

CONOSCENZA GEOCHIMICA DEL TERRITORIO

COLLANA DIRETTA DA BENEDETTO DE VIVO

Direttore

Benedetto DE VIVO
Università degli Studi di Napoli Federico II

Comitato scientifico

Annamaria LIMA
Università degli Studi di Napoli Federico II

Domenico CICHELLA
Università degli Studi del Sannio

Stefano ALBANESE
Università degli Studi di Napoli Federico II

Alecos DEMETRIADES
Institute of Geology and Mineral Exploration

CONOSCENZA GEOCHIMICA DEL TERRITORIO

COLLANA DIRETTA DA BENEDETTO DE VIVO

La conoscenza geochimica del territorio si è resa indispensabile dal momento che la contaminazione degli ecosistemi terrestri con sostanze ed elementi chimici tossici è divenuto un problema a livello globale. L'assunzione attraverso il cibo, l'acqua e le vie respiratorie degli inquinanti ha un impatto sulla salute che può manifestarsi anche sul lungo termine e in modi diversi. L'incidenza e la distribuzione geografica delle malattie (epidemiologia) dovute ad inquinamento ambientale è ben documentata. Queste malattie comprendono, perdita di acutezza mentale e di controllo motorio, disfunzione di organi critici, cancro, malattie croniche, inabilità e, alla fine, anche morte. La conoscenza geochimica del territorio fornisce elementi indispensabili per valutare scientificamente come "gestire" le concentrazioni anomale di sostanze ed elementi chimici tossici, sia alla sorgente che in-situ, in modo da eliminare o comunque minimizzare il loro impatto negativo sulla salute degli esseri viventi; individuare le sorgenti dell'inquinamento e sviluppare modelli per il controllo fisico, chimico e biologico relativamente alla loro mobilitazione, interazione, deposizione e accumulo negli ecosistemi terrestri. Su queste basi geologi, geochimici, chimici, biologi, ingegneri ambientalisti collaborano per sviluppare metodi e tecnologie finalizzate a preservare gli ecosistemi globali.

La collana "Conoscenza geochimica del territorio" vuole offrire ad un pubblico attento, anche se non necessariamente specialistico, gli strumenti necessari per comprendere e trattare in modo innovativo problemi di grande attualità come quelli della contaminazione ambientale e della salvaguardia del territorio e dei suoi ecosistemi naturali.

I dati illustrati nel presente volume sono il risultato della collaborazione tra il gruppo di ricerca coordinato dal Prof. Benedetto De Vivo e l'Istituto Zooprofilattico Sperimentale del Mezzogiorno (IZSM di Portici).

Tali dati sono stati prodotti nell'ambito del "Programma Campania Trasparente-Attività di Monitoraggio Integrato per la Regione Campania". Progetto finanziato dalla Regione Campania, Fondo PAC III – Misura B4 "Terra dei Fuochi" D.G.R. 497/2013 Regione Campania – Misure anticicliche per la salvaguardia dell'occupazione e lo sviluppo delle imprese.

Le Gouaches riportate all'interno del volume tra un capitolo e l'altro sono una riproduzione di opere originali di Adriana Pignatelli che ne detiene il copyright.

BENEDETTO DE VIVO, DOMENICO CICHELLA, ANNAMARIA LIMA,
ANNALISE GUARINO, CHENGKAI QU, ALBERTO FORTELLI,
MAURO ESPOSITO, PELLEGRINO CERINO, ANTONIO PIZZOLANTE, STEFANO ALBANESE

SINTESI DEL MONITORAGGIO GEOCHIMICO-AMBIENTALE DEI SUOLI E DELL'ARIA DELLA REGIONE CAMPANIA

PIANO CAMPANIA TRASPARENTE

VOLUME 4

**ELEMENTI POTENZIALMENTE TOSSICI (EPT) E LORO BIODISPONIBILITÀ
ELEMENTI MAGGIORI E IN TRACCIA
IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI (IPA)
POLICLOROBIFENILI (PCB), PESTICIDI (OCP)
ETERI DI POLIBROMOBIFENILI (PBDE)**

Con la collaborazione di

**ANTONIO ALVINO, DAVIDE CARDINALE, DIEGO CIVITILLO, ANTONIO COSENZA
JACOPO D'AURIA, ANTONIO DI STASIO, ANGELA DOHERTY, ROSARIO ESPOSITO
AMEDEO FERRO, PIO GALDI, ALFONSO GALLO, GIULIA MINOLFI
FEDERICO NICODEMO, ATILA PETRIK, ANDREA PIERRI, CARMELA REZZA
GIUSEPPE ROFRANO, ROBERTO ROLANDI, EDUARDO SCUOTTO, ANDREA SGROSSO
ANNA TAFONE, MATAR THIOMBANE, MARIA CLARA ZULUAGA**


aracne



ISBN
979-12-5994-735-2

PRIMA EDIZIONE
ROMA 13 GENNAIO 2022

9 Premessa

11 Capitolo I

Introduzione

15 Capitolo II

Cartografia geochemica-ambientale

2.1 Stato dell'arte della cartografia geochemica-ambientale, 15 - 2.2 Siti di Interesse Nazionale della Regione Campania e normativa ambientale, 18 - 2.3 Liste dell'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) per i cancerogeni certi e cancerogeni probabili per l'uomo, 20 - 2.4. Cartografia Geochemica della Regione Campania, 22

25 Capitolo III

L'area oggetto di studio

3.1 Geografia e demografia della Campania, 25 - 3.2 Inquadramento geologico-strutturale, 26 - 3.3 Aspetti morfologici della Campania, 29 - 3.4 Uso del suolo, 31 - 3.5 Attività antropiche e sviluppo economico della Campania, 33 - 3.6 Sorgenti geogeniche e antropogeniche di metalli potenzialmente tossici, 35

37 Capitolo IV

Materiali e metodi

4.1 Elementi Potenzialmente Tossici (EPT) nei suoli, 37 - 4.2 Contaminanti Organici Persistenti (POP) nei suoli, 43 - 4.3 POP-Contaminanti Organici Persistenti nella matrice Aria, 45 - 4.4 Elaborazione cartografica, 52

53 Capitolo V

Distribuzione degli Elementi Potenzialmente Tossici (EPT) nei suoli superficiali

5.1 Antimonio (Sb), 55 - 5.2 Arsenico (As), 57 - 5.3 Berillio (Be), 59 - 5.4 Cadmio (Cd), 62 - 5.5 Cobalto (Co), 64 - 5.6 Cromo (Cr), 67 - 5.7 Mercurio (Hg), 69 - 5.8 Nichel (Ni), 72 - 5.9 Piombo (Pb), 74 - 5.10 Rame (Cu), 76 - 5.11 Selenio (Se), 79 - 5.12 Stagno (Sn), 81 - 5.13 Tallio (Tl), 84 - 5.14 Vanadio (V), 86 - 5.15 Zinco (Zn), 88

91 Capitolo VI

Biodisponibilità degli elementi potenzialmente tossici nei suoli superficiali

6.1 Antimonio (Sb), 91 - 6.2 Arsenico (As), 91 - 6.3 Berillio (Be), 91 - 6.4 Cadmio (Cd), 93 - 6.5 Cobalto (Co), 93 - 6.6 Cromo (Cr), 94 - 6.7 Mercurio (Hg), 94 - 6.8 Nichel (Ni), 72 - 6.9 Piombo (Pb), 95 - 6.10 Rame (Cu), 95 - 6.11 Selenio (Se), 96 - 6.12 Stagno (Sn), 96 - 6.13 Tallio (Tl), 96 - 6.14 Vanadio (V), 97 - 6.15 Zinco (Zn), 97

113 Capitolo VII

Distribuzione degli Elementi Potenzialmente Tossici (EPT) nei suoli profondi

7.1 Antimonio (Sb), 113 - 7.2 Arsenico (As), 113 - 7.3 Berillio (Be), 114 - 7.4 Cadmio (Cd), 114 - 7.5 Cobalto (Co), 114 - 7.6 Cromo (Cr), 115 - 7.7 Mercurio (Hg), 115 - 7.8 Ni-

chel (Ni), 115 - 7.9 Piombo (Pb), 115 - 7.10 Rame (Cu), 115 - 7.11 Selenio (Se), 116 - 7.12 Stagno (Sn), 116 - 7.13 Tallio (Tl), 116 - 7.14 Vanadio (V), 117 - 7.15 Zinco (Zn), 117

125 Capitolo VIII

Distribuzione delle associazioni fattoriali degli elementi nei suoli superficiali (Top soil) e profondi (Bottom soil)

8.1 Premessa, 125 - 8.2 Analisi fattoriale dei dati composizionali (topsoil), 125 - 8.3 Analisi fattoriale dei dati composizionali (bottom soil), 131

135 Capitolo IX

Distribuzione dei composti organici IPA, PCB e OCP nei suoli superficiali

9.1 Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA), 135 - 9.2 Policromobifenili (PCB), 136 - 9.3 Pesticidi Organo Clorurati (OCP), 140

151 Capitolo X

Distribuzione dei composti organici IPA, PCB, OCP, PBDE nell'aria

10.1 IPA-Idrocarburi Policiclici Aromatici, 151 - 10.2 PCB-Policromobifenili totali (Sommatoria di 209 congeneri compresi nei 10 PCB Omologhi), 158 - 10.3 OCP-Pesticidi Organo Clorurati in Atmosfera, 164 - 10.4 PBDE-Eteri di Polibromodifenili nella matrice aria, 171

177 Capitolo XI

Analisi della distribuzione nella matrice aria dei POP's (IPA - OCP - PCB - PBDE) lungo sezioni significative

11.1 Percorso 1, 171 - 11.2 Percorso 2, 183 - 11.3 Percorso 3, 188 - 11.4 Percorso 4, 193 - 11.5 Percorso 5, 198 - 11.6 Percorso 6, 203

209 Capitolo XII

Conclusioni

12.1 Motivazione della ricerca, 209 - 12.2 Risultati ottenuti dal monitoraggio degli Elementi Potenzialmente Tossici (EPT) nei suoli superficiali (*topsoil*) e profondi (*bottom soil*), 211 - 12.3 Risultati ottenuti dal monitoraggio dei Contaminanti Organici Persistenti (POP) nei suoli superficiali (*topsoil*) della Regione Campania, 217 - 12.4 Risultati ottenuti dal monitoraggio dei Contaminanti Organici Persistenti (POP) nell'atmosfera della Regione Campania, 218 - 12.5 Sintesi del lavoro, 220

223 Bibliografia

231 Appendice

Premessa Il piano Campania Trasparente

I dati illustrati in questo libro sono il frutto del lavoro svolto nell'ambito del Programma Campania Trasparente, finanziato con D.G.R. n. 497/2013, a Istituto Zooprofilattico Sperimentale del Mezzogiorno (Portici): Fondo per le Misure Anticicliche e la Salvaguardia dell'Occupazione - Azione B4 "Mappatura del Territorio" approvato con il Decreto Esecutivo DG "Sviluppo Economico" n. 585 e della decennale attività di ricerca nell'ambito del monitoraggio ambientale della Regione Campania del gruppo di ricerca del Prof. Benedetto De Vivo. Tale attività è stata resa possibile grazie ai finanziamenti ricevuti, fra il 2007 e il 2017, dall'Unità di Ricerca quando il Prof. De Vivo era ancora in servizio, come ordinario di Geochimica Ambientale, presso l'Università di Napoli "Federico II".

In questo libro, descriviamo sinteticamente, cercando di semplificare gli aspetti tecnici, rendendoli di facile comprensione al pubblico non addetto ai lavori, i principali risultati sulla distribuzione delle concentrazioni degli elementi inorganici e composti organici, potenzialmente inquinanti, ottenute nell'ambito del Programma Campania Trasparente su circa 9.000 campioni di suoli e aria riguardanti ben sette stagioni fra 2015 e 2017. Per una consultazione esaustiva delle mappe prodotte, si rimanda alle 1679 pagine dei 3 Volumi De Vivo et al. (2021a, 2021b, 2021c).

L'onda mediatica che ha colpito la Campania in questi anni, relativamente alle problematiche ambientali, ha posto all'attenzione della pubblica opinione una situazione di disagio che vede protagonista l'intero territorio regionale. Tale condizione si riverbera negativamente sulle condizioni socioeconomiche della comunità, generando un largo disorientamento. La situazione, inoltre, resa particolarmente problematica da notizie a volte eccezionali nei contenuti e nelle forme, ha generato cittadini disinformati, tanto che le azioni attuate dalle autorità competenti non sempre assumono rilevanza informativa.

Campania Trasparente è un progetto che nasce per dare risposte concrete al territorio e che coinvolge il territorio. Un percorso virtuoso che racchiude un sistema di garanzia delle produzioni agricole e agroalimentari fino ad arrivare allo studio dei fenomeni di esposizione dell'uomo a potenziali inquinanti ambientali.

Il piano Campania Trasparente ha previsto un'attività di campionamento integrato, su scala regionale, su matrici alimentari, ambientali e biologiche umane ed animali, che rendono tale lavoro uno strumento utile al raggiungimento di numerosi obiettivi, tra i quali: la **garanzia delle produzioni agroalimentari** della Regione Campania; la **sensibilizzazione delle aziende produttrici** all'adozione di comportamenti virtuosi idonei a garantire la qualità dei prodotti e dell'ambiente in cui operano; l'**acquisizione di ulteriori dati utili** alla determinazione dei valori di fondo naturale per il suolo e le acque sotterranee sull'intero territorio regionale; l'**arricchimento del patrimonio di dati ambientali e sanitari** per la realizzazione di studi epidemiologici, finalizzati alla definizione di

eventuali correlazioni tra stato dell'ambiente, qualità dei prodotti agricoli e stato di salute della popolazione; **fornire al decisore politico strumenti di supporto** per il coordinamento e l'integrazione tra politiche ambientali, agricole e sanitarie.

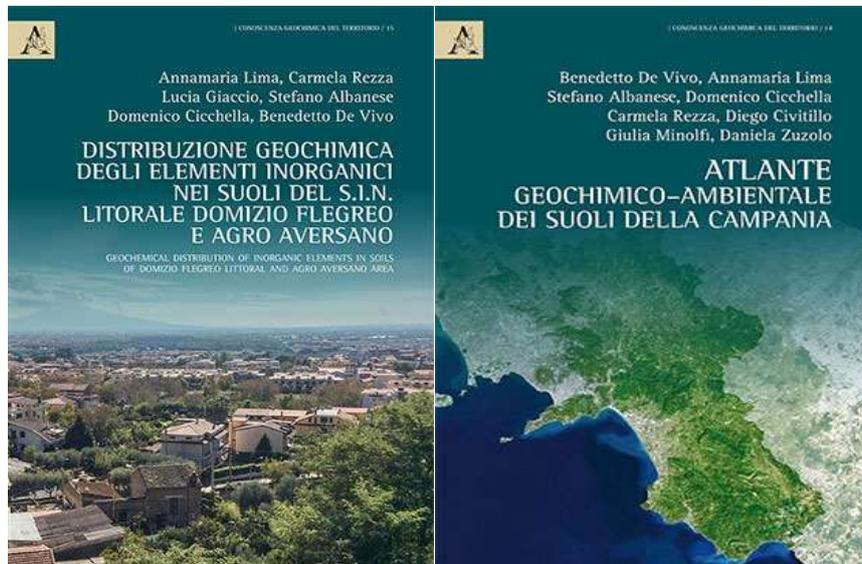
Le attività svolte nell'ambito del piano Campania Trasparente hanno interessato aziende agricole e zootecniche, all'interno delle quali sono stati effettuati i prelievi delle diverse matrici di origine ambientale (acqua, suolo e aria), animale e vegetale, sulle quali sono stati analizzati composti organici ed inorganici potenzialmente dannosi per l'uomo e caratteristiche chimico-fisiche utili ad una attendibile rappresentazione del territorio e delle produzioni campane ed alla valutazione dell'esposizione dell'uomo alle diverse fonti inquinanti presenti nell'ambiente sulla base dei risultati ottenuti dal biomonitoraggio umano (SPES).

Tale lavoro rappresenta un punto di riferimento fondamentale a diversi livelli istituzionali. Dai primi risultati, infatti, sono state avviate delle attività di coordinamento tra i diversi Enti campani e nazionali, volte alla definizione di politiche ambientali, agricole e sanitarie.

Quando è scoppiata la vicenda “Terra dei Fuochi”, il primo autore (prof. B. De Vivo) è più volte intervenuto sulla stampa napoletana fra il 2013 e il 2015, invocando la necessità di **procedere con metodo scientifico** prima di tutto con un piano di monitoraggio regionale che accertasse lo stato del territorio, abbandonando un approccio solo di tipo emozionale, secondo il quale il presunto inquinamento prodotto nella Terra dei Fuochi avrebbe determinato un incremento delle patologie cancerogene, ma senza un solido supporto scientifico, sul fatto che questa porzione del territorio Campano risulti pesantemente contaminata, per le pratiche illegali degli sversamenti di rifiuti potenzialmente tossici. Pratiche assolutamente da condannare e perseguire senza se e senza ma. Per il semplice motivo che i rifiuti potenzialmente tossici vanno smaltiti, secondo le normative vigenti, in siti specializzati a essi destinati.

In ripetuti interventi B. De Vivo su stampa aveva più volte invocato prima di qualsiasi “salvifica” bonifica che si provvedesse con criteri scientifici alla conoscenza del territorio. Sinteticamente, si proponeva che il problema fosse affrontato su basi scientifiche nella sua completezza, con ricerche mirate a effettuare indagini per: 1) caratterizzare, prima di tutto, la composizione geochimica del suolo agrario, dell'aria e delle acque di falda su base regionale e locale; 2) definire il livello di biodisponibilità degli elementi e composti potenzialmente tossici; 3) determinare i tassi di assorbimento da parte delle varie tipologie di colture vegetali dei potenziali contaminanti chimici; 4) cercare di dimostrare una relazione diretta fra presenza di contaminanti nelle varie matrici ambientali, nei prodotti agricoli e infine nelle matrici umane (capelli, urine, sangue) attraverso metodologie innovative. Tutto ciò per: a) cercare di determinare su basi scientifiche, laddove possibile, i potenziali percorsi di migrazione seguiti dagli inquinanti dal comparto geologico-ambientale verso quello biologico e, da quest'ultimo, lungo l'intero percorso (catena trofica) verso l'apice, rappresentato dall'uomo; b) dimostrare scientificamente la tracciabilità dei prodotti agro-alimentari che arrivano ai consumatori, con l'obiettivo di caratterizzare (e possibilmente “certificare”) la qualità dei prodotti sani tipici di diverse specie.

Nel 2015, questa impostazione è stata fatta propria dal **Programma Campania Trasparente**, finanziato dalla Regione Campania, attraverso l'Istituto Zooprofilattico Sperimentale per il Mezzogiorno. Programma, al quale siamo stati chiamati a collaborare scientificamente, e alla cui base erano previste (ora completate) le attività di monitoraggio dei suoli, delle acque sotterranee, della vegetazione, dell'aria e delle matrici biologiche su intera Regione Campania.



Copertine degli Atlanti De Vivo et al., 2016 e Lima et al., 2017)
<http://www.aracneeditrice.it/index.php/pubblicazione.html?item=9788854897441>

Nell'ambito di tale programma abbiamo collaborato, attraverso due Convenzioni di ricerca (2015-2017, per importo complessivo di € 220.000) alle attività riguardanti il monitoraggio dei suoli e dell'aria. Con i fondi ricevuti nell'ambito delle 2 Convenzioni con IZSM, sono state conferite 6 Borse di Studio - totale 50 mensilità - a giovani collaboratori italiani e stranieri (*vedi Appendice*). Ma prima ancora dei risultati di queste attività nell'ambito del Programma Campania Trasparente, il nostro gruppo di Ricerca ha pubblicato, i dati riguardanti la distribuzione di 53 elementi inorganici (fra i quali i 14 elementi potenzialmente tossici previsti dalla L. 152/2006, e composti Organici: IPA, PCB e OCP), in due Atlanti Geochimici Ambientali riportanti i dati pregressi delle nostre attività di ricerca e la cartografia dei suoli (circa 3.500 campioni) della intera Campania e in particolare del SIN Domizio Flegreo e Agro Aversano (circa 1.000 campioni) (De Vivo et al., 2016; Lima A. et al., 2012; 2017).

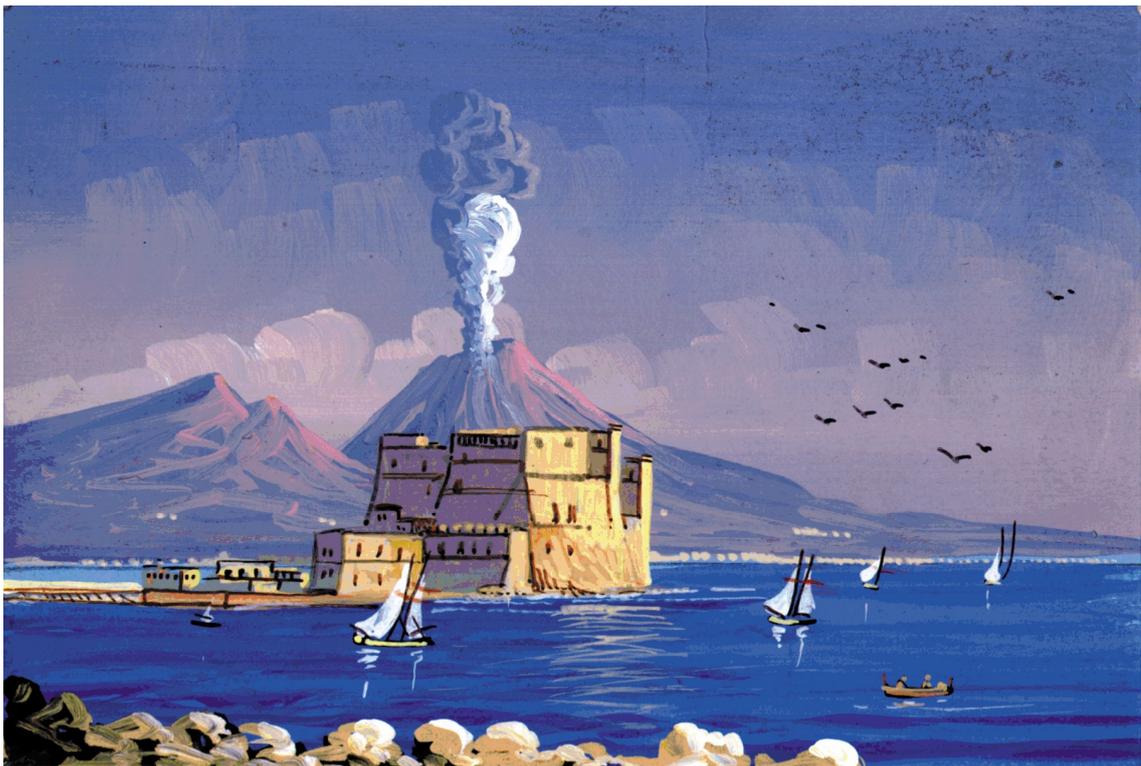
Detti risultati sono stati pubblicati - nel periodo 2013-2019 - anche in 40 articoli scientifici su riviste internazionali *peer reviewed* di primaria importanza. In particolare, i risultati contenuti negli Atlanti e nelle pubblicazioni sono stati trasferiti alla Commissione Igiene e Sanità del Senato della Repubblica (12^a Legislatura), durante una audizione del prof. De Vivo l'8 Marzo 2016 (*Indagine conoscitiva. Effetti dell'inquinamento ambientale sull'incidenza dei tumori, delle*

malformazioni feto-neonatali ed epigenetica. XVII LEGISLATURA, 12^a Commissione permanente Igiene e Sanità, Senato della Repubblica Link: http://www.senato.it/application/xmanager/projects/leg18/file/repository/relazioni/libreria/novita/XVIII/IC_Inquinamento_ambientale.pdf.

Il presente lavoro è stato condotto nell'ambito del Fondo PAC III - Misura B4 "Terra dei Fuochi" D.G.R. 497/2013 Regione Campania - Misure anticicliche per la salvaguardia dell'occupazione e lo sviluppo delle imprese.

Gouache

Vesuvio e Castel dell'Ovo



*L'immagine è una riproduzione di un'opera originale di **Adriana Pignatelli** che ne detiene il *copyright*

1.1 La contaminazione ambientale e la geochimica ambientale

La contaminazione dell'ambiente con sostanze potenzialmente tossiche, determinata per decenni da attività antropiche e colpevolmente ignorata dalle istituzioni politiche dei paesi responsabili, 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 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.

L'origine di una contaminazione può essere imputata a differenti fattori naturali o antropici. La reattività chimica, la capacità di accumulo e di trasformazione negli organismi vegetali e/o animali sono alcune caratteristiche che condizionano la dinamica dei potenziali contaminanti. Da ciò si evince che le sostanze contaminanti sono più pericolose se maggiormente capaci di accumularsi; gli elementi (metalli/metalloidi) potenzialmente tossici (EPT) hanno tali caratteristiche, e possono rappresentare quindi un rischio per la salute di organismi animali e vegetali nonché dell'essere umano. Basti pensare a metalli come Pb, Hg, Cd, Zn e Cu, la cui pericolosità è provata, e il cui rilascio nell'ambiente è notevolmente aumentato per effetto delle attività antropiche, e a sostanze organiche indicate come POP (*Persistent Organic Pollutants* - Inquinanti Organici persistenti), che comprendono sostanze cancerogene quali Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA), Policlorobifenili (PCB), Pesticidi Organo Clorurati (OCP) e Eteri di Polibromidifenili (PBDE).

Gli ambienti naturali che sono coinvolti dalla contaminazione di EPT e POP sono soprattutto acque superficiali, marine e freatiche; sedimenti fluviali, marini e lacustri; suoli, vegetazione e atmosfera. È dunque evidente l'esigenza di attivare una valutazione e un controllo dello stato di degrado ambientale per effetto del potenziale inquinamento. A questo scopo è importante definire per ogni territorio i tenori di fondo naturali (*background*) di determinati elementi chimici nelle diverse matrici ambientali. La determinazione dei valori di concentrazione *background* ci consente di valutare i livelli di contaminazione ambientale, discriminando la componente relazionata ad attività antropiche rispetto a quella di natura geogenica. Nelle aree fortemente antropizzate non sempre le concentrazioni di un elemento/composto, rilevate in un sito campionato, riflettono il tenore di fondo naturale (*background*), ma possono riflettere anche un contributo antropico non

facilmente quantizzabile. In tal caso i tenori di fondo vanno definiti come valori di concentrazioni "attuali", indicati nella letteratura scientifica come *baseline* (Salminen e Gregorauskiene, 2000; Cicchella *et al.*, 2005); essi sono comunque utili perché rappresentano dei valori di riferimento per la valutazione nel tempo dell'impatto antropico sul territorio.

Recentemente, il mondo scientifico, ha posto l'attenzione sul rapporto tra la geologia e la medicina, ponendo le basi per la "geomedicina" che è da considerarsi come una nuova disciplina intesa come strumento di valutazione degli effetti dei fattori geologico-ambientali sulla distribuzione areale di patologie nell'uomo e negli animali (De Vivo, 1995; Filippelli *et al.*, 2012; Belkin *et al.*, 2013; Valera *et al.*, 2014). Le considerazioni legate alla geochimica ambientale e alla salute degli organismi viventi, sono state dettate dall'osservazione che particolari patologie sono maggiormente diffuse in alcune aree geografiche piuttosto che in altre (Albanese *et al.*, 2008; 2013; Giaccio *et al.*, 2012; Valera *et al.*, 2014).

L'acquisizione di conoscenze scientifiche di carattere geochimico, medico e nutrizionale è indispensabile per lo studio oggettivo per potere arrivare alla definizione di causa-effetto fra ritrovamento di contaminanti in matrici ambientali e patologie specifiche. Anche se è purtroppo diventata una moda attribuire qualsiasi patologia si manifesti a contaminazione ambientale, senza produrre alcuna dimostrazione dell'esistenza della contaminazione invocata. Da tempo sono note le relazioni fra salute umana e caratteristiche geochimiche locali per quanto riguarda carenze o eccessi di elementi chimici quali, ad esempio, I, F, Se ed As. Milioni di persone soffrono per esempio di fluorosi dentaria e scheletrica in Cina per eccesso di F nelle acque (sotto forma di fluoruro) oppure mostrano sintomi di avvelenamento per eccessive concentrazioni di As nelle acque potabili (De Vivo *et al.*, 2004). Pertanto la conoscenza della composizione chimica del territorio nazionale, la valutazione delle eventuali variazioni dovute a 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 delle attività industriali e antropiche in generale, che tengano conto delle conseguenze gravi che queste ultime possono determinare per l'ambiente e per l'uomo.

Come già discusso in "Premessa", l'attuazione del Programma Campania Trasparente, (<http://www.campaniatrasparente.it>), iniziato a Settembre 2015 e conclusosi nel 2018, ha comportato il prelievo di decine di migliaia di campioni, fra suoli, acque sotterranee, prodotti agricoli, matrici biologiche animali e umane consentendo uno studio geochimico-ambientale approfondito di tutta la Regione, al fine di valutare i fenomeni di esposizione dell'uomo attraverso lo studio di biomonitoraggio SPES (Studio di Esposizione nella Popolazione Suscettibile) (Fig. 1.1).

1.2 Sintesi dei risultati

In modo sintetico si può affermare che i risultati ottenuti, attraverso l'analisi di migliaia di campioni di suoli confermano i risultati già conseguiti sulla base

delle attività di ricerca pregresse svolte sui suoli di tutta la regione Campania dal gruppo di ricerca coordinato dal Prof. De Vivo. In particolare, il Gruppo di Ricerca ha curato anche la raccolta di campioni della matrice aria, per sette stagioni, su tutto il territorio regionale, i cui risultati hanno ulteriormente confermato quanto ottenuto con la matrice suoli. Con il Programma Campania Trasparente, si è sostanzialmente infittita la campionatura preesistente dei suoli e si è proceduto a campionare, con elevata densità, da parte di altri gruppi di Ricerca, anche altre matrici ambientali: acqua, vegetazione e matrici biologiche nell'intera Campania. I risultati conseguiti indicano che le aree individuate come a rischio, sia per gli EPT che per i POP (IPA, OCP, PCB, PBDE), nelle matrici suoli e aria, non sono ubicate genericamente nella Terra dei Fuochi (di questa è interessato, parzialmente, solo in parte il comprensorio Aversano e le aree comunali orientali ricadenti nell'Area Metropolitana di Napoli), bensì nei territori dell'area provinciale e metropolitana di Napoli e del bacino del fiume Sarno, e nella Bassa Irpinia (ma, ad oggi, non c'è ancora alcuna dimostrazione scientifica del rapporto causa-effetto fra presenza di inquinanti e patologie).



Figura 1.1. Immagine tratta dal sito: <http://www.campaniatrasparente.it>

Alla luce, dei risultati ottenuti con il Programma Campania Trasparente, che fa della Campania la Regione meglio caratterizzata dal punto di vista ambientale d'Italia, gli Atlanti Geochimico-Ambientali dei suoli pre-Campania Trasparente (De Vivo et al., 2016; Lima et al., 2017), e i 4 Volumi compilati per le matrici suolo e aria (De Vivo et al., 2021a,b,c), rappresentano un contributo concreto per la conoscenza scientifica dello stato di salute del territorio campano. Quest'ultima consente infatti di programmare interventi di risanamento (di bonifica e/o messa in sicurezza) mirati, laddove necessari sito-specifici, su basi scientifiche solide e non sulla spinta di emozioni.

Di seguito riportiamo, sinteticamente, il contenuto dei Volumi 1 (De Vivo et al, 2021a), 2 (De Vivo et al., 2021b) e 3 (De Vivo et al., 2021c), nei quali possono essere visionate le mappe prodotte per elementi chimici e composti organici (POP) nei suoli, e per i soli composti organici (POP) e Elementi Potenzialmente Tossici (EPT) nella matrice aria dell'intero territorio regionale (Fig. 1.2).

1. De Vivo et al, 2021a. In questo volume abbiamo riportato i risultati e discusso la distribuzione delle concentrazioni totali e la biodisponibilità degli elementi (maggiori, minori e in traccia potenzialmente tossici inseriti in Leggi am-

bientali - DLgs 152/2006 e DM 46/2019) nei suoli superficiali e profondi, attraverso la produzione di varie tipologie di mappe, allo scopo di valutare le “condizioni di salute” del territorio.

2. De Vivo et al., 2021b. In questo volume sono riportati i risultati e discussa la distribuzione delle concentrazioni dei POP = *Persistent Organic Pollutants* (IPA, PCB e OCP) inseriti in Leggi ambientali (DLgs 152/2006 e DM 46/2019) nei suoli superficiali. Nel Progetto Campania Trasparente, per ottenere un quadro esaustivo delle condizioni di salute dell’ambiente, si è proceduto, parallelamente, alla determinazione analitica degli elementi inorganici, ad una caratterizzazione delle concentrazioni dei vari congeneri di IPA, PCB e OCP, in alta risoluzione, sui suoli superficiali dell’intero territorio campano, sebbene con una densità di campionatura, ridotta rispetto ai circa 7300 campioni di suoli superficiali prelevati per le determinazioni analitiche di elementi inorganici. La cartografia sistematica della distribuzione di IPA, PCB e OCP, prodotta sui suoli superficiali della Campania, rappresenta un caso unico non solo in Italia, ma a livello europeo.

3. De Vivo et al., 2022. In questo volume sono riportati la distribuzione di POP, raccolti con filtri passivi di poliuretano (PUF) e Deposimetri passivi di Umido/Secco (W&D), nella matrice aria della Regione Campania. Per ottenere un quadro esaustivo delle condizioni dell’ambiente, si è proceduto, a un monitoraggio sistematico con la determinazione, in alta risoluzione, oltre che di IPA, PCB e OCP, anche di Eteri di Polibromodifenili (PBDE) e di Esteri di Ftalati (PAE), attraverso l’utilizzo di 147 Filtri Passivi di Poliuretano (PUF) e di 43 Deposimetri Passivi Umido/Secco, a copertura dell’intera Regione. La cartografia della distribuzione di IPA, PCB, OCP e PBDE in aria, prodotta su sette stagioni, della Regione Campania, rappresenta un caso unico non solo in Italia, ma a livello europeo (non si è prodotta la cartografia di PAE, in quanto i dati per questi composti sono stati rilevati per un numero esiguo di stazioni). Il volume contiene anche un capitolo relativo alla distribuzione in aria degli Elementi Potenzialmente Tossici (EPT) campionati solo con W&D (deposimetri passivi umido/secco).



Figura 1.2. Copertine dei due volumi *DeVivo et al., 2021a e b.*

Capitolo II Cartografia geochimica-ambientale

La cartografia geochimico-ambientale consente di individuare le aree interessate da concentrazioni anomale di elementi potenzialmente tossici (EPT) per la vita delle piante e degli animali e permette, inoltre, di salvaguardare l'uomo da inevitabili ripercussioni legate agli equilibri della catena alimentare. Essa costituisce un valido strumento di controllo del territorio, consentendo di stabilire un comune *database* a livello nazionale, regionale e locale in modo da fornire un quadro di riferimento per l'adozione di metodi standardizzati in vista di studi più localizzati e specialistici. Il tutto 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, le indagini epidemiologiche, la salute degli animali e degli uomini, l'inquinamento industriale nonché, in generale, l'uso del suolo. Per il complesso di operazioni che riguardano alla fine la salute umana, recentemente è stato coniato il termine, *exposoma* (Wild, 2005), per il quale la cartografia geochimico-ambientale svolge, un ruolo fondamentale, contribuendo a incentivare la produttività del territorio mediante una più corretta gestione dell'ambiente (Darnley et al., 1995; Plant et al., 2001). Questo capitolo illustra: gli sviluppi che la cartografia geochimica ha avuto negli ultimi decenni; i S.I.N. (Siti di Interesse Nazionale) presenti in Campania e la relativa normativa ambientale; le linee guida per la qualità dei suoli; le liste dell'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) per le sostanze cancerogene e non cancerogene.

2.1 Stato dell'arte della cartografia geochimica-ambientale

Da diversi anni, in questo settore, sono stati attivi vari progetti internazionali inseriti nel contesto europeo e mondiale. Nell'ambito di uno di questi primi progetti, denominato FOREGS (*Forum of European Geological Surveys*), al quale hanno partecipato i Servizi Geologici Nazionali di 25 Paesi, un gruppo di ricercatori delle Università di Napoli Federico II, di Padova, di Siena e del Sannio, coordinato dal Prof. B. De Vivo, ha rappresentato l'Italia e ha contribuito alla realizzazione dell'Atlante Geochimico Ambientale dell'Europa (Salminen et al. 1998; 2005; De Vos et al., 2006) e diversi altri lavori interpretativi (De Vivo et al., 2008a; 2008b; Lima et al., 2008; Fedele et al., 2008a; Cicchella et al., 2013). In seguito, il gruppo di ricerca formato da ricercatori delle Università di Napoli Federico II, Bologna, Cagliari e del Sannio, coordinato sempre dal Prof. B. De Vivo, dal 2007 ha proseguito le attività FOREGS nell'ambito dell'*EuroGeoSurveys Geochemistry Expert Group*, e poi, a partire dal 2011, autonomamente nell'ambito delle attività Europee come *GEMAS* e *URGE Project Teams*. Anche se nell'ambito dell'*EuroGeoSurveys Geochemistry Expert Group*,

l'Italia dal 2007 era rappresentata ufficialmente dall'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), le attività per l'Italia erano effettuate dal Gruppo di Ricercatori Universitari coordinato dal Prof. De Vivo (su mandato ISPRA, ma senza conferimento di fondi). In tale contesto europeo sono stati realizzati:

- ✓ l'Atlante Europeo delle Acque Minerali (Reimann e Birke, Eds., 2010); un volume speciale di *Journal of Geochemical Exploration* (Birke et al., Eds, 2010) che raccoglie diverse pubblicazioni scientifiche sempre sulle acque minerali e di rubinetto (Cicchella et al., 2010a; Dinelli et al., 2010; 2012a; 2012b; Lima et al., 2010; Zuzolo et al., 2020a);
- ✓ l'Atlante Europeo dei Suoli Agricoli (Fig. 2.1) (Reimann et al., 2014a; 2014b) più diverse pubblicazioni sui dati geochimici GEMAS sui suoli agricoli e da pascolo di 25 paesi europei (Cicchella et al., 2013, 2014, Albanese et al., 2015);
- ✓ l'Atlante Geochimico d'Italia (Fig. 2.2a) (De Vivo et al., 2008a; 2008b) compilato, per il territorio italiano, sulla base dei dati ottenuti dal progetto FOREGS, sui suoli superficiali e profondi, sui sedimenti fluviali e alluvionali, e sulle acque fluviali;
- ✓ l'Atlante geochimico dei suoli agricoli e da pascolo italiani (Fig. 2.2b) (Cicchella et al., 2018) con i dati ottenuti dal progetto GEMAS, già discussi nel lavoro di Cicchella et al. (2015).

Gli studi condotti in questo ambito internazionale, dal gruppo di ricerca coordinato dal Prof. De Vivo, fanno della Campania la regione più studiata in Italia dal punto di vista geochimico-ambientale. Sono stati infatti già pubblicati:

- ✓ l'Atlante Geochimico dei Sedimenti Fluviali della Regione Campania (De Vivo et al., 2003 e 2006a) e diversi lavori scientifici (Albanese 2007a; Cicchella et al., 2008a; Lima et al., 2003, 2005);
- ✓ l'Atlante dei Suoli dell'Area Urbana e della Provincia di Napoli (De Vivo et al. 2006c) e diversi lavori scientifici (Cicchella, 2002; Cicchella et al., 2003; 2005; 2008b; 2008c; De Vivo e Lima, 2008c);



Figura 2.1. Atlanti geochimici dei suoli agricoli europei, parte A e parte B.

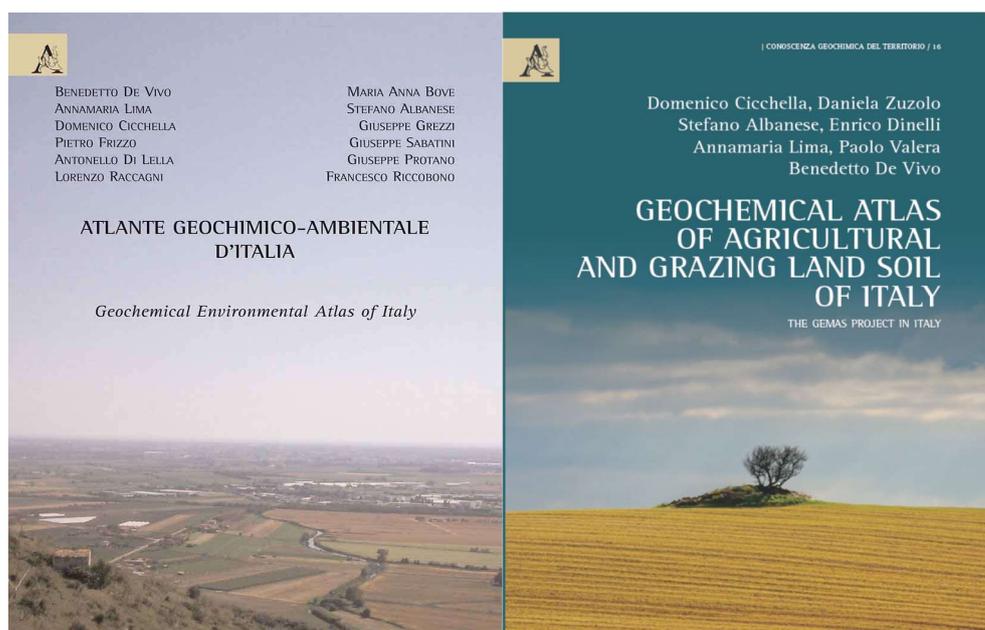


Figura 2.2. A sinistra la copertina dell'Atlante geochimico-ambientale d'Italia, da Progetto FOREGS (De Vivo et al., 2009). A destra la copertina dell'Atlante geochimico dei suoli agricoli e da pascolo d'Italia, da Progetto GEMAS (Cicchella et al., 2018).

- ✓ gli Atlanti delle aree urbane di Avellino, Benevento, Caserta, Isola d'Ischia e Salerno e diversi lavori scientifici (De Vivo et al., 2006c; Lima et al., 2007; Albanese et al., 2007b; 2008b e 2011; Frattini et al., 2006a; 2006b; Fedele et al., 2008b; Cicchella et al., 2008c; 2010b; 2020);
- ✓ l'Atlante del S.I.N. (Sito di Interesse Nazionale) Litorale Domizio-Flegreo e Agro Aversano (Lima et al., 2012, I Edizione) e diversi lavori scientifici con studi isotopici sulle matrici ambientali (Bove et al., 2011; Grezzi et al., 2011);
- ✓ l'Atlante del S.I.N. Litorale Domizio Flegreo e Agro Aversano (Lima et al., 2017, II Edizione);
- ✓ l'Atlante Geochimico-Ambientale dei suoli della Campania (De Vivo et al., 2016), che riporta i risultati ottenuti da una campionatura di 3.535 suoli superficiali. Tale attività di ricerca è stata svolta in un periodo precedente al Programma Campania Trasparente finanziato dalla Regione Campania all'IZSM (Portici, Napoli). I risultati ottenuti sui 3.535 campioni di suoli superficiali, analizzati per 47 elementi inorganici (fra i quali i 15 potenzialmente tossici riportati nel DLgs 152/2006), sono poi confluiti nel *database* del Programma Campania Trasparente, per un totale di 7.300 campioni analizzati, per 47 elementi chimici, con stesse metodiche analitiche. Con i dati riportati nell'Atlante De Vivo et al. (2016), il Gruppo di ricerca del prof. De Vivo ha pubblicato su riviste internazionali i lavori di seguito riportati: Zuzolo et al., 2017, 2018a, 2018b; Rezza et al., 2018a, 2018b; Minolfi et al., 2018a, 2018b, 2019; Thiombane et al., 2018a, 2018b, 2019; Buccianti et al., 2018; Petrik et al., 2018a, 2018b, 2018c, 2018d, 2018e; Cicchella et al., 2020; con i

dati di Campania Trasparente, il Gruppo di Ricerca del Prof. De Vivo, ha già pubblicato su riviste internazionali: Guagliardi et al., 2020; Zuzolo et al., 2020b;

- ✓ l'Atlante Geochimico-Ambientale dei Sedimenti marini dei Golfi di Napoli (inclusa la Baia di Bagnoli) e Salerno (Minolfi et al., 2018) (Fig. 2.3), che, oltre alle concentrazioni di 53 elementi chimici, illustra anche le concentrazioni di IPA e Pesticidi (Wang et al., 2015).

In aggiunta agli studi sulla regione Campania sono stati pubblicati:

- ✓ l'Atlante Geochimico dei Sedimenti Fluviali della Regione Basilicata (Lima et al., 2016a);
- ✓ l'Atlante Geochimico-Ambientale dei suoli e dei sedimenti fluviali dei Monti Peloritani (Sicilia) (Lima et al., 2016b).
- ✓ Nella serie di 3 Volumi geochimico-ambientali contenenti i dati ottenuti nell'ambito del Progetto Campania Trasparente sono illustrati i risultati, con relative mappe di distribuzione, derivanti sia dai suoli che dall'aria dei POP (Contaminanti Organici Persistenti), comprendenti IPA, PCB, OCP e PBDE. Per quanto concerne la distribuzione dei POP in Campania, sulla base dei risultati ottenuti con Progetti del Gruppo del Prof. De Vivo, sono stati già pubblicati, su riviste internazionali, lavori scientifici sia con dati precedenti al Programma Campania Trasparente (Qu et al., 2016; 2017; 2018a; 2018b; 2018c) che con i risultati di Campania Trasparente (Qi et al., 2019; Qu et al., 2019a; 2019b);
- ✓ Ulteriori studi geochimico-ambientali infine sono stati realizzati in aree specifiche della Campania a maggiore impatto antropico. In particolare, nel bacino del Fiume Sarno (Albanese et al., 2012; Cicchella et al., 2014b) sono stati condotti studi sulla biodisponibilità e sul trasferimento dei contaminanti dal suolo agricolo alle piante (Adamo et al., 2014). Per la valutazione del livello di contaminazione in relazione alla presenza degli IPA e PCB, sono stati eseguiti test di ecotossicità attraverso indagini su *Daphnia magna* (Arienzo et al., 2015). Anche in altre aree della Piana Campana sono stati valutati i livelli di contaminazione, oltre che da EPT, anche da composti organici come gli IPA e sono state eseguite analisi preliminari di rischio ambientale sanitario (Albanese et al., 2014). Sono stati effettuati anche studi sulla distribuzione dei rapporti isotopici del Pb, che vengono utilizzati come traccianti, per comprendere come avviene il trasferimento dei contaminanti dalle matrici ambientali (acqua, suoli, sedimenti, aria, colture) all'uomo (Cicchella et al., 2016).

2.2 Siti di Interesse Nazionale (S.I.N.) della Regione Campania e normativa ambientale

A partire dal 1998 il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) ha individuato, con la **Legge n. 426**, quindici S.I.N. (Siti di