



ARPAV – DAP TV – Servizio Osservatorio Suolo e Rifiuti –
Osservatorio Regionale per il Compostaggio

PROBLEMATICHE RELATIVE AD ALCUNI INQUINANTI ORGANICI NEL COMPARTO SUOLO

1. Introduzione

Il presente documento è stato predisposto a seguito della nota trasmessa dalla Provincia di Verona, che richiedeva un approfondimento “dei parametri e dei limiti da applicare in materia di impianti di compostaggio, integrativi rispetto alle norme vigenti e relativi alla presenza di diossine, idrocarburi, toluene e furani, al fine di garantire la tutela dell’ambiente e della salute dei cittadini”.

A tal proposito si rileva che l’ammendante compostato misto è il prodotto ottenuto dai processi di compostaggio ed è normato dal D. Lgs. 217/06 che regola la produzione e commercializzazione dei fertilizzanti a livello nazionale. Gli aggiornamenti e le modifiche di tale norma sono proposti dall’apposita Commissione tecnico consultiva per i fertilizzanti costituita in seno al Ministero per le Politiche Agricole, come previsto dall’art. 9 del citato decreto. Si deduce pertanto che la competenza ad apportare modifiche o integrazioni a tale norma non sarebbe né regionale né provinciale. .

Nel presente documento è stata approfondita la tematica relativa alla eventuale fissazione di limiti per i parametri specifici individuati dalla Provincia di Verona, tuttavia, dato che la scelta degli indicatori di contaminazione dell’ambiente viene effettuata dalla Comunità Scientifica sulla base di analisi di rischio, specifici studi sulle caratteristiche tossicologiche e sulle dinamiche ambientali dei diversi contaminanti, si ritiene opportuno fare riferimento ai parametri e relativi valori guida già riconosciuti e proposti a livello nazionale ed internazionale dai competenti Enti in materia.

In tal senso a livello regionale la normativa sull’utilizzo dei fanghi di depurazione in agricoltura (DGRV 2241/05) ha introdotto l’obbligo di effettuare controlli almeno semestrali per i parametri riconosciuti più significativi tra i microinquinanti organici, ossia diossine e furani (PCDD/F), idrocarburi policiclici aromatici (IPA) e policlorobifenili (PCB), pur non introducendo dei valori limite di riferimento.

ARPAV – DAP TV – Servizio Osservatorio Suolo e Rifiuti –
Osservatorio Regionale per il Compostaggio

Pertanto, in risposta a quanto richiesto dalla Provincia di Verona, visto che è riconosciuto dalla Comunità Scientifica che la qualità del compost è direttamente legata alla qualità dei materiali utilizzati per la sua produzione, si ritiene opportuno individuare dei valori guida per i parametri della DGRV 2241/05 sopra riportati che saranno poi da sottoporre a controllo nei fanghi di depurazione sia prima dell'utilizzo in agricoltura, sia in ingresso agli impianti di compostaggio.

2. Contaminanti del comparto suolo

Le due principali categorie di inquinanti del suolo sono costituiti dai metalli pesanti (PTEs: Potential Toxic Elements - elementi potenzialmente tossici), quali ad esempio Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn e dai microinquinanti organici (POPs: Persistent Organic Pollutants), quali ad esempio IPA, PCB, PCDD/F.

I metalli pesanti sono naturalmente presenti nella geosfera quali costituenti dei minerali, tuttavia le attività antropiche determinano il loro incremento e la diffusione nell'ambiente. I metalli pesanti subiscono dinamiche complesse nel comparto ambientale suolo e sono soggetti a diverse reazioni sia di tipo biotico che abiotico (vedi fig. 1).

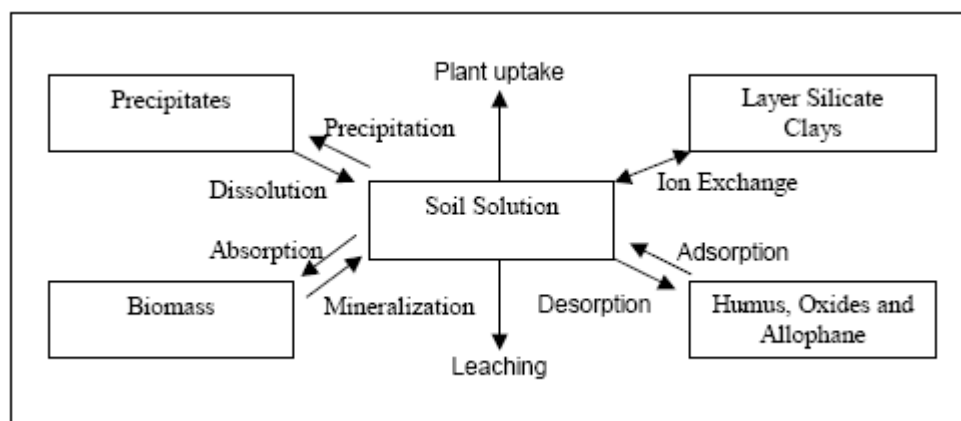


Fig. 1 Dinamica dei metalli pesanti nel suolo [1].

Diverse specie vegetali hanno la proprietà di accumulare metalli pesanti (per. es. le piante di lattuga, spinaci e tabacco) e questo comporta il possibile trasporto di questi inquinanti nella catena trofica determinando un potenziale pericolo per gli esseri umani.

ARPAV – DAP TV – Servizio Osservatorio Suolo e Rifiuti –
Osservatorio Regionale per il Compostaggio

I microinquinanti organici persistenti sono costituiti da diversi gruppi di composti che hanno proprietà chimico-fisiche e caratteristiche tossicologiche diverse tra loro, ma che hanno in comune una scarsa attitudine alla degradazione nell'ambiente e la tendenza a dare luogo a fenomeni di accumulo negli organismi viventi.

Elenchiamo di seguito i principali gruppi di microinquinanti organici considerati tra i più pericolosi e maggiormente studiati:

- PCB (policlorobifenili),
- PCDD/F (policlorodibenzo - diossine e furani)
- IPA (idrocarburi policiclici aromatici)
- Pesticidi clorurati e AOX (alogeni organici assorbibili)
- LAS (tensioattivi anionici lineari: alchilbenzen solfonati lineari)
- NPE (nonilfenoli)
- DEHP, BBP, DBP (ftalati: 2-etilesil ftalato, butilbenzilftalato, dibutilftalato).

La presenza di microinquinanti organici nelle piante (in particolare per le sostanze idrofobiche quali PCB, PCDD/F e IPA) deriva prevalentemente dalla deposizione atmosferica (vedi fig. 2) piuttosto che da fenomeni di assorbimento da suoli contaminati [1].

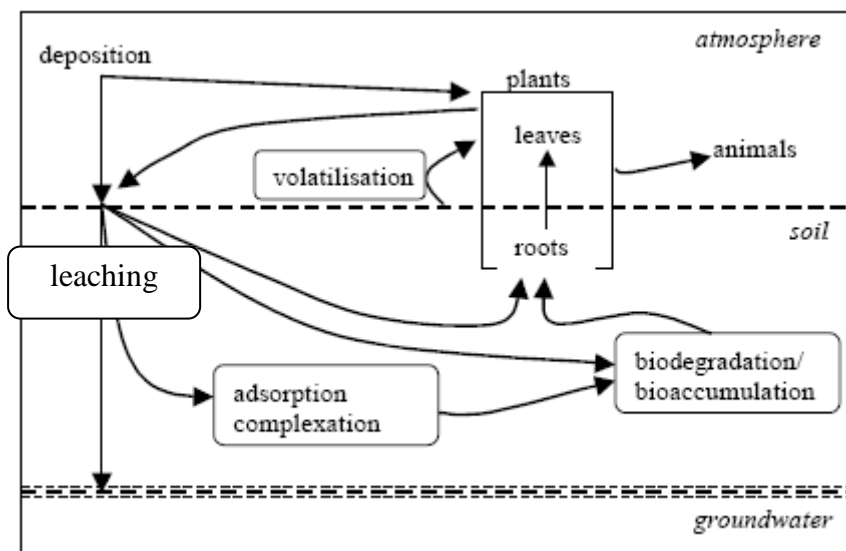


Fig. 2 Dinamica dei microinquinanti organici nel suolo [1].

Il principale destino di questi composti consiste nella mineralizzazione o trasformazione parziale in funzione delle caratteristiche del terreno, quali ad esempio la percentuale di sostanza

ARPAV – DAP TV – Servizio Osservatorio Suolo e Rifiuti –
Osservatorio Regionale per il Compostaggio

organica, la porosità e la disponibilità d'acqua. Il potenziale assorbimento sulla superficie delle foglie, delle radici o dei tuberi dipende dal contenuto di sostanze lipofile in questi organi vegetali. (oltre che dalle intrinseche caratteristiche chimico-fisiche di ciascuna sostanza).

3. Diossine e furani (PCDD/F).

3.1. Genesi e recettori ambientali

E' risaputo che la genesi delle diossine e dei furani (PCDD/F) è legata ad una serie di processi chimici e/o di combustione (*sorgenti primarie*) in presenza degli opportuni precursori (molecole organiche e composti clorurati in determinate condizioni di temperatura). Una volta immesse nell'ambiente, le diossine sono soggette a vari destini e danno origine a processi di accumulo in alcuni comparti/matrici ambientali (suoli e sedimenti) e di bioaccumulo in specifici prodotti ed organismi, diventando così "*sorgenti secondarie*" di inquinamento [2]. Le diossine, una volta prodotte vengono immesse in atmosfera e possono depositarsi sul suolo e venire così a contatto col comparto biotico.

Le proprietà chimico fisiche delle diossine rendono questi composti biodegradabili molto lentamente e persistenti a lungo nell'ambiente [2]. La comunità scientifica conviene nel ritenere questi inquinanti *ubiquitari* ossia presenti diffusamente nelle diverse matrici ambientali.

I valori di fondo di PCDD/F nei diversi comparti ambientali, individuati dall'EPA e relativi al Nord America sono riportati nella tabella seguente [2].

Tab. 1. Valori di fondo di diossine e furani nei diversi comparti ambientali [2].

Matrice ambientale	u.m.	Valore medio	Range
Suolo urbano	ppt (ng I-TE/kg)	9.3	2-21
Suolo rurale	ppt (ng I-TE/kg)	2.7	0.1-6
Sedimenti	ppt (ng I-TE/kg)	5.3	<1 – 20
Aria urbana	pg I-TE/m ³	0.12	0.03 – 0.2
Aria rurale	pg I-TE/m ³	0.013	0.004 – 0.02
Acqua	ppq (pg I-TE/kg)	0.00056	-

ARPAV – DAP TV – Servizio Osservatorio Suolo e Rifiuti –
Osservatorio Regionale per il Compostaggio

A tal proposito si rammenta che i valori riscontrati sui terreni di alcuni comuni della Regione Veneto sono risultati per la maggior parte con concentrazione di PCDD/F dell'ordine di grandezza di 1 ng TE/kg [3;4].

3.2 Dinamiche nel suolo

Le dinamiche ambientali delle diossine nel comparto suolo prevedono i seguenti processi: adsorbimento alla sostanza organica (visto l'elevato valore della costante ottanolo-acqua K_w), volatilizzazione, fotolisi e biodegradazione, stimolata dalla presenza di sostanza organica che favorisce lo sviluppo della flora microbica [1]). Il tempo di dimezzamento ($t_{1/2}$) di PCDD/F nel suolo è variabile in quanto i diversi congeneri hanno proprietà chimico fisiche differenti ed è compreso tra 9 e 15 anni [1;5].

Le principali sorgenti di apporto al suolo di questi microinquinanti organici sono il deposito atmosferico e l'utilizzo di fanghi di depurazione, di concimi chimici e ammendanti.

L'apporto da parte dell'atmosfera deriva da meccanismi di deposizione secca (attraverso la precipitazione del particolato atmosferico) o umida (attraverso le precipitazioni). La determinazione dell'apporto atmosferico risulta non del tutto approfondita in letteratura e una valutazione del rateo specifico per una determinata zona geografica non è ancora stato elaborato in maniera esaustiva¹.

La normativa in materia di fanghi e quella relativa alla produzione e commercializzazione di concimi e ammendanti non prevede limiti di riferimento per questi composti.

4. Idrocarburi

4.1. Definizione e caratteristiche chimico fisiche degli Idrocarburi

¹ In letteratura viene proposto come rateo di *deposizione secca* da fall out atmosferico in Svizzera un valore stimato in $29 \mu\text{g ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ [6]. Il lavoro originale del 1997, da cui è stato calcolato tale valore, stima che la *deposizione umida* sia la metà della deposizione totale (secca + umida) e propone per l'anno 1990 una deposizione atmosferica totale in Svizzera di 240 g I-TE/anno [7].

ARPAV – DAP TV – Servizio Osservatorio Suolo e Rifiuti –
Osservatorio Regionale per il Compostaggio

Il termine idrocarburi indica genericamente i composti organici costituiti da atomi di carbonio e idrogeno [14]. Attualmente sono stati classificati oltre 130.000 tipologie di idrocarburi.

Dal punto di vista chimico-fisico possono essere distinti diversi gruppi di idrocarburi. La principale classificazione li suddivide in idrocarburi alifatici (costituiti da idrocarburi saturi o alcani e insaturi – alcheni, alchini) e idrocarburi aromatici (contenenti cioè uno o più anelli aromatici)[16;17], come schematizzato in figura 3.

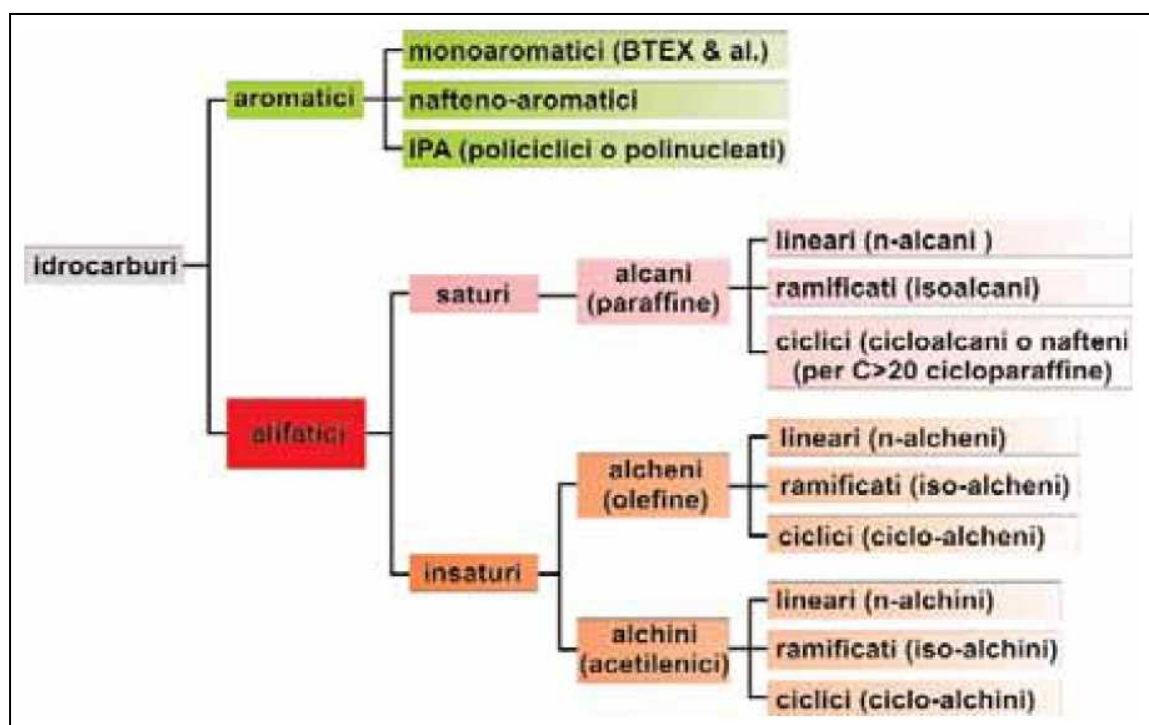


Fig. 3 –Classificazione degli idrocarburi in base al grado di saturazione e della struttura delle catene formate dagli atomi di carbonio [17].

Quando gli idrocarburi vengono sostituiti da elementi o gruppi di elementi diversi (es. Cl, Br, O, N, OCH₃ ecc.) danno luogo a composti organici (acidi carbossilici, diossine ecc.) [17] aventi diversa denominazione.

Questi composti possono avere provenienza sia naturale che antropica. In natura gli idrocarburi si formano da processi di trasformazione di sostanza organica, soprattutto in condizioni anaerobiche, e normalmente sono accumulati in giacimenti o sacche profonde. Questi composti possono poi migrare verso la superficie per processi fisici e geologici.

ARPAV – DAP TV – Servizio Osservatorio Suolo e Rifiuti –
Osservatorio Regionale per il Compostaggio

La contaminazione antropica da idrocarburi (di origine minerale o sintetica) delle matrici ambientali è legata a tutte quelle attività connesse al processo di *upstream* (estrazione) e *downstream* (distribuzione) degli stessi e ai processi di raffinazione e di distribuzione dei prodotti lavorati (es. carburanti quali benzine, gasoli, oli combustibili) [17].

Quindi “sia per i suoli che per le acque il parametro idrocarburi viene considerato un mero *indicatore* di contaminazione di origine petrolifera e quindi legato ai composti che costituiscono il petrolio greggio e a quelli derivanti dai processi di raffinazione” [15].

Nella letteratura anglosassone ci si riferisce a questo parametro con il termine *TPH* (total petroleum hydrocarbons – idrocarburi totali derivanti dal petrolio) [17], definito come la quantità di idrocarburi derivanti dal petrolio determinabili in una matrice ambientale [18]. Dato che il parametro idrocarburi comprende una miscela complessa composta da diversi costituenti, tale parametro non può essere considerato un indicatore di rischio per gli esseri umani e per l’ambiente [18]. Indicativamente i diversi composti afferenti a questo parametro analitico sono diverse centinaia, inoltre ogni prodotto petrolifero è costituito da una specifica miscela di idrocarburi [18].

4.2. Dinamiche ambientali degli Idrocarburi

La contaminazione ambientale del comparto suolo da parte di questi composti deriva fondamentalmente da spargimenti nella fase di lavorazione e trasporto dei prodotti derivanti dal petrolio [18].

Le dinamiche ambientali di questi composti, come già accennato sopra, risultano molto complesse, in quanto la miscela di idrocarburi è soggetta ad interazioni chimico fisiche e biologiche col substrato con cui essa viene a contatto, che risultano differenti per i diversi composti presenti [18].

Facendo uno specifico riferimento al comparto suolo, dominano le dinamiche fisiche di migrazione guidate dalla forza di gravità e dalla capillarità. Questi fenomeni, unitamente alle interazioni con la fase solida del terreno (e in particolare con la sostanza organica) determinano la separazione dei diversi composti della miscela idrocarburea e, di conseguenza, il successivo destino dei singoli componenti. Un altro fattore importante, soprattutto per quanto concerne i primi strati del suolo, è dovuto alla volatilità dei singoli componenti che determina la tendenza a ripartirsi

**ARPAV – DAP TV – Servizio Osservatorio Suolo e Rifiuti –
Osservatorio Regionale per il Compostaggio**

nella matrice aria. Per quanto concerne la biodegradazione degli idrocarburi, questa è legata al loro utilizzo come substrato energetico da parte dei microrganismi. In generale, gli idrocarburi con catena lineare e quelli aromatici sono degradati più rapidamente rispetto a quelli ramificati o a quelli costituiti da idrocarburi aromatici condensati (IPA) [18].

In merito alla bioaccumulazione e biomagnificazione, ossia la tendenza di alcuni composti di accumularsi nei tessuti, organi e strati adiposi degli organismi e di trasferirsi e concentrarsi poi lungo la catena trofica, gli idrocarburi alifatici ed aromatici a basso peso molecolare non tendono a bioaccumularsi, mentre altre molecole più complesse e, in particolare gli IPA, tendono ad accumularsi lungo la rete trofica, sia in ambiente acquatico che nell'ecosistema terrestre [18].

Infine, per quanto concerne i livelli di esposizione ambientale gli idrocarburi vengono di solito rilevati nei siti dove sono avvenuti dei rilasci accidentali (perdite di serbatoi di benzina, diesel e nella fasi di estrazione del petrolio greggio). Di conseguenza i rischi per la popolazione si possono ravvisare in prossimità di siti contaminati a seguito di sversamenti di prodotti derivati dal petrolio [18].

4.3. Aspetti analitici per la determinazione del parametro “Idrocarburi” e definizione delle classi di pericolosità.

In base a quanto sopra argomentato, vista l'elevata eterogeneità delle diverse miscele di idrocarburi possibili, risulta evidente la difficoltà di definire una metodologia analitica unica, nonché di stabilire valori guida univoci e standardizzati per quantificare il potenziale rischio per l'ambiente e la popolazione [18].

Diverse Agenzie e Società negli Stati Uniti (ASTM – American Society for Testing and Materials, EPA – Environmental Protection Agency, ATSDR - Agency for Toxic Substances and Disease Registry e MADEP- Massachusetts Department of Environmental Protection) hanno affrontato il problema dell'ottimizzazione delle metodiche analitiche del parametro idrocarburi totali derivati dal petrolio.

L'approccio proposto è quello di suddividere la miscela idrocarbureica in diversi gruppi (o frazioni idrocarbureiche) aventi caratteristiche simili in relazione alla successiva dinamica ambientale [18]. Tuttavia questo metodo risulta limitativo, anche se funzionale dal punto di vista

ARPAV – DAP TV – Servizio Osservatorio Suolo e Rifiuti –
Osservatorio Regionale per il Compostaggio

operativo, in quanto non sempre i gruppi di composti che hanno simile comportamento e dinamica ambientale hanno le stesse proprietà tossicologiche. Per esempio nel gruppo dei BTEX – C₆-C₉ aromatici (benzene, toluene, etilbenzene e xilene) solo il benzene è classificato cancerogeno [18].

IL TPHCWG (Total Petroleum Hydrocarbons Criteria Working Group – gruppo di lavoro per individuare criteri per gli idrocarburi totali derivati dal petrolio), formato da membri del mondo industriale, del settore pubblico e accademico, è stato istituito negli Stati Uniti per elaborare una serie di linee guida relative ai siti contaminati da petrolio e suoi derivati, destinate a tecnici e personale coinvolto nella sicurezza ambientale e nella tutela della salute umana. Questo Ente ha raggruppato gli idrocarburi secondo 13 frazioni in funzione del numero di atomi di carbonio equivalente (EC – equivalent carbon number); l'EC rappresenta il punto di ebollizione equivalente, che risulta la proprietà chimico-fisica che è alla base per la separazione analitica dei composti derivati dal petrolio (gascromatografia) [18]. Le classi sono riportate in tabella 3.

Fraction	Solubility, mg/L	Vapor pressure, atm	Henry's law constant, cm ³ /cm ³	Log K _{oc}
Aromatics				
EC ₅ -EC ₇ ^a	220	0.11	1.5	3
EC _{>7} -EC ₈ ^b	130	0.035	0.86	3.1
EC _{>8} -EC ₁₀	65	0.0063	0.39	3.2
EC _{>10} -EC ₁₂	25	0.00063	0.13	3.4
EC _{>12} -EC ₁₆	5.8	0.000048	0.028	3.7
EC _{>16} -EC ₂₁	0.65	0.000011	0.0025	4.2
EC _{>21} -EC ₃₅	0.0066	0.0000000044	0.000017	5.1
Aliphatics				
EC ₅ -EC ₆	36	0.35	47	2.9
EC _{>6} -EC ₈	5.4	0.063	50	3.6
EC _{>8} -EC ₁₀	0.43	0.0063	55	4.5
EC _{>10} -EC ₁₂	0.034	0.00063	60	5.4
EC _{>12} -EC ₁₆	0.00076	0.000076	69	6.7
EC _{>16} -EC ₃₅	0.000025	0.000011	85	8.8

^a The only compound contained in this fraction is benzene.
^b The only compound contained in this fraction is toluene.

EC = equivalent carbon number

Source: TPHCWG 1997b

Tab. 3. Parametri chimico-fisici delle diverse frazioni analitiche dei TPH, basate sulla correlazione col punto di ebollizione [18].

ARPAV – DAP TV – Servizio Osservatorio Suolo e Rifiuti –
Osservatorio Regionale per il Compostaggio

Le difficoltà analitiche relative alla determinazione degli idrocarburi sono le seguenti:

- l'individuazione di “tutti gli idrocarburi in teoria presenti in un campione ambientale è, di fatto, impossibile” [19];
- la suddivisione in classi (per. esempio idrocarburi leggeri $C \leq 12$ e pesanti $C > 12$, previsti dalla tabella 1 di cui al D. Lgs. 152/06 e ss.mm.ii., All. 5, Titolo V, Parte Quarta) risulta complessa in quanto la metodica analitica non è sufficientemente selettiva per garantire una distinzione netta tra le classi [17];
- esistono diverse metodiche analitiche e alcune risentono di problemi di interferenza con idrocarburi non derivati dal petrolio, quali gli acidi umici [18];
- le metodiche disponibili hanno dei limiti di applicazione in presenza di rilevanti quantità di altre sostanze quali ad es. gli oli e grassi di origine animale o vegetale.

A conferma di questo va menzionato quanto riportato nel paragrafo 5 (Interferenze) del metodo UNI EN 14039-2005 (“Determinazione del contenuto di idrocarburi nell'intervallo compreso tra C10 e C40 mediante gascromatografia”), riconosciuto come riferimento per l'analisi di idrocarburi nei rifiuti, per cui elevate concentrazioni di olii e grassi animali/vegetali (> 10.000 mg/kg), che dovrebbero essere separate durante la fase di purificazione in colonna di Florisil (che trattiene i composti più polari), possono limitare la separazione degli idrocarburi, inficiando la successiva fase gascromatografica. Pertanto, visto che sia i fanghi di depurazione che il compost possono contenere elevati quantitativi di olii e grassi animali/vegetali² e in particolare composti generati dalla degradazione degli steroli (quali il coprostanolo³, composto riconosciuto come indicatore di contaminazione fecale di origine antropica), l'applicazione di questo metodo alle suddette matrici, con l'obiettivo di determinare gli idrocarburi di origine petrolifera, richiede particolari approfondimenti in merito alla fase di preparativa e di interpretazione dei risultati per evitare risultati fuorvianti⁴.

² Dall'applicazione del metodo UNI EN 14345:2005, che si basa su un'analogia preparativa con trattamento in colonna Florisil, per la determinazione degli idrocarburi per via gravimetrica, all'analisi di un olio di oliva commerciale è emersa una concentrazione di idrocarburi di quasi 1.000.000 mg/kg [21]

³ In letteratura sono riportati valori compresi tra 5000 e 6000 mg/kg s.s. di coprostanoli nei residui fecali umani [28].

⁴ In proposito si richiama il metodo di riferimento canadese per la determinazione degli idrocarburi derivati dal petrolio [29], che raccomanda, a titolo esemplificativo, nel caso di suoli con elevato contenuto di carbonio organico e in suoli ammendanti da letame di porgere particolare cautela nell'analizzare queste matrici per evitare di interpretare non correttamente eventuali valori elevati a causa di possibili interferenze.

ARPAV – DAP TV – Servizio Osservatorio Suolo e Rifiuti –
Osservatorio Regionale per il Compostaggio

In merito al parametro idrocarburi, negli ultimi anni, si è sviluppato un ampio dibattito, sia a livello nazionale che europeo, circa la corretta attribuzione della classe di pericolosità ad alcune categorie di rifiuti contaminate da idrocarburi, proprio per i citati problemi analitici e per la dubbia significatività del parametro idrocarburi totali per la misura della cancerogenicità [23].

Il gruppo di lavoro istituito a livello nazionale (APAT-ARPA/APPa, ISS, CNR-IRSA, ICRAM, CRA,) con l'obiettivo di redigere delle linee guida circa la determinazione analitica degli idrocarburi [19; 22; 23] ha prodotto un primo documento (“Documento sintetico sul parametro idrocarburi in alcune matrici ambientali”), trasmesso al Ministero dell’Ambiente con nota n 001631 del 15/01/08, volto a dare una definizione univoca di tale parametro⁵ e a chiarire la metodica analitica di riferimento in funzione della matrice ambientale da indagare (per i rifiuti è stato individuato il metodo UNI EN 14039-2005). E’ stata predisposta inoltre una bozza di protocollo per la classificazione dei rifiuti contenenti idrocarburi in relazione alla caratteristica di pericolo H7 (categoria cancerogeno) “Procedura di classificazione dei rifiuti contenenti oli minerali derivanti dal petrolio e dal carbone e dei rifiuti contenenti idrocarburi di origine non nota”, dove si è convenuto sulla necessità di associare alcuni markers, cioè composti specifici di cui è noto il potenziale cancerogeno (quali benzene, benzo[a]pirene ecc.) alla determinazione non specifica degli idrocarburi totali [19;22;23].

L’orientamento a livello nazionale è stato di recente manifestato attraverso un’Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3704 del 17/09/2008 (disposizioni urgenti di protezione civile), circa la classificazione dei materiali di dragaggio dei canali portuali di grande navigazione della laguna di Venezia. Quest’Ordinanza recita all’art. 1, comma 1 “...*Ai fini della classificazione come pericoloso del materiale di dragaggio per il parametro “idrocarburi” si applicano i criteri indicati dall’Istituto Superiore di Sanità nella nota n. 0036565 del 5 luglio 2006*” [25]. In questa direzione è anche la successiva nota congiunta ISS – ISPRA del 28/10/2008.

⁵ Il gruppo di lavoro ha proposto la seguente definizione operativa di *idrocarburi totali*: “l’insieme dei composti che, dopo i processi di estrazione e purificazione riportati nel metodo, possono essere rilevati mediante gascromatografia con rivelatore a ionizzazione di fiamma (GC/FID), su colonna capillare non polare con tempi di ritenzione compresi tra quelli del n-decano (C₁₀H₂₂) e del n-tetracontano (C₄₀H₈₂)”. Questa definizione si estende anche al parametro “idrocarburi pesanti C>12 presente nella tab. 1, All. 5, titolo V, Parte Quarta del D. Lgs. 152/2006 partendo però dal composto n-dodecano (C₁₂H₂₆) [19].

ARPAV – DAP TV – Servizio Osservatorio Suolo e Rifiuti –
Osservatorio Regionale per il Compostaggio

Nel caso dei fanghi di depurazione provenienti dal trattamento delle acque reflue urbane, (codice CER 190805), considerate le problematiche sopra esposte pare più semplice ed efficace individuare indicatori che definiscano più direttamente la compatibilità ambientale di questi rifiuti in relazione al successivo utilizzo in agricoltura.

In questo senso più significativo degli “Idrocarburi “ risulta essere il parametro IPA (che raccoglie al suo interno più marker di cancerogenicità), che è un indicatore di qualità ambientale e come tale può essere utilizzato, abbinato a PCDD/F e PCB, per caratterizzare l’idoneità dei fanghi ai fini del successivo recupero in agricoltura (operazione R10) o a compostaggio (R3), come indicato nel draft europeo.

4.4 Toluene

In merito al composto toluene si specifica che è un idrocarburo costituito da un anello aromatico e da un gruppo metile, prodotto industrialmente, classificato come sostanza nociva, ma senza effetti mutageni e cancerogeni.

La principale sorgente di contaminazione ambientale del composto toluene è dato dal rilascio in atmosfera (vista anche l’elevata volatilità di questo composto) [27]. La fonte prevalente è dovuta alla produzione, trasporto e uso delle benzine, che contengono il 5-7% in peso di toluene. Altre fonti sono costituite dalla produzione, uso e smaltimento di prodotti industriali contenenti questo idrocarburo aromatico. [27].

Il tempo di dimezzamento in atmosfera è molto breve (ca. 13 ore). Il toluene presente eventualmente nel suolo o nell’acqua viene volatilizzato rapidamente in atmosfera; questo tipo di dinamica ambientale comporta una bassa permanenza di tale composto nell’ambiente nel tempo [25]. E’ stato riscontrato altresì un inquinamento indoor da parte del toluene, in quanto contenuto in alcuni prodotti usati nelle abitazioni (pitture, diluenti, adesivi e nel fumo di sigaretta) [27].

La presenza nel suolo è stata riscontrata nei siti contaminati da sversamenti di prodotti derivati dal petrolio e nei luoghi di smaltimento abusivo di rifiuti di raffineria [27].

ARPAV – DAP TV – Servizio Osservatorio Suolo e Rifiuti –
Osservatorio Regionale per il Compostaggio

In funzione della profondità a cui avviene la contaminazione i tempi di dimezzamento possono passare da 24 ore (per gli strati superficiali) a ca. 1 anno nel caso di presenza di questo composto in strati profondi.

In merito alla decomposizione all'interno degli organismi viventi questo composto risulta degradabile per via metabolica in composti quali l'acido benzoico ed ippurico che vengono eliminati attraverso le urine.

Per quanto concerne le dinamiche di degradazione microbica nell'ambiente esistono numerosi ceppi batterici capaci di demolire questa molecola (per es. *Pseudomonas* e *Achromobacter*). Il percorso degradativo si attua tramite due passaggi, il primo produce acido benzoico, come avviene nell'organismo umano, il secondo utilizza l'anello aromatico per produrre metaboliti intermedi utilizzati all'interno del ciclo di Krebs.

I tempi di dimezzamento nel suolo per via microbica variano se l'esperimento viene effettuato in laboratorio ($t_{1/2} < 1$ ora) o in ambiente naturale ($t_{1/2}$: 1-7 giorni) [27].

In base a quanto argomentato qui sopra e in precedenza, tenuto conto anche della trattazione circa il parametro idrocarburi e delle finalità di indagine e monitoraggio di cui si intende occuparsi in questa sede (controllo dei fanghi di depurazione civile) si ritiene non significativa l'adozione del parametro toluene, come indicatore di pericolosità ambientale. Si ribadisce, come già argomentato in merito agli idrocarburi, più significativo il parametro IPA, in quanto indicatore di composti persistenti nell'ambiente e dotati di un acclarato potere cancerogeno.

5. Idrocarburi policiclici aromatici (IPA)

5.1. Genesi e caratteristiche chimico fisiche degli IPA

Gli IPA (idrocarburi policiclici aromatici) sono un gruppo di composti chimici costituiti da due o più anelli aromatici condensati. Derivano da processi di combustione incompleta di carbone, petrolio, gas, legno, rifiuti e altre sostanze organiche (come il tabacco e la carne grigliata). Esistono più di 100 differenti IPA, che generalmente sono presenti nell'ambiente come miscele complesse e

**ARPAV – DAP TV – Servizio Osservatorio Suolo e Rifiuti –
Osservatorio Regionale per il Compostaggio**

non come singoli composti [26]. La tendenza a subire processi biodegradazione e le proprietà idrofile diminuiscono all'incrementare del peso molecolare [1].

La presenza nell'ambiente di questi composti è ampiamente diffusa nei diversi comparti (aria, acqua, suolo) [26] a tal punto che gli IPA possono essere considerati uno dei gruppi di composti persistenti più diffusi [1].

La maggior parte dell'apporto di IPA nel suolo è generato dai fenomeni di fall out atmosferico a scala locale o dall'apporto a lunga scala; altre sorgenti sono determinate dagli apporti tramite le diverse tipologie di fertilizzanti utilizzate [26].

La presenza di IPA nei fanghi di depurazione è causata dalle seguenti tre potenziali sorgenti:

- gli IPA, contenuti nei gas di scarico e nell'atmosfera, vengono trasportati via deposizione umida sulle strade e collettati tramite la rete delle acque bianche agli impianti di depurazione;
- gli IPA sono generati dai fumi degli impianti industriali termici e ricadono al suolo sempre tramite deposizione umida;
- gli IPA sono presenti in alcune tipologie di scarichi industriali.

Gli IPA presenti nei reflui afferenti agli impianti di depurazione civile tendono a concentrarsi nei fanghi, vista la lipofilicità di tali composti. Le concentrazioni medie riscontrate in tale matrice sono comprese tra 0.018 e 10 mg/kg s.s. [1].

Osservando i dati rilevati dal monitoraggio effettuato da ARPAV (vedi tabella 3) si può notare come i valori riscontrati nei fanghi di depurazione civile degli impianti veneti con potenzialità superiore ai 25.000 a.e. sono distribuiti verso l'estremo inferiore del range sopra citato.

5.2. Dinamiche ambientali degli IPA

In merito alle dinamiche ambientali di questi composti organici nel comparto suolo in letteratura è riportato che per gli IPA con meno di 4 anelli aromatici si possono riscontrare perdite per volatilizzazione. Il processo fondamentale di trasformazione degli IPA è la biodegradazione, che è influenzata da diversi fattori, quali il contenuto di sostanza organica, la struttura e la dimensione delle particelle, le caratteristiche della popolazione microbica, ecc [26].

ARPAV – DAP TV – Servizio Osservatorio Suolo e Rifiuti –
Osservatorio Regionale per il Compostaggio

I tempi di dimezzamento ($t_{1/2}$) degli IPA nel suolo sono variabili in funzione del singolo composto e sono dell'ordine di grandezza di qualche giorno per i composti maggiormente degradabili (quali il naftalene) a centinaia di giorni per i composti aventi un numero di anelli condensati maggiore di 3 [26]. In letteratura si ribadisce che i tempi di dimezzamento nel suolo basati su prove di laboratorio sono più veloci (0.5-5 anni) rispetto a quelli riscontrati su scala reale (6-16 anni) [1].

I medesimi fenomeni di biodegradazione sono accentuati a livello di trasformazioni biologiche industriali in processi controllati (compostaggio). In letteratura si trovano rese di abbattimento degli IPA durante il processo di compostaggio superiori al 50% [1]. Per quanto concerne i valori medi di IPA nei compost da matrici selezionate riscontrati in letteratura sono compresi tra 0.96 e 11.19 mg/kg s.s. [1]. Il valore medio di IPA nei compost analizzati nel corso del monitoraggio ARPAV 2003-2005 risulta di 1.4 mg/kg s.s., valore vicino all'estremo inferiore del range riportato in letteratura.

6. Fanghi di depurazione

6.1. Normativa di riferimento.

La normativa nazionale non fissa a priori limiti relativamente agli inquinanti nei fanghi in uscita dagli impianti di depurazione. Tuttavia la normativa nazionale e regionale prevede dei limiti di concentrazione per diversi inquinanti in relazione alla destinazione del fango stesso.

La normativa nazionale che attualmente regola l'utilizzo dei fanghi di depurazione in agricoltura (D. Lgs. 99/92, recepimento della Direttiva 86/278/CEE) prevede dei limiti per i metalli pesanti, mentre non ci sono riferimenti per i microinquinanti organici (PCDD/F -diossine e furani, IPA, PCB etc.).

Il terzo draft di un documento di lavoro europeo, redatto per predisporre la modifica della succitata Direttiva Comunitaria (allo stato attuale ancora in fase di elaborazione), ai fini di aumentare la tutela del suolo, prevede l'introduzione dei seguenti limiti per i microinquinanti organici (tab. 4).

ARPAV – DAP TV – Servizio Osservatorio Suolo e Rifiuti –
Osservatorio Regionale per il Compostaggio**Tab. 4.** Proposta di limiti per i microinquinanti organici per l'utilizzo dei fanghi di depurazione in agricoltura del 3° draft di revisione della Direttiva 86/278/CEE del 27/04/2000.

Composto organico	Unità di misura	Valori limite
AOX ⁶	mg/kg s.s.	500
LAS ⁷	mg/kg s.s.	2600
DEHP ⁸	mg/kg s.s.	100
NPE ⁹	mg/kg s.s.	50
IPA	mg/kg s.s.	6
PCB	mg/kg s.s.	0.8
PCDD/F	ng TE/kg s.s.	100

Il valore proposto per le diossine di 100 ng I-TE/kg s.s. è stato ripreso dalla Direttiva federale tedesca sull'utilizzo dei fanghi di depurazione civile (Abklärverordnung del 1992 - BGBl I 1992, 912).

A livello della Regione Veneto, la normativa vigente che regola l'utilizzo dei fanghi in agricoltura è stata modificata recentemente (DGRV 2241/05 e s.m.i.) e prevede l'obbligo per chi utilizza fanghi di effettuare almeno semestralmente le analisi per i parametri IPA, PCB e PCDD/F pur senza definirne dei valori limite di riferimento.

Le normative regionali in materia di riutilizzo dei fanghi in agricoltura appaiono eterogenee. A titolo di esempio si riportano le indicazioni delle Regioni Lombardia ed Emilia Romagna:

- la Regione Lombardia, con la DGR. n. 7/15944 del 30/12/2003, ha regolamentato lo spandimento sul suolo dei fanghi di depurazione, introducendo dei limiti per alcuni inquinanti organici (idrocarburi totali, solventi organici aromatici, solventi organici azotati, solventi clorurati, tensioattivi, pesticidi (totali), pesticidi fosforati) da determinare nell'eluato;
- la Regione Emilia Romagna, con la DGR n. 285 del 14/02/2005, prevede come limiti per i parametri PCB, IPA e PCDD/F per i fanghi di depurazione provenienti da impianti di taglia

⁶ Alogeni organici assimilabili

⁷ Alchilbenzen solfonati lineari

⁸ etilesilftalato

⁹ nonilfenolo e nonilfenoletossilato



ARPAV – DAP TV – Servizio Osservatorio Suolo e Rifiuti –
Osservatorio Regionale per il Compostaggio

superiore ai 5000 a.e., quelli riportati nella tabella del 3°draft di modifica della Direttiva europea (vedi tabella sopra riportata).

6.2. Situazione della gestione dei fanghi di depurazione civile in Veneto.

Per l'anno 2006 in Veneto non è disponibile il dato puntuale relativo alla produzione di fanghi, ma è presente il dato puntuale relativo alla gestione degli stessi all'interno del territorio regionale, quantificato in 433.557 tonnellate.

Sulla base delle dichiarazioni MUD e della banca dati dell'Osservatorio Regionale per il Compostaggio, considerando anche il fatto che sono presenti perdite di processo nei trattamenti e che una quota di fanghi viene avviata in impianti o a destinazioni agricole extraregionali, si stima che in Veneto nel 2006 la produzione di fanghi sia stata superiore alle 600.000 tonnellate.

Le destinazioni dei fanghi prodotti e gestiti all'interno del territorio regionale sono state le seguenti (vedi fig. 4):

- 165.004 t (39%) a utilizzo in agricoltura,
- 156.764 t (36%) a smaltimento in discarica,
- 92.286 t (21%) a recupero in impianti di compostaggio,
- 14.685 t (3%) a smaltimento in inceneritore,
- 4.818 t (1%) ad altre tipologie di recupero.

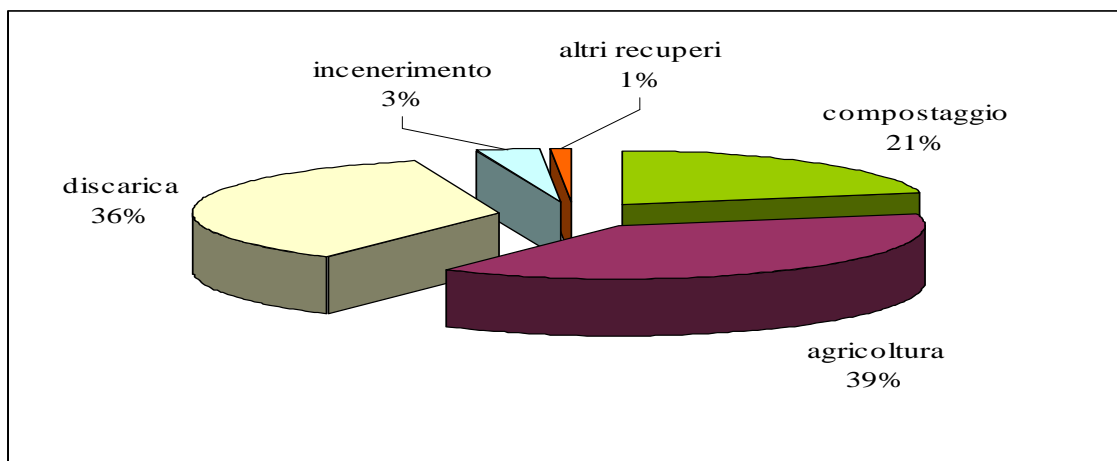


Fig. 4 – Destinazione dei fanghi prodotti in Veneto nel 2006 (dati ARPAV-ORC).

ARPAV – DAP TV – Servizio Osservatorio Suolo e Rifiuti –
Osservatorio Regionale per il Compostaggio

E' da rilevare che i fanghi avviati direttamente in agricoltura o al compostaggio rappresentano complessivamente circa il 60% (257.290 t) di quelli gestiti in Veneto. Di questi la maggior parte, circa il 76%, è costituita da fanghi provenienti da impianti di depurazione civile; la rimanente parte è costituita da fanghi agroalimentari (circa 20%) e da industria cartaria e conciaria (circa 4%).

Dai valori sopra riportati risulta evidente la rilevanza dell'utilizzo diretto o indiretto (ossia tramite il processo di compostaggio) dei fanghi di depurazione civile in agricoltura.

6.3 Programma regionale di monitoraggio dei fanghi di depurazione del Veneto

Dal giugno 2003 al 2005 ARPAV, su richiesta della Regione Veneto, ha effettuato una campagna di monitoraggio dei fanghi di depurazione prodotti nel Veneto con particolare riferimento anche alla presenza di microinquinanti organici, prevedendo un'analisi qualitativa presso tutti i depuratori di acque reflui civili o miste (civili e industriali) con potenzialità maggiore di 25.000 AE per un totale di 53 impianti.

I fanghi di depurazione civile, che vengono utilizzati in agricoltura ai sensi del D. Lgs. 99/92 e, a livello regionale, della DGRV 2241/05, possono contenere tali inquinanti a causa della presenza di allacciamenti di reflui industriali al depuratore (reflui misti), per il dilavamento da parte delle acque meteoriche delle strade ad elevato traffico (infatti anche la combustione nei motori delle auto è sorgente di questi inquinanti), nonché per conferimenti di rifiuti liquidi in fognatura [7;8].

Tab. 5. Valori medi di PCDD/F, PCB e IPA nei fanghi provenienti da impianti di depurazione con potenzialità superiore a 25.000 a.e. riscontrati nelle campagne di monitoraggio ARPAV.

	Fanghi di depurazione civile		
	PCDD/F [ng TE/kg s.s.]	IPA [mg/kg s.s.]	PCB [mg/kg s.s.]
media	11.28	1.8	0.2
mediana	8.07	1.3	0.1
dev. standard	12.37	1.7	0.2
minimo	0.40	0.25	0.077
massimo	80.61	9.3	1.2



ARPAV – DAP TV – Servizio Osservatorio Suolo e Rifiuti –
Osservatorio Regionale per il Compostaggio

Tab.6. Suddivisione in classi di concentrazione dei PCDD/F nei fanghi provenienti dagli impianti di depurazione con potenzialità superiore a 25.000 a.e. riscontrati nelle campagne di monitoraggio ARPAV.

Classi di concentrazione	
PCDD/F [ng I-TE/kg s.s.]	Numero di campioni
<5	8
5-10	30
10-25	13
25-50	2
50-100	1
>100	0

ARPAV – DAP TV – Servizio Osservatorio Suolo e Rifiuti –
Osservatorio Regionale per il Compostaggio

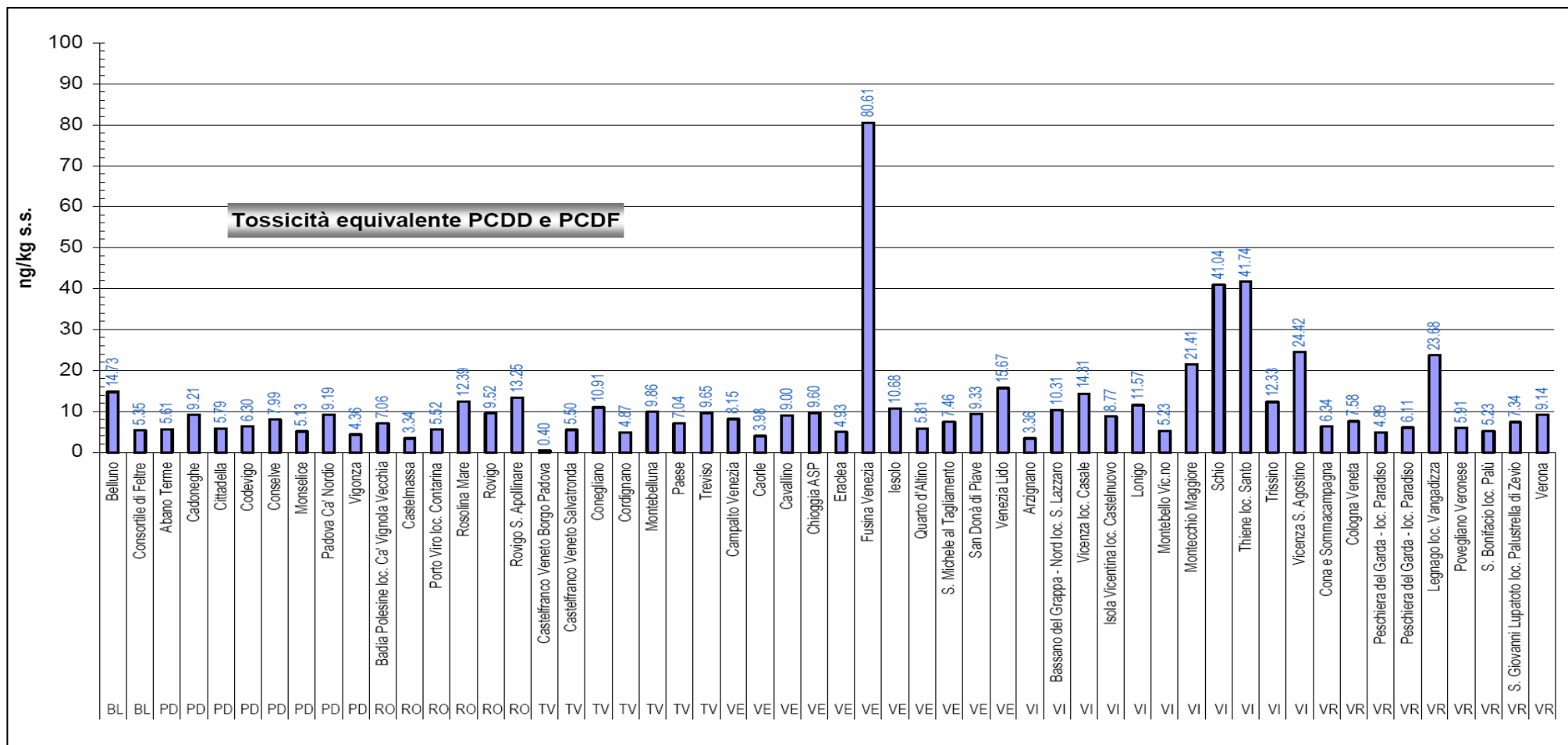


Fig. 5. Risultati delle analisi delle diossine per i 54 campioni di fanghi provenienti dai diversi impianti di depurazione civile del Veneto (ARPAV 2003).



**ARPAV – DAP TV – Servizio Osservatorio Suolo e Rifiuti –
Osservatorio Regionale per il Compostaggio**

Le concentrazioni medie di PCDD/F nei fanghi di depurazione riscontrate in letteratura a livello europeo e negli Stati Uniti sono comprese tra **15 e 55 ng I-TE/kg s.s.** (vedi tab.7) [1] e risultano significativamente superiori a quelle accertate nei fanghi di depurazione prodotti in Veneto nel corso della campagna di analisi condotta da ARPAV (vedi tab.3, valore medio inferiore a 11 ng I-TE/kg s.s.).

Tab. 7. Concentrazioni di PCDD/F nei fanghi di depurazione di alcuni Stati Europei e degli Stati Uniti.

Concentrazione di PCDD/F nei fanghi di depurazione civile (ng I-TE/kg. s.s.)					
		media	mediana	minimo	massimo
Germania [6]		15-45	--	--	--
Austria [7]		--	5.46	2.9	24.7
Svizzera [4]		30	--	10	50
Spagna [6]		55	42	7	160
Svezia [6]		24	--	23	25
Regno Unito [6]		40.2	--	7.6	192
USA	EPA 2002 [8]	21.7	15.5	--	--
	AMSA 2000 [9]	41.1	13.3	--	--

6.4. Valutazione dell'apporto di PCDD/F nei suoli tramite l'utilizzo di fanghi di depurazione civile

Al fine di poter stimare l'apporto di PCDD/F nel suolo attraverso l'utilizzo di fanghi di depurazione civile è stato seguito il modello concettuale proposto da uno studio commissionato dalla Direzione Generale Ambiente della Commissione Europea [1].

In particolare si è applicato il modello con lo scopo di evidenziare il solo apporto fornito dall'utilizzo di fanghi, non considerando pertanto il contributo della ricaduta atmosferica nonché l'eventuale valore di fondo del suolo stesso, contributi comunque presenti ed indipendenti dall'utilizzo di fanghi.

**ARPAV – DAP TV – Servizio Osservatorio Suolo e Rifiuti –
Osservatorio Regionale per il Compostaggio**

Il modello utilizzato prevede l'ipotesi di utilizzo della massima quantità di fanghi permesso dalla normativa, ogni anno per 100 anni consecutivi, e valuta la concentrazione di PCDD/F nel terreno considerando lo strato superficiale per una profondità di 30 cm.

Si è deciso di utilizzare cautelativamente il valore più elevato del range di tempo di dimezzamento proposto da APAT, pari a 15 anni.

Si sono valutate le dinamiche di accumulo nel suolo di fanghi a tre diverse concentrazioni di PCDD/F (100 ng I-TE/kg s.s., valore proposto per la modifica della Direttiva europea sull'utilizzo dei fanghi di depurazione, 50 ng I-TE/kg s.s. e 25 ng I-TE/kg s.s.).

Si può evidenziare come l'utilizzo di fanghi di depurazione civile con concentrazioni di PCDD/F pari a 100 ng I-TE/kg s.s. alla dose massima consentita dalla Delibera Regionale 2241/05 (ossia 7,5 t s.s./ha/anno), comporta un incremento di ca. 3,7 ng I-TE/kg s.s. in un arco temporale di 100 anni.

Utilizzare fanghi con concentrazione di PCDD/F di 50 ng I-TE/kg s.s. comporta un incremento nel terreno in un arco temporale di 100 anni pari a ca. 1,8 ng I-TE/kg s.s. Considerando invece una concentrazione di 25 ng I-TE/kg s.s. l'apporto si riduce a 0,62 ng I-TE/kg s.s.



ARPAV – DAP TV – Servizio Osservatorio Suolo e Rifiuti –
Osservatorio Regionale per il Compostaggio

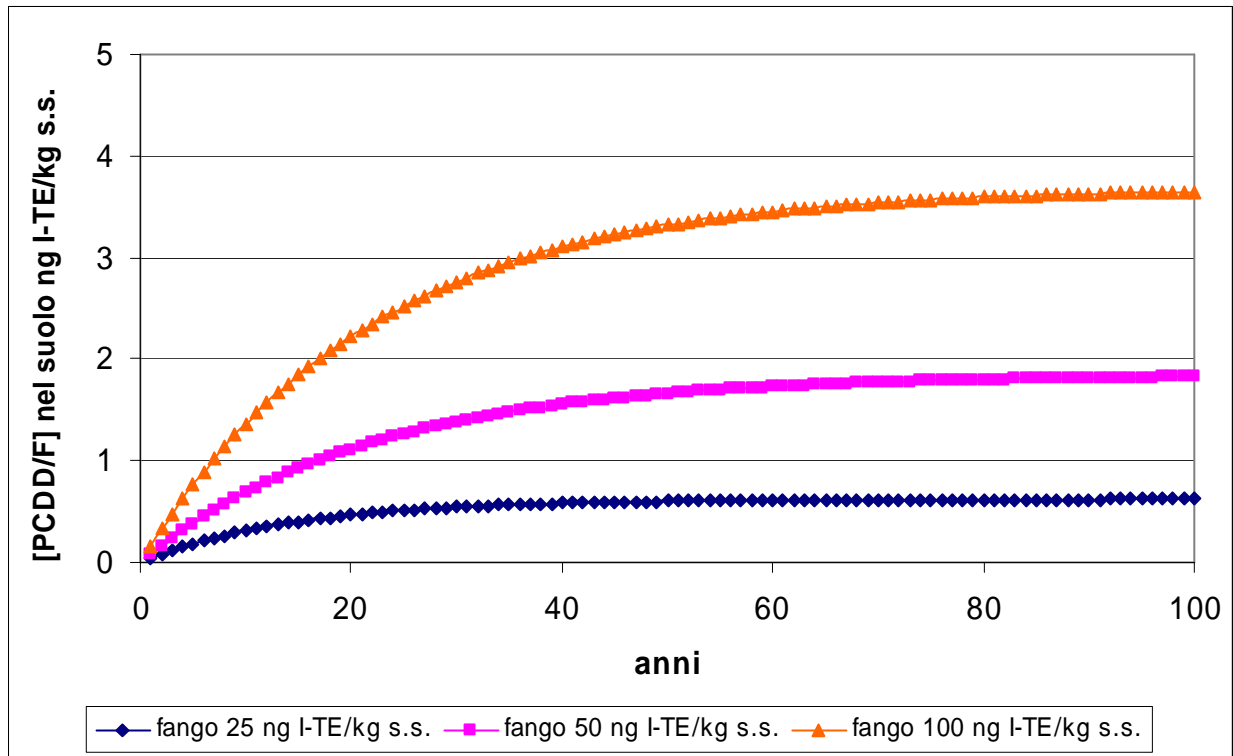


Fig. 6 – Dinamiche di accumulo di PCDD/F nel suolo apportando fanghi di depurazione civile per 100 anni

ARPAV – DAP TV – Servizio Osservatorio Suolo e Rifiuti –
Osservatorio Regionale per il Compostaggio

6.5. Valutazione dell'apporto di IPA nei suoli tramite l'utilizzo di fanghi di depurazione civile

Parallelamente a quanto effettuato per il parametro diossine, anche per gli IPA si riportano due grafici che rappresentano l'apporto potenziale nel suolo utilizzando fanghi di depurazione a diverse concentrazioni, a partire da quella prevista dal Draft europeo di 6 mg/kg s.s. fino a quella più bassa (1.8 mg/kg s.s.), che corrisponde alla media riscontrata dalle analisi ARPAV. I risultati dell'indagine ARPAV, riassunti in tabella 5, hanno evidenziato infatti che oltre il 96% dei campioni analizzati hanno valori inferiori alla soglia prevista dal Draft europeo.

Si fa presente che il tempo di dimezzamento cautelativo considerato è di 16 anni [1].

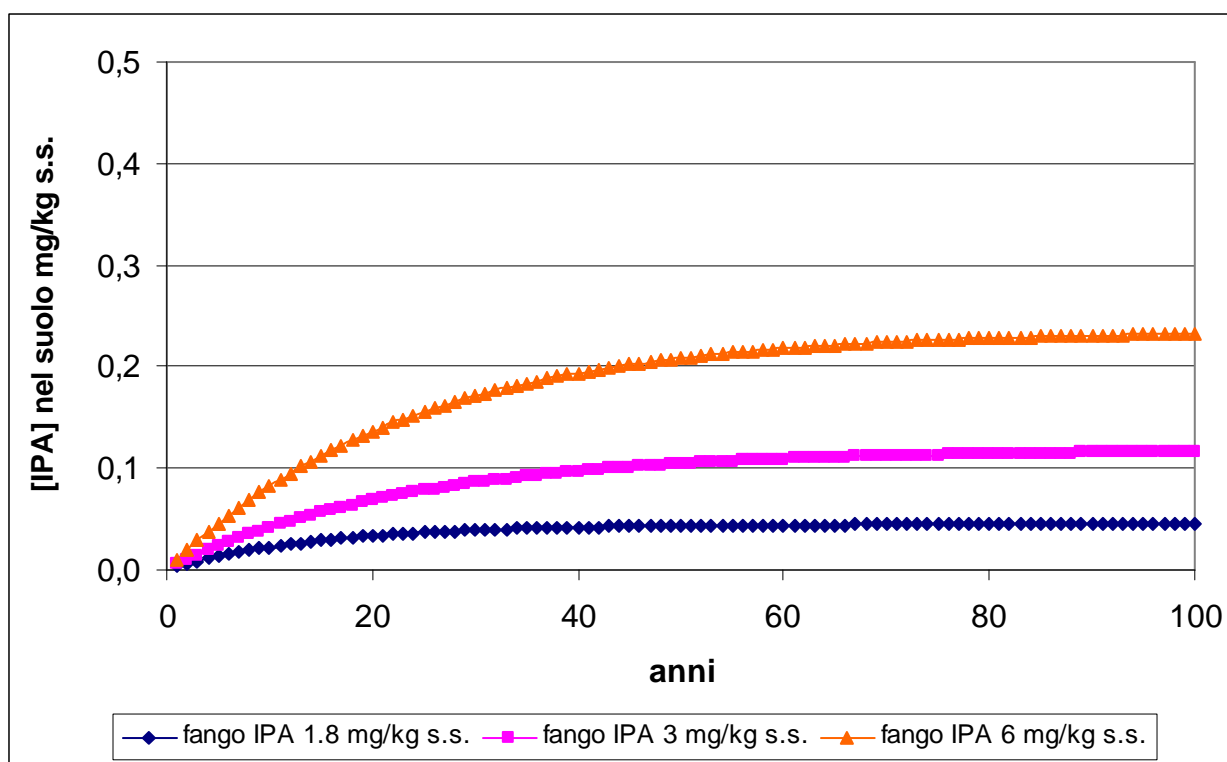


Fig. 7 –Dinamiche di accumulo degli IPA nel suolo utilizzando fanghi di depurazione a diverse concentrazioni di IPA

Il terzo draft del documento di lavoro europeo, redatto per predisporre la modifica della succitata Direttiva Comunitaria, prevede come limite per gli IPA 6 mg/kg s.s. (tab. 4).



7. Ammendanti compostati

7.1 Normativa di riferimento

La normativa nazionale per la produzione e commercializzazione dei fertilizzanti (D. Lgs. 217/06) e di conseguenza la direttiva regionale sul compostaggio (DGRV 568/05) prevede dei limiti di concentrazione per i metalli pesanti, ma non per i microinquinanti organici.

A livello europeo il 2° draft della bozza di Direttiva europea sul trattamento biologico dei rifiuti biodegradabili non prevede l'inserimento di tale parametro come requisito di accettabilità del compost di qualità.

7.2. Situazione della produzione di compost di qualità in Veneto

Nel 2007 in Veneto sono risultati attivi 16 impianti di compostaggio di qualità con una potenzialità totale autorizzata di 835.480 tonnellate. Nel medesimo anno tali impianti hanno trattato 729.499 tonnellate di rifiuti organici di cui 135.217 (corrispondenti al 19%) sono rappresentati da fanghi di depurazione (vedi figura 8). Il compost di qualità prodotto è stato pari a 212.925 tonnellate, che per il 95% è stato utilizzato in agricoltura di pieno campo.

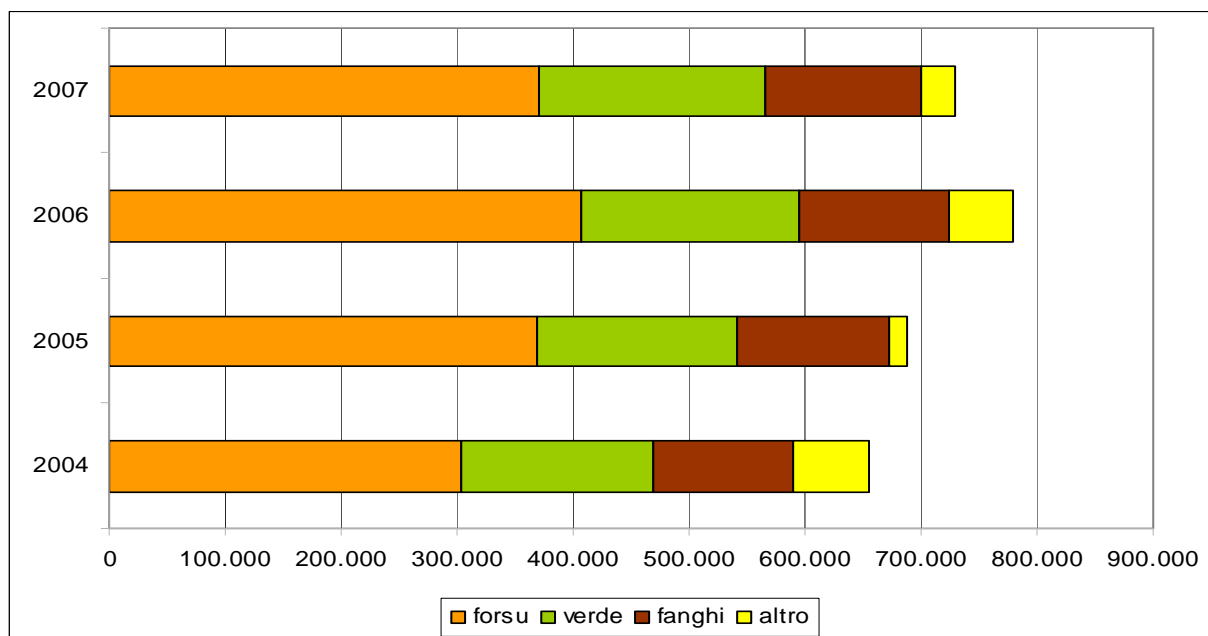


Fig. 8 – Ripartizione delle diverse tipologie di rifiuti organici avviati a compostaggio negli anni in Veneto



7.3. Programma regionale di monitoraggio dei compost prodotti in Veneto.

Nell’ambito del succitato monitoraggio effettuato da ARPAV sui fanghi di depurazione civile sono stati eseguiti dei campionamenti anche sui compost di qualità, ottenuti utilizzando fanghi di depurazione e prodotti in Veneto. I valori di microinquinanti organici riscontrati sono riportati in tabella 8 e in particolare per il parametro PCDD/F i valori medi sono inferiori a 5 ng I-TE/kg s.s.. Si riporta infine la distribuzione di concentrazione di PCDD/F nei diversi campioni analizzati (vedi figura 9).

Tab. 8. Valori medi di PCDD/F, PCB e IPA nei compost.

	Compost da fanghi di depurazione		
	PCDD/F [ng I-TE/kg s.s.]	IPA [mg/kg s.s.]	PCB [mg/kg s.s.]
media	4,8	1,4	< 0,02
mediana	3,9	1,2	--
deviazione standard	2,9	0,3	--
min	1,7	1	< 0,02
max	11,5	1,8	< 0,02

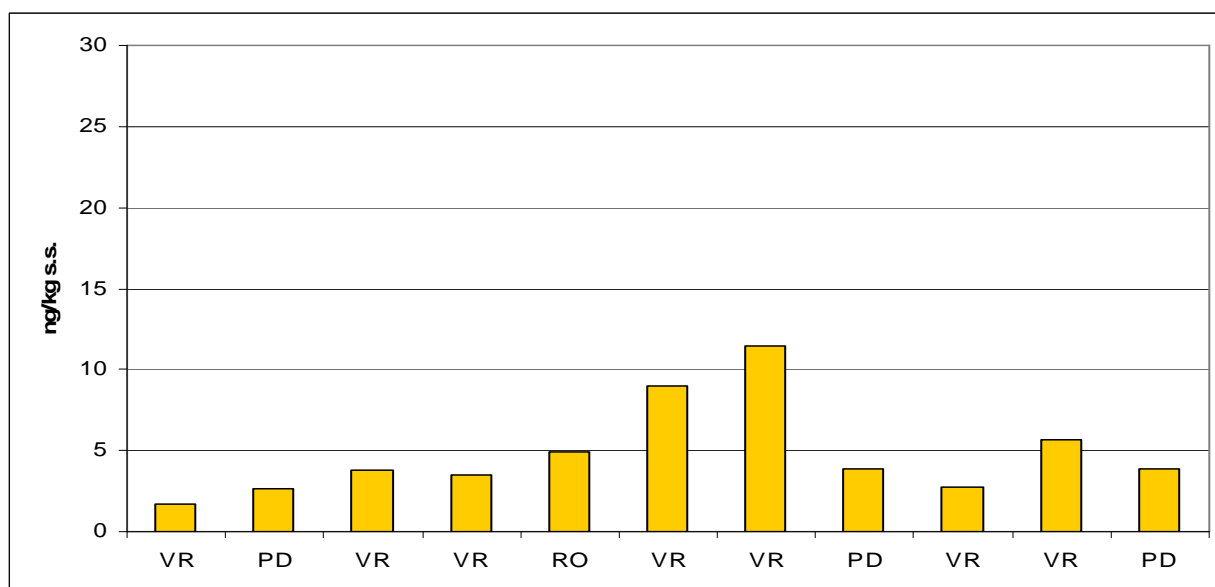


Fig. 9. Risultati delle analisi delle diossine per i campioni di compost di qualità analizzati nel corso dell’indagine ARPAV

ARPAV – DAP TV – Servizio Osservatorio Suolo e Rifiuti –
Osservatorio Regionale per il Compostaggio

I valori riscontrati nella campagna di monitoraggio del compost di qualità prodotto in Veneto sono in linea con quelli riscontrati in indagini europee e negli Stati Uniti (tab. 9)

Tab 9. Concentrazioni di PCDD/F nei compost di alcuni Stati Europei e Stati Uniti.

	PCDD/F (ng I-TE/ kg s.s.)			
	media	mediana	minimo	massimo
Germania [10]	7,2	--	2,0	13,6
Austria [11]	9.18	6.43	0.6	86.8
Svizzera [12]	5,6	4,0	0,5	21,0
USA [13]	2,9	--	2,5	3,1

Per spiegare l'origine della presenza di PCDD/F, seppure in concentrazioni limitate, nel compost di qualità, si devono considerare le caratteristiche delle matrici iniziali utilizzate. Infatti anche i rifiuti vegetali e quelli organici da raccolta differenziata possono avere un certo contenuto di PCDD/F (rispettivamente 4-16 ng I-TE/kg s.s e 1-5 ng I-TE/kg s.s – [1]), sempre a causa dell'inquinamento diffuso, soprattutto quello generato dalla deposizione atmosferica. Ciò è stato dimostrato da uno studio statunitense attraverso l'analisi dei rapporti di concentrazione dei diversi omologhi di PCDD/F nei compost in raffronto con quelli tipici da fall out atmosferico [15].

I materiali però più problematici sono i fanghi di depurazione, considerate le concentrazioni relativamente più elevate riscontrate, sempre in letteratura, per tali matrici (vedi tab. 1).

Durante il processo di compostaggio possono avvenire processi di degradazione dei microinquinanti, in particolare per i furani e per alcuni congeneri delle diossine a basso grado di clorurazione [1; 13].

Dalle precedenti considerazioni emerge l'importanza di prevenire l'accumulo di tali microinquinanti organici nel compost di qualità attraverso un controllo selettivo delle matrici in ingresso avviate al processo di compostaggio. In figura 10 viene riportata la concentrazione di PCDD/F nel compost in funzione di quella del fango in ingresso. In particolare si è tenuto conto del limite massimo di fanghi nella miscela iniziale consentito dal D. Lgs. 217/06 (ossia 35%) e di

ARPAV – DAP TV – Servizio Osservatorio Suolo e Rifiuti –
Osservatorio Regionale per il Compostaggio

considerare una perdita di sostanza secca del 30%. Dal grafico emerge che al diminuire della concentrazione di PCDD/F nei fanghi diminuisce anche quella nel compost finito.

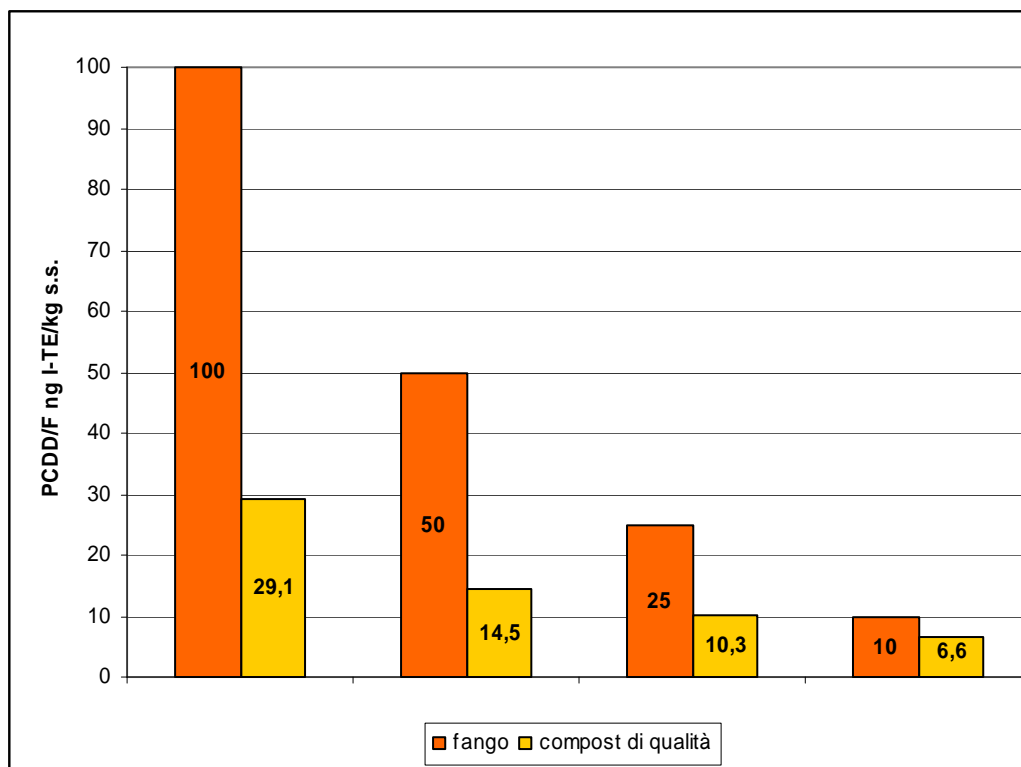


Fig. 10 – Rapporto tra la concentrazione di PCDD/F nei fanghi in ingresso al compostaggio e quella del compost finito

7.4. Valutazione dell'apporto di PCDD/F nei suoli tramite l'utilizzo di compost

Al fine di studiare l'accumulo di PCDD/F nel suolo a seguito dell'utilizzo costante di compost è stato utilizzato il medesimo modello concettuale citato nel paragrafo 6.4. per i fanghi di depurazione civile, con le stesse assunzioni di base. Per quanto riguarda le dosi di compost apportate è stato preso come riferimento un apporto di compost di ca. 15 t s.s./ha/anno, che, tenuto conto delle caratteristiche chimico fisiche medie dei compost prodotti in Veneto, corrisponde ad una dose annua di ca. 20 t TQ/ha: questo valore è ripreso dalla letteratura e tiene conto del fabbisogno medio annuo di azoto di una coltura ad elevata richiesta di tale nutriente, quale il mais, che è coltivato in maniera estesa nel territorio regionale.

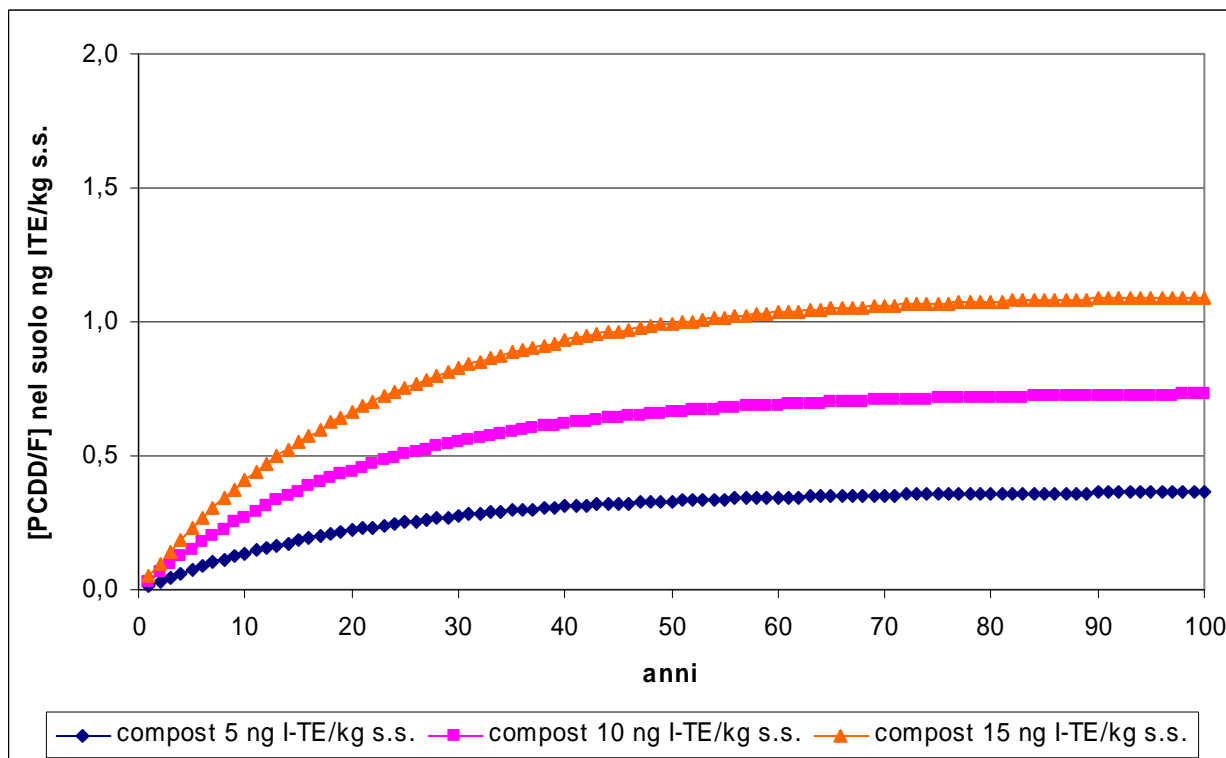
ARPAV – DAP TV – Servizio Osservatorio Suolo e Rifiuti –
Osservatorio Regionale per il Compostaggio

Fig. 11 – Dinamiche di accumulo di PCDD/F nel suolo apportando compost di qualità per 100 anni

Per quanto riguarda il compost, tenuto conto anche delle concentrazioni riscontrate dall'indagine regionale (vedi tab. 8), l'accumulo risulta trascurabile sia con concentrazioni di PCDD/F nel compost pari a 5, 10 o 15 ng I-TE/kg s.s. Infatti l'accumulo nel suolo in un arco temporale di 100 anni di utilizzo è rispettivamente di 0,36, 0,73 e 1,09 ng I-TE/kg s.s.

7.5. Valutazione delle dinamiche degli IPA durante il processo di compostaggio e dell'apporto di IPA nei suoli tramite l'utilizzo di compost.

Analogamente a quanto effettuato per il parametro diossine anche per gli IPA è stata prodotta una simulazione delle dinamiche di degradazione durante il processo di compostaggio, tenendo conto di un utilizzo massimo nella miscela del 35% di fanghi (come da D. Lgs. 217/06), di una perdita di processo di sostanza secca del 30% e di una percentuale di degradazione, come attestato in letteratura, del 50% [1]. Le concentrazioni medie di questo inquinante organico nella

ARPAV – DAP TV – Servizio Osservatorio Suolo e Rifiuti –
Osservatorio Regionale per il Compostaggio

FORSU e nel verde sono state reperite in letteratura [1]. Le concentrazioni di IPA nei fanghi sono quelle già utilizzate nel paragrafo 6.5, con l'aggiunta di un valore più alto di 12 mg/kg s.s., per effettuare un confronto su un range più ampio. Come si può notare dal grafico di figura 12 l'utilizzo di fanghi di depurazione con concentrazioni di IPA inferiori a 6 mg/kg s.s. consente di ottenere un compost finito con concentrazioni, per questo parametro, in linea con quelle riscontrate nell'indagine ARPAV (range IPA: 1-1.8 mg/kg s.s. - tab. 8). Utilizzando questi valori nel modello di accumulo nei suoli degli IPA tramite l'apporto di compost a diverse concentrazioni di IPA (figura 13), la concentrazione nel suolo dopo 100 anni di utilizzo di compost si attesta su valori attorno a 0.1 mg/kg s.s.

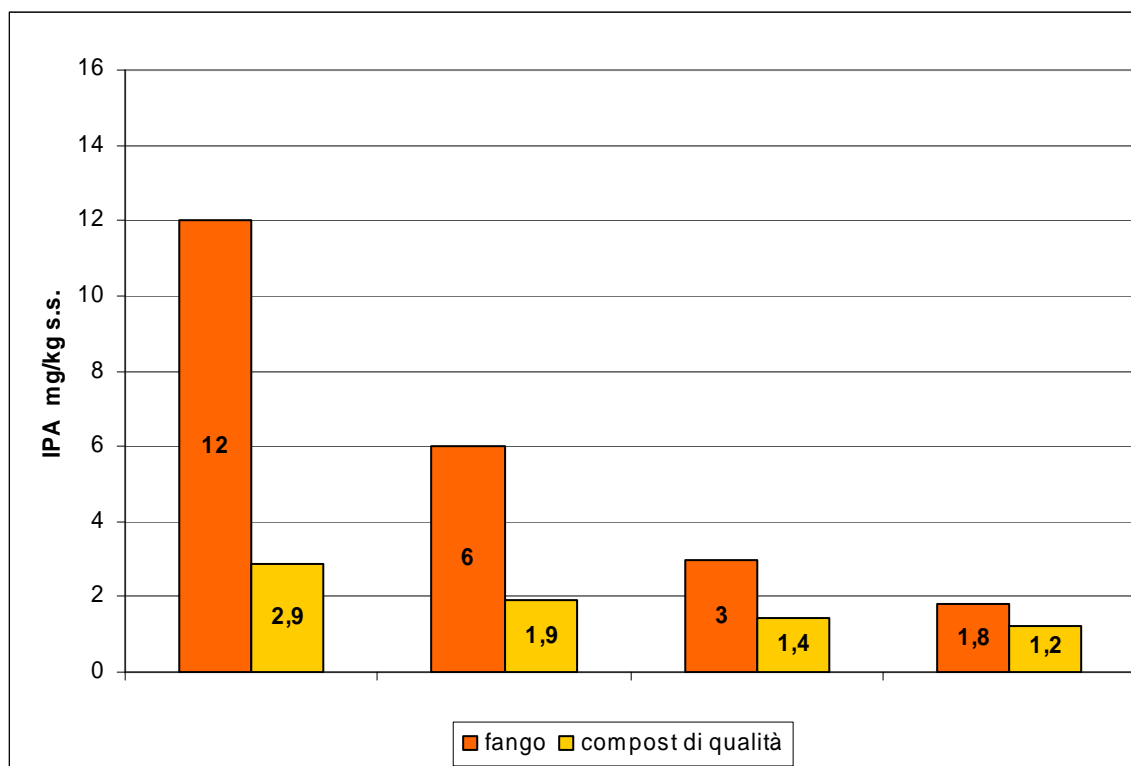


Fig. 12 –Dinamiche di accumulo degli IPA nel suolo utilizzando compost a diverse concentrazioni di IPA [15]

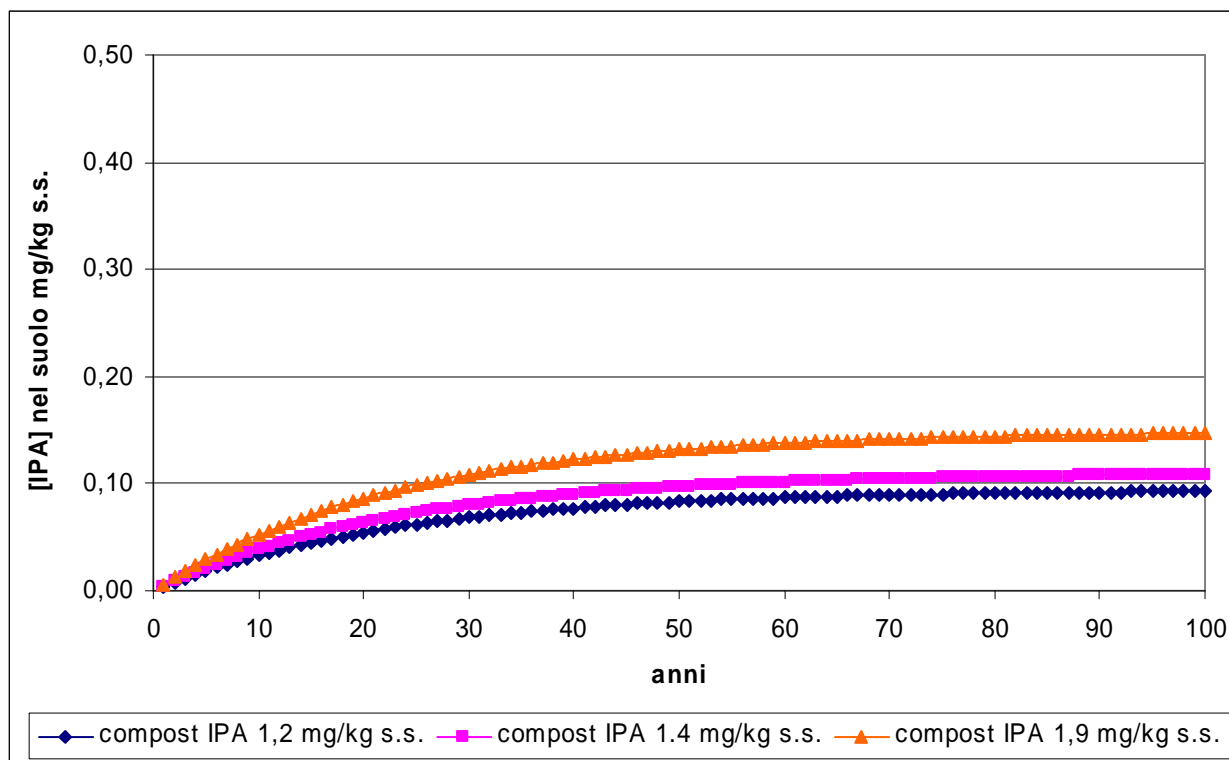
ARPAV – DAP TV – Servizio Osservatorio Suolo e Rifiuti –
Osservatorio Regionale per il Compostaggio

Fig. 13 –Dinamiche di accumulo degli IPA nel suolo utilizzando compost a diverse concentrazioni di IPA [15]

8. Conclusioni

Recentemente da più parti è stato sollevato il problema della presenza di microinquinanti organici nei fanghi di depurazione, in particolare delle diossine, considerate dalla comunità scientifica come ubiquitarie e, in alcuni casi, sono stati introdotti o proposti dei limiti.

Già la attuale normativa regionale del Veneto, DGRV 2241/05, che regola l'utilizzo agronomico di fanghi, pur senza indicare limiti, ha previsto l'obbligo di monitorare la concentrazione di questi inquinanti (diossine, IPA e PCB), anche in riferimento a quanto previsto dal terzo draft di un documento di lavoro europeo, redatto per predisporre la modifica della succitata Direttiva Comunitaria (allo stato attuale ancora in fase di elaborazione), che prevede l'introduzione di limiti per questi microinquinanti organici.

**ARPAV – DAP TV – Servizio Osservatorio Suolo e Rifiuti –
Osservatorio Regionale per il Compostaggio**

Nel presente documento sono state fatte delle valutazioni sull'apporto di diossine nei suoli in un arco temporale di 100 anni, dovuto ad un utilizzo continuativo di fanghi in agricoltura con concentrazioni di 100 ng I-TE/kg s.s., con 50 ng I-TE/kg s.s. o 25 ng I-TE/kg s.s.

Le simulazioni effettuate con il modello matematico di accumulo di diossine e furani nel suolo a seguito degli apporti di fanghi di depurazione civile e di compost di qualità determinano dei risultati, a breve e a lungo termine, in linea coi valori di fondo mediamente riscontrati nei suoli della Regione Veneto. Tuttavia si ritiene che il valore proposto nel 2000 dal Draft europeo di 100 ng I-TE/kg s.s., non sia in grado di garantire, in prospettiva, in base alle caratteristiche dei valori di fondo del suolo veneto e degli ulteriori apporti di origine antropica, sufficiente margine di sicurezza rispetto al limite di 10 ng I-TE/kg s.s., previsto dalla normativa ambientale in materia di suoli contaminati per i siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. Valori più consoni, sulla scorta dei dati attualmente disponibili, potrebbero attestarsi nell'intervallo compreso tra 25 e 50 ng I-TE/kg s.s.

Rispetto ai parametri idrocarburi e toluene, in base a quanto sopra riportato, si ritiene più significativa la determinazione degli IPA (idrocarburi policiclici aromatici), in quanto dotati di accertato potere cancerogeno e più diffusamente utilizzati nelle diverse normative di tutela ambientale, sia perché rappresentano comunque degli indicatori di contaminazione da composti petroliferi. Nella mancanza di una significativa banca dati sulle concentrazioni di fondo degli IPA nei suoli veneti, si può fare riferimento al valore limite di 6 mg/kg s.s. (tab. 4) proposto dal terzo draft del documento di revisione della Direttiva 86/278/CEE per l'utilizzo dei fanghi di depurazione in agricoltura.

Analogamente, anche se non esplicitamente richiesto dalla provincia di Verona, considerato che la DGRV 2241/05 ne prevede l'esecuzione analitica si ritiene opportuno indicare un valore limite di riferimento anche per il parametro PCB facendo riferimento a quanto indicato nel draft europeo, che prevede come limite 0,8 mg/kg s.s. (tab. 4).

Ad integrazione del presente lavoro, l'ARPA si riserva di completare ed approfondire gli aspetti relativi ai valori di fondo dei terreni agricoli della Regione Veneto, per meglio definire le concentrazioni di inquinanti che possono essere tollerate senza pregiudizio per l'ambiente, nonché di valutare l'applicabilità di modelli di analisi del rischio sanitario, in collaborazione con le autorità competenti.



ARPAV – DAP TV – Servizio Osservatorio Suolo e Rifiuti –
Osservatorio Regionale per il Compostaggio

9. Bibliografia.

- [1] Amlinger F., Pollak M., Favoino E., 2004. *Heavy metals and organic compounds from wastes used as organic fertilisers*, Final report. EU-Report .
- [2] APAT, 2006. *Diossine Furani e PCB*. Rapporto APAT.
- [3] Della Sala S., Scazzola R., Terrabujo C., Giandon P., Wenning R. J., Dodge D. G., Luksemburg W. J., Weagraff S. A., (1999). *Assessment of PCDD/Fs, PCBs, and heavy metals in soil: a measure of the impact of the industrial zone of Porto Marghera on Inland Coastal Areas of Italy*. Organohalogen compounds. Vol. 43.
- [4] ARPAV, Incendio de Longhi, Relazione del 25/06/2007.
- [5] Di Domenico A., De Felip E., 2000. PCBs, PCDDs, and PCDFs in Italy: *Some experiences and ongoing research activities*. ISS-Laboratory of Comparative Toxicology and Ecotoxicology.
- [6] Kupper T., Becker van Slooten et al., 2001. *Risikoanalyse zur Abfalldüngerverwertung in der Landwirtschaft*. FAL, Reckenholz, Zürich.
- [7] Dettwiler J., Karlaganis G., Studer C., Joss S., Stettler A. und Chambaz D., 1997. *Dioxine und Furane – Standortbestimmung Beurteilungsgrundlagen, Massnahmen*, Schriftenreihe Umwelt Nr. 290. Bern: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landwirtschaft (BUWAL).
- [8] AAVV, 2001. *Pollutants in urban waste water and sewage sludge..* Final Report. Eu Commision- Directorate General Environment
- [9] Aichberger et al., 2002. *Qualitative Anforderungen an den Klärschlamm*. Entwurf zum Regelbaltt „Landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm“. Österreicher Wasser- und Abfallwirtschaftsverband. Wien.
- [10] EPA, 2002. Part VI. *Standards for the Use of Disposal of Sewage Sludge*; Notice.
- [11] AMSA, 2001, *The AMSA 2000/2001 Survey of Dioxin-like Compounds in Biosolids. Statistical Analyses*. Cambrifdge Environmental Inc.
- [12] Timmermann F., Kluge R., Bolduan R., Mokry M., Janning S., Grosskopf W., Schreiber A., Ziegler W., Koscielniak N., 2003. *Nachahlrtige Kompostverwertung in der Landwirtschaft, DBU-Abschlussbericht zum Verbundforschungsprojekt Praxisbezogene Anwendungsrichtlinien sowie Vermarktungskonzepte für den nachhaltigen Einsatz von*

ARPAV – DAP TV – Servizio Osservatorio Suolo e Rifiuti –
Osservatorio Regionale per il Compostaggio

gütegesicherten Komposten im landwirtschaftlichen Pflanzenbau, Hrsg.: Gütegemeinschaft Kompost Region Süd e.V., Leonberg.

- [13] Zehntner G., Götz B., Amlinger F., 2001. *Qualität von Komposten aus der getrennten Sammlung*, Monographien, Band 133, Umweltbundesamt, Wien.
- [14] AAVV, 2007. *Kompost und Gärgut in der Schweiz*. 43/07. BAFU-BFE-BLW-AWEL, Bern.
- [15] Eitzer B. D., Iannucci-Berger W. A., Mark G., Zito C., 1997. *Fate of toxic compounds during composting*. Bulletin of Environmental Contamination Toxicology, 58.
- [16] Morrison R. T., Boyd R. N., 1997. *Chimica organica*. Casa Editrice Ambrosiana.
- [17] APAT, 2006. *Manuale per le indagini ambientali nei siti contaminati*. Manuali e linee guida 43/06
- [18] Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), 1999. *Toxicological profile for total petroleum hydrocarbons (TPH)*. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service (<http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp123-c2.pdf>).
- [19] APAT, 2008. *Documento sintetico sul parametro idrocarburi in alcune matrici ambientali*. Gruppo di lavoro APAT-ARPA/APPA, ISS, CNR-IRSA, ICRAM, CRA.
- [20] UNI EN 14039, 2005. *Caratterizzazione dei rifiuti. Determinazione del contenuto di idrocarburi nell'intervallo compreso tra C₁₀ e C₄₀ mediante gascromatografia*.
- [21] Girardini M., Centenni E., Franz L., Paradisi L., Ceron A., Formigoni D., Frignani S., Bernini M., Pavoni B., 2008. *IPA, PCB, Pesticidi organoclorurati, Idrocarburi totali e Metalli pesanti in compost e matrici compostabili*. Atti Ecomondo-2008.
- [22] ARPAV, 2008. *Classificazione dei rifiuti*. Procedura gestionale interna. PG11DT.
- [23] Musmeci, 2008. *La classificazione dei rifiuti pericolosi: stato dell'arte*. RIFIUTI, Bollettino di informazione normative n. 154/08.
- [24] Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3704 del 17/09/2008. *Disposizioni urgenti di protezione civile*.
- [25] ISS. Richiesta parere su procedure di classificazione dei rifiuti contenenti idrocarburi o metalli pesanti. Nota n. 0036565 del 05/07/2006.
- [26] Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), 1995. *Toxicological profile for plicyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)*. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.



ARPAV – DAP TV – Servizio Osservatorio Suolo e Rifiuti –
Osservatorio Regionale per il Compostaggio

- [27] Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), 1995. *Toxicological profile for toluene*. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.
- [28] Vendrame T., 2007. *Idrocarburi & bonifiche: definizioni teoriche e problemi pratici*. Ferrara 28/09/07.
- [29] CCME, Reference Method for the Canada-Wide Standard for Petroleum Hydrocarbons in Soil-Tier 1 Method.