

Sequestro del CO₂: mito e realtà

di Dario Zampieri, 1/7/2015

Una delle azioni di mitigazione del cambiamento climatico, specificatamente per ridurre le emissioni di diossido di carbonio (CO₂) prodotte dalle centrali di generazione elettrica a carbone e di altre sorgenti industriali, è comunemente ritenuta essere la Carbon Capture and Storage (CCS). L'idea è stata promossa nientemeno che dall'Intergovernmental Panel on Climate Change (Special Report 2005, Working Group III). Tuttavia, in una prospettiva globale per avere un qualche significato nel ridurre l'accumulo in atmosfera di gas serra la CCS deve operare a scala massiccia, nell'ordine di 3.5 Gt (miliardi di tonnellate) di CO₂ per anno, un volume circa equivalente ai 30 miliardi di barili di petrolio prodotti annualmente nel mondo (si immagina che il CO₂ possa andare ad occupare i pori della roccia liberati dal petrolio). L'applicazione su larga scala è ancora una ipotesi non attuabile nel medio periodo, essendovi numerose problematiche di natura tecnologica ed economica da risolvere. Si stima che siano necessari 20-30 anni per la messa a punto del processo di cattura, di più per quello dello stoccaggio.

Tra le problematiche relative alla sicurezza dei siti di stoccaggio, un problema basilare è dato dalla garanzia della tenuta per almeno 10.000 anni delle rocce che dovrebbero sigillare i serbatoi geologici di CO₂.

Secondo Zoback e Gorelick (2012), nelle ultime decadi le moderne reti sismiche hanno mostrato che nell'interno dei continenti i terremoti sono pervasivi, in altre parole pressoché ovunque nella crosta esistono sistemi di faglie potenzialmente attive. A causa dello stato critico dello sforzo nella crosta, l'iniezione di fluidi in pozzi profondi può dunque innescare terremoti, quando l'iniezione incrementa la pressione dei fluidi contenuti nei pori delle rocce in vicinanza di faglie potenzialmente attive. L'aumento di pressione di poro agisce riducendo la resistenza allo scorrimento di una faglia e liberando anzitempo l'energia elastica già accumulata nel volume di roccia circostante, come risultato dei processi geologici naturali.

I serbatoi profondi ideali candidati per l'iniezione di CO₂ sono quelli che ospitano idrocarburi, in quanto il CO₂ iniettato può sostituire i fluidi estratti. Tuttavia esistono severe limitazioni al tasso di iniezione di sicurezza, specialmente dove le rocce hanno una bassa permeabilità ed una scarsa



estensione laterale. Il problema principale non è dovuto alla presenza di grandi faglie in grado di produrre eventi con magnitudo al di sopra della soglia del danno (Magnitudo 4.5). (Esiste una relazione tra la lunghezza di una faglia e la magnitudo). Nelle parti del mondo con buone pratiche edilizie perdite umane e danni richiedono eventi con almeno Magnitudo 6, che corrispondono ad una faglia sorgente lunga almeno qualche decina di km. Ovviamente tali faglie, anche se non affioranti, sono facilmente identificabili con le indagini geofisiche. Questo non succede invece per le faglie con dimensioni minori in grado di generare terremoti piccoli e moderati, che possono comunque rappresentare un problema per la sicurezza dello stoccaggio.

Infatti, l'impatto di questi eventi minori sui serbatoi di CO₂ non è irrilevante. Generalmente le formazioni geologiche usate per lo stoccaggio profondo sono a profondità di circa 2 km, abbastanza profonde da garantire una sigillatura da parte di rocce impermeabili soprastanti, ma non così profonde da incontrare rocce con bassa permeabilità. L'iniezione di grandi volumi di CO₂ per molte decenni può innescare eventi che danneggiano l'integrità delle rocce che fanno da sigillo. Un evento di Magnitudo 4, ben avvertito dalle popolazioni ma non in grado di produrre danni, può invece produrre uno scorrimento di parecchi centimetri su di una faglia di qualche km di lunghezza. Esperimenti di laboratorio hanno mostrato che pochi millimetri di scorrimento sono in grado di aumentare la fratturazione e la permeabilità di una roccia, mentre parecchi centimetri possono creare un condotto idraulico che compromette l'integrità della roccia sigillo, potendo far sfuggire la CO₂ verso la superficie.

Validi esempi di sequestro di CO₂ esistono, ovviamente, specialmente dove l'iniezione viene praticata in rocce molto porose e con grande estensione laterale, fattori che limitano l'aumento di pressione. Un caso emblematico è la formazione Utsira del giacimento di gas Sleipner nel Mare del Nord, dove insieme al gas viene prodotto CO₂, che dopo esser stato separato è stato iniettato in un acquifero salino per una quindicina di anni senza produrre sismicità. In questo caso vi è un altro fattore favorevole, cioè il basso grado di cementazione delle rocce arenarie, che sotto sforzo sono in grado di deformarsi lentamente, prevenendo la formazione di faglie.

Per contribuire in modo significativo alla riduzione dell'emissione di gas serra, è stato calcolato che servirebbero circa 3500 siti simili alla formazione Utsira, localizzati ovviamente dove servono, cioè in vicinanza delle fonti di CO₂. Con un tasso di iniezione di 1 milione di tonnellate di CO₂ per anno, per stoccare 1 miliardo di tonnellate entro il 2050 sarebbe necessaria l'entrata in funzione di circa 85 siti di questo tipo per anno. Un'impresa pressoché impossibile.



Nel mondo esistono oltre 300 progetti pilota di CCS, principalmente a piccola scala. Tra questi solo 8 sono quelli operativi e di questi solo 3 sono realmente dedicati a contrastare il cambiamento climatico (Sleipner e Snøhvit in Norvegia, In Salah in Algeria). Gli altri 5 sono in realtà impianti che iniettano il CO₂ per aumentare il recupero di petrolio, ma non sottraggono definitivamente il carbonio dall'atmosfera.

Sfortunatamente, anche i 3 veri impianti non costituiscono un buon modello per prevedere come le pressioni possono incrementare una volta che l'iniezione sia implementata alla grande scala. Inoltre, in questi esperimenti la pressione viene mantenuta al di sotto del valore in grado di dare origine alla fratturazione nella roccia serbatoio e in quella sigillo. Come abbiamo visto, lo scorrimento di faglie preesistenti non identificate può innescare terremoti piccoli e moderati a valori di pressione del fluido ben al di sotto di quelli che producono la fratturazione idraulica. Gli esempi si vanno accumulando rapidamente, specialmente negli Stati Uniti, dove negli anni scorsi la produzione di shale gas è stata applicata su larga scala e dove si è osservato un drammatico incremento della micro sismicità, con produzione di eventi fino a Magnitudo 3.6. In Oklahoma le attività di iniezione di fluidi di scarto hanno però indotto sismi fino a Magnitudo 5.6, con danni alle abitazioni (Ellsworth 2013). Cosa succederebbe se questo avvenisse in un sito di CCS? Sarebbe sicuro lasciare nel sottosuolo il CO₂ iniettato, laddove la roccia sigillo impermeabile potrebbe esser stata danneggiata?

Fissazione chimica

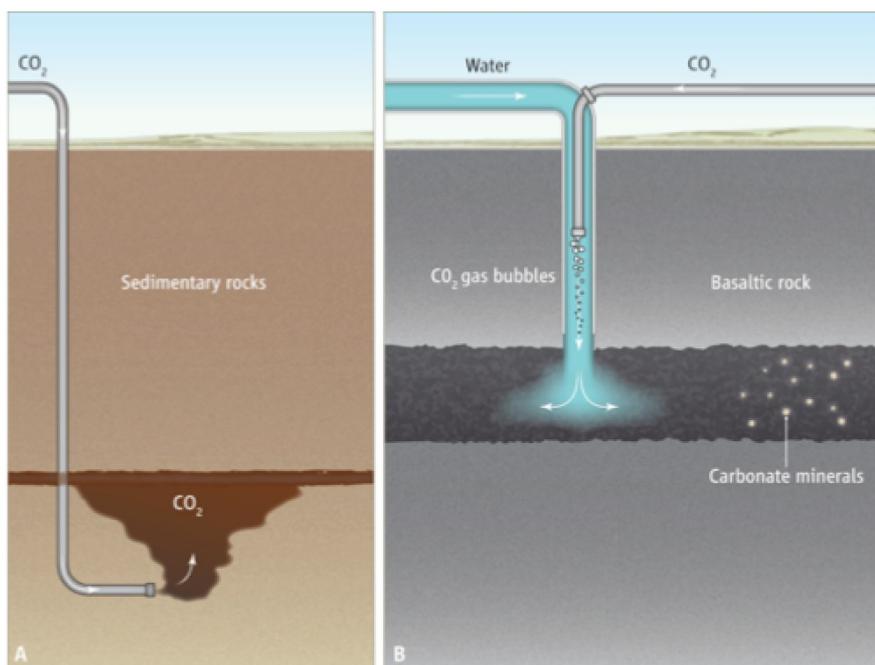
Nel 2005 Wally Broecker, geochimico pioniere delle datazioni tramite radiocarbonio ed isotopi e leader nel raccomandare la limitazione delle emissioni di CO₂, tenne all'università di Reykjavik una lezione sul cambiamento climatico e la conseguente necessità della CCS. Il presidente islandese era presente e fu colpito al punto da proporre a Broecker di fare diventare l'Islanda il primo paese al mondo CO₂ neutrale. Insieme decisero di condurre un esperimento per capire se l'iniezione di CO₂ nella roccia basaltica, di cui l'isola è fatta, sarebbe stato in grado di fissare il CO₂ facendolo reagire col Mg e il Ca dei minerali costituenti il basalto. Tale modalità di fissazione chimica, piuttosto che il semplice stoccaggio sotterraneo, avrebbe consentito di prevenire la fuga in atmosfera del CO₂.

Per evitare il costoso trasporto del CO₂ dal punto di produzione (ad es. dagli impianti di produzione di alluminio) fino al sito di iniezione fu deciso di utilizzare un piccolo impianto di generazione elettrica tramite vapore ad elevata temperatura rilasciato nella zona di rift. La società di energia islandese offrì di isolare il CO₂ e di costruire un pozzo di 500 m di profondità distante circa 2 km da



uno degli impianti di generazione. Per avere una risposta veloce alla domanda se fosse possibile sequestrare in tal modo il CO₂, fu deciso di iniettare CO₂ dissolto in acqua a 25 atmosfere (CarbFix project). Il basso pH della soluzione ottenuta in tal modo avrebbe dissolto preferenzialmente i minerali pirosseno ed olivina contenenti Mg, piuttosto che il feldspato contenente Ca ma anche Al. Questo elemento infatti avrebbe dato origine a minerali argillosi, in grado di costituire una patina sulle superfici, la quale avrebbe rallentato la reazione con il CO₂. La semplice iniezione di acqua si rivelò però inefficiente, in quanto il flusso verso i pozzi costruiti a valle era un ordine di grandezza inferiore a quanto richiesto per verificare velocemente il funzionamento dell'esperimento. Pertanto fu necessario estrarre l'acqua con una pompa. A questo punto fu però necessario introdurre altri accorgimenti per rimuovere dal CO₂ estratto dal vapore geotermico anche altri composti indesiderati come H₂S, N₂, H₂ e CH₄, che creavano altri tipi di problemi.

Le simulazioni effettuate indicano che il CO₂ iniettato verrebbe completamente mineralizzato in 10 anni sotto forma di carbonati (Aradóttir et al. 2012). Se il metodo potesse essere replicato a scala mondiale, potrebbe essere un'alternativa sicura alla semplice iniezione del CO₂ nei bacini sedimentari. Inoltre, la dissoluzione in acqua, piuttosto che la semplice iniezione del CO₂ gassoso, si è dimostrata utile anche per evitare il ritorno in superficie tramite le fratture del basalto. In questo modo, la sigillatura della formazione iniettata e la sua profondità non sarebbero più così importanti come nell'iniezione di solo gas, e questo incrementa la disponibilità di siti. Tuttavia, dato il grande volume di acqua da iniettare, maggiore è il consumo di energia e quindi il costo.



Sigurdur R. Gislason, and Eric H. Oelkers Science 2014; 344:373-374



Metodi alternativi di sequestro del CO₂: a) mediante iniezione di puro gas in rocce sedimentarie porose protette da una formazione di rocce impermeabili; b) mediante iniezione di gas dissolto in acqua all'interno di rocce basaltiche fessurate, prive di copertura impermeabile. La fissazione permanente del CO₂ nei carbonati potrebbe avvenire in pochi anni (da Gislason e Oelkers, 2014).

Teoricamente, in un metro cubo di roccia basaltica possono essere depositati 70 kg di CO₂. Nei continenti il basalto è relativamente abbondante (circa 10%), mentre negli oceani è il costituente principale della parte superficiale della crosta. Tuttavia, nei continenti è concentrato in poche aree, mentre negli oceani sarebbe accessibile a debole profondità solo nelle dorsali sommerse che solcano gli oceani in posizione equidistante dai continenti (l'Islanda ne è una piccola porzione emersa) e nelle poche dorsali trasformati ad esse ortogonali. Essendo le dorsali situate a migliaia di chilometri dalle coste continentali, si pone il problema del trasporto del CO₂ dai centri industriali di produzione, la cui soluzione richiede il tempo e le risorse necessari alla costruzione di gasdotti o di navi dedicate.

In ambito continentale resta inoltre aperta la questione dei danni materiali della sismicità indotta e innescata, che è proporzionale ai volumi iniettati nel sottosuolo e che determina la scarsa accettazione sociale della pratica del sequestro di CO₂ in aree abitate. Nel dicembre 2011 il progetto di CCS di Vattenfall (Brandenburg, Germania) è fallito a causa della forte opposizione della cittadinanza, oltre che per l'impasse politico riguardo alla legislazione tedesca sulla materia.

Una dura realtà

Dal punto di vista del geofisico, Zoback e Gorelick (2012) concludono che non è in discussione se il CCS sia praticabile in un dato sito. La domanda è se sia possibile stoccare nel sottosuolo volumi di CO₂ sufficienti per avere effetto sul cambiamento climatico, considerando anche che modeste perdite dell'1% per migliaia di anni richiederebbero il continuo risequestro, necessario per mantenere condizioni simili a modelli di bassa emissione in assenza di sequestro. Bisogna riconoscere che il CCS a larga scala sarebbe una strategia estremamente costosa e rischiosa.

Purtroppo, vi sono altre considerazioni che sovrastano le conclusioni di Zoback e Gorelick. Vi è un generale consenso sul fatto che per non esporci a rischi inaccettabili l'aumento globale medio di temperatura non dovrebbe superare i 2°C rispetto la temperatura media dell'epoca pre-industriale. È stato stimato che per avere almeno un 50% di possibilità di restare al di sotto dei 2°C durante il secolo corrente, tra il 2011 e il 2050 le emissioni cumulative di CO₂ dovrebbero essere limitate a circa 1100 Gt (Meinshausen et al. 2009). Tuttavia, le emissioni di gas serra collegate alle attuali stime delle riserve di combustibili fossili sono almeno tre volte superiori. Ne consegue che l'obiettivo di restare al di sotto dei 2°C di aumento medio di temperatura è incompatibile coi consumi attuali dei fossili.

McGlade e Ekins (2015) hanno stimato che, globalmente, per non superare i 2°C di aumento medio di temperatura il 35% del petrolio, il 52% del gas e l'88% del carbone dovrebbero essere lasciati sottoterra fino al 2050. Se la pratica del CCS fosse disponibile a partire dal 2025 (ma abbiamo visto che non lo sarà per almeno 30 anni) le percentuali cambierebbero di poco: il 33% del petrolio, il 49% del gas e l'82% del carbone non sarebbero utilizzabili.

La pratica del CCS come parte della soluzione del problema climatico appare dunque un mito già infrantosi di fronte alla dura realtà dei dati. Continuare a sostenerlo serve solo ad illudersi che il nostro sistema economico basato sulla crescita infinita sia ancora praticabile e dunque a non cambiare. Ma questa illusione potrebbe essere fatale, in quanto anche la transizione a una società basata sulle rinnovabili, inevitabile per far fronte sia alla sfida climatica che all'esaurimento del petrolio convenzionale, richiede investimenti che sottraggono una parte dell'energia netta disponibile. Il tasso di investimento in energia rinnovabile necessaria per mantenere l'economia e la



popolazione mondiale dovrebbe aumentare almeno di un ordine di grandezza (Sgouridis et al. 2015). Il tempo stringe, sarebbe bene prendere coscienza del problema, consapevoli che il tremendo sforzo richiesto per mantenere il pianeta entro uno scenario di sicurezza è pari a quello di una mobilitazione da stato di guerra.

Riferimenti

- Aradóttir et al. [Multidimensional reactive transport modeling of CO₂ mineral sequestration in basalts at the Hellisheidi geothermal field, Iceland](#). Int. J. Greenhouse Gas Control, 9, 24-40 (2012)
- Ellsworth W.L. [Injection-induced earthquakes](#). Science 341 (2013).
- Gislason S. R. & Oelkers E. H. [Carbon storage in basalts](#). Science 344, 373-374, (2014).
- McGlade C. & Ekins P. [The geographical distribution of fossil fuels used when limiting global warming to 2°C](#). Nature 517, 187–190 (2015).
- Meinshausen et al. [Greenhouse gas emission targets for limiting global warming to 2°C](#). Nature 458, 1158-1162 (2009).
- Sgouridis S., Bardi U. & Csala D. [A net energy-based analysis for a climate-constrained sustainable Energy transition](#). Physics and Society, arXiv:1503.06832 (2015).
- Zoback M.D. & Gorelick S.M. [Earthquake triggering and large-scale geologic storage of carbon dioxide](#). PNAS (2012).