

Le attività di ricerca sull'energia pulita presso il Centro Ricerche Sotacarbo

1. Sotacarbo

La società Sotacarbo – Società Tecnologie Avanzate Low Carbon S.p.A. (partecipata al 50% dalla Regione Autonoma della Sardegna e al 50% dall'ENEA) è diventata negli anni società di riferimento nazionale per lo sviluppo di tecnologie per la produzione sostenibile di energia elettrica da combustibili fossili e, più di recente, da fonti rinnovabili, con attività di ricerca e dimostrazione nei campi del cosiddetto “carbone pulito”, della gassificazione di biomasse, dell'efficienza energetica e soprattutto della cattura, utilizzo e confinamento della CO₂.

Sotacarbo ha acquisito competenze generali nell'impiantistica energetica e nei sistemi energetici complessi con riferimento sia a impianti di grande taglia che alla generazione distribuita di energia con impianti di piccola e media taglia.

Sono state sviluppate competenze di eccellenza nella sperimentazione, nella simulazione e nelle analisi energetiche complessive per l'ottimizzazione ingegneristica e per le valutazioni economiche e finanziarie di processi e impianti anche di grandi dimensioni. Pertanto oggi, grazie alle competenze, alle infrastrutture e alla partecipazione a reti internazionali, il Centro Ricerche Sotacarbo può già essere considerato un polo di valenza europea.

Come centro di riferimento nazionale sulle tecnologie CCUS, Sotacarbo rappresenta l'Italia nel *Temporary Working Group on CCUS (action 9)* del nuovo SET Plan, organo consultivo della Commissione Europea.

1.1. La strategia di ricerca

Complessivamente, la strategia di ricerca della Società può essere schematizzata come in figura 1.

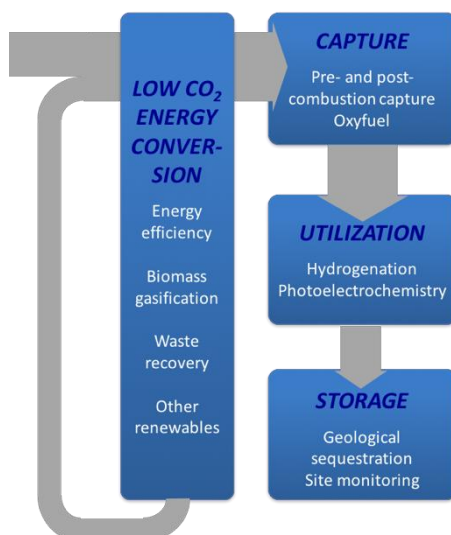


Figura 1. Schema generale delle tecnologie oggetto dello studio.

Nello specifico, la strategia di ricerca è strutturata in quattro settori principali, di seguito illustrati.

1. Tecnologie di conversione dell'energia a basse emissioni di anidride carbonica, tra cui:
 - a. efficienza energetica;
 - b. gassificazione di biomasse;
 - c. recupero energetico dei sottoprodotti dell'industria alimentare;

- d. altre fonti energetiche rinnovabili;
- e. *energy storage*.
- 2. Tecnologie di separazione dell'anidride carbonica, tra cui:
 - a. separazione pre- e post-combustione;
 - b. generazione elettrica mediante ossi-combustione;
 - c. separazione mediante solventi liquidi (ammine, liquidi ionici);
 - d. separazione mediante membrane.
- 3. Tecnologie di riutilizzo dell'anidride carbonica, tra cui:
 - a. idrogenazione della CO₂ per la produzione di metanolo, dimetiletere e altri combustibili e *chemicals*;
 - b. riduzione fotoelettrochimica della CO₂;
 - c. altre tecnologie di utilizzo della CO₂.
- 4. Tecnologie di confinamento geologico della CO₂, mediante la realizzazione, nel Sulcis, di un *test site* di valenza internazionale.

1.2. Le infrastrutture del Centro Ricerche Sotacarbo

Ad oggi, Sotacarbo vanta un'infrastruttura di ricerca di grande (e sempre maggiore) rilievo dal punto di vista internazionale. L'infrastruttura è composta dai laboratori di ricerca, da apparecchiature sperimentali (in taglia pilota e dimostrativa) e personale altamente specializzato.

Anzitutto, il Centro Ricerche Sotacarbo è dotato di una serie di laboratori di ricerca attrezzati per l'esecuzione di studi sperimentali indipendenti o a supporto delle attività sugli impianti. Nello specifico, si possono citare i seguenti laboratori.

- **Caratterizzazione convenzionale combustibili:** caratterizzazione di carboni e biomasse mediante analisi immediata al termogravimetro, analisi elementare (CHN-S) e analisi calorimetrica, secondo gli standard internazionali.
- **TGA (*thermogravimetric analysis*):** termogravimetro con sistema per l'analisi termica differenziale (figura 2.a) per la determinazione del comportamento dei combustibili quando sottoposti a processi di pirolisi e combustione.
- **Analisi gas:** cromatografia gassosa a supporto delle sperimentazioni sulle apparecchiature sperimentali in scala pilota e dimostrativa.
- **Materiali:** laboratorio dedicato alla sintesi e alla caratterizzazione di catalizzatori (ad esempio per la produzione di metanolo da CO₂) e sorbenti (ad esempio per il trattamento del syngas), comprendente, tra l'altro, un porosimetro a gas.
- **Fotoelettrochimica:** studi sperimentali del processo di riduzione fotoelettrochimica della CO₂ per la produzione di combustibili liquidi mediante energia solare (figura 2.b).
- **X-to-liquids (XtL):** strumentazione di analisi (gas-cromatografo con spettrometro di massa, figura 2.c) per la caratterizzazione dei composti liquidi prodotti dall'impianto pilota XtL, descritto nel seguito.
- **Analisi acque:** cromatografia ionica (figura 2.d) finalizzata alla determinazione dei composti (principalmente CO₂) disciolti nelle acque di falda.

- **Analisi rocce:** laboratorio dotato di un macchinario per la caratterizzazione meccanica delle rocce (con pressa da 2000 kg, figura 2.e) e delle apparecchiature ausiliarie necessarie per la preparazione dei provini (figura 2.f).
- **Chimica generale:** laboratorio dotato di strumentazione a supporto delle attività sperimentali.

A titolo di esempio, la figura 2 mostra alcuni dei principali laboratori e apparecchiature sperimentali installate presso il Centro Ricerche Sotacarbo.



(a) termogravimetro per la caratterizzazione dei combustibili a pirolisi e combustione



(a) laboratorio di fotoelettrochimica con simulatore solare



(b) caratterizzazione combustibili liquidi (GC con spettrometro di massa)



(d) cromatografo ionico per l'analisi delle acque



(e) laboratorio di analisi delle rocce (con pressa da 2000 kg)



(f) macchinario per la preparazione dei campioni di roccia

Figura 2. Alcune delle principali apparecchiature in dotazione ai laboratori.

Relativamente alle installazioni sperimentali, il Centro Ricerche è dotato di impianti da banco e pilota/dimostrativi.

- Impianti da banco:
 - **GAIA** (*greenhouse-gas absorption in amine-based solvents*): impianto da banco costituito principalmente da una colonna a riempimento per test sperimentali di separazione della CO₂ con solventi a base di ammine (figura 3.a).
 - **Separazione della CO₂ con membrane**: nuovo impianto su scala da banco (in corso di realizzazione nell'ambito del progetto CEEP) per la separazione della CO₂ con membrane di varia natura, operante fino alla pressione di 100 bar.
- Impianti pilota:
 - **COHYGEN** (*coal to hydrogen generation*): impianto di gassificazione in letto fisso *up-draft* (dotato di un reattore da 300 mm di diametro) equipaggiato con un sistema integrato per la produzione di idrogeno ed energia elettrica e per la separazione della CO₂ mediante soluzioni di ammine (figura 3.b).
 - **IOSTO** (*Innovative oxyfuel SO₂ treatment and oxydation*): impianto pilota di produzione di acido solforico da correnti gassose derivanti da processi di ossi-combustione e dunque ricche di CO₂ e con basse concentrazioni di SO₂ ed SO₃ (figura 3.c).

- **X-to-Liquids (XtL)**: impianto pilota per la sintesi di combustibili liquidi da carbone, biomasse e CO₂, dotato di una sezione di gassificazione (per la produzione del syngas da carbone e biomasse), di un sistema di alimentazione dei gas e, cuore dell'impianto, della sezione di sintesi dei combustibili liquidi (figura 3.d), altamente strumentata e flessibile (sono disponibili quattro differenti reattori per le diverse tipologie di *test*) e capace di operare fino a circa 100 bar.

La figura 3 mostra gli impianti sperimentali sopra descritti, installati presso i laboratori e l'area sperimentale del Centro Ricerche Sotacarbo.



(a) impianto GAIA per test di separazione della CO₂ con ammine in scala da banco



(b) impianto pilota COHYGEN di gassificazione e produzione di idrogeno ed energia elettrica



(c) impianto IOSTO per la produzione di acido solforico da SO₂



(d) impianto pilota X-to-Liquids: sezione di sintesi dei combustibili liquidi

Figura 3. Impianti su scala da banco, pilota e dimostrativa disponibili presso il Centro Ricerche.

Infine, Sotacarbo dispone di un **impianto dimostrativo di gassificazione** (di carbone e biomasse), basato su un reattore in letto fisso *up-draft* da 1300 mm di diametro interno. L'impianto (figura 4), caratterizzato da una potenza termica fino a 5 MW (taglia minima commerciale), è dotato di un sistema semiautomatico di caricamento del combustibile e di una sezione di lavaggio del syngas prodotto.



Figura 4. Impianto dimostrativo di gassificazione in letto fisso up-draft.

Un nuovo impianto, della taglia dimostrativa (commerciale) di 100 kW elettrici, è in corso di realizzazione per testare la tecnologia di gassificazione in letto fluido per la produzione di energia elettrica da biomasse.

Per la gestione delle apparecchiature sopra descritte e per poter effettuare studi teorici e sperimentali sulle tematiche di cui sopra, Sotacarbo ha investito fortemente sul personale, altamente specializzato, composto da:

- 27 ricercatori laureati, di cui 6 dottori di ricerca;
- 5 operatori d'impianto;
- 3 tecnici amministrativi.

Le competenze sviluppate dal personale (anche grazie a numerose collaborazioni con enti, università e società nazionali e internazionali) riguardano una lunga serie di temi, di carattere teorico e sperimentale, tra i quali:

- progettazione, gestione operativa e manutenzione di impianti sperimentali pilota e dimostrativi e di componenti impiantistici (gassificazione, trattamento gas, ecc.);
- gestione e manutenzione di sistemi sofisticati e strumentazione avanzata per l'analisi di gas, liquidi e solidi;
- analisi teorica e sperimentale di processi per la sintesi di combustibili liquidi da carbone e biomasse (previa gassificazione) e da CO₂;
- sviluppo e caratterizzazione di catalizzatori avanzati per la produzione di combustibili liquidi (principalmente metanolo e dimetiletere) da CO₂ e syngas;
- studi sperimentali su processi elettrochimici e fotoelettrochimici (in particolare per la riduzione fotoelettrochimica della CO₂);
- studi teorici e sperimentali sulle tecnologie di separazione della CO₂ con membrane;
- modellistica di sistema (mediante l'impiego di *software* commerciali quali Aspen Plus);
- studi sul recupero energetico dei sottoprodotti derivanti dall'industria alimentare (casearia, vitivinicola, ecc.);

- studi sul confinamento geologico della CO₂ (in particolare è in corso di completamento la caratterizzazione completa del bacino del Sulcis e sono state avviate le fasi di progettazione di un test site di valenza internazionale e di un laboratorio sotterraneo per test di iniezione sulle rocce);
- analisi tecniche ed economiche e studi di fattibilità sulla possibile realizzazione di impianti di generazione elettrica (anche di grossa taglia), dotati o meno di sistemi CCUS;
- analisi energetiche degli edifici;
- tecnologie per l'efficienza energetica e per il monitoraggio dei consumi elettrici;
- divulgazione scientifica mediante campagne mirate a diverse categorie di popolazione (scuole elementari e medie, istituzioni, comunità scientifica, ecc.).

2. I progetti di ricerca e sviluppo

Le attività di ricerca e le infrastrutture di cui sopra sono realizzate nell'ambito di alcuni progetti di ricerca nazionali e internazionali e attraverso una rete di collaborazioni sviluppatasi negli anni. Nello specifico, i progetti di ricerca attualmente in corso sono i seguenti:

- Progetto di ricerca **Centro di Eccellenza sull'Energia Pulita** (CEEP), avviato il 1 gennaio 2014 (conclusione prevista per il 30 giugno 2017) e finanziato dalla Regione Autonoma della Sardegna per un importo pari a 8.356.000 €; il progetto prevede la realizzazione di infrastrutture di ricerca e studi sperimentali su temi quali la gassificazione di biomasse, la separazione (con membrane), l'utilizzo e il confinamento della CO₂.
- Progetto di **Ricerca di Sistema Elettrico**, finanziato dal Ministero dello Sviluppo Economico (tramite l'Enea) per un importo pari a 2.200.000 € all'anno (dal 1 ottobre 2014 al 30 settembre 2023); il progetto prevede l'esecuzione di studi sperimentali su temi quali la gassificazione di carbone e biomasse, la separazione della CO₂ con ammine e l'efficienza energetica.
- Progetto **Tender**, avviato il 21 gennaio 2015 (conclusione prevista per il 20 gennaio 2018), coordinato dall'Università di Cagliari e finanziato dalla Regione Autonoma della Sardegna; il progetto prevede l'effettuazione di attività di simulazione di processo (basata su dati sperimentali) ed economica sull'applicabilità commerciale delle tecnologie CCS alle centrali di generazione elettrica a carbone.
- progetto **ECCSEL** (*the European Carbon Dioxide Capture and Storage Laboratory Infrastructure*), avviato il 1 settembre 2015 (conclusione della fase di avviamento prevista per il 31 agosto 2017) e finanziato dalla Commissione Europea (Horizon 2020)¹; il progetto consiste nella creazione di una rete internazionale di laboratori di eccellenza per la ricerca sulle tecnologie CCS.
- progetto **ENOS** (*Enabling Onshore CO₂ Storage in Europe*), avviato il 1 settembre 2016 (conclusione prevista per il 31 agosto 2020) e finanziato dalla Commissione Europea (Horizon 2020)²; il progetto

¹ Oltre a Sotacarbo, il progetto ECCSEL vede impegnati i seguenti soggetti: NTNU (Norvegia – leader del progetto), TNO (Olanda), British Geological Survey – Natural Environment Research Council (Regno Unito), Stiftelsen Sintef (Norvegia), Fundación Ciudad de la Energía (CIUDEN, Spagna), Panstwowy Instytut Geologiczny (Polish Geological Survey, Polonia), Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale (OGS, Italia), Sintef Energi AS (Norvegia), Centre for Research and Technology Hellas (CERTH, Grecia), Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETH-Z, Svizzera), Główny Instytut Górnictwa (Polonia), Sintef Petroleumsforskning AS (Norvegia), Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM, Francia).

² Oltre a Sotacarbo, il progetto ENOS vede impegnati i seguenti soggetti: Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM, Francia – leader del progetto), Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR,

consiste nella creazione di un consorzio internazionale che vede coinvolti i principali soggetti operanti nella ricerca sul confinamento geologico dell'anidride carbonica.

Relativamente al progetto ECCSEL, in parallelo alle attività in corso di svolgimento nell'ambito del programma Horizon2020 (INFRADEV-3), è in fase di definizione un ERIC (*European Research Infrastructure Consortium*) che, una volta siglato dai Paesi membri aderenti al consorzio (Francia, Grecia, Norvegia, Olanda, Polonia, Regno Unito, Spagna e Italia – rappresentata dal MIUR – oltre alla Svizzera che partecipa esternamente), garantirà ingenti finanziamenti per lo sviluppo delle infrastrutture di ricerca. La firma dell'accordo interministeriale è in corso e il lancio ufficiale dell'ERIC è previsto per il mese di maggio 2017.

Oltre ai progetti di cui sopra, sono in corso di programmazione alcuni progetti, alcuni dei quali estremamente ambiziosi:

- Progetto **CREATE** (Carbon REduction by Advanced TEchnologies research infrastructure), che prevede la realizzazione di tre grosse infrastrutture di ricerca per lo sviluppo di tecnologie di ossi-combustione di gas con cicli a CO₂ supercritica (per seguire la domanda della rete, fortemente condizionata dall'aleatorietà delle fonti energetiche rinnovabili), di tecnologie di riutilizzo della CO₂ (per la produzione di metanolo e dimetiletere) e di un test site per lo sviluppo di tecniche di confinamento della CO₂ e monitoraggio dei siti.
- Progetto **Centro di Eccellenza sull'Energia Pulita – II fase** (CEEP-2), in corso di programmazione per un finanziamento da parte della Regione Autonoma della Sardegna e finalizzato al potenziamento delle infrastrutture di ricerca realizzate in ambito CEEP.
- Progetto **Ossi-combustione flameless**, che prevede la realizzazione nel Sulcis di un impianto pilota da 50 MW termici per lo sviluppo della tecnologia di ossi-combustione avanzata in pressione.
- Progetto **ULISSE** (Undergrund Laboratory Infrastructure for Supercritical CO₂ Storage Experiment), che prevede l'installazione – in collaborazione con Carbosulcis, presso una galleria della miniera – di un laboratorio sotterraneo per sperimentazioni su scala pilota sul confinamento della CO₂ e lo sviluppo della strumentazione per il monitoraggio dei siti.
- Progetto **Biogasification** per la realizzazione, presso Fairbanks (Alaska, USA), di un impianto di gassificazione di carbone e biomasse simile a quello della piattaforma pilota Sotacarbo; il progetto è stato proposto – in collaborazione con l'Università dell'Alaska Fairbanks, con HMI e altre ditte statunitensi, per un finanziamento da parte del Dipartimento dell'Energia degli Stati Uniti d'America.
- Progetto **SCOTTA** sul recupero a fini energetici dei sottoprodotti derivanti dall'industria casearia della Sardegna, in particolare quella predominante di utilizzo del latte ovino.
- Progetto **ISCOLA** sul monitoraggio energetico delle scuole, in fase di finanziamento da parte della Regione Autonoma della Sardegna.

Germania), British Geological Survey – Natural Environment Research Council (Regno Unito), Ceska Geologicka Sluzba (CGS, Repubblica Ceca), Centro de Investigaciones Energeticas, Medioambientales y Tecnologicas (CIEMAT, Spagna), Fundación Ciudad de la Energía (CIUDEN, Spagna), Flodim Sarl (Francia), Geogreen (Francia), IDIL Sas (Francia), International Research Institute of Stavanger (IRIS, Norvegia), Nhazca Srl (Italia), Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale (OGS, Italia), Palencia 3 Investigacion Desarrollo y Explotacion SI (Spagna), Statny Geologicky Ustav Dionyza Stura (SGIDS, Slovacchia), Silixa Ltd. (Regno Unito), TNO (Olanda), Università di Roma "La Sapienza" (Italia), the University of Nottingham (Regno Unito), oltre al consorzio europeo CO2GeoNet.

- Progetto **Energy Storage Sulcis** (“Accumulo di energia con produzione di metanolo da CO₂ da cattura e H₂ da FER e scarti agroalimentari”), presentato in collaborazione con l’Università di Cagliari nell’ambito del bando Sulcis e in fase di valutazione.
- Progetti **Cluster top-down** per lo sviluppo di tecnologie di conversione dell’energia a basso impatto ambientale, in fase di approvazione per un finanziamento della Regione Autonoma della Sardegna attraverso Sardegna Ricerche:
 - Progetto **TAERI** (“Tecnologie di Accumulo Energetico per Reti Intelligenti”) per lo sviluppo di tecnologie di accumulo energetico di tipo elettrochimico, termico e chimico (mediante produzione di combustibili liquidi), proposto in collaborazione con CRS4 e Università di Cagliari;
 - Progetto **CIRCE** sulla produzione di energia da scarti e rifiuti di lavorazione tramite digestione anaerobica, pirolisi, gassificazione, proposto in collaborazione con le Università di Cagliari e Sassari e con AGRIS.
 - Progetto **TESTARE** (“TEcnologie e STRumenti di cARatterizzazione e gestione avanzata dell’ambiente”) sullo sviluppo di tecnologie di trattamento dei reflui mediante alghe e batteri, proposto in collaborazione con l’Università di Cagliari.
 - Progetto **PRELUDE** (“PRotocollo ELaborazione dati per Efficienza energetica nell’Edilizia”), che prevede la realizzazione di un protocollo dati per l’efficienza energetica a supporto della progettazione edilizia, proposto in collaborazione con l’Università di Cagliari e il Politecnico di Milano.
 - Progetto **CICLO-CARBO**, sullo sviluppo territoriale partecipato per l’ottimizzazione della filiera delle biomasse, proposto con l’Università di Sassari e il CMCC.
 - Progetto **REINVENT** (“sistema di REcupero INnovativo per la Valorizzazione ENergetica delle Trebbie”) sulla micro-gassificazione in letto fluido delle trebbie dalla produzione della birra.

3. Le partnership nazionali e internazionali

Fatta eccezione per le partnership nell’ambito dei sopra citati progetti di ricerca ECCSEL ed ENOS, finanziati dalla Commissione Europea nell’ambito del programma Horizon 2020, Sotacarbo è attiva in diverse *partnership* internazionali, le cui principali sono di seguito illustrate brevemente.

International Energy Agency – Clean Coal Centre. Fin dal 1989 Sotacarbo, su incarico del Governo, rappresenta l’Italia presso l’Agenzia Internazionale per l’Energia, “*implementing agreement*” sulle tecnologie pulite per l’impiego del carbone (CCT, *clean coal technologies*).

SET Plan Temporary Working Group on CCUS. Sotacarbo, su incarico congiunto del Ministero dell’Istruzione, dell’Università e della Ricerca e del Ministero dello Sviluppo Economico, rappresenta l’Italia (nelle persone degli ingg. Alberto Pettinau ed Enrico Maggio) nel *Temporary Working Group* sulle CCUS del SET Plan, organo consultivo della Commissione Europea.

Carbon[I/O]. Dal mese di ottobre 2013 Sotacarbo coopera con la società ungherese Ormoszén Kft. per lo sviluppo di tecnologie di impiego di carboni di basso rango per la produzione di energia elettrica e combustibili liquidi.

Hamilton Maurer International. Sotacarbo collabora dal 2007 con la società Hamilton Maurer International (Texas, USA), che ha contribuito allo sviluppo della tecnologia di gassificazione in letto fisso *up-draft* su cui si basa la piattaforma pilota. La collaborazione (per ora informale) verte sul possibile utilizzo della tecnologia di gassificazione per applicazioni su piccola taglia (fino a 5 MW elettrici) alimentate a carbone e installate a bocca di miniera.

Heriot-Watt University. Nell'ambito del progetto di ricerca "Centro di Eccellenza sull'Energia Pulita" (linea 1) è in corso una collaborazione (senza costi diretti, ma solo in termini di impegno del personale) con la Heriot-Watt University di Edimburgo (Scozia). Scopo della collaborazione è la caratterizzazione di alcune biomasse per valutarne le prestazioni in fase di combustione, pirolisi e gassificazione.