

PREFAZIONE

Alessandro Bratti

Direttore Generale dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, ISPRA
e Vice Presidente European Environment Agency, EEA

La gestione dei Siti contaminati rimane uno dei maggiori problemi ambientali per i Paesi europei; recenti dati della *European Environment Agency* (EEA, 2020) mostrano come la contaminazione del suolo derivante da attività industriali, stoccaggio di rifiuti, attività minerarie, perdite da serbatoi e linee di trasporto degli idrocarburi rappresenti una delle più importanti minacce per l'ambiente. Vengono riportati oltre 2,8 milioni di siti potenzialmente contaminati in Europa. Di questi circa il 14% ci si aspetta siano contaminati e che necessitino di essere bonificati.

La presenza di sostanze potenzialmente pericolose nel suolo, sottosuolo, nei sedimenti e nelle acque sotterranee può portare ad effetti negativi sulla salute delle persone e sugli ecosistemi così come riportato da numerosi studi. Nel lavoro viene dedicato un intero capitolo alla situazione europea che risente della mancata approvazione di una Direttiva dedicata al suolo, proposta nel 2006, che non ha mai visto la luce. Con la Strategia sulla Biodiversità lanciata a livello comunitario quest'anno con obiettivi al 2030 si ritorna a parlare di Strategia tematica del suolo. Ma paragonare le varie situazioni in Europa da un punto di vista tecnico e amministrativo è in realtà estremamente complicato. Questo vale soprattutto se si considerano i siti con contaminazioni storiche, eredità delle attività industriali del passato, che per tipologia di inquinanti sono molto diversi. I dati in diversi Paesi europei sono eterogenei e non è possibile raggrupparli secondo uno schema affidabile e coerente: la concertazione di definizioni comuni potrà essere la premessa per il sostegno delle operazioni di bonifica ipotizzato dall'Unione europea.

È bene sottolineare che gran parte di questi Siti rappresentano un problema che ha varie sfaccettature: oltre ad una minaccia per l'ambiente essi sono, così come dimostrato da vari studi tra cui forse il più famoso è il progetto SENTIERI, fonte di impatti sanitari per le popolazioni limitrofe. Sono anche luoghi di grande disagio sociale, dove si consumano spesso reati ambientali. Questo aspetto va analizzato

attentamente sito per sito ma non vi è dubbio che, se da un lato le indagini giudiziarie hanno portato a individuare attività illecite, dall'altro hanno contribuito enormemente a rallentare i percorsi di risanamento ambientale, sia che si tratti di *messe in sicurezza permanente* che di *bonifiche* vere e proprie.

A questa caratteristica si aggiunge il fatto che l'individuazione dell'inquinatore per l'applicazione del principio che chi inquina paga è molto complicata non solo per difficoltà tecniche intrinseche ma anche per il fatto che molte delle aziende insediate sono fallite o comunque hanno radicalmente cambiato la loro ragione sociale.

In generale la complessità delle procedure e la moltiplicazione dei soggetti coinvolti nel recupero dei siti contaminati sono concause del contenzioso in sede giurisdizionale amministrativa e dunque di obiettivi ritardi nel conseguimento di risultati utili. A volte la propensione delle aziende coinvolte nei processi di bonifica a impugnare davanti al giudice amministrativo i provvedimenti delle pubbliche amministrazioni può essere percepita come tecnica dilatoria, intesa a evitare gli investimenti necessari in base alle prescrizioni impartite. Di contro, da parte degli imprenditori, il contenzioso amministrativo è talora descritto come forma di tutela resa necessaria da prescrizioni ritenute inattuabili o non ragionevoli, o anche soltanto derivanti da inadeguatezze tecniche dei tavoli o da conduzione tecnico-giuridica inadeguata delle conferenze e dei rapporti tra le parti. La presenza di aziende interessate all'evoluzione dei siti, destinata a concludersi con la piena restituzione a legittimi usi produttivi, è garanzia di interlocuzione tra pubblico e privato che a questo risultato deve tendere.

Al contrario, la circolazione di posizioni soggettive private o, peggio, il fallimento delle aziende insediate, genera possibili contenziosi, interruzioni o abbandono delle attività di bonifica, tema che rinvia a quello della prestazione di garanzie finanziarie per le bonifiche, rispetto alle quali gli strumenti normativi e la loro concreta applicazione devono tendere a un vincolo di effettiva destinazione di scopo, senza che eventuali passaggi di proprietà o procedure concorsuali finiscano col far venire meno l'adempimento degli obblighi.

L'attivazione di procedure e percorsi di confronto e negoziazione fra la struttura pubblica e quella privata rimane una via privilegiata. A oggi questo indirizzo non è ben delineato nelle norme vigenti e quindi fatica a diventare prassi consolidata: rientrano in questo campo le transazioni complesse da realizzare ma che, se fossero opportunamente attivate e regolamentate, sarebbero una soluzione pragmatica.

Il settore bonifiche, almeno fino ad oggi, è stato fallimentare e i dati positivi che sono stati rappresentati alle varie Commissioni di indagini sugli illeciti collegati al ciclo dei rifiuti paiono del tutto inconsistenti se non ulteriormente confermativi della pesantezza e della vischiosità delle procedure (Commissione parlamentare

di inchiesta sulle attività illecite connesse al ciclo dei rifiuti. Relazione sulle bonifiche dei siti contaminati in Italia: i ritardi nell'attuazione degli interventi e i profili di illegalità, dicembre 2012. Commissione parlamentare di inchiesta sulle attività illecite connesse al ciclo dei rifiuti e su illeciti ambientali ad esse correlati. Relazione sulle bonifiche nei siti di interesse nazionale, febbraio 2018). Le centinaia di conferenze di servizi e le migliaia di elaborati progettuali richiamati dai vari Ministri nel corso delle audizioni, come espressione dell'intensa attività profusa dal Ministero e dagli altri Enti, non sono altro che la dimostrazione di quanto possa rivelarsi nei fatti inutile il continuo scambio di carte e di pareri, di richieste e prescrizioni, di deduzioni e controdeduzioni, laddove non siano seguiti da attività di bonifica e da un avanzamento sostanziale delle procedure e soprattutto non si evidenzino in fatti concreti.

Il Ministro Clini all'epoca si era espresso in termini nettamente critici sottolineando proprio l'esigenza di snellire le procedure, dare concretezza e definitività alle conferenze di servizi, rendere più semplice e trasparente il sistema anche "per evitare che diventi, se non lo è già diventato, un sistema permeabile alle infiltrazioni della criminalità".

È necessario che nel settore ambientale la pubblica amministrazione riprenda il suo ruolo propulsivo attraverso un'azione di governo mirata al conseguimento di obiettivi che, nel settore delle bonifiche, non possono che riguardare il ripristino ambientale e l'eliminazione delle fonti di contaminazione, a tutela dell'ambiente e della salute.

Il quadro risulta critico, per quanto in alcuni siti qualche lavoro è iniziato (Mantova, Sesto San Giovanni, Cogoleto, Casale) non solo perché non sono state concluse le attività di bonifica, ma anche perché, in diversi casi, non è nota neanche la tipologia dell'inquinamento e questo non può che costituire un vulnus importante per le popolazioni locali, sia dal punto di vista ambientale, che sanitario oltre che economico. Come già evidenziato, nel nostro territorio i siti di interesse nazionale sono 42, coprono una superficie corrispondente a circa il 3 per cento del territorio italiano e, sebbene il riconoscimento quali SIN per taluni di essi sia avvenuto diversi anni fa (talvolta anche oltre dieci anni fa), i procedimenti finalizzati alla bonifica sono ben lontani dall'essere completati.

A fronte di questo evidente insuccesso del sistema, numerosi sono stati i soggetti, pubblici e privati, che hanno operato nel settore, numerose le consulenze conferite per questa o per quella analisi, gli affidamenti di servizi per le opere di progettazione, di caratterizzazione, innumerevoli le conferenze di servizi interlocutorie e decisorie che hanno scandito, per lo più senza costrutto pratico, le varie fasi delle bonifiche dei SIN, in un sistema comunque connotato dalla frammentazione delle competenze, delle responsabilità e, in sintesi, dall'inefficienza.

A ciò deve aggiungersi che territori estesi, dei quali non è nota neppure l'entità e la dimensione dell'inquinamento, sono ricompresi all'interno di perimetrazioni dei SIN effettuate diversi anni fa in funzione meramente cautelativa e, allo stato, né sono stati bonificati, né sono stati restituiti agli usi legittimi.

Ci si trova di fronte, quindi, ad ampi territori sostanzialmente “congelati”, che non possono esprimere le loro potenzialità economiche, urbanistiche, agricole, commerciali, in quanto condizionati dalla presenza del sito di interesse nazionale.

In questo contesto non certo entusiasmante questo lavoro che raccoglie il contributo di numerosi ricercatori, specialisti nel loro settore, offre non solo una panoramica completa della complessità del problema trattando tutti i vari aspetti (giuridici, ambientali, sanitari ed economici) ma inquadra le possibili soluzioni all'interno di nuovi percorsi quali l'Economia circolare e la Bio-economia. Due strategie che costituiscono il cuore del *green deal* europeo sebbene *classificate* in maniera diversa. Ma non c'è dubbio che quando si tratta di industria sostenibile, Biodiversità, di *Farm to fork* e di ambiente e salute non si potrà non considerare il recupero e la valorizzazione di aree che oggi costituiscono più un problema che un'opportunità da cogliere. Grazie a questo lavoro si mettono le basi per cercare di affrontare e risolvere in via definitiva un'eredità pesante del passato che ha contribuito a creare ricchezza ma ad un prezzo elevato in termini di ambiente e salute. Oggi le conoscenze e le tecnologie ci aprono la possibilità di saldare i conti e di procedere verso uno sviluppo veramente sostenibile.

PRESENTAZIONE

*Mario Sprovieri, Fabrizio Bianchi, Fabio Cibella,
Andrea De Gaetano, Veronica Giuliano, Liliana Cori*

Questo libro ha l'obiettivo di presentare e discutere esperienze ed approfondimenti nell'area tematica ambiente e salute rivolgendosi ad un pubblico più ampio della comunità scientifica. Molti contenuti e concetti che il lettore troverà sono maturati nel corso di attività di ricerca effettuate negli ultimi anni in aree inquinate ed in particolare nel contesto del progetto CISAS, Centro internazionale di studi avanzati sull'ambiente, l'ecosistema e la salute umana, finanziato nel 2016 dal Ministero dell'Istruzione, Università e Ricerca*.

Il testo vuole offrire materiali e spunti per l'approfondimento su aspetti alla base dei meccanismi di interazione ed interferenza tra contaminanti presenti nelle diverse matrici ambientali (atmosfera, suolo, acqua, mare, organismi, cibo, etc.), degli squilibri degli ecosistemi e dell'impatto sulle popolazioni che vivono in aree a potenziale rischio per la salute umana.

Partendo da una riflessione sulle caratteristiche dei siti da bonificare e traendo spunti dalle numerose attività di ricerca realizzate nel comparto epidemiologico, ambientale, molecolare e biochimico, il testo presenta modelli innovativi e possibili soluzioni per studiare e contrastare gli impatti ambientali, sanitari e sociali. I vari autori, pure operando in campi disciplinari diversi, sono accomunati dalla convinzione che le valutazioni di sostenibilità e l'uso dell'approccio dell'economia circolare siano centrali per affrontare le sfide dell'oggi e del prossimo futuro, su scala planetaria fino a livello di piccole aree. Con questo intendimento viene proposta una riflessione approfondita su metodi e strumenti per la risoluzione di problemi di inquinamento che comportano gravi conseguenze sociali e sanitarie e sull'economia, a causa di danni diretti e di mancato utilizzo di porzioni significative del territorio nazionale. Infatti, i siti da bonificare (di interesse nazionale o regionale) rappresentano grandi aree compromesse in quanto caratterizzate da contaminazione grave delle matrici ambientali, che necessitano di una adeguata strategia di recupero e rilancio. Non si

parla in astratto ma di soluzioni concrete e rapide per un recupero efficace di economie depresse, prestando attenzione alla salute pubblica di intere popolazioni esposte a rischi per il proprio benessere attuale e futuro.

I capitoli che si susseguono trattano la distribuzione delle miscele di inquinanti tradizionali ed emergenti e il loro trasferimento in matrici ambientali interconnesse, gli effetti sull'ecosistema e le connessioni col complesso ambito della produzione di alimenti, i fenomeni di esposizione e di effetto sulla salute delle popolazioni residenti nelle aree contaminate, con particolare riguardo alle principali vie di esposizione ossia inalazione e ingestione. La presenza negli alimenti di sostanze potenzialmente dannose per la salute come contaminanti ambientali, rende la matrice cibo sicuramente la via attraverso la quale la popolazione risulta più esposta.

La componente epidemiologica si avvale di un approccio basato sulle coorti di nascita, come strumento di studio dello stato dell'esposizione su comparti particolarmente sensibili delle popolazioni – i bambini, dal periodo in utero ai primi anni di vita – avvalendosi di questionari *ad hoc* somministrati alla popolazione residente per raccogliere informazioni approfondite sulla storia lavorativa e le abitudini alimentari. Viene proposto l'utilizzo di nuovi biomarcatori in grado di analizzare l'impatto dei diversi contaminanti su delicati sistemi di regolazione cellulare e metabolica, il tutto inserito in un complesso impianto modellistico e numerico che punta alla comprensione dei processi e alla previsione degli effetti.

Spazio e tempo, declinati su un ampio spettro di ordini di grandezza (dai micron delle cellule agli spazi dei chilometri quadrati, dai nanosecondi che caratterizzano la cinetica dei processi biochimici ai decenni di contaminazione storica) sono le variabili chiave di lettura dei fenomeni di seguito presentati. Ci riferiamo soprattutto agli effetti di contaminazioni industriali che si sono accumulati nell'ultimo secolo e che continuano ad avere effetti a livello cellulare e fisiologico oggi e con rilevanti impatti sulla salute delle generazioni future, e che pertanto devono essere fermati.

Il lavoro di ricerca è esteso alla riflessione sulla normativa vigente nell'ambito dei cosiddetti Siti di interesse nazionale ai fini della bonifica che affonda le sue radici nel D.Lgs 152 del 2006 (Art. 252, comma 1) nell'intento di dare spunti e suggerimenti per un approccio più avanzato basato sulle conoscenze maturate in diversi ambiti di ricerca scientifica, in cui assumono valore crescente la collaborazione multidisciplinare e l'uso di nuovi modelli numerici in grado di fornire scenari evolutivi nei diversi ambiti di interesse.

Alla comunicazione del rischio, che è parte integrante delle attività in corso nelle aree contaminate, è dedicato un capitolo che presenta non solo metodi e strumenti di maggiore utilità ma anche gli orizzonti applicativi, dalla gestione fino alla *governance* del rischio, il tutto imperniato nella partecipazione pubblica,

senza la quale non c'è *citizen science* e perde di efficacia il rapporto con i responsabili delle decisioni.

La scelta di scrivere un testo in lingua italiana è motivata dalla volontà di offrire ad una platea ampia, anche di non scienziati, uno strumento di informazione e aggiornamento degli avanzamenti scientifici in corso e previsti per i prossimi anni, offrendo anche una sintesi ragionata di un elevato numero di pubblicazioni scientifiche già stampate e in corso di stampa su riviste internazionali da parte degli autori e dei collaboratori che sono impegnati nell'avventura scientifica del progetto CISAS del CNR.

L'obiettivo, e la speranza, è di riuscire a raggiungere amministratori pubblici, politici, tecnici con competenze diverse che possano costituire una *nuova alleanza* per la soluzione di problemi complessi, e comunque non più rinviabili, per una società moderna cosciente dei rischi dei cambiamenti climatici e che quindi voglia incamminarsi concretamente nel *green new deal*.

Frutto di un lavoro appassionato, il testo riporta esperienze e risultati di un impegno di più di 150 ricercatori che attingono alle migliori esperienze e conoscenze della comunità internazionale impegnata su temi di riferimento e utili al raggiungimento di una visione profonda dei problemi.

Sono presentati e discussi approcci di bioeconomia circolare in aree ad elevato rischio ambientale affinché all'analisi sullo stato delle contaminazioni possa seguire una parte *costruens* dedicata alla visione della mitigazione degli impatti e al recupero del territorio.

Sentiamo una responsabilità grave nell'offrire una visione il più completa possibile su uno dei temi realmente più complessi e delicati del nostro Paese, così come dell'Unione Europea.

Speriamo che si riveli utile il nostro tentativo di utilizzare la ricerca scientifica come *fil rouge* delle conoscenze e delle azioni in una visione sistemica e rivolta all'azione, per migliorare la salute delle popolazioni esposte agli effetti dell'inquinamento e la salubrità dell'ecosistema e proporre soluzioni tecnologiche efficaci e moderne per la mitigazione degli impatti e il recupero dei territori contaminati.

La grande ambizione di questo piccolo contributo è di contribuire all'avanzamento della conoscenza e alla protezione dei beni comuni.

“Praticare il bene è un affare. Se l'uomo non lo persegue è solo perché non ha la minima idea di dove si trovi il bene. Pertanto non è malvagio ma ignorante”. Socrate (Atene, 470 a.C./469 a.C. – Atene, 399 a.C.)

Struttura del libro

Il testo è organizzato in 14 capitoli con uno schema concettuale che punta a guidare il lettore alla comprensione dei meccanismi di interferenza tra gli inquinanti presenti nell'ambiente e la salute degli ecosistemi e delle comunità umane.

Il capitolo 1 illustra le definizioni, il quadro normativo e lo stato dell'arte delle conoscenze sui Siti di bonifica di interesse nazionale, ampie aree del territorio italiano che, con il loro elevato carico di contaminazione, rappresentano ambienti prioritari di impatto sulla salute dell'ecosistema e delle persone.

Il capitolo 2 illustra la prospettiva multidisciplinare che sottende gli studi in aree complesse come quelle ad alto rischio in ambiente marino, e delinea le aree in cui la scienza può fornire concreto supporto alle scelte di gestione, mitigazione e recupero.

Il capitolo 3 descrive le modalità di distribuzione e la dinamica dei contaminanti presenti nella matrice aria, mostrando le tecniche più innovative per il monitoraggio ambientale in aree ad alto rischio.

Il capitolo 4 tratta gli approcci più moderni allo studio della risposta dell'ecosistema marino, dal livello cellulare a quello delle popolazioni, e della biodiversità ai fenomeni di inquinamento.

Il capitolo 5 ha l'obiettivo di individuare biomarcatori per il monitoraggio dell'ambiente marino facendo ricorso alle migliori conoscenze che vengono dall'ecotossicologia con tecniche di indagine *in vitro* ed *in vivo*.

Il capitolo 6 descrive le metodologie più avanzate utilizzate negli studi epidemiologici in aree inquinate per comprendere gli impatti *precoci* dell'esposizione a inquinanti, prima che si manifestino effetti avversi sulla salute, in modo da indirizzare azioni di prevenzione anziché attendere di osservare danni gravi e a volte irreparabili.

Il capitolo 7 descrive come l'impatto ambientale possa essere studiato attraverso una caratterizzazione nel tempo del profilo di esposizione a iniziare dalle prime fasi della vita (esposoma); viene illustrata l'indagine condotta su una popolazione di puerpere e nati, la coorte di nascita, in una finestra temporale critica per lo sviluppo dell'organismo e altamente sensibile alle forzanti esterne.

Il capitolo 8 approfondisce l'importanza per la salute umana delle relazioni tra sistema immunitario ed esposizione ambientale.

Il capitolo 9 guida il lettore alla comprensione degli effetti degli inquinanti atmosferici sull'epitelio polmonare chiarendo l'uso di sistemi cellulari e di biosensori molecolari per studiare gli affetti sulle malattie respiratorie.

Il capitolo 10 illustra le potenzialità della modellistica matematica e delle piattaforme informatiche per quantificare i processi e le dinamiche che caratterizzano i fenomeni di interazione tra ambiente e salute.

Il capitolo 11 descrive alcuni aspetti innovativi nell'ambito della ricerca di bio-ingegneria nel comparto della micro-robotica e micro-sensoristica finalizzati allo sviluppo di strumenti di esplorazione del corpo.

Il capitolo 12 descrive l'esperienza del *network per la sensibilità odorigena*, un'esperienza di ricerca scientifica partecipata nell'area di Siracusa.

Il capitolo 13 espone le problematiche legate alla comunicazione, all'esplorazione della percezione dei rischi e del governo del territorio in aree ad alto rischio ambientale.

Il capitolo 14 sintetizza i risultati più rilevanti del progetto CISAS nelle ricerche ambientali, sulla salute dell'ecosistema e delle comunità residenti nelle aree a rischio, e traccia traiettorie per futuri studi scientifici, offrendo strumenti utili a definire strategie di mitigazione e recupero delle aree inquinate.

* Il progetto CISAS è finanziato dal Ministero dell'Università e della Ricerca (delibera CIPE 105/2015, n. B62F15001070005). Il Comitato scientifico è costituito da: Giovanni Signorello, Dipartimento di Agricoltura, alimentazione e ambiente, Università di Catania; Franco Andaloro, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale; Giacomo Cuttone, Laboratori Nazionali del Sud, Istituto Nazionale di Fisica Nucleare; Eugenia Dogliotti, già Direttrice Dipartimento Ambiente e salute, Istituto Superiore di Sanità; Francesco Italiano, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Antonio Mazzola, Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare, Università degli Studi di Palermo; Roberto Morabito, Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile; Ariana Zeka, Institute of Environment, Health and Societies, Brunel University, Londra.

INDICE

Prefazione	
<i>Alessandro Bratti</i>	3
Presentazione	
<i>Mario Sprovieri, Fabrizio Bianchi, Fabio Cibella, Andrea De Gaetano, Veronica Giuliano, Liliana Cori</i>	7
CAPITOLO 1	
I Siti di interesse nazionale: contesto socio-economico e bioeconomia circolare	
<i>Mario Sprovieri, Maria Bonsignore, Fedra Francocci, Serena Gherardi, Marco Falconi, Fabio Trincardi</i>	
Introduzione	13
La nuova visione politica integrata di <i>One Health</i>	14
Siti contaminati: il contesto europeo	15
Il tema della contaminazione storica	19
I siti contaminati regionali oggetto di procedimento amministrativo di bonifica	21
Lo stato della gestione dei Siti di bonifica di interesse nazionale in Italia	23
Lo stato epidemiologico delle aree SIN: il progetto SENTIERI	29
SIN e normativa ambientale	30
Bioeconomia circolare come nuovo strumento per la gestione delle aree a rischio	33
Gestione dell'inquinamento del suolo e delle aree marino-costiere: principali lacune individuate	34
Dalla bioeconomia nuove opportunità per la gestione delle aree contaminate	37
Il progetto CISAS e gli studi innovativi nei SIN	40

CAPITOLO 2

Aree a rischio in ambiente marino-costiero:

la scienza a supporto degli indirizzi politici di gestione, mitigazione e recupero

Mario Sprovieri, Fabrizio Bianchi, Maria Bonsignore, Liliana Cori, Fabio D'Agostino, Marianna Del Core, Fedra Francocci, Serena Gherardi, Cristina Giosuè, Salvatore Passaro, Enza Maria Quinci, Daniela Salvagio Manta, Elvira Oliveri, Anna Traina, Giorgio Tranchida

Introduzione	47
La dimensione spaziale connessa all'impatto dei SIN su ambiente e salute	48
La dimensione temporale connessa agli impatti ambientali nei SIN	50
L'evoluzione delle conoscenze sull'impatto ambientale e i contaminanti emergenti	54
Analisi di rischio in aree SIN	56
Il cibo nei siti contaminati: un problema non trascurabile	60
Bonifiche ambientali e ripristino dell'ecosistema	62
Il contributo della ricerca a supporto della gestione dei SIN	66

CAPITOLO 3

Qualità dell'aria:

approcci innovativi al monitoraggio in aree ad alto rischio di crisi ambientale

Stefania Gilardoni, Paolo Bonasoni, Tony Christian Landi, Paolo Cristofanelli, Fabrizio Roccato, Anna Abita, Vincenzo Infantino, Serafina Oliverio, Silvia Mosca, Silvia Canepari, Cinzia Perrino

Introduzione	77
Descrizione dei SIN oggetto di studio	80
Caratterizzazione meteorologica dei siti di indagine attraverso l'applicazione di modelli e analisi numeriche	82
Caratterizzazione e interpretazione statistica degli inquinanti atmosferici registrati in continuo dalle reti di monitoraggio regionale	86
Concentrazione e composizione chimica del PM durante l'esecuzione di campagne intensive	98
Conclusioni e raccomandazioni	114
Ringraziamenti	116

CAPITOLO 4

La risposta dell'ecosistema marino alla forzante antropica nelle aree a rischio ambientale: dall'ecosistema alla risposta cellulare

Angela Cuttitta, Carmelo Bennici, Girolama Biondo, Marilena Di Natale, Francesca Gorini, Elena Guzzolino, Giuseppina Marino, Tiziana Masullo, Marianna Musco, Aldo Nicosia, Carlo Patti, Letizia Pitto, Benedetto Sirchia, Marco Torri, Vincenzo Ruwolo

Introduzione	121
Valutazione dello stato della biodiversità ed elementi di qualità biologica	123
Risposte degli organismi alla forzante antropica	130

CAPITOLO 5

Dall'approccio ecotossicologico a quello molecolare, dai test *in vitro* a quelli *in vivo*:
la sfida per l'individuazione di biomarcatori per il monitoraggio dell'ambiente marino

*Concetta Maria Messina, Simona Manuguerra, Maria Morghese, Rosaria Arena,
Giuseppe Renda, Cristobal Espinosa Ruiz, Andrea Santulli*

Introduzione	145
Valutazione dell'effetto di PBDE negli organismi marini: dai sistemi <i>in vitro</i> ai sistemi <i>in vivo</i>	148
Conclusioni	151

CAPITOLO 6

Epidemiologia in aree a rischio: nuovi strumenti per nuovi studi

Francesca Gorini, Elisa Bustaffa, Fabrizio Bianchi

Introduzione	157
L'epidemiologia: storia ed evoluzione	158
Le malattie non trasmissibili e l'inquinamento ambientale come fattore di rischio	161
Costi e impatti per la salute	167
I siti contaminati	170
Lo studio SENTIERI	172
Indagini di biomonitoraggio umano	176
Lo studio CISAS	182
Epidemiologia oggi e domani	187
La costruzione dell'evidenza scientifica	190
L'epidemiologia e le scienze -omiche	194
Conclusioni come punto d'inizio	197

CAPITOLO 7

Le coorti di nascita:

un potente strumento epidemiologico per la valutazione di impatto

Gaspere Drago, Silvia Ruggieri, Fabio Cibella 207

CAPITOLO 8

Il sistema immunitario e l'esposizione ambientale:
un'interazione fondamentale per la salute

Valeria Longo, Alessandra Longo, Alessia Maria Sampino e Paolo Colombo

Il sistema immunitario e l'esposizione ambientale: un'interazione fondamentale per la salute	223
Immunologia ambientale e sostanze immunotossiche	229
Interazione ambiente-cellula: la scoperta del recettore per gli idrocarburi arilici AhR	231
Gli inquinanti organici (polialogenati) persistenti (POPs)	237
Effetti immunotossici degli inquinanti organici polialogenati persistenti	238
Effetti immunotossici dei prodotti fitosanitari	243

CAPITOLO 9

Effetti della contaminazione dell'aria sull'epitelio polmonare:
biomarcatori cellulari/molecolari e sistemi biologici di malattia respiratoria*Angela Marina Montalbano, Giusy Daniela Albano, Giulia Anzalone, Rosalia Gagliardo,
Mirella Profita*

Introduzione	257
Inquinamento ambientale e salute dell'apparato respiratorio	258
Ruolo delle cellule epiteliali bronchiali nelle patologie respiratorie	263
Effetti dei contaminanti dell'aria sulle cellule epiteliali respiratorie	266
Sistemi cellulari per studiare gli effetti di contaminanti ambientali sull'epitelio respiratorio	271
Approccio integrato e biosensori molecolari di malattie respiratorie	279
Conclusioni	282

CAPITOLO 10

Modellistica matematica e piattaforme informatiche a supporto della ricerca ambientale

*Alessandro Borri, Luciano Curcio, Valerio Cusimano, Andrea De Gaetano, Giovanni Denaro,
Laura D'Orsi, Sabina Maltese, Simona Panunzi, Francesca Pellicanò, Marcello Pompa,
Carlotta Terradura*

Introduzione	301
Metodi matematici per la modellistica in ambito ambiente e salute	302
Modelli matematici in ambito ambiente e salute: il percorso del contaminante dall'ambiente all'uomo	312
Piattaforma informatica per la simulazione numerica di modelli matematici	341

CAPITOLO 11

Microrobotica e salute umana: l'esplorazione del microbioma intestinale

Gastone Ciuti, Martina Finocchiaro, Fabio Cibella, Gaspare Drago, Cristina Giosuè, Mario Sprovieri

Introduzione	351
Microbioma, cibo e salute	352
La problematica del cibo nei Siti di Interesse Nazionale	355
Una capsula endoscopica ingeribile	358

CAPITOLO 12

NOSE - Network for Odour SENSitivity:
ricerca scientifica e *citizen science* per l'identificazione dei miasmi olfattivi*Paolo Bonasoni, Stefania Gilardoni, Anna Abita, Emiliano D'Accardi, Alessandro Frezzini,
Tony Christian Landi, Vincenzo Infantino, Piero Malguzzi, Giusi Nanè, Marco Nuccetelli,
Giorgio Resci, Fabrizio Roccatò, Gaetano Settimo, Silvia Trini Castelli*

Introduzione	371
Nasce il Sistema NOSE	373

Aggiornamento della legislazione nazionale sulle emissioni odorigene e sulle migliori tecniche disponibili	377
NOSE e uno sguardo al contesto dell'AERCA Priolo-Augusta-Siracusa-Melilli	382
La WEB-APP NOSE a servizio dei cittadini e dell'ambiente	387
La modellistica meteorologica per una stima della relazione sorgente-recettore: il calcolo delle retro-traiettorie nell'ambito di NOSE	391
<i>Citizen Science</i> : il punto di vista dei cittadini	393
Uno sguardo al futuro	395
Ringraziamenti	397
CAPITOLO 13	
Comunicazione del rischio in ambiente e salute, percezione e <i>citizen science</i>	
<i>Liliana Cori</i>	399
Il rischio	400
Il rischio in ambiente e salute	401
La percezione del rischio	406
Cittadinanza scientifica e scienza dei cittadini	411
La partecipazione pubblica	413
La comunicazione del rischio	415
L'esposizione a inquinanti e la comunicazione	419
La comunicazione nel progetto CISAS	423
Conclusioni	426
CAPITOLO 14	
Dal progetto CISAS, risultati e proposte per lo studio su ambiente e salute in aree a rischio	
<i>Mario Sprovieri, Fabrizio Bianchi, Paolo Bonasoni, Maria Bonsignore, Fabio Cibella, Liliana Cori, Paolo Colombo, Gaspare Drago, Fedra Francocci, Serena Gherardi, Cristina Giosuè, Cinzia Perrino, Mirella Profita, Silvia Ruggieri, Daniela Salvagio Manta, Anna Traina, Andrea De Gaetano</i>	
Introduzione	431
Contaminanti nell'ambiente	432
Soglie di concentrazione ed effetti su ecosistemi e salute umana	438
Contaminanti ed ecosistema	444
Dall'ambiente alla cellula	446
Epidemiologia eziologica	448
Coorti di nascita e biomonitoraggio	450
Impatto economico dell'inquinamento e bioeconomia circolare	454
<i>Citizen science</i> , percezione del rischio e comunicazione	457
Postfazione	
<i>Fabio Trincardi</i>	465

Schede dei Siti di Interesse Nazionale	469
Ringraziamenti	477
Gli Autori	479