

Considerazioni conclusive

4.1. LIVELLI TROFICI DELLE ACQUE MARINE COSTIERE

4.1.1 LA CLASSIFICAZIONE TROFICA PRELIMINARE DELLE COSTE ITALIANE

La necessità di poter disporre di un criterio oggettivo per la classificazione delle acque marine costiere riveste importanza essenziale nell'attività pianificatoria, quando è necessario definire gli obiettivi di qualità da raggiungere e le strategie di risanamento. L'introduzione dell'Indice Trofico e della relativa Scala Trofica rendono possibile la misura dei livelli trofici in termini rigorosamente quantitativi, nonché il confronto tra differenti sistemi costieri, per mezzo di una scala numerica che copre un'ampia gamma di situazioni trofiche, così come queste si presentano lungo tutto lo sviluppo costiero italiano e, più in generale, nella Regione Mediterranea.

L'elaborazione dei dati Si.Di.Mar. ha portato a una preliminare e significativa verifica dell'applicabilità del criterio di classificazione trofica delle acque costiere richiesto dal D. Lgs. 152/99.

La tabella qui a fianco riporta i valori medi di TRIX, calcolati per le diverse aree costiere italiane, a partire dal data set relativo a ciascuna regione.

Le acque costiere della Regione Emilia Romagna e della Regione Lazio risultano quelle con un punteggio medio di TRIX più alto (compreso tra 5 e 6 unità di TRIX): queste acque devono essere classificate nello *stato mediocre*, tipico di sistemi marini costieri caratterizzati da acque molto produttive, con situazioni che possono essere definite "a rischio eutrofico". È significativo il fatto che queste zone costiere sono influenzate dagli apporti di due tra i maggiori fiumi italiani: il Po e il Tevere, che condizionano in maniera pesante ampi tratti di costa con i loro carichi eutrofizzanti.

Per la Regione Veneto, con un valore medio regionale di TRIX al limite tra lo *stato buono* e lo *stato mediocre*, possono valere le stesse considerazioni: condizioni di rischio eutrofico sono infatti rilevabili nel tratto costiero interessato dagli apporti del fiume Adige e del Po di Levante, con valori puntuali di TRIX di norma superiori alle 5 unità.

Nello *stato buono* (valori compresi tra 4 e 5 unità di TRIX) figurano tutte le altre regioni dell'Alto e Medio Adriatico, del Mar Ligure e dell'Alto Tirreno. D'altra parte, come è stato già discusso, regioni come la Liguria e la Toscana presentano situazioni molto eterogenee, con valori di Indice Trofico mediamente elevati soltanto in zone limitate (aree fortemente urbanizzate, foce del Magra, foce dell'Arno, foce del Serchio ecc.), ma che contribuiscono a determinare un sensibile incremento dell'Indice medio alla scala regionale.

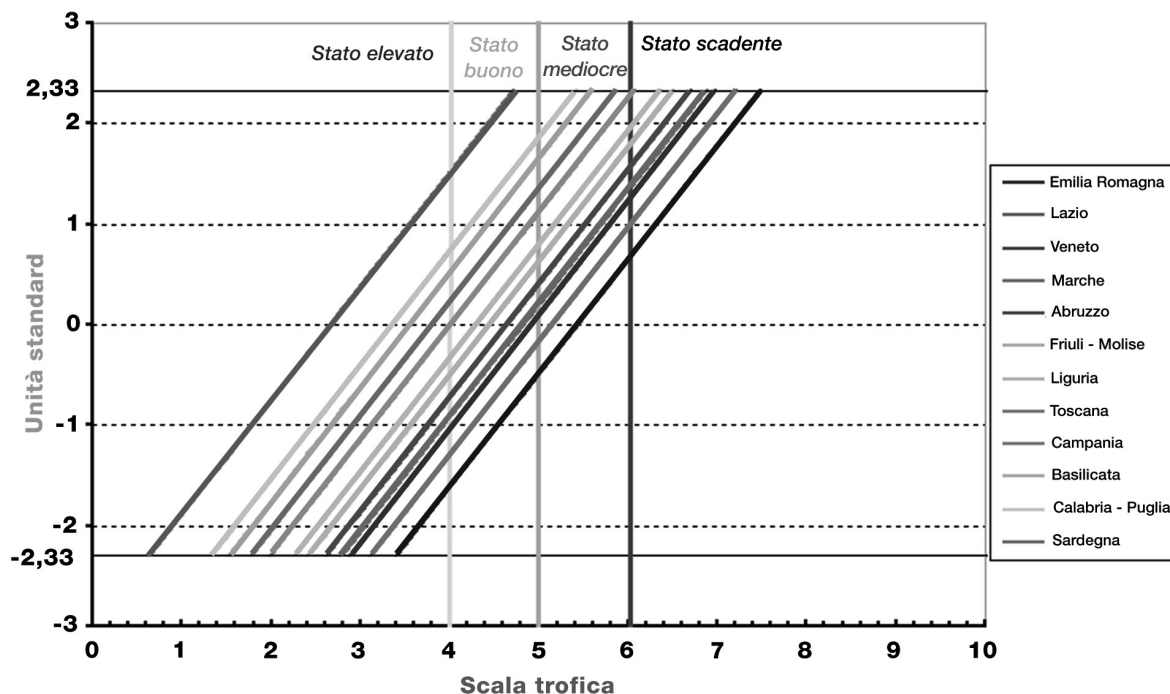
	NUMERO DEI DATI	MEDIE DI TRIX	DEVIAZIONE STANDARD
EMILIA ROMAGNA	621	5,44	0,94
LAZIO ⁽¹⁾	-	5,16	1,09
VENETO	816	4,93	0,83
MARCHE	657	4,84	0,95
ABRUZZO	429	4,66	0,92
FRIULI-VENEZIA GIULIA	210	4,46	0,77
MOLISE	265	4,45	0,85
LIGURIA	133	4,31	0,71
TOSCANA	2096	4,03	0,91
CAMPANIA	461	3,82	0,99
BASILICATA	869	3,56	0,80
CALABRIA	318	3,37	1,03
PUGLIA	506	3,36	0,84
SARDEGNA	2728	2,68	0,78
			D.S. media = 0,89 ± 0,03

Tab. 1: Valori medi di TRIX per ciascuna regione costiera

(1) Per questa Regione, l'attività di validazione dei dati dei nutrienti è tuttora in corso. Il calcolo dell'Indice Trofico è stato perciò condotto su un numero molto limitato di records, relativi soprattutto a dati analitici riguardanti le zone costiere interessate dal fiume Tevere. Il valore di TRIX così ottenuto è però congruo con i valori mediamente elevati di clorofilla riscontrati lungo tutto il litorale laziale, valori che possono essere ritenuti caratteristici di acque costiere eutrofiche.

Infine nello *stato elevato* (valori dell'Indice inferiori a 4 unità di TRIX – acque scarsamente produttive) ricadono le restanti regioni dell'Italia meridionale e insulare. Anche in questo caso è necessario sottolineare che il punteggio assegnato è relativo a una media di TRIX calcolata tra tutte le stazioni di misura prese in considerazione e che situazioni “a rischio” possono sempre presentarsi, sia pur in aree molto circoscritte.

Nel diagramma riportato qui sotto viene sintetizzata tutta l'informazione relativa all'andamento dell'Indice Trofico lungo le coste italiane⁽²⁾.



I livelli trofici tendono a decrescere da destra verso sinistra, da situazioni a elevata produttività tipiche delle zone estuarine o delle aree di mare direttamente e costantemente interessate da apporti di acque dolci fluviali (valori di TRIX > 6), fino a quelle caratterizzate da bassa produttività che solitamente si riscontrano in mare aperto (valori di TRIX < 3). I valori puntuali dell'Indice possono presentare valori massimi maggiori di 7 e minimi inferiori a 1, anche se con probabilità molto basse (solo nell'1% dei casi osservati).

Ogni distribuzione campionaria di TRIX copre un intervallo di circa 3,5 unità; la situazione trofica espressa dalle acque costiere della Sardegna, che si caratterizza come la regione con acque a più bassa produttività (valore medio < 3 unità di TRIX), difficilmente potrà essere soggetta a rischio eutrofico, in quanto i valori estremi della distribuzione dell'Indice non superano mai le 5 unità di TRIX.

Viceversa regioni come l'Emilia Romagna, il Lazio, il Veneto e, a scalare con probabilità sempre più basse, le Marche e l'Abruzzo presentano valori massimi che superano le 6 unità, con possibilità concrete che si verifichino manifestazioni dell'eutrofizzazione accompagnate da ipossia-anossia dei fondali.

4.1.2 CONSIDERAZIONI SULL'ELEMENTO LIMITANTE: IL RAPPORTO AZOTO/FOSFORO

Sebbene il problema dell'eutrofizzazione sia molto complesso, i principi di base e i fattori che provocano l'eutrofizzazione sono stati compresi abbastanza a fondo ed è possibile definire alcuni punti fermi che costituiscono il riferimento per le strategie di controllo dell'eutrofizzazione.

- L'incremento della produzione primaria, rilevabile attraverso l'aumento della concentrazione della clorofilla “a” nelle acque costiere, è causato dall'aumento della concentrazione dei nutrienti disciolti, disponibili per la crescita algale.

(2) Il valore dell'Indice deve essere letto sull'asse X, mentre sull'asse Y è indicata la Deviazione standard. Le rette parallele rappresentano le rette-tendenza delle distribuzioni campionarie di TRIX per ciascuna regione costiera. Il valore medio dell'Indice è definito dall'intersezione delle rette-tendenza con la retta orizzontale passante per lo zero sull'asse delle Deviazioni standard. I valori puntuali di TRIX considerati sono quelli compresi nell'intervallo $TRIX\ MEDIO \pm 2,33\ D.S.$, che corrisponde al 98% dell'area sotto la curva normale.

- I comportamenti del fosforo e dell'azoto sono fondamentalmente differenti. Il fosforo presente nelle acque sotto forma di fosfato, alla fine del suo ciclo, può essere immobilizzato nei sedimenti attraverso la formazione di complessi insolubili, in particolare con il calcio e/o con il ferro ossidato. Nel caso di assenza o comunque di carenza di ossigeno (anossia o ipossia) a livello dell'interfaccia acqua-sedimenti, il fosforo può essere rilasciato e tornare in soluzione: può quindi nuovamente diventare disponibile per i produttori primari (fitoplancton).
- Il ciclo dell'azoto è invece più complesso. L'azoto può entrare e uscire dal sistema sotto forma di azoto ammoniacale gassoso. Inoltre questo nutriente può andare incontro a rimozione dalla colonna d'acqua grazie al processo di nitrificazione/denitrificazione, attraverso il quale i nitrati vengono ridotti dai batteri denitrificanti ad azoto gassoso, che ritorna in atmosfera, riducendo l'ammontare dell'azoto disponibile per la produzione primaria.

Per contrastare l'eutrofizzazione è quindi necessario limitare gli apporti a mare di questi nutrienti dai bacini drenanti e ridurre complessivamente il carico, sia di azoto che di fosforo, che raggiunge i corpi idrici costieri. Occorre ribadire che l'azione prioritaria da intraprendere consiste sempre nel controllare i carichi di nutrienti generati e liberati dai bacini, in modo da consentire un abbassamento sostanziale dei valori di concentrazione sia di azoto che di fosforo nella colonna d'acqua: non ha molto senso parlare di fattori limitanti la crescita algale, se entrambi i nutrienti sono presenti in eccesso nelle acque costiere.

L'analisi dei dati contenuti nella banca dati Si.Di.Mar. ha confermato per l'Adriatico la tendenza alla fosforo-limitazione, tendenza che appare consolidarsi rispetto alla situazione in atto negli anni Ottanta, primi anni Novanta, in termini di aumento dei casi di fosforo-limitazione sul totale delle osservazioni.

Il prevalere di casi di fosforo-limitazione è riscontrabile anche in altri tratti costieri del mar Ligure e del Tirreno, tuttavia situazioni di questo tipo sono sempre localizzabili in ambiti circoscritti, per lo più in corrispondenza di aree urbanizzate e di foci di fiumi, che riversano a mare elevati carichi di azoto. L'analisi puntuale dei dati per quasi tutte le regioni tirreniche dimostra che nella gran parte dei casi osservati prevale l'azoto-limitazione.

In base a questi risultati è possibile formulare una considerazione a carattere generale sull'elemento limitante:

- la fosforo-limitazione è il fattore che caratterizza acque costiere con livelli trofici mediamente elevati (principalmente le acque costiere dell'Adriatico settentrionale);
- l'azoto-limitazione è invece la norma in quei sistemi costieri dove il rischio eutrofico appare molto limitato o del tutto assente (per esempio mar Ligure, Tirreno settentrionale, acque costiere della Sardegna ecc.).

Alla luce anche di una corretta interpretazione della Direttiva Comunitaria 271/91, concernente il trattamento delle acque reflue urbane e recepita con il D. Lgs. 152/99, il fosforo rimane perciò l'elemento su cui maggiormente devono essere rivolti gli sforzi per contrastare l'eutrofizzazione costiera (laddove essa è presente o il rischio eutrofico non è trascurabile) e su cui le politiche di controllo dell'eutrofizzazione possono aver maggior efficacia.

4.2. LIVELLI DI CONTAMINAZIONE MICROBIOLOGICA DELLE ACQUE MARINE COSTIERE

Per questo tipo di inquinamento, l'elaborazione dei dati Si.Di.Mar. consente di interpretare la reale dimensione del problema alla scala nazionale, evidenziando l'entità della contaminazione diffusa nella fascia costiera in relazione alla presenza di scarichi urbani non trattati, o non adeguatamente depurati.

Le tabelle dei risultati, che riportano per ciascun punto di campionamento la classe di abbondanza delle concentrazioni batteriche e la salinità rilevata, oltre che a identificare particolari situazioni di crisi locale, costituiscono l'occasione per una valutazione dell'effettivo fabbisogno residuo di collettamento e di depurazione delle acque reflue nelle aree costiere del nostro Paese.

L'esame dei risultati ci permette di verificare la consistenza degli impatti degli scarichi non trattati o non sufficientemente depurati. Un caso esemplificativo è rappresentato dalla costa campana, in cui possono essere messe in evidenza almeno due zone particolarmente soggette a contaminazione da scarichi di acque reflue urbane: l'area Vesuviana e la riviera Domiziana, da Cuma fino a Castelvolturno.

Nel primo caso il fiume Sarno costituisce la principale fonte di contaminazione, determinando uno stato di forte degrado che interessa tutta la fascia costiera, da Castellammare di Stabia a Vico Equense. È però altrettanto evidente la presenza di altri apporti di origine fognaria nella zona di Portici-Ercolano fino alla periferia orientale di Napoli. Le concentrazioni di Coliformi e Streptococchi fecali raggiungono livelli elevatissimi, anche dell'ordine 10^3 - 10^4 /100 mL, con la saltuaria presenza di batteri patogeni, quali *Salmonella*.

Lungo l'altro tratto costiero campano, la zona che presenta un impatto antropico decisamente importante e che versa in uno stato di pesante degrado è quella di Licola, dove trovano recapito a mare sia lo sbocco del collettore di Cuma (che scarica gli effluenti provenienti dall'impianto di depurazione di Cuma-Napoli Ovest) sia la foce di Licola (che scarica a mare i liquami provenienti da una vasta zona urbana cresciuta disordinatamente nell'*hinterland* nord-occidentale napoletano).

L'altro importante focolaio di inquinamento batterico è rappresentato dalla foce del fiume Volturno e da quella del Garigliano ancora più a nord. In questo caso però l'apporto non è uniforme, ma assume carattere stagionale, essendo legato al regime idrologico dei fiumi e al variare delle loro portate. Anche per le stazioni situate lungo il litorale domiziano sono registrate elevatissime concentrazioni (dell'ordine di 10^3 /100 mL) di batteri di origine fecale, anche nei campioni raccolti a 3000 m dalla costa.

L'esempio abbastanza emblematico relativo alla fascia costiera della regione Campania ci permette di riassumere i termini del problema e di riflettere sia sulle sorgenti sia sulle cause dell'inquinamento microbiologico della fascia costiera; situazioni come quelle del litorale campano sono infatti rilevabili anche in altre regioni costiere, anche se a una scala diversa. L'analisi dei dati Si.Di.Mar. porta a ricostruire le seguenti situazioni-tipo:

- foce di un fiume; l'apporto di carica microbica fecale, o comunque di origine terrigena, può raggiungere livelli imponenti e può interessare vaste zone di costa, a seconda del quadro correntometrico locale. L'entità dei livelli di contaminazione è per lo più legata ai regimi idrologici stagionali.
- presenza di condotte di scarico a mare di liquami urbani parzialmente trattati. È il caso di molti nuclei urbani medio-piccoli, che determinano un impatto significativo sulla fascia costiera, specialmente nel periodo estivo, con l'aumento delle presenze turistiche. Si pensi per esempio alle condotte sottomarine in funzione nell'isola d'Elba;
- canali di scarico provenienti da impianti di depurazione, i cui effluenti, sottoposti a trattamento secondario mediante fanghi attivi, conservano tuttavia una carica fecale residua ancora considerevole. Spesso questi effluenti sono recapitati all'interno di sistemi quali i porti-canale, tipici dell'Alto Adriatico, che diventano essi stessi importante fonte di inquinamento microbico;
- corsi d'acqua, naturali o artificiali, con un piccolo bacino imbrifero, che drenano zone densamente urbanizzate. In condizioni di tempo secco, non avendo portata propria, finiscono con l'assumere carattere di collettori di acque di scarico, sia pur trattate secondo le vigenti normative. Si pensi ad alcuni corsi d'acqua liguri (Bisagno) o a fiumi con bacini di dimensioni maggiori, come il Sarno appunto, ma anche il Pescara o il Tronto: i litorali abruzzesi direttamente investiti dai loro apporti hanno fornito all'analisi percentuali di presenza di contaminazione pari al 100%, con valori massimi di colimetria dell'ordine di 10^3 /100 mL.

L'elenco potrebbe continuare, ma soltanto gli operatori e gli amministratori locali possono disporre della conoscenza dettagliata del territorio necessaria per spiegare tutte le situazioni di crisi che i dati hanno messo in evidenza. Sotto questo aspetto i dati Si.Di.Mar. devono essere considerati come indicatori primari di pressione antropica per tutti i tratti costieri indagati: il monitoraggio della qualità microbiologica dovrà essere accompagnato da analoga attività di censimento degli scarichi e dalla raccolta di tutte le informazioni necessarie a completare il quadro conoscitivo.

Questa è la sola condizione che, in linea con l'attuazione del D. Lgs. 152/99, permetterà di definire obiettivi di qualità con le relative strategie d'intervento e programmare azioni mirate di tutela e risanamento delle nostre coste.

4.3. STATO DI CONTAMINAZIONE DEL BIOTA

4.3.1 CONTAMINAZIONE MICROBICA NEI MITILI

Così come atteso, i dati Si.Di.Mar. relativi alle analisi microbiologiche eseguite nella polpa e nel liquido intervalvare degli esemplari di *Mytilus galloprovincialis* confermano e rafforzano i risultati delle analisi nelle acque, poiché, come già accennato precedentemente al punto 2.2.3, i molluschi,

proprio per le loro caratteristiche biologiche, registrano anche eventuali inquinamenti pregressi, che invece sfuggono alle analisi effettuate su campioni di acqua.

Infatti l'accumulo di indicatori batterici quali Coliformi e Streptococchi e l'eventuale presenza di patogeni quale *Salmonella* sono senz'altro una spia di contaminazione delle acque marine costiere, anche quando questa non viene evidenziata dalle determinazioni eseguite sui campioni d'acqua, perché troppo diluiti o perché la causa che determina la contaminazione non è continua nel tempo.

4.3.2 PESTICIDI CLORURATI E POLICLOROBIFENILI

Nonostante le limitazioni dovute alla mancanza di esercizi di intercalibrazione e alla mancanza di standardizzazione rispetto a variabili quali il numero di *pools*/anno o stagione, il numero di individui per *pool* o il numero di repliche per *pool*, i dati prodotti nell'ambito delle Convenzioni tra Regioni e Ministero dell'ambiente (cfr. L. 979/82) rappresentano comunque uno strumento utile a definire i livelli di presenza dei contaminanti nel tratto costiero esaminato, ponendo le basi per una valutazione dei *trend* di inquinamento degli ambienti costieri nazionali.

I derivati del DDT sono stati rilevati in molte località costiere, sia dell'Adriatico che del Tirreno.

I valori medi delle concentrazioni di queste sostanze nel complesso variano da 1 a 3-4 µg/kg P.S. e denotano un livello di accumulo nel biota molto contenuto, che non consente di identificare sorgenti precise di immissione, ma piuttosto uno stato di diffusa contaminazione dell'ambiente marino costiero operato soprattutto da fiumi che drenano vaste aree di territorio.

Questo giudizio viene poi confermato dal confronto con i dati della letteratura relativi agli intervalli di riferimento per il DDT e derivati, riportato per ambienti costieri inquinati.

In tutti i campioni esaminati, l'esaclorocicloesano (HCH) ha sempre fornito valori prossimi o inferiori ai limiti di rilevanza analitica.

Per i Policlorobifenili (PCB's) valgono le stesse considerazioni già espresse per i derivati del DDT: molti dei campioni esaminati hanno fornito all'analisi concentrazioni sicuramente superiori ai limiti di rilevanza analitica, ma comunque i livelli medi di accumulo raggiunti, in genere compresi tra 15 e 30 µg/kg P.S. risultano molto contenuti, se confrontati con i valori di riferimento riportati in letteratura.

La ricerca di Idrocarburi Clorurati (senza distinzione tra le diverse specie chimiche che rientrano in questa classe di sostanze) ha quasi sempre fornito risultati negativi. Nei mitili raccolti nelle aree costiere dell'Adriatico Centrale e dell'Alto Tirreno l'esito delle analisi è stato molto spesso positivo, tuttavia con valori medi di I.C. molto contenuti, tra 100 e 200 µg/kg P.S. lungo la costa marchigiana e tra 200 e 400 µg/kg P.S. nelle stazioni di controllo situate lungo la costa toscana.

L'unica eccezione è rappresentata dalla stazione di Scarlino dove il valore delle medie delle determinazioni effettuate è intorno a 600 µg di I.C./kg di peso secco, con un valore massimo di oscillazione della media fino a 1100 µg/kg P.S. Il dato in sé dimostra la presenza di sorgenti locali di contaminazione da sostanze organoclorurate; d'altra parte i valori riscontrati sono già stati segnalati da diversi autori e riportati in letteratura come riferimento per l'Alto Tirreno.

4.3.3 METALLI PESANTI

Dal confronto dei dati Si.Di.Mar. relativi al livello di contaminazione dei mitili da metalli pesanti con i valori di riferimento già riportati in letteratura, scaturiscono le seguenti osservazioni generali.

Mercurio

I livelli di mercurio sono generalmente medio-bassi (inferiori a 0,5 mg/kg P.S.), con l'eccezione di vaste aree probabilmente impattate sia dalla presenza di anomalie geologiche sia dalla presenza di specifiche attività industriali.

Le aree costiere che mostrano livelli di concentrazione intorno a uno o più mg di Hg per kg di sostanza secca sono quelle della Toscana centrale e meridionale, del Friuli e della Liguria, con valori mediamente sempre elevati. Si evidenziano poi situazioni di contaminazione che potremmo definire puntuali anche in regioni quali la Sardegna (prelievi effettuati a Sant'Antioco), la Campania (Pozzuoli) e in alcune stazioni della fascia costiera della Calabria (Nova Siri, Squillace).

I livelli comunque non raggiungono mai il valore soglia per la commercializzazione del prodotto (0,5 mg/kg P.U., circa 3 mg/kg P.S.), nonostante i mitili analizzati provengano in gran parte da banchi naturali, situati in aree sicuramente interessate da scarichi di varia natura.

Cadmio

Nella maggior parte delle stazioni le concentrazioni rilevate sono da considerarsi basse o medie (minori di 1 mg/kg P.S.). Valori di poco superiori si ritrovano in diversi siti adriatici a sud del Po e in

Basilicata. Da segnalare alcuni valori nettamente superiori a 1 mg/kg P.S., ritrovati in alcuni siti della Calabria e a Sant'Antioco (Sardegna, con una media compresa tra 2000 e 5000 µg e un massimo di oltre 7000 µg Cd/kg P.S.), che necessiterebbero di ulteriori verifiche.

Altri metalli

Alcune Regioni hanno eseguito la ricerca anche di altri elementi (es: Pb, Cr, Zn, Cu, Ni, As, V e Mn), utili per la valutazione di fonti specifiche di contaminazione locali. Questi elementi sono stati ricercati solo in alcune aree costiere, per cui ci limiteremo a qualche osservazione sui valori più elevati, avendo sempre come riferimento la tabella che riporta i dati della letteratura per i necessari confronti.

- *Cromo*: si segnalano livelli piuttosto elevati nella stazione di Alvata (Marche).
- *Piombo*: concentrazioni superiori a 5 mg/kg peso secco, segno probabile di una qualche fonte diretta di contaminazione, sono state ritrovate nelle stazioni di Fulvia (Marche) e Scarlino (Toscana).
- *Rame e Zinco*: se pure probabilmente soggetti a una qualche regolazione, questi metalli mostrano una concentrazione da evidenziare in buona parte delle stazioni delle Marche (valori molto alti sono stati rinvenuti ad Alvata e Fulvia) e in tutte le stazioni Toscane.
- Anche per il *Nichel* segnaliamo la stazione di Alvata (Marche), Cecina e altre stazioni toscane, con concentrazioni superiori ad alcuni mg/kg peso secco.
- *Arsenico e Vanadio* sono stati ricercati solamente da poche regioni e non in tutte le stazioni; inoltre i dati di letteratura sono decisamente scarsi; per tali ragioni si ritiene opportuno non esprimere al momento alcun parere in merito.

Hanno collaborato:

Per il Ministero dell'ambiente – SDM

Stefano Bataloni
Silvia Blasi
Irene Di Girolamo
Marisa Di Lillo
Emanuela Fanelli
Marina Penna
Renata Salvi
Benedetta Trabucco
Paolo Zotti

Per l'ICRAM

Gualtiero Bittini
Anna Maria Cicero
Franco Giovanardi
Maria Grazia Finoia
David Pellegrini

Finito di stampare nel novembre 2000
presso lo Stabilimento Poligrafico Fiorentino – Calenzano (FI)