



Ricerca di Sistema elettrico

# POWER-TO-GAS: ANALISI DI PROCESSO E STRATEGIE DI CONTROLLO PER SISTEMI DI METANAZIONE CATALITICA IN DINAMICO

G. Vilardi, C. Bassano, P. Deiana, N. Verdone



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

Report RdS/PTR2020/207

## POWER-TO-GAS: ANALISI DI PROCESSO E STRATEGIE DI CONTROLLO PER SISTEMI DI METANAZIONE CATALITICA IN DINAMICO

G. Vilardi (Dipartimento di Ingegneria Chimica Materiali Ambiente, La Sapienza Università di Roma), C. Bassano (ENEA, Centro Ricerche Casaccia), P. Deiana (ENEA, Centro Ricerche Casaccia), N. Verdone (Dipartimento di Ingegneria Chimica Materiali Ambiente, La Sapienza Università di Roma)

Aprile 2021

### Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

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

Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - II Annualità

Work Package 3: "Power to Gas" (P2G)

Linea di attività LA 3.6 "Power-to-Gas: analisi di processo e strategie di controllo per sistemi di metanazione catalitica in dinamico

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: ANALISI DI PROCESSO E STRATEGIE DI CONTROLLO PER SISTEMI DI METANAZIONE CATALITICA IN DINAMICO"

Responsabile scientifico ENEA: Ing. Claudia Bassano

Responsabile scientifico Sapienza: Prof. Ing. Nicola Verdone

Si ringrazia il Prof. R. Bubbico per i suoi suggerimenti e per aver contribuito alla parte relativa all'analisi dei risultati in dinamico.

## Indice

1	SOMMARIO .....	4
1	INTRODUZIONE .....	6
2	DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI .....	6
2.1	SVILUPPO DEL PROCESSO DI METANAZIONE CATALITICA E IMPLEMENTAZIONE IN AMBIENTE ASPEN PLUS E DYNAMICS..	6
2.2	SIMULAZIONE CON REATTORI ADIABATICI MULTISTADIO: DIMENSIONAMENTO DELLE APPARECCHIATURE .....	11
2.3	ANALISI DINAMICA DELLA CONFIGURAZIONE REATTORI ADIABATICI: ANALISI A CARICO VARIABILE .....	23
2.4	SIMULAZIONE CON REATTORI RAFFREDDATI MULTISTADIO: DIMENSIONAMENTO DELLE APPARECCHIATURE .....	33
2.5	ANALISI DINAMICA DELLA CONFIGURAZIONE REATTORI RAFFREDDATI: ANALISI A CARICO VARIABILE .....	36
3	OTTIMIZZAZIONE DEL SISTEMA DI METANAZIONE CON REATTORI RAFFREDDATI: DIMENSIONAMENTO, SISTEMA DI CONTROLLO, TUNING E TEST DI SHUT-DOWN E START-UP CON CINETICA A BASE RU.....	3-49
4	ANALISI DINAMICA DELLA CONFIGURAZIONE OTTIMIZZATA CON UN REATTORE RAFFREDDATO CON CINETICA A BASE NI: TUNING DEI CONTROLLORI, ANALISI DI START-UP E SHUT-DOWN E CARICO RIDOTTO... 4-100	
5	MODELLO 2D DI UN METANATORE RAFFREDDATO.....	134
6	CONCLUSIONI .....	139
7	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	140
8	APPENDICE.....	140

# 1 Sommario

Il processo di metanazione (processo Sabatier) permette di convertire l'anidride carbonica e il monossido di carbonio in metano, che viene successivamente immesso (una volta rispettate le specifiche di rete) nelle infrastrutture già presenti sul territorio nazionale ed Europeo della rete gas. Gli aspetti di maggiore interesse ingegneristico nell'esercizio di un metanatore sono sicuramente la forte esotermicità della reazione di Sabatier, con conseguente generazione di hotspots lungo tutto il letto di catalizzatore e la conseguente gestione del calore di reazione attraverso recupero termico. Questi aspetti peculiari del processo Sabatier influiscono sulla scelta dei materiali di costruzione e geometria del metanatore, sulla scelta dei parametri operativi, del sistema di raffreddamento, della tipologia di catalizzatore (la generazione di hotspots influirà poi sulla velocità di reazione locale nel metanatore, sui limiti diffusionali del trasporto di idrogeno e anidride carbonica all'interno del catalizzatore e sulle caratteristiche chimico-fisiche del letto di catalizzatore e quindi sulla sua funzionalità) e sulle caratteristiche iniziali della carica.

Si ritiene utile suddividere le attività svolte e descrivere gli output ottenuti secondo una breve lista per punti:

1) Si è sviluppato un modello bidimensionale in ambiente simulativo gPROMS, codice noto in ingegneria di processo sviluppato dall'università di Cambridge e per cui il DICMA possiede una licenza valida e aggiornata. Il modello permette la risoluzione, in transitorio, dei bilanci di materia e di energia lungo l'asse principale e la radiale di un reattore PFR a singolo tubo raffreddato, in cui, lato tubo, si inietta una miscela di anidride carbonica e idrogeno, lato mantello, si manda in equicorrente acqua al punto di bolla come fluido di servizio per il controllo degli hot-spot. Il modello può essere utilizzato per diverse condizioni di carico e permette di predire l'andamento del profilo di temperatura e concentrazione delle 4 specie in analisi (anidride carbonica, metano, idrogeno e vapore acqueo).

2) Si è sviluppato un primo scale-up del processo di Sabatier (taglia reattore 925 Nm<sup>3</sup>/h, 750 di idrogeno e 175 di anidride carbonica, 15 bar, 250°C T carica), in ambiente di simulazione Aspen Plus. L'impianto, una volta risolti i bilanci in S.S. e inserite oltre alle apparecchiature tutte le macchine ausiliarie e le valvole, è stato implementato in ambiente Aspen Dynamics, per eseguire uno studio del transitorio dell'intero impianto, focalizzandosi sull'influenza della variazione del carico di idrogeno, prodotto per elettrolisi grazie al surplus energetico da fonti rinnovabili (FER). Considerando la natura variabile del flusso di potenza fornito all'elettrolizzatore e considerando quindi eventuali fasi di spegnimento e cold start-up di tale apparecchiatura, si sono simulati i seguenti scenari di variazione di carico all'impianto P2G: -5%, +5% e -30% portata molare di idrogeno entrante, rispetto alle condizioni di S.S., i.e. condizioni utilizzate per la progettazione preliminare dei reattori e di tutte le apparecchiature dell'impianto (flash, compressori, valvole ecc.). Lo studio ha evidenziato come la configurazione reattori raffreddati sia maggiormente performante e caratterizzata da un minore numero di reattori in serie per il raggiungimento delle specifiche richieste (UNIT/TS 11537:2019), da 5 reattori adiabatici a 2 reattori raffreddati, inoltre si è visto come il sistema di controllo fosse in grado di rispondere in maniera più celere alle variazioni di carico rispetto a quello progettato per il caso adiabatici. Inoltre, nel caso dei reattori raffreddati si è visto come il sistema di controllo sia riuscito a rispondere alle variazioni di carico riportando i valori di interesse (concentrazione residua di idrogeno e anidride carbonica, indice di Wobbe) negli intervalli obiettivo (come da specifica richiesta);

3) Lo studio del punto 2 è stato quindi ampliato, andando a eseguire un ulteriore nuovo dimensionamento varando le GHSV e ottimizzando la configurazione reattori raffreddati, riuscendo a spingersi fino all'impiego di un unico reattore, sia con cinetica a base Ru che Ni e si sono quindi riprogettati e tunati i rispettivi sistemi di controllo per le due cinetiche. Per tali configurazioni si sono eseguite le prove di spegnimento e di messa in marcia dell'impianto, andando a studiare l'andamento dei profili di temperatura e pressione secondo le variabili tempo e lunghezza del reattore (Aspen Dynamics non permette uno studio 2D, che però è stato già eseguito in ambiente

gPROMS) e individuando le eventuali criticità legate alla possibile comparsa di hot-spot lungo il letto catalitico e gli eventuali intervalli di tempo in cui il metano prodotto, in uscita dall'impianto, non dovesse avere le caratteristiche richieste da normativa per una sua diretta iniezione nella rete nazionale. Tale studio è in fase di finalizzazione.