

Candidato: Emanuele Lantieri

Relatore: Prof.ssa Alessandra Poletti

Correlatore: Prof.ssa Raffaella Pomi, Dr Alessio Stramazzo

Titolo della tesi: Sequestro di CO₂ mediante residui alcalini: influenza della superficie specifica e delle condizioni di processo

Abstract

L'immissione di anidride carbonica nelle rocce del sottosuolo, nota con il termine di sequestro geologico, è il metodo più incentivato di cattura ed immagazzinamento della CO₂.

Tuttavia nel momento in cui la CO₂ è iniettata in un ammasso roccioso, il comportamento in questi mezzi porosi e permeabili, la stabilità delle condizioni di stoccaggio ed i cambiamenti chimico-fisici che possono verificarsi destano molte preoccupazioni nella comunità scientifica e perplessità da parte della società civile. Per questo motivo l'attenzione è rivolta allo sviluppo di tecnologie complementari di sequestro che, basate sulla formazione di minerali per reazione della CO₂ con silicati di Ca e Mg, offrono soluzioni promettenti per uno stoccaggio permanente e stabile della CO₂.

La tecnologia della carbonatazione è basata sul processo naturale della degradazione meteorica delle rocce dove l'acido carbonico, formatosi attraverso la dissoluzione della CO₂ nelle acque meteoriche, viene neutralizzato dall'alcalinità del minerale formando così il carbonato. I prodotti del processo naturale di carbonatazione si trovano allo stato solido e non vi è alcuna possibilità di rilascio di CO₂ dopo il sequestro, a meno di non applicare dall'esterno l'energia richiesta per rigenerare CO₂ dai carbonati.

Questa tecnologia, se confrontata con altre tecniche di sequestro, oltre al vantaggio di offrire un metodo permanente di rimozione della CO₂, garantisce la formazione di prodotti, non nocivi dal punto di vista ambientale, che potenzialmente potrebbero trovare una collocazione sul mercato.

Lo studio è stato condotto sfruttando come fonte di alcalinità per la reazione con la CO₂, sottoprodotti industriali derivanti dall'industria siderurgica, in particolare scorie BOF (ovvero provenienti da impianti siderurgici di produzione dell'acciaio con convertitore ad ossigeno basico).

L'obiettivo è stato quello di verificare l'influenza delle condizioni operative, in termini di pressione, temperatura e concentrazione di CO₂ in volume, e della superficie specifica sulle reazioni del processo di carbonatazione, valutando dunque le rese di sequestro della CO₂. A tal fine il materiale è stato inizialmente suddiviso in classi granulometriche a valle di un processo di macinazione e di successiva classificazione dimensionale. Le classi ottenute sono state sottoposte a prove di carbonatazione preliminari, in condizioni desunte da precedenti studi (temperatura = 50°C, pressione assoluta = 5 bar e concentrazione volumetrica di CO₂ nel flusso gassoso = 40% in volume) in modo da poter, da un lato, valutare la relazione tra superficie specifica e resa di sequestro, e dall'altro, individuare l'intervallo dimensionale ottimale. I risultati confermano che una granulometria più fine promuove il processo di carbonatazione e consente di ottenere una maggiore percentuale di sequestro.

Individuato l'intervallo granulometrico ottimale, con dimensioni dei grani comprese tra 38 e 100 µm, è stato deciso quindi di utilizzarlo per svolgere ulteriori test di carbonatazione accelerata in differenti condizioni operative, al fine di comprendere l'influenza di alcuni parametri sulle rese di reazione, nonché le loro reciproche interazioni. Lo studio ha evidenziato che, ai fini delle rese di sequestro, risultano rilevanti e significativi non soltanto gli effetti principali dei tre fattori indagati (temperatura, pressione totale e concentrazione di CO₂) ma anche alcune interazioni tra essi. Un incremento della temperatura implica un aumento della resa di sequestro poiché favorisce la dissoluzione del calcio e degli altri metalli potenzialmente carbonatabili, che si trasferiscono dalla matrice solida alla fase liquida. Pressione e concentrazione di CO₂ risultano strettamente correlate, e un aumento della concentrazione di anidride carbonica nel flusso gassoso in concomitanza di valori elevati di

pressione implica una riduzione del pH del sistema dovuto alla presenza di una più elevata quantità di acido carbonico in soluzione. Questo determina rese minori di sequestro.

I risultati dell'indagine sperimentale condotta hanno mostrato l'influenza prevalente delle caratteristiche dimensionali del materiale sottoposto a carbonatazione accelerata sulle rese di conversione in carbonati. Ciò indica che, per granulometrie del materiale di partenza superiori a quelle ottimali valutate come sopra descritto, è necessaria a monte del processo di carbonatazione una fase preliminare di riduzione dimensionale, al fine di promuovere l'evoluzione del processo nella direzione desiderata. È evidente che, in termini di valutazioni globali sull'applicabilità del processo di carbonatazione accelerata ai fini del sequestro della CO₂, l'incidenza di tale fase preliminare in termini di consumi energetici associati e relative emissioni indirette di CO₂ deve essere attentamente quantificata.

Relativamente ai risultati degli esperimenti condotti in diverse condizioni operative, è opportuno altresì osservare come il raggiungimento di rese adeguate di carbonatazione richieda condizioni intense di processo, che possono ridurre la convenienza energetica globale. Tenendo conto che le fasi di dissoluzione dei minerali alcalini, solvatazione della CO₂ in fase liquida e precipitazione dei carbonati richiedono condizioni operative in alcuni casi contrastanti, appare di interesse, ai fini di un'ottimizzazione complessiva delle rese energetiche del processo, esplorare la possibilità di separare le fasi di dissoluzione dei costituenti reattivi e precipitazione dei carbonati. Questo aspetto appare per tale ragione nell'immediato quello che merita l'attenzione principale.