

Comprende versione

**ebook**



# Igiene Ambientale

Antonio **Azara**  
Annalaura **Carducci**  
Osvalda **De Giglio**  
Margherita **Ferrante**  
Tiziana **Schilirò**  
Marco **Vinceti**





# Accedi ai contenuti digitali

## Espandi le tue risorse

un libro che **non pesa**  
e si **adatta** alle dimensioni  
del **tuo lettore!**



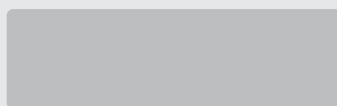
COLLEGATI AL SITO  
**EDISES.IT**

ACCEDI AL  
**MATERIALE DIDATTICO**

SEGUI LE  
**ISTRUZIONI**

Utilizza il codice personale contenuto nel riquadro per registrarti al sito **edises.it** e accedere ai contenuti digitali.

Scopri il tuo **codice personale** grattando delicatamente la superficie



Il volume NON può essere venduto, né restituito, se il codice personale risulta visibile.  
L'**accesso ai contenuti digitali** sarà consentito **per 18 mesi**.

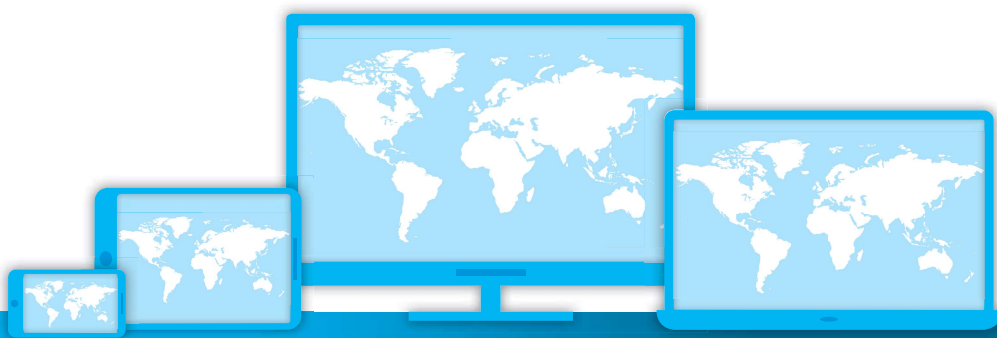
Per attivare i **servizi riservati**, collegati al sito **edises.it** e segui queste semplici istruzioni

### Se sei registrato al sito

- clicca su *Accedi al materiale didattico*
- inserisci email e password
- inserisci le ultime 4 cifre del codice ISBN, riportato in basso a destra sul retro di copertina
- inserisci il tuo **codice personale** per essere reindirizzato automaticamente all'area riservata

### Se non sei già registrato al sito

- clicca su *Accedi al materiale didattico*
- registrati al sito **edises.it**
- attendi l'email di conferma per perfezionare la registrazione
- torna sul sito **edises.it** e segui la procedura già descritta per *utenti registrati*



I contenuti digitali sono accessibili dalla propria **area riservata** secondo la procedura indicata nel frontespizio.

Dalla sezione **materiali e servizi** della tua area riservata potrai accedere all'**Ebook**, ovvero la versione digitale del testo in formato epub, standard dinamico che organizza il flusso di testo in base al dispositivo sul quale viene visualizzato. Fruibile mediante l'applicazione gratuita BookShelf, consente una visualizzazione ottimale su lettori e-reader, tablet, smartphone, iphone, desktop, Android, Apple e Kindle Fire.

L'accesso ai contenuti digitali sarà consentito per **18 mesi**.



# Igiene Ambientale

*A cura del gruppo di lavoro "Salute ed ambiente"  
della Società Italiana di Igiene, Medicina Preventiva e Sanità Pubblica (S.It.I.)*

*curatori:*

Antonio Azara, Annalaura Carducci, Osvalda De Giglio,  
Margherita Ferrante, Tiziana Schilirò, Marco Vinceti



Igiene Ambientale  
Copyright © 2024, EdiSES Edizioni S.r.l. – Napoli

9 8 7 6 5 4 3 2 1 0  
2028 2027 2026 2025 2024

*Le cifre sulla destra indicano il numero e l'anno dell'ultima ristampa effettuata*

*A norma di legge è vietata la riproduzione, anche parziale,  
del presente volume o di parte di esso con qualsiasi mezzo.*  
L'Editore

*L'Editore ha effettuato quanto in suo potere per richiedere  
il permesso di riproduzione del materiale di cui non è tito-  
lare del copyright e resta comunque a disposizione di tutti  
gli eventuali aventi diritto*

*Fotocomposizione:*  
EdiSES Edizioni S.r.l.

*Stampato presso la*  
Print Sprint S.r.l. – Napoli

*Per conto della*  
EdiSES Edizioni S.r.l. – Piazza Dante, 89 – Napoli

ISBN 978-88-3623-203-1

[www.edises.it](http://www.edises.it)  
[assistenza.edises.it](mailto:assistenza.edises.it)

I curatori, l'editore e tutti coloro in qualche modo coinvolti nella preparazione o pubblicazione di quest'opera hanno posto il massimo impegno per garantire che le informazioni ivi contenute siano corrette, compatibilmente con le conoscenze disponibili al momento della stampa; essi, tuttavia, non possono essere ritenuti responsabili dei risultati dell'utilizzo di tali informazioni e restano a disposizione per integrare la citazione delle fonti, qualora incompleta o imprecisa.

Realizzare un libro è un'operazione complessa e, nonostante la cura e l'attenzione poste dagli autori e da tutti gli addetti coinvolti nella lavorazione dei testi, l'esperienza ci insegna che è praticamente impossibile pubblicare un volume privo di imprecisioni. Saremo grati ai lettori che vorranno inviarci le loro segnalazioni e/o suggerimenti migliorativi sulla piattaforma [assistenza.edises.it](mailto:assistenza.edises.it).



# AUTORI

## Antonio AZARA

Professore Ordinario di Igiene, Dipartimento di Medicina, Chirurgia e Farmacia, Università degli Studi di Sassari

## Erica BALBONI

Assegnista di ricerca, Dipartimento di Scienze Biomediche, Metaboliche e Neuroscienze, Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia

## Sara BONETTA

Professore Associato di Igiene, Dipartimento di Scienze della Sanità Pubblica e Pediatriche, Università degli Studi di Torino

## Silvia BONETTA

Professore Associato di Igiene, Dipartimento di Scienze della Vita e Biologia dei Sistemi, Università degli Studi di Torino

## Annalaura CARDUCCI

Professore Ordinario di Igiene, Dipartimento di Biologia, Università degli Studi di Pisa

## Elisabetta CARRARO

Professore Associato di Igiene, Dipartimento di Scienze della Sanità Pubblica e Pediatriche, Università degli Studi di Torino

## Chiara COPAT

Ricercatore, Dipartimento di Scienze Mediche, Chirurgiche e Tecnologie Avanzate “G.F. Ingrassia”, Università degli Studi di Catania

## Antonio CRISTALDI

Ricercatore, Dipartimento di Scienze Mediche, Chirurgiche e Tecnologie Avanzate “G.F. Ingrassia”, Università degli Studi di Catania

## Osvalda DE GIGLIO

Professore Associato di Igiene, Dipartimento Interdisciplinare di Medicina, Università degli Studi di Bari “Aldo Moro”

## Giovanna DEIANA

Dirigente medico, Azienda Ospedaliero-Universitaria di Sassari

## Claudia FAVARA

Dottorando di ricerca, Dipartimento di Scienze Mediche, Chirurgiche e Tecnologie Avanzate “G.F. Ingrassia”, Università degli Studi di Catania

## Ileana FEDERIGI

Ricercatrice, Dipartimento di Biologia, Università degli Studi di Pisa

## Margherita FERRANTE

Professore Ordinario di Igiene, Dipartimento di Scienze Mediche, Chirurgiche e Tecnologie Avanzate “G.F. Ingrassia”, Università degli Studi di Catania

## Tommaso FILIPPINI

Professore Associato di Igiene, Dipartimento di Scienze Biomediche, Metaboliche e Neuroscienze, Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia

**Ilaria GORRASI**

Professore a contratto, Dipartimento di Scienze della Sanità Pubblica e Pediatriche, Università degli Studi di Torino

**Alfina GRASSO**

Assegnista di ricerca, Dipartimento di Scienze Mediche, Chirurgiche e Tecnologie Avanzate G.F. Ingrassia, Università degli Studi di Catania

**Vincenzo MARCOTRIGIANO**

Dirigente delle Professioni Sanitarie, Dipartimento di Prevenzione, Azienda ULSS 1 Dolomiti, Belluno

**Maria Teresa MONTAGNA**

Professore Ordinario di Igiene, Dipartimento Interdisciplinare di Medicina, Università degli Studi di Bari "Aldo Moro"

**Gea OLIVERI CONTI**

Professore Associato di Igiene, Dipartimento di Scienze Mediche, Chirurgiche e Tecnologie Avanzate "G.F. Ingrassia", Università degli Studi di Catania

**Tiziana SCHILIRÒ**

Professore Associato di Igiene, Dipartimento di Scienze della Sanità Pubblica e Pediatriche, Università degli Studi di Torino

**Carmen SICA**

Dottorando di ricerca, Dipartimento di Scienze Mediche, Chirurgiche e Tecnologie Avanzate "G.F. Ingrassia", Università degli Studi di Catania

**Deborah TRAVERSI**

Professore Associato di Igiene, Dipartimento di Scienze della Sanità Pubblica e Pediatriche, Università degli Studi di Torino

**Marco VERANI**

Professore Associato di Igiene, Dipartimento di Biologia, Università degli Studi di Pisa

**Marco VINCETI**

Professore Ordinario di Igiene, Dipartimento di Scienze Biomediche, Metaboliche e Neuroscienze, Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia



# PRESENTAZIONE

Questo testo “Igiene ambientale” è frutto della collaborazione tra docenti di diverse sedi universitarie appartenenti al Gruppo di Lavoro “Salute ed Ambiente” della Società Italiana di Igiene, Medicina Preventiva e Sanità Pubblica (S.It.I.) e di altri docenti ed operatori esperti nelle varie tematiche dell’igiene ambientale.

L’obiettivo principale di questo testo è fornire, anche tramite una forma grafica snella e di facile consultazione, una solida ed aggiornata base scientifica per lo studio dell’Igiene Ambientale in corsi di laurea (Medicina e Chirurgia, Tecniche della Prevenzione nell’Ambiente e nei Luoghi di Lavoro, Assistenza sanitaria, Scienze Biologiche). Il testo può, inoltre, risultare utile per i medici in formazione specialistica in Igiene e Medicina Preventiva e per gli operatori della prevenzione nel Servizio Sanitario Nazionale o in altre strutture.

Negli undici capitoli in cui si articola il testo, avendo come base l’esperienza didattica, scientifica ed applicativa degli autori, vengono delineati l’inquadramento generale del rapporto ambiente e salute, gli strumenti metodologici per una sua corretta interpretazione, il tema del cambiamento climatico e dei suoi effetti sull’habitat e sulla salute umana. Vengono successivamente trattati i diversi comparti ambientali (aria, acqua, suolo, alimenti) e gli effetti sanitari conseguenti al loro degrado, inclusi i riferimenti normativi più significativi e le principali modalità di prevenzione.

È infine auspicio degli autori che il volume possa contribuire all’adozione di comportamenti finalizzati ad una corretta gestione dell’ambiente ed al suo risanamento, in un contesto generale di sanità pubblica secondo una logica di *Planetary Health*.

*Gli Autori*







# PREFAZIONE

La relazione tra l'essere umano e l'ambiente ha subito un'evoluzione significativa, riflettendo i progressi delle scienze e le trasformazioni tecnologiche e socio-culturali. L'igiene ambientale, un tempo concepita principalmente come strumento di prevenzione primaria esclusivamente sanitaria, è oggi riconosciuta come una disciplina essenziale per la salvaguardia della salute pubblica e per la tutela degli ecosistemi. In un contesto globale caratterizzato da crisi ecologiche sempre più frequenti, come il cambiamento climatico, l'inquinamento atmosferico e la degradazione delle risorse naturali, il ruolo dell'igiene ambientale appare cruciale per la sostenibilità del pianeta.

Seppur diffusa, la percezione che le azioni individuali influenzino significativamente la qualità dell'ambiente richiede una comprensione più rigorosa delle interconnessioni tra le variabili ambientali e i determinanti della salute e questo volume si propone di fornire un'analisi sistematica e approfondita dell'igiene ambientale, esplorandone le dimensioni tecniche, normative e gestionali. L'intento è di offrire un riferimento utile non solo per gli studenti ma anche per professionisti del settore e gli operatori sanitari.

Nel corso del testo, verranno analizzati i principali fattori di rischio ambientale, le tecnologie di monitoraggio e controllo, le strategie di mitigazione degli impatti antropici e le politiche ambientali adottate a livello globale. Sarà posta particolare attenzione alle normative nazionali e internazionali e alle linee guida emanate dalle principali organizzazioni sanitarie e ambientali, con un focus sulle best practices per la gestione sostenibile delle risorse naturali e la riduzione dell'inquinamento. Verranno, inoltre, esplorate le innovazioni nel campo della prevenzione, mettendo in evidenza gli approcci multidisciplinari necessari per affrontare le complessità di un ambiente in continuo mutamento.

L'igiene ambientale, intesa come disciplina che integra scienze biologiche, chimiche, fisiche e ingegneristiche, è fondamentale per garantire non solo la qualità della vita, ma anche la sopravvivenza a lungo termine degli ecosistemi. La gestione integrata dei rifiuti, la protezione delle risorse idriche e la riduzione delle emissioni inquinanti rappresentano solo alcuni degli ambiti trattati in questo volume, che si propone di fornire un quadro teorico e pratico per affrontare le sfide ambientali attuali e future.

Con l'auspicio che questa pubblicazione contribuisca a promuovere una maggiore consapevolezza scientifica e a stimolare azioni concrete a tutela dell'ambiente, auguro al lettore una lettura proficua e stimolante. Solo attraverso l'applicazione rigorosa delle conoscenze scientifiche e l'adozione di politiche ambientali integrate sarà possibile garantire un futuro sostenibile per le generazioni a venire.

Buona lettura.

*Prof.ssa Roberta Siliquini*

Professore Ordinario di Igiene Generale e Applicata – Università di Torino  
Presidente Società Italiana di Igiene, Medicina Preventiva e Sanità Pubblica (S.It.I.)



# INDICE GENERALE

## CAPITOLO 1

### Rapporto ambiente e salute

(Silvia Bonetta, Annalaura Carducci, Elisabetta Carraro, Chiara Copat, Ileana Federigi, Margherita Ferrante, Gea Oliveri Conti, Tiziana Schilirò, Carmen Sica)

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| 1.1       | Rapporto ambiente e salute.....                                      | 1  |
| 1.1.1     | Evoluzione dei concetti di salute e sanità pubblica.....             | 1  |
| 1.1.2     | Sviluppo sostenibile e Agenda 2030.....                              | 2  |
| 1.1.3     | Il binomio ambiente e salute: superare la dicotomia.....             | 4  |
| 1.2       | Rischi ambientali per la salute.....                                 | 5  |
| 1.2.1     | Rischio fisico.....  | 5  |
| 1.2.1.1   | Rumore.....  | 5  |
| 1.2.1.2   | Ultrasuoni.....  | 8  |
| 1.2.1.3   | Infrasuoni.....  | 8  |
| 1.2.1.4   | Vibrazioni.....  | 9  |
| 1.2.1.5   | Campi Elettromagnetici (CEM).....                                    | 9  |
| 1.2.1.6   | Radiazioni ionizzanti.....   | 9  |
| 1.2.1.6.1 | Radiazioni ionizzanti naturali e Radon.....                          | 10 |
| 1.2.1.7   | Atmosferiche iperbariche.....  | 11 |
| 1.2.1.8   | Inquinamento luminoso.....   | 11 |
| 1.2.1.9   | Microclima.....  | 13 |
| 1.2.1.10  | Catastrofi naturali.....   | 13 |
| 1.2.2     | Rischio biologico.....   | 14 |
| 1.2.2.1   | Rischio biologico e ambiente: premessa.....                          | 14 |
| 1.2.2.2   | Definizioni ed effetti sulla salute.....                             | 14 |
| 1.2.2.3   | Il triangolo epidemiologico.....                                     | 15 |
| 1.2.2.4   | Trasmissione delle infezioni: ruolo dell'ambiente.....               | 18 |
| 1.2.2.5   | Monitoraggio microbiologico ambientale.....                          | 24 |
| 1.2.3     | Rischio chimico.....   | 29 |
| 1.2.3.1   | Rischio chimico da inquinanti emergenti: interferenti endocrini..... | 29 |
| 1.2.3.2   | Tipologie di IE e loro utilizzo.....                                 | 33 |
| 1.2.3.3   | Vie di esposizione agli IE.....                                      | 33 |
| 1.2.3.4   | Meccanismo di azione degli IE.....                                   | 34 |
| 1.2.3.5   | Effetti degli IE sull'uomo.....                                      | 34 |
| 1.2.3.6   | Normativa sugli IE.....  | 35 |
| 1.2.3.7   | Monitoraggio ambientale e biologico.....                             | 36 |

## CAPITOLO 2

### Epidemiologia ambientale

(Erica Balboni, Tommaso Filippini, Deborah Traversi, Marco Vinceti)

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 2.1 | Definizione di epidemiologia ambientale.....   | 39 |
| 2.2 | Tipologia degli studi di epidemiologia ambientale.....   | 39 |
| 2.3 | Aspetti critici degli studi di epidemiologia ambientale.....   | 41 |
| 2.4 | Nesso di causalità negli studi ambientali e inferenza statistica.....  | 44 |
| 2.5 | Uso delle meta-analisi in epidemiologia ambientale, metodologie tradizionali e dose-risposta, punti di forza e limiti..... | 46 |
| 2.6 | Valutazione delle esposizioni in epidemiologia ambientale - i bioindicatori.....   | 49 |
| 2.7 | Valutazione delle esposizioni in epidemiologia ambientale - altre sorgenti di dati.....                                    | 66 |

## CAPITOLO 3

### Valutazione, gestione e comunicazione del rischio

(Annalaura Carducci, Ileana Federigi, Ilaria Gorrasi, Tiziana Schilirò)

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 3.1     | L'analisi del rischio ambientale per la salute.....             | 73 |
| 3.1.1   | Il risk assessment.....   | 73 |
| 3.1.1.1 | Identificazione del pericolo (Hazard Identification).....       | 75 |
| 3.1.1.2 | Valutazione della dose-risposta (Dose-Response Assessment)..... | 76 |
| 3.1.1.3 | Valutazione dell'esposizione (Exposure Assessment).....         | 80 |
| 3.1.1.4 | Caratterizzazione del rischio (Risk characterization).....      | 83 |
| 3.1.2   | Risk assessment per gli agenti biologici.....                   | 85 |
| 3.1.2.1 | Identificazione dei pericoli biologici.....                     | 86 |

|           |   |     |
|-----------|---|-----|
| 3.1.2.2   | Caratterizzazione dei pericoli biologici (infettivi) e relazioni dose-risposta.....     | 86  |
| 3.1.2.3   | Valutazione dell'esposizione a matrici contaminate da agenti biologici (infettivi)..... | 87  |
| 3.1.2.4   | Risk assessment integrato per agenti chimici e biologici.....                           | 88  |
| 3.1.3     | Aspetti normativi (VIS, VIA, VAS, VIAS).....  | 89  |
| 3.1.3.1   | Introduzione alle valutazioni ambientale e sanitaria.....                               | 89  |
| 3.1.3.2   | Le valutazioni e autorizzazioni ambientali.....   | 92  |
| 3.1.3.2.1 | Le valutazioni ambientali (VAS e VIA).....  | 92  |
| 3.1.3.2.2 | L'autorizzazione integrata ambientale (AIA).....  | 93  |
| 3.1.3.3   | La valutazione di impatto sanitario (VIS).....  | 95  |
| 3.1.3.3.1 | La metodologia della VIS.....   | 95  |
| 3.2       | Gestione e comunicazione del rischio ambientale.....                                    | 99  |
| 3.2.1     | Gestione del rischio ( <i>Risk Management</i> ).....                                    | 99  |
| 3.2.2     | Comunicazione del rischio ( <i>Risk Communication</i> ).....                            | 100 |

## CAPITOLO 4

### Cambiamenti climatici

(Margherita Ferrante, Gea Oliveri Conti, Marco Vinceti)

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 4.1   | Cambiamenti climatici: definizione e caratteristiche dell'ambito..... | 107 |
| 4.1.1 | Neutralità climatica.....   | 110 |
| 4.1.2 | Urban health, greenness e pianificazione territoriale.....            | 110 |
| 4.1.3 | Ondate di calore.....   | 112 |
| 4.1.4 | Riduzione biodiversità.....   | 113 |
| 4.2   | Rischi per la salute derivanti dal cambiamento climatico.....         | 114 |
| 4.3   | Strategie di adattamento ai cambiamenti climatici.....                | 114 |
| 4.4   | Fonti rinnovabili e azioni di prevenzione.....                        | 116 |
| 4.5   | Il contributo dell'UE, green deal europeo e ottica WHO/ONU.....       | 116 |
| 4.6   | Normativa nazionale e comunitaria.....                                | 118 |

## CAPITOLO 5

### Inquinamento atmosferico

(Sara Bonetta, Margherita Ferrante, Gea Oliveri Conti, Carmen Sica, Deborah Traversi)

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 5.1   | Aria atmosferica.....   | 121 |
| 5.2   | Conversione termica.....  | 122 |
| 5.3   | Alterazioni dell'atmosfera.....   | 122 |
| 5.4   | Inquinanti classici ed emergenti.....   | 123 |
| 5.4.1 | Inquinanti atmosferici classici.....  | 123 |
| 5.4.2 | Inquinanti atmosferici emergenti.....   | 124 |
| 5.5   | Qualità dell'aria e inquinamento industriale.....                                   | 127 |
| 5.6   | Qualità dell'aria nell'ambiente urbanizzato.....                                    | 128 |
| 5.7   | Esposizione a inquinamento outdoor in agricoltura.....                              | 129 |
| 5.7.1 | PM derivato dalla coltivazione dei campi, dei frutteti e degli ortaggi.....         | 129 |
| 5.7.2 | PM derivato dagli allevamenti e dall'industria agro-alimentare.....                 | 130 |
| 5.7.3 | Standard, valori limite ed effetti del PM di derivazione agricola sulla salute..... | 130 |

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 5.8    | Effetto serra e mobilità a livello nazionale e internazionale.....   | 131 |
| 5.9    | Effetti dell'inquinamento atmosferico sulla salute e monitoraggio.....   | 133 |
| 5.9.1  | Effetti acuti e cronici degli inquinanti.....  | 134 |
| 5.9.2  | Meccanismi di azione degli inquinanti atmosferici.....   | 136 |
| 5.9.3  | Conseguenze dell'inquinamento sull'apparato respiratorio.....  | 137 |
| 5.9.4  | Conseguenze dell'inquinamento sull'apparato circolatorio.....  | 137 |
| 5.9.5  | Patologie tumorali.....  | 139 |
| 5.9.6  | Conseguenze dell'inquinamento sul sistema nervoso.....   | 139 |
| 5.9.7  | Effetti sul sistema urinario.....  | 143 |
| 5.9.8  | Effetti sul sistema gastroenterico.....  | 143 |
| 5.9.9  | Effetti sul sistema immunitario.....   | 143 |
| 5.9.10 | Diabete e obesità.....   | 144 |
| 5.9.11 | Natimortalità, mortalità infantile, malformazioni congenite.....   | 144 |
| 5.10   | Dalla sorveglianza alle buone pratiche: casi studio.....   | 144 |
| 5.11   | Gestione e previsione dell'inquinamento atmosferico.....   | 145 |
| 5.12   | Gestione dell'inquinamento nelle aree metropolitane.....   | 147 |
| 5.13   | Prevenzione urbanistica attraverso la mobilità sostenibile e implementazione del progetto, "Reti di città sane": risultati attuali e prospettive future..... | 148 |
| 5.14   | Modelli avanzati per la previsione dell'inquinamento atmosferico.....  | 151 |

## CAPITOLO 6

### Inquinamento degli ambienti confinati (Indoor)

(Antonio Azara, Chiara Copat, Antonio Cristaldi, Giovanna Deiana, Margherita Ferrante)

|           |   |     |
|-----------|---|-----|
| 6.1       | Definizione e caratteristiche degli ambienti confinati..... | 153 |
| 6.2       | Microclima.....   | 155 |
| 6.2.1     | Equazione del bilancio termico nell'uomo.....               | 156 |
| 6.2.2     | Il benessere termico e gli indici di Fanger.....            | 157 |
| 6.2.3     | Rilevazioni Microclimatiche.....                            | 159 |
| 6.3       | Inquinamento indoor.....                                    | 159 |
| 6.3.1     | Tipologia dell'inquinamento indoor.....                     | 159 |
| 6.3.1.1   | Viziatura dell'aria indoor.....                             | 159 |
| 6.3.1.2   | Inquinamento biologico.....                                 | 160 |
| 6.3.1.3   | Inquinamento chimico.....                                   | 162 |
| 6.3.1.3.1 | Il Particolato Aerodisperso.....                            | 162 |
| 6.3.1.3.2 | Biossido di Azoto (NO <sub>2</sub> ).....                   | 163 |
| 6.3.1.3.3 | Anidride Solforosa (SO <sub>2</sub> ).....                  | 163 |
| 6.3.1.3.4 | Monossido di Carbonio (CO).....                             | 164 |
| 6.3.1.3.5 | Composti Organici Volatili (COV).....                       | 164 |
| 6.3.1.3.6 | Formaldeide e altri carbonili.....                          | 165 |
| 6.3.1.3.7 | Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA).....                | 165 |
| 6.3.1.3.8 | Amianto.....  | 166 |



|           |  |     |
|-----------|--|-----|
| 6.3.13.9  | Ozono  | 166 |
| 6.3.13.10 | Fumo passivo                                 | 167 |
| 6.3.14    | Inquinamento fisico                          | 168 |
| 6.3.14.1  | Radon  | 168 |
| 6.3.14.2  | Campi elettromagnetici (CEM)                 | 170 |
| 6.3.14.3  | Inquinamento acustico                        | 172 |
| 6.3.14.4  | Inquinamento luminoso                        | 173 |
| 6.4       | Effetti sanitari                             | 174 |
| 6.4.1     | Sick-Building Syndrome (SBS)                 | 174 |
| 6.4.2     | Building-Related Illness (BRI)               | 175 |
| 6.4.3     | Multiple Chemical Sensitivity Syndrome (MCS) | 176 |
| 6.5       | Normativa e linee di prevenzione             | 177 |

## CAPITOLO 7

### Acqua e ciclo idrico integrato

(Antonio Azara, Giovanna Deiana, Osvalda De Giglio, Margherita Ferrante, Maria Teresa Montagna)

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 7.1    | Definizione e caratteristiche dell'ambito: ciclo idrico, ciclo idrico integrato                    | 181 |
| 7.1.1  | Tipologia dell'inquinamento  | 183 |
| 7.1.2  | Microinquinanti emergenti  | 185 |
| 7.1.3  | Punti di criticità nell'analisi  | 186 |
| 7.1.4  | Interventi nel breve e lungo termine   | 187 |
| 7.2    | Fonti di approvvigionamento idrico e qualità delle acque superficiali e profonde                   | 188 |
| 7.3    | Importanza dell'acqua e funzioni biologiche  | 190 |
| 7.4    | L'acqua ad uso umano   | 191 |
| 7.4.1  | Acque di sorgente  | 191 |
| 7.4.2  | Acque minerali   | 192 |
| 7.4.3  | Acque potabili   | 194 |
| 7.5    | Dispositivi domestici di trattamento di acque destinate al consumo umano                           | 198 |
| 7.6    | Cassette o chioschi dell'acqua   | 199 |
| 7.7    | Acque per usi sanitari   | 200 |
| 7.8    | Acque marine, balneari, per usi ricreativi   | 200 |
| 7.9    | Piscine e SPA  | 203 |
| 7.10   | Acque termali  | 203 |
| 7.11   | Effetti sanitari e linee di prevenzione  | 204 |
| 7.11.1 | Potabilizzazione   | 206 |
| 7.11.2 | La normativa italiana: dal Decreto Legislativo 31/2001 al Decreto Legislativo 18/2023              | 211 |
| 7.11.3 | La nuova Direttiva Europea 2020/2184 concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano | 212 |
| 7.11.4 | Piani di Sicurezza dell'Acqua  | 215 |

## CAPITOLO 8

### Suolo e reflui

(Silvia Bonetta, Annalaura Carducci, Elisabetta Carraro, Chiara Copat, Antonio Cristaldi, Ileana Federigi, Margherita Ferrante, Marco Verani)

|         |   |     |
|---------|---|-----|
| 8.1     | Contaminazione del suolo e modalità di risanamento  | 219 |
| 8.1.1   | Il suolo e la sua importanza negli equilibri ambientali   | 219 |
| 8.1.2   | Le minacce che possono compromettere le funzioni del suolo  | 220 |
| 8.1.3   | La contaminazione chimico-fisica del suolo  | 220 |
| 8.1.3.1 | Composti organici   | 221 |
| 8.1.3.2 | Composti inorganici   | 224 |
| 8.2     | Valutazione degli interventi di bonifica  | 225 |
| 8.3     | Tecnologie di bonifica  | 226 |
| 8.3.1   | Tecnologia di bonifica In Situ - processi chimico-fisici  | 227 |
| 8.3.2   | Tecnologia di bonifica In Situ - processi biologici   | 230 |
| 8.3.3   | Tecnologia di bonifica Ex Situ - processi chimico-fisici  | 234 |
| 8.3.4   | Tecnologia di bonifica Ex Situ - processi biologici   | 234 |
| 8.4     | Il riuso delle acque reflue   | 235 |
| 8.4.1   | Il riuso delle acque reflue: stato dell'arte  | 235 |
| 8.4.1.1 | Il riuso in Europa  | 236 |
| 8.4.1.2 | Problematiche igienico-sanitarie associate al riuso   | 239 |
| 8.4.1.3 | Studi epidemiologici sui rischi per la salute associati al riuso  | 243 |
| 8.4.1.4 | Trattamenti di affinamento delle acque depurate destinate al riuso  | 243 |
| 8.4.1.5 | Contesto normativo  | 245 |
| 8.4.1.6 | Conclusioni: benefici e ostacoli associati al riuso   | 246 |
| 8.5     | Wastewater-Based Epidemiology   | 247 |
| 8.5.1   | Acque reflue come punto di osservazione della circolazione degli agenti microbici e chimici nella popolazione | 247 |
| 8.5.2   | Principi di base della Wastewater Based Epidemiology  | 248 |
| 8.5.3   | Esempi di applicazione della WBE  | 249 |
| 8.5.4   | Confronto tra WBE e sorveglianza convenzionale  | 253 |

## CAPITOLO 9

### Rifiuti solidi

(Antonio Azara, Claudia Favara, Margherita Ferrante, Alfina Grasso, Carmen Sica)

|         |  |     |
|---------|--|-----|
| 9.1     | Introduzione e cenni storici   | 255 |
| 9.2     | Definizione e caratterizzazione dell'ambito  | 256 |
| 9.3     | Raccolta   | 258 |
| 9.4     | Tipologie di impianti di trattamento ed emissioni  | 258 |
| 9.4.1   | Trattamenti a freddo dei rifiuti   | 259 |
| 9.4.2   | Trattamenti a caldo dei rifiuti  | 260 |
| 9.4.3   | Discarica  | 263 |
| 9.4.3.1 | Linee essenziali dei requisiti minimi prescritti per tutte le tipologie di discariche previste dalla normativa nazionale | 265 |
| 9.4.3.2 | Discariche abusive   | 267 |

9.5 Problematiche igienico-sanitarie.....267

9.6 Normativa e criteri di gestione in ambito  
comunitario .....268

9.7 Normativa e stato dell'arte della gestione in Italia .....271

9.8 Rifiuti sanitari .....276

9.8.1 Normativa e classificazione.....276

9.8.2 Rischio associato ai rifiuti sanitari e modalità di gestione  
e smaltimento .....278

9.8.3 Responsabilità nella gestione rifiuti sanitari .....280

9.8.4 L'entità del fenomeno in Italia.....281

9.9 Conclusioni.....282

CAPITOLO 10

Aspetti igienico-sanitari degli alimenti

(Annalaura Carducci, Osvalda De Giglio, Ileana Federigi, Margherita Ferrante, Vincenzo Marcotrigiano, Gea Oliveri Conti, Marco Verani)

10.1 Definizione e caratteristiche dell'ambito .....283

10.1.1 Microplastiche negli alimenti.....284

10.2 Classificazione delle malattie trasmesse  
dagli alimenti e cause.....286

10.3 La contaminazione delle fasi della filiera  
alimentare .....287

10.4 La conservazione degli alimenti .....287

10.5 Effetti sanitari.....288

10.6 Normativa di settore .....292

CAPITOLO 11

Cenni di igiene industriale e differenze di genere

(Annalaura Carducci, Ileana Federigi, Marco Verani)

11.1 Definizione di igiene industriale,  
del lavoro, occupazionale .....297

11.2 Normativa .....297

11.3 Definizioni (Art.2 D.Lgs. 81) .....298

11.4 La valutazione dei rischi.....300

11.4.1 Rischi per la Sicurezza.....300

11.4.2 Rischi per la Salute.....301

11.4.3 Rischi Trasversali.....304

11.5 Analisi sistematica dell'attività lavorativa.....305

11.5.1 Metodi di valutazione - Matrici di rischio e approccio probabilistico.....305

11.5.2 Metodi di valutazione - Gli algoritmi ed i software .....306

11.5.2.1 Rischio chimico .....306

11.5.2.2 Rischio biologico.....307

11.6 Documento di valutazione dei rischi (DVR) .....310

11.7 Prevenzione e protezione .....310

11.8 Misure collettive.....310

11.9 Misure individuali - Dispositivi di Protezione  
Individuale (D.P.I.) .....311

11.10 Sorveglianza sanitaria .....312

11.11 La valutazione dei rischi in ottica di genere.....313

11.11.1 Premessa .....313

11.11.2 Differenze di genere per la valutazione dei rischi lavorativi.....314

11.11.3 Differenze di genere per il controllo e la comunicazione del rischio  
lavorativo.....317

Bibliografia.....319

Indice analitico .....325

## 7

## CAPITOLO

# Acqua e ciclo idrico integrato

Antonio Azara, Giovanna Deiana,  
Osvalda De Giglio, Margherita Ferrante,  
Maria Teresa Montagna

## 7.1 Definizione e caratteristiche dell'ambito: ciclo idrico, ciclo idrico integrato

La parola “acqua” ha origine dalla parola latina “aqua”, termine che contiene una radice indoeuropea *ak-*, cioè “piegare”, che indica una sostanza in grado di piegarsi e di assumere la forma di ciò che la contiene e allo stesso tempo di ciò che rende alcuni materiali, che vengono a contatto con essa per un certo periodo di tempo, più facilmente atti alla piegatura.

L'acqua è la prima fonte di sopravvivenza sulla Terra per tutte le piante e gli animali, compreso l'uomo, e il ciclo idrico integrato mette in relazione i servizi di acquedotto, fognatura e depurazione delle acque reflue, dunque, la parola chiave che coinvolge il ciclo idrico è la parola “acqua”.

Ma cos'è l'acqua? Perché questa parola significa vita per l'uomo?

L'acqua è una molecola composta da un atomo di ossigeno legato con legami covalenti polari a due atomi di idrogeno e la sua formula bruta è  $H_2O$ . È un composto che può presentarsi in tre diversi stati fisici: solido, liquido e gassoso.

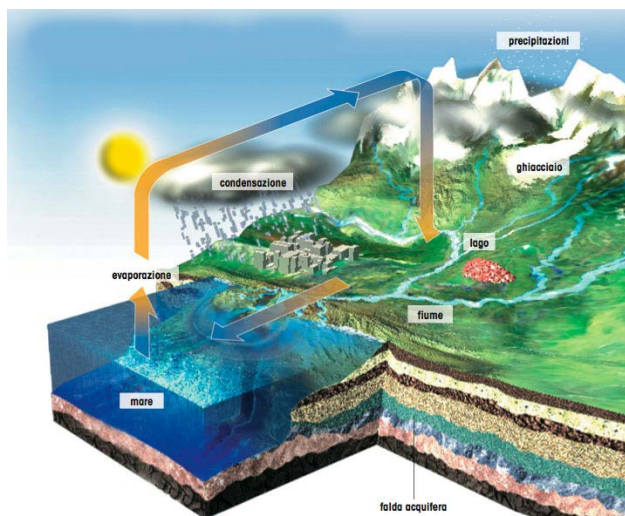
Il passaggio di stato è correlato al modo in cui le molecole si legano tra loro:

- la fusione è il passaggio da solido a liquido;
- la solidificazione è il passaggio esattamente opposto, cioè da liquido a solido;
- l'evaporazione è il passaggio di stato da liquido a gassoso;
- la condensazione è il passaggio contrario da gassoso a liquido.

Il cambiamento di stato avviene nel caso in cui, a pressione di 1 atm, vi sia una variazione di temperatura: sotto 0 °C l'acqua si presenta allo stato solido, come ghiaccio, tra 0 °C e 100 °C l'acqua è allo stato liquido, mentre sopra i 100 °C l'acqua si trova allo stato gassoso.

L'acqua è il costituente principale delle cellule (citoplasma e vacuoli delle cellule vegetali), ma è anche di fondamentale importanza come solvente nelle reazioni biochimiche tra le diverse biomolecole, come proteine, carboidrati e vitamine idrosolubili, interagisce anche come solvente nelle reazioni metaboliche, nell'idrolisi, nella fotosintesi clorofilliana e nella respirazione cellulare.

L'acqua occupa il 70% della superficie della Terra; di questa, più del 97% del totale risiede sulla superficie ed è rappresentato dagli oceani, circa il 3% del totale include acqua dolce, di cui più di 2/3 (68,9%) si riscontra sotto forma di neve perenne o ghiaccio, e solo meno dell'1% si trova nei fiumi, nei laghi e nel



**FIGURA 7.1:** Ciclo idrico (Fonte: [digimparosec1.capitello.it/app/books/CPAC56\\_4265228B/html/13](http://digimparosec1.capitello.it/app/books/CPAC56_4265228B/html/13)).

sottosuolo, mentre circa lo 0,05% del totale si trova in atmosfera.

Il **ciclo idrico** ruota attorno ai fiumi, laghi, mari e agenti atmosferici; il ciclo dell'acqua prevede uno scambio continuo di acqua tra il mare e le terre per mezzo di quattro steps: l'evaporazione dell'acqua dai corpi idrici, la saturazione in atmosfera del vapore acqueo, la formazione delle precipitazioni e il ritorno delle acque ai corpi idrici. L'acqua che giunge al suolo viene assorbita dalle radici delle piante e poi reimpressa in atmosfera mediante traspirazione, oppure parte si infiltra nel terreno rigenerando le falde sot-

terranee, o parte defluisce in superficie verso le estensioni di acqua libera (**Figura 7.1**).

Il ciclo idrologico rinnova naturalmente una certa quantità di acqua, ma le fluttuazioni dei fenomeni naturali intervengono nel modificare la disponibilità di acqua annuale. Oggi le fluttuazioni non dipendono solo dai fenomeni naturali, ma anche dalle attività antropiche che cambiano e influenzano i fenomeni naturali.

Le risorse idriche si possono distinguere in risorse idriche statiche (ghiacciai, grandi laghi, falde profonde) e in risorse idriche rinnovabili (falde poco profonde e deflusso superficiale) che rappresentano quelle dinamiche e, quindi, si modificano.

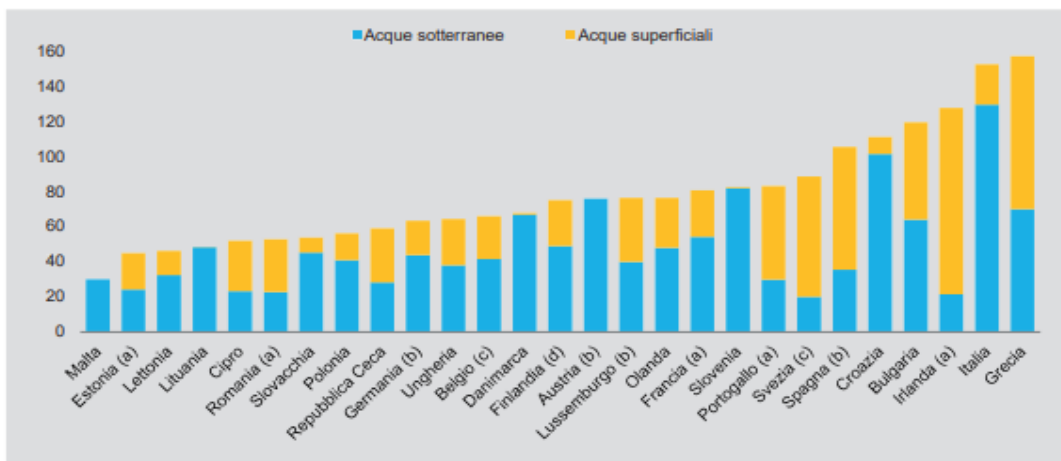
L'uso intensivo di alcune risorse statiche causa una riduzione della disponibilità di acqua in quanto queste impiegano lunghi periodi, come secoli o decenni, per riattivarsi a differenza delle risorse dinamiche.

I dati ISTAT rivelano che nel 2018 in Italia, il volume di acqua dolce prelevato per uso potabile da corpi idrici superficiali o sotterranei è stato 9,2 miliardi di m<sup>3</sup> e rappresenta la quantità più alta prelevata tra i Paesi dell'UE27 (**Figura 7.2**).

Nel 2018 nelle reti comunali di distribuzione dell'acqua potabile sono stati erogati giornalmente 215 litri per abitante, circa 5 litri in meno rispetto al 2015.

La velocità con cui l'acqua viene prelevata dall'ambiente deve essere equiparabile alla velocità che la riserva disponibile ha per rigenerarsi, ma allo stesso tempo la velocità mediante la quale si smaltiscono le acque inquinate, non deve superare la capacità che gli ecosistemi in cui essa è immessa, hanno per assorbirla.

**FIGURA 7.2:** Prelievi di acqua per uso potabile nei Paesi Ue27 dell'anno 2018 (Fonte: ISTAT su dati Eurostat).



Sussiste un rapporto diretto tra ciclo tecnologico (processo di captazione, potabilizzazione, distribuzione, scarico, depurazione, riutilizzo e/o sversamento nel corpo recettore) e ciclo naturale (fiumi, pioggia), questo è il ciclo idrico integrato.

La gestione delle risorse idriche è regolata da 3 normative: L. 183/89, L. 36/94, D.Lgs.152/06.

Il decreto legislativo n. 183 del 18 maggio 1989 identifica la prima legge italiana che analizza un quadro di insieme della gestione delle risorse idriche sul territorio nazionale, assicura la difesa del suolo, la gestione delle risorse idriche per gli usi di razionale sviluppo economico e sociale, oltre che tutelare gli aspetti ambientali che si correlano ad essi.

In Italia il ciclo idrico integrato è entrato a far parte della legislazione con la Legge Galli n. 36 del 6 gennaio 1994, una evoluzione della L. 183/89, e con essa è nato l'A.T.O. (Ambito Territoriale Ottimale), con il quale sono stati integrati in un unico processo l'approvvigionamento idrico dell'acqua potabile, il refluo, e la depurazione delle acque reflue (i servizi di acquedotto, fognatura e depurazione in tutte le loro fasi, ivi comprese le relative tariffe, fissandone i limiti geografici). Questo sistema permette di sfruttare le risorse idriche presenti sul nostro pianeta in maniera tale da preservare sia la quantità che la qualità e, dopo opportuni trattamenti, la possibilità di restituirla all'ambiente, riducendo l'impatto sui vari corpi recettori.

Il percorso che coinvolge l'acqua potabile che arriva nelle abitazioni e che viene reimpressa nell'ambiente completamente depurata viene chiamato **ciclo idrico integrato** e comprende le seguenti fasi: captazione, adduzione, potabilizzazione, distribuzione dell'acqua potabile, convogliamento di acque di scarico in fognatura, depurazione, restituzione all'ambiente. Questi passaggi sono essenziali per un corretto ciclo idrico integrato.

Il decreto legislativo n. 152 del 3 aprile 2006, relativo alle Norme in materia ambientale, ha abrogato la legge Galli definendo il servizio pubblico integrato "l'insieme dei servizi pubblici di captazione, adduzione e distribuzione di acqua ad usi civili, di fognatura e di depurazione delle acque reflue, il quale deve essere gestito secondo principi di efficienza, efficacia ed economicità, nel rispetto delle norme nazionali e comunitarie".

Il D.Lgs.152/06 ha introdotto il Piano di Tutela delle Acque, sviluppando gli obiettivi di tutela quali-quantitativa come gli andamenti temporali delle portate nei corsi d'acqua, delle portate e dei livel-

li piezometrici negli acquiferi sotterranei, dei livelli idrici nei laghi, serbatoi, stagni.

Secondo il Piano le acque superficiali e sotterranee vengono classificate dalle regioni e permette di fissare sia gli obiettivi che le misure di intervento per riqualificare le già classificate acque superficiali e sotterranee.

### 7.1.1 Tipologia dell'inquinamento

La qualità delle acque può essere compromessa da contaminazioni dovute all'inquinamento. L'inquinamento è un'alterazione di una matrice ambientale dovuta a contaminazione di origine chimica, cioè dovuta a sostanze di origine organica o inorganica, da cambiamenti fisici quali variazioni termiche, acustiche, radioattive o elettriche, oppure può essere influenzato da eventi di natura biologica, cioè dovuti alla presenza di microrganismi.

Per il mantenimento e il miglioramento della qualità dell'acqua bisogna fare attenzione a tutte le varie forme di inquinamento e sviluppare dei sistemi tecnico-gestionali dell'apprendimento e di distribuzione di questa risorsa.

L'acqua è una risorsa a rischio e per questo bisogna avere un controllo sia sui prelievi continui ed eccessivi di questa risorsa primaria, ma anche fare attenzione ai prelievi abusivi, solo in questo modo si può salvaguardare la falda e si può garantire che questa venga rialimentata.

Le sostanze chimiche che impattano maggiormente sull'inquinamento delle acque sono i nitrati, su queste sostanze provenienti da fonti agricole valgono le norme imposte dalla Direttiva 91/676/CE recepite in Italia con il D.Lgs n. 152 dell'11 maggio 1999.

Le fonti di inquinamento idrico si possono suddividere in puntuali ("point") e non puntuali ("non point") e a loro volta si possono suddividere in inquinanti di flusso, che sono assimilabili dall'ambiente, e in inquinanti di stock, che non vengono assimilati dall'ambiente.

Il ruolo di inquinante viene per lo più ricoperto dai reflui industriali, agricoli e urbani, per questo motivo possiamo distinguere in inquinamento civile, inquinamento industriale, inquinamento agricolo e inquinamento zootecnico.

L'inquinamento **civile** viene veicolato tramite i reflui urbani che includono le acque reflue domestiche, le acque reflue meteoriche di dilavamento che vengono convogliate nelle reti fognarie. Queste contengono non solo sostanze organiche ma anche



sostanze chimiche come detersivi o saponi. Queste sostanze rappresentano il maggiore problema di inquinamento in quanto più difficili da smaltire non essendo materia biodegradabile, ma bensì composti chimici di origine sintetica. Queste sostanze sintetiche vengono convogliate nei corsi d'acqua superficiali, a volte si infiltrano nel sottosuolo inquinando le falde acquifere, o arrivano a mare. Le sostanze inquinanti non devono superare la capacità autodepurativa di fiumi, laghi e mari per non compromettere la qualità delle acque e gli equilibri dell'ecosistema.

Gli inquinanti nelle acque reflue si possono distinguere in: sostanze galleggianti che sono insolubili e più leggeri dell'acqua; materiali in sospensione con cui si identificano sostanze con peso uguale o superiore a quello dell'acqua e insolubili; sostanze disciolte che comprendono tutte le sostanze tossiche, insetticidi, cianuri, acidi e sali metallici, oltre all'ammoniaca e alle sostanze organiche disciolte che sono facilmente degradabili e a pesticidi e tensioattivi che invece non si degradano per mezzo di degradazione biologica; altra fonte di inquinamento presente nelle acque è rappresentata da componenti biologiche come protozoi, funghi, alghe e batteri.

Poter sfruttare acqua potabile riduce il rischio di sviluppare infezioni di origine virale o batterica dovuto al passaggio dei microrganismi da materiale contaminato mediante le mani sporche fino alla bocca, o a patogeni già presenti in acqua, o malattie che vengono trasmesse da vettori, come alcuni insetti, o da animali, che sono in grado di svolgere una fase del ciclo vitale in ambiente acquatico.

Le malattie maggiormente conosciute nei Paesi industrializzati sono il tifo e l'epatite A. Tuttavia, è opportuno prestare attenzione anche alle patologie infettive emergenti, cioè quelle patologie che compaiono per la prima volta in una popolazione o che già esistono ma subiscono un incremento (per es. sono correlate alla diffusione di *Norovirus*, *Legionella*, *Acanthamoeba*, *Helicobacter pylori*, *Calicivirus*, *Cryptosporidium* e *Campylobacter*). Le infezioni riemergenti sono quelle che ricompaiono dopo un periodo di tempo in cui sembravano essere scomparse.

I microrganismi commensali, ambientali o saprofiti causano malattie in cui vengono coinvolti gli agenti eziologici che divengono patogeni opportunisti come *Pseudomonas stutzeri*, *Stenotrophomonas maltophilia*, etc.

L'inquinamento **industriale** prevede lo scarico di acque che contengono sostanze non biodegradabili

e tossiche, direttamente nel terreno, nei fiumi o nei mari. Il tipo di processo industriale caratterizza il reflujo industriale nell'ambito del quale si possono riscontrare idrocarburi, tipici prodotti di scarto di industrie petrolifere, o prodotti organici caratteristici delle industrie agroalimentari, acidi-basi e prodotti di natura chimica delle lavanderie a secco o delle industrie chimiche, metalli delle industrie metallurgiche, acque calde di alcuni circuiti di raffreddamento oppure rifiuti radioattivi prodotti dalle centrali termonucleari. I maggiori inquinanti industriali immessi nei corpi idrici recettori sono ftalati, archifenoli, bisfenolo A, idrocarburi policiclici aromatici (IPA), sostanze organiche alogenate, aldeidi, metalli, PCB, furani, diossine, fenoli e idrocarburi alifatici, idrocarburi clorurati.

L'inquinamento **agricolo** interessa le acque in maniera ricorrente. I fertilizzanti chimici immettono nell'ambiente azoto e fosforo. I concimi che sono a base di azoto sono quelli che causano inquinamento da nitrati nelle falde acquifere. Sia i fertilizzanti che i fitofarmaci, data la scarsa biodegradabilità, inquinano le falde e i corsi d'acqua; inoltre, numerosi fertilizzanti possiedono una tossicità non selettiva, colpendo e uccidendo anche specie utili per l'equilibrio degli ecosistemi e inoltre sono correlati a fenomeni di persistenza e accumulo in comparti ambientali specifici.

I fertilizzanti hanno la proprietà di essere degradabili senza accumularsi sul terreno, invece i fitofarmaci, come il DDT, non sono in grado di degradarsi o si riescono a degradare molto lentamente, causando un costante inquinamento ambientale poiché si accumulano provocando il fenomeno della magnificazione biologica, cioè la concentrazione di queste sostanze.

La maggior parte delle sostanze nocive si concentrano nei tessuti umani. I fertilizzanti danno origine a massicce quantità di fioriture algali che stressano e avvelenano i sistemi acquatici.

L'inquinamento zootecnico contribuisce a stressare l'ambiente, si sviluppano fenomeni di eutrofizzazione dei corsi d'acqua in cui si riversano i liquami e le acque di lavaggio di pollai, stalle e porcilaie. I liquami contengono sostanze organiche ma anche sostanze nocive come fosfati e ammoniaca.

Al fine di monitorare, valutare e gestire tali inquinanti vengono utilizzati strumenti di analisi del rischio; tali metodologie stanno efficacemente indirizzando verso dei progressi e contribuendo alla re-

visione della normativa di settore, dall'idro-potabile (Piani di Sicurezza dell'Acqua, PSA) al riuso (piani di sicurezza igienico-sanitari), alla balneazione, realizzando un significativo potenziamento delle strategie di prevenzione e controllo. Tuttavia, devono integrarsi stabilmente con aggiuntive azioni di più largo contesto che abbraccino la *governance* del settore idrico, discutendo e incidendo sulle decisioni in altri comparti che orientino le interazioni acqua e salute, tra cui il REACH, i piani di contrasto alla AMR e la ricerca su contaminanti emergenti, collaborando anche sul piano della comunicazione e partecipazione per promuovere le decisioni politico-gestionali e la loro messa in atto.

## 7.1.2 Microinquinanti emergenti

I Microinquinanti Emergenti (MIE) identificano nel contesto europeo ed internazionale i "Contaminant of Emerging Concern" (CEC, o emerging concern EC), termine usato per indicare sostanze chimiche che non sono state normate ma che si trovano in tracce nelle diverse matrici ambientali. Queste sostanze sono state individuate nel tempo mediante lo sviluppo delle capacità analitiche che sono in grado di rilevare concentrazioni sempre più basse. Gli inquinanti emergenti sono quelle sostanze che sono considerate tali anche per gli effetti apportati all'ambiente e alla salute umana; sono composti la cui pericolosità è stata definita mediante dei nuovi standard di qualità ambientale. Dal punto di vista chimico, sono composti organici e inorganici che sono presenti nelle acque a concentrazioni di  $\mu\text{g/l}$  o  $\text{ng/l}$ .

Nelle acque superficiali, e in concomitanza anche nelle acque profonde, sono stati spesso riscontrati differenti microinquinanti chiamati "microinquinanti organici emergenti" (EOCs, cioè Emerging Organic Compounds).

I contaminanti emergenti sono sostanze che solo recentissimamente iniziano ad essere presenti a livello europeo come inquinanti nei programmi di monitoraggio di routine (es. Direttiva 2020/2184 UE), regolamentati a seconda della loro (eco)tossicità, agli effetti sulla salute dell'uomo e anche in base ai dati di monitoraggio relativi alla loro presenza e persistenza nei diversi comparti ambientali.

Molti di questi microinquinanti emergenti agiscono sulla regolazione ormonale e si possono identificare come "**interferenti endocrini**", sostanze che hanno la capacità di interferire con il normale fun-

zionamento del sistema endocrino causando delle alterazioni nello sviluppo, nella crescita, nella riproduzione e nel comportamento degli organismi. Gli interferenti endocrini (EDs, cioè Endocrine Disrupters) sono sostanze chimiche naturali o sintetiche che alterano la funzione del sistema endocrino, causando rischi per la salute degli organismi.

I microinquinanti organici emergenti si riscontrano prevalentemente negli impianti di depurazione; questo è un tema emergente in quanto sono in grado di inquinare i corpi idrici superficiali e di avere un effetto sulla fauna acquatica. Alcune di queste sostanze si accumulano nei fanghi di depurazione, e quelli che sono riutilizzati possono essere un ulteriore pericolo di inquinamento per le acque superficiali.

Ad oggi non sono conosciuti i comportamenti di tutte le sostanze considerate microinquinanti emergenti, si conoscono solo effetti a breve termine.

Rientrano tra i microinquinanti organici emergenti le sostanze d'abuso, caffeina, nicotina, i prodotti industriali usati per l'igiene personale o per la cura della casa, i farmaci per uso veterinario e quelli umani, gli ormoni steroidei, i fitoestrogeni, i tiroidei, distruttori endocrini e altri composti organici persistenti (POP come PBDE o i PFC).

Esistono molteplici fonti di rilascio dei microinquinanti organici, sia naturali sia antropogeniche.

Queste sostanze cambiano nel tempo il loro *status* in quanto non esiste una normativa con dei limiti specifici, ma è una normativa in continua evoluzione; infatti, si fa riferimento all'elenco riportato nel network NORMAN, poiché questa lista viene continuamente discussa dagli esperti.

I MIE di natura inorganica sono i nanomateriali, e in generale le nanoparticelle, le cui proprietà chimico-fisiche differiscono molto dalle altre sostanze di origine organica che invece sono solubili in acqua oppure hanno la ripartizione n-ottanolo/ acqua, carbonio organico/acqua e solido/liquido.

Le **microplastiche** rappresentano un tema di interesse che è stato messo in evidenza nel 2020 (**Figura 7.3**).

I microinquinanti presenti nelle acque di scarico non vengono rimossi completamente dai processi di depurazione. Sono stati condotti svariati studi per una rimozione più efficace di questi microinquinanti.

Il tema delle microplastiche è diventato ricorrente nell'ultimo decennio. La European Chemicals Agency (ECHA) afferma che "La microplastica è un insieme di particelle solide estremamente piccole (in



FIGURA 7.3: Inquinamento da microplastica nelle acque (Fonte: WHO, 2019)

genere di dimensioni inferiori a 5 mm) composte da miscele di polimeri (i componenti principali della plastica) e da additivi funzionali”.

Il divieto di messa in commercio di prodotti cosmetici da risciacquo ad azione esfoliante e anche detergente che contengono microplastiche è stato introdotto con la normativa italiana dal 1° gennaio 2020 con la legge 205/2017, in cui si afferma che le microplastiche sono “Particelle solide in plastica, insolubili in acqua, di misura uguale o inferiore a 5 millimetri, intenzionalmente aggiunte nei prodotti cosmetici”.

Al termine microplastiche viene molto spesso affiancato quello di nanoplastiche, particelle fino a 100 nanometri. Le microplastiche a seconda della dimensione delle particelle, possono provocare alterazioni tossicologiche: quelle con dimensioni più piccole sono le più pericolose e invasive in quanto si può avere un accumulo e un incremento delle risposte immunologiche e di stress ossidativo.

Le micro- e macroplastiche più grandi vengono depositate a livello intestinale ed escrete, ma le micro e nanoplastiche di dimensioni minori passano attraverso la barriera intestinale, finendo nel flusso sanguigno, causando una potenziale immunotossicità. Inoltre, è stato confermato dalla letteratura che le microplastiche si accumulano nel corpo umano e sono diventate un problema ambientale a livello mondiale a causa dei loro potenziali effetti sulla salute umana.

L'assorbimento delle microplastiche scatena i pro-

cessi infiammatori che coinvolgono svariati biomarker con esiti infiammatori (interleuchine, fattore di necrosi tumorale, chemochine, interferoni, fattori di trascrizione, fattori di crescita, ossidoreduttasi, proteine e altri), per cui sembra confermata l'associazione con l'esposizione a microplastiche di diversi tipi, dimensioni, tempi di esposizione e specie esposte. (Vedi anche paragrafo “Microplastiche negli alimenti” nel capitolo 10).

### 7.1.3 Punti di criticità nell'analisi

Nell'era dell'“antropocene” le dinamiche di contesto e i rischi clima-ambiente-acqua-salute devono essere analizzati nell'evoluzione culturale e scientifica che ha fatto ripensare alla salute umana come indissociabile dallo stato delle risorse naturali e dei determinanti ambientali, compresa la sostenibilità del pianeta per la nostra e le future generazioni. Questo ha consolidato la concezione di salute dell'OMS dalla nascita di “One Health” fino alla visione di “Planetary Health” di Lancet.

Nel 2015 l'Assemblea Generale delle Nazioni Unite (ONU 2030) ha stabilito i 17 Obiettivi di Sviluppo Sostenibile che vogliono “Garantire la disponibilità e la gestione sostenibile dell'acqua e dei servizi igienico-sanitari per tutti”, l'Obiettivo di sviluppo sostenibile 6 (SDG6) si interessa di “acqua pulita e servizi igienici per tutti”.





# Igiene Ambientale

Accedi ai contenuti digitali > Espandi le tue risorse > con un libro che **non pesa** e si **adatta** alle dimensioni del tuo **lettore**



All'interno del volume il **codice personale** e le istruzioni per accedere ai contenuti digitali.  
L'accesso alle risorse digitali è **gratuito** ma limitato a **18 mesi dalla attivazione del servizio**.

