



*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

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.

Gli scorci della costa napoletana e salernitana all'interno del volume sono di Giulia Minolfi.  
Giulia Minolfi, Carmela Rezza, Maria Clara Zuluaga sono autrici principali del volume.

Giulia Minolfi, Carmela Rezza, Maria Clara Zuluaga  
Stefano Albanese, Annamaria Lima, Menghan Wang, Flavia Molisso  
Marco Sacchi, Benedetto De Vivo

**Atlante geochimico–ambientale dei sedimenti marini  
dei golfi di Napoli (inclusa la Baia di Bagnoli) e Salerno**





Aracne editrice

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

Copyright © MMXVIII  
Giacchino Onorati editore S.r.l. – unipersonale

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

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

ISBN 978-88-255-1739-2

*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: luglio 2018

- 13 *Capitolo I*  
Cartografia geochimica ambientale
- 1.1 Stato dell'arte della cartografia geochimica ambientale, 13 – 1.2 Aree marine costiere e normativa ambientale, 17 – 1.3. Cartografia geochimica dei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno, 19
- 21 *Capitolo II*  
Area di studio
- 2.1 Geografia dei Golfi di Napoli e Salerno e della Baia di Bagnoli, 21 – 2.2 Inquadramento geologico, 21 – 2.3 Potenziali sorgenti antropiche e naturali, 24
- 27 *Capitolo III*  
Materiali e metodi
- 3.1 Raccolta e preparazione dei campioni, 27 – 3.2 Analisi di laboratorio e controlli di qualità delle analisi, 29 – 3.2.1 *Elementi inorganici*, 29 – 3.2.2 *Composti Organici - Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) e Pesticidi Organoclorurati (OCP)*, 32 – 3.3 Elaborazione statistica dei dati, 33 – 3.4 Elaborazione cartografica, 38 – 3.4.1 *Il database*, 38 – 3.4.2 *Il Rappresentazione cartografica puntuale dei dati (Dot maps)*, 39 – 3.4.3 *Rappresentazione cartografica dei dati interpolati*, 39 – 3.4.4 *Carte dei superamenti degli Standard di Qualità Ambientale (SQUA) per i sedimenti marini*, 40
- 41 *Capitolo IV*  
Carte geochimiche degli elementi maggiori
- 4.1 Alluminio (Al), 41 – 4.1.1 *Proprietà, applicazioni ed effetto sulla salute*, 41 – 4.1.2 *Distribuzione geochimica dell'Al nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 42 – 4.1.3 *Distribuzione geochimica dell'Al nei sedimenti marini della Baia di Bagnoli*, 42 – 4.2 Calcio (Ca), 45 – 4.2.1 *Proprietà, applicazioni ed effetto sulla salute*, 45 – 4.2.2 *Distribuzione geochimica del Ca nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 45 – 4.3 Ferro (Fe), 47 – 4.3.1 *Proprietà, applicazioni ed effetto sulla salute*, 47 – 4.3.2 *Distribuzione geochimica del Fe nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 47 – 4.3.3 *Distribuzione geochimica del Fe nei sedimenti marini della Baia di Bagnoli*, 48 – 4.4 Fosforo (P), 51 – 4.4.1 *Proprietà, applicazioni ed effetto sulla salute*, 51 – 4.4.2 *Distribuzione geochimica del P nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 51 – 4.5 Magnesio (Mg), 53 – 4.5.1 *Proprietà, applicazioni ed effetto sulla salute*, 53 – 4.5.2 *Distribuzione geochimica del Mg nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 53 – 4.6 Potassio (K), 55 – 4.6.1 *Proprietà, applicazioni ed effetto sulla salute*, 55 – 4.6.2 *Distribuzione geochimica del K nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 55 – 4.7 Sodio (Na), 57 – 4.7.1 *Proprietà, applicazioni ed effetto sulla salute*, 57 – 4.7.2 *Distribuzione geochimica del Na nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 57 – 4.8 Titanio (Ti), 59 – 4.8.1 *Proprietà, applicazioni ed effetto sulla salute*, 59 – 4.8.2 *Distribuzione geochimica del Ti nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 59 – 4.9 Zolfo (S), 61 – 4.9.1 *Proprietà, applicazioni ed effetto sulla salute*, 61 – 4.9.2 *Distribuzione geochimica dello S nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 61

63 *Capitolo V*

## Carte geochimiche degli elementi potenzialmente tossici

5.1. Arsenico (As), 63 – 5.1.1 *Proprietà, applicazioni ed effetto sulla salute*, 63 – 5.1.2 *Distribuzione geochimica dell'As nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 64 – 5.1.3 *Distribuzione geochimica dell'As nei sedimenti marini della Baia di Bagnoli*, 64 – 5.1.4 *Carte dei superamenti degli SQUA per l'As nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno e della Baia di Bagnoli*, 64 – 5.2 Cadmio (Cd), 68 – 5.2.1 *Proprietà, applicazioni ed effetto sulla salute*, 68 – 5.2.2 *Distribuzione geochimica del Cd nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 68 – 5.2.3 *Distribuzione geochimica del Cd nei sedimenti marini della Baia di Bagnoli*, 69 – 5.2.4 *Carte dei superamenti degli SQUA per il Cd nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno e della Baia di Bagnoli*, 69 – 5.3 Cromo (Cr), 73 – 5.3.1 *Proprietà, applicazioni ed effetto sulla salute*, 73 – 5.3.2 *Distribuzione geochimica del Cr nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 73 – 5.3.3 *Distribuzione geochimica del Cr nei sedimenti marini della Baia di Bagnoli*, 74 – 5.3.4 *Carte dei superamenti degli SQUA per il Cr nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno e della Baia di Bagnoli*, 74 – 5.4 Mercurio (Hg), 78 – 5.4.1 *Proprietà, applicazioni ed effetto sulla salute*, 78 – 5.4.2 *Distribuzione geochimica del Hg nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 78 – 5.4.3 *Distribuzione geochimica del Hg nei sedimenti marini della Baia di Bagnoli*, 79 – 5.4.4 *Carte dei superamenti degli SQUA per il Hg nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno e della Baia di Bagnoli*, 79 – 5.5 Nichel (Ni), 83 – 5.5.1 *Proprietà, applicazioni ed effetto sulla salute*, 83 – 5.5.2 *Distribuzione geochimica del Ni nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 83 – 5.5.3 *Distribuzione geochimica del Ni nei sedimenti marini della Baia di Bagnoli*, 84 – 5.5.4 *Carte dei superamenti degli SQUA per il Ni nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno e della Baia di Bagnoli*, 84 – 5.6 Piombo (Pb), 88 – 5.6.1 *Proprietà, applicazioni ed effetto sulla salute*, 88 – 5.6.2 *Distribuzione geochimica del Pb nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 88 – 5.6.3 *Distribuzione geochimica del Pb nei sedimenti marini della Baia di Bagnoli*, 89 – 5.6.4 *Carte dei superamenti degli SQUA per il Pb nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno e dell'area di Bagnoli*, 89

93 *Capitolo VI*

## Carte geochimiche di altri elementi in traccia

6.1. Antimonio (Sb), 93 – 6.1.1 *Proprietà, applicazioni ed effetto sulla salute*, 93 – 6.1.2 *Distribuzione geochimica dell'Sb nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 94 – 6.2 Bario (Ba), 96 – 6.2.1 *Proprietà, applicazioni ed effetto sulla salute*, 96 – 6.2.2 *Distribuzione geochimica del Ba nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 96 – 6.3 Berillio (Be), 98 – 6.3.1 *Proprietà, applicazioni ed effetto sulla salute*, 98 – 6.3.2 *Distribuzione geochimica del Be nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 98 – 6.3.3 *Distribuzione geochimica del Be nei sedimenti marini della Baia di Bagnoli*, 99 – 6.4 Bismuto (Bi), 102 – 6.4.1 *Proprietà, applicazioni ed effetto sulla salute*, 102 – 6.4.2 *Distribuzione geochimica del Bi nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 102 – 6.5 Boro (B), 104 – 6.5.1 *Proprietà, applicazioni ed effetto sulla salute*, 104 – 6.5.2 *Distribuzione geochimica del B nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 104 – 6.6 Cerio (Ce), 107 – 6.6.1 *Proprietà, applicazioni ed effetto sulla salute*, 107 – 6.6.2 *Distribuzione geochimica del Ce nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 107 – 6.7. Cesio (Cs), 109 – 6.7.1 *Proprietà, applicazioni ed effetto sulla salute*, 109 – 6.7.2 *Distribuzione geochimica del Cs nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 109 – 6.8 Cobalto (Co), 111 – 6.8.1 *Proprietà, applicazioni ed effetto sulla salute*, 111 – 6.8.2 *Distribuzione geochimica del Co nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 111 – 6.8.3 *Distribuzione geochimica del Co nei sedimenti marini della Baia di Bagnoli*, 112 – 6.9 Gallio (Ga), 115 – 6.9.1 *Proprietà, applicazioni ed effetto sulla salute*, 115 – 6.9.2 *Distribuzione geochimica del Ga nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 115 – 6.10 Afnio (Hf), 117 – 6.10.1 *Proprietà, applicazioni ed effetto sulla salute*, 117 – 6.10.2 *Distribuzione geochimica Hf nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 117 – 6.11 Indio (In), 119 – 6.11.1 *Proprietà, applicazioni ed effetto sulla salute*, 119 – 6.11.2 *Distribuzione geochimica dell'In nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 119 – 6.12 Lantanio (La), 121 – 6.12.1 *Proprietà, applicazioni ed effetto sulla salute*, 121 – 6.12.2 *Distribuzione geochimica del La nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 121 –



6.13. Litio (Li), 123 – 6.13.1 *Proprietà, applicazioni ed effetto sulla salute*, 123 – 6.13.2 *Distribuzione geochimica del Li nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 123 – 6.14 Manganese (Mn), 125 – 6.14.1 *Proprietà, applicazioni ed effetto sulla salute*, 125 – 6.14.2 *Distribuzione geochimica del Mn nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 125 – 6.14.3 *Distribuzione geochimica del Mn nei sedimenti marini della Baia di Bagnoli*, 126 – 6.15 Molibdeno (Mo), 129 – 6.15.1 *Proprietà, applicazioni ed effetto sulla salute*, 129 – 6.15.2 *Distribuzione geochimica del Mo nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 129 – 6.16 Niobio (Nb), 132 – 6.16.1 *Proprietà, applicazioni ed effetto sulla salute*, 132 – 6.16.2 *Distribuzione geochimica del Nb nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 132 – 6.17 Palladio (Pd), 134 – 6.17.1 *Proprietà, applicazioni ed effetto sulla salute*, 134 – 6.17.2 *Distribuzione geochimica del Pd nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 134 – 6.18 Rame (Cu), 136 – 6.18.1 *Proprietà, applicazioni ed effetto sulla salute*, 136 – 6.18.2 *Distribuzione geochimica del Cu nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 136 – 6.18.3 *Distribuzione geochimica del Cu nei sedimenti marini della Baia di Bagnoli*, 137 – 6.19. Renio (Re), 140 – 6.19.1 *Proprietà, applicazioni ed effetto sulla salute*, 140 – 6.19.2 *Distribuzione geochimica del Re nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 140 – 6.20 Rubidio (Rb), 41 – 6.20.1 *Proprietà, applicazioni ed effetto sulla salute*, 142 – 6.20.2 *Distribuzione geochimica del Rb nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 142 – 6.21 Scandio (Sc), 145 – 6.21.1 *Proprietà, applicazioni ed effetto sulla salute*, 145 – 6.21.2 *Distribuzione geochimica dello Sc nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 145 – 6.22 Selenio (Se), 147 – 6.22.1 *Proprietà, applicazioni ed effetto sulla salute*, 147 – 6.22.2 *Distribuzione geochimica del Se nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 147 – 6.23 Stagno (Sn), 150 – 6.23.1 *Proprietà, applicazioni ed effetto sulla salute*, 150 – 6.23.2 *Distribuzione geochimica dello Sn nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 150 – 6.23.3 *Distribuzione geochimica dello Sn nei sedimenti marini della Baia di Bagnoli*, 151 – 6.24 Stronzio (Sr), 154 – 6.24.1 *Proprietà, applicazioni ed effetto sulla salute*, 154 – 6.24.2 *Distribuzione geochimica dello Sr nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 154 – 6.25 Tallio (Tl), 156 – 6.25.1 *Proprietà, applicazioni ed effetto sulla salute*, 156 – 6.25.2 *Distribuzione geochimica del Tl nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 156 – 6.26 Tellurio (Te), 158 – 6.26.1 *Proprietà, applicazioni ed effetto sulla salute*, 158 – 6.26.2 *Distribuzione geochimica del tellurio nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 158 – 6.27 Torio (Th), 160 – 6.27.1 *Proprietà, applicazioni ed effetto sulla salute*, 160 – 6.27.2 *Distribuzione geochimica del Th nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 160 – 6.28 Uranio (U), 162 – 6.28.1 *Proprietà, applicazioni ed effetto sulla salute*, 162 – 6.28.2 *Distribuzione geochimica dell'U nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 162 – 6.29 Vanadio (V), 164 – 6.29.1 *Proprietà, applicazioni ed effetto sulla salute*, 164 – 6.29.2 *Distribuzione geochimica del V nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 164 – 6.29.3 *Distribuzione geochimica del V nei sedimenti marini della Baia di Bagnoli*, 165 – 6.30 Tungsteno (W), 168 – 6.30.1 *Proprietà, applicazioni ed effetto sulla salute*, 168 – 6.30.2 *Distribuzione geochimica del W nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 168 – 6.31 Itrio (Y), 170 – 6.31.1 *Proprietà, applicazioni ed effetto sulla salute*, 170 – 6.31.2 *Distribuzione geochimica dell'Y nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 170 – 6.32 Zinco (Zn), 172 – 6.32.1 *Proprietà, applicazioni ed effetto sulla salute*, 172 – 6.32.2 *Distribuzione geochimica dello Zn nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 172 – 6.32.3 *Distribuzione geochimica dello Zn nei sedimenti marini della Baia di Bagnoli*, 173 – 6.33 Zirconio (Zr), 176 – 6.33.1 *Proprietà, applicazioni ed effetto sulla salute*, 176 – 6.33.2 *Distribuzione geochimica dello Zr nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 176

## 179 Capitolo VII

### Carte geochimiche dei metalli nobili

7.1. Argento (Ag), 179 – 7.1.1 *Proprietà, applicazioni ed effetto sulla salute*, 179 – 7.1.2 *Distribuzione geochimica dell'Ag nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 180 – 7.2 Oro (Au), 182 – 7.2.1 *Proprietà, applicazioni ed effetto sulla salute*, 182 – 7.2.2 *Distribuzione geochimica dell'Au nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 182

185 *Capitolo VIII*

## Carte geochimiche dei composti organici Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)

8.1. Acenaftene, 186 – 8.1.1 *Distribuzione geochimica dell'acenaftene nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 186 – 8.2 Acenaftilene, 189 – 8.2.1 *Distribuzione geochimica dell'acenaftilene nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 189 – 8.2.2 *Distribuzione geochimica dell'acenaftilene nei sedimenti marini della Baia di Bagnoli*, 189 – 8.3 Antracene, 192 – 8.3.1 *Distribuzione geochimica dell'antracene nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 192 – 8.3.2 *Distribuzione geochimica dell'antracene nei sedimenti marini della Baia di Bagnoli*, 192 – 8.3.3 *Carte dei superamenti degli SQuA per l'antracene nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno e della Baia di Bagnoli*, 192 – 8.4 Benzo(a)antracene, 197 – 8.4.1 *Distribuzione geochimica del benzo(a)antracene nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 197 – 8.4.2 *Distribuzione geochimica del benzo(a)antracene nei sedimenti marini della Baia di Bagnoli*, 197 – 8.5 Benzo(a)pirene, 200 – 8.5.1 *Distribuzione geochimica del benzo(a)pirene nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 200 – 8.5.2 *Distribuzione geochimica del benzo(a)pirene nei sedimenti marini della Baia di Bagnoli*, 200 – 8.5.3 *Carte dei superamenti degli SQuA per il benzo(a)pirene nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno e della Baia di Bagnoli*, 200 – 8.6 Benzo(b)fluorantene, 205 – 8.6.1 *Distribuzione geochimica del benzo(b)fluorantene nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 205 – 8.6.2 *Distribuzione geochimica del benzo(b)fluorantene nei sedimenti marini della Baia di Bagnoli*, 205 – 8.6.3 *Carte dei superamenti degli SQuA per il benzo(b)fluorantene nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno e della Baia di Bagnoli*, 205 – 8.7. Benzo(g,h,i)perilene, 210 – 8.7.1 *Distribuzione geochimica del benzo(g,h,i)perilene nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 210 – 8.7.2 *Distribuzione geochimica del benzo(g,h,i)perilene nei sedimenti marini della Baia di Bagnoli*, 210 – 8.7.3 *Carte dei superamenti degli SQuA per il benzo(g,h,i)perilene nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno e della Baia di Bagnoli*, 210 – 8.8 Benzo(k)fluorantene, 215 – 8.8.1 *Distribuzione geochimica del benzo(k)fluorantene nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 215 – 8.8.2 *Distribuzione geochimica del benzo(k)fluorantene nei sedimenti marini della Baia di Bagnoli*, 215 – 8.8.3 *Carte dei superamenti degli SQuA per il benzo(k)fluorantene nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno e della Baia di Bagnoli*, 215 – 8.9 Crisene, 219 – 8.9.1 *Distribuzione geochimica del crisene nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 219 – 8.9.2 *Distribuzione geochimica del crisene nei sedimenti marini della Baia di Bagnoli*, 219 – 8.10 Dibenzo(a,h)antracene, 222 – 8.10.1 *Distribuzione geochimica del dibenzo(a,h)antracene nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 222 – 8.10.2 *Distribuzione geochimica del dibenzo(a,h)antracene nei sedimenti marini della Baia di Bagnoli*, 222 – 8.11 Fenantrene, 225 – 8.11.1 *Distribuzione geochimica del fenantrene nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 225 – 8.11.2 *Distribuzione geochimica del fenantrene nei sedimenti marini della Baia di Bagnoli*, 225 – 8.12 Fluorantene, 228 – 8.12.1 *Distribuzione geochimica del fluorantene nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 228 – 8.12.2 *Distribuzione geochimica del fluorantene nei sedimenti marini della Baia di Bagnoli*, 228 – 8.12.3 *Carte dei superamenti degli SQuA per il fluorantene nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno e della Baia di Bagnoli*, 228 – 8.13 Fluorene, 233 – 8.13.1 *Distribuzione geochimica del fluorene nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 233 – 8.13.2 *Distribuzione geochimica del fluorene nei sedimenti marini della Baia di Bagnoli*, 233 – 8.14 Indeno(1,2,3-c,d)pirene, 236 – 8.14.1 *Distribuzione geochimica dell'indeno(1,2,3-c,d)pirene nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 236 – 8.14.2 *Distribuzione geochimica dell'indeno(1,2,3-c,d)pirene nei sedimenti marini della Baia di Bagnoli*, 236 – 8.14.3 *Carte dei superamenti degli SQuA per l'indeno(1,2,3-c,d)pirene nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno e della Baia di Bagnoli*, 236 – 8.15 Naftalene, 241 – 8.15.1 *Distribuzione geochimica del naftalene nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 241 – 8.15.2 *Distribuzione geochimica del naftalene nei sedimenti marini della Baia di Bagnoli*, 241 – 8.15.3 *Carte dei superamenti degli SQuA per il naftalene nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno e della Baia di Bagnoli*, 241 – 8.16 Pirene, 246 – 8.16.1 *Distribuzione geochimica del pirene nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 246 – 8.16.2 *Distribuzione geochimica del pirene nei sedimenti marini della Baia di Bagnoli*, 246 – 8.17 IPA Totali, 249 – 8.17.1 *Distribuzione geochimica degli IPA totali nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno*, 249 – 8.17.2 *Distribuzione geochimica degli IPA Totali nei sedimenti marini della Baia di Bagnoli*, 249 – 8.17.3 *Carte dei superamenti degli SQuA per gli IPA Totali nei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno e della Baia di Bagnoli*, 250

255 *Capitolo IX*

## Carte geochimiche dei composti organici. Pesticidi (OCP)

9.1.  $\alpha$ -Endosolfano, 255 – 9.1.1 *Distribuzione geochimica*, 255 – 9.2  $\alpha$ -Esaclorocicloesano ( $\alpha$ -HCH), 257 – 9.2.1 *Distribuzione geochimica*, 257 – 9.2.2 *Carte dei superamenti degli SQUA*, 257 – 9.3. Aldrina, 260 – 9.3.1 *Distribuzione geochimica*, 260 – 9.3.2 *Carte dei superamenti degli SQUA*, 260 – 9.4  $\beta$ -Endosolfano, 263 – 9.4.1 *Distribuzione geochimica*, 263 – 9.5.  $\beta$ -Esaclorocicloesano ( $\beta$ -HCH), 265 – 9.5.1 *Distribuzione geochimica*, 265 – 9.5.2 *Carte dei superamenti degli SQUA*, 265 – 9.6 Cis-Clordano, 268 – 9.6.1 *Distribuzione geochimica*, 268 – 9.7.  $\delta$ -Esaclorocicloesano ( $\delta$ -HCH), 270 – 9.7.1 *Distribuzione geochimica*, 270 – 9.8 Dieldrina, 272 – 9.8.1 *Distribuzione geochimica*, 272 – 9.8.2 *Carte dei superamenti degli SQUA*, 272 – 9.9. Endosulfan solfato, 275 – 9.9.1 *Distribuzione geochimica*, 275 – 9.10 Endrina, 277 – 9.10.1 *Distribuzione geochimica*, 277 – 9.11. Endrina Aldeide, 279 – 9.11.1 *Distribuzione geochimica*, 279 – 9.12 Endrina chetone, 281 – 9.12.1 *Distribuzione geochimica*, 281 – 9.13. Eptacloro Epossido, 283 – 9.13.1 *Distribuzione geochimica*, 283 – 9.14 Eptacloro, 285 – 9.14.1 *Distribuzione geochimica*, 285 – 9.15. Esaclorobenzene (HCB), 287 – 9.15.1 *Distribuzione geochimica*, 287 – 9.15.2 *Carte dei superamenti degli SQUA*, 287 – 9.16 Metoxicloro, 290 – 9.16.1 *Distribuzione geochimica*, 290 – 9.17. o,p-DDD, 292 – 9.17.1 *Distribuzione geochimica*, 292 – 9.18 o, p-DDE, 294 – 9.18.1 *Distribuzione geochimica*, 294 – 9.19. o, p-DDT, 296 – 9.19.1 *Distribuzione geochimica*, 296 – 9.20 p, p'-DDD, 298 – 9.20.1 *Distribuzione geochimica*, 298 – 9.21. p, p-DDE, 300 – 9.21.1 *Distribuzione geochimica*, 300 – 9.22 p, p'-DDT, 302 – 9.22.1 *Distribuzione geochimica*, 302 – 9.23.  $\gamma$ -Esaclorocicloesano ( $\gamma$ -HCH), 304 – 9.23.1 *Distribuzione geochimica*, 304 – 9.23.2 *Carte dei superamenti degli SQUA*, 304 – 9.24 Trans-clordano, 307 – 9.24.1 *Distribuzione geochimica*, 307

309 *Capitolo X*

## Carte geochimiche dei composti organici. Policlorobifenili (PCB)

10.1. PCB, 309 – 10.1.1 *Proprietà dei PCB*, 309 – 10.1.2 *Distribuzione geochimica dei PCB totali nei sedimenti marini della Baia di Bagnoli*, 310 – 10.1.3 *Carta dei superamenti degli SQUA per i PCB nei sedimenti marini della Baia di Bagnoli*, 310



## Cartografia geochimica ambientale

La cartografia geochimica ambientale ha un ruolo fondamentale per una corretta gestione dell'ambiente, poiché permette di identificare, nelle aree studiate, contenuti anomali di elementi tossici per l'ambiente, per l'uomo e per gli animali. La conoscenza della composizione chimica delle aree in cui viviamo e la sua divulgazione mediante tecniche di rappresentazione grafica sono elementi fondamentali di controllo ai fini di una appropriata valutazione e di una razionale gestione dei problemi connessi allo sfruttamento del territorio. Studi cartografici ambientali sono necessari per circoscrivere le aree in cui è reale un elevato rischio di esposizione, per pianificare interventi di sito specifici e di eventuale risanamento, e per definire le priorità e i metodi di azione, adottando decisioni sostenibili. Oltre a costituire un valido strumento di controllo del territorio, essi consentono 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. Essi hanno, per riassumere, 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).

### 1.1. 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 partecipavano 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 (Lima et al., 2008; Fedele et al., 2008b; De Vivo et al., 2008b; Bucciatti, 2015). Un gruppo 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*.

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 da rubinetto (Cicchella et al., 2010a; Dinelli et al., 2010; 2012a; 2012b; Lima et al., 2010);
- l'Atlante Europeo dei Suoli Agricoli (Fig. 1.1) (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. 1.2) (De Vivo et al., 2008a; 2008b) compilato sulla base dei dati geochimici ottenuti per il progetto FOREGS, sui suoli superficiali e profondi, sui sedimenti fluviali, sui sedimenti alluvionali e sulle acque fluviali. In preparazione è invece l'Atlante geochimico dei Suoli Agricoli e da Pascolo dell'Italia (Cicchella et al., in stampa), con i dati ottenuti dal progetto GEMAS, già discussi nel lavoro di Cicchella et al. (2015).

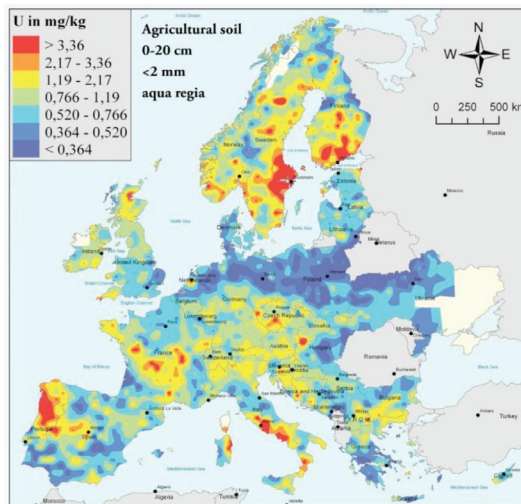


Figura 1.1. Distribuzione dell'uranio nei suoli agricoli europei.

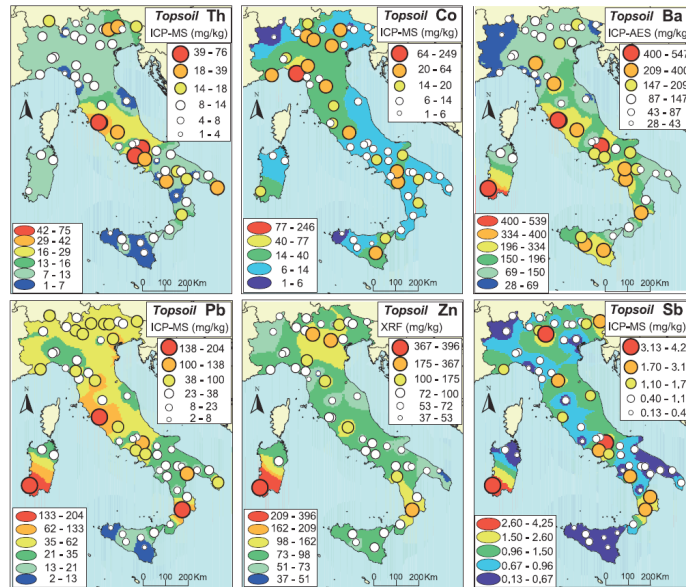


Figura 1.2. Esempio di cartografia geochimica a scala nazionale (De Vivo et al., 2008b). Distribuzione geochimica di Th, Co, Ba, Pb, Zn e Sb nei suoli italiani.

Gli studi condotti in questo ambito, 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; Fig. 1.3) 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

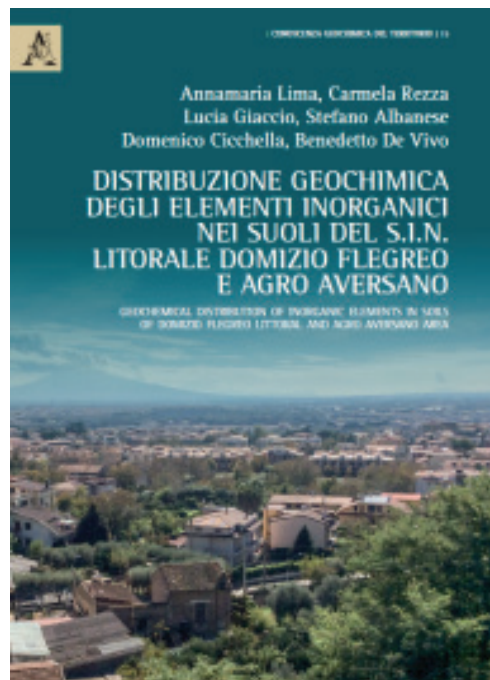


Fig 1.3: Atlante geochimico prodotto per i suoli del S.I.N. Litorale Domizio Flegreo e Agro Aversano (Lima et al., 2016)

2011; Frattini et al., 2006a; 2006b; Fedele et al., 2008; Cicchella et al., 2008c; 2010b);

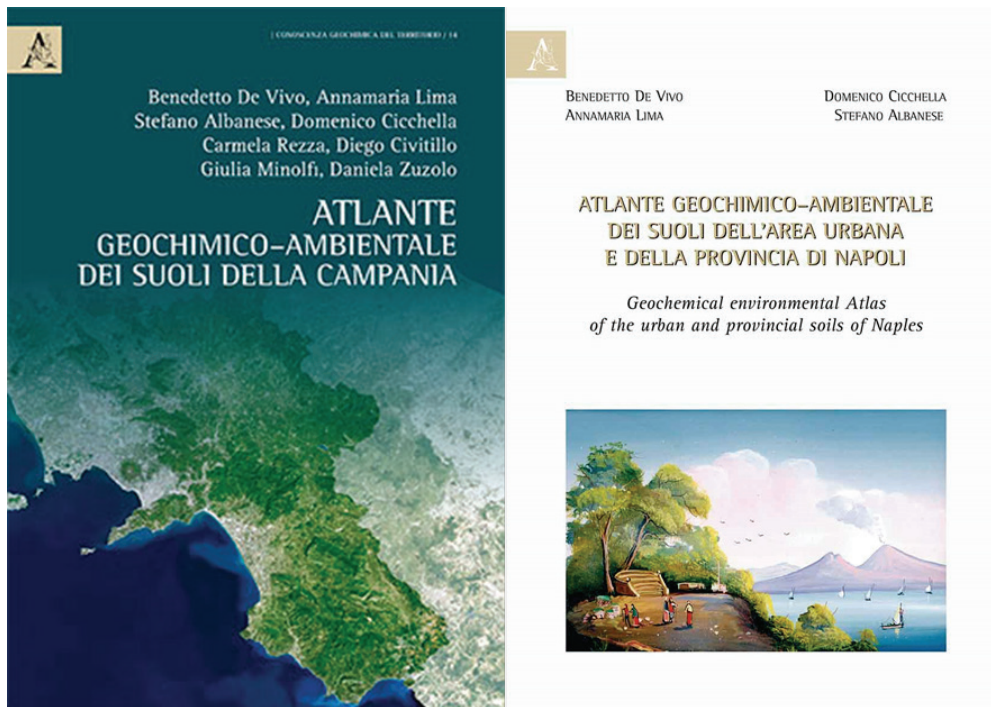
- l'Atlante del S.I.N. (Sito di Interesse Nazionale) Litorale Domizio-Flegreo e Agro Aversano (Lima et al., 2012) e diversi lavori scientifici con studi isotopici sulle matrici ambientali (Bove et al., 2011; Grezzi et al., 2011);
- L'Atlante Geochimico-Ambientale del S.I.N. (Sito di Interesse Nazionale) Litorale Domizio-Flegreo e Agro Aversano (Lima et al., 2016) (Fig. 1.3)
- l'Atlante Geochimico-Ambientale dei Suoli della Campania (De Vivo et al., 2016; Fig. 1.4).

In aggiunta agli studi sulla regione Campania è stato pubblicato:

- l'Atlante Geochimico dei Sedimenti Fluviali della Regione Basilicata (Lima et al., 2016).

Ulteriori studi geochimici ambientali 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 metalli tossici, anche da composti organici come gli IPA e sono state eseguite analisi preliminari di rischio ambientale sanitario (Albanese et al., 2014). Attualmente, sono in corso studi sulla distribuzione dei rapporti isotopici del piombo, 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., 2015).





*Fig. 1.4 Copertine di due degli Atlanti pubblicati dagli autori*

## 1.2. Aree marine costiere e normativa ambientale

Le aree marine costiere sono generalmente caratterizzate da un'alta densità di popolazione, per l'enorme ricchezza delle risorse delle zone litoranee. Proprio a causa di un eccessivo sfruttamento, però, questo fragile habitat può facilmente degradarsi.

I sedimenti marini costituiscono una matrice ambientale particolarmente strategica e complessa. Le aree costiere possono subire immissione di sedimenti e di contaminanti organici ed inorganici dalla rete idrografica, oltre che per immissione antropica diretta. I sedimenti giocano un importante ruolo nell'accumulo-immagazzinamento degli inquinanti provenienti dalla colonna d'acqua (attraverso la deposizione delle particelle in sospensione) ed anche nel trasferimento di questi sia al comparto acquoso (in particolare nelle operazioni di movimentazione: attività di dragaggio, efflusso dai bacini conterminati, immersione nelle acque costiere), sia al comparto biotico (attraverso i processi di trasformazione e scambio con gli organismi bentonici).

*Tabella 1.1. Standard di Qualità Ambientale (SQuA) per le sostanze di priorità e per altre sostanze non appartenenti all'elenco di priorità per i sedimenti di acque marino-costiere (D.M. 56/09).*

<b>Elementi di priorità</b>	<b>SQuA</b>	<b>Altre sostanze</b>	<b>SQuA</b>
<b>Metalli</b>	mg/kg	<b>Metalli</b>	mg/kg
Cadmio	0,3	Arsenico	12
Mercurio	0,3	Cromo totali	50
Nichel	30	<b>Policiclici Aromatici</b>	µg/kg
Piombo	30	IPA totali	800
<b>Policiclici Aromatici</b>	µg/kg	PCB totali	8
Benzo(a)pirene	30		
Benzo(b)fluorantene	40		
Benzo(k)fluorantene	20		
Benzo(g,h,i,)perilene	55		
Indenopirene	70		
Antracene	45		
Fluorantene	110		
Naftalene	35		
<b>Pesticidi</b>	µg/kg		
Aldrina	0,2		
α-esaclorocicloesano	0,2		
β-esaclorocicloesano	0,2		
γ-esaclorocicloesano Lindano	0,2		
DDT	1		
DDD	0,8		
DDE	1,8		
Dieldrina	0,2		
Esaclorobenzene	0,4		

Nel 2000 la Commissione Europea ha presentato in una relazione approfondita i programmi relativi all'adozione di una strategia di Gestione Integrata delle Zone Costiere (GIZC) per l'Unione europea. La relazione afferma che le zone costiere europee potrebbero trarre vantaggio da una serie di misure su scala comunitaria, a cui però deve affiancarsi in ogni Stato membro una strategia nazionale per la gestione integrata delle zone costiere. La GIZC mira ad aggregare le varie politiche che esercitano un influsso sulle regioni costiere europee e si attua attraverso la pianificazione e la gestione delle risorse e dello spazio costieri (CE, 2001).

Vista la direttiva 2000/60/CE che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque, in Italia, un Decreto Ministeriale approvato nel 2009 (D.M. 56/09) ha definito i valori di Standard di Qualità Ambientale (SQuA) per i sedimenti di acque marino-costiere per l'identificazione del buono stato chimico (Tab. 1.1). Alcune delle sostanze pericolose elencate, in particolare, sono state identificate come sostanze di priorità.

Il Decreto stabilisce i criteri per il monitoraggio e la classificazione dei corpi idrici superficiali e sotterranei, tra cui fiumi, laghi, acque di transizione e acque marino-costiere. La valutazione ed il controllo dello stato ecologico, chimico e fisico-chimico, vengono effettuati su tutte le matrici potenzialmente interessate, tra cui colonna d'acqua, biota e sedimenti marini.

### 1.3. Cartografia geochimica dei sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno

I Golfi di Napoli e Salerno ricevono input dalla Piana Campana sia di origine naturale che antropica. Risulta necessario investigare tali aree dal punto di vista geochimico-ambientale a larga scala. Fino ad oggi, infatti, gli studi sulla geochimica dei sedimenti marini nei Golfi Campani si sono limitati ad aree specifiche a piccola scala, come l'area di Bagnoli (Albanese et al., 2010) e il Porto di Napoli (Adamo et al., 2005; Sprovieri et al., 2007).

La Campania è la seconda Regione più popolata in Italia, e quella con maggior densità di popolazione del paese (Albanese et al., 2007). I Golfi di Napoli e Salerno sono soggetti alla diffusione di contaminanti, sia di tipo organico che inorganico, principalmente per deflusso nei principali comparti idrici e per deposizione atmosferica. Per i sedimenti marini, due componenti sono state identificate come sorgenti di contaminazione nei sedimenti marini (De Vivo and Lima, 2008; De Vivo et al., 2004): 1) una sorgente naturale legata all'attività vulcanica, che contribuisce principalmente alla diffusione nell'ambiente di metalli potenzialmente tossici-PTE (impropriamente dal punto di vista chimico, definiti anche metalli pesanti – Duffus, 2002; Hodson M. E., 2004; Chapman P.M., 2007); 2) una sorgente antropogenica, derivante dalle attività industriali, agricole e municipali, che contribuisce alla diffusione sia di PTE che di contaminanti organici.

Per quanto riguarda la sorgente antropogenica, le industrie locali risultano essere state la principale causa di inquinamento, specialmente nella Baia di Bagnoli (Albanese et al., 2010). Le attività agricole e agro-alimentari hanno contribuito alla deposizione nei sedimenti marini di inquinanti di tipo organico, attraverso il deflusso connesso con i fenomeni di ruscellamento (Naso et al., 2005; Ferrante et al., 2010). La combustione illegale di legno e rifiuti urbani nell'area costiera costituiscono ulteriori sorgenti di inquinanti organici, rilasciando nell'atmosfera molti degli Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) che, essendo volatili, si depositano successivamente nei sedimenti delle aree costiere (Montuori e Triassi, 2012).

Uno studio a larga scala sui due Golfi è stato di recente effettuato per fornire informazioni sui valori naturali (*background/ baseline*) e definire il contributo antropico nella distribuzione dei PTE nei Golfi di Napoli e Salerno (Wang et al., 2015). La distribuzione degli IPA e dei Pesticidi Organoclorurati (OCP) nei Golfi di Napoli e Salerno è stata analizzata in ulteriori studi (Qu et al., a e b, in press) con la produzione di carte geochimiche. Tale produzione cartografica ha dimostrato che gli IPA e gli OCP sono prevalentemente concentrati nei sedimenti dei fondali antistanti i terreni ex-industriali Ilva di Bagnoli, che si diffondono verso il

largo disegnando un classico alone di dispersione (*dispersion plume*). Gli aloni di dispersione sono utilizzati nell'esplorazione geo-mineraria quale strumento inequivocabile per individuare le aree sorgenti degli elementi/composti che si ricercano. La grave condizione di inquinamento, prevalentemente da IPA, determina una situazione di elevato rischio biologico che si estende fino al Capo di Posillipo. Il rischio risulta in queste aree ancora più accentuato considerando i tempi di esposizione agli inquinanti dovuti alle attività ricreative che vedono buona parte della popolazione spendere i mesi estivi sulle spiagge delle aree di studio. I risultati hanno indicato la combustione nelle attività ex-industriali come sorgente primaria di inquinamento da IPA, e che la Baia di Bagnoli (e altre località situate nelle vicinanze della Baia stessa, e dei porti, in genere) non è idonea alla balneazione.

Nel presente Atlante vengono accorpate ed illustrate i risultati ottenuti finora dalle indagini eseguite sui sedimenti marini dei Golfi di Napoli e Salerno e della Baia di Bagnoli, sia sui contaminanti organici che inorganici. L'area marina campionata ha un'estensione di circa 1400 km<sup>2</sup>, con 103 campioni localizzati nei due Golfi e 122 campioni localizzati nello specifico nella Baia di Bagnoli. I sedimenti marini superficiali sono stati prelevati a profondità comprese tra 0 e 20 cm dai fondali marini.

Per i Golfi di Napoli e Salerno sono state condotte analisi sulla concentrazione di 50 elementi inorganici, 16 IPA e 24 OCP. Per i sedimenti marini della Baia di Bagnoli sono, invece, stati analizzati 15 elementi inorganici e 16 IPA. La notevole mole di dati analitici è stata organizzata in un *database*, unitamente a tutte le altre informazioni raccolte sia sul campo che attraverso un'attenta ricerca bibliografica. Attraverso elaborazioni computerizzate con l'utilizzo di *software* specifici, si è realizzata la produzione delle carte geochimico-ambientali che compongono il presente Atlante. Queste ultime possono essere utilizzate come riferimento per la valutazione dell'impatto ambientale nell'ambito del territorio indagato.

Nello specifico, quest'Atlante raccoglie le carte puntuali ed interpolate prodotte per ciascuno degli elementi analizzati. La distribuzione puntuale ed interpolata è stata realizzata sia per i campioni della sola Baia di Bagnoli, sia per quelli dei Golfi di Napoli e Salerno, comprensivi anche dell'area di Bagnoli. Inoltre, sono presentate le carte del "rischio geochimico" compilate tenendo conto degli Standard di Qualità Ambientale secondo il D.M. 56/09.