



Ricerca di Sistema elettrico

Rapporto tecnico economico sulle attività SOTACARBO su P2G/L - III Anno (LA 3.18, 3.19, 3.20, 3.21 e 3.39)

Autori: Marcella Fadda, Enrico Maggio

RAPPORTO TECNICO ECONOMICO SULLE ATTIVITÀ SOTACARBO SU P2G/L - III ANNO (LA 3.18, LA 3.19, 3.20, 3.21 e LA 3.39)

Marcella Fadda, Enrico Maggio (Sotacarbo SpA)

Dicembre 2021

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - III annualità

Obiettivo 1: *Tecnologie*

Progetto: Tema 1.2 "Sistemi di accumulo, compresi power to gas, e relative interfacce con le reti"

Work package 3: Power to gas

Linea di attività: LA 3.39 Comunicazione, diffusione dei risultati e coordinamento: attività SOTACARBO su P2G/L - III Anno

Responsabile del Progetto: Giulia Monteleone ENEA

Responsabile del Work package: Eugenio Giacomazzi ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "POWER-to-Gas/Liquid Utilizzo della CO₂"

Responsabile scientifico ENEA: Paolo Deiana

Responsabile scientifico SOTACARBO: Marcella Fadda

Hanno collaborato alle attività di coordinamento Diana Multineddu, Giovanni Perra e Alberto Pettinau

Indice

SOMMARIO	4
1 INTRODUZIONE.....	5
2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI	7
2.1 WP3 - LA 3.18 POWER-TO-GAS/LIQUID: PROGETTAZIONE DELL'IMPIANTO PILOTA	7
2.2 WP3 - LA 3.19 POWER-TO-GAS/LIQUID: OTTENIMENTO DELLE AUTORIZZAZIONI E ADEGUAMENTO DEL SITO E DEI SISTEMI AUSILIARI PER L'IMPIANTO PILOTA	12
2.2.1 <i>Adeguamento del sito e dei sistemi ausiliari per l'installazione dell'impianto</i>	12
2.2.2 <i>Descrizione dell'iter autorizzativo per la realizzazione e messa in esercizio dell'impianto</i>	16
2.3 WP3 - LA 3.20 REALIZZAZIONE IMPIANTO PILOTA E SPERIMENTAZIONE	17
2.3.1 <i>Realizzazione dell'impianto prototipale</i>	17
2.3.2 <i>Realizzazione dei sistemi ausiliari</i>	21
2.3.3 <i>Messa a punto delle apparecchiature</i>	22
2.3.4 <i>Sperimentazione</i>	23
2.4 WP3 - LA 3.21 ANALISI TECNICO-ECONOMICA DELLE TECNOLOGIE P2G/L DA SURPLUS DI PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA IN SARDEGNA	26
2.5 WP3 - LA 3.39 COMUNICAZIONE, DIFFUSIONE DEI RISULTATI E COORDINAMENTO: ATTIVITÀ SOTACARBO SU P2G/L - III ANNO	28
3 COORDINAMENTO ATTIVITÀ.....	32
4 PUBBLICAZIONI SCIENTIFICHE E PARTECIPAZIONE A CONVEGNI	33
5 PARTECIPAZIONE A CONVEGNI/WORKSHOP E INCONTRI DI ASSOCIAZIONI.....	33
6 PRINCIPALI SOGGETTI ESTERNI COINVOLTI	34
7 ELENCO DEI RAPPORTI TECNICI E DEI PRODOTTI REALIZZATI	34
8 CRONOPROGRAMMA ATTIVITÀ	36
9 RENDICONTAZIONE ECONOMICA.....	37
9.1 COSTI SOSTENUTI NEL SECONDO E TERZO ANNO DI RICERCA	37
9.2 AGGIORNAMENTO DELLE PREVISIONI DI PROGRAMMA E DI COSTO DEL PROGETTO	38
10 CONCLUSIONI	41
11 ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI	43
12 CURRICULUM SCIENTIFICO DEL GRUPPO DI LAVORO	44

Sommario

Il progetto sviluppato nell'ambito della Ricerca di Sistema (PTR 2019 – 2021) è finalizzato alla diffusione commerciale delle tecnologie cosiddette Power-to-Gas/to-Liquid (P2G/L), ovvero il sistema di accumulo che prevede la conversione dell'energia elettrica in eccesso in energia chimica di un combustibile. Inoltre si cerca di superare il limite nel considerare la CO₂ non come un rifiuto ma come una risorsa che può essere riutilizzata per produrre, in combinazione con l'idrogeno combustibili liquidi e gassosi più facilmente immagazzinabili e trasportabili rispetto all'idrogeno, che è un vettore ad alta densità energetica per unità di massa ma molto bassa in termini volumetrici. Nello specifico l'obiettivo principale del progetto è quello di realizzare una infrastruttura di ricerca prototipale, che sarà messa a disposizione della comunità scientifica e delle realtà industriali per lo sviluppo tecnologico, al fine di dare un ulteriore impulso verso la decarbonizzazione e quindi al raggiungimento della neutralità climatica entro il 2050. La stessa Unione europea sta varando il cosiddetto "Fit for 55", un pacchetto di norme specifiche finalizzate a promuovere la diffusione industriale delle tecnologie di decarbonizzazione, rendendole competitive sul mercato internazionale e consentendo, entro il 2030, un abbattimento del 55% delle emissioni di gas serra rispetto ai valori del 1990.

La resilienza e sicurezza del sistema elettrico (con la conseguente necessità di rendere flessibile il sistema di generazione elettrica), lo sviluppo delle tecnologie di generazione elettrica da fonti rinnovabili e lo sviluppo di sistemi di stoccaggio dell'energia sono alcuni dei punti chiave della nuova strategia energetica nazionale italiana, nonché del Piano Nazionale Energia e Clima 2030 (PNIEC2030) e del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR).

Nello specifico nel presente rapporto tecnico si riporta una descrizione delle attività sviluppate nelle terzo anno di ricerca, comprese quelle iniziate nel 2020 che hanno beneficiato di una proroga al 2021.

In particolare viene fatto un breve cenno alle attività di progettazione dell'impianto prototipale (LA 3.18) e all'ottenimento delle autorizzazioni e adeguamento del sito e dei sistemi ausiliari (LA 3.19). Attività queste iniziate nel 2020, che hanno subito uno slittamento al 2021. Il report viene completato con la descrizione delle attività di realizzazione dell'impianto pilota e sperimentazione (LA 3.20), l'analisi tecnico-economica nel contesto della Sardegna (LA 3.21) e l'attività di supporto al progetto inerente la comunicazione, diffusione dei risultati e il coordinamento (LA 3.39). Nella parte finale del report è presente una sezione dedicata all'analisi dei costi imputati al progetto e gli scostamenti rilevati. Per maggiori approfondimenti sulle attività svolte si rimanda ai report specifici.

1 Introduzione

Il presente documento si riferisce all'accordo di collaborazione tra ENEA e SOTACARBO dal titolo "POWER-to-Gas/Liquid Utilizzo della CO₂" inserito nelle attività del Piano triennale di realizzazione 2019-2021 Tema 1.2 "Sistemi di accumulo, compresi elettrochimico e power to gas, e relative interfacce con le reti" – WP3 "Power to Gas". In questo contesto, è stato realizzato un prototipo sperimentale Power-to-Gas/to-Liquid denominato "Power-to-fuels" per lo sviluppo dei processi di sintesi di metano, metanolo e dimetiletere (DME) mediante l'idrogenazione catalitica della CO₂, derivante da processi di cattura, con idrogeno prodotto dal surplus di produzione elettrica da fonte rinnovabile. Nello specifico l'obiettivo prefissato è quello di contribuire alla diffusione commerciale della tecnologia di accumulo, che prevede la conversione dell'energia elettrica in eccesso in combustibili gassosi, come l'idrogeno o il metano, o in combustibili liquidi, come il metanolo, che possono essere immagazzinati per lunghi periodi, se necessario. Tale tecnologia integra quella di stoccaggio energetico a breve termine rappresentata dalle batterie e fornisce un ulteriore impulso al processo di decarbonizzazione rispondendo così a due sfide fondamentali: l'uso diretto di combustibili sintetici consente la decarbonizzazione dei settori che attualmente dipendono dai combustibili fossili, come i trasporti pesanti o alcuni processi industriali; la sostituzione dei combustibili fossili con alternative *carbon neutral* può ridurre direttamente le emissioni in molti settori. Inoltre, grandi quantità di energia possono essere immagazzinate per un lungo periodo al fine di garantire l'equilibrio tra domanda e offerta di energia rinnovabile.

La stessa Commissione Europea ha adottato il 14 luglio 2021 il pacchetto climatico "Fit for 55" [1], un pacchetto di norme specifiche finalizzate a promuovere la diffusione industriale delle tecnologie di decarbonizzazione, rendendole competitive sul mercato internazionale e consentendo, entro il 2030, un abbattimento del 55% delle emissioni di gas serra rispetto ai valori del 1990. Il pacchetto prevede:

- la revisione dell'*Emission Trading System* (ETS), il mercato di scambio delle quote di emissione della CO₂, finalizzato a rendere più oneroso l'acquisto delle quote di emissione e, di conseguenza, a rendere più competitive le tecnologie a basso impatto sul clima;
- la revisione della *Renewable Energy Directive* (RED II), che dovrebbe promuovere ulteriormente lo sfruttamento delle fonti di energia rinnovabile (non solo eolico e fotovoltaico, ma anche biomasse di scarto, rifiuti, geotermia, ecc.);
- l'introduzione della direttiva *ReFuel EU Aviation*, che imporrà, dal 2025 al 2050, obblighi sempre più impegnativi sull'incidenza di *biofuel* ed *e-fuel* per il trasporto aereo;
- l'introduzione della direttiva *ReFuel EU Maritime*, analoga alla precedente e relativa ai combustibili per il trasporto marittimo;
- la revisione della direttiva sulla tassazione dell'energia.

La resilienza e sicurezza del sistema elettrico (con la conseguente necessità di rendere flessibile il sistema di generazione elettrica), lo sviluppo delle tecnologie di generazione elettrica da fonti rinnovabili e lo sviluppo di sistemi di stoccaggio dell'energia sono alcuni dei punti chiave della nuova strategia energetica nazionale italiana. In ambito nazionale il Piano Nazionale Energia e Clima 2030 (PNIEC2030) si struttura in 5 linee d'intervento, che si sviluppano in maniera integrata: dalla decarbonizzazione all'efficienza e sicurezza energetica, passando attraverso lo sviluppo del mercato interno dell'energia, della ricerca, dell'innovazione e della competitività. In generale l'obiettivo è quello di realizzare una nuova politica energetica che assicuri la piena sostenibilità ambientale, sociale ed economica del territorio nazionale e accompagni la suddetta transizione. In questo contesto è stata sviluppata l'idea progettuale, finanziata dalla ricerca di sistema elettrico a totale beneficio dell'utente finale.

Il presente rapporto tecnico si inquadra all'interno progetto 1.2 "Sistemi di accumulo e relative interfacce con le reti" dell'Accordo di Programma MISE-ENEA 2019-2021. Nello specifico, è stato realizzato nell'ambito del WP3 – LA 3.39 "Comunicazione, diffusione dei risultati e coordinamento: attività SOTACARBO su P2G/L – III Anno". In generale le attività di ricerca sono state limitate dall'emergenza dovuta alla pandemia da Covid-19 che ha comportato una modifica della programmazione iniziale, impattando di fatto sulla conclusione delle attività previste nella LA 3.18 progettazione dell'impianto pilota e 3.19 ottenimento delle autorizzazioni

e adeguamento del sito e dei sistemi ausiliari per l'impianto pilota, dove gli obiettivi raggiunti nel 2020 sono stati parziali, pertanto il completamento è stato raggiunto nell'anno 2021. Gli effetti della pandemia a lungo termine come i ritardi nelle consegne dovute alla mancata reperibilità di alcuni componenti, hanno inciso anche sulle attività di realizzazione e sperimentazione (LA 3.20). Mentre nel 2021 si è avuta una parziale ripresa degli eventi/workshop in presenza che hanno permesso di organizzare il workshop **"Roadmap per la transizione energetica"** e di aderire agli eventi **"Notte Europea dei Ricercatori"** e **"Open Your Mine"**.

Nello specifico nel report sono descritte le attività svolte nella terza annualità, relative a:

- WP3 - LA 3.18 Power-to-Gas/Liquid: progettazione dell'impianto pilota (completamento)
- WP3 - LA 3.19 Power-to-Gas/Liquid: ottenimento delle autorizzazioni e adeguamento del sito e dei sistemi ausiliari per l'impianto pilota (completamento).
- WP3 - LA 3.20 "Power-to-Gas/Liquid: realizzazione dell'impianto pilota e sperimentazione"
- WP3 - LA 3.21 "Power-to-Gas/Liquid: analisi tecnico-economica nel contesto della Sardegna"
- WP3 - LA 3.39 "Comunicazione, diffusione dei risultati e coordinamento: attività SOTACARBO su P2G/L - III Anno".

2 Descrizione delle attività svolte e risultati

2.1 WP3 - LA 3.18 Power-to-Gas/Liquid: Progettazione dell'impianto pilota

L'attività ha previsto la progettazione del prototipo sperimentale Power-to-Gas/to-Liquid (P2G/L) per lo sviluppo dei processi di sintesi di metano, metanolo e dimetiletere (DME) mediante l'idrogenazione catalitica della CO₂, derivante da processi di cattura, con idrogeno prodotto dal surplus di produzione elettrica da fonte rinnovabile. Nello specifico, nei primi mesi del 2020 si è conclusa l'indagine esplorativa avviata nel 2019, individuando le potenziali ditte fornitrici. Durante questa fase è emersa la difficoltà ad individuare delle ditte che potessero eseguire la progettazione definitiva del prototipo senza occuparsi della fornitura e messa in esercizio, pertanto, considerato il carattere altamente innovativo del prototipo e la sua complessità, è stata effettuata una gara unica che comprendesse la progettazione, realizzazione e messa in esercizio dell'impianto, attraverso la procedura del dialogo competitivo. Questa procedura ha permesso di definire la specifica tecnica della soluzione progettuale che meglio rappresenta le specifiche esigenze del prototipo P2G/L, partendo da una scheda tecnico descrittiva dell'impianto (redatta sia in lingua italiana che in lingua inglese), per arrivare alla specifica tecnica su cui le ditte hanno presentato la loro offerta. La procedura è stata articolata in tre fasi:

- Fase I: Domanda di partecipazione e ammissione alla procedura.
- Fase II: Valutazione delle domande di partecipazione e avvio del dialogo con i candidati ammessi.
- Fase III: Presentazione delle offerta da parte delle ditte, valutazione e aggiudicazione della procedura.

Al termine del dialogo le ditte sono state inviate a presentare l'offerta finale, costituita dall'offerta tecnica ed economica.

La valutazione tecnica delle offerte si è basata sui seguenti criteri:

- Criterio A - Corrispondenza e adeguatezza della proposta tecnica rispetto al progetto.
- Criterio B - Tempo di esecuzione.
- Criterio C - Costo offerto.

L'ultima fase si è conclusa nel mese di agosto del 2020 e l'offerta è stata aggiudicata alla ditta Vinci Technologies.

Tutti gli atti della gara sono disponibili nel sito Sotacarbo (<https://www.sotacarbo.it/it/2020/04/bando-di-gara-impianto-prototipale-p2g-l/>). L'iter di affidamento si è concluso con la trasmissione, alla ditta aggiudicataria, del contratto n. 10/21 del 22/04/2021. I ritardi avuti nella formalizzazione del contratto, non imputabili a Sotacarbo, ma alla situazione finanziaria del progetto, hanno comportato una contrazione generale dei tempi per lo svolgimento delle attività inizialmente previste, richiedendo per alcune un'ulteriore proroga al 2021.

La procedura di gara sopra descritta ha consentito di analizzare diverse configurazioni impiantistiche e di individuare la soluzione più idonea a soddisfare le specifiche esigenze del progetto e definire quindi la configurazione finale dell'impianto. Al termine della procedura è stata eseguita la progettazione di massima, dove, particolare attenzione è stata dedicata alla scelta della tipologia dei reattori, alle condizioni operative dei diversi processi (temperature, pressioni, ricircoli, integrazioni energetiche, ecc.) e alle criticità che li caratterizzano. Per maggiori approfondimenti sulla parte sopra descritta si rimanda al rapporto tecnico economico sulle attività SOTACARBO su P2G/L - II Anno (LA 3.18, 3.19 e 3.38) - RdS/PTR2020/216.

La progettazione di dettaglio, sviluppata nel terzo anno, è stata eseguita in seguito alla definizione della progettazione di massima dell'impianto sperimentale. Quest'ultima ha consentito di individuare la soluzione tecnologica più idonea a soddisfare le specifiche esigenze del progetto e a definire la configurazione finale dell'impianto con capacità oraria massima di 5 kg/h (120 kg/giorno) di prodotto finale. Nella progettazione di dettaglio sono state determinate le caratteristiche tecniche e operative definitive di tutti i componenti da installare nell'impianto e sono state valutate le prestazioni dei singoli componenti all'interno della globalità del processo. La sezione di reazione costituisce il cuore dell'intero impianto e per tale motivo è stata dedicata

particolare attenzione alla configurazione e alla selezione della tipologia di reattore insieme ad un'attenta ingegnerizzazione dell'intera sezione. Sono stati presi in considerazione diversi fattori per la corretta progettazione: la rispondenza alle condizioni operative dettate dai processi di idrogenazione coinvolti, la flessibilità operativa e la scalabilità dei risultati ottenuti. A seguito dell'approfondita analisi condotta sulla tipologia dei processi considerati in termini di condizioni operative e per garantire la necessaria flessibilità operativa, l'impianto è stato pensato e studiato attraverso l'impiego di due differenti reattori, uno monotubolare e uno multitubolare (con elevato rapporto lunghezza/diametro). Entrambi i reattori possono essere utilizzati per tutti i processi di interesse poiché progettati e realizzati sulla base delle condizioni operative individuate sia per la sintesi di metanolo/DME che per il processo di metanazione (Tabella 2.1). Sono stati individuati gli intervalli di pressione e temperatura ottimali per i diversi tipi di processo a seguito dell'evidenza sperimentale ottenuta su scala di laboratorio (per approfondimenti si rimanda al report RdS/PTR2019/127).

Tabella 2.1. Condizioni operative dei processi di produzione di metanolo, dimetiletere e metano.

	Processo di sintesi del metanolo e DME	Processo di sintesi del metano
Pressione nominale	35 barg	8 barg
Pressione massima	60 barg	30 barg
Temperatura nominale	250 °C	325 °C
Temperatura massima	350 °C	450 °C

La sezione di alimentazione è costituita da un impianto di decompressione, distribuzione e regolazione di anidride carbonica, idrogeno e azoto. Le condizioni operative della sezione di alimentazione sono riportate in Tabella 2.2, mentre in Tabella 2.3 è riportato un elenco dei principali componenti previsti nelle linee di ciascun gas e nella linea del miscelatore.

Tabella 2.2. Condizioni operative della sezione di alimentazione.

Gas	Pressione massima (barg)	Temperatura (°C)	Portata (kg/h)
CO ₂	60	Ambiente	15,0
H ₂	80	Ambiente	3,0
N ₂	80	Ambiente	4,0

Tabella 2.3. Componenti del sistema di alimentazione lato impianto.

Componente	Produttore	Modello/Serie
Linee dei gas		
Valvola di intercettazione	Ham-Let	H-800KL
Trasduttore di pressione	ESI	GS4200
Filtro 7 µm	Ham-Let	H-600
Valvola di sfiato	HOKE	MR6032
Misuratore di pressione	Ham-Let	IMPG63
Regolatore di pressione	Swagelok	KCP
Regolatore di portata massica	Bronkhorst	M14V10I
Valvola di ritegno	Ham-Let	H-400HP
Linea del miscelatore		
Valvola di sfiato	HOKE	MR6032
Valvola di intercettazione	Ham-Let	H-800KL
Termocoppia tipo K	TC Direct	405-335
Misuratore di pressione	Ham-Let	IMPG10
Trasduttore di pressione	ESI	GS4200

Per quanto riguarda il controllo della temperatura, l'impianto è dotato di un sistema innovativo, basato su un design a doppia camicia, che consente una regolazione efficiente della temperatura anche con reazioni particolarmente esotermiche. La miscela gassosa, prima di entrare nel reattore, viene preriscaldata attraverso uno scambiatore di calore che scambia a sua volta il calore con il fluido uscente dalla camicia del reattore. Inoltre, la linea in ingresso al reattore è elettroriscaldata e isolata termicamente.

Dopo il preriscaldamento, un sistema di valvole automatizzate permette di scegliere tra il reattore monotubolare e il multitubolare. Il reattore monotubolare ha lunghezza pari a circa 7 metri (Tabella 2.4), mentre il reattore multitubolare è costituito da 12 reattori di lunghezza pari a 1,3 metri (Tabella 2.5).

Tabella 2.4. Caratteristiche tecnico/operative di dettaglio del reattore monotubolare.

Materiale di costruzione	Acciaio inox SS316 e SS310
N° tubi	1
Volume del reattore	6800 cm ³
Lunghezza	6615 mm
Diametro interno	35,1 mm
Modalità operativa	Isoterma
Temperatura massima	450 °C
Pressione massima	60 barg @350 °C o 30 barg @450 °C
Temperatura di progetto	510 °C
Pressione di progetto	80 barg

Tabella 2.5. Caratteristiche tecnico/operative di dettaglio del reattore multitubolare.

Materiale di costruzione	Acciaio inox SS316
N° tubi	12
Volume del reattore (1 tubo)	540 cm ³
Volume totale	ca. 6500 cm ³
Lunghezza tubo	1300 mm
Diametro interno	23 mm
Modalità operativa	Isoterma
Temperatura massima	450 °C
Pressione massima	60 barg @350 °C o 30 barg @450 °C
Temperatura di progetto	510 °C
Pressione di progetto	80 barg

Nella Figura 2.1 è riportato il P&ID dell'intera sezione di reazione, composta da: due reattori, gli scambiatori di calore, il riscaldatore del fluido insieme alla pompa di circolazione, il separatore del fluido e tutte le strumentazioni e le apparecchiature di controllo del processo.

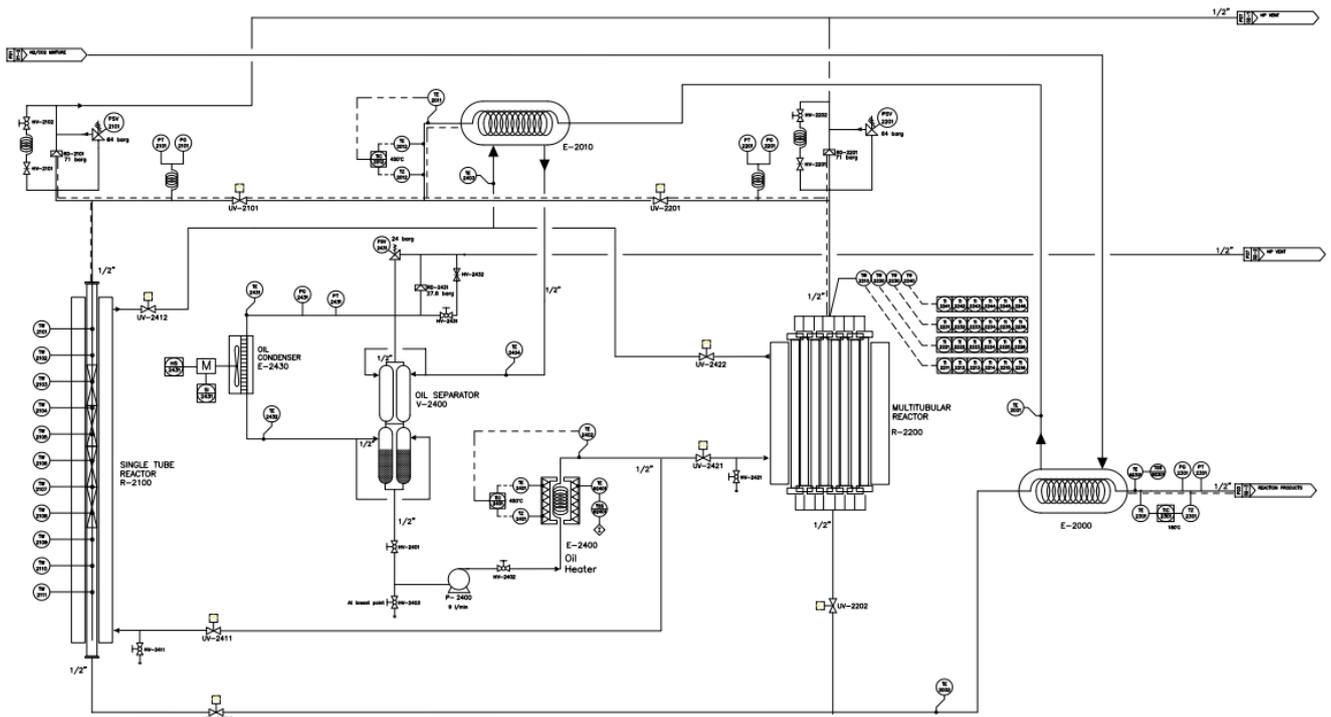


Figura 2.1. P&ID della sezione di reazione.

A valle della sezione di reazione, è presente un sistema di separazione dei prodotti composto da: una trappola per il recupero di eventuali prodotti ad elevato peso molecolare; un separatore gas-liquido ad alta pressione e un separatore gas-liquido a bassa pressione per dividere la fase gassosa dalle due fasi condensate (acquosa e organica). Al fine di aumentare la resa di reazione, specialmente per la sintesi del metanolo, è stata predisposta una linea di ricircolo dei gas non reagiti. La Figura 2.2 riporta il P&ID dell'intera sezione di separazione dei prodotti di reazione.

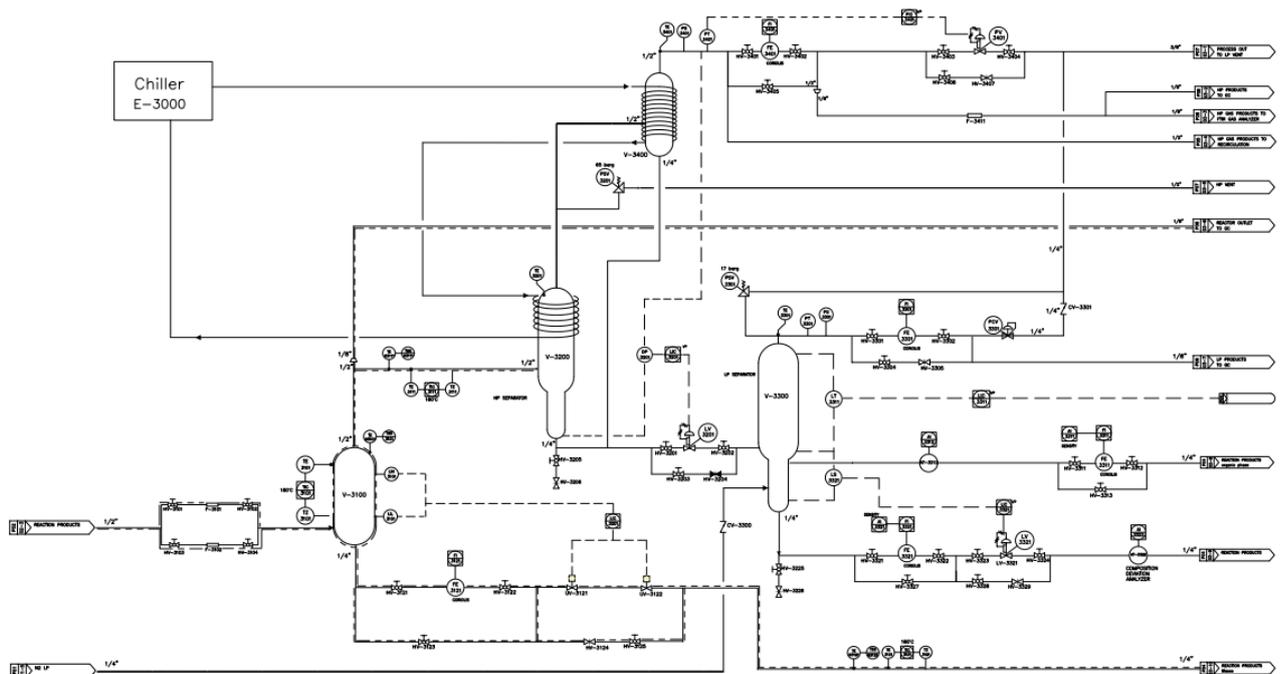


Figura 2.2. P&ID della sezione di separazione dei prodotti di reazione.

Parte integrante della progettazione di dettaglio dell'impianto prototipale risulta la definizione della strumentazione necessaria a misurare le temperature, le pressioni, le portate e i livelli dell'impianto, mentre il sistema di controllo permette di monitorare e regolare i principali parametri di processo. Inoltre nella fase di progettazione di dettaglio, sono stati ridefiniti il *Process Flow Diagram* (PFD) e i *Piping & Instrumentation Diagrams* (P&ID) delle diverse sezioni. L'attività di progettazione è stata svolta in collaborazione con la società che si è aggiudicata la gara. Il progetto è stato completato con la progettazione strutturale e meccanica, l'automazione del processo e i modelli 2D e 3D dell'infrastruttura sperimentale. La progettazione definitiva dell'impianto, è stata sviluppata in due fasi ben distinte: in una prima fase sono stati consegnati tutti gli elaborati che hanno permesso di concludere le attività per l'ottenimento delle autorizzazioni per la realizzazione dell'impianto e successivamente sono stati consegnati tutti i documenti definitivi che costituiscono il fascicolo dell'opera.

Per un approfondimento maggiore sull'argomento si rimanda ai seguenti report:

- “Progettazione di massima dell'impianto sperimentale P2G/L” - RdS/PTR(2021)/281.
- “Progettazione di dettaglio dell'impianto sperimentale P2G/L” - RdS/PTR(2021)/282.

2.2 WP3 - LA 3.19 Power-to-Gas/Liquid: ottenimento delle autorizzazioni e adeguamento del sito e dei sistemi ausiliari per l'impianto pilota

Nell'ambito della linea sono proseguite le attività propedeutiche all'installazione dell'impianto prototipale e all'ottenimento delle autorizzazioni necessarie. I ritardi avuti nella formalizzazione del contratto per la progettazione e realizzazione dell'impianto, non imputabili a Sotacarbo, hanno comportato la richiesta di un'ulteriore proroga al 2021 per la conclusione delle attività, specificatamente legate alla progettazione definitiva dell'impianto.

Le principali attività svolte nel 2020, il cui sunto è descritto nel rapporto tecnico economico sulle attività SOTACARBO su P2G/L - Il Anno (LA 3.18, 3.19 e 3.38) - RdS/PTR2020/216, hanno riguardato: esame della normativa ambientale per avviare le procedure per l'ottenimento delle autorizzazioni, predisposizione del documento preliminare del piano operativo di sicurezza (POS), essenziale per l'avvio della gara unica per la progettazione e realizzazione dell'impianto, svolta nella linea di attività 3.18; definizione del sistema di alimentazione gas dell'impianto P2G/L e studio di nuove modifiche per l'adeguamento del sito e dei sistemi ausiliari, che si sono rese necessarie dopo la definizione della configurazione finale dell'impianto.

Sono state analizzate le possibili integrazioni dell'impianto con i sistemi ausiliari presenti (aria compressa, linea acqua, struttura, torcia). Inoltre, sulla base della nuova configurazione dell'impianto e della sua integrazione con l'esistente, si sono rese necessarie delle verifiche sulle fondazioni per il posizionamento delle varie sezioni dell'impianto; è stato definito il layout del sistema di adduzione gas in ingresso all'impianto P2G/L ed è stato avviato tutto il processo per l'affidamento della fornitura. Sono proseguiti gli smontaggi e la messa in sicurezza dei componenti dell'impianto esistente, per permettere l'installazione del prototipo. Sono stati infine rivalutati alcuni degli interventi, inizialmente previsti nella LA 3.19, poiché inclusi nel contratto per la realizzazione dell'impianto, quali adeguamento del quadro di regolazione e controllo; realizzazione del software di gestione e realizzazione del sistema di analisi on-line, che hanno portato anche ad una diversa distribuzione dei costi, come indicato nella variante al progetto.

Nell'anno 2021, dopo la consegna della progettazione definitiva, si sono concluse tutte le attività avviate in precedenza e in particolare sono stati definiti e avviati tutti gli iter per l'ottenimento delle autorizzazioni. Per alcune attività specifiche è stato necessario individuare dei professionisti abilitati all'esecuzione delle pratiche con i quali si è collaborato, vista la specificità dell'impianto e del processo. È stata inoltre ampliata l'area per l'installazione dell'impianto per garantire una diversa compartimentazione dello stesso. Nell' specifico, per ridurre i costi dei diversi componenti e i relativi tempi di consegna, l'impianto è stato posizionato in una zona non classificata come zona ATEX, sono stati realizzati dei nuovi interventi per separare la sezione di produzione e distribuzione aria compressa e sono state messe in atto tutte le modifiche per la compartimentazione tra l'esistente e la nuova realizzazione.

Di seguito viene fatto un breve cenno alle attività svolte fornendo una indicazione di quanto sviluppato nel 2020 e quanto nel 2021.

2.2.1 Adeguamento del sito e dei sistemi ausiliari per l'installazione dell'impianto

Le attività di preparazione del sito, svolte nel 2020, hanno riguardato lo smontaggio di ulteriori sezioni e tubazioni, presenti nell'area su cui è stato installato l'impianto "Power-to-Fuels". Nello specifico si è valutato di inserire l'impianto prototipale all'interno di una struttura sperimentale pilota di gassificazione già esistente, dove non erano programmate attività di ricerca. Tale decisione era stata presa per riutilizzare parti dell'impianto esistente riducendone così gli ingombri. Il ritardo con cui è stato affidato il contratto di progettazione e realizzazione (aprile 2021) ha richiesto un ulteriore sforzo per individuare una nuova area e uno schema di impianto più compatto, di facile installazione, ma che, soprattutto, potesse ridurre i tempi dell'installazione, per rispettare le scadenze del progetto triennale. Dovendo installare l'impianto in una nuova posizione sono stati eseguiti i controlli sulla fondazione e sono state fatte le opportune verifiche sui sistemi ausiliari. Nel 2020 si è trattato di verifiche preliminari che sono state riviste e confermate dopo la progettazione definitiva del prototipo, sviluppata nel 2021.

In fase preliminare, era stata valutata la possibilità di adeguamento della struttura di supporto del preesistente impianto “Pilota” presente sulla Piattaforma Sperimentale, ai fini dell’installazione del nuovo impianto.

A partire dalle valutazioni preliminari eseguite nella prima annualità del progetto, si è provveduto a:

- Smantellare di alcuni macchinari non più utilizzati al fine di liberare un’area di 50 m² corrispondente allo spazio necessario per l’installazione dell’impianto prototipale.
- Eseguire gli smontaggi elettrici relativi ai dispositivi e alle strumentazioni dismesse.
- Valutare i segnali disponibili per l’impianto in corrispondenza delle sezioni dismesse.
- Valutare l’utilizzo di una parte del quadro di regolazione e controllo relativo alle sezioni dismesse ai fini della gestione del nuovo impianto.
- Valutare la rimessa in funzione di alcune parti del quadro al momento fuori servizio.
- Modifica del P&ID con la cancellazione delle sezioni dismesse.

Disinstallazione e messa in sicurezza componenti/sezioni

Le attività di smontaggio e messa in sicurezza dei componenti ha riguardato:

- Diverse linee che trasportavano gas compressi e syngas non necessarie al nuovo impianto: Linea O₂, linea CO₂/O₂, linea SYNGAS, Linea N₂, Linea H₂.
- Parti del sistema di desolforazione a freddo a servizio del gassificatore pilota.
- Reattori di cattura delle CO₂ (SAC) e tubazioni di scarico.
- Componenti della sezione di desolforazione a freddo e a caldo.
- Linea di invio syngas a torcia da desolforazione a caldo.
- Sezioni di CO-shift e di cattura anidride carbonica.
- Compressore a valle della sezione di cattura della CO₂.
- Tubazioni di campionamento gas e tubazioni varie.

Verifiche sulle fondazioni

Al fine dell’installazione dell’impianto nel sito del preesistente impianto pilota, sono state eseguite le verifiche sulle fondazioni su cui poggia l’attuale struttura. Il lavoro ha portato alla verifica del reale posizionamento delle travi di fondazione e dei cordoli di rinforzo, rispetto a quanto previsto dalla documentazione progettuale, e quindi alla verifica dell’attendibilità dei riferimenti documentali per l’attività di installazione.

Aria compressa

L’aria compressa necessaria al funzionamento della strumentazione dell’impianto prototipale viene fornita da due compressori presenti nella piattaforma pilota, le cui caratteristiche (Tabella 2.6) sono compatibili con quanto richiesto dall’impianto.

Tabella 2.6. Caratteristiche della centrale aria compressa.

Descrizione	
Tipologia Compressore	A Vite
Potenza	6 kW
Pressione di lavoro	8 – 10 bar
Portata Nominale	36 kg/h
Tipologia Essiccatore	Silicati
Temperatura di rugiada dell’acqua	-20°C
Sistemi di sicurezza	Separatore acqua/olio

A valle del sistema di produzione dell’aria compressa sono presenti dei sistemi di distribuzione a “clarinetto” disposti lungo tutto il perimetro della piattaforma, ai quali è possibile allacciarsi per usufruire dell’aria compressa da inviare alle utenze pneumatiche dell’impianto prototipale.

Impianto elettrico

La definizione dell'adeguamento dell'impianto elettrico ha subito diversi sviluppi durante l'evoluzione della progettazione dell'impianto (in prima analisi svolta da Sotacarbo e successivamente dalla ditta aggiudicataria della fornitura dell'impianto prototipale). Solo a seguito della definizione finale dei carichi elettrici dell'impianto sono stati ridefiniti gli interventi sull'impianto elettrico della piattaforma pilota Sotacarbo, che hanno riguardato la predisposizione di una linea di alimentazione dedicata all'impianto P2G/L, di potenza pari a 35 kW e una alimentazione dotata di gruppo di continuità da 1kW. L'impianto prototipale necessita esclusivamente di una alimentazione da 400 V trifase a 50 Hz con assorbimento sopra indicato. È stato infine previsto un quadro elettrico dedicato che gestisce sia la parte di potenza che quella di controllo.

Torcia

L'impianto è dotato di sistema di evacuazione dei gas provenienti dalle due sezioni di alta e bassa pressione, al fine di smaltire attraverso la torcia i gas prodotti o per inviarli in atmosfera in caso di malfunzionamento che potrebbe generare un flusso inverso causato da un'eccessiva contropressione. Durante lo svolgimento della gara per l'affidamento della fornitura dell'impianto (anno 2020) è stata verificata la compatibilità della torcia esistente nella piattaforma sperimentale con le condizioni operative dell'impianto "Power-to-Fuels". Dopo l'esecuzione della progettazione definitiva (anno 2021) sono state confermate le condizioni di processo del gas in uscita dall'impianto, pertanto è stato confermato l'utilizzo della torcia esistente, costituita da una camera in acciaio al carbonio di forma cilindrica (762 mm di diametro e 5 m di altezza), rivestita internamente con fibra ceramica di spessore 100 mm, fissata con ganci di ritegno in AISI 304 e rondelle in AISI 310 e imbullonata alla struttura tramite tre piedi. In Figura 2.3 sono riportati il costruttivo ed un'immagine della torcia.

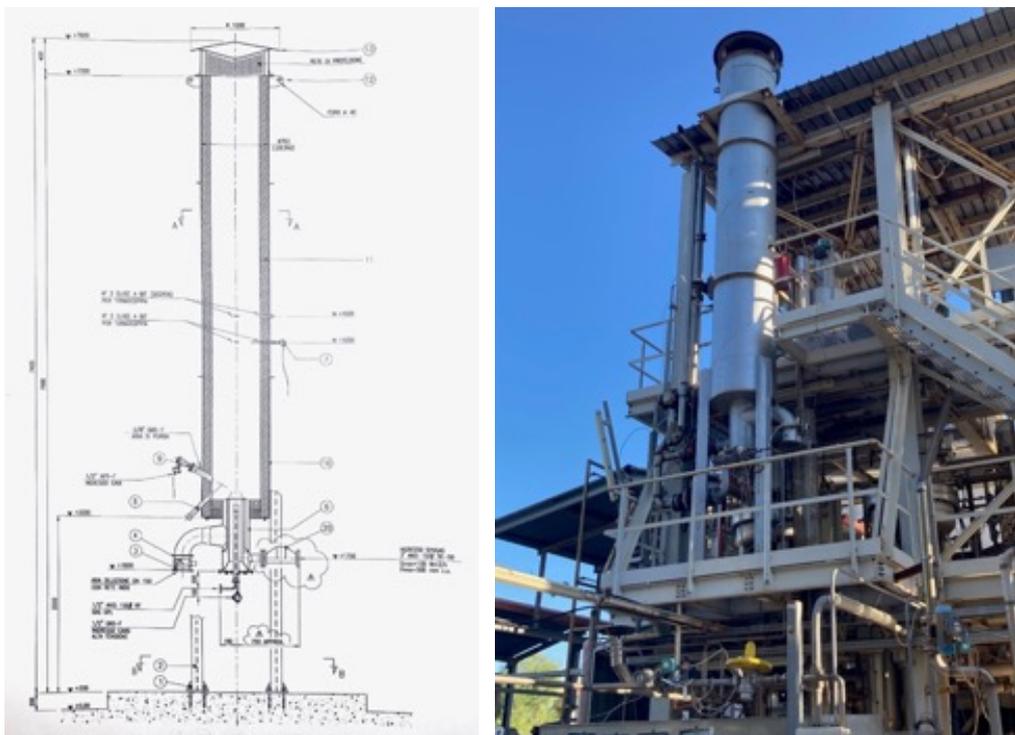


Figura 2.3. Disegno di assieme e foto della torcia installata sull'impianto.

Sistema alimentazione gas

L'impianto sperimentale è dotato di due reattori alimentati da una miscela di gas ottenuta tramite gas puri in pressione provenienti dal medesimo sistema di alimentazione gas. Nel corso del 2020 è stato definito il sistema, individuata l'area di stoccaggio dei pacchi bombola di anidride carbonica e di azoto (dimensioni 5 x 1,5 m), sulla platea a ridosso dell'impianto prototipale.

L'area di stoccaggio dell'idrogeno è un apposito box certificato già esistente (dimensioni interne di 4,3 x 3,4 m). Sono state individuate le potenziali ditte che potrebbero fornire il sistema ed è stata ultimata la specifica tecnica allegata alla procedura di affidamento della fornitura. Dopo la progettazione definitiva dell'impianto prototipale (anno 2021) si è adeguata la specifica tecnica già predisposta e si è dato avvio all'iter per l'assegnazione della fornitura e realizzazione del sistema di alimentazione gas. La Tabella 2.7 riporta le caratteristiche dei gas in ingresso all'impianto. In particolare sono indicati, per ogni gas, il titolo minimo, la pressione e temperatura richieste al limite di batteria dell'impianto e la portata massima che verrà impiegata durante le campagne sperimentali. In Figura 2.4 viene mostrata una pianta con il posizionamento dei gas del sistema di alimentazione.

Tabella 2.7. Gas dal sistema di alimentazione.

Gas	Titolo minimo	Pressione massima [barg]	Pressione nominale [barg]	Temperatura [°C]	Portata massima [kg/h]
CO ₂	3.0	60	35	Ambiente	14,3
H ₂	5.0	80	35	Ambiente	2,6
N ₂	5.0	80	35	Ambiente	16,9

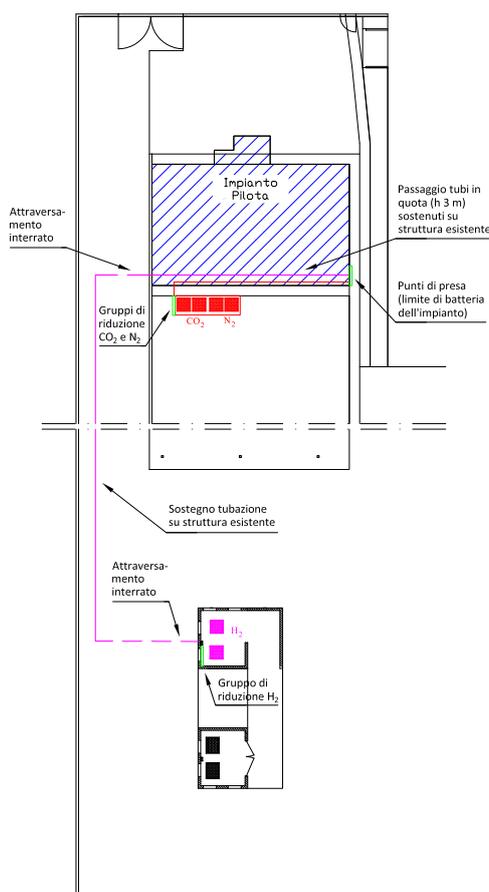


Figura 2.4. Schema semplificato della linea del sistema di alimentazione.

2.2.2 Descrizione dell'iter autorizzativo per la realizzazione e messa in esercizio dell'impianto

Nel corso del 2020 sono stati fatti ulteriori approfondimenti per l'ottenimento delle autorizzazioni necessarie per la realizzazione e messa in esercizio dell'impianto P2G/L sulla base di quanto emerso nella fase di progettazione.

Nello specifico, gli approfondimenti hanno riguardato tre macroclassi:

- Normativa per gli impianti in pressione, con particolare attenzione alla direttiva 2014/68/UE comunemente detta direttiva PED (Pressure Equipment Directive).
- Normativa per l'integrazione del certificato di prevenzione incendi (CPI).
- Normativa per la classificazione delle aree a rischio esplosione, con particolare riferimento alle direttive 2014/34/UE e 99/92/CE, convenzionalmente denominate ATEX (ATmosphères ed Explosives).

Dopo la consegna della progettazione definitiva si sono avviati e conclusi: l'iter autorizzativo per la modifica del CPI, così come l'analisi della classificazione dell'impianto secondo la direttiva PED. Per la presentazione della pratica CPI è stato indispensabile classificare correttamente il rischio derivante dall'attività, il carico di incendio, i combustibili utilizzati, predisporre delle relazioni tecniche specifiche a firma di professionista abilitato. Le uniche prescrizioni fatte dai Vigili del Fuoco che hanno riguardato l'installazione di due misuratori per gas: idrogeno e monossido di carbonio, per rilevare possibili fughe e i relativi sistemi acustici di allarme a servizio del personale in impianto (Figura 2.5).



Figura 2.5. Misuratori gas e rilevatori acustici installati nell'impianto.

Per quanto riguarda l'integrazione della classificazione delle zone ATEX, Vinci Technologies (ditta realizzatrice dell'impianto) ha provveduto ad effettuare lo studio escludendo possibili zone a rischio esplosione, poiché l'impianto prototipale non presenta potenziali fonti di rilascio in condizioni operative normali. In via cautelativa, l'impianto è posizionato ad una distanza congrua dall'area degli impianti classificati per la zona ATEX II 3 G T1. L'unico componente classificato ATEX è il compressore di ricircolo, soluzione adottata per garantire un grado di sicurezza maggiore.

È stata, infine esaminata la normativa ambientale per verificare se fossero necessarie particolari autorizzazioni prima dell'installazione dell'impianto prototipale. Vista la tipologia dell'impianto e delle relative emissioni, si è focalizzata l'attenzione sul D.Lgs. n. 152/06 (Testo Unico in materia ambientale). Dalla analisi e dalla verifica effettuata con gli enti competenti è emerso che non è necessario attivare le procedure di valutazione di impatto ambientale e non è prevista alcuna comunicazione preventiva prima della messa in esercizio dell'impianto. Cautelativamente sono stati richiesti pareri di competenza alla Provincia del Sud Sardegna e al Servizio Valutazioni Ambientali dell'Assessorato Ambiente della Regione Autonoma della Sardegna per quanto concerne le emissioni in atmosfera e l'assoggettabilità alla valutazione di impatto ambientale, che hanno confermato che nulla osta all'avvio dell'impianto.

Per un approfondimento maggiore sull'argomento si rimanda ai seguenti report:

- "Adeguamento del sito e dei sistemi ausiliari per l'installazione dell'impianto P2G/L" - RdS/PTR(2021)/283.
- "Descrizione dell'iter autorizzativo per la realizzazione e messa in esercizio dell'impianto P2G/L" - RdS/PTR(2021)/284.

2.3 WP3 - LA 3.20 realizzazione impianto pilota e sperimentazione

Le attività previste in questa linea hanno riguardato la realizzazione dell'impianto prototipale denominato "Power-to-fuels" e le attività di commissioning, che hanno compreso i test preliminari finalizzati alla verifica funzionale delle singole apparecchiature e alla messa a punto delle procedure di sperimentazione.

2.3.1 Realizzazione dell'impianto prototipale

L'impianto, progettato per una produzione massima di 5 kg/h (120 kg/giorno) di prodotto finale, è stato installato presso la piattaforma pilota del Centro Ricerche Sotacarbo, in un'area che è stata appositamente adeguata. In fase di realizzazione, ma soprattutto in vista del futuro scale-up della tecnologia, che necessita di investimenti contenuti per essere economicamente sostenibile, sono stati impiegati componenti di carattere commerciale. La struttura che sostiene l'impianto, disposto in altezza su tre differenti piani, è caratterizzata dalle seguenti dimensioni: lunghezza 6 m, larghezza 4 m e altezza 9 m. Al primo piano sono posizionate le principali apparecchiature: quadro elettrico di gestione e alimentazione, sistemi di adduzione gas, compressore di ricircolo, chiller, sistema di riscaldamento con olio diatermico. Al secondo piano sono posizionate le apparecchiature di analisi gas ed il reattore multitubolare. Al terzo piano è presente la parte finale del reattore monotubo che si estende su tutti i piani dell'impianto. Nonostante la sua complessità e le differenti sezioni che lo compongono, l'impianto risulta essere un sistema molto compatto. Si è scelto di realizzare l'impianto su skid per ottimizzare sia le fasi di installazione che i costi di realizzazione. In Figura 2.6 è riportato lo schema della struttura dell'impianto e delle immagini della fase di realizzazione.



Figura 2.6. Immagini della struttura dell'impianto durante la fase di realizzazione presso il fornitore.

Si è ritenuto opportuno eseguire un basamento di ancoraggio, non previsto nella fase iniziale della progettazione, che, realizzato in maniera solidale alla platea esistente, va a compensare le carenze strutturali di quest'ultima. Tale accorgimento garantisce l'idoneità della struttura all'azione del vento e più in generale alla verifica di idoneità della stessa.

I componenti dell'impianto sono stati consegnati pre-montati all'interno di ciascun castelletto della struttura. La fase di montaggio presso l'area individuata della Piattaforma Pilota Sotacarbo è rappresentata nella Figura 2.7.



Figura 2.7. Installazione impianto Power-to-Fuels presso la Piattaforma Pilota Sotacarbo.

I vari componenti e le linee di collegamento dell'impianto sono stati coibentati per garantire l'isolamento termico e ridurre al minimo la dispersione del calore. La coibentazione è stata realizzata con nastri isolanti

estremamente flessibili e rotoli in feltro di lana minerale rivestita con alluminio rinforzato (Figura 2.8). Per alcuni componenti quali reattore monotubolare, reattori multitubolari e scambiatori di calore, la coibentazione è stata realizzata con rotoli di lana di roccia e con una scatola in lamierino di alluminio dotata di chiusura a leva (Figura 2.9).



Figura 2.8. Materiali per coibentazione.

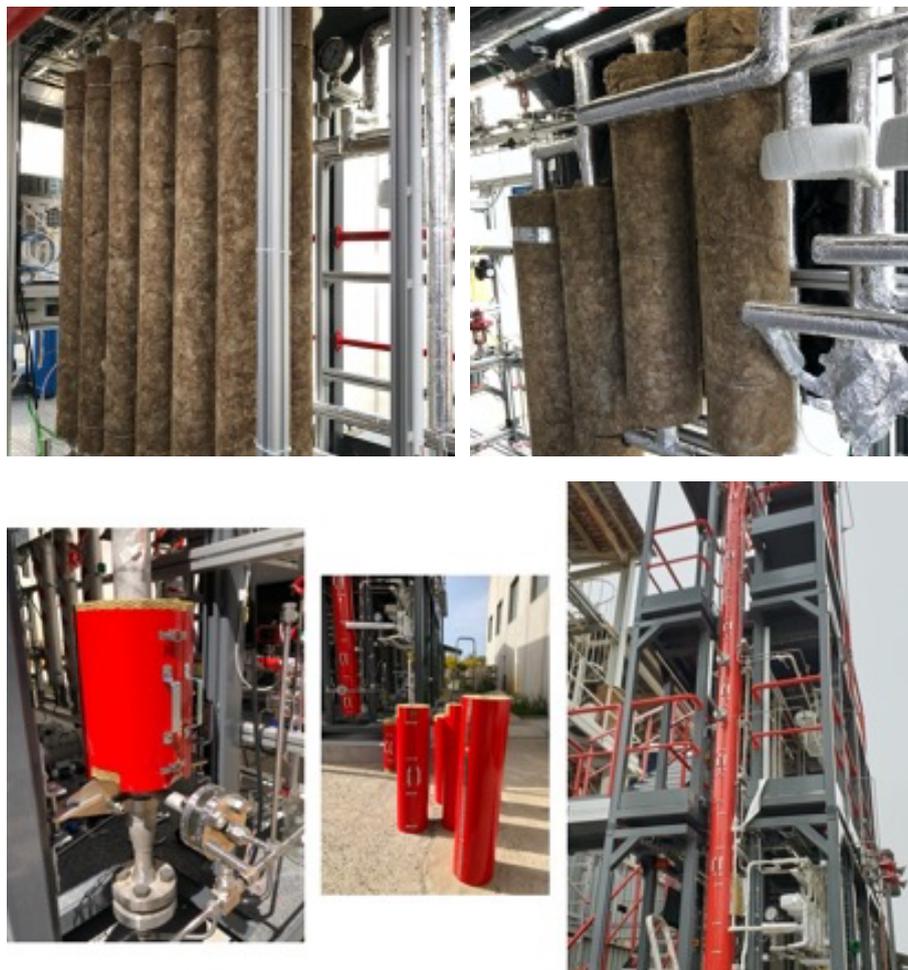


Figura 2.9. Coibentazione componenti.

L'impianto è stato dotato di strumentazione con elevata classe di precisione (Figura 2.10) necessaria alla completa caratterizzazione dei principali parametri di processo quali: temperature, pressioni, portate, livelli dell'impianto.



Figura 2.10. Esempio di strumentazione di misura montata sull'impianto.

Tutta la strumentazione è gestita da remoto attraverso il sistema di regolazione e controllo, basato su architettura PLC COMPACTLOGIX 5370 L3, versione 1769-L3ERM, della Rockwell Automation, le cui caratteristiche tecniche sono riportate nella Tabella 2.8.

Tabella 2.8. Caratteristiche tecniche del PLC COMPACTLOGIX 5370 L3, versione 1769-L3ERM.

PLC COMPACTLOGIX 5370	1769-L36ERM
Memoria utente	3 MB
Task di controllo	32
Programmi per task	100
Integrated Motion	Asse ad anello di posizionamento CIP motion 16 assi
Dimensioni	55 mm di larghezza x 118 mm di altezza x 105 mm di profondità
Certificazioni	cULH (Classe I Divisione 2), KCC/UL (UL 508), ULH (Classi I e II, Divisione 2 e Classe III, (Divisioni 1 e 2)/ATEX, CE, C-Tick, GOST-R e marina
Moduli di espansione locali	30
Punti I/O di espansione locali	960
Moduli di comunicazione aggiuntivi	DeviceNet con 1769-SDN o dispositivo di terzi
Scheda di memoria flash	Scheda di memoria SD certificata e con classificazione industriale (opzioni da 1 e 2 GB);
Servoazionamenti (anello di posizione CIP)	16
Nodi I/O Ethernet/IP	48
Assi virtuali	100
Solo feedback, coppia, velocità, Vhz (controllori CIP motion max.)	48
Assi/ms	2
Supporto Kinematics	Sì
Software/Firmware	RSLogix 5000 V20 ed RSLinx Classic V2.59 – firmware v20.1x o superiore

Il sistema di regolazione e controllo è caratterizzato da un'architettura come quella rappresentata (Figura 2.11) e consente l'acquisizione dei dati delle misure dei vari parametri operativi; la visualizzazione continua delle misure sotto forma, ad esempio, di linee di tendenze; la registrazione delle misure nella workstation e la visualizzazione del sinottico generale del sistema e indicazione dello stato di ciascun componente.

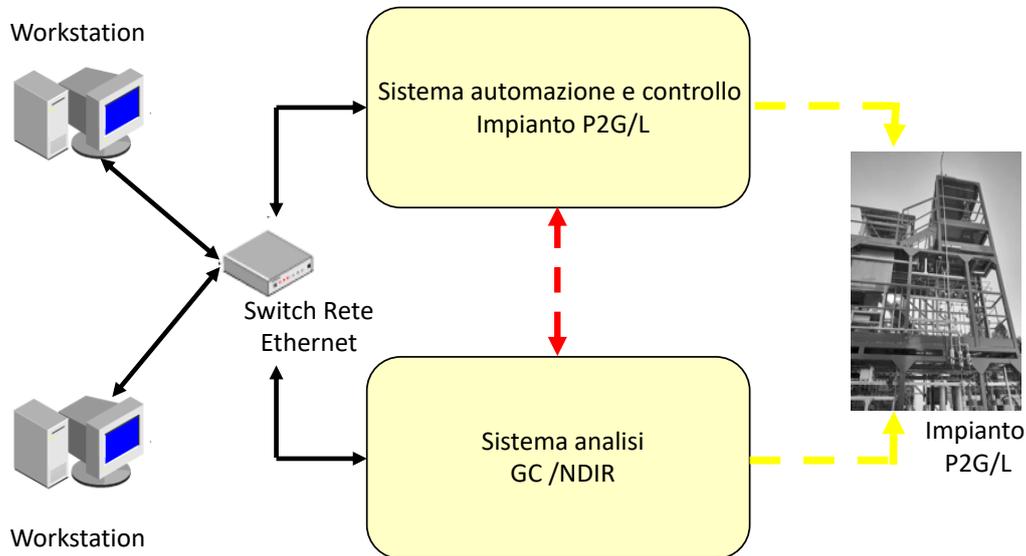


Figura 2.11. Architettura del sistema di regolazione e controllo.

2.3.2 Realizzazione dei sistemi ausiliari

A corredo dell'impianto è stato necessario installare alcuni sistemi ausiliari ed eseguire alcuni collegamenti (sistema distribuzione gas, piping di collegamento alla torcia esistente, ecc) necessari al funzionamento dell'impianto prototipale e non previsti nella fornitura della ditta Vinci Technologies. Si riporta di seguito lo schema dei limiti di batteria tra la fornitura della ditta Vinci Technologies e parti in carico a Sotacarbo (Figura 2.12).

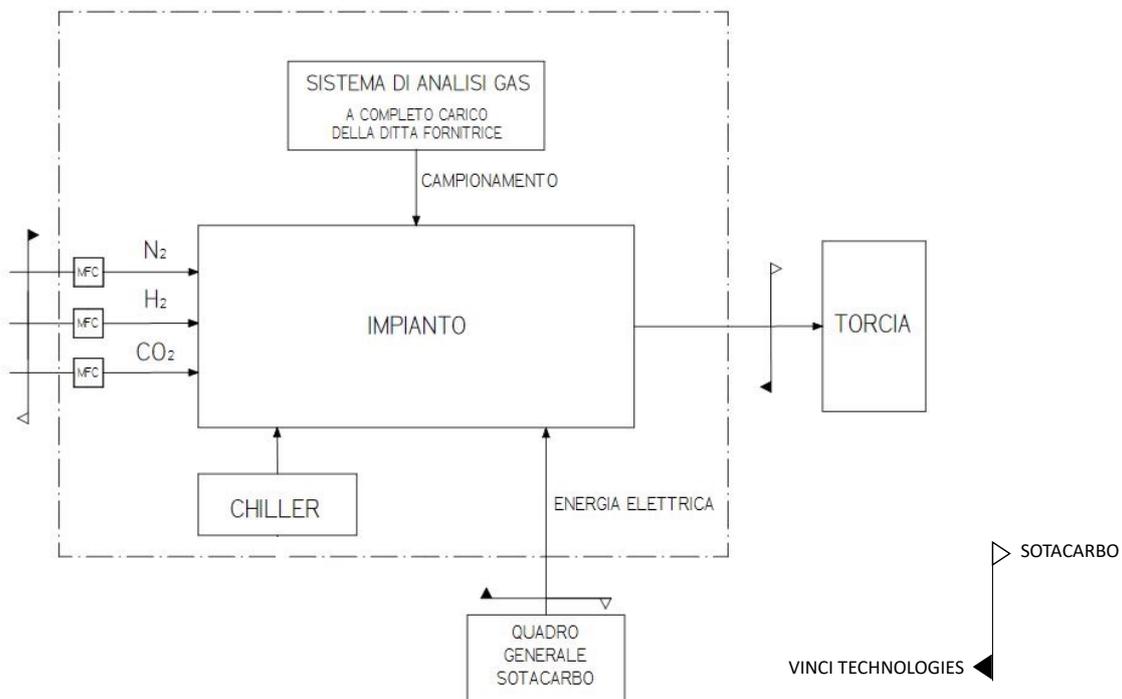


Figura 2.12. Limiti di batteria tra fornitura della Ditta Vinci Technologies e Sotacarbo.

Nello specifico sono stati realizzati e /o adeguati e collaudati i seguenti sistemi ausiliari:

- Sistema di alimentazione gas all'impianto prototipale, che richiede, per il proprio funzionamento, un sistema di alimentazione di diversi gas tecnici, quali idrogeno, diossido di carbonio e azoto, per i quali è stato necessario realizzare un impianto di decompressione, distribuzione e regolazione.
- Adeguamento dell'impianto elettrico, per garantire sia l'alimentazione elettrica normale che di emergenza all'impianto *Power-to-Fuels*. Ulteriori adeguamenti sono stati realizzati per garantire il funzionamento del sistema di stoccaggio dell'H₂ e della CO₂.
- Realizzazione del sistema azoto di bassa pressione, necessario per il funzionamento e il miglioramento delle prestazioni di alcuni componenti; in particolare del sistema di circolazione dell'olio diatermico a supporto del funzionamento della pompa dell'olio e del sistema di separazione gas-liquido a supporto dello stripping dal liquido, per consentire il massimo recupero del gas, eventualmente disciolto.
- Realizzazione del sistema di evacuazione del gas (vent/torcia), necessario per inviare il gas che circola all'interno dell'impianto o al vent, in caso di emergenza, oppure alla torcia in condizioni di normale esercizio dell'impianto.

2.3.3 Messa a punto delle apparecchiature

Al termine delle operazioni di realizzazione e installazione dell'impianto e dei sistemi ausiliari si è dato avvio alle attività di pre-commissioning e commissioning (Figura 2.13), che comprendono lo svolgimento di tutte le procedure atte a verificare, ispezionare e/o controllare ogni componente, apparecchiatura e dispositivo della fornitura. In particolare le attività di pre-commissioning hanno riguardato la pulizia delle linee e delle apparecchiature dell'impianto, le prove di tenuta, gli allineamenti a freddo della apparecchiature rotanti, la calibratura degli strumenti, i test di sicurezza e in generale la verifica che l'impianto sia stato costruito secondo gli schemi di progetto. Le attività di commissioning hanno invece riguardato, la verifica dinamica delle apparecchiature rotanti, come pompe, compressore con l'impiego di fluidi inerti; inoltre comprende la verifica e il corretto funzionamento dei sistemi di regolazione e controllo, dei dispositivi di sicurezza, il caricamento dei catalizzatori, l'introduzione dei fluidi di processo e le prove di tenuta con i suddetti fluidi e infine la messa in esercizio dell'impianto fino al corretto e regolare funzionamento nel rispetto dei parametri di processo, in conformità al progetto: questa ultima fase altro non è che il collaudo prestazionale dell'impianto e dei sistemi ausiliari.

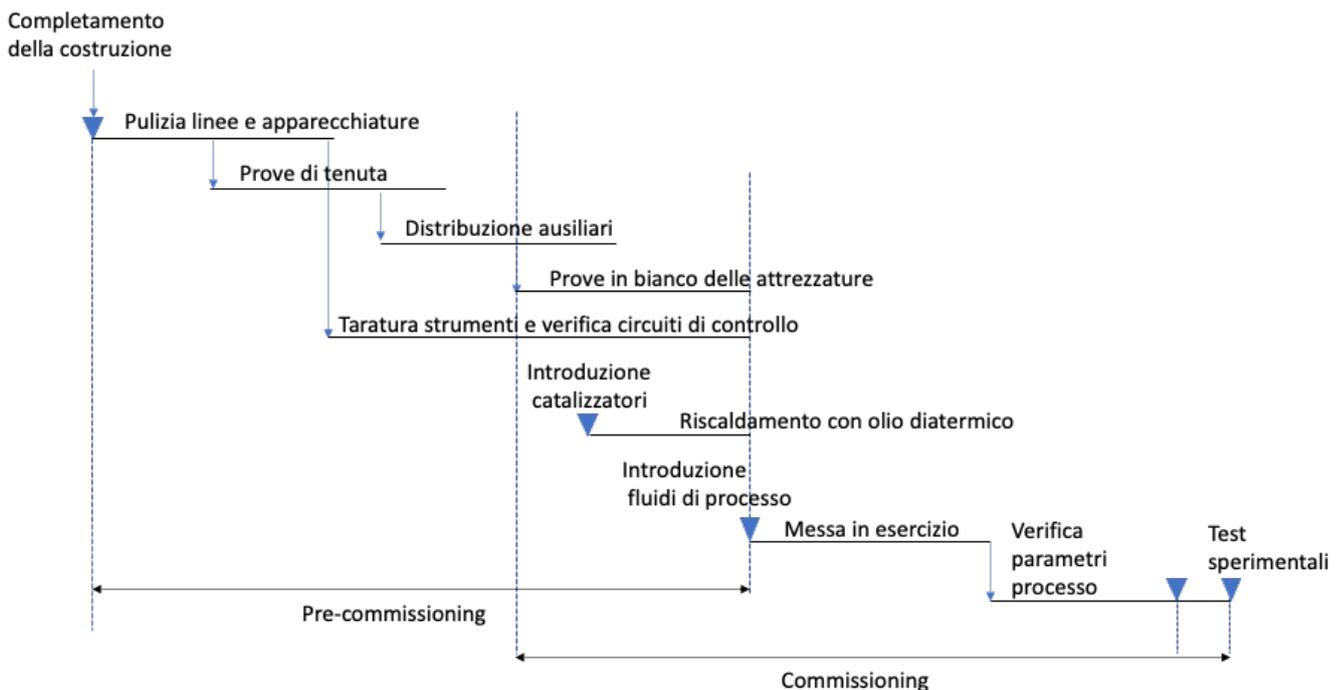


Figura 2.13. Sequenza delle operazioni di avviamento (pre-commissioning e commissioning).

Nello specifico il pre-commissioning ha compreso: *“L’insieme di prove energizzate e statiche che costituiscono la verifica che l’apparecchiatura o il componente sia fabbricato, installato, pulito e testato in conformità al progetto e pronto per la messa in servizio”*, come definito nello Standard API RP 1FSC dell’American Petroleum Institute i principali test hanno riguardato:

- Test su tutte le strumentazioni.
- Test di funzionamento del quadro elettrico.
- Test di funzionamento del sistema di controllo e della comunicazione fra il suddetto sistema e l’impianto prototipale.
- Test dell’impianto in pressione con l’utilizzo di aria compressa a 60 bar.

Le attività di commissioning, svolte presso Sotacarbo, hanno riguardato:

- Test in pressione a 60 bar con aria compressa.
- Test di funzionamento del quadro elettrico a seguito del collegamento con l’alimentazione elettrica Sotacarbo.
- Test del sistema di controllo a cui sono state effettuate alcune modifiche.
- Test di tutte le apparecchiature compresa la loro comunicazione con il sistema di controllo.
- Test sul circuito dell’olio diatermico, messo in pressione e portato in temperatura.
- Prova idraulica di circolazione dei gas sull’impianto.

Oltre ai collaudi dell’impianto prototipale è stato eseguito il commissioning sugli ausiliari installati da Sotacarbo, che hanno riguardato:

- Collaudo della struttura con relazione da parte di un tecnico abilitato;
- Collaudo del sistema di alimentazione gas con test in pressione a 50 bar delle linee di H₂, CO₂, N₂, aria compressa, azoto di inertizzazione.
- Collaudo del misuratore di idrogeno e del sistema di sicurezza presso il box idrogeno.

La realizzazione del prototipo denominato *“Power-to-Fuels”* consente di analizzare il processo su un impianto pilota passando da TRL 4 (che caratterizza l’impianto da banco già presente nei laboratori Sotacarbo) a TRL 6.

2.3.4 Sperimentazione

Per l’ottimizzazione dell’esercizio sperimentale dell’impianto *“Power-to-Fuels”*, è emersa la necessità di integrare le attività sperimentali con prove d’appoggio, eseguite in parallelo alla fase di realizzazione dell’impianto. In particolare le prove sono state effettuate su:

- Impianto bench-scale X_tL per la produzione di metanolo e dimetiletere da CO₂ e H₂ allo scopo di determinare i parametri operativi ottimali (quali temperature, pressioni, composizione dell’alimentazione e ricircolo ecc) e verificare le condizioni di funzionamento di alcuni catalizzatori, permettendo, così, di ottimizzare le prove sperimentali presso l’impianto prototipale limitandole alle condizioni operative più significative risultanti dai test in scala da laboratorio. Questi test hanno permesso un contenimento sia dei tempi che dei costi di sperimentazione, ma anche il corretto dimensionamento della sezione di ricircolo dell’impianto pilota necessaria all’ottimizzazione del processo di produzione di metanolo e DME.
- Impianto di cattura della CO₂ per completare l’analisi globale del processo, con l’obiettivo di integrare il nuovo impianto prototipale con la sezione (esistente) di separazione della CO₂. Tali sperimentazioni hanno permesso di simulare diverse condizioni operative di cattura della CO₂ da fumi provenienti da impianti industriali (fonderie, acciaierie, cementifici), sono state determinate le condizioni di processo della corrente di CO₂ (concentrazione, presenza di residui di solventi, umidità, temperature e pressione) uscente dalla colonna di rigenerazione, da inviare in ingresso all’impianto P2G/L.

Prove d'appoggio sull'impianto bench-scale Xtl

Durante la campagna sperimentale sono state analizzate, in totale, 21 diverse condizioni operative. Negli esperimenti, il catalizzatore commerciale (CuO/ZnO/Al₂O₃) è stato caricato all'interno del reattore e sottoposto al trattamento di riduzione prima di essere utilizzato nella reazione di idrogenazione catalitica. La temperatura è stata fissata pari a 250 °C, la pressione variata tra 30 e 75 bar, la velocità spaziale (GHSV) è stata variata nel più ampio intervallo possibile (24000-60000 NmL/(g_{ct}*h)) insieme al rapporto H₂/CO₂ nel flusso in ingresso con l'eventuale presenza di CO che va a simulare l'effetto del ricircolo. Le prestazioni catalitiche sono state analizzate mantenendo inalterate le condizioni operative (pressione, temperatura, velocità spaziale e composizione della miscela) per circa 7 ore.

I test sperimentali sono nominati con numeri progressivi, tenendo conto della presenza di CO (per esempio PAR-01-CO, contiene CO nella miscela a differenza della prova PAR-01). Nel nome della prova sono indicati anche la pressione (30, 50, 65 e 75) e la velocità spaziale espressa in NmL/(g_{ct}*h) dove K indica un fattore moltiplicativo di 1000.

Tabella 2.9. Condizioni operative dei test effettuati nella campagna sperimentale.

N°	Nome test	GHSV	P	H ₂ /CO ₂	H ₂ /(CO+CO ₂)	%v/v gas (sperimentali)			
		NmL/(g _{ct} *h)	bar			H ₂	CO ₂	N ₂	CO
0	PAR-0_30_24K	24000	30	2,9	2,9	65,8	22,7	11,2	0,0
1	PAR-1_65_42K	42000	65	3,4	3,4	66,6	19,3	14,0	0,0
2	PAR-3_75_42K	42000	75	4,1	4,1	69,2	16,9	13,9	0,0
3	PAR-2_65_42K	42000	65	4,6	4,6	70,4	15,4	14,2	0,0
4	PAR-4_50_60K	60000	50	4,4	4,4	70,0	15,9	14,1	0,0
5	PAR-13_30_24K	24000	30	4,4	4,4	69,4	15,3	15,4	0,0
6	PAR-15_50_24K	24000	50	4,4	4,4	69,4	15,3	15,4	0,0
7	PAR-1-CO_65_42K	42000	65	3,8	2,7	64,0	17,0	12,1	6,9
8	PAR-2-CO_65_42K	42000	65	4,6	3,2	66,9	14,6	12,3	6,2
9	PAR-3-CO_75_42K	42000	75	4,2	3,3	68,6	16,4	10,3	4,7
10	PAR-4-CO_50_60K	60000	50	4,5	3,5	69,6	15,5	10,4	4,5
11	PAR-5-CO_30_42K	42000	30	3,4	2,7	65,1	19,3	10,4	5,1
12	PAR-7-CO_30_42K	42000	30	4,4	3,3	68,4	15,6	10,9	5,1
13	PAR-6-CO_30_42K	42000	30	4,9	3,7	69,9	14,2	10,9	5,0
14	PAR-8-CO_75_60K	60000	30	4,7	3,6	69,6	14,9	10,8	4,7
15	PAR-9-CO_50_42K	42000	50	3,8	2,9	66,4	17,5	10,6	5,5
16	PAR-10-CO_50_42K	42000	50	5,0	3,7	70,7	14,1	10,4	4,7
17	PAR-11-CO_50_42K	42000	50	4,5	3,4	69,0	15,4	10,7	5,0
18	PAR-12-CO_50_60K	60000	50	4,8	3,7	70,5	14,7	10,3	4,5
19	PAR-14-CO_30_42K	42000	30	3,6	3,1	66,7	18,1	10,2	5,1
20	PAR-16-CO_50_42K	42000	50	3,6	3,1	66,7	18,1	10,2	5,1

I primi sei test sono stati effettuati inviando uno stream gassoso composto esclusivamente da CO₂ e H₂ a pressioni comprese tra 30 e 75 bar e velocità spaziali comprese tra 24000 e 60000 NmL/(g_{ct}*h). Alcuni di questi esperimenti sono stati ripetuti simulando differenti condizioni di ricircolo, aggiungendo pertanto alla miscela il CO, prodotto secondario nella reazione di idrogenazione della CO₂. Considerati i primi risultati ottenuti, si è pensato di concentrare l'attenzione sull'effetto delle pressioni in presenza di un ricircolo simulato. Nello specifico sono state approfondite le prestazioni catalitiche per pressioni di 30 e 50 bar.

Prove di appoggio sulla sezione di cattura della CO₂

I test di assorbimento-desorbimento di CO₂ su soluzioni acquose di MEA 5M sono stati eseguiti con l'obiettivo di valutare le condizioni di processo della corrente di CO₂ uscente dall'unità di rigenerazione del solvente e per completare l'analisi globale del processo, con l'integrazione della sezione di cattura CO₂ e rigenerazione solvente con il nuovo impianto prototipale. Le sperimentazioni hanno permesso di simulare diverse condizioni operative di cattura della CO₂ da fumi provenienti da impianti industriali (fonderie, acciaierie, cementifici). Inoltre l'attività sperimentale ha avuto lo scopo di prevenire problemi operativi derivanti dall'utilizzo dell'impianto "Power-to-Fuels", come, ad esempio l'accumulo di condensate nei componenti dell'impianto posti a valle del sistema di cattura. Sono state determinate le condizioni di processo della

corrente di CO₂ (concentrazione, presenza di residui di solventi, umidità, temperature e pressione) uscente dalla colonna di rigenerazione, da inviare all'impianto prototipale.

Per un approfondimento maggiore sugli argomenti si rimanda ai seguenti report:

- "Realizzazione dell'impianto sperimentale P2G/L" – RdS/PTR(2021)/285.
- "Messa a punto delle apparecchiature e sperimentazione dell'impianto P2G/L" – RdS/PTR(2021)/286.

2.4 WP3 - LA 3.21 Analisi tecnico-economica delle tecnologie P2G/L da surplus di produzione di energia elettrica in Sardegna

Il lavoro svolto nella linea di attività riguarda l'analisi del sistema energetico della Sardegna, con particolare riferimento al sistema di generazione elettrica, ed è finalizzato alla valutazione tecnico-economica di un impianto per la produzione di metanolo alimentato da CO₂ catturata dai fumi di un impianto termoelettrico tradizionale e da idrogeno prodotto con energia elettrica da fonti energetiche rinnovabili (FER). L'attività si inquadra nell'ambito dell'analisi del sistema energetico sardo e del possibile sfruttamento dell'energia rinnovabile per la produzione di combustibili verdi ottenuti dal riutilizzo dell'anidride carbonica. L'accumulo dell'energia sotto varie forme rappresenta infatti un'esigenza sempre più sentita anche in vista del *phase-out* del carbone previsto per la Sardegna per il 2025, nonché in relazione alla forte penetrazione dei sistemi di generazione elettrica da fonti rinnovabili non programmabili, quali in particolare quella eolica e solare.

Nello specifico, il lavoro è articolato nelle seguenti parti:

- Analisi della struttura del sistema di generazione elettrica della Sardegna.
- Analisi del bilancio energetico sardo.
- Produzione di combustibili liquidi rinnovabili da surplus di produzione di energia elettrica in Sardegna.
- Analisi tecnico-economica di un impianto per la produzione di metanolo da surplus di produzione elettrica da FER.

Nella prima parte è stata svolta una analisi del sistema di generazione elettrica della Sardegna volta a caratterizzarne la struttura, le potenzialità e l'incidenza delle diverse tecnologie di generazione elettrica basate sui combustibili fossili e sulle fonti rinnovabili. Sono state analizzate in dettaglio la struttura e la consistenza degli impianti termoelettrici, idroelettrici, a bioenergie, eolici e fotovoltaici.

Attraverso l'utilizzo di dati e informazioni rilevati da pubblicazioni e rapporti statistici prodotti dai principali operatori del mercato elettrico, da Terna, Gestore dei Servizi Energetici (GSE) e Gestore dei Mercati Energetici (GME) oltre che dal Piano Energetico Ambientale Regionale della Sardegna (PEARS) ed altri documenti correlati della Regione Autonoma della Sardegna, sono stati quindi analizzati la produzione per fonte e il bilancio energetico del sistema elettrico regionale.

Sulla base di quanto emerso dall'analisi del sistema di generazione elettrica, nel proseguo del report specifico è stata quantificata l'energia disponibile per la produzione di idrogeno e di combustibili liquidi.

Sempre a partire dalle risultanze dell'analisi del sistema regionale di generazione elettrica, nell'ultima parte del lavoro è stato definito un sistema di tipo Power-to-Fuel per la produzione di metanolo da cattura dell'anidride carbonica e da idrogeno di elettrolisi dell'acqua in grado di utilizzare il surplus di produzione elettrica. Definita la taglia e tutti i parametri tecnici dell'impianto, sono stati in seguito valutati tutti i parametri economici e finanziari, grazie ai quali è stata quindi svolta l'analisi tecnico-economica, con la determinazione del flusso di cassa associato all'esercizio dell'impianto e la sua redditività nel corso della vita operativa.

In particolare lo sviluppo dell'analisi economica, finalizzata alla determinazione del costo livellato di produzione del metanolo (LCoM), del costo di cattura e del costo dell'emissione evitata di CO₂, è basata sull'ipotesi che l'impianto venga realizzato a partire dall'anno 2021. La Tabella 2.10 riepiloga le principali assunzioni finanziarie del progetto.

Tabella 2.10. Assunzioni economico-finanziarie del progetto.

Voce	Unità	Valore
Periodo di costruzione dell'impianto	[anni]	1
Vita operativa	[anni]	20
Tasso di sconto	[%]	8%
Tasso di inflazione	[%]	1,33%
Tasse (IRES + IRAP)	[%]	26,9%
Periodo di ammortamento (stack dell'elettrolizzatore)	[anni]	7
Periodo di ammortamento (resto dell'impianto)	[anni]	10
Finanziamento bancario	[% del CAPEX]	75%
Tasso di interesse	[%]	6,14%
Durata della rateazione	[anni]	10
Valore dell'impianto alla fine della vita	[€]	0

Tramite l'analisi tecnico-economica sono stati ottenuti i costi capitali per la realizzazione dell'impianto e i costi operativi per il suo esercizio nell'arco di 20 anni. L'analisi ha così permesso di valutare la redditività di un impianto di questo tipo. In particolare, è emerso che l'elevato costo dell'elettrolizzatore PEM impatta per oltre il 50% sul totale dei costi capitali. Per quanto riguarda i costi operativi, la principale voce di costo è rappresentata dall'energia elettrica. Infine, è stato calcolato il costo livellato di produzione del metanolo (LCoM) che è risultato essere oltre il doppio dell'attuale valore di mercato (970 €/t contro i 400 €/t circa di valore di mercato del metanolo). Dall'analisi di sensitività è emerso inoltre che questo tipo di impianti, per essere economicamente competitivi, hanno bisogno di essere eserciti per un numero di ore annue elevato con un prezzo dell'energia elettrica molto basso.

Dall'analisi economica condotta risulta evidente che, senza un opportuno quadro normativo a sostegno di questa tecnologia, essa risulta essere difficilmente sostenibile dal punto di vista economico. Va comunque rimarcato che la continua crescita del mercato del metanolo e il probabile futuro aumento dei crediti legati alle emissioni di CO₂ renderanno questo tipo di impianti economicamente più attraenti nel futuro.

La trasformazione del surplus di produzione elettrica in energia potenziale chimica attraverso la produzione di combustibili liquidi di sintesi, facilmente accumulabili, rappresenta un valido complemento ad altre forme di accumulo energetico, di particolare interesse per la Sardegna in ordine alle particolari caratteristiche della struttura del suo sistema di generazione elettrica. I sistemi di accumulo dell'energia, infatti, rivestono un ruolo sempre più essenziale per una più razionale espansione delle fonti energetiche rinnovabili non programmabili, per una più efficace gestione del dispacciamento dell'energia elettrica prodotta da tali fonti e, di conseguenza, anche per una più efficace operatività degli impianti termoelettrici a combustibili fossili, oltre che per il contributo alla intrinseca riduzione delle emissioni di CO₂.

Per un approfondimento maggiore sull'argomento si rimanda al report "Analisi tecnico-economica delle tecnologie P2G/L da surplus di produzione di energia elettrica in Sardegna" – RdS/PTR(2021)/287.

2.5 WP3 - LA 3.39 Comunicazione, diffusione dei risultati e coordinamento: attività SOTACARBO su P2G/L - III Anno

Le attività di "comunicare la ricerca" e "diffondere i risultati" sono strettamente legate tra loro; permettono di creare interesse verso le attività di ricerca, di sensibilizzare l'opinione pubblica, migliorare la visibilità dei risultati e aumentare la consapevolezza sull'importanza del progetto stesso.

Nell'ambito della comunicazione e della diffusione dei risultati del progetto, la strategia adottata non ha compreso solo le attività divulgative dedicate in modo esclusivo alla ricerca in ambito "Power-to-fuels - P2G/L", ma anche quelle ideate per promuovere questo progetto in collegamento con gli altri portati avanti dalla Società in modo coordinato.

Le attività di questa annualità sono state caratterizzate dalla ripresa di alcuni eventi in presenza, in particolare nel secondo semestre. Nello specifico hanno riguardato l'implementazione del network di contatti con testate nazionali e internazionali; l'aggiornamento delle informazioni relative alle attività svolte in ambito Ricerca di Sistema Elettrico (RdS) sul sito aziendale; la partecipazione a conferenze sia online che in presenza; la prosecuzione del progetto Sotacarbo con le scuole (Progetto Zoe e Generazione consapevole) per la divulgazione scientifica a favore di scuole, associazioni culturali e cittadinanza, con laboratori sul tema P2G/L; la partecipazione in presenza alla Settimana della Scienza, conclusa con la Notte Europea dei Ricercatori, con seminari e laboratori svolti dai ricercatori Sotacarbo nelle scuole di Carbonia; l'organizzazione del Workshop in presenza "Contributi per una roadmap per la transizione energetica della Sardegna", con prima giornata presso l'Università di Cagliari e la seconda nel Centro ricerche Sotacarbo; la partecipazione all'evento in presenza "Open Your Mine – Miniere aperte 2021" e infine la pubblicazione di articoli in lingua inglese sul magazine digitale "Only Natural Energy (ONE)", testata con taglio volutamente divulgativo sui temi dell'energia e dell'ambiente.

Convegni e Pubblicazione di articoli

Allo scopo di offrire maggiore visibilità al vasto numero di attività nell'ambito del progetto, i risultati innovativi sono stati riprodotti in altri contesti attraverso la partecipazione ad eventi nazionali ed internazionali, come workshop, conferenze e convegni. Inoltre la Società ha previsto la diffusione sul sito aziendale di articoli pubblicati sui temi più affini alla linea di ricerca.

Le pubblicazioni della testata digitale Only Natural Energy (ONE) hanno registrato un aumento della produzione di articoli originali, continuando comunque a ospitare articoli di testate esterne nella rivista. Per assicurare comunque spazio alla selezione dei migliori articoli pubblicati altrove, si è scelto di aumentarne la frequenza di pubblicazione sul sito web.



Figura 2.14. Copertina del n.3/2021 di ONE.

La diffusione del magazine viene promossa anche tramite i social network, dove sono stati pubblicati articoli riguardanti le tecnologie di mitigazione degli effetti del cambiamento climatico e in particolare su progetti P2G/L sviluppati di recente.

Workshop “Contributi per una roadmap per la transizione energetica in Sardegna”

Sotacarbo, l’Università di Cagliari e l’Enea hanno organizzato una due giorni (28 e 29 settembre 2021) per mettere a confronto scenari e proposte per assicurare la neutralità climatica alla Sardegna. Un tavolo di lavoro che aiuti il decisore politico in un percorso complesso, tutt’altro che scontato, che richiede il coinvolgimento dell’opinione pubblica e del mondo dell’industria, competenza, conoscenza e la consapevolezza che è sulle difficili scelte di oggi che ci si gioca la possibilità di raggiungere o meno i traguardi al 2030 e al 2050 fissati a livello comunitario e fatti propri dal governo nazionale e dalla giunta regionale.

I lavori della prima giornata, ospitata nella facoltà di ingegneria dell’Università di Cagliari, si sono aperti su una certezza: entro il 2025 tutti gli impianti a carbone presenti in Italia saranno spenti e il sistema energetico dovrà adattarsi a un futuro senza il più inquinante tra i combustibili fossili. La decarbonizzazione è una grande opportunità che la Sardegna è chiamata a cogliere per avviare una rivoluzione tecnologica, sociale ed energetica, garantendo nel contempo la riconversione del settore civile-residenziale, dei trasporti e di quello industriale. Il traguardo è arrivare a un fabbisogno energetico soddisfatto interamente con fonti rinnovabili.

Dai lavori della seconda giornata, ospitata nella sala auditorium del Centro Ricerche Sotacarbo, emerge la necessità di un’unità di intenti per fronteggiare sfide epocali che vanno oltre i confini dell’Isola. La consapevolezza di dover assicurare al decisore politico competenza, indipendenza e onestà intellettuale, in modo coordinato e sinergico, è infatti il messaggio ripetuto e condiviso dai massimi livelli delle due università e dei centri di ricerca isolani.

Il ruolo della scienza del clima a supporto della transizione energetica viene sottolineato da Mauro Mureddu, ricercatore Sotacarbo, che ha illustrato i progetti in corso nel Centro ricerche di Carbonia sui combustibili verdi, alcuni dei quali già oggetto di brevetto.

Sotacarbo con le scuole

Sotacarbo con le scuole si integra nell’ambito del programma di divulgazione scientifica della società e mira a diffondere consapevolezza sui temi del cambiamento climatico e della transizione energetica, con particolare riferimento al ruolo di alcune tecnologie come quelle CCUS (Cattura, confinamento e utilizzo della CO₂), di fondamentale importanza nella lotta al contenimento del riscaldamento globale. I percorsi sviluppati sono modulati a seconda dell’età dei destinatari e prendono il nome di Zoe Junior (scuola primaria), Zoe (scuola secondaria di primo grado) e Generazione consapevole (scuola secondaria di secondo grado).

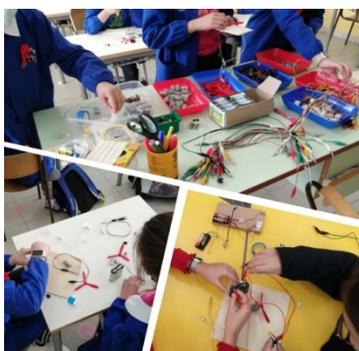


Figura 2.15. Realizzazione del laboratorio “Elettricità dalla CO₂”.

Nel corso del 2021, sono stati programmati una serie di incontri con le classi delle scuole primarie e secondarie per divulgare le attività di ricerca del progetto Power-to-Fuels. La metodologia impiegata prevede

laboratori e attività “hands on” in cui gli studenti vengono coinvolti creando, costruendo o “sperimentando” i principi e i concetti alla base delle attività di ricerca Sotacarbo. Gli studenti sono stati guidati a piccoli passi in modo da assicurare una corretta comprensione delle tematiche e dell’obiettivo della ricerca e da far giungere queste informazioni a tutta la famiglia.

Settimana della Scienza e Notte dei Ricercatori

Come ogni anno, anche nel 2021 Sotacarbo ha partecipato alla settimana della scienza che si conclude con la Notte Europea dei Ricercatori. Questa partecipazione è coerente con la scelta strategica della Società di sviluppare una comunicazione capace di interessare e coinvolgere sulle tematiche energetiche i più giovani. L’evento, organizzato da Frascati Scienza, aveva come tema Leaf (da heal thE pLANet’s Future) ovvero la cura del futuro del pianeta. Sotacarbo ha proposto dei laboratori con gli studenti dell’istituto scolastico di secondo grado per affrontare i temi della riduzione delle emissioni di anidride carbonica e dell’importanza dei comportamenti virtuosi di ognuno, quali la riduzione degli sprechi energetici, il riutilizzo dei materiali e la corretta raccolta differenziata.

Open your Mine - Miniere aperte 2021

Sotacarbo ha partecipato all’evento Open Your Mine, organizzato dal Consorzio del Parco Geominerario Storico Ambientale della Sardegna in collaborazione con il Comune di Carbonia, per offrire a tutti l’opportunità di conoscere meglio le attività che si svolgono all’interno della Grande Miniera di Serbariu. In occasione dell’evento, le porte del Centro Ricerche sono state aperte ai visitatori per far conoscere e sperimentare le attività condotte giornalmente dai ricercatori nei laboratori e negli impianti della società. Gli studenti del Liceo Amaldi di Carbonia, affiancati dai ricercatori Sotacarbo, hanno saputo illustrare le principali attività di ricerca condotte nei laboratori con semplicità e efficacia, in particolare sui temi della cattura e riutilizzo dell’anidride carbonica. Una missione non semplice ma portata a termine in modo eccellente, quella di rendere fruibile a tutti, piccoli e grandi, concetti non banali legati ai processi di assorbimento della CO₂ con soluzioni amminiche o di conversione catalitica della stessa anidride carbonica in metanolo. O ancora spiegare i vantaggi degli studi sulla produzione di energia a partire dall’utilizzo di scarti plastici o biomasse, processi studiati in questi anni negli impianti di gassificazione della piattaforma pilota.

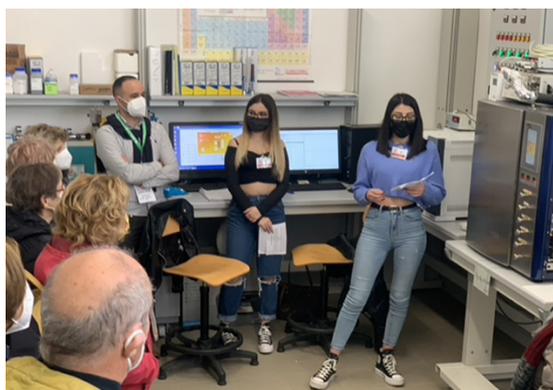


Figura 2.16. Foto della giornata Open your Mine 2021.

Siti web e social network

Siti web aziendali e social network sono strumenti essenziali per il perseguimento di obiettivi generali di diffusione e disseminazione scientifica dei progetti aziendali svolti nell’ambito della Ricerca di Sistema elettrico e, in particolare, delle attività del progetto svolte nel terzo anno.

Attualmente Sotacarbo dispone di un sito web www.sotacarbo.it in cui viene svolta attività informativa con la pubblicazione di articoli, media e report, unitamente a una rassegna stampa sui principali temi ed eventi di interesse attinenti alle attività di ricerca della società, in particolare in ambito R&D.

Dal 2015 è attiva anche la rivista digitale Only Natural Energy (ONE), www.onlynaturalenergy.com, creata con l'obiettivo primario di fornire uno strumento informativo in lingua inglese di facile accesso a un pubblico più vasto sui temi dell'ambiente e dell'energia.

Entrambi gli strumenti hanno ruolo attivo nella promozione delle attività realizzate in questi anni dall'azienda, quali eventi locali, nazionali ed internazionali legati alle tematiche finanziate nell'ambito della ricerca di sistema.

Per migliorare la propria capacità di informare e porsi come punto di riferimento sui temi legati al riutilizzo della CO₂ e alle tecnologie più avanzate in questo campo, la Società ha associato ai siti www.sotacarbo.it e www.onlynaturalenergy.com i profili dei principali social network ossia Facebook, Twitter e LinkedIn in modo da ampliare e facilitare la diffusione di attività, novità relative ai progetti societari e notizie riguardanti il cambiamento climatico e il ruolo delle tecnologie nella mitigazione del problema.

Conclusioni

L'obiettivo della strategia comunicativa adottata è stato, e rimane lo sfruttamento più idoneo delle risorse messe a disposizione per la promozione del progetto "Power-to-Gas/Liquid", che si fonda sull'idea di considerare la CO₂ come una risorsa per la produzione di combustibili liquidi e gassosi.

Le iniziative intraprese nel periodo in esame hanno consentito di consolidare una strategia già avviata, diversificando i destinatari dei messaggi aziendali e andando oltre l'utenza tradizionale della comunità scientifica.

Per un approfondimento maggiore dell'argomento si rimanda al report "Comunicazione e diffusione dei risultati sulle attività Sotacarbo su P2G/L – III anno" - RdS/PTR(2021)/296.

3 Coordinamento attività

Nell'ambito della LA sono state inserite tutte le attività di coordinamento e di gestione tecnico scientifica del progetto, strettamente correlate con le attività svolte nelle LA 3.18, 3.19, 3.20 e 3.21. Per meglio inquadrare il coordinamento si riporta l'organizzazione del personale all'interno del progetto, facendo riferimento alle persone impegnate nel coordinamento e nella comunicazione:

Descrizione funzione	Coordinamento / Suporto al coordinamento
Responsabile dell'accordo/progetto Coordinamento e supervisione generale del progetto, verifica e aggiornamento del budget, verifica del cronoprogramma, verifica dei rapporti tecnici e predisposizione del report tecnico – economico, partecipazione ad incontri tecnici e di coordinamento.	Marcella Fadda
Supervisione tecnica Supporto tecnico alla gestione del progetto, controllo dei rapporti tecnici, dei rapporti economici e verifica del perseguimento degli obiettivi della ricerca. Attività di promozione e divulgazione del progetto attraverso la partecipazione a workshop e meeting periodici.	Enrico Maggio
Supervisione scientifica Supporto alla supervisione dei rapporti tecnici del progetto e verifica del perseguimento degli obiettivi della ricerca. Attività di promozione e divulgazione del progetto attraverso la partecipazione a workshop e meeting periodici.	Alberto Pettinau
Supervisione alla attività di Comunicazione e diffusione Supervisione attività di comunicazione e diffusione pubblicate nel sito aziendale, svolte in ambito Ricerca di Sistema Elettrico; verifica delle attività di comunicazione; gestione dei comunicati stampa e interviste; pubblicazione trimestrale del magazine digitale in lingua inglese "Only Natural Energy (ONE)".	Gianni Serra
Per ogni linea di attività è stato individuato un referente di linea per il supporto alla gestione scientifica dell'attività.	
LA 3.16 Power-to-Gas/Liquid: approfondimenti preliminari su tecnologie e processi per la definizione delle specifiche di un impianto.	Francesca Ferrara
LA 3.17 Power-to-Gas/Liquid: verifiche autorizzative e prime modifiche delle infrastrutture esistenti per il loro riutilizzo nell'impianto pilota.	Gabriele Calì
LA 3.18 Power-to-Gas/Liquid: progettazione dell'impianto pilota.	Francesca Ferrara
LA 3.19 Power-to-Gas/Liquid: ottenimento delle autorizzazioni e adeguamento del sito e dei sistemi ausiliari per l'impianto pilota.	Gabriele Calì
LA 3.20 Power-to-Gas/Liquid: realizzazione dell'impianto pilota e sperimentazione.	Gabriele Calì
LA 3.21 Power-to-Gas/Liquid: analisi tecnico-economica nel contesto della Sardegna.	Francesca Ferrara
LA 3.37 – 3.38 – 3.39 Power-to-Gas/Liquid: Comunicazione diffusione dei risultati e coordinamento attività SOTACARBO su P2G/L – I-II-III Anno.	Alice Masili (relativamente alla parte comunicazione)
Gestione documentale progetto Supporto al responsabile del progetto.	Giovanni Perra

4 Pubblicazioni scientifiche e partecipazione a convegni

Nel corso del periodo dal 01.01.2021 al 31.12.2021 non sono state presentate memorie correlate con l'attività scientifica svolta nell'ambito del progetto.

5 Partecipazione a convegni/workshop e incontri di associazioni

Nell'ambito del progetto la società ha partecipato ai seguenti convegni:

- **4th International Conference on Energy Conservation and Efficiency (virtuale, 16 marzo 2021)**
Presentazione del lavoro "Chemical energy storage by means of carbon dioxide capture and utilization" sugli sviluppi, presso Sotacarbo, delle tecnologie di stoccaggio chimico dell'energia mediante produzione di combustibili verdi da CO₂ riciclata e fonti rinnovabili.
- **38th International Pittsburgh Coal Conference (virtual conference, 20-23 settembre 2021)**
Nel corso della conferenza, organizzata dall'Università di Pittsburgh, si è dato risalto alle tecnologie di stoccaggio dell'energia attraverso la produzione di combustibili rinnovabili (power-to-fuels attraverso il riutilizzo della CO₂).
- **Notte dei ricercatori (24 settembre 2021)**
All'evento organizzato da Frascati Scienza, sotto il tema LEAF (heaL thE pAnet's Future) ovvero "Cura il futuro del pianeta", Sotacarbo ha proposto presso alcune classi degli istituti scolastici di Carbonia seminari divulgativi e alcuni laboratori scientifici. Entrambe le proposte sono state incentrate sui temi della transizione, dell'efficienza energetica e della produzione di combustibili alternativi a quelli di natura fossile.
- **Roadmap per la transizione energetica (28-29 settembre 2021)**
Nel workshop, organizzato da Sotacarbo, Università di Cagliari ed ENEA, sono stati messi a confronto scenari e proposte per assicurare la neutralità climatica della Sardegna. Nelle due giornate si è dato risalto agli studi Sotacarbo sui temi della transizione energetica, produzione di idrogeno e combustibili verdi.
- **International workshop on CCU potential of ECCSEL-ERIC facilities (virtuale, 21 ottobre 2021)**
- Presentazione del lavoro "An integrated experimental infrastructure for CO₂ conversion into renewable fuels" sulle attività Sotacarbo sulle CCU intese come tecnologie di stoccaggio chimico dell'energia mediante la produzione di combustibili verdi.
- **ACI's 17th Carbon Dioxide Utilisation Summit (27-28 ottobre 2021)**
Nel corso della conferenza, organizzata da ACI, sono state discusse le prospettive di sviluppo delle tecnologie di riutilizzo della CO₂, con particolare riferimento alle possibili applicazioni industriali. Particolare attenzione è stata data per le tecnologie power-to-fuels, che prevedono di utilizzare la conversione della CO₂ in combustibili per applicazioni sullo stoccaggio dell'energia rinnovabile.
- **Open Your Mine (18 dicembre 2021)**
Nel corso dell'evento, organizzato a Carbonia dal Parco Geominerario, Sotacarbo ha presentato le attività di ricerca, attraverso l'apertura al pubblico del proprio centro ricerche con visite guidate nei laboratori e nella piattaforma pilota e la proposta di laboratori divulgativo-scientifici sui temi dell'efficienza energetica e della produzione sostenibile di energia; è stato inoltre organizzato un workshop nel quale i ricercatori hanno illustrato le attività condotte in tema di transizione energetica.
- **Partecipazione ai meeting periodici del SET Plan Implementation Working group sulle CCUS (08 ottobre 2021).**

6 Principali soggetti esterni coinvolti

Nell'ambito del progetto e delle attività descritte nel presente report i principali ordini emessi sono:

- Contratto n. 10/21 a favore della ditta Vinci Technologies che riguarda l'affidamento della progettazione definitiva dell'impianto prototipale P2G/L (LA 3.18) e la fornitura, installazione, collaudo e messa in esercizio dello stesso impianto (LA3.20).
- Ordine n. 21/20 a favore del professionista Ing. Francesca Zaru per l'esecuzione del servizio di CSP (Coordinatore per la Sicurezza in fase di Progettazione) e CSE (Coordinatore per la Sicurezza in fase di Esecuzione) per l'impianto prototipale P2G/L (LA 3.19).
- Ordine n. 31/21 a favore del professionista Ing. Armando Brandas per lo svolgimento di diverse pratiche relative alla realizzazione dell'impianto prototipale P2G/L (LA 3.19).
- Ordine n. 45/21 a favore della ditta Air Liquide per la fornitura e la realizzazione del sistema di alimentazione gas a servizio dell'impianto prototipale P2G/L (LA 3.19 e 3.20).
- Ordine n. 47/21 a favore della ditta Logal Srl per la preparazione dell'area di installazione dell'impianto P2G/L (LA 3.19).
- Ordine n. 48/21 a favore del professionista Ing. Roberto Naitana per l'esecuzione del servizio di collaudatore statico dell'impianto prototipale P2G/L (LA 3.19).
- Ordine n. 58/21 a favore della Ditta Quadrisar per la fornitura e installazione dell'impianto elettrico per l'alimentazione dell'impianto prototipale P2G/L (LA 3.20).
- Ordine n. 69/21 a favore della Ditta Giuseppe Rubiu per la realizzazione del basamento di ancoraggio per la struttura metallica di supporto dell'impianto prototipale P2GL (LA 3.20).
- Ordine n. 74/21 per la realizzazione delle tubazioni di collegamento tra l'impianto P2G/L e gli impianti e componenti ausiliari della piattaforma pilota (LA 3.20).

7 Elenco dei rapporti tecnici e dei prodotti realizzati

Si riporta di seguito l'elenco dei rapporti tecnici sviluppati da Sotacarbo nella terza annualità:

WP3 - LA 3.18 Power-to-Gas/Liquid: Progettazione dell'impianto pilota

- Progettazione di massima dell'impianto sperimentale P2G/L.
 - Autori: F. Dessì, S. Lai, M. Mureddu, A. Porcu, S. Sollai, F. Ferrara, G. Cau, R. Cara, A. Orsini, D. Marotto, S. Meloni, P. Miraglia, G. Calì, D. Multineddu.
 - RdS/PTR(2021)/281
- Progettazione di dettaglio dell'impianto sperimentale P2G/L.
 - Autori: F. Dessì, S. Lai, M. Mureddu, A. Porcu, S. Sollai, F. Ferrara, A. Orsini, D. Marotto, S. Meloni, P. Miraglia, G. Calì, D. Multineddu.
 - RdS/PTR(2021)/282

WP3 - LA 3.19 Power-to-Gas/Liquid: ottenimento delle autorizzazioni e adeguamento del sito e dei sistemi ausiliari per l'impianto pilota

- Adeguamento del sito e dei sistemi ausiliari per l'installazione dell'impianto P2G/L
 - Autori: G. Calì, P. Miraglia, S. Meloni, D. Marotto, S. Sollai, F. Ferrara.
 - RdS/PTR(2021)/283
- Descrizione dell'iter autorizzativo per la realizzazione e messa in esercizio dell'impianto P2G/L
 - Autori: G. Calì, D. Marotto, S. Meloni, P. Miraglia, A. Plaisant.
 - RdS/PTR(2021)/284

WP3 - LA 3.20 Power-to-Gas/Liquid: realizzazione dell'impianto pilota e sperimentazione

- Realizzazione dell'impianto sperimentale P2G/L
 - Autori: D. Marotto, S. Meloni, P. Miraglia, M. Mureddu, S. Lai, F. Dessì, A. Porcu, S. Sollai, D. Multineddu, A. Orsini F. Ferrara, G. Calì.
 - RdS/PTR(2021)/285
- Messa a punto delle apparecchiature e sperimentazione dell'impianto P2G/L
 - Autori: D. Marotto, S. Meloni, P. Miraglia, M. Mureddu, S. Lai, F. Dessì, A. Porcu, S. Sollai, D. Multineddu, A. Orsini F. Ferrara, G. Calì.
 - RdS/PTR(2021)/286

WP3 - LA 3.21 Power-to-Gas/Liquid: analisi tecnico-economica nel contesto della Sardegna

- Analisi tecnico-economica delle tecnologie P2G/L da surplus di produzione di energia elettrica in Sardegna
 - Autori: A. Porcu, S. Sollai, M. Mureddu, F. Ferrara, A. Pettinau.
 - RdS/PTR(2021)/287

WP3 - LA 3.39 Comunicazione, diffusione dei risultati e coordinamento: attività SOTACARBO su P2G/L - III Anno

- Comunicazione e diffusione dei risultati sulle attività Sotacarbo su P2G/L – III anno
 - Autori: A. Masili
 - RdS/PTR(2021)/296
- Rapporto tecnico economico sulle attività SOTACARBO su P2G/L – III Anno
 - Autori: M. Fadda, E. Maggio
 - RdS/PTR(2021)/297

8 Cronoprogramma attività

Descrizione attività	2019			2020			2021		
LA 3.16 Power-to-Gas/Liquid: Power-to-Gas/Liquid: approfondimenti preliminari su tecnologie e processi per la definizione delle specifiche di un impianto pilota									
LA 3.17 Power-to-Gas/Liquid: analisi, verifiche autorizzative e prime modifiche delle infrastrutture esistenti per il loro riutilizzo nell'impianto pilota									
LA 3.18. Power-to-Gas/Liquid: progettazione dell'impianto pilota									
LA 3.19. Power-to-Gas/Liquid: ottenimento delle autorizzazioni e adeguamento del sito e dei sistemi ausiliari per l'impianto pilota									
LA 3.20. Power-to-Gas/Liquid: realizzazione dell'impianto pilota e sperimentazione									
LA 3.21 Power-to-Gas/Liquid: analisi tecnico-economica nel contesto della Sardegna									
LA 3.37 Comunicazione, diffusione dei risultati e coordinamento: attività SOTACARBO su P2G/L - I Anno									
LA 3.38 Comunicazione, diffusione dei risultati e coordinamento: attività SOTACARBO su P2G/L - II Anno									
LA 3.39 Comunicazione, diffusione dei risultati e coordinamento: attività SOTACARBO su P2G/L - III Anno.									

9 Rendicontazione economica

9.1 Costi sostenuti nel secondo e terzo anno di ricerca

Per quanto concerne il costo del secondo anno (solo per le attività che hanno beneficiato della proroga) e del terzo anno del progetto, le spese registrate a consuntivo sono riepilogate nella tabella che segue, ripartite per linee di attività (tra parentesi, si confrontano i valori di preventivo).

Sigla	Denominazione Linee attività	Anno di Riferimento	Ore di personale SOTACARBO	Personale (A) – K€	Spese generali – K€	Strumenti e attrezzature (B) – K€	Costi di esercizio (C) – K€	Acquisizione di competenze (D) – K€	Collaborazioni cobeneficiari (U) – K€	TOTALE
WP3	Tema 1.2 “Sistemi di accumulo, compresi elettrochimico e power to gas, e relative interfacce con le reti” – WP3 “Power to Gas”									
LA 3.18	Progettazione dell’impianto pilota	2020 /21	5614 (5614)	163,772 (161,978)	98,263 (97,186)	0 (0)	0 (0)	175 (175)		437,035 (434,165)
LA 3.19	Ottenimento delle autorizzazioni e adeguamento del sito e dei sistemi ausiliari per l’impianto pilota	2020 /21	6706 (6706)	203,002 (201,233)	121,801 (120,739)	0 (0)	29,172 (92)	43,316 (50)		397,291 (463,973)
LA 3.20	Realizzazione dell’impianto pilota e sperimentazione	2021	11886 (16474)	346,673 (489,009)	208,004 (293,405)	8,887 (0)	824,509 (987,2)	0 (10)		1.388,074 (1.779,614)
LA 3.21	Analisi tecnico-economica nel contesto della Sardegna	2021	1922 (1928)	62,952 (63,493)	37,771 (38,095)	0 (0)	0 (0)	0 (0)		100,724 (101,589)
LA 3.39	Comunicazione, diffusione dei risultati e coordinamento: attività SOTACARBO su P2G/L -III Anno	2021	4660 (5712)	178,736 (223,085)	107,242 (133,851)	0 (0)	106,944 (116,1)	0 (0)		392,923 (473,036)
	TOTALE	2020 /21	30788 (36434)	955,137 (1.138,798)	573,082 (683,279)	8,887 (0)	960,626 (1.195,3)	218,316 (235)		2.716,049 (3.252,378)

* in base al documento “Criteri di valutazione dei Piani triennali di realizzazione”

(A) include il costo del personale, sia dipendente che non dipendente

(B) include le attrezzature e le strumentazioni inventariabili, ad esclusivo uso del progetto e/o in quota di ammortamento

(C) include materiali e forniture, spese per informazione, pubblicità e diffusione

(D) include le attività con contenuto di ricerca commissionate a terzi, i.e. consulenze, acquisizioni di competenze tecniche, brevetti

(E) include le spese di trasporto, vitto e alloggio del personale in missione

(U) include le collaborazioni con istituzioni universitarie

9.2 Aggiornamento delle previsioni di programma e di costo del progetto

Si riportano di seguito gli scostamenti, rispetto alla variante approvata. Tali scostamenti sono suddivisi per voci di costo e riguardano le attività del secondo anno (limitatamente a quelle che hanno usufruito delle proroga) e del terzo anno, rispettivamente le LA 3.18, 3.19 e 3.20, 3.21, 3.39.

- Ore di Personale:

Nella tabella che segue si riportano gli scostamenti delle ore del personale impegnato nel progetto.

Sigla	DENOMINAZIONE OBIETTIVI	Ore di personale PREVENTIVO	Ore di personale CONSUNTIVO	Variazione	GIUSTIFICAZIONI
LA 3.18	Progettazione dell'impianto pilota	5.614	5.614	0	Nessuna variazione.
LA 3.19	Ottenimento delle autorizzazioni e adeguamento del sito e dei sistemi ausiliari per l'impianto pilota	6.706	6.706	0	Nessuna variazione.
LA 3.20	Realizzazione dell'impianto pilota e sperimentazione	16.474	11.886	- 4.588	Lo scostamento è dovuto ad una contrazione delle attività di sperimentazione.
LA 3.21	Analisi tecnico-economica nel contesto della Sardegna	1.928	1.922	- 6	Lo scostamento è irrilevante.
LA 3.39	Comunicazione, diffusione dei risultati e coordinamento: attività SOTACARBO su P2G/L -III Anno	5.712	4.660	- 1.052	Lo scostamento è dovuto alla mancata partecipazione convegni, rispetto alle previsioni iniziali e al minor impegno nel coordinamento delle attività legate alla sperimentazione.
TOTALE LA		36.434	30.788	- 5.646	Lo scostamento è dovuto alle motivazioni sopra esposte.

- Costi Personale (A):

Nella tabella che segue si riportano gli scostamenti dei costi del personale impegnato nel progetto.

Sigla	DENOMINAZIONE OBIETTIVI	Personale (A) PREVENTIVO €	Personale (A) CONSUNTIVO €	Variazione (€)	GIUSTIFICAZIONI
LA 3.18	Progettazione dell'impianto pilota	161.978,16	163.772,19	+ 1.794,03	Lo scostamento è irrilevante.
LA 3.19	Ottenimento delle autorizzazioni e adeguamento del sito e dei sistemi ausiliari per l'impianto pilota	201.233,18	203.002,05	+ 1.768,77	Lo scostamento è irrilevante.
LA 3.20	Realizzazione dell'impianto pilota e sperimentazione	489.009,14	346.673,74	- 142.335,40	Lo scostamento è dovuto ad una contrazione delle attività di sperimentazione.
LA 3.21	Analisi tecnico-economica nel contesto della Sardegna	63.493,28	62.952,98	- 540,30	Lo scostamento è irrilevante.
LA 3.39	Comunicazione, diffusione dei risultati e coordinamento: attività SOTACARBO su P2G/L -III Anno	223.085,22	178.736,93	- 44.348,29	Lo scostamento è dovuto alla mancata partecipazione convegni, rispetto alle previsioni iniziali e al minor impegno nel coordinamento delle attività legate alla sperimentazione.
TOTALE LA		1.138.798,98	955.137,89	-183.661,09	Lo scostamento è dovuto alle motivazioni sopra esposte.

- **Strumenti e attrezzature (B):**

Nella tabella che segue si riportano gli scostamenti registrati alla voce strumenti e attrezzature (B).

Sigla	DESCRIZIONE COSTI STRUMENTAZIONI E ATTREZZATURE	Costo PREVENTIVO (€)	Costo CONSUNTIVO (€)	Variazione di costo	GIUSTIFICAZIONI
LA 3.20	Locazione azoto e nolo dei macchinari per le fasi di scarico dei componenti dell'impianto.	0	8.887	+ 8.887	Lo scostamento è dovuto alla previsione di tali costi in una diversa voce (costi di esercizio). La locazione azoto era stata inclusa nella fornitura azoto e il nolo dei macchinari per le fasi di scarico dei componenti dell'impianto era stato incluso nella voce realizzazione impianto P2G/L.
TOTALE LA		0	8.887	+ 8.887	Lo scostamento è dovuto alle motivazioni sopra esposte.

- **Costi di esercizio (C):**

Nella tabella che segue si riportano gli scostamenti registrati alla voce costi di esercizio (C).

Sigla	DESCRIZIONE COSTI ESERCIZIO	Costo PREVENTIVO (€)	Costo CONSUNTIVO (€)	Variazione di costo	GIUSTIFICAZIONI
LA 3.19	Adeguamento piattaforma pilota per installazione impianto P2G/L.	60.000	14.867,65	- 45.132,35	Lo scostamento è dovuto alla modifica dell'ubicazione finale dell'impianto. Si è preferito comunicare la variazione a fine progetto, dopo la definizione finale dell'impianto (as built).
LA 3.19	Adeguamento impianto elettrico esistente per installazione impianto P2G/L – Acconto.	12.000	0	- 12.000	Lo scostamento è dovuto alle diverse evoluzioni subite dalla progettazione dell'adeguamento dell'impianto elettrico. Si è preferito comunicare la variazione a fine progetto, dopo la definizione finale dell'impianto (as built).
LA 3.19	Realizzazione sistema di alimentazione dell'impianto P2G/L – Acconto.	20.000	14.304,56	- 5.695,44	Lo scostamento è da ritenersi irrilevante, dovuto al maggior ribasso della ditta che si è aggiudicata la fornitura.
SUB TOTALE LA 3.19		92.000	29.172,21	- 62.827,79	Lo scostamento è dovuto alle motivazioni sopra esposte.
LA 3.20	Adeguamento impianto elettrico esistente per installazione impianto P2G/L – Saldo.	18.000	3.550	- 14.450	Lo scostamento è dovuto alle diverse evoluzioni subite dalla progettazione dell'adeguamento dell'impianto elettrico. Si è preferito comunicare la variazione a fine progetto, dopo la definizione finale dell'impianto (as built).
LA 3.20	Realizzazione sistema di alimentazione dell'impianto P2G/L – Saldo.	30.000	30.039	+39	Lo scostamento è irrilevante.
LA 3.20	Realizzazione impianto P2G/L e sistemi ausiliari e collaudo: reattori per la sintesi del metano e del metanolo; torcia; sistema di separazione liquido gas e strumentazione di monitoraggio (pressione, temperatura, portata).	816.000	775.382,95	- 40.617,05	Lo scostamento è dovuto a scelte impiantistiche che hanno portato alla riduzione dei costi di alcuni componenti (installazione dell'impianto in una zona non a rischio esplosione).
LA 3.20	Fornitura sistema di analisi a servizio dell'impianto P2G/L off-line.	65.000	0	- 65.000	Il sistema di analisi off-line è stato incluso nella fornitura dell'impianto prototipale (fornitura Vinci Technologies). Si è ritenuto opportuno non implementare il sistema di analisi in quanto quello fornito è risultato sufficiente per la determinazione delle specie coinvolte nel processo. Si è preferito comunicare la variazione a fine progetto.

LA 3.20	Materiale di consumo (bombole gas, pacchi bombole, catalizzatori, ecc).	53.200	14.353,62	- 38.846,38	Lo scostamento è dovuto alla contrazione dell'attività sperimentale.
LA 3.20	Viaggi per collaudi presso i fornitori.	5.000	1.184,26	- 3.815,74	Lo scostamento è dovuto ad una diversa programmazione delle verifiche/collaudi presso i fornitori. Alcune delle verifiche sono state eseguite da remoto.
SUB TOTALE LA 3.20		987.200	824.509,83	- 162.690,17	Lo scostamento è dovuto alle motivazioni sopra descritte.
LA 3.39	Iscrizioni Convegni/Conferenze.	2.500	2.211,92	- 288,08	Lo scostamento è irrilevante.
LA 3.39	Organizzazione eventi divulgativi/workshop/webinar.	5.000	1.660	- 3.340	Lo scostamento è dovuto ad una diversa organizzazione degli eventi/workshop, vista il perdurare della situazione emergenziale.
LA 3.39	Materiale pubblicitario (locandine, gadget).	3.000	0	- 3.000	Lo scostamento è dovuto alle motivazioni sopra riportate.
LA 3.39	Campagne pubblicitarie attività inerenti il progetto.	7.600	0	- 7.600	Tutte le campagne pubblicitarie sono state posticipate al prossimo triennio per dare maggiore visibilità al progetto, dopo i risultati di intense campagne sperimentali.
LA 3.39	Membership IEA GHG e CSC.	98.000	101.738,29	+ 3.738,29	Lo scostamento è dovuto alla differenza del cambio valuta.
LA 3.39	Partecipazioni a Convegni/Conferenze.	0	1.334,07	+ 1.334,07	Lo scostamento è dovuto alla ripresa di convegni in presenza.
SUB TOTALE LA 3.39		116.100	106.944,28	- 9.155,72	Lo scostamento è da ritenersi irrilevante. È dovuto alle motivazioni sopra descritte.
TOTALE LA		1.195.300	960.626,32	- 234.673,68	Lo scostamento è dovuto alle motivazioni sopra esposte.

- **Acquisizione di competenze (D):**

Nella tabella che segue si riportano gli scostamenti registrati alla voce acquisizione di competenze (D).

sigla	DESCRIZIONE COSTI CONTRATTI DI CONSULENZA	Costo PREVENTIVO (€)	Costo CONSUNTIVO (€)	Variazione di costo	GIUSTIFICAZIONI
LA 3.18	Progettazione di massima e di dettaglio dell'impianto P2G/L	175.000	175.000	0	Nessuno scostamento
LA 3.19	Consulenza per adeguamento Pratica prevenzione incendi e classificazione zone ATEX, incarico per CSP e CSE, valutazione ambientale e Direttore lavori	50.000	43.316	- 6.684	Lo scostamento è irrilevante. Nello specifico, non si è più reso necessario affidarsi ad un consulente esterno per il parere ambientale collegato alla messa in esercizio dell'impianto.
LA 3.20	Contratto per supporto alla realizzazione dell'impianto P2G/L	10.000	0	- 10.000	Lo scostamento è dovuto alla mancata necessità di affidarsi ad una ditta per la realizzazione dell'impianto (eseguita completamente dalla ditta fornitrice).
TOTALE LA		235.000	218.316	- 16.684	Lo scostamento è dovuto alle motivazioni sopra esposte.

10 Conclusioni

Il progetto sviluppato nell'ambito della Ricerca di Sistema (PTR 2019 – 2021) è finalizzato alla diffusione commerciale delle tecnologie cosiddette Power-to-Gas/to-Liquid (P2G/L). Nonostante l'attività del triennio sia stata fortemente influenzata dalla pandemia, si è riusciti a raggiungere gli obiettivi previsti dal progetto, principalmente la progettazione e la realizzazione dell'impianto pilota P2G/L denominato "Power-to-Fuels" passando da un TRL 4 (impianto bench-scale XtL) ad un TRL 6 e in futuro 7 integrando sistemi industriali. Tale infrastruttura di ricerca consentirà di portare avanti intense campagne sperimentali sull'utilizzo della CO₂ per la produzione di combustibili liquidi e gassosi utilizzando il surplus di energia elettrica prodotto da rinnovabili. Questo permetterà di avere sistemi di accumulo e di evitare l'*overgeneration* da impianti di produzione elettrica da rinnovabili, obiettivo previsto anche dal Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC), dove gli impianti power to gas sono tra quelle soluzioni tecnologiche necessarie per la resilienza dei sistemi energetici e per far fronte alla discontinuità delle fonti rinnovabili, soprattutto solare ed eolico. Pertanto lo sviluppo di questa tecnologia è una delle tappe fondamentali per arrivare alla neutralità climatica al 2050.

In particolare nel triennio sono state sviluppate le seguenti attività di ricerca:

- Progettazione, realizzazione e messa a punto di un impianto prototipale P2G/L.
- Prove di appoggio all'impianto prototipale.
- Analisi tecnico-economica delle tecnologie P2G/L nel contesto della Sardegna.

Nello specifico l'infrastruttura di ricerca è stata progettata e realizzata per colmare le lacune che ostacolano la diffusione commerciale delle tecnologie *Power-to-Fuels*, secondo i criteri di seguito illustrati:

- Flessibilità: l'impianto è costituito da due differenti reattori (monotubolare e multitubolare) entrambi possono essere utilizzati sia per la sintesi di metanolo/DME che per il processo di metanazione.
- Versatilità: le apparecchiature possono essere impiegate come banco di prova per apparecchiature commerciali.
- Taglia: l'impianto sperimentale, progettato per una produzione massima di 5 kg/h (120 kg/giorno) è tale da consentire un utilizzo dei risultati sperimentali per il futuro dimensionamento di apparecchiature di taglia commerciale.

Nella prima annualità del progetto state approfondite le conoscenze sugli impianti commerciali e sui progetti pilota che utilizzano la CO₂ come materia prima per la produzione di metano, metanolo e dimetiletere. L'analisi ha riguardato gli aspetti più tecnici, come le configurazioni degli impianti e i sistemi di produzione di idrogeno. Particolare attenzione è stata posta sulla tipologia dei reattori, sulle condizioni operative del processo e criticità annesse. Il prodotto finale dell'analisi svolta è stata la definizione della specifica tecnica dell'impianto prototipale (report RdS/PTR2019/128), da cui si è partiti per sviluppare la progettazione di massima (report RdS/PTR(2021)/281) e di dettaglio (report RdS/PTR(2021)/282). Queste attività sono state svolte nell'ambito della LA 3.18, iniziate nel secondo anno e concluse nel terzo. Sempre nella prima annualità è stata individuata un'area della piattaforma pilota Sotacarbo dove installare l'impianto prototipale, utilizzando un'infrastruttura di ricerca esistente (scelta che ha permesso di ottimizzare i costi e i tempi utilizzando diversi sistemi ausiliari già presenti nella piattaforma). Si è dato avvio alle attività di preparazione dell'area, procedendo con le verifiche preliminari e le prime modifiche della suddetta infrastruttura (report RdS/PTR2019/129). Tali attività, propedeutiche all'installazione dell'impianto, sono proseguite nel secondo anno e concluse nel terzo anno nell'ambito della LA 3.19 (report RdS/PTR(2021)/283).

Per la realizzazione dell'impianto e l'avvio dell'attività sperimentale, è stato necessario effettuare delle verifiche sulla normativa vigente per l'ottenimento delle autorizzazioni. Nello specifico le prime verifiche hanno riguardato le attività necessarie per l'adeguamento del Certificato Prevenzione Incendi (CPI), della classificazione delle aree potenzialmente esplosive (ATEX) e della classificazione delle apparecchiature in pressione (PED). L'analisi è stata svolta a partire dallo stato iniziale dell'impianto pilota Sotacarbo esistente, descrivendo gli adeguamenti normativi previsti per l'installazione di un impianto sperimentale che lavora alle pressioni e alle temperature necessarie ai processi P2G/L (report RdS/PTR2019/130). Ulteriori approfondimenti e verifiche sono state svolte nella seconda e terza annualità, sulla base di quanto emerso nelle varie fasi della progettazione. Nello specifico, gli approfondimenti hanno riguardato le potenziali zone

ATEX, l'analisi delle sezioni dell'impianto soggette a normativa PED, analisi della normativa ambientale per individuare la categoria dove è inquadrato l'impianto e di conseguenza seguire l'iter autorizzativo relativo (report RdS/PTR(2021)/284).

L'attività di realizzazione dell'impianto prototipale e dei sistemi ausiliari è stata svolta nell'ultima annualità del progetto (report RdS/PTR(2021)/285) a cui è seguita la fase di messa a punto delle apparecchiature, test sull'impianto e sviluppo delle procedure di avvio, operatività e spegnimento (report RdS/PTR(2021)/286). In particolare i test hanno riguardato le verifiche dinamiche e di corretto funzionamento delle singole sezioni e dell'intera unità prototipale, convalidando la conformità alle specifiche definitive e ai disegni progettuali.

In parallelo alla fase di realizzazione sono stati eseguiti dei test d'appoggio che hanno riguardato:

- Impianto bench-scale XtL di idrogenazione catalitica della CO₂, per determinare i parametri operativi ottimali (quali temperature, pressioni, composizione dell'alimentazione e ricircolo ecc), verificare le condizioni di funzionamento di alcuni catalizzatori, così da limitare tempi e costi della sperimentazione.
- Impianto di cattura della CO₂ per completare l'analisi globale del processo, con l'obiettivo di integrare il nuovo impianto prototipale con la sezione (esistente) di separazione della CO₂.

Il lavoro è stato completato con l'analisi del sistema energetico della Sardegna, con particolare riferimento al sistema di generazione elettrica, finalizzato alla valutazione tecnico-economica di un impianto per la produzione di metanolo alimentato da CO₂ catturata dai fumi di un impianto termoelettrico tradizionale e da idrogeno prodotto con energia elettrica da fonti energetiche rinnovabili (FER) (report RdS/PTR(2021)/287).

11 Abbreviazioni ed acronimi

ATEX	ATmosphères ed Explosives
CAPEX	Capital Expenditure
CCU	Carbon Capture and Utilization
CCUS	Carbon Capture Utilization & Storage
CPI	Certificato Prevenzione Incendi
DME	Dimetil etere
EARTH	EnHance Resilience Through Humanity
ETS	Emission Trading System
FER	Fonti Energetiche Rinnovabili
GSE	Gestore dei Servizi Energetici
GME	Gestore dei Mercati Energetici
LCoM	Levelized Cost of Methanol
Leaf	heaL thE pLANet's Future
MEA	Membrane Electrode Assembly
ONE	Only Natural Energy
P2G/L	Power-to-Gas/Liquid - Power-to-Fuels
P&ID	Process and Instrumentation Diagrams
PEARS	Piano Energetico Ambientale Regionale della Sardegna
PED	Pressure Equipment Directive
PFD	Process Flow Diagram
PLC	Programmable Logic Controller
PNIEC2030	Piano Nazionale Energia e Clima 2030
PNRR	Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza
RdS	Ricerca di Sistema Elettrico
RED	Renewable Energy Directive
ZoE	Zero Emissions
XtL	Feed (coal, biomass, CO ₂ , ...) to Liquids

12 Curriculum scientifico del gruppo di lavoro

L'attività di ricerca oggetto di questo rapporto è stata condotta dai ricercatori della Sotacarbo SpA, Società nata originariamente con lo scopo di rilanciare con studi e ricerche scientifiche le attività legate al carbone Sulcis, ma che da anni ha cambiato radicalmente le finalità della propria attività di ricerca, focalizzata oggi sui sistemi di conversione dell'energia caratterizzati da **basse emissioni di anidride carbonica** – per applicazioni sia nel settore della generazione elettrica che nei settori industriali – nonché sulla produzione di combustibili puliti (principalmente metanolo, dimetiletere, metano e idrogeno) ottenuti attraverso l'accumulo chimico di energia da fonti rinnovabili.

In tale ambito, l'attività di ricerca si può schematizzare – in modo molto semplificato – nei cinque macro-temi riportati sinteticamente in Figura 12.1: energia da biomasse e materiali di scarto (prevalentemente mediante processi di gassificazione), separazione, riutilizzo e confinamento della CO₂ (con particolare riferimento, in quest'ultimo caso, ai sistemi di monitoraggio dei siti di confinamento geologico), produzione di e-fuels e idrogeno rinnovabile ed efficienza energetica.



Figura 12.1. Schematizzazione delle tematiche di ricerca in corso presso Sotacarbo.

I temi di cui sopra sono, come detto, pienamente **coerenti con le strategie europee** sulla riduzione delle emissioni di CO₂, tanto che il Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca e il Ministero dello Sviluppo Economico – riconoscendo il ruolo di riferimento nazionale sulle tematiche legate alle tecnologie in questione – hanno nominato due ricercatori Sotacarbo come referenti italiani nell'*Implementation Working Group* sulle tecnologie CCUS del *SET Plan* europeo.

Una delle principali caratteristiche che differenzia le attività di ricerca di Sotacarbo da quelle di gran parte degli altri soggetti operanti nel settore (enti di ricerca, sistema accademico e spesso anche realtà industriali) è la disponibilità di **infrastrutture di ricerca all'avanguardia**, generalmente caratterizzate da un'elevata versatilità e dall'accuratezza dei sistemi di misura. Ciò consente di effettuare studi di ricerca applicata che costituiscono l'anello di congiungimento tra il mondo accademico (e, più in generale, della ricerca di base) e l'industria. Molte delle infrastrutture sperimentali a disposizione presso il Centro Ricerche Sotacarbo fanno parte della rete europea di laboratori di eccellenza ECCSEL-ERIC¹ e sono disponibili per attività scientifiche congiunte con partner internazionali.

Grazie alla natura della Società e dei finanziamenti (quasi esclusivamente di carattere pubblico), la quasi totalità dei risultati scientifici ottenuti da Sotacarbo è di **dominio pubblico** e l'attività sperimentale è sempre più finalizzata alla pubblicazione dei risultati su riviste scientifiche internazionali di alto livello.

Le attività di ricerca teorica e sperimentale sono affidate a **personale altamente qualificato**. In particolare, l'area tecnico/scientifica della società è composta da 25 ricercatori laureati (in Ingegneria, Chimica, Scienza dei Materiali e Scienze Geologiche) di cui oltre un quarto dottori di ricerca. L'attività sperimentale beneficia del supporto dell'officina meccanica interna, dell'area comunicazione e gestione progetti. Nello specifico le competenze sviluppate dal gruppo di ricerca impegnato nelle attività del piano triennale 2019-2021, riguardano:

¹ ECCSEL (the European Carbon Dioxide Capture and Storage Laboratory Infrastructure), rete internazionale di laboratori di eccellenza sulle CCUS – dei quali fa parte anche Sotacarbo – è stata costituita come ERIC (European Research Infrastructure Consortium) dai governi di Italia (rappresentata dal MIUR), Regno Unito, Francia, Olanda e Norvegia (che ospita la sede operativa)

- attività di ricerca teorica e sperimentale su temi quali tecnologie di gassificazione di biomasse e rifiuti plastici e di separazione, utilizzo e confinamento della CO₂ (CCUS, carbon dioxide capture, utilization and storage);
- produzione di combustibili liquidi (metanolo, dimetiletere, ecc.) e gassosi (idrogeno, metano) da biomasse e CO₂ attraverso processi termochimici ed elettrochimici;
- ricerca teorica e sperimentale su tecnologie fotoelettrochimiche applicate in campo energetico ed ambientale;
- ricerca e sperimentazione su tecnologie di separazione della CO₂ con tecniche pre-, post- e ossi-combustione;
- analisi di caratterizzazione dei combustibili e studi cinetici attraverso metodi termogravimetrici;
- studio, analisi e caratterizzazione chimico-fisica dei combustibili adatti all'impiego in sistemi per la produzione di energia;
- studio e sviluppo delle tecnologie per la separazione dell'anidride carbonica tramite assorbimento su solventi, membrane e sorbenti solidi;
- studi e sperimentazione su materiali e sistemi per la produzione di *e-fuels* attraverso processi termochimici e fotochimici;
- studi di processo e analisi dei dati sperimentali;
- studio e sviluppo di tecniche analitiche chimico-fisiche di appoggio alle attività sperimentali;
- studi di impatto ambientale e gestione con gli enti preposti ai controlli
- progettazione di apparati sperimentali;
- gestione di campagne sperimentali con strumenti da laboratorio e in impianti di taglia da banco, pilota e dimostrativa;
- definizione di procedure e tecniche di analisi;
- studi tecnico-economici e analisi di fattibilità sull'applicazione delle tecnologie CCUS in contesti industriali;
- sviluppo di modelli economici avanzati per studi di fattibilità.