

$$\frac{A_04}{50}$$



Annamaria Lima  
Lucia Giaccio  
Domenico Cicchella  
Stefano Albanese

Marianna Bove  
Giuseppe Grezzi  
Robert A. Ayuso  
Benedetto De Vivo

**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



Copyright © MMXII  
ARACNE editrice S.r.l.

[www.aracneeditrice.it](http://www.aracneeditrice.it)  
[info@aracneeditrice.it](mailto:info@aracneeditrice.it)

via Raffaele Garofalo, 133/A-B  
00173 Roma  
(06) 93781065

ISBN 978-88-548-5148-1

*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: ottobre 2012

<i>Indice</i>	
<i>Premessa</i>	9
<i>Introduzione</i>	11
<b>Capitolo I</b>	13
1. Lo stato dell'arte della cartografia geochemica ambientale	13
<b>Capitolo II</b>	15
2. I Siti di bonifica di interesse nazionale (S.I.N.)	15
2.1 I S.I.N. e il D.L. 152/2006	16
<b>Capitolo III</b>	17
3. L'area oggetto di studio	17
3.1. Breve introduzione alla geologia della Piana Campana	17
3.2. Inquadramento geologico	19
3.2.1 Litorale Domizio-Flegreo	19
3.2.2 Agro Aversano	22
3.3. Geomorfologia	25
3.4. Attività antropiche e sviluppo economico	26
3.4.1 Uso del suolo	28
3.4.2 Sorgenti geogeniche e antropogeniche di metalli tossici	31
<b>Capitolo IV</b>	37
4. Materiali e Metodi	37
4.1 Raccolta e preparazione dei campioni	37
4.2 Analisi di laboratorio	39
4.3 Limiti di rilevabilità strumentale	40
4.4 Elaborazione statistica dei dati	41
4.5 Elaborazione cartografica	42
4.5.1 Il database	43
4.5.2 Rappresentazione cartografica puntuale dei dati	45
4.5.3 Rappresentazione cartografica dei dati interpolati	45
4.5.4 Carte della distribuzione dei <i>factor scores</i> delle associazioni fattoriali	46
<b>Capitolo V</b>	47
5. Carte geochemiche degli elementi maggiori	47
5.1. Alluminio	48
5.2. Calcio (Ca)	52
5.3. Ferro (Fe)	56
5.4. Fosforo (P)	60
5.5. Magnesio (Mg)	64
5.6. Potassio (K)	68

5.7. Sodio (Na)	72
5.8. Titanio (Ti)	76
5.9. Zolfo (S)	80

**Capitolo VI** 85

6. Carte geochemiche degli elementi in traccia potenzialmente tossici	85
6.1. Antimonio (Sb)	87
6.2. Arsenico (As)	92
6.3. Berillio (Be)	97
6.4. Cadmio (Cd)	102
6.5. Cobalto (Co)	107
6.6. Cromo (Cr)	112
6.7. Mercurio (Hg)	117
6.8. Nichel (Ni)	123
6.9. Piombo (Pb)	128
6.10. Rame (Cu)	134
6.11. Selenio (Se)	139
6.12. Stagno (Sn)	145
6.13. Tallio (Tl)	150
6.14. Vanadio (V)	155
6.15. Zinco (Zn)	161

**Capitolo VII** 167

7. Carte geochemiche di altri elementi in tracce	167
7.1. Bario (Ba)	168
7.2. Bismuto (Bi)	172
7.3. Boro (B)	176
7.4. Gallio (Ga)	180
7.5. Lantanio (La)	184
7.6. Manganese (Mn)	188
7.7. Molibdeno (Mo)	192
7.8. Scandio (Sc)	196
7.9. Stronzio (Sr)	200
7.10. Tellurio (Te)	204
7.11. Torio (Th)	208
7.12. Uranio (U)	212
7.13. Wolframio o Tungsteno (W)	216

**Capitolo VIII** 221

8. Carte geochemiche dei metalli nobili	221
8.1. Argento (Ag)	221
8.2. Oro (Au)	225

**Capitolo IX** 229

9. Carte delle associazioni fattoriali	229
--	-----

9.1.1 Associazione fattoriale F1: Be - La- Th - Al - Tl - Ti - U - As - Ba Fe (-Mg, -Ca)	230
9.1.2 Associazione fattoriale F2: Co - Ni - Sc - Fe - Cr - V - Mn - Mg Cd - (-Na)	230
9.1.3 Associazione fattoriale F3: Sb - Pb - Sn - Zn - Cd - Hg - Cu	230
9.1.4 Associazione fattoriale F4: Sr - K - Na - Ba - P	231
9.1.5 Associazione fattoriale F5: Se - B - S - P	231
<b>Capitolo X</b>	237
10. Conclusioni	237
<b>Bibliografia</b>	245





## *Premessa*

La contaminazione dell'ambiente con sostanze tossiche, determinata da attività antropiche per decenni 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 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.

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 contaminanti. Da ciò si evince che le sostanze contaminanti siano più pericolose se maggiormente capaci di accumularsi; i metalli pesanti 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 pesanti, 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; questo può essere realizzato, ad esempio, attraverso la conoscenza dei tenori di fondo naturali (*background*) di determinati elementi 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 dovute ad attività antropiche.

Recentemente, il mondo scientifico, ha posto l'attenzione sul rapporto tra la geologia e la medicina, attraverso 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. Queste considerazioni legate alla geochimica ambientale e la salute degli organismi viventi hanno avuto origine dall'osservazione che particolari patologie sono maggiormente diffuse in alcune aree geografiche piuttosto che in altre. Dopo l'acquisizione di conoscenze scientifiche fondamentali di carattere geochimico, medico e nutrizionale sono state poste le basi per lo studio oggettivo di causa-effetto fra fattori ambientali e problemi sanitari. 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 dentaria 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 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.

## Introduzione

Nel presente Atlante geochimico-ambientale vengono illustrati i risultati ottenuti dalle indagini eseguite sui suoli dell'area del S.I.N. (Sito di bonifica di interesse nazionale) Litorale Domitio ed Agro Aversano nell'ambito delle attività di ricerca del Progetto "FORGIARE" (Resp. Prof. B. De Vivo), cofinanziato dalla Compagnia di San Paolo di Torino, dal titolo: "Studio geochimico ambientale di un sito di interesse nazionale: Litorale Domizio-Flegreo e Agro Aversano. Indagini su metalli tossici, erbicidi e pesticidi nei suoli e negli acquiferi".

Questo Atlante vuole essere uno strumento di notevole valenza ambientale, sia per la valutazione del grado di inquinamento dei suoli dell'area del Litorale Domitio ed Agro Aversano sia per la determinazione dei tenori di fondo naturali (*background*) e, ove possibile, dei valori di fondo attuali (*baseline*) degli elementi chimici analizzati. Per molti di questi elementi le recenti normative emanate dal Ministero dell'Ambiente (D. M. 471/1999, D. M. 367/2003, D. Lgs 152/2006) fissano le concentrazioni soglia di contaminazione per i suoli e le acque, per i sedimenti di acque marino-costiere, lagune e stagni costieri, in funzione della destinazione d'uso del territorio. E' bene ricordare che i valori di fondo attuali 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 cui si riferiscono (Salminen e Gregorauskiene, 2000). Per ogni singolo elemento analizzato, nella discussione delle carte prodotte, vengono di volta in volta indicati i valori che possono ritenersi tenori di fondo naturali (*background*).

Si auspica che gli organismi pubblici preposti al controllo ambientale tengano conto di tali risultati nella definizione degli interventi per la pianificazione, la messa in sicurezza e la bonifica del territorio.

Le carte geochimico-ambientali raccolte in questo Atlante rappresentano una "fotografia" dell'attuale distribuzione delle concentrazioni degli elementi chimici analizzati nei campioni di suolo e potranno essere utilizzate in futuro come riferimento per la valutazione dell'impatto ambientale nell'ambito del territorio indagato.

Nello specifico, questo Atlante raccoglie:

- Le carte geochimiche puntuali delle concentrazioni di 39 elementi inorganici nei suoli (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).
- Le carte geochimiche interpolate, degli stessi 39 elementi delle carte puntuali, elaborate utilizzando il software GeoDAS che consente l'applicazione di un metodo di interpolazione innovativo che utilizza la geometria frattale (*Multi-fractal-IDW*).
- Le carte dei tenori di fondo attuali (*baseline*), relativamente ai quindici elementi potenzialmente tossici, così come riportati nel D. Lgs. 152/2006.
- Le carte geochimiche (puntuali e interpolate) dei *factor scores* delle associazioni fattoriali, scaturite dall'analisi fattoriale in *R-mode*.



## 1. Lo stato dell'arte della cartografia geochemica ambientale

La cartografia geochemica ambientale costituisce un valido strumento di controllo del livello di inquinamento ambientale. La conoscenza della composizione chimica, isotopica e radioattiva delle aree in cui viviamo e la sua divulgazione mediante tecniche di rappresentazione grafica sono elementi fondamentali di controllo ai fini di una razionale gestione dei problemi connessi allo sfruttamento del territorio e ad un'appropriata valutazione degli effetti ambientali sull'uomo e sugli animali. Disponendo di una rappresentazione cartografica delle concentrazioni degli elementi chimici, è possibile effettuare delle correlazioni a distanza di anni, con possibilità di confrontare i relativi dati.

La cartografia geochemica consente di individuare le aree interessate da concentrazioni anomale di elementi 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 può svolgere, inoltre, un ruolo fondamentale nel contribuire ad incentivare la produttività del territorio mediante una più corretta gestione dell'ambiente (Darnley et al., 1995; Plant et al., 2001). A livello internazionale negli ultimi anni sono stati prodotti atlanti geochemici da parte dei servizi geologici nazionali di diversi paesi (BGS, 1987, 1990, 1991, 1992; Plant et al., 1997; Reimann et al., 1998; Sajn et al., 1998; Bodiš e Rapant, 1999; Kadūnas et al., 1999; Ottesen et al., 2000).

In Italia è già da diversi anni attivo, in questo settore, un gruppo di ricercatori dell'Università di Napoli "Federico II" e dell'Università del Sannio, le cui iniziative sono inserite nel contesto europeo e

mondiale di vari Progetti internazionali. Nell'ambito del progetto FOREGS (*Forum of European Geological Surveys*) è stata realizzata una cartografia geochemica ambientale dell'Europa (Salminen et al. 1998; 2005; De Vos et al., 2006) e diversi altri lavori interpretativi (Lima et al., 2008, Fedele et al., 2008b). Il gruppo di ricercatori italiani, coordinati dal Prof. Benedetto De Vivo, ha proseguito poi le attività FOREGS nell'ambito dell'*EuroGeoSurveys Geochemistry Expert Group* (dal 2007 al 2011). Dal 2011 le attività Europee proseguono come *GEMAS e URGE Project Teams*.

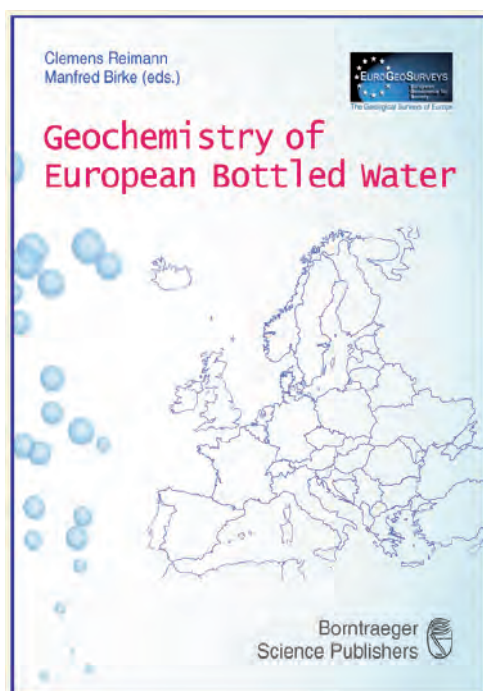


Figura 1.1. Atlante geochemico delle acque minerali europee (Reimann & Birke eds., 2010).

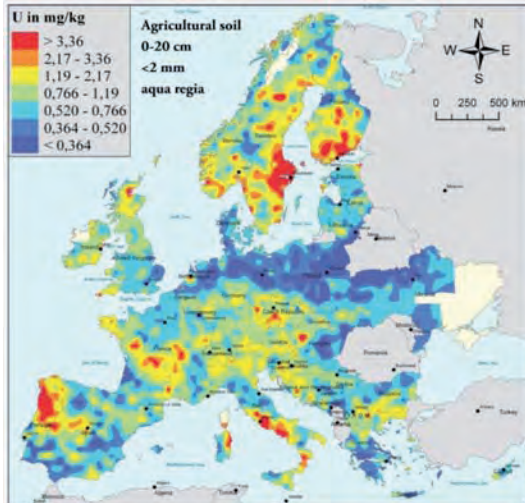


Figura 1.2. Distribuzione dell'uranio nei suoli agricoli europei.

In tale contesto è già stato realizzato l'Atlante europeo delle acque minerali (Fig. 1) (Reimann & Birke eds., 2010), un volume speciale di *Journal of Geochemical Exploration* (De Vivo et al., 2010) diverse pubblicazioni scientifiche sempre sulle acque minerali (Cicchella et al., 2010; Dinelli et al., 2010; 2012a; 2012b; Lima et al., 2010) e sono in preparazione gli Atlanti geochimici europeo ed italiano sui suoli agricoli e da pascolo (Fig. 2) (Reiman et al., 2008, 2009, 2011).

Il gruppo di ricercatori sopramenzionato ha portato a termine la compilazione della cartografia geochimica della Regione Campania (Albanese 2007a; Cicchella et al., 2008a; De Vivo et al., 2003, 2006a, 2006b; Lima et al., 2003, 2005) e una cartografia geochimica dell'intero territorio italiano (Fig. 3) (De Vivo et al., 2008a; 2008b).

Nell'ambito poi del Progetto PON PETIT-OSA-OR10-CSMSA (Centro Specializzato Monitoraggio Suoli e Acque), il gruppo di ricerca ha portato a termine uno studio geochimico-ambientale sui suoli dell'area urbana e della Provincia di Napoli (De Vivo et al. 2006c; Cicchella, 2002; Cicchella et al., 2003; 2005; 2008b) e di tutte le maggiori aree urbane della Regione Campania (Avellino, Benevento, Caserta, Isola d'Ischia, Salerno) (De Vivo et al., 2006c; 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).

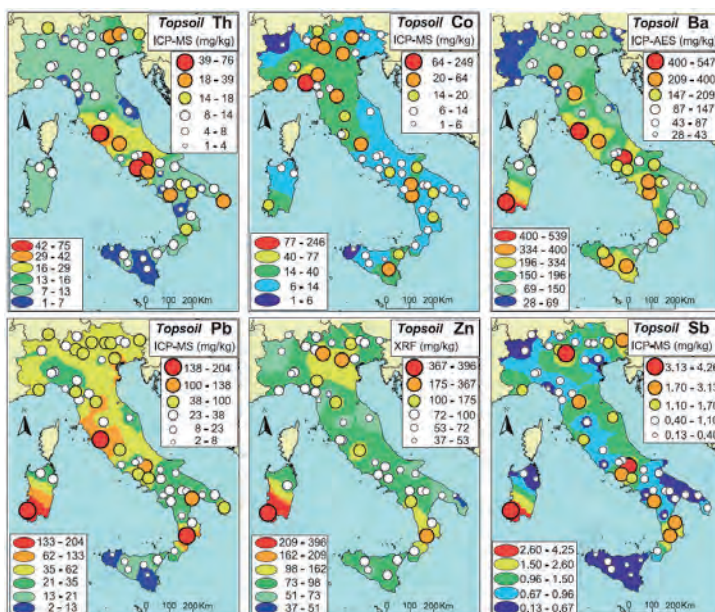


Figura 1.3. Esempio di cartografia geochimica a scala nazionale (De Vivo et al., 2008b). Distribuzione geochimica di Th, Co, Ba, Pb, Zn e Sb nei suoli italiani.

## 2. I Siti di bonifica di interesse nazionale (S.I.N.)

### 2.1. I S.I.N. e il D. Lgs 152/2006

Nel 1998 il Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare ha individuato, con la Legge n. 426, quindici S.I.N. (Siti di Interesse Nazionale), localizzati su tutto il territorio italiano. Negli anni seguenti, con l’emissione di ulteriori Leggi (388/00, 468/01, 179/02, 266/05 e 152/06), il numero di questi siti è aumentato fino a 54. In questa lista di siti rientrano tutte quelle aree altamente inquinate che, sia per la loro estensione che per il loro utilizzo, vengono considerate particolarmente a rischio per la salute dell’uomo. La Legge italiana sancisce che per queste aree si rende necessaria una speciale attenzione ed una specifica attività di bonifica.

Molti di questi siti sono stati utilizzati in passato per svolgerci attività industriali ad alto impatto ambientale (industrie petrolchimiche, lavorazione dell’amianto), ma anche vecchi distretti minerari o grandi sversatoi di rifiuti, spesso illegali.

Quattro dei 54 Siti di Interesse Nazionale si trovano nella Regione Campania. Essi sono:

1. Napoli Orientale,
2. Napoli Bagnoli-Coroglio,
3. Litorale Vesuviano,
4. Litorale Domitio-Flegreo e Agro Aversano.

Quest’ultimo è uno dei S.I.N. più grandi (1564 Km<sup>2</sup>); include ben 77 municipalità e si estende per lo più nella parte nord-occidentale della Regione Campania occupando circa l’11,54% dell’intera superficie regionale. Tale area è una delle più densamente abitate d’Italia (1.214.846 abitanti) e occupa parte delle Province di Caserta e Napoli (Figg. 2.1 – 2.3).

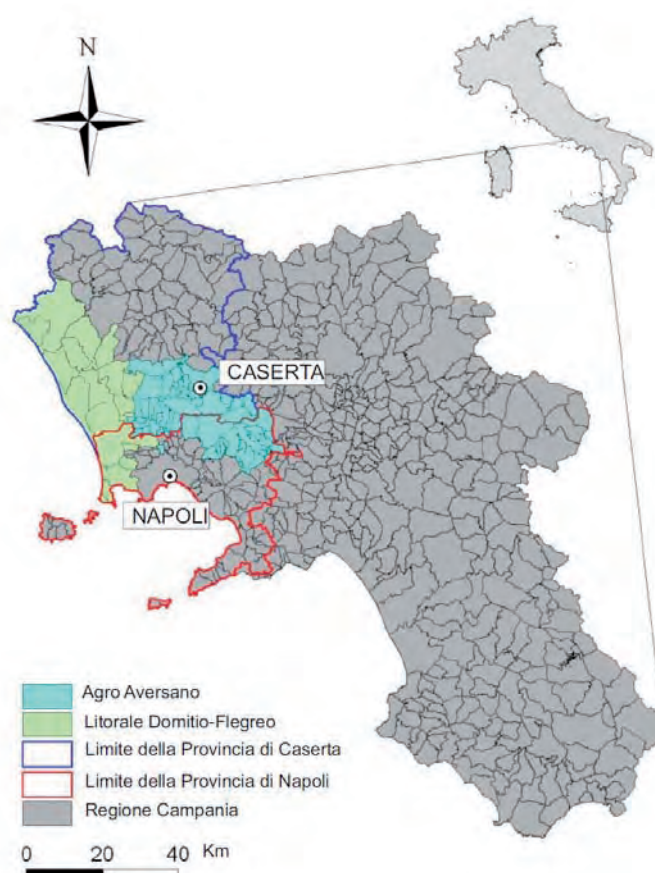
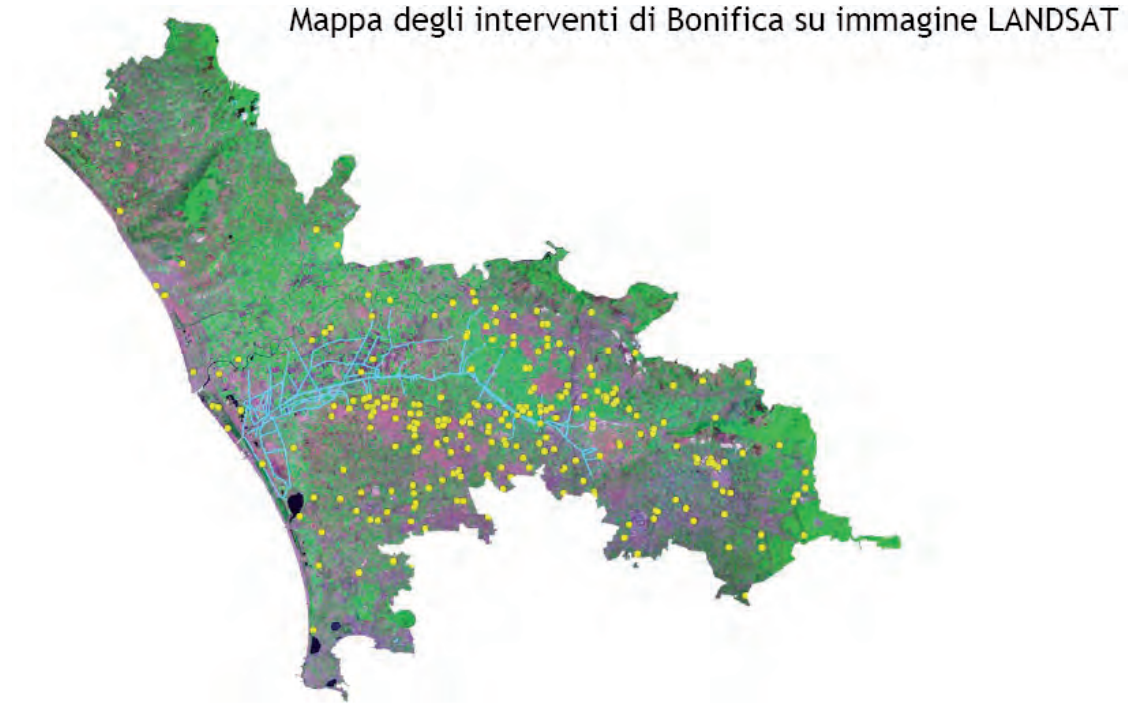
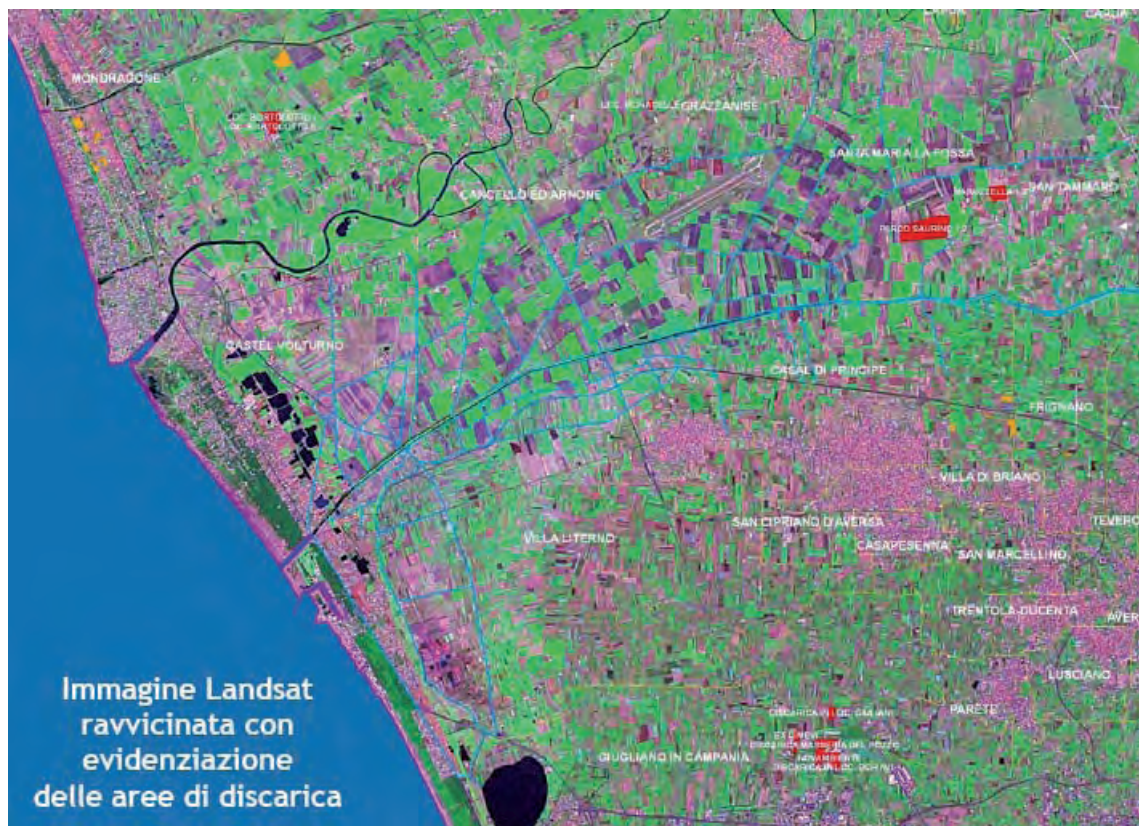


Figura 2.1. Litorale Domitio-Flegreo e Agro Aversano.

Mappa degli interventi di Bonifica su immagine LANDSAT



*Figura 2.2*



*Figura 2.3*



### 3. L'area oggetto di studio

L'obiettivo di questo capitolo è quello di individuare e descrivere le caratteristiche naturali e antropiche dell'area del Litorale Domizio-Flegreo e Agro Averzano (Fig. 3.1) al fine di avere gli elementi utili per individuare le fonti geogeniche e quelle antropogeniche degli elementi metallici nei suoli del territorio oggetto di studio. Segue, quindi, l'inquadramento geologico, geomorfologico, strutturale e idrogeologico di entrambi le aree. Sono, inoltre, 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 3.1. L'area oggetto di studio.*

#### 3.1. Breve introduzione alla geologia della Piana Campana

La Piana Campana è ubicata sul bordo orientale del Mar Tirreno che dal punto di vista geologico-strutturale è un bacino di retro-arco neogenico formato dalla tettonica estensionale che ha interessato tutto l'Appennino centro meridionale fino alla Sicilia, facendogli assumere la forma arcuata attuale. La genesi della Piana Campana (Scandone, 1979; Patacca et al., 1990; Turco et al., 2006,) è quindi in relazione ai complessi movimenti tettonici che hanno portato all'apertura del Mar Tirreno e alla rotazione antioraria della penisola italiana con conseguente allungamento e assottigliamento del bordo occidentale e all'innalzamento regionale del mantello, con un massimo al centro del Tirreno. A tale innalzamento Florio

et al. (1999) attribuirebbero l'intensa attività vulcanica che ha interessato tutta la fascia peri-Tirrenica.

Il graben che rappresenta la Piana Campana si è individuato probabilmente nel Pleistocene inferiore ed è stato subsidente durante tutto il Quaternario con ritmi di 1,5-2 mm/anno. Detta subsidenza è stata ben compensata dalla deposizione operata sia dagli apporti fluviali, derivati dall'erosione del retrostante Appennino, sia dalle vulcaniti emesse dai Campi Flegrei, dal Vesuvio, dalle Ignimbriti e da centri eruttivi che risultano oggi sepolti (De Vivo et al., 2001; Rolandi et al., 2003). Le successioni clastiche e vulcaniche ricoprirebbero (Fig. 3.2) le rocce carbonatiche sottostanti (Meso-Cenozoiche) per uno spessore di 5000 m (Ippolito et al., 1973, Milia et al., 2003).

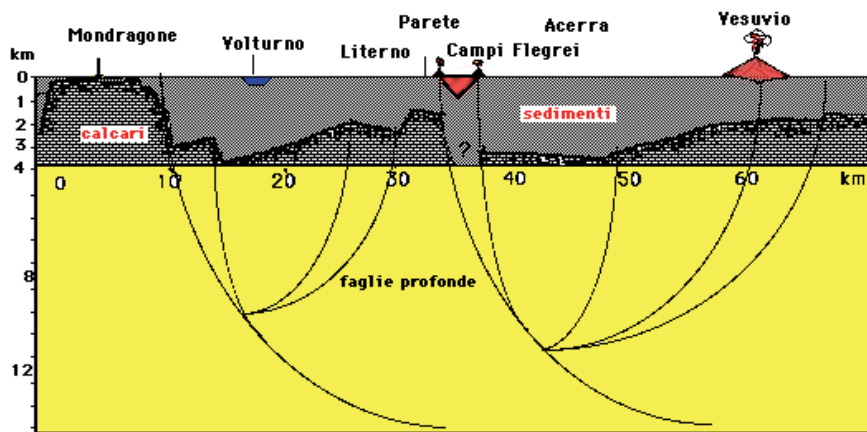


Figura 3.2. Sezione strutturale della Piana Campana secondo una direzione NO-SE (da Ortolani e Aprile, 1979).

La struttura generale della Piana Campana è comunque ben riconoscibile ai suoi bordi, ove si osservano faglie orientate NE-SW e NW-SE (D'Argenio et al., 1973; Ippolito et al., 1973) (Fig. 3.3), responsabili dei rigetti verticali e del conseguente graduale sprofondamento delle rocce carbonatiche, affioranti tutto intorno al graben.

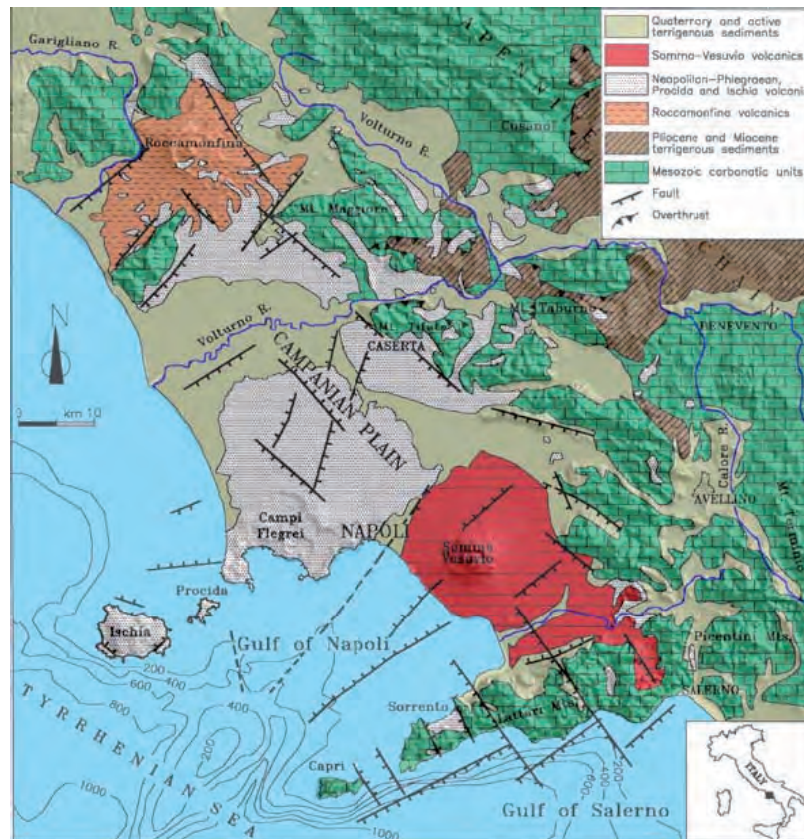
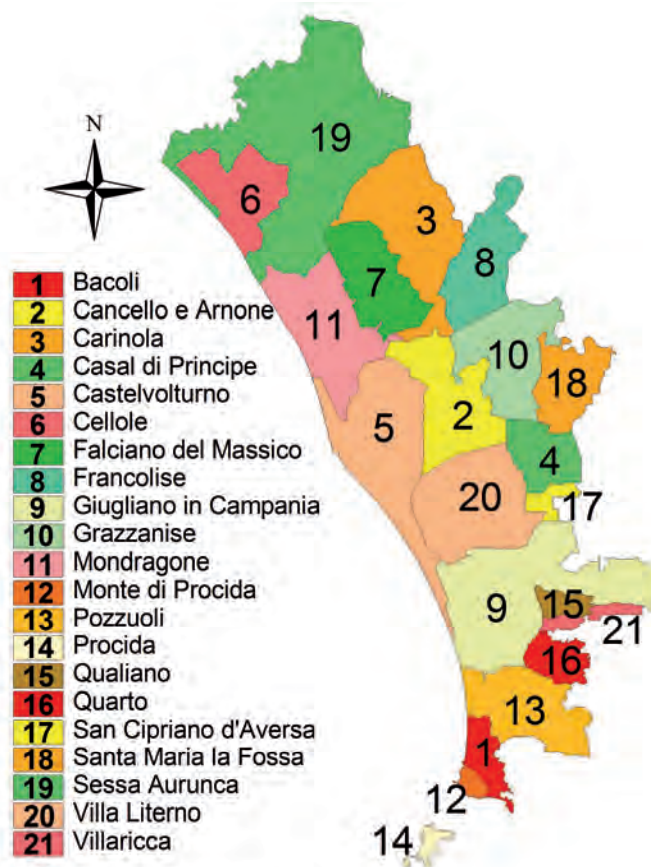


Figura 3.3. Carta geologico-strutturale schematica della Campania (da Orsi et al., 1996)

## 3.2. Inquadramento geologico

### 3.2.1 Litorale Domitio-Flegreo

L'area del Litorale Domitio-Flegreo in esame, è pari a 855 Km<sup>2</sup>, comprende 21 Comuni che ricadono sia nella Provincia di Napoli che in quella di Caserta (Fig. 3.4). La zona del Litorale Domitio-Flegreo si estende su gran parte della Piana Campana, fino ai confini con i monti di Avella, comprendendo, tra gli altri, i Comuni di Pozzuoli, Castelvolturmo, Villa Literno, Mondragone; a Nord arriva ai confini con la Regione Lazio, comprendendo i Comuni di Sessa Aurunca e Carinola. Il territorio oggetto di studio comprende le aree vulcaniche di Roccamonfina e Campi Flegrei, rispettivamente a Nord e a Sud-Est del Litorale Domitio.



*Figura 3.4. I Comuni del Litorale Domitio-Flegreo.*

I Campi Flegrei sono un sistema vulcanico quaternario attivo, ubicato a circa 10 km a WNW della città di Napoli. Dal punto di vista petrografico e magmatologico, i prodotti flegrei, insieme a quelli del Somma-Vesuvio, appartengono alla Provincia Campania-Stromboli (Peccerillo, 2003) formata da stratovulcani con caldera con rocce della serie calcalalina shoshonitica potassica (da trachibasalti a trachiti) e ultrapotassica (tefriti leucitiche e fonoliti).

I Campi Flegrei costituiscono un'area vulcanica complessa; l'insieme dei numerosi apparati lavici e piroclastici, probabilmente monogenici, ha conferito a quest'area l'aspetto di un Campo Vulcanico. Grazie alla sua continuità dal punto di vista stratigrafico, il livello guida sul quale si basa la ricostruzione stratigrafica dei depositi di tutta l'area Flegrea è rappresentato dai depositi di Tufo Giallo Napoletano (Lirer et al., 1987a).