



FÉDÉRATION EUROPÉENNE DES GEOLOGUES  
EUROPEAN FEDERATION OF GEOLOGISTS  
FEDERACIÓN EUROPEA DE GEÓLOGOS



CONSIGLIO NAZIONALE  
DEI GEOLOGI



The  
Geological  
Society

*-serving science & profession*



# La Geologia per la Società

Giugno 2015

# Perché è importante la Geologia?

**La Geologia è lo studio della struttura e della storia della Terra. Essa sta alla base della disponibilità di risorse per la popolazione e l'industria europee e, grazie ad una solida base di competenze, formazione e ricerca in campo geologico, fornisce una molteplicità di servizi essenziali e ci aiuta ad imparare a vivere in modo più sostenibile sul nostro pianeta.**



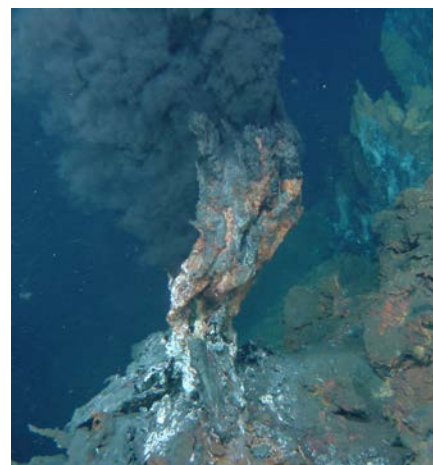
Immagine della Terra ripresa dall'Apollo 17. ©NASA

La Geologia (spesso indicata come “Scienze della Terra” o “Geoscienze”) è lo studio della struttura del nostro pianeta e dei processi che l'hanno modellato attraverso la sua lunga storia - e che continuano a farlo. La Geologia sta alla base della disponibilità della maggior parte delle risorse dalle quali dipendono la popolazione e l'industria europee, quali **energia, minerali, acqua e cibo**. Un'ampia gamma di servizi essenziali dipende dalla Geologia: la gestione dei rifiuti che produciamo; l'ingegneria del suolo per la costruzione di **edifici, strade, dighe, gallerie** ed altre grandi infrastrutture; e le bonifiche ambientali, ad esempio in caso di **siti contaminati da attività industriali**. Lo studio, da parte dei geologi, delle catastrofi naturali e della loro pericolosità è determinante per essere pronti a fronteggiarle e mitigarne gli effetti. La salvaguardia di acqua di qualità e per uso potabile e l'erogazione di diversi servizi ecosistemici dipendono dalla conoscenza sia delle caratteristiche geologiche del sottosuolo, sia delle loro innumerevoli interazioni con i processi che avvengono in superficie. La futura sicurezza degli approvvigionamenti energetici europei si basa in grandissima parte sulle competenze dei geologi in una pluralità di settori, dall'estrazione delle risorse alle energie rinnovabili ed all'uso del sottosuolo per lo stoccaggio della CO<sub>2</sub> e delle scorie radioattive.

Le evidenze delle interazioni fra i **cambiamenti ambientali** e l'evoluzione della vita attraverso centinaia di milioni di anni consentono ai geologi di formulare una valida prospettiva sui cambiamenti antropici dovuti all'utilizzo dei combustibili fossili e sui loro più ampi impatti sull'ambiente. I geologi svolgeranno un ruolo-chiave anche **nell'abbattimento delle emissioni di CO<sub>2</sub>** da combustibili fossili, attraverso la sua reimmissione nel luogo di origine - il sottosuolo. Proprio mentre stiamo appena iniziando a comprendere tutta la portata del nostro impatto sul pianeta, risorse facilmente accessibili stanno diventando sempre più scarse e la popolazione umana più numerosa. Mentre cerchiamo di vivere in modo più sostenibile ed equo, i geologi stanno sviluppando una visione più olistica dell'uso delle risorse, dei rifiuti e dei sottoprodotti generati, nonché delle nostre complesse interazioni con il sottosuolo, la terra, il mare, l'aria e la vita che, insieme, formano il Sistema Terra.

La conoscenza e l'approvvigionamento di tutte queste risorse e di questi servizi dipendono dalla presenza di geologi altamente qualificati e formati, sia nel mondo accademico sia nel settore industriale, che abbiano acquisito solide competenze nelle Geoscienze attraverso la scuola e l'università. L'Europa eccelle nella ricerca geologica di base, fondamentale per comprendere i processi della Terra e le future sfide ambientali. Costanti investimenti nello sviluppo di competenze e nella ricerca nel campo delle Geoscienze daranno impulso alla crescita economica e consentiranno all'Europa di svolgere un ruolo di primo piano nel fronteggiare le sfide globali.

Camino attivo (“black smoker”) che produce fluidi e minerali (inizialmente a circa 360 °C) nel campo idrotermale Rainbow, a sud delle Azzorre, profondità -2200 m, spedizione Seahma. ©FCT Portogallo 2002, archivio immagini Creminer-LARSyS



# La Geologia per l'Economia

**La Geologia svolge un ruolo primario in molti settori dell'economia. La crescita economica, la sostenibilità ed anche il benessere sociale saranno condizionati dall'affidabilità degli approvvigionamenti di energia e materie prime, dalla disponibilità di acqua di buona qualità, nonché dalla sicurezza e dalla sostenibilità della produzione di derrate alimentari. Tutto ciò richiederà investimenti costanti in tecnologia, infrastrutture, istruzione e sviluppo di competenze.**

La localizzazione e l'estrazione delle risorse geologiche sono di importanza cruciale per il PIL, il gettito fiscale e la crescita economica in Europa. L'uso di materie prime nei processi industriali e nei prodotti di largo consumo e di combustibili fossili per produrre energia sta alla base della nostra prosperità e concorre notevolmente al buon andamento dell'economia stessa. L'attività estrattiva di petrolio, gas naturale, carbone, minerali industriali e da costruzione ha una quota rilevante del PIL dei Paesi Europei. Nel Regno Unito, tale quota è stata pari a 38 miliardi di sterline (12% del PIL non legato al settore terziario) nel 2011. La quota del PIL delle industrie dipendenti da tali risorse è anche superiore. Il petrolio ed il gas naturale del Mar del Nord contribuiscono in misura cospicua ad alcune delle economie nazionali europee, generando miliardi di euro all'anno di gettito fiscale. Nel 2012, la capitalizzazione di mercato delle aziende estrattive sulle borse europee ha superato i 3.200 miliardi di euro.



La Borsa di Francoforte

Una valutazione approfondita della domanda e dell'offerta di questi beni e dei relativi oneri (finanziari e ambientali) è indispensabile per attuare efficaci processi decisionali e di programmazione economica. I dati statistici sui minerali dell'Europa e del mondo, elaborati dal Servizio Geologico Britannico, svolgono un importante ruolo nel rispondere a questa esigenza. L'UE ha definito un elenco di materie prime minerali considerate "critiche", il cui approvvigionamento può creare delle "strozzature", pregiudicando la crescita economica. Ad esempio, vi è una domanda crescente di Terre Rare (REE), dovuta al loro utilizzo per applicazioni ad alta tecnologia, come schermi al plasma, strumenti di diagnostica per immagini e tecnologie a basse emissioni di CO<sub>2</sub>, come i generatori eolici ed i veicoli ibridi.



Campione di formazione ferrifera a bande proveniente da Krivoy Rog, Ucraina.

Il nostro futuro sarà caratterizzato dalla limitatezza delle risorse e da una maggiore consapevolezza degli impatti derivanti dalla loro estrazione e dal loro utilizzo. Una popolazione del mondo in crescita aspira giustamente ad avere una maggiore prosperità ed un accesso più equo alle risorse, ma queste aspettative esercitano ulteriori pressioni sul nesso fra acqua, energia e cibo, già sotto stress. La sfida di una disponibilità sicura e sostenibile di acqua ed energia è esacerbata dal cambiamento climatico. Un maggiore livello di stress su questa disponibilità avrà significative ripercussioni tanto sugli approvvigionamenti interni quanto sulle industrie ad alto consumo di energia ed acqua, come quella mineraria e quella edile.

Tutte queste sfide possono chiamare in causa lo *status quo* economico, ma offrono anche opportunità di innovazione per dare sostegno alla stabilità ed alla crescita dell'economia in futuro. Attraverso investimenti costanti nelle infrastrutture, nella ricerca e nello sviluppo di competenze e la creazione di un contesto propizio all'innovazione, l'Europa può assumere la leadership nel mondo in fatto di tecnologie hi-tech ed ambientali e delle relative applicazioni. Se vogliamo decarbonizzare il sistema energetico, sarà necessario sviluppare, in tutto il mondo, la gestione delle scorie radioattive e la cattura e lo stoccaggio della CO<sub>2</sub> (CCS); queste azioni offrono opportunità di sviluppo di tecnologie, di competenze e di esperienze in tutta Europa, che potranno poi essere più ampiamente esportate altrove. Grazie all'elevato grado di sviluppo raggiunto nel settore della ricerca e della formazione universitaria, l'Europa ha tutte le carte in regola per svolgere un ruolo di primo piano nell'economia della conoscenza globale.

**La transizione verso un'economia a basse emissioni di CO<sub>2</sub> è un'esigenza urgente. Tuttavia, mentre gestiremo questo cambiamento, continueremo a dipendere dai combustibili fossili ancora per molti anni. Le competenze nelle Scienze della Terra sono determinanti in ciascuna fase del ciclo energetico, dall'individuazione delle risorse alla loro estrazione ed al loro utilizzo in modo sicuro ed affidabile, fino al successivo smaltimento o riciclaggio dei rifiuti.**

Nel fronteggiare il futuro fabbisogno energetico, l'Europa deve rispondere ad una triplice sfida: ridurre drasticamente le emissioni di CO<sub>2</sub> per evitare il pericoloso cambiamento climatico, garantire la sicurezza degli approvvigionamenti e rendere disponibile energia a prezzi contenuti alle industrie ed ai cittadini.

## I combustibili fossili

I combustibili fossili continueranno ad avere un'importante quota del mix energetico europeo, almeno nei prossimi decenni. Negli ultimi decenni, alcuni Paesi hanno ottenuto enormi benefici dal petrolio e dal gas del Mar del Nord. Rimangono ancora notevoli risorse *off-shore*, ma il loro sfruttamento richiede un costante impegno in termini di ricerca geologica e sviluppo di tecnologie estrattive. Stiamo anche iniziando a capire meglio la portata delle risorse *on-shore* di combustibili fossili non convenzionali, come il "gas da scisti" (*shale gas*), il "petrolio/olio da scisti" (*shale oil*) ed il "metano da carbone" (*coal bed methane*), che potrebbero dare un significativo contributo al nostro mix energetico, se decidessimo di estrarli. I Paesi che non sviluppano le proprie risorse interne di combustibili fossili diventeranno più dipendenti dalle importazioni di combustibili, con possibili effetti negativi sulla loro sicurezza energetica. Gran parte dell'energia elettrica in Europa è ancora prodotta attraverso la combustione di carbone.



Scorie di basso e medio livello nel deposito geologico di Olkiluoto, Finlandia. ©SKB, Svezia

## Il gas da scisti (*shale gas*)

Gli idrocarburi (petrolio e gas) derivano dal materiale organico che si è depositato, milioni di anni fa, negli strati di rocce sedimentarie e che è stato successivamente sottoposto ad un aumento di calore e pressione. Nei giacimenti "convenzionali", il petrolio ed il gas sono migrati dal luogo di origine, rimanendo intrappolati da uno strato di roccia impermeabile. Al contrario, quando il gas accumulatosi è trattenuto da uno strato impermeabile di scisti/argilliti e non può migrare, esso non può essere estratto con tecniche di perforazione convenzionali (ecco perché viene chiamato risorsa "non convenzionale").

E' attualmente possibile estrarre economicamente lo *shale gas* con tecniche di perforazione orizzontale e fratturazione idraulica (*fracking*), in cui si utilizzano acqua, sabbia e piccole quantità di additivi chimici per aprire fratture nella roccia e consentire al gas di fluire più liberamente. Le competenze geologiche sono fondamentali per individuare le risorse di shale gas e per studiare e gestire i possibili rischi derivanti dalla loro estrazione, ad esempio la sismicità indotta o la contaminazione delle falde per un'inadeguata realizzazione dei pozzi.

## La cattura e lo stoccaggio della CO<sub>2</sub> (CCS)

A medio termine, i combustibili fossili continueranno ad avere un peso cospicuo nel nostro mix energetico, il che renderà necessario intervenire con urgenza, per evitare il pericoloso cambiamento climatico indotto dalle emissioni di CO<sub>2</sub> durante la loro combustione. La tecnologia CCS (Carbon Capture and Storage), se applicata su scala adeguata, può rispondere a questa esigenza, catturando la CO<sub>2</sub> ed intrappolandola in modo sicuro nel sottosuolo.

I geologi sono già al lavoro per l'identificazione e lo sviluppo tecnologico di idonei siti di stoccaggio. I giacimenti di petrolio e gas del Mar del Nord che si stanno esaurendo sono i principali candidati per lo stoccaggio della CO<sub>2</sub>. Questa potenziale capacità di stoccaggio costituisce quindi un'ulteriore preziosa risorsa, in particolare per il Regno Unito e la Norvegia, soprattutto se sarà possibile riutilizzare le infrastrutture esistenti. I geologi svolgeranno un ruolo-chiave anche nella realizzazione di progetti a lungo termine di stoccaggio della CO<sub>2</sub> e di monitoraggio delle eventuali perdite e delle deformazioni geomeccaniche. Sono in corso promettenti ricerche su nuovi contesti

## Le altre fonti energetiche

Le fonti rinnovabili sono destinate ad avere un ruolo sempre più incisivo nel mix energetico, a mano a mano che ci avviamo verso un'economia decarbonizzata.

È importante avere una profonda conoscenza della geologia regionale e del sottosuolo per la localizzazione e la costruzione di molti impianti di produzione di energia da fonte rinnovabile, come quelli eolici, idroelettrici, geotermoelettrici e quelli di sfruttamento dell'energia dalle maree.

Molte delle materie prime necessarie per le tecnologie di utilizzazione delle fonti rinnovabili, fra cui gli aerogeneratori, i motori ibridi ed i pannelli solari, sono considerate "critiche" - come le Terre Rare - e la loro individuazione ed estrazione in sicurezza richiedono ricerche geologiche e personale qualificato.

**L'energia nucleare** avrà probabilmente una parte importante nel futuro mix energetico. Essa dipende da una fonte affidabile di uranio, estratto da giacimenti di minerali di uranio economicamente recuperabili - di nuovo un processo che richiede competenze geologiche. Anche se non saranno più costruite centrali nucleari, dovremo garantire la gestione a lungo termine ed in sicurezza delle scorie prodotte da quelle esistenti. In molti Paesi europei che producono energia elettrica da fonte nucleare, i governi hanno adottato politiche di smaltimento delle scorie radioattive attraverso il loro confinamento in appositi depositi geologici.

## La geotermia

In alcuni Paesi europei esistono ottime potenzialità per lo sviluppo di fonti di energia geotermica ad alta temperatura, sia per la produzione di energia elettrica, sia per gli usi diretti del calore terrestre. Anche nelle aree in cui non sono presenti rocce molto calde in profondità, è possibile sfruttare anche le più piccole differenze di temperatura presenti nel sottosuolo prossimo alla superficie, attraverso l'uso di pompe di calore geotermiche. Nelle nuove costruzioni, l'installazione di sistemi di riscaldamento e raffreddamento funzionanti con pompe geotermiche può consentire di ridurre fino al 10% le emissioni di CO<sub>2</sub>. Lo sviluppo di queste risorse richiede le competenze dei geologi, per individuare le risorse, valutare la capacità geotermica e l'energia estraibile, nonché progettare e realizzare i relativi impianti di utilizzazione.

## Lo smaltimento geologico dei rifiuti radioattivi

Smaltimento geologico significa confinare i rifiuti radioattivi in depositi sotterranei ricavati in formazioni rocciose idonee, in genere ad una profondità compresa tra 200 e 1000 m, onde assicurare che nessuna quantità nociva di radioattività possa migrare verso la superficie. Si tratta di depositi basati sul sistema multi-barriera: i rifiuti, collocati in speciali contenitori, sono messi a dimora in gallerie appositamente progettate; è la geosfera a costituire una barriera ulteriore, per tenere i radionuclidi intrappolati per decine di migliaia di anni. Vari litotipi possono essere utilizzati, fra cui i graniti, le argille e le rocce evaporitiche (saline). La localizzazione di siti idonei dipende non solo da fattori geologici, ma anche da forme di partenariato e dal coinvolgimento delle popolazioni locali, disponibili ad accogliere depositi per lo smaltimento di rifiuti radioattivi. Nella caratterizzazione dei potenziali siti e nella realizzazione dei depositi definitivi, i geologi avranno un ruolo decisivo.



Il Parco Eolico di Thornton Bank, Belgio. ©Deme-group

**Una disponibilità sicura di acqua dolce di buona qualità è indispensabile per la salute ed il benessere della popolazione. I geologi contribuiscono al soddisfacimento di questo fabbisogno, in Europa e nel mondo, studiando i movimenti delle acque ed il comportamento degli acquiferi, nonché individuandone e mitigandone l'inquinamento.**

## La sicurezza delle acque

L'acqua dolce presente in superficie è parte di un più ampio sistema, che comprende le acque sotterranee, gli oceani, l'acqua contenuta nell'atmosfera e quella immagazzinata sotto forma di ghiaccio.

Circa il 75% dei cittadini dell'UE dipende, per il suo approvvigionamento idrico, dalle acque sotterranee - risorse importanti ma vulnerabili, che esigono un'attenta gestione. Il resto del fabbisogno idrico è coperto dalle acque superficiali dei fiumi e dei laghi, raccolte negli invasi.

I livelli delle acque sotterranee variano a seconda delle precipitazioni locali, del tasso di infiltrazione (la velocità con la quale il terreno è capace di assorbirla) e dell'entità dei prelievi. In alcune località, l'acqua sotterranea rappresenta una risorsa non rinnovabile di acqua dolce, a causa del tempo necessario per la ricarica (il reintegro) dell'acquifero, che può variare da una scala temporale stagionale ad una di molti millenni.

### Che cos'è l'acqua sotterranea?

L'acqua sotterranea è l'acqua che filtra verso il basso nel terreno, arrivando fin sotto la "tavola d'acqua" (la "zona satura"), dove è trattenuta in rocce porose. Essa fluisce attraverso il terreno (spesso molto lentamente), finché non arriva ad un punto di recapito, ad esempio una sorgente, un fiume o il mare.

Le formazioni geologiche che contengono acqua sotterranea estraibile sono chiamate acquiferi; questi rappresentano importanti risorse di acqua potabile. Tuttavia, non tutta l'acqua contenuta negli acquiferi è dolce; infatti, essa può essere anche molto salina. Un eccessivo emungimento delle falde può causare intrusioni saline negli acquiferi di acqua dolce. La porosità e la permeabilità delle formazioni rocciose determinano quanta acqua può essere immagazzinata e quanta può defluire e quindi la qualità dell'acquifero.

## La qualità dell'acqua e il ciclo idrologico

L'acqua può essere inquinata per cause naturali, ma il maggiore rischio di inquinamento proviene dalle attività antropiche. Gran parte dell'inquinamento deriva da sorgenti diffuse, ad esempio l'impiego di pesticidi e concimi nei terreni agricoli. La pioggia che cade sul terreno raccoglie gli inquinanti in superficie, trascinandoli verso i corsi d'acqua o negli acquiferi sottostanti. Vi sono anche molte sorgenti puntuali di inquinamento, ad es. le perdite di prodotti chimici nelle aree industriali, dalle reti fognarie o dai siti di discariche.

L'inquinamento può accumularsi lentamente ed avere lunghi tempi di permanenza nel sottosuolo, a causa di bassi tassi di infiltrazione, di ricarica e di migrazione delle acque sotterranee. La bonifica delle falde inquinate può essere molto onerosa, sia finanziariamente, sia in termini di consumo di energia. Per ridurre al minimo i costi di bonifica ed assicurare acqua di buona qualità, è indispensabile conoscere sia il comportamento dell'acqua sotterranea, sia i cicli geochimici dei potenziali inquinanti.



Il ciclo dell'acqua. ©USGS

## Il nesso acqua-energia

Il settore energetico necessita di grandi quantità di acqua per molti dei suoi processi essenziali. L'estrazione delle risorse, il trasporto dei combustibili, la trasformazione dell'energia e le centrali elettriche rappresentano circa il 35% di tutti gli usi idrici del mondo. Si prevede che, entro il 2050, i consumi di acqua per produrre energia elettrica saranno più del doppio di quelli attuali. L'attuale spinta verso la diversificazione delle fonti energetiche, anche attraverso l'uso di combustibili alternativi, porterà in molti casi ad utilizzare processi ad alto consumo di acqua. Per esempio, per estrarre petrolio dalle sabbie bituminose, è necessaria una quantità di acqua venti volte superiore a quella necessaria per la perforazione tradizionale, mentre i biocombustibili possono consumare una quantità di acqua migliaia di volte superiore a quella necessaria per i combustibili tradizionali, a causa della necessità di un'irrigazione molto estesa.

Nel contempo, l'energia è necessaria per produrre ed erogare acqua di buona qualità. Essa è essenziale in ogni fase della filiera, dal pompaggio dell'acqua sotterranea, al trattamento delle acque superficiali, al trasporto ed alla produzione di acqua calda sanitaria. I consumi energetici per il trattamento delle acque sono destinati ad aumentare a causa del maggiore ricorso a tecnologie di trattamento e di depurazione e, soprattutto, all'aumento della presenza di impianti di dissalazione energivori, per ovviare alla minore disponibilità di acqua dolce. Le società idriche del Regno Unito, ad esempio, hanno registrato un incremento dei consumi di energia elettrica di oltre il 60% a partire dal 1990, in conseguenza dell'adozione di sistemi avanzati di trattamento delle acque e dell'aumento del numero di allacci alle reti idriche. Stime conservative, inoltre, indicano che questi consumi cresceranno ancora del 60-100% nel giro di 15 anni per rispettare gli standard di qualità delle acque.

## L'impatto dei cambiamenti ambientali

Gli effetti del cambiamento climatico sulle acque sotterranee e superficiali saranno variabili fra un Paese e l'altro e difficilmente prevedibili, aggiungendosi agli altri stress ai quali è sottoposto il ciclo idrologico. In molti Paesi europei, si è riscontrata una diminuzione dei livelli di falda a causa della siccità degli ultimi anni e le minacce alla sicurezza degli approvvigionamenti idrici sono probabilmente destinate ad aumentare. A livello mondiale, questa sfida ha già raggiunto dimensioni critiche. Condizioni atmosferiche sempre più imprevedibili mettono a rischio la ricarica degli acquiferi e gli approvvigionamenti idrici. Bassi livelli di falda, associati ad una lenta ricarica, potrebbero avere conseguenze gravissime sulla futura sicurezza idrica, persino in Paesi con clima temperato. Si prevede che il cambiamento climatico avrà un effetto moltiplicatore e che eventi atmosferici estremi potranno compromettere le attività economiche e le infrastrutture nazionali.

## Le competenze geologiche

La conoscenza dell'idrogeologia locale e delle condizioni ambientali è determinante per gestire la disponibilità di acqua e la sua qualità. Gli idrogeologi e gli altri esperti in Geoscienze studiano e cartografano il sottosuolo, costruendo modelli per individuare le vie di flusso delle acque e per quantificare e caratterizzare le risorse degli acquiferi. Il monitoraggio dell'acqua sotterranea, stagionale ed a lungo termine, può consentire di prevedere e gestire periodi di depauperamento degli acquiferi dovuti a scarse precipitazioni. Questi dati possono poi essere impiegati nell'elaborazione di piani strategici per contrastare la siccità, le inondazioni e per garantire l'approvvigionamento idrico.



Sistema di trattamento delle acque reflue e Diga di Kölnbrein, Carinzia, Austria.

# Le risorse minerarie

L'industria moderna, le tecnologie ed i prodotti di largo consumo necessitano di una grande varietà di minerali, alcuni dei quali sono disponibili in abbondanza, mentre altri sono rari. Le relative attività di estrazione e commercializzazione hanno un peso cospicuo nell'economia europea e mondiale. A mano a mano che la popolazione e la domanda di risorse crescono, sono richieste tecnologie innovative per individuare ed estrarre i minerali ed utilizzarli in modo sempre più efficace.

## Le risorse

L'industria mineraria fornisce una vasta gamma di risorse: materiali da costruzione, come inerti (naturali o da rocce disgregate) e sabbie; fosfati e potassa per i concimi; molti minerali con specifiche applicazioni industriali, come la fluorite (utilizzata negli strumenti ottici) e le bariti (impiegate come fluidi di perforazione nell'estrazione di petrolio e gas) e minerali dai quali sono estratti metalli di ogni genere.

Alcune risorse minerarie sono relativamente abbondanti ed estratte e utilizzate in grandi quantità, ad esempio gli inerti ed alcuni metalli, fra i quali rame, nickel, alluminio e ferro. Altre, anche se utilizzate in quantità minori, esistono in quantità sufficiente per far fronte alla domanda mondiale. Nonostante ciò, per alcuni minerali di interesse economico o strategico, vi è il rischio di una disponibilità insufficiente per coprire la domanda a breve-medio termine, in genere a causa di fattori economici e politici piuttosto che per limitatezza geologica della risorsa. Si tratta delle **materie prime definite "critiche"**. Non esiste ancora un loro elenco definitivo, ma l'UE ha individuato 14 di queste risorse, che comprendono due gruppi di elementi metallici – le Terre Rare (REE) ed i metalli del Gruppo del Platino (PGM). Vi sono preoccupazioni anche in relazione alla futura disponibilità di fosfati e potassa, i quali sono impiegati in grandi quantità nella produzione di fertilizzanti.



## Gli elementi delle Terre Rare

Le Terre Rare (REE) sono un gruppo di diciassette elementi metallici: i quindici lantanidi, con numero atomico compreso fra 57 e 71, l'ittrio e lo Scandio. Il loro utilizzo in applicazioni ad alta tecnologia, come gli schermi al plasma, i componenti elettronici, l'immaginografia medica e le tecnologie a bassa emissione di CO<sub>2</sub>, come le turbine eoliche ed i veicoli ibridi, ne ha fatto crescere la domanda mondiale di oltre il 50% nell'ultimo decennio e si stima che questa percentuale subirà un ulteriore incremento. Uno studio effettuato dall'UE nel giugno 2010 ha inserito collettivamente le REE nell'elenco delle 14 risorse minerarie "critiche". La Cina è in testa nel mondo in fatto di produzione di REE e molti altri grandi giacimenti sono ubicati al di fuori dell'Europa - specialmente in Cina, nella Comunità degli Stati Indipendenti (Russia, Kirghizistan e Kazakistan), negli USA ed in Australia.

La scarsità geologica, in termini assoluti, di queste risorse non sembra costituire un problema e l'aumento dei prezzi delle REE e delle preoccupazioni della popolazione mondiale per la sicurezza degli approvvigionamenti hanno portato all'avvio di attività minerarie al di fuori della Cina. Ma le sfide tecniche, finanziarie, ambientali e normative da fronteggiare sono tali da rendere l'apertura di nuove miniere di REE un processo lungo e costoso. Ciò potrebbe far sì che la domanda superi l'offerta nei prossimi anni, ponendo un vincolo allo sviluppo ed alla diffusione delle tecnologie a basso contenuto di CO<sub>2</sub>, che dipendono dalle REE.

La miniera di Aitik, ubicata fuori la città di Gällivare (Svezia settentrionale), è la più grande miniera di rame svedese e quella a cielo aperto a più alta efficienza nel mondo. ©Boliden



# Le risorse minerarie

## Il settore minerario europeo

Nel 19° secolo, la crescita delle grandi economie nazionali europee è stata dettata dall'estrazione e dall'utilizzo di carbone, minerali metallici ed altre materie prime. L'Europa non è più il produttore dominante di molti minerali; tuttavia, grazie alla ricchezza ed alla varietà delle sue caratteristiche geologiche, molti Paesi europei continueranno ad essere importanti produttori ed esportatori di particolari merci - ad esempio l'argento in Polonia ed il titanio in Norvegia - nonché di materiali da costruzione ed alcuni minerali industriali di largo consumo, come il sale.

Con l'aumento dei prezzi delle merci e l'emergere di nuove tecnologie di estrazione e lavorazione, potrebbero diventare



Miniera di perlite, Pálháza, Ungheria settentrionale. ©Perlit-92 Kft

interessanti giacimenti di piccole dimensioni di minerali pregiati, la cui estrazione non è stata finora economicamente conveniente. È per questo motivo che sono state aperte molte miniere di minerali metalliferi, come quella di Hemerdon nel Devon (Regno Unito), dove l'estrazione di tungsteno riprenderà presumibilmente a breve. Solo piccolissime quantità dei minerali "critici" impiegati in Europa sono prodotti nell'UE. La produzione di risorse minerarie specifiche è spesso dominata da uno o due Paesi (la Repubblica Democratica del Congo per il cobalto, ad esempio) e ciò può costituire un rischio per la sicurezza degli approvvigionamenti verso i Paesi europei.

Progetti di ricerca innovativi, improntati ad una gestione del ciclo delle risorse, possono portare ad estrarre metalli dagli scarti dei processi industriali ed a riutilizzare i residui minerari per recuperare minerali precedentemente non estratti. È possibile anche migliorare la progettazione dei prodotti, così da "chiudere il cerchio" con il riciclaggio e la riduzione dello smaltimento dei rifiuti. L'efficienza energetica e la riduzione degli impatti ambientali dovuti all'utilizzo delle risorse rappresentano uno stimolo per la ricerca in questo campo.

I Paesi rivieraschi del Mar del Nord provvedono a gran parte del loro fabbisogno di sabbia e ghiaia dragando il fondo marino. Alcuni esperti considerano gli ambienti marini più profondi, ad esempio quelli localizzati intorno ai camini idrotermali, come potenziali importanti riserve di metalli, fra cui molti di quelli definiti "critici".

## Assicurare l'alimentazione ad una popolazione in crescita

Senza la geologia, non ci sarebbe l'agricoltura. Le colture, infatti, dipendono da terreni di buona qualità (formati da roccia alterata, unita a materiale organico, acqua e gas), che costituiscono il mezzo in cui avviene la loro crescita. Queste richiedono anche la presenza di nutrienti dal sottosuolo. L'incremento della popolazione mondiale sta creando una pressione crescente sulle risorse alimentari. La disponibilità di fosfati e potassa, utilizzati per i concimi, è sottoposta ad una pressione anche più intensa, nell'attuale fase di crescenti tensioni fra risorse alimentari, energia e sicurezza idrica e cambiamenti ambientali.

Gli elevati livelli di fertilizzanti impiegati in tutto il mondo e la loro crescita ha fatto elevare sensibilmente la relativa domanda, nonché le preoccupazioni per la futura sicurezza degli approvvigionamenti di fosfati e potassa. La maggior parte dei fosfati del mondo proviene da pochi Paesi, con la Cina in testa. È ancora più esiguo il numero di Paesi che producono potassa. L'impiego continuo di fosforo (al posto di potassa) può anche avere effetti dannosi sull'ambiente, dovuti alla lisciviazione dei fosfati verso i fiumi, che causa eutrofizzazione.



Attività agricola nella regione de La Rioja, Spagna.

# Costruire il futuro

**La conoscenza delle condizioni dei terreni e delle modalità con cui edifici, infrastrutture ed esseri umani interagiscono con il loro ambiente geologico è essenziale per garantire la sicurezza e il benessere pubblici, per assicurare l'economicità delle scelte e per fronteggiare le sfide della convivenza con i cambiamenti ambientali.**

## L'ambiente costruito

La Geologia Applicata all'Ingegneria consiste nell'affiancare i principi della geologia e delle relative specializzazioni alle discipline ingegneristiche in una molteplicità di contesti. Il settore edile si avvale di un gran numero di geologi applicati, idrogeologi, geologi ambientali ed altri, per approfondire la conoscenza delle condizioni dei terreni e del più ampio contesto geologico e determinarne le interazioni con gli elementi del "costruito": edifici, strade, ferrovie, dighe, gallerie, condotte e cavi. Una parte fondamentale di questa attività consiste nella redazione di piani per gli impatti ambientali, nella bonifica dei terreni contaminati, soprattutto se sono stati precedentemente oggetto di attività industriali, nella valutazione e nella gestione degli effetti delle pericolosità geologiche di ogni tipo, dai terremoti alle frane, al rigonfiamento e al ritiro delle argille.

Sottovalutare l'importanza di queste attività nei grandi progetti o svolgerle in modo inopportuno significa in molti casi dover

sostenere pesanti maggiori costi o slittamenti nei tempi di realizzazione. Il riconoscimento e la gestione efficiente dei problemi del suolo sono anche vitali per garantire la salute e la sicurezza della popolazione, la qualità del costruito e la sua idoneità per l'uso al quale è destinato. Geologi, ingegneri ed altri professionisti devono, nell'interesse pubblico, definire e promuovere elevati standard professionali. Il rischio geotecnico può interessare tutti coloro che sono coinvolti nella costruzione, fra cui il committente (che può, in ultima analisi, essere il governo, soprattutto per i progetti di infrastrutture nazionali), il progettista, il costruttore e la Società.

I geologi svolgeranno anche un ruolo essenziale nello sviluppo delle infrastrutture, mentre ci avviamo verso un'economia a basse emissioni di CO<sub>2</sub>, ad esempio nella localizzazione delle opere di difesa dalle maree e degli impianti eolici, nonché nello svolgimento di analisi di pericolosità sismica per la progettazione di nuove centrali nucleari.

## Il portale "OneGeology Europe"

I Servizi Geologici nazionali d'Europa hanno sempre avuto un ruolo di importanza primaria nella ricerca di risorse naturali. Per affinare questa ricerca in maniera sempre più sofisticata, cercare di comprendere e gestire l'impatto delle pericolosità naturali nonché gli usi concorrenti del territorio, occorre innovare i metodi di mappatura e modellazione della geosfera. Poiché la geologia travalica i confini nazionali, i dati raccolti devono anche essere efficacemente condivisi fra i vari Paesi.

Il portale OneGeology Europe raggruppa le attività di 20 Servizi Geologici nazionali, di EuroGeoSurveys (l'organizzazione "ombrello" dei Servizi Geologici nazionali) e di altri portatori di interesse. Per la prima volta, è stata realizzata l'interoperabilità dei dati cartografici a disposizione dei Servizi Geologici nazionali, rendendoli facilmente accessibili attraverso un'unica piattaforma *on-line* multilingue, alla quale si può accedere con un'unica licenza. E' già stato ultimato un *dataset* di Carte geologiche in scala 1:1.000.000 per i Paesi aderenti. È in corso l'attività di estensione del dataset, per portare la risoluzione alla scala di 1:250.000, nei casi in cui sono disponibili dati idonei.

Il portale OneGeology Europe rappresenta un importantissimo contributo sia per l'iniziativa globale OneGeology, sia per INSPIRE, l'infrastruttura comune europea per l'informazione territoriale. Il portale avrà una grande valenza pratica, per gli scienziati del mondo accademico e per l'industria, nonché per i progettisti ed i decisori governativi, chiamati a rispondere al futuro fabbisogno di risorse, a gestire siccità ed inondazioni, ad elaborare piani urbanistici ed a sviluppare grandi progetti di infrastrutture.



## La geologia urbana – costruire le città di domani

Una quota in costante crescita della popolazione mondiale vive in grandi e complesse città. L'attività dei geologi, nel gestire i molteplici usi del territorio e del sottosuolo (talora concorrenti), sarà determinante per la sostenibilità delle aree urbane del futuro.



Il cantiere della linea Crossrail a Tottenham Court Road, Londra.

Lo spazio è un bene prezioso e il sottosuolo è utilizzato intensamente per i trasporti, l'edilizia e l'erogazione di risorse e servizi. L'approvvigionamento di acqua ed energia e lo smaltimento dei rifiuti lanciano particolari sfide alle grandi città, ma aprono anche opportunità di innovazione. L'ambiente costruito deve essere progettato per massimizzare l'efficienza energetica e per gestire (e sfruttare) "l'isola di calore" urbana. Grandi progetti di infrastrutture di trasporto sotterraneo, ad esempio il Crossrail a Londra, sono tecnicamente molto impegnativi e dipendenti dalle competenze di un'ampia schiera di ingegneri e scienziati, fra i quali i Geologi applicati e gli Idrogeologi. Con il miglioramento della conoscenza della complessità del suolo e con lo sviluppo di nuove tecnologie, sarà in taluni casi fattibile estrarre risorse geologiche, come i minerali, le acque sotterranee e l'energia, negli ambienti urbani.

In Europa, sta aumentando la tendenza a definire politiche ambientali basate sui "servizi ecosistemici" (vedi pag. 13). È importante ricordare che gli ecosistemi, l'ambiente e le interazioni fra i vari elementi dei sistemi naturali ed antropici non sono limitati alle aree rurali. Il sottosuolo e gli aspetti abiotici degli ecosistemi hanno un'importanza primaria tanto nei contesti rurali quanto in quelli urbani.

## L'uso del sottosuolo

I geologi sono coinvolti in svariati usi del sottosuolo, molti dei quali sono riportati nel presente documento. Tali usi comprendono l'estrazione di energia, acqua e risorse minerarie, l'utilizzo della porosità delle rocce per contenere la CO<sub>2</sub> iniettata o il gas naturale immagazzinato nelle formazioni geologiche, lo smaltimento delle scorie radioattive, la gestione delle discariche o di altri sistemi di smaltimento dei rifiuti, la realizzazione di fondazioni e basamenti per gli edifici, la posa di infrastrutture di trasporto, cavi e condotte.

Poiché la geosfera è chiamata a fornire una varietà crescente di servizi, questi devono essere attentamente programmati. Alcune parti del territorio dovranno svolgere più funzioni, consecutive o simultanee. Talvolta, gli utilizzi del sottosuolo potranno essere in concorrenza tra loro o incompatibili con altri. I geologi potranno offrire consigli al riguardo ma, in ultima analisi, le scelte in relazione all'uso della geosfera spettano ai decisori politici ed economici.



Il Glacier Express sul viadotto Landwasser, Svizzera.

# Il benessere ambientale

**Secoli di sviluppo industriale ed urbano in Europa hanno lasciato la loro impronta sul territorio, sull'acqua e sull'atmosfera. L'inquinamento può diffondersi nella geosfera, nella biosfera, nell'atmosfera e nell'idrosfera, interagendo con esse, in quanto tutte interconnesse.**

## La qualità del suolo e dell'acqua

Grandi aree del territorio europeo sono state inquinate dalle attività industriali del passato. Per rendere questi siti inquinati nuovamente fruibili, si rendono necessarie attività di indagine e di bonifica. Questi siti possono essere bonificati volontariamente dai loro proprietari, attraverso la pianificazione che accompagna la realizzazione degli insediamenti o, per quelli altamente contaminati, attraverso la regolamentazione.

Nella definizione dei progetti di bonifica, occorre considerare l'influenza del futuro cambiamento climatico. Sistemi di bonifica *in situ*, quali barriere reattive permeabili ed incapsulamento dei contaminanti, possono diventare instabili, in quanto l'erosione, la siccità o le inondazioni possono produrre il rilascio di inquinanti nell'ambiente.

Un'elevata qualità del suolo e dell'acqua è essenziale per la sicurezza e la sostenibilità degli approvvigionamenti alimentari. Anche il suolo rappresenta un importante recettore dell'anidride carbonica atmosferica e registra i cambiamenti ambientali presenti e passati. Conseguentemente, esso è uno strumento indispensabile per riconoscere tali cambiamenti. La salvaguardia ed il miglioramento dei corsi d'acqua, dei mari e dell'acqua potabile dipendono da una buona conoscenza del comportamento e dell'interazione fra acqua, suolo, rocce e atmosfera in superficie e la geologia del sottosuolo.



Bonifica di suoli inquinati nel porto di Anversa, Belgio.  
©Deme-group

## La bonifica delle acque sotterranee

La geologia svolge una funzione di controllo primario sulla qualità delle acque superficiali e sotterranee. La bonifica delle acque sotterranee contaminate è realizzata con vari metodi: barriere fisiche, agenti chimici e - il metodo di solito più economico - attenuazione naturale. Le soluzioni progettate sono subordinate alla conoscenza del comportamento e della resistenza del suolo, mentre l'uso di materiali come adsorbenti ed ossidanti richiede un'approfondita conoscenza della geochimica delle rocce e delle acque. I metodi di attenuazione naturale si basano su processi naturali - fisici, chimici e biologici - che decompongono gli inquinanti durante il loro tragitto nel sottosuolo. Il loro impiego dipende da una buona conoscenza della chimica del terreno e dell'idrogeologia.

Oltre a migliorare l'efficienza delle attività di bonifica, una buona conoscenza della geologia del sottosuolo può far risparmiare molto tempo e denaro, in termini di progettazione e realizzazione.



Inquinamento chimico a Wakefield, Gran Bretagna.

## La nostra eredità industriale ed i suoi effetti sulla qualità del suolo

La bonifica e la gestione dei siti inquinati possono essere attività complesse e costose, soprattutto se tali siti sono stati oggetto di smaltimento abusivo di rifiuti o contengono materiali contaminati. La costante ricerca geochimica in questo campo mette in evidenza la complessità della contaminazione del suolo di siti industriali, ma può anche contribuire al miglioramento delle tecniche per avviarla a soluzione. Una bonifica sostenibile e duratura dei siti inquinati europei richiede metodi innovativi di progettazione e gestione degli interventi ed uno smaltimento sicuro dei contaminanti, sostenuti da solide competenze geologiche.

# La valorizzazione e la salvaguardia del nostro ambiente

**Politiche di gestione dell'ambiente improntate al concetto di "servizi ecosistemici" si basano su una visione autenticamente olistica degli ecosistemi e dell'ambiente. L'importanza della geologia e della geosfera per la salvaguardia ambientale e l'erogazione dei servizi ecosistemici è troppo spesso trascurata - eppure esse modellano il nostro paesaggio, interagiscono con l'atmosfera e l'idrosfera ed alimentano i sistemi viventi.**

## I servizi geosistemici

Numerosi servizi ecosistemici - attraverso i quali la Società e l'economia ottengono benefici dall'ambiente - sono dipendenti dalla geosfera e possono essere nel complesso denominati "servizi geosistemici". Essi comprendono:

- **servizi di erogazione** essenziali, quali l'approvvigionamento di energia, di acqua, di risorse minerali ed il territorio sul quale o nel quale è costruita la nostra infrastruttura urbana e di trasporto;
- **servizi di regolazione**, quali le potenziali capacità di stoccaggio di rifiuti radioattivi e CO<sub>2</sub> e di tamponamento (*buffering*) naturale della CO<sub>2</sub> atmosferica sequestrata nei terreni;
- **servizi di supporto**, che sono alla base degli ecosistemi, quali i cicli geochimici e l'effetto della geomorfologia sulla frammentazione degli habitat e sulla disparità fra le comunità, essenziale per la biodiversità;
- fruibilità e valorizzazione del paesaggio e di altri **servizi culturali**.

Il ricco patrimonio geologico europeo, con la sua diversità, costituisce una risorsa preziosa, fruibile a fini educativi e turistici e per la qualità della vita. Occorre dunque tutelare adeguatamente le aree di interesse geologico, ad esempio attraverso piani nazionali che individuino siti di importanza scientifica.

L'effetto di tamponamento esercitato da geosfera, idrosfera ed atmosfera ha un'enorme valenza ambientale, che stiamo appena iniziando a comprendere pienamente. La capacità dei sistemi naturali di resistere al cambiamento è legata, in parte, ai carichi critici di inquinanti che essi sono in grado di assorbire. È probabile che tali sistemi saranno sottoposti a maggiore stress con l'innalzamento dei livelli di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera, della temperatura del pianeta, mentre gli oceani diventeranno più acidi a causa della CO<sub>2</sub> disciolta. Le barriere coralline, che ospitano numerosissime specie in alcuni degli ecosistemi più biologicamente diversificati del mondo e che forniscono servizi ecosistemici, quali turismo, pesca e protezione costiera, sono particolarmente sensibili alle alterazioni chimiche degli oceani e si stanno già degradando rapidamente.

## La salvaguardia del mare e delle coste

Iniziative quali l'individuazione dei Siti Marini d'interesse europeo possono avere una valida funzione di salvaguardia delle aree marine e costiere sensibili. Tuttavia, essi sono focalizzati soprattutto sulle specie protette - sugli aspetti biotici degli ecosistemi - trascurando gli elementi abiotici e le interazioni del suolo e del sottosuolo con il mare e la vita che esso alimenta. Per tutelare efficacemente specie e ambienti vulnerabili, occorre adottare un approccio olistico verso gli ecosistemi marini ed i processi ambientali.

I sedimenti, che sono trasportati verso gli estuari e fuori da essi da maree e correnti, trascinano inquinanti ed interagiscono con la chimica dell'acqua marina. La pesca può arrecare disturbo ai fondali marini, alterando gli ecosistemi. La costruzione di opere di difesa costiera può modificare l'andamento delle correnti e la relativa distribuzione dei sedimenti. Il ciclo dei nutrienti, come servizio di supporto, è condizionato dalle interazioni geochimiche fra i vari elementi del sistema marino/fluviatile - il substrato, i sedimenti superficiali, il biota, la colonna d'acqua e l'atmosfera.



L'isola di Mont Saint-Michel e la sua baia in Normandia, Francia, inseriti nella lista dei siti Patrimonio Mondiale Culturale e Naturale dell'UNESCO

# Le pericolosità geologiche

**Le pericolosità geologiche, quali terremoti, eruzioni vulcaniche, frane e tsunami, possono avere effetti devastanti su popolazioni, economie e paesaggi. È quindi essenziale, per alleviare le sofferenze umane, migliorare le conoscenze sui rischi, sugli impatti e sulla mitigazione delle pericolosità geologiche e comunicarle efficacemente.**

## I terremoti

I terremoti rappresentano un grave pericolo, soprattutto in Europa meridionale ed orientale, con perdite di vite umane, danni alle infrastrutture, alle economie ed al tessuto sociale. L'impatto dei terremoti non è legato soltanto alla loro *magnitudo* ed alla loro profondità, ma anche a fattori antropici - densità abitativa, livello di sviluppo, stato di preparazione, grado di istruzione e di informazione delle popolazioni. Il terremoto di Haiti del 2010, ad esempio, ha mietuto molte più vittime di altri eventi sismici più potenti. Un grande terremoto in prossimità di una metropoli in un Paese in via di sviluppo potrebbe essere ancora più devastante. I modi più efficaci per ridurre l'impatto umano dei terremoti, sono: ridurre la povertà (specialmente nei Paesi in via di sviluppo); migliorare il grado di istruzione e di informazione delle popolazioni, lo stato di preparazione civile e le infrastrutture; nonché progettare e costruire nuovi edifici in grado di resistere ai loro effetti. La ristrutturazione dei vecchi edifici con criteri anti-sismici è possibile, ma molto più costosa.

La previsione della probabilità di occorrenza dei terremoti in una data area in un dato periodo di tempo è migliorata notevolmente negli ultimi decenni, grazie alla ricerca geologica. Tuttavia, non è ancora possibile, allo stato attuale, formulare previsioni deterministiche in relazione al momento ed al luogo esatto in cui si verificheranno i terremoti e molti geologi non ritengono realistica questa prospettiva. La mappatura del rischio sismico e la modellazione dei loro effetti sono essenziali per migliorare lo stato di preparazione e la resilienza nei confronti degli stessi. Nel quadro del progetto SHARE (*Seismic Hazard Harmonisation in Europe*), sono stati definiti standard per i dati e metodologie comuni, con l'obiettivo di dare sostegno allo sviluppo di standard condivisi per la mitigazione degli effetti dei terremoti.



Il Presidente Barack Obama in visita sui luoghi del terremoto dell'Aquila (Italia).

## Altre pericolosità geologiche

Come i vulcani, anche gli tsunami possono avere gravi effetti a grande distanza dagli eventi che li scatenano. Testimonianze geologiche indicano che, nel recente passato, gran parte delle coste europee ha subito notevoli tsunami e questi eventi potrebbero ripetersi.

Altre pericolosità meno gravi sono il rigonfiamento ed il ritiro delle formazioni argillose (che possono danneggiare edifici e infrastrutture), la formazione di *sinkholes* per dissoluzione delle rocce più solubili e la presenza di terreni deboli e compressibili. Anche se queste "pericolosità silenziose" sono raramente responsabili di perdite di vite umane, il loro impatto economico può essere importante.



*Sinkhole* di origine carsica nel distretto di Biržai, Lituania.

Vi sono anche "pericolosità geologiche di natura antropica", causate da attività quali contaminazione del suolo, estrazione di minerali e smaltimento di rifiuti. Le attività antropiche possono anche esasperare gli effetti di pericolosità come le inondazioni, anche quelle provocate dalle acque sotterranee. I geologi svolgono un ruolo fondamentale in questo campo, fornendo consulenza sulla costruzione di opere di difesa contro le inondazioni, approfondendo le conoscenze sulle difese naturali e provvedendo alla loro gestione, ed assicurando una pianificazione corretta dell'uso del territorio.

# Le pericolosità geologiche

## Le frane

Le frane sono eventi ricorrenti in molti Paesi europei. Esse possono essere innescate da piogge intense, erosione, altre pericolosità geologiche (ad esempio terremoti) ed attività antropiche (ad esempio attività estrattive, disboscamenti e modifiche dell'uso del suolo). Le frane possono avere gravi conseguenze sulle infrastrutture e sulle economie ed alcune causano anche delle vittime. Esse sono responsabili di circa il 15% degli tsunami che avvengono nel mondo.

Il cambiamento climatico e l'intensificarsi di eventi atmosferici estremi determineranno probabilmente un maggior numero di frane ed esistono evidenze che ciò stia già accadendo.

## I vulcani

Si stima che 500 milioni di persone al mondo vivano in vicinanza di vulcani attivi e siano esposti alle loro eruzioni. Molte città si sono sviluppate sui terreni fertili che si trovano spesso in prossimità dei vulcani. Vulcani attivi, le cui eruzioni possono colpire vaste popolazioni, sono il Vesuvio vicino a Napoli ed il Popocatepetl vicino a Città del Messico.

Ogni sforzo deve essere fatto per ridurre al minimo le vittime delle eruzioni vulcaniche, ma di fatto queste sono



M.te Somma-Vesuvio, provincia di Napoli, Italia.

state relativamente modeste (circa 300.000 in tutto il mondo negli ultimi 200 anni) rispetto a quelle conseguenti ad altre pericolosità naturali. Nonostante ciò, le perdite economiche ed i danni alle infrastrutture ed al tessuto sociale possono essere considerevoli.

I vulcani possono anche avere un impatto su popolazioni che vivono in località più lontane, dove il rischio percepito può essere basso, dato che il pericolo è "lontano dagli occhi, lontano dalla mente". Poiché il mondo globalizzato moderno è esposto ad eventi vulcanici di notevole entità, i tempi di ritorno e gli impatti ambientali di tali eventi sono oggetto di attive ricerche in vulcanologia.

## Le ceneri vulcaniche

L'eruzione del 2010 del vulcano Eyjafjallajökull, in Islanda, ha gettato nel caos l'aviazione civile in tutta l'Europa settentrionale e occidentale. I governi e le autorità aeronautiche hanno dovuto tutelare la sicurezza pubblica, ma anche far fronte a pressioni per il ripristino del traffico aereo nel più breve tempo possibile, dato l'impatto economico dell'interruzione. In tale occasione, i geologi hanno affiancato i meteorologi nello studio dell'interazione tra la colonna di cenere vulcanica ed i sistemi meteorologici, fornendo dati e consulenza per sostenere i processi decisionali nel settore aeronautico.

Altri vulcani, in Islanda e altrove, possono provocare problemi analoghi, di portata anche maggiore. Sono state quindi cartografate le principali rotte aeree, soprattutto quelle passanti sopra le zone polari, in rapporto alla distribuzione dei vulcani attivi e di quelli diventati recentemente quiescenti - le mappe risultanti sono particolarmente utili, ad esempio, per valutare i rischi rappresentati dai vulcani sulla costa occidentale del Nord America e dell'Alaska, soprattutto dalla catena vulcanica delle Isole Aleutine.

Vulcani come il St. Helens ed il Vesuvio sono circondati da estese reti sismiche terrestri, che dovrebbero lanciare il preallarme in caso di possibili eruzioni. Tuttavia, molti vulcani del mondo non sono oggetto di monitoraggio e possono eruttare con possibilità scarse o nulle di lanciare un allarme.

# Il cambiamento climatico

**Esistono molte evidenze geologiche di come il clima della Terra sia cambiato in passato. Queste evidenze sono molto importanti per comprendere come la Terra potrà cambiare in futuro ed i probabili impatti delle emissioni di CO<sub>2</sub> di natura antropica.**

## Le evidenze geologiche dei cambiamenti climatici del passato

Testimonianze fossili e sedimentarie indicano che, almeno negli ultimi 200 milioni di anni, la Terra ha subito molte oscillazioni climatiche, passando da condizioni molto più calde a molto più fredde di quelle attuali, su scale temporali diverse. Così come vi sono state variazioni cicliche dovute, ad esempio, al cambiamento dell'orbita terrestre e dell'attività solare, vi sono stati anche rapidi cambiamenti climatici legati all'incremento della CO<sub>2</sub> atmosferica, come il Massimo Termico del Paleocene-Eocene (PETM), verificatosi 55 milioni di anni fa.

Evidenze dei cambiamenti climatici del passato si riscontrano in numerosi ambienti geologici, ad esempio in sedimenti marini e lacustri, ghiacciai, coralli fossili, stalagmiti e anelli di alberi fossili. Grazie ai progressi delle osservazioni sul campo, delle tecniche di laboratorio e della modellazione numerica, i geologi sono in grado di spiegare, con sempre maggiore sicurezza, come e perché il clima è cambiato in passato. Queste conoscenze di base sul passato forniscono un quadro essenziale per stimare i probabili cambiamenti in futuro.



Scioglimento ai margini di una placca di ghiaccio in Groenlandia.

## Insegnamenti per il futuro

Sostenuti dalle testimonianze dei cambiamenti climatici del passato, i geologi sono sempre più convinti del fatto che la CO<sub>2</sub> sia uno dei principali fattori di cambiamento del sistema climatico. Le evidenze confermano il principio fisico di base che l'immissione di grandi quantità di gas serra, come la CO<sub>2</sub>, nell'atmosfera causa un incremento delle temperature del pianeta. Tali evidenze dimostrano inoltre che ciò determinerà probabilmente un innalzamento dei livelli dei mari, un aumento dell'acidità degli oceani, una diminuzione dei livelli di ossigeno nell'acqua marina e significativi mutamenti meteorologici.

La vita sulla Terra è sopravvissuta ai grandi cambiamenti climatici del passato, ma questi hanno provocato estinzioni di massa e un'ampia redistribuzione delle specie. Si prevede che incrementi relativamente modesti (di alcuni gradi) delle temperature del pianeta avranno un enorme impatto sulla Società umana.

Le cause esatte dei rapidi cambiamenti climatici del passato sono oggetto di ricerca costante, ma è probabile che il fattore scatenante di tali eventi sia stato di natura geologica - ad esempio un periodo di intensa attività vulcanica. I rapidi aumenti della CO<sub>2</sub> atmosferica negli ultimi decenni non possono essere attribuiti a fattori geologici. A partire dal 1750, le attività antropiche hanno immesso nell'atmosfera oltre 500 miliardi di tonnellate di carbonio (oltre 1.850 miliardi di tonnellate di CO<sub>2</sub>) di cui circa il 65% dovuto all'utilizzo di combustibili fossili e, con l'attuale tasso di crescita, la CO<sub>2</sub> atmosferica potrà arrivare a 600 parti per milione (ppm) entro la fine del secolo - un valore che non si riscontra da almeno 24 milioni di anni.

I geologi svolgono un ruolo centrale in questo campo, aiutandoci non soltanto a capire le cause del cambiamento climatico, ma anche a ridurre le future emissioni di CO<sub>2</sub> (ad esempio attraverso lo sviluppo della tecnologia CCS e l'utilizzo di fonti alternative di energia) e ad adattarci alle conseguenze del futuro cambiamento climatico.



# L'Antropocene

**Le attività antropiche hanno avuto un drammatico impatto sul paesaggio, sul sottosuolo e sui sistemi della Terra, generando significativi mutamenti atmosferici, fisici, chimici e biologici. Tali mutamenti sono così rilevanti e permanenti da segnare l'inizio di una nuova epoca geologica - l'Antropocene?**

## Mutamenti di natura antropica

La Commissione Internazionale di Stratigrafia (ICS), che definisce la Scala Internazionale dei Tempi Geologici ed elabora i relativi standard internazionali, sta valutando se definire o meno una nuova epoca geologica - l' "epoca umana" o Antropocene - per esprimere la portata dell'impatto che l'uomo ha avuto sul pianeta. Alcuni stratigrafi indicano la Rivoluzione Industriale come punto di inizio dell'Antropocene, riconoscendo che gli effetti dei 1.850 miliardi di tonnellate di CO<sub>2</sub> che l'umanità ha rilasciato nell'atmosfera da tale data ad oggi possono durare per un periodo di tempo geologicamente rilevante. Altri fanno risalire impatti antropici durevoli sul pianeta a periodi precedenti, cioè allo sviluppo delle culture stanziali ed agricole circa 8.000 anni fa. A prescindere dalla cronologia, lo sviluppo della società umana è responsabile di un intenso rimodellamento del territorio e del paesaggio, attraverso una serie di processi, fra cui l'agricoltura, l'edilizia, la canalizzazione dei fiumi, la deforestazione, la crescita urbana e l'industrializzazione.

Abbiamo anche lasciato un'impronta potenzialmente indelebile di contaminazione ed inquinamento nell'aria, sulla superficie dei terreni, nei mari, nei fiumi e nel sottosuolo. Indicatori evidenti sono l'inquinamento da piombo, prodotto soprattutto dalle fonderie, dalla lavorazione dei metalli e da processi di incenerimento; tale inquinamento è stato osservato anche in località remote, come le calotte polari e le torbiere, sin dall'epoca greco-romana. Come il largo impiego di combustibili fossili, anche la Rivoluzione Industriale ha causato notevoli livelli di contaminazione attraverso le attività estrattive e di fusione dei metalli, nonché la diffusione di inquinanti attribuibili ad altre attività industriali ed allo smaltimento dei rifiuti.

Molti ricercatori stanno studiando la tipologia e l'entità delle influenze antropiche sull'uso del territorio e sui processi del Sistema Terra, i loro impatti e la loro rilevanza geologica. La combinazione di questi cambiamenti e dei loro impatti sulla



Inquinamento atmosferico: fuoriuscita di fumi da una ciminiera.

chimica, sulla biologia e sulla geomorfologia del suolo, del sottosuolo, degli oceani e dell'atmosfera potrebbe contribuire a delimitare l'Antropocene e la sua univoca impronta ambientale.

## È importante?

Che l'ICS concluda o meno che l'Antropocene soddisfa la definizione di nuova epoca geologica, il termine è sempre più diffuso sia nella comunità geologica, sia altrove. Esso esprime l'idea che gli impatti cumulati e combinati dell'umanità sul pianeta e, fra gli altri, il cambiamento climatico, possono permanere per un tempo geologico lungo e ciò può essere utile per determinare la risposta che dobbiamo dare a questi mutamenti.

## Il futuro

Si stima che la popolazione mondiale raggiungerà i 9 miliardi al 2045. Ciò determinerà una maggiore pressione sulle risorse, sull'ambiente e sul sottosuolo prossimo alla superficie, soprattutto nelle aree abitate dove quest'ultimo è intensamente sfruttato e le infrastrutture sono complesse. Vivere nell'Antropocene porrà sfide senza precedenti alle società ed ai governi di tutto il mondo.

# Comunicare la geologia: tempo, incertezza e rischio

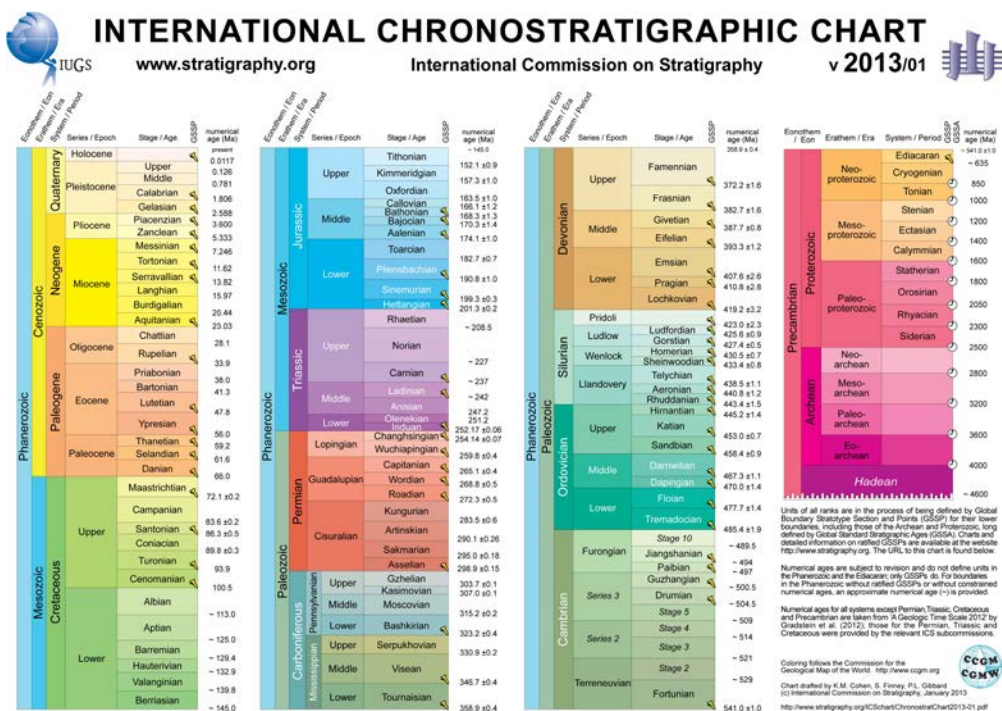
I temi geologici sono sempre più in primo piano nella vita quotidiana delle popolazioni europee ed i professionisti delle Geoscienze devono imparare a comunicare meglio le loro conoscenze scientifiche al fine di consentire a tutta la popolazione di partecipare ad un dibattito informato.

Dai processi decisionali riguardanti l'estrazione *on-shore* di *shale gas* ed altri idrocarburi all'iniezione di acqua nel sottosuolo per produrre energia geotermica ed allo stoccaggio in profondità della CO<sub>2</sub> e delle scorie radioattive, la geologia sta alla base dei principali interrogativi ai quali le popolazioni europee dovranno rispondere per coprire il futuro fabbisogno di risorse, generare crescita economica, comprendere i rischi tecnici ed i loro impatti sociali e tutelare la salute ed il benessere dell'ambiente e dei cittadini attraverso la regolamentazione e la governance. Oltre alla complessità delle sfide tecniche e scientifiche che l'applicazione di queste tecnologie comporta, per molte persone la geologia del sottosuolo è un dominio ignoto. Se i cittadini devono partecipare ad un dibattito informato su tali tecnologie ed ai relativi processi decisionali, è importante che i professionisti delle Geoscienze sviluppino strategie appropriate per comunicare quello che sanno e quello che fanno e per comprendere ciò che la popolazione sa e ciò che la preoccupa.

Alcune idee consolidate e conoscenze fondamentali che i geologi utilizzano - e possono dare per scontate - sono sconosciute alla maggioranza delle persone. Analizzando periodi di tempo immensamente lunghi, i geologi possono avere una conoscenza privilegiata degli eventi del pianeta e dei processi che lo hanno

modellato. Ma ciò può anche portarli ad avere una visione molto diversa del tempo rispetto ai profani. Ad esempio, per la maggior parte della gente, 100.000 anni possono sembrare un periodo di tempo molto lungo per il contenimento delle scorie radioattive da parte della geosfera, ma per un geologo si tratta di un tempo molto breve. Ciò può far diminuire, invece che accrescere, la fiducia che la gente ha nella competenza, nell'esperienza e nel giudizio professionale dei geologi che danno consigli sullo smaltimento delle scorie radioattive, a meno che questi non facciano del proprio meglio per comprendere i punti di vista e le preoccupazioni dei cittadini.

Analogamente, i geologi si sentono spesso a loro agio nel gestire l'incertezza ed i dati incompleti, considerando tale modalità di lavoro come una delle loro competenze-chiave. Comunicare apertamente e efficacemente come si svolge il lavoro dei geologi, quando sono alle prese con dati incompleti e cercano di limitare l'incertezza e di fare valutazioni probabilistiche (ad esempio, delle risorse e del rischio derivante dalle pericolosità naturali), è indispensabile, se si desidera che tali modalità di lavoro siano riconosciute, apprezzate e non considerate come espressioni di ignoranza.



Scala cronostratigrafica internazionale.  
©Commissione Internazionale di Stratigrafia.

# La Geologia per il futuro

**La Società del 21° secolo deve fronteggiare sfide senza precedenti per soddisfare il fabbisogno di risorse di una popolazione mondiale in crescita, che aspira ad un più elevato tenore di vita, mentre impara a vivere in modo più sostenibile sul nostro pianeta. Per rispondere a queste sfide e garantire la competitività dell'Europa a livello mondiale, serve un nutrito numero di qualificati professionisti e una forte base di ricerca nel campo delle Geoscienze.**

## L'istruzione

La Geologia ha un'importanza essenziale per la vita delle persone. Nella maggior parte dei Paesi europei, essa non rappresenta una disciplina fondamentale dei programmi scolastici. Occorre dunque che i giovani acquisiscano cognizioni sui processi e sui concetti delle Geoscienze nell'ambito di materie fondamentali (come la chimica, la fisica, la biologia e la geografia), in modo da diventare cittadini del 21° secolo ben informati, in grado di partecipare al dibattito sulle grandi sfide che deve fronteggiare l'umanità. I programmi scolastici dei Paesi europei dovrebbero tenere presente questa esigenza. Assicurare che tutti gli studenti apprendano i fondamenti delle Geoscienze serve anche a stimolare la prossima generazione di geologi, che avrà un ruolo basilare nel rispondere a queste sfide. È anche necessario orientare i giovani ad intraprendere carriere di qualità, in modo che conoscano le possibili e molteplici opportunità di carriera disponibili in campo geologico e sappiano che le materie scelte in ciascuna tappa del loro percorso scolastico potranno successivamente limitare i loro programmi di studio universitario e, conseguentemente, le loro alternative di carriera.

I corsi di laurea di primo livello in geologia ed altre discipline geologiche forniscono una solida base scientifica e rappresentano il primo passo nella formazione dei futuri professionisti delle Geoscienze. In alcuni Paesi europei, i datori di lavoro di molti settori industriali che intendono assumere professionisti delle Geoscienze richiedono il possesso di una laurea di secondo livello, magistrale o specialistica, ad esempio in geologia del petrolio, geologia applicata, idrogeologia o geofisica. I corsi universitari di queste discipline hanno spesso una forte connotazione professionale. Anche i corsi per il conseguimento del dottorato di ricerca (PhD) svolgono un ruolo essenziale, sia per formare coloro che vogliono dedicarsi alla ricerca in Geoscienze, sia nel fornire esperti altamente qualificati per alcuni settori industriali. Se i Paesi europei intendono essere economicamente competitivi, sviluppando e mantenendo una capacità nazionale di risposta alle sfide del futuro, essi dovranno assicurare finanziamenti adeguati alla formazione in Geoscienze, a tutti i livelli.

## La ricerca

La competitività economica e la capacità dell'Europa di raccogliere le sfide del futuro dipenderanno anche dalla disponibilità di una solida base di ricerca in Geoscienze. Occorre continuare a dare sostegno

## Garantire standard professionali nell'interesse pubblico

La Federazione Europea dei Geologi (FEG), insieme alle Associazioni Nazionali (o agli Ordini professionali, dove esistenti) che ne fanno parte, conferisce il titolo professionale di EurGeol (Geologo Europeo) a professionisti che siano in possesso di un alto livello di formazione e competenze nel loro campo e che siano impegnati nel rispetto del codice deontologico e dell'aggiornamento professionale continuo (APC). Molte Associazioni Nazionali od Ordini professionali conferiscono anche titoli a livello nazionale. Questi titoli non soltanto hanno una valenza per gli interessati ed i loro committenti o datori di lavoro, ma assicurano anche ai cittadini, la cui sicurezza e benessere dipendono spesso dal lavoro del professionista, che questo sarà svolto in modo competente, professionale ed etico.

L'accreditamento dei corsi di laurea di primo e secondo livello garantisce che gli studenti acquisiscano conoscenze e competenze fondamentali, nell'interesse dei committenti o dei datori di lavoro e dei cittadini. I sistemi di accreditamento variano da un Paese all'altro e possono essere sottoposti alla vigilanza di un organismo professionale nazionale, un dipartimento ministeriale od un ente esterno che ne assicuri la garanzia di qualità. Il progetto Euro-Ages, finanziato dalla Commissione Europea, ha sviluppato un quadro comune per i contenuti dei corsi di laurea in Geologia ed i criteri di accreditamento, così da facilitare il raffronto fra sistemi diversi.



FÉDÉRATION EUROPÉENNE DES GÉOLOGUES  
EUROPEAN FEDERATION OF GEOLOGISTS  
FEDERACIÓN EUROPEA DE GEÓLOGOS

all'eccellenza nella ricerca, sia quella mossa da semplice curiosità, sia quella finalizzata a specifiche esigenze, anche perché in tal modo la Società sarà più preparata ad affrontare nuove incognite - rischi ed emergenze future che non abbiamo ancora previsto. Per mantenere e sviluppare una solida base di ricerca, occorrerà rivolgere attenzione a tutte le fasi della "filiera delle competenze" e prevedere forti investimenti nella ricerca, in modo da garantire ai giovani ricercatori percorsi di carriera più stabili.



FÉDÉRATION EUROPÉENNE DES GÉOLOGUES  
EUROPEAN FEDERATION OF GEOLOGISTS  
FEDERACIÓN EUROPEA DE GEÓLOGOS



The  
Geological  
Society

*servicing science & profession*

Questo documento è stato elaborato dalla Geological Society of London, insieme alla Federazione Europea dei Geologi ed al Consiglio Nazionale dei Geologi.

Consiglio Nazionale dei Geologi	<a href="http://www.cngeologi.it/">http://www.cngeologi.it/</a>
Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale	<a href="http://www.isprambiente.gov.it/">http://www.isprambiente.gov.it/</a>
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia	<a href="http://www.ingv.it/">http://www.ingv.it/</a>
Dipartimento di Protezione Civile	<a href="http://www.protezionecivile.gov.it/">http://www.protezionecivile.gov.it/</a>
Società Geologica Italiana	<a href="http://www.socgeol.it/">http://www.socgeol.it/</a>
Associazione Italiana di Geologia Applicata e Ambientale	<a href="http://www.aigaa.org/AIGA/aiga.asp">http://www.aigaa.org/AIGA/aiga.asp</a>

È possibile reperire documenti politici, articoli, audiovisivi ed altro materiale (in lingua inglese) sugli argomenti trattati nel presente documento visitando il portale online Geology for Society al seguente indirizzo: [www.geolsoc.org.uk/geology-for-society](http://www.geolsoc.org.uk/geology-for-society).

- La Borsa di Francoforte- Frankfurt Stock Exchange" by Pythagomath - Own work. Licensed under CC BY-SA 4.0 via Wikimedia Commons
- Campione di formazione ferrifera a bande proveniente da Krivoy Rog, Ucraina - Banded iron formation". Licensed under CC BY-SA 3.0 via Wikimedia Commons
- Sistema di trattamento delle acque reflue - Fine Bubble Retrievable Grid" by C Tharp - Own work. Licensed under CC BY-SA 3.0 via Wikimedia Commons
- La Diga di Kölnbrein e la centrale di pompaggio Kölnbrein Dam and pumped-storage power system, Carinzia, Austria. - Verbund malta" by Verbund. Licensed under CC BY-SA 3.0 via Wikimedia Commons
- Attività agricola nella regione de La Rioja, Spagna - Tractor, La Rioja, Spain" by Raúl Hernández González. Licensed under CC BY 2.0 via Wikimedia Commons
- Il cantiere della linea Crossrail a Tottenham Court Road - Tottenham Court Road Crossrail - London Astoria site September 2009 CB" by carlbob. Licensed under CC BY 2.0 via Wikimedia Commons
- Il Glacier Express sul viadotto Landwasser, Svizzera - CH Landwasser 2" by Daniel Schwen - Own work. Licensed under CC BY-SA 2.5 via Wikimedia Commons
- Inquinamento chimico a Wakefield, Gran Bretagna- A big job - geograph.org.uk - 663806" by David Pickersgill. Licensed under CC BY-SA 2.0 via Wikimedia Commons
- L'isola di Mont Saint-Michel e la sua baia in Normandia, Francia, inseriti nella lista dei siti Patrimonio Mondiale Culturale e Naturale dell'UNESCO- MtStMichel avion". Licensed under Public Domain via Wikimedia Commons
- Il Presidente Barack Obama in visita sui luoghi del terremoto dell'Aquila (Italia)- President Barack Obama tour earthquake damage in L'Aquila, Italy - Wednesday, July 8, 2009" by The Official White House Photostream - P070809CK-0208. Licensed under Public Domain via Wikimedia Commons
- Sinkhole di origine carsica nel distretto di Biržai, Lituania - Geologų duobė" by Vilensija - Own work. Licensed under CC BY-SA 3.0 via Wikimedia Commons
- Scioglimento ai margini di una placca di ghiaccio in Groenlandia- Greenland melt pond 2 (7637755560)" by NASA ICE - Greenland melt pond 2Uploaded by russavia. Licensed under CC BY 2.0 via Wikimedia Commons
- Inquinamento atmosferico: fuoriuscita di fumi da una ciminiera - Air pollution smoke rising from plant tower" by U.S. Fish and Wildlife Service. Licensed under Public Domain via Wikimedia Commons

Immagine di copertina: Luci d'Europa. © NPA Satellite Mapping: CGG. Tutti i diritti riservati. È vietata ogni riproduzione, copia o trasmissione delle immagini senza previo consenso scritto. La NPA è una società affiliata alla Geological Society of London, specializzata nell'uso di immagini satellitari, esplorazione delle risorse della Terra, ambiente e pericolosità naturali sin dal 1972 (npa.cgg.com).