



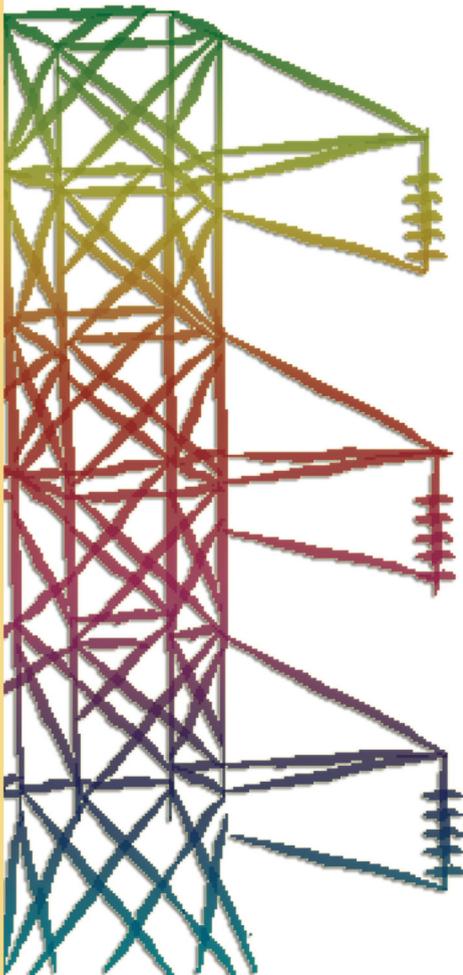
Ente per le Nuove tecnologie,
l'Energia e l'Ambiente



Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA SISTEMA ELETTRICO

**Survey geologico e studio delle potenzialità di applicazione
di tecnologie ECBM nel giacimento carbonifero del Sulcis**





Ente per le Nuove tecnologie,
l'Energia e l'Ambiente



Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA SISTEMA ELETTRICO

Survey geologico e studio delle potenzialità di applicazione di
tecnologie ECBM nel giacimento carbonifero del Sulcis

SURVEY GEOLOGICO E STUDIO DELLE POTENZIALITÀ DI APPLICAZIONE DI TECNOLOGIE
ECBM NEL GIACIMENTO CARBONIFERO DEL SULCIS

CARBOSULCIS

Aprile 2009

Report Ricerca Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Area: Produzione e fonti energetiche

Tema: Centrali elettriche per la coproduzione di energia elettrica e idrogeno

Responsabile Tema: Antonio Calabrò, ENEA

Abstract

Il presente elaborato è realizzato da Carbosulcis come risultato della collaborazione tra la stessa azienda e l'ENEA per l'attività di ricerca dal titolo "Survey geologico e studio delle potenzialità di applicazione di tecnologie ECBM nel giacimento carbonifero del Sulcis" scaturito in seguito all'Accordo di Programma MSE-ENEA, nell'ambito della ricerca sul tema 5.2.5.9. "Centrali elettriche per la coproduzione di energia elettrica e idrogeno".

Il progetto ha seguito il percorso previsto dal Piano Annuale di Realizzazione, raggiungendo gli obiettivi di definizione delle metodologie e delle procedure di caratterizzazione del bacino carbonifero del Sulcis per lo stoccaggio geologico della CO₂, associato ad un recupero di metano proveniente dai letti profondi di carbone.

I risultati sono soddisfacenti e pongono le basi per gli ulteriori obiettivi di approfondimento, i quali generano le condizioni per creare un sistema di sinergie multidisciplinari di natura diversa, sia accademica che industriale.

INDICE

1.	<i>Inquadramento generale del Bacino Carbonifero del Sulcis</i>	3
1.1	Introduzione	3
1.2	Attività mineraria	4
1.3	Inquadramento geologico	4
1.3.1	Basamento Paleozoico	4
1.3.2	Calcarei Miliolidici	5
1.3.3	Produttivo.....	5
1.3.4	Formazione del Cixerri	6
1.3.5	Serie vulcanica	6
1.3.6	Coperture recenti.....	6
1.3.7	Giacimentologia	6
1.4	Inquadramento biologico	7
2.	<i>L'applicazione delle tecnologie Carbon Capture and Storage nel bacino</i>	10
2.1	Inquadramento legislativo	10
2.2	Criteri di valutazione della potenzialità di stoccaggio	12
2.3	Caratterizzazione del Bacino Carbonifero del Sulcis per le CCS	19
2.4	Obiettivi del progetto	20
2.5	Il progetto	22
2.5.1	Impostazione dell'attività.....	22
2.5.2	Primi Risultati Operativi	23
2.5.3	Conclusioni	28
2.5.4	Sviluppi presenti e futuri.....	28
2.5.5	Descrizione degli obiettivi realizzativi	29
2.6	ALLEGATI	35

1. Inquadramento generale del Bacino Carbonifero del Sulcis

1.1 Introduzione

Il Bacino Carbonifero Eocenico del Sulcis occupa l'estremità sud-occidentale della Sardegna e costituisce il più importante bacino carbonifero italiano; esso si estende per circa 400 km² sulla terraferma e circa altrettanti off-shore, e vanta riserve totali stimate in 1,2 miliardi di tonnellate di carbone sub-bituminoso.



Figura 1. Inquadramento geografico del Bacino Carbonifero del Sulcis

La collocazione del bacino carbonifero nella regione del Sulcis, sede col vicino Iglesiente di un'importante attività mineraria ultracentenaria soprattutto nel settore metallifero, lo pone oggi al centro di una delle aree maggiormente industrializzate

della Sardegna, in prossimità di industrie metallurgiche, chimiche e di centrali elettriche.

Le prime attività di sfruttamento di questo bacino carbonifero risalgono alla fine del 19° secolo, con la costituzione delle prime miniere di carbone, ma il massimo sviluppo delle produzioni si registrò alla fine degli anni trenta del secolo scorso, quando il fabbisogno crescente di risorse energetiche per le esigenze dell'economia autarchica portò alla fondazione di Carbonia, città creata per ospitare le circa 80.000 persone, in gran parte emigrate in Sardegna dalla madrepatria, necessarie allo sviluppo della produzione mineraria. Negli anni del dopoguerra le crisi ricorrenti del mercato energetico hanno costretto alla chiusura quasi tutte le miniere dell'area.

1.2 Attività mineraria

La Carbosulcis S.p.A., dal 1996 società della Regione Autonoma della Sardegna, è oggi l'unica compagnia mineraria carbonifera nazionale e rilancia le sue attività nello sfruttamento del carbone del Sulcis guardando al futuro con progetti ambiziosi incentrati prevalentemente sullo sviluppo delle tecnologie del carbone pulito (Clean Coal Technologies).

La Miniera di Monte Sinni, gestita dalla Carbosulcis S.p.A., sfrutta il giacimento ed è l'unica miniera di carbone attualmente in attività in Italia. Le riserve stimate sui 55 km² d'estensione della concessione mineraria ammontano a 60 milioni di tonnellate di carbone. Attualmente essa occupa circa 500 persone, tra operai ed impiegati, nelle sue attività di sottosuolo e di superficie. La produzione potenziale della miniera, con il metodo delle lunghe fronti, è di circa 1,5 milioni di tonnellate di carbone lavato l'anno, che provengono da strati carboniosi posti a profondità variabile tra i 350 ed i 500 m. Le gallerie in sottosuolo si sviluppano per circa 30 km, 15 dei quali costituiti da gallerie di struttura; l'accesso di personale e mezzi al sottosuolo è garantito da una discenderia lunga 3 km e da due pozzi di transito.

Il carbone estratto dalla miniera e lavato nell'impianto di trattamento di superficie è bruciato nella centrale elettrica "Grazia Deledda" di Portovesme posta ad una distanza di circa 5 km dalla miniera. L'allegato 1, "Carta di inquadramento generale dell'area delle attività della Carbosulcis Spa", mostra le attività dell'azienda inserite nel contesto dell'area del Sulcis.

1.3 Inquadramento geologico

Il Bacino Eocenico del Sulcis ospita un importante giacimento carbonifero che giace sopra un basamento paleozoico costituito da una successione Ordoviciano-siluriano-devoniana ed ha come tetto una successione di litologie vulcaniche e sedimentarie.

Da un punto di vista geologico, come mostrato nell'Allegato 2 "Carta geologica dell'area delle attività della Carbosulcis Spa", nell'area del Bacino carbonifero possono essere individuate sei formazioni geologiche principali che sono legate ad altrettanti complessi idrogeologici.

1.3.1 Basamento Paleozoico

Esso è costituito da rocce impermeabili che costituiscono la base del bacino. Si tratta principalmente di conglomerati, arenarie, siltiti ed argilliti attraversate talvolta da rocce vulcaniche Permo-Triassiche. L'acquifero carbonatico che giace su esso è sigillato in un unico complesso che ha, come letto, la sommità del basamento e come tetto la formazione del "Produttivo".

STAGES		FORMATIONS	MAJOR LITHOLOGIES	DEPOSITIONAL ENVIRONMENT	
CAENOZOIC	MIOCENE	Volcano-sedimentary complex	Pyroclastics rhyolitic ignimbrites andesitic basalts	Volcanics interbedded with continental terrigenous successions	Not studied
	OLIGOCENE	Cixerri Fm. <small>Appr. 450 m</small>	Polygenic conglomerates sandstones siltstones claystones	Alluvial fans braided plains	Alluvial fans
	(Early) EOCENE	Produttivo Fm. <small>Up to 300m</small>	Siltst. Sandst. Cgl coal freshwater limest maris claystones	Fluvial channels palustrine lacustrine paralic lagoonal	Fluvial channels supralittoral paludal-lagoonal littoral
		Miliolitic Limestone Fm. <small>30-70 m</small>	Bio-calcarenes maris	Hypersaline & mesohaline lagoons	Sublittoral
	Palaeocene	Basal Conglom. <small>30-40m</small>	Conglomerates	Transgressive lag	
Mesozoic	Dolomite				
PALAEOZOIC BASAMENT		PERMO-TRIASSIC	Folded metasedimentary formations	Not studied	

Figura 2. Stratigrafia sintetica del Bacino Carbonifero del Sulcis

1.3.2 Calcari Miliolidici

Il riempimento sedimentario terziario del bacino giace in discordanza sul basamento paleozoico. La sequenza sedimentaria inizia con la deposizione dei calcari a miliolidi nel Paleocene. Sottili intercalari carboniosi nella parte sommitale di questa formazione annunciano il passaggio alla formazione sovrastante, quella del Produttivo.

1.3.3 Produttivo

La formazione del Produttivo ha uno spessore variabile tra i 30 ed i 70 m ed è costituita da strati di carbone di vario spessore con intercalari di calcare, arenarie e argilliti. C'è un passaggio graduale e continuo verso la formazione sovrastante, quella delle arenarie del Cixerri e non sempre è presente un confine netto con essa.

1.3.4 *Formazione del Cixerri*

Essa comprende strati consistenti e molto compatti d'arenaria, generalmente conglomeratici alla base. La potenza di questa formazione raggiunge normalmente i 350 m e la sua deposizione fu completata nell'Oligocene medio.

1.3.5 *Serie vulcanica*

Il ciclo sedimentario del Terziario è sovrastato da una sequenza vulcanica originata principalmente da flussi piroclastici ed ignimbriti saldate. Queste vulcaniti hanno formato gli estesi plateaux che caratterizzano il paesaggio della zona. Lo spessore di queste vulcaniti è di circa 400 m.

1.3.6 *Coperture recenti*

Sono costituite principalmente da sabbie quarzose alluvionali con buona permeabilità ed intercalari argillosi. La falda non è formata da un unico acquifero perchè le coperture detritiche interessate non sono continue nell'area; la falda ha un potenziale limitato, come mostrato dal numero limitato di pozzi superficiali nell'area ed è alimentata direttamente dai contributi delle piogge.

1.3.7 *Giacimentologia*

Come indicato precedentemente, il bacino carbonifero del Sulcis si estende per circa 400 km² nell'estremità sud-occidentale della Sardegna e costituisce l'unico giacimento di carbone sub-bituminoso italiano. La sua formazione si fa risalire all'inizio del Terziario, circa 60 milioni di anni fa, quando l'area considerata era caratterizzata da un ambiente di tipo lagunare, con apporti di materiale organico, sedimentario e vulcano-sedimentario. Il giacimento giace sul termine superiore della serie paleozoica, il calcare miliolitico, mentre superiormente esso è limitato dalla formazione sedimentaria delle arenarie del Cixerri, a sua volta interrotta dalla sequenza vulcanica terziaria.

Le mineralizzazioni sono costituite da una successione di letti di carbone di spessore variabile ed estesi con continuità su tutta l'area che determinano la formazione detta del Produttivo, che ha un'estensione nota in sotterraneo di oltre 100 km² ed immerge dagli affioramenti superficiali verso SSW con un'inclinazione media compresa tra 8° e 10°. La potenza del Produttivo aumenta progressivamente da N a S passando da 30 a circa 70 m, con una punta di

250 m misurata nel corso di un sondaggio e dovuta probabilmente a motivi strutturali. Il carbone si è sedimentato in una successione di 10 seam di varia potenza intercalati da letti calcarei e siltosi; i seam inferiori hanno una giacitura più regolare ed una maggiore continuità, ma anche un contenuto in zolfo che può superare il 12%, mentre quelli superiori, attualmente interessati dalla coltivazione, benché siano in generale più discontinui, hanno un contenuto in zolfo nettamente inferiore, intorno al 6%. La potenza ridotta media del carbone del Produttivo nelle aree interessate dalla miniera è 13 m con una potenza totale dei seam di 23 m, comprendendo gli intercalari calcarei e siltosi.

Da un punto di vista tettonico il giacimento è interessato da una serie di faglie distensive con direzione approssimativa NS, delle quali la più estrema, la faglia di Cortoghiana, limita strutturalmente ad E il giacimento. Le altre faglie, meno importanti, dislocano il Produttivo in tre blocchi distinti che permettono la preparazione per la loro coltivazione col metodo delle lunghe fronti.

1.4 Inquadramento biologico

L'area considerata per la descrizione degli ecosistemi esistenti è quella del Permesso di Ricerca di Is Urigus, nella quale sono localizzate le attività di ricerca della Carbosulcis S.p.A.

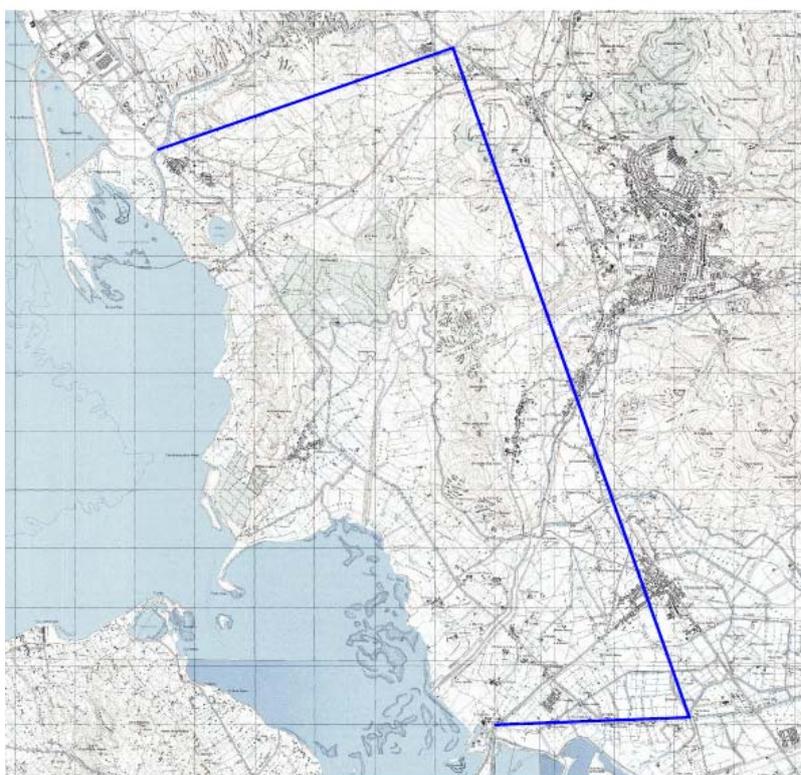


Figura 3. Limiti del Permesso di Ricerca

relative allo sfruttamento del metano contenuto nei letti profondi di carbone ed allo stoccaggio geologico della CO₂. Essa ricade in tre comuni: Portoscuso, Carbonia, San Giovanni Suergi, e ha un'estensione di circa 6.300 ha.(vedi Figura 3). Il sito è caratterizzato dall'assenza di alti rilievi con quote che di rado superano i

100 metri. L'Allegato 3, "Carta degli ecosistemi dell'area delle attività della Carbosulcis Spa" inquadra gli ecosistemi esistenti nell'area del Bacino Carbonifero.

Sulla base delle ampie corrispondenze esistenti tra i settori prossimi alla costa, unitamente alle differenze tra i substrati geolitologici, alle caratteristiche floristiche e delle serie di vegetazione, è possibile identificare la zona come un distretto insulare e costiero contraddistinto dall'influenza del mare e dalla predominanza di paesaggi su rocce effusive acide e da depositi alluvio-colluviali ed eolici litoranei.

Gli ecosistemi riscontrati nell'area si suddividono in naturali ed artificiali.

Ecosistemi naturali presenti :

- Terrestre a Macchia mediterranea
- Marino costiero
 - Gli estuari
 - Le spiagge
 - Lagunare
- Paludi d'acqua dolce
- Fiumi d'acqua dolce

Ecosistemi artificiali:

- Agroecosistema
- Rurale

La zona interessata all'attività di indagine per i propositi della ricerca, è caratterizzata dalla presenza di macchia, ossia un'associazione vegetale che prospera lungo le coste del bacino del Mediterraneo, contraddistinte da un clima temperato con inverni miti e piovosi ed estati molto secche, in cui le grandi foreste di leccio e di quercia da sughero sono state sostituite dalla macchia bassa, con degradazione verso la gariga, formazioni vegetali tipiche di zone calcaree rocciose e aride dove si sviluppano solo arbusti nani e spinosi, particolarmente resistenti alla siccità. Dal punto di vista botanico tra le specie arboree vi è una piccola presenza della quercia da sughero e il leccio. Gli arbusti più rappresentativi sono il corbezzolo, il mirto, il lentisco, la fillirea, il ginepro, l'olivello spinoso e lo smilace. Lo strato più basso com-

prende diverse specie di cisto, varie specie di timo, il rosmarino, la ginestra dei carbonai e l'erica arborea..

La Gariga presenta spesso una copertura discontinua, circondata da numerose specie erbacee per lo più di dimensioni modeste, la maggior parte delle quali è caratterizzata dalla dominanza di una o più specie di arbusti.

La zona costiera è un continuo intrecciarsi di diversi habitat, dovuti alla presenza di una vasta laguna, quella di Palmas, di zone spiaggianti, della confluenza di Riu S. Milano e di un'area paludosa (Stagno 'e Forru). Tutto ciò testimonia la complessità degli habitat riscontrati e li associa tutti alle caratteristiche di una unica zona umida.

Il sistema è costituito da un insieme di aree con acqua a differenti gradi di salinità: si va da punti ad acqua dolce ed eutrofica dello Stagno 'e Forru, a quelle iperaline delle caselle salanti delle Saline di Santa Caterina, passando per la laguna di Palmas.

La flora ha un carattere fortemente mediterraneo con una prevalenza di terofite: tifeto e canneti. Negli spazi aperti sono presenti abbondanti praterie sommerse e praterie a pelo d'acqua con presenza diffusa di poseidonie.

Dal punto di vista faunistico le specie di maggior interesse sono quelle rappresentanti l'avifauna. Nelle zone prossime ai canneti e con acque dolci ricche di nutrienti e fostati, è cresciuto notevolmente il numero di specie e di uccelli che vi nidificano o che vi svernano.

Per quanto riguarda gli ecosistemi artificiali, nelle zone in oggetto vi è la presenza di colture monospecifiche volte all'attività agropastorali.

L'uso del suolo dal punto di vista vegetazionale prevede aree artificiali, aree agro silvo pastorali, aree agricole intensive, oliveti, cespuglieti, arbusteti e aree a vegetazione rada (gariga), vegetazione ripariale, boschi a prevalenza di conifere, macchia mediterranea, sistemi sabbiosi e pareti rocciose, zone umide, corsi d'acqua.

2. L'applicazione delle tecnologie Carbon Capture and Storage nel bacino

2.1 Inquadramento legislativo

La lotta ai cambiamenti climatici ha preso le mosse dal Protocollo di Kyoto del 1997 (entrato in vigore nel 2005) strumento attraverso cui i paesi industrializzati aderenti, si sono impegnati ad operare una riduzione delle emissioni dei sei elementi, tra cui la CO₂, derivanti dalla combustione di combustibili fossili per la produzione di energia, considerati in maggior misura inquinanti per gli ecosistemi, e soprattutto per la generazione dell'effetto serra, causa del surriscaldamento de pianeta. Per il protocollo di Kyoto, la misura di riduzione delle emissioni degli agenti inquinanti non dovrà essere inferiore al 5%, rispetto alle emissioni registrate nel 1990, nel periodo 2008-2011.

Il 2007 ha segnato una svolta nella politica dell'Unione europea in materia di clima e di energia. L'Europa si è, infatti, mostrata pronta ad assumere un ruolo di guida in ambito mondiale nell'affrontare il cambiamento climatico e nel raccogliere la sfida di un'energia sicura, sostenibile e competitiva.

Gli obiettivi comunitari stabiliti dal Consiglio europeo sono:

- la riduzione entro il 2020 del 20% (aumentabile al 30%) delle emissioni di gas serra;
- il raggiungimento entro il 2020 di una quota di energie rinnovabili pari al 20% del consumo dell'UE.

Con il contenimento delle emissioni di gas a effetto serra e l'accrescimento della quota di energie rinnovabili, secondo gli obiettivi concordati da capi di stato e di governo, l'Unione Europea riduce considerevolmente la propria dipendenza dalle importazioni di petrolio e gas, con notevoli risparmi economici (circa 100 Mld di €) e soprattutto una notevole riduzione delle emissioni di CO₂ (circa 800 milioni di tonnellate l'anno).

Il sistema europeo di scambio di emissioni (ETS) è stato uno strumento per incentivare la riduzione delle emissioni di gas a effetto serra. Tale sistema, riveduto e applicato a partire dal 2013, sarà esteso ad altri gas serra oltre il CO₂.

Per raggiungere gli obiettivi di Kyoto, e gli ulteriori obiettivi che l'UE si è posta (ridurre le emissioni di CO₂ del 50% entro il 2050) si rende, tuttavia, necessario ricorrere alla possibilità di sequestrare il CO₂ emesso dagli impianti industriali e di stoccarlo successivamente in formazioni geologiche (cattura e stoccaggio del biossido di carbonio o CCS).

Il Programma europeo per il cambiamento climatico (ECCP II) ha istituito un Gruppo di lavoro sulla cattura e lo stoccaggio geologico del carbonio, che ha rilevato la necessità di elaborare una politica e dei quadri normativi per le tecnologie CCS.

Il tema delle CCS è dunque fondamentale nella legislazione comunitaria, a livello normativo si è infatti riscontrato negli ultimi tempi un intenso dibattito in materia di tecnologie CCS, segno del forte interesse in ambito comunitario e internazionale alla regolamentazione giuridica di tale materia.

L'exkursus normativo prende le mosse dalle proposte di Direttiva presentate dalla Commissione europea al Parlamento in data 23 gennaio 2008, di seguito riportate:

- *Comunicazione della Commissione al Parlamento europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle regioni [COM (2008) 30 definitivo] del 23 gennaio 2008. Due volte 20 per il 2020. L'opportunità di un cambiamento climatico per l'Europa*
- In essa la Commissione evidenzia l'importanza dello sviluppo delle tecnologie di cattura e stoccaggio della CO₂ sottolineando il favorevole accoglimento da parte del Consiglio, delle azioni volte alla promozione di tali tecnologie da realizzarsi anche con la creazione di 12 centrali dimostrative a carbone che utilizzino le CCS.
- *Comunicazione della Commissione per promuovere la dimostrazione in tempi brevi della produzione sostenibile di energia da combustibili fossili [COM (2008) 13 definitivo] del 23 gennaio 2008*
- In essa la Commissione, rimarcando il ruolo delle tecnologie CCS fa una stima dei costi per l'introduzione delle stesse, prospettando la possibilità di finanziamenti non solo privati, ma anche pubblici.
- *Proposta di direttiva al Parlamento europeo e al Consiglio recante modifica alla Direttiva 2003/87/CE per migliorare ed estendere il sistema di scambio delle quote di emissione comunitario (ETS) [COM (2008) 16 definitivo]*
- Con essa la Commissione ritiene opportuno far rientrare nel sistema comunitario di scambio delle quote di emissione (ETS – Emission Trading System) gli impianti che effettuano la cattura e lo stoccaggio della CO₂.
- *Proposta di direttiva al Parlamento europeo e al Consiglio relativa allo stoccaggio geologico del biossido di carbonio [COM (2008) 18 definitivo] del 23 gennaio 2008.* Tale proposta riesce a conciliare l'aspetto della sicurezza dell'approvvigionamento energetico con gli obiettivi in materia di cambiamenti climatici.

Queste quattro proposte, (insieme ad altre due vertenti sull'utilizzo delle fonti rinnovabili e sull'efficienza energetica) sono state approvate, con l'adozione del Pacchetto clima-energia,

dal Parlamento europeo in data 17.12.2008. E' attesa, invece, per la primavera 2009 la loro emanazione da parte del Consiglio dell'Unione Europea.

2.2 Criteri di valutazione della potenzialità di stoccaggio

Il carbone, oltre che un combustibile fossile contenente minerali (Mineral Matter) e componente organica, è un mezzo poroso che, grazie alla sua notevole superficie specifica, si rende disponibile per l'adsorbimento di gas conferendo al carbone una connotazione da reservoir o serbatoio. Il carbone si distingue dalle altre rocce con attitudine da reservoir poiché, anziché occupare il volume dei vuoti come gas liberi all'interno dei grani di solido, i gas sono contenuti sulla superficie del carbone per adsorbimento in macropori e in numerosi micropori.

Le fratture naturali presenti nel carbone, con dimensioni che vanno tra i 2 mm ed i 25 mm, si definiscono "cleat" e costituiscono i macro-pori del letto carbonioso.

Il gas contenuto nel carbone (principalmente metano) usualmente si presenta in tre fasi:

1. adsorbito nei micropori ($\approx 95\%$),
2. disciolto in acqua nelle fratture dei letti,
3. libero nelle fratture (quantità bassissima).

La notevole disordinata superficie all'interno dei micropori del carbone e la stretta vicinanza delle molecole di metano con la superficie interna del solido, porta ad una sorprendente capacità di stoccaggio di gas di questo tipo di mezzo.

In generale il fattore che genera la formazione dei cleats sono le forze tettoniche. I cleats sono classificati in due categorie principali: face cleats, che si formano come estensione delle fratture durante le deformazioni geostrukturali e direzione dello spostamento assiale delle faglie, e i butt cleats che si formano come conseguenza dei processi di erosione ed hanno direzione perpendicolare ai primi.

Per poter caratterizzare i letti di carbone come reservoir di gas è di fondamentale importanza conoscere i parametri geologici, chimici e fisici. L'entità dei gas adsorbiti dipende dai seguenti principali fattori:

- grado, o rango (rank) del carbone,
- porosità,
- diffusività,
- permeabilità,
- composizione del carbone (contenuto in macerali, umidità e contenuto in ceneri),

- andamento delle isoterme di adsorbimento/desorbimento,
- pressione e temperatura del reservoir,
- geologia del reservoir,
- geochimica dei fluidi.

Il contenuto di gas che adsorbe e desorbe in un reservoir di carbone dipende dal **rango** del carbone stesso, che dà una misura della sua qualità e della sua maturità della materia organica. Come mostrato da molti studi presenti in letteratura (R. E. Rogers, 1994; While et al., 2005;), per propositi CBM o ECBM il rank è un dato molto importante. Esistono diverse classificazioni dei carboni in base a differenti parametri di rango. In generale, si fa riferimento alla classificazione relativa alla norma ASTM D388-88, secondo la quale si hanno quattro principali classi di maturazione dei carboni: lignite, bituminosi, sub-bituminosi e antracite; e tredici sotto-classi. Gli studi fatti sinora e riportati in letteratura mostrano che il contenuto di coalbed methane (CBM) ottimale (ben visibile in figura 1), soprattutto di natura termogenica, risulta maggiore per i carboni bituminosi o in generale per i carboni di medio rango, caratterizzati da un'ottima permeabilità.

Altri dati di letteratura evidenziano il fatto che i carboni di alto rango sono quelli che hanno raggiunto un buon grado di maturazione e, dunque, hanno un'ottima capacità di contenimento di gas di idrocarburi (tra cui il CH₄) all'interno della matrice carboniosa. Tuttavia, i carboni di basso rango mostrano un'elevata **porosità**, dal momento che questo parametro diminuisce con l'aumentare del rango, passando dalla lignite ai bituminosi. L'antracite presenta una struttura particolare, mostrando una microporosità elevata. Infatti, con la sua maturazione, il carbone è sottoposto alla elevata compressione dovuta alla profondità dei letti, a cui consegue che l'acqua ed i composti contenenti ossigeno ed altre sostanze volatili (tra cui i gas di idrocarburi) vengono espulsi. Ciò causa una diminuzione del contenuto di gas e la diminuzione delle dimensioni dei micropori.

Dunque, dovendo trovare un compromesso tra la diminuzione di porosità ed il maggiore contenuto di gas, i carboni migliori per propositi CBM/ECBM risultano i carboni di medio rango (bituninosi).

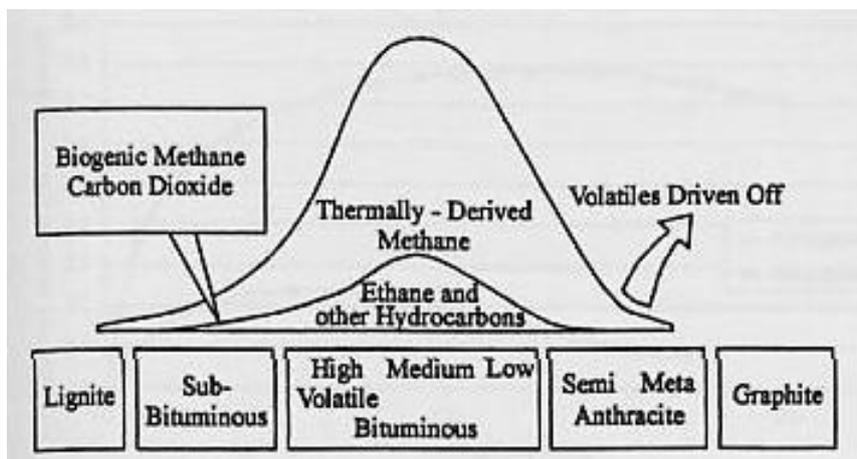


Figura 4. Contenuto di gas in funzione del rango del carbone

alta volatilità”, “bituminosi a media volatilità” e “bituminosi a bassa volatilità”.

Si deve tuttavia tener conto del fatto che un elevato contenuto di gas all’interno del carbone non implica un elevato flusso di questi. La capacità del carbone di desorbire gas dipende essenzialmente da due sue proprietà: la **permeabilità** e la **diffusività**. Infatti, il meccanismo che governa il flusso di gas all’interno dei letti di carbone include tre step:

1. desorbimento di gas dalla superficie del carbone all’interno dei micropori,
2. diffusione del gas attraverso i micropori (di dimensione < 2nm),
3. flusso di Darcy attraverso le fratture ed i cleats (macro-pori).

La diffusione di gas attraverso i micropori del carbone avviene seguendo la legge di Fick, secondo cui il flusso di gas dipende dalla diffusività del mezzo e dal gradiente di concentrazione all’interno dei micropori stessi. La diffusività del gas nel carbone può essere misurata in laboratorio, per cui risulta relativamente semplice dare una misura della potenzialità di flusso di gas all’interno dei micropori. Invece, il trasporto di fluido (gas, ma anche acqua) attraverso la rete di fratture e di cleats segue la legge di Darcy; per cui è direttamente proporzionale alla permeabilità del carbone stesso e al solo gradiente di pressione.

Come già accennato, i cleats sono i principali indici di permeabilità, che risulta fondamentale nei fenomeni di desorbimento e adsorbimento del gas nel carbone.

Il carbone Sulcis, classificato come “bituminoso ad alta volatilità di classe C”, risulta dunque adatto per sviluppo ECBM, anche se tra i carboni di medio rango risultano preferibili (R. E. Rogers, 1994) carboni classificati come “bituminosi di classe A ad

Nel realizzare un pozzo di drenaggio del CBM, la prima fase di evacuazione dell'acqua (dewatering) riduce la pressione idrostatica dello strato di carbone. Il metano desorbe dal carbone man mano che la pressione diminuisce e la pressione del gas aumenta. Al desorbimento

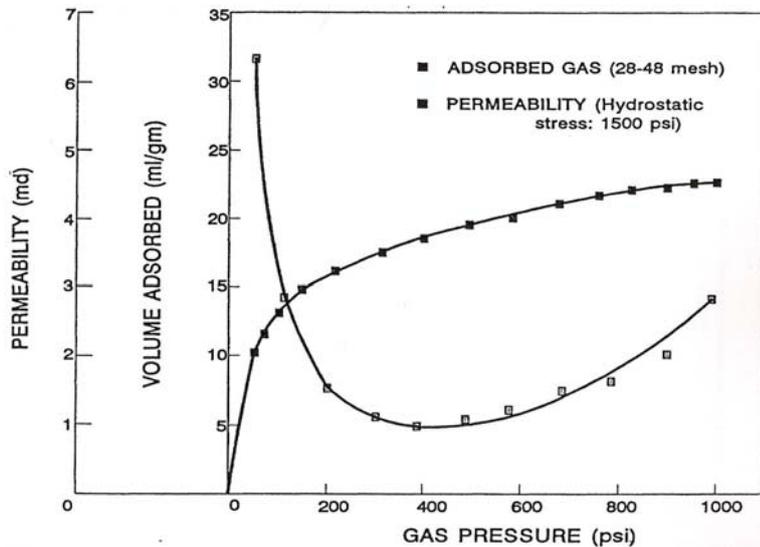


Figura 5. Permeabilità e volume adsorbito di gas in funzione della pressione

del metano, la matrice di carbone si contrae (shrinkage). I cleats e le fratture si allargano e la permeabilità cresce. Quest'aumento della permeabilità dovuto alla contrazione della matrice, è superiore alla riduzione della permeabilità dovuta all'aumento dello stato di sollecitazione conseguente alla riduzione della pressione del gas. Contrariamente al crescere della pressione del gas, in fase di adsorbimento ad esempio, la matrice si rigonfia (swelling) per la saturazione dei pori e si genera una chiusura dei cleats, riducendo la permeabilità. La legge però non è lineare, infatti la permeabilità raggiunge un minimo quando lo stato di sforzo generato dalla pressione del gas in equilibrio col mezzo, incomincia a creare fratturazione nel carbone aumentando il numero di cleats, facendo ricrescere la permeabilità.

In realtà lo shrinkage e il swelling sono fenomeni di disturbo che influenzano la permeabilità, e possono essere apprezzati in laboratorio esclusivamente ripristinando, per quanto possibile,

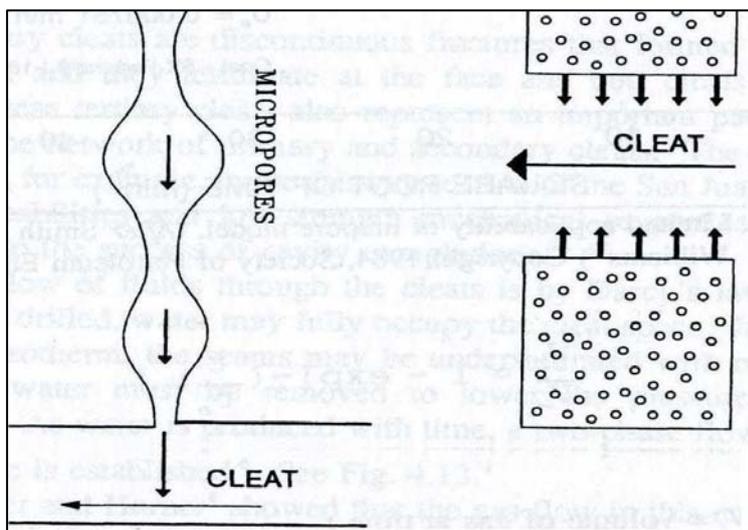


Figura 6. Schematizzazione delle traiettorie di flusso

le condizioni che si presentano nello strato di carbone. Le stesse curve di adsorbimento e desorbimento teoriche differiscono da quelle reali a meno di fattori correttivi

In figura 6 si può notare una schematizzazione dei flussi di materia all'interno dei micropori e dei cleats.

La **composizione del carbone**, intesa come contenuto in macerali, umidità e contenuto in ceneri, riveste una notevole importanza sui fenomeni di adsorbimento e desorbimento di gas come sottolineato da vari studi riportati in letteratura.

I **macerali** sono le particelle organiche del carbone più piccole distinguibili al microscopio. Queste si differenziano tra loro per le proprietà ottiche e per la composizione chimica. Ci sono, infatti, tre gruppi di macerali:

1. vitrinite,
2. liptinite,
3. inertite.

Generalmente la vitrinite è il più abbondante tra i macerali presenti nel carbone, è anche quello più omogeneo ed è quello che maggiormente contribuisce alla formazione dei cleats nel carbone (aumento di porosità); ma l'importanza di questo macerale risiede soprattutto nel fatto che è capace di produrre elevate quantità di gas di idrocarburi. La liptinite, anche chiamata exinite, (ha come sotto-gruppi: la resinite, la cutinite e l'alginite) ha la potenzialità di produrre gas ed oli di idrocarburi; mentre l'inertite non è in grado di produrre né gas, né oli di idrocarburi. Inoltre, un elevato contenuto di inertite nel carbone, comporta una scarsa propensione del carbone stesso a formare cleats. Dunque, risulta particolarmente rilevante, per studi riguardanti adsorbimento di gas nel carbone, il contenuto in vitrinite, e soprattutto una sua proprietà ottica, la riflettanza in olio (o coefficiente di riflettanza, R_0 %), parametro essenziale per valutare il grado di maturazione di un carbone.

Per quanto riguarda l'**umidità** del carbone, è noto che questa riduce la sua capacità di adsorbimento di metano poiché l'acqua va ad occupare gran parte dei micro-pori, rendendoli non più disponibili come siti di adsorbimento. Questo spiega perché un carbone di basso rango (il contenuto di umidità del carbone cresce al diminuire del rango) ha una capacità significativamente maggiore di adsorbimento di gas su base anidra, che su base idrata. La quantità di metano adsorbita diminuisce con l'umidità fino ad una soglia critica, che è caratteristica di ogni carbone.

Ancora relativamente alla composizione del carbone e alla sua influenza sui fenomeni di adsorbimento e desorbimento, risulta utile valutare il **contenuto in ceneri**. Questo è strettamente correlato alla *mineral matter* del carbone. Essendo il metano adsorbito dalla componente organica del carbone, alte percentuali di ceneri implicano minori capacità di adsorbimento. Inoltre, la CO_2 interagisce preferenzialmente con la componente organica del carbone, per cui il contenuto di ceneri ha solo una funzione di diluente inerte, aggravata dal fatto

che la sua presenza genera un effetto negativo anche sui meccanismi di fatturazione del carbone.

Per poter avere un'idea precisa del contenuto di gas che può essere adsorbito da un carbone occorre effettuare delle prove di adsorbimento, mentre per poter valutare il gas che desorbe da esso, si effettuano delle prove di desorbimento. Per un dato carbone, la quantità di gas adsorbito è funzione della pressione del gas all'interno del volume dei pori; e il volume totale adsorbito è limitato dalla superficie libera disponibile. La relazione tra volume adsorbito e pressione ad una fissata temperatura è definita "isoterma di adsorbimento" ed è una proprietà fondamentale del carbone di reservoir. Le isoterme di adsorbimento sono misurate in laboratorio utilizzando metodi gravimetrici o volumetrici. Il metodo gravimetrico si basa sulla misura dell'aumento di peso del campione di carbone durante l'adsorbimento del gas. Il metodo

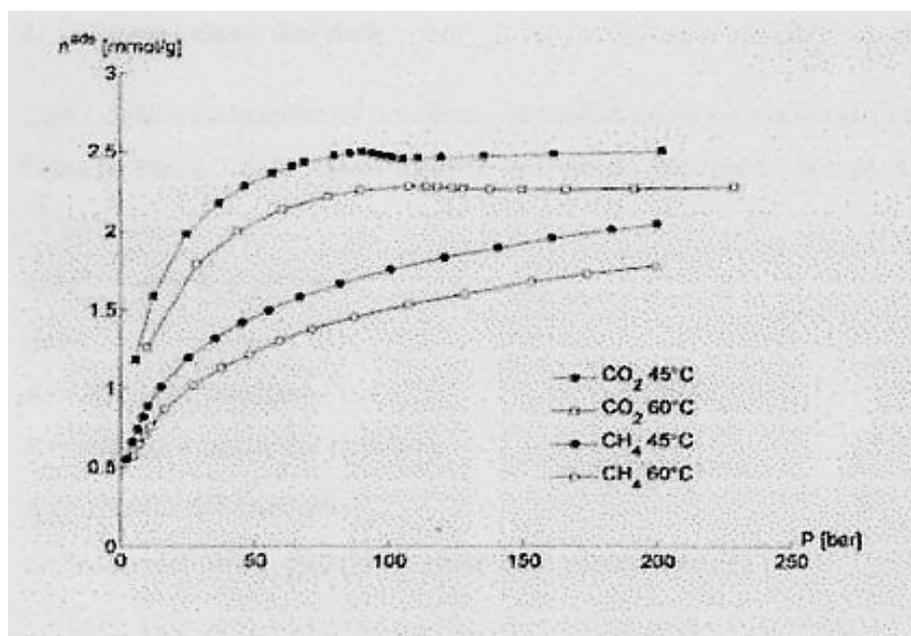


Figura 7. Isoterme di adsorbimento in funzione della pressione per CO_2 e CH_4

volumetrico stima il volume di gas adsorbito all'interno del carbone basandosi su misure del volume di gas e della pressione. La relazione tra quantità di gas adsorbito e pressione del gas libero a cui il campione di carbone è esposto è proprio l'isoterma di adsorbimento. Fissata la temperatura, i risultati di ogni misurazione quantificano e mettono in relazione la capacità di stoccaggio di un dato carbone a diversi valori di pressione. Il discorso è analogo per le misure di desorbimento, sebbene tra le isoterme di adsorbimento e quelle di desorbimento non ci sia sempre una coincidenza evidente per via di una certa isteresi. In figura 4 è riportato l'andamento delle isoterme di adsorbimento, sia per CH_4 , che per CO_2 e per due diversi valori di temperatura.

Dall'andamento delle isoterme riportate in figura si nota che la quantità di CO_2 adsorbita risulta maggiore rispetto a quella di CH_4 e risulta tanto maggiore per valori più bassi di tempe-

ratura. Da ciò si deduce che la CO₂ ha una maggiore affinità del metano verso le superfici del carbone.

Per quanto riguarda l'influenza della profondità del reservoir sul contenuto di metano si nota (Figura 5) come questo sia variabile in relazione alla profondità e funzione dalla **pressione e di temperatura** che dipendono dalla profondità stessa. Questo tipo di comportamento è dimostrato anche dall'andamento delle isoterme ottenute.

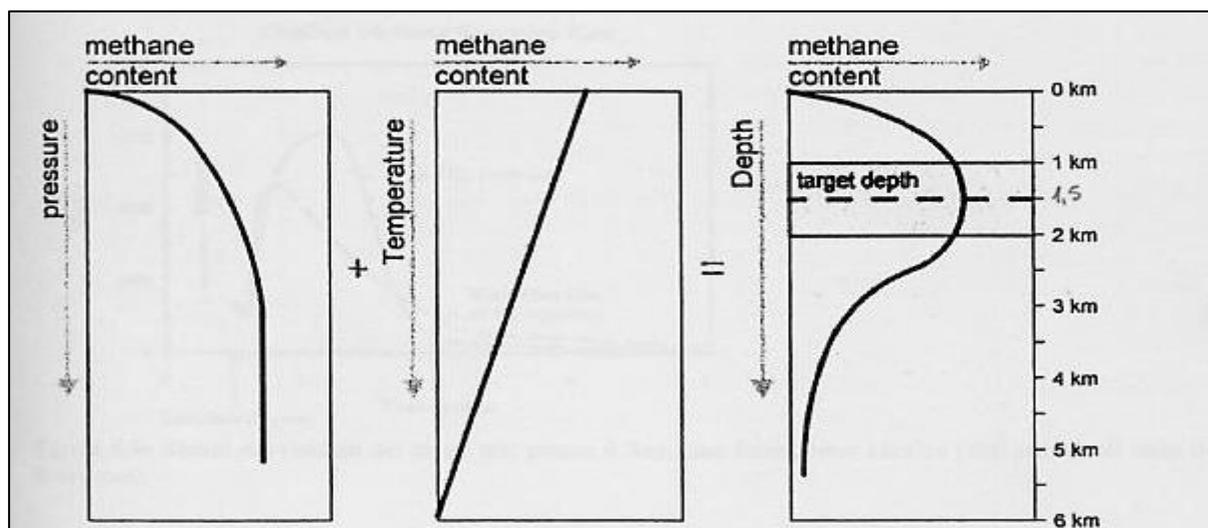


Figura 8. Presenza di metano in funzione della pressione, della temperatura e della profondità.

Per quanto riguarda l'aspetto **geologico/petrografico del reservoir** è importante che questo possa rispondere ai requisiti di confinamento rappresentando un sistema stabile e isolato. Il requisito di stabilità è fondamentale per prevenire fenomeni di subsidenza in superficie dovuti al collasso della struttura sovrastante lo strato di carbone (caprock). La stratigrafia dev' essere pertanto tale da evidenziare sistemi litologici con caratteristiche geostrutturali adeguate e stabili a medio e lungo termine. Alla resistenza della struttura del reservoir si deve associare la sua capacità sigillante, ossia priva di sistemi geologicamente critici per il trasporto della CO₂ verso la superficie (fenomeni di leakage e seepage). Questo requisito è più difficile da determinarsi dal momento che dipende da fenomeni di scorrimento di natura tettonica. La presenza di faglie non pregiudica comunque la capacità o l'efficacia del reservoir dal momento che queste possono essere più o meno attive. Faglie inattive anzi possono concorrere a fenomeni di compartimentazione di aree dello strato di carbone dove si concentra la presenza di metano.

Per quanto riguarda gli acquiferi, relativamente alla **geochimica dei fluidi**, studi di letteratura segnalano il fatto che le acque di formazione di reservoir con letti a metano effettivamente

sfruttabili per propositi CBM/ECBM sono, in generale, prive di solfati in soluzione e depleti anche in calcio e magnesio; nonché contenenti bicarbonato di sodio come chimica di base e, dove contaminate da acque di mare, anche cloruri. Il processo di riduzione del solfato (Orem-land et al., 1982), è infatti, una reazione pre-requisito per la biogenesi del metano. In mancanza di ossigeno il solfato funge infatti da accettore di elettroni ceduti dalla sostanza organica presente, riducendosi a solfito ed innalzando anche il pH. Il verificarsi di questa reazione è una condizione coadiuvante nella termogenesi del metano ed aumenta l'arricchimento dei carbonati disciolti, che a sua volta comporta l'impovertimento in Ca e Mg. Alle condizioni garantite di un ambiente anossico, con basse concentrazioni di solfato, presenza di materia organica come il carbone, che presenta batteri metanogenici, in condizioni ottimali di temperatura e spazio di poro in-situ, avviene la produzione di metano.

2.3 Caratterizzazione del Bacino Carbonifero del Sulcis per le CCS

L'obiettivo di qualificare e caratterizzare il Bacino carbonifero del Sulcis, verte attraverso l'investigazione delle potenzialità delle aree non sfruttabili dal punto di vista minerario, che sono circa il 70% della sua estensione totale, al fine di rendere il bacino carbonifero, a tutti gli effetti, un sito di conferimento geologico della CO₂ nei letti di carbone o in acquifero profondi, con o senza recupero di metano, seguendo un protocollo metodologico, in parte già avviato, il quale permetta di raccogliere gli elementi per avviare la fase operativa, il cui espletamento si compirà entro i prossimi anni. Tali attività non interferiscono con la coltivazione del carbone con metodi tradizionali all'interno della concessione mineraria, che interessa l'area del bacino in cui il giacimento è meno profondo.

La Carbosulcis s.p.a. nel Settembre 2007 ha ottenuto il permesso di ricerca "Is Urigus" per metano, carbone e acque termali, che la autorizzano ad avviare una campagna di indagine essenzialmente costituita da sondaggi profondi e sismica di superficie.

Per la realizzazione di questo progetto la compagnia si sta avvalendo di diverse partnership internazionali con i quali ha avviato l'attività di indagine dal 2004.

Nell'ambito di collaborazione con ENEA all'interno dell'Accordo di Programma MSE-ENEA che vede Carbosulcis contribuire nel "Survey geologico e studio delle potenzialità di applicazione di tecnologie ECBM nel giacimento carbonifero del Sulcis", gli obiettivi che si intende raggiungere sono:

- avviare un sistema di apprendimento metodologico e tecnologico per l’acquisizione dei dati necessari alla caratterizzazione del bacino attraverso analisi in situ e simulazioni in laboratorio;
- definire un sistema di analisi dei dati per la modellizzazione geologica al fine di prevedere il conferimento nei letti profondi di carbone e nell’acquifero nel breve e nel lungo periodo, per mezzo del monitoraggio geologico ed ambientale;
- individuare un protocollo metodologico e procedurale nelle fasi di caratterizzazione, esplorazione, stoccaggio, monitoraggio e della valutazione del rischio, in linea con le proposte di direttive Europee in via di definizione.

Il progetto si configura all’interno del nuovo settore di ricerca tecnico-scientifica di ambito energetico-ambientale, definita come ‘Carbon Capture and Sequestration’, che comprende tutte quelle attività legate alla cattura della CO₂ generata dalla produzione industriale e soprattutto dall’attività di produzione di potenza attraverso combustibili fossili tradizionali, in special modo dal carbone.

La diffusione, la commercializzazione, successiva alla fase di sperimentazione e pubblica accettazione delle CCS, al fine di mitigare la concentrazione della CO₂ nell’ambiente, rappresentano gli obiettivi per limitare l’effetto sul clima, sull’ambiente e quindi sull’ecosistema, che il ‘gas serra’ genera nel pianeta, per raggiungere gli obiettivi che già la comunità internazionale si è posta attraverso accordi intergovernativi e comitati internazionali (Protocollo di Kyoto, CSLF, ZEP, ecc.).

L’area industriale del Sulcis è sede di una concentrazione di industrie metallurgiche, chimiche e di centrali per la produzione d’energia elettrica che, secondo i dati in nostro possesso, hanno emissioni valutabili in circa 3,3 Mt/anno di CO₂.

2.4 Obiettivi del progetto

Strategicamente il progetto ha due valenze principali:

1. aprire nuovi mercati nell’ottica della diversificazione del prodotto e dell’evoluzione dell’attività produttiva.
2. contribuire allo sviluppo di tecnologie che, in un contesto internazionale di richiesta energetica, consentano l’impiego di un combustibile fossile diffuso e a basso costo, quale è il carbone, in maniera ecosostenibile. La successiva diffusione di dette tecno-

logie assentirebbe indubbiamente ad una sensibile crescita il mercato del carbone, il che gioverebbe all'impresa, in quanto ragione sociale della compagnia mineraria.

La valenza strategica e le prospettive dell'apertura e della diffusione del mercato dei crediti verdi relativi alla sostenibilità ambientale per la mitigazione del gas serra, giustificano la scelta aziendale e l'intrapresa verso questo progetto.

In merito all'obiettivo globalmente riconosciuto di sviluppare le tecnologie di mitigazione dei gas serra nel pianeta, in Italia, uno dei siti sulla carta più idonei all'applicazione di una tecnologia di conferimento geologico della CO₂ nei letti profondi di carbone e nell'acquifero sottostante è il bacino del Sulcis. La ragione è dovuta all'ubicazione del più grande bacino carbonifero italiano, che si trova all'interno dell'area industriale del Sulcis, caratterizzata da attività di produzione chimica, metallurgica e di produzione di potenza (centrale termoelettrica a carbone Enel di Portovesme) che si trovano entro un'area di 20 km.

L'attività di stoccaggio della CO₂ per mezzo del concessionario minerario permette di creare una forte sinergia tra il produttore di combustibile fossile e le aziende energivore, in quanto si genererebbe un sistema di produzione di potenza da carbone a bassissima emissione. Inoltre, ubicata a circa 60 km di distanza dalla concessione mineraria, si trova la Saras SpA Raffinerie Sarde, con il relativo indotto coinvolto nelle attività di raffinazione degli idrocarburi. Gli insediamenti industriali che si trovano entro un'area di meno di 100 km dal sito di potenziale stoccaggio nel bacino del Sulcis rappresentano da soli circa il 45% delle fonti di emissione di CO₂ in Sardegna. Il successo della fattibilità di conferire CO₂ in sottosuolo e nella realizzazione di un impianto pilota darebbe enormi prospettive all'industrializzazione dell'attività, con risvolti di sviluppo economico, occupazionale e scientifico, a livello locale e nazionale.

Il completo successo del progetto permetterebbe, inoltre, la produzione di volumi non trascurabili di metano, fonte energetica a basso impatto ambientale, che sarebbe disponibile per le applicazioni civili e industriali del Sulcis.

Dal punto di vista occupazionale sono già state descritte le potenzialità del progetto in termini di realizzazione di nuove opportunità nel tessuto industriale del Sulcis. Il successo del 'test site' aprirebbe la strada ad investimenti su scala industriale.

Nel caso di Carbosulcis, l'impiego delle CCS permetterà la creazione di un sistema di produzione di energia a basso impatto ambientale che utilizza il carbone come fonte combustibile e quindi ne salvaguarda la produzione e l'impiego, dando certezza alla filiera carbonifera e ai posti di lavoro del Sulcis.

2.5 *Il progetto*

2.5.1 *Impostazione dell'attività*

Il progetto ha previsto un programma di ricerca che si è sviluppato su due macrofasi principali che vertono nella :

1. caratterizzazione del carbone Sulcis e individuazione delle proprietà necessarie a valutare la sua allo stoccaggio geologico della CO₂ ed al recupero del metano al fine di individuare la metodologia e l'approccio per la qualificazione e classificazione del bacino (reservoir) che avverrà attraverso analisi di laboratorio e modellazione matematica sulla base dei dati raccolti con campagne in superficie e attraverso sondaggi profondi.
2. definizione della metodologia applicativa più idonea all'attività di ricerca sullo stoccaggio geologico della CO₂ , l'estrazione del metano dal sottosuolo e l'impatto ambientale delle tecnologie proposte svolta attraverso sperimentazioni su impianto pilota e l'applicazione di metodologie e tecniche di monitoraggio ambientale.

Nel complesso, il progetto si struttura secondo i seguenti Obiettivi Realizzativi (OR):

Fase 1 Compiuta

OR 1.1 – Raccolta dati

OR 1.2 – Campionamento carbone e acque da giacimento per test di prefattibilità

OR 1.3 – Analisi e test su acque profonde e carbone nell'area coltivata

OR 1.4 – Elaborazione dati su potenzialità carbone

OR 1.5 – Esecuzione test linea sismica

OR 1.6 – Elaborazione ed interpretazione sismica

OR 1.7 – Valutazione congiunta dei dati (go/no go)

OR 1.8 – Impostazione della metodologia di approccio

Secondo gli studi di prefattibilità per il progetto Carbosulcis, la capacità di stoccaggio di CO₂ stimata nelle aree interessate tra letto di carbone profondo e acquiferi sottostanti è di circa 265 Mt (fonte INGV), che permetterebbe, agli attuali livelli produttivi, un conferimento della CO₂ prodotta nell'area per oltre cento anni, come riportato nella seguente tabella.

	ON SHORE	OFF SHORE	TOTALE
Gas potenzialmente producibile con CBM	6687	4566	11253
Gas potenzialmente producibile con ECBM	12037	8219	20256
			31509
CO ₂ potenzialmente stoccabile con ECBM	42	29	71
CO ₂ potenzialmente stoccabile a saturazione del reservoir	110,1	83,5	193,6
			264,6

Tabella 1. Quantitativi di metano potenzialmente producibile [Mm³] e di CO₂ stoccabile [Mt].

2.5.2 Primi Risultati Operativi

In generale la caratterizzazione di un reservoir per ECBM e stoccaggio CO₂ segue protocolli che mirano all'individuazione dei parametri che valutano la produzione di gas da un letto di carbone e la capacità che ha questo di contenere la CO₂.

Gli attributi di ogni sito sono specifici e diversi, e questo comporta che a partire da una serie di informazioni certe, sia necessario definire il protocollo di acquisizione in funzioni delle dette condizioni a contorno.

Le proprietà necessarie alla valutazione dell'idoneità del carbone si suddividono in:

- *Proprietà di Contenimento del Gas (Gas Storage Properties)*
- *Contenuto di Gas (Gas Content)*
- *Isoterme di Adsorbimento e Desorbimento (Sorption Isotherms)*
- *Porosità (Porosity)*

Proprietà di Migrazione del Gas (Gas Flow Properties)

- *Diffusività (Diffusivity)*
- *Permeabilità (Permeability)*

L'approccio nell'attività di studio è stato sistematico, condotto separando distintamente l'aspetto di produzione del metano da quello di stoccaggio dell'anidride carbonica, focalizzando maggiormente l'attenzione sul sistema geologico ed idrogeologico del bacino, al fine di ricostruire i rapporti di causa ed effetto che hanno generato il risultato delle indagini attuali, e che possono fornire una chiave di lettura per ciò che ci si può aspettare da una indagine successiva sul bacino carbonifero.

Lo studio è partito dalla composizione del carbone, individuandone la proporzione nelle componenti organica ed inorganica, e identificando la bontà della parte organica che è quella che agisce nella generazione del CH₄ e nel sequestro della CO₂.

La vitrinite è uno dei parametri riconosciuti per definire la genesi e quindi il rango del carbone, mentre la sua riflettanza individua in un certo senso quanto efficacemente questa componente organica genera CH₄ e da indicazione sulla sua origine, ossia biogenica o termogenica. Infatti entrambe partecipano alla generazione del CH₄, ma in proporzione differente a seconda della profondità dello strato carbonifero, con proporzione decrescente da parte della prima rispetto alla seconda man mano che aumenta la profondità stessa.

Dalle prove sul carbone raccolto nei cantieri di produzione a -400m, risulta che il valore di riflettanza della vitrinite è pari a %Ro=0,40-0,45, calcolato sulla base dei campioni raccolti in Carbosulcis, direttamente con test di laboratorio, e confortati dai risultati di precedenti pubblicazioni relative allo studio del giacimento (Otelli, Fadda 1994..., Dreesen 1997).

Partendo dai risultati della misura sulla riflettanza della vitrinite sui campioni di -400m raccolti, si sono effettuate ipotesi su diversi scenari, correlando i dati di profondità e temperatura alla trasmissività del calore attraverso la formazione del produttivo. In altre parole, sulla base dei dati disponibili (spessore degli strati che comprendono il produttivo, sia per la parte bassa che per la parte alta, litologia degli strati, ecc...), ma in mancanza di alcune informazioni importanti (stato di sforzo e deformazione dovuti a fenomeni tettonici, corretta sequenza di sedimentazione, erosione nel tempo, ecc...) si sono realizzate delle curve teoriche di trasmissione del calore. Infatti sull'ipotesi di una certa omogeneità della trasmissività termica del mezzo, le curve predicono lo sviluppo del gradiente di temperatura nei tempi geologici, in funzione della profondità del letto di carbone. In funzione di ciò si può correlare la percentuale di riflettanza della vitrinite alla temperatura.

Il modello concepito rivela che ad una %Ro=0,40-0,45 misurata sui campioni di carbone Sulcis di -400m, si può prevedere una %Ro~0,65 a -800m e %Ro~0,75 a -1000m. Questi valori sono comunque perfettamente in linea con quanto riportato sulla letteratura relativa alle attività di recupero del metano dai giacimenti di carbone, e avvalorano la necessità di approfondimento d'indagine attraverso la campagna di sondaggi.

Come già accennato, la capacità di un letto di carbone di adsorbire un gas, che lo contraddistingue da un reservoir convenzionale, nasce da fenomeni sia fisici di riempimento che chi-

mici di interazione molecolare, ed è strettamente legata alle condizioni a contorno, tra cui più importanti sono la pressione e la temperatura.

A tal proposito le prove di adsorbimento col carbone Sulcis, con le isoterme a 45°C e a 60°C, rispettivamente le temperatura di -400m e quella che si ipotizza viga a -1000m, provano l'eccellente capacità del carbone di adsorbire CH₄ (34 Nm³/ton) e CO₂ (56 Nm³/ton), pur avendo, di contro, un riscontro reale del tutto opposto, in quanto la miniera non è di per se a rischio di grisù, ossia gli strumenti non registrano volumetrie sensibili di metano prodotto dal carbone.

Questa incongruenza viene interpretata tenendo conto del fatto che l'assenza di metano, non necessariamente vuole intendere che il carbone non sia capace di produrne, anzi i test sui macerali, nonché i parametri delle grandezze caratteristiche dimostrano che ci si trova davanti ad un carbone perfettamente in linea con quelli che già hanno fornito risultati su applicazioni di CBM ed ECBM. La ragione in tal senso andrebbe invece ricercata sulla continuità dello strato di carbone in funzione della permeabilità.

La permeabilità è uno dei parametri di fondamentale importanza, che fornisce indicazione sul moto del fluido (gas) attraverso il mezzo (carbone), e che dipende, come già precedentemente trattato, dalla genesi del carbone (in termini di forze applicate nel tempo), dallo stato di sollecitazione al quale è sottoposto lo strato, dalla pressione del gas, dalla fatturazione dovuta allo stato di sforzo dovuta all'attività tettonica o dall'erosione, dalla presenza di acqua, dalla porosità e dalle leggi che governano i fluidi secondo Darcy. Tutti questi parametri interagiscono tra loro in maniera dinamica in funzione dell'evoluzione del fenomeno.

La permeabilità è un parametro dinamico, e può variare da seam a seam, ossia in funzione della profondità. Posto che ad una certa profondità assuma un valore costante, la permeabilità, nel caso del bacino del Sulcis, è stata valutata nel contesto di congruenza e continuità dello strato di carbone, che invece, nella fattispecie, è caratterizzato da singolarità litologiche ossia intercalari, e geologiche strutturali ossia faglie e pieghe, di diversa entità.

La permeabilità nei campioni di carbone Sulcis non è stata misurata direttamente, ma ipotizzata sulla base misure indirette e considerazioni di coerenza rispetto agli altri parametri riscontrati. Dagli studi precedenti sui siti già interessati a CBM, è evidente che per profondità analoghe il range di permeabilità varia tra 20 e 200 mD mentre per profondità sull'ordine dei 1000m l'intervallo è compreso tra 0,2 e 50 mD.

Le considerazioni fatte su prove di permeabilità (Lugeon), sulle formazioni sovrastanti il produttivo, oltre ai ragionamenti fino ad allora effettuati, hanno permesso di ipotizzare che la permeabilità del carbone Sulcis rientri in questi intervalli.

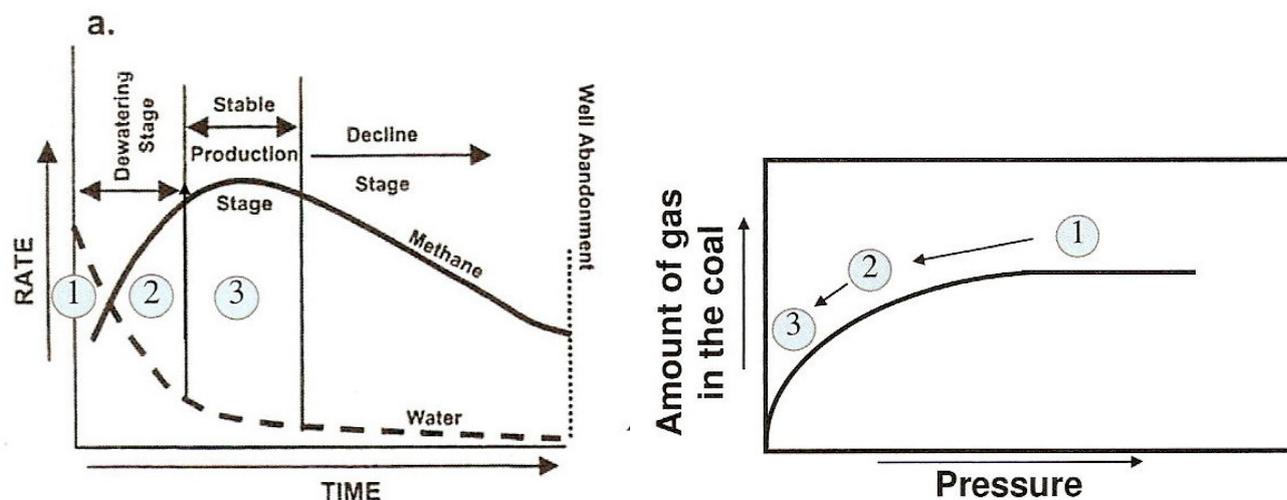
Ciò che non è auspicabile è che fin dagli strati più superficiali si abbiano valori di permeabilità ridotti, in quanto al crescere della profondità inevitabilmente ci sarà una riduzione della stessa.

Non si conosce quale sia la situazione nelle aree profonde inesplorate del bacino carbonifero in merito a caratteristiche del carbone e sistema geologico.

Sottolineato che gli studi effettuati hanno coperto un arco di alcuni anni e sono stati supportati da partnership titolate, l'esito della campagna di prefattibilità è stato che il carbone Sulcis, attraverso misurazioni e valutazioni dirette o indirette, presenta buone affinità in termini di produzione e trasporto del metano, così come di sequestrare la CO₂. La capacità del carbone di adsorbire la CO₂ è legata soprattutto alla presenza dei macerali e alla permeabilità. Il sistema di cleats, da una prima analisi visiva sui campioni sembra molto promettente, così come le prove di sorbimento. Il rapporto tra la produzione del metano e il sequestro della CO₂ è di proporzioni rispettivamente 1:2 (per ogni molecola di metano prodotta si segregano due molecole di CO₂).

Inoltre un altro fattore contrastante è rappresentato dall'assenza di acqua nella miniera, e quindi nella formazione del produttivo. L'acqua ha un ruolo importante in termini di isolamento del sistema in quanto ha un compito di contenimento idrostatico del reservoir. Come già detto, al momento della realizzazione di un pozzo e al raggiungimento della profondità del seam interessato, la prima fase è di dewatering per ridurre il carico idrostatico sul sistema e permettere al gas di desorbire ed essere pompato in superficie.

Figura 9. Dewatering e produzione di metano



Non avendo reali riscontri di sensibile attività idrica nei seam a -400m, è da auspicarsi che sia il sistema di faglie e pieghe, supposte impermeabili se coerenti con quelle già conosciute, a garantire una compartimentazione e quindi un sistema di contenimento del gas nel bacino, nelle aree interessate a -1000m.

La stima effettuata sulla quantità di metano producibile nel bacino, nonché sulla potenzialità di segregare CO₂, nasce da un calcolo che moltiplica il volume disponibile, a meno di termini correttivi legati alla fenomenologia, per il contenuto di gas per unità di carbone (GC). Questo valore non è stato mai calcolato con prove di desorbimento, ma stimato sulla base dei valori caratteristici del carbone quali, umidità, macerali, potere calorifico, porosità, permeabilità, ecc... in comparazione agli altri carboni esistenti al mondo che mostrano caratteristiche simili. Il calcolo non ha tenuto conto di considerazioni di natura geologica, ma semplicemente ha riguardato la determinazione dei volumi relativi alle aree del bacino carbonifero del Sulcis in maniera acritica.

Sono state effettuate alcune ipotesi sulla potenzialità del bacino, che sono state già impiegate per fare una stima della vita del reservoir in funzione della produzione di CO₂ nell'area industriale del Sulcis interessata al ciclo produttivo "pulito".

2.5.3 Conclusioni

La conclusione della prima campagna di studio, nonostante le incertezze di natura geologica, è comunque positiva, e tale da permettere l'elaborazione di una metodologia da applicarsi per sviluppare ulteriormente le tecniche e le tecnologie, e valutare la fattibilità di un impianto dimostrativo.

Lo studio ha sottolineato la bontà del carbone sulla base di una serie prove effettuate, interpretando i dati mancanti sulla base dell'esperienza e della letteratura universale sulle tecniche di CBM ed ECBM, arrivando a conclusioni che allo stato attuale dipendono sensibilmente dalla natura delle ipotesi.

Sono stati riportati gli aspetti positivi del carbone inserendoli nel contesto geologico, valutando le potenzialità del bacino nel suo insieme, cercando di fornire risposte di carattere generale legate alla sua genesi e alla sua natura, a quesiti importanti come l'assenza di acqua e metano nelle aree di coltivazione a -400m.

La sintesi del lavoro ha evidenziato come ci siano le premesse per approfondire la conoscenza del reservoir sia in termini di produzione di metano che in termini di conferimento dell'anidride carbonica nelle aree di indagine del permesso di ricerca a -1000m.

2.5.4 Sviluppi presenti e futuri

In virtù dei risultati della prima campagna di studio in campo, si è realizzato un protocollo di attività, che in parte sono già state avviate, e che riguardano l'indagine del bacino carbonifero attraverso la realizzazione di campagne di studio in situ, ossia il sondaggio con recupero di carota ad una profondità di 1000m per un numero massimo di 10 fori entro i prossimi due anni, e la sismica di superficie a riflessione per un totale di 40 km di linee. Attualmente la previsione del numero di fori minimo necessario ad avere una conoscenza più approfondita dei fenomeni è di 6, di cui uno già realizzato, mentre la campagna di sismica è stata realizzata durante la stagione estiva 2008, ed è attualmente in fase di interpretazione sulla base dell'incrocio dei dati dei sondaggi.

La fase realizzativa dovrà quindi prevedere:

Fase 2 da Compiersi

OR 2.0 – Realizzazione campagna di sondaggio: Foro 1

OR 2.1 – Foro 2, 3, 4

- OR 2.2 – Foro 5, 6
- OR 2.3 – Indagine in foro: Logging & Well Testing
- OR 2.4 – Valutazione congiunta dei dati
- OR 2.5 – Acquisizione ed interpretazione dei dati sismici
- OR 2.6 – Geologia del reservoir e Sviluppo del Modello Geologico
- OR 2.7 – Caratterizzazione del Reservoir
- OR 2.8 – Sintesi dei risultati di laboratorio e modellazione del Reservoir
- OR 2.9 – Sintesi e definizione degli aspetti operativi
- OR 2.10 – Gestione del Progetto ed attività di Report
- OR 2.11 – Modellazione dell'iniezione e della produzione
- OR 2.12 – Monitoraggio della migrazione dei gas nei letti di carbone e accertamento dell'integrità delle rocce di copertura
- OR 2.13 – Integrità del foro
- OR 2.14 – Monitoraggio ambientale
- OR 2.15 – Realizzazione Impianto pilota per lo stoccaggio della CO₂ in sottosuolo e produzione di CH₄
- OR 2.16 – Risultati e verifiche

2.5.5 *Descrizione degli obiettivi realizzativi*

La descrizione degli obiettivi realizzativi sintetizza le attività e individua le risorse specialistiche interne o esterne, che diventano parte integrante della campagna di studio.

OR 2.0: Foro 1

Perforazione di un sondaggio profondo e recupero di campioni mediante carotaggio per le successive attività di ricerca.

Risorse e sinergie:

- Personale interno addetto alle attività di perforazione e di gestione del cantiere.
- Consulenza esterna nelle attività di formazione ed affiancamento per le tecnologie di perforazione e recupero campioni da sondaggi profondi.
- Consulenza esterna per il recupero dei campioni.
- Consulenza esterna per la formazione necessaria all'uso del laboratorio fanghi.

OR 2.1: Foro 2, 3, 4

Perforazione di un sondaggio profondo e recupero di campioni mediante carotaggio per le successive attività di ricerca.

Raccolta di dati geologici e geofisici mediante tecnologie di logging in foro e verifica dello stato delle pareti mediante test in foro.

Preparazione del foro per le successive attività di estrazione metano e stoccaggio CO₂

Risorse e sinergie:

- Personale interno addetto alle attività di perforazione e di gestione del cantiere.
- Consulenza esterna nelle attività di formazione ed affiancamento per le tecnologie di perforazione e recupero campioni da sondaggi profondi (solo per il Foro 2).
- Consulenza esterna per il recupero dei campioni.
- Consulenza esterna per la formazione necessaria all'uso del laboratorio fanghi.

OR 2.2: Foro 5, 6

Perforazione di un sondaggio profondo e recupero di campioni mediante carotaggio per le successive attività di ricerca.

Allargamento del foro e preparazione per le successive attività di estrazione metano e stoccaggio CO₂

Risorse e sinergie:

- Personale interno addetto alle attività di perforazione e di gestione del cantiere.
- Laboratorio fanghi;
- Sondaggio per la perforazione dell'intesto del foro.

OR 2.3: Indagine in foro - Logging & Well Testing

Campagna di indagine geofisica in foro in quelli ritenuti più rappresentativi.

Risorse e sinergie:

- Personale interno addetto alle attività di perforazione e di gestione del cantiere.
- Consulenza esterna per l'esecuzione, il trattamento e l'interpretazione dei dati raccolti con le indagini in foro.

OR 2.4: Valutazione congiunta dei dati

Raccolta di tutti i dati disponibili utili all'avvio ed allo sviluppo successivo del progetto

Risorse e sinergie:

- Personale tecnico e servizi interni per la raccolta dati.
- Consulenti esterni coinvolti nella scelta e valutazione dei dati.

OR 2.5: Acquisizione ed interpretazione dei dati sismici

Pianificazione ed esecuzione di una campagna di ricerca finalizzata alla costituzione di una base dati sismica eseguita attraverso tecnologie di superficie e nei sondaggi profondi

Risorse e sinergie:

- Personale tecnico interno coinvolto nelle attività di supporto sul campo e di supervisione.
- Consulenza esterna nella pianificazione, esecuzione, trattamento ed interpretazione dei dati sismici.
- Consulenza esterna per l'esecuzione, il trattamento e l'interpretazione dei dati raccolti con le indagini di sismica in foro

OR 2.6: Geologia del reservoir e Sviluppo del Modello Geologico

Trattamento e riordino di tutti i dati geologici, geofisici, idrogeologici raccolti sul campo e creazione di un sistema informativo per la gestione e la modellizzazione del Reservoir geologico

Risorse e sinergie:

- Personale tecnico interno a supporto dell'attività di ricerca e con funzioni di coordinamento tra i consulenti.
- Consulenza esterna per la raccolta ed il trattamento dei dati raccolti sul campo; impostazione del modello geologico attraverso l'uso di software dedicati

OR 2.7: Caratterizzazione del Reservoir

Programma di Laboratorio

Caratterizzazione del reservoir, attraverso la definizione delle proprietà geologiche, geofisiche, chimiche, fisiche della massa rocciosa e dei gas in essa contenuti, allo scopo di stabilirne l'attitudine ai fini dello stoccaggio della CO₂ e per la produzione del metano.

L'attività si svolgerà parallelamente attraverso studi sul campo e con analisi di laboratorio condotte dagli enti di consulenza presso le loro sedi.

Risorse e sinergie:

- Personale tecnico interno a supporto dell'attività di ricerca e con funzioni di coordinamento tra i consulenti.

- Attività di caratterizzazione del reservoir svolta dagli istituti di consulenza.

OR 2.8: Sintesi dei risultati di laboratorio e modellazione del Reservoir

Creazione del modello matematico del reservoir

Simulazione dei risultati ottenibili sulla base degli elementi emersi dalla campagna di ricerca e dalla modellizzazione.

Risorse e sinergie:

- Personale tecnico interno a supporto dell'attività di ricerca e con funzioni di coordinamento tra i consulenti soprattutto nell'attività di sintesi dei risultati.

OR 2.9: Sintesi e definizione degli aspetti operativi

Riunioni operative, seminari di studio ed approfondimento; valutazione congiunta dei risultati raggiunti.

Risorse e sinergie:

- Personale tecnico interno e consulenti impegnati nell'attività di reporting e nella valutazione dei risultati raggiunti.

OR 2.10: Gestione del Progetto ed attività di Report

Attività concernenti il controllo dell'esecuzione e dell'avanzamento coordinato delle varie fasi del progetto, nonché l'esecuzione di report finalizzati a informare tutte le parti interessate del progresso e delle problematiche legate all'esecuzione del progetto.

Risorse e sinergie:

- Personale tecnico interno con funzioni di coordinamento, controllo e di esecuzione dell'attività di reporting.
- Consulenti esterni a supporto delle attività svolte dal personale interno.

OR 2.11: Modellazione dell'iniezione e della produzione

Modellazione, fatta sulla base dei dati emersi dagli Obiettivi Raggiunti in precedenza, dei fenomeni legati all'iniezione della CO₂ in sottosuolo ed alla sua migrazione negli strati profondi di carbone.

Risorse e sinergie:

- Personale tecnico interno a supporto dell'attività di ricerca e con funzioni di coordinamento tra i consulenti.

- Attività di modellazione del reservoir svolta dagli istituti di consulenza.

OR 2.12: Monitoraggio della migrazione dei gas nei letti di carbone e accertamento dell'integrità delle rocce di copertura

Attività rivolte a definire i criteri più idonei per monitorare il comportamento dei gas in sottosuolo e determinare lo stato attuale delle emissioni di gas.

Risorse e sinergie:

- Personale tecnico interno a supporto dell'attività di ricerca e con funzioni di coordinamento tra i consulenti.
- Consulenze esterne coinvolte nelle attività di ricerca.

OR 2.13: Integrità del foro

Insieme di attività rivolte allo studio del comportamento del rivestimento dei fori d'iniezione e d'estrazione sotto l'azione della CO₂ e della sua integrità durante le sperimentazioni previste dal progetto

Risorse e sinergie:

- Personale tecnico interno a supporto dell'attività di ricerca e con funzioni di coordinamento tra i consulenti.
- Consulenze esterne nelle attività di ricerca e sperimentazione.

OR 2.14: Monitoraggio ambientale

Esecuzione di un insieme di tecniche selezionate al fine d'individuare e quantificare eventuali emissioni in atmosfera legate allo stoccaggio geologico della CO₂ ed all'estrazione di metano.

Esecuzione di controlli sulle emissioni in atmosfera per tutta la durata del progetto.

Risorse e sinergie:

- Personale tecnico interno a supporto dell'attività di ricerca e con funzioni di coordinamento tra i consulenti.
- Personale interno impegnato nelle attività di monitoraggio.
- Consulenze esterne coinvolte nelle attività di ricerca, di formazione del personale interno e di monitoraggio.
- Consulenza esterna per la formazione necessaria all'uso del laboratorio mobile di monitoraggio ambientale.

- Laboratorio mobile per il monitoraggio delle emissioni gassose dal sottosuolo.

OR 2.15: Realizzazione Impianto pilota per lo stoccaggio della CO₂ in sottosuolo

Attività rivolte alla progettazione, all'installazione ed alla conduzione di un impianto pilota per lo stoccaggio di CO₂ in sottosuolo e per l'estrazione di metano dai letti profondi di carbone, al fine di condurre sperimentazioni in situ sulle potenzialità applicative di tali tecnologie.

Risorse e sinergie:

- Personale tecnico interno impegnato nelle attività di coordinamento, direzione lavori e supporto alle varie attività previste dall'OR.
- Personale interno addetto alle attività di cantiere, alla gestione ed ai controlli sulle condizioni di marcia dell'impianto.
- Consulenza esterna per la progettazione, l'installazione, l'avvio e la conduzione dell'impianto.
- Attività di formazione del personale interno da parte dei consulenti esterni per quanto riguarda l'avvio e la conduzione dell'impianto.
- Impianto pilota per lo stoccaggio della CO₂ in sottosuolo e per l'estrazione del metano dal sottosuolo, completo delle necessarie infrastrutture e dei servizi

OR 2.16: Risultati e verifiche

Riunioni operative, seminari di studio ed approfondimento; valutazione congiunta dei risultati raggiunti.

Pubblicazione dei risultati della ricerca e determinazione degli sviluppi futuri in termini di R&D e di passaggio a produzioni su scala industriale.

Risorse e sinergie:

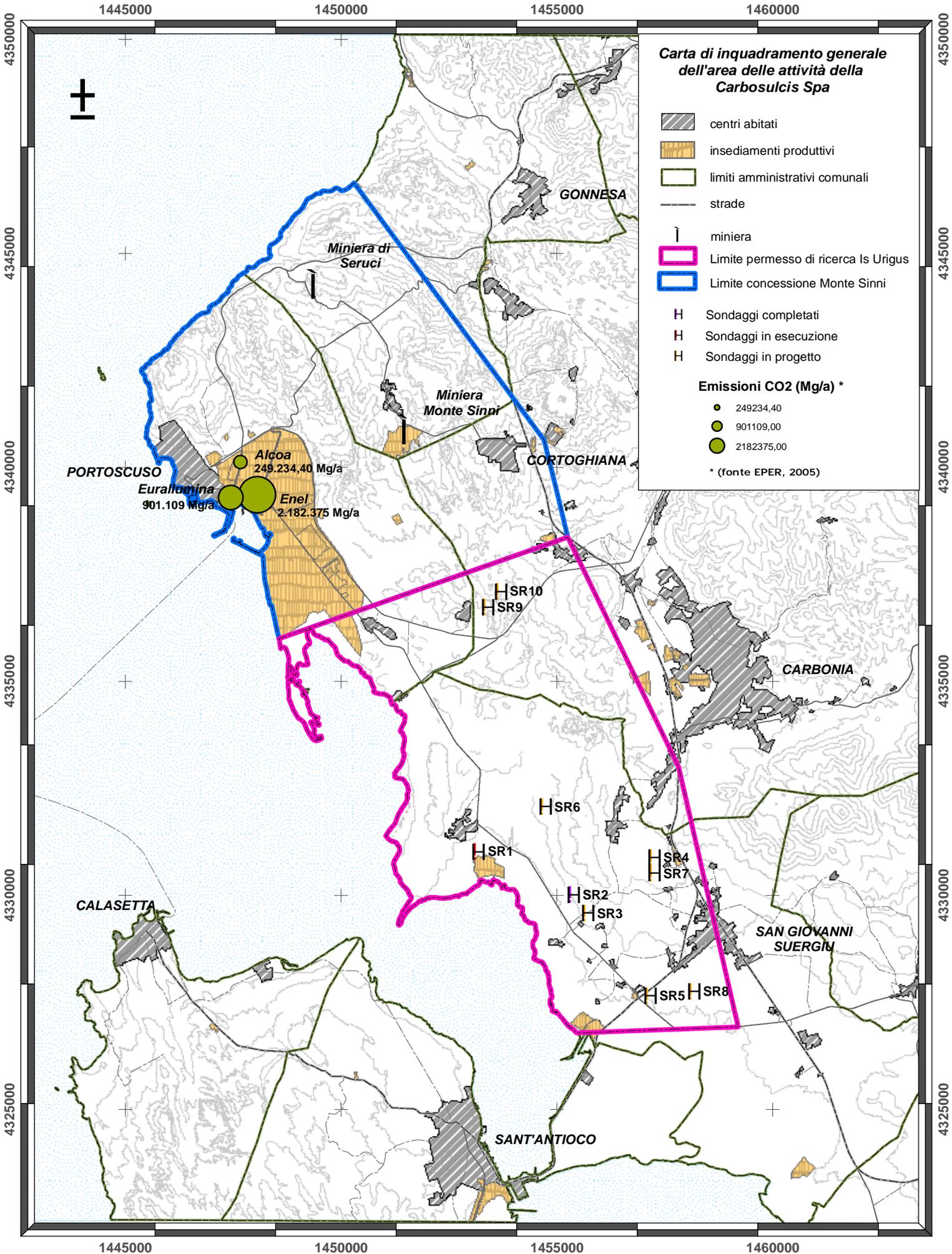
- Personale tecnico interno e consulenti impegnati nell'attività di reporting, nella valutazione e nella pubblicazione dei risultati raggiunti.

2.6 ALLEGATI

Allegato 1: “Carta di inquadramento generale dell'area delle attività della Carbosulcis Spa”;

Allegato 2: “Carta geologica dell'area delle attività della Carbosulcis Spa”;

Allegato 3: “Carta degli ecosistemi dell'area delle attività della Carbosulcis Spa”



Carta di inquadramento generale dell'area delle attività della Carbosulcis Spa

- centri abitati
- insediamenti produttivi
- limiti amministrativi comunali
- strade
- miniera
- Limite permesso di ricerca Is Urigus
- Limite concessione Monte Sinni
- H Sondaggi completati
- H Sondaggi in esecuzione
- H Sondaggi in progetto

Emissioni CO2 (Mg/a) *

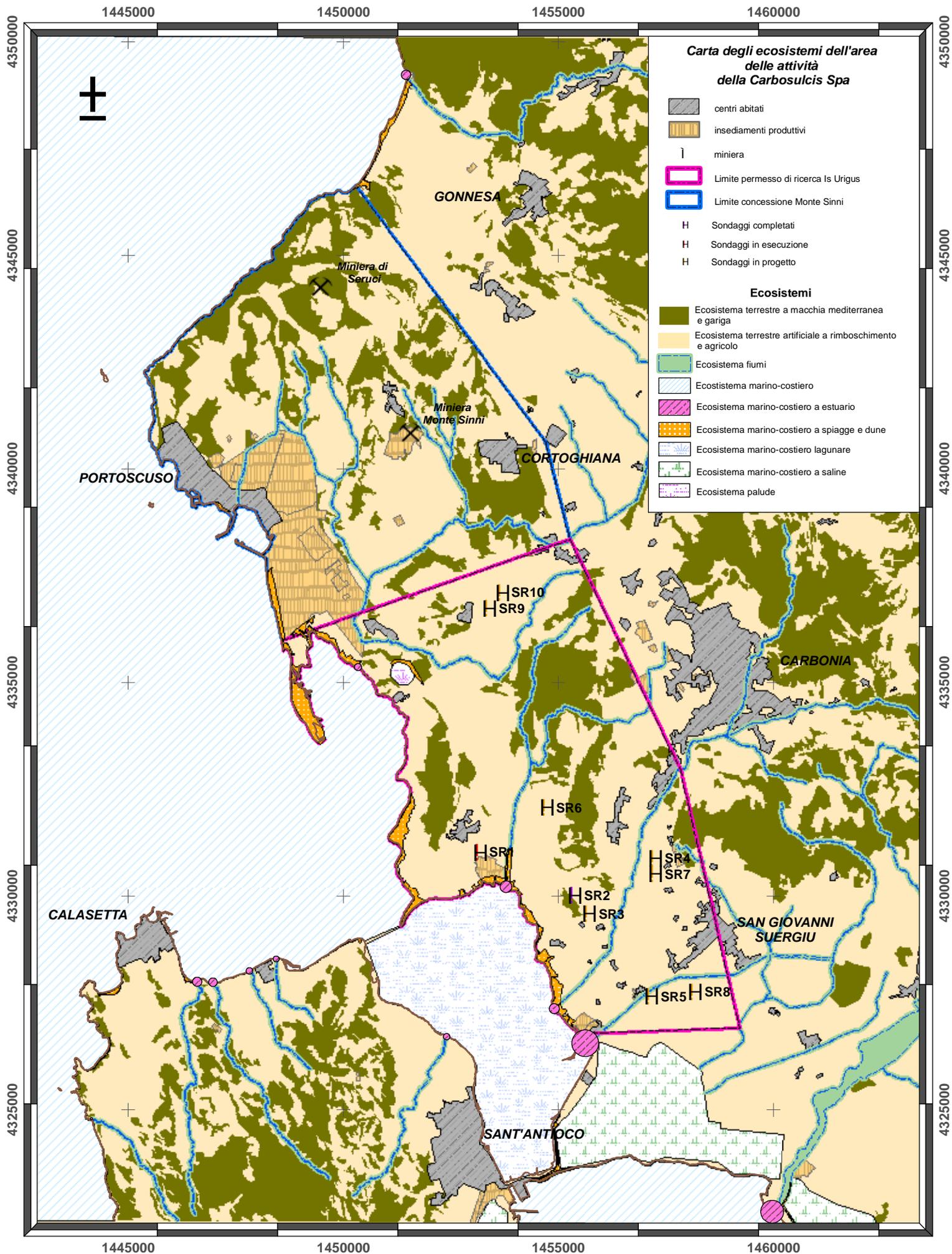
- 249234,40
- 901109,00
- 2182375,00

* (fonte EPER, 2005)

Alcoa
249.234,40 Mg/a

Eurallumina
901.109 Mg/a

Enel
2.182.375 Mg/a



Carta degli ecosistemi dell'area delle attività della Carbosulcis Spa

- centri abitati
- insediamenti produttivi
- miniera
- Limite permesso di ricerca Is Urigus
- Limite concessione Monte Sinni
- Sondaggi completati
- Sondaggi in esecuzione
- Sondaggi in progetto

Ecosistemi

- Ecosistema terrestre a macchia mediterranea e gariga
- Ecosistema terrestre artificiale a rimboscimento e agricolo
- Ecosistema fiumi
- Ecosistema marino-costiero
- Ecosistema marino-costiero a estuario
- Ecosistema marino-costiero a spiagge e dune
- Ecosistema marino-costiero lagunare
- Ecosistema marino-costiero a saline
- Ecosistema palude

GONNESA

Miniera di Seruci

Miniera Monte Sinni

PORTOSCUSO

CORTOGHIANA

HSR10
HSR9

CARBONIA

HSR6

HSR1

HSR4
HSR7

CALASETTA

HSR2
HSR3

SAN GIOVANNI SUERGIU

HSR5
HSR8

SANT'ANTOCCO

scala 1:110.000

0 0,5 1 2 3 4 5 Kilometri