

ENI AWARD 2016

Premio Nuove Frontiere degli Idrocarburi - Sezione Upstream

Christopher Ballentine

Vincitore

Nuovi traccianti per lo studio delle trasformazioni e degli spostamenti dei fluidi nel sottosuolo

Abstract

Con i loro 23 isotopi esistenti in natura, i gas nobili elio, neon, argon, kripton e xeno costituiscono una “stele di Rosetta” inorganica con capacità senza precedenti di identificare e misurare i processi che controllano sistemi multifase (solida, gassosa, liquida e oleosa) nell'esplorazione petrolifera. Alcuni impieghi di questa cornucopia isotopica hanno dimostrato come la “firma” dei gas nobili nelle acque di falda sia unica e consenta di valutare l'estensione della interazione delle acque di falda con ogni fase idrocarburica. Questa caratteristica è di cruciale importanza per la comprensione di una serie di fenomeni quali lo sviluppo della porosità di un sistema, il *water washing* e la qualità del petrolio, il *water drive* regionale e la presenza di idrocarburi, e infine l'identificazione e l'essoluzione di giacimenti di gas. I gas nobili prodotti dalla radioattività naturale consentono infatti di fornire vincoli temporali ai processi che coinvolgono gli idrocarburi e sono stati utilizzati per ottenere fondamentali progressi nell'identificazione del meccanismo e della velocità di produzione di gas biogenico nelle argille. L'uso di gas nobili per individuare gas a basso potere calorifico (^4He , CO_2 e N_2) ha incrementato in maniera significativa le capacità di previsione del rischio, e per quanto riguarda la CO_2 ha inoltre permesso la prima valutazione quantitativa che i processi di dissoluzione e mineralizzazione hanno nella rimozione della CO_2 dai sistemi sotterranei. Queste informazioni sono essenziali per sviluppare protocolli di sicurezza sia per processi di recupero assistito di greggio (EOR) tramite CO_2 , sia per lo stoccaggio permanente della CO_2 antropogenica.

Biografia

Chris Ballentine si è laureato in Chimica Fisica presso l'Institute of Science and Technology della University of Manchester ed ha conseguito il dottorato in Geochimica presso la University of Cambridge (UK). Ha dedicato la sua carriera scientifica allo sviluppo di tecniche per una migliore comprensione della provenienza di gas e liquidi in differenti sistemi terrestri, nonché alla determinazione dei ruoli chiave che essi svolgono in questi sistemi, tra cui in particolare l'identificazione dei processi che controllano l'origine, la migrazione e l'interazione sotterranea di acqua, idrocarburi e CO_2 in diversi ambienti continentali. I suoi interessi si rivolgono inoltre alla comprensione di come la terra abbia costituito la sua dotazione di gas, ai processi che

controllano l'interazione del mantello terrestre con gli oceani e l'atmosfera e a come, attraverso questa interazione, questi differenti sistemi siano mutati nel corso del tempo. Dopo Cambridge, la sua carriera ha condotto il Professor Ballentine in Svizzera (al Paul Scherrer Institute e all'ETH Zurich), negli Stati Uniti (University of Michigan), di nuovo nel Regno Unito (University of Manchester) e infine, nel 2013, alla University of Oxford, dove riveste l'incarico di Professore e ricopre la cattedra di Geochimica presso il Dipartimento di Scienze della Terra.

Chris Ballentine è inoltre Professorial Fellow del St Hugh's College ad Oxford. Ha vinto nel 2008 la Geological Society 'Bigsby' medal per i suoi rilevanti contributi alla geologia, nel 2013 è stato nominato Fellow della American Geophysical Union per il suo importante lavoro in geochimica riguardante la comprensione dell'origine degli elementi volatili della Terra, ed è detentore di un European Research Council award (2011-2016). È stato tra i co-fondatori della Deep Energy Community e del Deep Carbon Observatory (DCO) nel 2011-2012. Sostiene fortemente la necessità di dare rilievo internazionale alla geochimica e di rafforzarne i meccanismi di comunicazione scientifica. Il professor Ballentine è stato Vice Presidente, Presidente e Ex Presidente della European Association of Geochemistry (EAG) (2011-2016), incrementandone i membri fino a contare quasi 3000 geochimici. Inoltre, dal 2007 è stato coinvolto nell'organizzazione e nella concezione della struttura e della *governance* delle conferenze EAG Goldschmidt: ha presieduto quella di Davos nel 2009, ha partecipato in qualità di Goldschmidt officer a Praga nel 2011, e ha co-presieduto quella di Firenze nel 2013, che ha visto la presenza di oltre 4200 delegati.

La University of Oxford è un centro di eccellenza a livello mondiale nella ricerca e nell'insegnamento accademico, ed è inoltre riconosciuta come una delle università scientifiche all'avanguardia nel mondo. Al Dipartimento di Scienze della Terra è stato assegnato il primo posto nel Regno Unito nella classifica riguardante le Scienze della Terra e dell'Ambiente dell'ultimo Research Excellence Framework (REF 2014).

Descrizione della ricerca

I fluidi in movimento attraverso gli spazi porosi e le fratture della roccia che si trova sotto ai nostri piedi hanno influenzato molta della chimica del pianeta su cui viviamo. Questi fluidi, infatti, sono in grado di cambiare la porosità della roccia attraverso fenomeni di erosione chimica e di deposito di minerali, di creare ecosistemi microbici, di generare masse minerali e, sotto forma di idrocarburi, di fornirci le riserve di energia su cui si basa attualmente la nostra società. Sulle scale dei tempi geologici molti fluidi esistono solo per attimi fugaci. Una delle maggiori sfide che si pongono nello studio dei sistemi di fluidi sotterranei è quella di determinare le circostanze fisiche in cui questi si sono formati. Per essere in grado di ricostruire i processi che guidano questa formazione, è necessario anche identificare l'origine e la quantità anche di quei fluidi che possono non essere più presenti in un sistema. Chris Ballentine ha dimostrato che - con i loro 23 isotopi esistenti in natura - i gas nobili elio, neon, argon, kripton e xeno costituiscono una "stele di Rosetta" inorganica con capacità senza precedenti di identificare e misurare le reazioni ed i processi che si sviluppano nei sistemi multifase in presenza di fasi solide, gassose, acquose ed oleose, aprendo la strada alla comprensione delle trasformazioni che avvengono e sono avvenute per milioni di anni nel sottosuolo.

Per esempio, i gas nobili dissolti nelle acque di falda si differenziano per il loro contenuto di

isotopi diverso da quasi ogni altra fonte sotterranea. Per questo, quando sono rinvenuti nel petrolio o nel gas naturale, la loro concentrazione indica con quanta acqua il petrolio o il gas sono stati in contatto – anche se l'acqua non è ormai più presente. Ciò è fondamentale per valutare i fenomeni a cui gli idrocarburi sono stati esposti: ad esempio il "lavaggio", da parte delle acque sotterranee, delle frazioni idrocarburiche più leggere (*water washing*) e la biodegradazione che determinano un abbassamento della qualità del petrolio, le lunghezze dei percorsi di migrazione e infine permettono di decidere se il gas è presente in giacimento essendosi separato dalle fasi oleose ed acquose (essoluzione), oppure se è risalito dalle profondità per "galleggiamento" separandosi dalle fasi oleose ed acquose essendo di densità inferiore. Un secondo livello di informazioni è inoltre incorporato nei gas nobili, dal momento che ne conosciamo le proporzioni elementari nelle diverse fasi fluide e gassose. Quando nella fase idrocarburica si presentano alterate, dal momento che i gas nobili sono inerti, è perché sono intervenuti processi fisici che ne hanno modificato l'entità: tra questi si possono includere la redistribuzione degli isotopi nelle fasi gassose ed acquose, la formazione di accumuli di gas nelle trappole stratigrafiche, il comportamento di sistemi chiusi e sistemi aperti o la perdita di gas per diffusione nelle profondità del sottosuolo. L'identificazione delle origini dei fluidi, della massa di fluido e la ricostruzione dei processi fisici di sistemi di fluidi sotterranei costituiscono un progresso di rilievo nell'ambito delle tecniche per la predizione di risorse future, per l'estrazione efficiente e per pratiche ambientali sicure.

Tra ***i punti salienti*** del lavoro del Professor Ballentine vi sono il fatto di mostrare come i giacimenti di gas naturale formati da flussi di acque di falda su scala di bacino e da degassaggio possano essere differenziati da giacimenti che si sono formati per migrazione attraverso la risalita del gas dagli strati più profondi per spinta idrostatica ("galleggiamento"). Di decidere se la formazione di minerali per diagenesi sia avvenuta per contatto con l'acqua a livello regionale o locale, fondamentali per la comprensione del riempimento avvenuto nei campi petroliferi del Mare del Nord. Di fornire le fondamenta per determinare il tasso di produzione biogenica di CH₄ (metano) in-situ attraverso lo studio dei gas nobili nel metano da carbone nel bacino San-Juan (USA) e, successivamente, in quello di Albany Shale, in Michigan. Christopher Ballentine ha inoltre mostrato il ruolo chiave delle acque di falda regionali nell'accumulo e concentrazione di azoto ed elio, in grado di creare giacimenti di elio sfruttabili commercialmente. Nell'ambito degli studi di trasformazione in minerale della CO₂ iniettata nelle acque di falda ha dimostrato che la trasformazione della CO₂ in minerali stabili rappresenta un fenomeno di ridotte proporzioni e che la sua dissoluzione si interrompe una volta raggiunta la saturazione della fase acquosa, indipendentemente dai tempi di esposizione, portando come conseguenza ad avere CO₂ in fase separata. Questo aspetto dovrà essere tenuto in considerazione sia negli studi per valutare l'impiego della CO₂ nei processi di recupero assistito di greggio (CO₂-EOR) sia in quelli per lo smaltimento della CO₂ antropogenica in giacimenti esauriti o in profondità nelle acque di strato che dovranno assicurare il contenimento della frazione della CO₂ presente in fase separata.

Il futuro della ricerca del professor Ballentine comprende l'applicazione di gas nobili all'analisi di quanto petrolio e gas siano migrati in determinati sistemi, utili per la calibrazione dei modelli di generazione degli idrocarburi su scala di bacino; alla comprensione di come possiamo usare i gas nobili per prevedere con maggiore efficacia la quantità di gas idrocarburici ricavabile da fonti di gas in strutture a bassa permeabilità (*tight gas*); alla conoscenza di come, utilizzando le "impronte digitali" dei gas nobili contenuti nelle fasi idrocarburiche, possiamo tracciare e monitorare ogni perdita o infiltrazione in sistemi di fluidi più superficiali.

ENI AWARD 2016

Premio Debutto nella Ricerca

Alessandra Menafoglio

Vincitore

Geostatistica orientata agli oggetti

Abstract

Il progetto di ricerca di Alessandra Menafoglio introduce ed esplora la Object Oriented Geostatistics, una frontiera innovativa della statistica applicata che risponde alla necessità di analizzare insiemi di dati complessi – quali curve, superfici o immagini – distribuiti nello spazio. Attraverso l'uso di metodi matematico-statistici avanzati, la ricerca di A. Menafoglio propone una teoria interamente generale che formalizza l'intuizione per la quale dati riferiti a luoghi geograficamente vicini generano informazione "simile" (ovvero che vi sia dipendenza spaziale tra i dati stessi). Le metodologie della Object Oriented Geostatistics consentono di misurare tale dipendenza con il fine ultimo di fornire stime e previsioni del fenomeno studiato sfruttando interamente il complesso contenuto informativo dei dati. Il contributo scientifico di Alessandra Menafoglio amplia considerevolmente l'applicabilità dei metodi geostatistici classici in contesti d'avanguardia della ricerca industriale e ambientale, nei quali i dati sono complessi ma in numero limitato, ed è dunque cruciale fornire previsioni esaustive del fenomeno quando non ne sia possibile l'osservazione diretta.

Biografia

Alessandra Menafoglio ha svolto gli studi universitari in Ingegneria Matematica presso il Politecnico di Milano, dove ha conseguito con lode la Laurea nel 2009 e la Laurea Magistrale nel 2011. Presso il Politecnico di Milano ha ottenuto nel 2015 il titolo di Dottore di Ricerca in Modelli e Metodi Matematici per l'Ingegneria.

L'attività di ricerca oggetto della dissertazione di Alessandra Menafoglio, dal titolo *Object Oriented Geostatistics*, è stata sviluppata sotto la supervisione del prof. Piercesare Secchi, presso il Laboratorio MOX del Dipartimento di Matematica del Politecnico di Milano. Tra i contributi scientifici della sua dissertazione, particolarmente significativa è la proposta di una teoria geostatistica interamente originale e fortemente innovativa volta al trattamento di dati complessi, ad alta o infinita dimensionalità, distribuiti spazialmente.

Durante il percorso di dottorato, Alessandra Menafoglio è stata *visiting scholar* per un periodo di tre mesi presso il dipartimento di Statistical Science dello University College London (UK). Ha inoltre svolto periodi più brevi da *visiting scholar* presso la Palacky University di Olomouc (Repubblica Ceca) e la Stanford University (USA).

La rilevanza scientifica dell'attività di ricerca di Alessandra Menafoglio è testimoniata dalla pubblicazione di nove articoli su autorevoli riviste *peer-reviewed* internazionali e dalla partecipazione a numerose conferenze scientifiche internazionali, di cui sette su invito. Opera abitualmente come *reviewer* per numerose riviste internazionali. Alessandra Menafoglio è stata inoltre premiata come migliore studente del Politecnico di Milano per il suo percorso accademico 2010/2011.

La dottoressa Menafoglio è attualmente assegnista di ricerca presso il Politecnico di Milano. La sua attività si focalizza sullo sviluppo di metodi per l'analisi di dati spaziali complessi ed eterogenei, attraverso un approccio orientato agli oggetti.

Descrizione della ricerca

La qualità della modellazione e previsione dei processi che hanno luogo in bacini e sistemi acquiferi dipende in modo sostanziale dalla capacità di massimizzare l'uso e l'interpretazione dell'informazione apportata dai dati di campo. Negli studi moderni, le osservazioni disponibili sono molteplici e complesse, spesso raccolte sotto forma di dati eterogenei e altamente dimensionali. Ad esempio, le osservazioni sedimentologiche e/o geochimiche sono abitualmente disponibili sotto forma di dati funzionali (e.g., curve, superfici o immagini) o dati distribuzionali (i.e., che descrivono le proprietà probabilistiche della variabile studiata, e.g., funzioni di ripartizione o densità di probabilità). Questi oggetti sono in generale infinito-dimensionali (i.e., necessitano di un'infinità di valutazioni puntuali per essere interamente caratterizzati), talvolta sono vincolati, e pertanto la loro interpretazione e trattamento statistico pone nuove e rivoluzionarie sfide per la comunità scientifica.

In questo contesto, il progetto di ricerca di Alessandra Menafoglio introduce ed esplora la *Object Oriented Geostatistics* come una branca originale della statistica volta ad affrontare il problema della caratterizzazione di collezioni di dati ad alta o infinita dimensionalità, spazialmente dipendenti ed eventualmente contraddistinti da una struttura spaziale eterogenea (e.g., raggruppamento nei dati). Il concetto fondante della ricerca è la considerazione del dato come "oggetto": l'"atomo" dell'analisi geostatistica è l'intero oggetto, invece che un numero limitato di caratteristiche dello stesso.

Questo punto di vista innovativo alla geostatistica consente di sfruttare l'intero contenuto informativo dei dati, eventualmente incorporando informazione secondarie raccolte in situ. Una caratteristica dei risultati della ricerca, degna di nota dal punto di vista applicativo, è la possibilità di fornire previsioni ottimali e robuste di una grande varietà di oggetti complessi oggi comunemente disponibili in

studi industriali e ambientali (e.g., curve di compattazione, curve di produzione da pozzi, dati sulle proprietà tessiturali e composizionali del suolo), a un costo (sia modellistico che computazionale) comparabile ai metodi classici uno-dimensionali.

La teoria matematica sviluppata è interamente generale e costituisce un contesto unificante per una gamma esaustiva di problemi geostatistici alla frontiera dalla ricerca industriale e ambientale. Esempi di applicazioni di medio e lungo periodo della ricerca, attualmente oggetto di studio, includono (a) quantificazione dell'incertezza legata a risposte complesse; (b) modellazione di flusso e trasporto basate su simulazioni Monte Carlo funzionali; (c) modellazione surrogata efficiente; (d) disegno spaziale ottimo basato su previsioni funzionali e/o di distribuzioni locali.