

4. Inquinamento delle matrici ambientali (aria, acqua e suolo)

Riassunto

L'inquinamento delle matrici ambientali è stato affrontato fino ad oggi distinguendo una forma localizzata (che si verifica quando è possibile individuare una precisa fonte puntuale) ed una forma diffusa (che si riscontra quando l'individuazione di una sola fonte non è possibile); nel caso più generale, si ha il concorso di più fonti diverse.

Oggi questa distinzione non appare più sufficiente ed in aggiunta alle due forme di inquinamento localizzato e diffuso, che possiamo definire anche semplici, dobbiamo considerare un inquinamento di tipo strutturale, che deriva dall'alterazione di un equilibrio naturale più complesso; in particolare, un intero ciclo di un elemento nutritivo può essere sconvolto.

I cicli degli elementi nutritivi possono essere perturbati o addirittura spezzati quando un loro passaggio viene impedito. L'impedimento può derivare da un'immissione eccessiva o dall'asportazione pressoché completa di un termine del ciclo, o anche da processi più complessi, spesso comprendenti sia l'introduzione che la sottrazione di termini. Alle perturbazioni dei cicli può concorrere anche l'applicazione di leggi emanate allo scopo di combattere fenomeni di inquinamento semplice, localizzato o diffuso. Storicamente, nelle nostre leggi si è affrontato per primo il problema dell'inquinamento delle acque e dell'atmosfera ed in seguito quello del suolo, che presenta maggiore complessità, con effetti talora molto negativi. Infatti non sempre le varie forme di inquinamento sono collegate nei diversi comparti ambientali, ed è indispensabile che nuove iniziative legislative siano intese a salvaguardare gli equilibri esistenti in natura.

Un esame completo, ancorché non esaustivo, dell'inquinamento delle matrici ambientali avrebbe richiesto spazi e tempi improponibili per il gruppo di lavoro. Si è deciso pertanto di accennare, esclusivamente a titolo esemplificativo, ad un caso di ciclo spezzato in natura, quello del fosforo, e di presentare sempre sinteticamente tre diversi casi di studio. Il primo di questi ultimi riguarda proprio la chiusura dei cicli degli elementi nutritivi e la possibilità di impiegare le funzioni naturali del suolo a questo scopo, dato che nella maggior parte dei casi i cicli sono spezzati a livello del suolo. Il secondo riguarda un metallo pesante, il cromo, e intende mettere in evidenza l'irrazionalità con la quale le leggi hanno affrontato il problema. Il terzo prende in esame il cosiddetto inquinamento atmosferico da anidride carbonica e, nel rilevare anche in questo caso l'irrazionalità di alcuni approcci al problema, suggerisce l'opportunità di ricorrere ad una modalità naturale di intervento.

Va da sé che il Comitato Scientifico (CS) ritiene che l'attuale impianto legislativo risulti inadeguato a fronteggiare il problema e suggerisce l'istituzio-

ne di una Commissione che prenda in esame, su nuove basi, l'approccio normativo finora seguito ai fini della salvaguardia ambientale. Le leggi da considerare sono alcune di quelle derivate dalla storica legge "Merli", la 319/76, ma anche e soprattutto quelle relative ai rifiuti e ai siti contaminati. Compito della Commissione dovrebbe essere quello di fornire gli elementi non solo per una revisione dell'assetto legislativo nazionale, ma anche per svolgere un ruolo propositivo a livello comunitario e più in genere internazionale.

Premessa

Negli anni '60 e '70 gli italiani si erano quasi abituati all'idea che i corsi d'acqua e le acque interne in genere potevano esser morti. Morto il lago d'Orta già da parecchio tempo, i fiumi e i laghi che via via apparivano contaminati al punto da impedire ogni forma di vita, almeno in rappresentanza della macrofauna, ossia dei pesci, non si contavano più. Non c'era salto d'acqua, non si dica una cascata, ma anche il semplice superamento di una pendenza in presenza di rocce o massi anche arrotondati, che non fosse seguito da metri e metri o chilometri di schiuma. Lambro, Idice e poi Panaro, Serchio e poi Arno, laghi di Mantova: tutto in progressione, tutto morto, tutto pieno di pesci avvelenati. Acidi minerali, soda caustica, metalli pesanti, tutto finiva nelle acque senza nessun controllo. Il pH dell'Olonza a Milano poteva passare da 3 a 9 nel giro di mezz'ora. Il bagno nelle acque interne diveniva una sfida contro l'imprevisto e l'imprevedibile: doveva essere sconsigliato o piuttosto proibito. Era solo la punta di un iceberg: atmosfera e suolo non erano in condizioni migliori, anche se per l'uomo della strada solo le acque rappresentavano il simbolo di una contaminazione selvaggia.

Fu il Senatore Gianfranco Merli a rendersi interprete delle esigenze ambientali di quel periodo. La Legge 319/76 che porta popolarmente il suo nome, nella sua faticosa e lenta applicazione, è riuscita a riportare la vita nelle acque e tutti ce ne siamo accorti di persona. La Legge Merli, che pure ha salvato le acque, ha molti gravi difetti, di cui il meno intuitivo è però anche il più grave: quello di applicarsi indistintamente a tutti gli scarichi, cattivi o potenzialmente buoni. Un conto è bloccare o ridurre le emissioni di elementi inquinanti, un conto è rischiare di spezzare i cicli degli elementi nutritivi. Per la prima volta nella storia dell'umanità, per esempio, veniva proibito per legge di restituire il pozzo nero al suolo. La legislazione successiva non ha fatto altro che imporre nuovi vincoli al ritorno degli elementi nutritivi al terreno.

Forme e cause di inquinamento delle matrici ambientali

L'inquinamento delle matrici ambientali viene distinto di solito, per ragioni di comodità, in due tipi diversi a seconda delle sue fonti, localizzato e diffuso. Quando le sorgenti sono localizzate è più agevole, almeno apparentemente, agire ai fini del risanamento ambientale. Se l'inquinamento è del tipo diffuso, gli interventi ai fini del risanamento possono essere molto più difficili, così come molto difficile, o per lo meno non immune da incertezze, è talora la stessa individuazione delle fonti e l'attribuzione della loro responsabilità relativa. Ma non si tratta di una regola generale.

Se si vuole trattare l'inquinamento in modo funzionale, tuttavia, è indispensabile porsi il problema in modo più generalizzato, collegandone radici e conseguenze a tutto l'ambiente e non solo ad una sua parte e prevedendo fin dalla progettazione degli interventi di risanamento quali saranno le conseguenze a livello globale. A questo scopo si può provare a suddividere le forme di inquinamento oggi esistenti in due categorie completamente diverse da quelle classiche (localizzato e diffuso) che abbiamo sopra ricordato, e che pure ne mantengono intatta la validità:

- a) Inquinamento di tipo semplice, contro cui esistono possibilità di intervento definitivo e completo, senza ulteriori conseguenze per l'ambiente.
- b) Inquinamento di tipo strutturale, ossia inquinamento delle matrici ambientali che deriva dall'alterazione di un equilibrio naturale più complesso. Esso si manifesta, nei casi più comuni, con il fatto che i cicli degli elementi nutritivi sono alterati reversibilmente o addirittura spezzati, in misura più o meno irreversibile.

L'inquinamento di tipo semplice può essere localizzato, ma anche diffuso, e non provoca conseguenze o strascichi per l'ambiente. Se un intervento di risanamento su in caso di inquinamento semplice, condotto su acque o su emissioni inquinate, provoca l'emissione di fanghi o scorie di difficile smaltimento, l'inquinamento originario deve essere riconsiderato nel complesso del suo impatto sull'ambiente, e può anche essere trasferito al tipo strutturale. Va da sé che soglie di legge anomale o troppo restrittive possono generare inquinamento surrettizio, perché possono trasformare forme di inquinamento semplice in forme di inquinamento strutturale.

È opportuno esaminare le principali forme di inquinamento strutturale delle matrici ambientali.

1. *L'inquinamento di tipo strutturale*

Come si è detto, un inquinamento di tipo strutturale consiste in un'alterazione degli equilibri naturali e si traduce spesso nell'alterazione più o meno reversibile dei cicli degli elementi nutritivi. Gli impedimenti che spezzano o per lo meno si frappongono al naturale svolgimento dei cicli degli elementi nutritivi sono molteplici e non possono essere qui esaminati neppure in sintesi. Ci si può limitare a citare i principali quattro meccanismi che portano al turbamento o al blocco dei cicli:

- l'immissione di alcuni termini del ciclo in quantità spropositate: un caso di studio di grande attualità è quello relativo al ciclo del carbonio, le cui emissioni, presumibilmente, sono oggi attribuite solo alla combustione dei fossili, trascurando quelle derivanti dalla sostanza organica del suolo;
- l'impedimento del riciclo per asportazione sistematica di uno dei suoi termini: un caso di studio esemplare può essere quello di qualunque elemento minerale essenziale per la vita delle piante, che dopo l'utilizzazione alimentare non viene più restituito;
- la perturbazione del ciclo per cause di notevole complessità, che comprendono in ogni modo ambedue i meccanismi sopra citati: un caso esemplare potrebbe essere l'analisi del ciclo dell'azoto;
- la perturbazione del ciclo dovuta all'immissione di un eccesso di elementi indesiderati, come i metalli pesanti, provenienti da attività antropiche che nulla hanno a che fare con l'agricoltura e le condizioni naturali: proprio i metalli, come si vedrà, costituiscono spesso il migliore pretesto per impedire la restituzione delle biomasse al suolo.

La casistica, come si vede, è assai ampia. Ma è bene premettere subito una considerazione generale sui cicli degli elementi nutritivi. Gli elementi nutritivi, con rare eccezioni, hanno origine nel suolo. I vegetali li assumono dal suolo, ed essi devono farvi ritorno per chiudere il ciclo. La legge della natura, in effetti, è estremamente semplice: ciò che proviene dal suolo deve far ritorno al suolo. Il riciclo degli elementi nutritivi è senz'altro il fondamento degli equilibri ambientali e la rottura di questi equilibri dipende da impedimenti di vario genere che vengono frapposti al riciclo. È interessante sottolineare che nella civiltà moderna il riciclo degli elementi nutritivi può essere assicurato solo mediante le pratiche dell'agricoltura. Oggi il riciclo per via "naturale", nel senso di una via non regolata dall'intervento dell'uomo, ha un'importanza del tutto marginale nel contesto degli equilibri globali.

Ci si può limitare all'esposizione esemplificativa del secondo dei casi sopra citati, scegliendo come elemento nutritivo il fosforo. Ma si tornerà anche sul primo caso, in una breve discussione di come si è trascurato indebitamente il suolo come comparto ambientale che può assicurare l'incorporazione di forti quantità di carbonio dall'atmosfera, almeno in ambiente mediterraneo, e di come si stiano adottando provvedimenti apparentemente del tutto irrazionali. E sul quarto caso, esaminando quello del cromo, che sta ad indicare una legislazione sulle acque a dir poco frettolosa ed una legislazione sugli ammendanti da usare per la fertilizzazione del suolo che esige quanto meno un esame comparato delle posizioni assunte in sede europea ed americana e, prima di tutto, sull'approccio scientifico impiegato negli Stati Uniti per regolamentare la presenza di metalli pesanti nei biosolidi a confronto con quello attualmente in via di discussione in Europa, basato solo su una poco scientifica teoria del minimo come meglio possibile. (I biosolidi sono tutte le biomasse organiche che possono essere somministrate al suolo per assicurare almeno in parte la chiusura dei cicli naturali degli elementi nutritivi.)

2. *Un esempio di ciclo spezzato: il caso del fosforo*

Il periodo di permanenza media del fosforo nel terreno è stato stimato di un ordine di grandezza di 20.000 anni. A mantenere elevato questo periodo contribuisce in notevole misura il meccanismo di riciclaggio del fosforo fra suolo e vegetazione e, in minor misura all'interno del suolo, fra organismi decompositori e predatori e fra organismi della rizosfera e organismi vegetali.

Per illustrare più compiutamente, anche se in estrema sintesi, questo ciclo, occorrerebbe illustrare i processi che interessano il fosforo nelle acque dei mari e degli oceani, oltre che di vari episodi accessori, anche se tutt'altro che trascurabili nel bilancio generale, come per esempio quello del ritorno del fosforo dal ciclo delle acque a quello del suolo a causa del consumo di prodotti ittici da parte dell'uomo. Ma sembra opportuno limitarsi ad illustrare gli aspetti del ciclo che risultano di interesse maggiore e le conseguenze scatenanti nel comune contesto sociale odierno.

Si può facilmente constatare che oggi il fosforo asportato dal suolo con i raccolti destinati al consumo umano non viene più destinato al ritorno nel comparto ambientale naturale di provenienza. Le acque di fognatura non possono più, *per legge*, essere restituite al suolo, e i depuratori non abbattano praticamente se non di qualche punto percentuale il fosforo presente nelle acque trattate, ossia negli effluenti. L'uomo asporta così definitivamente dal ciclo del fosforo tutto quanto utilizza per la sua alimentazione, nonché, eventualmente, per quella del bestiame. Il danno per l'agricoltura è molto grande, ma facilmente rimediabile anche se in

modo ambientalmente irrazionale: è sufficiente infatti incrementare opportunamente le quantità dei concimi utilizzati per restituire al terreno la sua fertilità originaria.

Il danno per l'ambiente è però rilevantissimo, se si osserva che, come si è detto sopra, i depuratori non abbattano la concentrazione dei fosfati nelle acque trattate. I fosfati sono così destinati a raggiungere mari ed oceani a meno che non esistano specifici trattamenti terziari, come quelli in atto soprattutto in alcune zone costiere (viene spontaneo citare il depuratore di Rimini) nel corso della stagione estiva. Un trattamento terziario porta a risultati comunque insoddisfacenti e, soprattutto, non comporta alcuna chiusura del ciclo, dato che conduce alla formazione di una ingente massa di fanghi di difficile smaltimento.

Per la sola alimentazione umana in Italia, considerando una produzione catabolica annuale di 0,6 kg di fosforo (P) per abitante, si ottiene un'asportazione dal suolo, e senza ritorno, per legge dello Stato, di quasi 80.000 tonnellate di P_2O_5 all'anno, equivalenti a oltre 4 milioni di quintali del più comune fertilizzante fosfatico, il perfosfato-19%. Il tutto, ripetiamo, per la sola alimentazione umana. E si pensi quanto sarebbe dannoso per l'ambiente avviare alla depurazione, eliminandole dal riciclo in agricoltura, le deiezioni delle principali specie animali, che contengono 400.000-500.000 tonnellate di P_2O_5 . La conseguenza pratica è una sola, dal punto di vista economico e sociale: un flusso gigantesco di elementi nutritivi dai giacimenti ai mari.

Il destino di molti altri elementi che finiscono nei depuratori è identico: la sottrazione al ciclo naturale, la destinazione in un comparto ambientale improprio, la necessità di un ripristino più costoso e innaturale.

3. *Proposta operativa del Comitato Scientifico*

Risulta praticamente impossibile prendere in esame in modo organico l'inquinamento delle matrici ambientali. Il CS ha deciso di ricorrere all'esposizione di un numero limitato di casi di studio, già elencati alla conclusione del punto 1.

Il primo riguarda le possibilità di utilizzare le funzioni naturali del suolo ai fini della chiusura dei cicli degli elementi nutritivi. Si è già detto che i cicli degli elementi nutritivi iniziano e terminano nel suolo. Oggi i cicli naturali degli elementi nutritivi sono spezzati perché molti rifiuti delle attività umane, dal pozzo nero ai residui agroalimentari, non tornano più al suolo e sono destinati a collocazioni improprie; con questa sorte, essi sono causa di molti gravi dissesti ambientali.

Ufficialmente, la legislazione europea, così come quella nazionale, privilegia il riciclo ed il recupero di materia dai rifiuti, ma i vincoli imposti a quei rifiuti che potrebbero essere destinati ad un'azione fertilizzante sono tanti e tali che, di fatto e al di là delle dichiarazioni di principio, molti di essi non hanno altra possibile

destinazione che la discarica. Uno dei maggiori vincoli è rappresentato dalle soglie massime ammissibili di metalli pesanti.

Fra gli esempi che si possono trovare in questo documento di sintesi, si può citare a titolo esemplificativo il contenuto di cadmio ammesso negli ammendanti: mentre negli Stati Uniti l'U.S. EPA lo ha fissato a 85 mg/kg, in Italia è attualmente di 1.5 mg/kg e, come se non bastasse, per il compost di classe A la Commissione Europea sta proponendo di abbassare ulteriormente il limite a 0.7 mg/kg. Purtroppo, se si eccettuano quelli fissati dall'U.S. EPA, i limiti non sono basati su alcuna motivazione scientifica, ma sono conseguenti ad una interpretazione erronea del **principio di precauzione**, che viene inteso come la diminuzione di ogni valore ai livelli minimi immaginabili, indipendentemente da ogni valutazione di rischio.

Gli esempi di inadeguatezza legislativa divengono ancora più clamorosi confrontando le normative che riguardano prodotti diversi. Primo esempio: è possibile preparare un mangime, perfettamente in regola per l'alimentazione animale, che diviene illegale per uso fertilizzante quando esce dalla parte opposta del tubo digerente. Secondo esempio: un ortaggio perfettamente legale per l'alimentazione umana diviene illegale se viene fermentato e trasformato in compost. Ce n'è abbastanza, si ritiene, per prendere in esame la validità scientifica di questi limiti di legge e porne una revisione critica.

Il secondo caso di studio riguarda il cromo. Come si vedrà, la legislazione che riguarda le acque pone limiti del tutto contraddittori, che non distinguono la pericolosità delle varie forme di cromo, che ne lascia in certi casi addirittura facoltativa la determinazione, che non comporta l'uso di metodi sufficientemente sensibili e così via. Nel caso della legislazione sui fertilizzanti, le leggi nazionali, europee e internazionali vanno dalla imposizione dei vincoli più restrittivi alla completa liberalizzazione.

Il terzo caso di studio è una semplice esposizione di sintesi di alcuni aspetti del problema riguardante le ipotesi di riduzione dell'anidride carbonica presente nell'atmosfera per il suo effetto serra, a seguito degli accordi sull'applicazione del protocollo di Kyoto recentemente intervenuti a Marrakech. Si prospetta da una parte l'irrazionalità del non avere tenuto conto delle funzioni del comparto ambientale suolo che, in ambiente mediterraneo, potrebbe da solo assolvere le funzioni di incorporazione dell'anidride carbonica presente nell'atmosfera e consentire di rispettare gli impegni nazionali, dall'altra un esempio di irrazionalità scientifica nell'attuale applicazione di un presunto rimedio (gli incentivi per la produzione del biodiesel).

Le leggi da rivedere, da ridiscutere e da studiare *ex-novo*, come si capisce da quanto si è sopra detto, sono numerose. Occorrerebbe istituire un gruppo di lavoro che prenda in esame tutto il complesso delle leggi che riguardano i limiti e le soglie previste a proposito della contaminazione delle varie matrici ambientali.

Un esempio emblematico di recentissima normativa ambientale irrazionale è quello del D.M. 471/99, che regola criteri, procedure e modalità per la messa in sicurezza, la bonifica ed il ripristino ambientale dei siti inquinati. In questa normativa non si è tenuto conto né dei processi logici elaborati a livello di U.S. EPA, né dei procedimenti adottati e ormai consolidati negli stessi paesi europei, a dispetto dell'esperienza maturata nella stessa ANPA. Basti pensare che i valori di concentrazione assunti come soglie di contaminazione da parte delle sostanze prescelte (addirittura un centinaio) non hanno alcun fondamento scientifico, prescindono da ogni analisi di rischio, ma sono ritenuti non solo validi per discriminare i suoli contaminati e quelli non contaminati, ma anche come obiettivi della bonifica. Questi valori prescindono da ogni modello anche generico di esposizione (comparti ambientali e organismi bersaglio), prescindono addirittura da metodologie analitiche di riferimento e sono per di più molto restrittivi. Per ironia della sorte (?), paradossalmente, la normativa non protegge neppure l'ambiente: quando questi discutibili *criteri* di bonifica non sono raggiungibili con le migliori tecnologie disponibili a costi sopportabili, l'industria inquinante può ricorrere ad un'analisi di rischio sito-specifica e aggirare le regole stabilite dalla normativa, per quanto assurde esse siano.

C'è quanto basta per auspicare la revisione del provvedimento legislativo? Il Decreto fortunatamente non si applica alla maggior parte dei suoli esistenti, ossia quelli agricoli, ed anche in questa prospettiva di evoluzione è stato esaminato criticamente da alcuni componenti del CS in occasione della 5ª Conferenza nazionale delle Agenzie ambientali. Un altro esempio emblematico di provvedimento legislativo, per buona sorte non ancora pubblicato, riguarda i criteri per ammettere all'uso irriguo le acque di depurazione: i vincoli sono tanti e tali, come se non esistesse il potere di autodepurazione del suolo, da rendere improbabile, se non impossibile, il recupero degli effluenti a questo scopo. C'è in ogni caso da incoraggiare i rappresentanti nazionali a Bruxelles a sostenere l'adozione di normative compatibili con l'ambiente mediterraneo.

CASO DI STUDIO 1: Chiusura dei cicli degli elementi nutritivi

1. *L'agricoltura sostenibile e l'importanza dell'impiego di biomasse fertilizzanti per la chiusura dei cicli: sue difficoltà*

Contrariamente a quanto molti si immaginano, l'utilizzazione degli ammendanti organici nell'agricoltura moderna incontra diverse difficoltà. Infatti, per l'agricoltore, l'uso di un concime minerale è molto più comodo per una serie di ragioni: costanza di composizione, facilità di immagazzinamento e di somministrazione,

e così via. Per di più, l'uso degli ammendanti di per sé non risolve i problemi della nutrizione delle colture erbacee, in quanto non è sufficiente a soddisfare le esigenze delle varietà moderne: l'uso degli ammendanti deve essere praticamente sempre accompagnato da quello dei concimi minerali.

In un certo senso, quindi, l'agricoltura moderna deve riconvertirsi all'impiego dei residui organici. Naturalmente l'agricoltura **deve** usare ammendanti organici: il loro uso in agricoltura è prima di tutto un'esigenza della società umana. La richiesta primaria è certamente quella della società umana piuttosto che quella della pratica agricola. Le società moderne si trovano di fronte al problema che i cicli degli elementi nutritivi sono spezzati; una rottura che avviene trascurando i problemi del recupero dei rifiuti organici. Per ottenere l'equilibrio dei cicli degli elementi nutritivi bisogna adottare la ricetta molto semplice già prima enunciata: ciò che proviene dal suolo deve essere restituito al suolo.

L'agricoltura, come ogni altra attività umana, per essere definita sostenibile deve possedere simultaneamente tre diversi requisiti:

- deve garantire la conservazione degli equilibri ambientali in modo da consentire una produttività per un periodo di tempo indefinito, ossia non deve condurre a consumo di materiali ed energie non rinnovabili; e questo requisito (la **sostenibilità delle risorse**) è quello universalmente più noto, spesso confuso con lo stesso concetto di sostenibilità;
- deve garantire sicurezza agli operatori e condizioni igienico-sanitarie di assoluta tranquillità per i consumatori (**sostenibilità della salute umana**): un principio talora dimenticato, o per lo meno non associato con il concetto di sostenibilità;
- deve garantire produzioni economicamente convenienti, ossia un reddito agli agricoltori (**sostenibilità economica**): quest'ultimo requisito è quello più frequentemente dimenticato, o talora aggirato mediante sostegni economici agli agricoltori o, peggio, frodi nei confronti dei consumatori.

Se si applicano questi principi all'uso degli ammendanti organici in agricoltura si comprende che questa pratica è completamente sostenibile e forse anche qualcosa di più. Infatti:

- per quel che concerne la sostenibilità delle risorse, l'uso degli ammendanti organici evita sia l'impiego di risorse non rinnovabili sia il dispendio energetico (per il trattamento dei rifiuti, per la produzione di fertilizzanti, e così via);

- per quanto concerne la sostenibilità della salute umana, l'uso degli ammendanti organici può evitare ai residui una destinazione impropria, con benefici indiretti per le comunità umane;
- relativamente alla sostenibilità economica, il basso costo degli ammendanti organici rappresenta un beneficio per gli agricoltori, ma ancor più per l'intera comunità civile, che non deve sostenere soluzioni alternative assai dispendiose per eliminare materiali che diventano rifiuti.

Prima di ogni altra cosa, in ogni caso, l'uso degli ammendanti organici costituisce l'applicazione della semplice ricetta sopra citata: ciò che proviene dal suolo deve essere restituito al suolo.

Allora, l'uso degli ammendanti organici è di grande importanza, e non solo per l'agricoltura sostenibile: fa da cerniera per gli equilibri dell'intera società umana. In questo senso pertanto esso trascende il comune significato che gli viene assegnato di solito, ossia di utile pratica da raccomandare nell'agricoltura sostenibile. La stessa agricoltura sostenibile non può essere considerata semplicemente una forma di agricoltura da raccomandare e incoraggiare con ogni possibile incentivo. L'agricoltura sostenibile è qualcosa di più: è una chiave di volta per una società sostenibile.

Il trattamento dei rifiuti e la loro conversione in prodotti utili per la fertilizzazione esigono un alto grado di professionalità. In alcuni casi, dagli scarti o dai sottoprodotti di alcune lavorazioni si possono ottenere materiali utilizzabili per l'alimentazione animale ed umana: ma non si possono improvvisare tecnologie per processi tanto sofisticati. Anche per restare nel caso più semplice, si è appena detto che l'agricoltura moderna deve riconvertirsi all'impiego dei residui organici. Ma la qualità dei residui organici può essere quella modesta e incostante che si aveva qualche decennio fa. L'agricoltura moderna esige ammendanti nei quali la sostanza organica presenta il giusto grado di maturazione. Le relative metodologie analitiche hanno rappresentato in passato un problema di soluzione abbastanza difficile, ma in Italia possiamo vantarci oggi di essere all'avanguardia nel settore. Oggi è possibile non solo seguire la maturazione della sostanza organica, ma anche distinguere un substrato organico da un altro apparentemente molto simile. E' possibile per esempio distinguere una torba da una leonardite, o individuare la presenza di torba in una miscela di altre matrici organiche. L'uso di queste metodologie appare indispensabile in un'agricoltura sostenibile che, anche dal punto di vista ambientale, possa essere definita completamente al servizio delle comunità umane.

Non resta che esortare chi è responsabile della politica agraria e ambientale ad

adottare tutti i provvedimenti che sono in grado di agevolare il riutilizzo dei rifiuti. Ovviamente non bastano parole: per indirizzare il Paese verso una politica lungimirante di riciclo e di risparmio di materiali occorrono incentivi di varia natura: il ritorno, in termini economici e ambientali, è tuttavia garantito.

Come si vedrà più oltre, alle obiettive difficoltà di reimpiego nel suolo dei rifiuti, si sommano oggi difficoltà normative a dir poco pretestuose. Si tratta di distorsioni dell'approccio ambientale causate da insufficiente comprensione dei problemi, quando non peggio. Ma appare utile esaminare preliminarmente i criteri adottati dall'U.S. Environmental Protection Agency (EPA) in materia di contenuto di elementi indesiderati nelle biomasse da reimpiegare per la fertilizzazione nel suolo.

2. *L'approccio dell'U.S. Environmental Protection Agency*

I criteri utilizzati dall'U.S. EPA, allo scopo di definire le soglie ammissibili di metalli pesanti nei fanghi e nei "biosolidi", ossia in tutti i fertilizzanti organici ivi inclusi i compost da residui solidi urbani, possono essere utili anche per il legislatore europeo, data la lunga esperienza maturata dall'Agenzia americana nel settore. Purtroppo il legislatore europeo non se ne è avvalso, adottando un falso concetto del principio di precauzione che consiste nell'abbassare tutti i livelli massimi ammissibili degli elementi ritenuti potenzialmente tossici, ivi inclusi quelli indispensabili.

L'impressione che provoca il richiamo del nome EPA a chi lo sente citare è quella di una particolare rigidità, ossia di una impostazione improntata alla adozione di cautele eccessive rispetto al peso dei problemi da affrontare. Questa impressione è spesso suffragata da numeri, limiti, soglie, stabilite e riportate nella letteratura specializzata di tutto il mondo: da fatti concreti, in una parola. Ma l'EPA è rigida, secondo il concetto che tutti ne hanno, solo perché è arrivata generalmente per prima ad affrontare molte tematiche ambientali. Come istituzione americana, tuttavia, non poteva che impostare un esame complessivo, lucido, disincantato di ciascun tema che formava l'oggetto dei suoi interessi. Leggere oggi le critiche che l'EPA muove all'insufficiente realismo dell'approccio normativo di altri Paesi (non si può non ricordare qualche Paese Europeo e in particolare qualche recente partner nordico della UE) può fare un certo effetto a chi non ha seguito passo passo l'evoluzione dell'istituzione americana. E gli americani vanno avanti per la loro strada. Al nostro frequente bizantinismo, alla nostra lenta e falsa impostazione di seri principi, conditi da qualche lampo di genio, ma troppo spesso non surrogati da basi veramente galileiane, contrappongono una disarmante virtù contadinesca, quella di essere gli sperimentatori più cauti ma più costanti del mondo. Non dimentichiamocene mai.

E' interessante pertanto esaminare quali basi normative l'EPA oggi propone nel

caso delle biomasse organiche e del loro riciclo in agricoltura. Limitiamoci a quelle solide (i cosiddetti "biosolidi"). Per far questo dovremo descrivere quello che gli americani definiscono "40 CFR Part 503". Forse occorre anche una premessa. Parlare di "40 CFR Part 503" dice proprio poco e può anche confondere le idee, così come dire 1411, 12th Avenue può sembrare un recapito di estrema periferia a chi non ha familiarità con la fredda, ma efficace toponomastica americana. Lo può sembrare al momento, prima di accorgersi, sul posto, che per raggiungere quell'indirizzo basta andare all'incrocio della dodicesima "Avenue" con la 14ª "strada" e cercare il successivo numero 11 della dodicesima avenue, che sarà appunto 1411.

2.1. Il "codice di regole federali"

Anche nel caso della sigla riportata per le normative riguardanti fanghi e biosolidi la chiave di lettura è molto semplice e forse è opportuno conoscerla, data l'importanza pratica di molte normative presenti nell'immenso corpus americano di regolamenti e codificazioni ed il sempre più frequente richiamo che se ne fa nella letteratura internazionale.

Gli USA, come tutti sanno, sono una federazione di Stati che hanno un certo grado di sovranità e che si sono dati alcune regole in comune. CFR è l'acronimo di Code of Federal Regulations, ossia, appunto, il codice delle regole federali che riguardano tutto o quasi tutto, dal Presidente (proprio così) al Congresso, fino alla caccia, alla pesca ed ai servizi postali. I vari argomenti sono suddivisi in 50 titoli, il quarantesimo dei quali riguarda l'ambiente: 40 CFR è l'insieme delle regolamentazioni federali degli Stati Uniti riguardanti la protezione dell'ambiente.

E' chiaro che sotto un titolo vasto come quello della protezione ambientale possono trovare collocazione le tematiche ancora una volta più disparate, dalle valutazioni di impatto ambientale alle contaminazioni atmosferiche, dai cosiddetti inquinamenti acustici agli standard di qualità delle acque. Ed è stato proprio a seguito di una decisione politica che risale ad una quindicina di anni fa, l'approvazione del "Clean Water Act Amendemen" del 1987, che l'EPA ha sviluppato una nuova regolamentazione per proteggere la salute pubblica e l'ambiente dagli effetti negativi che possono essere provocati dalle sostanze inquinanti presenti nei fanghi e negli effluenti.

E, eccoci al punto, la regolamentazione che ci interessa si intitola "The standards for the use or disposal of sewage sludges" Code of Federal Regulations n. 40 (CFR 40), Part 503. Pubblicata il 19/02/93 è entrata in vigore il 22/03/93 ed è per brevità nota come Part 503: essa contiene in sintesi la regolamentazione volta a proteggere la salute umana e ambientale a seguito dell'utilizzo di biosolidi. Con questo termine si intendono i residui solidi o

semisolidi ottenuti dagli effluenti domestici negli impianti di trattamento primario, secondario od avanzato; si tratta quindi di prodotti soprattutto organici ottenuti dai processi di trattamento delle acque reflue che possono essere utilmente riciclati o distribuiti. La regolamentazione è stata estrapolata ai compost da residui solidi urbani, anche perché i residui solidi urbani vengono normalmente compostati unitamente ai fanghi di depurazione, ed è il punto di riferimento ormai per qualunque ammendante organico da somministrare al terreno.

Ogni titolo è diviso in sezioni. Ogni sezione rappresenta un documento separato; la citazione 7 CFR Sec. 501 si riferisce appunto alla sezione 501 del titolo Agricoltura di quel Codice. Le varie sezioni nell'ambito di un titolo possono essere raggruppate in sottotitoli, capitoli, sottocapitoli, parti, sottopartizioni o divisioni. Ogni titolo può avere appendici che possono essere suddivise a loro volta in sezioni, regolamenti (rules) e moduli (forms).

2.2. La "Direttiva Biosolidi"

La "Direttiva Biosolidi" non si chiama direttiva biosolidi; si chiama Part. 503, ma possiamo così tradurre in gergo europeo la fredda nomenclatura americana. Ebbene, la Part 503 stabilisce i requisiti per l'uso, la distribuzione o lo smaltimento dei biosolidi quando essi vengono:

- utilizzati per ammendare il suolo e fertilizzare le colture;
- distribuiti sul suolo in superficie per altri fini;
- inceneriti.

Come si è detto sopra, i requisiti richiesti ai fanghi perché ne possa essere consentita la distribuzione al suolo sono estesi anche ai materiali che ne derivano o che li contengono come ingredienti, come ad esempio miscele di fanghi e fertilizzanti oppure i prodotti di compostaggio di fanghi con trucioli o segatura di legno o con residui solidi urbani.

Il regolamento Part. 503 è diviso in 5 capitoli (subparts):

- norme generali
- requisiti per la somministrazione al suolo
- distribuzione in superficie
- riduzione dei patogeni ed argomenti correlati
- norme relative all'incenerimento

Per ogni tipo di uso, compresa ovviamente la somministrazione al suolo, la Part 503 stabilisce i limiti degli inquinanti, le pratiche di gestione, gli standard operativi, la frequenza del monitoraggio e così via. La materia è molto complessa, ma si cercherà di darne un quadro necessariamente riassuntivo dei criteri seguiti dall'EPA per stabilire i valori soglia relativi ai metalli pesanti.

2.3. I 14 "cicli" dell'EPA

Il punto di partenza della regolamentazione consiste nell'analisi del rischio (risk assessment) igienico-sanitario. Esso viene determinato sulla base del comportamento di ogni singolo metallo in 14 diversi cicli (pathways) attraverso i quali avviene il potenziale trasferimento tra i comparti (suolo, pianta, animali e uomo); nell'ambito di questi cicli viene individuato e preso in considerazione l'Highly Exposed Individual (HEI), cioè il "soggetto" a maggior rischio per quel dato metallo pesante.

L'HEI può essere un uomo, una pianta o un animale ed è quindi rappresentato da un organismo vivente che, per un insieme di circostanze, ha la massima esposizione ad un certo elemento potenzialmente contaminante per una particolare pratica di smaltimento. Utilizzando i dati di ricerche in campo, vengono elaborati modelli di trasferimento del metallo pesante dal suolo fino all'assorbimento da parte dell'organismo più vulnerabile.

I quattordici cicli presi in considerazione dall'EPA sono quelli riportati in Tabella 2. Per ciascuno dei cicli viene individuato quale è l'organismo più vulnerabile e come limite per ogni elemento inquinante viene scelto quello ottenuto con il ciclo che presenta il valore inferiore, ossia quello per il quale si avverte la necessità di una maggiore cautela. Facciamo l'esempio del ciclo n. 2 (biosolido-suolo-pianta-tossicità per l'uomo). Si assume che la circostanza di maggior rischio sia quella della persona che ha ricavato il proprio orto su un terreno agricolo fortemente ammendato con biosolidi e che utilizza gran parte dei prodotti dell'orto per la sua dieta alimentare. Si assume anche che il suolo sia al massimo accumulo consentito di somministrazione di biosolidi e che la pratica considerata duri per tutta la vita (70 anni).

Di tutti i 14 cicli considerati, in realtà, solo due appaiono quelli determinanti al fine di stabilire le soglie dei metalli pesanti nei biosolidi: il terzo e l'ottavo. Fa eccezione il molibdeno, per il quale è stato ritenuto particolarmente critico il sesto ciclo (Tab. 3).

In sostanza, l'approccio dell'EPA è quello di affidarsi a dati sperimentali e ad una valutazione del rischio realistica e disincantata. I risultati del risk assessment forniscono così la base per individuare una variazione accettabile dell'ambiente quando vengono usati o distribuiti dei biosolidi, una variazione ambientale che

deve essere considerata inevitabile quando si aggiunge qualsiasi prodotto al suolo (fertilizzanti e letame compresi).

La filosofia del più comune approccio "variazione zero = rischio zero" è di per sé sbagliata e pericolosa, perché può condurre alla completa inazione per paura di qualsiasi alterazione; la realtà, anche quella ambientale, non è un'astrazione ma un continuo divenire che non può né deve essere impedito: è una continua alterazione della situazione precedente che va contenuta, ovviamente, e controllata entro limiti accettabili. La filosofia del livello zero applicata alle alterazioni degli equilibri ambientali, inoltre, contiene in sé stessa la presunzione che ogni minima quantità di inquinante aggiunta al suolo è inevitabilmente dannosa; questa presunzione, però, è molto raramente supportata da evidenze sperimentali fornite da ricerche in campo, alle quali invece l'EPA dà, e giustamente, grande peso. Senza la conoscenza dei dati della ricerca e della sperimentazione verrebbe infatti preclusa la possibilità del riciclo e della restituzione al suolo dei residui organici, cosa che l'EPA non ritiene vantaggiosa per la comunità. Ma chi, in buona fede, può non essere d'accordo con l'EPA su questo punto?

Una volta stabilita la relativa gravità del rischio vengono fissate le soglie di ogni elemento indesiderato (ceiling limits) che sono ammesse in ogni biosolido, espresse in mg/kg, e le quantità annuali massime di elementi applicabili al terreno, espresse in kg/ha/anno, oltre ad altri limiti derivati e correlati che per semplicità e maggiore immediatezza non vengono qui riportati.

Viste le soglie stabilite attualmente dall'EPA e confrontate con quelle vigenti nelle legislazioni di molti Paesi europei ci si può spaventare per una apparente permissività. Ma corre anche l'obbligo di domandarsi su quali basi scientifiche si siano fondati i legislatori europei. A nostro avviso queste basi non esistono, anche se nessun criterio, neppure quelli dell'EPA, deve essere accolto in maniera acritica.

E infatti, la Part 503 viene continuamente aggiornata: ad esempio, nel 1994 vennero eliminati i limiti relativi alle quantità massime del molibdeno da distribuire annualmente al suolo, pur mantenendone le soglie di concentrazione nei biosolidi. E ancora: nel 1995 si è deciso di togliere ogni soglia per il cromo, anche esavalente; una decisione che anche nella Comunità europea si è profilata da quando si è elaborata la direttiva sui biosolidi (ma quello del cromo è un argomento a parte, sul quale ritorneremo in un documento apposito).

3. *Cenno alla legislazione europea e nazionale*

Tutta la legislazione europea tende a favorire in via di principio il riciclaggio ed il recupero di materie prime dai rifiuti. Il nostro D. L.vo 22/97 recita testualmente all'Art. 4, comma 1: "Ai fini di una corretta gestione dei rifiuti le autorità compe-

tenti favoriscono la riduzione dello smaltimento finale dei rifiuti attraverso a) il reimpiego ed il riciclaggio; b) le altre forme di recupero per ottenere materia prima dai rifiuti..."; e al comma 2 riafferma che queste forme debbono essere considerate preferibili rispetto alle altre. Si spinge anche, recependo la Direttiva CE, a dichiarare che è consentito smaltire in discarica solo i rifiuti inerti (Art.5, comma 6).

Il modo più agevole per ottenere di fatto che questo principio sia disatteso è quello di agire su un duplice binario:

rendere farraginoso, se non impercorribile, l'iter per il recupero dei rifiuti; porre limiti tanto restrittivi da rendere improbabile il recupero più comune, quello della somministrazione dei rifiuti (o dei prodotti della loro trasformazione) al terreno, per sfruttare l'efficacia fertilizzante della sostanza organica in essi presente, oltre che degli elementi della fertilità: un'operazione già attuata con successo per il pozzo nero con i provvedimenti derivati dalla Legge 319/76, ma non riuscita che in piccola parte con gli effluenti d'allevamento.

L'iter del recupero dei rifiuti organici è tanto complesso che non è davvero difficile trovare esempi che dimostrano quanto le buone intenzioni vengano facilmente scoraggiate in proposito. Sarebbe tutt'altro che difficile non notare, per esempio: la farraginosità e la lentezza incredibile dell'iter previsto per le autorizzazioni a recuperare i rifiuti;

alcuni processi penali intentati ad agricoltori e produttori per preteso smaltimento di fertilizzanti non riconosciuti come tali;

alcuni processi penali intentati a produttori di rifiuti con aspetti quasi grotteschi (in una recente causa, ancora pendente, un rifiuto organico è stato dichiarato pericoloso solo perché originato da un processo fisico di filtrazione).

I limiti nazionali ed europei posti al contenuto di elementi indesiderati nelle biomasse che si intende impiegare come fertilizzanti nel suolo sono esposti nella Tab. 5; essi si commentano da soli, quando si pensa che, a differenza di quelli adottati dall'EPA, quelli europei e nazionali non hanno alcun supporto scientifico serio. Si osservi che i limiti posti per cromo, rame e piombo, per il compost di prima classe, nelle buone intenzioni del legislatore europeo, sono identici, come se il cromo e il rame (dei quali l'alimentazione umana attuale è tanto carente da provocare la produzione di centinaia di integratori dietetici che oggi vanno a ruba nelle farmacie) fossero pericolosi alla stregua del piombo.

Si può anche rilevare un paradosso nel confronto con la legislazione che riguarda altri materiali utilizzati in alimentazione animale e umana. I pochi limiti posti per il contenuto di metalli pesanti nei mangimi fanno emergere in qualche caso un comportamento del legislatore più restrittivo per il mangime rispetto al fertilizzante. Un mangime, per esempio, può contenere anche 2 mg/kg di cadmio, mentre il cadmio in un fertilizzante organico non può superare 1.5 mg/kg. In altre parole, il materiale organico può entrare nella bocca dell'animale perfettamente

in regola, ma, almeno se l'animale non trattiene il metallo pesante, esce illegale dalla parte terminale dell'intestino.

Ancora più curioso, per molti versi, è l'esame del recentissimo Regolamento CE n. 466/2001, che definisce i tenori massimi di taluni contaminanti presenti nelle derrate alimentari (G.U.C.E del 16/03/01). Se consideriamo per esempio il tenore massimo (mg/kg di peso fresco) sempre di cadmio ammesso negli ortaggi e nella frutta (prodotto codificato 3.2.11 a pag. 11), pari a 0.05 mg/kg di peso fresco, possiamo avere delle belle sorprese. Tenendo conto del fatto che il contenuto di sostanza secca del pomodoro, come esempio di uno dei più comuni ortaggi, è inferiore al 5%, risulta che il contenuto di cadmio sulla sostanza secca equivale ad almeno 1 mg/kg. Questo valore è già, di per sé, superiore di quasi il 50% al tenore massimo di Cd consentito nel compost di classe 1, ammesso in agricoltura biologica (0.7 mg/kg s.s.). Siamo quindi di fronte al paradosso di imporre un tenore massimo di Cd negli ammendanti (qualora l'Annex III non subisse alcuna modifica) che è inferiore a quello consentito in un alimento. Se il pomodoro in questione venisse poi compostato, il suo contenuto in Cd sarebbe sottoposto ad un naturale processo di concentrazione che porterebbe il valore di tale elemento, nel compost finale, ad un valore di poco inferiore ai 3 mg/kg s.s. e comunque di ben 4 volte superiore alla concentrazione di 0.7 mg/kg sopra riportata.

Sulla base di questi semplici calcoli, speriamo che tali incongruenze vengano risolte mediante una rilettura critica dei documenti fin qui elaborati. Speriamo che i limiti imposti dal regolamento n. 466/2001 siano stati definiti sulla base di dati scientifici per la salvaguardia della salute pubblica. Riteniamo sia ragionevole affermare che ciò che può essere utilizzato come alimento possa essere utilizzato per lo meno come matrice per la produzione di un fertilizzante.

Tabella 1: Titoli di interesse chimico-agrario del Codice di regole federali degli Stati Uniti

N.	Argomento	Denominazione originale
7	Agricoltura	Agriculture
9	Animali e prodotti di origine animale	Animals and Animal Products
10	Energia	Energy
18	Conservazione risorse energetiche e idriche	Conservation of Power and Water Resources
21	Alimenti e farmaci	Foods and Drugs
36	Parchi, foreste e beni pubblici	Parks, Forests, and Public Property
40	Protezione dell'ambiente	Protection of the Environment
44	Gestione e assistenza delle emergenze	Emergency management and assistance
50	Selvaggina e pesca	Wildlife and Fisheries

NOTE: Gli argomenti che sono oggetto di regolamentazione da parte del codice sono suddivisi in 50 "titoli" e sono i più disparati. Ad esempio i titoli n. 2 e 3 riguardano rispettivamente il Congresso e il Presidente, il titolo n. 25 gli indiani, il titolo n. 35 il canale di Panama e il titolo n. 39 il servizio postale.

Tabella 2: I cicli individuati dall'EPA per la valutazione del rischio da somministrazione di biosolidi o fertilizzanti organici al suolo

N.	Ciclo	Descrizione dell'organismo a rischio
1	Biosolido-suolo-pianta-uomo	Consumatori in area fortemente ammendata con biosolidi
2	Biosolido-suolo-pianta-uomo	Utilizzatori di prodotti di orti ricavati da terreni agricoli cinque anni dopo la massima somministrazione di biosolidi
3	Biosolido-suolo-uomo	Caso precedente nel quale si postula l'ingestione accidentale di suolo da parte di bambini.
4	Biosolido-suolo-pianta-animale-uomo	Soggetti la cui dieta comprende la maggior parte di carne di animali provenienti da terreni ammendati con biosolidi
5	Biosolido-suolo-animale-uomo	Soggetti la cui dieta è a base di animali che hanno ingerito suolo durante il pascolo
6	Biosolido-suolo-pianta-animale	Animali che si nutrono di foraggio
7	Biosolido-suolo-animale	Animali che ingeriscono accidentalmente suolo mentre pascolano
8	Biosolido-suolo-pianta	Colture
9	Biosolido-suolo-organismi del suolo	Organismi del suolo
10	Biosolido-suolo-organismi del suolo-predatori	Animali che si nutrono di organismi del suolo
11	Biosolido-suolo-polvere-uomo	Operatori agricoli o soggetti comunque esposti a polveri
12	Biosolido-suolo-acque superficiali-pesce-uomo	Uomini che si nutrono di pesca e bevono acque superficiali
13	Biosolido-suolo-aria-uomo	Uomini che respirano emissioni contenenti sostanze contaminanti volatili provenienti dai biosolidi
14	Biosolido-suolo-acquiferi-uomo	Uomini che bevono acqua di pozzo o proveniente dagli acquiferi profondi

Tabella 3: La posizione dell'EPA sui vari metalli ed elementi indesiderati*

Alcuni elementi, anche se ingeriti, non comportano rischio per la catena alimentare poiché insolubili o non tossici:

Cr, Sn, Se, Tl, Ag, Au, Zr, etc.

Alcuni elementi possono raggiungere la catena alimentare attraverso l'ingestione del suolo (elementi adsorbiti sul suolo o legati alle radici)

F, Pb, As, Hg, Fe, Cu, Zn, Cd, Se, Mo, Co, etc.

Altri elementi danneggiano o distruggono le colture ancor prima di entrare nella catena alimentare:

Zn, Cu, Ni, Mn, B, As, Al, etc.

Pochi elementi possono raggiungere la catena alimentare attraverso piante sane:

Cd (in presenza di basse concentrazioni di Zn), Se (uomo), Se, Mo e Co (ruminanti).

*Liberamente tratta da: R.L. Chaney, J.A. Ryan, S.L. Brown (1997). *Development of the US-EPA limits for chromium in land-applied biosolids and applicability of these limits to tannery by-product derived fertilizers and other Cr-rich soil amendments*. In: *Chromium Environmental Issues* (S. Canali, F. Tittarelli e P. Sequi Ed.), pp. 229-295, Franco Angeli, Milano.

Tabella 4: I cicli individuati come i più rischiosi dall'EPA

Elemento	Organismo maggiormente a rischio (HEI)	Ciclo limitante
Arsenico	Bambino che ingerisce suolo ammendato	3
Cadmio	Bambino che ingerisce suolo ammendato	3
Molibdeno	Animale che mangia il foraggio	6
Nichel	Pianta (fitotossicità)	8
Rame	Pianta (fitotossicità)	8
Selenio	Bambino che ingerisce suolo ammendato	3
Zinco	Pianta (fitotossicità)	8

Tabella 5: Soglie degli elementi indesiderati nei biosolidi secondo l'EPA

Elementi indesiderati	Soglie nei biosoliti mg/kg	Quantità massime applicabili kg/ha anno
Arsenico	75	2,0
Cadmio	85	1,9
Mercurio	57	0,85
Molibdeno	75	—
Nichel	420	21
Piombo	840	15
Rame	4300	75
Selenio	100	5,0
Zinco	7500	140

Tabella 6: Soglie degli elementi indesiderati nei fanghi che possono essere somministrati per la fertilizzazione del suolo secondo l'EPA a confronto con quelle in corso di approvazione presso la CE e vigenti in Italia per tutti gli ammendanti dal 1° gennaio 2002. I dati sono espressi in mg/kg di sostanza secca

Elemento	Commissione Europea [§]						Italia (legge 748/84)	
	EPA	attuale	recepimento italiano	proposta	proposta per il 2015	proposta per il 2025		Compost+
Cd	85	20-40	20	10	5	2	0,7	1,5
Cr	-	-	v. nota [§]	1000	800	600	100	0,5*
Cu	4300	1000-1750	1000	1000	800	600	100	230
Hg	57	16-25	10	10	5	2	0,5	1,5
Ni	420	300-400	300	300	200	100	50	100
Pb	840	750-1200	750	750	500	200	100	140
Zn	7500	2500-4000	2500	2500	2000	1500	200	500

[§] i valori attuali sono quelli della Direttiva 86/278/CEE, recepita con D.L.vo 99/92 (per il cromo non è stato fissato alcun limite, ma è stato prescritto il test di Bartlett per rivelare l'eventuale capacità ossidante del suolo; le Regioni sono state autorizzate, dall'Art. 6 comma 1 a stabilire ulteriori limiti e condizioni di utilizzazione); quelli proposti sono contenuti nel 3° draft in corso di discussione a Bruxelles.

+ compost di prima classe, secondo l'Annex III del Working Document "Biological Treatment of Biowaste, 2nd Draft", in corso di approvazione a Bruxelles.

* riferito solo al Cr(VI)

CASO DI STUDIO 2: Il problema del cromo

1. Analisi di speciazione

La concentrazione totale di un certo elemento in una data matrice (acqua, terreno, alimenti, ecc.) non permette di trarre conclusioni significative circa il destino dell'elemento in termini di mobilità, biodisponibilità e tossicità. La stessa concentrazione totale di selenio in un alimento può essere dovuta alla presenza di Se(VI), altamente tossico per l'uomo, o di Se(IV), usato come additivo negli alimenti per prevenire la deficienza dell'elemento nell'organismo. L'arsenico inorganico è estremamente tossico mentre l'arsenobetaina, un arsenolipide presente in organismi acquatici, è relativamente innocua. Al contrario, i composti inorganici dello stagno e del mercurio sono generalmente molto meno tossici dei composti organometallici (Sn-dibutile, Sn-trifenile, Pb-tetraetile, Hg-dimetile, etc.).

La tossicità di una certa matrice dipende dalla concentrazione e tossicità di ciascuna delle diverse specie in essa presenti. Queste considerazioni sono alla base dell'analisi di speciazione, definita come il processo d'identificazione e quantifica-

zione delle diverse specie, forme o fasi in cui un elemento occorre in un materiale. Nella maggior parte dei casi l'analisi di speciazione è estremamente complessa. Spesso la matrice è eterogenea e/o plurifase: un'acqua naturale, per esempio, può contenere specie solubili, particelle colloidali e particolato sospeso, e la distribuzione delle varie specie può essere diversa in ogni singola fase. I diversi elementi possono essere presenti in diversi stati d'ossidazione (per es. Hg(0)/Hg(I)/Hg(II), Pb(IV)/Pb(II), etc.), come ioni idratati, complessi organici e inorganici (per es. ioni legati ad acidi umici e/o fulvici o complessi lipido-solubili), dispersioni colloidali eterogenee, composti organometallici. Nel particolato sospeso essi possono essere adsorbiti su, o inglobati in, materiali argillosi. Inoltre, la loro concentrazione e distribuzione può variare nel tempo in funzione della distanza dal punto in cui ha origine la contaminazione, dei processi di trasporto e rimozione in fase dissolta o nelle acque interstiziali (sedimentazione, precipitazione e dissoluzione, complessazione, adsorbimento e desorbimento, accumulo e rilascio biologico), a seguito di fluttuazioni localizzate di grandezze fisiche (temperatura, pressione) e chimiche (pH, forza ionica, etc.).

Non necessariamente tutte le specie d'interesse coesistono in uno stato d'*equilibrio termodinamico*: è noto che possono essere necessari periodi variabili da poche ore a diversi mesi perché uno ione metallico, immesso in un campione d'acqua naturale, si equilibri con le specie preesistenti. Nel caso siano state accertate le condizioni d'equilibrio termodinamico, si può ricorrere alla *modellistica matematica (computer modelling)* per predire la speciazione del campione in esame. In questo caso, la qualità dei risultati ottenuti dipende da quella del modello usato e dei dati a disposizione (costanti termodinamiche, concentrazioni analitiche, etc.): se ci si affida alla sola modellistica, il pericolo di ottenere risultati inaffidabili è tale che, per sottolinearlo, è stato coniato l'acronimo GIGO, ovvero *Garbage In, Garbage Out*. L'affidabilità dei modelli stimati per mezzo di tecniche di computer modelling deve essere sempre verificata per confronto con risultati sperimentali ottenuti utilizzando diverse tecniche analitiche, ciascuna capace di fornire informazioni indipendenti e complementari.

I risultati dell'analisi di speciazione devono essere sempre confrontati con la *concentrazione totale* d'elemento al fine di evidenziare possibili contaminazioni, tanto più facili quanto minore è la concentrazione degli analiti d'interesse, o perdite totali o parziali di uno o più componenti della matrice analizzata.

Il problema della speciazione è infine complicato anche dal fatto che le specie chimiche di molti elementi nelle acque, nei suoli o nell'aria, non sono neanche note. Quindi, spesso ci si deve accontentare di analisi di speciazione parziale (specie inorganiche e specie organoderivate, specie ossidate e ridotte, etc.).

Infine, qualora nella matrice di interesse siano contemporaneamente presenti più specie tossiche o nocive, non può essere trascurata la possibilità di un incremen-

to più che proporzionale della tossicità. Ma il problema qui diventa così complesso che difficilmente può essere considerato senza prevedere costi enormi.

2. *Aspetti peculiari del cromo*

Il cromo è uno dei metalli più interessanti sotto il profilo alimentare, ambientale e tossicologico. In natura, si presenta prevalentemente in due stati d'ossidazione, Cr(III) e Cr(VI). Le due specie si comportano in maniera completamente diversa, tanto da giustificare quello che è noto come *paradosso del cromo*.

Il Cr(III) è un micronutriente per i mammiferi e per l'uomo, essendo un costituente essenziale di un fattore di tolleranza del glucosio (GTF). Tale fattore sembra modulare la velocità di rimozione del glucosio dal sangue con un meccanismo di potenziamento dell'insulina. Ne segue che carenze di cromo possono portare a patologie connesse con l'intolleranza glucidica e a perdita di peso. Inoltre, sembra che il Cr(III) partecipi al mantenimento dell'integrità strutturale degli acidi nucleici. La dose giornaliera necessaria di Cr(III) è 10-40 microg per bambini fino a sei mesi, e di 50-200 microg per le altre età. Ovviamente, livelli eccessivi di Cr(III) possono determinare stati patologici.

Le informazioni sul ruolo del Cr(VI) sono invece drasticamente differenti. Esso non ha ruoli biologici noti, ed è caratterizzato da una tossicità da dieci a cento volte superiore. Sono citati casi di tossicità orale acuta e cronica, per inalazione, dermica e sistemica, di citotossicità, genotossicità e, infine, di carcinogenicità. Le Tabelle 1 e 2 riassumono alcuni dati tossicologici d'interesse.

E' stato inoltre dimostrato che, in condizioni opportune di temperatura, umidità, pH e composizione chimica della matrice, l'equilibrio:



può spostarsi verso destra.

In base alle informazioni più recenti si è giunti alle seguenti conclusioni:

- esistono prove sperimentali che i composti di Cr(VI) usati nei processi di produzione dei cromati, dei pigmenti e nel processo di cromatura siano cancerogeni per l'uomo;
- esistono prove sperimentali (in seguito alla sperimentazione su animali) che i cromati di calcio, zinco, stronzio e piombo siano cancerogeni (vedere Tabella 2);
- non esistono prove sperimentali (in seguito alla sperimentazione su animali) che il triossido di cromo (CrO₃) e bicromato di sodio (Na₂Cr₂O₇) siano cancerogeni.

Tabella 1: Metabolismo e tossicologia del Cr(III) e del Cr(VI)

Cr(III)	Cr(VI)
Non supera la membrana eritrocitaria Essenzialmente presente nel plasma associato alla transferrina	Penetra la membrana eritrocitaria associandosi alla globina dell'emoglobina dopo riduzione a Cr(III). Forma un complesso a basso peso molecolare (Cr-glutazione)
Forma forti legami con le proteine	Forma con le proteine solo legami deboli a bassi pH
Assorbimento modesto	Assorbimento da 3 a 5 volte più elevato
Graduale accumulo epatico nelle 24h	Decremento epatico nelle 24h
In esposizioni croniche: concentrazioni tissutali inferiori a quelle dei gruppi di ratti trattati con Cr(VI)	In esposizioni croniche: concentrazioni tissutali circa 9 volte più elevate che nei gruppi di ratti trattati con Cr(III)
Tossicità molto limitata	Tossicità 100 volte superiore e differenziata in funzione della specie considerata (vedere Tabella 2)
Effetti sistemici molto limitati anche ad alte dosi	Ridotta crescita e danni a livello epatico e renale in animali da laboratorio
Nessun effetto irritante	Ulcere della pelle ed effetti corrosivi del setto nasale

Tabella 2: Risponso carcinogenico polmonare dopo esposizione a diverse specie di Cr(III) e Cr(VI) mediante implantazione intrabronchiale.

In colonna è riportato il numero di cavie con tumori maligni polmonari sul totale esaminato.

Cr(III)	
Cr(III) cloruro esaidrato	0/100
Cr(III) ossido	0/100
Cromite (minerale di Cr(III))	0/100
Silicato ad alto tenore di Cr(III)	0/100
Solfato basico di Cr(III)	0/100
Cr(VI)	
Ac. cromicoCr(VI)Cr(VI)2/100	
Bicromato di sodio	1/100
Cromato di calcio	25/100
Cromato di zinco e potassio	3/100
Cromato di zinco	5/100
Tetraossicromato di zinco	1/100
Cromato di piombo	1/98
Cromato di bario	0/100
Cromato di stronzio (54,1 % CrO4)	43/100
Cromato di stronzio (24,3 % CrO4)	62/99

L'*International Agency for Research on Cancer* cataloga il Cr(VI) nel Gruppo 1 di sostanze tossiche "*Carcinogenic to humans*". Secondo i dati U.S. EPA – IRIS (Integrated Risk Information System) non sono stati riportati effetti critici utilizzando prove di assunzione orale a lungo termine. Sempre secondo U.S. EPA – IRIS, nonostante le possibilità di interconversione fra Cr(III) e Cr(VI) impongano cautela nell'affrontare il problema, non sono stati dimostrati rischi di cancerogenesi da Cr(III) neppure per via inalatoria.

Può essere utile conoscere i dati relativi ai valori del "Minimal Risk Level" (MRL) e alla "Reference Dose" (RfD).

Il primo dei due indici si riferisce alla stima della concentrazione di una sostanza pericolosa, cioè la soglia di concentrazione alla quale l'uomo non incorre nel rischio di cancerogenesi. È un valore tanto cautelativo che l'OMS e le varie agenzie internazionali non ritengono debba mai costituire un obiettivo di bonifica, ma consente valutazioni comparative della pericolosità di sostanze diverse. Per il Cr(VI) è stato stabilito il valore di 1 microg/mcubo nell'atmosfera se in forma di particolato, ma addirittura di 5 ng/m³ se in forma di aerosol; non è stato previsto alcun rischio per altre forme di assunzione. Per il Cr(III) non è previsto nessun rischio neppure per via inalatoria.

La RfD corrisponde invece al quantitativo di sostanza che può essere assunto per tutta la vita per via orale senza rischi di cancerogenesi, anche negli individui sensibili. In questo caso è stato definito un valore di RfD sia per Cr(III) che per Cr(VI): per Cr(III) è di 1 mg/giorno per kg di peso corporeo, mentre per Cr(VI) è di 5 microg/giorno, sempre per kg di peso corporeo. Si ricorda che per il Cr(III), come elemento essenziale per l'uomo, la dose raccomandata è di 50 microg/giorno; si ammette che l'organismo umano possa "detossificare" il Cr(VI) a Cr(III), o, in altri termini, utilizzare anche il Cr(VI), ma non si hanno precise idee dal punto di vista quantitativo.

Le fonti di contaminazione da cromo sono molto numerose. Infatti, il cromo è utilizzato nell'industria siderurgica, chimica (produzione di pigmenti, pitture, esplosivi, mordenti per tintorie, ceramiche, vetro, prodotti anticorrosivi, antisettici, astringenti, defoglienti), galvanica e conciaria. Tutte queste attività implicano l'accumulo di residui di lavorazione caratterizzati da composizione più o meno varia, ma in ogni caso contenenti concentrazioni elevate di cromo. Questi residui sono sottoposti a processi di rimozione o recupero delle varie specie di cromo, e spesso si procede al loro smaltimento mediante fertilizzazione dei suoli agricoli. La giustificazione di quest'ultima pratica deriva dall'evidenza che il cromo è prevalentemente presente come Cr(III), essendo l'eventuale Cr(VI) ridotto a Cr(III) mediante numerosi meccanismi possibili, e che il Cr(III) è sufficientemente insolubile da non influire negativamente sull'ambiente. È però altrettanto evidente che la concentrazione del Cr(VI), essendo questo in equilibrio dinamico con il Cr(III), è

tanto maggiore quanto maggiore è quella di quest'ultimo. Inoltre il Cr(VI) è caratterizzato da un'elevata mobilità ambientale.

La presenza di Cr(VI) nelle acque potrebbe causare, se fosse dimostrato il rischio di migrazione nel sistema linfatico dei vegetali e nelle catene alimentari, una contaminazione dei cibi potenzialmente dannosa per la salute del consumatore. Al fine di quantificare il Cr(VI) nelle acque, è essenziale usare metodi analitici adeguatamente sensibili (capaci di determinarlo a livelli di 0,001 mg/L), essendo stato verificato che l'assenza di questo contaminante è stata spesso valutata usando un metodo standard (IRSA e US EPA - metodo colorimetrico alla difenilcarbazide) caratterizzato da insufficiente limite di rivelabilità (all'incirca 0,5 mg/L).

3. *Il cromo nella legislazione relativa alle acque destinate ad uso civile*

Da quanto detto, sembrerebbe opportuno rivedere quanto riportato nella legislazione relativa alle acque destinate ad uso civile. A titolo esemplificativo, si prendano in considerazione i seguenti decreti:

- 1) D.L.vo 31/01 da Dir CEE 98/83 "acque destinate al consumo umano"
- 2) D.L.vo 152/99 da Dir CEE 91/271 "testo unico sulle acque".

La norma 1) all'Art. 15 - Termini per la messa in conformità - stabilisce:
La qualità delle acque destinate al consumo umano deve essere resa conforme ai valori di parametro dell'allegato I entro il 25 dicembre 2003, fatto salvo quanto disposto dalle note 2, 4 e 10 dell'allegato I, parte B.

- omissis -

ALLEGATO I -PARAMETRI E VALORI DI PARAMETRO

- omissis -

PARTE B - Parametri chimici

Parametro	Valore di parametro	Unità di misura	Note
Cromo	50	microg/l	

La norma stabilisce inoltre che il controllo del cromo non è obbligatorio nel controllo di routine.

La norma 2) al punto 4 MONITORAGGIO E CLASSIFICAZIONE: ACQUE SOTTERRANEE, ed in particolare al punto 4.2 INDICATORI DI QUALITÀ ED ANALISI DA EFFETTUARE, ed in particolare ancora al punto 4.2.1.2, Misure chimiche, stabilisce:

- omissis -

Le autorità competenti devono analizzare i parametri addizionali relativi a inquinanti specifici, individuati in funzione dell'uso del suolo, delle attività presenti sul territorio, in considerazione della vulnerabilità della risorsa e della tutela degli ecosistemi connessi oppure di particolari caratteristiche ambientali. Un lista di tali inquinanti con l'indicazione dei relativi valori di soglia è riportata nella seguente Tabella 3 (Tabella 21 nella legge).

Se la presenza di inquinanti inorganici in concentrazioni superiori a quelle di tabella 3 è di origine naturale verrà attribuita la classe 0 per la quale, di norma, non vengono previsti interventi di risanamento.

La presenza di inquinanti organici o inorganici con concentrazioni superiori a quelli del valore riportato nella tabella 3 determina la classificazione in classe 4:

- omissis -

(Classe 4 Impatto antropico rilevante con caratteristiche idrochimiche scadenti)

- omissis -

Tabella 3: Parametri addizionali			
Inquinanti inorganici	microg/L	Inquinanti organici	microg/L
Cromo tot.	≤50	Altri pesticidi individuali	0,1
Cromo VI	≤5		

- omissis -

Allo stesso tempo, nell'«ALLEGATO 2 - CRITERI PER LA CLASSIFICAZIONE DEI CORPI IDRICI A SPECIFICA DESTINAZIONE - SEZIONE A: CRITERI GENERALI E METODOLOGIE PER IL RILEVAMENTO DELLE CARATTERISTICHE QUALITATIVE E PER LA CLASSIFICAZIONE DELLE ACQUE SUPERFICIALI DESTINATE ALLA PRODUZIONE DI ACQUA POTABILE» la stessa norma stabilisce

- omissis -

1) Calcolo della conformità e classificazione

Per la classificazione delle acque in una delle categorie A1, A2, A3, di cui alla tabella 4 (tabella 1/A nella legge) i valori specificati per ciascuna categoria devono essere conformi nel 95% dei campioni ai valori limite specificati nelle colonne I e nel 90% ai valori limite specificati nelle colonne G, quando non sia indicato il corrispondente valore nella colonna I. Per il rimanente 5%-10% dei campioni che, secondo i casi, non sono conformi, i parametri non devono discostarsi in misura superiore al 50% dal valore dei parametri in questione, esclusi la temperatura, il pH, l'ossigeno disciolto ed i parametri microbiologici.

Tabella 4: Caratteristiche di qualità per acque superficiali destinate alla produzione di acqua potabile

Num. Progr.	Parametro	Unità di misura	A1 G	A1	A2 G	A2 I	A3 G	A3 I
21	Cromo totale	mg/LCr		0,05		0,05		0,05

Senza pretendere di essere esaustiva, l'analisi di questi D. L.vi si presta a qualche considerazione:

- un limite di 50 microg/L per il Cr(tot) può significare anche 50 microg/L di Cr(VI) + 0 microg/L di Cr(III);
- un limite legale dovrebbe quindi fissare sia la concentrazione del Cr(VI) che quella totale, oppure considerare che stabilire un limite valido per il cromo totale implica la possibilità che la misura ottenuta sia attribuibile al solo Cr(VI);
- un limite di 5 microg/L di Cr(VI) nelle acque di falda non è compatibile con quello di 50 microg/L di Cr(tot) e, quindi, potenzialmente di solo Cr(VI), nelle acque destinate ad uso civile: si ammette implicitamente la possibilità di inquinare l'acqua di falda durante il trasferimento alla rete;
- avendo stabilito un valore legale (a 5 microg/L? a 50 microg/L?) in base a motivazioni sanitarie e/o politiche, si verifichi la congruità con quanto stabilito nei diversi decreti;
- la determinazione del Cr(VI) nelle matrici di interesse in campo ambientale dovrebbe essere eseguita per mezzo di tecniche adeguatamente sensibili.

4. Cromo nelle biomasse ad uso fertilizzante

In un documento a parte è stata illustrata la posizione dell'U.S. EPA sui limiti in metalli pesanti per i "biosolidi" destinati all'agricoltura. L'EPA ha la responsabilità

nell'ambito del Clean Water Act (CWA) di regolamentare lo stoccaggio e l'utilizzazione in agricoltura dei fanghi di depurazione civile. I criteri seguiti dall'EPA sono assai importanti perché praticamente unici a livello mondiale ed anche perché utilizzati, sempre negli Stati Uniti, per estrapolazione, per tutti i fertilizzanti organici. Per una loro disamina si rinvia al documento sopra citato. E' utile esaminare la storia delle decisioni relative al cromo.

Nel corso degli anni che vanno dal 1980 al 1995 l'EPA ha condotto studi per definire i limiti accettabili del contenuto di cromo nei cosiddetti biosolidi (fanghi di depurazione delle acque urbane ed industriali ed altri rifiuti organici) per una loro proficua utilizzazione sul suolo. Anche per definire i limiti in cromo è stato utilizzato l'approccio di tipo ciclico, mediante il quale vengono studiate tutte le possibili vie, espresse da quattordici cicli biologici, che attraverso l'utilizzazione delle biomasse per la fertilizzazione del suolo possono condurre al trasferimento del metallo considerato agli organismi viventi attraverso lo stesso suolo, le colture, l'acqua o l'aria. E' così possibile individuare, per ciascun ciclo i soggetti ad alto rischio di esposizione, e quindi più vulnerabili, ed il ciclo più pericoloso, in base al quale viene fissato un valore soglia. La storia degli anni più recenti, relativamente al cromo, può essere così sintetizzata.

Nel 1989 l'EPA pubblicò una prima norma transitoria, a carattere sperimentale, che fissava un limite di 530 kg/ha di cromo da apportare al suolo con i biosolidi in un anno. Questo limite era stato stabilito in base alla fitotossicità dei sali di cromo(VI) addizionati al suolo in prove in vaso. Si ricorda che il cromo (VI) sotto forma di sale è molto più fitotossico del cromo (III) e che il cromo III contenuto nelle biomasse organiche è praticamente insolubile perché legato alla sostanza organica.

Già nel periodo in cui era in corso la sperimentazione immediatamente successiva alla emanazione della norma transitoria, una commissione di esperti, che comprendeva anche ricercatori della pubblica amministrazione ed era stata nominata ad hoc per valutare la ricaduta del provvedimento, segnalò all'EPA la sua inadeguatezza. Per fissare una soglia scientificamente valida era infatti indispensabile utilizzare risultati ottenuti in prove di campo con dosi agronomiche reali, cioè con dosi molto vicine a quelle che comunemente venivano utilizzate dagli agricoltori, oppure anche con dosi più elevate, calcolate però sulla base della quantità di carbonio organico che si stabilizza con umificazione. L'adozione di questo criterio fu essenziale in quanto molti fattori potevano avere concorso ad alterare le manifestazioni di tossicità del cromo nelle prove in vaso, ed in particolare la somministrazione al suolo di cromo in forma di sale solubile, visto che nelle prove di campo con il cromo legato alla sostanza organica non si era mai riscontrato alcun effetto negativo sulle produzioni. In base a queste considerazioni l'EPA ritirò la norma transitoria ed emanò nuove disposizioni che prevedevano le seguenti prescrizioni:

- 1) proibizione dell'uso di biosolidi con contenuto in cromo superiore a 3000 mg/kg ;
- 2) limitazione, nell'applicazione cumulativa di biosolidi nel tempo, dell'apporto complessivo di cromo al valore di 1200 kg/ha;
- 3) limitazione a 1200 mg/kg del contenuto in cromo in prodotti fertilizzanti ottenuti da biosolidi.

Il primo limite corrispondeva semplicemente al massimo livello utilizzato negli studi di pieno campo condotti fino al 1992, mentre il limite di 1200 mg/kg corrispondeva al valore in Cr del 99% delle biomasse organiche prodotte negli USA.

In seguito, l'esame dei dati sperimentali sulla formazione di cromo esavalente nei terreni trattati nel tempo con biosolidi o fanghi di conceria contenenti elevate dosi di cromo trivalente evidenziò che non si era mai avuta la registrazione né di lisciviazione di cromo(VI) nelle acque di falda, né valori superiori a quelli stabiliti negli USA per le acque potabili. Fu allora che venne proposto di cancellare dalla normativa le soglie fissate per il cromo.

Nel novembre del 1994 la Corte d'Appello di Washington decise di rimandare all'EPA il problema, per un maggior approfondimento. Nell'ottobre del 1995 dopo una accurata valutazione di tutti i dati disponibili, l'EPA concluse che si poteva cancellare ogni limite della concentrazione di cromo (cromo(VI) compreso!).

Dei 14 cicli abitualmente utilizzati dall'EPA per fissare le soglie dei metalli pesanti nei biosolidi, quelli più importanti per il cromo sono risultati il secondo, il terzo, il settimo, il decimo, l'undicesimo ed il quattordicesimo che vengono ricapitolati nella tabella 5 con i relativi dati sperimentali espressi in forma sintetica.

Infine non è inutile dedicare anche un accenno a come l'EPA abbia esteso questi stessi criteri ai fertilizzanti ed ammendanti organici.

I fertilizzanti organici ottenuti da residui di lavorazione delle concerie, ai quali appartengono le categorie del cuoio torrefatto, dei cuoiattoli e del cuoio idrolizzato, sono tradizionalmente utilizzati come fertilizzanti azotati e come matrici di concimi organo-minerali. Essi infatti contengono almeno il 5% (in genere il 10%) di azoto organico di natura proteica e si comportano come fertilizzanti a lenta cessione. Questi fertilizzanti contengono il 2-3% di Cr totale, sempre in forma trivalente. Un motivo di perplessità, sicuramente valido, sulla bontà dei risultati sperimentali disponibili per l'EPA era che in molti lavori in cui la concimazione veniva effettuata con cuoio si parlava di asportazioni di cromo da parte delle colture, ma non si dimostrava l'assoluta mancanza di contaminazione dei campioni vegetali con il terreno su cui era stata allevata la coltura stessa. Fu possibile interpretare tali dati osservando che se il quantitativo di terreno presente nel campione vegetale era basso, basso era anche il quantitativo di cromo che veniva rilevato

come asportato dalla coltura, mentre, laddove le asportazioni riscontrate venivano ritenute alte, si era avuto un alto grado di contaminazione del campione vegetale con il suolo. Questa constatazione portò ad eliminare le perplessità sulla pericolosità dei concimi a base di cuoio (vedi anche tabella 5, ciclo 2).

Per il caso del cromo nei fertilizzanti forse non è inopportuno ricordare che proprio in Italia, nel 1996 si è tenuto presso il Centro Congressi "I Cappuccini" di San Miniato, un Workshop dal titolo "Chromium Environmental Issues" organizzato dall'Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante sotto l'egida dell'Unione Europea. Esso potrebbe restare un punto di riferimento per molti anni per tutti coloro che hanno interessi di ricerca, di sperimentazione o di natura applicata sui problemi del cromo nell'ambiente.

Mai come a San Miniato, infatti, un convegno ha affrontato temi tanto interdisciplinari. Se è vero che l'obiettivo principale dell'iniziativa era quello di discutere l'eventuale necessità di porre limiti specifici al contenuto di cromo nei fertilizzanti, la partecipazione di competenze disciplinari molto qualificate ed estremamente varie ha consentito di affrontare i temi nell'ottica più ampia possibile. Vale la pena di sottolineare che una volta tanto si è potuto discutere anche dell'importanza del cromo nell'alimentazione umana e animale, spesso dimenticate. Benché infatti del cromo si paventi solitamente solo la tossicità, si tratta di un elemento essenziale per l'uomo e per gli animali, e non solo questo fatto viene spesso trascurato, ma si è appreso che il contenuto di cromo nella dieta alimentare viene ritenuto di norma inadeguato.

Nel Convegno, P.C. Brookes, dell'Experimental Station di Rothamsted (Gran Bretagna) ha discusso il ruolo dei microrganismi nel monitoraggio dell'inquinamento del suolo da cromo; A. Prüss di Karlsruhe (Germania) la mobilità del cromo e di altri elementi nel suolo; J. Barcelò dell'Università di Barcellona l'effetto del cromo sulle piante; mentre F. Santoprete dell'Università di Pisa il contenuto di cromo nei prodotti alimentari e le quantità assunte con la dieta, dimostrando fra l'altro che essa è ampiamente deficitaria (pari, in Italia, a circa il 50% del fabbisogno). V. Ducros dell'Università di Grenoble (Francia) ha sviluppato il tema del metabolismo del cromo nella dieta umana e G. Piva dell'Università del Sacro Cuore di Piacenza, in collaborazione con A. Mordenti dell'Università di Bologna, in quella animale. C. Ciavatta, sempre dell'Università di Bologna, ha tenuto una relazione sui processi di produzione di concimi a base di cuoio e S. Silva dell'Università di Piacenza ha trattato gli aspetti agronomici della concimazione dei suoli con cuoio idrolizzato.

Il contributo italiano alle conoscenze scientifiche sul cromo ha sorpreso tutti i partecipanti stranieri per la sua completezza e poderosità (ci si consenta di usare questo termine). Il lavoro italiano sul comportamento del cromo nel terreno e nei fertilizzanti, in esperienze di pieno campo, non ha riscontro con quello effettuato in

nessun'altra nazione europea. Solo negli Stati Uniti si può registrare una mole di lavoro di tali dimensioni. Purtroppo la differenza sostanziale con il nostro Paese è che negli USA i risultati della ricerca e sperimentazione scientifica sono tenuti in maggior considerazione a livello politico ed utilizzati prontamente per redigere le leggi a tutela dell'ambiente.

Due erano gli scienziati americani invitati a parlare al Convegno. Il primo di essi, Richmond Bartlett, è noto non solo agli specialisti del cromo, ma anche a chi si occupa in Italia di fanghi e di rifiuti in genere. Il decreto legislativo n. 99 del 1992 che norma l'applicazione dei fanghi in agricoltura, per esempio, stabilisce che non esiste alcun limite di cromo nei fanghi usati come ammendanti, dato che a livello europeo non si è ancora trovato alcun accordo per la definizione di una specifica soglia. Cautelativamente, tuttavia, impone che non possano essere applicati fanghi sui terreni che manifestano un potere ossidante nei confronti del cromo in misura superiore ad una certa soglia prefissata. Tale limite non deve essere superato utilizzando il test di Bartlett. Nell'intervento al Convegno il Prof. Bartlett ha esposto la sua opinione sull'evoluzione del pensiero scientifico sull'ossidazione del cromo nel terreno e le conclusioni a cui è giunto sembrano alquanto tranquillizzanti.

Il secondo scienziato, Rufus Chaney, ha dato un contributo in un certo senso ancora più interessante, spiegando nel dettaglio ai partecipanti l'evoluzione della posizione che sul cromo ha assunto l'EPA e tutta la cronistoria precedentemente riassunta. Tra gli studi riferiti da Rufus Chaney meritano di essere menzionati quelli condotti, e non solo dall'EPA, sulle barriere di trasferimento dal suolo alla pianta e quindi alla catena alimentare di alcuni elementi indesiderati: essi hanno portato alle conclusioni riportate nella tabella 5. In sostanza il cromo non comporta rischi per la catena alimentare in quanto viene asportato dalle colture in bassissime concentrazioni.

Piaccia o non piaccia, i criteri utilizzati dall'EPA sono gli unici stabiliti in modo tanto coordinato e articolato. Gli unici a livello mondiale! Purtroppo né i legislatori italiani e neppure quelli europei hanno voluto seguire la stessa strada dell'EPA. Vale davvero la pena che un gruppo di lavoro costituito da esperti lavori su basi scientifiche per prendere in esame il problema.

Tabella 5: I cicli EPA più importanti per la valutazione di rischio relativo al cromo

Ciclo 2

Stima dei limiti di Cr tollerabili in biosolidi destinati ai giardini ed orti familiari.

Il Cr(III) non è presente in quantità apprezzabili nelle piante anche se cresciute in suoli con livelli molto alti di Cr(III); eventualmente si tratta di cromo contenuto nel terreno che contamina il tessuto della pianta. Il cromo ingerito con gli alimenti è sempre una quantità inferiore alla quantità di cromo presumibilmente ingerito secondo il Ciclo 3.

Ciclo 3

Stima dei limiti di Cr(III) in terreni potenzialmente ingeriti dai bambini

Sono particolarmente esposti i bambini piccoli (1-6 anni). Le condizioni di contaminazione standard sono le seguenti:

- suolo ingerito mettendo le mani in bocca;
- bambini di circa 18 mesi;
- i bambini possono arrivare ad ingerire al giorno 200 mg di suolo contenente Cr arrivando così ad assumere 1 mg/giorno di Cr (III) per kg di peso

$$\frac{16 \text{ mg Cr(III) solubile}}{0,2 \text{ g di suolo}} = \frac{80.000 \text{ mg}}{\text{kg suolo}}$$

La biodisponibilità del cromo ingerito col terreno dovrà comunque essere elemento di ulteriori studi in quanto essa potrà contribuire a rivedere il limite in cromo nei biosolidi e rialzare ulteriormente il limite dei biosolidi.

Ciclo 7

Potenziali effetti del Cr sugli animali domestici che ingeriscono con l'alimentazione terreno mescolato a biosolidi

Gli animali domestici sono altamente esposti poiché assumono biosolidi dai suoli ammendati in superficie o biosolidi che aderiscono alla superficie del loro mangime.

L'assunzione media in un anno di biosolidi dai suoli ammendati in superficie può arrivare all'1.5% della dieta giornaliera, secondo studi effettuati durante l'intera stagione di pascolamento.

Poiché il cromo nei biosolidi è Cr(III) precipitato, esso ha bassa biodisponibilità e quindi è rapidamente escreto nelle feci degli animali domestici.

Il National Research Council (1980) ha stimato il massimo livello di ossido di cromo nella dieta che può venire cronicamente tollerato dagli animali domestici. Pertanto da questo valore è possibile stimare il livello massimo in cromo per Kg di biosolido da somministrare come ammendante al terreno.

$$\frac{3000 \text{ mg Cr(III)}}{\text{kg dieta}} \times \frac{1 \text{ kg dieta}}{0.015 \text{ kg biosolidi}} = \frac{200.000 \text{ mg Cr (III)}}{\text{kg biosolidi}}$$

Questo ciclo non è preoccupante, perché si dà per scontato che il contenuto medio di Cr(III) nei biosolidi non possa raggiungere il 20%.

segue

Ciclo 10

Stima dei limiti di Cr per salvaguardare l'ambiente naturale

Altamente esposti: talpe e toporagni.
1/3 della loro dieta annuale è costituita dai lombrichi che possono aver ingerito anche il 45% di terreno.
I toporagni sono in grado di vivere tutta la loro vita in un campo ammendato con biosolidi.
I ratti sopportano cronicamente il 5% di cromo come Cr(OH)3.

$$\frac{50.000 \text{ mg Cr(III)}}{\text{kg dieta}} \times \frac{3 \text{ kg dieta}}{1 \text{ kg lombrico}} = \frac{1 \text{ kg lombrichi}}{0.45 \text{ kg suolo}} = \frac{330.000 \text{ mg}}{\text{kg suolo}}$$

Ciclo 11

Stima dei limiti di Cr in funzione dell'esposizione alla polvere da parte dei lavoratori agricoli

Individui altamente esposti sono gli agricoltori che in condizioni di siccità possono inalare polvere durante le lavorazioni del terreno.
I limiti di Cr nell'aria stabiliti negli USA riguardo all'esposizione sono stati confrontati ai limiti USA per le polveri totali nell'aria.
Se si divide il limite di Cr(III)/m³ per il valore limite delle polveri per m³, si può stimare il limite massimo della concentrazione di Cr che può essere consentita nelle polveri.

$$\frac{0.5 \text{ mg Cr(III)}}{\text{m}^3} \times \frac{\text{m}^3}{10 \text{ mg polvere}} = \frac{50.000 \text{ mg Cr}}{\text{kg polvere}}$$

Su questo valore poi l'EPA ha calcolato la quantità limite di Cr nei biosolidi secchi in 100.000 mg/kg.

Ciclo 14:

Stima dei limiti di Cr in funzione dell'uso dell'acqua di falda come acqua potabile

Si presume che gli individui altamente esposti bevano per tutto l'arco della propria vita acqua di falda che potrebbe essere contaminata da Cr proveniente dalla lisciviazione dei biosolidi incorporati nei terreni agrari.
Questo limite di Cr è stato stimato in base ai coefficienti di distribuzione. Se si conoscono le concentrazioni del metallo totale in un suolo e il coefficiente di distribuzione fra il suolo e l'acqua, si può valutare la concentrazione nell'acqua.
Il lisciviato non dovrebbe eccedere il limite USA di contaminazione nell'acqua potabile che è per il Cr di 100 microgrammi per litro.
Senza scendere nel dettaglio, questo limite è di 12000 kg Cr/ha.
Per un'applicazione di 1000 t/ha di biosolidi, il biosolido dovrebbe contenere 12000 mg Cr/Kg

CASO DI STUDIO 3: L'inquinamento atmosferico da anidride carbonica

Uno dei problemi che i responsabili della politica mondiale si trovano ad affrontare sembra essere quello del riscaldamento del pianeta, provocato, presumibilmente, da un'accresciuta emissione in atmosfera di gas-serra di origine antropi-

ca. Secondo alcuni l'effetto serra non origina i problemi climatici potenzialmente irreversibili paventati da altri. E' vero che la concentrazione nell'atmosfera di CO₂, (anidride carbonica) è cresciuta sensibilmente nell'ultimo secolo, ma secondo questi esperti la crescita rientrerebbe nell'ambito di variazioni cicliche che si verificano nel lungo termine (500-1000 anni). Il gruppo di lavoro non intende entrare nel merito della questione, ma solo discutere la validità scientifica degli approcci seguiti per la soluzione del presunto problema.

E' concordemente accettato che il gas che viene ritenuto responsabile in maggior misura dell'effetto serra è l'anidride carbonica e il protocollo di Kyoto è un accordo internazionale inteso a limitare la produzione di questo gas.

Per attuare il protocollo di Kyoto tutti i paesi del mondo, con l'eccezione di pochi, si sono impegnati a ridurre le emissioni di CO₂. L'Italia si è impegnata a ridurle del 6.5% nei prossimi dieci anni, un impegno riaffermato recentemente a Marrakech, e sono allo studio molti provvedimenti a questo scopo per il futuro. E' bene che ogni investimento messo in programma vada considerato con attenzione: molto spesso le premesse teoriche non reggono ad un esame obiettivo, soprattutto quando si tratta di finanziare la costruzione e l'esercizio di impianti di combustione di materiali organici non fossili, che si chiede di privilegiare rispetto ad altri perché non alimentati con petrolio, gas naturale, carbone ed altre risorse non rinnovabili.

1. *Le risorse rinnovabili disponibili per la combustione*

Di risorse non rinnovabili gabbellate come rinnovabili e che dovrebbero perciò contribuire a ridurre l'effetto serra c'è un'ampia casistica. Per esempio, dare "certificati verdi" come è stato fatto negli ultimi due-tre anni a chi brucia i residui solidi urbani, non in base al riconoscimento che la termodistruzione può effettivamente essere, in certi casi, una buona via di smaltimento, ma in base all'assunzione che tali rifiuti sono risorse rinnovabili, è una scelta politica che non ha alcun fondamento scientifico. La componente organica dei rifiuti solidi urbani per una buona metà - quando va bene - è costituita da derivati del petrolio, ossia da risorse non rinnovabili: plastiche, fibre tessili, e così via. Si tratta in altre parole di una sovvenzione data, perché risparmia petrolio, a chi brucia derivati del petrolio magari anche a scapito di un rendimento energetico ragionevole e con la produzione di residui e di emissioni di pessima qualità. Ma dobbiamo aggiungere che non si tratta di un vizio nazionale, perché anche a livello europeo si sono fatte scelte di questo tipo, e fra le risorse gabbellate per rinnovabili e sostenute a spada tratta per l'inserimento nelle liste di quelle finanziabili con contributi ad hoc dai paesi del nord c'è perfino la torba.

Un cenno a parte meritano le coltivazioni energetiche. La bioenergia ricavata tra-

mite colture mirate alla fornitura di biomasse per usi energetici o comunque per la produzione di biodiesel o bioetanolo è da prendere in considerazione con la massima attenzione in quanto mira a ridurre teoricamente l'uso di risorse non rinnovabili e a limitare la crescita della concentrazione di CO₂ nell'atmosfera, oltre che a contrastare altri fenomeni negativi contingenti, come la crisi dell'alcol. Bisogna tuttavia valutare aspetti negativi e positivi che possono vanificare provvedimenti normativi intesi a favorire l'uso delle colture energetiche.

Gli aspetti negativi sono quelli che riguardano, soprattutto nell'agricoltura industrializzata, i consumi energetici necessari per la produzione di una coltura mirata. Questi consumi comprendono i vari mezzi tecnici utilizzati nell'ordinamento colturale, dai fertilizzanti agli antiparassitari e erbicidi, all'irrigazione, alle diverse operazioni meccaniche per la lavorazione del terreno, per le cure colturali, per la raccolta ed il trasporto dei prodotti e così via. I consumi possono essere espressi in termini energetici o, se si vuole, direttamente in volumi di petrolio. E' provato che in molti casi essi possono superare l'energia prodotta dalla coltura ed in quel caso la sovvenzione di una coltura energetica appare davvero un controsenso. A questo aspetto si aggiungono altre e spesso più importanti considerazioni sulle quali si tornerà più oltre.

2. *Il suolo ed il bilancio del carbonio in natura*

Gli aspetti positivi per qualche verso possono essere ancora più sorprendenti e sono indipendenti dalla produzione di colture mirate: si riferiscono allo sfruttamento della capacità di incorporazione di carbonio da parte del suolo. Molto spesso si pensa in questo senso solo alle concimazioni organiche che, pur essendo ovviamente utili nel bilancio generale, possono costituire solo una voce minore del bilancio. Si tratta di un peccato originale del protocollo di Kyoto. La tessera perduta nel mosaico dei buoni propositi enunciati a Kyoto è quella del ruolo del suolo nel bilancio globale del carbonio. Il suolo rappresenta, infatti, il maggiore serbatoio terrestre di C organico dopo i giacimenti fossili. Stime riportate in letteratura attribuiscono al suolo un contenuto di 1550 pg di C, rispetto ai 4000 pg dei combustibili fossili, ai 700 pg presenti nell'atmosfera ed ai 600 pg stimati per gli organismi vegetali terrestri.

Dimenticandosi del suolo, a Kyoto, non ci si è dimenticati di poco. Sì, perché con l'abbandono delle attività rurali convenzionali, con le lavorazioni spinte del terreno e con il continuo boicottaggio dell'impiego di fertilizzanti organici e delle biomasse in agricoltura, la sostanza organica del terreno continua a calare ovunque. Non vogliamo affrontare qui i problemi derivanti dalla diminuzione del tenore di sostanza organica del terreno: è un circolo vizioso, perché meno sostanza organica significa anche una minore capacità di ritenzione idrica ed un maggior sfor-

zo per lavorare i terreni (maggiore richiesta di energia, maggior consumo di carburante), e così via. E' conveniente fare due conti.

Se un ha è composto da 5×10^6 kg di suolo, se la SAU (superficie agricola utilizzata) in Italia corrisponde a 15×10^6 ha, la diminuzione di un semplice 0.1% di C nel suolo (corrispondente a 5×10^3 kg di C, ossia 1.83×10^4 kg di CO_2 emessa per ettaro) equivale, a livello dei soli suoli agricoli nazionali, a 2.75×10^{11} kg di CO_2 . Se è vero pertanto che le emissioni annue totali di CO_2 provocate dalla combustione dei fossili in Italia ammontano (dati 1998) a 460mila Gg e dovrebbero essere ridotte di un 6,5%, tenendo conto degli ultimi accordi intervenuti a Marrakech, ossia di 30mila Gg non si è considerato che la riduzione ulteriore o l'incremento programmato di un solo 0.1% di C organico nei suoli italiani contribuirebbe intanto ad una emissione o ad una sottrazione di CO_2 dall'atmosfera, a tutt'oggi non debitamente considerata, di 275mila Gg poco più, poco meno. C'è abbastanza per riconsiderare il ruolo delle attività rurali sostenibili in questo settore? Indubbiamente lo sforzo per calcolare il preciso contributo di una pratica rurale all'incorporazione del carbonio nel suolo richiede ancora un affinamento, ma si può affermare che vale certamente la pena di tendere ad una sua valutazione sperimentale.

3. *Il biodiesel, esempio d'intervento statale sbagliato: il ruolo dell'informazione*

Negli ultimi mesi ha avuto ampia risonanza nei mezzi di comunicazione la trasformazione di trigliceridi d'origine vegetale in carburanti per motori diesel.^{1a} Vale la pena di riportare qualche brano della lettera di protesta che i professori Enzo Fedeli e Alberto Girelli, già direttori della stazione sperimentale per i combustibili (S. Donato Milanese) scrissero il 16 febbraio 2001 al direttore del *Corriere della Sera* e che non è mai stata pubblicata.

"Il processo di trasformazione dei trigliceridi in esteri del metanolo [...] comporta - scrivevano Fedeli e Girelli - una serie di operazioni fisiche e chimiche sulla sostanza grassa [...] che si concludono con due correnti: gli esteri del metanolo e la glicerina con impurezze varie. Le due correnti devono essere trattate in quanto inquinate. Una volta risolto il problema dei sottoprodotti [...] e formulato opportunamente il combustibile, questo [...], accanto a qualità pregevoli, quali l'assenza di zolfo, l'alto potere lubrificante, il comportamento a bassa temperatura, ne

^{1a}) Tra gli episodi recenti si segnala, oltre che un numero della trasmissione Report (RAI TRE), un servizio nel corso del TG 5 delle 13 di domenica 28 ottobre 2001, con la notizia del primo distributore di biodiesel aperto in Italia (in Umbria) e stralci di un'intervista all'ingegner Pietro Silva dell'Estereco, un'azienda italiana produttrice di biodiesel, con sede a Umbertide (PG). Più volte, nel corso del servizio, s'insisteva sulla convenienza economica per l'acquirente.

ha di meno positive, quali il potere calorifico minore del gasolio [9200 kcal/g - contro 10250 kcal/g;³ il professor Lucchesi sul Corriere]^{1b} sosteneva invece un'equivalenza sotto quest'aspetto; n.d.r.] e il fatto di produrre emissioni non tanto accettabili quanto parrebbe dal [...] servizio del Corriere. Infatti "l'odore della combustione simile a quello delle patate fritte" (così nel servizio) [...] è fatto di molecole [...], tra le quali spiccano la formaldeide e l'acroleina".

Fedeli e Girelli criticavano poi due affermazioni contenute in quella pagina del Corriere:^{1b}

"La prima riguarda il prezzo, che non è affatto inferiore a quello del gasolio, tenuto conto che su quest'ultimo grava un'imposta di fabbricazione dalla quale il biodiesel è (per ora) esente. Il costo industriale dell'olio di colza è circa 1200 £ al kg, quello del gasolio (prima dell'imposta) è ovviamente legato a quello del petrolio grezzo, ma non è mai salito oltre la metà di quello del biodiesel. Ciò senza rilevare che, comunque, anche il costo di quest'ultimo risente del costo generale dell'energia, in gran parte legato a quello del petrolio. La seconda affermazione riguarda il bilancio della CO₂, esposto [sul Corriere]^{1b} n.d.r.] in modo ingannevole. Tutte le pratiche — agronomiche e industriali — per ottenere il biodiesel finiscono richiedono apporti di energia, quindi il bilancio della CO₂ non può essere positivo e neppure in pareggio".

Un interessante riassunto "visivo" delle numerose e complesse pratiche suddette si trova in due figure pubblicate l'estate scorsa dal periodico dell'ordine interprovinciale dei chimici lombardi, a corredo d'un articolo pieno di critiche al biodiesel.² Nell'introduzione si legge:

"La possibilità di ottenere combustibili diesel da sostanze grasse è stata ripetutamente tentata, con risultati costantemente negativi nel loro complesso tecnico-economico. Le reclamizzate emissioni dei motori alimentati con biodiesel sono sì meno inquinanti di quelle del gasolio in quanto prive di SO₂, ma sono circa altrettanto inquinanti per CO e NO_x e più inquinanti per formaldeide e acroleina".

L'articolo conclude così: «La destinazione di coltivazioni di piante oleaginose a scopo energetico (il cosiddetto *fuel harvesting*) urta contro l'esigenza di estensioni enormi di terreno fertile, che verrebbe sottratto alla sua logica e sostenibile destinazione: l'alimentazione umana e l'allevamento del bestiame».

In poche parole, il biodiesel non è amico dell'ambiente.

^{1b}) Articolo e riquadro nelle pagine "Scienza" del Corriere della Sera dell'11 febbraio 2001 (pagina 31, con "strillo" in prima pagina). Protagonisti ancora la società Estereco e l'ingegner Silva, col sostegno del professor Aldo Lucchesi del dipartimento d'ingegneria chimica dell'università di Pisa.

² *La voce del chimico*, 2001 (4), pagg. 10-12.

La questione è approfondita in un recente lavoro italiano basato su ampi studi sperimentali.³ Per raggiungere l'obiettivo di sostituire con biodiesel il 5 % del gasolio impiegato in Italia, bisognerebbe coltivare a colza una superficie pari — tanto per fare un paragone — al 73% di quella dedicata all'olivicoltura. Alla fine del processo ci sarebbero da smaltire ogni anno 4300 tonnellate d'idrocarburi usati per l'estrazione dell'olio vegetale.

L'osservazione sull'uso dei suoli agricoli trova un'interessante consonanza nell'intervento di David Pimentel dell'università americana Cornell.⁴ A proposito della produzione d'etanolo da miscelarsi negli Stati Uniti alle benzine verdi in base al Clean Air Act, egli s'è dichiarato contrario a coltivare apposta il granturco. A parte l'erosione del suolo e l'impoverimento delle falde acquifere, produrre etanolo per quella via consuma, fra coltivazione, distillazione del liquido fermentato e altri trattamenti, il settanta per cento in più dell'energia che poi viene sviluppata dal prodotto nei motori.

Fra gli articoli di rapida lettura, si segnala infine quello che un esperto dell'A.N.P.A. pubblicò un anno fa:⁵ nel poco spazio vi si trovano ben individuati molti dei problemi a cui si è accennato. Sebbene nelle sue conclusioni quest'ultimo autore sia meno drastico degli altri, dall'insieme delle opinioni esaminate si può concludere che lo Stato farebbe meglio a riservare benefici fiscali alla produzione di biodiesel da soli scarti agricoli, qualora studi approfonditi dimostrassero la convenienza di quella strategia per il loro smaltimento. Allo stato attuale delle conoscenze, i benefici fiscali al biodiesel derivante da coltivazioni *ad hoc* sono da ritenersi un ossequio ingiustificato ad una ideologia preconstituita: insomma, una sorta di turbativa del mercato dei carburanti e uno spreco di denaro pubblico, che potrebbe invece essere impiegato per una più seria difesa dell'ambiente.

³ E. Fedeli, A. Girelli, *La Chimica e l'Industria*, 2001 (6), pagg. 45-50.

⁴ J. K. Borchardt, *The Alchemist*, 13.8.2001

(<http://www.chemweb.com/alchem/articles/996760316096.html>).

⁵ Lorenzo Ciccarese, *La Stampa*, inserto *TuttoScienze*, 8 novembre 2000.