

Direttore

Benedetto DE VIVO

Università Telematica Pegaso Napoli

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

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 del 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 Cicchella
Annamaria Lima, Alberto Fortelli
Annalise Guarino, Daniela Zuzolo
Mauro Esposito, Pellegrino Cerino
Antonio Pizzolante, Stefano Albanese

Monitoraggio geochimico–ambientale dei suoli della Regione Campania

Progetto Campania trasparente

Volume I

Elementi potenzialmente tossici e loro biodisponibilità
Elementi maggiori e in traccia
Distribuzione in suoli superficiali e profondi

Con la collaborazione di

Giulia Minolfi, Carmela Rezza, Chengkai Qu, Matar Thiombane, Attila Petrik,
Giuseppe Rofrano, Jacopo D’Auria, Alfonso Gallo, Andrea Pierri, Amedeo Ferro,
Pio Galdi, Antonio Di Stasio, Federico Nicodemo





Aracne editrice

www.aracneeditrice.it

Copyright © MMXXI
Gioacchino Onorati editore S.r.l. – unipersonale

www.gioacchinoonoratieditore.it
info@gioacchinoonoratieditore.it

via Vittorio Veneto, 20
00020 Canterano (RM)
(06) 45551463

ISBN 978-88-255-4036-9

*I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica,
di riproduzione e di adattamento anche parziale,
con qualsiasi mezzo, sono riservati per tutti i Paesi.*

*Non sono assolutamente consentite le fotocopie
senza il permesso scritto dell'Editore.*

I edizione: gennaio 2021

- 11 *Premessa*
- 13 *Capitolo I*
Introduzione
- 17 *Capitolo II*
Cartografia geochemica-ambientale
- 2.1 Stato dell'arte della cartografia geochemica-ambientale, 17 - 2.2 Siti di Interesse Nazionale della Regione Campania e normativa ambientale, 22 - 2.3 Liste dell'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) per i cancerogeni certi e cancerogeni probabili per l'uomo, 24 - 2.4 Cartografia Geochemica della Regione Campania, 25
- 27 *Capitolo III*
L'area oggetto di studio
- 3.1 Geografia e demografia della Campania, 27 - 3.2 Inquadramento geologico-strutturale, 28 - 3.3 Aspetti morfologici della Campania, 40 - 3.4 Clima, 45 - 3.5 Uso del suolo, 47 - 3.6 Attività antropiche e sviluppo economico della Campania, 50 - 3.7 Sorgenti geogeniche e antropogeniche di metalli potenzialmente tossici, 55
- 57 *Capitolo IV*
Materiali e metodi
- 4.1 Campionatura, 57 - 4.2 Analisi di laboratorio e controlli di qualità delle analisi, 63 - 4.3 Elaborazione statistica dei dati, 64 - 4.4 Elaborazione cartografica, 68
- 75 *Capitolo V*
Cartografia geochemica degli elementi maggiori nei suoli superficiali (*top soils*)
- 5.1 Alluminio (Al), 76 - 5.2 Calcio (Ca), 81 - 5.3 Ferro (Fe), 87 - 5.4 Fosforo (P), 92 - 5.5 Magnesio (Mg), 97 - 5.6 Potassio (K), 102 - 5.7 Sodio (Na), 107 - 5.8 Titanio (Ti), 112 - 5.9 Zolfo (S), 117
- 123 *Capitolo VI*
Cartografia geochemica degli elementi potenzialmente tossici nei suoli superficiali (*top soils*)
- 6.1 Antimonio (Sb), 125 - 6.2 Arsenico (As), 131 - 6.3 Berillio (Be), 138 - 6.4 Cadmio (Cd), 145 - 6.5 Cobalto (Co), 152 - 6.6 Cromo (Cr), 159 - 6.7 Mercurio (Hg), 166 - 6.8 Nichel (Ni), 173 - 6.9 Piombo (Pb), 179 - 6.10 Rame (Cu), 186 - 6.11 Selenio (Se), 193 - 6.12 Stagno (Sn), 200 - 6.13 Tallio (Tl), 207 - 6.14 Vanadio (V), 213 - 6.15 Zinco (Zn), 219
- 227 *Capitolo VII*
Biodisponibilità degli elementi potenzialmente tossici nei suoli superficiali (*top soils*)
- 7.1 Antimonio (Sb), 228 - 7.2 Arsenico (As), 231 - 7.3 Berillio (Be), 234 - 7.4 Cadmio (Cd), 237 - 7.5 Cobalto (Co), 240 - 7.6 Mercurio (Hg), 243 - 7.7 Nichel (Ni), 246 - 7.8

Piombo (Pb), 249 - 7.9 Rame (Cu), 252 - 7.10 Selenio (Se), 255 - 7.11 Stagno (Sn), 258 - 7.12 Tallio (Tl), 261 - 7.13 Vanadio (V), 264 - 7.14 Zinco (Zn), 267

271 *Capitolo VIII*

Cartografia geochemica degli altri elementi in tracce nei suoli superficiali (*top soils*)

8.1 Bario (Ba), 272 - 8.2 Bismuto (Bi), 277 - 8.3 Boro (B), 282 - 8.4 Cerio (Ce), 287 - 8.5 Cesio (Cs), 292 - 8.6 Gallio (Ga), 297 - 8.7 Germanio (Ge), 302 - 8.8 Afnio (Hf), 307 - 8.9 Indio (In), 312 - 8.10 Lantanio (La), 317 - 8.11 Litio (Li), 322 - 8.12 Manganese (Mn) 327 - 8.13 Molibdeno (Mo), 333 - 8.14 Niobio (Nb), 338 - 8.15 Rubidio (Rb), 343 - 8.16 Scandio (Sc), 348 - 8.17 Stronzio (Sr), 353 - 8.18 Tellurio (Te), 358 - 8.19 Torio (Th), 363 - 8.20 Uranio (U), 368 - 8.21 Wolframio o Tungsteno (W), 373 - 8.22 Yttrio (Y), 378 - 8.23 Zirconio (Zr), 383

389 *Capitolo IX*

Cartografia geochemica dei metalli nobili nei suoli superficiali (*top soils*)

9.1 Argento (Ag), 389 - 9.2 Oro (Au), 394 - 9.3 Palladio (Pd), 399 - 9.4 Platino (Pt), 404 - 9.5 Renio (Re), 409

415 *Capitolo X*

Cartografia geochemica degli elementi maggiori nei suoli profondi (*bottom soils*)

10.1 Alluminio (Al), 416 - 10.2 Calcio (Ca), 418 - 10.3 Ferro (Fe), 420 - 10.4 Fosforo (P), 422 - 10.5 Magnesio (Mg), 424 - 10.6 Potassio (K), 426 - 10.7 Sodio (Na), 428 - 10.8 Titanio (Ti), 430 - 10.9 Zolfo (S), 432

435 *Capitolo XI*

Cartografia geochemica degli elementi potenzialmente tossici nei suoli profondi (*bottom soils*)

11.1 Antimonio (Sb), 437 - 11.2 Arsenico (As), 439 - 11.3 Berillio (Be), 442 - 11.4 Cadmio (Cd), 445 - 11.5 Cobalto (Co), 448 - 11.6 Cromo (Cr), 451 - 11.7 Mercurio (Hg), 454 - 11.8 Nichel (Ni), 457 - 11.9 Piombo (Pb), 460 - 11.10 Rame (Cu), 463 - 11.11 Selenio (Se), 466 - 11.12 Stagno (Sn), 469 - 11.13 Tallio (Tl), 472 - 11.14 Vanadio (V), 475 - 11.15 Zinco (Zn), 478

481 *Capitolo XII*

Cartografia geochemica degli altri elementi in tracce nei suoli profondi (*bottom soils*)

12.1 Bario (Ba), 482 - 12.2 Bismuto (Bi), 484 - 12.3 Boro (B), 486 - 12.4 Cerio (Ce), 488 - 12.5 Cesio (Cs), 490 - 12.6 Gallio (Ga), 492 - 12.7 Germanio (Ge), 494 - 12.8 Afnio (Hf), 496 - 12.9 Indio (In), 498 - 12.10 Lantanio (La), 500 - 12.11 Litio (Li), 502 - 12.12 Manganese (Mn), 504 - 12.13 Molibdeno (Mo), 506 - 12.14 Niobio (Nb), 508 - 12.15 Rubidio (Rb), 510 - 12.16 Scandio (Sc), 512 - 12.17 Stronzio (Sr), 514 - 12.18 Tellurio (Te), 516 - 12.19 Torio (Th), 518 - 12.20 Uranio (U), 520 - 12.21 Wolframio o Tungsteno (W), 522 - 12.22 Yttrio (Y), 524 - 12.23 Zirconio (Zr), 526

529 *Capitolo XIII*

Cartografia geochemica dei metalli nobili nei suoli profondi (*bottom soils*)

13.1 Argento (Ag), 529 - 13.2 Oro (Au), 529 - 13.3 Palladio (Pd), 532 - 13.4 Platino (Pt), 532 - 13.5 Renio (Re), 535

537 *Capitolo XIV*

Cartografia geochemica delle associazioni fattoriali degli elementi

14.1 Analisi della struttura multivariata dei dati geochemici attraverso l'approccio compositivo, 537 - 14.2 *Dataset* dei *topsoil*, 538 - 14.3 *Dataset* dei *bottom soil*, 548

555 *Capitolo XV*

Conclusioni sui risultati ottenuti dal monitoraggio degli elementi chimici nei suoli superficiali (*topsoil*) e profondi (*bottom soil*) della Regione Campania

15.1 Motivazione della ricerca, 555 - 15.2 Obiettivi generali e specifici, 556 - 15.3 Metodologie utilizzate, 558 - 15.4 Risultati e discussione, 561 - 15.5 Conclusioni, 565

567 *Bibliografia*585 *Appendice*

Gouache

Vesuvio e Reggia di Portici



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

Premessa

Il piano Campania Trasparente

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 socio-economiche 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 poste in essere 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.

Tale 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

Isola d'Ischia dal lago di Agnano



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

I dati illustrati nel presente volume sono il frutto del lavoro svolto nell'ambito del piano Campania Trasparente, finanziato con D.G.R. n. 497/2013: 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 del gruppo 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".

La contaminazione dell'ambiente con sostanze 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; i metalli potenzialmente tossici 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. Gli ambienti naturali che sono coinvolti dalla contaminazione di metalli potenzialmente tossici, 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 dell'inquinamento; a questo scopo è importante definire per ogni territorio i tenori di fondo naturali (*background*) di determinati elementi chimici nelle 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 i tenori di fondo vengono indicati come *background/baseline* (vedi questo atlante), in quanto non sempre le concentrazioni di un elemento, rilevate in un sito campionato, rifletto-

no 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.*, 2008a; 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 poter 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 I, F, Se ed As. Milioni di persone soffrono per esempio di fluorosi dentale 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.

Sulla base delle esigenze sopra riportate in risposta anche a tante notizie allarmanti senza alcuna base scientifica, la Regione Campania è stata messa al centro dell'attenzione internazionale per una presunta contaminazione diffusa nei suoli, soprattutto dei fertili territori del napoletano e del casertano. Questa situazione ha portato all'attenzione mediatica mondiale quella parte di territorio nota come la "Terra dei Fuochi", distruggendo, spesso immotivatamente, il comparto agricolo molto produttivo in tale area.

Il gruppo di ricerca del Prof. De Vivo è più volte intervenuto sul problema, proponendo che esso fosse affrontato su basi scientifiche nella sua completezza, con ricerche mirate a effettuare indagini per: a) caratterizzare, prima di tutto, la composizione geochimica del suolo agrario e delle acque di falda su base regionale e locale; b) definire il livello di bio-disponibilità degli elementi e composti

tossici; c) determinare i tassi di assorbimento da parte delle varie tipologie di colture vegetali dei diversi potenziali contaminanti chimici presenti nei suoli e nelle acque di falda; d) cercare di dimostrare una relazione diretta fra presenza di contaminanti nei suoli, nell'aria, nelle acque, nei prodotti agricoli e infine nelle matrici umane (capelli, urine, sangue) attraverso metodologie innovative.

Tutto ciò, per 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; ma anche per dimostrare scientificamente la tracciabilità dei prodotti agro-alimentari che arrivano ai consumatori, con l'obiettivo di caratterizzare (e possibilmente "certificare") la qualità dei prodotti tipici di diverse specie.

Tutto quanto sopra è stato recepito e fatto proprio dal Programma Campania Trasparente (Fig. 1.1), finanziato dalla Regione Campania, attraverso l'Istituto Zooprofilattico Sperimentale per il Mezzogiorno, programma al quale ha partecipato attivamente il Gruppo di Ricerca del Prof. De Vivo. Il programma, iniziato a Settembre 2015 e concluso nel 2018, ha previsto il prelievo di decine di migliaia di campioni, fra suoli, acque sotterranee, prodotti agricoli, matrici biologiche animali e umane al fine di garantire la salute dei consumatori dei prodotti campani e valutare i fenomeni di esposizione dell'uomo attraverso lo studio di biomonitoraggio SPES (Studio di Esposizione nella Popolazione Suscettibile).



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

I risultati ottenuti, in tempi molto veloci, attraverso l'analisi di migliaia di campioni di diverse tipologie, confermano i risultati già ottenuti in attività di ricerca pregressesvolte sui suoli di tutta la regione Campania dal gruppo di ricerca del Prof. De Vivo. I risultati pregressi sono riportati in decine di pubblicazioni scientifiche internazionali e a livello divulgativo e nell'Atlante Geochimico-Ambientale dei Suoli della Campania, Aracne Editrice, Roma (De Vivo *et al.*, 2016) (Fig. 1.2). Ora alle campionature dei suoli, si sono aggiunte quelle di altre matrici ambientali: aria, acqua, vegetazione, matricibiologiche, che copronol'intera Regione con un'elevata densità. I risultati conseguiti indicano che le aree in-

dividuate come a rischio, sia per i metalli/metalloidi tossici che per i composti organici (IPA, Pesticidi, PCB), non sono ubicate genericamente nella Terra dei Fuochi (di questa è interessato, parzialmente, solo in parte il comprensorio Aver-sano 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 Sarno (ma senza alcuna dimostrazione scientifica di rapporto causa-effetto fra presenza di inquinanti e patologie).

A valle, comunque, dei risultati ottenuti con il progetto "Campania Trasparen-te", che fa della Campania la Regione meglio caratterizzata dal punto di vista ambientale d'Italia, si dovrebbero effettuare indagini sito-specifiche, caso per caso con maggiore densità di campionatura con il prelievo di ulteriori campioni di suoli, acque, aria, colture agricole e matrici biologiche e con il coinvolgimento di Istituzioni sanitarie (es, Istituto Pascale, già in parte coinvolto, nelle indagini del progetto Campania Trasparente) per tutti gli aspetti potenziali che coinvolgano gli effetti sulla salute umana. I risultati ottenuti sui suoli dell'intera Regione e che vengono riportati in questo Atlante, rappresentano quindi un contributo concreto nello spirito del Progetto Campania Trasparente, meritoriamente finanziato dalla Regione Campania. La conoscenza scientifica dello stato di salute del territorio campano consente ora 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.



Figura 1.2. Copertina dell'Atlante geochimico ambientale dei suoli della Campania.
da: <http://www.aracneeditrice.it/index.php/pubblicazione.html?item=9788854897441>

Unitamente ai risultati ottenuti per gli elementi inorganici riportati in questo Atlante geochimico-ambientale, sono riportati, in altri due Atlanti geochimico-ambientali, i risultati ottenuti nei suoli per i composti organici (IPA, PCB, OCP) e per elementi inorganici e composti organici nella matrice Aria.

Capitolo II Cartografia geochimica-ambientale

La cartografia geochimica-ambientale consente di individuare le aree interessate da concentrazioni anomale di elementi potenzialmente tossici 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. Può svolgere, inoltre, un ruolo fondamentale nel contribuire 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.

2.1 Stato dell'arte della cartografia geochimica-ambientale

Da diversi anni, in questo settore, sono 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, con a capo il Prof. Benedetto 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, un gruppo di ricerca delle Università di Napoli Federico II, di Bologna, di Cagliari e del Sannio, coordinato sempre dal Prof. Benedetto 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 Ricercato-

ri 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 (Reimann et al., 2008, 2009, 2011; Cicchella et al., 2013, 2014a, Albanese et al., 2015);
- ✓ l'Atlante Geochimico d'Italia (Fig. 2.2) (De Vivo et al., 2008a; 2008b) compilato 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. 2.2) (Cicchella et al., 2018) con i dati ottenuti dal progetto GEMAS, già discussi nel lavoro di Cicchella et al. (2015).

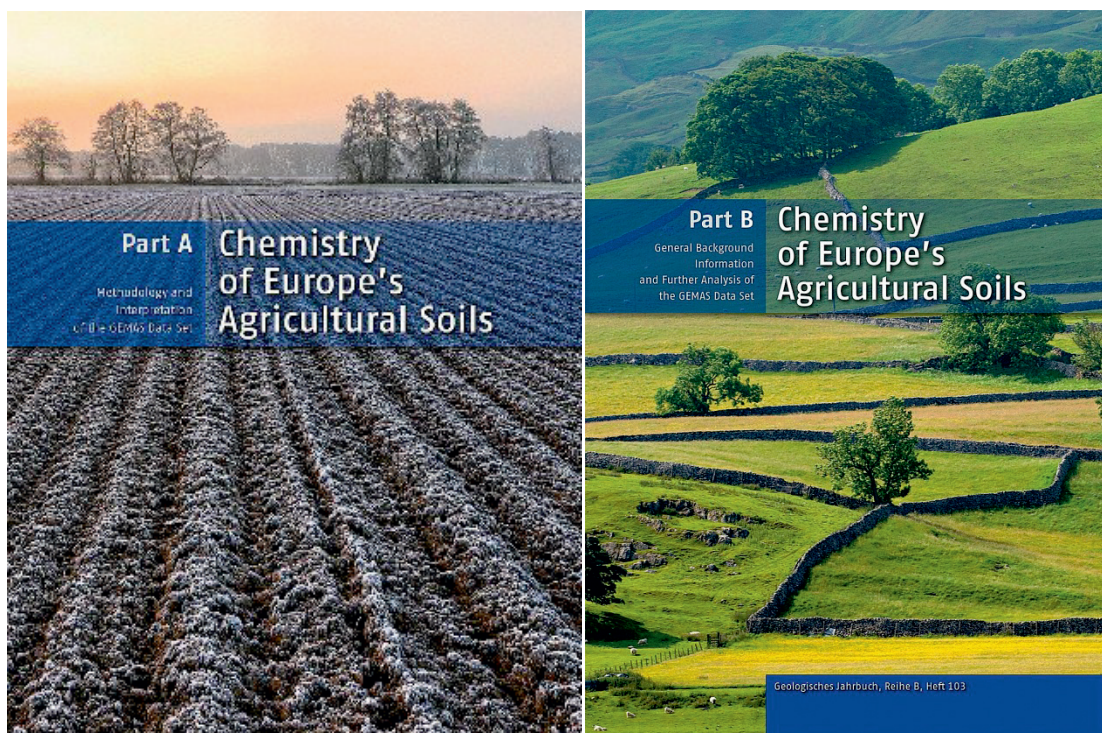


Figura 2.1. Atlanti geochimici dei suoli agricoli europei, parte A e parte B.

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 Geochemico 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; Fig. 2.3) e diversi lavori scientifici (Cicchella, 2002; Cicchella et al., 2003; 2005; 2008b; De Vivo e Lima, 2008);
- ✓ 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) e diversi lavori scientifici con studi isotopici sulle matrici ambientali (Bove et al., 2011; Grezzi et al., 2011);
- ✓ la seconda edizione dell'Atlante del S.I.N. Litorale Domizio Flegreo e Agro Aversano (Lima et al., 2017. Fig. 2.3);
- ✓ l'Atlante Geochemico-Ambientale dei suoli della Campania (De Vivo et al., 2016. Fig. 2.3), che riporta i risultati ottenuti da una campionatura di 3535 suoli superficiali. Tale attività di ricerca è stata svolta in un periodo precedente al Progetto Campania Trasparente finanziato dalla Regione Campania all'Istituto Zooprofilattico Sperimentale del Mezzogiorno (Portici, Napoli). I risultati ottenuti sui 3535 campioni di suoli superficiali, analizzati per 47 elementi inorganici (fra i quali i 15 potenzialmente tossici riportati nel D.L. 152/2006), sono poi confluiti nel database del Progetto 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 ha pubblicato su riviste internazionali le pubblicazioni di seguito riportate: 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 diversi lavori: Guagliardi et al., 2020; Zuzolo et al., 2020b;
- ✓ l'Atlante Geochemico-Ambientale dei Sedimenti marini dei Golfi di Napoli (inclusa la Baia di Bagnoli) e Salerno (Minolfi et al., 2018) (Fig. 2.3).
- ✓ l'Atlante dei sedimenti marini del Golfo di Napoli e del Golfo di Salerno 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 Geochemico dei Sedimenti Fluviali della Regione Basilicata (Lima et al., 2016a. Fig. 2.3).
- ✓ l'Atlante Geochemico-Ambientale dei suoli e dei sedimenti fluviali dei Monti Peloritani (Sicilia) (Lima et al., 2016b. Fig. 2.3).

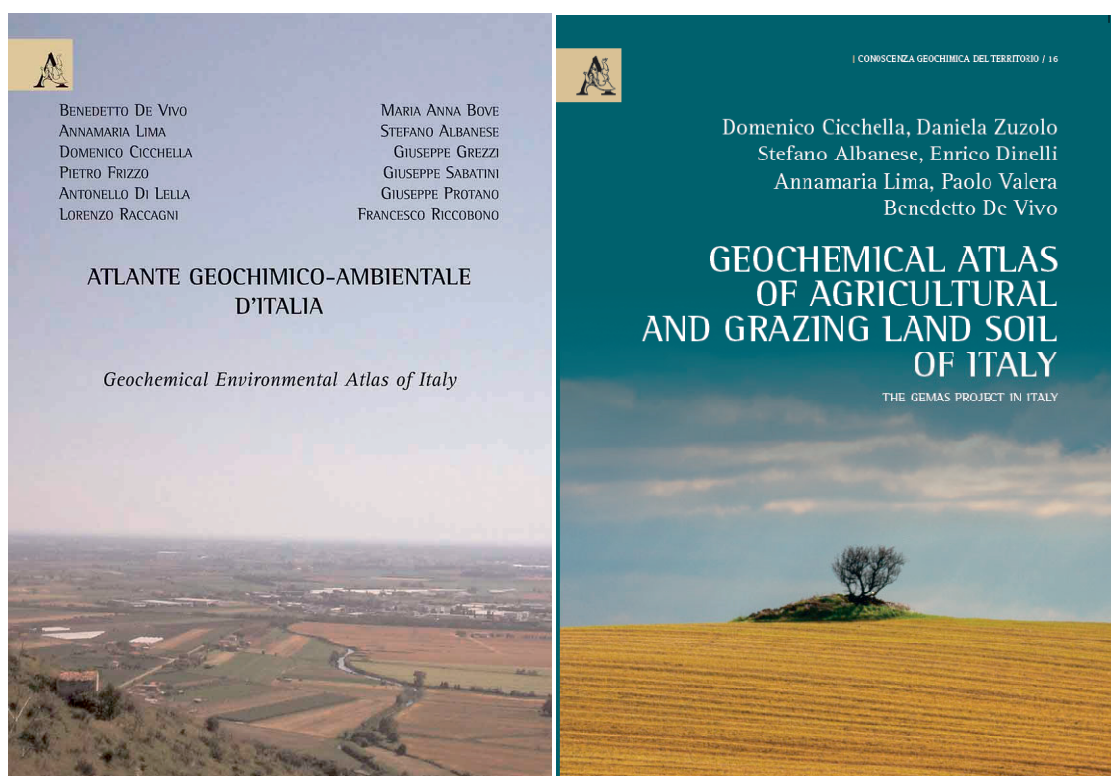


Figura 2.2. A sinistra la copertina dell'Atlante geochimico-ambientale d'Italia (De Vivo et al., 2009). A destra la copertina dell'Atlante geochimico dei suoli agricoli d'Italia (Cicchella et al., 2018).

Nella serie di Atlanti geochimico-ambientali contenenti i dati ottenuti nell'ambito del Progetto Campania Trasparente, e che faranno seguito a questo Atlante, saranno illustrati i risultati, con relative mappe di distribuzione, derivanti sia dai suoli che dall'aria dei POP (Contaminanti Organici Persistenti), comprendenti IPA (Idrocarburi Policiclici Aromatici), PCB (Policlorobifenili) e OCP (Pesticidi). 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 Progetto 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 geochimici 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). In aggiunta, per la valutazione del livello di contaminazione in relazione alla presenza degli Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) e Policlorobifenili (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