

Ricerca di Sistema elettrico



Definizione di un sistema di captazione di CO₂ da suolo in scala da laboratorio per applicazioni Power to Gas (LA 2.6)

Anna Carmela Violante, Paolo Deiana, Claudia Bassano,
Giovanni Testa, Antonio Scotini, Marco Proposito

DEFINIZIONE DI UN SISTEMA DI CAPTAZIONE DI CO₂ DA SUOLO IN SCALA DA LABORATORIO PER APPLICAZIONI POWER TO GAS ()

Autori: Anna Carmela Violante, Paolo Deiana, Claudia Bassano, Giovanni Testa, Antonio Scotini, Marco Proposito

Giugno 2023

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica - ENEA
Piano Triennale di Realizzazione 2022-2024

Obiettivo: *Decarbonizzazione*

Progetto: Progetto Integrato Tecnologie dell'Idrogeno

Linea di attività: LA 2.6

Responsabile del Progetto: Luca Turchetti, ENEA

Responsabile Linea di Attività: Anna Carmela Violante, ENEA

Mese inizio previsto: Gennaio 2022

Mese inizio effettivo: Gennaio 2022

Mese fine previsto: Giugno 2023

Mese fine effettivo: Giugno 2023

Indice

1	RISULTATI ATTESI	3
2	RISULTATI OTTENUTI.....	4
3	PRODOTTI ATTESI.....	5
4	PRODOTTI SVILUPPATI	6
5	ANALISI DEGLI SCOSTAMENTI SU ATTIVITÀ E RISULTATI	7
6	SINTESI DELLE ATTIVITÀ SVOLTE	8
7	DETTAGLIO DELLE ATTIVITÀ SVOLTE.....	9
8	CONTRIBUTO DELLE EVENTUALI CONSULENZE ALLE ATTIVITÀ SOPRA DESCRITTE.....	13
9	PUBBLICAZIONI SCIENTIFICHE.....	14
10	EVENTI DI DISSEMINAZIONE	15

1 Risultati attesi

La presente attività si inserisce nel progetto di ricerca di cui all'art. 10 comma 2, lettera a) del Decreto 26/01/2000, relativo al Piano Triennale di realizzazione 2022-2024 della Ricerca di Sistema Elettrico Nazionale, e riguarda la linea di attività 1.3 denominata "Progetto integrato tecnologie dell'idrogeno". Nello specifico, l'attività in oggetto è la L.A. 2.6, contenuta nel WP2, riguardante la "Definizione di un sistema di captazione di CO₂ da suolo in scala da laboratorio per applicazioni Power to Gas".

I risultati attesi per la presente LA, come da capitolato vigente, sono i seguenti:

- Ricerca bibliografica di alcuni siti di degassamento naturale di gas endogeni, il contesto geomorfologico di formazione e la tipologia dei gas presenti (CO₂, H₂S, radon, etc).

Inizialmente, è stata condotta un'accurata ricerca bibliografica sui siti di degassamento naturale di gas endogeni, presenti nel centro Italia, al fine di individuare il contesto litologico e geomorfologico di formazione e la tipologia dei gas presenti (CO₂, H₂S, radon, etc) e le concentrazioni presenti, in quanto la condizione di saturazione è diversa per ogni acquifero. Tale condizione, infatti, dipende dalle caratteristiche fisiche delle rocce (porosità, umidità, permeabilità, grado di fratturazione), dal flusso del gas immesso, dalla quantità di acqua che circola nell'acquifero e dalla pressione esterna.

- Individuazione delle tipologie di terreno da emulare.

In seguito alle evidenze di natura geo-litologica riscontrate nei diversi siti di degassamento naturale di CO₂, è stato possibile individuare le tipologie di porzione di terreno di emulare. Nello specifico, i test di laboratorio saranno condotti su tipologie di terreno di tipo sedimentario (sabbia, ghiaia) e vulcanico (materiale tufaceo).

- Definizione del concept e dello schema funzionale di un sistema di captazione a scala di laboratorio.

In ultimo, è stato elaborato il concept e lo schema funzionale del sistema di captazione della CO₂ a scala di laboratorio. Lo schema del captatore è stato concepito in modo da poter simulare le condizioni di saturazione del terreno, il controllo dell'umidità, della pressione e del flusso di gas, al fine di catturare la CO₂ in modo efficace. Questo approccio potrebbe essere fondamentale per la creazione di sistemi più efficienti, mirati alla cattura della CO₂ in ambienti geologici specifici.

2 Risultati ottenuti

Tutti i risultati previsti sono stati conseguiti nel corso dell'attività svolta.

Il fenomeno di degassamento della CO₂ può avere implicazioni significative, soprattutto in aree geologicamente attive o in siti di estrazione di gas naturale, dove la presenza di queste sacche di gas può comportare rischi per la salute umana, la sicurezza e l'ambiente. La comprensione di come la CO₂ si accumuli e si sposti nel sottosuolo è fondamentale per gestire in modo sicuro le risorse e prevenire potenziali pericoli. In questa linea di attività si evidenzia il possibile utilizzo di tale anidride carbonica, intesa come risorsa che può essere utilizzata per esempio nella produzione di gas di sintesi derivati dall'idrogeno in un ottica Power-to-Gas. Inoltre, il bilancio netto è zero poiché l'emissione associata all'utilizzo del combustibile di sintesi prodotto in questo contesto non va a sommarsi alla CO₂ atmosferica.

La ricerca si concentra sull'analisi di vari siti di degassamento naturale al fine di caratterizzare il contesto geomorfologico e litologico in cui si formano, nonché la tipologia e le concentrazioni dei gas presenti (CO₂, H₂S, radon, ecc). È importante considerare che la condizione di saturazione varia per ciascun acquifero, dipendendo dai parametri fisici delle rocce, dal flusso del gas immesso, dalla quantità di acqua che circola nell'acquifero e dalla pressione esterna.

Il potenziale utilizzo della CO₂ endogena presenta un duplice vantaggio: da un lato contribuisce a diminuire il prezzo di vendita del gas sul mercato, dall'altro ha un effetto di *"remediation"* – sia dal punto di vista ambientale che per quanto riguarda la salute umana – su aree prima interdette. Il processo di captazione dei gas, pertanto, permetterebbe una riqualificazione dell'area consentendo un utilizzo per diversi scopi (parco, area ludica, etc).

Dall'analisi dei dati sulle emissioni di anidride carbonica di alcuni siti di degassamento naturale, si evince che le rocce adatte all'immagazzinamento geologico della CO₂ sono caratterizzate da elevata porosità e una sufficiente permeabilità. Tali formazioni litologiche sono il risultato della deposizione dei sedimenti durante le ere geologiche e sono comunemente ubicate all'interno di "bacini sedimentari".

Pertanto, i siti caratterizzati da emissione di CO₂ presentano: 1) sufficiente porosità e permeabilità della roccia serbatoio (calcarei, rocce vulcaniche, ghiaia, sabbia) ed elevata capacità di immagazzinamento; 2) una roccia impermeabile (argille, limi) al letto della roccia serbatoio, per evitare fenomeni di dispersione della CO₂ verso il basso stratigrafico.

Sono state individuate due tipologie di terreno da emulare:

- materiale sedimentario: letto di sabbia e in superficie ghiaietto;
- terreno vulcanico: tufo a granulometria variabile da fine a grossolano verso l'alto stratigrafico;

per la conduzione dei test di captazione di CO₂, sia in condizioni sature che insature, che saranno effettuati in laboratorio, tramite la realizzazione di un captatore.

È stato concepito il concept del captatore di gas da suolo, che sarà realizzato con sistemi che prevedono il contenimento del flusso gassoso proveniente da fenomeni di degassamento naturale dai suoli in un ambiente confinato, allo scopo di convogliare il gas nella successiva sezione di trattamento. Sarà realizzato un modulo emulatore del sito di degassamento, riempito di sedimento naturale, dal basso verso l'alto, al fine di riprodurre analoghi tipi di litologie che caratterizzano i siti reali di degassamento (principalmente rocce vulcaniche, terrigene e sedimentarie). Sarà previsto, sul captatore, un sistema di aspirazione del gas, un'unità di trattamento dei gas aspirati, e misuratori dei principali parametri caratteristici del processo.

3 Prodotti attesi

Per la LA 2.6 era prevista la produzione di un rapporto tecnico dal titolo “Definizione del concept e dello schema funzionale di un sistema, a scala di laboratorio, di captazione della CO₂ endogena”, che fornisce dettagli sulle attività svolte e documenta il raggiungimento dei risultati attesi.

In questa LA non è prevista la realizzazione e lo sviluppo di nessun prodotto hardware/software.

4 Prodotti sviluppati

Il rapporto tecnico dal titolo “Definizione del concept e dello schema funzionale di un sistema, a scala di laboratorio, di captazione della CO₂ endogena” previsto dal capitolato tecnico del progetto è presentato come allegato al presente documento.

In questa L.A. non è prevista la realizzazione e lo sviluppo di nessun prodotto hardware/software.

5 Analisi degli scostamenti su attività e risultati

Per la linea di attività 2.6 relativa definizione di un sistema di captazione di CO₂ da suolo in scala da laboratorio per applicazioni Power to Gas, non si evidenziano criticità e scostamenti su attività svolte e risultati ottenuti rispetto a quanto previsto nel capitolato tecnico.

In merito alla rendicontazione economica, si evidenzia quanto segue:

- Le spese di personale rendicontate sono in linea con quanto preventivato .
- Alcune difficoltà di tipo amministrativo non hanno consentito di finalizzare le procedure di acquisto dei materiali e componenti nei tempi utili per il completamento delle attività; per tale motivo, non sono riportati nel rendiconto costi di tipo B e C. Si precisa che ENEA ha comunque portato avanti tutte le attività previste utilizzando risorse proprie precedentemente acquisite, senza alcun impatto sul raggiungimento dei risultati attesi.

6 Sintesi delle attività svolte

L'obiettivo dell'attività svolta è focalizzato sulla definizione del concept di un sistema su scala di laboratorio per la captazione di CO₂ endogena emessa da siti geologici naturali. La CO₂ captata attraverso tale sistema di captazione, opportunamente trattata, potrebbe essere utilizzata per produrre gas naturale sintetico, utilizzando idrogeno green prodotto da un elettrolizzatore alimentato da fonti rinnovabili. Tale sistema, pertanto, si inserisce nello studio dei processi Power To Gas.

È stato condotto uno studio su diversi siti di degassamento naturale di CO₂ con l'obiettivo di caratterizzare il contesto geomorfologico e litologico di formazione, la tipologia e le concentrazioni dei gas presenti (CO₂, H₂S, radon, etc). Dall'analisi dei dati sulle emissioni di anidride carbonica di alcuni siti di degassamento naturale, si evince che le rocce adatte all'immagazzinamento geologico della CO₂ sono caratterizzate da elevata porosità e una sufficiente permeabilità. A fronte di tali evidenze, è stata identificata la porzione di terreno da emulare (rocce sedimentarie e vulcaniche) rappresentativa dei siti di degassamento, che sarà emulata in laboratorio per studiare e sviluppare un sistema di captazione della CO₂. Sono stati elaborati il concept e lo schema funzionale del sistema di captazione della CO₂, a scala di laboratorio. Sarà oggetto di studio nella successiva LA 2.7 la simulazione delle condizioni di saturazione, il controllo dell'umidità, della pressione e del flusso di gas, al fine di captare la CO₂ in modo efficace. L'obiettivo sarà quello di comprendere le dinamiche di degassamento naturale e di sviluppare tecnologie di captazione della CO₂ a scala di laboratorio. Questo approccio potrebbe essere fondamentale per la creazione di sistemi più efficienti e mirati alla captazione della CO₂ in ambienti geologici specifici.

7 Dettaglio delle attività svolte

A fronte di una ricerca bibliografica di alcuni siti di degassamento naturale di gas endogeni dell'Italia centrale, è stata redatta la tabella 1 nella quale si riporta, per ogni sito, il contesto geomorfologico di formazione, l'area di misura, le emissioni del flusso medio diffusivo di CO₂ in ton/giorno e in kg/m² giorno, le eventuali emissioni di CO₂ puntuali (ton/giorno) e la presenza eventuale di altri contaminanti, come H₂S, N₂, e CH₄.

Tabella 1 Elenco riassuntivo di alcuni siti di degassamento naturale in Italia centrale

Tabella 2: Elenco riassuntivo di alcuni siti di degassamento naturale in Italia centrale							
	Sito	Contesto geomorfologico	Area di misura (m ²)	Emissioni CO2 flusso medio diffusivo (t/day)	Emissioni CO2 medie diffusive (kg/m ² day)	Emissioni CO2 puntuali (t/day)	Contaminanti (H ₂ S, N ₂ , CH ₄)
	Mefite Valle Ansanto	Basamento carbonatico ricoperto da coltre argillosa	4000	928	232		N ₂ (1,3% in vol.) H ₂ S (0,33 % in vol.) CH ₄ (0,23 % in vol.)
Colli Albani	Cava dei Selci	Basamento carbonatico ricoperto da depositi vulcanici	12000	61	5.08	37	H ₂ S (circa 1% in vol.) CH ₄ (circa 0,5% in vol.)
			223503	25	0.11		
	S.Maria delle Mole		132000	18	0.59	16.8	
			54000				
	Solfatara di Pomezia		55000	46	0.84	4.43	
			30000	61.2	2.04		
			264000		0.334		
Fiumicino	Sedimenti deltizi del F.Tevere (ghiaia, sabbia, limi, argilla)	2900	9	3.10		N ₂ (1,6 % in vol.) CH ₄ (0,75 - 1,49% in vol.) H ₂ S non specificato in fonte	
		Dopo la cementazione dei pozzi		0.031			
	Palidoro	Depositi fluviali- palustri		3.84			H ₂ S (375 ppm)
Monti Sabatini	Caldara di Manziana	Depositi vulcanici		118		20.73	H ₂ S (1-2 % in vol.) CH ₄ e N ₂ non specificato in fonte
	Orvieto Alfina	Basamento carbonatico			0.048		N ₂ 9610 μmol/mol CH ₄ 1610 μmol/mol H ₂ S 680 μmol/mol

È evidente che le formazioni geologiche dei siti di degassamento riportati possiedono una eterogeneità sia genetica, sia stratigrafica, con un contributo rilevante dato dall'evoluzione tettonica che ha subito l'area. I fattori, presenti in combinazione, che contribuiscono a creare condizioni favorevoli per l'accumulo e il mantenimento della CO₂ all'interno di una formazione geologica specifica, sono:

1. **Rocce serbatoio con porosità e permeabilità adeguate:** Le rocce serbatoio ideali per l'immagazzinamento della CO₂ presentano una porosità sufficiente (lo spazio vuoto all'interno della roccia) e una permeabilità adeguata (la capacità della roccia di consentire il passaggio dei fluidi). Rocce come calcari, rocce vulcaniche, ghiaia e sabbia possono possedere queste caratteristiche, permettendo l'accumulo della CO₂ all'interno dei loro pori o spazi interstiziali.
2. **Rocce impermeabili per confinare la CO₂:** Le rocce impermeabili, come l'argilla o i limi, svolgono un ruolo cruciale nel confinare la CO₂ all'interno della roccia serbatoio. Questi strati impermeabili agiscono come una barriera che impedisce alla CO₂ di diffondersi verso il basso stratigrafico, contribuendo così a evitare dispersioni indesiderate nel sottosuolo.

Inoltre, devono essere valutati i seguenti aspetti:

3. **Integrità strutturale delle rocce:** È importante valutare l'integrità delle rocce serbatoio e degli strati impermeabili. Fessurazioni o fratturazioni nelle rocce potrebbero compromettere la capacità di trattenere la CO₂, facilitando la sua migrazione attraverso le rocce.
4. **Reattività chimica:** Alcune rocce possono reagire chimicamente con la CO₂, formando minerali che potrebbero influenzare l'efficacia dell'immagazzinamento. È cruciale comprendere come la CO₂ interagisce con le rocce circostanti nel tempo.
5. **Profondità e pressione:** La profondità del sito e la pressione a cui è sottoposto possono influenzare la fase in cui la CO₂ si trova (ad esempio, se si presenta come gas, liquido o solido) e quindi la sua interazione con le rocce circostanti.

6. **Capacità di monitoraggio:** La capacità di monitorare e misurare l'efficacia dell'immagazzinamento è fondamentale. Sistemi di monitoraggio come la tomografia sismica o i sensori di pressione sono essenziali per valutare la stabilità e la tenuta del sito nel tempo.
7. **Impatto ambientale:** Bisogna considerare l'effetto a lungo termine dell'immagazzinamento di CO₂ sulla sicurezza ambientale, inclusi potenziali rischi di perdite o fughe di gas nell'atmosfera.

A fronte di tali evidenze sono state individuate due tipologie di terreno per la conduzione di test di captazione di CO₂ in laboratorio. Saranno testate due tipologie di terreno, sedimentario (sabbia e ghiaia) e tufo vulcanico a diversa granulometria.

In questa prima fase sono state condotte prove ad emissione di aria al fine di capire il comportamento dei terreni individuati per l'emulazione del sito di degassamento naturale.

Il terreno è stato posto all'interno di una scatola di polycarbonato di dimensioni 20 X 36 cm e altezza 10 cm. Sono stati fissati due ugelli da 6 mm per l'emissione del gas, sia contemporaneamente che per singolo ramo (Figura 1).

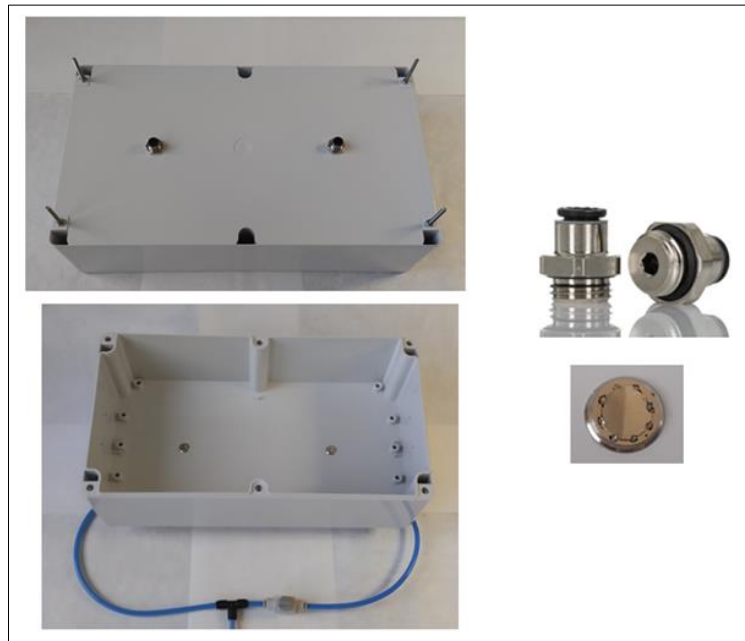


Figura 1: Scatola di contenimento del terreno in polycarbonato e ugelli e tubicini di raccordo per l'immissione di aria

Il primo test ha utilizzato un letto di sabbia al letto e ghiaia al tetto, entrambi terreni con alta permeabilità e porosità. Le prove condotte con aria in condizioni sia sature che insature hanno evidenziato come la presenza d'acqua nel terreno sigilli parzialmente l'esalazione dei gas (Figura 2). Nei terreni sabbiosi/ghiaiosi, la bassa capacità idrica ha favorito una maggiore diffusione del gas, mentre gli strati umidi hanno mostrato basse concentrazioni di gas a causa dell'occupazione dei pori dalla fase liquida. Negli strati più asciutti, invece, le concentrazioni dei gas sono aumentate.

Il secondo test, condotto utilizzando terreno vulcanico (tufo a granulometria variabile), ha mostrato risultati simili riguardo la distribuzione dei punti di immissione di aria e l'effetto delle caratteristiche fisiche del terreno sulla diffusione dei gas (Figura 3).

La conclusione suggerisce che la scelta dei terreni emulati, dell'apparato di contenimento e degli ugelli di immissione di gas è soddisfacente e rappresentativa per test successivi che prevedono l'utilizzo diretto della CO₂. Questa transizione potrebbe consentire di studiare più accuratamente il comportamento della CO₂ in questi terreni, tenendo conto delle influenze della porosità, permeabilità e presenza d'acqua sulla sua diffusione e concentrazione nel suolo.



Figura 2: Primo test per la valutazione dell'efficienza degli ugelli: immissione di aria a portata variabile in terreno sia saturo (destra), sia insaturo (sinistra)



Figura 3: Secondo test condotto utilizzando materiale vulcanico

In ultimo, è stato definito il concept e lo schema funzionale del sistema di captazione alla scala di laboratorio. Nello specifico, il sistema di captazione sarà composto da (Figura 4):

- Un sistema di convogliamento e diffusione del gas emulato che consenta di inviare differenti flussi al fine di testare il sistema in differenti condizioni di emissioni specifiche ($\text{g}/\text{m}^2\text{giorno}$). A tal fine il sistema di captazione sarà dotato di un misuratore e regolatore di portata massica della CO_2 che si alimenterà al captatore (MFC Mass Flow Controller);
- Un modulo emulatore del sito di degassamento con un'estensione dell'ordine di $50 \times 50 \text{ cm}$ dove è possibile alloggiare differenti tipologie di materiale di riempimento naturale (materiale sedimentario e vulcanico) in condizioni sia sature che insature;
- Un telaio in policarbonato a sostegno di uno strato di guaina e/o di teli di copertura atti ad impedire fuoriuscite di gas dal sistema di captazione;
- Un sistema di aspirazione del gas, costituito da un estraattore centrifugo;
- Misuratori di pressione e temperatura al fine di monitorare tali parametri durante il processo di emulazione del sito di degassamento e del sistema di captazione. Tale strumentazione verrà alloggiata sulla linea di aspirazione del gas captato;
- Un punto di campionamento, ovvero un sistema di prelievo del gas captato e convogliamento attraverso la valvola RGA01 al sistema di monitoraggio in continuo della composizione del gas, misurato come % vol. di CO_2 .

La rete di trasporto sarà dotata di sistemi per lo scarico della condensa.

I principali parametri relativi a portate, temperature, pressioni e composizioni verranno acquisiti ed elaborati al fine di verificare l'andamento dei test ed analizzare i risultati.

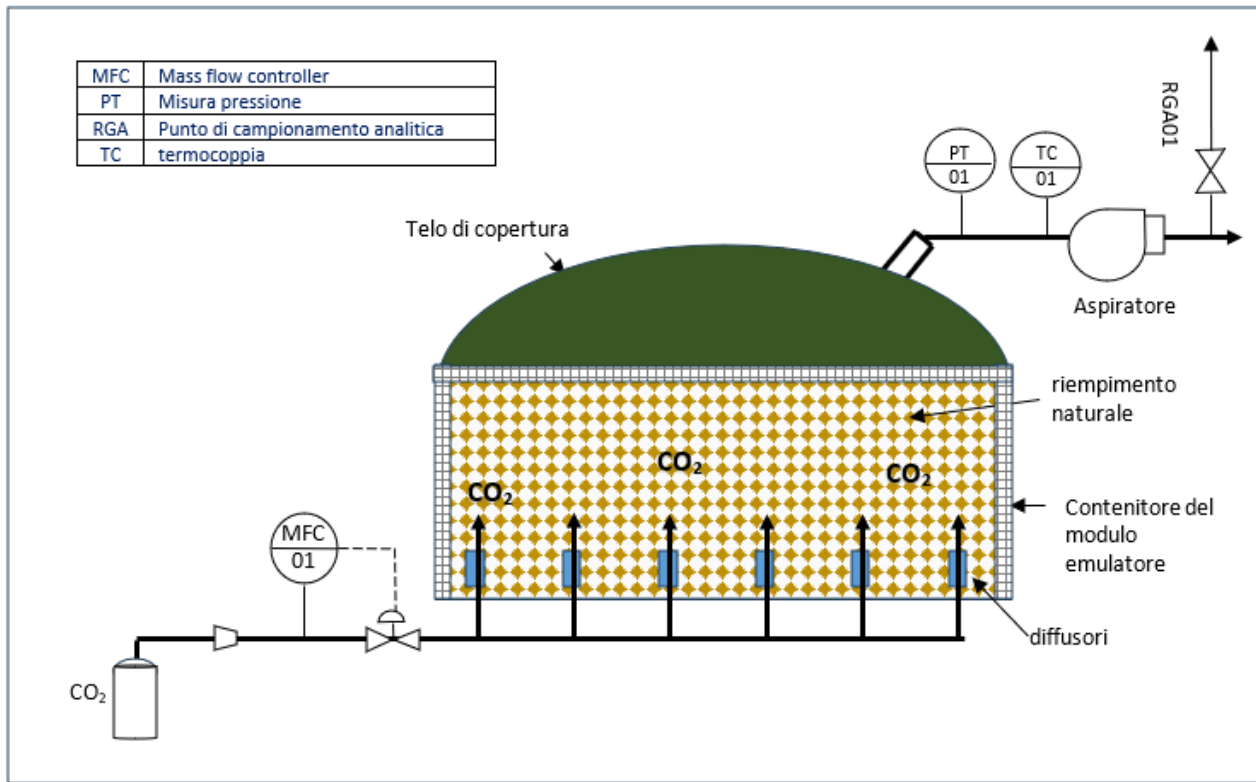


Figura 4. Concept del sistema di captazione della CO₂ a scala di laboratorio

8 Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte

Per l'esecuzione delle attività di ricerca previste nella presente LA non si è fatto ricorso a servizi di consulenza.

9 Pubblicazioni scientifiche

Al momento non è stata prodotta alcuna pubblicazione scientifica relativa ai risultati di questa LA.

10 Eventi di disseminazione

Primo Workshop di progetto Integrato 1.3 “Tecnologie dell’idrogeno” (Enea, CNR, RSE); Messina, 26 Giugno 2023 (CNR);

Secondo Workshop di progetto Integrato 1.3 “Tecnologie dell’idrogeno” (Enea, CNR, RSE); Milano 13-14 Dicembre 2023 (RSE).