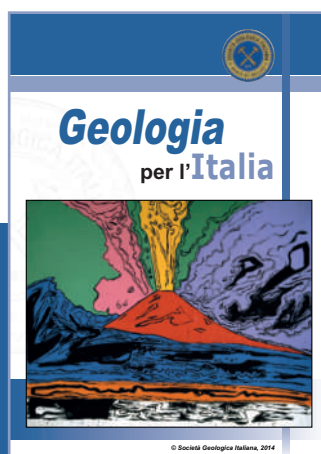


Geologia per l'Italia

GeA - Geologia Energia Ambiente	pag. 1
Geologia per l'Economia	» 4
La Carta geologica d'Italia	» 6
Le acque sotterranee	» 10
Energia per l'Italia	» 13
Il calore della Terra	» 16
La Geologia, una scienza italiana	» 19
Minerali-rocce: archivio geologico e ricchezza	» 21
I fossili: testimoni del passato e chiave del futuro	» 23
Il clima del passato per capirne il futuro	» 25
<i>Mare Nostrum</i> , la geologia dei mari italiani	» 28
Rischi naturali e cultura della prevenzione	» 31
Terremoti: studio e prevenzione	» 33
I vulcani: il difficile connubio tra rischio e fonte di risorse	» 35
L'Italia che frana	» 37
Geologia medica	» 38
Il suolo: dove le rocce incontrano la vita	» 41
La Geologia e il ciclo dei rifiuti	» 42
Sviluppo sostenibile in un territorio da proteggere	» 45
Antropocene: l'epoca dell'Uomo	» 47
Geoscienze per i beni culturali	» 49
Istruzione ed educazione geologica	» 51
Programmare il futuro	» 53

Geologia per l'Italia



*"Vesuvius" di Andy Warhol, 1985.
Dipinto, Acrilico su tela, Museo Nazionale di Capodimonte (Napoli)
Fototeca della Soprintendenza Speciale per il PSAE e il Polo Museale della città di Napoli*

Stampato con il contributo finanziario di



Per saperne di più
visita il sito web www.socgeol.it
o scrivi a info@socgeol.it

ISBN 978-88-940227-1-1

La Società Geologica Italiana (SGI) ha promosso la realizzazione di questa pubblicazione con lo scopo di sensibilizzare l'opinione pubblica e le autorità politiche all'importanza delle geoscienze nell'affrontare i temi legati al fabbisogno delle risorse idriche, minerarie ed energetiche ed al loro utilizzo sostenibile, oltreché alla conoscenza e pianificazione del territorio per prevenire o mitigare il rischio da eventi catastrofici di origine naturale. La geologia contribuisce anche alla conservazione e valorizzazione dei beni culturali e paleontologici. L'iniziativa prende spunto dal documento "Geology for Society" redatto dalla Geological Society of London.

La pubblicazione è stata redatta con contributi originali di Alessio Argentieri, Massimo Bernardi, Domenico Calcaterra, Giovanni Capponi, Rodolfo Carosi, Paolo Censi, Francesco Latino Chiocci, Simonetta Cirilli, Sandro Conticelli, Domenico Cosentino, Giovanni Crosta, Stefano Dalla, Chiara D'Ambrogi, Carlo Doglioni, Elisabetta Erba, Fabrizio Galluzzo, David Govoni, Pierfranco Lattanzi, Lorenzo Lazzarini, Carmelo Monaco, Roberto Mazza, Mariano Mercurio, Vincenzo Morra, Marco Pantaloni, Silvia Peppoloni, Marco Petitta, Fabio Massimo Petti, Andrea Pietrosante, Davide Scrocca e Alessandro Zuccari.

La Società Geologica Italiana è un'associazione senza finalità di lucro iscritta nel Registro delle Persone Giuridiche della Prefettura di Roma (prot. n. 603/2008 Area IV URPG).

Fondata a Bologna il 29 settembre 1881 e dichiarata Ente Morale con Regio Decreto del 17 ottobre 1885, è la più antica associazione scientifica italiana che opera nel campo delle Scienze della Terra.

Ha per scopo il progresso, la promozione e la diffusione delle conoscenze geologiche nei loro aspetti teorici e applicativi.

Sede

c/o Dipartimento di Scienze della Terra
Sapienza Università di Roma
Piazzale Aldo Moro, 5
00185 Roma

Tel. + 39 064959390
E-mail: info@socgeol.it
Website: www.socgeol.it
C.F. 80258790585

Seguici su



GeA - Geologia Energia Ambiente

La qualità della nostra vita dipende grandemente dalla nostra interazione con la **TERRA**. Sì, tre erre per ricordarci che ci fornisce le **RISORSE** primarie per l'Uomo, a cominciare dall'acqua, i metalli, l'energia, l'aria stessa e la bellezza del paesaggio. È però anche un pianeta vivo, le cui manifestazioni comportano dei **RISCHI** naturali con cui l'Uomo deve imparare a convivere. Perciò è necessaria una nuova forma di **RISPETTO** nei confronti della Terra, che deve contemplare la cultura della conoscenza di come è fatta e come funziona: solo così saremo in grado di utilizzarne le risorse in modo da non danneggiarla e a proteggerci in modo consapevole dai rischi. Il rispetto per il pianeta è il nostro obiettivo per migliorare anche il ruolo dell'Uomo.



Il ghiacciaio della Marmolada

La Geologia è compagna quotidiana del nostro vivere in Italia e nel mondo, ed è sempre più necessario portare all'attenzione della società civile, del mondo politico, dell'amministrazione pubblica, del mondo industriale, della scuola e dell'informazione mediatica, l'importanza delle geoscienze per un rapporto futuro più sano e consapevole con il nostro pianeta.

In Italia, oltre metà del territorio non è ancora dotato di una cartografia geologica adeguata, documentazione di minima indispensabile per ogni attività umana. La carta geologica è come l'anatomia del corpo umano: non si può valorizzare e proteggere la Terra se non la si conosce. Il completamento e l'aggiornamento continuo della Carta Geologica d'Italia e le relative carte tematiche dovrebbero essere le priorità per ogni azione di tutela ambientale, e prerequisito per l'utilizzo delle risorse e un'efficace prevenzione dei rischi.

Il geologo e la cultura geologica devono essere adeguatamente valorizzati. È indispensabile programmare un piano di rilancio delle discipline geologiche, finalizzato a creare il giusto equilibrio tra Uomo e Terra, attraverso la qualificata formazione dei nuovi geologi, la rinascita di un Servizio Geologico d'Italia al livello degli enti analoghi presenti in altri paesi, il riconoscimento del ruolo del geologo professionista, che capillarmente e quotidianamente opera sul territorio, il rilancio degli studi geologici d'avanguardia, che permettano un avanzamento nella comprensione dei meccanismi di funzionamento della Terra.

Un'azione in tal senso deve partire da alcuni fondamentali punti qualificanti:

- l'istruzione ed educazione geologica nelle scuole
- investire nella preparazione di geologi qualificati, custodi del territorio e della sicurezza civile
- valorizzare le materie prime a cominciare da beni primari come l'acqua, l'aria e le risorse naturali del suolo e sottosuolo
- incentivare l'utilizzo responsabile delle risorse energetiche
- completare e aggiornare costantemente la cartografia geologica nazionale, strumento indispensabile per ogni pianificazione territoriale
- rilanciare il Servizio Geologico d'Italia quale struttura di riferimento tecnico-scientifico per lo Stato
- promuovere le geoscienze come strumento imprescindibile per convivere con i rischi naturali e gestire in modo sostenibile il nostro territorio
- contribuire a trasformare la cultura dell'emergenza in cultura della prevenzione
- trasferire ai cittadini l'idea del territorio come valore da salvaguardare e condividere

Da tutto ciò si propone un progetto per l'Italia:

GeA - Geologia-Energia-Ambiente

Fin dall'antichità, lo sviluppo dell'uomo è stato determinato dal suo rapporto con la Terra. Non c'è campo della storia sociale ed economica che non sia stato profondamente influenzato da come abbiamo saputo utilizzare le materie prime, dall'acqua, ai metalli, agli idrocarburi. Le geoscienze sono quanto mai attuali a tutti i livelli, dai rischi naturali, ma ancor più per un più equilibrato convivere, tra la necessità di progresso e il patrimonio naturale che il pianeta ci ha messo a disposizione.

Ci troviamo ad un bivio fondamentale nella storia dell'uomo: metà delle risorse petrolifere è stata utilizzata, e la seconda metà verrà consumata in tempi molto più rapidi della prima, vista la crescita industriale dei paesi emergenti e l'incremento demografico, due fattori che ineluttabilmente portano ad un continuo aumento dei costi degli idrocarburi. Ciò richiede in qualche decennio una trasformazione radicale del sistema di produzione energetica e di una maggiore attenzione ai temi di carattere ambientale, cioè di come e quanto l'uomo degradi l'ambiente, e di come e quanto l'uomo debba difendersi dagli eventi e dai processi naturali.

Per migliorare la nostra coscienza ecologica, siamo obbligati a conoscere sempre di più i segreti di come la Terra è fatta e di come funziona. È necessario capire i processi che regolano i meccanismi geologici, a tutte le scale. Per esempio dobbiamo ancora capire perché si muovono i continenti, analizzare come avvengono le emissioni gassose dal sottosuolo, studiare i processi che portano alla formazione di minerali, solo per citare alcuni esempi, perché è da queste conoscenze che derivano le migliori applicazioni.

Il progetto GeA ha questa ambizione: rilanciare la ricerca di base nelle geoscienze per poter tradurre al meglio il contributo della geologia all'emergenza energetica e ambientale.

Le scienze di base in tutto il mondo si sono rivelate il miglior investimento per lo sviluppo economico. Molte nazioni che avevano deviato la loro attenzione e i finanziamenti alla ricerca applicata si sono poi rese conto dell'errore e da anni stanno reinvestendo nelle conoscenze primarie della scienza. Da queste trascendono poi le migliori applicazioni. La geologia in senso lato è una disciplina che contiene lo studio della struttura ed evoluzione delle componenti chimiche, fisiche e biologiche della Terra. Necessita dunque di un approccio quanto mai multidisciplinare, con analisi spettroscopiche di minerali e rocce, mappatura e monitoraggio della geologia di superficie, "ecografie" del sotto-

suolo, ecc. Sono ricerche indispensabili che negli ultimi anni hanno subito un drastico stop per la carenza di fondi per la ricerca. Sempre meno geologi possono studiare la Terra oggi in Italia, a danno di tutti.

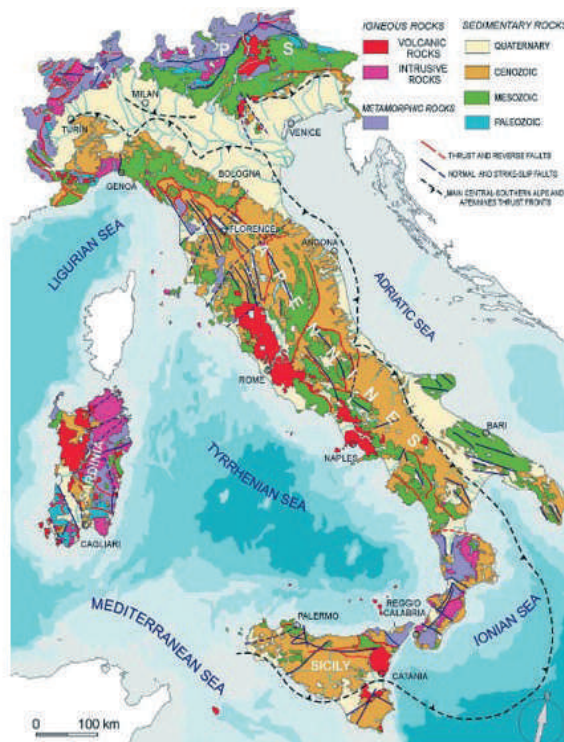
Il nostro dovere è dunque di far presente al Governo Italiano che investire nel progetto GeA significa contribuire non solo al progresso scientifico, ma anche a pianificare un futuro migliore per la nazione. La ricerca geologica finalizzata alla scoperta e ottimizzazione delle risorse terrestri e alla prevenzione e mitigazione dei rischi ambientali non può prescindere da una profonda conoscenza delle dinamiche del pianeta, siano esse avvenute nel passato oppure tuttora attive. È proprio il conoscere ciò che è avvenuto in passato a permetterci di fare modelli predittivi per il futuro e a conoscere il presente della geodinamica terrestre.

In questo quadro lo studio dettagliato dei materiali geologici (minerali, rocce, acqua, gas) e la comprensione delle loro relazioni con la dinamica del sistema Terra sono la base per la comprensione della geodinamica. Gli studi geologici e geologico-strutturali da una parte, e quelli mineralogici, petrografici e geochimici sono i punti cardine per la definizione degli enormi trasferimenti di massa mossi dai processi della dinamica del globo e delle ripercussioni sull'ambiente e sull'uomo.

Il progetto GeA si articola in tre parti con relativi obiettivi:

- 1) **Geologia**: implementare la ricerca di base
- 2) **Energia**: progetti per risorse e applicazioni innovative
- 3) **Ambiente**: implementare il rapporto Terra-Uomo

1) **GEOLOGIA** - È indispensabile riavviare la macchina della ricerca di base perché è fondamentale continuare ad investire nelle conoscenze primarie: tutto ciò con cui interagisce l'Uomo ha un profondo legame con la geologia. In Italia dobbiamo a) continuare le ricerche marine e terrestri per comprendere la struttura geologica dell'Italia; b) rimodernare e mantenere le strumentazioni analitiche di spettroscopia, datazioni radiometriche e analisi chimiche che permettano il prosieguo delle attività di ricerca fondamentali; c) rilanciare studi di geolo-



La carta geologica è analoga all'anatomia del corpo umano.

gia che contribuiscano a tenere viva la grande tradizione geologica italiana, con ricerche sul terreno, studi teorici e sperimentali sui meccanismi di funzionamento della dinamica del pianeta; d) completare la mappatura geologica al 50.000, in sinergia con il Servizio Geologico d'Italia-ISPRA; e) mantenere la partecipazione italiana in grandi progetti di ricerca internazionali.

2) **ENERGIA** - È necessario tradurre le conoscenze geologiche per lo sviluppo di un piano strategico energetico nazionale. Le geoscienze devono essere protagoniste nel valutare come continuare a coltivare le risorse minerarie, rilanciare lo sviluppo progettuale della geotermia sia ad alta che a bassa entalpia; implementare gli studi nel campo dell'energia eolica, solare e mareale; continuare nella millenaria tradizione di reperire rocce e metalli a fini applicativi e industriali.

3) **AMBIENTE** - Si devono porre delle priorità per la tutela dell'uomo e dell'ambiente, dagli studi sulla pericolosità sismica e vulcanica, a quelli di geologia medica per contrastare le patologie dovute all'inquinamento naturale di gas e acque; dal rischio idrogeologico alla tutela delle risorse idriche; dalle ricerche di minerali per applicazioni terapeutiche alla salvaguardia ambientale; dallo studio del clima passato alle azioni necessarie per diminuire le emissioni di gas serra.

Geologia per l'Economia

La Geologia gioca un ruolo essenziale in molti settori dell'economia, in Italia così come a scala globale. La crescita economica sostenibile (finanziaria, ambientale, sociale) richiede fonti affidabili di risorse energetiche e minerarie, approvvigionamento certo di acqua potabile in aggiunta ad una produzione alimentare continuativa e sostenibile. In ognuna di queste tematiche il contributo della Geologia con le sue diverse discipline è determinante, a partire dalla localizzazione delle risorse.

Localizzare ed estrarre “risorse geologiche” è vitale per il PIL di ogni nazione. L'uso di “materie prime minerali” nei processi produttivi così come l'uso dei combustibili fossili per la **produzione energetica** sostengono il nostro benessere.

Si stima che il settore estrattivo delle materie prime non energetiche (materiali da costruzione e minerali solidi) fatturi circa 4 miliardi di € all'anno in Italia, con la filiera produttiva del settore che rappresenta complessivamente un volume d'affari annuo di circa 40 miliardi di €¹.

L'attività di estrazione e produzione di olio e gas ha avuto un fatturato in Italia nel 2012 di circa 7,3 miliardi di €² ai quali si aggiungono circa 15 miliardi di € (dato 2010) di fatturato del “para-petrolifero italiano nel mondo”, cioè la fornitura di servizi per le attività petrolifere³. Il gettito fiscale per il settore petrolio e gas in termini di Royalties, Canoni e Imposte nel 2011 è stato di circa 1.3 miliardi di €, in progressivo aumento negli anni successivi.

In base alle stime di Assomineraria il settore estrattivo (minerali industriali, esplorazione e produzione di petrolio e gas naturale, “para-petrolifero”) occupa in Italia, al 2011 circa 65.000 addetti (di cui 13.000 direttamente coinvolti nell'attività Italia⁴).

In base alle stime Anepila il settore Lapidei e affini – comprendente l'industria delle cave di aggregati e materiali da costruzione – è costituito da circa 14.000 addetti⁶.

A questi numeri si potrebbero aggiungere una parte importante degli addetti della filiera del settore edilizia e tutti quelli del settore calce-gesso-cemento, settori industriali che dipendono direttamente dal-

l'approvvigionamento di **materie prime minerali**, di cui una parte importante estratte in Italia.

Attualmente l'Italia risulta fortemente dipendente dalle importazioni di energia e in parte anche dalle importazioni di prodotti di miniere e cave. L'attività di produzione di olio e gas copre circa il 10% della domanda italiana²: abbiamo importato nel 2011 materie prime energetiche per quasi 66 miliardi di €⁵. Per quanto riguarda i prodotti delle miniere e delle cave nel 2011 il valore delle importazioni annue è stato di quasi 3,5 miliardi di €, senza contare i metalli di base che rappresentano ulteriori 18 miliardi di €⁵. Le statistiche degli ultimi 10 anni mostrano che le importazioni sono in aumento.

L'EU ha identificato inoltre una lista delle materie prime minerali, il cui approvvigionamento può agire come “collo di bottiglia”, limitando la crescita economica. Ad esempio le **Terre Rare (REEs)**, la cui domanda è in continua crescita a causa del loro utilizzo nelle applicazioni di alta tecnologia come gli schermi al plasma, l'*imaging* medico e le tecnologie “verdi” come le turbine a vento e i veicoli ibridi.

Dagli esempi sopra riportati si può avere un'idea dell'importanza del contributo della geologia nell'economia nazionale. L'Italia dispone di un certo potenziale di per quanto riguarda le risorse energetiche, i minerali solidi e i materiali da costruzione: promuovere l'utilizzo sostenibile di queste “**risorse geologiche**” in alternanza all'importazione rappresenterebbe un'occasione di crescita economica per il Paese. La Strategia Energetica Nazionale⁷ pone tra i diversi obiettivi quello di potenziare la produzione di olio e gas entro il 2020 arrivando a coprire il 14% del fabbisogno nazionale. Per quanto ri-

guarda i minerali solidi e i materiali da costruzione non esiste ancora una strategia nazionale.

Dobbiamo essere consapevoli comunque che tutte le “risorse geologiche” (**materie prime minerali, energia, acqua**) sono limitate e non rinnovabili. L'impatto del processo estrattivo e di trasformazione sarà in futuro sempre più profondamente sentito dalla società. Ci sarà una popolazione mondiale in crescita che giustamente si attende una maggiore prosperità e una distribuzione più equa del benessere prodotto dall'utilizzo delle risorse.

Tutte queste problematiche possono mettere a rischio lo status quo economico e costituiscono fattori critici per la continuità produttiva di alcune industrie strategiche come quella mineraria e delle costruzioni. Allo stesso tempo queste problematiche presentano anche opportunità di innovazione per la futura crescita e stabilità economica, dove la geologia avrà un ruolo sempre più rilevante nell'individuare le risorse ed indirizzarne l'utilizzo. Gli elementi di pianificazione sovranazionale europea come gli obiettivi ambientali e di de-carbonizzazione definiti dal Pacchetto europeo Clima-Energia 2020 rappresentano opportunità per lo sviluppo delle nostre tecnologie e competenze, nonché la loro possibile esportazione all'estero.

L'Italia mantiene un significativo *know-how* nel settore petrolifero e nell'industria delle costruzioni. In Italia la legislazione e le tecniche di recupero ambientale nel settore cave-miniere sono partico-

larmente efficaci ed avanzate. Il settore dei minerali solidi è debole in confronto ad altri paesi europei, ma industria ed accademia hanno un grande patrimonio di conoscenze e un forte potenziale nella ricerca geologica di base.

L'Italia potrebbe, investendo in tecnologia e ricerca, attraverso la valorizzazione delle proprie competenze anche nel settore disciplinare delle geoscienze, proporsi a livello europeo come *hub* tecnologico-culturale per lo sviluppo economico sostenibile nei settori energetico e delle materie prime minerali.

Note

¹ CRIET, Centro di Ricerca Interuniversitario in Economia del Territorio - Università di Milano-Bicocca - Atti “Il settore delle attività estrattive in Italia. Un'analisi economico-finanziaria per uno sviluppo sostenibile”, 4 luglio 2012.

² Rapporto Ambientale Assomineraria 2013.

³ Convegno Assomineraria, 30 marzo 2010 - Risorse naturali, occupazione e comunità locali: proposte per contrastare la crisi. Introduzione Claudio Descalzi.

⁴ Audizione sul tema Strategia Energetica Nazionale X^a Commissione, Senato della Repubblica 30 ottobre 2012.

⁵ Le importazioni italiane di materie prime” Report ICE 2012 su dati Istat.

⁶ Da sito web istituzionale Anepla, consultato 5 giugno 2014.

⁷ Strategia Energetica Nazionale - Min. Sviluppo Economico - 2013.



Figura 1 - Cava di calcare - Visibile il recupero ambientale dei gradoni già coltivati.

La **Carta geologica** d'Italia

La carta geologica e la conoscenza del territorio sono la base per qualsiasi azione di tutela ambientale, di protezione civile e di pianificazione territoriale. Oltre metà della nazione non è ancora coperta da una cartografia geologica moderna. È urgente riavviare la mappatura dell'Italia.

Carta geologica e conoscenza del territorio

La **carta geologica** è l'oggetto che meglio rappresenta, in modo chiaro e sintetico, attraverso l'utilizzazione di colori, simboli, legende, schemi, le caratteristiche geologiche del territorio, emerso e sommerso, nelle sue espressioni superficiali e sotterranee. In particolare, vengono rappresentate le rocce affioranti o che costituiscono i fondali marini, delle quali sono descritti i caratteri litologici (composizione, struttura, tessitura, giacitura, colore, coerenza, ecc.), il contenuto paleontologico e mineralogico, lo spessore, i rapporti stratigrafici e tettonici, l'età. Sono rappresentate le deformazioni che le rocce hanno subito dopo la loro formazione e messa in posto e le strutture in cui sono state coinvolte (pieghe, faglie). Viene ricostruito l'ambiente in cui le rocce si sono formate e gli ambienti che hanno determinato i loro cambiamenti o le loro trasformazioni nel tempo. Vengono rappresentate le strutture morfologiche (es., circhi glaciali, terrazzi marini e fluviali, grotte, canyon sottomarini, ecc.), le sorgenti, le discariche e le attività antropiche collegate allo sfruttamento delle risorse naturali (es., pozzi, sondaggi, cave, miniere). Particolare rilevanza viene data alla rappresentazione delle frane.

Alle attività di rilevamento direttamente sul terreno e alle indagini geofisiche nel caso delle aree sommerse, si accompagnano le analisi e gli studi che vengono effettuati in laboratorio: biostratigrafici, petrografici, geochimici, isotopici, ecc.

La carta geologica rappresenta inoltre la base di partenza per realizzare le **carte geotematiche**, attraverso le quali vengono approfondite le conoscenze del territorio relativamente a tematiche specifiche. Tra le più importanti, anche dal punto di

vista applicativo e per la previsione e prevenzione dei **rischi naturali (idrogeologico, sismico, vulcanico)**, citiamo le carte geomorfologiche, idrogeologiche, di stabilità dei versanti, di pericolosità geologica, geofisiche, neotettoniche. La carta geologica è anche la base per gli studi di **microzonazione sismica**, fondamentali per una corretta pianificazione urbanistica. Ugualmente importante è la conoscenza geologica: per la salvaguardia dell'ambiente dai pericoli di **inquinamento** delle falde idriche, dei corsi d'acqua, dei laghi e dei mari; per la **difesa delle coste**; per il corretto sfruttamento delle **risorse naturali**, prima tra tutte quella idrica; per l'utilizzo delle fonti energetiche, in particolare dell'**energia geotermica** di cui il nostro paese è ricco; per l'individuazione di siti idonei per l'eventuale **stoccaggio** delle scorie radioattive e della CO₂; per la progettazione di **opere infrastrutturali**; per garantire la reale efficacia degli **interventi per la difesa del suolo**.

Appare evidente come la mole di dati rilevati, analizzati e interpretati per realizzare una carta geologica e geotematica e su questa rappresentati costituisca un patrimonio conoscitivo imprescindibile per qualsiasi forma di **attività di pianificazione e di programmazione territoriale** e di supporto ad ogni iniziativa, intervento e azione mirata alla **salvaguardia ambientale e alla difesa dalle calamità naturali**. Questo è tanto più vero per un paese industrializzato e densamente abitato come l'Italia, dove gli insediamenti, le infrastrutture, le attività produttive e l'enorme patrimonio storico-architettonico devono confrontarsi con la complessità (Fig. 1) e la "fragilità geologica" del territorio, determinata dalla ricorrenza dei fenomeni naturali (frane, alluvioni, terremoti, eruzioni vulcaniche, bradisismo, subsidenza, ecc.) che lo caratterizzano e trasformano. È ugual-



Figura 1 - Carta Geologica d'Italia alla scala 1:1.000.000 (Servizio Geologico d'Italia/ISPRA, 2011).

mente chiaro che, per gestire in modo congruente e costruttivo una tale mole di dati, rendendoli facilmente reperibili, utilizzabili e aggiornabili, è necessario disporre di una strutturazione logica delle informazioni. I Sistemi Informativi Geografici rappresentano oggi uno dei principali strumenti di gestione, elaborazione ed analisi delle conoscenze in ambito territoriale, oggi ampiamente utilizzati nel campo della cartografia geologica.

● Stato dell'arte della Carta geologica d'Italia

All'indomani della proclamazione del Regno d'Italia, nel dicembre del 1861 prende l'avvio il progetto per la realizzazione della Carta geologica d'Italia – intesa come carta geologica ufficiale dello Stato –, allo scopo di dotare il Paese di uno **strumento ritenuto fondamentale per la conoscenza**

del territorio e delle risorse naturali indispensabili per lo sviluppo economico, analogamente a quanto stava avvenendo in altri paesi europei. La realizzazione delle carte, da pubblicare alla scala 1:100.000, inizia concretamente solo nel 1877 e procederà con alterne vicende fino alla metà degli anni '70; i criteri di rilevamento cambiano ovviamente col tempo, riflettendo l'evoluzione delle conoscenze geologiche nel corso di un secolo. Sempre negli anni '70, il Comitato Geologico, presieduto da Ardito Desio, pone l'accento sulla necessità che, per dotare il Paese di una cartografia veramente utile a livello operativo, vista la fragilità del territorio, fosse necessario procedere alla realizzazione di carte alla scala 1:50.000. Inizia così il nuovo progetto per la realizzazione della cartografia geologica ufficiale alla scala 1:50.000, che solo alla fine degli anni '80 riceve finanziamenti sufficienti per operare una programmazione a scala nazionale.

Il nuovo progetto, denominato **"Progetto CARG"** (CARtografia Geologica), nasce dall'esigenza di realizzare una moderna cartografia geologica comprensiva delle parti a mare, da pubblicare alla scala 1:50.000, con associata una **banca dati a scala 1:25.000** ad elevato contenuto informativo, partendo da un rilevamento alla scala 1:10.000 che garantisce un buon dettaglio. Il progetto, coordinato dal Servizio Geologico d'Italia (ora in ISPRA), organo cartografico dello Stato ai sensi della L. 68/60, viene realizzato attraverso la collaborazione con regioni, province autonome, università e C.N.R., seguendo normative a valenza nazionale che garantiscono l'omogeneità delle carte e della banche dati e il raccordo tra la struttura centrale e le regioni e province autonome.

Le **risorse** finora dedicate al progetto CARG, pari a circa € 81.260.000,00, hanno consentito l'avvio di 255 Fogli geologici, che rappresentano circa il 40% del territorio nazionale, e di 14 fogli geotematici sperimentali alla scala 1:50.000, più varie attività strumentali al progetto. A questi si aggiungono i fogli geo-

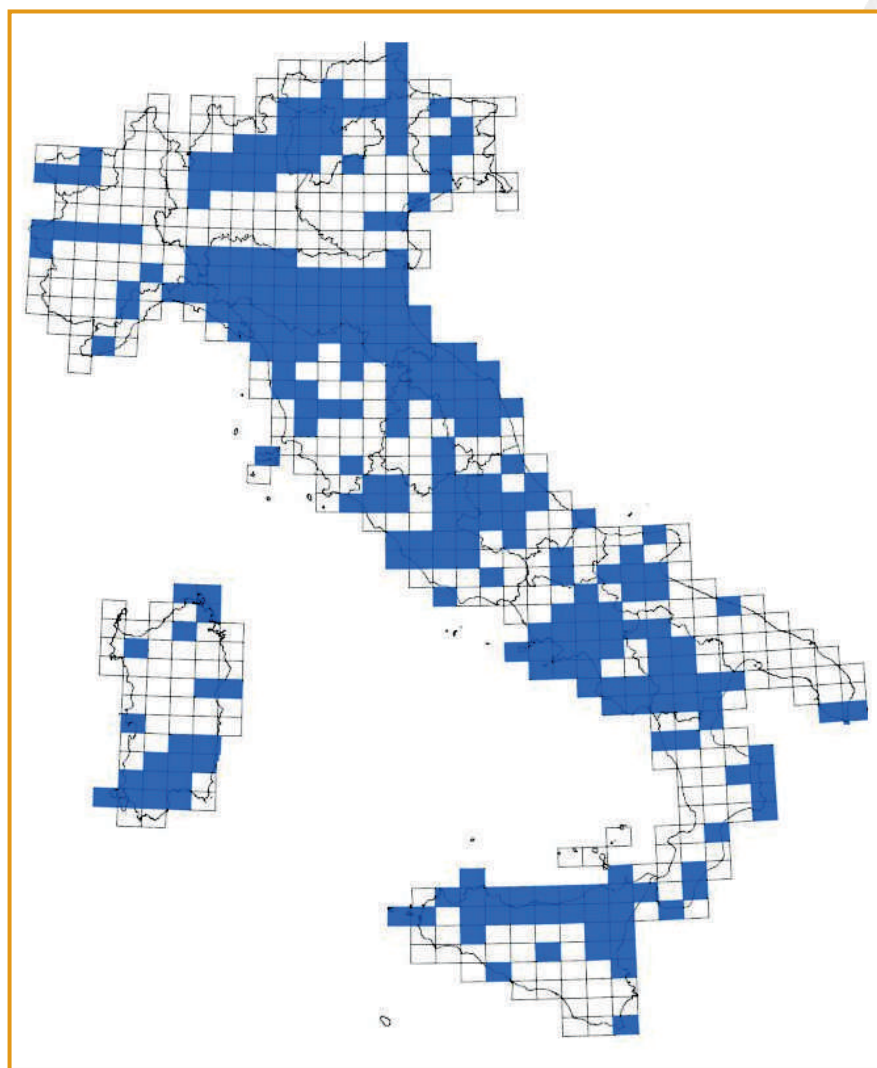


Figura 2 - Distribuzione dei fogli geologici realizzati o in corso di realizzazione attraverso il Progetto CARG o direttamente dal Servizio Geologico d'Italia/ISPRA.

logici realizzati/in corso di realizzazione da parte del Servizio Geologico d'Italia direttamente o in collaborazione con università, a partire dalla metà degli anni '70. Complessivamente abbiamo 277 fogli geologici realizzati/in corso di realizzazione (in massima parte visualizzabili sul sito web dell'ISPRA) a fronte di **375 fogli non ancora avviati** (Fig. 2).

Le carte finora realizzate costituiscono per i tecnici, amministratori e politici delle autorità nazionali e locali strumenti fondamentali per la programmazione e pianificazione dell'uso del territorio nonché per la tutela e difesa dello stesso (es. per la predisposizione di piani di bacino, piani di previsione e prevenzione dei rischi naturali, piani territoriali paesistici regionali, ecc.). L'evoluzione degli strumenti GIS permette inoltre di fornire un contributo significativo al processo di diffusione e condivisione delle informazioni territoriali con gli altri Enti della Pubblica Amministrazione e con una utenza più vasta che va dal mondo della ricerca, all'impresa, ai cittadini.

Da sottolineare anche che il Progetto CARG ha dato un forte impulso alla ricerca scientifica nel campo delle geoscienze e ha rivestito, fino ad alcuni anni fa, una grande importanza dal punto di vista occupazionale, avendo contribuito alla formazione e alla occupazione giovanile in campo geologico di circa 500-600 persone per anno, prevalentemente laureate.

Si sottolinea come **il Progetto CARG non riceveva finanziamenti consistenti dal 1999**. La necessità che esso continui è stata più volte messa in evidenza negli ultimi anni dall'intera comunità

scientifica, dall'ISPRA, dal Consiglio Nazionale dei Geologi e dalle regioni e province autonome con appelli alle forze politiche e al Capo dello Stato, a dimostrazione dell'importanza strategica del progetto CARG per il nostro Paese.

La prosecuzione del Progetto CARG è la condizione minima per colmare il gap che dal punto di vista della conoscenza geologica del territorio ci divide dal resto dell'Europa. Buona parte dei paesi europei ha infatti completato la copertura geologica nazionale, anche a differenti scale e sviluppando varie tematiche (es., idrogeologia, suoli, pericolosità, risorse minerarie), con relative banche dati. E non si tratta solo dei paesi più "ricchi" e sviluppati (Germania, Regno Unito, Francia, ecc.); anche Spagna e Grecia, ad esempio, sono molto più avanti dell'Italia! Questi Paesi, e i relativi servizi geologici nazionali, possiedono così un formidabile patrimonio di conoscenze per pianificare correttamente gli interventi sul territorio e prevenire gli effetti dei rischi naturali. L'Italia invece, soggetta ad ogni genere di rischio – idrogeologico, sismico, vulcanico – e con problemi enormi di inquinamento, stoccaggio di scorie radioattive, discariche, erosione delle coste, ecc., ha una cartografia geologica che per circa il 60% è del tutto inadeguata o che, per le carte dell'800, ha un semplice valore storico.

Come ha detto recentemente il nostro Presidente della Repubblica, la messa in sicurezza del territorio deve essere considerata un problema prioritario del nostro Paese. Disporre di una moderna cartografia geologica è la condizione essenziale per operare in questo senso.

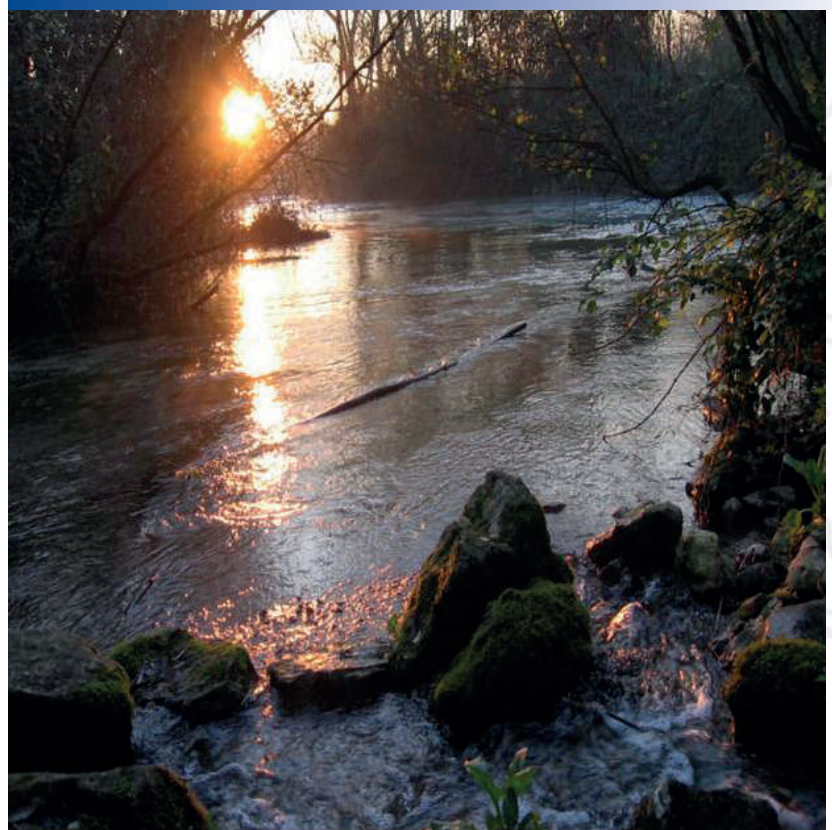
Le ACQUE sotterranee

L'acqua è il bene indispensabile assoluto, per la vita, l'ambiente, l'uomo e la sua organizzazione societaria. Oltre a quanto visibile, dalla pioggia ai corsi d'acqua, dai ghiacciai ai mari e agli oceani, l'acqua è presente anche nel sottosuolo del nostro pianeta, dando vita alle risorse idriche sotterranee, patrimonio pregiato e nascosto, accessibile a tutti soprattutto grazie al contributo dei geologi.

Le acque sotterranee rappresentano la più importante **risorsa idrica** per il Pianeta, da un lato perché costituiscono il 97% delle acque dolci (soltanto il 3% provengono da fiumi e laghi), dall'altro perché la loro rinnovabilità attraverso il ciclo dell'acqua e la loro elevata qualità naturale le rende preziose per l'approvvigionamento idrico e per le necessità ambientali. Il carattere "nascosto" di questa risorsa ne rende più facilmente possibile la tutela, a patto di riuscire a spiegarne la natura e l'importanza ai non addetti ai lavori.

Il concetto classico che è stato adottato universalmente è quello di "serbatoio" o "risorsa" idonea allo sfruttamento, per soddisfare le **esigenze antropiche**, dapprima semplicemente personali/potabili, poi col tempo più ampiamente destinata agli usi più diversi, agricoli, industriali e finanche ricreativi. Questo approccio negli ultimi anni ha lasciato il posto alla consapevolezza che l'importanza delle acque sotterranee va ben oltre l'uso antropico, in quanto custodi di servizi ambientali, ecologici e più in generale connessi alla biosfera. Tant'è che allo sfruttamento si è progressivamente sostituito il concetto di **prelievo sostenibile**, dove i limiti sono imposti non più dal tasso di rinnovamento della risorsa in funzione di quanto proviene dalle precipitazioni, ma dall'esigenza di coniugare le richieste antropiche con le esigenze ambientali.

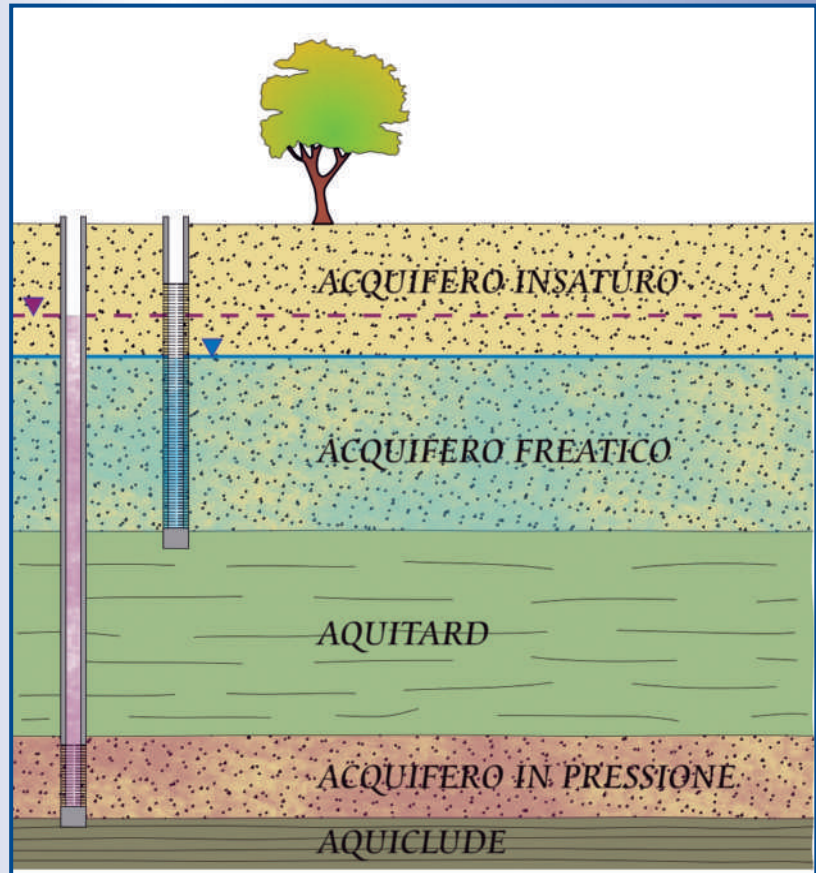
Non tutti sanno che lo stesso ciclo delle acque superficiali avrebbe vita breve se non fosse connesso e alimentato da quello delle acque sotterranee; infatti, i nostri fiumi e laghi ricevono acqua non soltanto dalle piogge, ma soprattutto in loro assenza, nei periodi siccitosi, il deflusso è garantito dalle acque provenienti dal sottosuolo, che attraverso le sorgenti (altro ambiente di importanza



L'acqua nel sottosuolo

L'acqua sotterranea nell'immaginario collettivo prende i contorni di "fiumi" o "vene" sotterranee, che nella realtà esistono soltanto in condizioni particolari come nelle aree carsiche. Questo accade perché le grotte carsiche sono l'unica vera "finestra" che abbiamo a disposizione nel sottosuolo. Nella stragrande maggioranza dei casi però le acque sotterranee si muovono "attraverso" il terreno e le rocce, e non in grandi spazi vuoti. Infatti, ogni roccia presenta al suo interno dei microscopici vuoti tra i granuli o i minerali che la compongono: laddove questi piccoli spazi sono intercomunicanti tra loro, l'acqua che si infila dalla superficie riesce a muoversi, lentamente e arricchendosi di ioni e molecole sottratte alla roccia. Tutte le rocce sono quindi dotate di una propria permeabilità, cioè la capacità di farsi attraversare dall'acqua. Anche in questo caso però la varietà presente in natura consente

di distinguere tra **acquiferi** (rocce portatrici di acqua), **"aquicludes"** (rocce praticamente impermeabili, dove l'acqua si muove con estrema difficoltà e tempi lunghissimi) e **acquitardi** (rocce in cui la circolazione idrica è possibile, ma per quantità limitate e tempi lunghi). Nel sottosuolo distinguiamo una zona non satura, in cui i vuoti della roccia sono parzialmente riempiti da acqua e per il resto da aria, al di sotto della quale si trova una zona "satura", la vera e propria falda, in cui tutti i microscopici vuoti sono riempiti da acqua, in grado di muoversi per effetto del "gradiente idraulico", secondo una pendenza quasi impercettibile, ma che consente all'acqua di arrivare fino alle sorgenti e tornare quindi in superficie.



assoluta) riversano nei fiumi le acque che hanno viaggiato per tempi più lunghi nel sottosuolo, mesi, anni, o addirittura secoli.

La maggior parte della popolazione italiana si approvvigiona da acque sotterranee, attraverso acquedotti lunghi decine fino ad oltre il centinaio di chilometri. Questa **disponibilità idrica sotterranea**, nettamente superiore rispetto a quella di molte altre nazioni europee ed extraeuropee, ci consente di avere disponibile a casa nostra l'acqua di sorgente, e non quella necessariamente depurata proveniente da bacini o corsi d'acqua superficiali, molto più diffusi anche in paesi occidentali meno fortunati da questo punto di vista. L'abbondanza di acque sotterranee è un'altra peculiarità del territorio italiano, connessa e dipendente dalla particolare storia e diversità geologica.

Ad esempio, in Appennino sono presenti oltre un centinaio di sorgenti di portata superiore ai 1000 litri al secondo, con massimi di 18000 litri al secondo. Captare una sola di queste sorgenti consente di approvvigionare città di milioni di abitanti, come avviene per Roma.

Oltre alla risorsa immagazzinata nei grandi massicci montuosi, spesso interessati da carsismo, le zone pedemontane e alluvionali dei corsi d'acqua e molte aree costiere della nostra penisola sono sede di risorse altrettanto pregiate e abbondanti. Queste acque sotterranee sono maggiormente a rischio di inquinamento, per la propria natura di falde freatiche, cioè separate dalla superficie soltanto da una zona permeabile non satura d'acqua, che le rende quindi vulnerabili ai **composti inquinanti** provenienti dalle diverse attività antropiche.

I cambiamenti climatici e la disponibilità idrica

*Negli ultimi anni ci si è resi progressivamente conto che l'aumento della richiesta idrica, soprattutto sotterranea, da parte delle attività umane si è avvicinata pericolosamente al valore della sua disponibilità di risorsa rinnovabile, finanche in numerosi casi a superarlo, rendendo necessario un generale ripensamento della gestione idrica. Da un lato è stato introdotto il concetto che parte della risorsa debba essere destinata al mantenimento di condizioni ambientali ottimali per la vita animale e vegetale, dall'altro le modificazioni climatiche avvertite a scala globale hanno determinato variazioni significative della disponibilità sulle singole porzioni di territorio. Senza entrare nel merito delle cause dei cambiamenti climatici, il loro effetto sulla risorsa idrica è ormai noto e destinato a crescere nel prossimo futuro. Oltre agli effetti diretti (aumento delle temperature, variazioni della distribuzione delle piogge), sono particolarmente importanti gli effetti cosiddetti indiretti: infatti, la risposta ai sempre più frequenti periodi siccitosi comporta un maggiore sfruttamento delle falde sotterranee, i cui livelli si abbassano pericolosamente, mettendo a rischio la salvaguardia della risorsa per le generazioni future. Le risposte che i geologi e le istituzioni, Comunità Europea in testa, stanno già fornendo a questa problematica vanno dal **risparmio idrico**, al **monitoraggio delle falde**, fino a soluzioni tecnologiche come la **ricarica artificiale degli acquiferi**. Quest'ultimo approccio "rivoluziona" il rapporto tra l'uomo e l'acqua sotterranea, disegnando dei pozzi che anziché prelevare l'acqua la reimmettono nel sottosuolo, quasi a rappresentare una banca dove "versare" le acque che si hanno in abbondanza nei periodi piovosi (con l'effetto di smorzare anche gli eventi di piena) per poterle poi prelevare nei momenti di bisogno durante le fasi siccitose.*

Queste ultime si concentrano in corrispondenza di centri urbani e aree industriali limitrofe, determinando la presenza di centri di potenziale pericolo da cui gli inquinanti possono accidentalmente penetrare nel sottosuolo e raggiungere le falde.

Queste risorse sono quindi oggi parzialmente inadatte all'uso, nonché talvolta non idonee alle necessità ambientali. Le principali tipologie di inquinamento riscontrate in falda sono riconducibili alle attività agricole (fertilizzanti, tra cui maggiormente diffusi sono i nitrati e gli altri composti azotati, e pesticidi), alle attività industriali (tra cui spiccano gli idrocarburi, i metalli pesanti e i solventi) e alle stesse aree urbane (inquinamento microbiologico e ancora da nutrienti, in particolare specie azotate). L'**intenso utilizzo delle falde costiere** ha anche innescato il richiamo di acque salmastre o addirittura saline di origine marina, che si intrudono risalendo sotto le falde pregiate di acqua dolce, pregiudicandone la qualità, in molte aree costiere soggette ad antropizzazione, come del resto è gran parte del nostro territorio. In questi casi si rende necessario procedere al risanamento e alla bonifica delle **falde contaminate**, procedura che richiede tecniche complesse e tempi lunghi, a fronte di spese ingenti se non proibitive.

L'acqua sotterranea rappresenta, in sintesi, una delle poche risorse naturali di cui il nostro paese è particolarmente ricco, e la sua geodiversità dà origine ad acque le più varie possibili, tanto da offrire una varietà di acque minerali e termali che rappresentano anche economicamente un valore aggiunto. Paradossalmente, l'abbondanza rappresenta un ostacolo ad un uso moderno e attento della risorsa idrica, perché al contrario di paesi abituati a combattere la siccità e la scarsità, la nostra cultura dell'acqua, dai tempi dell'Impero Romano, è improntata al suo utilizzo e non al suo risparmio. La società attuale, le crescenti necessità e soprattutto le sempre più ricorrenti crisi idriche, impongono ai geologi non solo di offrire il loro contributo tecnico-professionale, ma anche di compiere un'opera di sensibilizzazione e di comunicazione affinché tutti comprendano l'importanza di questa risorsa "nascosta".

Energia per l'Italia

*Per soddisfare i futuri bisogni energetici l'Italia, come la maggior parte delle nazioni industrializzate, deve fronteggiare una tripla sfida: ridurre drasticamente le emissioni di anidride carbonica (CO₂) per evitare pericolosi mutamenti climatici, garantire la sicurezza delle forniture energetiche riuscendo nel contempo a fornire ad un prezzo ragionevole energia sia all'industria, sia ai consumatori. Le linee guida identificate, raccolte nella Strategia Energetica Nazionale approvata nel 2013¹, si basano sui principi dell'**Efficienza energetica**, dello **Sviluppo sostenibile delle energie rinnovabili** e sulla **Produzione sostenibile di idrocarburi nazionali**.*

● Carburanti fossili

Pur avendo negli ultimi anni avviato un positivo e continuo trend di riduzione della componente termoelettrica sul totale dell'energia prodotta (dall'80% al 68% nella decade 2002-2012²), la combustione di **carburanti fossili** (gas, petrolio e carbone nell'ordine di utilizzo) continuerà a giocare un ruolo prevalente nella matrice energetica nazionale per lo meno nella prossima decade.

Le **risorse di idrocarburi nazionali**, anche se limitate rispetto ad altri Paesi, consentono di coprire attualmente con la produzione (5,7 milioni tonnellate olio e gasolina più 7,5 miliardi Sm³ di gas nel 2013³) circa il 10% del fabbisogno annuo (Figg. 1, 2). Il progressivo aumento delle produzioni nazionali di idrocarburi convenzionali, in una cornice normativa idonea a garantire sempre di più la sicurezza e la tutela ambientale, consentirà di ridurre la dipendenza dall'estero con impatto positivo sia sulla sicurezza degli approvvigionamenti, sia sui costi dell'energia prodotta.

Il raggiungimento di questo obiettivo è in gran parte legato alla nostra capacità di sviluppare in modo continuativo la **comprensione geologica del sottosuolo**, sia alla scala regionale identificando le condizioni che possano aver portato ad accumuli di idrocarburi, sia alla scala locale affinché le attività di perforazione ed efficiente produzione siano svolte nella massima sicurezza per le persone e l'ambiente.

La geologia del petrolio

La geologia del petrolio è una branca della geologia applicata che si propone di riconoscere, nell'ambito di un bacino, i meccanismi di formazione, migrazione, accumulo e conservazione degli idrocarburi.

Per ricostruire questo processo, il geologo del petrolio si serve, oltre che delle scienze geologiche in senso stretto (mineralogia, stratigrafia, petrografia, sedimentologia, geologia strutturale, geochimica, paleontologia, geomorfologia, geologia del sottosuolo), anche di discipline correlate (meccanica dei fluidi, chimica fisica). La geologia del petrolio, quale disciplina operativa, ha lo scopo principale di individuare gli accumuli che abbiano una rilevanza dal punto di vista economico e utilizza pertanto una serie di rilievi (gravimetrici, sismici, magnetometrici) da cui poter ricavare informazioni indirette per il riconoscimento di idrocarburi (tipo di geometrie, tipi di litologia, strutture), non esistendo un metodo di riconoscimento diretto.

(tratto da: Enciclopedia degli Idrocarburi, Istituto della Enciclopedia Italiana fondata da Giovanni Treccani S.p.A., 2005)

Idrocarburi convenzionali e non convenzionali

Gli idrocarburi (**olio e gas**) hanno origine dall'accumulo e preservazione di materia organica all'interno di successioni sedimentarie depositatesi milioni di anni fa (**rocce madri**) e dalla sua successiva trasformazione in sottosuolo in condizioni di elevate pressioni e temperature. Gli idrocarburi così generati, più leggeri dell'acqua, migrano verso la superficie lungo strati permeabili e fratture/faglie restando intrappolati in sottosuolo all'interno del sistema poroso delle rocce sedimentarie (**rocce serbatoio**) ogni qualvolta si incontrino lungo il percorso di migrazione dei livelli impermeabili (**rocce di copertura**). Il sistema roccia serbatoio, roccia di copertura, trappola rappresenta l'obiettivo dell'esplorazione e produzione petrolifera "convenzionale".

Quando invece gli idrocarburi vengono generati all'interno di rocce impermeabili, restano in gran parte intrappolati all'interno della roccia madre stessa e, non potendo essere recuperati con le tecniche convenzionali di perforazione e produzione, sono indicati come risorse "non convenzionali" (**gas/olio di scisto – shale/oil gas**) per la cui produzione economica è richiesto l'utilizzo di perforazioni orizzontali e fratturazione idraulica (**fracking**). Anche in questo caso le conoscenze geologiche sono fondamentali per diversi aspetti: 1) per l'individuazione delle aree in cui queste risorse possano essere presenti, 2) per la realizzazione di un efficace ed efficiente processo di produzione (riduzione del numero di perforazioni e fracking), e 3) per prevenire e monitorare i possibili rischi associati a queste attività come sismicità indotta o contaminazioni delle falde acquifere.

A differenza di altri Paesi, Stati Uniti in particolare, dove lo sfruttamento di queste risorse può diventare una importante componente della matrice energetica, in Italia lo sviluppo di progetti di shale gas non è prevista dalla Strategia Energetica Nazionale.

Fonti energetiche rinnovabili

L'uso di **fonti energetiche rinnovabili** è promosso ed incentivato dalle istituzioni nazionali e comunitarie rappresentando l'elemento chiave di una politica energetica volta alla riduzione delle emissioni di CO₂ legate all'uso di carburanti fossili, alla riduzione della dipendenza da approvvigionamenti esteri ed a svincolare il costo dell'energia dal costo del petrolio.

In Italia quasi un terzo dell'energia elettrica è prodotta da fonti rinnovabili tra cui, al 2012²:

- **energia idroelettrica** (14% sul totale)
- **energia fotovoltaica** (6,3%)
- **energia eolica** (4,5%)

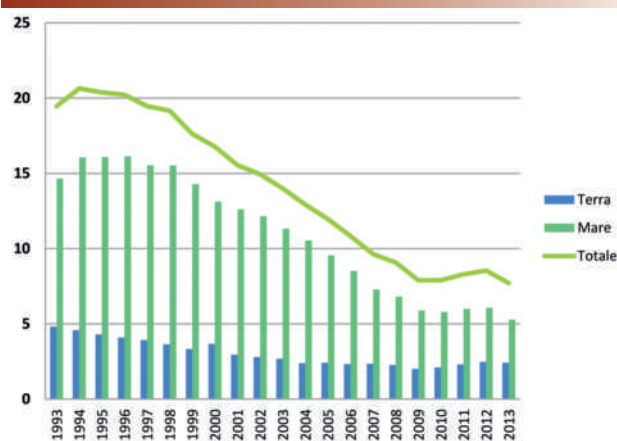


Figura 1 - Produzione di gas (miliardi di Sm³) - serie storica anni 1993-2013 (da: DGRME - Rapporto annuale 2014, Attività dell'anno 2013).

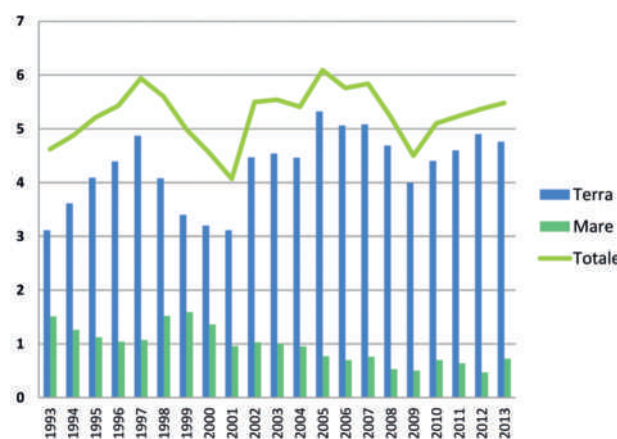


Figura 2 - Produzione di olio (milioni di tonnellate) – serie storica anni 1993-2013 (DGRME - Rapporto annuale 2014, Attività dell'anno 2013).

- **energia da biomasse e rifiuti** (4,2%)
- **energia geotermica** (1,9%)

La conoscenza approfondita del contesto geologico circostante, sia di superficie, sia del sottosuolo, è di fondamentale importanza per l'ubicazione e la costruzione degli impianti di generazione; si pensi solamente ad esempio agli studi necessari per la costruzione di una diga per la produzione di energia idroelettrica o per la ricerca e sfruttamento di fluidi ad alta temperatura per l'energia geotermica.

Note

¹ Strategia Energetica Nazionale: per un'energia più competitiva e sostenibile; Marzo 2013. Ministero dello Sviluppo Economico e il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Decreto Interministeriale 8 marzo 2013 <http://unmig.mise.gov.it/unmig/norme/pdf/sen.pdf>.

Lo stoccaggio di gas naturale e anidride carbonica

L'utilizzo di un giacimento petrolifero può andare oltre la sua vita produttiva potendo infatti rappresentare un contenitore naturale in cui iniettare gas, sia **gas naturale**, sia **anidride carbonica** (CO₂). Compito dei geologi in questo caso è l'individuazione dei giacimenti in esaurimento che meglio si prestino per queste attività studiandone e monitorandone le capacità di tenuta.

Lo stoccaggio di gas naturale è un processo che consente di iniettare il gas nella roccia porosa di un giacimento esaurito che già lo conteneva, riportandolo, in una certa misura, al suo stato originario. Lo **stoccaggio** è necessario per rispondere in tempo reale alle richieste di gas del mercato; per permettere di gestire le strutture produttive e di trasporto con adeguati margini di elasticità e, soprattutto, per fronteggiare situazioni di mancanza o riduzione degli approvvigionamenti o di crisi del sistema gas (per esempio in caso di condizioni climatiche molto rigide o di blocchi di approvvigionamento dall'estero, Stoccaggio strategico).

(tratto da: Rapporto annuale 2014 - Attività dell'anno 2013; Aprile 2014. Ministero dello sviluppo economico, Direzione generale per le risorse minerarie ed energetiche).

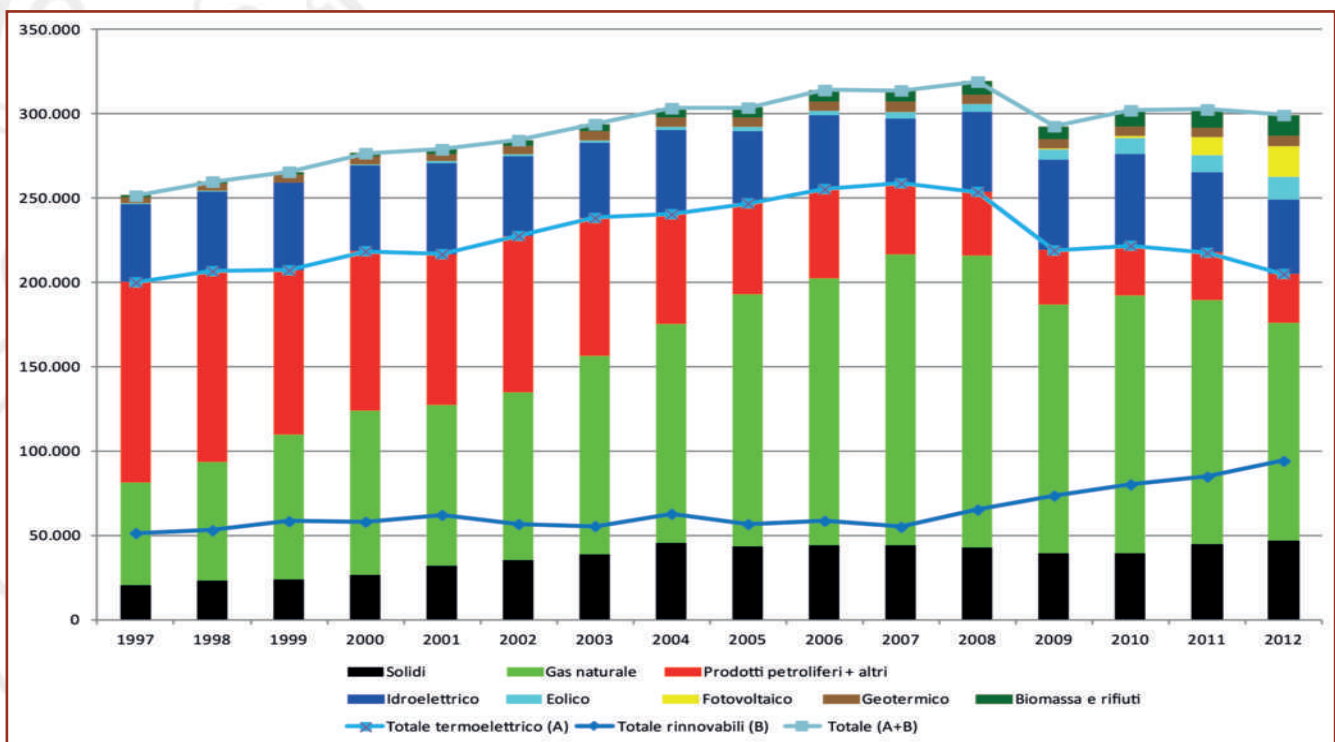


Figura 3 - Produzione lorda di energia elettrica; anni 1997-2012 GWh. Fonte: Elaborazioni Autorità per l'energia elettrica e il gas su dati GRTN/TERNA.

² Produzione lorda di energia elettrica per fonte. Autorità per l'energia elettrica il gas e il sistema idrico <http://www.autorita.energia.it/it/dati/eem6.htm>.

³ Rapporto annuale 2014 - Attività dell'anno 2013; Aprile 2014 (Ministero dello sviluppo economico, Direzione generale per le risorse minerarie ed energetiche) <http://unmig.sviluppoeconomico.gov.it/unmig/stat/ra2014.pdf>.

Riferimenti bibliografici

Biocarburanti e bioliquidi:

<http://www.minambiente.it/pagina/biocarburanti-e-bioliquidi>

Biomasse: <http://www.minambiente.it/pagina/biomasse>

Efficienza energetica: <http://www.minambiente.it/pagina/efficienza-energetica>

Energia: <http://www.minambiente.it/pagina/energia>

Eolico: <http://www.minambiente.it/pagina/eolico>

Idroelettrico:

<http://www.minambiente.it/pagina/idroelettrico>

Geotermia:

<http://www.minambiente.it/pagina/geotermia>

http://unmig.sviluppoeconomico.gov.it/unmig/buig/supplemento_54-2/supplemento_54-2.pdf

Solare-fotovoltaico: <http://www.minambiente.it/pagina/fotovoltaico>

Solare-termico: <http://www.minambiente.it/pagina/solare-termico>

Produzione nazionale di idrocarburi: <http://unmig.sviluppoeconomico.gov.it/unmig/produzione/produzione.asp>

Il calore della Terra

L'energia geotermica (dal greco antico "geo", terra, e "thermos", calore) è l'energia che può essere generata valorizzando il calore contenuto nell'interno della Terra. Tale calore proviene dalla formazione originaria del pianeta, dal decadimento di isotopi radioattivi di minerali e da energia solare assorbita alla sua superficie. Al di sotto della superficie terrestre la temperatura diviene progressivamente più elevata con la profondità di circa 3°C ogni 100 metri. Tale valore rappresenta però solo una media; esistono infatti aree "più fredde" o anche molto "più calde".

● Storia

L'utilizzo di sorgenti calde per scopi termali è documentato nell'area mediterranea dall'VIII secolo a.C. anche se probabilmente simili pratiche potrebbero essere fatte risalire sino al Paleolitico.

Greci, Etruschi e in particolare i Romani diffusero la valorizzazione delle sorgenti termali.

L'estrazione dell'acido borico dai soffioni boriciferi nella zona di Volterra in Toscana, diffusasi a partire dall'inizio del XIX secolo, rappresenta invece il primo esempio di uso industriale di **risorse geotermiche**. Tale industria ebbe un notevole sviluppo anche grazie all'utilizzo del vapore emesso dagli stessi soffioni per far evaporare l'acqua e ricavare l'acido borico ed alle capacità imprendito-

riali di François de Larderel, fondatore del villaggio industriale di Larderello.

La **produzione di energia elettrica** da una fonte geotermica risale però al 1904 quando, per la prima volta nella storia dell'uomo, gli esperimenti del principe Piero Ginori Conti portarono all'utilizzo del vapore per azionare una macchina stantuffo accoppiata ad una dinamo che permise l'accensione di 5 lampadine. Lo sviluppo tecnico di tale principio portò nel 1905 all'illuminazione dell'intero stabilimento e nel 1912 alla realizzazione di una



Figura 1 - Fly Geyser, Deserto delle Rocce Nere in Nevada, Stati Uniti (da <http://tourdumondeinsolite.com/2014/04/fly-geysers-etats-unis/>).

centrale elettrica capace di alimentare anche il paese di Pomarance e la città di Volterra. In seguito, il successo dell'esperienza italiana ha stimolato lo sviluppo di programmi di valorizzazione dell'energia geotermica in diversi altri paesi.

● Utilizzi dell'energia geotermica

La produzione di energia dal calore geotermico viene realizzata per avvezione o per conduzione.

Nel primo caso il calore contenuto in fluidi caldi prodotti da serbatoi geotermici presenti nel sottosuolo viene utilizzato per produrre energia elettrica o per usi diretti.

Nel secondo caso il calore viene estratto a basse profondità per usi diretti con sistemi di scambio sotterranei senza che avvenga trasferimento di materia.

I possibili utilizzi della risorsa geotermica dipendono ovviamente dalle temperature disponibili.

● Generazione di energia elettrica

I **sistemi geotermici** utilizzati per produrre energia elettrica sono essenzialmente quelli definiti idrotermali.

Tali sistemi sono composti da un fluido che circola per convezione in un complesso di rocce permeabili scaldate da una sorgente di calore e confinate da rocce impermeabili. Poiché nelle porzioni sommitali del serbatoio si sviluppano a volte cappe di vapore, si distinguono due diversi sottosistemi definiti ad acqua dominante o a vapore dominante.

Nella produzione di energia elettrica da **sistemi idrotermali** sono stati utilizzati diversi schemi quali i classici **impianti a contropressione e a condensazione** (per campi a vapore o bifase con temperature di almeno 180°C), gli **impianti a ciclo binario** (che possono valorizzare campi ad acqua dominante con temperature minori di 175°C o in cascata le acque calde di scarico in campi ad alta entalpia ed acqua dominante) e gli **impianti ibridi** (che accoppiano il calore geotermico con il calore prodotto da altre fonti).

In aggiunta ai tipici sistemi idrotermali, sono anche noti sistemi geotermici cosiddetti "**non-convenzionali**" che, seppure studiati e ritenuti promettenti in diverse aree, presentano diverse problematiche da approfondire in relazione ad aspetti tecnologici, ambientali ed economici. Tali sistemi, associati a differenti contesti geologici e soluzioni tecnologiche, sono brevemente descritti di seguito.

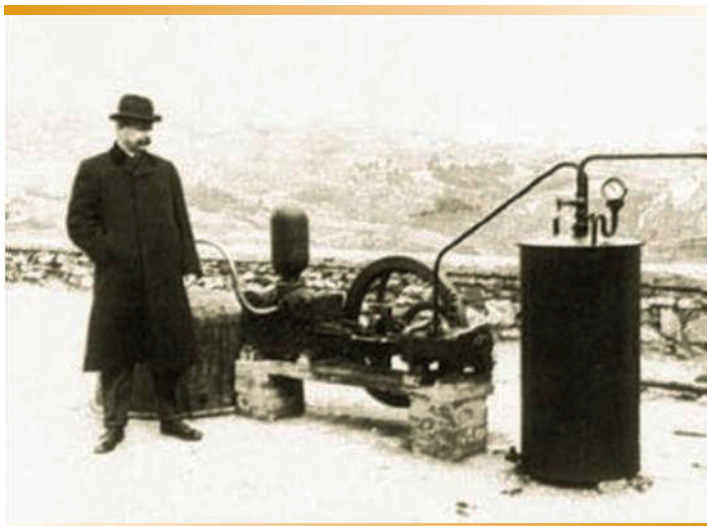


Figura 2 - Prima macchina che ha utilizzato il calore geotermico per produrre elettricità sviluppata nel 1904 a Larderello dal Principe Piero Ginori Conti (da Dickson M.H. & Fanelli M., 2004).

- **Sistemi ingegnerizzati od ottimizzati (engineered o enhanced geothermal systems, EGS)** in cui il serbatoio viene creato in tutto o in parte, in casi in cui la permeabilità o il fluido sono assenti o scarsi, con tecniche artificiali; tali tecniche sono in parte derivate dalle sperimentazioni condotte in passato nel campo delle rocce calde secche (*hot dry rocks*, HDR) e delle rocce calde fratturate (*hot fractured rocks*, HFR).
- **Sistemi geopressurizzati** costituiti da rocce sedimentarie permeabili che contengono fluidi in pressione (acqua calda spesso associata a gas metano) in acquiferi confinati in profondità.
- **Sistemi magmatici** collegati ad apparati vulcanici attivi con camere magmatiche poste a piccole profondità.
- **Sistemi a fluidi supercritici** associati ai sistemi idrotermali più caldi (associati ad esempio a corpi ignei in via di raffreddamento) in cui in profondità possono essere presenti fluidi in condizione di pressione e temperatura molto elevate (i.e., condizioni supercritiche) che possiedono un'alta densità energetica.
- **Sistemi a salamoia calda** in cui peculiari processi geologici hanno portato all'isolamento di porzioni significative del serbatoio; di conseguenza, la circolazione convettiva in un ambiente chiuso produce un arricchimento progressivo del contenuto in sali disciolti del fluido (in genere molto superiore a 10 g/l e che può raggiungere i 300-400 g/l).

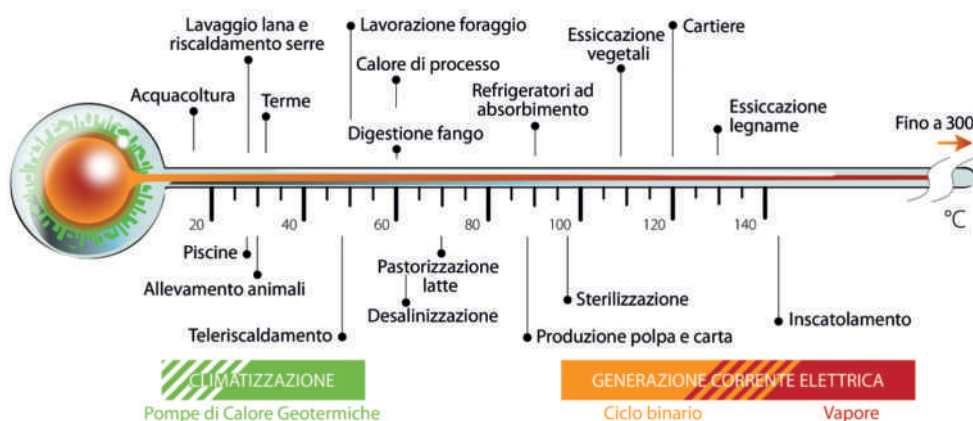


Figura 3 - Possibili usi del calore geotermico (ripresa da Vigor, 2010).

Usi diretti

Gli usi diretti del calore geotermico rappresentano la forma di valorizzazione dell'energia più antica e più versatile.

I più comuni utilizzi del calore geotermico includono la **balneologia**, il **teleriscaldamento** di edifici, gli **usi agricoli**, l'**acquacoltura** e l'impiego in **processi industriali** mentre altre particolari applicazioni sono illustrate in figura 3. Tali utilizzi possono essere integrati in cascata per sfruttare il calore residuo presente nel fluido in uscita dall'impianto a monte, che può anche essere rappresentato da una centrale per produzione di energia elettrica.

Un cenno a parte meritano le "**Pompe di calore geotermiche**", una tecnologia che sta avendo una sempre maggiore diffusione, che sfruttano un sistema basato su processi di scambio termico con il sottosuolo, inteso come massa di grande capacità termica.

Grazie alla sua inerzia termica, già pochi metri sotto la superficie, il terreno risente in modo attenuato e smorzato delle fluttuazioni termiche giornaliere e stagionali dell'aria. La temperatura del sottosuolo si può considerare pressoché costante tutto l'anno, assumendo generalmente un valore prossimo alla temperatura media annua dell'aria nella località considerata. Utilizzando un pompa di calore esiste quindi la possibilità di estrarre calore dal terreno durante l'inverno, e riscaldare quindi l'edificio, e cedere calore al medesimo in estate.

La geotermia in Italia

Nel 2010, il consumo totale di energia in Italia ammontava a circa 185 MTEP (milioni di tonnellate equivalenti di petrolio), con un contributo dell'energia geotermica valutato in 1,32 MTEP, corrispon-

denti allo 0,71% del totale (Unione Geotermica Italiana, 2011). Tale contributo è costituito dalla produzione geotermoelettrica per 1,02 MTEP e dagli usi diretti del calore per 0,3 MTEP. In particolare, la potenza geotermoelettrica installata nel 2010 in Italia era di circa 840 MWe (che rappresenta una quota significativa della potenza elettrica installata a scala mondiale, stimata in circa 10715 MWe) con una produzione elettrica da

geotermico di 5520 GWh/a corrispondente a circa il 2% della produzione elettrica totale (dati ripresi da Manzella & Ungarelli, 2011).

Utilizzando due diversi scenari l'Unione Geotermica Italiana (2011) ha stimato per il 2030 una crescita potenziale del contributo dell'energia geotermica che potrebbe arrivare a coprire l'equivalente di 3,35-4,44 MTEP, con un incremento importante degli usi diretti del calore.

Bibliografia essenziale

- Dickson M.H. & Fanelli M., 2004 - *Cos'è l'energia geotermica?* http://www.geothermal-energy.org/geothermal_energy/cos_e_energia_geotermica.html.
 Manzella A. & Ungarelli C. (2011) - *La Geotermia: l'energia sotto i nostri piedi*. Il Mulino, 127 pp.
 Unione Geotermica Italiana (2011) - *Previsioni di crescita della geotermia in Italia fino al 2030*.
 Vigor (2010) - *Valutazione del potenziale geotermico delle regioni della convergenza*. <http://www.vigor-geotermia.it/images/download/volantino%20vigor.pdf>.

Link utili

- Unione Geotermica Italiana:*
<http://www.unionegeotermica.it/>
Progetto Vigor: <http://www.vigor-geotermia.it/>
Progetto Atlante Geotermico:
<http://atlante.igg.cnr.it/>
European Geothermal Energy Council:
<http://egec.info/>
Geothermal Resources Council:
<http://www.geothermal.org/home.html>
International Geothermal Association:
<http://www.geothermal-energy.org/index.html>

La *Geologia*, una scienza *italiana*

L'Italia può essere considerato uno dei paesi fondatori della moderna geologia. Per individuare le origini del primato italiano in questo campo bisogna seguire un percorso a ritroso nel tempo, tra il XVI e il XVIII secolo, quando i confini tra le discipline scientifiche erano labilmente definiti e gli studiosi erano al tempo stesso medici, botanici, astronomi, geologi, naturalisti, chimici e forse anche un po' stregoni...

Uno di loro, Ulisse Aldrovandi, conia nel 1603 a Bologna un termine destinato ad essere universalmente condiviso: "GEOLOGIA".

Durante il XIX secolo molti eccellenti geoscientisti italiani contribuirono, ciascuno nella propria disciplina, allo sviluppo del pensiero scientifico moderno e laico. Dopo l'Unità del Regno, diversi di loro furono chiamati a ricoprire incarichi pubblici in ragione sia delle virtù patriottiche, sia delle competenze tecniche, contribuendo significativamente alle fasi di strutturazione e successivo consolidamento dello Stato unitario. E proprio nella seconda metà dell'Ottocento che nacque e si sviluppò il primo progetto di "Big Science" nazionale: la realizzazione della Carta Geologica d'Italia. Questa lunga e complessa vicenda, seppur contraddistinta da alterne fortune e tuttora incompiuta, ha segnato la crescita della geologia nazionale anche attraverso il XX secolo. Il bagaglio di esperienze e conoscenze maturate sia sul nostro territorio, sia oltre i confini, ha portato la comunità geoscientifica italiana a contribuire in maniera significativa al progresso delle geoscienze a livello internazionale, varcando le soglie del XXI secolo.

Nella storia recente episodi tragici e controversi, scelte inadeguate, mancanza d'attenzione da parte

delle istituzioni hanno periodicamente segnato il percorso delle geoscienze, causando battute d'arresto e compromettendo a più riprese il rapporto tra **cultura geologica** e società italiana.

Ma proprio in un momento delicato come quello che l'Italia sta attraversando è più che mai necessario mantenere vivo l'impegno della comunità delle geoscienze, per poter continuare a dare un valido contributo alla società, anche in termini di tutela del



Figura 1 - In un'immagine d'epoca, Giuseppe Ponzi (al centro) e i suoi allievi della scuola romana di geologia.

territorio, prevenzione delle calamità naturali e protezione civile. Proprio alla luce dei recenti drammatici eventi che nel nostro Paese hanno messo in crisi le relazioni tra comunità tecnico-scientifica, organi decisionali e opinione pubblica è necessario riaffermare il ruolo delle geoscienze in Italia per affrontare al meglio il futuro.

E a nostro avviso questo processo non può che ripartire dalla ricerca delle proprie radici, dai giganti sulle cui spalle poggiamo: mutuando l'inossidabile **principio dell'Attualismo**, il presente è la chiave del passato e il passato è la chiave del futuro...

La **Società Geologica Italiana**, con l'istituzione della **Sezione di Storia delle Geoscienze**, ha perciò rilanciato un percorso di recupero delle proprie radici,



Figura 2 - La facciata dell'edificio di Largo Santa Susanna, fino al 1995 sede del Servizio geologico d'Italia.

auspicando di rinnovare il ruolo propulsivo che la comunità geologica ha svolto nella storia d'Italia.

Tra le prime iniziative della Sezione vi è stata l'attivazione del blog **Geoitaliani** (www.geoitaliani.it), che ospita testi arricchiti da immagini storiche e/o

contenuti multimediali. Il blog vuole ricostruire la storia delle Scienze della Terra in Italia attraverso il ricordo delle figure scientifiche degli uomini e delle donne che in tali campi hanno operato: dai pionieri delle scienze naturali e dai padri fondatori delle moderne discipline geologiche, sino a coloro che hanno condotto le geoscienze italiane verso il XXI secolo. Oltre alle commemorazioni di personaggi del passato – sia protagonisti che comprimari –, gli argomenti affrontati spaziano dalla descrizione di eventi storici, di località caratterizzate da peculiarità geologiche o geomorfologiche, a commenti e riflessioni sul ruolo della geologia e della divulgazione della disciplina.

Le pagine di *Geoitaliani* costituiscono l'embrione di un portale di storia delle Geoscienze in Italia: un "luogo della memoria collettiva" in cui far confluire in maniera organizzata e sistematica il ricco patrimonio bibliografico ed iconografico esistente sui geoscienti italiani e sulle ricerche da loro realizzate. Attraverso le loro storie è possibile ricostruire la nascita e l'evoluzione della nostra disciplina e trarre ispirazione per costruire il futuro delle geoscienze in Italia.



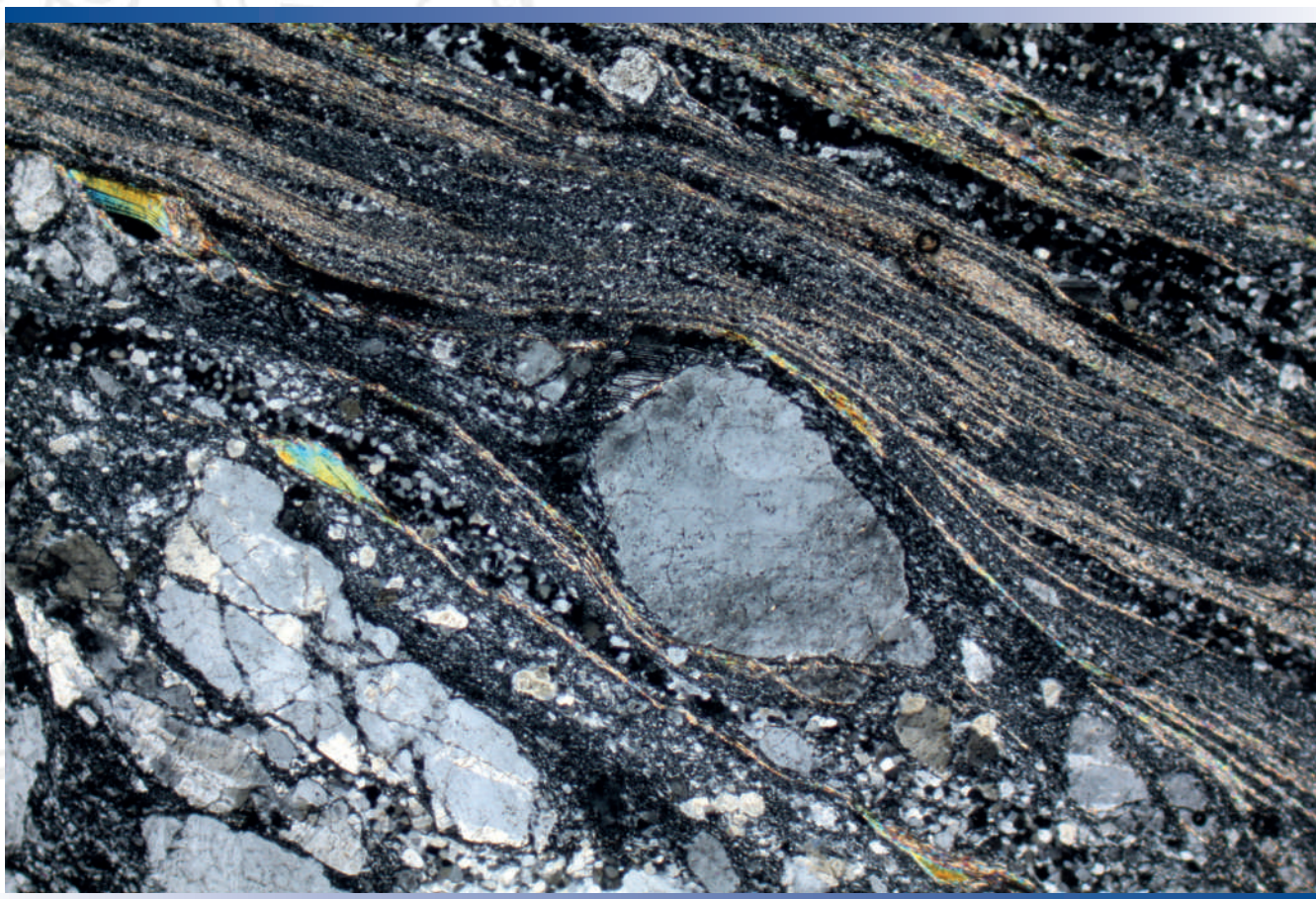
Figura 3 - La lapide commemorativa della fondazione della Società Geologica Italiana, in Via Zamboni 59, a Bologna.

MINERALI-ROCCE: *archivio geologico* e ricchezza

Minerali e rocce costituiscono il libro in cui sono raccolte tutte le informazioni riguardanti l'evoluzione geologica della Terra. Dal loro esame e dal loro studio possiamo ricostruire i processi chimico-fisici che hanno fatto della Terra ciò che conosciamo oggi. Fenomeni come l'apertura di oceani, il trasporto di ingenti volumi di rocce a profondità di decine di km e la loro successiva risalita in superficie, la costruzione di catene di montagne

e il loro continuo modellamento sono in qualche modo testimoniati all'interno delle rocce e dei minerali, espressi in un codice che i geologi sono capaci di decifrare.

Minerali e rocce costituiscono così una sorta di archivio, che possiamo consultare per comprendere sempre più profondamente l'**evoluzione geologica** del nostro pianeta; comprendere l'evoluzione della Terra non è solo una semplice gratificazione intellettuale, ma significa anche e soprattutto avere



Porfiroclasti di feldspato frammentati in una matrice a grana fine e bordati da miche in una milonite; Cap de Creus, Spagna (Foto: A. Da Mommio).

la chiave per interpretarne i cambiamenti e prevederne l'**evoluzione futura**.

Ma rocce e minerali sono anche una risorsa, che l'uomo sfrutta da millenni: le **rocce** sono usate come **materiale da costruzione**, come inerti da calcestruzzo, lavorate in lastre come pietre ornamentali. Dalle rocce si separano poi i minerali; molti minerali trovano utilizzo di per se stessi, come la bentonite (nei fanghi di perforazione), la fluorite (usata nell'industria ottica), la sepiolite (come materiale assorbente) o il diamante (come gemma ma anche e soprattutto come materiale abrasivo). Dai minerali si estraggono praticamente tutte le **materie prime** sfruttate dall'industria, che vengono utilizzate e trasformate per confezionare gli oggetti che usiamo ogni giorno. Gli usi sono disparati, dai più comuni, come la creazione di manufatti in rame, ferro e alluminio, ai più avanzati come l'utilizzo degli elementi delle terre rare (REE – *Rare Earth Elements*) nei componenti elettronici e negli schermi al plasma.

La nostra società e il nostro modo di vita richiedono una grande quantità di tali risorse e il loro **sfruttamento** richiede grande attenzione. Alcune risorse sono ragionevolmente abbondanti, come le rocce da scavo, le rocce per inerti o elementi come ferro, nichel, alluminio, rame. La loro relativa abbondanza non deve comunque incoraggiarne lo spreco, considerando anche che le quantità in gioco sono enormi: una nazione come l'Italia consuma più di mezza tonnellata di cemento pro-capite ogni anno, anche in questo periodo di crisi dell'attività immobiliare.

Altre risorse sono presenti in quantità solo sufficiente e il loro sfruttamento deve essere attentamente pianificato, in modo che non scarseggino in futuro, anche promuovendo un modello di **sviluppo sostenibile**.

L'approvvigionamento di altre risorse ancora, è già considerato critico, sia per la loro intrinseca scarsità, sia perché provenienti da aree del pianeta caratterizzate da instabilità politica o inaffidabilità commerciale. È il caso dei cosiddetti metalli strategici (come antimonio, cobalto, gallio, germanio, molibdeno, platino, selenio, titanio e altri) e degli elementi delle REE (come scandio, ittrio, samario, itterbio e altri) dei quali la domanda è cresciuta enormemente negli ultimi anni e di conseguenza anche gli investimenti per l'**esplorazione di nuovi giacimenti**.

In tutti questi casi la conoscenza geologica è essenziale sia per attuare uno sfruttamento ragionato delle risorse già accertate, sia per la ricerca di nuovi giacimenti.

Risorse minerarie

Le risorse minerarie o georisorse comprendono tutti i materiali della geosfera suscettibili di un qualche utilizzo da parte dell'uomo, sia direttamente (ad esempio, materiali da costruzione o combustibili fossili impiegati tal quali), sia, molto più spesso, come materie prime per trasformazioni e lavorazioni successive. Le georisorse comprendono minerali metalliferi, minerali e rocce industriali, risorse energetiche (compresi i campi geotermici); nell'accezione più ampia, vi vengono talora incluse anche le acque sotterranee (vedi p. 10).

Pur avendo una tradizione mineraria plurimillennaria, l'Italia non è un territorio particolarmente ricco di georisorse; in particolare, sono di modesta entità le risorse energetiche (combustibili e fossili e minerali radioattivi), con la parziale eccezione dei fluidi geotermici (vedi p. 16). Le risorse metallifere hanno dato luogo a produzioni storiche di un certa consistenza soprattutto in Sardegna (piombo, zinco, argento, antimonio) ed in Toscana (mercurio), ma la loro coltivazione è ormai cessata. Attualmente, le produzioni più rilevanti riguardano le materie prime per l'edilizia, compresi alcuni minerali industriali (materie prime per la ceramica) e materiali litoidi di pregio (es., graniti sardi e marmi delle Alpi Apuane).

L'attività mineraria rappresenta uno degli esempi più emblematici del potenziale conflitto tra sviluppo e ambiente. Da un lato, le georisorse sono indispensabili praticamente in tutti gli aspetti della nostra vita quotidiana (la cessazione totale di qualsiasi attività estrattiva ci farebbe regredire all'età della pietra, anzi ancor più indietro, essendo la "pietra" una georisorsa!), dall'altro è ben noto come l'attività mineraria abbia effetti potenzialmente devastanti sull'ambiente. Gli impatti più rilevanti riguardano la modificazione (solo parzialmente reversibile) delle morfologie e del paesaggio, la creazione di fronti ed accumuli instabili soggetti a frane e crolli, l'interferenza con il circuito idrologico e la dispersione nell'ambiente di sostanze nocive o tossiche. Particolarmente rilevante è il fenomeno del cosiddetto "**drenaggio acido**", legato all'ossidazione di pirite e altri solfuri, che produce mobilitazione di "metalli pesanti" (es., Zn, Pb, Cd, ecc.).

Il corretto equilibrio tra **sfruttamento delle risorse** e **tutela dell'ambiente** è dunque un aspetto cruciale della pianificazione delle attività minerarie, in cui la professionalità del geologo può esprimersi a pieno titolo.

I fossili: ***testimoni del passato*** ***e chiave del futuro***

La Paleontologia è la disciplina che si occupa, attraverso lo studio dei **resti fossili**, di indagare la **storia evolutiva** degli organismi che popolarono la terra nel passato; ne ricostruisce gli ambienti di vita e concorre alla definizione di una cronologia della storia della Terra.

L'indagine paleontologica documenta e descrive la **biodiversità del passato** ed è volta alla comprensione degli adattamenti e dell'ecologia degli organismi vissuti in tempi più o meno remoti. Attraverso le analisi evolutive mira a capirne la sto-

ria e le relazioni, indagando i meccanismi che hanno portato alla comparsa, alla diffusione e alla scomparsa degli organismi. Attraverso la morfologia funzionale ricostruisce la biologia degli organismi del passato e aiuta a comprendere l'origine delle caratteristiche esibite dalle specie attuali.

La paleontologia esplora oltre 3,8 miliardi di anni di evoluzione della vita. Nella documentazione fossile possiamo dunque leggere il nostro passato più remoto, addentrandoci così nel tempo profondo. Ma lo studio dei fossili è di fondamentale importanza



Figura 1 - *Scipionyx samniticus*, Cretaceo inferiore (Pietraroia, Campania). Su concessione n. 60/2014 del Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo - Soprintendenza per i Beni Archeologici di SA, AV, BN e CE (Foto: Leonardo Vitola).



Figura 2 - Escursione geo-paleontologica nelle Dolomiti centrali. Sullo sfondo la Tofana di Rozes.

anche per le più moderne indagini molecolari, genetiche e genomiche, che necessitano dei dati paleontologici per datare l'origine dei diversi gruppi di organismi, e dunque per comprenderne le dinamiche evolutive.

Quando i fossili sono particolarmente abbondanti, come nel caso dei **microfossili** (foraminiferi, nannofossili calcarei e pollini), questi possono essere utilizzati per indagini biostratigrafiche e analisi paleoambientali. La **biostratigrafia** differenzia le unità rocciose sulla base del contenuto fossilifero e ne ricostruisce le reciproche relazioni nello spazio (sopra-sotto) traducendole in relazioni cronologiche (prima-dopo), in alcuni casi con elevata precisione. Nelle **analisi paleoambientali** i fossili permettono invece di interpretare le caratteristiche degli ambienti nei quali le rocce si sono formate. I microfossili sono frequentemente utilizzati anche come indicatori paleoclimatici, biogeografici e applicati alla ricerca petrolifera.

Partendo dalla sua base insostituibile, la **teoria dell'evoluzione**, la paleontologia mira alla formulazione di teorie onnicomprensive. A tal fine, integra le informazioni derivanti da discipline biologiche, geologiche e altre, in un approccio tipicamente multidisciplinare. Mettendo in relazione gli adattamenti degli organismi e la diversità biologica con i cambiamenti fisici del nostro pianeta, la paleontologia indaga ad esempio come i secondi abbiano influenzato la storia della vita sulla Terra e come la vita abbia reciprocamente influenzato l'ambiente circostante. Conoscere come le specie abbiano reagito alle variazioni ambientali nel passato (es. condizioni climatiche estreme) può aiutarci a comprendere le dinamiche degli ecosistemi attuali, la loro capacità di rinnovarsi, nonché le evidenze di incontrovertibili segnali di impoverimento ed estinzione. La storia della vita come documentata dai fossili rappresenta dunque un grande database di informazioni sul rap-

porto organismi-ambiente e sull'evoluzione. Se nei laboratori biologici è possibile seguire le dinamiche evolutive per mesi o anni, i fossili consentono di ripercorrere la storia evolutiva per miliardi di anni, spesso con un dettaglio sorprendente.

La Terra nella sua lunghissima storia è stata interessata da ripetute **crisi biologiche**, alcune delle quali, le cosiddette "cinque grandi estinzioni di massa", hanno portato alla quasi completa scomparsa della vita. Attualmente habitat naturali e specie stanno scomparendo ad un ritmo allarmante e tra i ricercatori si parla già di una "Sesta Estinzione di Massa". Le grandi crisi del passato sono oggetto di approfondite ricerche volte alla comprensione delle dinamiche di estinzione e del cosiddetto recupero biologico. I fossili possono aiutarci a capire in che misura i cambiamenti della biodiversità siano influenzati da fattori biotici, climatici e ambientali e cosa potrebbe accadere se tali fattori non fossero tempestivamente individuati.

I fossili costituiscono, inoltre, un indubitabile richiamo per il pubblico nelle più varie occasioni espositive e hanno per questo importanti risvolti socio-educativi ed economici. In Italia, come nel resto del mondo, i fossili sono al centro dell'attività di numerose realtà museali, associative o di divulgazione culturale in genere (pubbliche e private) che mediano le conoscenze paleontologiche anche direttamente sul territorio. A tal fine sono organizzate esperienze *outdoor*, come le visite ai siti geopaleontologici, piuttosto diffusi sul nostro territorio e in alcuni casi riconosciuti dai massimi organismi internazionali per la protezione e la **valorizzazione dei beni naturali** (UNESCO, *Geoparks Network*).

Per promuovere la diffusione di una cultura paleontologica (e naturalistica in genere) è tuttavia necessaria una collaborazione tra istituzioni, territorio e società, a partire dallo sviluppo di una rete che coinvolga le università, i centri di ricerca, i musei scientifici e i privati.

Oltre a favorire la conoscenza scientifica del territorio, questa sinergia potrebbe diffondere una maggiore **consapevolezza del territorio** in cui viviamo e quindi assicurare una maggiore **protezione e valorizzazione delle emergenze culturali**.

Il territorio italiano è uno scrigno di testimonianze fossili vecchie fino a 670 milioni di anni. La valorizzazione di questa straordinaria ricchezza di beni culturali a carattere geo-paleontologico può incrementare le potenzialità turistiche del territorio nazionale, favorendo lo sviluppo di nuove forme di turismo, volte alla crescita culturale della società e motore per lo sviluppo di un'**economia sostenibile**.

I fossili, testimoni del passato, chiave per comprendere il presente, possono avere un ruolo importante anche per il nostro futuro.

Il clima del *passato* per capirne il *futuro*

Gli indizi che confermano l'esistenza di un riscaldamento climatico globale sono oramai accertati e non c'è alcun dubbio sul fatto che il clima stia radicalmente cambiando e che la temperatura media del pianeta sia notevolmente aumentata con conseguente effetto serra. Numerosissime sono le impronte lasciate dai cambiamenti climatici avvenuti sulla Terra nel corso delle ere geologiche. Queste evidenze sono indispensabili al fine di comprendere i cambiamenti futuri e l'impatto sull'ecosistema terrestre delle emissioni, naturali e antropogeniche, di anidride carbonica (CO₂) e di altri gas serra.

Evidenze geologiche dei cambiamenti climatici avvenuti in passato

Nella **storia geologica** sono numerose le **fluttuazioni climatiche** registrate dal record fossile e sedimentario. In passato le temperature sono state decisamente inferiori o superiori rispetto a quelle odierne. Così come le variazioni cicliche del clima sono solitamente associate alla variazione dell'orbita della Terra e dell'attività solare, i rapidi cambiamenti climatici possono essere dovuti all'incremento della quantità di CO₂ nell'atmosfera terrestre (es. "*Paleocene-Eocene Thermal Maximum*" 55 milioni di anni fa) o ad un suo decremento (es. glaciazione himantiana, alla fine dell'Ordoviciano, 445 milioni di anni fa circa, Fig. 1). I sedimenti lacustri e marini, i coralli fossili, le stalagmiti e gli anelli degli alberi sono solo alcuni esempi di come il record geologico conservi le prove dei cambiamenti climatici avvenuti nel passato.

L'utilizzo di avanzati approcci metodologici in campo tecnologico e sul terreno e di nuovi modelli numerici ha permesso ai geologi di dimostrare con crescente sicurezza come e perché il clima è cambiato nel passato.

Questa base di conoscenza del passato rappresenta un contesto essenziale per stimare e prevedere i futuri scenari climatici.

Lezioni per il futuro

Così come oggi uno dei principali problemi che affligge l'umanità è il **riscaldamento globale** pro-



Figura 1 - Mappa paleogeografica dell'Ordoviciano superiore (445 milioni di anni fa), durante la glaciazione himantiana avvenuta nel Dominio del Gondwana situato al Polo Sud (da Achab & Paris, 2007 e Vecoli et al., 2011).

dotto da immissione antropogenica in atmosfera di CO₂ con i conseguenti effetti ad esso connessi, anche nel record geologico si sono registrati simili eventi di rapido cambiamento climatico globale.

In questi ultimi anni la geologia ha maggiormente concentrato la sua attenzione sull'ambiente e ha

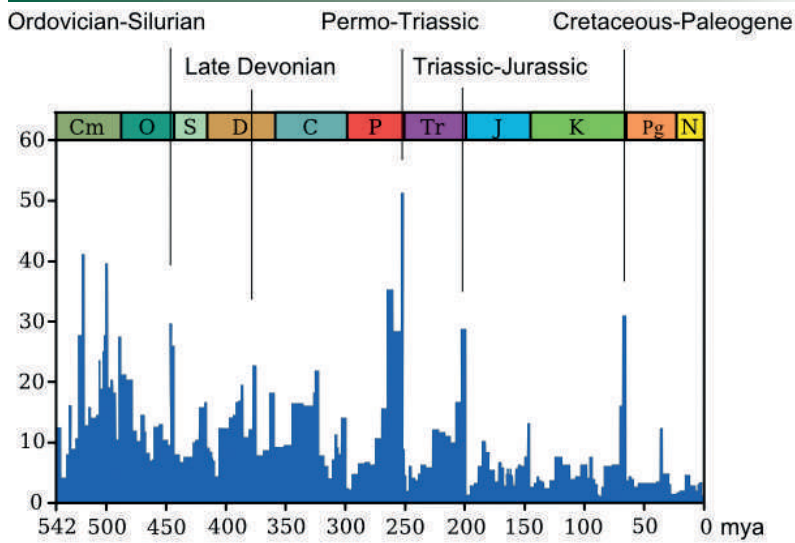


Figura 2 - Le cinque estinzioni di massa del Fanerozoico; nel grafico viene messa in evidenza la perdita di diversità generica in relazione ai periodi geologici. Dati da Raup & Sepkoski (1982). <https://www.education.psu.edu/earth103/node/786>

focalizzato il suo interesse sulla **paleo-climatologia**, accentuando le ricerche a scala mondiale, cercando nelle successioni rocciose la documentazione e la spiegazione dei cambiamenti globali del passato, per tentare di ricavare una chiave interpretativa delle variazioni climatiche attuali e poter così prevedere gli scenari futuri.

Analizzando i cambiamenti climatici attraverso il **record geologico**, i geologi sono sempre più convinti che la CO₂ sia un componente di controllo importante del sistema climatico. L'emissione nell'atmosfera di grandi quantità di gas serra come la CO₂ che ha tempi di permanenza sufficientemente lunghi da non poter essere facilmente rimossa, può innescare significative variazioni climatiche.

Il conseguente riscaldamento climatico è causa, ad esempio, dell'**innalza-**

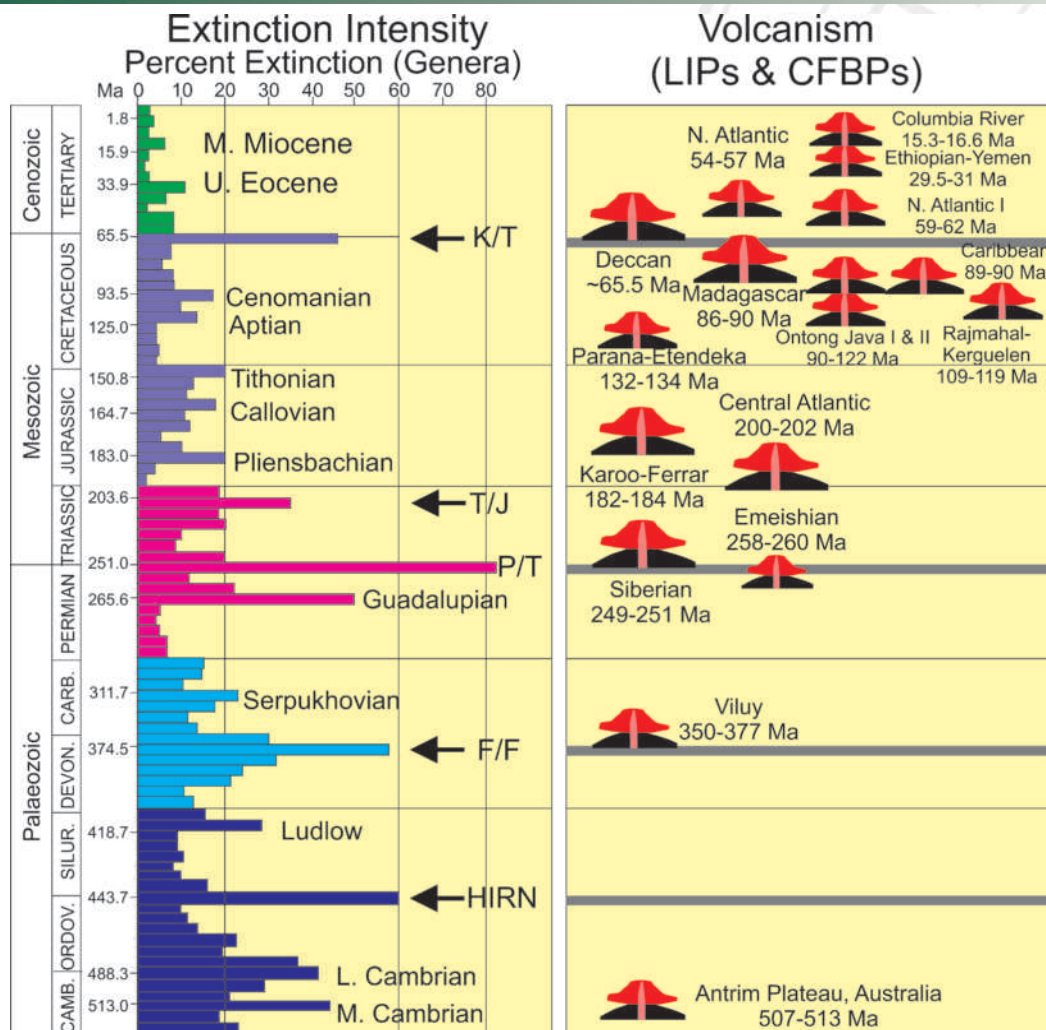


Figura 3 - Estinzioni di massa e grandi province magmatiche (LIPs) durante il Fanerozoico. Modificata da Keller (2005); HIRN (Himantiano); F/F (Frasniano/Famenniano); P/T (Permiano /Triassico); T/J (Triassico/Giurassico); K/T (Cretacico/Terziario).

mento del livello marino, di un aumento dell'**acidità delle acque oceaniche**, di una **diminuzione dei livelli di ossigeno nelle acque marine**, e dei cambiamenti significativi nei modelli climatici.

La vita sulla Terra è sopravvissuta ai grandi cambiamenti del clima avvenuti nel passato, sebbene questi vengano considerati eventi importanti nei processi di **estinzioni di massa** (Fig. 2). Alcuni ricercatori inoltre hanno documentato che tali eventi sono esattamente in coincidenza con l'emissione in atmosfera di ingenti quantità di gas serra (es. CO_2 , SO_2) prodotti dall'eruzione di enormi volumi di lava eruttati su aree geografiche molto vaste note come *Large Igneous Provinces* (LIPs) (Fig. 3). La quantità di gas emessi dal vulcanismo delle LIPs è poco conosciuta tuttavia, in base a dati relativi alle eruzioni attuali delle Hawaii, si può stimare che il vulcanismo delle LIPs potrebbe aver prodotto un aumento di CO_2 in atmosfera simile a quello antropogenico attuale e aver causato un riscaldamento globale di 3-4°C e un dimezzamento delle specie animali e vegetali (Fig. 4). Ai giorni nostri, l'aumento di pochi gradi della temperatura media terrestre potrebbe portare a esiti globali drammatici e non più controllabili. I rapidi **aumenti di CO_2 atmosferica** e il conseguente riscaldamento globale attuale non possono essere attribuiti ovviamente solo a cause geologiche, ma anche e soprattutto a fattori antropici. Tuttavia alcuni ricercatori sono concordi nell'ammettere che la quantità di anidride carbonica emessa dall'uomo sembra comunque poca rispetto al ciclo naturale del carbonio, che mette in gioco centinaia di miliardi di tonnellate.

Dal 1750 ad oggi sono state aggiunte nell'atmosfera terrestre più di 500 miliardi di tonnellate di carbonio (corrispondenti a più di 1850 miliardi di tonnellate di CO_2): rispettando questo trend la CO_2 atmosferica potrebbe raggiungere in breve valori intorno a 600 ppm; un valore così alto non è mai stato raggiunto negli ultimi 24 milioni di anni. In un contesto così delineato il ruolo dei geologi diviene vitale, non solo per contribuire a migliorare le conoscenze sui cambiamenti climatici del passato, ma anche per ridurre, nell'immediato futuro, le emissioni di CO_2 , per esempio attraverso lo sviluppo di fonti di **cattura e sequestro della CO_2** (CCS, *Carbon Capture and Storage*) e di energie alternative.

Lo studio delle cause dei repentini cambiamenti climatici avvenuti nella storia geologica è oggi oggetto di numerose ricerche, anche multidisciplinari. L'analisi e la comprensione delle variazioni climatiche del passato rappresenta una potenziale chiave di lettura di quelle attuali. Lo studio di sistemi fossili infatti ha la potenzialità di documentare, in un range temporale dell'ordine di milioni di anni come gli ecosistemi rispondono e superano queste crisi.

Riferimenti bibliografici

- Achab A. & Paris F. (2007) - *The Ordovician chitinozoan biodiversification and its leading factors*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 245, 5-19.
- Keller G. (2005) - *Impacts, volcanism and mass extinction: random coincidence or cause and effect?* *Australian Journal of Earth Sciences* (2005) 52, 725-757.
- Raup D.M. & Sepkoski Jr. J.J. (1982) - *Mass extinctions in the marine fossil record*. *Science* 215, 1501-1503.
- Vecoli M., Delabroye A., Spina A. & Hints O. (2011) - *Cryptospore assemblages from Upper Ordovician (Katian-Hirnantian) strata of Anticosti Island, Québec, Canada, and Estonia: palaeophytogeographic and palaeoclimatic implications*. *Review of Palaeobotany and Palynology* 166, 76-93.

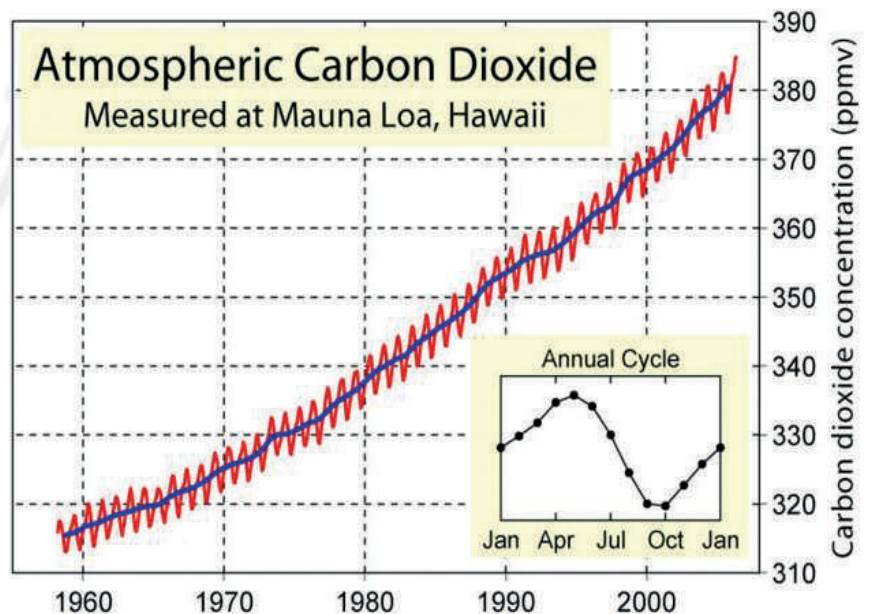


Figura 4 - Livelli di CO_2 misurati a Mauna Loa in Hawaii (Immagine: Robert A. Rohde, *Global Warming Art*). <http://www.newscientist.com/articleimages/dn11638/1-climate-myths-human-co2-emissions-are-too-tiny-to-matter.html>.

MARE NOSTRUM, la **geologia** dei **mari italiani**

La Terra vista dallo spazio è un pianeta blu, giacché oltre i due terzi (il 71%) della superficie terrestre sono coperti dal mare; ma allora anche l'Italia vista dallo spazio sarebbe una nazione blu, dato che il mare costituisce il 64% del nostro territorio! Lo studio dei mari che circondano il paese si può far risalire alle pioneristiche osservazioni del Conte Marsili nel XVI secolo ma il vero padre della moderna **geologia marina** in Italia è stato il bolognese Raimondo Selli (1916-1983); oggi ricerche di geologia marina vengono svolte in numerosi dipartimenti universitari, istituti CNR ed enti di ricerca come INGV ed OGS.

La geologia dei mari italiani è piuttosto complessa dato che la variabilità dei domini geodinamici che costituiscono la parte emersa del Paese non si ferma certo alla linea di riva. La natura dei mari varia quindi da una porzione di avansfossa ormai pressoché riempita dai detriti prodotti dallo smantellamento di Alpi, Appennini e Dinaridi (il Mar Adriatico), ad una porzione relitta di crosta oceanica che è stata distrutta dalla collisione tra l'Africa e l'Europa (il Mar Ionio), ad un segmento della catena appennino-maghrebide ribassata da forze distensive che hanno dato luogo a manifestazioni vulcaniche sottomarine in epoca storica a Pantelleria e Ferdinandea (il Canale di Sicilia), a dei profondi bacini oceanici di neoformazione che costituiscono il Mediterraneo occidentale, il più recente dei quali (il Mar Tirreno sud-orientale) ospita il più grande vulcano sottomarino del Mediterraneo, il Marsili, del quale si presume un'attività recente se non attuale.

Anche i margini continentali sono molto diversi tra di loro, almeno nelle parti più profonde. Infatti tutti i margini mostrano evidenze di una recente erosione dalla costa sino alla profondità di 120-130 m, cioè la massima profondità raggiunta dal livello del mare durante l'ultima glaciazione (circa 20.000 anni fa) quando una grande quantità di acqua marina era intrappolata nei ghiacciai polari. Allora le piattaforme continentali emersero e furono

esposte all'azione erosiva dei fiumi e degli agenti atmosferici, con un clima e una paleogeografia molto diversi da quelli attuali, con connessioni tra Sardegna e Corsica, Malta e le Egadi con la Sicilia, l'Elba, le Isole Pontine e la Sicilia con l'Italia peninsulare. Questa diversa paleogeografia i suoi successivi sconvolgimenti dovuti alla risalita del livello del mare durante la deglaciazione controllarono l'espansione ed i comportamenti delle prime popolazioni umane nel Paleolitico e Mesolitico.

Al di sotto di 120-130 m di profondità, la pendenza del fondo marino aumenta significativamente e, tranne che nell'Adriatico centro-settentrionale, nel Canale di Sicilia e nel Tirreno centro-settentrionale, la scarpata continentale è profondamente interessata da processi di instabilità e trasporto gravitativo a tutte le possibili scale. Grandi **canyon sottomarini** incidono lo Ionio, il Tirreno meridionale, il Mar Ligure e i mari attorno alla Sardegna ed in alcune aree fortemente tettonizzate (la Sicilia orientale, la Calabria meridionale, il Lazio meridionale/Campania settentrionale) la superficie di fondo marino non interessata da **frane** o da **flussi gravitativi** varia da zero a poche unità percentuali.

L'interesse per la geologia dei mari italiani ha anche importanti ricadute applicative ed economiche, al di là della comprensione della natura e dei processi attualmente in atto sui fondali, anche se va ricordato come la conoscenza scientifica sia già di per sé una forma di investimento economico a lungo termine.

I mari italiani ospitano, infatti, rilevanti **risorse energetiche**, sia per quanto riguarda lo sfruttamento attuale dei **combustibili fossili** (il 72% del gas naturale e il 10% del petrolio italiani sono estratti da giacimenti *offshore*), sia per le future **risorse rinnovabili**. Studi di fattibilità per **campi eolici offshore** sono stati condotti in Puglia e nel Canale di Sicilia, turbine per sfruttare correnti marine profonde sono state ipotizzate nello Stretto di Messina e nel Tirreno, così come vi è un progetto per utilizzare l'**energia geotermica** nel vulcano Marsili.

Per quel che riguarda potenziali giacimenti metalliferi, sono stati condotti studi per lo sfruttamento di depositi a solfuri prodotti dall'attività idrotermale sul vulcano sottomarino Palinuro e per la ricerca di *placers* di sabbie ferifere in Calabria, Sardegna e Toscana. Tuttavia l'unica risorsa minerale che è ad oggi sfruttata (e che sempre più lo sarà nel futuro) sono gli inerti marini, ossia sabbie e ghiaie relitte che vengono dragate dai fondali e utilizzate per il **ripascimenti di litorali in erosione**. Ripascimenti utilizzando giacimenti marini sono stati realizzati nel Veneto, nel Lazio, in Campania, in Sardegna e in Emilia-Romagna e studi a tal fine sono stati condotti in Abruzzo, Puglia, Basilicata e Toscana.

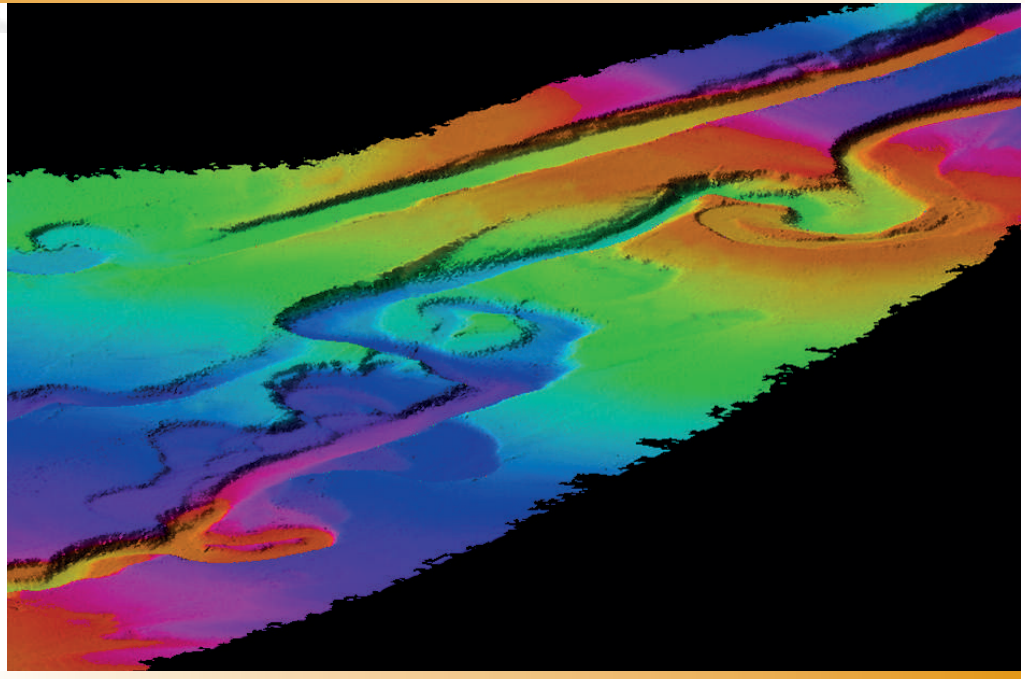
La geologia genera anche "risorse" importanti in termini di biodiversità, con **hotspot biologici** rappresentati dai canyon sottomarini, dalle emissioni di fluidi (sia "freddi" di metano, sia "caldi" vulcanici), dalle montagne sottomarine (**seamount**), da brine e bacini anossici ultra-profondi presenti nel Mediterraneo orientale subito fuori dalle acque italiane.

La geologia marina si occupa anche delle pericolosità geologiche che possono interferire con la vita umana o con le infrastrutture costiere. I maremoti sono sicuramente l'evento più pericoloso, sia per grandi eventi prodotti da terremoti (come gli episodi tragici di Messina nel 1908, della Sicilia

orientale nel 1693 e del Gargano nel 1627) sia per eventi più piccoli ma potenzialmente molto pericolosi in coste come le nostre molto frequentate durante la stagione estiva, come quelli prodotti da frane sottomarine in tempi recenti a Gioia Tauro (1977) e a Stromboli (2002). Questi due maremoti non hanno prodotto vittime per contingenze fortunate, ma eventi simili a Nizza (1979) e a Scilla (1783) hanno avuto conseguenze ben più luttuose. Insediamenti prossimi alla linea di riva possono anche essere minacciati direttamente da frane costiere laddove l'instabilità sottomarina, ad esempio alla testata dei canyon, arriva a propagarsi nel subaereo. Infine strutture a fondo mare (cavi e condotte, installazioni petrolifere) possono essere danneggiate da frane, dune che migrano sotto l'effetto di correnti di fondo, fuoriuscita di fluidi dal fondale, financo attività vulcanica.

Il mare è anche un archivio prezioso dei cambiamenti ambientali a lungo termine. In un'epoca in cui i **"global change"** sono ormai un'istanza sociale più che un argomento di ricerca scientifica, il lento accumularsi di particelle sui fondali registra i caratteri geochimici, sedimentologici, petrografici, microfaunistici che possono essere usati per discriminare tra cambiamenti indotti dalle attività umane e variabilità o processi naturali a lungo termine, ben al di là di quanto ricostruibile con le

Immagine 3D del tratto mediano dei canyon di Gioia (a destra, meandri-forme) e a sinistra (rettilineo), ricostruita con tecniche di ecometria multifascio. I due canyon corrono paralleli incidendo la scarpata continentale tirrenica e connettono la piana batiale con i settori costieri. La testata del canyon di Gioia arriva infatti a poche decine di metri da costa e dai moli del più grande porto per trans-shipment del Mediterraneo. Durante la costruzione del porto, nel 1977 una frana alla testata ha prodotto un maremoto che ha severamente danneggiato il porto, fortunatamente senza perdite di vite umane. Nell'immagine si osserva la spettacolare meandricazione del canyon, che inizia a partire da una scarpata rettilinea trasversale all'asse dei canyon (in alto a destra nell'immagine), espressione superficiale di una faglia che interessa la scarpata continentale. Il canyon di Gioia è attualmente interessato da una fase di ringiovanimento che ha portato ad una rettificazione e approfondimento del suo corso (in primo piano nell'immagine).

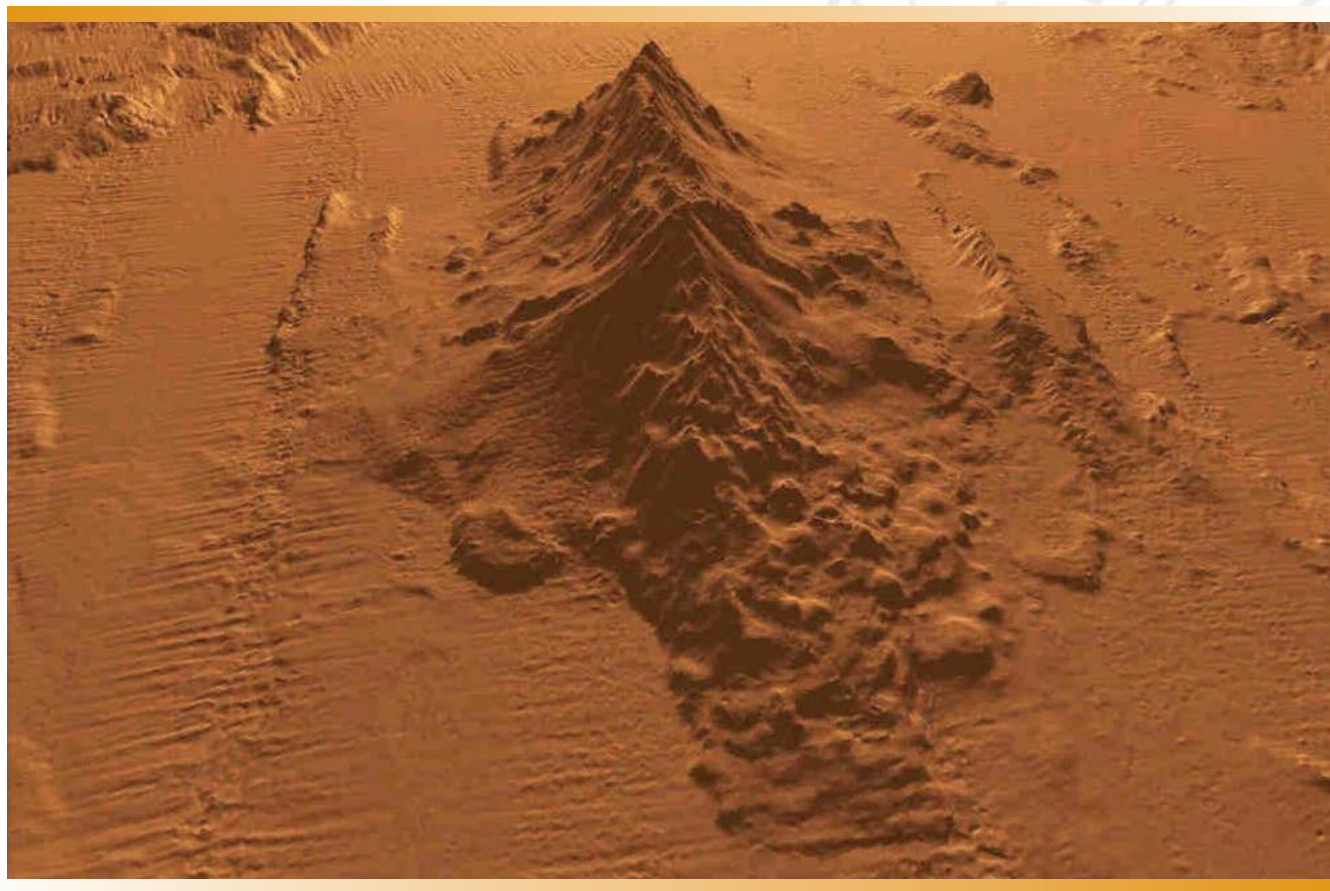


misure strumentali storiche. Cambiamenti nelle comunità di microorganismi marini o di pollini permettono di ricostruire **alternanze di fasi climatiche** umide ed aride negli ultimi millenni, evidenze di deforestazione hanno lasciato traccia nei tassi di sedimentazione deltizi e di avanzamento delle linee di riva, la frequenza e l'intensità di tempeste eccezionali possono essere ricostruite da livelli sabbiosi intercalati nelle argille sulla piattaforma continentale. Anche la stima dei **tempi di ricorrenza** di eventi pericolosi come maremoti, terremoti o eruzioni vulcaniche sempre più si baserà sulla ricostruzione di dettaglio della stratigrafia dei depositi marini recenti.

Gli avanzamenti scientifici nel campo della geologia marina, come nella maggior parte delle scienze del mare, sono strettamente legati allo sviluppo tecnologico essendo gli studi realizzati con rilievi dalla superficie, usualmente con tecniche geofisiche, tarati da pochi campionamenti su obiettivi mirati; ad esempio la scoperta delle dorsali oceaniche, che è stata uno dei presupposti per l'elabo-

razione della teoria della tettonica delle placche, è avvenuta poco meno di 100 anni fa, solo grazie all'invenzione dell'ecoscandaglio che, misurando il tempo di andata e ritorno di onde acustiche emesse in superficie e riflesse dal fondale, ne determina la profondità.

Da questo punto di vista gli ultimi decenni hanno aperto una nuova era nella geologia marina, con la messa a punto degli ecoscandagli multifascio che permettono una ricostruzione accuratissima dei fondali, dei veicoli autonomi lanciati dalla superficie e in grado di acquisire dati molto dettagliati in prossimità del fondo anche dei più grandi abissi oceanici, di osservatori mobili o permanenti a fondo mare per il monitoraggio ambientale prolungato. L'ultimo vantaggio che la geologia marina offre quindi alla società è di essere una palestra in cui sviluppare **tecnologie di punta**, fatto compensato dal dato che la tecnologia fornisce agli scienziati (e quindi alla società) "occhi" sempre nuovi con i quali osservare sempre più e sempre meglio le oscurità dei fondali marini.



Vista 3D del vulcano Marsili, al centro del Tirreno sud-orientale. Il Marsili è il più grande vulcano sottomarino d'Europa, e rivaleggia con l'Etna per dimensioni, essendo alto 3.000 m rispetto ai fondali circostanti con una base di 70x30 km. Morfologicamente e petrograficamente è comparabile con una porzione di dorsale oceanica sollevata e sembra ospitare camere magmatiche poste a differente profondità, con un'attività vulcanica recente e forse storica (5.000 anni?). Nell'ultimo decennio sono stati effettuati studi per valutarne il potenziale sfruttamento geotermico e giacimentologico di depositi a solfuri associati all'attività idrotermale.

Rischi naturali e *cultura* della PREVENZIONE

Il **rischio** è la possibilità che un fenomeno naturale di una data intensità possa causare danni a persone, insediamenti abitativi, attività e infrastrutture, all'interno di una particolare area, in un prefissato intervallo temporale. Viene definito come il prodotto simbolico della pericolosità (P), della vulnerabilità (V) e dell'esposizione (E):

$$R = P \times V \times E$$

La **pericolosità** è la probabilità di accadimento di un fenomeno di intensità predefinita, che si verifichi in una certa area e in un dato intervallo di tempo. Rappresenta una caratteristica intrinseca del territorio, funzione delle sue caratteristiche geologiche, morfologiche, climatiche, e in quanto tale, sostanzialmente non modificabile. La **vulnerabilità** è la capacità di un elemento o gruppo di elementi di resistere a un dato fenomeno naturale di una determinata intensità. Infine, l'**esposizione** è il numero o il valore degli elementi a rischio in una certa area e si quantifica in termini di vite umane, di valore economico o storico-artistico. Dunque, per valutare concretamente il rischio, non è sufficiente conoscere la pericolosità, ma occorre anche stimare attentamente il valore esposto, cioè i beni presenti sul territorio che possono essere coinvolti dall'evento, e la loro vulnerabilità.

L'Italia è un paese geologicamente giovane e pertanto in continua evoluzione. Il suo territorio è fatto di paesi arroccati sui rilievi o distesi nei fondovalle, di fragili e preziosi centri storici, di città cresciute spesso in modo disordinato, dove alla vetustà del patrimonio monumentale del passato si è progressivamente affiancata la modernità delle costruzioni più recenti. Questo determina per gran parte del territorio nazionale una costante esposizione di persone, oggetti e attività ad elevati livelli di rischio.

Ciononostante in Italia ancora manca un'adeguata **cultura del rischio**, che porti ad una maggiore consapevolezza della fragilità del territorio e

del valore delle azioni di prevenzione, indispensabili per limitare gli effetti negativi di un fenomeno naturale. Questa lacuna comporta un'impreparazione a fronteggiare anche gli eventi naturali più comuni e frequenti.

I rischi naturali non sono del tutto eliminabili, ma una chiara e tempestiva strategia di mitigazione può ridurli, fino a minimizzarli. Affrontare in maniera efficace questa sfida comporta un'azione decisa sul piano culturale, che trasformi la cultura del soccorso e dell'emergenza in cultura della prevenzione e della mitigazione del rischio. A tale scopo vengono organizzate e coordinate attività finalizzate a migliorare la previsione e la prevenzione dai rischi, finanziando progetti di ricerca scientifica, emanando linee guida per studi, ricerche e piani di intervento, gestendo reti di monitoraggio ambientale, investendo nella formazione e nell'educazione ai rischi.

La **previsione** dei fenomeni naturali comprende gli studi riguardanti le loro cause, la loro estensione, intensità e frequenza. La **prevenzione** mira, invece, a mitigare il rischio, ovvero a minimizzare i danni e le vittime, tenendo conto delle conoscenze acquisite nelle attività di previsione.

La prevenzione si attua mediante interventi attivi o passivi sull'ambiente (stabilizzazione di frane, consolidamento di terreni liquefacibili o subsidenti, costruzione o miglioramento di argini fluviali, realizzazione di reti paramassi, di rilevati, di canali per la deviazione e l'incanalamento di flussi idrici ecc.), sulle costruzioni (interventi di miglioramento strutturale dei manufatti per la riduzione della vulnerabilità) e sui comportamenti che le persone devono mantenere prima, durante e dopo le fasi di emergenza (campagne informative ed educative).

La prevenzione si concretizza attraverso l'emanazione di normative e linee guida per la programmazione territoriale e per la progettazione di costruzioni più sicure, nonché con la messa a punto di strumenti operativi come i piani di emergenza, per la pianificazione delle azioni da svolgere in caso di crisi. Il piano di emergenza si basa sui possibili

scenari attesi, ovvero su quei fenomeni che è possibile attendersi, anche in base alle informazioni storiche esistenti. Quanto più le informazioni saranno numerose e precise, tanto più realistico sarà lo scenario definito e migliore la programmazione delle attività emergenziali da adottare.

Affinché l'attività di prevenzione sia efficace e porti ad una concreta e progressiva riduzione degli effetti distruttivi che un evento naturale può determinare, è necessario che essa venga organizzata su piani temporali differenti: a breve termine essa consisterà in azioni di preannuncio e allertamento per gli eventi calamitosi attesi; a medio termine prevedrà il monitoraggio dei fenomeni, la redazione dei piani di emergenza e la realizzazione di opere di difesa del suolo; a lungo termine agirà sui fattori urbanistici e territoriali, che condizionano direttamente la vulnerabilità dei contesti ambientali, sviluppando politiche di protezione e conoscenza del territorio e di informazione ed educazione ai cittadini.

L'educazione al rischio è certamente uno strumento efficace per una prevenzione a lungo termine, poiché consente di ottenere effetti duraturi nel tempo, accompagnando la popolazione nella

formazione di un proprio patrimonio di conoscenze scientifiche e dei comportamenti appropriati da tenere per difendersi dai rischi.

Per fare prevenzione è necessario il coinvolgimento di tutte le componenti della società interessate: cittadini, amministratori locali, tecnici, scienziati, legislatori, politici, mass media.

Diffondere la **cultura della prevenzione** significa accrescere la consapevolezza che la convivenza con i fenomeni naturali è inevitabile, e che tuttavia ogni azione di preparazione a questi eventi offrirà agli abitanti di un territorio e ai loro discendenti maggiori possibilità di superare le fasi critiche. Non investire nella prevenzione equivale a trasferire irresponsabilmente il costo sociale ed economico di un disastro sulle spalle delle generazioni successive.

Gli eventi tragici che investono frequentemente il nostro Paese, indicano che c'è ancora molto da fare in materia di prevenzione e che è necessario un passaggio culturale, che porti la società civile a considerare il territorio come una preziosa risorsa sociale, educativa ed economica, da tutelare e valorizzare.



Figura 1 - Il ciclo del disastro: rappresentazione delle diverse fasi che si susseguono nel tempo, in relazione al verificarsi di un evento disastroso (da: S. Peppoloni - Convivere con i rischi naturali. Bologna, Il Mulino, 2014).

Terremoti: studio e prevenzione

La sismicità è un'espressione della vitalità interna della Terra che, grazie al vulcanismo e al degassamento, consente di avere un'atmosfera continuamente rialimentata, un campo magnetico che la protegge e che fa da scudo al vento solare ionizzante. Senza di essi non avremmo l'ossigeno per respirare né la protezione dalle radiazioni. Dobbiamo dunque imparare a convivere con i terremoti che cesseranno in Italia e nel mondo solo quando la Terra sarà solidificata e quindi non più abitabile.

Le geologia, ogni giorno di più, contribuisce a capire l'origine della sismicità. Grazie alla conoscenza geologica di un'area si possono capire quali sono le strutture tettoniche che possono produrre terremoti e la quantità di energia che possono liberare, dato che più è grande una **faglia**, più è grande il volume di crosta che metterà in movimento e maggiore sarà la **magnitudo** di un terremoto. Inoltre, le onde sismiche subiscono amplificazioni in funzione del tipo di rocce che attraversano e la loro definizione spaziale permette di determinare i luoghi dove i danni potranno essere maggiori. Questa analisi del territorio è definita **microzonazione sismica** ed è molto utile per prevenire più efficacemente i danni dalle oscillazioni dovute ai terremoti.

Un terremoto è liberazione di energia accumulata in un dato volume di rocce per un gradiente di pressione. Il gradiente si crea perché porzioni di crosta terrestre si muovono a velocità diverse, velocità che in Italia sono dell'ordine dei mm/anno, mentre in altre parti del mondo possono raggiungere alcuni cm/anno. È questa differenza di velocità che fa sì che la magnitudo dei terremoti in Italia (M circa 7-7.5) sia di circa due gradi più bassa che in Giappone o in Cile, dove la sismicità può raggiungere magnitudo superiori a 9).

In genere i terremoti sono causati da movimenti improvvisi di masse rocciose all'interno della crosta terrestre. Se questi avvengono nel fondo del mare, possono anche innescare maremoti con la formazione di onde di **tsunami** che pos-

sono raggiungere parecchi metri di altezza e invadere le piane costiere abitate. Tsunami possono essere generati anche da frane sottomarine e nel Tirreno e nello Ionio, caratterizzati da grandi gradienti batimetrici, possono formarsene di estremamente rilevanti. L'impatto dei terremoti dipende non solo dalla loro magnitudo e **profondità crostale**, ma anche da fattori umani, come la qualità degli edifici, la densità della popolazione, il livello di sviluppo di una nazione, la preparazione e l'istruzione. Un terremoto nei pressi di una megalopoli in un paese in via di sviluppo potrebbe essere devastante. Per esempio, molti più decessi sono stati causati dal terremoto di Haiti del 2010 che da alcuni terremoti molto più forti in aree sviluppate. Per questa ragione si parla di **pericolosità sismica**, cioè la probabilità che un certo valore di scuotimento si verifichi in un dato intervallo di tempo in una data area, la quale moltiplicata per l'esposizione e vulnerabilità di persone e beni nella stessa area dà luogo al **rischio sismico**. L'Italia si trova in un'area dove elementi di crosta scendendo all'interno del mantello hanno dato luogo alla formazione delle Alpi da un lato e degli Appennini dall'altro. Nel contempo, l'allontanarsi degli Appennini dalla Sardegna ha prodotto il Mar Tirreno. Per le sue caratteristiche geologiche e geomorfologiche il nostro paese è soggetto a continui terremoti, oltre 10.000 l'anno, anche se pochi per fortuna superano la magnitudo di 5.5 che è considerata la soglia oltre la quale i



Figura 1 - Danni per il terremoto dell'Emilia del 2012 (foto Agenzia Sir).

terremoti iniziano a produrre gravi danni. Tuttavia, ogni 10-20 anni, l'Italia è soggetta ad eventi particolarmente distruttivi. Questa grande vulnerabilità sismica deve spingerci a sviluppare una maggiore coscienza nella prevenzione e ad approfondire le ricerche riguardanti la previsione dei terremoti.

Il tema della sismicità, così come gli altri rischi, negli Stati Uniti è monitorato e studiato dal Servizio Geologico Americano (USGS), all'interno di una pianificazione organizzativa in cui i rischi sono una parte del rapporto Terra-Uomo. Infatti, contestualmente l'USGS si occupa di risorse, di rischi idrogeologici, di mappatura della nazione, il tutto all'interno di un'organizzazione al servizio dello Stato finalizzata ad una conoscenza dell'insieme terrestre. L'Italia si è dotata di una rete di monitoraggio sia della sismicità, che delle velocità di movimento di vari siti dove sono state installate stazioni GPS, ma il Servizio Geologico d'Italia-ISPRA, preposto assieme alle Regioni alla mappatura geologica, è scorporato da chi gestisce le reti di monitoraggio.

Allo stadio attuale delle ricerche, per la previsione dei terremoti si utilizza primariamente l'analisi statistica nel lungo periodo, ovvero la determinazione dei tempi di ritorno di un sisma in un dato territorio per calcolarne la probabilità di ricorrenza. La previsione probabilistica che un terremoto avvenga in un'area particolare in un certo periodo di tempo è migliorata negli ultimi decenni grazie alla ricerca geologica e sismologica. Ma questo approccio è limitante, come se nelle diagnosi

mediche ci si fermasse alle probabilità di sviluppo o meno di una data patologia.

Attualmente non è ancora possibile effettuare previsioni deterministiche di precisione sul luogo e il tempo esatti in cui un terremoto accadrà, ma le ricerche continuano e non è da escludere che un domani il grado di previsionalità venga gradualmente migliorato significativamente. Al momento però, il modo più efficace per ridurre l'impatto dei terremoti è rappresentato dalla prevenzione. In particolare è necessario ridurre la povertà, migliorare l'istruzione, l'educazione civica, le infrastrutture e, soprattutto, progettare e costruire nuovi edifici per resistere ai loro effetti. Adeguare sismicamente gli edifici storici è possibile, necessario e doveroso, anche perché è nostro dovere preservare il patrimonio architettonico nazionale che rappresenta le radici della nostra cultura e una grande ricchezza economica e di attrazione turistica.

L'Italia, come molte altre nazioni, si è affidata all'approccio probabilistico dell'accadimento dei terremoti. Da ciò sono derivate delle mappe di probabilità che un terremoto di una certa magnitudo avvenga in una data area. Queste carte si sono rivelate finora formalmente corrette, ma geologicamente sono frequentemente errate e hanno portato perciò a normative ingegneristiche inadeguate al punto da sottovalutare i fenomeni. Infatti non è infrequente che in una data area dove vi sono delle strutture tettoniche attive, una parte di questa abbia una classificazione di grado di pericolosità minore rispetto ad un'altra, nonostante la geologia ci dica

che sono identiche dal punto di vista sismogenetico. Ciò ha portato alla sottostima di eventi importanti, con gravi perdite umane e di beni.

Le geoscienze possono contribuire a colmare queste lacune conoscitive e normative, avvicinandosi gradualmente al giorno in cui con un approccio multidisciplinare, anche i terremoti potranno avere un grado di allerta preventivo, come in buona parte già avviene per le eruzioni vulcaniche. Dobbiamo in futuro arrivare a poter prevedere dove e quando avverrà un terremoto, ma per far questo abbiamo bisogno di capire come e perché si sviluppa un evento sismico e nel frattempo dobbiamo iniziare una capillare opera di prevenzione antisismica del tessuto abitativo nazionale.



Figura 2 - Faglia in calcari mesozoici (Umbria).

I vulcani: il difficile connubio tra *rischio* e fonte di risorse

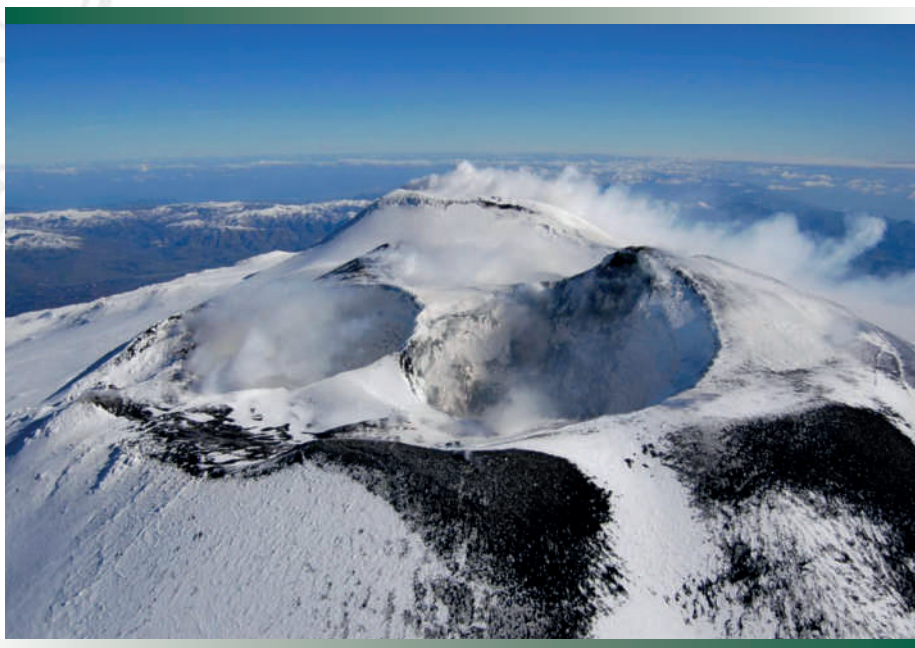
Il nostro paese è terra di mezzo; ieri ed oggi crocevia di genti, popoli e culture, ma anche una terra di mezzo in senso geologico, interposta tra grandi masse continentali che si muovono l'una verso l'altra a partire dal tardo Giurassico. Un processo dinamico che ha portato alla chiusura di un antico oceano, la Tetide, e, dall'Oligocene ad oggi, alla formazione della catena alpino-himalayana.

Terra di mezzo ma anche terra del fuoco, con i suoi 60 vulcani, in attività a partire dal Cretaceo. Molti di questi vulcani sono oggi estinti, altri quiescenti, ma otto di essi hanno fornito attività lavica e piroclastica in epoca storica: l'**Etna** (ultima eruzione del 2014), **Stromboli** (2014), **Vesuvio** (1944), **Pantelleria** (1891), **Vulcano** (1890), **Campi Flegrei** (1538), **Ischia** (1303), e **Lipari** (VIII secolo d.C.). A questi otto si debbono sommare i vulcani sottomarini, tra i quali l'**Isola Ferdinande**a nel Canale di Sicilia è addirittura emersa per pochi mesi nel 1831, dal 7 luglio all'8 dicembre, guadagnandosi l'appellativo di "isola che non c'è".

Oggi, Etna e Stromboli sono i due vulcani italiani più famosi con una attività vulcanica persistente, e si ergono come due giganti per più di tremila metri dalla loro base, permettendo allo Stromboli di emergere per quasi mille metri dalle acque del Mar Tirreno meridionale ed il Mongibello di dominare incontrastato l'orografia delle terre emerse del Mediterraneo centrale (foto dell'Etna innevato). Due giganti in attività continua negli ultimi duemila anni con eruzioni blandamente esplosive e colate laviche intermittenti che solcano i fianchi dei due vul-

cani. I due giganti per secoli hanno dominato i destini delle genti che popolavano le loro pendici.

Vesuvio, Campi Flegrei ed Ischia fanno da contraltare a questi due giganti, con una attività vulcanica concentrata in periodi ben delimitati, separati da lunghe fasi di quiescenza dell'ordine delle migliaia di anni, ma di incontrastata violenza parossistica. Del Vesuvio, nonostante gli ultimi secoli del millennio scorso siano stati caratterizzati da attività debolmente esplosiva, la geologia e le fonti storiche ci restituiscono le informazioni per l'individuazione di almeno cinque grandi eruzioni di carattere da pliniano a sub-pliniano delle quali la più nota nel 79 d.C. ha portato alla distruzione di Pompei (immagine di Pompei con il Vesuvio sullo sfondo). L'apparato vulcanico dei Campi Flegrei possiede una morfologia molto appiattita definita dalla particolare attività vulcanica dominata da due grandi eruzioni pliniane, separate l'una dall'altra da un periodo di circa 15 mila anni, che



L'Etna innevato (foto: S. Branca).



Pompei.

umane che vivono sul territorio, e che possono fornire, nei casi in cui si raggiungano le condizioni di entalpia idonee, **energia rinnovabile e pulita**. Le rocce vulcaniche rappresentano inoltre da millenni una **risorsa naturale** di inestimabile valore in campo edilizio sia come materiale lapideo strutturale che come lapideo ornamentale. Gli antichi romani apprezzavano le caratteristiche petrofisiche delle rocce laviche italiane tanto da utilizzarle massicciamente come basolati nella costruzione di strade, oppure come macine o mortai, mentre da sempre il tufo vulcanico (le ignimbriti) viene utilizzato come materia prima per mattoni per murature. Infine, sempre ad una genesi di tipo magmatico possono essere ricondotte le principali risorse minerarie nazionali.

hanno portato i loro prodotti a colmare la piana campana da Sarno a Cassino e da Napoli a Caserta andando a formare il fertile substrato della “*Campania Felix*” degli antichi romani. Le ignimbriti prodotte dalle due grandi eruzioni flegree (*Ignimbrite Campana* e *Tufo Giallo Napoletano*), sono state per millenni la fonte di materiale lapideo per l'edificazione delle città campane dai tempi della Magna Grecia ad oggi.

Prevenzione e mitigazione del rischio vulcanico sono il principale obiettivo della geologia che si occupa di vulcani attivi la quale definisce, attraverso lo studio delle rocce affioranti, le principali caratteristiche delle eruzioni passate individuando la tipologia, il grado di esplosività, il volume del magma coinvolto, la composizione e quantità dei gas vulcanici emessi, la massima estensione areale dei prodotti, ed infine l'energia sprigionata. I dati raccolti permettono una definizione dell'evento massimo atteso e del suo potenziale distruttivo, fornendo al geologo che si occupa di sorveglianza il quadro di riferimento su cui operare oltre a definirne la vulnerabilità del territorio interessato.

L'attività magmatica, ed in particolare quella vulcanica, è però anche sorgente di calore che in condizioni geologiche particolari permettono l'instaurarsi di sistemi geotermici sfruttabili dal punto di vista energetico per le attività delle comunità



Eruzione del vulcano Stromboli.

L'Italia che frana

Una frana è un movimento di una massa di roccia, terra o detrito lungo un versante. In Italia le frane sono molto diffuse: ad oggi, infatti, ne sono state censite circa 500.000 sull'intero territorio nazionale. Analoga diffusione caratterizza i fenomeni alluvionali, che, insieme alle frane, costituiscono il cosiddetto "dissesto idrogeologico".

Le frane sono innescate da **cause naturali**, quali piogge intense/prolungate o terremoti, ma anche da **cause antropiche**, quali la deforestazione, trasformazioni nell'uso del suolo, attività estrattiva e/o mineraria.

Il diffuso ed elevato rischio da frana che caratterizza vaste porzioni dell'Italia dipende sia dall'intensità delle frane (velocità, volume mobilizzato, distanze percorse), sia dalla presenza di un tessuto urbano ed infrastrutturale molto esteso, che, talvolta, si è impiantato in aree non sicure dal punto di vista geologico, risultando quindi particolarmente vulnerabili.

Per tali ragioni, l'Italia è un Paese ad alto **rischio da frana** (rischio = pericolosità × vulnerabilità), la cui mitigazione si basa su azioni finalizzate alla **previsione** e **prevenzione**, oltre che su interventi miranti alla salvaguardia della vita umana ed alla tutela dei beni materiali.

Da oltre un decennio l'Italia è uno dei pochi Paesi al mondo ad essere interamente "coperto" da Carte del rischio da frana, redatte dalle Autorità di Bacino, enti statali o regionali preposti alla pianificazione territoriale ed alla difesa del suolo. Tali Carte riportano la distribuzione, su quattro livelli decrescenti (da R4 – molto elevato – ad R1 – moderato), del rischio connesso ai vari tipi di frana presenti sul territorio nazionale. A ciascun livello di rischio corrispondono specifiche norme, in virtù delle quali sono consentite od impedito determinate azioni sul territorio.

Prevedere una frana significa identificarne la tipologia, l'intensità, l'evoluzione e l'ubicazione, in funzione della probabilità temporale di accadimento dell'evento ("**tempo di ritorno**"). La Comunità scientifica italiana ed internazionale è attivamente impegnata, al pari di quanto avviene per le altre fonti primarie di pericolosità geologica (terremoti, eruzioni vulcaniche), nella ricerca di metodologie che consentano una previsione spazio-temporale delle frane sempre più affidabile.

Analogo impegno è profuso nella prevenzione delle frane e, soprattutto, dei suoi effetti più catastrofici. In tal senso, anche per la cronica carenza di fondi sufficienti alla rimozione del rischio con interventi "strutturali" (opere di difesa attiva o passiva contro le frane), di fondamentale importanza è l'approccio in termini di "**resilienza**": con questo termine si identifica la capacità/abilità di un sistema, di una comunità o una società, esposta ai pericoli, di resistere, assorbire, accogliere e ristabilirsi dagli effetti di un pericolo, in tempi brevi ed in modo efficiente, considerando anche la conservazione e il ripristino delle sue strutture e funzioni di base.



La frana di Montaguto, Campania.

GEOLOGIA *medica*

Il concetto di geologia medica è tanto vasto quanto lo sono le possibilità che materiali di origine “geogenica” interferiscano con la salute umana. La disciplina trae origine dai primi studi condotti dalla fine degli anni '80 circa gli effetti degli asbesti sulla salute umana a causa delle interazioni con le mucose polmonari. Lentamente la **Geologia Medica** ha cominciato a ricercare quali materiali potessero essere nocivi per la salute attraverso lo studio della loro natura chimica. Da qui il termine equivalente di **Geochimica Medica**. Per comprendere l'importanza che la *Geologia* o la *Geochimica Medica* svolgono nel campo dello studio dell'ambiente, va tenuto presente il ruolo giocato dall'uomo nei riguardi della natura. Esso spesso si limita a concentrare a fini economici i materiali naturali che possono presentarsi in forma disseminata, ovvero estrarli dalla litosfera e/o dall'idrosfera dal momento che vi sono stati precedentemente concentrati a seguito di processi naturali. Quindi l'esposizione a determinati elementi o composti chimici può essere un fenomeno naturale o di origine antropica a seconda che questi siano stati concentrati da attività minerarie o altro. Questo fatto ci suggerisce che l'assenza assoluta di un determinato elemento chimico in ambiente naturale sia molto raro, se non impossibile da ottenere, ma ciò che è verosimile è la trascurabilità della sua concentrazione, tanto da un punto di vista analitico, quanto da quello della rilevanza per la salute umana. Quindi, a seconda che il costituente in questione svolga il ruolo di **nutriente**, ovvero di partecipante ai processi metabolici o meno, ne risulta che l'esposizione possa essere o meno seguita dallo smaltimento del costituente a seguito dei processi metabolici ovvero porti ad un'accumulazione della specie chimica nell'organismo.

Questo fatto introduce al concetto di **esposizione umana ai materiali geogenici**. Si tratta di una particolarità focalizzata sull'uomo degli effetti dell'esposizione ambientale ad un certo costituente dell'ambiente stesso. L'esposizione può avvenire nei riguardi di particolari elementi o specie chimiche direttamente presenti in natura che, come tali,

costituiscono una condizione di *background* di un determinato tipo di ambiente, ovvero sono il risultato di processi indotti dall'uomo per provvedere allo sfruttamento delle risorse naturali. Sovente i due fenomeni hanno caratteristiche analoghe anche se, in genere, i processi mediati dall'uomo danno luogo ad effetti più consistenti a causa della capacità tecnologica dell'uomo di produrre la concentrazione di determinate specie a scopo economico ed industriale. Un caso eclatante in tal senso è stato l'uso del carbone come fonte di energia, associato al limitato rendimento energetico delle forme di combustione in uso durante il XIX e XX secolo che ha comportato un inquinamento in polveri sottili formate da carbone incombusto miscelato ai prodotti della combustione del carbone stesso che hanno letteralmente caratterizzato anche “scenograficamente” gli agglomerati industriali ed abitativi nordeuropei della prima e della seconda rivoluzione industriale.

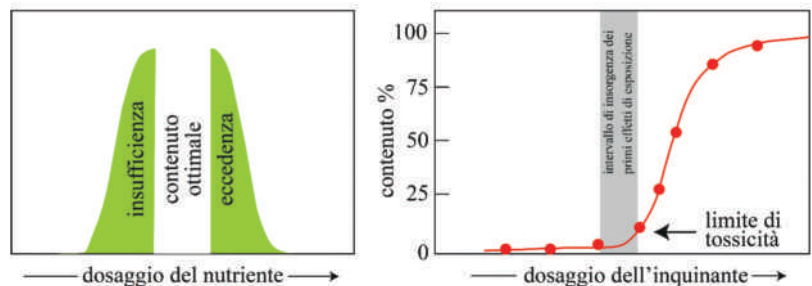


Figura 1 - Effetti del dosaggio di nutrienti ed elementi nocivi su un'ipotetica specie vivente.

In generale, possiamo considerare l'esposizione umana come il contatto che si crea fra la litosfera, nel senso geochimico del termine, e l'antroposfera. Nella prima avvengono tutti i processi legati alla dinamica della Terra mentre nella seconda avvengono tutti i processi indotti dall'uomo e legati all'ambiente in cui noi viviamo. Tale contatto può avvenire per **mediazione dell'idrosfera**, ogni qual volta ciò che è solido nei prodotti litogenici è sciolto in tutto o in parte transitando nella fase acquosa. A questo punto il contatto con l'antroposfera avverrà direttamente per esposizione dovuta ad ingestione

dell'acqua, ovvero con un'ulteriore mediazione della biosfera. Questo avviene quando l'acqua, contaminata da ciò che ha sciolto dalle rocce, costituisce il nutrimento delle piante. Con questa mediazione gli originari componenti della litosfera entrano nella catena trofica e trovano in essa occasione di progressivo accumulo negli organismi che ne fanno parte, dando spesso luogo a forme di **biomagnificazione** lungo la catena trofica sino a giungere al vertice della stessa: l'uomo. Questi ultimi sono fenomeni spesso responsabili degli aspetti più pericolosi dell'esposizione umana al contatto con la litosfera.

Altrimenti il contatto litosfera-antroposfera può non essere mediato da interfacce terze. È questo il caso dell'esposizione umana alle polveri che può avvenire per diretta inalazione o ingestione delle stesse. Da questo tipo di fenomeni discendono poi note patologie, le più note delle quali sono di carattere polmonare, che sono appunto legate all'interazione fra particolati solidi e membrane e tessuti polmonari. Come vedremo più avanti le patologie polmonari sono dovute ad interazioni di tipo "fisico" fra polveri e mucose, e sono le più comuni e note anche a livello popolare, ovvero possono essere legate a reazioni chimiche fra i fluidi biologici e particolari tipi di polveri inalate.

Un altro tipo di interazione fra litosfera e antroposfera è quello **mediato dall'atmosfera**. Ciò comporta che l'agente a cui l'uomo è esposto sia di natura gassosa e l'esposizione avvenga per inalazione. Anche qui differenti esempi sono noti, basti pensare all'inalazione di fasi gassose legate all'attività vulcanica e/o idrotermale (CO_2 , CO , H_2S , Cl_2) che possono risultare letali anche in dosi relativamente modeste. È anche il caso dell'esposizione al ^{222}Rn che di forma come intermedio della serie di decadimento radioattivo naturale di ^{238}U e che quindi è spesso anche un indicatore geochimico di processi tettonici attivi.

Certamente i processi endogeni che portano alla diretta formazione di soluti di origine litogenica sono quelli che più di altri sono suscettibili di rappresentare un'occasione significativa di interazione fra litosfera ed antroposfera anche perché storicamente le aree vulcaniche dove tali fenomeni avvengono in maniera più evidente sono state spesso sede di antropizzazione massiccia. Tuttavia, anche lungo faglie in zone non vulcaniche, si rilasciano concentrazioni di gas che possono essere particolarmente dannosi per l'Uomo.

Diverse patologie si possono sviluppare dalle interazioni fra particolati aerodispersi e fluidi biologici dando luogo anche a forse cancerose. È questo il caso di asbestosi, silicoli, calcolosi polmonare, ecc.

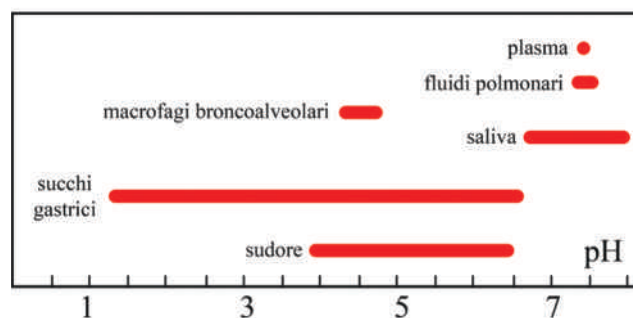


Figura 2 - Intervallo di valori di acidità caratteristici dei principali fluidi corporei espressi in unità di pH.

Perché i particolati possano raggiungere l'apparato polmonare profondo è necessario che la granulometria delle particelle sia inferiore a $2-3\ \mu\text{m}$. Ciò permette alle particelle di giungere a contatto con l'apparato broncoalveolare e gli alveoli polmonari. All'interno degli alveoli, i solidi inalati entrano in contatto con i fluidi broncoalveolari dove sono presenti, fra l'altro, i macrofagi broncoalveolari. Si tratta di cellule deputate alla dissoluzione, per quanto possibile, dei solidi inalati attraverso l'intervento di opportuni enzimi in grado di creare condizioni acide che permettono la dissoluzione dei solidi inalati. Il rilascio dei componenti elementari a seguito della dissoluzione dei solidi interessa le aree polmonari circostanti e favorisce il richiamo di ulteriori macrofagi per completare la dissoluzione dei solidi residui. Recenti studi hanno dimostrato che questo processo può non riuscire ad eliminare il particolato ultrafine ($\leq 100\ \text{nm}$) che rimane talvolta non disciolto ed in grado di indurre stress ossidativi nelle cellule con cui entra in contatto. A questo tipo di materiali appartengono le polveri ultrafini formatesi durante la lavorazione dei cementi o rilasciate dagli idrocarburi durante il traffico veicolare o il processo di raffinazione.

A parte le dimensioni delle particelle, anche la forma di queste riduce la capacità del **sistema di clearance** dell'apparato polmonare di svolgere il proprio ruolo. È questo il caso delle morfologie di tipo fibroso in cui la presenza di un'elongazione preferenziale delle particelle lungo una determinata direzione non permette il loro "incapsulamento" da parte dei macrofagi. A fronte di ciò, proprio la forma elongata di questi solidi ne favorisce il trasporto aerodinamico ed il raggiungimento delle regioni profonde del polmone. Qui, la permanenza delle fibre nel polmone profondo induce la formazione di tessuto cicatriziale che spesso è il precursore di quello neoplastico. Recenti studi suggeriscono inoltre che le fibre resistenti all'azione dei macrofagi possano

fisicamente raggiungere i nuclei delle cellule dei tessuti polmonari danneggiandovi il DNA ed inducendo in esso mutazioni poi responsabili dell'insorgenza di forme tumorali.

Differente è il caso dell'accumulo di particelle a base di SiO_2 cristallina e non semplicemente di silice amorfa, cioè vetro. Ciò si verifica perché tanto nei solidi amorfi, quanto in quelli cristallini, la forma delle particelle è più equidimensionale che nelle fibre. La distinzione fra solidi amorfi e cristallini, soprattutto per quelli ricchi in silice è fondamentale perché ci consente di puntualizzare l'attenzione sul concetto di reattività dei solidi inalati a contatto con fluidi polmonari *latu sensu*. Nel primo caso i minerali silicatici e soprattutto il quarzo e gli altri polimorfi della SiO_2 hanno una buona resistenza chimica nei riguardi di quanto può essere messo in campo dai macrofagi broncoalveolari. Tale effetto è legato alla presenza di una struttura cristallina in questi materiali ed alla forza che lega il silicio all'ossigeno all'interno di tale struttura. Questi fatti si traducono in una tendenza all'accumulazione di queste particelle nei polmoni che poi degenera in fibrosi polmonare, ostruzioni polmonari e tumori. Nel secondo caso, le particelle ricche in silice amorfa (vetro) di origine tanto naturale quanto artificiale sono più facilmente vittime dell'interazione con i fluidi broncoalveolari attraverso l'azione dissolvvente dei macrofagi. Come conseguenza, se da un lato si assiste ad una minore pericolosità dell'inalazione di questo tipo di solidi geogenici per gli effetti fisici che possono indurre, dall'altro il loro maggior grado di dissoluzione, unito ai meccanismi di formazione dei vetri naturali, comporta una maggiore capacità di questi materiali di cedere alcuni tipi di metalli pesanti ai liquidi broncoalveolari e da essi al sistema linfatico e sanguigno.

Ove le condizioni biochimiche lo permettano, la dissoluzione dei solidi inalati può portare a forme di calcolosi polmonare come quelle riscontrate a seguito di inalazione di ceneri vulcaniche. Del resto, se le eruzioni di ceneri hanno dimostrato di potere interferire con il traffico aereo non si capisce come le stesse polveri eruttate non debbano avere effetti negativi sulla salute.

L'esposizione a prodotti in fase gassosa non necessariamente avviene con il coinvolgimento dell'apparato respiratorio. Diverse sostanze di origine naturale, più o meno mediate dall'azione umana, possono interagire con l'uomo attraverso la pelle (basti pensare al cianuro o al metilmercurio), ovvero l'esposizione del corpo umano a radiazioni ionizzanti provenienti dal sottosuolo (per esempio Radon), o dallo spazio.

La tossicità dei solidi geogenici per la salute umana è anche legata alla possibilità che essi hanno di indurre processi reattivi con formazione di specie nocive alla salute, ovvero di cedere elementi metallici ai fluidi biologici e quindi dare luogo a sovraesposizione degli individui a determinati elementi chimici. Un ruolo preminente è rivestito dalle Specie Reattive dell'Ossigeno (ROS) la cui presenza ed importanza per la salute ha anche cominciato ad essere considerata dalla stampa e cultura popolari dove i così detti radicali liberi (una forma di ROS) sono prefigurati come fattori di rischio per la salute.



Figura 3 - Caratteristica colorazione rossa per l'anomala concentrazione di Fe delle acque del Rio Tinto (Spagna sud-occidentale).

In sostanza, lo scopo della Geologia, della Mineralogia e della Geochimica applicate alla salute umana è quello di fornire quel bagaglio di conoscenze a contorno che non facciano dimenticare mai che la crosta terrestre e più in generale la litosfera sono il contenitore dell'ambiente. Negli ultimi 50 anni si è progressivamente fatta strada una consapevolezza ambientale che ha reso l'uomo della strada cosciente delle relazioni che intercorrono fra il proprio stato di salute e il grado di rispetto che lui ha per l'ambiente che lo circonda. Ora è il caso che si prenda coscienza anche del fatto che le insidie dell'ambiente nei riguardi della salute non sono limitate agli effetti indotti dalle attività inquinatrici dell'uomo ma possono essere arrecate direttamente dalle interazioni fra l'ambiente stesso ed il proprio contenitore, appunto la litosfera il cui chimismo è legato a doppio filo con quello dell'ambiente e quindi con la salute dei suoi abitanti.

IL SUOLO:

dove le **ROCCE** incontrano la **Vita**

Il suolo rappresenta l'interfaccia tra l'atmosfera, la biosfera, l'idrosfera e la litosfera, configurandosi come un componente chiave nella interpretazione dei cicli biogeochimici globali. Negli ultimi tempi si sta assistendo ad un'espansione transdisciplinare nell'ambito delle scienze del suolo, al fine di poter indirizzare le nuove sfide globali e sociali anche verso una più idonea programmazione di **tutela e conservazione della risorsa suolo**. Rilevanti sviluppi in tal senso si sono avuti grazie agli utili scambi scientifici tra differenti domini della conoscenza: l'economia, la sociologia, l'urbanistica, l'ecologia, la climatologia, la biogeochimica, l'idrologia e le Scienze della Terra. È noto però che importanti questioni relative al suolo sono ancora aperte, ed il dibattito su temi interdisciplinari e globali quali: i cambiamenti climatici, la sicurezza alimentare, i biocarburanti, l'acqua, i cicli biogeochimici, la biodiversità e il telerilevamento presenta ancora connotazioni e risvolti che lambiscono argomenti tipici della scienza del suolo.

Tra le tante definizioni tecniche usate per spiegare che cosa è un suolo quella più semplice lo percepisce come un materiale che può avere diversa origine naturale, in relazione alle caratteristiche litostratigrafiche del substrato, non consolidato e affiorante sulla superficie terrestre, ma in grado di sostenere la crescita della vegetazione nonché soddisfarne il suo sviluppo. Di contro materiali non consolidati che non presentano questo tipo di caratteristiche sono definibili sedimenti.

Su queste basi è facile intuire che il contributo delle geoscienze nello studio del suolo assume una forte connotazione sia in termini diagnostici ed interpretativi dei processi pedogenetici associati, sia in virtù dell'importanza che esso ricopre nell'ambito della **pianificazione e gestione del territorio**.

Il connubio tra geologia e pedologia, pertanto, è destinato a fortificarsi nel corso dei prossimi anni specialmente laddove persistono quelle condizioni tali da richiedere un attento studio delle caratteristiche evolutive dei suoli. Si pensi alle aree a rischio idrogeologico ma anche alle aree in cui insistono autorevoli colture che danno vita a pro-

dotti tipici, la cui valorizzazione si impone come *condicio sine qua non* affinché le stesse possano essere tutelate. Senza ombra di dubbio l'intera penisola italiana può quindi definirsi un laboratorio a cielo aperto in tal senso.

È importante ricalcare che le geoscienze hanno il dovere di accettare questa nuova sfida contribuendo soprattutto alla declinazione di quelle variabili di chiara pertinenza geologica, con lo scopo ultimo di scongiurare il depauperamento di questa risorsa strategica alla **diffusione e sostenibilità della vita sul pianeta Terra**.



Figura 1 - Profilo di un suolo dell'areale di Lapio (AV), regione Campania, sede della prestigiosa Denominazione di Origine Controllata e Garantita (DOCG) del Fiano di Avellino. Nel profilo visibili i depositi da caduta ascrivibili all'eruzione del Somma-Vesuvio denominata: Pomici di Avellino (4360±40 anni or sono).

La Geologia e il ciclo dei rifiuti

L'essere umano nelle società industrializzate genera grandi quantitativi di rifiuti. In Italia il fenomeno ha subito una forte accelerazione a partire dagli anni '60 del secolo scorso in coincidenza con un miglioramento generalizzato delle condizioni di vita dei cittadini. La gestione dei rifiuti e il loro corretto smaltimento investe il ruolo del geologo nella comprensione delle complesse relazioni esistenti tra geosfera, biosfera, atmosfera ed idrosfera.

Smaltimento dei rifiuti e protezione dell'ambiente

In Italia i dati sulla produzione di rifiuti relativi al 2012 indicano un quantitativo di RSU (rifiuti solidi urbani) di 29,9 milioni di tonnellate. Di questi 17,6 tonnellate pari al 59% sono stati conferiti in discarica. Le discariche attive sul territorio sono 186 mentre dal 2003 sono state chiuse 288 discariche.

La **discarica** è definita dalla normativa (D.Lgs. 36/2003 attuazione della Direttiva 1999/31/CE) quale "area adibita a smaltimento dei rifiuti mediante operazioni di deposito sul suolo o nel suolo, compresa la zona interna al luogo di produzione dei rifiuti adibita allo smaltimento dei medesimi...". La funzione di una discarica è meglio definita dall'articolo 1 della normativa che "...stabilisce requisiti operativi e tecnici per i rifiuti e le discariche, misure, procedure e orientamenti tesi a prevenire o a ridurre il più possibile la ripercussioni negative sull'ambiente, in particolare l'inquinamento delle acque superficiali, delle acque sotterranee, del suolo e dell'atmosfera, e sull'ambiente globale, compreso l'effetto serra, nonché i rischi per la salute umana risultanti dalle discariche di rifiuti, durante l'intero ciclo di vita della discarica". La discarica è quindi in diretta relazione con le caratteristiche fisiche al contorno, pertanto nella scelta del sito destinato allo smaltimento dei rifiuti, di qualsiasi natura essi siano, è prioritaria la comprensione del rapporto tra ubicazione del sito, tipo di rifiuti smaltiti e componenti ambientali nel loro complesso.

La geologia si occupa di comprendere pienamente le **condizioni geologiche ed idrogeologiche** che garantiscano l'isolamento dei rifiuti solidi e/o liquidi innanzitutto rispetto alle componenti

Cosa è un rifiuto?

In Italia il ciclo della gestione dei rifiuti è normata dal Decreto Legislativo 152/2006 e s.m.i. che definisce come rifiuto "qualsiasi sostanza od oggetto... di cui il detentore si disfi o abbia deciso o abbia l'obbligo di disfarsi". Lo smaltimento dei rifiuti costituisce la fase residuale della gestione dei rifiuti e viene attuata solo dopo la verifica da parte dell'autorità competente della impossibilità tecnica ed economica di effettuare il loro recupero, riutilizzo o riciclaggio.

Il ruolo della geologia è centrale nella corretta individuazione dei siti di smaltimento dei rifiuti sia che si tratti di rifiuti urbani, sia che si tratti di rifiuti speciali sia che si tratti di rifiuti la cui natura prevede una normativa dedicata (rifiuti radioattivi, rifiuti derivanti da attività estrattive, etc.).



Piramide del corretto modello di ciclo integrato di gestione dei rifiuti.

acqua sotterranea, acqua superficiale e suolo. Infatti l'interazione delle acque piovane con il corpo rifiuti di una discarica genera naturalmente una contaminazione "localizzata" con produzione di percolato. Il ruolo del geologo è quello di studiare le componenti di rischio connesse al sito di smaltimento attraverso un insieme di indagini volte a definire il **quadro geologico-idrogeologico** attuale e futuro con l'obiettivo di garantire nel tempo l'isolamento del corpo rifiuti.

La scelta dell'**ubicazione del sito** è legata a studi geologici inerenti: la natura dei terreni che ospiteranno i rifiuti (barriera geologica di fondo naturale e/o costruita a bassissima permeabilità), la **classificazione sismica** dell'area, la **geomorfologia** (doline, carsismo superficiale, instabilità dei pendii, etc.), l'**idrologia dei corsi d'acqua** (aree esondabili, migrazione degli alvei, etc.), l'**idrogeologia** (profondità della falda, caratteristiche idrauliche, escursione stagionale, etc.).

Il ruolo del geologo nel ciclo di vita di una discarica

L'attività del geologo si articola in più fasi durante l'intero ciclo di vita di una discarica, a partire dalla fase di scelta dell'ubicazione del sito tenendo conto dei criteri di esclusione definiti dalla normativa vigente. I criteri di esclusione parziale, sui quali interviene l'attività e la valutazione del geologo, riguardano: le aree interessate da faglie attive, le aree interessate da attività vulcanica, le aree soggette ad attività idrotermale, le aree con carsismo superficiale, le aree soggette ad erosione accelerata, le aree esondabili e alluvionabili, le aree a rischio frana, etc.

Nella fase di scelta dell'ubicazione il geologo si occupa di effettuare un rilevamento geologico di dettaglio e di svolgere una campagna di indagini con l'obiettivo di ricostruire il modello geologico locale. Ovviamente il numero di indagini è variabile da sito a sito e dipende dalla complessità geologica, in ogni caso deve essere svolta almeno 1 prova diretta ogni 1000 mq. Le **indagini geognostiche** possono riguardare le caratteristiche geotecniche dei terreni e delle rocce, da determinarsi tramite prove in sito o in laboratorio (limiti di Atterberg, curve di compattazione, prove di resistenza, etc.) nonché le loro caratteristiche di permeabilità da effettuarsi in sito.

Non meno importante è un **inquadramento geologico ed idrogeologico** di area vasta che consenta di inserire la discarica all'interno di un quadro generale più possibile definito. In relazione alla matrice acqua il geologo si occupa: di effettuare un rilevamento idrogeologico con la ricostruzione delle isopiezometriche e dello schema di circola-

Una sfida per il prossimo futuro: lo smaltimento geologico dei rifiuti radioattivi

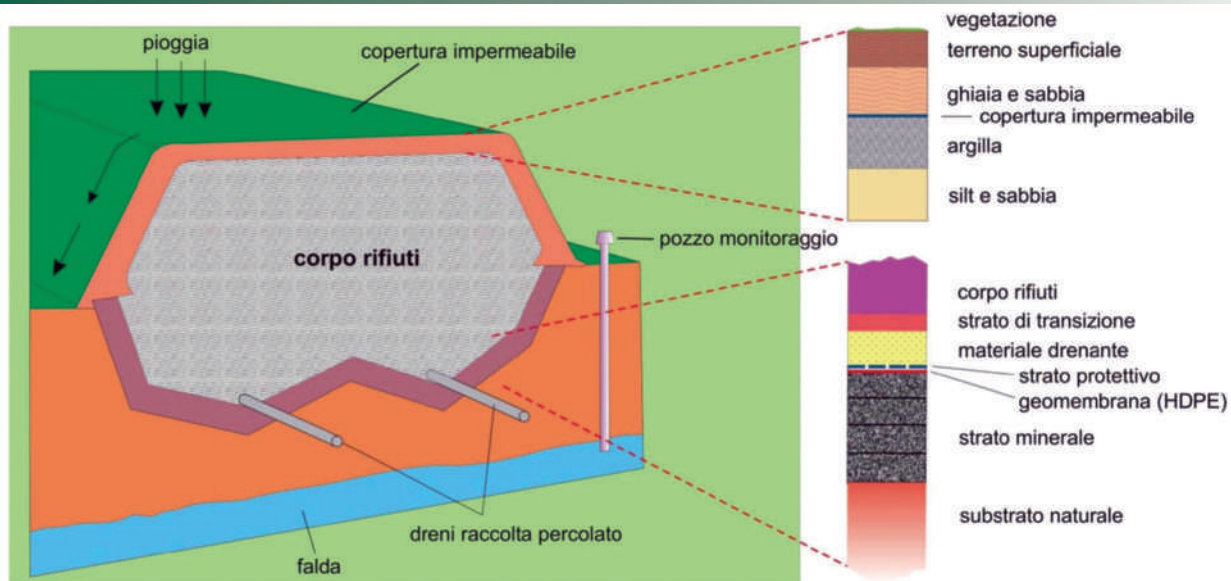
I rifiuti radioattivi in Italia provengono per il 60% dalle centrali nucleari dismesse, per il 30% dal ciclo del combustibile e il restante 10% da altre attività (ricerca, diagnostica, etc.). Di questi il 95% (in volume) sono a bassa-media attività (RIA) tuttavia nel restante 5% ad alta attività (RAA) è contenuto il 98% dell'inventario totale di radioattività. I RAA raggiungono livelli di emissione considerati non pericolosi dopo millenni o centinaia di migliaia di anni, per questo si pone il problema del loro isolamento dalla biosfera, isolandoli in formazioni geologiche adeguate (argille plastiche o indurite, depositi di salgemma, granito) a centinaia di metri di profondità.

In Italia, in base alle previsioni effettuate da ENEA nel 2001, il basso quantitativo di RAA non giustificerebbe la realizzazione di un sito geologico di smaltimento. Attualmente a fronte di 7200 mc di RAA se ne devono smaltire 25200 mc di RIA. Si prevede che nei prossimi 40 anni, a seguito delle attività di decommissioning da parte dello Stato, a questi volumi si aggiungeranno altri 49800 mc di RIA e 8000 di RAA. Entro il 31 dicembre 2014 dovrà essere definito un programma nazionale per la gestione dei rifiuti radioattivi che prevede la realizzazione di un Deposito Nazionale in cui far confluire tutti i rifiuti radioattivi della penisola di cui i RIA a titolo di sistemazione definitiva e i RAA per la custodia temporanea in sicurezza.

La direttiva europea 2011/70/EURATOM prevede per il futuro l'accordo tra stati membri per la predisposizione di un unico impianto di smaltimento per i RAA a condizione che tale impianto sia un deposito di tipo geologico. La valutazione delle condizioni di permeabilità della host-rock, delle caratteristiche meccaniche, di conduttività termica, di plasticità, di capacità di fissazione chimico-fisica degli elementi che migrano costituiscono un ambito di studio specifico della geologia nella individuazione di siti geologici di smaltimento dei rifiuti radioattivi a lunga vita.

zione nel sottosuolo, di verificare l'estensione e le caratteristiche idrauliche delle falde presenti, di effettuare un censimento dei pozzi redigendo la carta delle zone di rispetto.

In una discarica gli elementi di isolamento rispetto alle matrici ambientali sono essenzialmente due: la **barriera geologica naturale di fondo/laterale** e la



Schema concettuale di una discarica per RnP con dettaglio degli elementi di confinamento.

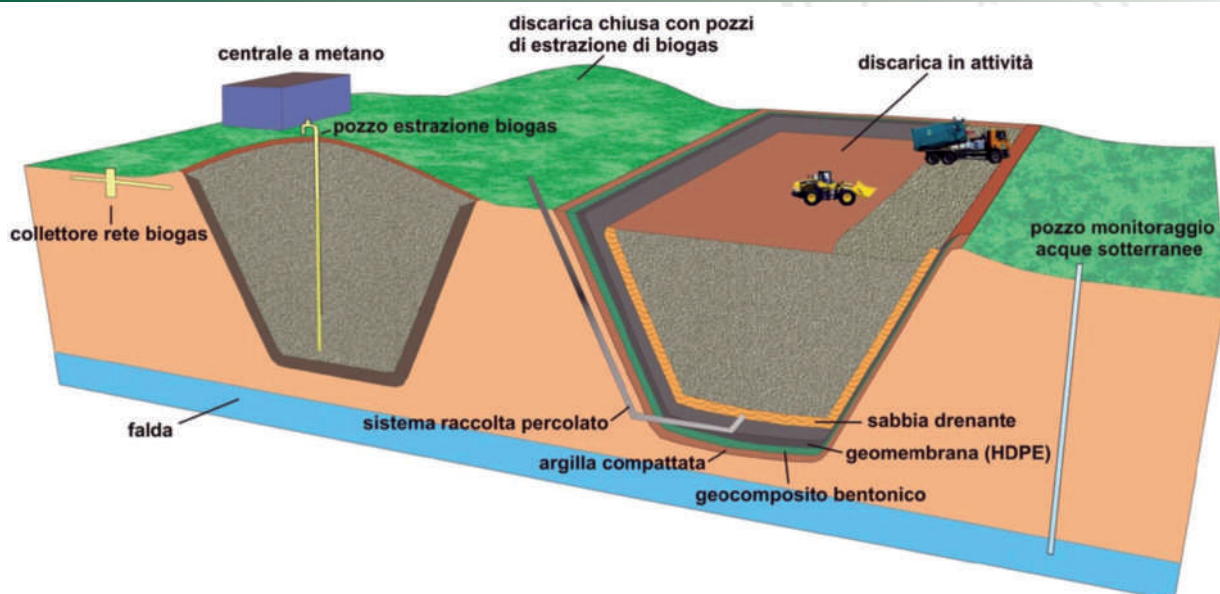
copertura superficiale finale. A seguito della propria attività di indagine, il geologo ricostruisce le caratteristiche geometriche e di continuità laterale della barriera geologica naturale valutando la necessità di integrare la barriera naturale con opportuno materiale impermeabile (es: argilla e bentonite) definendo di quest'ultimo le caratteristiche di permeabilità e gli spessori/volumi necessari.

Nella fase di costruzione della discarica il geologo effettua delle misure di controllo della permeabilità della barriera geologica sull'intera area della discarica tramite prove di conducibilità in sito. Inoltre verifica, dopo la posa in opera, la rispondenza geotecnica dei materiali naturali che integrano la bar-

riera geologica naturale di fondo/laterale attraverso prove di laboratorio e in sito.

Nella **fase di gestione** il geologo si occupa di controllare lo stato del corpo della discarica con verifiche di assestamento dei terreni di fondazione, verifiche inclinometriche, verifiche geomorfologiche al contorno, inoltre interviene nel monitoraggio della falda tramite la rete di controllo predisposta.

Il ciclo di vita di una discarica non termina con la sua chiusura ma si protrae nell'ulteriore **fase di post-esercizio**, di durata non inferiore a 30 anni, durante la quale il monitoraggio della falda e della stabilità del corpo discarica e dei terreni al contorno rientrano tra le competenze del geologo.



Schema concettuale di una discarica in attività e di una discarica chiusa con captazione di biogas.

Sviluppo sostenibile in un **territorio** da **proteggere**

La salvaguardia e lo sviluppo sostenibile dell'ambiente hanno un forte impatto sociale e sono caratterizzati da una serie di aspetti estremamente complessi. In un pianeta in cui la popolazione è passata negli ultimi due secoli da circa 1 miliardo a oltre 7 miliardi, l'interazione uomo-ambiente è sempre più forte e rilevante. Ne risulta una complessità che è figlia della risposta non lineare dei sistemi naturali e

della società stessa, composta a sua volta da gruppi con comportamenti, abitudini, adattamento e relazioni estremamente differenti e variabili nel tempo e nello spazio. La connessione tra queste componenti è stata teorizzata nell'ipotesi Gaia in base alla quale l'ambiente geologico nel suo complesso si modifica dinamicamente o si mantiene nelle condizioni più idonee a supportare la vita dietro l'azione degli stessi organismi viventi. Lo studio



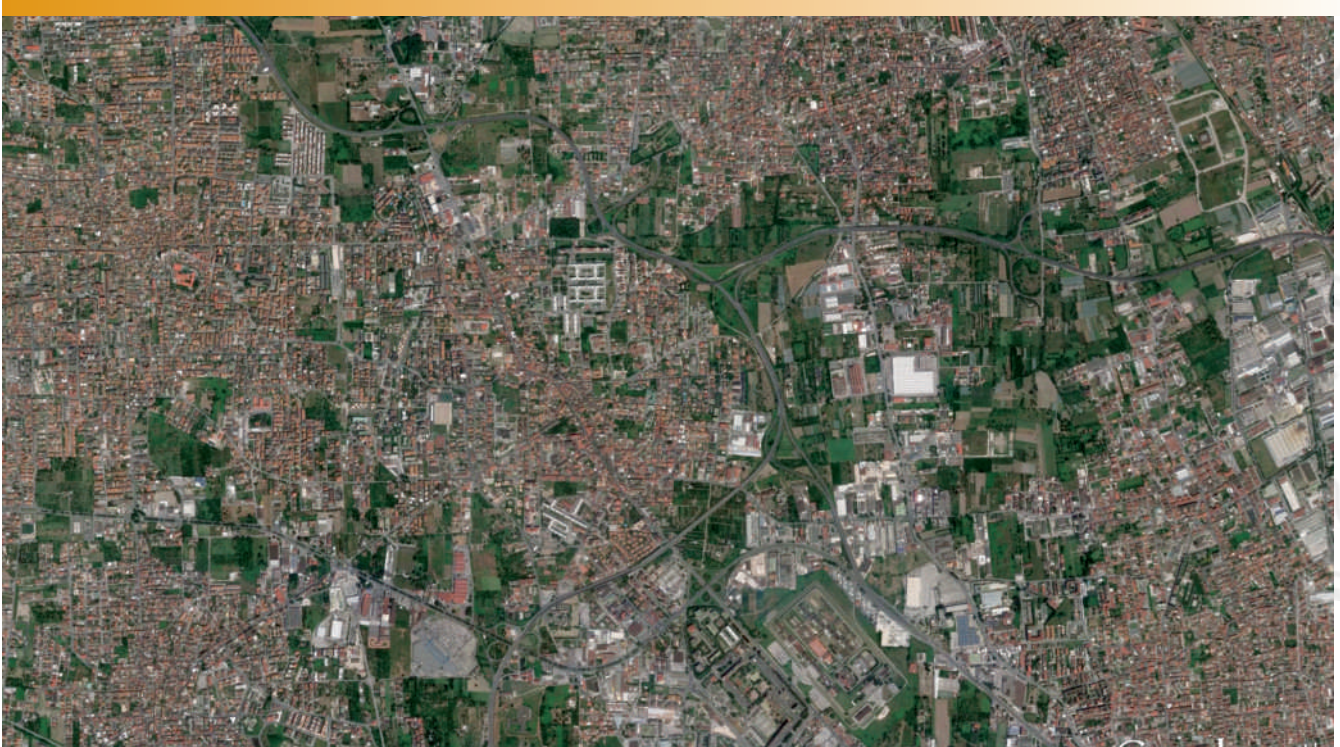
La pianta della città di Imola realizzata da Leonardo da Vinci nel 1502.

di questi aspetti richiede quindi la capacità di osservare e misurare cambiamenti nei sotto-sistemi ambientali e sociali, che possono avvenire a scale temporali molto diverse e con forti variazioni di intensità, sotto il controllo di variabili che possono amplificarne o smorzarne la risposta o il cambiamento. Tutte le attività umane interagiscono con l'ambiente, tendono a modificarlo o ne subiscono le azioni e reazioni molto spesso senza possibilità di controllo alcuno da parte dell'uomo. Inoltre, le azioni antropiche possono risultare così pervasive e di grande entità da indurre reazioni dell'ambiente estremamente rapide per recuperare facilmente una condizione di equilibrio pre-perturbazioni e quindi con conseguenze enormi e/o a lungo termine sulla società.

Le geoscienze studiano da sempre, con tecniche specifiche di differenti discipline e con approcci multi-disciplinari, alcuni tra i fenomeni più complessi e oscuri per dimensioni, tempi di realizzazione, eterogeneità dei materiali e degli elementi e agenti coinvolti. Come tali, le geoscienze sono naturalmente predisposte all'analisi di problemi che richiedano la spiegazione dei fenomeni interconnessi osservati e a cui occorre rispondere con soluzioni realizzabili a diverse scale temporali e spaziali, partendo da ipotesi multiple e di difficile verifica diretta.

Tra gli aspetti di interesse vi sono: a) la ricerca, quantificazione e sfruttamento delle **risorse minerali, rinnovabili e non**; b) la caratterizzazione, quantificazione, difesa e bonifica della qualità e

quantità delle **risorse idriche**; l'impiego di tecniche invasive per l'estrazione di risorse minerarie e idriche; c) lo studio dell'**erosione ed evoluzione del paesaggio** anche a seguito dell'azione antropica; d) l'**individuazione delle aree urbanizzabili** o ideali per la realizzazione di strutture e infrastrutture, che consentano il minore impatto sistemico sull'ambiente; e) gli **effetti delle variazioni climatiche** sulle attività umane o sull'ambiente a seguito dell'azione antropica, e viceversa; f) l'**analisi dei rischi geologici** quali frane, alluvioni, terremoti associati allo sfruttamento del territorio; g) il geoturismo per la formazione di una coscienza sullo sviluppo sostenibile o la valutazione della fruibilità di ambienti geologicamente attivi. Questi temi sono quindi fondamentali nelle ricerche sullo **sviluppo sostenibile** entro cui le geoscienze possono giocare un ruolo attuale e determinante. L'Italia è caratterizzata da un territorio geologicamente complesso, a elevata densità di popolazione, con attività economiche e industriali di grande rilevanza, con necessità di grandi infrastrutture in aree attive dal punto di vista geomorfologico, idrologico e sismico, con risorse minerarie limitate, con attività agricole estese e risorse idriche di grande qualità ma anche fortemente a rischio. Per tali ragioni il ruolo che le geoscienze italiane possono giocare nello sviluppo sostenibile dell'ambiente e delle attività umane è estremamente attuale e deve essere considerato fondamentale nella formazione e nel quadro legislativo.



Il sovrautilizzo del suolo nella zona a nord di Napoli.

Antropocene: l'epoca dell'UOMO

L'attività umana ha avuto un impatto drammatico sul paesaggio, sul sottosuolo e sul sistema Terra in generale, provocando cambiamenti atmosferici, chimici, fisici e biologici altamente significativi.

Questi cambiamenti sono sufficientemente significativi e permanenti da segnare l'inizio di una nuova epoca geologica, l'Antropocene?

Cambiamenti antropogenici

La **Commissione Internazionale di Stratigrafia** (ICS), che definisce la Scala Internazionale dei Tempi Geologici e stabilisce alcuni standard validi globalmente per classificare il tempo geologico, sta attualmente considerando se definire una nuova epoca geologica – l'“**epoca umana**” o **Antropocene** – per

distinguere nella scala dei tempi geologici l'estensione temporale dell'impatto che noi abbiamo avuto sul nostro Pianeta. Alcuni geologi stratigrafi suggeriscono la Seconda Rivoluzione Industriale (1870), con l'introduzione nel processo produttivo dell'elettricità, dei prodotti chimici e del petrolio, come inizio dell'Antropocene, riconoscendo che gli effetti di 1.850 miliardi di tonnellate di CO₂ che l'umanità ha



rilasciato nell'atmosfera da quel momento si possono estendere su un tempo geologico apprezzabile. Altri ritengono che un permanente impatto dell'uomo sul Pianeta possa essere precedente alla Rivoluzione Industriale, e può essere fatto risalire alla fase di sviluppo dell'allevamento e delle culture stanziali, circa 8.000 anni fa. Qualunque sia la data di inizio, lo sviluppo della società umana è stato responsabile di significativi cambiamenti del territorio e del paesaggio, attraverso un'ampia varietà di processi che comprendono: agricoltura, costruzioni, canalizzazioni e regimazione dei corsi d'acqua, deforestazione, espansione delle aree urbane, industrializzazione. L'uomo ha anche lasciato un segno potenzialmente indelebile di contaminazione e inquinamento nell'aria, sulla superficie terrestre, negli oceani, nei fiumi, nei laghi e nel sottosuolo.

Gli indicatori di questa contaminazione comprendono l'**inquinamento da piombo**, che è prodotto principalmente dalle fonderie, dall'industria siderurgica e dagli inceneritori, e che oggi ha raggiunto anche località remote come le zone polari.

La Rivoluzione Industriale, oltre a diffondere l'uso dei combustibili fossili, portò considerevoli livelli di **contaminazione legati alle attività di estrazione mineraria**, di fonderia, e alla diffusione di sostanze inquinanti derivate da altre **attività industriali** e dallo **smaltimento dei rifiuti**.

Attualmente, la comunità geologica internazionale sta facendo ricerche per comprendere l'entità, il tipo, il livello, e l'importanza dell'attività umana sull'**uso del suolo** e sui principali **processi naturali** del sistema Terra, per definire qual è il suo impatto e il suo conseguente significato geologico.

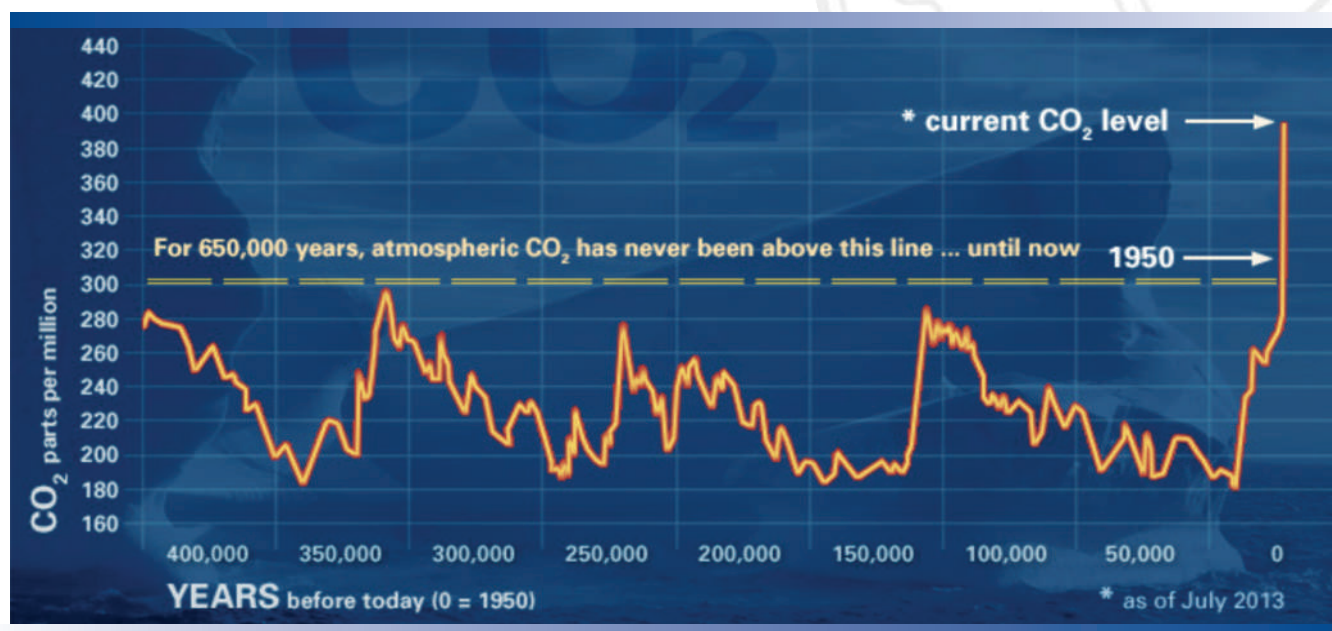
La combinazione di questi cambiamenti e il loro impatto sulla chimica, la biologia e la geomorfologia della superficie terrestre, del sottosuolo, degli oceani e dell'atmosfera, potrebbe aiutare a delimitare l'Antropocene e a definire le sue caratteristiche ambientali.

Questo è importante?

A prescindere dalla conclusione della Commissione Internazionale di Stratigrafia (ICS) che l'Antropocene soddisfi o meno la definizione di una nuova epoca geologica, il termine ha rapidamente acquisito valore non solo tra gli addetti ai lavori. Questo fatto significa che complessivamente l'impatto delle attività dell'uomo sul nostro Pianeta, che non si limita alle sole variazioni climatiche, può persistere su una scala di tempi geologici, e questa consapevolezza può essere utile per impostare una risposta adeguata a questo problema.

Il futuro

Con la popolazione mondiale che è stato stimato raggiungerà 9 miliardi di abitanti nel 2045, ci sarà un incremento della pressione antropica sulle risorse, l'ambiente e la parte superficiale del sottosuolo, in particolare per la costruzione di aree dove è fortemente richiesta la realizzazione di sottoservizi e infrastrutture complesse. Vivere nell'Antropocene presenterà nuove sfide per le società e i governi di tutto il mondo.



Gli attuali livelli di CO_2 sono intorno ai 400 ppm (parti per milione), almeno il 25% in più del massimo raggiunto negli ultimi 450.000 anni (dati ICCP 2014).

GEOSCIENZE per i beni culturali

Le geoscienze entrano oramai prepotentemente in quasi tutti gli aspetti che riguardano i beni culturali, dalla gestione e conservazione dei territori e paesaggi di interesse storico, alla caratterizzazione al restauro dei monumenti intesi, nel caso specifico e in senso lato, come quei numerosissimi prodotti dell'attività umana costituiti da materiali inorganici naturali o artificiali. Il processo di coinvolgimento di queste scienze è stato lento, e si può forse far risalire alla fine del Rinascimento quando a Firenze e a Roma nacque l'interesse per le pietre antiche, la loro lavorabilità e durevolezza, e continuò accrescendosi nei secoli successivi con la consapevolezza Winkelnmanniana dell'importanza dei materiali costituenti l'opera d'arte da un lato, e con lo svilupparsi delle scienze chimiche e naturalistiche dall'altro. Per le pietre dei monumenti, ad esempio, già alla fine dell'Ottocento l'illustre geologo berlinese R. Lepsius gettò le basi dell'**archeometria** dei marmi, e nei primi anni del Novecento A. Kieslinger, geologo viennese, quelle della conoscenza dei fenomeni del loro deterioramento. Ma è dal 1970 in poi che aumenta enormemente il coinvolgimento delle cosiddette "scienze esatte" nello studio dei beni culturali, e quelle geologiche hanno giocato da allora un ruolo sempre più importante. Basti pensare per l'Italia agli studi su vasta scala del **rischio sismico dei monumenti** dell'Umbria, alle campagne di indagine sulla conservazione delle pietre barocche di Lecce e della Val di Noto, o a quelle sui dipinti murali di Firenze e sul **degrado** dei marmi di Venezia dopo le alluvioni del 1966; per altre regioni mediterranee e mondiali, agli importanti esiti delle ricerche geologiche sui monumenti dell'Acropoli di Atene, o a quelli sui templi egiziani di Abu Simbel, giavanesi di Borobudur, cambogiani di Angkor Wat, ecc. In tutti questi patrimoni dell'umanità le geoscienze hanno svolto un ruolo determinante per il successo degli

interventi conservativi e di valorizzazione, anche se in generale poco conosciuto al grande pubblico. La **geologia** per accertare le strutture su cui essi poggiano e la natura dei suoli e dei terreni, la **geofisica** per verificarne l'eventuale sismicità, la **mineralogia**, **petrografia** e **geochimica** per deter-



Figura 1 - Bartolomeo Bon, statua della Carità della Porta della Carta di Palazzo Ducale di Venezia, prima del restauro. È in marmo di Carrara fortemente deteriorato per effetto della solfatazione da inquinamento atmosferico, responsabile della formazione delle croste nere visibili nelle parti protette dal dilavamento meteorico.



Figura 2 - Micrografia al SEM della crosta nera prelevata dalla Carità mostrante una micro-geode di cristalli geminati a ferro di lancia di gesso formatasi per reazione tra la calcite del marmo e l'acido solforico da inquinamento atmosferico.

minare la composizione mineralogica e chimica, la tessitura e struttura dei materiali lapidei costituenti (informazioni fondamentali per risalire alle loro **cave di provenienza**, e quindi anche alla possibilità di **reperimento di litotipi** per restauri di sostituzione), o i materiali di partenza e le modalità di lavorazione e manifattura per quelli litoidi (laterizi, malte, intonaci), nonché, di tutti, il loro stato di conservazione (micromorfologie, cause e meccanismi di deterioramento: fig. 1 e 2). La **petrofisica** e la **geotecnica** sono risultate insostituibili nelle applicazioni ai materiali e ai suoli di fondazione dei monumenti, la prima ad esempio nella determinazione delle

caratteristiche fisiche (di densità, durezza, conducibilità termica, permeabilità, porosità, ecc.) e meccaniche (resistenza a compressione, flessione, trazione, taglio), la seconda in analoghe caratterizzazioni sulle argille e altre rocce coerenti e incoerenti. La **geologia applicata** infine risolve spesso problemi di frane che minacciano di distruzione siti e monumenti archeologici.

In definitiva si può ben dire che l'apporto del geologo di campagna, come di quello di laboratorio, è divenuto indispensabile al buon successo di innumerevoli tipologie di intervento sui beni culturali materiali dell'umanità.

ISTRUZIONE ed educazione geologica

La geologia è una disciplina affascinante e importante allo stesso tempo perché tutti i materiali di cui la nostra società ha bisogno (petrolio, gas, metalli, materiali da costruzione, fertilizzanti per l'agricoltura etc.) devono essere scoperti dai geologi. La storia della vita, la deriva dei continenti, la formazione e la distruzione, delle catene di montagne, il clima del passato e i cambiamenti climatici si basano su dati geologici. La località dove deve essere costruita ogni casa, edificio, strada, ferrovia, galleria deve essere valutato per la stabilità e il rischio geologico. Protezione ambientale, bonifica ambientale, preservare l'acqua pulita, la protezione dai rischi geologici, quali frane, alluvioni, terremoti ed eruzioni vulcaniche sono tutti temi tipicamente geologici. L'Italia è un territorio totalmente sismico, è un paese "quasi totalmente" a rischio idrogeologico: 5.581 comuni, pari al 70% del totale, sono a potenziale rischio elevato. A causa di tutte queste necessità le opportunità di lavoro per i geologi non mancano, nè in Italia nè all'estero.

La geologia è quindi di importanza fondamentale per la vita delle persone e per tutte le attività che incidono sull'ambiente naturale. Un'**educazione geologica** è necessaria non solo per chi lavora in questo campo ma per tutti i cittadini, professionisti e amministratori pubblici e privati per avere piena coscienza dell'impatto delle attività umane presenti e future sul nostro pianeta. Nonostante la geologia sia molto più presente nei mass media rispetto a qualche anno fa l'insegnamento della geologia nelle scuole primarie e secondarie non ha registrato lo stesso andamento. Si assiste al divario tra la crescente necessità di formare i giovani con le basi della geologia e il progressivo ruolo sempre più marginale dell'insegnamento della geologia nelle scuole. Assistiamo,

addirittura, alla mancanza della geologia nei corsi di laurea che prepareranno i futuri insegnanti delle scuole primarie.

Le sfide che la società moderna deve affrontare non possono fare a meno del contributo di cittadini e tecnici consapevoli del territorio nel quale vivono, della sua struttura e della sua dinamica.

A livello universitario la legge 240/2010, in modo anacronistico e miope e nonostante l'alto livello di ricerca internazionale della geologia italiana, ha ridotto ad 8 i **Dipartimenti di Scienze della Terra** a partire dai 29 precedenti. La conseguenza diretta è che verranno a mancare i luoghi dove si preparano i professionisti, gli insegnanti e i ricercatori di domani nel paese dell'Europa più sensibile ai numerosi rischi geologici. I criteri di accreditamento ministeriali delle **Scuole di Dottorato**, uniti alla cronica mancanza di finanziamenti e ai sempre più crescenti tagli economici lineari stanno portando alla forte contrazione anche del terzo livello di istruzione. Il rischio reale, che il MIUR e i politici non riescono a vedere nonostante le numerosissime lettere ed interventi in proposito provenienti da più

Totale Immatricolati L-34 - 2003-2013

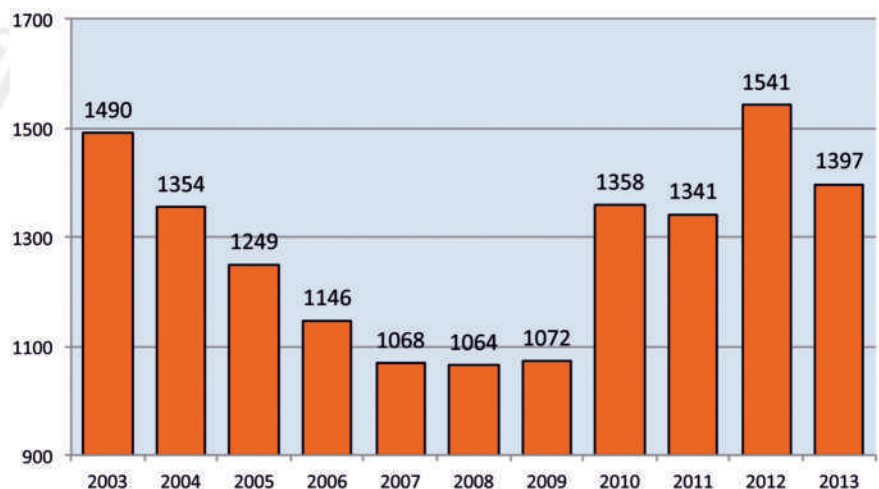


Figura 1 - Numero totale di immatricolati delle Università italiane in Corsi di Laurea di primo livello nell'Area delle Scienze della Terra 2003-2013 (fonte: CUN area 04: sito web: <<http://comitato04cun.wix.com/home>>).

parti, è che vada ad estinguersi un patrimonio di conoscenze scientifiche e professionalità, di primaria importanza per corrette e lungimiranti azioni di governo del paese.

Sul territorio italiano tuttavia, grazie al forte impegno personale dei docenti e del personale che a vario titolo lavora nelle strutture didattiche e di ricerca, vi sono ancora 29 sedi dove sono presenti le lauree triennali e magistrali delle classi di Scienze Geologiche (<http://www.scienzegeologiche-italia.geo.unimib.it/>) e quattro sedi dove sono presenti le lauree in Geofisica, dove è possibile laurearsi in Geologia e materie affini. Le classiche lezioni sono accompagnate da numerosi attività pratiche e di laboratorio nonché da numerosi periodi spesi ad osservare ed imparare direttamente sul terreno fuori dalle aule universitarie. Il rapporto docenti/studenti

è ottimale e permette un contatto continuo ed estremamente proficuo per gli studenti sia durante le lezioni sia durante le numerose attività pratiche.

Il trend delle immatricolazioni, dopo una flessione dal 2004 al 2009, è tornato a crescere tornando ai livelli dell'inizio anni 2000 (Fig. 1).

I docenti su tutto il territorio nazionale si sono coordinati e stanno migliorando l'**offerta formativa** dei corsi di laurea anche in sintonia con l'Ordine dei Geologi (che raccoglie tutti i professionisti del settore), sia a livello regionale che nazionale. I geologi sono consapevoli del ruolo importante che dovranno svolgere in armonia con gli altri attori e professionisti, non solo per migliorare la qualità della vita, ma per garantire il più possibile a tutti i cittadini e alle loro attività un ragionevole grado di sicurezza.

Programmare il futuro

Conoscere il suolo e il sottosuolo e comprendere come gli edifici, le infrastrutture e le attività umane interagiscono con l'ambiente geologico sono elementi imprescindibili per poter assicurare la sicurezza e il benessere dei cittadini e affrontare la sfida dei cambiamenti dell'ambiente in cui viviamo.

● Geologia e ambiente costruito

La geingegneria è la disciplina che coniuga i principi della conoscenza geologica con gli aspetti più tipici dell'ingegneria, applicandoli in un'ampia varietà di contesti.

Il settore delle costruzioni impiega un gran numero di **geingegneri**, che insieme a **idrogeologi**, **geologi ambientali** e altri **geoscientiati**, hanno il compito di studiare e comprendere l'assetto geologico di suolo e sottosuolo e di analizzare come gli elementi dell'**ambiente costruito**, quali edifici, strade, ferrovie, dighe, tunnel, tubazioni, interagiscono con il contesto geologico.

Un ruolo fondamentale di questo settore delle geoscienze, con importanti ricadute di interesse

sociale, è la valutazione degli impatti e delle modifiche che si possono indurre sull'ambiente, rendendo possibile prevenire o rimediare l'inquinamento del suolo, specialmente in aree che sono state utilizzate per attività industriali (aree di bonifica), ma anche valutare e gestire gli effetti indotti dai fenomeni geologici quali i terremoti, le frane, la subsidenza, le alluvioni.

La sottovalutazione dell'importanza di questa attività e del ruolo dei geoscientiati in progetti infrastrutturali di rilievo, o la non corretta realizzazione degli studi, è spesso causa di un aumento significativo dei costi e dei tempi di realizzazione delle opere. Una corretta individuazione e gestione dei problemi connessi all'interazione del costruito con il **sistema suolo/sottosuolo** è essenziale per as-

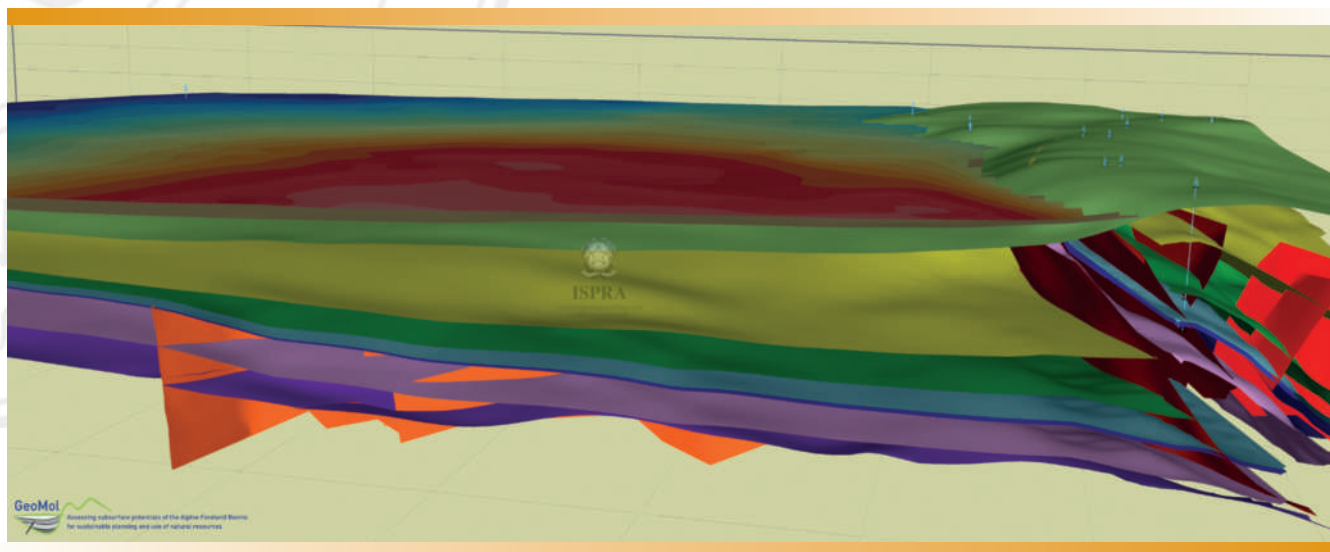


Figura 1 - Modello geologico tridimensionale di una porzione del sottosuolo della Pianura Padana (elaborazione ISPRA; Progetto GeoMol www.geomol.eu).

sicurare la sicurezza e la salute pubblica, e la qualità dell'ambiente nel quale viviamo.

Standard professionali elevati devono essere definiti e sostenuti da geologi, ingegneri e da tutti coloro che lavorano per il bene della comunità. Pericoli di natura geotecnica possono colpire tutti coloro che sono coinvolti nel mondo dell'edilizia e delle infrastrutture, inclusi gli utilizzatori delle stesse opere (in taluni casi gli stessi governi impegnati in grandi progetti infrastrutturali), i progettisti, i costruttori, i cittadini.

I geologi dovranno svolgere un ruolo essenziale nello sviluppo delle infrastrutture in un futuro nel quale l'economia si muoverà verso energie a basse emissioni in atmosfera e a ridotto impatto.

Dai dati ai modelli: il ruolo del Servizio Geologico d'Italia

Il sottosuolo della nostra penisola è stato oggetto di indagini esplorative, seppur discontinue nel corso della storia, per individuare, conoscere e quantificare le risorse idriche ed energetiche che custodisce. La crescente domanda di utilizzo, talora concorrente, delle risorse presenti nel sottosuolo e la ricerca sempre più sofisticata di risorse rende indispensabile introdurre innovazione anche nei metodi di **mappatura** e **modellazione del sottosuolo**.

Il Servizio Geologico d'Italia da più di 140 anni ha il compito istituzionale di effettuare e coordinare la mappatura geologica del territorio nazionale, di raccogliere le informazioni derivanti dalle perforazioni, di organizzare e mantenere numerosi altri dataset geotematici e di renderli pubblici attraverso il Portale web <http://sgi.isprambiente.it/geoportal/>. Una mole di **dati informatizzati** che consente di costruire **modelli geologici tridimensionali** multiscala e accurati in grado di descrivere i corpi rocciosi e l'assetto strutturale, anche di zone ad elevata complessità.

Tale attività si può rivelare di grande interesse per gli idrogeologi, i geologi applicati e in numerosi altri contesti applicativi, inclusa la **modellazione di sistemi idrogeologici** a supporto della domanda di acque potabili, i progetti per opere infrastrutturali, le attività di **sifing**, lo **sfruttamento sostenibile delle risorse naturali**.

La geologia urbana - progettare le città del futuro

Una percentuale sempre crescente della popolazione mondiale vive in città, sempre più grandi e complesse. Il lavoro dei geologi nel gestire l'utilizzo concorrente, e talora in competizione, del suolo e del sottosuolo sarà determinante soprattutto nelle aree urbane, se vorremo **costruire città sostenibili**.

Lo spazio disponibile per le attività umane non è più sufficiente. Il sottosuolo è usato in modo intensivo per molteplici scopi, dai trasporti (metropolitane e tunnel stradali) alla distribuzione dei servizi essenziali (acqua, gas, elettricità). La **fornitura di acqua ed energia**, ma anche lo **stoccaggio dei rifiuti**, pongono sfide soprattutto nelle grandi città, ma costituiscono anche un'opportunità di innovazione.

Il tessuto costruito deve essere progettato per massimizzare l'efficienza energetica, e gestire (e utilizzare) l'effetto "urban heat island". Grandi progetti infrastrutturali per il trasporto nel sottosuolo necessitano di competenze specialistiche diversificate di tecnici e ricercatori, come i geologi applicati e gli idrogeologi. La migliore comprensione della complessità del sottosuolo e lo sviluppo di nuovi strumenti e tecnologie consentono di arrivare allo sfruttamento di risorse anche in ambienti fortemente urbanizzati.

Utilizzare il sottosuolo

I geologi sono protagonisti di molte attività connesse all'utilizzo del sottosuolo: la ricerca e utilizzo di **risorse energetiche** e, di **acqua**, di **risorse minerarie**; lo sfruttamento della porosità delle rocce per lo stoccaggio di CO₂ o delle formazioni naturali per l'**immagazzinamento di gas naturale**; l'individuazione di siti adatti alle attività di **stoccaggio di rifiuti**, anche radioattivi; le **fondamenta** degli edifici; la **posa in opera di cavi**, e servizi; lo **scavo di tunnel** per trasporti.

Ogni volta che ci rivolgiamo al sottosuolo per sviluppare servizi questi devono essere opportunamente ed attentamente pianificati. Ogni volume roccioso può essere sfruttato per diversi utilizzi, temporalmente distinti o concorrenti. I geologi hanno le competenze per fornire supporto tecnico-scientifico e conoscenze, ma le decisioni su come utilizzare la geosfera sono di natura politica ed economica.

