

CARTOGRAFIA GEOCHIMICA AMBIENTALE DELL'ITALIA SIN LITORALE DOMIZIO-FLEGREO E AGRO AVERSANO

Benedetto De Vivo

Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e delle Risorse
Università di Napoli Federico II

Napoli, 14.02.2017

1. Premessa

La contaminazione dell'ambiente con sostanze tossiche, determinata da attività antropiche è finalmente diventata un argomento cruciale sia nelle relazioni fra paesi industrializzati, sia all'interno dei singoli Stati. In questo quadro, si rende necessaria una conoscenza dettagliata dei fenomeni legati alle variazioni dell'ambiente naturale per effetto dell'inquinamento del territorio.

Negli studi finalizzati alle indagini ambientali su un territorio per valutare le "condizioni di salute" di un'area, la geochimica ambientale contribuisce in maniera determinante affinché il risultato di una ricerca abbia una fondata validità scientifica e sia utile per individuare i pericoli dovuti alla presenza di sostanze nocive per la salute dell'uomo e per gli ecosistemi. È dunque evidente l'esigenza di attivare una valutazione e un controllo dello stato di degrado ambientale per effetto dell'inquinamento attraverso la mappatura geochimica del territorio. Questo consente di determinare, tra l'altro, il valore dei tenori di fondo naturali (*background*) degli elementi chimici presenti nei suoli di un territorio specifico. Infatti è grazie alla determinazione di tali valori di concentrazione *background* che può essere effettuata la distinzione tra valori di concentrazioni relativamente "normali" e contaminazioni "anomale" dovute ad attività antropiche.

Recentemente, il mondo scientifico, ha posto altresì l'attenzione sul rapporto tra la geologia e la medicina, promuovendo la valutazione degli effetti dei fattori geologico-ambientali sulla distribuzione areale di patologie nell'uomo e negli animali. Particolari patologie infatti, sono maggiormente diffuse in alcune aree geografiche piuttosto che in altre. L'acquisizione di conoscenze scientifiche fondamentali di carattere geochimico, medico e nutrizionale sono comunque basilari per uno studio, condotto secondo le regole della ricerca scientifica, del rapporto causa-effetto fra fattori ambientali e problemi sanitari.

Pertanto la conoscenza della composizione chimica del territorio nazionale, la valutazione delle eventuali variazioni dovute ad inquinamento e la divulgazione di questi dati, sfruttando le moderne tecniche di rappresentazione grafica, costituiscono componenti indispensabili per la predisposizione di piani di monitoraggio e il controllo delle risorse territoriali, per lo sviluppo di una diversa concezione delle attività industriali e antropiche in generale, che tenga conto delle conseguenze gravi che queste ultime possono determinare per l'ambiente e per l'uomo.

La cartografia geochimica, oltre a svolgere un ruolo fondamentale nel contribuire ad incentivare la produttività del territorio mediante una più corretta gestione dell'ambiente, consente di individuare le aree interessate da concentrazioni anomale di elementi e composti tossici per la vita delle piante e degli animali e dell'uomo, di circoscrivere le aree potenzialmente ad alto pericolosità (es. luoghi di sversamento non autorizzato di rifiuti) e di pianificare interventi "sito specifici" per interventi mirati sia alla messa in sicurezza che alla bonifica.

2. La cartografia geochimica ambientale

Una delle principali applicazioni della geochimica è stata la prospezione quale strumento di indagine per il reperimento di risorse minerarie. Dalla metà degli anni '60 si è assistito ad un rapido fenomeno di conversione degli interessi della geochimica anche verso le questioni ambientali. Il suggestivo titolo "*Geochemistry and life*", del breve articolo di Webb (1964), può essere considerato come il segnale di svolta della ricerca geochimica applicata, svolta che finalmente valorizza quella che può essere indicata, a pieno titolo, come una vocazione naturale ed intrinseca della disciplina: la geochimica ambientale.

In tempi più recenti, per merito in particolare della comunità scientifica internazionale, è stato sviluppato un grosso lavoro nel settore della geochimica ambientale, lavoro che ha posto in rilievo l'esigenza di disporre di una cartografia geochimica regionale come *background* indispensabile per molteplici fini applicativi della geochimica ed in primo luogo appunto per quelli ambientali. Sull'onda di questa vasta sensibilizzazione e dell'avvertita necessità di produrre una cartografia idonea, sono nati, negli anni '90 i Progetti internazionali IUGS/IAGC (*Global Geochemical Baselines*) e FOREGS con lo scopo di creare un *network* di scienziati e di organizzazioni che potessero lavorare al fine di compilare una cartografia geochimica ambientale del Globo Terrestre e dell'Europa (Darnley et al., 1995; Plant et al., 1997). In questi progetti alla scala Globale e Euro-

pea, l'Italia è stata presente attraverso il gruppo di ricerca del Prof. B. De Vivo dell'Università di Napoli Federico II, che ha coinvolto anche gruppi delle Università di Siena e Padova (relativamente al progetto FOREGS). A livello internazionale, anche per effetto di questa sensibilizzazione, negli ultimi anni sono stati prodotti Atlanti Geochimici da parte dei Servizi Geologici Nazionali di diversi paesi, quali UK, Norvegia, Germania, Finlandia e altri a scala mondiale (USA, Cina, Canada) (BGS, 1987, 1990, 1991, 1992; Reimann et al., 1998; Bodiš et al., 1999; Kadunas et al., 1999; Ottesen et al., 2000). Per la compilazione della suddetta cartografia a scala planetaria, il Globo Terrestre è stato suddiviso in celle quadrate con lato di 160 km. Nell'ambito delle celle ricadenti in territorio europeo sono state effettuate le campionature di acque, sedimenti fluviali attivi (*stream sediments*), sedimenti alluvionali (*flood plain* e *overbank*), suoli e humus. Questa campionatura è stata eseguita in tutti i paesi europei a cura dei Servizi Geologici nazionali; per l'Italia, non dotata di un Servizio Geologico operativo, la campionatura è stata curata da gruppi di ricerca di alcune Università (Napoli, Padova, Siena), coordinate dal prof. B. De Vivo. Il riconoscimento universale che la cartografia geochimica ambientale costituisca un valido strumento di controllo del territorio, ha fatto nascere la necessità di organizzare un comune *database* a livello nazionale ed internazionale e di fornire un quadro di riferimento per l'adozione di metodologie standard per le mappature regionali e nazionali. Il tutto in vista anche di studi più localizzati e specialistici per dare risposta a problemi di carattere economico e/o ambientale che riguardano l'agricoltura, il comparto forestale, l'approvvigionamento di acqua e l'irrigazione, lo smaltimento dei rifiuti, il reperimento di risorse minerarie e il loro sfruttamento, la salute degli animali e degli uomini, le indagini epidemiologiche, l'inquinamento industriale nonché, in generale, l'uso del suolo.

Sulla base di queste premesse in Italia, il gruppo di ricerca dell'Università di Napoli "Federico II", utilizzando dati in gran parte provenienti da pregresse campagne di prospezione geochimica, rivolte alla ricerca di risorse minerarie, ha compilato le prime carte geochimiche riguardanti aree di ben nota vocazione mineraria: Calabria, Monti Peloritani, Sardegna e Toscana Meridionale (De Vivo et al., 1998a; 1998b; 2001).

Con l'idea di compiere un primo passo verso la realizzazione di un progetto volto alla compilazione di una cartografia geochimica dell'intero territorio nazionale in scala 1:250.000, con una maglia di campionatura di 1 campione ogni 5 km² è stato portato a termine il progetto relativo alla compilazione della cartografia geochimica della Regione Campania utilizzando quali campioni rappresentativi i sedimenti fluviali (De Vivo et al., 2006). Questa prima cartografia regionale della Campania, essendo stata ottenuta sulla base di concentrazioni metalliche in sedimenti fluviali e non già sui suoli e nelle acque, non risulta essere applicabile direttamente in funzione della L. 152/2006; essa risulta, comunque, di grande utilità in quanto consente di individuare su basi regionali le aree a rischio, su cui procedere successivamente con prospezioni di dettaglio attraverso una opportuna campionatura di suoli e acque. La prospezione geochimica della Campania è stata eseguita sull'intero territorio della Regione (13.595 Km²) ed ha comportato la raccolta di 2389 campioni di sedimenti fluviali. In alcune aree specifiche è stata poi realizzata la cartografia geochimica attraverso il prelievo dei suoli di aree urbane (area metropolitana di Napoli e aree urbane dei Comuni di Avellino, Benevento, Caserta e Salerno) (De Vivo et al. 2006c; Cicchella, 2002; Cicchella et al., 2003; 2005; 2008b; Lima et al., 2007; Albanese et al., 2007b; 2008 e 2011; Frattini et al., 2006a; 2006b; Fedele et al., 2008; Cicchella et al., 2008c; 2010b). I campioni di suolo sono stati analizzati per 37 elementi: Ag, Al, As, Au, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, Hg, K, La, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Sc, Se, Sr, Te, Th, Ti, Tl, U, V, W, Zn. In ogni sito campionato è stata, inoltre, misurata la radioattività totale e parziale utilizzando uno scintillometro portatile. La notevole mole di dati prodotti è stata organizzata in un *database* ed elaborata con metodi computerizzati per la produzione di carte della distribuzione degli elementi, di associazioni di elementi, di rischio, della radioattività totale e parziale.

A partire dal 2005, il gruppo di ricerca del Prof. De Vivo, che già aveva partecipato in rappresentanza dell'Italia al Progetto Europeo FOREGS (*Forum of European Geological Surveys*) (vedi, Salminen et al. 1998; 2005; De Vos et al., 2006, e altri lavori interpretativi, Lima et al., 2008, Fedele et al., 2008b), ha contribuito (coordinando i gruppi di ricerca delle Università di Bologna, di Cagliari e del Sannio) alla realizzazione dei Progetti GEMAS (*Geochemical Mapping of Agricultural and Grazing Land Soil in Europe*) e URGE (*Urban Geochemistry of Europe*), che hanno portato alla compilazione dell'Atlante Geochimico dei Suoli Agricoli e da Pascolo dell'intera Europa (Reimann et al., 2008, 2009, 2011, 2014) (presentato alla FAO, A Roma, il 5 dicembre 2013) e svariate altre pubblicazioni scientifiche.

Nel contesto dei sopramenzionati progetti Europei, è stato anche realizzato l'Atlante Europeo delle Acque Minerali (Reimann & Birke, Eds., 2010; De Vivo et al., 2010: un volume speciale di *Journal of Geochemical Exploration*) e diverse pubblicazioni scientifiche sempre sulle acque minerali (Cicchella et al., 2010; Dinelli

et al., 2010; 2012a; 2012b; Lima et al., 2010). In cascata alle iniziative Europee, il Gruppo coordinato dal Prof. B. De Vivo, ha portato a termine la compilazione della cartografia geochimica dei suoli della Regione Campania (Albanese 2007a; Cicchella et al., 2008a; De Vivo et al., 2003, 2006a, 2006b; Lima et al., 2003, 2005; De Vivo et al., 2017; De Vivo et al., 2016) e del SIN Litorale Domizio-Flegreo e Agro Aversano (De Vivo et al., 2008a; 2008b) (NB. Il SIN Litorale Domizio-Flegreo e Agro Aversano, costituisce la quasi totalità della Terra dei Fuochi), e in cascata dei Progetti Europei FOREGS e GEMAS, la compilazione degli Atlanti Geochimici d'Italia (utilizzando i campioni della griglia europea, ricadenti sul territorio Italiano (De Vivo et al., 2008; De Vivo et al., 2017) (Fig.1). Seppure i risultati ottenuti sono indicativi dei *trend* composizionali relazionati alle principali litologie e/o agli ambienti supergenici presenti sul territorio si sente fortemente l'esigenza di una cartografia geochimica dettagliata dei suoli dell'Italia, con una maglia adeguata in modo che possa essere utilizzata sia per il monitoraggio che per il controllo dell'impatto delle attività antropiche (autorizzate e non) sull'ambiente. La cartografia geochimica può essere altresì utilizzata per la delimitazione di aree potenzialmente pericolose per la salute dell'uomo e per gli ecosistemi naturali, dove poter approfondire le indagini "sito specifiche" per le attività di messa in sicurezza e/o di bonifica.

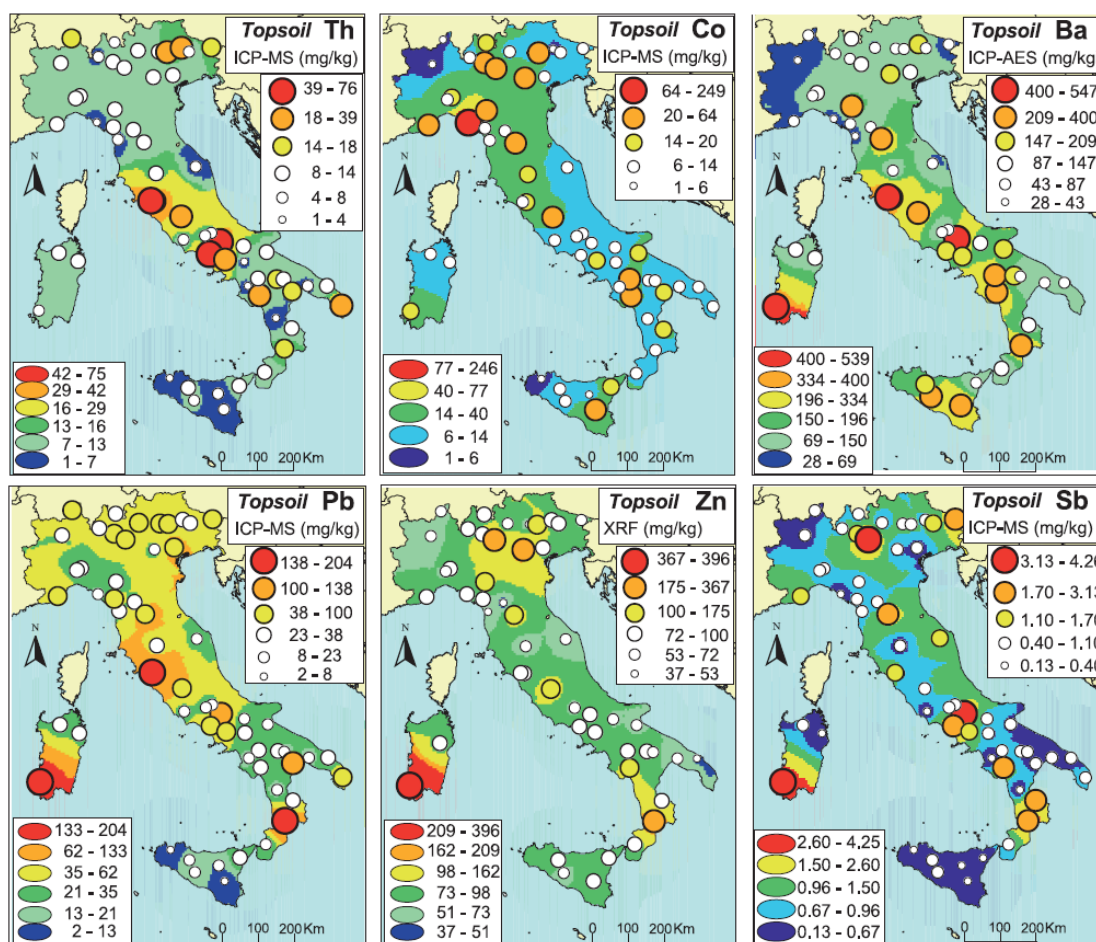


Figura 1. Esempio di cartografia geochimica a scala nazionale (De Vivo et al., 2008b). Distribuzione geochimica di Th, Co, Ba, Pb, Zn e Sb nei suoli italiani.

La mappatura geochimica sull'intero territorio nazionale va realizzata con una densità molto più fitta, rispetto a quella realizzata alla scala Europea. Similmente a quanto fatto in altri Paesi Europei, tale campionatura per l'intero territorio Italiano andrebbe effettuata con il prelievo di circa 90.000 campioni di suoli (densità di 1 campione per circa 4 km²), effettuando analisi per almeno 53 elementi inorganici, e per composti organici (IPA, PCB e Pesticidi). La campionatura per le analisi dei composti organici potrebbe prevedersi con una densità di 1 campione per circa 12 km² (30.000 campioni). Il costo di analisi per i 90.000 campioni di inorganici ammonta ad € 4.500.000; il costo di analisi per i composti organici ammonta a circa € 6.300.00. Il

costo di prelievo, preparazione dei campioni, elaborazione dati e compilazione mappe geochimiche d'Italia (Contratti x 10 Laureati x 2 anni) + Auto + benzina + Diarie + Altre spese, ammonta a circa € 4.200.000. Il totale per la produzione quindi di mappe geochimiche d'Italia (53 elementi inorganici +IPA + PCB + Pesticidi) ammonterebbe a circa € 15.000.000. Il prodotto finito si otterrebbe massimo in 36 mesi.

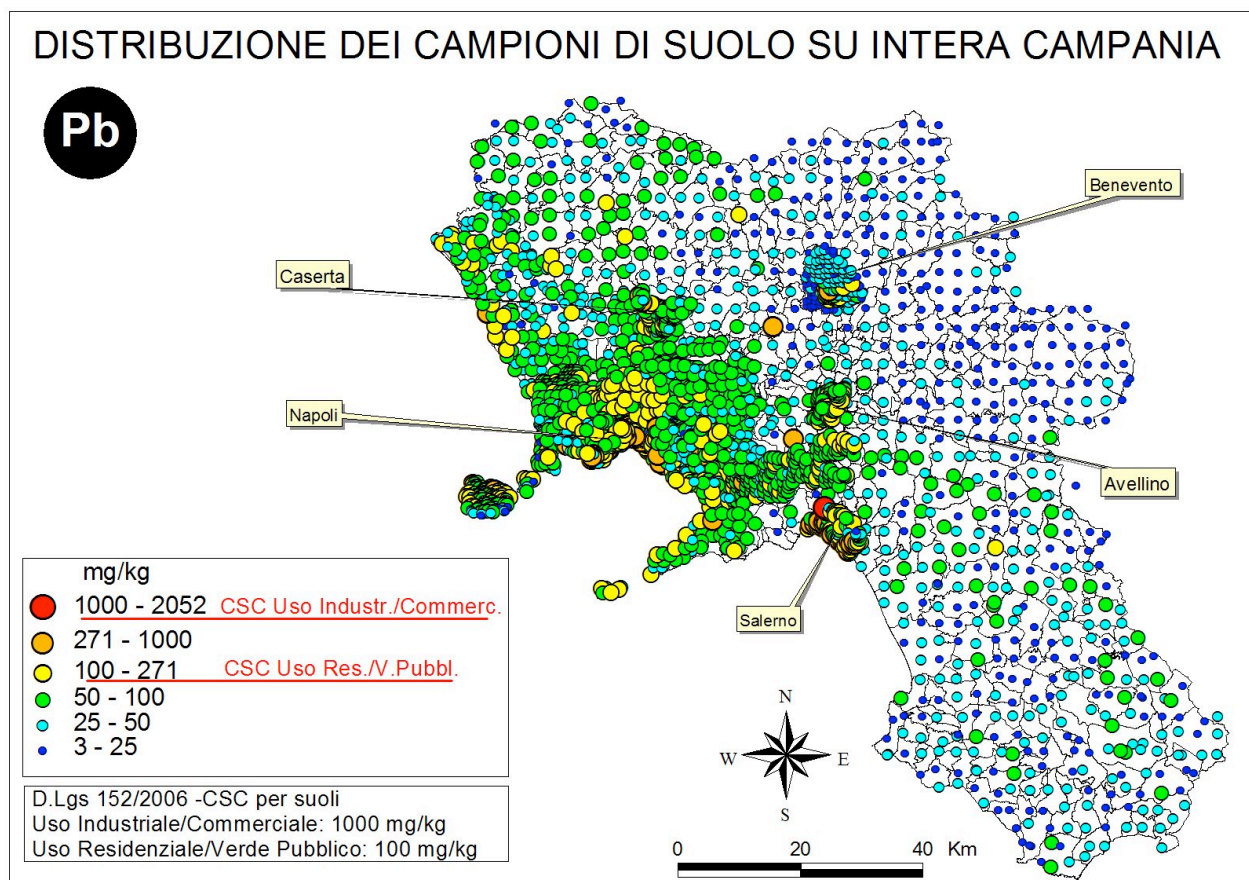


Fig. 2. Distribuzione delle concentrazioni di Pb nei suoli di intera Regione Campania

Nel contesto sopra illustrato è stata realizzata la campionatura da parte del gruppo di Ricerca del Prof. B. De Vivo, dei suoli superficiali (profondità 0-20 cm) della Regione Campania, nell'ambito del Progetto PON-Enerbiochem (2012-2014), con il prelievo di 3500 campioni sull'intero territorio regionale (con una densità nominale di 1 campione per circa 3,5 km²). Con i dati ottenuti da tali indagini è stato compilato l'Atlante Geochimico-Ambientale dei Suoli della Campania (De Vivo et al., 2016). Tale opera è ora in corso di completamento nell'ambito del Progetto regionale "Campania Trasparente" finanziato da Regione Campania ad Istituto Zooprofilattico Sperimentale del Mezzogiorno attraverso il prelievo di ulteriori circa 4500 campioni di suoli. Tutti i campioni di suoli prelevati saranno analizzati per stessa suite di elementi già investigata nei 3500 campioni pregressi (52 elementi inorganici). Su di un numero significativo di campioni di suoli (circa 1000 saranno altresì determinate le concentrazioni di composti organici potenzialmente tossici: POP, comprendenti IPA (Idrocarburi Policiclici Aromatici), PCB (Policlorobifenili), OCP (Pesticidi).

Nella cartografia dell'Atlante Geochimico-Ambientale dei Suoli della Campania (De Vivo et al., 2016) sono riportati, distinti per varie aree di indagini, i valori *background/baseline* dei singoli elementi inorganici a livello regionale. Inoltre relativamente alla fascia di territorio tirrenico, che si estende da Terra dei Fuochi alla provincia di Napoli fino al bacino del fiume Sarno è stata effettuata una indagine preliminare riguardante la distribuzione di POP (IPA, OCP) nei suoli superficiali (Albanese et al., 2015; Qu et al., 2016) (Fig. 3). In particolare questa indagine rivela che le aree critiche riguardante la distribuzione di IPA e OCP interessa essenzialmente il bacino del Sarno, parte dell'area metropolitana di Napoli, la parte aversana della Terra dei Fuochi (Fig. 4 e 5).

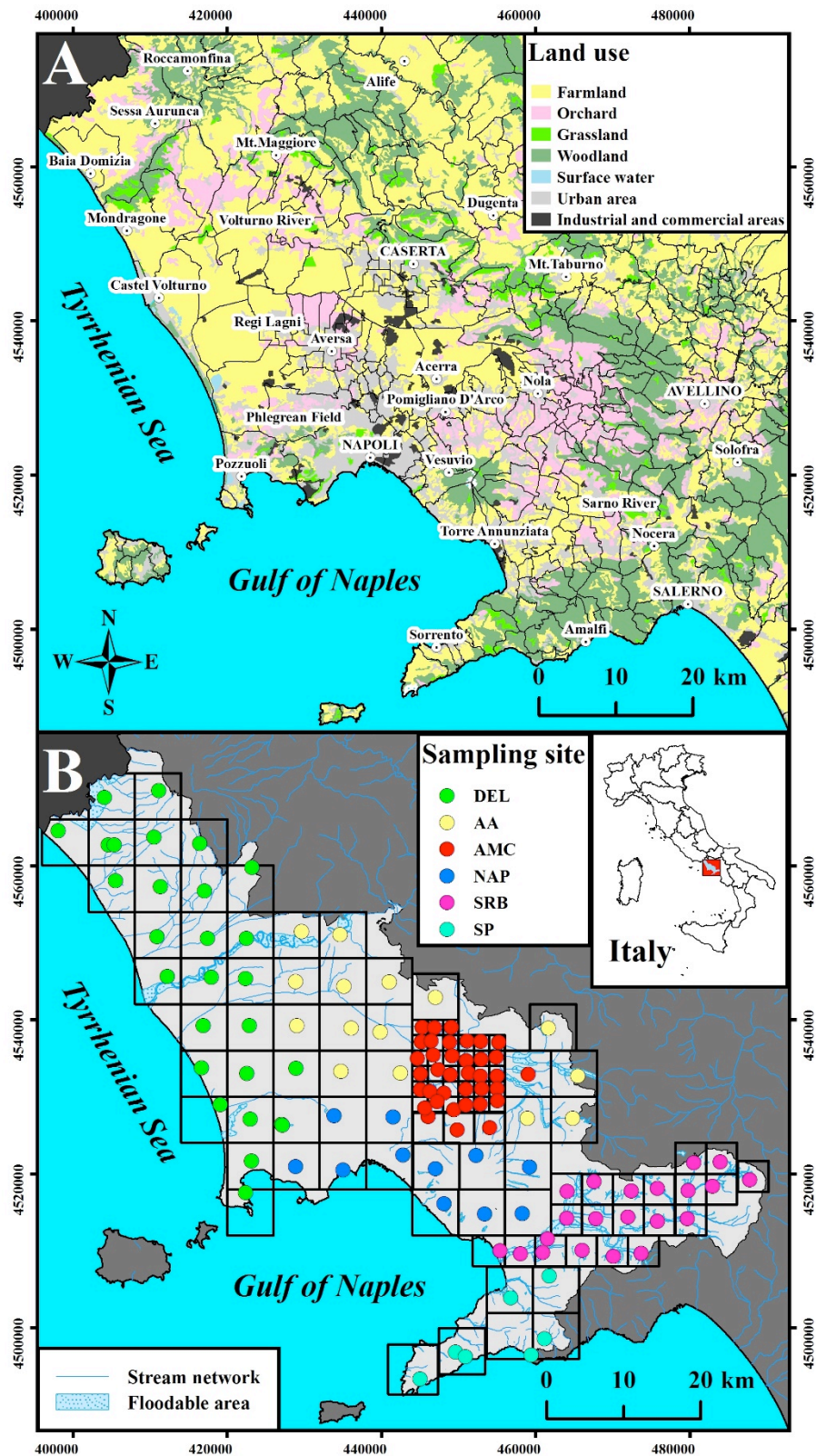


Fig. 3. Carta dell'uso del territorio studiato (A); Ubicazione dei siti di campionamento dei suoli (B).

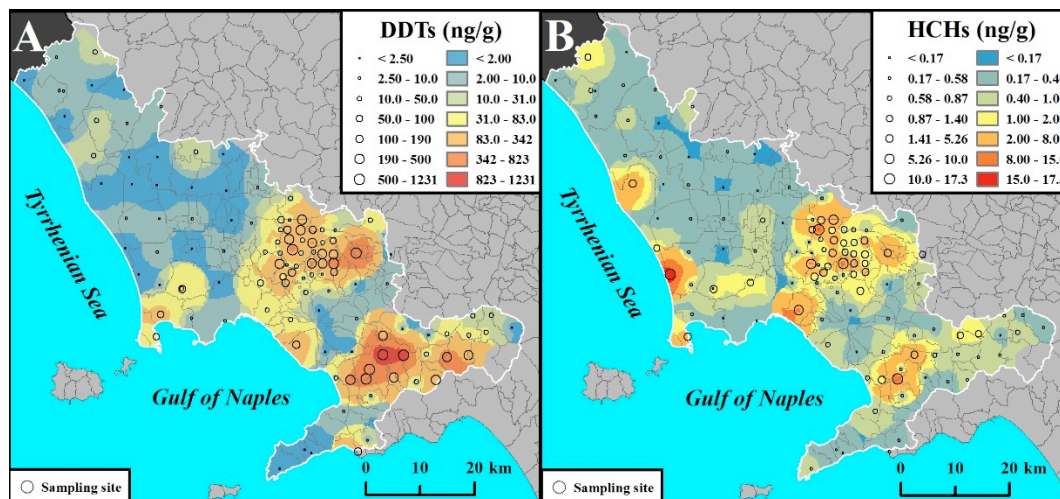


Fig. 4. Distribuzione di DDT e HCH (ng/g) nei suoli della fascia tirrenica delle Province di Caserta e Napoli.

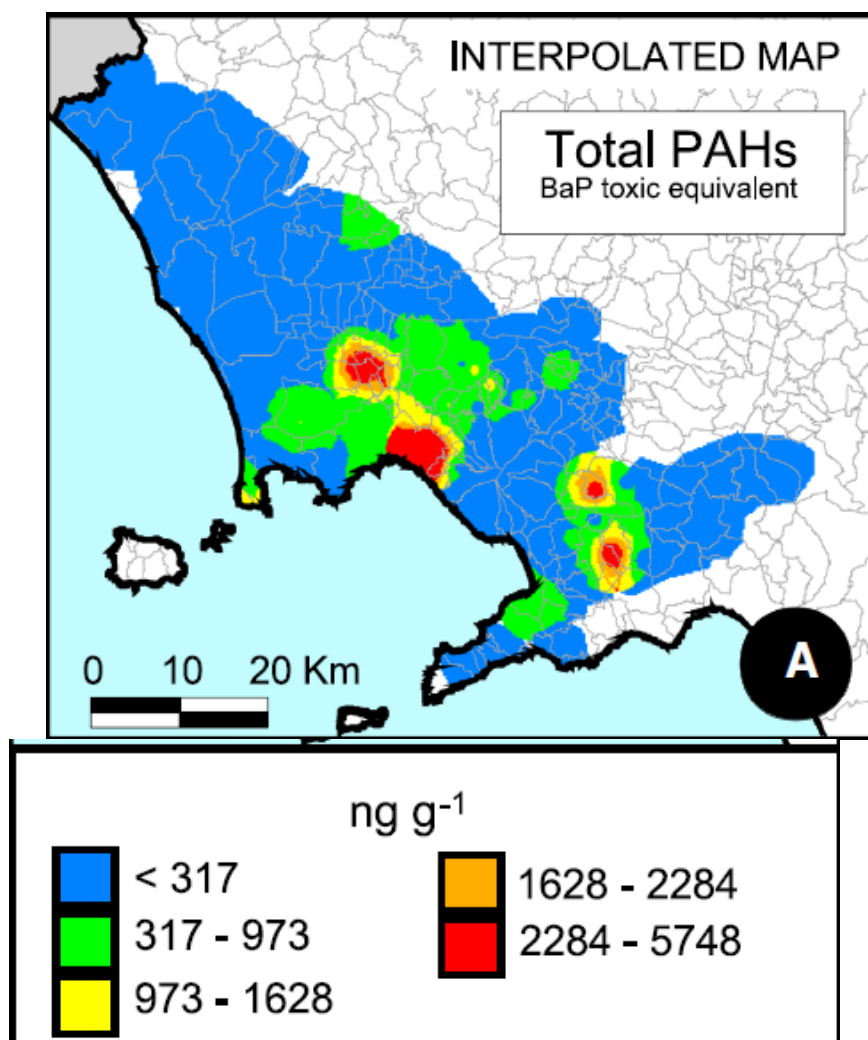


Fig. 5. Distribuzione di IPA Totali nella fascia tirrenica delle Province di Caserta e Napoli

Con la stessa metodologia con la quale è stata realizzato l'Atlante Geochimico-Ambientale dei Suoli della Campania (De Vivo et al., 2016), è stata altresì realizzata la mappatura geochimica del SIN Litorale Domizio

Flegreo-Agro Aversano (Lima A. et al., 2012-prima edizione; Lima et al., 2017-seconda edizione). Di seguito verrà illustrato la metodologia di ricerca utilizzata per la sua realizzazione.

3. Atlante Geochimico-Ambientale del SIN Litorale Domizio Flegreo-Agro Aversano

A scopo prettamente dimostrativo, di seguito, verranno brevemente illustrate le metodologie di indagine per la compilazione dell'Atlante Geochimico-Ambientale del SIN Litorale Domizio Flegreo-Agro Aversano, dove sono riportate e discusse le mappe geochimiche degli elementi inorganici tossici richiamati nelle recenti normative emanate dal Ministero dell'Ambiente (D. M. 471/1999, D. M. 367/2003, D. Lgs 152/2006). Si mette in evidenza che il SIN costituisce la quasi totalità del territorio noto come "Terra dei Fuochi". È importante mettere in risalto come da questo tipo di cartografia è possibile ottenere informazioni sia sui tenori di fondo naturali (*background*) sia sui valori di fondo attuali (*baseline*). A tale proposito occorre specificare che in aree dove l'impatto antropico è rilevante non è sempre possibile determinare i tenori di fondo naturali (*background*) che in questi casi vengono denominati valori del tenore di fondo attuali (*baseline*). Questi ultimi non coincidono sempre con i valori di fondo naturali in quanto possono riflettere un contributo antropico più o meno significativo a seconda del grado di urbanizzazione dell'area alla quale si riferiscono (Salminen e Gregorauskiene, 2000). Nelle varie carte, per ogni singolo elemento analizzato vengono di volta in volta indicati i valori che possono ritenersi tenori di fondo naturali (*background*) importanti per la definizione degli interventi per la pianificazione, la messa in sicurezza e la bonifica del territorio. La distribuzione di alcuni composti organici (IPA) è stata ottenuta con uno studio, effettuato in collaborazione con Ricercatori della *China University of Geosciences* di Wuhan.

3.1 Area oggetto di studio e obiettivi

L'obiettivo dello studio geochimico sul territorio del SIN è quello di individuare e descrivere le caratteristiche naturali e antropiche dell'area del Litorale Domizio-Flegreo e Agro Aversano (Fig. 6) al fine di avere gli elementi utili per individuare le fonti geogeniche e quelle antropogeniche degli elementi inorganici (metalli e metalloidi) e organici nei suoli del territorio oggetto di studio. Allo studio geochimico si è unito l'inquadramento geologico, geomorfologico, strutturale e idrogeologico delle aree indagate (non riportato). Nelle pagine che seguono sono, quindi, riportate le caratteristiche del territorio legate al grado di urbanizzazione, alle attività economiche, alle pratiche agricole, analizzando ciò che in modo diretto o indiretto può costituire causa di inquinamento ambientale per i suoli.



Figura 6. Area oggetto di studio.

Le sorgenti naturali (geogeniche) di elementi metallici potenzialmente tossici nell'area Domizio-Flegrea e Agro Aversana, sono collegate maggiormente alle proprietà litologiche dei prodotti vulcanici dei Campi Flegrei, del Somma-Vesuvio e del Roccamonfina, che ricoprono una buona parte dell'area investigata e condizionano fortemente la distribuzione delle concentrazioni di determinati elementi su tutto il territorio.

Concentrazioni elevate dei metalli nei suoli possono aversi naturalmente e produrre contaminazione di natura geogenica; ciò si verifica solitamente nella pedogenesi di rocce particolarmente ricche in elementi metallici (es. presenza di corpi mineralizzati), per la presenza di attività vulcanica e manifestazioni connesse come sorgenti termali, fumarole, fratturazioni, per intensa alterazione superficiale ed altro (De Vivo, 1995). Negli ambienti ignei, gran parte dei metalli, durante gli stadi finali della differenziazione magmatica, tendono a concentrarsi nei fluidi acquosi residuali, detti fluidi idrotermali. Essi possono essere iniettati o infiltrarsi nelle rocce circostanti e precipitare e concentrare i metalli che trasportano, sotto forma di mineralizzazioni (economicamente sfruttabili o meno), a mano a mano che la temperatura si abbassa e per effetto delle reazioni chimiche con le rocce incassanti.

Gli elementi che in genere si concentrano seguendo questa dinamica comprendono As, Cd, Cu, Fe, Hg, Mo, Pb, S, U, Zn (Tarzia et al., 2002; De Vivo et al., 2004).

Per quanto concerne le fonti di contaminazione antropica le più comuni sono: **1)** I fanghi derivanti dal trattamento delle acque luride urbane ed industriali oppure dagli allevamenti di bestiame che per decenni sono stati usati come fertilizzanti dei suoli. Il loro uso determina l'accumulo di concentrazioni tossiche di alcuni metalli divisi in due categorie, quelli a basso rischio (Al, Cr, Fe, Hg, Mn, Pb) e quelli ad alto rischio (Cd, Cu, Mo, Ni, Zn). **2)** I fertilizzanti chimici che sono potenziali fonti di contaminazione in quanto contengono significative concentrazioni di metalli potenzialmente tossici. In particolare, nei fertilizzanti si evidenziano elevate concentrazioni di As, B, Cd, Cu, Se, V e Zn. **3)** I pesticidi inorganici che apportano Cu, Hg, Mn, Pb e Zn nei suoli. **4)** L'irrigazione di suoli aridi e semiaridi che rappresenta un potenziale pericolo di salinizzazione dei suoli stessi; essa può essere prodotta da un drenaggio inadeguato, dai costituenti disciolti nelle acque di irrigazione e dall'alterazione dei minerali contenuti nei suoli. Nei suoli salini si determinano alte concentrazioni di sali di metalli quali Na, Ca e Mg. **5)** Il traffico veicolare immette nell'ambiente Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Sb, Zn maggiormente nelle aree adiacenti alle strade carrozzabili. Le concentrazioni di questi elementi decrescono esponenzialmente a mano a mano che ci si allontana dalle strade. **6)** Le attività industriali immettono nell'ambiente in concentrazioni elevate quantità di metalli che a seconda del tipo di industria, sono: Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Ni, Sb e Zn. **7)** I distributori di benzina, officine meccaniche, carrozzerie, cantieri navali, sversatoi abusivi di elettrodomestici e altri oggetti contaminanti che possono alterare localmente il naturale contenuto di metalli nei suoli e per questo rappresentano sorgenti puntuali.

L'arricchimento o l'impoverimento degli elementi metallici nei suoli, così come l'estensione della contaminazione, dipende dalla loro mobilità relativa, nelle condizioni chimico-fisiche che regolano l'ambiente di alterazione superficiale e da altri fattori come: contenuto d'acqua dei diversi livelli litologici incontrati; porosità efficace, densità secca, spessore dei diversi orizzonti del suolo e del non saturo, pedologia, CSC (capacità di scambio cationico), permeabilità, dispersività e temperatura della zona satura, gradiente piezometrico, direzione di flusso delle falde, infiltrazione efficace, spessore del/degli acquifero/i; solubilità delle sostanze investigate, coefficiente di diffusione in acqua, peso molecolare, coefficiente di degradabilità chimica.

Nel Litorale Domizio-Flegreo e Agro Aversano le principali sorgenti di inquinamento antropico sono da ricercare nelle attività agricole, industriali e nel traffico auto veicolare. Appare chiaro che tali sorgenti sono presenti in Italia un pò dovunque e che la ragione per cui tale area è stata inserita tra i S.I.N. è la presenza di tonnellate di rifiuti speciali, spesso provenienti dalle attività industriali del Nord-Italia, illegalmente sversate negli ultimi 30 anni (Rapporto Ecomafia, Legambiente) e spesso occultate in "discariche" non autorizzate, ubicate nella maggior parte dei casi in zone agricole, lungo le sponde fluviali o in canali del bacino dei Regi Lagni, oppure in fosse lasciate da attività estrattive del passato e oggi piene di acqua. Molte di queste "discariche" sono state incendiate provocando l'immissione in atmosfera con ricaduta al suolo di enormi quantità di diossine e furani con conseguenti gravi rischi per la salute di vegetazione, animali e esseri umani.

3.2 Raccolta, preparazione dei campioni, metodi di analisi, elaborazione statistica dei dati e produzione di mappe geochimiche

Per la realizzazione della cartografia geochimica ambientale del Litorale Domizio-Flegreo e Agro Aversano è stata effettuata una campionatura dell'orizzonte superficiale del suolo (primi 15 cm), con maglia quadrata variabile da 3 km x 3 km a 0,5 x 0,5 km su tutta l'area d'indagine, per un totale di 961 campioni (Fig. 7). Per ogni sito di campionamento è stata prelevata una quantità totale di suolo pari a circa 2,5 Kg; sono stati prelevati aliquote di 0,5 Kg al centro ed il resto in altri quattro punti ad una distanza di circa 10 metri. Il prelievo dei suoli è avvenuto attenendosi scrupolosamente alle direttive FOREGS (Salminen et al., 1998) e GEMAS (Reimann et al., 2008).

Le analisi chimiche, eseguite presso i laboratori ACME Analytical Lab (ora Bureau Veritas) Ltd (Vancouver, Canada) hanno interessato 39 elementi: Ag, Al, As, Au, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, Hg, K, La, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Te, Th, Ti, Tl, U, V, W, Zn. Essi sono stati determinati attraverso una metodologia analitica che combina l'ICP-MS (Spettrometria di massa con plasma accoppiato induttivamente) e l'ICP-ES (Spettrometria di emissione con plasma accoppiato induttivamente).

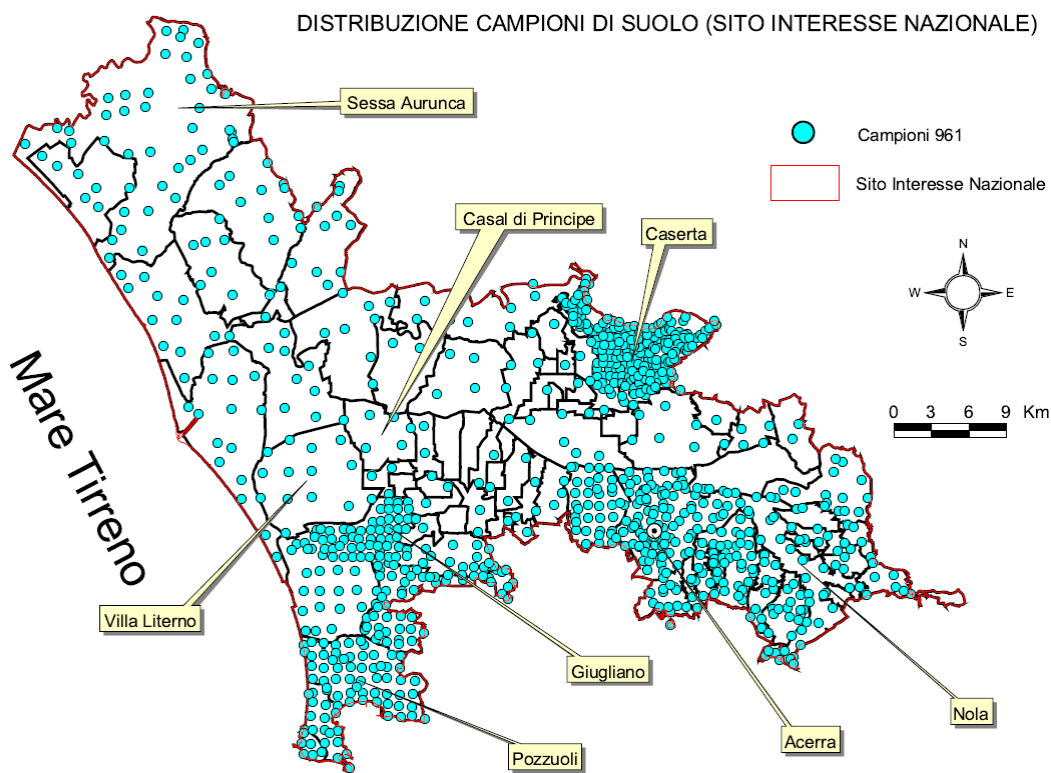


Figura 7. Carta dei siti campionati

Il limite di rilevabilità strumentale è certamente una caratteristica legata alla sensibilità dei mezzi di indagine e rappresenta quella soglia al di sotto della quale gli strumenti mostrano cecità o forniscono dati inesatti. Le analisi sono state effettuate con rigorosa osservanza dei QA (*Quality Assurance*) e QC (*Quality Control*), ovvero di quel complesso di controlli di qualità secondo metodologia codificata a livello internazionale. La mancata osservanza di questi parametri rende i risultati analitici nulli, a prescindere dalla presenza o meno delle certificazioni. La qualità delle analisi deve essere verificabile da parte del cliente. Non si possono accettare risultati analitici in base al principio "d'autorità".

Il metodo analitico utilizzato presenta limiti molto bassi, e per la maggior parte degli elementi, un elevato livello di precisione e accuratezza. L'errore sull'accuratezza è stato calcolato attraverso l'analisi di campioni *standards* sia del Laboratorio ACME che del cliente. La precisione è stata calcolata sulla base dei risultati dei campioni replicati di campioni analizzati, forniti dal laboratorio e dal cliente. Sia l'errore della precisione che quello dell'accuratezza per essere accettabili non devono superare +15%.

Le carte geochimiche dei suoli sono corredate di *box plots*, curve cumulative di frequenza e istogrammi, con l'indicazione dei parametri statistici della distribuzione dei dati geochimici.

Per la realizzazione delle mappe geochimiche, per le concentrazioni di tutti gli elementi chimici analizzati, sono state compilate: carte della distribuzione dei dati puntuali e carte dei dati interpolati.

I dati prodotti sono stati organizzati in un apposito database in modo da essere gestiti attraverso l'utilizzo di un GIS (*Geographical Information Systems*). La digitalizzazione della carta geologica e delle altre informazioni geografiche, inerenti il territorio esaminato, sono state eseguite in particolare con il programma Arcview GIS. Le carte geochimiche sono state realizzate utilizzando i *softwares* Arcview GIS e GeoDAS.

L'interpolazione dei dati puntuali è stata eseguita con un metodo innovativo che utilizza la geometria frattale: *Multifractal-IDW* (Cheng et al., 1996; 2000; 2001; Lima et al., 2003; Cicchella et al, 2005).

I dati geochimici ottenuti, a seguito della campionatura e delle accurate analisi di laboratorio, sono stati registrati ed organizzati, insieme a tutte le altre informazioni collezionate, in un *database*. Nel *database* i campioni sono stati ordinati di modo che possano essere univocamente individuabili attraverso il loro codice identificativo (ID), e soprattutto attraverso le loro coordinate spaziali, riportate come coordinate geografiche chilometriche (UTM-ED50). Ad ogni campione ovvero ad ogni ID sono stati associati i valori delle corrispondenti analisi chimiche, e tutte le altre informazioni disponibili.

Le carte della distribuzione puntuale delle concentrazioni, per ogni singolo elemento chimico analizzato, sono utili per avere informazioni sulla reale distribuzione delle concentrazioni nel momento in cui il campione è stato prelevato. Per la compilazione delle suddette carte si è proceduto ad una classificazione dei siti campionati in funzione degli intervalli di concentrazione. A tal fine, il *database* viene richiamato all'interno del progetto cartografico, utilizzando i valori delle coordinate registrate per ogni singolo campione, e i siti campionati vengono visualizzati all'interno della mappa digitale grazie a dei simboli scelti dall'operatore. In particolare le concentrazioni dei vari elementi sono state classificate in funzione degli intervalli di concentrazione determinati, utilizzando il valore medio (\bar{x}) e la deviazione standard (s). Tali intervalli, rappresentati da una simbologia circolare di dimensione crescente al crescere dei valori delle concentrazioni, corrispondono ai valori $\bar{x} \pm ns$, con $n = 1, 2, 3$.

L'interpolazione è un processo realizzato attraverso l'utilizzo di specifici algoritmi matematici che permettono di generalizzare il dato geochimico trasformandolo, dalla univocità del valore puntuale, in una informazione di tipo spaziale areale. Per quanto numerosi possano essere i campioni prelevati e i dati di concentrazione prodotti per ogni singolo elemento analizzato in una determinata area, la loro rappresentazione cartografica puntuale non potrà mai assumere il carattere di continuità che, invece, deve essere restituito dalla rappresentazione grafica dei dati interpolati (carta geochimica). Si rende perciò necessario formulare un'ipotesi sul comportamento della grandezza in esame fra due o più punti noti ed assumere la stessa come la migliore approssimazione possibile dei valori reali.

Il risultato di un processo d'interpolazione dei dati geochimici, attraverso un algoritmo matematico, quindi, non potrà mai prevedere, per quanto complesso ed elaborato esso sia, le variazioni locali di concentrazione dovute alla presenza di particolari condizioni geochimico-litologiche e/o a fenomeni di contaminazione antropica. L'interpolazione dei dati geochimici non fornisce sicuramente nelle aree non campionate un'informazione deterministica, ma delinea in modo probabilistico i *trends/patterns* regionali da relazionare ed interpretare a grande scala in funzione delle situazioni geologico-strutturali e ambientali dell'area in esame. Ne consegue che una carta geochimica ambientale regionale interpolata non può essere considerata in modo deterministico, come una "carta dell'inquinamento", ma può essere efficacemente utilizzata per individuare le aree potenzialmente "a rischio" dove eseguire, in una seconda fase, una prospezione di dettaglio, utilizzando, quale matrice di campionatura, i suoli e le acque, per delimitare e caratterizzare il sito secondo i dettami legislativi del D. Lgs. 152/2006. Per interpolare i dati si utilizzano diversi metodi: l'analisi dei *trends* superficiali (*Trend Surface Analysis*), l'*IDW* (*Inverse Distance Weighted*) e il *Kriging*. In aggiunta a questi metodi, che possiamo definire "convenzionali", recentemente, nel campo dell'esplorazione geomineraria, è stata sviluppata, con il *software* GeoDas, una nuova metodologia che utilizza i principi della geometria frattale e multifrattale: l'*IDW* Multifrattale.

4. Carte geochimiche degli elementi potenzialmente tossici nella Terra dei Fuochi

Prima di definire un'area contaminata è fondamentale avere conoscenza dei valori di fondo naturali, relativamente agli elementi potenzialmente tossici (As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Tl, V e Zn), a cui fare riferimento per poter poi definire con certezza i parametri fuori norma, sulla base dei valori limite imposti dal D. Lgs. 152/2006 per i suoli e le acque in funzione dell'uso residenziale/ricreativo e industriale/commerciale del territorio. Il D. Lgs. 152/2006, pur non occupandosi di tutela del suolo nel senso generale del termine, rappresenta sicuramente il più importante riferimento normativo in materia. Esso consente agli organismi pubblici di controllo di partecipare direttamente, in maniera rigorosa ed efficace, a tutte le fasi sia tecniche che amministrative per la corretta gestione delle bonifiche ed il recupero dei siti contaminati.

In questa breve relazione si riporta a scopo esemplificativo solo la carta della distribuzione del Pb (Fig. 8) realizzata sulla base di 961 campioni superficiali prelevata nell'ambito del SIN Litorale Domizio Flegreo-

Agro Aversano. Per tutte le altre mappe si rimanda a nuova edizione di Atlante Geochimico del SIN (Lima et al., 2017).

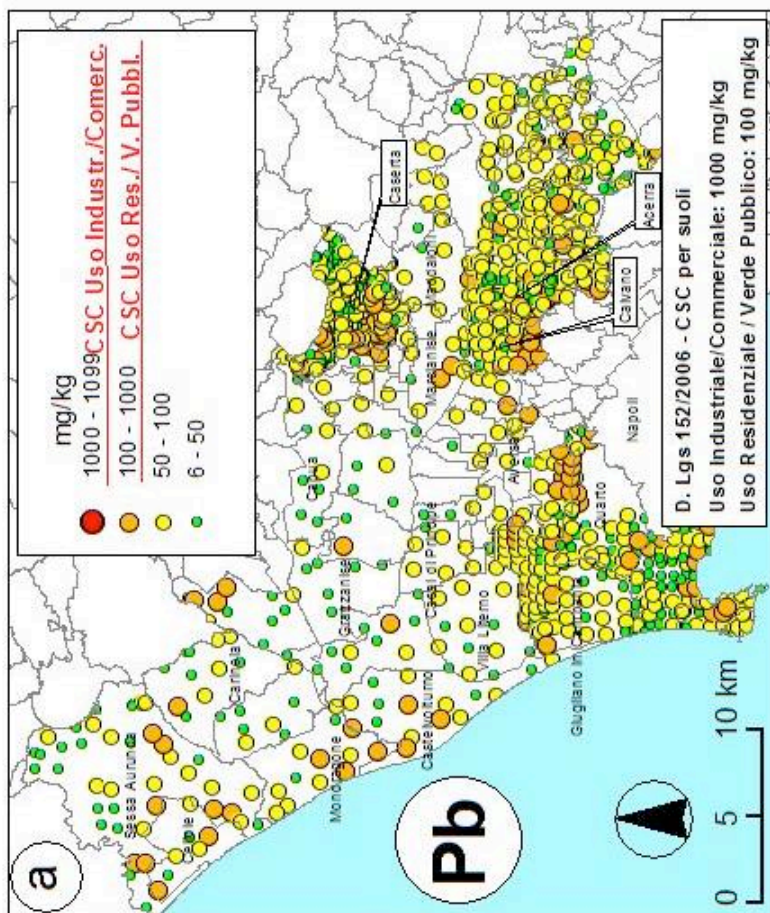
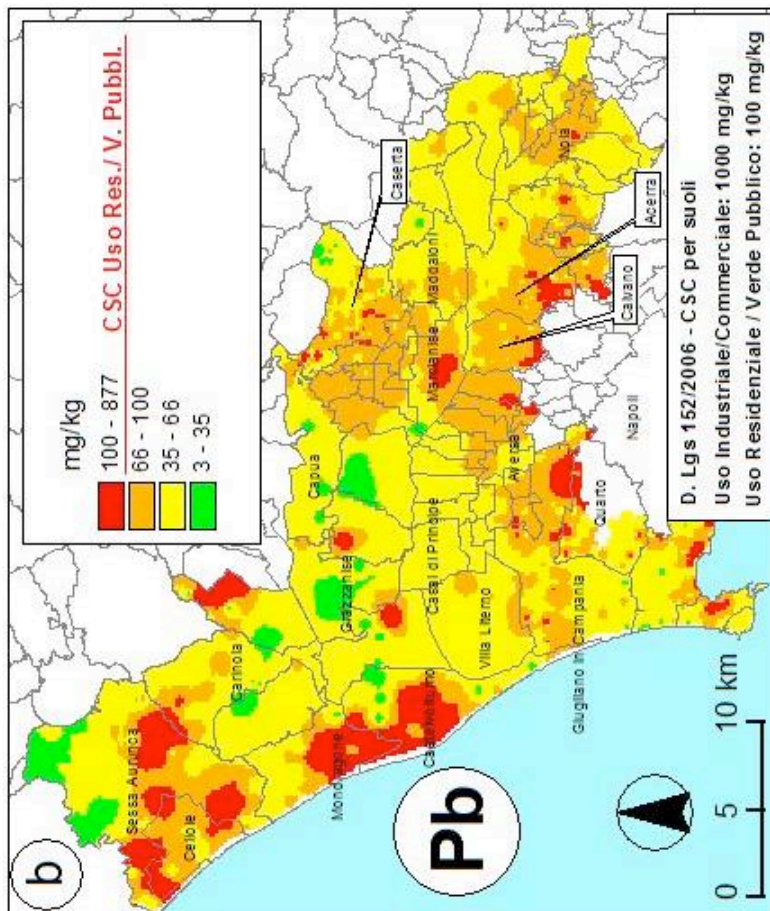


Figura 8

5. Studi degli Isotopi del Piombo

Per discriminare il Pb di origine naturale (geogenico) da quello immesso nell'ambiente dalle attività antropiche sono stati utilizzati i rapporti isotopici del Pb (Pb^{208}/Pb^{206} , Pb^{207}/Pb^{206}). Sono stati misurati, in collaborazione con i Laboratori dell'*United States Geological Survey* (USGS, Reston, Virginia, USA), i rapporti isotopici nei suoli campionati in nove siti nei Comuni di Mondragone, Castel Volturno, Canello ed Arnone, Villa Literno, Giugliano, Pozzuoli, Capua e Mariglianella.

In totale si sono raccolti, nel 2007, in 9 profili selezionati, un totale di 90 campioni. In ognuno dei profili si è proceduto all'escavazione del terreno fino alla profondità di 1 m e al prelievo di 10 campioni, 1 ogni 10 cm. I rapporti isotopici ottenuti sono stati confrontati con i rapporti isotopici delle rocce (vulcaniti) affioranti nell'area (Ayuso et al., 1998; Gilg et al., 2001; Somma et al., 2001) e con i rapporti isotopici caratteristici di alcune sorgenti di contaminazione come benzine, aerosol e pesticidi (Ayuso et al., 2004; 2005; 2008; Roshan et al., 1994; Veron et al., 1999a, 1999b; Monna et al., 1997, 1998).

La traccia isotopica può aiutare a identificare l'origine e l'estensione della contaminazione antropica ed è particolarmente efficace se naturalmente e antropogenicamente si introducono metalli con differenti rapporti isotopici. Il Pb ha, in natura, una composizione isotopica variabile; infatti, è composto da 4 isotopi stabili: ^{204}Pb , ^{206}Pb , ^{207}Pb e ^{208}Pb . Il ^{204}Pb non è radiogenico, mentre gli altri sono derivati dal decadimento radioattivo di ^{238}U (^{206}Pb), ^{235}U (^{207}Pb) e ^{232}Th (^{208}Pb). Fin dall'origine della Terra, la naturale abbondanza del ^{206}Pb , ^{207}Pb e ^{208}Pb è aumentata nel tempo, dal primordiale valore al loro valore attuale, dipendendo dall'abbondanza di U-Th e Pb e dallo schema di decadimento degli isotopi radioattivi di Th a U (Tarzia et al., 2002). Gli isotopi di Pb non vengono frazionati dai processi ambientali e industriali, e trattengono la composizione isotopica delle sorgenti. La composizione isotopica del Pb antropogenico emesso dalla combustione dei carburanti e da altre sorgenti è controllata quindi dai valori isotopici delle miniere di origine del Pb e dei materiali utilizzati per le attività industriali. Se il Pb consiste di due componenti isotopicamente omogenee, per esempio un Pb naturale e un Pb antropogenico, allora il rapporto isotopico tra naturale e antropogenico è lineare: altrimenti, sarà osservato un andamento non lineare, che indicherà la presenza di Pb derivato da più di due sorgenti (Tarzia et al., 2002). Robinson e Ayuso (2004), per un'area del New England (USA), hanno utilizzato dati statistici e traccianti di isotopi del Pb per valutare il grado al quale gli elevati livelli di As e altri metalli sono associati con aree in cui erano stati utilizzati pesticidi arsenicali (Ayuso et al., 2004). Anche sui suoli del centro di Napoli (Cicchella et al., 2008b) sono stati utilizzati i rapporti isotopici del Pb per campioni raccolti nell'area urbana. Questi studi hanno prodotto risultati importanti legando la presenza di alte concentrazioni di metalli pesanti inequivocabilmente anche ad una origine antropica, nel caso specifico al notevole traffico veicolare cittadino.

Per lo studio isotopico eseguito nel Litorale Domizio-Flegreo e Agro Aversano, sono stati ricercati i dati isotopici del Pb per i combustibili fossili in uso nell'area oggetto di studio e per i prodotti di rifiuti industriali rilasciati nell'atmosfera (aerosol) negli ultimi anni in Italia. Inoltre è stato misurato il contenuto isotopico del Pb di alcuni pesticidi in uso nell'area di studio per affiancarli ai dati di pesticidi arsenicali che negli anni passati sono stati ampiamente utilizzati per viticoltura e coltivazioni fruttifere in generale. Il significato dal punto di vista ambientale di questo tipo di studio è notevole se si pensa all'utilizzo massiccio che è stato fatto in agricoltura di fitofarmaci arsenicali in Italia, soprattutto a metà degli anni 70. Non è da escludere che, come è avvenuto in diverse zone degli Stati Uniti, l'utilizzo di tali pesticidi si sia protratto illegalmente anche oltre il 1974, e che potrebbe comportare rischi molto seri per la salute umana. La conoscenza dei rapporti isotopici delle matrici naturali e non, permette la realizzazione di un sistema che ha come *end-members* proprio le sorgenti principali dei metalli nell'ambiente, ossia le sorgenti naturali e le sorgenti antropiche.

I risultati ottenuti nel territorio del SIN indicano un sostanziale controllo geolitologico delle concentrazioni riscontrate lungo i profili di suolo analizzati. In particolare per i siti di Castel Volturno, Canello ed Arnone, Mondragone e Pozzuoli, si nota che la composizione isotopica dei suoli prelevati lungo il profilo di 1m subisce variazioni di entità piuttosto modeste e che, generalmente, i campioni che presentano i rapporti isotopici (Pb^{207}/Pb^{206} e Pb^{208}/Pb^{206}) più vicini a quelli misurati per aerosol e carburanti, sono stati prelevati nella parte più superficiale del profilo. I risultati ottenuti nei siti di Giugliano evidenziano, lungo i profili analizzati, una netta differenza tra i suoli superficiali e quelli più profondi. I rapporti isotopici registrati in superficie sono molto vicini a quelli riscontrati per le sorgenti antropiche confermando così un notevole impatto ambientale. Tali valori sono addirittura comparabili con i valori massimi dei rapporti isotopici del Pb ottenuti per i suoli dell'area industriale dismessa di Bagnoli (Tarzia et al., 2002). Lo stesso discorso vale per i

siti ubicati a Capua e Mariglianella dove i rapporti isotopici misurati, negli orizzonti più superficiali di suolo, si discostano da quelli naturali avvicinandosi a quelli tipici degli *aerosols* urbani e delle benzine.

In conclusione, si può dire che le concentrazioni di alcuni metalli tossici misurate nei suoli analizzati destano preoccupazione circa la salute dei cittadini residenti in alcune delle aree indagate.

6. Conclusioni

Lo studio condotto nella area S.I.N. del Litorale Domizio-Flegreo e Agro Aversano, ha prodotto una notevole quantità di dati analitici sullo stato di “salute” dei suoli dell’area.

Le carte della distribuzione dei dati puntuali e quelle della distribuzione dei dati interpolati indicano che la presenza di metalli tossici nei suoli è elevata sia nelle aree urbane che in quelle agricole del Litorale Domizio-Flegreo e Agro Aversano. Elementi come As, Be, Cd, Cu, Pb, Sn, Tl, V e Zn raggiungono, in vari siti indagati, valori molto al di sopra dei limiti d’intervento stabiliti dal D. Lgs 152/2006.

Da questo studio emerge in maniera evidente la necessità di rivedere la norma (D. Lgs 152/2006) relativamente alle concentrazioni sogliadi contaminazione (CSC) stabilite per Be, Sn e Tl; le CSC fissate per questi ultimi elementi, infatti, risultano essere sicuramente inadeguate alle caratteristiche geochimiche dei suoli del S.I.N. Litorale Domizio-Flegreo e Agro Aversano visto che in essi i tenori di fondo naturale di Be, Sn e Tl presentano valori medi decisamente più alti data la loro particolare natura vulcanica; i suoli di questa area, infatti, si sono sviluppati, per lo più, sulle vulcaniti potassiche presenti nell’area (Ignimbriti Campane, Roccamonfina, Campi Flegrei, Somma-Vesuvio).

Nel caso dell’As circa il 10% dei campioni analizzati supera la soglia limite imposta dal D. Lgs 152/2006 per i siti ad uso residenziale/ricreativo che è pari a 20 mg/kg ed in due siti viene addirittura superata la soglia limite imposta per i siti ad uso commerciale/industriale (50 mg/kg). Anche il Cd in diversi siti supera la soglia limite imposta dal D. Lgs 152/2006 per i siti ad uso residenziale/ricreativo che è pari a 2 mg/kg.

Circa il 20% dei campioni analizzati presenta, inoltre, concentrazioni di Cu superiori alle soglie di intervento fissate dal D. Lgs 152/2006, che sono di 120 mg/kg per l’uso residenziale/ricreativo e di 600 mg/kg per l’uso industriale/commerciale del territorio. L’area maggiormente contaminata da Cu risulta essere quella Nolana dove si raggiungono concentrazioni di 677 mg/kg, cioè di circa 5 volte superiori alla CSC per l’uso residenziale/ricreativo ed è probabile che la presenza di queste vaste aree “a rischio Cu” sia dovuta all’uso di composti del Cu nelle pratiche agricole e in particolare nella cura dei frutteti e dei vigneti.

Sempre nel Nolano si possono osservare forti concentrazioni di V che eccedono la soglia di intervento fissata dal D. Lgs 152/2006 (90 mg/kg per l’uso residenziale/ricreativo) mentre valori alti di Zn si riscontrano per lo più nell’area del Litorale Domitio-Flegreo. Essi sono fortemente correlati con alte concentrazioni di Pb e quindi sono da attribuire fondamentalmente al traffico veicolare, come viene evidenziato anche da analisi fattoriale (distribuzione dei *factor scores* dell’associazione fattoriale F3 - Sb, Pb, Sn, Zn, Cd, Hg, Cu) che può essere a giusta ragione considerata come una mappa delle aree maggiormente contaminate da metalli tossici del S.I.N. Litorale Domizio-Flegreo e Agro Aversano.

Un’ultima considerazione va fatta circa le concentrazioni di Be, Tl e Sn. Per questi ultimi elementi, se è pur vero che le soglie fissate dal D. Lgs 152/2006 sono alquanto basse e quindi vanno ritoccate verso l’alto, è anche vero che concentrazioni di Be >10 mg/kg e di Sn >15 mg/kg riscontrate in alcune aree può non essere di origine geogenica (naturale). La definizione quindi della natura geogenica e/o antropogenica va definita caso per caso, con approfondimento della problematica sito-specifica.

Un discorso a parte e più dettagliato merita il Pb, che per il 10% dei campioni analizzati supera la soglia limite imposta dal D. Lgs 152/2006 per i siti ad uso residenziale/ricreativo, pari a 100 mg/kg. Come dimostrato dalle indagini isotopiche (Grezzi et al., 2011; Bove et al., 2011), il traffico veicolare è la principale causa dell’inquinamento da Pb dei suoli di quest’area anche se, i più grossi quantitativi di Pb immessi nell’ambiente risalgono agli anni passati, quando alle benzine si addizionava il Pb come antidetonante. Nei suoli come si è detto il Pb è un elemento dotato di scarsa mobilità e quindi persistente.

Per quanto concerne, poi, la presenza di IPA nei suoli dell’area di studio, i risultati ottenuti dalla PQRA, unitamente alle conclusioni di alcuni studi ecologici che mostrano un aumento di mortalità di alcuni tipi di cancro in Campania (Comba et al., 2006) mettono in evidenza la necessità dello sviluppo di una caratterizzazione geochimica di diverse tipologie di matrici ambientali a livello regionale per definire un modello concettuale che prenda in considerazione tutti i possibili percorsi seguiti dai contaminanti, dalle sorgenti fino all’uomo. Le concentrazioni di contaminanti sia metallici che organici (es., IPA) andrebbero valutate in matrici quali suolo, acqua, aria, cibo (prodotti agricoli), per determinarne l’effettivo potenziale tossico

in rapporto alla popolazione esposta. Nel caso di un accertamento di un rischio obiettivo per la salute umana, ben poco si potrebbe fare per bonificare suoli con estensione di oltre 1.000 km², ma certamente si potrebbero adottare misure di controllo e contenimento delle sorgenti dei contaminanti, per poi fare valutazioni di rischio sul lungo termine, sulla base delle risorse disponibili, a maggiore salvaguardia della salute umana.

Va stabilito con grande rigore, che i risultati delle indagini illustrate non sono assolutamente esaustivi per definire l'entità dei contaminanti, sia inorganici che organici, presenti nel SIN. I nostri dati, anche se abbastanza dettagliati, hanno comunque un carattere conoscitivo regionale. Per potere definire con rigore l'entità e l'estensione della contaminazione chimica del territorio, è necessario intervenire con indagini sito-specifiche (con maglie di campionatura di centinaia di metri) su ognuna delle aree individuate come "anomale". Solo con questa fase successiva sarà possibile definire con certezza l'entità e l'estensione della contaminazione nel SIN Litorale Domizio-Flegreo e Agro Aversano.

Bibliografia

- Albanese S., De Vivo B., Lima A. and Cicchella D., 2007a. Background and baseline values of toxic elements in stream sediments of Campania region (Italy). *Journal of Geochemical Exploration*, 93, 21-34.
- Albanese S., Lima A., De Vivo B. and Cicchella D., 2007b. Atlante geochimico-ambientale dei suoli di Avellino / *Geochemical Environmental Atlas of the soils of Avellino*. ISBN: 978-88-548-1305-2. Roma, Aracne Editrice, pp. 192.
- Albanese S., De Luca M. L., De Vivo B., Lima A. and Grezzi G., 2008a. Relationships between heavy metals distribution and cancer mortality rates in the Campania Region, Italy. In: *Environmental Geochemistry: Site characterization, Data analysis and Case histories* (De Vivo B., Belkin H. E. and Lima A., Eds). Elsevier, Amsterdam, pp. 387-400. ISBN: 978-0-444-53159-9. Doi: 10.1016/B978-0-444-53159-9-00016-4.
- Albanese S., Cicchella D., De Vivo B., Lima A., Civitillo D., Cosenza A. and Grezzi G., 2011. Advancements in urban geochemical mapping of the Napoli metropolitan area: colour composite maps and results from an urban brownfield site. In: *Mapping the Chemical Environment of Urban Areas* (Johnson C.C., Demetriades, A., Locutura, J. and Ottesen, R.T., Eds). John Wiley Publishers, Chichester, Regno Unito, pp. 410-423. ISBN 978-0-470-74724-7.
- Albanese S., Fontaine B., Chen W., Lima A., Piccolo A., Qi S., Wang M. and De Vivo B., 2014. Spatial distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in the soils of the Campania Plain (Southern Italy). *Env. Geochem. and Health*, 37, 1-20. Doi:10.1007/s10653-014-9626-3.
- Ayuso R.A., De Vivo B., Rolandi G., Seal R.R., Paone A., 1998. Geochemical and isotopic (Nd-Pb-Sr-O) variations bearing on the genesis of volcanic rocks from Vesuvius, Italy. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 82, 53-78.
- Ayuso R.A., Foley N., Robinson G., Wandless G. and Dillingham J., 2004. Lead iso-topic compositions of common arsenical pesticides used in New England. USGS report. 1- 14.
- Ayuso R.A., Foley N., Robinson G., Colvin A., Lipfert G. and Reeve., 2005. Tracing lead isotopic composition of common arsenical pesticide in a coastal Maine water-shed containing arsenic-enriched ground water. USGS report. 1- 17.
- Ayuso R.A., Foley N. and Lipfert G., 2008. Lead isotopes as monitors of anthropo-genic and natural sources affecting the surficial environment. In: *Environmental geochemistry. Site Characterization, Data analysis and case histories* (De Vivo B., Belkin H. E. and Lima A., Eds). Elsevier, Amsterdam, 287-316. ISBN: 978-0-444-53159-9, 355-385.
- BGS (British Geological Survey), 1987. Regional Geochemical Atlas Series. Great. Glen. British Geological Survey, Keyworth.
- BGS (British Geological Survey), 1990. Regional Geochemical Atlas Series. Argyll. British Geological Survey, Keyworth.
- BGS (British Geological Survey), 1991. Regional Geochemical Atlas Series. East Grampians. British Geological Survey, Keyworth.
- BGS (British Geological Survey), 1992. Regional Geochemical Atlas Series. Lake District. British Geological Survey, Keyworth.
- Bodis D. and Rapant S., 1999. *Geochemical Atlas of the Slovak Republic*. Ministry of Environment of Slovak Republic, Geological Survey of Slovak Republic.

- Bove M. A., Ayuso R. A., De Vivo B., Lima A. and Albanese S., 2011. Geochemical and isotopic study of soils and waters from an Italian contaminated site: Agro Aversano (Campania). *Journal of Geochemical Exploration*, 109, 38-50. Doi: 10.1016/j.gexplo.2010.09.013.
- Cheng Q., Agteberg F.P. and Bonham-Carter G.F., 1996. A spatial analysis method for geochemical anomaly separation. *Journal of Geochemical Exploration*, 56, 183-195.
- Cheng Q., Xu Y. and Grunsky E., 2000. Integrated spatial and spectrum method for geochemical anomaly separation. *Nature Resources Research*, 9, 43 -56.
- Cheng Q., Bonham-Carter G. F. and Raines G. L., 2001. GeoDAS: A new GIS system for spatial analysis of geochemical data sets for mineral exploration and environmental assessment. The 20th Intern. Geochem. Explor. Symposium (IGES). Santiago de Chile, 6/5-10/5, 2001, 42-43.
- Cicchella D., 2002. Nuove metodologie geochimiche ambientali per la valutazione dell'inquinamento dei suoli da metalli pesanti: l'area metropolitana e della Provincia di Napoli. Tesi di Dottorato in Geofisica e Vulcanologia, XV Ciclo, Università degli Studi di Napoli "Federico II", 133 pp.
- Cicchella D., De Vivo B. and Lima A., 2003. Palladium and platinum concentration in soils from the Napoli metropolitan area, Italy: possible effects of catalytic exhausts. *The Science of Total Environment*. 308 (1-3), 121-131.
- Cicchella D., De Vivo B. and Lima A., 2005. Background and baseline concentration values of harmful elements in the volcanic soils of metropolitan and Provincial areas of Napoli (Italy). *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 5, 1-12.
- Cicchella D., De Vivo B., Lima A., Albanese S. and Fedele L., 2008a. Urban geochemical mapping in Campania region, Italy. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*. 8, 19-29.
- Cicchella D., De Vivo B., Lima A., Albanese S., Mc Gill R. A. R. and Parrish R. R., 2008b. Heavy metal pollution and Pb isotopes in urban soils of Napoli, Italy. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 8, 103–112.
- Cicchella D., Fedele L., De Vivo B., Albanese S. and Lima A., 2008c. Platinum group element distribution in the soils from urban areas of Campania Region (Italy). *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 8, 31-40.
- Cicchella D., Albanese S., De Vivo B., Dinelli E., Giaccio L., Lima A. and Valera P., 2010a. Trace elements and ions in Italian bottled mineral waters: identification of anomalous values and human health related effects. *Journal of Geochemical Exploration*, 107, 336-349, ISSN: 0375-6742, Doi: 10.1016/j.gexplo.2010.04.004.
- Cicchella D., Giaccio L., Albanese S., Pertusati S., Marrone T. P., Lima A., De Vivo B. e Zuppetta A., 2010b. Atlante geochimico-ambientale dei suoli dell'area urbana e della Provincia di Benevento / Geochemical Environmental Atlas of the soils of urban area and Province of Benevento. Roma, Aracne Editrice, pp. 280, ISBN: 978–88–548–3729–4.
- Comba P., Bianchi F., Fazzo L., Martina L., Menegozzo M., Minichilli F., Mitis F., Musmeci L., Pizzuti R., Santoro M., Trinca S., Martuzzi M., and "Health Impact Of Waste Management Campania" Working Group, 2006. Cancer Mortality in an Area of Campania (Italy) Characterized by Multiple Toxic Dumping Sites". *Annals of New York Academy of Sciences*. 449-461. DOI: 10.1196/annals.1371.067
- Darnley A.G., Bjorklund A., Bolkiven B., Gustavsson N., Koval P.V., Plant J.A., Steinfeld A., Tauchid M. and Xie X., 1995. A global geochemical database for environmental and resource management. Recommendation for international geochemical mapping. Final Report of IGCP Project 259, Earth Sciences 19, UNESCO, Paris.
- De Vivo B., 1995. Elementi e metodi di geochimica ambientale. Liguori Editore, Napoli, pp. 493.
- De Vivo B., Boni M., Marcello A., Costabile S., Di Bonito M. e Russo A., 1998a. Cartografia geochimica della Sardegna. In: cartografia geochimica ambientale. Primi esempi di applicazione: Calabria, Peloritani, Sardegna e Toscana Meridionale (De Vivo B., Riccobono F. e Sabatini G.) Monografia Mem. Serv. Geol. It.
- De Vivo B., Costabile S., e Lima A., 1998b. Cartografia geochimica della Calabria. In: cartografia geochimica ambientale. Primi esempi di applicazione: Calabria, Peloritani, Sardegna e Toscana Meridionale (De Vivo B., Riccobono F. e Sabatini G.) Monografia Mem. Serv. Geol. It.
- De Vivo B., Boni M., Costabile S., 2001. Cartografia geochimica ambientale della Sardegna. Carte d'intervento per l'uso del territorio. Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia. Servizio Geologico Nazionale, Volume LVII.

- De Vivo B., Lima A., Albanese S. e D. Cicchella, 2003. Atlante geochimico-ambientale della Regione Campania. De Frede Editore, Napoli, pp. 214.
- De Vivo B., Lima A. e Siegel F. 2004. Geochimica ambientale - Metalli potenzialmente tossici. Liguori Editore Napoli, pp. 446.
- De Vivo B., Lima A., Albanese S. e Cicchella D. 2006a. Atlante geochimico-ambientale della Regione Campania/Geochemical Environmental Atlas of Campania Region. Aracne Editrice, Roma, ISBN 88-548-0819-9, pp. 216.
- De Vivo B., Lima A. e Cicchella D. 2006b. Cartografia geochimica ambientale, della radioattività e del rischio per l'uso del territorio del bacino del fiume Volturno / Environmental geochemical, radioactivity and land use risk maps of the Volturno river basin. Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia. APAT-Servizio Geologico Nazionale, LXX, 5 - 35.
- De Vivo B., Cicchella D., Lima A. e Albanese S., 2006c. Atlante geochimico-ambientale dei suoli dell'area urbana e della provincia di Napoli / Geochemical Environmental Atlas of the urban and provincial soils of Napoli. Aracne Editrice, Roma. ISBN 978-88-548-0563-7, pp. 324.
- De Vivo B., Lima A., Frizzo P., Sabatini G., Albanese S., Bove M., Cicchella D., Raccagni L., Di Lella A., Protano A., Riccobono F. e Grezzi G., 2008a. Atlante geochimica-ambientale d'Italia. Aracne Editrice, Roma. ISBN 978-88-548-2282-5, p. 516.
- De Vivo B., Lima A., Bove M. A., Albanese S., Cicchella D., Sabatini G., Di Lella L. A., Protano G., Riccobono F., Frizzo P. and Raccagni L., 2008b. Environmental geochemical maps of Italy from the FOREGS database. In: A. Darnley Special issue (Reimann C., Edt). *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 8, 267-277, ISSN: 1467-7873, Doi: 10.1144/1467-7873/08-175.
- De Vivo B., Birke M., Cicchella D., Giaccio L., Dinelli E., Lima A., Albanese S., Valera P., 2010. Acqua di casa nostra. *LE SCIENZE*, vol. 508; p. 76-85, ISSN: 0036-8083.
- De Vivo B., Lima A., Albanese S., Cicchella D., Rezza C., Civitillo D., Minolfi G. e Zuzolo D., 2016. Atlante geochimico-ambientale dei suoli della Campania. Aracne Editrice, Roma.
- De Vivo B., Cicchella D., Albanese S., Lima A., Zuzolo D., Dinelli E. and Valera V., 2017. The geochemical mapping of agricultural and grazing land soils of Italy from GEMAS EuroGeoSurveys Project. Aracne Editrice, Roma (in press).
- De Vos W., Tarvainen T. (Chief Eds), Salminen R., Reeder S., De Vivo B., Demetriades A., Pirc S., Batista M. J., Marsina K., Ottesen R.-T., O'Connor P. J., Bidovec M., Lima A., Siewers U., Smith B., Taylor H., Shaw R., Salpeteur I., Gregorauskiene V., Halamic J., Slaninka I., Lax K., Gravesen P., Birke M., Breward N., Ander E. L., Jordan G., Duris M., Klein P., Locutura J., Bel-lan A., Pasieczna A., Lis J., Mazreku A., Gilucis A., Heitzmann P., Klaver G. and Petersell V., 2006. *Geochemical Atlas of Europe. Part 2 - Interpretation of geochemical maps, Additional Tables, Figures, Maps and related publications.* Geological Survey of Finland, Espoo, Finland, pp. 692.
- Dinelli E., Albanese S., Cicchella D., De Vivo B., Lima A. and Valera P., 2010. Hydrogeochemical analysis on Italian bottled mineral waters: effects of geology. *Journal of Geochemical Exploration*, 107, 317-335. ISSN:0375-6742, Doi: 10.1016/j.gexplo.2010.04.006.
- Dinelli E., Lima A., Albanese S., Birke M., Cicchella D., Giaccio L., Valera P. and De Vivo B., 2012a. Major and trace elements in tap water from Italy. *Journal of Geochemical Exploration*, 112, 54-75. Doi: 10.1016/j.gexplo.2011.07.009.
- Dinelli E., Lima A., Albanese S., Birke M., Cicchella D., Giaccio L., Valera P. and De Vivo B., 2012b. Comparative study between bottled mineral and tap water in Italy. *J. Geochem. Explor.*, 112, 368-389. Doi: 10.1016/j.gexplo.2011.11.002.
- Fedele L., De Vivo B., Lima A., Cicchella D. and Albanese S., 2008. Atlante geochimico-ambientale dei suoli di Salerno / Geochemical Environmental Atlas of the soils of Salerno. Aracne Editrice, Roma. ISBN 978-88-548-1754-8, pp. 196.
- Fedele L., Plant J., De Vivo B. and Lima A., 2008b. The rare earth element distribution over Europe: geogenic and anthropogenic sources. In: Special Issue on Environmental geochemistry (De Vivo B., Plant J.A and Lima A., Eds), *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 8, 3-18.
- Frattoni P., Lima A., De Vivo B., Cicchella D. and Albanese S. 2006a. Atlante geochimico-ambientale dei suoli dell'isola d'Ischia / Geochemical Environmental Atlas of the soils of Ischia island. Aracne Editrice, Roma. ISBN 88-548-0818-0, pp. 244.

- Frattini P., De Vivo B., Lima A. and Cicchella D., 2006b. Elemental and gamma-ray surveys in the volcanic soils of Ischia Island (Italy). *Geochemistry: Exploration-Environment-Analysis*, 6, 325–339.
- Gilg, H.A., Lima, A., Somma, R., Belkin, H.E., De Vivo, B. & Ayuso, R.A. 2001. Isotope geochemistry and fluid inclusion study of skarns from Vesuvius. *Mineralogy and Petrology*, 73, 145–176.
- Grezzi G., Ayuso R.A., De Vivo B., Lima A. and Albanese S., 2011. Geochemical study of soils and groundwaters from Domizio-Flegreo Littoral, Italy: the impact of human activities on the environment. *Journal of Geochemical Exploration* 109, 51-58. doi: 10.1016/j.gexplo.2010.09.012.
- Kadunas V., Budavicius R., Gregoranskiene V., Katinas V., Kliangiene E., Radzevicius A. e Taraskevicius R., 1999. *Geochemical Atlas of Lithuania*. Geological Survey of Lithuania, Geological Institute, Vilnius.
- Lima A., De Vivo B., Cicchella D., Cortini M. and S. Albanese, 2003. Multifractal IDW interpolation and fractal filtering method in environmental studies: an application on regional stream sediments of Campania Region (Italy). *Applied Geochemistry*, 18, 1853-1865.
- Lima A., Albanese S. and D. Cicchella, 2005. Geochemical baselines for the radioelements K,U, and Th in the Campania region, Italy: a comparison of stream sediment geochemistry and gamma-ray surveys. *Applied Geochemistry*, 20, 611-625.
- Lima, A., De Vivo, B., Grezzi, G., Albanese, S. and Cicchella, D., 2007. *Atlante geochimico-ambientale dei suoli di Caserta / Geochemical environmental atlas of the soils of Caserta*. Aracne Editrice, Roma. ISBN978-88-548-1051-8, pp. 208.
- Lima A., De Vivo B., Plant J. A., Tarvainen T., Albanese S. and Cicchella D., 2008. Geochemical baseline maps using different interpolation methods: comparative study on arsenic in FOREGS stream waters of Europe. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 8, 41-48.
- Lima A., Cicchella D., Giaccio L., Dinelli E., Albanese S., Valera P. e De Vivo B., 2010. Che acqua beviamo? *Le Scienze*, maggio, 501, 68-77.
- Lima A., Giaccio L., Cicchella D., Albanese S., Bove M. A., Grezzi G., Ayuso A. R. e De Vivo B., 2012. *Atlante geochimico-ambientale del S.I.N. (Sito di Interesse Nazionale) Litorale Domizio-Flegreo e Agro Aversano / Geochemical Environmental Atlas of S.I.N. Domizio-Flegreo Littoral and Agro Aversano*. Aracne Editrice, Roma. ISBN 978-88-548-5148-1, pp. 254.
- Lima A., Albanese S., Rezza C., Cicchella D., Giaccio L., De Vivo B., 2017. Distribuzione geochimica degli elementi inorganici nei suoli del S.I.N. (Sito di Interesse Nazionale) Litorale Domizio-Flegreo e Agro Aversano / *Geochemical Distribution of Inorganic Chemicals in soils of Domizio-Flegreo Littoral and Agro Aversano area*. Aracne Editrice, Roma. (in press).
- Monna F., Lancelot J., Croudace I.W., Cundy A.B., Lewis J.T., 1997. Pb isotopic composition of airborne particulate material from France and the southern United Kingdom: implications for Pb pollution sources in urban areas. *Environ. Sci. Technol.* Vol. 31, 2277-2286.
- Monna F., Aiuppa A., Varrica D. and Dongarra G., 1999. Pb isotope composition in lichens and aerosol from Eastern Sicily: insights into the regional impact of volcanoes on the environment. *Environ. Sci. & Technol.*, 33, 2517-2523.
- Ottesen R.T., Bogen J., Bolkvén B., Volden T. e Haugland T., 2000. *Geochemical Atlas of Norway*. Geological Survey of Norway, Trondheim.
- Plant J., Klaver G., Locutura J., Salminen R., Vrana K. and Fordyce F. M., 1997. The Forum of European Geological Surveys Geochemistry Task Group inventory 1994-1996. *Journal of Geochemical Exploration*, 59, 123-146.
- Qu C., Albanese S., Chen W., Lima A., Doherty A. L., Piccolo A., Arienzo M., Qi S., De Vivo B., 2016. The status of organochlorine pesticide contamination in the soils of Campanian Plain, southern Italy, and correlations with soil properties and cancer risk. *Environmental Pollution* (in press), <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2016.05.089>.
- Reimann C., Ayras M., Chekuskin V., Bogatyrev I., Boyd R., Caritat P., Dutter R., Finne T.E., Halleraker J. H., Jaeger P., Kashulina G., Lehto O., Niskavaara H., Pavlov V., Räsänen M. L., Strand E. and Volden T., 1998. *Environmental geochemical atlas of central Barents Region*. Geological Survey of Norway, Trondheim.
- Reimann C., Albanese S., Batista M. J., Bel-Lan A., Birke M., Cicchella D., Demetriades A., De Vivo B., De Vos W., Dinelli E., Duris M., Dusza-Dobek A., Ernsten V., Flight D., Gilucis A., Gosar M., Gregorauskiene V., Gulán A., Hayoz P., Halamic J., Haslinger E., Hratovic H., Ion A., Ivanovna Y.,

- Johnson C., Jordan G., Kisivilla J., Klein P., Kwecko P., Lax K., Lima A., Locutura J., Malyuk B. I., Maquil R., Marku S., Martins L., Mazreku A., Messina A., O'Connor P., Ottesen R. T., Pasieczna A., Petersell W., Reeder S., Salpeteur I., Schedl A., Sefcik P., Slaninka I., Sorsa A., Selinus O., Stafilov T., Tarvainen T., Trendavilov V., Utermann J., Valera P., Vidojevic D. and Volden T., 2008. EuroGeoSurveys geochemical mapping of agricultural and grazing land soil of Europe (GEMAS). Field manual. NGU Report 2008.038. Geological Survey of Norway, Trondheim, 46 pp.
- Reimann C., Demetriades A., Eggen O. A., Filzmoser P. and the Eurogeosurveys Geochemistry Expert Group (Albanese S., Andersson M., Arnoldussen A., Batista M. J., Bel-Lan A., Birke M., Cicchella D., De Vivo B., De Vos W., Dinelli E., Duris M., Dusza A., Eklund M., Ernstsens V., Flight D., Fugedi U., Gallagher V., Gilucis A., Gosar M., Gregorauskiene V., Gulan A., Hayoz P., Halamic J., Haslinger E., Hoffmann R., Hratovic H., Husnjak S., Jordan G., Kisivilla J., Klos V., Kuti L., Kwecko P., Lax K., Lima A., Locutura J., Mackovych D., Malyuk B. I., Maquil R., McDonnell P., Meuli R. G., Miosic N., Ni Mhairtin F., Mol G., O'connor P., Ottesen R. T., Pasieczna A., Petersell W., Pramuka S., Prazeres C., Reitner H., Salpeteur I., Samardzic N., Schedl A., Scheib A., Sefcik P., Skopljak F., Slaninka I., Sorsa A., Stafilov T., Strutt M., Tarvainen T., Trendavilov V., Utermann J., Valera P., Vidojevic D., Volden T. and Zomeni Z.), 2009. The EuroGeoSurveys geochemical mapping of agricultural and grazing land soil project (GEMAS) - Evaluation of quality control results of aqua regia extraction analysis. NGU Report 2009.049. ISSN 0800-3416. Geological Survey of Norway, 94 pp.
- Reimann C. and Birke M. (Eds.), 2010. European Groundwater Geochemistry: Bottled water. Borntraeger Science Publishers, Stuttgart, Germany.
- Reimann C., Demetriades A., Eggen O. A., Filzmoser P. and the EuroGeoSurveys Geochemistry Expert Group (Albanese S., Andersson M., Arnoldussen A., Batista M. J., Bel-Lan A., Birke M., Cicchella D., De Vivo B., De Vos W., Dinelli E., Duris M., Dusza A., Eklund M., Ernstsens V., Flight D., Fugedi U., Gallagher V., Gilucis A., Gosar M., Gregorauskiene V., Gulan A., Hayoz P., Halamic J., Haslinger E., Hoffmann R., Hratovic H., Husnjak S., Jordan G., Kisivilla J., Klos V., Kuti L., Kwecko P., Lax K., Lima A., Locutura J., Mackovych D., Malyuk B. I., Maquil R., McDonnell P., Meuli R. G., Miosic N., Ni Mhairtin F., Mol G., O'Connor P., Ottesen R. T., Pasieczna A., Petersell W., Pramuka S., Prazeres C., Reitner H., Salpeteur I., Samardzic N., Schedl A., Scheib A., Sefcik P., Skopljak F., Slaninka I., Sorsa A., Stafilov T., Strutt M., Tarvainen T., Trendavilov V., Utermann J., Valera P., Vidojevic D., Volden T. and Zomeni Z.), 2011. The EuroGeoSurveys geochemical mapping of agricultural and grazing land soils project (GEMAS). Evaluation of quality control results of total C and S, total organic carbon (TOC), cation exchange capacity (CEC), XRF, pH, and particle size distribution (PSD) analysis. NGU Report 2011.043. ISSN 0800-3416. Geological Survey of Norway, 90 pp.
- Reimann C., Birke M., Demetriades A., Filzmoser P. and O'connor P. (Eds) and GEMAS Project Team (Albanese S., Andersson M., Arnoldussen A., Batista M. J., Bel-Lan A., Cicchella D., De Vivo B., De Vos W., Dinelli E., Duris M., Dusza A., Eklund M., Ernstsens V., Flight D., Fugedi U., Gallagher V., Gilucis A., Gosar M., Gregorauskiene V., Gulan A., Hayoz P., Halamic J., Haslinger E., Hoffmann R., Hratovic H., Husnjak S., Jordan G., Kisivilla J., Klos V., Kuti L., Kwecko P., Lax K., Lima A., Locutura J., Mackovych D., Malyuk B. I., Maquil R., McDonnell P., Meuli R. G., Miosic N., Ni Mhairtin F., Mol G., Ottesen R. T., Pasieczna A., Petersell W., Pramuka S., Prazeres C., Reitner H., Salpeteur I., Samardzic N., Schedl A., Scheib A., Sefcik P., Skopljak F., Slaninka I., Sorsa A., Stafilov T., Strutt M., Tarvainen T., Trendavilov V., Utermann J., Valera P., Vidojevic D., Volden T. and Zomeni Z.), 2014a. Chemistry of Europe's agricultural soils. (Part A): Methodology and Interpretation of GEMAS Data Set. *Geol. Jb*, B 102, 528 pp. Hannover.
- Reimann C., Birke M., Demetriades A., Filzmoser P. and O'connor P. (Eds) and GEMAS Project Team (Albanese S., Andersson M., Arnoldussen A., Batista M. J., Bel-Lan A., Cicchella D., De Vivo B., De Vos W., Dinelli E., Duris M., Dusza A., Eklund M., Ernstsens V., Flight D., Fugedi U., Gallagher V., Gilucis A., Gosar M., Gregorauskiene V., Gulan A., Hayoz P., Halamic J., Haslinger E., Hoffmann R., Hratovic H., Husnjak S., Jordan G., Kisivilla J., Klos V., Kuti L., Kwecko P., Lax K., Lima A., Locutura J., Mackovych D., Malyuk B. I., Maquil R., McDonnell P., Meuli R. G., Miosic N., Ni Mhairtin F., Mol G., Ottesen R. T., Pasieczna A., Petersell W., Pramuka S., Prazeres C., Reitner H., Salpeteur I., Samardzic N., Schedl A., Scheib A., Sefcik P., Skopljak F., Slaninka I., Sorsa A., Stafilov T., Strutt M., Tarvainen T., Trendavilov V., Utermann J., Valera P., Vidojevic D., Volden T. and Zomeni Z.), 2014b. Chemistry

- of Europe's agricultural soils. (Part B): General background information and further analysis of the GEMAS data set. *Geol. Jb.*, B 103, 352 pp., Hannover.
- Robinson G.R., Ayuso R.A., 2004, Use of spatial statistics and isotopic tracers to measure the influence of arsenical near-surface tills use on stream sediment chemistry in New England, USA: *Applied Geochemistry*, v.19: 1097 – 1110.
- Rosman K.J.R., Chisholm W., Boutron C. F., Candelone J. P., Hong S., 1994. Isotopic evidence to account for changes in the concentration of lead in Greenland snow between 1960 and 1988. *Geochim. Cosmochim. Acta* 58, 3265-3269.
- Salminen R., Tarvainen T., Demetriades A., Duris M., Fordyce F. M., Gregorauskiene V., Kahelin H., Kivisilla J., Klaver G., Klein H., Larson J. O., Lis J., Locutura J., Marsina K., Mjartanova H., Mouvet C., O'Connor P., Odor L., Ottonello G., Paukola T., Plant J.A., Reimann C., Schermann O., Siewers U., Steenfelt A., Van Der Sluys J., De Vivo B. and Williams L., 1998. FOREGS geochemical mapping field manual. Guide 47, Geological Survey of Finland, Espoo, 36 pp.
- Salminen R., Batista M. J., Bidovec M., Demetriades A., De Vivo B., De Vos W., Duris M., Gilucis A., Gregorauskiene V., Halamic J., Heitzmann P., Lima A., Jordan G., Klaver G., Klein H., Lis J., Locutura J., Marsina K., Mazreku A., O'Connor P. J., Olsson S. A., Ottesen R.-T., Petersell V., Plant J. A., Reeder S., Salpeteur I., Sandstrom H., Siewers U., Steenfelt A. and Tarvainen T., 2005. *Geochemical Atlas of Europe - Part 1 Background information, methodology and maps*. Geological Survey of Finland, Espoo, pp. 526.
- Somma R., Ayuso R.A., De Vivo B., Rolandi G., 2001. Major trace element and iso-tope geochemistry (Sr-Nd-Pb) of interplinian magmas from Mt. Somma-Vesuvius (Southern Italy). *Mineralogy and Petrology*, 73, 121-143.
- Tarzia M., De Vivo B., Somma R., Ayuso R. A., McGill R. A. R. and Parrish R. R., 2002. Anthropogenic versus natural pollution: an environmental study of an industrial site under remediation (Naples, Italy). *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 2, 45-56.
- Veron A., Flament P., Bertho M.L., Alleman L., Flegal R., Hamelin B., 1999a. Iso-topic evidence of pollutant lead sources in Northwestern France. *Atmos. Environ.* 33, 3377-3388.
- Veron A.J., Church T.M., Rivera-Duarte I., Flegal A.R., 1999b. Syable lead isotopic ratios trace thermohaline circulation in the subarctic North Atlantic. *Deep-Sea Res. II*, 919-935.
- Webb J.S., 1964. Geochemistry and life. *New Sci.*, v. 23, p. 504 – 507.