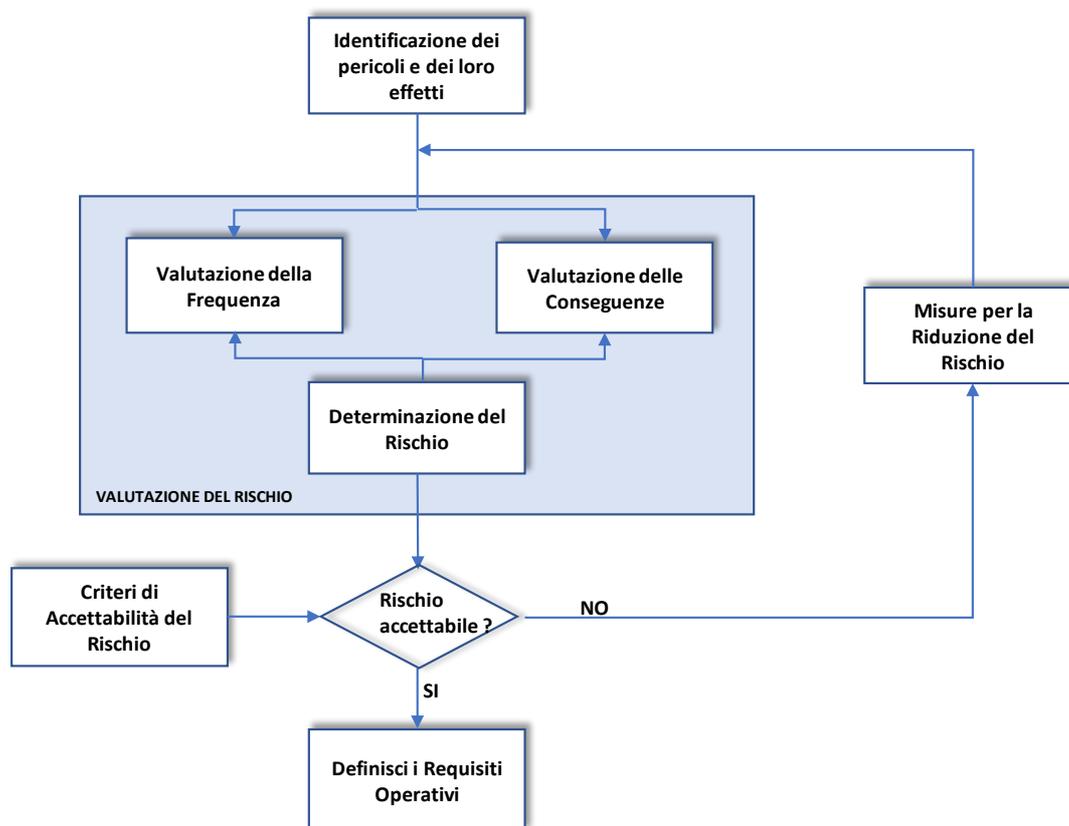
## ALLEGATI

## ALLEGATO 1 PIANO DI EMERGENZA GENERALE

### 1.1 Rischi Operativi

Durante l'attività sarà in atto un processo di approccio sistematico della gestione dei rischi che permetta la loro identificazione e valutazione in tutte le attività che possono avere ripercussioni sulle persone, sull'ambiente, sugli asset e sulla reputazione della società.

Il processo segue lo schema seguente:



### 1.2 Gestione della CO<sub>2</sub>

Per quanto concerne la gestione delle operazioni di iniezione della CO<sub>2</sub> far riferimento all'**Allegato 2**.

### 1.3 Emergenze

Pur adottando precauzioni impiantistiche e gestionali mirate ad assicurare lo svolgimento delle attività in assenza di rischi, nel rispetto della normativa vigente, non è possibile escludere l'evenienza di situazioni di emergenza.

La risposta ad ogni tipo di situazione di emergenza deve concentrarsi sulle seguenti priorità:

- Evitare infortuni e salvare vite alle PERSONE;
- Protezione dell'AMBIENTE;
- Limitare danni agli ASSETS;
- Preservare la REPUTAZIONE della Società,

ripristinando il ritorno alle normali condizioni operative nel minor tempo possibile, attraverso l'adozione di specifiche misure per ridurre o eliminare efficientemente ogni tipo di impatto.

Le passate esperienze hanno dimostrato che per la pronta soluzione dell'emergenza i seguenti fattori sono spesso determinanti:

- disponibilità di piani organizzativi;
- rapidità dell'intervento;
- specializzazione del personale coinvolto;
- reperibilità delle informazioni su disponibilità di materiali e persone;
- disponibilità di linee guida e raccomandazioni sulle azioni da intraprendere;
- comunicazioni rapide tra le persone coinvolte.

Al fine di assicurare una corretta informazione su situazioni critiche in modo da attivare persone e mezzi necessari per organizzare l'intervento appropriato, riducendo al massimo il pericolo per le vite umane, per l'ambiente e per i beni della proprietà, verrà predisposto un "Piano di emergenza" dedicato.

In considerazione delle diverse tipologie di attività e dei potenziali scenari esaminati nel Piano di emergenza, verranno definiti i ruoli, i canali informativi e le varie figure aziendali coinvolte nella risoluzione dell'emergenza.

Procedure specifiche per le singole attività, integrate nel volume generale del Piano di emergenza, regolamenteranno in maggior dettaglio le linee guida previste nel piano stesso. Inoltre, verranno codificati i tre diversi livelli di gestione dell'emergenza, normalmente definiti in funzione del coinvolgimento del personale esterno all'installazione. In particolare, i tre livelli codificati sono così identificabili:

1 **Emergenza di livello Minore** - I mezzi disponibili sul posto sono sufficienti per risolvere rapidamente il problema, non vi sono potenziali conseguenze immediate e future.

2 **Emergenza di livello Medio** - I mezzi disponibili sul posto sono insufficienti per risolvere rapidamente il problema. Le conseguenze, anche se difficilmente misurabili sul momento potrebbero essere importanti sul piano umano, ecologico o tecnico. Vengono

coinvolti gli enti pubblici. Anche in questo caso, il preposto/sorvegliante informa la gerarchia diretta, che a sua volta avvisa immediatamente il Direttore Operativo il quale prende in carico la responsabilità totale delle operazioni.

**3 Emergenza di livello Maggiore** - Le conseguenze sul piano umano, ecologico e tecnico sono considerate immediatamente importanti. Come per l'emergenza di livello "medio", la cellula di crisi si riunirà attorno al Direttore Operativo che prenderà in carico la responsabilità delle Operazioni di lotta contro il sinistro. Il livello maggiore può determinare situazioni di emergenza nazionale di cui all'Art. 11 della legge 979/1982. La gravità dell'evento rappresenta, o potrebbe rappresentare, un'emergenza molto seria, alla quale non si può far fronte con i mezzi a disposizione.

Questa emergenza per essere gestita, necessita certamente dell'intervento di forze esterne (contrattisti specializzati, altre compagnie petrolifere, capitanerie di porto, prefettura ed altri enti in grado di prestare soccorso, ecc.). In questo particolare tipo di situazione è inoltre prevista la creazione di una "cellula di comunicazione" che si occuperà delle comunicazioni con l'esterno.

Dovrà essere preparato uno specifico Piano di Emergenza dedicato, con allegata una "contact list" di persone designate a seguire le varie fasi dell'emergenza.

**Si sottolinea che il Progetto nella sua peculiarità potrà determinare unicamente emergenze di Livello Minore e Medio, sia per la limitata profondità dei sondaggi, sia per la breve durata delle attività.**

## ALLEGATO 2 LEAK-OFF TEST (LOT)

### Leak-Off Test (LOT) – Formation Integrity Test (FIT)

Leak Off Test (LOT) e Formation Integrity Test (FIT) sono entrambi genericamente classificati come " Prove dell'Integrità della Formazione".

I Leak-off tests sono test di integrità della formazione nei quali la pressurizzazione continua fino a quando il trend di incremento della pressione si riduce, indicando un ingresso, ancorché minimo, di fluido nella formazione, indicando perciò la "forza" di penetrazione nella formazione in termini di gradiente di fratturazione.

Invece, gli FIT test sono prove nelle quali la fase di pressurizzazione arriva ad un valore di massimo pre-definito, ma non necessariamente fino al valore di leak-off.

I test LOT o FIT vengono tipicamente eseguiti dopo il fresaggio della scarpa e della perforazione di 5/10 metri di nuova formazione.

#### LOT

Lo scopo del test LOT è di raccogliere le seguenti informazioni:

- Testare l'integrità della tenuta del cemento intorno alla scarpa (non è applicabile per i Conductor pipe infissi), che deve essere almeno pari al livello del valore della pressione di fratturazione della formazione prevista alla quota di posizionamento della scarpa.
- Definire il limite massimo del peso del fango utilizzabile nella nuova fase senza fratturare la formazione. Questo permette anche di raccogliere informazioni circa le proprietà meccaniche della roccia quali forze e livelli di stress per l'analisi della stabilità del foro, criteri di sfruttamento dei reservoir, caratteristiche del Caprock, studi sulla fratturazione, ecc.

Il test LOT non deve essere eseguito in formazioni fragili, quali calcari, o in formazioni con comportamenti anelastici (cioè laddove una frattura creata, non si richiude).

#### Procedure di Leak-off Test

Nell'eseguire un test LOT, la pressione massima applicata non deve superare il valore rappresentativo del punto di leak-off cioè di quando la frattura **viene iniziata**. Bisogna sempre evitare che avvenga la propagazione della frattura.

Le seguenti linee guida dettagliano l'esecuzione tipica di un LOT.

- Prima di fresare la scarpa, durante il test di pressione del casing, è necessario stimare il volume richiesto per pressurizzare il pozzo (casing), il che dipende principalmente del tipo di fluido in pozzo come espresso dalla seguente formula:

$$\Delta V = \Delta P \times V / K$$

Dove:

- $\Delta V$  = Volume richiesto per pressurizzare il foro (bbl.)

- $\Delta P$  = Aumento di pressione richiesto (psi)
- V = Volume che deve essere pressurizzato, volume del foro (bbl.)
- K = Modulo di elasticità del fluido in uso (psi)

Il modulo di elasticità del fluido dipende dal fluido base del fango e dal suo contenuto in solidi, (maggiore è il contenuto di solidi, maggiore sarà il modulo di massa). Tuttavia, per caratterizzare il modulo di massa, si possono utilizzare i seguenti valori:

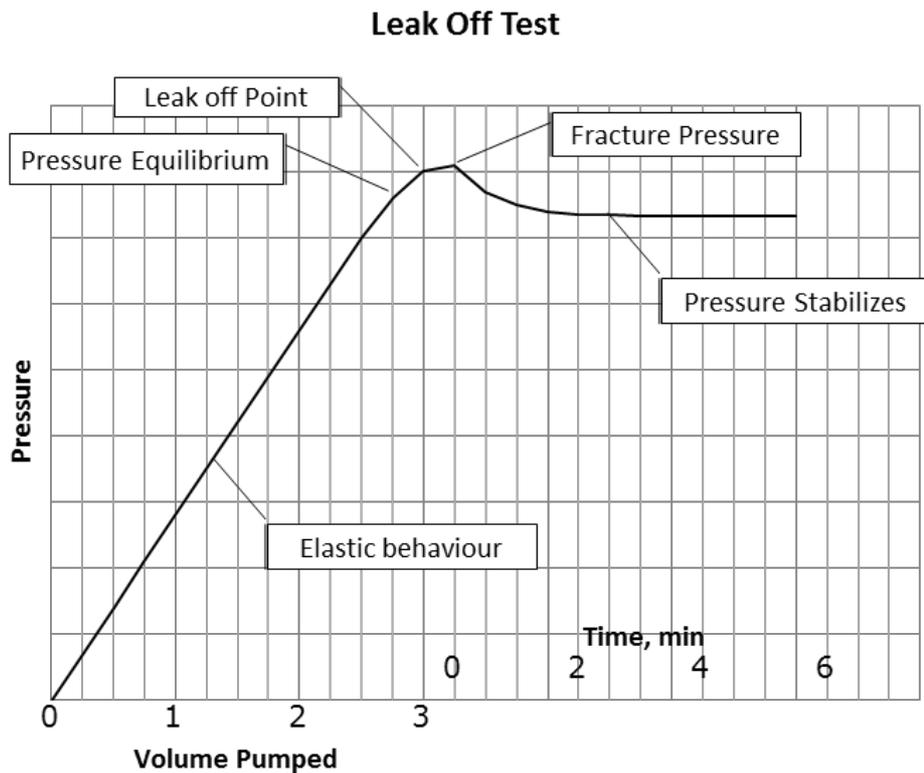
- Acqua: K = 290,000 – 335,000 psi
- Base Oleosa: K = 160,000 – 260,000 psi

Registrare i dati per definire la linearità dell'incremento di pressione in rapporto al volume pompato esprimendo così la pressurizzazione del pozzo. Questi dati devono essere plottati in un grafico LOT come riferimento.

- Perforare 5-10 m di nuova formazione sotto la scarpa
- Circolare e condizionare il fango; assicurare che il peso del fango sia uniforme in entrata e in uscita dal pozzo
- Portare lo scalpello entro scarpa. Predisporre per il test LOT
- Assicurare che venga utilizzato un manometro con range di pressione adeguato per monitorare e misurare la pressione di pompamento. Il manometro deve avere la massima risoluzione possibile e deve essere stato recentemente calibrato
- Utilizzare una modalità di registrazione grafica o elettronica per documentare il test. I dati minimi da registrare sono: pressione, portata, volume
- Controllare che il limite superiore di pressione del test sia compatibile con il gradiente di Overburden stimato alla profondità del test, e con le pressioni di esercizio di casing e testa pozzo; e avere una stima del gradiente di fratturazione atteso (così come del programma pozzo o dai dati di logs, se disponibili)
- Connettere la pompa ad alta pressione con le aste in pozzo; assicurare che tutte le linee e valvole siano flussate, testate alla loro pressione nominale e riempite con lo stesso fango del pozzo. Fare un test di circolazione attraverso la batteria di perforazione per assicurare che le duse dello scalpello siano libere
- Chiudere il BOP
- Cominciare a pompare con una portata costante di 0.25-0.5 bbl./min; monitorare costantemente l'incremento di pressione e registrarlo accuratamente assieme al volume pompato. Plottare la pressione verso il volume cumulativo pompato
- Interrompere il pompaggio quando viene notata una flessione della pressione rispetto alla tendenza precedente. Registrare la pressione massima superiore (la pressione di leak-off) per definire il peso del fango equivalente. Nota: **il test deve essere arrestato al punto di leak-off.**
- Con il pozzo chiuso, attendere la stabilizzazione della pressione e registrare l'andamento della caduta di pressione nel tempo.

- Aprire la valvola sulla linea di scarico e registrare con precisione il volume del fango restituito per valutare l'eventuale volume perso nella formazione.

Nel grafico seguente è riportato un diagramma di un tipico test LOT, in una formazione poco permeabile. Va notato che la pompa deve essere arrestata al punto di leak-off e comunque non deve superare la rottura della formazione (frattura) per prevenire la propagazione della frattura.



Il peso di fango equivalente al leak-off (EMW) viene calcolato come segue:

$EMW = (\text{pressione} \times 10 / \text{profondità verticale}) + \text{peso del fango nel pozzo}$

Dove:

EMD = kg/litri

Pressione = kg/cm<sup>2</sup>

Profondità verticale = Metri

Peso del fango in pozzo = kg/litro

In unità Americane:

$EMW \text{ (ppg.)} = (\text{Pressione (psi)} / 0,052 \times \text{Profondità Verticale (ft.)}) + \text{MW in pozzo (ppg)}$

## ALLEGATO 3 NOTE SULL'UTILIZZO DELLA CO<sub>2</sub>

### Note sull'utilizzo della CO<sub>2</sub><sup>1</sup>

#### 1 Introduzione

Lavorare in sicurezza con l'anidride carbonica vuol dire conoscere le proprietà di questo gas e prendere le dovute misure di sicurezza.

Scopo di queste note è fornire consigli pratici per l'utilizzo della CO<sub>2</sub>, senza con questo sostituirsi alle norme e disposizioni di legge né alla valutazione dei rischi che dovrà essere comunque effettuata.

#### 2 Caratteristiche chimiche

L'anidride carbonica (formula chimica: CO<sub>2</sub>) non è infiammabile e, a condizioni atmosferiche, è chimicamente stabile e inerte ed ha la capacità di ritardare o sopprimere le reazioni di combustione.

Con determinate sostanze, per esempio ammoniaca o ammine, la CO<sub>2</sub> può essere fortemente reattiva.

La CO<sub>2</sub> si scioglie in acqua formando acido carbonico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). Quest'ultimo ha una lieve reazione acida ed è corrosivo sull'acciaio al carbonio ed alcuni metalli non ferrosi.

#### 3 Caratteristiche fisiche

La CO<sub>2</sub> gassosa, in condizioni atmosferiche, è circa 1,5 volte più pesante dell'aria; tende perciò a stratificare verso il basso, con la possibilità di accumularsi in fosse, cantine o avvallamenti del terreno. In condizioni di stasi, simili accumuli di CO<sub>2</sub> possono permanere anche per molte ore.

La CO<sub>2</sub> si può presentare allo stato solido, liquido, gassoso oppure contemporaneamente in tutte e tre le fasi. Ciò dipende dalle condizioni di pressione e temperatura come evidenziato nel diagramma in fig. 1.

In particolare:

- A condizioni atmosferiche (P = 1 bar; T = 25 °C) la CO<sub>2</sub> è gassosa.
- A pressione atmosferica, la CO<sub>2</sub> non può esistere allo stato liquido.

---

<sup>1</sup> Fonte: Linde- RACCOMANDAZIONE DI SICUREZZA  
RS04 – Uso anidride carbonica – CO<sub>2</sub>

- A temperature comprese tra -56,6 e +31,1 °C e pressioni maggiori di 5,2 bar la CO<sub>2</sub> si presenta allo stato liquido.
- A temperature sotto i -56,6 °C la CO<sub>2</sub> si presenta sempre allo stato solido.
- Solo al cosiddetto punto triplo (T=-56,6 °C, P=5,2 bar) coesistono contemporaneamente tutte e tre le fasi (solida, liquida e gassosa).

All'interno delle bombole, la CO<sub>2</sub> è presente allo stato liquido, o meglio, "liquefatta sotto pressione": infatti nelle bombole, mantenute alla temperatura ambiente di 20 °C, la pressione è circa 57 bar.

Se sulla bombola è applicato un riduttore, che porta la pressione della CO<sub>2</sub> in uscita ad un valore inferiore a 5,2 bar, si otterrà CO<sub>2</sub> gassosa.

La vaporizzazione del liquido porta ovviamente ad un forte aumento di volume. Ad esempio, espandendo 1 kg di liquido fino alla pressione atmosferica, si otterranno circa 550 litri di gas.

Dalla bombola, in determinate condizioni, è anche possibile prelevare direttamente CO<sub>2</sub> liquida (utilizzando bombole con pescante interno).

Infine, se la CO<sub>2</sub> durante il prelievo subisce una forte ed improvvisa espansione (ad esempio passando direttamente dalla bombola all'atmosfera), allora si raffredda intensamente, formando una miscela CO<sub>2</sub>/gas e CO<sub>2</sub>/solida (neve carbonica).

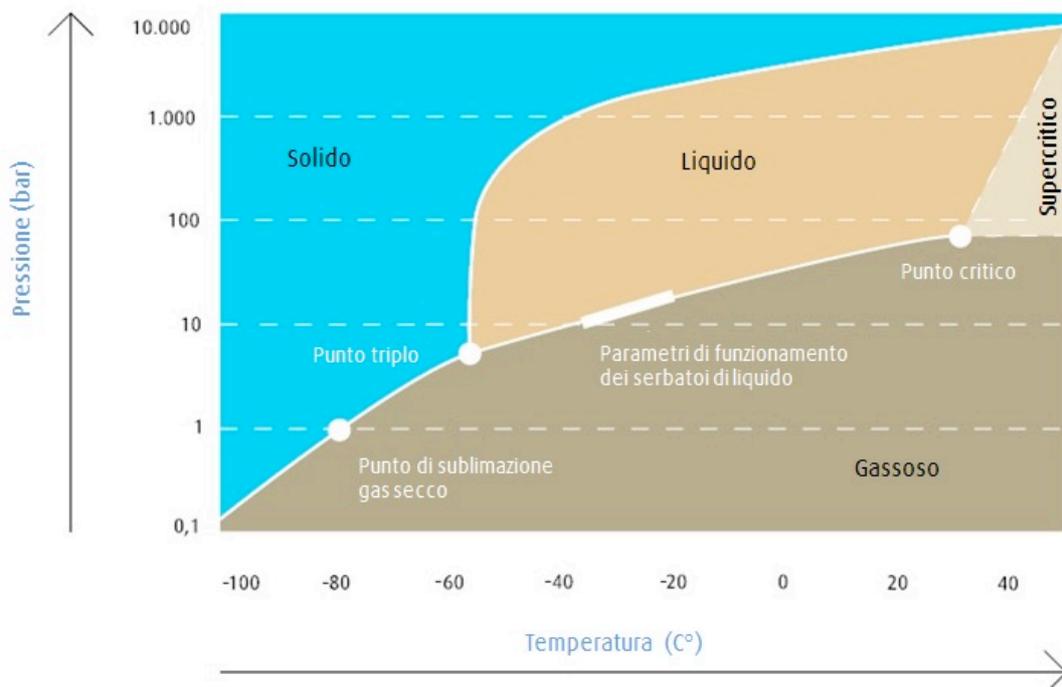


Figura 1: Stati di aggregazione in funzione della temperatura e della pressione della CO<sub>2</sub>.

## **4 Tipologia delle bombole**

Per utilizzi di anidride carbonica allo stato gassoso, devono essere usate bombole senza tubo pescante interno e dotate di un riduttore di pressione per far sì che la pressione scenda dal valore esistente all'interno a quello idoneo all'utilizzo finale.

L'anidride carbonica viene prelevata direttamente dalla testa della bombola e fuoriesce in forma gassosa.

L'evaporazione avviene con assorbimento di calore dall'ambiente circostante. Esiste quindi la possibilità che la bombola, e soprattutto la valvola, ghiaccino, compromettendo gravemente la funzionalità della valvola stessa.

Aperto la valvola della bombola, all'interno la pressione si riduce, costringendo continuamente la CO<sub>2</sub> liquida ad evaporare per riportare la pressione all'interno al valore di equilibrio. Il fattore che limita la capacità di prelievo dalla bombola senza pescante è la velocità di evaporazione della CO<sub>2</sub> liquida.

Per evitare questo inconveniente e per avere una maggiore disponibilità di CO<sub>2</sub> si devono utilizzare più bombole in parallelo.

Le bombole senza pescante devono essere sempre posizionate in verticale: in una bombola in posizione orizzontale la CO<sub>2</sub> liquida potrebbe venire a contatto con il dispositivo di prelievo causandone l'intasamento con 'neve carbonica'.

## **5 Valvole**

Le valvole montate sulle bombole di CO<sub>2</sub> sono dotate di disco di rottura, che rappresenta un dispositivo di sicurezza contro la sovrappressione. Questo dispositivo non deve essere assolutamente manipolato, per evitare un'indesiderata e pericolosa fuoriuscita del prodotto.

## **6 Misura del livello di riempimento**

Lo stato di riempimento di una bombola di CO<sub>2</sub> non può essere stabilito attraverso misure di pressione ma solo tramite pesatura, in quanto la pressione in una bombola di CO<sub>2</sub> dipende solo dalla temperatura.

Esempio:

A 20 °C, la pressione è di 57 bar. Una bombola di CO<sub>2</sub> quasi vuota, fino a che contiene del liquido, a 20 °C ha una pressione di 57 bar.

## 7 Effetti fisiologici e di sicurezza

La CO<sub>2</sub> gassosa è inodore, insapore ed incolore. Perciò è praticamente impercettibile per gli organi sensoriali umani.

L'aria che respiriamo contiene circa lo 0,03% di CO<sub>2</sub>, che, a questa concentrazione, è di vitale importanza, poiché stimola il nostro apparato respiratorio e regola la velocità di respirazione. Un aumento di CO<sub>2</sub> provoca un aumento del ritmo respiratorio.



Attenzione: pericolo di asfissia

Si possono avere problemi di intossicazione respirando per più di 8 ore un'aria contenente più di 5000 ppm (0,5 %) di CO<sub>2</sub>.

Se la concentrazione cresce fino a 15000 ppm (1,5%) si possono manifestare problemi già dopo 10 minuti. Nonostante questo, l'uomo non riesce ad accorgersi da solo dell'aumento del ritmo respiratorio finché la CO<sub>2</sub> non arriva al 2%: a tali livelli si avvertono già mal di testa e perdita di concentrazione.

A livelli più alti, intorno al 10%, la CO<sub>2</sub> può causare asfissia e paralisi dei centri respiratori, anche se la quantità di ossigeno nell'aria è ancora superiore al 19% e quindi sufficiente per la respirazione.

L'effetto dannoso per l'organismo di alte concentrazioni di CO<sub>2</sub> non è quindi dovuto alla mancanza di ossigeno ma direttamente all'azione dell'anidride carbonica. Respirare un'atmosfera ancora più ricca di anidride carbonica può causare un'immediata perdita di coscienza e morte. Alcuni sintomi dell'asfissia possono essere respirazione affannosa, affaticamento, nausea vomito e cianosi.

Per questo è consigliabile che negli ambienti di lavoro non venga mai superata la soglia massima di concentrazione di CO<sub>2</sub> dello 0,5%.

Se la CO<sub>2</sub> liquida viene a contatto con la pelle, a causa della bassa temperatura può causare ustioni da freddo. Le parti sensibili del corpo particolarmente esposte, come per esempio gli occhi e le mani, sono particolarmente a rischio.

Le ustioni da freddo, se estese, possono risultare fatali. Bisogna quindi prestare la massima attenzione quando si lavora con CO<sub>2</sub> liquida.

A questo proposito può essere utile consultare anche la Raccomandazione di Sicurezza: 'Ustioni e congelamenti per contatto con liquidi criogenici'.

ALLEGATO 4 - DETTAGLIO COSTI

Well Cost Estimate for: Well Type: Casing Profile: Completion Type:		SULCIS WI Direzioneato Deviated, "J" Shape 13 3/8" +5 5/8"   4 1/2 Contingent Cost estimate for the Dry Hole + Completion (provisional) Note: All figures are rounded up to the 1000 cost figure				Classification: Exploration Country: Italy Lease Field: Sulcis ON/OFF Shore: On-shore Well T.D., m: 250		Cost/m Drill 2 818 €/m 88.000 €/Day		Notes: to prepare the cost estimate: 1-Select whether cost apply to "U" (Item Unit Cost), "D" (Cost per Day) or "L" (Lump Sum for the whole well) under column "T". 2-Select which factor apply under relevant columns "F" of Activities. 3-Cost item not applicable, 1=Cost item applies at 100%, Fractional or multiple=Cost item applies at stated value. 3- Take care in inserting the Unit Cost when a mix of fixed and daily or prorated cost apply to the relevant cost item				
AFE N.:	Provisional	AFE Currency: € (Euro)	Spread Cost/d	#RIF1						Total AFE Days				
Date:	mar-17	Exchange Rate:	1,000	€ (Euro)										
Prep by:		Days:	7		1	0	1	9						
Ref.	Description	T	UM	Unit Cost	F	Dry Hole	F	P&A	F	Welltest	F	Compl.	Total	Notes:
	Location & access road prepare/restore	L	€	20.000	1,0	20.000	0,0		0,0	0	0,0	0	20.000	
	Other (Location maint. -Rig Instal Charges)	D	€/Day	500	1,0	4.000	1,0	1.000	1,0	0	1,0	1.000	6.000	
	<b>Sub Total Location</b>					<b>24.000</b>		<b>1.000</b>		<b>0</b>		<b>1.000</b>	<b>26.000</b>	
	Surface Wellhead (Drilling Section)	U	€/Unit	30.000	1,0	30.000	0,0	0	0,0	0	0,0	0	30.000	
	Surface X-mas Tree	U	€/Unit	30.000	1,0	30.000	0,0	0	0,0	0	0,0	0	30.000	
	Casing 13 3/8" N-L80 68#, m 30	U	€/Unit	150,00	1,0	5.000	0,0	0	0,0	0	0,0	0	5.000	
	Casing 9 5/8" N80 47#, m 0	U	€/Unit	110,00	1,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0	
	Casing 8 5/8" 28#, m 250	U	€/Unit	100,00	1,0	25.000	0,0	0	0,0	0	0,0	0	25.000	
	Tubing 2 7/8" N80 8,6#, m 200	U	€/Unit	50,00	0,0	0	0,0	0	0,0	0	1,0	10.000	10.000	
	Csg accessories / hardware	L	€	5.000	1,0	5.000	0,0	0	0,0	0	0,0	0	5.000	
	Liner Hanger, BP-CR, ECP's, etc.	L	€	10.000	0,8	8.000	0,2	2.000	0,0	0	0,0	0	10.000	
	Completion equipment (DHSV, pkrs, etc.)	L	€	30.000	0,0	0	0,0	0	0,0	0	1,0	30.000	30.000	
	Other eq. purchase (adapters, XO's, etc.)	L	€	5.000	1,0	5.000	0,0	0	0,0	0	0,0	0	5.000	
	<b>Sub Total Tangible Materials</b>					<b>108.000</b>		<b>2.000</b>		<b>0</b>		<b>40.000</b>	<b>150.000</b>	
	Rock bits (Roller cones & fix cutters)	L	€	15.000	1,0	15.000	0,0	0	0,0	0	0,0	0	15.000	
	Core heads & consumables	L	€	7.000	1,0	7.000	0,0	0	0,0	0	0,0	0	7.000	
	Drilling Mud Chemicals	L	€	30.000	1,0	30.000	0,1	3.000	0,0	0	0,0	0	33.000	
	Cement & Additives	L	€	10.000	1,0	10.000	0,1	1.000	0,0	0	0,0	0	11.000	
	Rig Fuel & Lubricants (Daily Consumption)	D	€/Day	2.500	1,0	18.000	1,0	3.000	1,0	0	1,0	3.000	24.000	
	Fresh Water (Daily Consumption)	D	€/Day	200	1,0	2.000	1,0	1.000	1,0	0	1,0	1.000	4.000	
	Others	D	€/Day	300	1,0	3.000	1,0	1.000	1,0	0	1,0	1.000	5.000	
	<b>Sub Total Consumable Materials</b>					<b>85.000</b>		<b>9.000</b>		<b>0</b>		<b>5.000</b>	<b>99.000</b>	
	Rig Mob-Demob - Rig Up	L	€	40.000	1,0	60.000	0,0	0	0,0	0	0,0	0	60.000	
	Rig Daily rate	D	€/Day	7.000	1,0	49.000	1,0	7.000	1,0	0	1,0	7.000	63.000	
	Additional Equipment/other	D	€/Day	500	1,0	4.000	1,0	1.000	1,0	0	1,0	1.000	6.000	
	<b>Sub Total Rig Expenditures</b>					<b>113.000</b>		<b>8.000</b>		<b>0</b>		<b>8.000</b>	<b>129.000</b>	
	E-Logging (incl. Cased hole logs)	L	€	100.000	1,0	100.000	0,0	0	0,0	0	0,0	0	100.000	
	Mudlogging unit	D	€/Day	0	1,0	0	1,0	0	1,0	0	1,0	0	0	
	Cement & HP Pumping Service	D	€/Day	50.000	0,7	35.000	0,1	5.000	0,0	0	0,0	0	40.000	
	Directional Drilling Serv. & MWD	D	€/Day	7.000	1,0	49.000	0,0	0	0,0	0	0,0	0	49.000	
	Mud Motor Vert. + LWD Service	D	€/Day	1.500	0,4	5.000	0,0	0	0,0	0	0,0	0	5.000	
	Down Hole Tools Rental (drilling BHA)	D	€/Day	500	1,0	4.000	0,0	0	0,0	0	0,0	0	4.000	
	Liner hanger ST rentals+Service	L	€	10.000	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0	
	Surface WH Installation service	L	€	10.000	1,0	10.000	0,0	0	0,0	0	0,5	5.000	15.000	
	Wastes treatment and disposal	D	€/Day	3.000	1,0	21.000	1,0	3.000	1,0	0	0,0	0	24.000	
	Inspections and NDT controls	L	€	3.000	1,0	3.000	0,0	0	0,0	0	0,0	0	3.000	
	Other Services	D	€/Day	500	1,0	4.000	1,0	1.000	1,0	0	0,1	1.000	6.000	
	Other Rentals	D	€/Day	500	1,0	4.000	1,0	1.000	1,0	0	0,1	1.000	6.000	
	<b>Sub Total Drilling Auxiliary Services</b>					<b>235.000</b>		<b>10.000</b>		<b>0</b>		<b>7.000</b>	<b>252.000</b>	
	Logs (cased hole) Casing external equip.	L	€	150.000	0,0	0	0,0	0	1,0	150.000	0,0	0	150.000	
	Tubing Running Service	L	€	10.000	0,0	0	0,0	0	0,0	0	1,5	15.000	15.000	
	DST/Well Test DH Eq. Rental	D	€/Day	0,0	0,0	0	0,0	0	1,1	0	0,0	0	0	
	DST/Well Test DH Service	D	€/Day	0,0	0,0	0	0,0	0	1,1	0	1,0	0	0	
	Slick line Service Eq. + Personnel	D	€/Day	0,0	0,0	0	0,0	0	1,0	0	1,0	0	0	
	Other Test/Completion Rentals (test string)	D	€/Day	4.000	0,0	0	0,0	0	1,2	0	0,0	0	0	
	<b>Sub Total Test/Completion Services</b>					<b>0</b>		<b>0</b>		<b>150.000</b>		<b>15.000</b>	<b>165.000</b>	
	Land Transports - Cranes - Labourers	D	€/Day	500	1,0	4.000	1,0	1.000	1,0	0	1,0	1.000	6.000	
	Freight Charges (air/sea, materials transfer)	L	€	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0	
	Tele communications	D	€/Day	200	1,0	2.000	1,0	1.000	1,0	0	1,0	1.000	4.000	
	Other Charges	D	€/Day	500	1,0	4.000	1,0	1.000	1,0	0	1,0	1.000	6.000	
	<b>Sub Total Logistic Services</b>					<b>10.000</b>		<b>3.000</b>		<b>0</b>		<b>3.000</b>	<b>16.000</b>	
	Direct (rig site) Drilling Supervision	D	€/Day	2.500	1,1	20.000	1,0	3.000	1,0	0	1,0	3.000	26.000	
	Wellsite Geology	D	€/Day	0	1,1	0	1,0	0	1,0	0	1,0	0	0	
	Other (HSE support, Wardening, etc.)	D	€/Day	300	1,0	3.000	1,0	1.000	1,0	0	1,0	1.000	5.000	
	"Direzione Lavori"	D	€/Day	500	1,0	4.000	0,0	0	1,0	0	1,0	1.000	5.000	
	<b>Sub Total Well Operations Support</b>					<b>27.000</b>		<b>4.000</b>		<b>0</b>		<b>5.000</b>	<b>36.000</b>	
	<b>Technical Well Cost</b>					<b>602.000</b>		<b>37.000</b>		<b>150.000</b>		<b>84.000</b>	<b>873.000</b>	
	Contingency	%	10			61.000		4.000		15.000		9.000	89.000	
	C.O.C.	%	0			0		0		0		0	0	
	<b>Total Well Cost</b>					<b>663.000</b>		<b>41.000</b>		<b>165.000</b>		<b>93.000</b>	<b>961.000</b>	

Well Cost Estimate for:		SULCIS W1 Verticale				Classification:		Exploration		Notes: to prepare the cost estimate:					
Well Type:		Vertical				Country:		Italy		1-Select whether cost apply to "U" (Item Unit Cost), "D" (Cost per Day) or "L" (Lump Sum for the whole well) under column "T":					
Casing Profile:		8 5/8" +6 5/8" ( 4"1/2 Contingent)				Lease/Field:		Sulcis		2-Select which factor apply under relevant column "F" of Activities; 0=Cost item not applicable, 1=Cost item applies at 100%; Fractional or multiple=Cost item applies at stated value.					
Completion Type:		Cost estimate for the Dry Hole + Completion (provisional)				ON/OFF Shore:		On-shore		3-Take care in inserting the Unit Cost when a mix of fixed and daily or prorated cost apply to the relevant cost item					
		<b>Note: All figures are rounded up to the 1000 cost figure</b>				Well T.D., m		250							
AFE N.:	Provisional	AFE Currency: € (Euro)		Spread Cost/d		#RIF!		Cost/m Drill		2.232 €/m					
Date:	mar-17	Exchange Rate: 1,000		€ (Euro)				Cost/Day Drill		111.800 €/Day					
Prep.by:		Days:		4		1		0		1		6			
Ref.	Description	T	UM	Unit Cost	F	Dry Hole	F	P&A	F	Welltest	F	Compl.	Total	Notes:	
	Location & access road prepare/restore	L	€	20.000	1,0	20.000	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0	20.000	
	Other (Location maint. -Rig Instal Charges)	D	€/Day	500	1,0	2.000	1,0	1.000	1,0	0	1,0	1.000	4.000	4.000	
	<b>Sub Total Location</b>					<b>22.000</b>		<b>1.000</b>		<b>0</b>		<b>1.000</b>	<b>24.000</b>		
	Surface Wellhead (Drilling Section)	U	€/Unit	30.000	1,0	30.000	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0	30.000	
	Surface X-mas Tree	U	€/Unit	30.000	1,0	30.000	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0	30.000	
	Casing 13 3/8" N-L80 68#, m	0	U	€/Unit	150,00	1,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0	0	0	
	Casing 9 5/8" N80 47#, m	30	U	€/Unit	110,00	1,0	4.000	0,0	0,0	0	0,0	0	4.000	4.000	
	Casing 6 5/8" fiberglass,m	250	U	€/Unit	110,00	1,0	28.000	0,0	0,0	0	0,0	0	28.000	28.000	
	Tubing 2 7/8" N80 8,6#, m	200	U	€/Unit	50,00	0,0	0	0,0	0,0	0	1,0	10.000	10.000	10.000	
	Csg accessories / hardware	L	€	5.000	1,0	5.000	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0	5.000	5.000	
	Liner Hanger, BP-CR, ECP's, etc.	L	€	10.000	0,5	5.000	0,2	2.000	0,0	0	0,0	0	7.000	7.000	
	Completion equipment (DHSV, pkrs, etc.)	L	€	30.000	0,0	0	0,0	0	0,0	0	1,0	30.000	30.000	30.000	
	Other eq. purchase (adapters, XO's, etc.)	L	€	5.000	1,0	5.000	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0	5.000	5.000	
	<b>Sub Total Tangible Materials</b>					<b>107.000</b>		<b>2.000</b>		<b>0</b>		<b>40.000</b>	<b>149.000</b>		
	Rock bits (Roller cones & fix cutters)	L	€	15.000	1,0	15.000	0,0	0	0,0	0	0,0	0	15.000	15.000	
	Core heads & consumables	L	€	10.000	1,0	10.000	0,0	0	0,0	0	0,0	0	10.000	10.000	
	Drilling Mud Chemicals	L	€	30.000	1,0	30.000	0,1	3.000	0,0	0	0,0	0	33.000	33.000	
	Cement & Additives	L	€	10.000	1,0	10.000	0,1	1.000	0,0	0	0,0	0	11.000	11.000	
	Rig Fuel & Lubricants (Daily Consumption)	D	€/Day	2.500	1,0	10.000	1,0	3.000	1,0	0	1,0	3.000	16.000	16.000	
	Fresh Water (Daily Consumption)	D	€/Day	200	1,0	1.000	1,0	1.000	1,0	0	1,0	1.000	3.000	3.000	
	Others	D	€/Day	300	1,0	2.000	1,0	1.000	1,0	0	1,0	1.000	4.000	4.000	
	<b>Sub Total Consumable Materials</b>					<b>78.000</b>		<b>9.000</b>		<b>0</b>		<b>5.000</b>	<b>92.000</b>		
	Rig Mob-Demob - Rig Up	L	€	60.000	1,0	60.000	0,0	0	0,0	0	0,0	0	60.000	60.000	
	Rig Daily rate	D	€/Day	7.000	1,0	28.000	1,0	7.000	1,0	0	1,0	7.000	42.000	42.000	
	Additional Equipment/other	D	€/Day	500	1,0	2.000	1,0	1.000	1,0	0	1,0	1.000	4.000	4.000	
	<b>Sub Total Rig Expenditures</b>					<b>90.000</b>		<b>8.000</b>		<b>0</b>		<b>8.000</b>	<b>106.000</b>		
	E-Logging (incl. Cased hole logs)	L	€	100.000	1,0	100.000	0,0	0	0,0	0	0,0	0	100.000	100.000	
	Mudlogging unit	D	€/Day	0	1,0	0	1,0	0	1,0	0	1,0	0	0	0	
	Cement & HP Pumping Service	L	€	50.000	0,7	35.000	0,1	5.000	0,0	0	0,0	0	40.000	40.000	
	Surface WH Installation service	L	€	0	1,0	0	0,0	0	0,0	0	1,0	0	0	0	
	Wastes treatment and disposal	D	€/Day	3.000	1,0	12.000	1,0	3.000	1,0	0	0,0	0	15.000	15.000	
	Inspections and NDT controls	L	€	1.500	1,0	2.000	0,0	0	0,0	0	0,0	0	2.000	2.000	
	Other Services	D	€/Day	500	1,0	2.000	1,0	1.000	1,0	0	0,1	1.000	4.000	4.000	
	Other Rentals	D	€/Day	500	1,0	2.000	1,0	1.000	1,0	0	0,1	1.000	4.000	4.000	
	<b>Sub Total Drilling Auxiliary Services</b>					<b>153.000</b>		<b>10.000</b>		<b>0</b>		<b>2.000</b>	<b>165.000</b>		
	Logs (cased hole)	L	€	150.000	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0	0	
	Tubing Running Service	L	€	10.000	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0	0	
	DST/Well Test DH Eq. Rental	D	€/Day	0,0	0,0	0	0,0	0	1,1	0	0,0	0	0	0	
	DST/Well Test DH Service	D	€/Day	0,0	0,0	0	0,0	0	1,1	0	1,0	0	0	0	
	Slick line Service Eq. + Personnel	D	€/Day	0,0	0,0	0	0,0	0	1,0	0	1,0	0	0	0	
	Other Test/Completion Rentals (test string)	D	€/Day	4.000	0,0	0	0,0	0	1,2	0	0,0	0	0	0	
	<b>Sub Total Test/Completion Services</b>					<b>0</b>		<b>0</b>		<b>0</b>		<b>0</b>	<b>0</b>		
	Land Transports - Cranes - Labourers	D	€/Day	500	1,0	2.000	1,0	1.000	1,0	0	1,0	1.000	4.000	4.000	
	Tele communications	D	€/Day	200	1,0	1.000	1,0	1.000	1,0	0	1,0	1.000	3.000	3.000	
	Other Charges	D	€/Day	500	1,0	2.000	1,0	1.000	1,0	0	1,0	1.000	4.000	4.000	
	<b>Sub Total Logistic Services</b>					<b>5.000</b>		<b>3.000</b>		<b>0</b>		<b>3.000</b>	<b>11.000</b>		
	Direct (rig site) Drilling Supervision	D	€/Day	2.500	1,1	11.000	1,0	3.000	1,0	0	1,0	3.000	17.000	17.000	
	Wellsite Geology	D	€/Day	0	1,1	0	1,0	0	1,0	0	1,0	0	0	0	
	Other (HSE support, Wardening, etc.)	D	€/Day	300	1,0	2.000	1,0	1.000	1,0	0	1,0	1.000	4.000	4.000	
	"Direzioe Lavori"	D	€/Day	500	1,0	2.000	0,0	0	1,0	0	1,0	1.000	3.000	3.000	
	<b>Sub Total Well Operations Support</b>					<b>15.000</b>		<b>4.000</b>		<b>0</b>		<b>5.000</b>	<b>24.000</b>		
	<b>Technical Well Cost</b>					<b>470.000</b>		<b>37.000</b>		<b>0</b>		<b>64.000</b>	<b>571.000</b>		
	Contingency	%	10			47.000		4.000		0		7.000	58.000		
	C.O.C.	%	0			0		0		0		0	0		
	<b>Total Well Cost</b>					<b>517.000</b>		<b>41.000</b>		<b>0</b>		<b>71.000</b>	<b>629.000</b>		



## ALLEGATO 5 TEMPI DI REALIZZAZIONE

Nella tabella sono indicati i tempi di realizzazione dell'opera tenendo conto dei tempi necessari per acquisire i permessi dagli organi preposti (Regione Sardegna, ARPA).

Tempi di realizzazione dell'opera. I colori chiari indicano potenziali periodi di sovrapposizione delle diverse attività.

azione	richiesta permessi	Relazione con il	drilling engineering	preparazione gare	attuazione gare	preparazione	drilling piezometri	installazione sonde	drilling (pozzi 1 e 2)	injection	baseline geochimica	campionamenti	monitoring	acquisizione	monitoring	report enos
ago-17	Dark Blue	Light Blue	Light Blue													
set-17	Dark Blue	Dark Blue	Dark Blue	Light Blue												
ott-17	Dark Blue	Dark Blue	Dark Blue	Dark Blue							Dark Blue	Dark Blue				
nov-17	Dark Blue	Dark Blue	Dark Blue	Dark Blue												
dic-17	Dark Blue	Dark Blue	Dark Blue	Dark Blue	Light Blue											
gen-18	Dark Blue	Dark Blue	Dark Blue		Dark Blue											
feb-18		Dark Blue	Dark Blue		Dark Blue	Light Blue										
mar-18		Dark Blue	Dark Blue			Dark Blue										
apr-18		Dark Blue	Dark Blue			Light Blue	Dark Blue	Dark Blue			Dark Blue	Dark Blue				
mag-18		Dark Blue	Dark Blue				Dark Blue	Dark Blue			Light Blue	Light Blue				
giu-18		Dark Blue	Dark Blue				Light Blue	Light Blue	Dark Blue		Light Blue	Dark Blue	Dark Blue			
lug-18		Light Blue	Light Blue						Light Blue	Light Blue	Light Blue	Light Blue	Dark Blue	Dark Blue		
ago-18		Light Blue	Light Blue							Dark Blue	Light Blue	Light Blue	Dark Blue	Light Blue	Dark Blue	
set-18		Light Blue	Light Blue								Light Blue	Dark Blue	Dark Blue		Dark Blue	
ott-18		Light Blue	Light Blue								Light Blue	Light Blue	Dark Blue		Light Blue	
nov-18		Light Blue	Light Blue								Dark Blue	Light Blue	Dark Blue		Light Blue	



## 16 BIBLIOGRAFIA

Beccaluva, L., and Civetta, L., 1985, *Geochronology in Sardinia: results and problems: Rend. Soc. Ital. Mineral. Petrol.*, v. 40, p. 57- 72.

Beaubien S.E., Bigi S. & Lombardi S. *Sulcis Fault Lab” Feasibility study, Sapienza, 2016.*

Carboscilcis (1993) *Carta geologica del bacino carbonifero del Sulcis.*

Dreesen, R., Bossiroy, D., Swennen, R., et al., 1997, *A depositional and diagenetic model for the Eocene Sulcis coal basin of SW Sardinia*, in Gayer, R., and Pegek, J., eds., *European Coal Geology and Technology*, Geological Society of London Special Publication, no. 125, p. 49-75.

ISPRA, 2012 *Autori vari Note foglio geologico “Carbonia”n. 564.*

Poli, L., and Rosi, M., 2005, *Rheomorphic structures in a high-grade ignimbrite: The Nuraxi tuff, Sulcis volcanic district (SW Sardinia, Italy): Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 142, p. 11 - 28.

Vigliotti, L., and Langenheim, V.E., 1998, *When did Sardinia stop rotating? New palaeomagnetic results: Terra Nova*, v. 7, p. 424- 435.