

# ENOS: PARTECIPARE ALLA RICERCA SULLO STOCCAGGIO GEOLOGICO DI CO<sub>2</sub>



SITO SPERIMENTALE PER LO STOCCAGGIO DI CO<sub>2</sub>  
SAPIENZA UNIVERSITÀ DI ROMA - CERJ - CC BY-NC-ND

IL PROGETTO ENOS È FINANZIATO DALL'UNIONE EUROPEA NELL'AMBITO DEL PROGRAMMA  
DI RICERCA E INNOVAZIONE HORIZON 2020 CON IL CONTRATTO N. 653718



ENOS

# IL CONTESTO DELLA RICERCA ENOS

**LA "VISIONE" DI ENOS PER LO STOCCAGGIO DI CO<sub>2</sub> A TERRA  
IN EUROPA: RAFFORZARE LA SCIENZA PER UNA TECNOLOGIA  
SICURA, ECONOMICA E APPOGGIATA DALLE COMUNITÀ LOCALI**

---

**CREARE UNO SPAZIO CON LE COMUNITÀ LOCALI PER  
RIFLETTERE INSIEME SULLA RICERCA DI ENOS**

---

**IL PROGETTO ENOS E LA COMUNITÀ SCIENTIFICA  
CHE LAVORA SULLO STOCCAGGIO DI CO<sub>2</sub>**

---

**TESTARE SUL CAMPO LE TECNOLOGIE DI STOCCAGGIO**

---

**OSPITARE UN SITO DI STOCCAGGIO**

---

**IL RUOLO DEL CCS PER LO SVILUPPO LOCALE**

---

**LO STOCCAGGIO DI CO<sub>2</sub> NEL CONTESTO  
TECNOLOGICO E TERRITORIALE**

---

**VOI CHE COSA NE PENSATE? I PRO E I CONTRO DEL CCS**

# ASPETTI DELLO STOCCAGGIO DI CO<sub>2</sub> AFFRONTATI IN ENOS

**MIGLIORI STRATEGIE DI MONITORAGGIO DEL COMPORTAMENTO  
DEL CO<sub>2</sub> PER PROTEGGERE L'ACQUA E L'AMBIENTE**

---

**ENOS E LO SVILUPPO DI SITI DI STOCCAGGIO SICURI**

---

**RIDURRE I RISCHI A LIVELLI ACCETTABILI**

---

**ENOS CONTRIBUIRÀ A RIDURRE I COSTI DELLO STOCCAGGIO DI CO<sub>2</sub>**

---

**ENOS ESPLODERÀ COME APPORTARE DEI VANTAGGI ECONOMICI  
OLTRE A RIDURRE LE EMISSIONI DI CO<sub>2</sub>**

---

**ENOS MIGLIORERÀ LA TEORIA E LA PRATICA DEL  
MONITORAGGIO DELLO STOCCAGGIO DI CO<sub>2</sub>**

---

**DARE LA POSSIBILITÀ ALLA POPOLAZIONE DI INFORMARSI E DI  
SEGUIRE LO SVILUPPO DI UN PROGETTO PILOTA DI STOCCAGGIO**

---

**GESTIRE LA COMPLESSITÀ DELLO STOCCAGGIO CON  
LE SIMULAZIONI COMPUTERIZZATE**

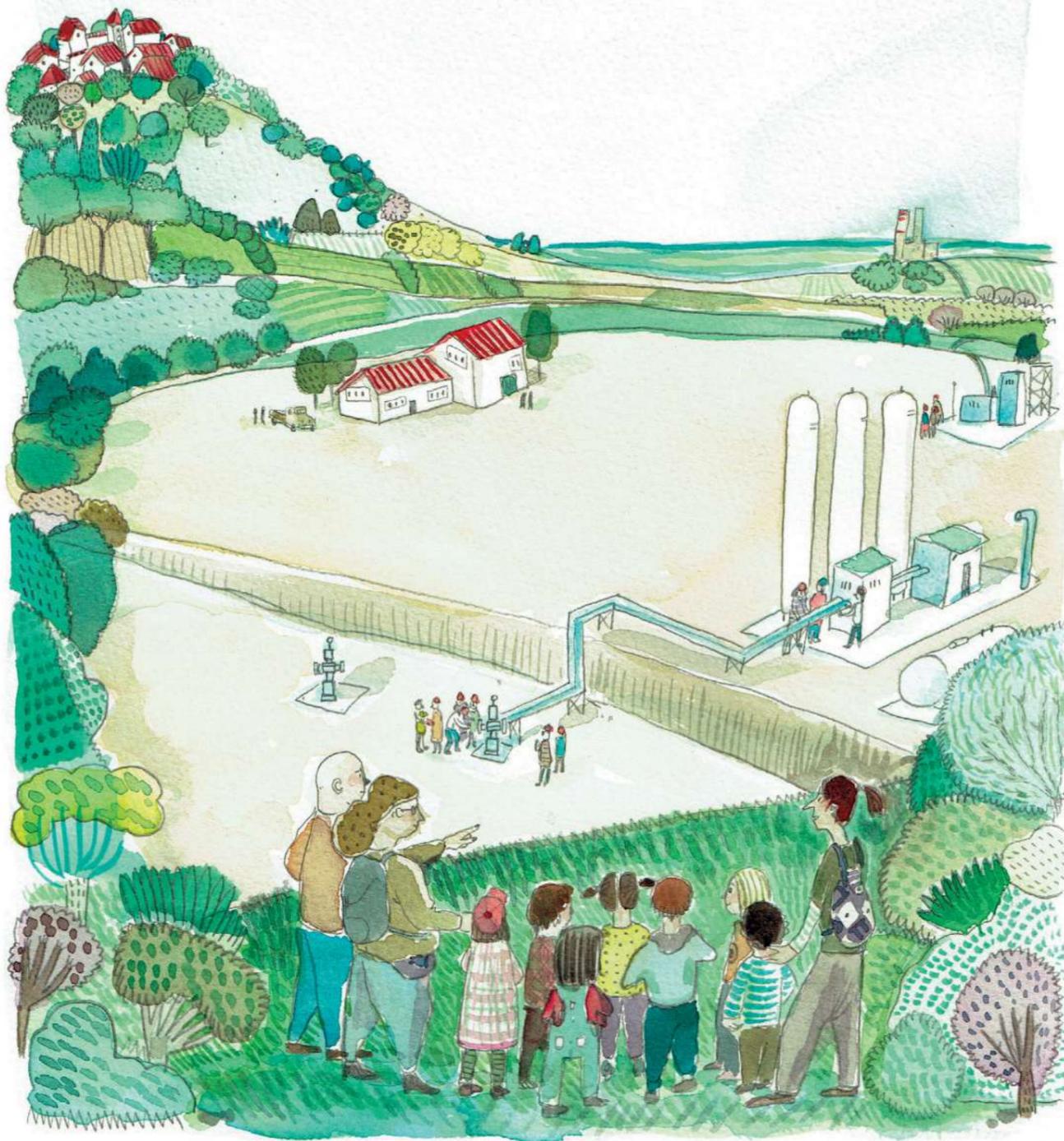
---

**ALIMENTARE LA COLLABORAZIONE INTERNAZIONALE**

---

**MIGLIORARE LA PREPARAZIONE DI  
RICERCATORI E PROFESSIONISTI NEL CAMPO DELLO  
STOCCAGGIO GEOLOGICO DI CO<sub>2</sub>**

# LA "VISIONE" DI ENOS PER LO STOCCAGGIO DI CO<sub>2</sub> IN EUROPA



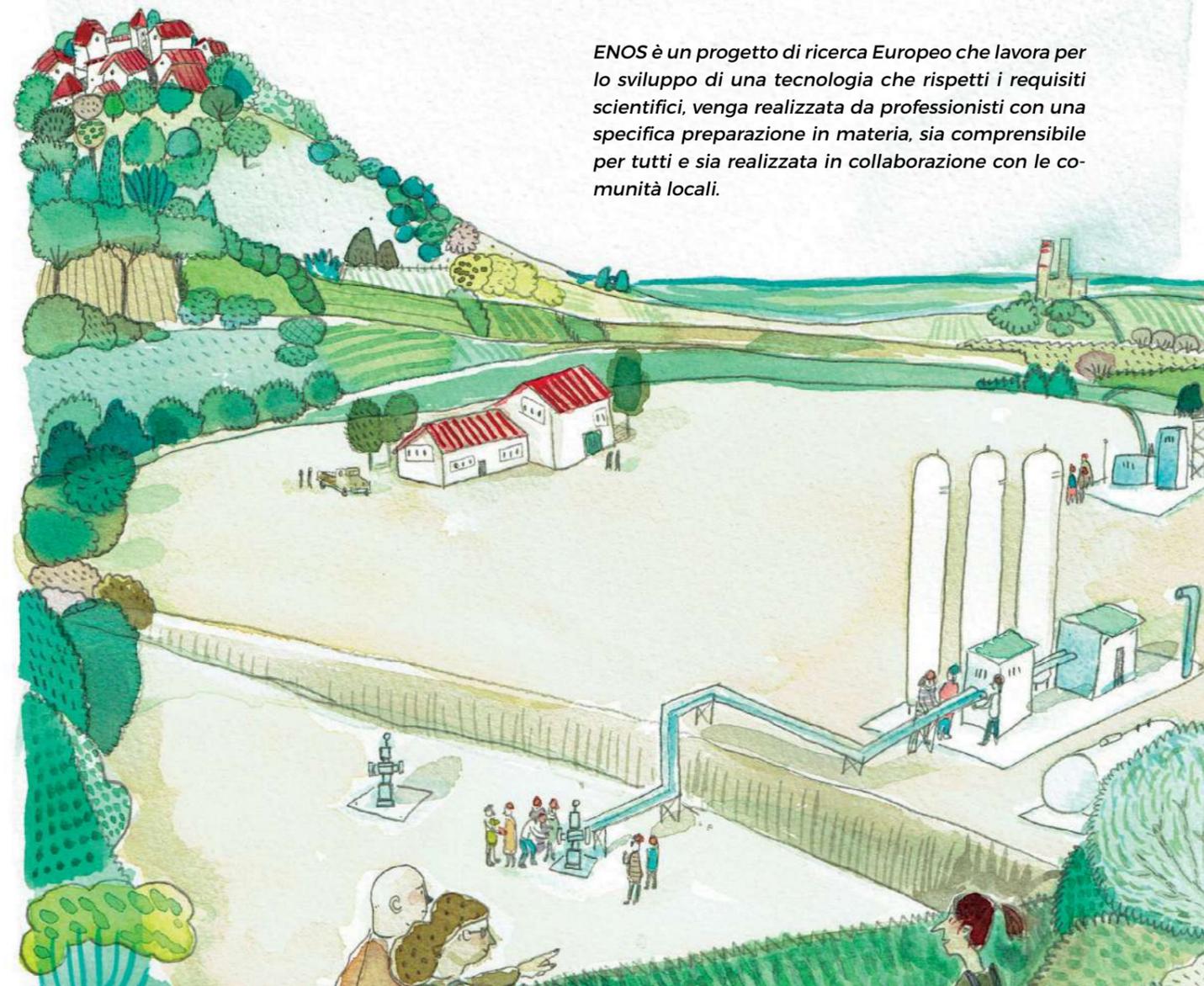
SITO PILOTA DI STOCCAGGIO DI CO<sub>2</sub>  
SAPIENZA UNIVERSITÀ DI ROMA - CER1 - CC BY NC ND

IL PROGETTO ENOS È FINANZIATO DALL'UNIONE EUROPEA NELL'AMBITO DEL PROGRAMMA DI RICERCA E INNOVAZIONE HORIZON 2020 CON IL CONTRATTO N. 653718



## LA "VISIONE" DI ENOS PER LO STOCCAGGIO DI CO<sub>2</sub> A TERRA IN EUROPA: RAFFORZARE LA SCIENZA PER UNA TECNOLOGIA SICURA, ECONOMICA E APPOGGIATA DALLE COMUNITÀ LOCALI

La Cattura e lo Stoccaggio del biossido di Carbonio (CCS, dall'inglese Carbon dioxide Capture and Storage) potrebbe svolgere un ruolo chiave per soddisfare l'ambizioso obiettivo fissato dall'Unione Europea di ridurre i gas serra dell'80%, rispetto ai livelli del 1990, entro il 2050. Perché questo possa avvenire, la tecnologia deve avviarsi rapidamente verso l'implementazione su vasta scala, individuando soluzioni per lo stoccaggio geologico sia con base a terra, iniettando nel sottosuolo dalla terraferma, sia a mare, iniettando sotto il fondo marino da una piattaforma sul mare. In particolare, lo stoccaggio a terra offre maggiore flessibilità e riduce le infrastrutture e i costi di monitoraggio.



La possibilità di realizzare lo stoccaggio a terra può essere di supporto alle strategie per ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub> (ovvero biossido di carbonio detto anche comunemente anidride carbonica) a livello territoriale, aumentando la sicurezza dell'approvvigionamento energetico e le attività economiche locali e garantendo posti di lavoro in Europa.

## ENOS RISPONDE ALLA NECESSITÀ DI PERFEZIONARE LA TECNOLOGIA PER L'APPLICAZIONE A TERRA

e di individuare le procedure migliori per garantirne la riuscita, sia dal punto di vista tecnico che sociale. Le ricerche che si svolgono in ENOS mirano a rendere i siti di stoccaggio di CO<sub>2</sub> sempre più sicuri, economici e sinergici con altre attività economiche. ENOS lavorerà per lo sviluppo, la messa a punto e la dimostrazione di tecnologie e metodi chiave direttamente sul terreno, in condizioni simili a quelle di un vero e proprio sito di stoccaggio. Le procedure migliori saranno identificate sulla base dell'esperienza acquisita con gli esperimenti sul campo e con la partecipazione dei rappresentanti della realtà locale e dei cittadini.

*ENOS è un progetto di ricerca Europeo che lavora per lo sviluppo di una tecnologia che rispetti i requisiti scientifici, venga realizzata da professionisti con una specifica preparazione in materia, sia comprensibile per tutti e sia realizzata in collaborazione con le comunità locali.*

# RIFLETTERE INSIEME SULLA RICERCA DI ENOS



## CREARE UNO SPAZIO CON LE COMUNITÀ LOCALI PER RIFLETTERE INSIEME SULLA RICERCA DI ENOS

Il coordinamento degli sviluppi della ricerca con le comunità locali è una delle caratteristiche fondamentali del progetto ENOS. Si tratta di un concetto innovativo, pensato per sostenere la gestione delle innovazioni tecnologiche ad alta complessità. Quando i tecnici sviluppano tecnologie su scala industriale senza coinvolgere la società civile, si crea spesso un divario fra la percezione della tecnologia degli addetti ai lavori e quella del pubblico non specializzato. Questo può condurre a scelte tecnologiche non del tutto soddisfacenti da un punto di vista sociale. Creare delle opportunità affinché alcuni membri della società civile possano essere coinvolti nel processo di ricerca, può aiutare i ricercatori a trovare soluzioni più rispondenti ai desideri e alle preoccupazioni del pubblico.

Mentre altri settori non sono nuovi a processi collaborativi di ricerca tra scienza e società, per le tecnologie CCS questo approccio è agli inizi. Inoltre, questi studi in genere prevedono la partecipazione di parti sociali con un interesse tecnico o di organizzazioni della società civile, piuttosto che della popolazione che vive vicino a un sito di stoccaggio reale o potenziale, nonostante quest'ultima sia la parte maggiormente interessata dalle scelte tecniche fatte da scienziati e operatori industriali.

ENOS quindi darà la priorità alla popolazione locale, che potrà essere parte attiva nel definire le buone norme per la realizzazione dei siti di stoccaggio. Ricercatori e cittadini potranno esplorare insieme i diversi aspetti della tecnologia e della sua realizzazione, approfondire i problemi che il progetto affronterà e cercare insieme le migliori soluzioni e procedure per lo sviluppo dei siti di stoccaggio di CO<sub>2</sub>.

## IL LAVORO CON LE COMUNITÀ LOCALI SARÀ SVOLTO IN QUATTRO PAESI:

in Italia, nella zona del Sulcis, dove negli ultimi anni sono stati condotti studi di caratterizzazione geologica, per acquisire le conoscenze necessarie in vista di un possibile sito pilota; in Spagna, a Hontomin, dove è in funzione un sito pilota avanzato; nei Paesi Bassi, dove al momento non è previsto un progetto specifico, ma potrebbero esserci dei vantaggi interessanti associando stoccaggio e uso di CO<sub>2</sub>; e nel Regno Unito, presso il sito sperimentale GeoEnergy Test Bed (GTB), a Sutton Bonington.



DIALOGO DI GRUPPO.  
SAPIENZA UNIVERSITÀ DI ROMA - CER1 - CC BY NC ND

# LA COMUNITÀ SCIENTIFICA CHE STUDIA LO STOCCAGGIO DI CO<sub>2</sub>



## IL PROGETTO ENOS E LA COMUNITÀ SCIENTIFICA CHE LAVORA SULLO STOCCAGGIO DI CO<sub>2</sub>

Il progetto ENOS si inserisce nel più ampio lavoro che il CO<sub>2</sub>GeoNet, il Network di Eccellenza Europeo sullo Stoccaggio Geologico di CO<sub>2</sub>, ha portato avanti negli ultimi tredici anni. La comunità scientifica rappresentata nel Network si è assunta un impegno a lungo termine nella ricerca sullo stoccaggio di CO<sub>2</sub>, per rafforzare le basi scientifiche di questa tecnologia. Il CO<sub>2</sub>GeoNet si è formato nel 2004, nell'ambito del Sesto Programma Quadro Europeo per la Ricerca e lo Sviluppo Tecnologico, con l'obiettivo di sostenere la collaborazione tra i vari gruppi di ricerca che operano in Europa su questo tema. La Commissione Europea (CE) ha ritenuto importante unire gli sforzi, visto il grande potenziale legato alla cattura e stoccaggio del biossido di carbonio, per ridurre in maniera significativa le emissioni di CO<sub>2</sub> in settori che fanno uso intensivo di combustibili fossili, come avviene nella generazione di energia elettrica e nell'industria pesante. Nel 2009, al termine del finanziamento comunitario, il CO<sub>2</sub>GeoNet è diventato un'associazione scientifica senza fini di lucro secondo la legge francese, proseguendo il suo impegno per il coordinamento,

la produzione e la diffusione della ricerca sullo stoccaggio di CO<sub>2</sub>. Con il passare del tempo la comunità è cresciuta sempre di più. Attualmente comprende 26 enti di ricerca provenienti da 19 Paesi e ha stabilito legami con molti altri istituti e reti di ricerca in tutto il mondo. Di recente, il CO<sub>2</sub>GeoNet ha identificato la ricerca sullo stoccaggio a terra come una priorità nell'attuale contesto, unitamente alla necessità di un approccio integrato che comprenda le questioni scientifiche, tecniche, sociali, economiche, normative, educative e di comunicazione. Tutto questo ha portato al progetto ENOS, che mira a colmare le lacune che ancora esistono, per poter definire le migliori pratiche per lo stoccaggio a terra in Europa.

## ENOS UNIRÀ IL CONTRIBUTO DI MOLTE DISCIPLINE E L'APPORTO DELLA SOCIETÀ CIVILE,

inclusi i cittadini e una varietà di potenziali utenti finali. Avvalendosi dell'esperienza del CO<sub>2</sub>GeoNet, ENOS raffinerà ulteriormente la tecnologia e la sua sicurezza. Cercherà di identificare le possibili sinergie fra stoccaggio di CO<sub>2</sub> e altre attività economiche, di comprendere come coordinarne lo sviluppo con le comunità locali e come aprire la strada a nuovi progetti pilota, contribuendo alla formazione e alla comunicazione, in collaborazione con altri centri di ricerca internazionali.

PARTENARIATO EUROPEO DI ENOS  
SAPIENZA UNIVERSITÀ DI ROMA - CERI - CC BY NC ND

# TESTARE SUL CAMPO LE TECNOLOGIE DI STOCCAGGIO



## TESTARE SUL CAMPO LE TECNOLOGIE DI STOCCAGGIO

I Livelli di Maturità Tecnologica (TRLs) sono dei criteri che definiscono il livello di sviluppo raggiunto da una tecnologia, fino al punto in cui essa è pronta per essere applicata. Classificano con numeri da 1 a 9 ogni fase di sviluppo, a partire dall'idea iniziale, passando per i test di laboratorio e la verifica sul campo, fino al prodotto pienamente operativo. ENOS sperimenterà sul terreno alcune tecnologie che hanno già ricevuto dimostrazione in laboratorio. In tal modo è possibile capirne il funzionamento in condizioni simili a quelle di futura applicazione presso siti di stoccaggio industriali.

Le tecnologie prese in considerazione sono quelle più utili per consentire lo stoccaggio di CO<sub>2</sub> a terra, per migliorare le operazioni di caratterizzazione dei siti, la valutazione dei rischi, il monitoraggio e la gestione dei rischi di fuoriuscita del CO<sub>2</sub>.

Nel sito pilota di Hontomin, in Spagna, verranno sottoposti a verifica strumenti relativi a un'ampia gam-

ma di tecnologie e metodologie per le operazioni di iniezione e monitoraggio. Presso il GeoEnergy TestBed nel Regno Unito e presso il Sulcis Fault Lab in Italia, verranno sviluppati strumenti adatti a monitorare le falde acquifere, la cui protezione è prioritaria in tutte le operazioni di stoccaggio, migliorandone la sensibilità e cercando soluzioni che consentano di abbassare i costi del loro impiego a lungo termine.

**ELEVANDO IL LIVELLO DI MATURITÀ DELLA TECNOLOGIA, ENOS CONTRIBUIRÀ A RENDERLA PIÙ RAPIDAMENTE DISPONIBILE AGLI OPERATORI COMMERCIALI,**

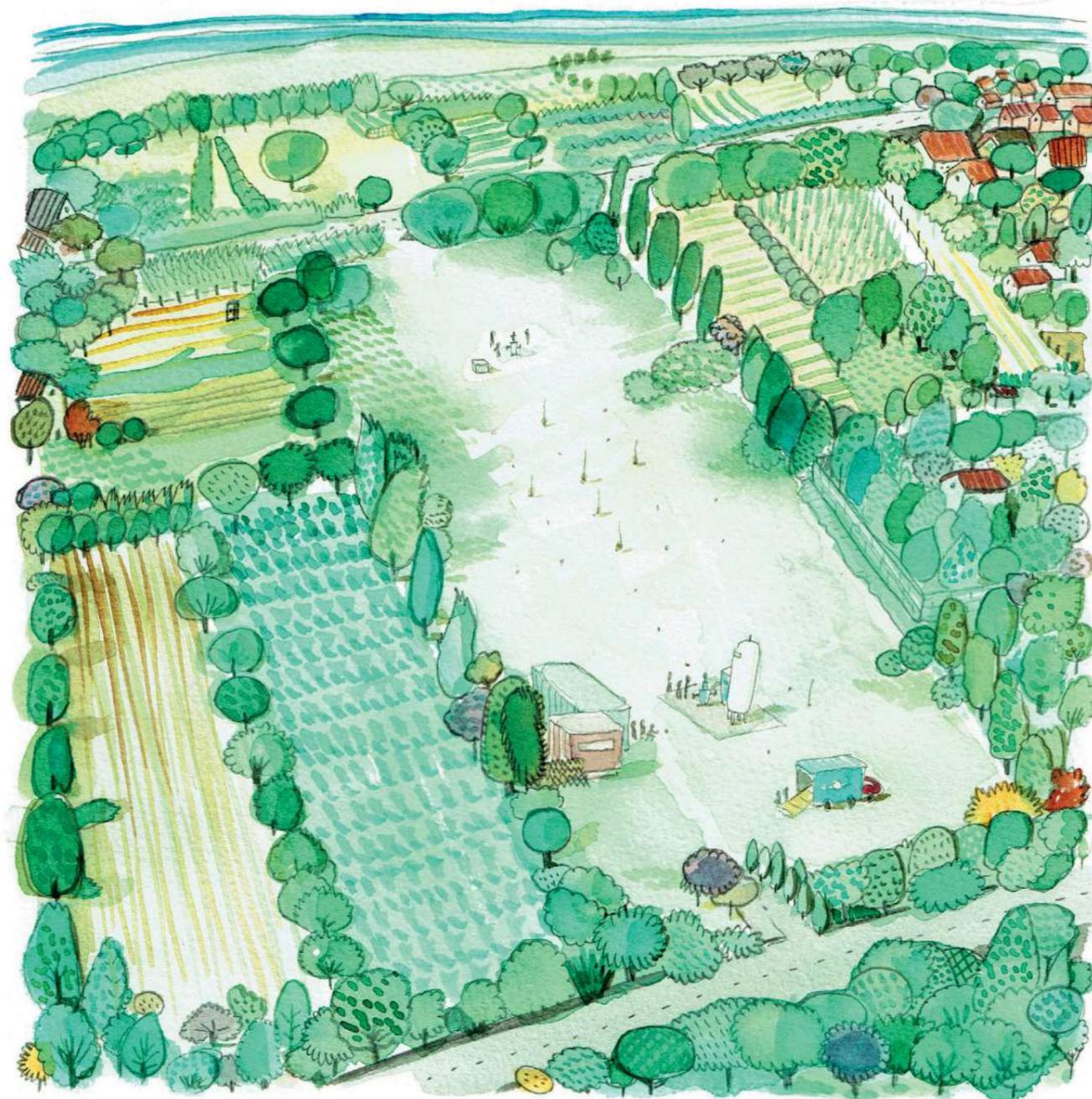
un passaggio che è fondamentale per consentire una valutazione più precisa degli investimenti finanziari, necessari alla realizzazione di un sito di stoccaggio.

La verifica delle tecnologie sarà conseguita con un'ampia collaborazione paneuropea e globale, scambiando esperienze con ricercatori impegnati in altri siti, in tutto il mondo. Le conoscenze acquisite verranno integrate nella formazione e nell'istruzione tramite master universitari, corsi di formazione estivi e online.



DALL'IDEA ALLA REALIZZAZIONE  
SAPIENZA UNIVERSITÀ DI ROMA - CER1 - CC BY NC ND

# OSPITARE UN SITO DI STOCCAGGIO



PANORAMICA ESPERIMENTO DI INIEZIONE DI CO<sub>2</sub>  
SAPIENZA UNIVERSITÀ DI ROMA - CERI - CC BY NC ND

## OSPITARE UN SITO DI STOCCAGGIO

Se in futuro le tecnologie CCS saranno adottate su larga scala, a molte comunità potrebbe esser chiesto di ospitare un sito di stoccaggio di CO<sub>2</sub>. Questo che cosa potrebbe comportare? In ENOS vorremmo contribuire a rispondere a questa domanda, sia fornendo informazioni sugli aspetti pratici che coinvolgono la popolazione, sia raccogliendo idee ed esperienze dalle comunità locali che ospitano i siti di ricerca.

Esistono diversi tipi di siti, per lo studio o l'implementazione dello stoccaggio di CO<sub>2</sub>. Si può distinguere fra:

**Sito sperimentale:** laboratorio naturale in cui vengono sviluppate o testate tecnologie specifiche. L'obiettivo non è lo stoccaggio di CO<sub>2</sub>, bensì la conduzione di esperimenti su particolari argomenti, usando piccole quantità di CO<sub>2</sub>, per migliorare il monitoraggio dei siti, testare nuovi strumenti e ridurre il costo, raccogliere dati per creare modelli al computer e diversi altri obiettivi.

**Sito pilota:** ha lo scopo di provare tutto il processo, la tecnologia e il concetto di stoccaggio nel suo insieme. Pertanto, implementa su scala ridotta le stesse operazioni che verrebbero messe in atto da un progetto di stoccaggio dimostrativo o industriale. Le quantità di CO<sub>2</sub> iniettate sono esigue, ma in questo caso l'obiettivo è quello di verificare come funzionano un piccolo serbatoio di stoccaggio in un ambiente reale, testare strumenti e strategie di iniezione, strategie di monitoraggio e tutti gli altri aspetti che verrebbero considerati per un sito di stoccaggio vero e proprio.

**Sito dimostrativo:** la tecnologia viene collaudata in grande scala per dimostrare che è matura per essere commercializzata. Lo scopo non è tanto quello di dimostrare che funziona - cosa che in linea di principio è già stata dimostrata nei siti pilota - quanto piuttosto di ottimizzare tutti i processi, che sono influenzati dalla scala di grandezza e ridurre i costi. Può diventare un vero e proprio sito di stoccaggio.

**Sito di stoccaggio industriale:** tecnologia pienamente sviluppata. Lo stoccaggio di CO<sub>2</sub> viene intrapreso o per ridurre le emissioni per ragioni climatiche o anche in concomitanza con altri fini economici, come per il recupero assistito di petrolio o altri utilizzi del CO<sub>2</sub>.

Sia i siti sperimentali, sia quelli pilota, sono essenziali per un buon sviluppo della tecnologia. Per testare una tecnologia bisogna avvalersi di esperimenti pratici, che aiutino a trovare i punti critici e a risolverli.

Anche le installazioni su piccola scala sono cruciali per individuare e affrontare le sfide ancora irrisolte, per perfezionare e portare la tecnologia a funzionare sempre più in condizioni di massima efficienza, con il minor costo ed impatto possibile.

I siti pilota e quelli dimostrativi, consolidano la fiducia nella capacità delle rocce del sottosuolo di consentire lo stoccaggio sicuro di CO<sub>2</sub>, mentre la dimostrazione del CCS a livello locale incoraggia lo sviluppo di ulteriori progetti. Finora, in Europa, lo stoccaggio a terra è stato testato e dimostrato solo in pochi siti pilota (per esempio a Ketzin - Germania, Lacq-Rousse - Francia, e di recente a Hontomin - Spagna). I siti pilota aiutano la ricerca a progredire e sono complementari alla dimostrazione e all'impiego industriale. Sono inoltre uno strumento molto importante per ampliare e rafforzare alcuni settori geo-tecnologici, necessari per la diffusione futura del CCS, come l'ingegneria mineraria e delle perforazioni, l'esplorazione geofisica, la sedimentologia, i laboratori geo-scientifici o la consulenza geologica. Ciò è particolarmente necessario in Paesi con scarse risorse di idrocarburi, dove questi settori potrebbero non essere così all'avanguardia. I progetti pilota forniranno anche dati per altre tecnologie, come la geotermia, il recupero assistito di petrolio (EOR), ecc.. La comprensione di quali siano gli aspetti rilevanti per le comunità locali in relazione alla selezione, allo sviluppo e al funzionamento dei siti di stoccaggio, è ancora limitata. Il grado di variabilità delle comunità e dei siti è molto elevato e il coordinamento dei requisiti geologici, ingegneristici e sociali è una parte importante della fase preparatoria di un sito di stoccaggio. È richiesto un processo specifico per ogni sito. È pertanto necessario acquisire maggiore esperienza per capire come sviluppare un processo individualizzato di questo tipo.

## ENOS INTENDE INTERAGIRE CON GLI ABITANTI LOCALI E ALTRE PARTI SOCIALI INTERESSATE IN QUATTRO CONTESTI DIVERSI:

due siti sperimentali, uno in Italia e uno nel Regno Unito; un sito pilota in Spagna e un'area altamente industrializzata dei Paesi Bassi, dove lo stoccaggio potrebbe trovare interessanti applicazioni associate all'utilizzo del CO<sub>2</sub>. ENOS lavorerà anche nella Repubblica Ceca, per esplorare la possibilità di riconvertire un giacimento di gas e petrolio ormai esaurito in un sito pilota di stoccaggio. Ospitando un sito sperimentale o un sito pilota nel proprio territorio, le comunità possono offrire un contributo prezioso all'innovazione scientifica e tecnologica, e derivarne una maggiore conoscenza delle risorse geologiche locali, che possono usare a proprio beneficio anche per altri scopi.

# RUOLO DEL CCS PER LO SVILUPPO LOCALE



## IL RUOLO DEL CCS PER LO SVILUPPO LOCALE

Il CCS può consentire una sostanziale riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>, contribuendo così a mitigare i cambiamenti climatici a livello globale. Tuttavia, i benefici che potrebbe portare allo sviluppo locale saranno cruciali per le comunità che decideranno di ospitare un sito di stoccaggio. Fino ad oggi, i vantaggi locali del CCS sono stati poco studiati, in quanto la ricerca si è concentrata sulla tecnologia in se stessa. Inoltre, molti studi si sono focalizzati sullo stoccaggio a mare, dato che l'Europa ha un grande potenziale di stoccaggio nel Mare del Nord. Tuttavia, se lo stoccaggio deve essere realizzato su vasta scala, sarà necessario implementarlo anche a terra, dove inoltre è più economico e più facile da monitorare. Pertanto, la comprensione di tutti gli aspetti legati all'applicazione dello stoccaggio a terra, inclusi i vantaggi per le comunità locali, è più importante che mai. Per le comunità locali, infatti, è essenziale sapere che la ridu-

zione delle emissioni di CO<sub>2</sub> non avverrà a loro spese o in modi che potrebbero rivelarsi dannosi per loro.

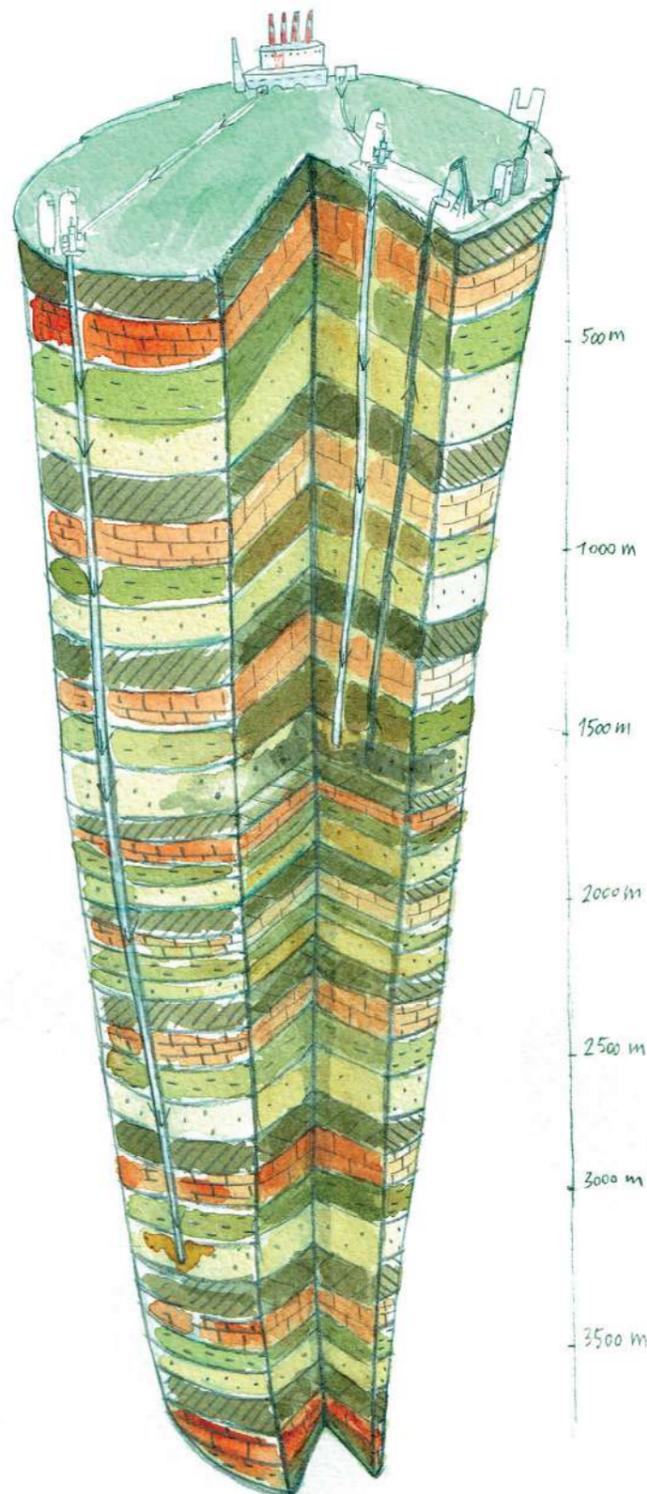
**ENOS MIGLIORERÀ LE NOSTRE CONOSCENZE SUI MODI IN CUI L'IMPLEMENTAZIONE DEL CCS, E DELLO STOCCAGGIO DI CO<sub>2</sub> IN PARTICOLARE, PUÒ AVVANTAGGIARE LA SITUAZIONE LOCALE,**

in materia di ambiente per ridurre l'inquinamento, favorendo l'occupazione e le attività economiche in generale. I ricercatori cercheranno di capire meglio, insieme alle parti sociali interessate e ai cittadini, come la presenza di un sito di stoccaggio possa, in alcuni casi, apportare dei vantaggi per il territorio, determinando, per esempio, un maggiore sviluppo tecnologico o commerciale. La possibile implementazione del CCS sarà valutata tenendo in considerazione lo specifico contesto socio-economico del territorio interessato.



DECIDERE INSIEME  
SAPIENZA UNIVERSITÀ DI ROMA - CER1 - CC BY NC ND

# LO STOCCAGGIO DI CO<sub>2</sub> NEL CONTESTO TERRITORIALE E TECNOLOGICO



STOCCAGGIO DI CO<sub>2</sub> E CO<sub>2</sub>-EOR  
SAPIENZA UNIVERSITÀ DI ROMA - CER1 - CC BY NC ND

## LO STOCCAGGIO DI CO<sub>2</sub> NEL CONTESTO TECNOLOGICO E TERRITORIALE

Quando proviamo a immaginare la realizzazione dello stoccaggio di CO<sub>2</sub>, dobbiamo evitare di vederlo come una cosa isolata. Per avere una comprensione più completa dello stoccaggio geologico nel contesto territoriale, è importante considerarlo in relazione ad altre tecnologie o processi industriali che hanno luogo sia in superficie che nel sottosuolo.

La filiera della cattura e dello stoccaggio del biossido di carbonio (CCS) è formata da diversi elementi e le distanze tra di essi sono fondamentali. Lo stoccaggio non può essere separato dalla cattura del CO<sub>2</sub>, laddove viene emesso, e dal trasporto dello stesso fino al sito di stoccaggio. Pertanto, l'ubicazione del sito di stoccaggio, che è determinata prima di tutto dalle caratteristiche geologiche dell'area, sarà anche in relazione alla posizione dei grandi centri di emissione. Collegare i punti di emissione del CO<sub>2</sub> del settore elettrico e industriale, con i luoghi dove il CO<sub>2</sub> può essere stoccato, richiede il coordinamento di parecchie industrie ad alto tasso di emissioni di CO<sub>2</sub> e la progettazione di un sistema generale per ridurre le emissioni. Le aziende con grandi emissioni di CO<sub>2</sub>, che non abbiano la possibilità di stoccaggio nelle vicinanze, potrebbero anche aver bisogno di utilizzare tecnologie per il trasporto a lunga distanza, attraverso condutture o navi e, in alcuni casi, di ricorrere ad accordi transfrontalieri per lo stoccaggio del CO<sub>2</sub> prodotto in un Paese, in una roccia serbatoio che sia disponibile in un Paese confinante.

Le tecniche CCS si collegano anche in una varietà di modi alle attività del settore petrolifero. Il gas naturale che viene estratto, può essere molto ricco di CO<sub>2</sub>. In tal caso, per poter commercializzare il metano, le aziende estrattive hanno bisogno di separarlo dal CO<sub>2</sub>. Attraverso lo stoccaggio, è possibile re-iniettare il CO<sub>2</sub> nel sottosuolo, evitandone il rilascio nell'atmosfera. Abbiamo poi l'iniezione di CO<sub>2</sub> contestualmente all'estrazione di gas naturale e petrolio, un'operazione denominata "recupero assistito di idrocarburi" (EOR, dall'inglese Enhanced Oil Recovery). È una tecnologia che può essere usata quando i giacimenti di petrolio e gas naturale sono quasi esauriti, per facilitare l'estrazione degli idrocarburi restanti. Infine, lo stoccaggio di CO<sub>2</sub> può integrare le tecnologie estrattive per ripristinare la pressione nei giacimenti di gas naturale, sia in fase di sfruttamento, sia

già esauriti, evitando così i fenomeni di subsidenza (cedimento del terreno).

Insieme ad altre tecnologie, lo stoccaggio di CO<sub>2</sub> può aiutarci a raggiungere emissioni "negative" e a sfruttare meglio l'energia prodotta da fonti rinnovabili. Per esempio, quando produciamo biomassa, questa assorbe CO<sub>2</sub> dall'aria per fotosintesi, agendo come un meccanismo naturale di cattura di CO<sub>2</sub>. Se poi bruciamo la biomassa per produrre energia e catturiamo e stocchiamo il biossido di carbonio rilasciato durante la combustione, non solo evitiamo l'emissione di CO<sub>2</sub> ma ne sottraiamo anche all'atmosfera.

## PER QUANTO RIGUARDA LE FONTI RINNOVABILI, LO STOCCAGGIO DI CO<sub>2</sub> POTREBBE CONSENTIRE UN UTILIZZO PIÙ COMPLETO DELL'ENERGIA PRODOTTA.

Poiché non possiamo "regolare" il sole e il vento, ci sono momenti in cui gli impianti alimentati da fonti rinnovabili producono più energia rispetto al fabbisogno. Questa energia potrebbe essere utilizzata per produrre idrocarburi sintetici con il CO<sub>2</sub>. Sviluppando in maniera congiunta lo stoccaggio e l'utilizzo di CO<sub>2</sub>, si potrebbero sfruttare i picchi di energia da fonti rinnovabili per fornire energia nei periodi di bassa produzione. Esistono anche altri usi del CO<sub>2</sub> che potrebbero essere associati allo stoccaggio e che richiedono complesse associazioni tecnologiche e industriali, come è il caso dell'uso del CO<sub>2</sub> nel settore agricolo, per esempio nelle serre, per aumentare il tasso di crescita delle piante.

Infine, una questione delicata e importante riguarda il rapporto fra le operazioni di stoccaggio e altri usi del sottosuolo, con relative tecnologie. Sempre di più, il sottosuolo è oggetto di operazioni diverse, dall'essere una fonte di risorse (come idrocarburi, minerali o energia geotermica), al servire per lo stoccaggio temporaneo di risorse (come i gas naturali) o come luogo di deposito dei rifiuti (spazzatura, liquami industriali, scorie radioattive). Quando si valutano le possibili aree di stoccaggio e nel procedere poi al loro utilizzo, le altre forme di sfruttamento del sottosuolo devono essere prese in considerazione per analizzare le possibili interazioni ed evitare interferenze o conflitti d'interesse fra le tecnologie. Poiché qualsiasi uso del sottosuolo porta con sé un potenziale impatto, la questione deve essere affrontata per ridurlo al minimo. Quando molti di questi impieghi del sottosuolo insistono sulla stessa area, il lavoro di coordinamento e integrazione diventa essenziale per garantire un uso sicuro ed efficace delle risorse locali.

# VOI CHE COSA NE PENSATE? I PRO E I CONTRO DEL CCS



CONCETTO DELLO STOCCAGGIO GEOLOGICO DI CO<sub>2</sub>  
SAPIENZA UNIVERSITÀ DI ROMA - CERJ - CC BY NC ND

## VOI CHE COSA NE PENSATE? I PRO E I CONTRO DEL CCS

Il CCS è una tecnologia che permette di stoccare il CO<sub>2</sub> a lungo termine in maniera sicura. Si fonda su una solida base scientifica e un ampio corpo di conoscenze derivate dal settore petrolifero. Naturalmente, come molte altre tecnologie in grado di migliorare la qualità della nostra vita, il CCS può presentare aspetti problematici, che devono essere riconosciuti e, per quanto possibile, risolti. Inoltre, nel decidere se realizzarlo o meno, occorre tenere in considerazione tutte le altre opzioni tecnologiche per la riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>, identificando quali siano le scelte migliori ad un dato momento, in un dato contesto. Una valutazione corretta della tecnologia e del suo possibile ruolo dovrà quindi poggiare su un'equilibrata considerazione dei vantaggi e degli svantaggi collegati alla sua realizzazione. Sebbene questo tipo di analisi non sia l'obiettivo di ENOS, può essere utile, per coloro che non hanno familiarità con il CCS, riassumere la discussione pubblica sui pro e i contro di questa tecnologia. Si tratta di una questione complessa e ci rendiamo conto che non sarà possibile darne una presentazione completa, esauriente o del tutto imparziale. Entro i limiti del nostro punto di vista come ricercatori, vorremmo solo provare a illustrare brevemente quelli che sembrano essere i punti di forza o gli argomenti più importanti relativi allo stoccaggio di CO<sub>2</sub>. Cercheremo, per quanto possibile, di fornire elementi utili ad alimentare la discussione e la riflessione, in modo che anche persone che non hanno mai sentito parlare del CCS prima d'ora, possano iniziare a considerarlo. Speriamo che questo possa essere un punto di partenza per lo scambio, durante le attività di ENOS, su tutti quegli aspetti che sono importanti per tutti i soggetti coin-

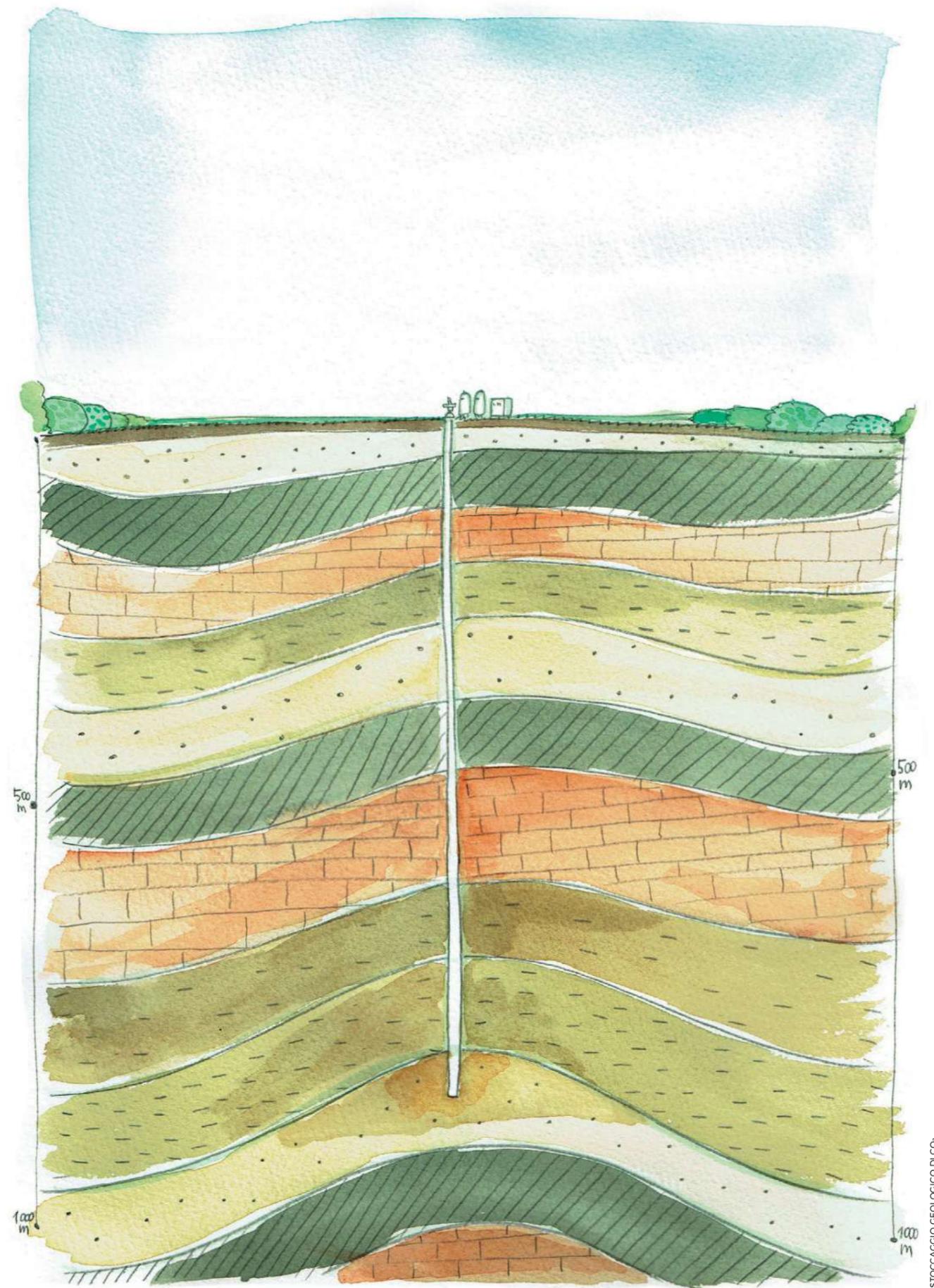
volti: ricercatori, cittadini, politici, attivisti ambientali, operatori industriali e altre parti sociali. Certamente, per noi che facciamo ricerca sul CCS, sarà soprattutto interessante ascoltare il punto di vista dei non addetti ai lavori, come i cittadini e gli altri attori sociali che parteciperanno alle attività di ENOS.

### Riportare il carbonio nel sottosuolo

Ogni giorno, in tutto il mondo, consumiamo notevoli quantità di combustibili fossili. In molti casi, la combustione massiccia di combustibili fossili avviene presso grosse centrali di generazione elettrica o grandi impianti industriali. Se ci soffermiamo un momento sulla sostanza che viene bruciata, ci rendiamo conto che il carbonio, di cui sono costituiti i combustibili fossili, è lo stesso carbonio che, una volta rilasciato in atmosfera, forma il problematico CO<sub>2</sub> che sta contribuendo a riscaldare il clima. Lo stoccaggio geologico di CO<sub>2</sub> ha il grosso vantaggio di permetterci di rimettere questo stesso carbonio nel sottosuolo, da dove lo abbiamo estratto. Questa può essere una "soluzione ponte" che ci dà il tempo necessario per la transizione verso altre tecnologie a basse emissioni. C'è chi critica questo concetto, perché ritiene che dovremmo, invece, smettere del tutto di estrarre e bruciare i combustibili fossili: in tal modo non avremmo bisogno di stoccare il CO<sub>2</sub> nel sottosuolo. Questo tipo di riflessione suscita molte domande, sulla possibilità di smettere di usare i combustibili fossili nel breve periodo, su come poterlo fare, sul tempo necessario a farlo, su da dove cominciare e così via. Nel frattempo, i combustibili fossili continuano a essere usati, fornendo circa l'80% dell'energia prodotta nel mondo. Fino a quando questa situazione non cambierà, possiamo permetterci di continuare a bruciare carbone, petrolio e gas naturale senza stoccare il CO<sub>2</sub> nel sottosuolo?



DIALOGO DI GRUPPO  
SAPIENZA UNIVERSITÀ DI ROMA - CER1 - CC BY NC ND



STOCCAGGIO GEOLOGICO DI CO<sub>2</sub>  
SAPIENZA UNIVERSITÀ DI ROMA - CER1 - CC BY NC ND

### **Il concetto dal punto di vista geologico: lo stoccaggio di CO<sub>2</sub> è sicuro?**

Molte discussioni sul CCS, e sullo stoccaggio in particolare, ruotano attorno alla questione della sua sicurezza, soprattutto perché l'informazione su questo argomento è poco diffusa. L'idea dello stoccaggio geologico di CO<sub>2</sub> è nata dall'osservazione dei giacimenti di CO<sub>2</sub> e gas metano presenti in natura, dove il gas è rimasto intrappolato in profondità per migliaia o milioni di anni. La ricerca ha poi dimostrato la fattibilità tecnica a lungo termine e la sicurezza dello stoccaggio di CO<sub>2</sub>. Oggi, dal punto di vista di chi lavora sul CCS, la tecnologia non presenta particolari rischi. Tuttavia, per molte persone è difficile immaginare che un gas possa rimanere intrappolato nel sottosuolo. Il gas, per sua natura, tende ad andare verso l'alto e perciò la sicurezza dei siti di stoccaggio di CO<sub>2</sub> viene spesso messa in discussione. Il CO<sub>2</sub> rimarrà nel giacimento o sfuggirà in un modo o nell'altro? Che rischi potrebbero esserci per la salute umana? Altri osservano anche che una trappola geologica naturale, come i giacimenti di petrolio e di gas che non sono ancora stati perforati, è diversa da un'area in cui sono presenti pozzi che potrebbero agire come vie di fuga per il gas. La ricerca che si è occupata di questi problemi mostra come simili condizioni presentino rischi limitati che possono essere gestiti. Più in generale, quando un sito viene scelto in maniera appropriata, le strutture geologiche funzionano come barriere che fanno sì che la probabilità di una fuoriuscita di CO<sub>2</sub> dal giacimento sia molto bassa. Un altro aspetto di grande interesse per la sicurezza è legato alla sismicità indotta. Le persone spesso chiedono: "Possiamo escludere la possibilità che lo stoccaggio di CO<sub>2</sub> possa causare terremoti?". Durante la fase di iniezione una leggera attività sismica non può essere esclusa. Ogni volta che si estraggono fluidi dal sottosuolo (acqua, petrolio o gas) o si immettono, le rocce e i fluidi nel sottosuolo vanno verso un nuovo equilibrio e i piccoli movimenti che ne derivano possono portare ad un rilascio di energia. I ricercatori la chiamano "micro-sismicità", piccoli terremoti che non vengono percepiti dalle persone e che normalmente sono rilevabili solo con gli strumenti di monitoraggio. Durante il processo di selezione di un sito di stoccaggio, le simulazioni predittive e altre tecnologie vengono usate per assicurarsi che gli eventuali movimenti del suolo che potrebbero essere causati dalle operazioni di stoccaggio non presentino fattori di rischio. Proprio come quando si estrae acqua a flussi molto elevati o nelle operazioni petrolifere, la sicurezza verrà assicurata da una corretta gestione del sito e delle operazioni di stoccaggio.

### **Con il CCS l'inquinamento aumenta o diminuisce?**

Il CCS può offrire benefici aggiuntivi da un punto di vista ambientale. Il sofisticato processo per catturare e stoccare il CO<sub>2</sub> può anche ridurre altri inquinanti, come i composti di zolfo o il particolato. Se consideriamo che il CCS richiederebbe una completa ristrutturazione di molte centrali elettriche nel mondo, che attualmente inquinano pesantemente, il suo ruolo per la protezione ambientale potrebbe andare molto al di là della semplice riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>. D'altra parte, anche l'inquinamento legato alla realizzazione del CCS deve essere preso in considerazione, con la costruzione di infrastrutture su vasta scala e il rischio di continuare a utilizzare i combustibili fossili oltre il periodo di tempo strettamente necessario per passare ad altre forme di produzione energetica. Un aspetto specifico che va considerato è la cosiddetta "penalità energetica": la cattura di CO<sub>2</sub>, presso le centrali elettriche o i grandi impianti industriali, richiede una notevole quantità di energia (con l'eccezione di alcuni processi industriali che facilitano direttamente la separazione e la cattura di CO<sub>2</sub>). Tale fabbisogno energetico aggiuntivo implica che una maggiore quantità di combustibile debba essere bruciata per produrre la stessa quantità di energia. Questo è un grosso limite del CCS, sebbene sia importante tenere in considerazione che l'ottimizzazione della tecnologia potrebbe ridurre considerevolmente l'energia aggiuntiva richiesta.

### **E' possibile realizzare il CCS in Europa?**

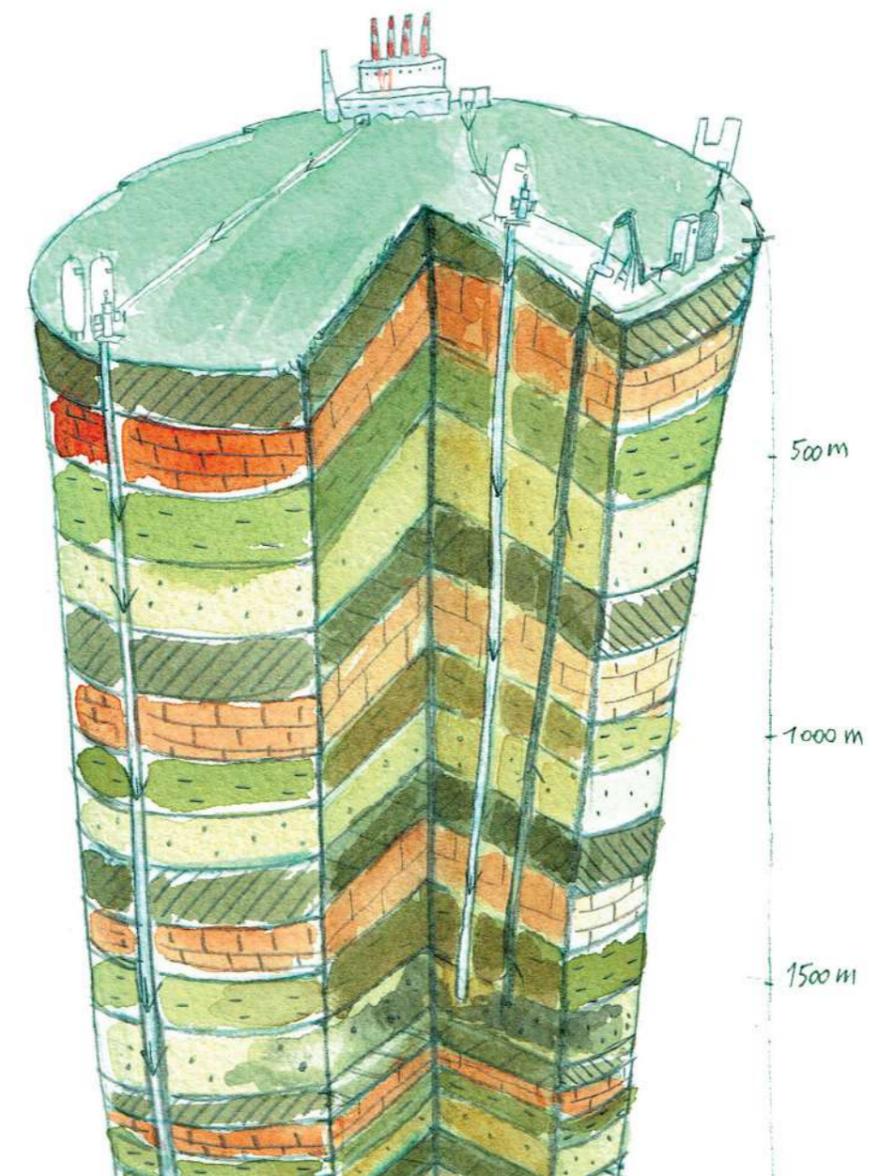
Riuscire a gestire il ciclo completo del carbonio, proteggendo l'ambiente, assicurando una fornitura energetica affidabile e aprendo la strada a nuove e più sostenibili forme di produzione energetica, è un obiettivo chiave della politica energetica Europea. Capire se, e in che modo, il CCS possa svolgere un ruolo in tal senso è più urgente che mai. L'Europa in passato è stata all'avanguardia nello sviluppo del CCS. Negli anni '80, alcuni ricercatori norvegesi iniziarono a pensare alla possibilità di reimmettere nel sottosuolo il carbonio rilasciato attraverso la combustione dei combustibili fossili. Nel 1996 questa idea divenne realtà a Sleipner, nel Mare del Nord, con l'iniezione in un acquifero salino profondo del CO<sub>2</sub> separato dal gas naturale che veniva estratto. Dopo questo inizio promettente, stimolato da una tempestiva tassa sulle emissioni, il cammino del CCS è stato piuttosto accidentato. I programmi a livello Europeo per la dimostrazione della tecnologia si sono arenati.

Alcuni dei paesi che si sono mossi per primi, come l'Olanda, la Danimarca o la Germania, hanno incontrato significative difficoltà in relazione all'opinione pubblica o all'opposizione delle comunità locali. Mentre difficoltà di finanziamento e mancanza di sostegno pubblico rallentavano lo sviluppo della tecnologia, l'uso dei combustibili fossili ha continuato a produrre emissioni come prima. Infine, considerando il biossido di carbonio in prospettiva futura, non solo come gas serra ma anche come merce potenziale, per esempio associato alle rinnovabili nella produzione di idrocarburi sintetici, potrebbe essere ancora più importante per l'Europa avanzare nella ricerca e nella dimostrazione del CCS.

### **La tecnologia è pronta per essere realizzata?**

Una serie di aspetti devono essere considerati nel valutare quanto il CCS sia pronto per essere implementato, come lo status della tecnologia, l'esistenza delle infrastrutture necessarie (o i piani per realizzarle), i costi e la legislazione nazionale ed Europea. Da un punto di vista tecnico è possibile affermare con si-

curezza che le conoscenze e le attrezzature sono già disponibili, in quanto il CCS (o l'EOR, il recupero assistito di petrolio con il CO<sub>2</sub>) sono già realtà in molti siti in varie parti del mondo. Le infrastrutture, invece, sono ad uno stadio molto meno avanzato. Per esempio, le reti di tubature per il trasporto del CO<sub>2</sub>, da dove viene prodotto fino alla sua destinazione finale in Europa, non esistono ancora e dovrebbero essere costruite. Il che solleva anche la questione dei costi, dato che, per esempio, la costruzione di tali infrastrutture sarebbe costosa. Anche la cattura del CO<sub>2</sub> al momento è molto costosa, tuttavia gli investimenti nella ricerca e un generale sostegno alla diffusione di questa tecnologia potrebbero ridurre molto i costi, così come è accaduto per la produzione di energia solare ed eolica. Per queste tecnologie i governi hanno stabilito una visione a lungo termine, una legislazione e dei sussidi che hanno creato un'ambiente economico favorevole. Anche per il CCS, una legislazione stabile e affidabile permetterebbe alle aziende e ai governi locali di avere una visione a lungo termine sull'implementazione delle tecniche CCS, cosa che favorirebbe gli investimenti abbassando i costi.



### **Lo stoccaggio di CO<sub>2</sub> consente la riduzione delle emissioni su larga scala**

Il CCS può gestire le grandi quantità di CO<sub>2</sub> prodotte da impianti industriali come centrali elettriche, cementifici, acciaierie o raffinerie e può essere abbinato a molte altre soluzioni di rifornimento energetico come le biomasse e la geotermia. Può essere la risposta di cui abbiamo estremo bisogno per un uso responsabile dei combustibili fossili e rappresentare una fonte importante di occupazione. Per esempio, la realizzazione del CCS potrebbe dare l'avvio allo sviluppo di nuovi posti di lavoro, nella fornitura di servizi, per la produzione dei componenti e la costruzione degli impianti. Svitati modelli economici hanno stimato gli effetti economici del cambiamento climatico, concludendo che i benefici di un'azione forte e immediata sono di gran lunga superiori ai costi previsti di una mancata azione. Il CCS potrebbe rappresentare una parte importante di questo sforzo.

### **Il CCS è troppo costoso?**

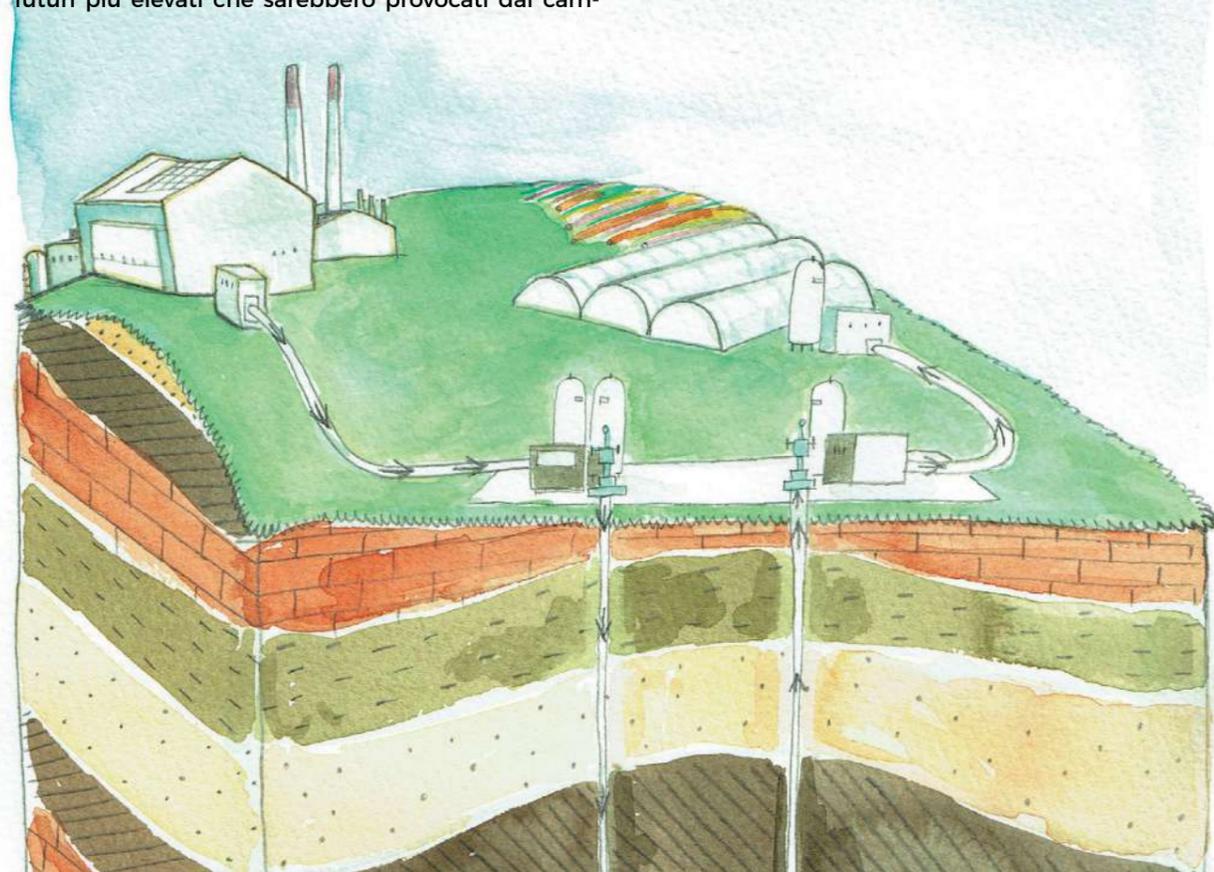
Una discussione frequente sul CCS riguarda il suo costo. Il CCS richiede la costruzione di grandi infrastrutture per catturare e trasportare il CO<sub>2</sub>, e consistenti investimenti per identificare i siti ottimali per lo stoccaggio. Dato il valore molto basso del CO<sub>2</sub>, almeno al momento, l'investimento sul CCS non è redditizio. D'altra parte, i sostenitori del CCS fanno notare che investire sul CCS oggi, può limitare costi futuri più elevati che sarebbero provocati dal cam-

biamento climatico. Paragonato ad altre tecnologie a basse emissioni, il CCS può essere persino una soluzione più economica per ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub>, richiede tuttavia forti investimenti iniziali. Chi dovrebbe pagare per questi investimenti? Se dovesse sostenerli l'industria, questo costo potrebbe ripercuotersi su tutto il sistema economico, con un impatto sui profitti e sull'occupazione. Generalmente si ritiene che, al momento attuale, per sostenere il pieno sviluppo della tecnologia si dovrebbero usare fondi pubblici, portandola ad un livello di costi che faciliti la sua integrazione nel sistema industriale.

### **Il CCS e l'uso delle risorse locali**

Uno dei maggiori problemi di ogni paese è trovare le risorse per produrre energia, uno dei beni più importanti che ci consentono di vivere comodamente. L'uso delle risorse locali è quindi la prima opzione che viene considerata, anche se queste risorse in alcuni casi non sono ideali per l'ambiente e il clima. In questo contesto, l'uso dei combustibili fossili, che sono ancora molto abbondanti in svariate zone del mondo, appare ad alcuni Paesi come l'unica maniera per produrre energia sufficiente a permettere lo sviluppo ad un costo accessibile. Il CCS, insieme ad altre tecnologie che limitano gli impatti legati all'uso del carbone e del gas naturale, potrebbe renderli più sostenibili. Questo, nel lungo periodo, consentirebbe di ridurre i costi totali che sarebbero associati al proseguimento della "prassi corrente" (come per esempio i costi sanitari dell'inquinamento).

STOCCAGGIO E USO DI CO<sub>2</sub>  
SAPIENZA UNIVERSITÀ DI ROMA - CER1 - CC BY NC ND

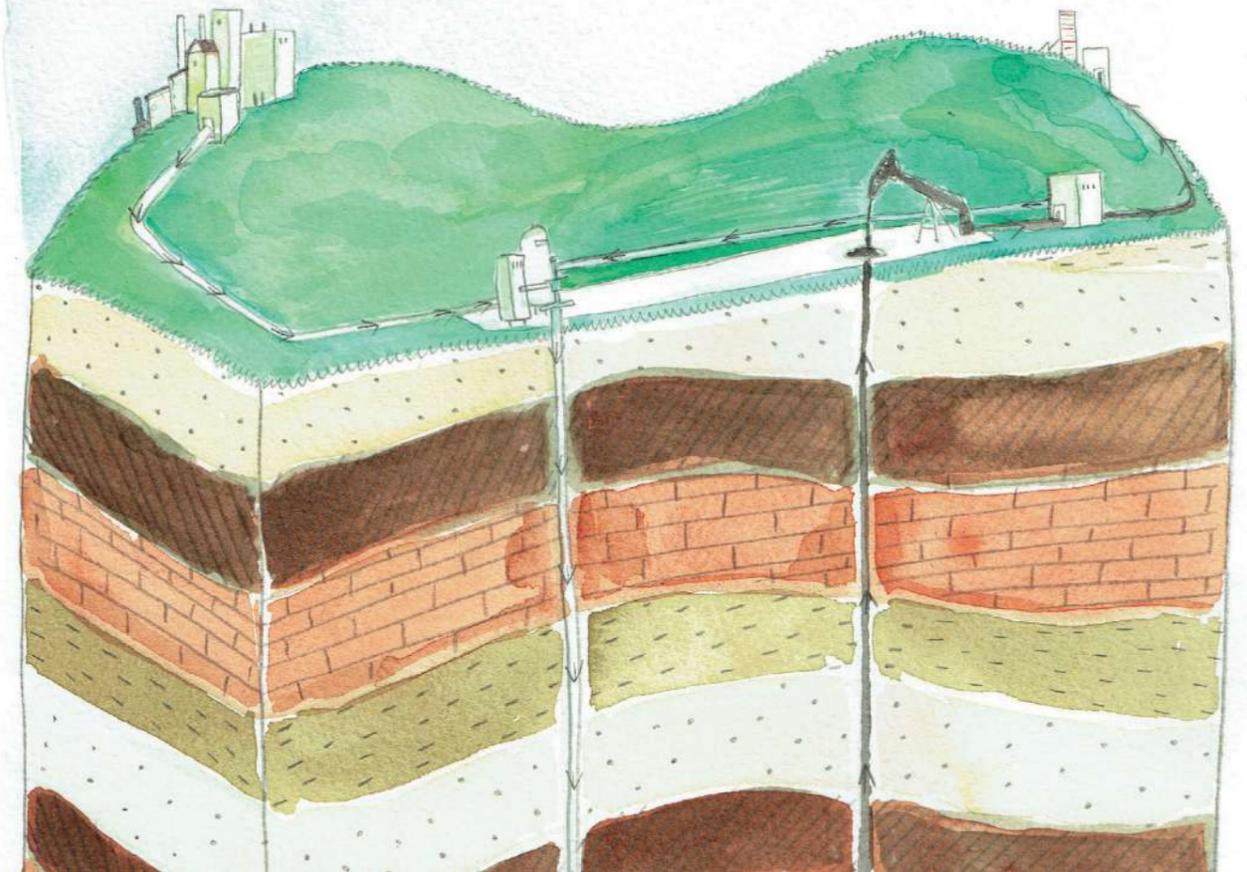


### **Il CCS può ridurre le emissioni delle industrie energivore**

Nel discutere l'applicazione del CCS alle centrali elettriche a carbone o a metano, un'obiezione comune è che non dovremmo cercare di rendere i combustibili fossili più sostenibili, ma piuttosto smettere del tutto e al più presto possibile di usarli, ricorrendo a forme alternative di produzione energetica come le rinnovabili o il nucleare, che non presentano problemi di emissione di CO<sub>2</sub>. Questo tipo di alternativa ancora non esiste per alcune industrie ad alto fabbisogno energetico, come le fabbriche di acciaio o di cemento, le industrie chimiche o le cartiere. Sono industrie responsabili di una fetta considerevole delle emissioni di CO<sub>2</sub>, sia per via dell'uso dei combustibili fossili, sia per l'emissione di CO<sub>2</sub> derivata dai processi industriali stessi. Il CCS potrebbe svolgere un ruolo importante per evitare che rilascino queste grandi quantità di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera.

### **Punti di vista diversi sul CCS: vantaggi e svantaggi**

Le argomentazioni sui lati positivi e negativi del CCS spesso coincidono, nel senso che le medesime caratteristiche della tecnologia possono essere viste, di volta in volta, come vantaggi o svantaggi, a seconda del punto di vista. Per esempio, il CCS può aiutare ad abbattere le emissioni di CO<sub>2</sub> delle centrali a car-



STOCCAGGIO DI CO<sub>2</sub> E EOR  
SAPIENZA UNIVERSITÀ DI ROMA - CER1 - CC BY NC ND

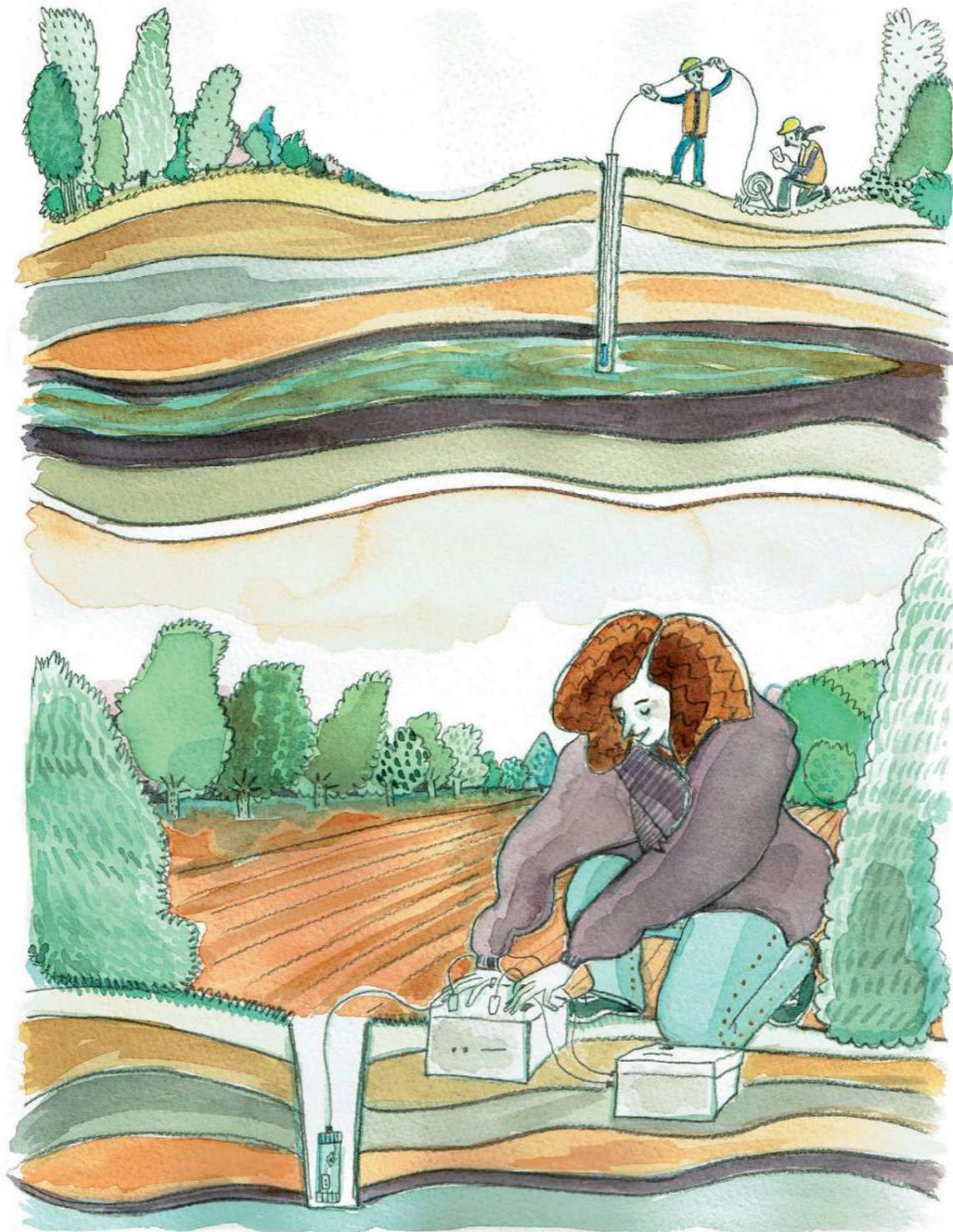
bone. Questo è considerato un vantaggio da coloro che pensano che non sia possibile fare a meno del carbone ancora per molti anni, oppure che in alcuni Paesi del mondo lo sviluppo non possa avvenire senza l'uso del carbone. E' invece visto come un aspetto negativo da coloro che ritengono che il carbone, dato il suo impatto ambientale, dovrebbe essere abbandonato il prima possibile. In maniera analoga, coloro che si oppongono all'uso dei combustibili fossili temono che il CCS potrebbe prolungare e aumentare il loro consumo, mentre altri pensano che finché i combustibili fossili vengono usati, tutte le possibili maniere per ridurre le loro emissioni dovrebbero essere impiegate, rendendone il consumo più "responsabile". Un altro punto di interesse riguarda le attività industriali di grandi dimensioni, che al momento attuale non potrebbero avere luogo senza l'uso dei combustibili fossili, in quanto richiedono una fornitura energetica molto elevata e concentrata. Il CCS potrebbe rendere queste attività industriali più sostenibili e meno prone a migrare verso altri paesi per sfuggire al problema del CO<sub>2</sub>. Questo però è visto negativamente da coloro che pensano che dovremmo muoverci verso un diverso modello economico, in cui le attività industriali di grandi dimensioni vengano ridotte. E' chiaro che le reali caratteristiche della tecnologia hanno un ruolo molto limitato in queste discussioni, che sono piuttosto riferite a ben più ampie sfide tecnologiche. Tuttavia, i miglioramenti della tecnologia CCS e la riduzione dei suoi costi di implementazione potrebbero probabilmente facilitare l'individuazione del miglior modo di procedere.

# VOI CHE COSA NE PENSATE? I PRO E I CONTRO DEL CCS



CONCETTO DELLO STOCCAGGIO GEOLOGICO DI CO<sub>2</sub>  
SAPIENZA UNIVERSITÀ DI ROMA - CERJ - CC BY NC ND

# IL MONITORAGGIO PER LA PROTEZIONE DELL'ACQUA E DELL'AMBIENTE



MONITORAGGIO GEOCHIMICO  
SAPIENZA UNIVERSITÀ DI ROMA - CER1 - CC BY NC ND

## MIGLIORI STRATEGIE DI MONITORAGGIO DEL CO<sub>2</sub> PER PROTEGGERE L'ACQUA E L'AMBIENTE

La riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> è lo scopo principale della Cattura e dello Stoccaggio del biossido di Carbonio (CCS, dall'inglese Carbon dioxide Capture and Storage). Rinchiudendo il CO<sub>2</sub> nel sottosuolo, questo ritorna al suo ambiente originario, in quanto la maggior parte del CO<sub>2</sub> prodotto dall'uomo proviene dalla combustione di combustibili fossili, come il carbone, il petrolio e il gas naturale che sono stati estratti dalle rocce del sottosuolo. L'iniezione del CO<sub>2</sub> di origine antropica nelle profondità del sottosuolo evita il rilascio nell'atmosfera di questo gas serra, capace di esercitare un'influenza negativa sul clima. E' stata tuttavia espressa preoccupazione circa la possibilità di una fuoriuscita accidentale di parte di questo CO<sub>2</sub> e gli effetti che potrebbe avere sull'ambiente circostante e sulle falde acquifere. Il progetto ENOS studierà che cosa potrebbe causare la migrazione del gas verso la superficie, verificando la sensibilità e l'efficacia degli strumenti progettati per monitorare le possibili perdite e la qualità dell'acqua potabile. Questo lavoro sarà condotto in due siti differenti, dove inietteremo piccole quantità di CO<sub>2</sub> a diverse profondità. Inoltre, condurremo esperimenti presso siti dove fuoriesce il CO<sub>2</sub> prodotto in modo naturale dalla geologia del luogo, in laboratorio e utilizzando anche dati già esistenti relativi ad altri siti.

## QUESTIONI AFFRONTATE IN ENOS

**Falde acquifere.** Di per sé, la presenza di CO<sub>2</sub> non influisce sulla potabilità dell'acqua: molte persone bevono acqua gassata. Nondimeno, sono stati condotti molti studi per verificare i possibili effetti del CO<sub>2</sub> sui minerali disciolti nell'acqua. Questi studi hanno dimostrato che, quando il CO<sub>2</sub> entra in contatto con le falde acquifere, di solito l'acqua rimane entro gli standard di potabilità. In ENOS amplieremo i risultati esistenti, studiando vari tipi di roccia in condizioni diverse, per vedere se alcuni siti potrebbero essere più vulnerabili di altri. Ciò verrà fatto in due siti sperimentali, analizzando la composizione chimica delle acque di falda prima, durante e dopo l'iniezione di CO<sub>2</sub>. Useremo questi risultati, insieme alle informazioni sulla composizione della roccia locale, per creare modelli dei cambiamenti chimici e per stabilire quali strutture sia più appropriato monitorare in ciascun sito. Installeremo, inoltre, dei sensori nei pozzi d'acqua dei siti di iniezione, per condurre i primi test sul campo di innovativi strumenti di monitoraggio delle falde acquifere, progettati per dare rapidamente l'allarme in caso di anomalie, in modo da minimizzare ogni eventuale impatto.

**Individuazione delle fughe di CO<sub>2</sub>.** Testeremo numerosi strumenti di monitoraggio innovativi, capaci di individuare rapidamente una perdita sulla superficie. Se il CO<sub>2</sub> dovesse fuoriuscire dal giacimento e migrare verso la superficie, potrebbe avere un impatto limitato sulla vegetazione di una piccola area. Potrebbe costituire un rischio per la salute solo se si dovesse accumulare in alte concentrazioni in spazi chiusi (come all'interno di gole o avvallamenti). In ENOS, useremo sia siti in cui il CO<sub>2</sub> viene iniettato, sia siti con fuoriuscite naturali, per perfezionare le nostre conoscenze sui modi in cui il gas potrebbe fuoriuscire, che a loro volta influiscono sul suo possibile impatto. Le fughe diffuse, ad esempio, copriranno un'area più vasta, ma avranno un impatto minore rispetto a una perdita più concentrata. Un dettagliato campionamento fornirà la mappa di distribuzione delle perdite, mentre l'identificazione di isotopi differenti, in quanto varianti di uno specifico elemento chimico, sarà utile per distinguere i bassi livelli di perdite dai valori naturali biologici di fondo. Vi saranno, inoltre: sensori nel suolo che controlleranno costantemente le concentrazioni di CO<sub>2</sub> in più punti e trasmetteranno questi dati in tempo reale a un laboratorio centrale; un robot che misura la CO<sub>2</sub> sulla superficie del suolo mappandone la distribuzione; sensori montati su un drone telecomandato, in grado di sorvolare rapidamente un'area in cerca di perdite.

**Pozzi.** Il progetto ENOS userà dati già esistenti, provenienti da numerosi pozzi abbandonati della Repubblica Ceca e della Romania, per condurre innovative e dinamiche simulazioni computerizzate degli scenari di fuga del CO<sub>2</sub>. Quando un pozzo profondo, perforato per estrarre petrolio o gas naturale o per iniettare CO<sub>2</sub>, arriva alla fine della sua vita, viene chiuso con tappi di cemento per evitare che diventi un collegamento diretto fra il serbatoio e la superficie. Sebbene i moderni cementi, le leghe d'acciaio e le tecniche di chiusura dei pozzi siano piuttosto efficaci, i pozzi più vecchi potrebbero non essere altrettanto ben sigillati. Potrebbero quindi avere delle perdite, ma non è ancora del tutto chiaro come la perdita possa svilupparsi nel tempo e nello spazio. Lo scopo del lavoro sarà quello di quantificare le potenziali perdite dai pozzi abbandonati, utilizzando simulazioni computerizzate, per ridurre i possibili rischi rappresentati dai pozzi di perforazione durante il periodo di operatività di un sito di stoccaggio di CO<sub>2</sub>.

**Faglie.** Il progetto ENOS studierà il possibile flusso di CO<sub>2</sub> lungo le faglie. Fino ad oggi, sono state intraprese poche ricerche sulle faglie a causa della loro complessità e della difficoltà di studiarle in profondità. Il progetto ENOS affronta questa lacuna, conducendo un esteso programma di ricerca su questo argomento, per esempio con simulazioni della pressione nel sito italiano e in quello ceco e misurazioni di flusso in località dove si verifica la perdita di CO<sub>2</sub> naturale lungo le faglie verso la superficie. Inoltre, verrà condotto un esperimento di iniezione di CO<sub>2</sub> per rappresentarne il percorso di migrazione, grazie all'uso di strumenti geofisici, e comprendere così i meccanismi che ne controllano il flusso.

# ENOS E LO SVILUPPO DI SITI DI STOCCAGGIO SICURI



COLLABORAZIONE PER LA SICUREZZA  
SAPIENZA UNIVERSITÀ DI ROMA - CER1 - CC BY NC ND

IL PROGETTO ENOS È FINANZIATO DALL'UNIONE EUROPEA NELL'AMBITO DEL PROGRAMMA DI RICERCA E INNOVAZIONE HORIZON 2020 CON IL CONTRATTO N. 653718



ENOS

## ENOS E LO SVILUPPO DI SITI DI STOCCAGGIO SICURI

Grandi volumi di biossido di carbonio (CO<sub>2</sub>) vengono iniettati nel sottosuolo da quasi 50 anni, come tecnica per estrarre più petrolio dai giacimenti di idrocarburi. Il primo sito sviluppato appositamente per lo stoccaggio di CO<sub>2</sub> antropogenica invece, è stato avviato nel 1996, nell'ambito del progetto norvegese "Sleipner", nel Mare del Nord, iniettando fino a 1 milione di tonnellate l'anno di CO<sub>2</sub>, separata dal gas naturale che veniva estratto. Altri siti di stoccaggio di CO<sub>2</sub>, successivi al primo, comprendono In Salah in Algeria, Snøhvit nel mare di Barents, al largo della Norvegia, Quest e Aquistore in Canada e Decatur in Illinois, negli USA. Questa vasta esperienza ha dimostrato che la tecnologia per procedere all'iniezione di CO<sub>2</sub> esiste ed è sicura. Le conoscenze e la tecnologia possono però essere sempre migliorate e il progetto ENOS concentrerà gran parte del suo sforzo di ricerca nel miglioramento della sicurezza dei siti di stoccaggio durante tutte le fasi di sviluppo e di gestione dei siti. Gran parte di questo lavoro sarà condotto con esperimenti di iniezione in siti pilota di piccola o media scala, permettendo così la sperimentazione in condizioni reali.

## QUESTIONI AFFRONTATE IN ENOS

**Miglioramento nella selezione dei siti di stoccaggio.** La scelta del sito di stoccaggio è, fra tutte, la decisione più importante per garantire la sicurezza del sito, in quanto è la struttura geologica stessa che deve svolgere la funzione di buona e duratura trappola per il CO<sub>2</sub>. Perciò, è importante effettuare stime accurate della quantità totale di CO<sub>2</sub> che può essere iniettata assicurando allo stesso tempo l'integrità del serbatoio. ENOS si avvarrà di simulazioni computerizzate, con dati provenienti dai siti reali, per migliorare i metodi di stima della capacità di stoccaggio di CO<sub>2</sub>. Inoltre, saranno sviluppati e testati nuovi strumenti per facilitare la caratterizzazione del sito, inclusi software statistici che ottimizzeranno la raccolta e l'interpretazione dei dati in tempo reale, nonché metodi per la perforazione a basso costo.

**Comprensione dell'interazione fra CO<sub>2</sub> e roccia serbatoio.** Una volta iniettato, il CO<sub>2</sub> reagisce con le rocce serbatoio, dando il via a reazioni per cui alcuni minerali si dissolvono e altri si formano. Questo può influire sulla capacità di iniezione, il movimento del CO<sub>2</sub> e la chimica dell'acqua nel serbatoio. ENOS ese-

guirà esperimenti su campioni di roccia provenienti dai siti pilota di iniezione e realizzerà simulazioni computerizzate per determinare quali siano le reazioni chimiche più importanti e come possano influenzare le proprietà dell'acqua e la porosità e permeabilità delle rocce.

**Monitoraggio.** ENOS esaminerà una serie di tecniche di monitoraggio innovative, testando insieme diversi sistemi, in condizioni reali dure e impegnative, per determinarne l'efficacia. Sarà compreso il monitoraggio del serbatoio stesso, così come gli ambienti di superficie o bassa profondità.

**Efficienza delle operazioni di stoccaggio.** Il progetto ENOS condurrà degli esperimenti presso il sito pilota di iniezione di Hontomin, in Spagna, ed eseguirà simulazioni computerizzate per testare diverse strategie di iniezione, al fine di massimizzare sia la sicurezza, sia la quantità di CO<sub>2</sub> che può essere stoccata. Questi esperimenti includeranno approcci di iniezione continui e discontinui e co-iniezione di CO<sub>2</sub> e acque fortemente salate, ponendo particolare attenzione alla gestione dei parametri di funzionamento (temperatura, pressione e tassi di flusso) per garantire l'integrità dello stoccaggio.

**Comprensione delle questioni di sismicità indotta.** La sismicità indotta è il movimento del terreno causato dalle attività umane. È stata sollevata la preoccupazione che l'iniezione di CO<sub>2</sub> a pressioni elevate possa causare una debole attività sismica, come avviene con altre attività umane (ad esempio la produzione di idrocarburi e le attività geotermiche). ENOS condurrà un'analisi della faglia presso il sito pilota di Hontomin, controllerà la sismicità naturale e realizzerà delle simulazioni computerizzate per ottimizzare l'affidabilità delle tecniche di monitoraggio e per sviluppare dei protocolli che riducano al minimo la sismicità indotta.

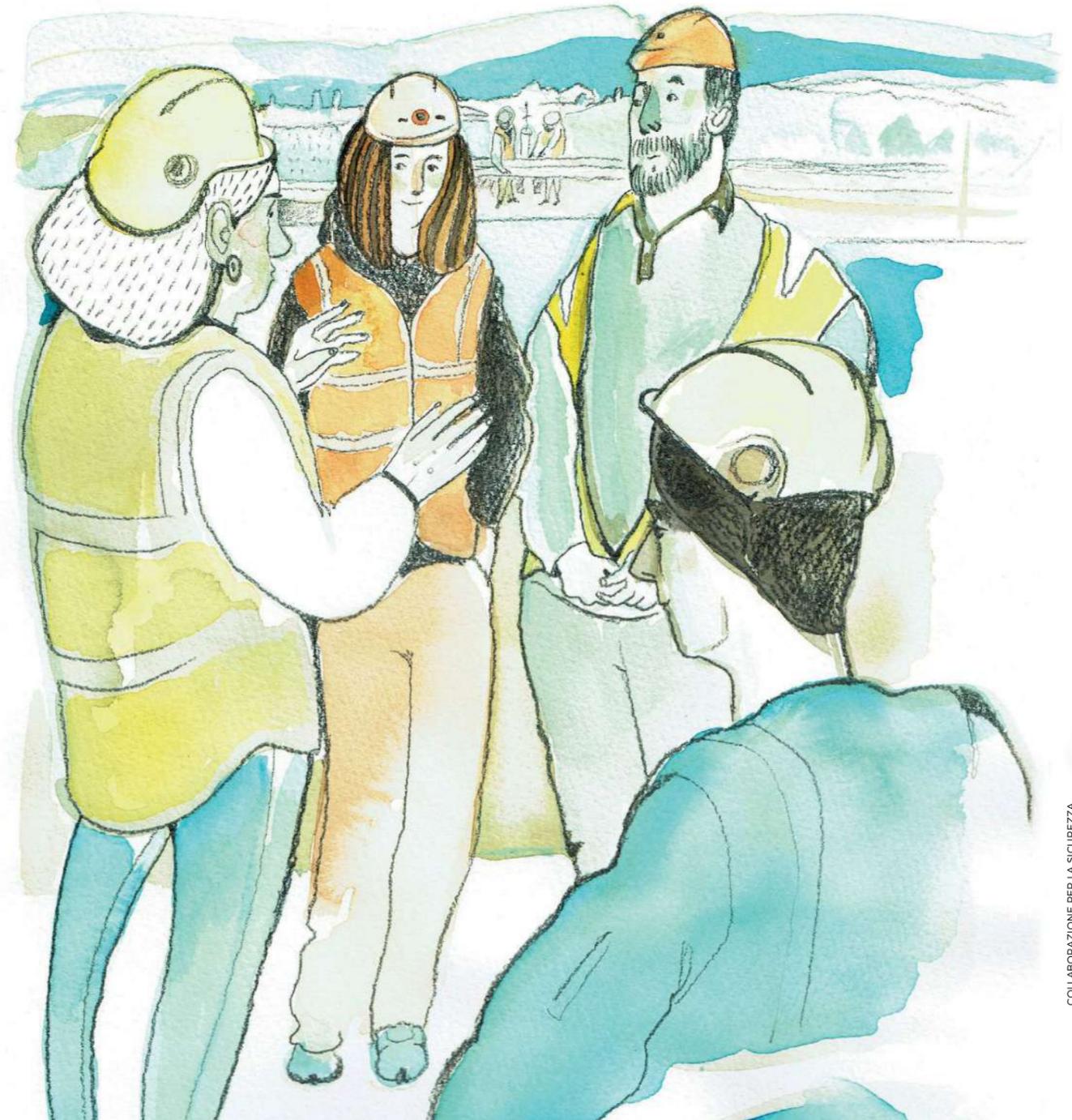
**Sviluppo di un sistema a "semaforo" di allerta precoce per facilitare il processo decisionale.** Per un pronto intervento in caso di fughe, i dati di monitoraggio devono essere raccolti e analizzati in tempo reale. ENOS svilupperà metodi basati su algoritmi per ottimizzare la raccolta dei dati e userà degli specifici indicatori di prestazione (KPIs) derivati dai dati del sito di Hontomin, per sviluppare un sistema "a semaforo" di allerta precoce. Si tratta di un programma informatico integrato che analizza in automatico tutti i dati raccolti attraverso il monitoraggio e avvisa, in tempo reale, se c'è qualche anomalia, così da adottare tempestive misure correttive.

**Applicazione dei risultati ad altri serbatoi di stoccaggio.** Il progetto ENOS confronterà i suoi siti sperimentali di iniezione con altri simili già attivi negli USA, Corea del Sud, Australia e Sudafrica, nonché con altri siti pilota in Germania, Francia, Israele, Norvegia e Islanda. Gli operatori del sito discuteranno dei problemi reali riscontrati nei vari siti e si scambieranno dati e conoscenze per accelerare lo sviluppo. Sebbene non esistano siti d'iniezione che siano esattamente identici, le lezioni apprese in un sito spesso possono essere applicate a siti simili. Si permette così a conoscenze, tecniche e tecnologie legate alla sicurezza di diffondersi più rapidamente e con minor costo.

**Distinguere il CO<sub>2</sub> iniettato da quello naturale.** Nel terreno e nell'atmosfera è sempre presente una certa quantità di CO<sub>2</sub>, prodotta dagli organismi biologici.

Perciò, nel monitoraggio della sicurezza del sito, è cruciale poter distinguere il CO<sub>2</sub> biologico naturale dal CO<sub>2</sub> iniettato che potrebbe fuoriuscire dal serbatoio. ENOS valuterà l'efficienza, sia nei siti sperimentali che in siti dove fuoriesce CO<sub>2</sub> naturalmente, di metodi d'avanguardia utili a determinare l'origine di bassi livelli di CO<sub>2</sub> nel suolo.

**Coinvolgimento delle comunità locali nello sviluppo dei siti di stoccaggio.** ENOS lavorerà insieme a piccoli gruppi di cittadini e ad altre parti sociali interessate che risiedono nei pressi dei siti di ricerca per comprendere, dal punto di vista delle comunità locali, cosa sia considerato più importante per la sicurezza. I risultati di questo lavoro saranno integrati nel manuale delle buone norme che verrà prodotto alla fine del progetto.



# ENOS E LO SVILUPPO DI SITI DI STOCCAGGIO SICURI



MONITORAGGIO GEOFISICO E AEREO  
SAPIENZA UNIVERSITÀ DI ROMA - CER1 - CC BY NC ND

IL PROGETTO ENOS È FINANZIATO DALL'UNIONE EUROPEA NELL'AMBITO DEL PROGRAMMA DI RICERCA E INNOVAZIONE HORIZON 2020 CON IL CONTRATTO N. 653718



 ENOS

# RIDURRE I RISCHI A LIVELLI ACCETTABILI



ESPERIMENTO DI INIEZIONE DI CO<sub>2</sub>  
SAPIENZA UNIVERSITÀ DI ROMA - CER1 - CC BY NC ND

## RIDURRE I RISCHI A LIVELLI ACCETTABILI

Tutte le attività umane presentano una qualche forma di rischio, che deve essere mantenuta a livelli accettabili rispetto ai possibili vantaggi. Anche la Cattura e lo Stoccaggio di biossido di Carbonio (CCS), come tutte le attività industriali, comporterà dei rischi, e questi dovranno essere soppesati in rapporto ai benefici legati al rallentamento degli effetti (e dei rischi) dei cambiamenti climatici causati dall'uomo. Gran parte del lavoro è già stato fatto per ridurre al minimo i rischi del CCS, che con le migliori tecnologie sono ora considerati trascurabili. Il progetto ENOS progredirà ulteriormente in questo settore per affinare gli strumenti e i protocolli per la gestione del rischio.

## QUESTIONI AFFRONTATE IN ENOS

**Sismicità indotta.** Le attività umane che modificano l'equilibrio delle pressioni e dei campi di tensione nel sottosuolo possono generare piccoli movimenti lungo le faglie. Questi movimenti, indicati come sismicità indotta, producono onde che possono essere misurate in superficie mediante strumenti di monitoraggio. Di recente, è aumentato il timore della sismicità indotta che può essere causata dall'iniezione e dall'estrazione di fluidi nel sottosuolo (come l'estrazione di gas naturale convenzionale e non, lo stoccaggio di gas naturale, l'iniezione di acque reflue, le attività geotermiche, lo stoccaggio di CO<sub>2</sub>). Una volta verificata la sismicità naturale dell'area, è importante determinare se la sismicità indotta potrebbe, in determinate circostanze, essere abbastanza forte da rappresentare un rischio. ENOS lavorerà allo sviluppo di un sistema di allerta tempestivo a "semaforo", che punti a fornire agli operatori del sito gli strumenti per rilevare la sismicità indotta, determinarne la causa e la localizzazione, suggerendo poi delle modifiche alla strategia di iniezione per ridurre tale rischio, il tutto in tempo (quasi) reale. La maggior parte delle ricerche sulla sismicità indotta verrà condotta presso il sito di iniezione di Hontomin, dove l'area è monitorata da una rete di sensori. L'affidabilità di questa rete di sensori sarà testata e poi migliorata. Saranno studiati i dati provenienti dalla rete, per riuscire a separare gli eventi naturali da quelli che potrebbero essere legati all'iniezione di CO<sub>2</sub>.

**Possibili impatti sulle falde acquifere.** Le riserve sotterranee di acque potabili sono presenti negli acquiferi più superficiali, mentre lo stoccaggio di CO<sub>2</sub> viene eseguito molto più in profondità (al di sotto degli 800 m.). Tuttavia, fughe impreviste da un serbatoio di stoccaggio in un acquifero potrebbero causare reazioni chimiche e/o modifiche della composizione delle acque di falda. La maggior parte delle ricerche fino ad oggi ha indicato che un impatto del genere sarebbe limitato spazialmente e che i processi naturali manterrebbero la qualità dell'acqua

nei limiti previsti dalle leggi per la potabilità. Nondimeno, sarebbero utili altre ricerche per aumentare la nostra comprensione delle possibili reazioni di diversi tipi di roccia, in ambienti geologici differenti. In ENOS affronteremo questa questione soprattutto monitorando la qualità delle acque prima, durante e dopo l'iniezione di CO<sub>2</sub> nei nostri siti pilota e sperimentali. I risultati delle analisi delle rocce e dell'acqua verranno interpretati utilizzando simulazioni computerizzate che aiuteranno a determinare gli effetti a lungo termine. Saranno sviluppati e testati nuovi strumenti di monitoraggio in continuo, che daranno immediata segnalazione di possibili fughe.

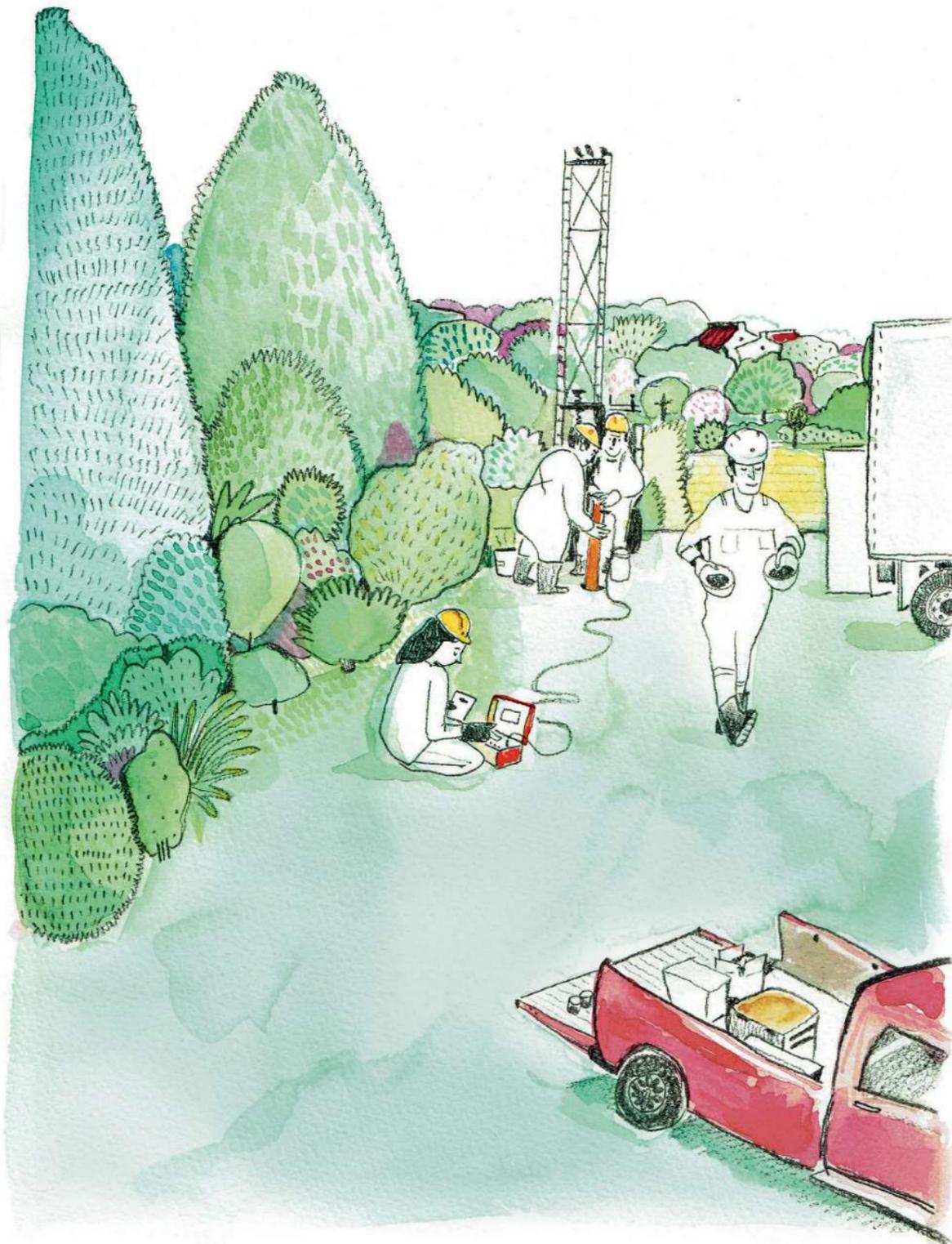
**Potenziati vie di fuga attraverso faglie e pozzi abbandonati.** ENOS studierà sia le faglie, sia i pozzi, per determinare la loro capacità di agire come barriere o come vie di fuga per la CO<sub>2</sub> in movimento. Poiché il CO<sub>2</sub> tende a migrare verso la superficie, la maggior parte dei rischi legati allo stoccaggio di CO<sub>2</sub> deriva dalla migrazione imprevista del CO<sub>2</sub> iniettato lungo fratture o pozzi abbandonati. Il potenziale di migrazione del CO<sub>2</sub> lungo una faglia verrà testato durante l'iniezione di CO<sub>2</sub> presso il Sulcis Fault Lab. I dati prodotti da questi esperimenti verranno usati per creare modelli matematici per la stima dei processi di lungo periodo e di larga scala in tipi diversi di siti. Inoltre, saranno esaminate delle faglie, con perdite di CO<sub>2</sub> prodotta per via naturale, a Latera, San Vittorino e Ailano (Italia) per confrontare i processi migratori naturali con quelli indotti sperimentalmente e migliorare ancora di più le strategie di monitoraggio. Per quanto riguarda i pozzi, gli studi saranno basati su set di dati esistenti, relativi a pozzi abbandonati nella Repubblica Ceca e in Romania.

**Collaborazione con la popolazione locale per la gestione dei rischi.** Il primo requisito per ridurre i rischi al minimo è la collaborazione fra operatori del sito, autorità locali e popolazione. La comprensione della tecnologia e delle vulnerabilità a livello locale e sociale costituisce il fondamento di questa collaborazione. Perciò, le comunità locali possono svolgere un ruolo importante nella riduzione del rischio, già nella fase di sviluppo della tecnologia. Condividendo le loro preoccupazioni e la conoscenza della zona in cui vivono,

## I CITTADINI POSSONO AIUTARE I RICERCATORI A INDIVIDUARE E AFFRONTARE GLI ASPETTI DI RILEVANZA SOCIALE.

In seguito, questo costituirà la base per stabilire piani di gestione del rischio che aiutino sia gli operatori, sia la popolazione, a capire come comportarsi in caso di pericolo. Nell'ambito del progetto ENOS contribuiremo a promuovere la collaborazione, creando gruppi di dialogo a lungo termine con i cittadini sui temi della nostra ricerca. Attraverso questo scambio intendiamo sostenere lo sviluppo di soluzioni valide sia dal punto di vista tecnico che sociale, per ridurre i rischi.

# ENOS CONTRIBUIRÀ A RIDURRE I COSTI DELLO STOCCAGGIO DI CO<sub>2</sub>



TESTARE LA TECNOLOGIA PER RIDURRE I COSTI  
SAPIENZA UNIVERSITÀ DI ROMA - CERI - CC BY NC ND

## ENOS CONTRIBUIRÀ A RIDURRE I COSTI DELLO STOCCAGGIO DI CO<sub>2</sub>

Come tutti i processi industriali a grande scala, anche lo stoccaggio di CO<sub>2</sub> richiede denaro per la sua realizzazione. Per quanto la maggior parte dei costi del CCS sia associata alla cattura del CO<sub>2</sub>, anche alcuni aspetti legati allo stoccaggio sono costosi. La selezione e la caratterizzazione dei siti, lo sviluppo e il funzionamento delle infrastrutture, o il monitoraggio a lungo termine, sono attività costose. È chiaro che qualsiasi riduzione dei costi totali, senza compromettere la sicurezza o l'efficacia del sito, renderà questa tecnologia più interessante.

## QUESTIONI AFFRONTATE IN ENOS

**Riduzione dei costi di caratterizzazione del sito.** ENOS ottimizzerà la selezione e la valutazione dei potenziali siti di stoccaggio sviluppando metodi per aiutare i processi decisionali. La fase iniziale dello stoccaggio di CO<sub>2</sub> consiste nel determinare se il sito in esame abbia le caratteristiche che lo renderanno sicuro e conveniente per lo stoccaggio a lungo termine. Gli operatori devono valutare la capacità di stoccaggio di un serbatoio, la qualità della roccia di copertura, l'esistenza di eventuali vie di fuga, come faglie permeabili o pozzi abbandonati in cattivo stato. Per rispondere a queste domande, è necessario raccogliere una grande quantità di dati geologici, geofisici, idrogeologici, strutturali e ingegneristici. In ENOS la procedura di caratterizzazione sarà ottimizzata per acquisire dati appropriati più affidabili, solidi e a minor costo.

**Perforazioni meno costose.** ENOS vaglierà diverse soluzioni per ridurre i costi di perforazione dei pozzi. La trivellazione di pozzi profondi è una parte essenziale della fase di caratterizzazione del sito, per definire la geologia del sottosuolo. Gran parte della tecnologia proposta per la caratterizzazione dei siti di stoccaggio proviene dall'industria petrolifera. Tuttavia, la tipologia di pozzi usata per l'estrazione di gas e petrolio ha costi elevati. Invece, per la caratterizzazione dello stoccaggio di CO<sub>2</sub> sarebbero sufficienti pozzi più semplici e di diametro inferiore. Nel tentativo di ridurre i costi di perforazione, ENOS esaminerà la possibilità di adattare le tecniche di perforazione più economiche usate nell'industria mineraria allo stoccaggio di CO<sub>2</sub>. Questo tipo di approccio porterà un notevole risparmio sui costi, pur fornendo dati della stessa qualità.

**Riduzione dei costi per il monitoraggio a lungo termine.** ENOS sta sviluppando diversi tipi di sensori all'avanguardia che ridurranno i costi di monitoraggio. Esistono molte tecnologie diverse che possono essere impiegate per monitorare la sicurezza di un sito, sia durante che dopo le operazioni di stoccaggio. Per ottimizzare i costi, è necessario scegliere un gruppo di metodi complementari, per garantire la copertura migliore di grandi aree, a diverse scale temporali e per lunghi periodi. Esempi di sistemi di monitoraggio continuo da sviluppare e testare in ENOS includono:

- Sensori di CO<sub>2</sub> in fibra ottica e bio-sensori per i pozzi d'acqua
- Sensori di CO<sub>2</sub> a raggi infrarossi da usare nel terreno
- Sensori montati su droni che volano sopra le aree di iniezione
- Robot che monitorano il CO<sub>2</sub> in superficie
- Tecniche termiche di rilevamento a distanza.

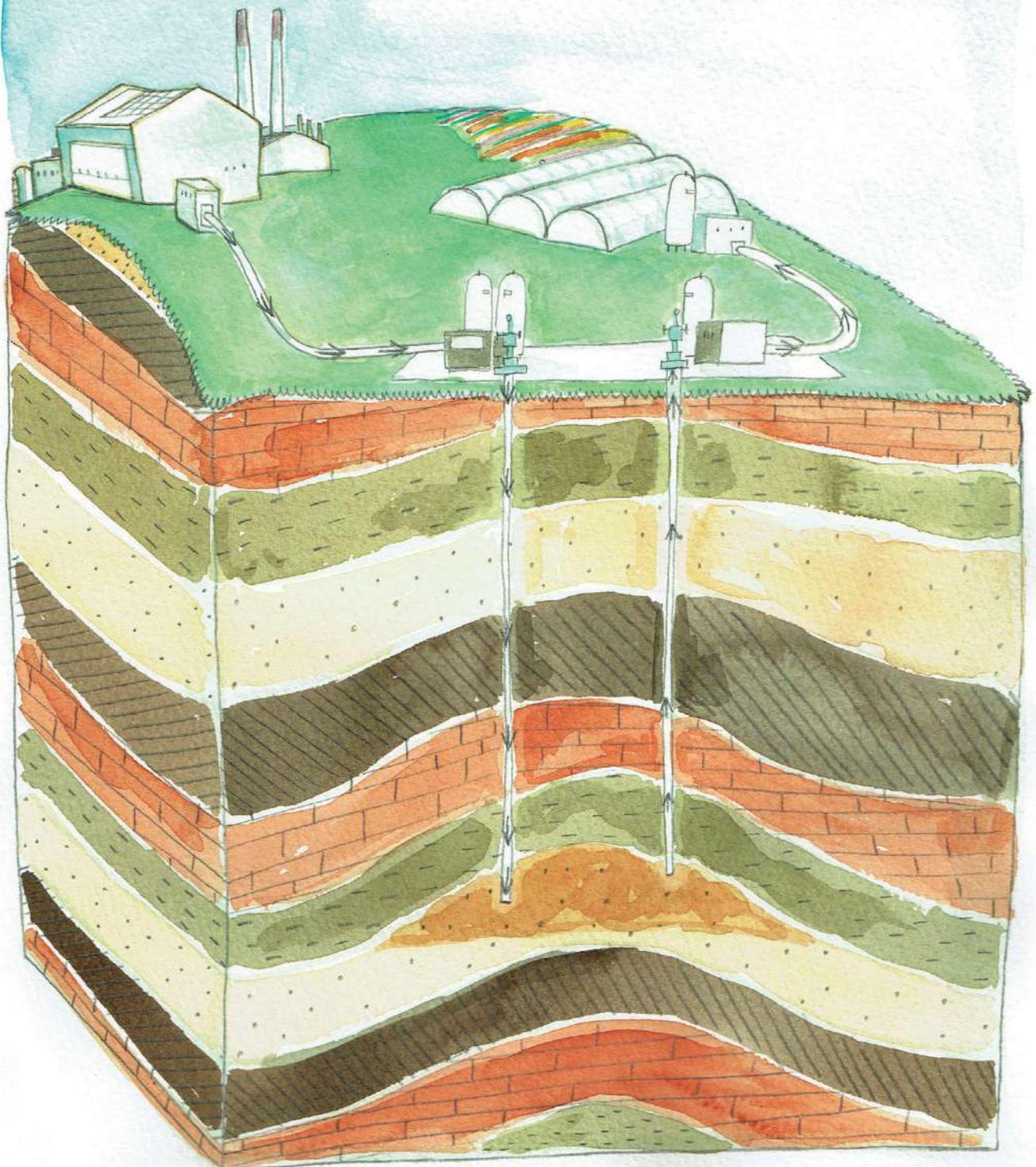
Tutte queste tecnologie verranno testate in uno o più esperimenti di iniezione del progetto.

**Sicurezza e riduzione dei costi.** Quando implementiamo una tecnologia industriale come lo stoccaggio di CO<sub>2</sub>, dobbiamo garantire l'efficienza e la sicurezza al minor costo possibile. Le decisioni relative alla sicurezza possono essere particolarmente complesse. Occorre considerare due aspetti: la sicurezza in sé e la percezione che ne ha la popolazione. Sarà essenziale trovare un equilibrio fra le misure di sicurezza così come sono definite dal punto di vista tecnico e quelle rese necessarie per una dimostrazione inequivocabile della sicurezza a tutte le parti interessate. Per poterlo fare, può essere utile un processo chiaro e trasparente, che tenga conto anche del punto di vista della popolazione locale.

## ENOS VALUTERÀ INSIEME AI MEMBRI DELLE COMUNITÀ LOCALI GLI ASPETTI E I BISOGNI A CUI ANDREBBE DATA LA PRIORITÀ NELLO SVILUPPO E NELLA PIANIFICAZIONE DELLO STOCCAGGIO.

Saranno discusse diverse opzioni, ad esempio in relazione alle strategie di monitoraggio, per individuare le scelte che potrebbero assicurare al meglio e con il minor costo possibile la protezione delle comunità che vivono in prossimità dei futuri siti di stoccaggio.

# BENEFICI ECONOMICI OLTRE ALLA RIDUZIONE DELLE EMISSIONI DI CO<sub>2</sub>



STOCCACCIO E USO DI CO<sub>2</sub>  
SAPIENZA UNIVERSITÀ DI ROMA - CERI - CC BY NC ND

IL PROGETTO ENOS È FINANZIATO DALL'UNIONE EUROPEA NELL'AMBITO DEL PROGRAMMA  
DI RICERCA E INNOVAZIONE HORIZON 2020 CON IL CONTRATTO N. 653718



 ENOS

## ENOS ESPLORERÀ COME APPORTARE DEI VANTAGGI ECONOMICI OLTRE A RIDURRE LE EMISSIONI DI CO<sub>2</sub>

Il progetto ENOS prenderà in considerazione diversi possibili vantaggi economici, non solo dello stoccaggio di CO<sub>2</sub>, ma anche del riutilizzo di una parte del CO<sub>2</sub> per altri scopi commerciali. Per esempio, l'importante industria agricola olandese usa il CO<sub>2</sub> per aumentare il tasso di crescita delle piante coltivate in serra. ENOS prenderà in esame la possibilità di abbinare il CCS con uno schema che prevede che una parte del CO<sub>2</sub> iniettato nel sottosuolo venga stoccata temporaneamente e poi recuperata per l'utilizzo nelle serre, fornendo così un prodotto prezioso e necessario, oltre a ridurre le emissioni complessive di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera. Un altro uso possibile del CO<sub>2</sub> consiste nell'iniettarlo nel sottosuolo per recuperare più petrolio. Questo metodo viene utilizzato da quasi cinquant'anni, utilizzando prevalentemente CO<sub>2</sub> naturale. Se invece venisse utilizzato CO<sub>2</sub> di origine antropica, quest'ultimo diventerebbe una merce preziosa, al contempo intrappolando una porzione significativa del gas serra nel sottosuolo, all'interno del giacimento di petrolio. La combinazione di stoccaggio e utilizzo di CO<sub>2</sub> potrebbe contribuire a raggiungere sia gli obiettivi climatici, sia quelli economici.



## QUESTIONI AFFRONTATE IN ENOS

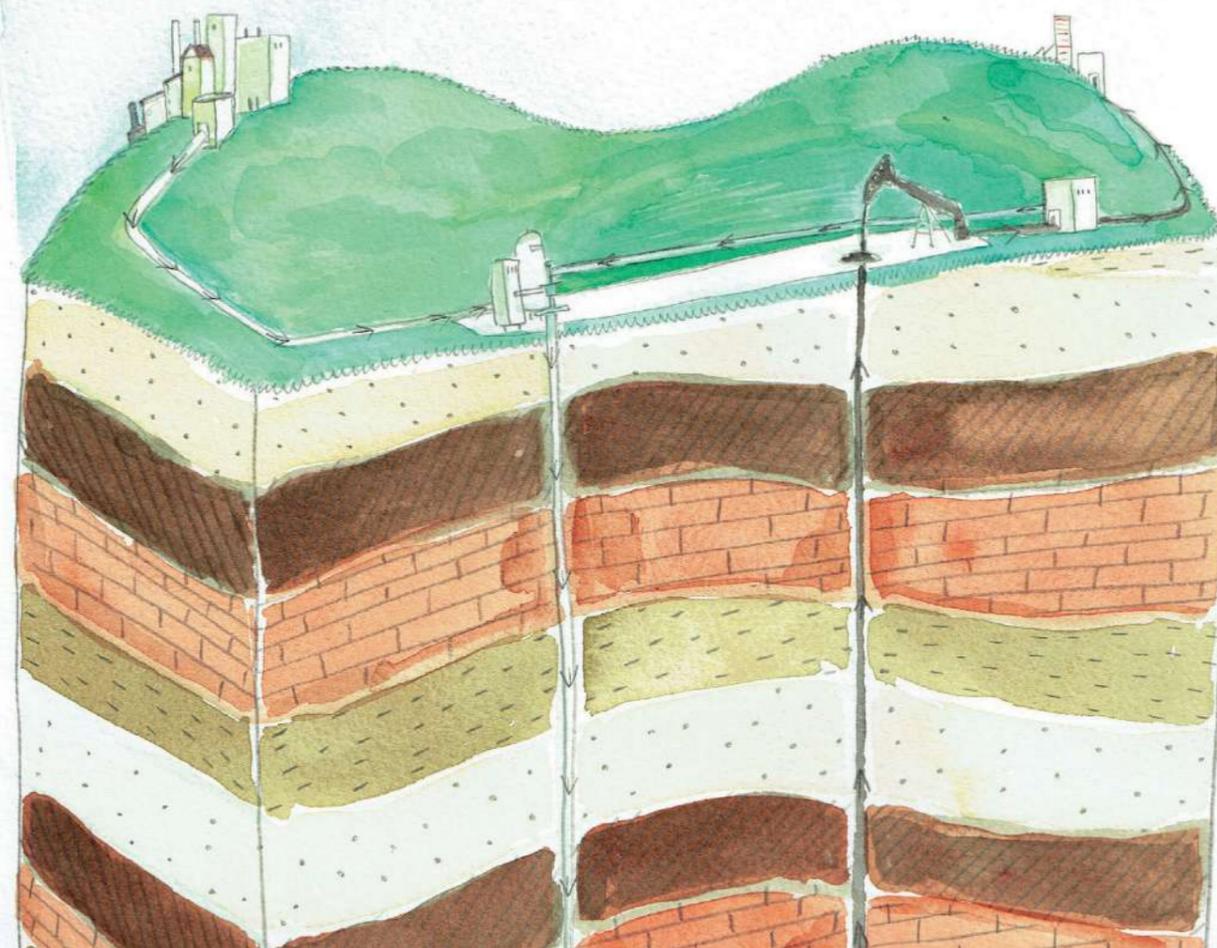
**Stoccaggio di CO<sub>2</sub> e stoccaggio provvisorio per le serre.** L'industria agricola ha bisogno di CO<sub>2</sub> per far crescere più rapidamente le piante nelle serre. Al momento, solo una parte del CO<sub>2</sub> necessario è fornita da processi industriali. In inverno, l'offerta dell'industria supera la domanda e l'eccesso di CO<sub>2</sub> viene rilasciato nell'atmosfera. D'estate, invece, la domanda da parte delle serre è maggiore dell'offerta. Il CO<sub>2</sub> supplementare di cui si ha bisogno in estate attualmente viene ottenuto bruciando combustibili fossili. Unendo lo stoccaggio permanente e lo stoccaggio temporaneo di CO<sub>2</sub>, sarebbe possibile stoccare il CO<sub>2</sub> in inverno, quando se ne produce troppo e verrebbe altrimenti rilasciato nell'atmosfera, e estrarne di nuovo una parte in estate quando le serre ne hanno bisogno. Il progetto ENOS studierà la fattibilità di questo processo da un punto di vista tecnico, economico, normativo e sociale. In particolare, saranno investigati i seguenti aspetti:

- **Qualità del CO<sub>2</sub> riprodotto.** ENOS studierà le reazioni chimiche fra il gas, l'acqua e le rocce all'interno del serbatoio di stoccaggio, che possono avere un impatto sulla purezza del CO<sub>2</sub> da riutilizzare nelle serre. Saranno esaminati dati reali provenienti da un giacimento di gas quasi esaurito. Sarà eseguita una rassegna delle tecnologie specializzate nella separazione delle impurità dal CO<sub>2</sub> e di come possono essere ottimizzate in economia. Sarà anche considerato il recupero di altri gas, come il metano, in quanto potrebbe rappresentare un importante gettito aggiuntivo capace, potenzialmente, di abbassare alcuni dei costi.

STOCCAGGIO E USO DI CO<sub>2</sub>:  
SAPIENZA UNIVERSITÀ DI ROMA - CER1 - CC BY NC ND

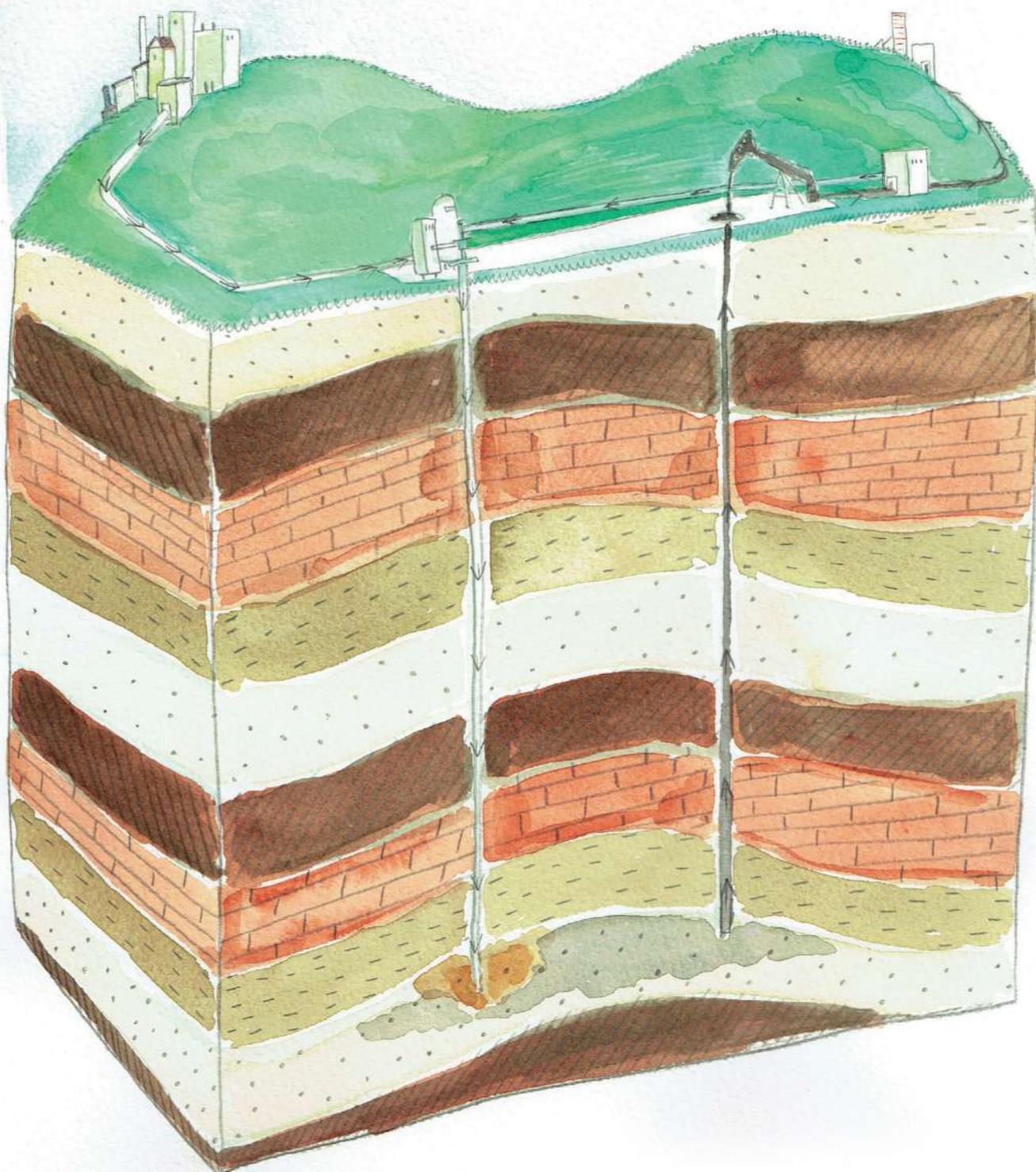
- **Questioni normative.** Devono essere risolte molte questioni relative a permessi, licenze e diritti di emissione dei siti utilizzati sia per lo stoccaggio permanente, sia per quello temporaneo. ENOS si concentrerà principalmente sul quadro giuridico e normativo olandese, con un breve confronto con quello nel Regno Unito e della Danimarca. ENOS progetterà, inoltre, un sistema per il monitoraggio dei volumi specifici e della composizione chimica del CO<sub>2</sub> iniettato, riprodotto e stoccato, necessario per soddisfare i requisiti normativi.
- **Aspetti economici.** ENOS prenderà in considerazione i diversi costi, e farà le sue raccomandazioni, in riferimento ai metodi praticabili per lo stoccaggio stagionale di CO<sub>2</sub> finalizzato all'uso in serra. I costi comprenderanno l'iniezione, la produzione e la depurazione del CO<sub>2</sub>, nonché il trasporto tramite gasdotti dal luogo di stoccaggio alle serre.
- **Aspetti sociali.** Il progetto ENOS chiederà il contributo di cittadini e altre parti sociali interessate in merito all'idea di unire stoccaggio permanente e temporaneo per l'uso nelle serre. Saranno presi in considerazione benefici e controindicazioni sia ambientali sia economici, per capire se lo stoccaggio di CO<sub>2</sub>, associato al suo utilizzo, possa essere considerato una buona opzione da parte della popolazione locale e a quali condizioni.

**Stoccaggio di CO<sub>2</sub> e recupero assistito di petrolio (EOR).** ENOS esaminerà come l'uso di CO<sub>2</sub> nel recupero assistito di petrolio (CO<sub>2</sub> EOR) possa ridurre i costi dei progetti CCS. L'iniezione di CO<sub>2</sub> nei giacimenti di petrolio può incrementare molto la quantità di petrolio che viene estratto, perché il petrolio diventa più liquido e scorre più facilmente attraverso la roccia verso il pozzo di estrazione. Questa tecnica viene usata da quasi 50 anni in tutto il mondo. I progetti CO<sub>2</sub>-EOR non sono ideati appositamente per lo stoccaggio di CO<sub>2</sub>, sono quindi necessari degli studi per ottimizzare il recupero assistito di petrolio e, al contempo, massimizzare la quantità di CO<sub>2</sub> che rimane nel giacimento. A questo scopo il sito della Repubblica Ceca LBr-1 sarà preso ad esempio per lo sviluppo delle valutazioni tecnico-economiche. I processi EOR verranno simulati usando dati reali del sito e dati degli esperimenti di laboratorio. Saranno prese in considerazione diverse opzioni per le infrastrutture necessarie, compresi i pozzi flessibili a basso costo. Verrà sviluppato un piano dettagliato per un progetto pilota CCUS (Cattura, utilizzo e stoccaggio di CO<sub>2</sub>) nel sito LBr-1. Verranno studiate le problematiche e le sfide economiche per identificare l'oscillazione di costi e benefici, tenendo conto di una vasta gamma di fattori che entrano in gioco nei progetti sul campo. Infine, le normative saranno esaminate nel contesto delle legislazioni nazionali, con particolare riferimento alla definizione del complesso di stoccaggio e delle questioni transfrontaliere, in quanto il sito LBr-1 si trova vicino al confine Ceco-Slovacco.



STOCCAGGIO DI CO<sub>2</sub> E EOR:  
SAPIENZA UNIVERSITÀ DI ROMA - CER1 - CC BY NC ND

# BENEFICI ECONOMICI OLTRE ALLA RIDUZIONE DELLE EMISSIONI DI CO<sub>2</sub>



STOCCACCIO DI CO<sub>2</sub> E EOR  
SAPIENZA UNIVERSITÀ DI ROMA - CER I - CC BY NC ND

IL PROGETTO ENOS È FINANZIATO DALL'UNIONE EUROPEA NELL'AMBITO DEL PROGRAMMA  
DI RICERCA E INNOVAZIONE HORIZON 2020 CON IL CONTRATTO N. 653718



ENOS

# STRATEGIE DI MONITORAGGIO DELLO STOCCAGGIO DI CO<sub>2</sub>



## ENOS MIGLIORERÀ LA TEORIA E LA PRATICA DEL MONITORAGGIO DELLO STOCCAGGIO DI CO<sub>2</sub>

Quando un sito di stoccaggio è operativo, è essenziale dimostrare che il meccanismo di stoccaggio stia funzionando come previsto. Questo si ottiene monitorando il sito, cosa che è utile per molti scopi: per garantire la sicurezza del sito, proteggere l'ambiente e le risorse di acqua potabile, salvaguardare l'ambiente, minimizzare la possibilità di sismicità indotta, quantificare la possibile fuoriuscita di CO<sub>2</sub> e fornire informazioni per il sistema dei diritti di emissione dell'Unione Europea. Il monitoraggio di un sito di stoccaggio è un processo complesso. Inizia molto tempo prima che il sito divenga operativo, per determinarne lo "stato iniziale", ovvero identificare la quantità di CO<sub>2</sub> naturale che è presente di norma in quella zona, e tarare, prima che il CO<sub>2</sub> venga iniettato, gli strumenti di monitoraggio. Viene quindi sviluppata una strategia di monitoraggio, basata sulle caratteristiche geologiche del sito, che fornirà i dati necessari per i sistemi di valutazione e controllo del rischio. Lo scopo di un piano di monitoraggio è soprattutto quello di controllare il comportamento del CO<sub>2</sub> che è stato iniettato, per identificare rapidamente qualunque migrazione del gas che potrebbe condurre ad una sua fuoriuscita o negli acquiferi più superficiali o in superficie. Con il monitoraggio possiamo identificare anomalie, paragonando i dati man mano raccolti con quelli rilevati prima dell'inizio delle operazioni e identificare dove e quando potrebbero essere necessarie delle misure correttive. ENOS lavorerà sulle questioni di monitoraggio a diversi livelli: sviluppando nuovi strumenti e sottoponendo a prova sul campo quelli già esistenti, e studiando combinazioni di strumenti vantaggiose dal punto di vista dei costi, che possano essere integrate in una soluzione globale di monitoraggio.

## QUESTIONI AFFRONTATE IN ENOS

**Identificare il CO<sub>2</sub> e distinguerlo da quello presente naturalmente.** Il progetto ENOS svilupperà e sottoporrà a verifica tecnologie di monitoraggio d'avanguardia, come l'analisi degli isotopi, utili a distinguere il CO<sub>2</sub> prodotto nel suolo dai processi biologici, dal CO<sub>2</sub> iniettato. Questo è particolarmente importante, in quanto l'errata interpretazione di un'anomalia eventualmente osservata, potrebbe dar luogo a preoccupazioni e costi immotivati (qualora un'anomalia biologica venisse riferita in maniera non corretta ad una fuoriuscita di CO<sub>2</sub>) o ad un aumentato rischio (qualora una fuoriuscita di CO<sub>2</sub> venisse

interpretata per errore come il risultato di processi naturali nel suolo).

**Misurare e quantificare il CO<sub>2</sub>.** I ricercatori di ENOS lavoreranno insieme per valutare il potenziale di diversi strumenti di monitoraggio e delle loro possibili combinazioni per garantire la sicurezza dei siti, la protezione ambientale e l'audit dei diritti di emissione. Verranno affrontate questioni come le incertezze nella quantificazione del CO<sub>2</sub>, la sensibilità dei metodi e la frequenza del monitoraggio. Il progetto amplierà le nostre conoscenze su sensori molto evoluti sia a livello del terreno, sia a livello del sottosuolo, nonché sulle tecniche di monitoraggio a distanza, per affinare la capacità di identificare con notevole rapidità anche anomalie molto piccole.

**Combinazione delle tecniche di monitoraggio in una soluzione comprensiva.** Il progetto ENOS opererà un'integrazione fra gli strumenti innovativi sviluppati per monitorare il CO<sub>2</sub> a diversi livelli (acqua potabile, suolo, sottosuolo e superficie), per creare un approccio generale alla sicurezza, che sia ancora più rigoroso, sensibile ed efficiente.

**IL RISULTATO FINALE SARANNO DELLE MIGLIORI LINEE GUIDA TECNICHE E ANCHE UNA VALUTAZIONE DI COME QUESTO APPROCCIO POTREBBE ESSERE ADATTATO A POSSIBILI SITI DIMOSTRATIVI SU LARGA SCALA.**

**Verifica delle strategie di monitoraggio in relazione alle necessità della comunità locale.** Le autorità locali e le comunità hanno bisogno di capire in che modo venga garantita la sicurezza di un sito di stoccaggio, e di essere informate sul suo funzionamento. Questo è importante per loro, sia per sentirsi sicure, sia per poter prendere le giuste decisioni o attuare i necessari comportamenti in caso di anomalie o incidenti. In ENOS, cercheremo di capire in che modo le strategie di monitoraggio possano essere sviluppate tenendo conto di queste esigenze, oltre a quelle strettamente tecniche, per elaborare piani di monitoraggio che siano chiari e comprensibili, adattandoli, ove necessario, a esigenze specifiche delle comunità locali.

# SEGUIRE LO SVILUPPO DI UN PROGETTO PILOTA DI STOCCAGGIO



STRUMENTO DI INFORMAZIONE PUBBLICA  
SAPIENZA UNIVERSITÀ DI ROMA - CERI - CC BY NC ND

IL PROGETTO ENOS È FINANZIATO DALL'UNIONE EUROPEA NELL'AMBITO DEL PROGRAMMA  
DI RICERCA E INNOVAZIONE HORIZON 2020 CON IL CONTRATTO N. 653718



## DARE LA POSSIBILITÀ ALLA POPOLAZIONE DI INFORMARSI E DI SEGUIRE LO SVILUPPO DI UN PROGETTO PILOTA DI STOCCAGGIO

Nell'ambito del progetto ENOS, i partner saranno disponibili per dare informazioni concrete e aggiornate al pubblico e ai giornalisti, riguardo la ricerca e i siti sperimentali di iniezione che verranno studiati. I ricercatori di ENOS riconoscono l'importanza per le persone che vivono vicino ad un sito di stoccaggio, così come per il pubblico in generale, di poter accedere alle informazioni sulle operazioni di stoccaggio. Per questa ragione parte del lavoro sarà dedicata a capire come produrre informazioni chiare e comprensibili per l'utente finale e come renderle facilmente accessibili.

## QUESTIONI AFFRONTATE IN ENOS

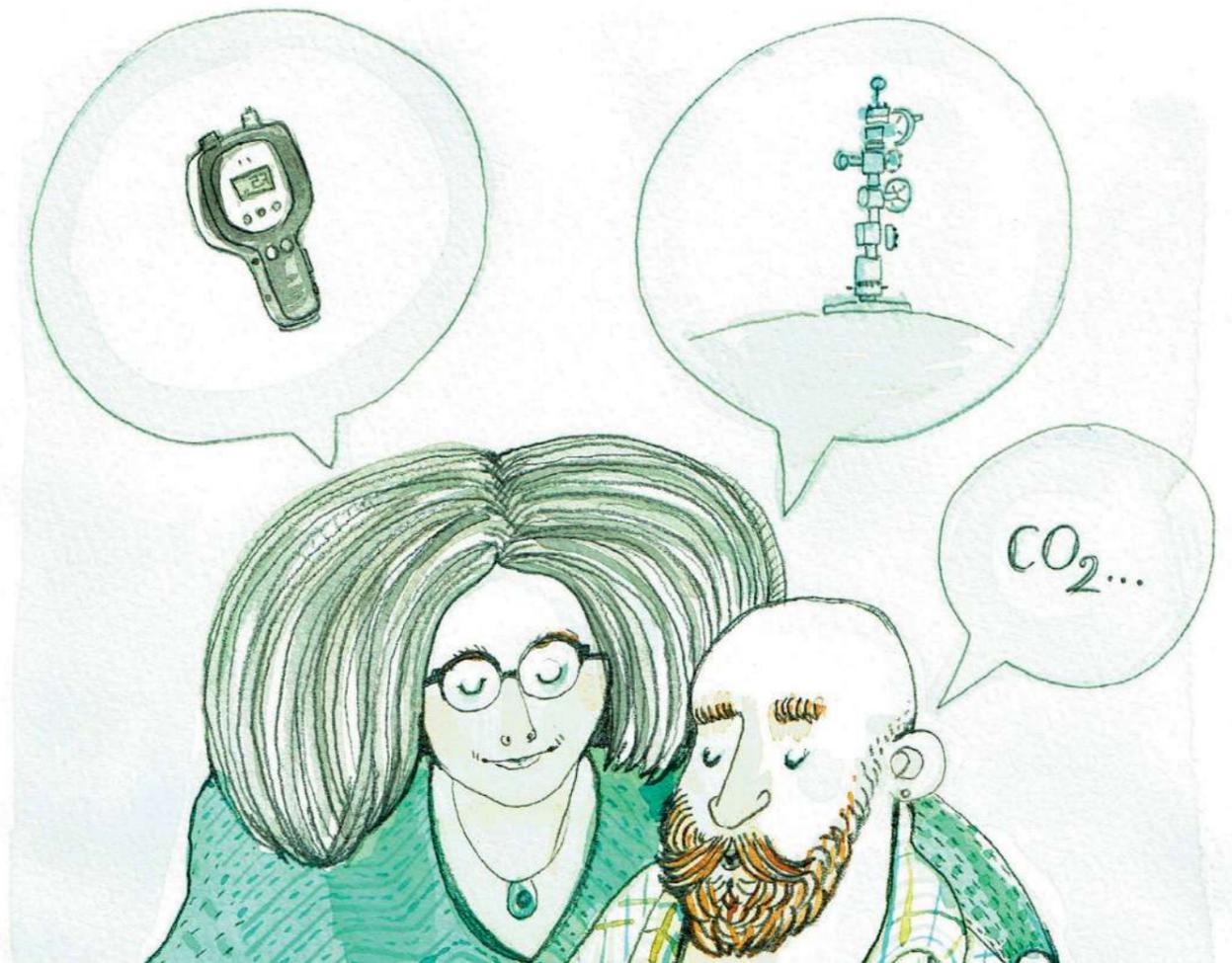
**Strumento di informazione pubblica.** ENOS metterà a frutto la conoscenza acquisita attraverso la relazione con le comunità locali per sviluppare uno strumento telematico, dinamico e interattivo di informazione pubblica, su un sito pilota operativo di stoccaggio di CO<sub>2</sub> (Hontomin). Questa applicazione

permetterà a chiunque di seguire il progresso delle attività che avvengono presso questo sito. È uno strumento che verrà sviluppato in modo che possa essere ampliato in futuro per includere anche altri siti. Il contenuto verrà definito attraverso l'interazione con la popolazione locale e altre parti sociali interessate come i giornalisti, i politici e gli amministratori locali e regionali. Verrà aggiornato a intervalli regolari con novità sul progetto e sul CCS in generale.

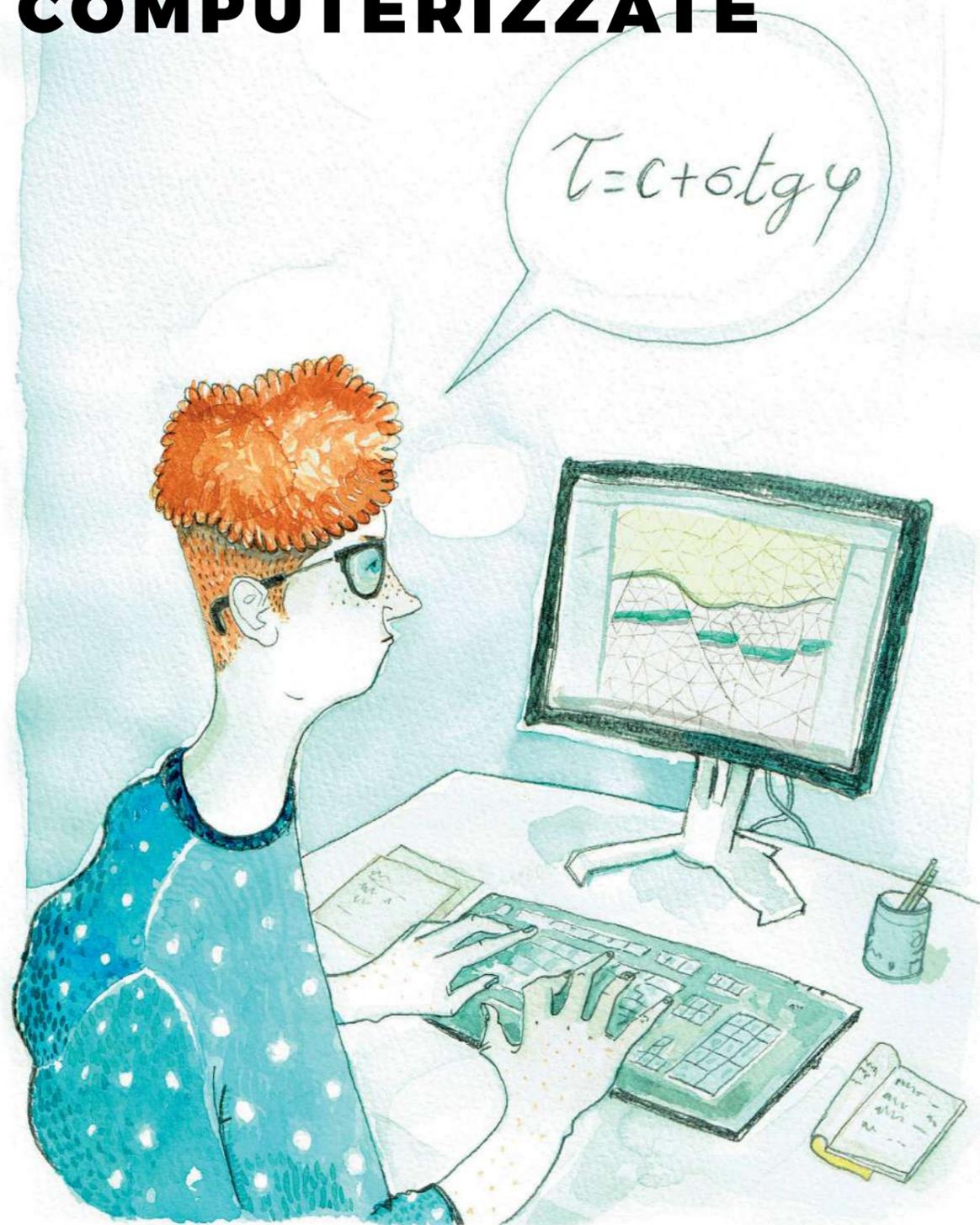
**Interazione con i giornalisti e con i mezzi di informazione.** Lo scambio diretto può fornire una comprensione della ricerca assai maggiore di quanto si possa ottenere attraverso la lettura di documenti o di risorse internet.

**ENOS ORGANIZZERÀ DEGLI INCONTRI CON I GIORNALISTI SCIENTIFICI, SIA A LIVELLO EUROPEO SIA CON I GIORNALISTI CHE LAVORANO NELLE ZONE DI STUDIO DEL PROGETTO, IN ITALIA, NEL REGNO UNITO, NEI PAESI BASSI E IN SPAGNA.**

I professionisti della comunicazione avranno l'opportunità di uno scambio diretto con i ricercatori su questioni importanti come la sicurezza dello stoccaggio di CO<sub>2</sub>, il monitoraggio e la gestione dei siti.



# GESTIRE LA COMPLESSITÀ DELLO STOCCAGGIO CON LE SIMULAZIONI COMPUTERIZZATE



SVILUPPO DI MODELLI GEOLOGICI  
SAPIENZA UNIVERSITÀ DI ROMA - CER1 - CC BY NC ND

## GESTIRE LA COMPLESSITÀ DELLO STOCCAGGIO CON LE SIMULAZIONI COMPUTERIZZATE

Per gestire tecnologie come lo stoccaggio di CO<sub>2</sub> abbiamo bisogno di una buona comprensione di molti processi complessi e di come possano evolvere nel tempo. Per cercare di descriverli usiamo modelli computerizzati che ci aiutano a gestire l'enorme quantità di dati che è necessario tenere in considerazione. I modelli computerizzati sono simulazioni della realtà che usano formule matematiche per rappresentare processi specifici, come per esempio la migrazione del CO<sub>2</sub> o l'aumento della pressione nel giacimento, quando la CO<sub>2</sub> viene iniettata. Dato che molti processi possono influenzarsi l'un l'altro, i modelli devono tener conto di questa interdipendenza. E' possibile elaborare diversi modelli per definire la gamma degli scenari plausibili che descrivono il processo che vogliamo capire e prevedere. I modelli di ENOS saranno basati su dati reali provenienti dai siti studiati. La progettazione dei modelli verrà modificata in modo che sia coerente con i risultati sperimentali, per migliorare la capacità dei modelli di riprodurre la realtà. Questa convalida verrà effettuata per condizioni diverse e mutevoli, come, per esempio, prima e dopo l'iniezione.

## QUESTIONI AFFRONTATE IN ENOS

**Capacità del sito di stoccaggio.** Capire quanto CO<sub>2</sub> può essere iniettato in un giacimento è cruciale sia dal punto di vista della fattibilità economica di un sito così come della sua sicurezza. È un tipo di informazione non sempre facile da stimare perché i sistemi naturali possono essere altamente variabili e complessi. I partner di ENOS affronteranno la questione, effettuando simulazioni per creare dei modelli della capacità di stoccaggio di due dei siti sperimentali di iniezione del progetto, Hontomin e GeoEnergy Test Bed.

**Comportamento del CO<sub>2</sub> nel serbatoio di stoccaggio.** Una chiara comprensione di come il CO<sub>2</sub> si muoverà nel serbatoio di stoccaggio è essenziale per determinare gli aspetti ingegneristici (come per esempio a quale velocità il CO<sub>2</sub> può essere iniettato in sicurezza), quelli economici e le questioni di sicurezza. In ENOS si effettueranno dei calcoli sulla direzione in cui il CO<sub>2</sub> tenderà a muoversi, sull'aumento della pressione e sulle possibili deformazioni e fratturazioni delle formazioni rocciose.

**Comportamento del CO<sub>2</sub> nei pozzi abbandonati.** Un pozzo profondo che non è più utilizzato deve essere

chiuso in maniera appropriata per isolare il sottosuolo dall'atmosfera. Alcuni vecchi pozzi possono essere stati chiusi con metodi non efficaci. Il CO<sub>2</sub> potrebbe potenzialmente migrare attraverso questi pozzi, sebbene non sia chiaro quanto potrebbe risalire e a che velocità. In ENOS studieremo il sito LBr-1 nella Repubblica Ceca, dove ci sono un certo numero di pozzi abbandonati. Questo modello di simulazione valuterà la possibile fuoriuscita di CO<sub>2</sub> attraverso i pozzi abbandonati e il possibile impatto sulle acque più superficiali.

**Comportamento del CO<sub>2</sub> lungo le faglie.** A seconda della sua struttura, forma e mineralogia, una faglia può fungere da barriera o da via di fuga per il flusso dei fluidi e può anche oscillare fra questi due estremi lungo la sua lunghezza. Inoltre, la permeabilità di una faglia può cambiare se cambiano le condizioni di pressione. A causa di questa elevata complessità, la simulazione del flusso dei fluidi lungo le faglie ha ricevuto meno attenzione delle simulazioni di rocce non fratturate. Per ovviare a questo divario di conoscenze,

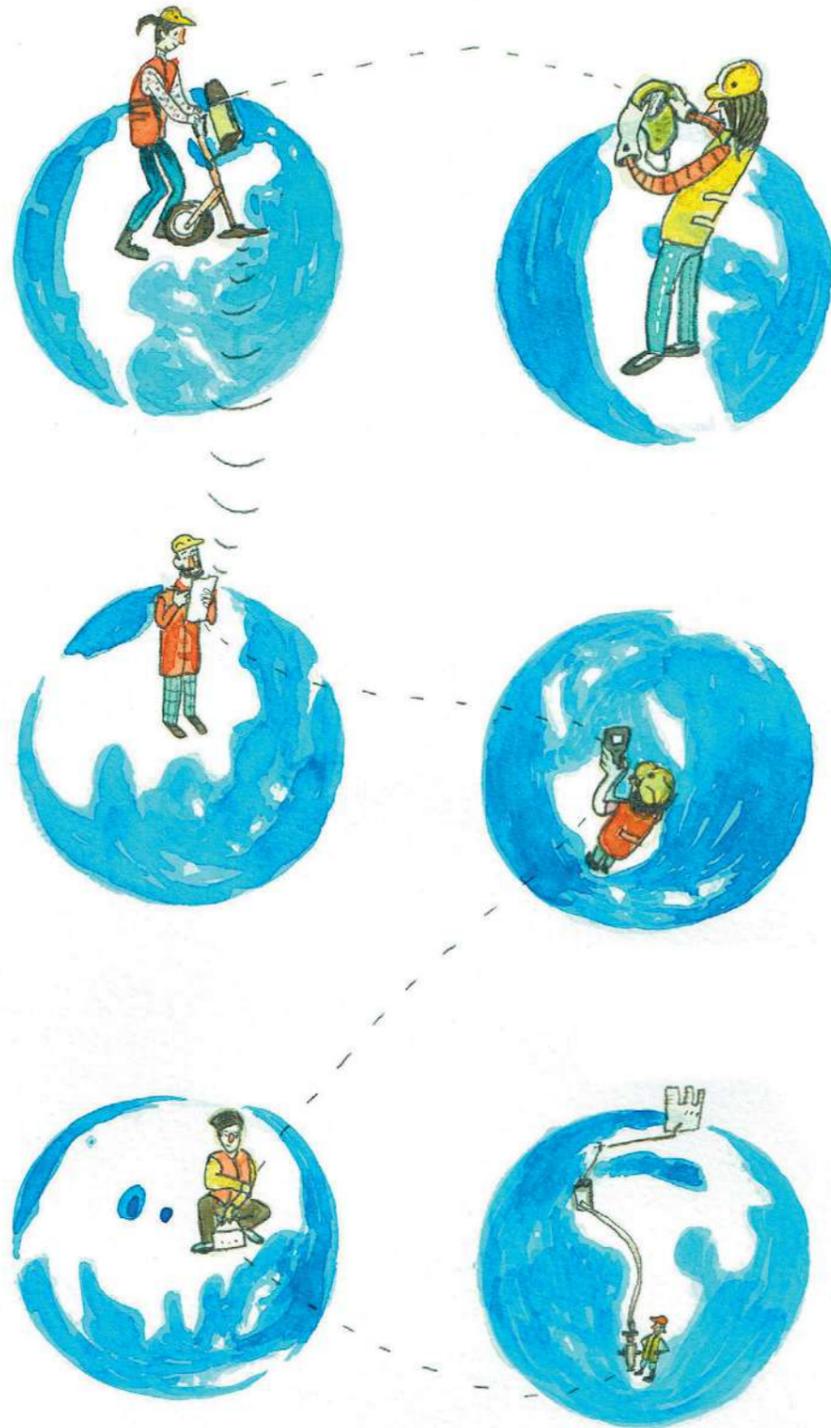
## ENOS USERÀ DATI E RISULTATI SPERIMENTALI, PROVENIENTI DAI SITI DEL PROGETTO

per simulare diversi aspetti collegati al movimento dei fluidi e alla fuoriuscita di CO<sub>2</sub> lungo le faglie. Per esempio, il CO<sub>2</sub> verrà iniettato in una faglia presso il sito del Sulcis e i dati ottenuti verranno usati per aggiornare le tecniche di simulazione e renderle più efficienti.

**Influenza del CO<sub>2</sub> sulla qualità dell'acqua potabile.** L'aggiunta di CO<sub>2</sub> ad un acquifero può dar luogo a reazioni con le rocce circostanti, che cambiano la chimica dell'acqua. Una serie di programmi computerizzati verrà usata dai partner di ENOS per simulare le reazioni chimiche che potrebbero avvenire nelle falde acquifere, usando dati reali provenienti da due siti in cui verrà sperimentata l'iniezione di CO<sub>2</sub>. I risultati aiuteranno a prevedere quale potrebbe essere l'impatto a lungo termine sulla qualità dell'acqua e metteranno in evidenza quali siano le proprietà chimiche più sensibili, che è necessario monitorare per proteggere questa risorsa fondamentale.

**Gestione del rischio.** I processi industriali complessi consistono di molte fasi, ciascuna delle quali deve essere resa il più efficiente e sicura possibile per un buon funzionamento del sistema nel suo insieme. Attraverso la valutazione del rischio potenziale di ciascuna di queste fasi è anche possibile comprendere dove le risorse possono essere usate nel modo più efficiente per ridurre il rischio globale. A questo scopo è stato sviluppato un metodo per stimare le probabilità del rischio di fuoriuscita di CO<sub>2</sub> per il sito di Hontomin, e questo verrà applicato in ENOS.

# ALIMENTARE LA COLLABORAZIONE INTERNAZIONALE



COLLABORAZIONE INTERNAZIONALE  
SAPIENZA UNIVERSITÀ DI ROMA - CER1 - CC BY NC ND

IL PROGETTO ENOS È FINANZIATO DALL'UNIONE EUROPEA NELL'AMBITO DEL PROGRAMMA DI RICERCA E INNOVAZIONE HORIZON 2020 CON IL CONTRATTO N. 653718



## ALIMENTARE LA COLLABORAZIONE INTERNAZIONALE

Condividere esperienze e conoscenze, con altri esperimenti di stoccaggio di CO<sub>2</sub> a terra nel mondo, è molto importante per arricchire le nostre conoscenze su ciò che è necessario includere nei protocolli per le buone norme per lo stoccaggio di CO<sub>2</sub> a terra. ENOS creerà varie opportunità di scambio con altri progetti attualmente in corso negli Stati Uniti, in Canada, Australia, Corea del Sud e Sud Africa. Scambio di dati, seminari per confrontare idee e risultati, visite dei siti e altre iniziative, daranno sostegno e aumenteranno la velocità di sviluppo di metodi e protocolli sicuri ed efficaci.

## QUESTIONI AFFRONTATE IN ENOS

**Gemellaggio.** I siti studiati nel progetto ENOS verranno gemellati con altri siti simili in varie zone del mondo, in Corea del Sud, Sud Africa, USA e Australia, con lo scopo di creare una stretta collaborazione che aiuti a velocizzare i progressi scientifici e ingegneristici. Il gemellaggio prevede visite reciproche, uno scambio costante di informazioni e dati e discussioni sui problemi operativi incontrati dai siti gemellati.

**“Alleanza per la simulazione delle fughe di CO<sub>2</sub>”.** Nel mondo ci sono vari siti che hanno in programma lo studio delle fughe di CO<sub>2</sub> in ambienti e condizioni diverse, attraverso esperimenti di iniezione sul terreno, o usando siti che presentano fuoriuscite di CO<sub>2</sub> prodotto naturalmente. Studiando le fughe di CO<sub>2</sub> capiamo meglio come prevenirle, quali sono i rischi e come monitorarli. La formazione di un'alleanza di ricerca su questo tema aiuterà la cooperazione, permetterà di comparare e generalizzare i risultati. I primi siti proposti per questa alleanza sono i siti ENOS GeoEnergy Test Bed (UK) e Sulcis Fault Lab (Italia), come anche il CMC Field Research Station in Canada, il Sud Coreano K-COSEM e il sito Sud Africano Bongwana Fault.

**Gruppi di condivisione delle esperienze.** ENOS creerà anche un piccolo numero di gruppi per la condivisione delle esperienze su argomenti specifici, che

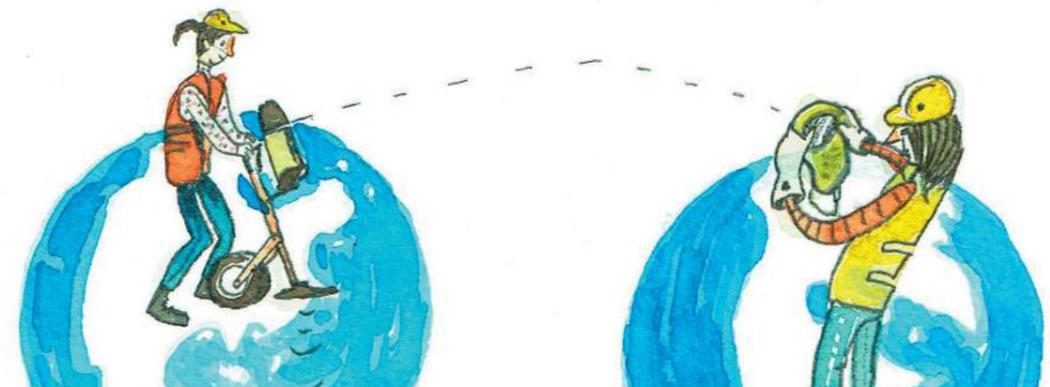
sono importanti per tutti i siti, come per esempio la caratterizzazione del sito, la gestione dell'iniezione di CO<sub>2</sub>, la strategia di monitoraggio del sito oppure la relazione con il pubblico. Il lavoro farà riferimento alle attività di ricerca di ciascun partecipante, con lo scopo di condividere esperienze (successi e fallimenti), scambiarsi anche dati ove rilevante e identificare quali sono i necessari sviluppi di metodologie e tecnologie.

**Collegamento e scambio di conoscenze a livello Europeo.** Questa parte del lavoro sarà dedicata a collegare il progetto ENOS con altri siti di stoccaggio a terra in Europa e con la più ampia comunità del CCS per rinforzare la condivisione di conoscenze ed esperienze. Saranno inclusi progetti pilota e dimostrativi Europei (come Ketzin, Lacq-Rousse, Heletz, Carb-Fix, Longyearbyen, GETICA CCS), lo European CCS Demonstration Project Network, il progetto European Carbon Dioxide Capture and Storage Laboratory Infrastructure (ECCSEL), la European Technological Platform ZEP, la EURELECTRIC CCS taskforce, il Baltic Sea Region Energy Cooperation CCS Network (BASRECCS) e vari CO<sub>2</sub> Club nazionali. I partner di ENOS useranno le conoscenze ottenute nell'ambito del progetto per contribuire direttamente allo sviluppo delle attività di ricerca dell'EERA CCS JP.

**Condivisione delle conoscenze a diversi livelli.** ENOS cercherà anche di facilitare la condivisione di conoscenze a livello nazionale. In Europa, per esempio, ci sono paesi come la Norvegia che sono molto più avanti nella sperimentazione sul CCS. I paesi più avanzati, con la loro ampiezza di esperienze e di investimenti potrebbero sostenere e velocizzare lo sviluppo in altri paesi. Una preesistente collaborazione fra Norvegia e Repubblica Ceca verrà ampliata nell'ambito di ENOS; la Norvegia sosterrà la Repubblica Ceca per quanto riguarda lo stoccaggio di CO<sub>2</sub> in giacimenti petroliferi esauriti.

## ENOS FORMERÀ ANCHE DEI GRUPPI DI UTENTI FINALI A LIVELLO NAZIONALE

tra cui politici, agenzie per l'energia, settore industriale e di generazione elettrica, ricercatori in campo geologico e in altri campi.



# RINFORZARE LA PREPARAZIONE DI RICERCATORI E PROFESSIONISTI



## MIGLIORARE LA PREPARAZIONE DI RICERCATORI E PROFESSIONISTI NEL CAMPO DELLO STOCCAGGIO GEOLOGICO DI CO<sub>2</sub>

ENOS darà vita a programmi di specializzazione universitaria, offrirà brevi corsi intensivi ("spring schools") per studenti universitari e giovani professionisti, svilupperà strumenti di formazione a distanza che saranno disponibili su internet e condurrà seminari con i giornalisti scientifici, in modo che possano informare in maniera accurata il pubblico generale. Nel caso in cui l'Europa decida di realizzare il CCS in futuro, sarà necessaria una forza lavoro altamente specializzata di scienziati e ingegneri per creare siti di stoccaggio più sicuri possibile.

## QUESTIONI AFFRONTATE IN ENOS

**Corsi universitari.** ENOS svilupperà la cooperazione tra università, per creare, e inizialmente sostenere anche economicamente, un Master di livello Europeo, specificatamente dedicato alle prassi e alle tecniche di stoccaggio di CO<sub>2</sub>. Il corso durerà 12 mesi e si svolgerà in Europa presso le Università partner di ENOS. Sarà organizzato dall'Università di Roma "La Sapienza" e dall'Università di Zagabria, in collaborazione con l'Università Heriot-Watt, la Tallinn University of Technology, l'Università di Nottingham e con la partecipazione di altre organizzazioni di ricerca che ospiteranno gli studenti per la tesi. Il Master formerà gli studenti al lavoro in équipe multidisciplinari nel campo dello stoccaggio geologico di CO<sub>2</sub>.

**Formazione post laurea.** ENOS svilupperà scuole tematiche sullo stoccaggio di CO<sub>2</sub> per studenti, giovani ricercatori e professionisti, della durata di una settimana, con studio intensivo ed esercizi pratici. Il materiale per i corsi verrà sviluppato e aggiornato con

i risultati più recenti provenienti dai siti pilota di stoccaggio. Verranno organizzate tre scuole, una in ciascun paese dove l'ipotesi di un sito pilota viene studiata in ENOS, nella Repubblica Ceca, in Italia e in Spagna.

**Formazione a distanza.** ENOS preparerà dei materiali per la formazione a distanza, per aiutare a educare e formare un pubblico più ampio su vari aspetti del CCS.

**QUESTI INCLUDERANNO SIA CONOSCENZE PIÙ GENERALI PER IL PUBBLICO, SIA CONOSCENZE TECNICHE SPECIFICHE SULLO STOCCAGGIO GEOLOGICO DI CO<sub>2</sub> PER STUDENTI E ALTRE PARTI SOCIALI INTERESSATE.**

Verranno create dieci lezioni fruibili a distanza, raggruppate in tre temi principali: il cambiamento climatico e l'importanza del CCS per la de-carbonizzazione del settore energetico e industriale, le scienze geologiche applicate allo stoccaggio geologico di CO<sub>2</sub> e gli aspetti normativi e sociali della tecnologia CCS. Ciascuna lezione verrà pubblicata e resa disponibile a tutti in forma di e-book.

**Seminari con i professionisti della comunicazione.** Il progetto ENOS riconosce l'importante ruolo che i mezzi di comunicazione svolgono nel fornire informazioni imparziali e nel chiarire concezioni errate. Verranno organizzati scambi diretti con i giornalisti in forma di gruppi di dialogo e seminari, dove le complesse conoscenze tecniche e scientifiche, collegate allo stoccaggio di CO<sub>2</sub>, potranno essere illustrate e discusse. Verranno organizzate attività in collaborazione con EUSJA, la rete europea delle associazioni dei giornalisti scientifici e altre organizzazioni nazionali di giornalisti. I giornalisti scientifici, così come i giornalisti locali che lavorano nelle aree studiate da ENOS in Italia, nella Repubblica Ceca, nel Regno Unito, nei Paesi Bassi e in Spagna, verranno invitati a partecipare per facilitare l'accesso a informazioni scientifiche appurate.

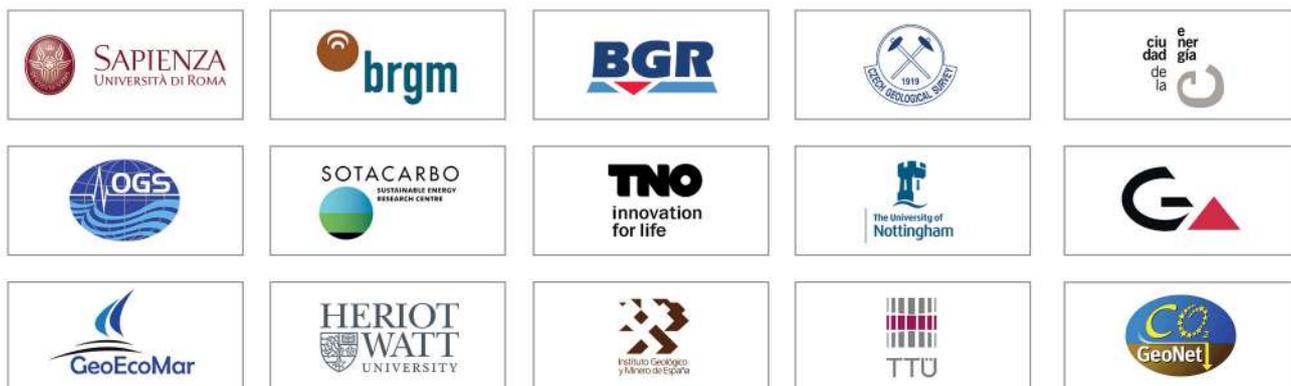
**IL PROGETTO ENOS È FINANZIATO DALL'UNIONE EUROPEA NELL'AMBITO DEL PROGRAMMA DI RICERCA E INNOVAZIONE HORIZON 2020 CON IL CONTRATTO N. 653718**



**DELIVERABLE 5.1 DEL PROGETTO ENOS - ENABLING ONSHORE CO<sub>2</sub> STORAGE IN EUROPE.**

**ELABORAZIONE TESTI COORDINATA DA SAPIENZA UNIVERSITÀ DI ROMA - CERI IN COLLABORAZIONE CON BRGM, BGR, CGS, CIUDEN, OGS, SOTACARBO, TNO, UNOTT, GBA, GEOECOMAR, HWU, IGME, TTUGI.**

**AUTORI:** SAMUELA VERCELLI, STAN BEAUBIEN, SABINA BIGI, SALVATORE LOMBARDI, MATHEW HUMPHREY, GIANNI SERRA, SANDRA RAMOS, MARIE GASTINE, GILLIAN PICKUP, WILLIAM KNIGHT, PASCAL AUDIGANE, HANNEKE PUTS, TARA GEERDINK, BAREND VAN ENGELENBURG, MARIELLE KOENEN, ALLA SHOGENOVA, ALEXANDRA DUDU, VIT HLADIK, ALES HAVLIN, ISABELLE CZERNICHOWSKI-LAURIOL, GIORGIA PINNA, LIONEL LOUBEAU, CLEMENS PORPACZY, DIANA MULTINEDDU, ALBERTO PLAISANT, ROBERTO MARTÍNEZ ORIO, MICHELA ORAZZINI, STEFANO GRAZIANI, CHIARA TARTARELLO, LIVIO RUGGIERO, DALMAZIA FUMAROLA, GREGOR GÖTZL, STEFAN SCHLÖMER, INGO MOELLER, STEFAN KNOPF, ROWENA STEAD, ALESSIA CONTI, VALENTINA ROMANO.



**UN CALOROSO RINGRAZIAMENTO PER AVER LETTO IL TESTO E AVERCI FORNITO PREZIOSI CONSIGLI PER MIGLIORARLO, A:**

TIM WATSON, CRISTINA RULLI, CATERINA PERELLI, ROBERTO DI BARTOLO, PAMELA VERCELLI, GRAHAM TAVERNER, PENNY MOYLE, STEVE MOYLE, SAM JONES, JAYNE HUMPHREY, LISA RYLEY, ANDREW RYLEY, PETER AUSTEN, BETH TORRINGTON, DOMENICO SANINO, GOFFREDO RULLI, VITA RUSSO, GIUSEPPINA PASCERI, LUCIANO CORDISCO, FRANCA DE ASCANIO, ANTONIO CAPPONI, MARIA TERESA MANGIONE, NINO ROMANO, CELESTINA TERZANO, SABRINA CARAMIA, MANUELA MAINELLI, ROMEA PIGNOLO, DONATO RUGGIERO, TERESA TARDIA, IVANA TUMINO, MARCO TORINO, LORELLA DE ANGELIS, ANTONINO CONTE, GRETA FRATINI, LUISA BATTOCCHIO, GISELLA LOMBARDI, TIZIANA MIONI.

UN RINGRAZIAMENTO PARTICOLARE A JUDITH BRADBURY, MEMBRO DEL CONSIGLIO CONSULTIVO DI ENOS, PER LA SUA COMPrensIONE E IL SUO SOSTEGNO.

**IMMAGINI SAPIENZA UNIVERSITÀ DI ROMA - CERI**

L'USO DELLE IMMAGINI È CONSENTITO SECONDO I TERMINI DELLA LICENZA CREATIVE COMMONS CC BY-NC-ND. IDEAZIONE ARTISTICA E ILLUSTRAZIONI AD ACQUERELLO DI GIUDITTA GAUDIOSO SU CONTRIBUTI DI SAMUELA VERCELLI, SALVATORE LOMBARDI, SABINA BIGI.

GRAFICA: SILVIA MURACA.

**ENOS:  
PARTECIPARE ALLA RICERCA  
SULLO STOCCAGGIO  
GEOLOGICO DI CO<sub>2</sub>**

**SITO DEL PROGETTO**

[www.enos-project.eu](http://www.enos-project.eu)