

**ISTITUTO SUPERIORE DI SANITÀ**

**Valutazione microbiologica  
di prodotti di compostaggio:  
aspetti normativi e igienico-sanitari**

**Procedure operative  
per lo svolgimento di indagini microbiologiche**

Lucia Bonadonna, Rossella Briancesco, Gianluca Chiaretti,  
Anna Maria Coccia, Simonetta Della Libera, Rosella Marini, Maurizio Semproni

*Laboratorio di Igiene Ambientale*

ISSN 1123-3117

**Rapporti ISTISAN**

**02/3**

Istituto Superiore di Sanità

**Valutazione microbiologica di prodotti di compostaggio: aspetti normativi e igienico-sanitari. Procedure operative per lo svolgimento di indagini microbiologiche.**

Lucia Bonadonna, Rossella Briancesco, Gianluca Chiaretti, Anna Maria Coccia, Simonetta Della Libera, Rosella Marini, Maurizio Semproni

2002, iv, 60 p. Rapporti ISTISAN 02/3

Nel corso di un triennio, è stata condotta un'indagine conoscitivo/analitica sulla qualità igienico-sanitaria di prodotti di compostaggio derivati da aziende produttrici distribuite sul territorio nazionale. I risultati ottenuti hanno evidenziato la necessità di una modifica/revisione della normativa vigente in materia e hanno condotto alla elaborazione di procedure operative per la definizione delle caratteristiche di qualificazione dei prodotti di compostaggio.

*Parole chiave:* Analisi microbiologiche, Compost, Parametri di qualità

Istituto Superiore di Sanità

**Microbiological quality of composting products: legislative and hygienic measures. Operative procedures for the microbiological analytical control.**

Lucia Bonadonna, Rossella Briancesco, Gianluca Chiaretti, Anna Maria Coccia, Simonetta Della Libera, Rosella Marini, Maurizio Semproni

2002, iv, 60 p. Rapporti ISTISAN 02/3 (in Italian)

A three year analytical investigation on the hygienic quality of composting products in Italy was performed. Results pointed out the necessity of revising the law now in force in Italy in relation to the microbiological parameters. Moreover on the basis of the study operative procedures were elaborated for the microbiological control of compost.

*Key words:* Compost, Methods, Microbiological parameters.

La ricerca è stata effettuata grazie al parziale contributo economico del Ministero dell'Ambiente nell'ambito del progetto triennale per la tutela dell'ambiente; Progetto 5: *Implicazioni igienico-sanitarie nella gestione dei rifiuti*, Linea di Ricerca C: *Valutazione della qualità microbiologica di prodotti di compostaggio in base alle matrici di origine e in funzione della loro qualificazione.*

Si ringrazia la Commissione di Alta Consulenza per la Ricerca Ambientale del Ministero dell'Ambiente per i suggerimenti forniti nel corso dell'indagine.

Si ringraziano il Consorzio Italiano Compostatori (CIC) per aver fornito alcuni dei campioni che sono stati analizzati nell'indagine e tutti coloro che hanno contribuito alla raccolta e all'invio dei campioni per le analisi.

Il rapporto è accessibile online dal sito di questo Istituto: [www.iss.it/pubblicazioni](http://www.iss.it/pubblicazioni).

# INDICE

<b>Premessa</b> .....	iii
<b>Introduzione</b> .....	1
<b>Compostaggio</b> .....	2
Fattori di influenza sul processo biologico.....	3
Microbiologia della trasformazione in compost.....	4
Qualità dei materiali di partenza.....	6
Normativa nazionale.....	10
<b>Fase operativa della ricerca</b> .....	14
Risultati.....	14
Valutazione dei risultati.....	17
<b>Conclusioni</b> .....	22
<b>Bibliografia</b> .....	24
<b>Appendice A</b>	
Limiti qualitativi per il compost secondo la normativa nazionale .....	27
<b>Appendice B</b>	
Procedure operative per il campionamento e l'analisi dei prodotti di compostaggio .....	31
Introduzione.....	33
Modalità di campionamento e trasporto dei campioni.....	33
Procedure analitiche.....	34
Omogeneizzazione del campione .....	34
Determinazione dei parametri microbiologici.....	34
Coliformi totali.....	35
Coliformi fecali.....	35
<i>E. coli</i> .....	35
Streptococchi fecali.....	36
<i>Salmonella</i> sp.....	36
Batteriofagi anti- <i>E. coli</i> .....	37
Clostridi solfitoriduttori.....	37
Protozoi patogeni.....	37
Uova di elminti.....	38
<b>Appendice C</b> .....	39
Valori ottenuti dalle analisi microbiologiche di compost proveniente dagli impianti considerati.....	39



## PREMESSA

In tutti i Paesi industrializzati, il controllo della produzione e della gestione dei rifiuti costituisce un problema destinato ad acquistare dimensioni sempre più preoccupanti. In Italia, in particolare, la problematica del loro smaltimento è caratterizzata da rilevanti difficoltà e, pur attraversando uno stato di costante emergenza, recentemente si cominciano ad avvertire gli effetti positivi della definizione degli obiettivi di raccolta differenziata contenuta nel DL.vo n. 22/1997 del Ministero dell'Ambiente (1) che, superando le precedenti normative, ha disegnato un quadro di riferimento in materia di gestione dei rifiuti.

Un regime di controllo e gestione integrata dei rifiuti deve: prevedere la possibilità, attraverso un processo iterativo e nell'ambito del principio di sviluppo sostenibile, di evolvere in rapporto all'esigenza di far fronte a condizioni suscettibili di cambiare nel tempo; minimizzare il ricorso alla discarica e al conseguente smaltimento indifferenziato; basarsi su principi di raccolte differenziate, recupero e valorizzazione degli scarti, limitando in tal modo il rischio ambientale.

In questo ambito la trasformazione in compost può fornire una corretta soluzione sia alla crescente carenza di sostanza organica nei terreni agricoli, sia al problema dello smaltimento della ingente quantità di rifiuti organici prodotti.

Il compostaggio pertanto, soprattutto quello di rifiuti raccolti o conferiti in modo differenziato, è un sistema competitivo a livello economico e ambientale rispetto ad altre forme di riutilizzo e riveste un ruolo importante rappresentando una forma elettiva di recupero di materia. In un'ottica di riutilizzo dei rifiuti, la tecnica del compostaggio può rappresentare, quale fonte rinnovabile di sostanza organica, una opzione estremamente valida dal punto di vista ambientale, a condizione che siano adottati standard di qualità anche per i materiali avviati al processo, puntando l'attenzione, soprattutto, su quei parametri che esibiscono caratteristiche di diffusione/persistenza, sinergia e bioaccumulo.

La politica di gestione dei rifiuti in Europa è molto avanzata soprattutto in alcuni Paesi quali Germania, Austria, Danimarca, Olanda dove il compostaggio ha assunto dimensioni ragguardevoli. Accanto a tali situazioni si possono individuare contesti regionali, quali le Fiandre in Belgio e la Catalogna in Spagna che, oltre ad avere previsto la massiccia introduzione delle raccolte differenziate specifiche, hanno conseguito, in molti casi, importanti risultati nella separazione dello scarto organico (2).

Recentemente anche in Italia si può osservare un crescente interesse al problema anche sul piano normativo: la legislazione vigente sull'uso di fertilizzanti (Legge n. 748/1984 e Decreto del Ministro delle Politiche Agricole del 27 marzo 1998), introducendo tra gli ammendanti il compost di qualità, da ottenersi per trasformazione di scarti organici differenziati alla fonte e non da Rifiuti Urbani (RU) indifferenziati, risolve molte delle contraddizioni della pre-esistente situazione normativa (3, 4).

È comunque da mettere in evidenza che, mentre i limiti per il compost di qualità prescritti nella Legge n. 748/1984 sono molto restrittivi, e in linea con le più severe disposizioni di altri Paesi europei, mancano invece precisi riferimenti normativi per l'utilizzo del materiale compostato che, pur non rientrando pienamente nei valori della legge, può presentare ancora possibilità di impiego sia in agricoltura sia nei ripristini ambientali.

Come evidenziato dai Rapporti sulla gestione dei rifiuti urbani elaborati dall'ANPA (Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente) e dall'Osservatorio Nazionale dei Rifiuti, risulta che nel 1997 in Italia sono state avviate agli impianti di compostaggio circa 1.600.000 t di rifiuti, con una produzione di compost da rifiuti stimata in circa 250-300.000 t (5).

Le Regioni italiane che per prime hanno incentivato il settore del compostaggio di qualità, autorizzando anche iniziative pubbliche e private, sono Piemonte, Veneto, Lombardia, Trentino-Alto Adige, Emilia Romagna, e Toscana e alcune regioni del Centro-sud che stanno cominciando a sviluppare il settore con buoni risultati (6, 7).

Nonostante l'evoluzione della normativa, alcuni parametri analitici, da determinare per la definizione della qualità dei prodotti di compostaggio, risultano tuttavia ancora poco chiari e, in alcuni casi, scarsamente significativi, soprattutto se si considerano gli aspetti più strettamente igienico-sanitari legati alla presenza di agenti microbici che si caratterizzano per media-lunga persistenza nell'ambiente, lungo periodo di latenza, bassa dose infettante.

Da questa osservazione è nata l'esigenza di valutare, anche allo scopo di una revisione/integrazione delle normative esistenti e della proposizione di nuove, la qualità di compost di diversa derivazione, al fine di garantire standard produttivi in grado di assicurare un ammendante organico di alta qualità.

Pertanto lo svolgimento della ricerca è stato eseguito allo scopo di verificare la possibilità di inserire e/o sostituire più idonei parametri microbiologici, definire specifici protocolli relativi alle modalità di campionamento e individuare metodologie analitiche standardizzate per questa tipologia di campioni. Infatti, in assenza di specifici protocolli relativi a procedure di analisi standardizzate, nonché di una puntuale conoscenza merceologica delle matrici in ingresso al processo di compostaggio, così come al tipo di tecnologia utilizzata, risulta incerta la corretta valutazione igienico-sanitaria del prodotto.

# INTRODUZIONE

La trasformazione in compost, nata come metodo di trattamento, recupero e smaltimento dei rifiuti solidi urbani, e successivamente come procedimento esteso ad altre materie prime (principalmente fanghi di depurazione miscelati a rifiuti solidi o ad altre sostanze utilizzate come fonti di carbonio), si basa sostanzialmente su un processo biologico di decomposizione e stabilizzazione aerobica delle sostanze organiche presenti nei materiali di scarto originari, per ottenere un prodotto finale reimpiegabile. La sua produzione e utilizzo può fornire una corretta soluzione sia alla crescente carenza di sostanza organica nei terreni, sia al problema dello smaltimento della ingente quantità di rifiuti organici prodotti.

Oltre alla fase biologica, il metodo prevede una serie di trattamenti meccanici atti a separare dal flusso principale i materiali inadatti o dannosi al processo o al prodotto finale, ad omogeneizzare i rifiuti grezzi – rendendo inoltre più estesa la superficie di utilizzo disponibile per i batteri, e quindi più efficiente il processo biologico – ed eventualmente raffinare il prodotto finito.

L'attività di ricerca svolta ha previsto lo svolgimento di analisi microbiologiche di campioni di compost nelle varie fasi del processo di maturazione, con i seguenti obiettivi:

1. predisposizione di specifici protocolli di campionamento e analisi per l'esame microbiologico dei prodotti di compostaggio, per compensare una carenza normativa di rilevanza significativa;
2. verifica della significatività igienico-sanitaria dei parametri microbiologici inseriti nella normativa attualmente in vigore;
3. determinazione e considerazione della valenza di parametri integrativi e/o alternativi, di interesse sanitario nell'ambito dell'aggiornamento/modifica delle norme legislative vigenti;
4. qualificazione, relativamente al rischio igienico-sanitario, di prodotti di compostaggio in funzione delle diverse categorie di prodotti di origine e delle tecnologie operative adottate per la loro produzione.
5. valutazione degli abbattimenti conseguiti in relazione alle caratteristiche dei processi di maturazione.

## COMPOSTAGGIO

Il compostaggio è un processo di ossidazione biologica, articolato in più fasi, di componenti organici naturali che si verifica in condizioni rigorosamente controllate e pilotate all'interno di cumuli o di reattori. A seguito dell'attività dei microrganismi, la sostanza organica subisce profonde trasformazioni chimico-fisiche che conducono alla sintesi di polimeri complessi con caratteristiche umo-simili e alla piena stabilità biologica dei materiali (8).

Sostanzialmente tale processo si articola in fasi meccaniche e fase biologica. Le fasi meccaniche operano a monte della fase biologica e hanno lo scopo di migliorarne l'efficienza.

I rifiuti, pesati all'atto del conferimento all'impianto, vengono stoccati in fosse di accumulo chiuse, mantenute in depressione. Per il convogliamento dei rifiuti verso i successivi stadi di trattamento, l'operazione generalmente avviene all'interno di canalizzazioni chiuse, operanti in lieve depressione, per evitare diffusioni di polveri.

Il processo al suo inizio prevede operazioni di triturazione e vagliatura, talora costituite da più stadi, che hanno lo scopo di preparare i rifiuti al trattamento biologico e di separare dalla massa omogeneizzata la frazione non compostabile. In particolare, la triturazione ha per obiettivi principali la riduzione della pezzatura dei rifiuti (2÷4 cm) e la loro omogeneizzazione, mentre la vagliatura consente di uniformare la pezzatura dei materiali, separando dal flusso di trattamento i sovralli, costituiti essenzialmente da materiali di scarto o sovrabbondanti. Gli scarti di vagliatura possono essere riciclati a monte della triturazione; in ogni caso il materiale definitivamente scartato in vagliatura può essere smaltito, eventualmente previa deferrizzazione, o riutilizzato come fonte di altro materiale di recupero.

Se presenti materiali ferrosi, la loro separazione richiede generalmente l'impiego di opportuni campi magnetici e può essere effettuata più comunemente a monte della triturazione oppure nella fase di raffinazione, quando questa sia presente. Quest'ultima operazione avviene di solito a valle del processo biologico, ma in alcuni casi si fa ricorso a un processo di preraffinazione, consistente sostanzialmente in una triturazione secondaria atta a ridurre ulteriormente la pezzatura e a polverizzare gli inerti residui. Tale scelta viene di norma limitata agli impianti dotati di fase biologica accelerata che non prevedono una raffinazione del compost per classificazione.

Nella gran parte dei casi si procede alla miscelazione con fanghi di risulta da impianti di trattamento di acque reflue. L'aggiunta del fango consente di incrementare l'apporto di sostanza organica e quindi di nutrienti, nonché di regolare a monte l'umidità della miscela.

La quantità di fanghi miscelabili è funzione diretta dell'umidità ed è quindi vantaggioso utilizzare fanghi ben disidratati e contemporaneamente stabilizzati, al fine di non incrementare troppo le richieste di ossigeno. Il rapporto di miscelazione, a monte della fase di stabilizzazione biologica deve essere calcolato in base a un rapporto preciso che consideri la quantità di fanghi, di rifiuti e l'umidità. La miscelazione con i fanghi di depurazione deve procedere in modo appropriato e tenere in considerazione i problemi legati alla presenza di sostanze tossiche nei fanghi e di condizionanti chimici che possono modificare il rapporto di miscelazione, indipendentemente dall'umidità.

La fase biologica prevede un periodo di maturazione del prodotto che si protrae nel tempo. La fase di stabilizzazione aerobica delle sostanze organiche, che permette la loro trasformazione in un prodotto unico metastabile con proprietà ammendanti e blandamente fertilizzanti del suolo agricolo, è quella essenziale dell'intero processo. Nella sua fase iniziale è un processo marcatamente aerobio ed esotermico: la presenza di composti prontamente metabolizzabili comporta elevati consumi di ossigeno e parte dell'energia della trasformazione è dissipata sotto forma di calore (60÷70 °C).



Si tratta comunque di un processo biologico basato sull'azione combinata e sequenziale di popolazioni batteriche mesofile e termofile, di miceti e attinomiceti e di protozoi ambientali.

Oltre ai batteri, quali principali responsabili della trasformazione della sostanza organica, gli altri organismi svolgono funzioni di demolizione del materiale organico, sintetizzando vitamine e antibiotici (funghi), di demolizione della frazione di sostanza organica meno facilmente degradabile (attinomiceti) – ad esempio la cellulosa – e di regolazione e controllo dello sviluppo di batteri e miceti (protozoi ambientali).

Nelle fasi iniziali del processo prevalgono i batteri, sia facoltativi aerobi che anaerobi, mentre i funghi si diffondono negli strati superficiali al termine del primo periodo di maturazione e gli attinomiceti sono presenti negli stadi finali del processo prevalentemente in superficie; il processo di umificazione si sovrappone e si sostituisce progressivamente a quello di bioossidazione.

Questi organismi, se il substrato disponibile è adatto, sono naturalmente presenti; in ogni caso un miglioramento del processo può essere ottenuto con il ricircolo di materiale a diverso grado di maturazione, piuttosto che con l'impiego di ceppi selezionati.

Ciò richiede una adeguata e bilanciata disponibilità di nutrienti, principalmente azoto e fosforo. Per quanto concerne l'azoto, inizialmente il rapporto è  $C/N \cong 30$ , con un campo di variazione  $C/N = 25\div 50$ ; valori di  $C/N > 35$  portano ad un progressivo rallentamento del processo, mentre per  $C/N < 25$  sono probabili perdite di azoto (sotto forma di  $NH_3$ ) per stripping, soprattutto durante le fasi più esotermiche.

Per quanto riguarda il fosforo, inizialmente il rapporto è  $C/P \cong 100$ , con un ampio campo di variazione ammissibile; si riscontrano funzionamenti corretti anche per  $C/P = 75\div 150$ . Qualora  $C/N$  e  $C/P$  risultassero troppo elevati per carenza di nutrienti, generalmente si fa ricorso all'aggiunta di fanghi di depurazione.

All'inizio del processo la massa da compostare è a temperatura ambiente, poi, per effetto dell'esotermia delle reazioni biologiche, la temperatura sale rapidamente fino a raggiungere, nel giro di pochi giorni, valori di oltre  $50\text{ }^\circ\text{C}$ , con punte di oltre  $70\text{ }^\circ\text{C}$ .

La temperatura si mantiene elevata fin quando vi è disponibilità di sostanza organica facilmente biodegradabile (nel caso del sistema tradizionale su cumuli deve essere rispettata anche la condizione della circolazione d'aria); al termine del processo si verifica un progressivo abbassamento fino al raggiungimento della temperatura ambiente.

Contemporaneamente, il pH, dopo un abbassamento iniziale ( $pH = 6\div 6,6$ ) dovuto alla produzione di acidi organici, prende a risalire per poi stabilizzarsi su valori praticamente neutri.

## Fattori di influenza sul processo biologico

Nel corso del processo di compostaggio vengono sottoposti generalmente a controllo i seguenti parametri:

### – Umidità (u)

Deve essere normalmente compresa tra il 45% e il 55% per evitare, da un lato, un rallentamento del processo per valori di  $u < 45\%$  e, dall'altro, difficoltà al trasferimento di ossigeno per  $u > 55\%$ . La miscelazione tra fanghi e rifiuti solidi può essere regolata su questo parametro nell'ambito del campo ottimale dei valori di umidità, mentre è comune la necessità di prevedere periodiche irrigazioni, soprattutto nei periodi estivi, per il compostaggio statico di soli rifiuti solidi. È da rilevare, inoltre, che nel caso della conduzione della fase accelerata, l'umidità della miscela può essere anche superiore (indicativamente fino ad  $u \cong 60\%$ ) e il sistema è fornito di ventilazione forzata.

- *Temperatura (T)*  
La massima efficienza di trasformazione si ha per  $T \sim 50$  °C, ma solo l'esposizione prolungata a  $T > 65$  °C garantisce la sicurezza igienica del prodotto. Si segnala che, mentre il rilevamento della temperatura è significativo per valutare lo stato di avanzamento del processo, le possibilità di regolazione sono praticamente irrilevanti.
- *Concentrazione idrogenionica (pH)*  
Il campo di pH normale ben si adatta alle necessità dei microrganismi (pH = 6÷7,5 per i batteri e pH = 5,5÷8 per i funghi). Eventuali interventi per modificare pH inadatti portano a risultati molto aleatori e risultano talora controproducenti.
- *Solidi volatili*  
Il tenore di solidi volatili presenti nella massa in maturazione, pur non rappresentando un parametro di regolazione del processo, può fornire comunque utili informazioni sul suo svolgimento.
- *Aerazione*  
Il consumo di ossigeno dipende dal quantitativo e dal tipo dei solidi volatili (SV) presenti nella massa sottoposta a maturazione e dalla conseguente presenza di biomassa e può raggiungere e superare i  $0,5 \text{ m}^3/\text{kg SV} \times \text{giorno}$ ; il consumo cresce all'aumentare dell'umidità e può essere regolato (nei sistemi a maturazione accelerata) mediante monitoraggio dell'O<sub>2</sub> residuo nei gas rilasciati. Il consumo specifico medio di ossigeno potrebbe essere valutato dalla seguente relazione:  

$$W_{O_2} = \xi \cdot x \cdot \psi^{kT}$$
dove il consumo di ossigeno  $W_{O_2}$  è espresso in g O<sub>2</sub>/kg SV x h e T è la temperatura espressa in °C. I valori dei coefficienti empirici  $\xi$ ,  $\psi$ , k, riportati in letteratura, oscillano nei seguenti campi:  
 $\xi = 0,07 \div 0,1$ ;  $\psi = 10 \div 16$ ;  $k = 0,028 \div 0,031$
- *Agitazione*  
Questo parametro presenta un notevole interesse ai fini di un corretto svolgimento del processo; infatti una continua miscelazione della massa in maturazione consente di omogeneizzare la distribuzione delle sostanze organiche, dell'umidità, dei nutrienti, delle popolazioni batteriche e delle sostanze bioresistenti (nel metodo a maturazione naturale, un periodico rimescolamento della massa consente anche l'apporto di ossigeno atmosferico). Inoltre la miscelazione porta ad un progressivo sminuzzamento dei materiali e facilita la degradazione della sostanza organica. D'altro canto una eccessiva miscelazione ingenera una perdita di umidità e di calore da parte della massa in compostaggio, ma soprattutto può modificare le concentrazioni dei funghi e degli attinomiceti. Appare pertanto ragionevole fare preferibilmente ricorso ad agitazioni periodiche, soprattutto dopo la fase iniziale di intensa maturazione (indicativamente dopo la prima settimana) (9).

## Microbiologia della trasformazione in compost

Nelle fasi iniziali di trasformazione tutti i gruppi microbici (batteri, eumiceti e attinomiceti) si accrescono e aumentano progressivamente le loro attività metaboliche. Si assiste anche a un forte accrescimento della microflora patogena, e in particolare di enterobatteri (*E. coli*, ma

anche patogeni come *Salmonella*). Questa crescita è dovuta alla disponibilità di ingenti quantità di composti organici prontamente assimilabili (10, 11).

Ove i processi successivi di trasformazione non si verificano secondo condizioni ben precise, questi microrganismi finiranno per trovarsi nel prodotto finito. Tuttavia lo sviluppo di calore, soprattutto in fase termofila, assicura generalmente l'eliminazione di microrganismi patogeni, presenti soprattutto nei fanghi.

Tali condizioni consistono essenzialmente nel passaggio attraverso una fase termofila che comporta l'instaurarsi di una competizione tra la microflora saprofito autoctona e le popolazioni microbiche alloctone, costituite prevalentemente da patogeni e opportunisti patogeni (12).

Il processo procede energeticamente. Quando la temperatura sale, l'ambiente diventa sfavorevole per la maggior parte dei microrganismi presenti; la loro crescita viene inibita e successivamente si osserva una loro riduzione, fino all'abbattimento, per l'elevarsi della temperatura; in queste condizioni gli sporigeni prendono il sopravvento. Viceversa, in questa fase sono assenti gli eumiceti e gli attinomiceti, sia mesofili che termofili che possono riprendere la loro attività quando la temperatura scende al di sotto di 55 °C. Parallelamente alla riduzione della temperatura scende anche il pH, come conseguenza di una minore produzione di ammoniaca.

Inizia quindi la fase più importante dell'unificazione della sostanza organica.

Con l'intervento massiccio degli eumiceti, prima quelli termofili, poi quelli mesofili, procede rapidamente la trasformazione dei grandi polimeri come la cellulosa e la lignina.

La frazione organica dei Rifiuti Solidi Urbani (RSU) è costituita da circa 20-40% di cellulosa. Sebbene molti microrganismi saprofiti presenti nei rifiuti possono essere classificati come cellulolitici, solo una minima parte di essi è in grado di decomporre la cellulosa nativa. Per demolire questo grosso polimero sono infatti necessari microrganismi in grado di produrre enzimi ectocellulari, responsabili della conversione della cellulosa nativa in catene più corte. Questi polimeri vengono poi demoliti a cellobiosio e glucosio. I microrganismi che producono ectoenzimi, in grado quindi di rompere i legami idrogeno che uniscono le catene di zuccheri della struttura cristallina delle cellulose, sono prevalentemente gli eumiceti termofili, che sono i primi ad intervenire. I generi più rappresentativi che vengono generalmente isolati in questa fase sono: *Mucor*, *Chaetomium*, *Hemicola*, *Sporothricum* e *Thermoascus*.

Ceppi di eumiceti mesofili cellulolitici possono essere isolati nelle fasi più avanzate della bio-ossidazione. Da un punto di vista tassonomico essi sono prevalentemente costituiti da basidiomiceti e deuteromiceti. I generi più comuni sono rappresentati da *Armillaria*, *Coprinus*, *Pleurotus*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Cephalophora*, *Gliomatrix*, *Scopulariopsis*, *Stemphilium*, *Trichoderma* e *Verticillium*.

Oltre la cellulosa, anche le emicellulose possono costituire la frazione organica degli RSU. Esse spesso costituiscono una massa amorfa attorno agli strati cellulolitici. Nella demolizione di queste sostanze intervengono eumiceti, attinomiceti e batteri.

La degradazione è più veloce di quella delle cellulose e in condizioni aerobiche è prevalentemente operata dai funghi.

La lignina è generalmente il terzo maggior costituente della frazione organica (5-10%). È questo un composto formato da polimeri di nuclei aromatici (acido cinnamico) molto resistenti alla decomposizione microbica e la sua degradazione è strettamente dipendente da quella della cellulosa in quanto i due composti si trovano mescolati a costituire le pareti cellulari dei vegetali. I basidiomiceti sono i principali decompositori della lignina e tra i generi più ricorrenti si trovano *Coprinus*, *Polystictis*, *Fomes*, *Polyporus*, *Lentinus* e *Pleurotus*. Questi funghi trovano nel materiale organico degli RSU le sostanze necessarie non solo per lo sviluppo del micelio, ma anche per quello dei corpi fruttiferi. Se la massa in decomposizione non viene rimossa, come nel caso della aspirazione dal basso, dopo un mese sulla superficie dei cumuli cominciano ad

emergere abbondanti basidiocarpi. La presenza di questi corpi fruttiferi in impianti industriali, in cui le masse vengono aerate per rivoltamento, sono indice di cattiva esecuzione della procedura.

L'intervento dei batteri nelle fasi più avanzate della maturazione, pur non assumendo aspetti così vistosi come all'inizio del processo, mantiene comunque una sua importanza. Gli ammonizzanti e i proteolitici decrescono in genere celermente, mentre i pectinolitici e i cellulolitici si stabilizzano su valori abbastanza bassi.

Gli azoto-fissatori, la cui ridotta attività iniziale è essenzialmente imputabile all'eccesso di temperatura e di ammoniaca, mostrano un continuo incremento di attività biologica che raggiunge il massimo verso la fine del processo di decomposizione. Nelle fasi iniziali gli azoto-fissatori sono rappresentati dai generi *Azomonas*, *Klebsiella* ed *Enterobacter*. Durante la fase termofila questi generi tendono a sparire e vengono sostituiti da azoto-fissatori sporigeni e aerobi facoltativi ascrivibili al genere *Bacillus*. Pur restando la trasformazione in compost un processo essenzialmente aerobico, oltre il genere *Bacillus*, possono essere presenti anche clostridi azoto-fissatori anaerobi.

L'attività azoto-fissatrice, seppure di modesta entità, riveste notevole importanza e merita una particolare attenzione in quanto contribuisce ad arricchire il compost in azoto, riducendo così la perdita dovuta all'ammonizzazione.

Un altro gruppo importante di microrganismi che interviene nei processi di decomposizione è costituito dagli attinomiceti, che sono presenti sin dalla fase iniziale in forme termofile e mesofile. I mesofili tuttavia subiscono una forte riduzione quando la temperatura raggiunge o supera i 60 °C. I termofili viceversa raggiungono i valori massimi nella fase centrale della trasformazione in concomitanza con le alte temperature del cumulo. Con la riduzione della temperatura gli attinomiceti mesofili aumentano le loro concentrazioni fino a prevalere nuovamente sui termofili.

Le attività enzimatiche operate da questi microrganismi sono molteplici anche se più lente e meno vistose di quelle dei batteri e degli eumiceti. Prodotto del loro metabolismo è la geosmina, che conferisce al compost maturo il caratteristico profumo di terriccio di sottobosco.

Il processo di trasformazione in compost, così svolto, si esaurisce in genere nel giro di trenta giorni. A questo punto la temperatura scende e raggiunge valori prossimi a quella ambiente. L'umidità risulta circa del 25% e il rapporto C/N scende a valori inferiori a 15. Anche l'attività microbica si riduce fortemente e, seppure non si arresti, continua molto lentamente e senza sviluppo di calore. In queste condizioni il compost maturo può essere conservato per lungo tempo, anche all'aperto.

## Qualità dei materiali di partenza

La produzione di compost fornisce la soluzione congiunta a due ordini di problemi: l'esigenza di fertilizzanti organici, da un lato, e la necessità di smaltire rifiuti biodegradabili, dall'altro.

L'importanza del compostaggio è pertanto destinata a crescere nel tempo, sia per i rischi ecologici e igienico-sanitari connessi allo smaltimento dei rifiuti in discarica, o nel caso degli inceneritori per gli elevati costi di investimento e di esercizio, sia per la diffusa carenza di sostanza organica in rapporto alle esigenze di un'agricoltura moderna.

La validità della scelta del sistema di compostaggio è tuttavia legata alla capacità di collocare sul mercato il prodotto finale che, a sua volta, è strettamente correlata alla qualità del compost prodotto, cioè a un basso contenuto di sostanze inquinanti, alla quantità e alla qualità della sostanza organica contenuta nel compost, al suo grado di maturità e stabilità (13).

Le caratteristiche qualitative sono influenzate in misura determinante dalla qualità dei materiali di partenza e dalle modalità di conduzione del processo di compostaggio.

È possibile ottenere compost di buona qualità impiegando materiali idonei, operando con una corretta tecnica di trattamento e una adeguata attrezzatura impiantistica. La qualità dei materiali di partenza influenza in modo determinante la qualità del compost finale, in particolare per quanto riguarda le caratteristiche ambientali del compost stesso (14).

I rifiuti verdi, costituiti essenzialmente da sfalci, potature e foglie, sono sicuramente la frazione organica più pregiata tra quelle che finiscono mescolate ai rifiuti solidi. La tecnologia di valorizzazione meglio utilizzabile per questi materiali è il compostaggio finalizzato alla produzione di un ammendante organico di alta qualità. I limiti qualitativi di questi rifiuti rispetto a tale utilizzo sono praticamente trascurabili; la loro composizione chimica, e in particolare il rapporto C/N particolarmente elevato, può essere uno svantaggio per il compostaggio, qualora questi materiali vengano trattati da soli. È perciò consigliabile il co-compostaggio con altri rifiuti ad elevata matrice organica ricchi di azoto, quali fanghi di depurazione, scarti zootecnici ecc. In questo modo si abbreviano i tempi di trasformazione e si ottengono dei prodotti qualitativamente migliori da un punto di vista agronomico.

Esistono determinate utenze (mercati, esercizi commerciali, ristoranti, mense, caserme, e altri grandi utenze), diverse da quelle abitative, che producono quantità considerevoli di rifiuti, ad elevata matrice organica, sicuramente compostabili, caratterizzati dalla presenza di residui vegetali, alimentari, ecc.

Rifiuti della stessa tipologia possono inoltre provenire dalla industria agroalimentare, in special modo da quella conserviera. La qualità di questi materiali è sicuramente elevata anche se in alcuni casi possono dare luogo a compost leggermente contaminati da materiali inerti (plastica, vetro) e con elevato contenuto di sali solubili.

La raccolta dell'organico condotta presso utenze domestiche mediante l'introduzione di differenti contenitori viene sperimentata presso diverse realtà territoriali sia in Italia che all'estero. Molti degli impianti attualmente operanti in Italia prevedono ancora il trattamento dei rifiuti solidi raccolti in modo indifferenziato e la separazione a valle della raccolta mediante cicli tecnologici più o meno complessi. Le motivazioni della scarsa qualità del compost sono, in questi casi, prioritariamente da ricercare proprio nella cattiva qualità dei materiali di partenza e anche in errori tecnologici processistici e gestionali legati al funzionamento degli impianti.

Il compostaggio di rifiuti separati e differenziati alla fonte è indubbiamente auspicabile; infatti permette una semplificazione tecnologica più o meno spinta, con evidenti economie di scala. La situazione italiana tuttavia è ancora arretrata rispetto ad altri Paesi europei dove più del 50% del compost prodotto è contrassegnato dal marchio di qualità.

La possibilità di utilizzare nei processi di compostaggio i fanghi provenienti dalla depurazione delle acque reflue urbane e industriali dipende ovviamente dalla qualità dei fanghi stessi, in particolare modo dal loro contenuto in metalli pesanti, ma anche, specialmente se trattasi di fanghi di risulta da impianti di trattamento di acque reflue urbane, dalla loro qualità microbiologica (15).

In linea generale i fanghi di depurazione provenienti dall'industria agroalimentare, da quella cartaria e da alcune altre categorie produttive hanno contenuti di inquinanti molto limitati, possiedono una notevole costanza qualitativa e possono favorevolmente essere impiegati per la produzione di compost di elevata qualità, naturalmente in miscela con residui ligneocellulosici in grado di fornire alla miscela la necessaria struttura.

Un discorso analogo può essere fatto per i fanghi urbani, purché provengano da scarichi solamente civili e siano sottoposti a idoneo trattamento e a frequenti controlli qualitativi (16).

Alcuni impianti, per ottenere un prodotto compostato di buone caratteristiche ammendanti per garantire un rapido avvio e un regolare svolgimento del processo di compostaggio,

miscelano ai fanghi di depurazione materiali coadiuvanti di natura fibrosa in grado di esplicare nella massa specifiche funzioni fisiche (strutturali) e chimiche (elevare il rapporto C/N e il coefficiente isoumico). Dal punto di vista chimico questi materiali permettono, in generale, di ottenere alti valori di sostanza organica, elevati valori del rapporto C/N e limitati contenuti di macronutrienti.

In alcuni casi, come biomasse di rifiuto, sono miscelati ai fanghi e avviati al compostaggio raspi di uva, quali residui delle attività enologiche e polvere di tabacco proveniente da attività di produzione di sigarette.

La produzione di compost, soprattutto se tra i materiali di partenza sono presenti fanghi di depurazione, può comportare che il prodotto finale contenga ancora microrganismi e tra questi quelli patogeni. Infatti i fanghi, quali prodotti di risulta derivati dai processi di trattamento dei liquami, costituiscono il concentrato di tutti gli inquinanti presenti nei reflui: sostanze organiche, composti inorganici anche difficilmente biodegradabili, metalli pesanti e microrganismi (17, 18).

Nei fanghi possono ritrovarsi batteri patogeni, agenti eziologici di malattie a circuito fecale-orale (es. *Salmonella*, *Shigella*, *Vibrio*) unitamente ad altri batteri responsabili di patologie per l'uomo (micobatteri, brucelle, leptospire, ecc). Contemporaneamente sono presenti i batteri indicatori di contaminazione fecale (coliformi e streptococchi).

Infatti, benché tutti i patogeni più comuni possano essere ritrovati nei fanghi, solo alcuni vi si trovano con una frequenza significativa. In particolare, microrganismi appartenenti alla famiglia delle *Enterobacteriaceae* (coliformi, *E. coli*, *Salmonella*) possono raggiungere nei fanghi elevate concentrazioni. Ad esempio, la concentrazione di *Salmonella*, nei reflui e conseguentemente nei fanghi derivati, può risultare maggiore rispetto a quella di altri patogeni in quanto legata anche alla possibilità di diffusione da parte di portatori sani.

Il compost, se prodotto in base a specifici criteri qualitativi, non dovrebbe contenere microrganismi patogeni. Tuttavia, secondo Burge *et al.* (19) il solo rilevamento degli indicatori di contaminazione fecale (coliformi) non sarebbe significativo della presenza o meno dei patogeni in questo tipo di campioni. Al contrario, Goldstein *et al.* (20) hanno valutato, in base ad analisi di regressione, che coliformi fecali e streptococchi possono essere idonei indicatori per il controllo e il monitoraggio di prodotti di compostaggio.

Per l'eliminazione dei patogeni risulta, oltremodo importante, come già segnalato, il raggiungimento di elevate temperature durante il processo di compostaggio.

Nella Tabella 1, sono riportati i valori di temperatura e i tempi necessari per l'eliminazione di alcuni batteri, virus e parassiti. Tuttavia si deve tenere conto che l'aggregazione, l'adesione a particelle solide, e quindi la formazione di cluster microbici, hanno la capacità di garantire la sopravvivenza dei microrganismi presenti che, in queste condizioni possono ritrovarsi ancora nel prodotto finito (21, 22).

Come già rimarcato, l'andamento del processo di compostaggio è fondamentale per ottenere un compost di qualità. Se, per limiti impiantistici e di gestione, nel processo non è possibile giungere alla completa degradazione della sostanza organica, alcuni patogeni, in special modo *Salmonella*, possono essere messi in grado di svilupparsi in una fase successiva alla fine del processo (23). Infatti, il prodotto finito può costituire ancora un substrato di crescita per il mantenimento dei microrganismi; essi, in presenza di sostanza organica non del tutto degradata, e con livelli idonei di umidità e temperatura, troverebbero le condizioni ottimali per il loro sviluppo. Questo fenomeno viene indicato con il termine di ricrescita (*regrowth*), e dipende da una serie di fattori. Dai dati ritrovati in letteratura appare chiaro che il contenuto di umidità del compost è uno dei fattori che giocano un ruolo prioritario nel mantenimento della stabilità di un compost e, conseguentemente, nella potenzialità che si verifichino eventi di ricrescita.

**Tabella 1. Temperatura e tempi di eliminazione di alcuni batteri, parassiti e virus sottoposti a trattamento termico**

<b>Microrganismo</b>	<b>Tempo (min)</b>	<b>Temperatura di abbattimento (°C)</b>	
<i>Salmonella typhimurium</i>	30'	60 °C	(stasi sopra i 46 °C)
<i>Salmonella typhi</i>	30'	55-60 °C	(20' a 60 °C)
<i>Salmonella</i> spp.	20'	60 °C	(60' a 56 °C)
<i>Shigella</i> spp.	60'	55 °C	
<i>E. coli</i>	20'	60 °C	(60' a 55 °C)
<i>Bacillus anthracis</i> (spore)	180'	140 °C	
<i>Brucella abortis</i>	3'	62,5 °C	(60' a 55 °C)
<i>Brucella</i> sp.	3'	61 °C	
<i>Micrococcus pyogenes</i>	10'	50 °C	
<i>Micrococcus</i> sp.	10'	50 °C	
<i>Streptococcus</i> sp.	10'	54 °C	
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	15'-20'	66 °C	(<3' a 67 °C)
<i>Mycobacterium</i> sp.	20'	66°C	
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>	45'	55 °C	
<i>Entamoeba histolytica</i> (cisti)	5'-10'	45 °C	(pochi secondi a 55 °C)
<i>Giardia</i> sp.	5'	55°C	
<i>Cryptosporidium</i> sp.	30'	65 °C	
<i>Taenia</i> sp.	5'	71 °C	
<i>Ascaris lumbricoides</i> (uova)	60'	50 °C	
<i>Trichinella spiralis</i> (larve)	<3'	55 °C	(pochi secondi a 60 °C)
Virus	25'	70 °C	

Di estrema importanza è anche la diversità microbica presente nel compost. Infatti l'effetto antagonista di differenti microrganismi può costituire un fattore limitante al mantenimento della vitalità dei patogeni. È infatti la competizione con la microflora che svolge il processo – soprattutto funghi e attinomiceti – che può permettere di ridurre o eliminare gli eventuali patogeni presenti. In questo caso, le più alte concentrazioni di microrganismi interferenti inibiscono lo sviluppo dei patogeni che, generalmente in concentrazioni inferiori, soccombono anche per la ridotta disponibilità di nutrienti. Da Hussong *et al.* (24) è stato determinato che la microflora attiva in compost di derivazione da fanghi di depurazione concorre a eliminare *Salmonella* ( $10^5/g$ ) dopo sei settimane. La diversità può comunque esercitare un'azione sfavorevole nei confronti dei fenomeni di ricrescita anche in compost poco stabili in termini di disponibilità di carbonio.

La maggior parte degli studi svolti, relativamente agli aspetti igienico-sanitari legati alla presenza di microrganismi in prodotti di compostaggio, studi comunque molto limitati in numero, ha messo in evidenza la possibilità di isolare nel compost, prevalentemente *Salmonella*. È il microrganismo patogeno più frequentemente rilevato, anche se la sua valenza sanitaria nei prodotti di compostaggio risulta di difficile valutazione e interpretazione. È stata anche evidenziata la presenza di sierotipi specifici di *Salmonella*, che tuttavia non sono risultati comunemente associati a infezioni cliniche.

Indagini svolte da Burge *et al.* (23) per valutare la capacità di sopravvivenza di diversi organismi nel corso di un processo di compostaggio, durante il quale era raggiunta la temperatura di 60-70 °C, hanno evidenziato che *Salmonella* e poliovirus 2 erano eliminati entro una settimana e cisti e uova di parassiti venivano disidratate dopo sette giorni.

Tra i parassiti, gli elminti potrebbero rappresentare un problema nella corretta gestione dei fanghi dal punto di vista igienico sanitario. Tra questi, i nematodi sono in grado di produrre un numero elevato di uova (una femmina di *Ascaris* ne produce 200.000/giorno). Le uova sono molto resistenti agli stress ambientali e in grado di sopravvivere anche al trattamento di digestione anaerobica. Secondo alcuni autori, esse sono in grado di rimanere vitali sul suolo per un periodo anche di 5-6 anni; il tempo di sopravvivenza medio è tuttavia valutato tra i 17 e i 270 giorni, con una media di 77 giorni. La presenza di parassiti, sotto forma di uova e cisti, quali stati di resistenza, non sembra però costituire un problema sanitario per i prodotti di compostaggio. Le elevate temperature raggiunte durante il processo di degradazione della sostanza organica sono generalmente sufficienti ad eliminare anche queste forme che, più resistenti rispetto alle forme vegetative batteriche, non creano, proprio per il loro essere forme di resistenza, problemi di fenomeni di ricrescita (25).

## Normativa nazionale

Fino alla emanazione del DL.vo n. 22/1997 (1) e, per gli aspetti tecnici, alla successiva emanazione delle diverse norme tecniche previste, il processo di compostaggio da rifiuti e il successivo impiego di compost erano regolamentati in Italia dal DPR n. 915/1982 (26). Nelle “Disposizioni per la prima applicazione dell’articolo 4 del DPR 915/82, concernente lo smaltimento dei rifiuti” (Deliberazione 27/07/84) (27) venivano definiti:

- processo di compostaggio;
- caratteristiche agronomiche richieste;
- limiti di accettabilità per la tutela ambientale;
- possibili utilizzazioni;
- concentrazioni limite dei metalli nei terreni e i limiti di quantità di metalli addizionabili annualmente con la somministrazione del compost;
- metodi di campionamento e analisi.

Anche la Legge n. 748/1984 sulle “Nuove norme per la disciplina dei fertilizzanti” (3) prevedeva quali ammendanti organici naturali “composti maturi da residui urbani”. Erano elencati molto schematicamente il modo di preparazione, titoli minimi in elementi e/o sostanze utili, indici granulometrici, elementi e sostanze utili il cui titolo deve essere dichiarato. La stessa legge lasciava inoltre intravedere la possibilità di preparare alcuni concimi organominerali utilizzando materiali di risulta da soli o in miscela, previa integrazione con concimi minerali.

Dopo l’emanazione del DL.vo n. 22/1997 e delle nuove norme tecniche sui fertilizzanti, rimane per il compost la doppia normativa (ambientale e commerciale-agronomica) ma con una maggiore correlazione tra i limiti tecnici previsti dai competenti ministeri.

Il DL.vo n. 22/1997 classifica il compostaggio tra le operazioni di recupero di cui all’allegato C del decreto stesso, e precisamente al punto R3 - Riciclo/recupero delle sostanze organiche non utilizzate come solventi (comprese le operazioni di compostaggio e altre trasformazioni biologiche).

Non tutte le operazioni di compostaggio rientrano però tra quelle per le quali sono previste le procedure semplificate di cui agli articoli 31 e 33 del DL.vo n. 22/1997; ad esempio, per i rifiuti solidi urbani, secondo quanto previsto dal comma 8 dell’art. 33, le disposizioni semplificate si applicano alla produzione di compost di qualità da rifiuti provenienti dalla raccolta differenziata; non sono invece applicabili ad operazioni di compostaggio condotte su RSU non selezionato in fase di raccolta.



Nel caso non sia applicabile la procedura semplificata, l'iter autorizzativo prevede che, chiunque intenda realizzare un impianto di compostaggio (inteso come impianto di trattamento di rifiuti), deve ottenere l'approvazione del relativo progetto da parte della Regione o dell'Ente da essa delegato (art. 27 del DL.vo n. 22/1997). Il progetto deve essere approvato entro 120 giorni dalla data di presentazione. L'approvazione sostituisce, a ogni effetto, visti, pareri, autorizzazioni e concessioni di competenza di organi regionali, provinciali e comunali, e costituisce, ove necessario, variante dello strumento urbanistico generale. Ai sensi del DPR n. 203 del 24 maggio 1988, chi intende realizzare un impianto di compostaggio deve ottenere dalla Regione (o dagli Enti da essa delegati) la prescritta autorizzazione.

Per la gestione degli impianti è inoltre necessaria l'autorizzazione all'esercizio, rilasciata dalla Regione o dall'Ente da essa delegato (art. 28 del DL.vo n. 22/1997).

Qualora sia possibile accedere alle procedure semplificate di cui agli articoli 31 e 33 del DL.vo n. 22/1997, l'autorizzazione è sostituita da una comunicazione preventiva da inviare alla provincia territorialmente competente, seguendo le modalità indicate negli articoli succitati e nelle norme tecniche attuative.

Come per gli altri rifiuti recuperabili, la provenienza e le caratteristiche dei rifiuti, l'attività di recupero e le caratteristiche del prodotto ottenuto sono definite dalle norme tecniche emanate dal Ministero dell'Ambiente; per la qualità del compost finale, tali norme sono definite di concerto con il Ministero per le Politiche Agricole.

La nuova normativa (4) prevede sostanzialmente due tipologie di compost:

1. *Compost di qualità*, prodotto da rifiuti raccolti o conferiti in modo differenziato, la cui produzione rientra tra le attività che possono accedere alle procedure semplificate. Il compost di qualità ha caratteristiche qualitative molto restrittive ed è utilizzabile senza vincoli diversi da quelli agronomici e commerciali definiti dalla legge sui fertilizzanti. Può derivare da rifiuti vegetali di coltivazioni agricole, segatura, trucioli, frammenti di legno e di sughero, cascami e scarti di cotone, lino, iuta e canapa, cascami e scarti di lana e seta, deiezioni animali da sole o in miscela con materiali di lettiera, scarti di legno non impregnato, carta e cartone, frazione organica dei rifiuti solidi urbani raccolti separatamente, contenuto di prestomaci, rifiuti ligneo cellululosici derivanti dalla manutenzione del verde ornamentale, fanghi di depurazione con caratteristiche conformi a quelle previste nell'allegato IB del DL.vo n. 99/1992 (28).
2. *Compost di qualità inferiore*, prodotto dai rifiuti previsti per il compost di qualità e dalla frazione organica derivante dalla selezione dei rifiuti solidi urbani e assimilabili, e utilizzabile su specifica autorizzazione e con prescrizioni. La produzione di questa tipologia di compost non rientra nella applicazione delle procedure semplificate.

I limiti qualitativi previsti per le due tipologie di compost sono ben differenti. Quelli per il compost di qualità, definiti nell'ambito della normativa sui fertilizzanti (3), sono molto restrittivi, e in linea con le più severe disposizioni legislative europee; per alcuni metalli il valore massimo ammesso è inferiore ai valori spesso riscontrati in terreni agrari normalmente utilizzati. I limiti previsti per il compost di qualità inferiore sono invece molto meno restrittivi, con valori paragonabili a quelli definiti per il compost nelle disposizioni tecniche del DPR n. 915/1982; è bene però ricordare che le possibilità di utilizzo di questa tipologia di compost sono limitate sia dalla richiesta di autorizzazione sia dalla necessità di una preventiva analisi dei suoli; per questo compost resta inoltre la dose massima utilizzabile, definita in 300 quintali/ettaro per triennio.

Le norme del Ministero dell'Ambiente prevedono anche criteri tecnici per la costruzione e la gestione degli impianti e limiti qualitativi (rispetto dei limiti del DL.vo n. 99/1992) e quantitativi (massimo 35% p/p) per l'utilizzo dei fanghi.

Nel panorama normativo nazionale occorre ancora ricordare il DL.vo n. 99/1992 (riguardante l'utilizzazione dei fanghi di depurazione in agricoltura) che, oltre a disciplinare l'utilizzazione agricola "diretta" dei fanghi trattati, prevede la possibilità di condizionarli al fine di facilitarne l'impiego. Da una prima lettura parrebbe quindi che il condizionamento comprenda le operazioni di compostaggio, e pertanto risolva a livello normativo almeno la fase di utilizzo agricolo dei fanghi compostati. Tuttavia bisogna distinguere i due processi: il condizionamento è un'operazione atta a facilitare la fase di utilizzazione, mentre il compostaggio, pur comprendendo operativamente il condizionamento (quale è ad esempio la miscelazione dei vari materiali), non ha come obiettivo prioritario la facilitazione delle operazioni di spandimento, bensì l'utilità agronomica per le colture (particolarmente evidente nel compostaggio di qualità). Pertanto l'ambito normativo del DL.vo n. 99/1992 non coinvolge il compostaggio dei fanghi di depurazione.

Negli ultimi anni una Commissione Tecnica ha lavorato in sede del Ministero dell'Agricoltura (nelle sue varie denominazioni che si sono susseguite in questi anni) per la definizione dei limiti di accettabilità del compost come ammendante, ai sensi della Legge n. 748/1984 (3). Dal lavoro di tale Commissione è stata emanata una norma tecnica che propone quattro tipi di ammendanti:

- ammendante vegetale semplice non compostato (prodotto non fermentato a base di corteccia e/o altri residui vegetali, come sanse, pule, bucce con esclusione di alghe e altre piante marine) che, per definizione, non ha attinenza con i compost;
- ammendante compostato verde (prodotto ottenuto attraverso un processo di trasformazione e stabilizzazione controllata di residui organici costituiti da scarti della manutenzione del verde ornamentale, residui delle colture, altri scarti di origine vegetale, con esclusione di alghe e altre piante marine) che, essendo ottenuto grazie al trattamento di materiali esclusivamente vegetali, rappresenta certamente un compost con elevati standard di qualità, non soggetto ad alcuna limitazione in fase di spandimento;
- ammendante compostato misto (prodotto ottenuto attraverso un processo di trasformazione e stabilizzazione controllato di residui organici costituiti dalla frazione organica degli RSU proveniente da raccolta differenziata, da scarti di origine animale compresi liquami zootecnici, da residui di attività agro-industriali e da lavorazione del legno e del tessile non trattati, da residui analoghi, nonché dalle matrici previste per l'ammendante compostato verde) che, derivando dal trattamento effettuato sulla matrice organica degli RSU, sugli scarti di origine animale e su altri tipi di scarti da attività agro-industriali, compresi i fanghi come definiti dal DL.vo n. 99/1992, è soggetto a limitazioni in fase di spandimento sul terreno agricolo in funzione delle caratteristiche di quest'ultimo;
- ammendante torboso composto (prodotto ottenuto da miscela di torba con ammendante compostato verde e/o misto), prodotto con gli stessi materiali dell'ammendante compostato misto, ma con un contenuto in torba minimo del 50%.

Relativamente alla qualità microbiologica dell'ammendante, la normativa vigente si basa tuttora sulla Legge n. 748/1984 con le relative modifiche apportate dal DL.vo del 27 marzo 1998, relativo agli ammendanti e correttivi, recante nuove norme per la disciplina dei fertilizzanti.

Nella Tabella 2.1 dell'Allegato 1C del decreto sopracitato, vengono fissati i parametri di natura biologica e i relativi limiti. L'allegato stabilisce che, relativamente ai parametri microbiologici, vengano ricercati salmonelle, *Enterobacteriaceae* totali, streptococchi fecali, nematodi, trematodi, cestodi. Alcuni di questi gruppi di organismi devono essere assenti in un

dato volume, altri presentano un valore limite stabilito in riferimento ad un generico metodo analitico. I limiti qualitativi per il compost secondo la normativa nazionale sono riportati nella Tabella A1 (Appendice A).

Nella Tabella 2 vengono indicati gli impianti di compostaggio in esercizio nelle varie Regioni italiane.

**Tabella 2. Distribuzione territoriale degli impianti di compostaggio relativa all'anno 2001**

<b>Regioni</b>	<b>Impianti in funzione</b>
Abruzzo	2
Campania	1
Emilia Romagna	12
Friuli-Venezia Giulia	1
Lazio	4
Marche	5
Lombardia	31
Piemonte	20
Puglia	3
Toscana	5
Trentino-Alto Adige	2
Umbria	3
Sardegna	1
Sicilia	1
Veneto	23
<b>Totale</b>	<b>114</b>

## FASE OPERATIVA DELLA RICERCA

Nel corso di un triennio (1998-2000) sono stati analizzati campioni provenienti da 20 diversi impianti distribuiti sul territorio nazionale e selezionati tra quelli significativi per caratteristiche distintive delle diverse realtà produttive. Gli impianti considerati hanno una potenzialità produttiva di circa 200.000 t/a di compost, su un totale di circa 300.000 t/a prodotto in Italia.

Per le esigenze dello studio da svolgere e per la verifica dell'efficienza del processo di produzione, ogni campione era composto da 3 sottocampioni separati e costituiti da:

- prodotti di origine per la produzione di compost (C1);
- prodotti intermedi della produzione di compost (C2);
- compost maturo (C3).

Ogni sottocampione è stato sottoposto ad analisi microbiologica per la determinazione quali-quantitativa dei parametri prescelti e individuati, alcuni come indicatori di contaminazione fecale o indicatori virali, altri quali patogeni umani primari o potenziali, altri ancora per la loro caratteristica di presentarsi come forme di resistenza e pertanto capaci di sopravvivere più a lungo ai trattamenti di igienizzazione e in generale a condizioni ambientali avverse.

Nei prodotti analizzati sono stati pertanto ricercati i seguenti parametri microbiologici: Coliformi totali, Coliformi fecali, *Escherichia coli*, Streptococchi fecali, *Salmonella* spp., Clostridi solfitoreduttori (spore e forme vegetative), Protozoi patogeni (*Giardia* e *Cryptosporidium*, Uova di elminti, Batteriofagi anti-*Escherichia coli*).

Le procedure analitiche sono riportate, per ciascun parametro, in Appendice B.

## Risultati

I risultati analitici ottenuti dall'analisi dei campioni prelevati nei 20 impianti di compostaggio sono riportati nelle Tabelle allegate in Appendice C (Tabelle C1- C20).

Nella Tabella 3 è riportata la composizione delle materie prime in ingresso ai diversi impianti.

Poiché la ricerca degli indicatori di contaminazione fecale è stata condotta utilizzando i due metodi MPN e MF, sono stati riportati i dati ricavati dall'analisi effettuata con entrambi. Le variazioni nelle rese dei due metodi sono al massimo di un ordine di grandezza e, nella maggior parte dei casi, il metodo MPN fornisce rese più elevate. I dati indicano inoltre che tecniche analitiche eseguite con substrati liquidi sono risultate più affidabili e ripetibili rispetto a quelle che utilizzano substrati solidi a causa della consistenza caratteristica delle matrici analizzate.

Per quanto riguarda la miscela delle materie prime è stato evidenziato come le concentrazioni di batteri indicatori (coliformi e streptococchi) siano ampiamente influenzate dalla composizione del campione. Valori più elevati, rispetto ad altri campioni, anche di 2-3 ordini di grandezza, sono stati rilevati quando nella composizione erano miscelati fanghi derivati da trattamento di depurazione di reflui civili. In particolare, gli impianti 5 e 7, con fanghi nei prodotti in entrata, presentano concentrazioni di Coliformi totali pari a  $1 \times 10^8$  UFC/g<sub>ss</sub> e  $1,8 \times 10^8$  UFC/g<sub>ss</sub> rispettivamente, mentre l'impianto 10, la cui matrice era totalmente costituita da frazione organica di rifiuti urbani, presenta una concentrazione di Coliformi totali pari a  $8,5 \times 10^4$  UFC/g<sub>ss</sub>. D'altro canto, quando nelle materie in entrata erano presenti fanghi di depurazione, l'abbattimento delle concentrazioni era comunque più rilevante, rispetto a

campioni diversi, quali ad esempio quelli in cui l'unico componente era lo scarto verde o comunque era elevata la sua percentuale nella composizione.

**Tabella 3. Impianti di compostaggio e composizione dei materiali in ingresso**

<b>Impianto</b>	<b>Composizione materiali in ingresso</b>	<b>Miscela iniziale (% in peso)</b>
1	Scarto verde	47
	Fango civile	53
2	Scarto verde	50
	Fango civile	50
3	Scarto verde	30
	FORSU	70
4	Scarto verde	30
	Fango civile	60
5	Scarto verde	40
	Residui cellulosici	35
	Fango civile	25
6	Scarto verde	45
	Fango civile	55
7	Scarto verde	59
	Fango civile	41
8	Scarto verde	8-15
	Fango agro-alimentare	20
	Scarto agro-industria	60-65
	FORSU	3-5
9	Scarto verde	47
	Fango civile	53
10	RSU Indifferenziato	100
11	Scarto verde	60
	Residui agro-industriali	40
12	Scarto verde	75
	FORSU	25
13	Scarto verde	100
14	Scarto verde	60
	FORSU	40
15	Scarto verde	100
16	Scarto verde	45
	Fanghi civili	55
17	Scarto verde	30
	FORSU	70
18	Scarto verde	30
	Fanghi civili	10
	FORSU	60
19	Scarto verde	40
	Fanghi civili	10
	FORSU	40
	Deiezioni avicole	10
20	Scarto verde	45
	Biomasse agricole	45
	Deiezioni zootecniche	10

FORSU: Frazione Organica Rifiuti Solidi Urbani

Relativamente agli abbattimenti conseguiti, gli impianti che trattavano materiali con presenza di fanghi nelle matrici in ingresso, presentavano una riduzione dei Coliformi totali da 4 a 7 ordini di grandezza, dei Coliformi fecali da 3 a 5, degli Streptococchi fecali da 3 a 7, mentre *E. coli* mostrava riduzioni di circa 2-5 unità logaritmiche; nel caso invece in cui il materiale in ingresso era rappresentato da scarto verde e FORSU (Frazione Organica Rifiuti Solidi Urbani), gli abbattimenti dei Coliformi totali e dei Coliformi fecali erano pari a 1-2 ordini di grandezza, gli Streptococchi fecali erano ridotti di 0-3 unità logaritmiche ed *E. coli* di 0,5-1 ordini di grandezza.

Nei campioni in ingresso, la presenza di patogeni umani, quale *Salmonella*, è risultata piuttosto variabile, in alcuni casi al di sotto di  $10^1$  MPN/g<sub>ss</sub>, mediamente intorno a  $10^2$  MPN/g<sub>ss</sub> e in un caso raggiungeva il valore di  $10^4$ /g<sub>ss</sub> (impianto 13). Analogamente l'analisi del prodotto finito ha fornito risultati fluttuanti, con valori mediani di rimozione di due ordini di grandezza rispetto alle materie in ingresso. Un valore elevato di rimozione (quattro ordini di grandezza), e comunque a partire da una concentrazione elevata di *Salmonella*, è stato calcolato nel campione di compost maturo prelevato nell'impianto 13 (composizione: scarto verde), dove d'altra parte il ciclo produttivo prevedeva una durata di 150 giorni. In generale, le concentrazioni di *Salmonella* rilevate in tutti i campioni di compost maturo, sono risultate mediamente al di sotto di  $10^1$  MPN/g<sub>ss</sub>.

È da osservare la buona efficienza dei cicli produttivi (durata 90 e 120 giorni, rispettivamente) adottati negli impianti 18 (scarto verde, fango civile e FORSU) e 20 (scarto verde, biomasse agricole e deiezioni zootecniche). Nel primo impianto, entrambe le modalità di produzione (bioossidazione e maturazione) si svolgono in depressione, nel secondo, la maturazione del prodotto si svolge con rivoltamenti ogni 20/30 giorni, caratteristica che produce abbattimenti elevati per tutti i microrganismi considerati.

Per quanto riguarda i Clostridi solfitoriduttori, la concentrazione delle forme vegetative nella miscela di materie in ingresso è risultata maggiore rispetto a quella delle forme sporali, con l'utilizzo di entrambi i substrati selettivi impiegati (vedi Appendice B).

I risultati indicano che gli abbattimenti delle forme vegetative potrebbero essere indipendenti dalla tipologia del materiale in ingresso: dell'ordine di 0-3 unità logaritmiche, su SPS, e 1-4 su OPSP.

La quantificazione delle Spore dei clostridi solfitoriduttori, ha fornito risultati variabili nel prodotto finito, con concentrazioni medie intorno a  $10^2$  UFC/g<sub>ss</sub>. Entrambi i metodi utilizzati indicano abbattimenti delle spore pari a 1-3 unità logaritmiche, anche in questo caso, indipendentemente dalle matrici in entrata.

Concentrazioni elevate, anche se variabili, di batteriofagi anti-*E. coli* sono state rilevate nei campioni di materie prime in cui la miscela comprendeva fanghi civili di depurazione: nell'impianto 9, in cui i fanghi rappresentano il 53% dei materiali in ingresso, i batteriofagi anti-*E. coli* raggiungevano concentrazioni pari a  $10^5$  UFP/g<sub>ss</sub>, subendo poi un drastico abbattimento nel corso del processo.

In generale, la capacità di rimozione legata ai diversi cicli di produzione è stata rilevante (abbattimento fino a 5 ordini di grandezza rispetto alle concentrazioni iniziali) a dimostrazione della sensibilità dei virus batterici ai trattamenti che conducono alla produzione di compost.

Per quanto riguarda le forme infettive di protozoi (cisti e oocisti), se da una parte risultavano presenti nel 45% dei campioni di materie prime esaminati, dall'altra, in nessun caso sono state riscontrate nel prodotto maturo. In particolare, l'analisi dei campioni in ingresso agli impianti (C1) ha permesso di stimare che il 61,5% dei campioni provenienti dagli impianti che trattavano matrici in ingresso contenenti fanghi civili era positivo per la presenza di cisti di *Giardia*, mentre le oocisti di *Cryptosporidium* sono state rilevate nel 31% degli stessi campioni. Negli impianti ove la matrice in ingresso era rappresentata da scarto verde ed RSU, cisti e oocisti

erano sempre assenti, indicando che questo tipo di campioni può essere esente da questi organismi.

Risultati analoghi sono stati ottenuti dalla ricerca di uova di elminti, presenti nel 65% dei campioni in entrata agli impianti, e solo in un campione di prodotto finito (impianto 7; composizione: scarto verde e fango civile). Nel dettaglio, il 77% dei prodotti contenenti fanghi civili presentava uova di elminti, mentre solo il 43% dei campioni da impianti che trattavano matrici vegetali e FORSU era positivo.

## Valutazione dei risultati

Dalle indagini analitiche svolte nel corso dell'intera ricerca, si possono trarre utili considerazioni in relazione alla valenza di parametri integrativi e/o alternativi di interesse sanitario in campioni di compost allo scopo di proporre un aggiornamento/modifica delle norme legislative vigenti.

Nella maggior parte degli impianti presi in esame la durata dei cicli produttivi è di 90 giorni, tranne nei casi in cui nella miscela di materie prime compare in percentuale maggiore, rispetto ad altre, o come unica tipologia, la componente "scarto verde". Il processo di produzione del compost derivato dalla biossidazione di questo costituente, anche nel caso di mescolanza con altro materiale, necessita di tempi più lunghi. Nonostante ciò, compost di tale derivazione, presenta ancora alte cariche microbiche, almeno per quanto riguarda gli indicatori di contaminazione fecale, anche se le concentrazioni di partenza risultano comunque più basse rispetto a materiali in ingresso che comprendono fanghi di depurazione. È, in questi casi, ipotizzabile che fattori intrinseci alla componente stessa, correlati anche e soprattutto alla microflora specifica presente, riducano l'efficienza del trattamento biossidativo. D'altra parte, nelle condizioni analitiche specificate e per i campioni esaminati, nonostante la più limitata durata dei processi che conducono alla produzione di compost di origine diversa (es. miscele con fanghi civili), caratteristica che comporta necessariamente la presenza di una flora microbica quali-quantitativamente diversa, il prodotto finale risulta generalmente di migliore qualità. La qualità dei materiali di partenza, infatti, influenza in modo determinante la qualità del prodotto finale, sia dal punto di vista delle caratteristiche igienico-sanitarie, sia per quanto riguarda quelle relative alla quantità e alla qualità della sostanza organica e al grado di maturità e stabilità del compost stesso.

La ricerca effettuata sui campioni di compost ha preso quindi in considerazione la determinazione di parametri di particolare interesse sanitario. La determinazione di alcuni di questi parametri non era stata ancora valutata su questo tipo di campioni da altri studi. Pertanto, in tutti i campioni esaminati, sono stati ricercati organismi che, notoriamente, risultano particolarmente resistenti a tutti i trattamenti di depurazione, igienizzazione, disinfezione compresa (30, 31). Ciò al fine di verificare quale fosse l'effetto dei processi di produzione del compost su questi organismi e quale significato potesse avere la loro ricerca in questi campioni.

Nello svolgimento della ricerca è stato deliberatamente eliminato il parametro, inserito nell'allegato 1 C del DL.vo del 27 marzo 1998, "Enterobatteriacee totali" in quanto giudicato di nessun significato e funzione dal punto di vista sia della determinazione di qualità del prodotto, sia del responso igienico-sanitario; in ogni caso, non operativamente rilevabile con metodi efficienti, attendibili e selettivi.

Inoltre, il termine "Enterobatteriacee totali" è difficilmente caratterizzabile dal punto di vista tassonomico in quanto alla famiglia delle *Enterobacteriaceae* appartiene un gruppo molto eterogeneo di microrganismi sia saprofiti che patogeni, sia ubiquitari autoctoni ambientali sia abitanti del tratto gastro-intestinale dell'uomo e degli animali che, per le loro differenti

caratteristiche fisiologiche, metaboliche, nutritive e di habitat non possono essere rilevati nella loro totalità con alcun metodo analitico attualmente in uso.

Poiché non è pertanto possibile, anche utilizzando una tecnica analitica poco selettiva, rilevare tutti i microrganismi del gruppo eventualmente presenti nei campioni esaminati, il dato ottenuto dall'analisi non può risultare significativo e attendibile in funzione di un valore limite stabilito.

È inoltre da rilevare che l'uso di questo parametro non è giustificato in alcun modo poiché esso non possiede alcun valore come indicatore di eventuale presenza di patogeni. Infatti, un gruppo di microrganismi o un microrganismo per essere elevato al ruolo di indicatore deve presentare una correlazione dotata di significato statistico con agenti eziologici specifici di malattie, i patogeni. I microrganismi indicatori oltre a riflettere la presenza di patogeni, dovrebbero esibire, rispetto ad essi, un analogo spettro di sensibilità ai trattamenti di igienizzazione e una stessa capacità di risposta agli stress ambientali; dovrebbero inoltre essere facilmente rilevati con metodi sensibili, specifici ed economici e, possibilmente, non essere dotati di vita autonoma nell'ambiente, in modo da poter indicare selettivamente il tipo di evento da cui derivano.

Date le caratteristiche del parametro "Enterobatteriacee totali", risulta evidente la mancata capacità del gruppo di rispondere ai requisiti richiesti.

Dall'esame dei risultati ottenuti durante l'intero arco della ricerca e in relazione alle più recenti indicazioni della comunità scientifica, è possibile stabilire che può essere marginale, per la valutazione della qualità microbiologica di campioni di compost, la determinazione dei Coliformi totali e fecali, anche a conferma di quanto espresso da Burge *et al.* (19), secondo i quali il rilevamento dei coliformi non sarebbe significativo della presenza o meno di patogeni in questo tipo di campioni.

Infatti, i due gruppi di microrganismi includono generi e specie batteriche, che hanno come caratteristica metabolica comune la fermentazione del lattosio, ma che possono essere presenti nell'ambiente sia come organismi autoctoni, sia come alloctoni, avendo in quest'ultimo caso, come habitat naturale il tratto gastrointestinale dell'uomo e degli animali a sangue caldo. Oltretutto è nota la loro relativa sensibilità ai fattori ambientali e ai trattamenti di igienizzazione, di disinfezione e termici.

Si può quindi ritenere che, in relazione alla determinazione igienico-sanitaria di campioni di compost, i parametri Coliformi totali e Coliformi fecali abbiano scarso valore per la loro ubiquitarietà in tutte le matrici ambientali e perché l'abbattimento delle loro cariche risente comunque della loro bassa capacità di sopravvivenza a fattori e condizioni di stress ambientali e di trattamento.

Diversamente dai due precedenti parametri, *E. coli* corrisponde ad una specie tassonomicamente ben definita, a sua volta compresa nella famiglia delle Enterobatteriacee. Per talune peculiari caratteristiche *E. coli* sembra meglio soddisfare i requisiti insiti nella definizione di organismo indicatore, rispetto ai più tradizionali indicatori di contaminazione fecale e già da tempo l'Organizzazione Mondiale della Sanità considera questa specie come indicatore primario di inquinamento di origine fecale. Tale scelta è motivata dalla stabilità della sua presenza nell'ambiente rispetto ai coliformi, che risulterebbero più sensibili alle variazioni stagionali e, non di meno, dalla minore sensibilità del microrganismo alle procedure di igienizzazione rispetto alla maggior parte dei patogeni enterici. Inoltre, *E. coli* è ampiamente rappresentato ed è in esclusivo rapporto con il tratto gastrointestinale dell'uomo e degli animali a sangue caldo.

Per la sua significatività come indicatore di contaminazione fecale e per i motivi sopra descritti, si ritiene che si debba considerare la possibilità di inserire la specie *E. coli* tra i



parametri di una nuova eventuale normativa per la determinazione e qualificazione della qualità dei prodotti di compostaggio e per la verifica dell'andamento del processo stesso.

In associazione ad *E. coli*, è opportuno, in questo caso mantenere, tra quelli inclusi già nella normativa, il parametro degli Streptococchi fecali. A questo gruppo appartengono microrganismi caratterizzati da una particolare resistenza ai trattamenti di igienizzazione, considerata in alcuni casi paragonabile a quella dei virus, che, ritrovandosi nel tratto gastrointestinale dell'uomo e degli animali a sangue caldo, sono indicatori di elezione per segnalare la presenza di condizioni di fecalizzazione e quindi di eventuale presenza di patogeni enterici.

Analogamente, si ritiene che il genere *Salmonella*, come parametro, possa costituire un riferimento significativo per la valutazione della qualità igienico-sanitaria di prodotti di compostaggio. Pertanto è utile che venga mantenuto tra i parametri di controllo per questa matrice. Infatti, a differenza dei microrganismi precedentemente trattati, è un patogeno primario di origine enterica il cui riscontro in compost maturi può costituire un rischio per la salute ed essere il segnale di una produzione di scadente qualità igienico-sanitaria.

La maggior parte degli studi svolti, relativamente alla presenza di microrganismi in prodotti di compostaggio, e comunque studi numericamente molto limitati, ha messo in evidenza la possibilità di isolare, prevalentemente nel compost, questo patogeno.

Sebbene *Salmonella* possa costituire un rischio diretto per la salute umana sia in fase di manipolazione del prodotto che di spandimento, bisogna comunque considerare che una volta diffusa nell'ambiente, scarsa è la sua capacità di sopravvivenza, in quanto il suo habitat naturale sono l'uomo e gli animali e le condizioni esterne non sono comunque favorevoli al suo mantenimento nell'ambiente. Anche considerando il caso che, per limiti impiantistici e di gestione, nel processo non sia possibile eliminare completamente tale microrganismo, lo spandimento sul suolo di compost ancora contaminato ha comunque una valenza sanitaria limitata. Infatti, l'effetto antagonista legato alla presenza di differenti microrganismi, la competizione per i nutrienti, la presenza di sostanze tossiche e metalli pesanti, le condizioni meteo-climatiche e la struttura geologica dei suoli possono costituire un fattore limitante al mantenimento della vitalità del patogeno. In generale, di particolare rilievo è l'azione svolta dalla microflora che può permettere di ridurre o eliminare gli eventuali patogeni presenti. In questo caso, alte concentrazioni di microrganismi interferenti inibiscono lo sviluppo dei patogeni che, generalmente in concentrazioni inferiori, soccombono anche per la ridotta disponibilità di nutrienti.

L'attuale normativa di riferimento per l'analisi di campioni di compost prevede inoltre la ricerca degli elminti parassiti quali nematodi, trematodi e cestodi.

Sebbene i tre diversi parametri corrispondano a gruppi ben delineati di parassiti, scarsa è la loro rilevanza nell'analisi di questo tipo di campioni.

È da osservare, prima di tutto, che è poco significativa la loro ricerca come forme vitali, così come l'accezione del termine usato nella normativa definisce, in quanto le forme vitali ritrovate nell'ambiente appartengono generalmente a *taxa* a vita libera – e quindi non a elminti parassiti – risultando comunque poco stabili e sensibili ai fattori ambientali e ancor più a qualsiasi processo di trattamento igienizzante sia di disinfezione che termico, come appunto avviene nel processo di compostaggio.

Pertanto nell'indagine svolta i tre tipi di parassiti sono stati ricercati nell'ambito del parametro "Uova di elminti", in grado di comprendere la globalità dei gruppi specificati nella normativa, ma rilevabili come forme di resistenza, capaci di sopravvivere e mantenersi più a lungo nell'ambiente.

Inoltre, per quanto riguarda gli elminti, le ricerche analitiche non sono facilmente applicabili nella routine, se non quando trattasi di campioni clinici o di campioni ambientali fortemente contaminati in relazione alla diffusione dei parassiti nell'ambiente causata da episodi epidemici.

Difficoltà nelle indagini si riscontrano in misura amplificata nel caso dei campioni da noi analizzati, caratterizzati da basse concentrazioni dei parassiti nelle materie prime in ingresso e comunque anche dalla possibilità di aggregazione e formazione di glomeruli e cluster microbici che possono mascherarne la presenza.

Anche se la presenza di tale parametro è stata determinata in quasi tutti i campioni in ingresso, qualsiasi siano state le materie prime trattate, i risultati ottenuti mostrano che nel 92% dei campioni analizzati di compost maturo le uova di elminti risultavano assenti, qualsiasi siano state le procedure operative di produzione adottate. In un solo campione di compost maturo (impianto 7; composizione: scarto verde e fango civile) sono state rilevate. Pertanto si può affermare che le elevate temperature raggiunte durante un corretto processo di produzione, che comportano la degradazione della sostanza organica presente nei rifiuti, sono sufficienti ad eliminare anche queste forme che, potenzialmente più resistenti rispetto alle forme vegetative, non creano problemi di fenomeni di ricrescita.

Inoltre, è da evidenziare che la presenza di uova di elminti nell'ambiente, almeno nel nostro Paese, non ha attualmente rilevanza igienico-sanitaria per l'uomo; infatti le forme che si rilevano nell'ambiente sono parassiti di animali.

Pertanto dalla disamina dei dati ottenuti è risultato che corretti processi di trattamento, anche se non completamente soddisfacenti in alcuni casi per altri parametri, possono esserlo comunque per quest'ultimo che risulta particolarmente sensibile ai processi di disidratazione termica tipici della produzione di compost. Pertanto gli elminti, anche come uova, cioè forme di diffusione e resistenza, non possono essere considerati validi indicatori di qualità dei processi di compostaggio.

Oltre ai parametri previsti dalla normativa vigente sono state prese in considerazione forme di resistenza ambientale, quali le Spore dei clostridi solfitoriduttori, i Batteriofagi anti-*E. coli* e le cisti e oocisti dei protozoi patogeni *Giardia* e *Cryptosporidium*.

I microrganismi appartenenti al gruppo dei Clostridi solfitoriduttori sono anaerobi obbligati e sporigeni saprofiti (ambientali e della flora enterica) e patogeni. La presenza delle loro spore, termoresistenti, capaci di sopravvivere a fattori ambientali ostili e a trattamenti di disinfezione e igienizzazione termica, può costituire un valido indice per la valutazione dell'efficienza dei trattamenti di depurazione e rappresentare un significativo segnale della eventuale presenza di patogeni più resistenti rispetto ai comuni indicatori di contaminazione. È necessario ricordare che il compostaggio è un processo di ossidazione biologica che nella sua fase iniziale è marcatamente aerobio ed esotermico. Pertanto, corrette modalità di conduzione del processo dovrebbero permettere di raggiungere temperature elevate e produrre trasformazioni delle sostanze organiche presenti nei materiali di partenza mediante stabilizzazione aerobica, insieme di condizioni che, se si verificano in modo controllato e completo, consentono l'eliminazione non solo dei patogeni eventualmente presenti, ma risultano anche sfavorevoli alla sopravvivenza dei Clostridi solfitoriduttori. Pertanto, un decremento delle loro concentrazioni nel prodotto finito può permettere di ottenere una conferma dell'andamento del processo di maturazione del compost.

Nei campioni esaminati durante l'intera ricerca, il parametro Clostridi solfitoriduttori, determinato sia come spore che come forme vegetative, è stato rilevato nel 100% dei campioni di materie prime in ingresso agli impianti e, sebbene in concentrazioni minori, nel 100% dei campioni di compost maturo. La percentuale di rimozione media è stata calcolata pari a 1,5 unità logaritmiche sul totale dei 20 impianti considerati.

Il parametro Spore di clostridi solfitoreducitori risulta di interesse prioritario per la valutazione e la qualificazione dei prodotti di compostaggio e per la verifica della qualità del prodotto stesso; infatti, per la sua particolare resistenza ai trattamenti e per la costante presenza in tutti i tipi di campioni esaminati, le spore potrebbero rivelare la presenza di patogeni più resistenti, quali virus e protozoi. Inoltre è da ritenersi significativa la valutazione della capacità di abbattimento delle spore durante lo sviluppo dell'intero processo di produzione; ciò al fine di stabilire l'efficacia del trattamento di igienizzazione.

Sebbene la loro presenza sia stata evidenziata in gran parte dei campioni di materie prime in ingresso agli impianti, tutti i campioni di compost maturo esaminati durante l'intera ricerca sono risultati negativi per i protozoi patogeni e nell'80% dei casi per i Batteriofagi anti-*E. coli*, qualunque siano state le materie di origine e le procedure operative di produzione adottate.

Ciò sta a indicare che le elevate temperature raggiunte durante i processi di maturazione che comportano la degradazione della sostanza organica presente nei rifiuti sono sufficienti a ridurre ed eliminare anche queste forme che, potenzialmente più resistenti, subiscono un abbattimento delle loro densità durante il processo termico di trasformazione dei rifiuti. La presenza di batteriofagi anti-*E. coli*, a dimostrazione della sensibilità dei virus batterici ai processi che conducono alla produzione di compost, accanto a elevati valori di abbattimento, è stata riscontrata solo in due campioni di compost maturo derivati da impianti che comunque hanno fornito campioni con un generale basso rendimento di rimozione anche per altri parametri.

Relativamente alla presenza di cisti e oocisti di Protozoi patogeni, sia *Giardia* che *Cryptosporidium* sono risultati assenti nel 100% dei campioni di compost maturo esaminato, sebbene fossero presenti nel 45% dei campioni in ingresso. Ciò a dimostrare che le temperature raggiunte in un corretto ciclo produttivo, ai fini della stabilizzazione biologica del compost, sono in grado di inattivare le cisti e le oocisti.

## CONCLUSIONI

Molte sono le realtà produttive nel settore del compostaggio in Italia, con grandi potenzialità e con la necessità di adeguarsi alle più recenti normative per la gestione dei rifiuti.

La validità della scelta del sistema di compostaggio è legata alla capacità di collocare sul mercato il prodotto finale che, a sua volta, è strettamente correlata alla qualità del compost prodotto, cioè a un basso contenuto di sostanze inquinanti, alla quantità e alla qualità della sostanza organica contenuta nel compost, al suo grado di maturità e stabilità e non ultimo alla presenza di densità microbiche tali da non costituire un rischio per la salute.

Gran parte degli impianti attualmente operanti in Italia prevedono il trattamento dei rifiuti solidi raccolti in modo indifferenziato e la separazione a valle della raccolta mediante cicli tecnologici più o meno complessi. Il compostaggio di rifiuti organici separati alla fonte permette invece una semplificazione tecnologica più o meno spinta, con evidenti economie nella realizzazione e gestione degli impianti.

I rifiuti verdi, costituiti da sfalci, potature e foglie, sono sicuramente la frazione organica più pregiata tra quelle che finiscono mescolate ai rifiuti solidi. È necessario adottare una tecnologia di valorizzazione per questi materiali che permetta la produzione però di un ammendante organico di alta qualità. I limiti qualitativi, dal punto di vista sanitario, di questi rifiuti sono rilevanti. Si ritiene consigliabile pertanto, in questi casi, applicare il compostaggio con altri rifiuti ad elevata matrice organica, quali fanghi di depurazione, scarti zootecnici, ecc., per ottenere, abbreviando i tempi di trasformazione, prodotti qualitativamente migliori. Infatti il compost derivato da miscelazione con fanghi di depurazione civili, indipendentemente dal ciclo di produzione, ma fermo restando la durata del processo, risulta di migliore qualità rispetto a quello originato da matrici diverse, quali ad esempio quelle ad alta percentuale di scarto verde tra le materie prime.

Gli impianti presi in considerazione nella ricerca svolta hanno fornito, in generale, l'indicazione della necessità di incrementare la produzione di compost derivato da rifiuti preselezionati, che comunque generalmente è risultato di buona qualità dal punto di vista sanitario.

Tuttavia, per effettuare una valida e attendibile valutazione della qualità del compost, è stata anche evidenziata l'esigenza di adottare specifiche ed esatte metodologie di campionamento e analisi dei prodotti finali. Inoltre, è emersa la necessità di modificare i criteri di valutazione basati sui parametri microbiologici attualmente stabiliti dalla normativa.

Pertanto, come già specificato, sarebbe opportuno escludere dall'elenco dei parametri da ricercare quelli che non hanno un reale significato per la caratterizzazione di questi prodotti: Enterobatteriacee totali e nematodi, trematodi e cestodi. Oltretutto è da rilevare che in Italia le indagini di controllo per la ricerca di questi tre organismi parassiti per l'uomo sono ritenute poco giustificate. Attualmente è scarsa la loro diffusione nella popolazione per il miglioramento degli standard igienici che potevano essere considerati bassi fino a circa 50-40 anni fa, quando queste patologie erano ancora segnalate con una certa frequenza nell'uomo. Una certa incidenza è invece segnalata tra gli animali, alcuni dei quali possono anche fungere da vettori, considerando comunque che la via di trasmissione è quella fecale-orale.

Per le evidenze ottenute nel corso delle indagini effettuate, anche il parametro Uova di elminti, quali forme di resistenza e conservazione nell'ambiente, è da considerarsi non significativo. Inoltre, pur mantenendo come parametri significativi Streptococchi fecali e Salmonelle, già inclusi nella normativa, le evidenze analitiche e di qualificazione del prodotto

hanno dimostrato la necessità di inserire due nuovi parametri, Spore di clostridi solfitoriduttori ed *E. coli*.

L'uso dei metodi analitici sperimentati con risultati attendibili e di ripetibilità della risposta potrà permettere di individuare e stabilire, anche per i prodotti di compostaggio, valori limite più adeguati per i parametri individuati come più significativi.

D'altra parte è da ricordare che la presenza di alcuni di questi microrganismi nei compost è già stata trattata a livello europeo dalla Commissione delle Comunità Europee (Progetto Cost 68, Working Party 3 and Recycling of Urban and Industrial Waste) e dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (Euro Report and Studies n. 54). La stessa Unione Europea, nella stesura della Decisione della Commissione delle Comunità Europee del 14 novembre 1994, che stabilisce i criteri per l'assegnazione del marchio comunitario di qualità ecologica per gli ammendanti, prevede valori limite per *Salmonella* ed *E. coli* (32).

Dall'indagine complessiva potranno derivare valutazioni e indicazioni utili, fondate su dati sperimentali, per procedere alla necessaria revisione della legislazione in materia.

I punti rilevanti, derivati dall'indagine condotta, possono essere così schematizzati:

1. Il compost derivato da miscelazione di fanghi di depurazione civili, indipendentemente dal ciclo di produzione, ma fermo restando la durata del processo, risulta di migliore qualità rispetto a quello originato da matrici diverse (alta percentuale di scarto verde e/o FORSU tra le materie prime).
2. Le concentrazioni di *Salmonella*, alla fine dei processi di compostaggio, vengono generalmente ridotte al di sotto di  $10^1$  MPN/g<sub>ss</sub>, valore utile per la definizione di un valore soglia.
3. È necessario considerare l'importanza del parametro Clostridi solfitoriduttori che può essere significativo per la valutazione della qualità del compost come indicatore dell'efficienza del trattamento.
4. I parametri Protozoi e Elminti non sono validi indicatori di qualità del processo di compostaggio.
5. Per gli indicatori batterici di contaminazione fecale, tecniche analitiche eseguite con substrati liquidi sono più affidabili e ripetibili di altre che utilizzano terreni agarizzati.

## BIBLIOGRAFIA

1. Italia. Decreto Legislativo 5 febbraio 1997, n. 22. Attuazione delle direttive 91/156/CEE sui rifiuti, 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi e 94/62/CE sugli imballaggi e sui rifiuti di imballaggio. *Gazzetta Ufficiale - Serie Generale* n. 38, 15 febbraio 1997.
2. Accotto E, Azzariti F, Glisoni M, Trombetta A, Vercellino T. La legislazione europea, nazionale e regionale su produzione ed uso del compost. *Acqua Aria* 1996;3:281-7.
3. Italia. Legge n. 748 19 ottobre 1984. Nuove norme per la disciplina dei fertilizzanti e successive modificazioni e integrazioni. *Supplemento ordinario* n. 64 - *Gazzetta Ufficiale* n. 305, 6 novembre 1984.
4. Italia. Decreto Legislativo 27 marzo 1998, Modificazione all'allegato 1C della legge 19 ottobre 1984, n. 748, recante nuove norme per la disciplina dei fertilizzanti. *Gazzetta Ufficiale - Serie Generale* n. 146, 25 giugno 1998.
5. Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente, Osservatorio Nazionale sui rifiuti. *Secondo rapporto sui rifiuti urbani e sugli imballaggi e rifiuti di imballaggio*. Roma: ANPA; 1999.
6. Piccinini S. Stato dell'arte del compostaggio di qualità in Italia. In: Morselli L (Ed.). *Atti dei Seminari. Ricicla 2000*. Rimini, 8-11 novembre 2000. Bologna: Maggioli Editore; 2000.
7. Zorzi G, Accotto E, Angelucci G, Cortellini L, Piccinini S, Favoino E, Frilli F, Giandon P. Stato dell'arte del compostaggio in Italia. *L'informatore Agrario* 1997;S44:39-43.
8. Sanna M. *Normativa e tecnica dello smaltimento dei rifiuti - manuale operativo*. Roma: Edizioni delle Autonomie; 1990.
9. Cossu R, Marforio R, Nurizzo C. Trasformazione in compost: processo, tecnologie ed aspetti gestionali. *Ingegneria Ambientale* 1984;13 (7-8):369-90.
10. De Bertoldi M, Zucconi F. *Microbiologia della trasformazione dei RSU in compost e loro utilizzazione in agricoltura. Dispense XXII Corso di Aggiornamento in Ingegneria Sanitaria*. Milano: Politecnico di Milano; 1980.
11. De Bertoldi M, Zucconi F. Microbiologia della trasformazione dei rifiuti solidi urbani in compost e loro utilizzazione in agricoltura. *Ingegneria Ambientale* 1980; 9: 209-16.
12. Frassinetti S, Pera A. Dinamica della microflora patogena in un processo di compostaggio. *Acqua Aria* 1988;3:347-51.
13. Goleuke CG. Criteri per la scelta di un impianto di trasformazione in compost. *Ingegneria Ambientale* 1982;11:98-104.
14. Gray KR, Sherman K, Biddlestone AJ. Review of composting, part 2: the practical process. *Process Biochemistry* 1971;10:1-7.
15. Ottavi C, Ottaviani M, Figliolia A. *Aspetti tecnico-economici, agronomici, pedologici, igienico-sanitari e normativi dei fanghi di depurazione civile*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 1995. (Rapporti ISTISAN 95/38).
16. Bonadonna L. La componente batterica. In: Ottavi C, Ottaviani M, Figliolia A (Ed.). *Aspetti tecnico-economici, agronomici, pedologici, igienico-sanitari e normativi dei fanghi di depurazione civile*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 1995. (Rapporti ISTISAN 95/38).
17. Mezzanotte V. Uso agricolo dei fanghi urbani digeriti e compostati. *Rifiuti Solidi* 1987;1(1):46-56.
18. Nurizzo C. Trasformazione in compost di fanghi di depurazione. *Ingegneria Ambientale* 1981;10:293-7.

19. Burge WD, Colacicco D, Cramer WN. Criteria for achieving pathogen destruction during composting. *Journal of Water Pollution Control Federation* 1981;53:1683-90.
20. Goldstein N, Yanko WA, Walker JM, Jakubowski W. Determining pathogen levels in sludge products. *Biocycle* 1988;5:44-7.
21. Bonadonna L. *Salmonella* nei fanghi di risulta: aspetti igienico-sanitari e tecnici. *Notiziario dei Metodi Analitici*, IRSA-CNR, ottobre 1998:18-24.
22. Bonadonna L, Latini M, Di Girolamo I, Ottaviani M. *Valutazione della contaminazione microbiologica di fanghi di depurazione di reflui civili: problemi legati alle metodologie di analisi*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 1994. (Rapporti ISTISAN 94/17).
23. Burge WD, Enkiri NK, Hussong D. *Salmonella* regrowth in compost as influenced by substrate. *Microbial Ecology* 1987;14:243-53.
24. Hussong D, Burge WD, Enkiri NK. Occurrence, growth and suppression of *Salmonellae* in composted sewage sludge. *Applied and Environmental Microbiology* 1985;50:887-93.
25. Bonadonna L, Mancini L, Ottaviani M. Uova di elminti nei fanghi di depurazione. In: Ottavi C, Ottaviani M, Figliolia A (Ed.). *Aspetti tecnico-economici, agronomici, pedologici, igienico-sanitari e normativi dei fanghi di depurazione civile*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 1995. (Rapporti ISTISAN 95/38).
26. Italia. Decreto del Presidente della Repubblica 10 settembre 1982, n. 915. Attuazione delle Direttive 75/442/CEE relativa ai rifiuti, 76/403/CEE relativa allo smaltimento dei policlorodifenili e policlorotrifenili e 78/319/CEE relativa ai rifiuti tossici e nocivi. *Gazzetta Ufficiale - Serie Generale* n. 324, 15 dicembre 1982.
27. Italia. Deliberazione 27/7/1984 del Comitato interministeriale di cui all'art. 5 del DPR 915/82, Disposizioni per la prima applicazione dell'art. 4 del Decreto del Presidente della Repubblica 10 settembre 1982, n. 915, concernente lo smaltimento dei rifiuti. Supplemento ordinario n. 52, *Gazzetta Ufficiale - Serie Generale* n. 253, 13 settembre 1984.
28. Italia. Decreto Legislativo 27/1/1992 n. 99, Attuazione della direttiva 86/278/CEE concernente la protezione dell'ambiente, in particolare del suolo, nell'utilizzazione dei fanghi di depurazione in agricoltura. *Gazzetta Ufficiale - Serie Generale* n. 38, 15 febbraio 1992.
29. Gibbs RA, Hu CJ, Ho GE, Unkovich I. Regrowth of faecal coliforms and *Salmonellae* in stored biosolids and soil amended with biosolids. *Water Science and Technology* 1997;35:269-75.
30. Bonadonna L, Liberti R, Volterra L. Distribution of F-bacteriophages and coliphages in wastewater. *World Journal of Microbiology & Biotechnology* 1993;9:34-6.
31. Briancesco R, Bonadonna L. Considerazioni preliminari sulla diffusione di *Cryptosporidium* nelle acque. *Inquinamento* 1999;6:42-5.
32. Commissione CEE. Criteri per l'assegnazione del marchio comunitario di qualità ecologica. *Gazzetta Ufficiale-Comunità Europea* n. L 364/21, 31 dicembre 1994.





**APPENDICE A**  
**Limiti qualitativi per il compost**  
**secondo la normativa nazionale**



**Tabella A1. Limiti qualitativi per il compost secondo la normativa nazionale**

Parametro	Unità di misura	DPR 915/82 Norme tecniche	L 748/84 Ammendante compostato (proposta)			Ministero Ambiente compost con prescrizioni (proposta)	DL.vo del 27/3/1998 (Modifica all'Allegato 1C della L 748/84)			
			verde	misto	torboso		vegetale semplice	verde	misto	torboso
pH	Unità di pH	6-8,5	6-8,5	6-8,5	6-8,5	6-8,5	6-8,5	6-8,5	6-8,5	
Umidità	%tq	<45	<50	<50	<50	<45	>50	<50	>50	
Carbonio organico	%ss	>20	>30	>25	>30	>20	>40	>30	>25	>30
Sostanza organica	%ss	>40								
Azoto organico	%N tot.		>80	>80	>80		>80	>80	>80	>80
Azoto totale	%ss	>1								
Fosforo totale	% P <sub>205</sub> ss	>0,5								
Potassio totale	%K <sub>20</sub> ss	>0,4								
Rapporto C/N		<30	<50	<25	<50	<20		>50	<25	<50
Acidi umici e fulvici			>2,5	>7	>7		>2,5	>7	>7	
Vetri	%ss									
<3,33 mm		<3	<0,9	<0,9	<0,9					
3,33-10 mm			<0,1	<0,1	<0,1					
Plastiche	%ss									
<3,33 mm		<1	<0,45	<0,45	<0,45					
3,33-10 mm			<0,05	<0,05	<0,05					
Plastica e inerti >10 mm	%ss		assenti	assenti	assenti					
Metalli	%ss	<0,5								
Inerti totali	%ss	<3				<3				

segue



**APPENDICE B**  
**Procedure operative per il campionamento**  
**e l'analisi dei prodotti di compostaggio**



## Introduzione

Di seguito è descritto il protocollo per lo svolgimento dei campionamenti di prodotti di compostaggio da considerarsi quale fase fondamentale e indispensabile per lo sviluppo delle successive procedure analitiche. Si ritiene che l'adozione di tale protocollo da parte di tutti i laboratori competenti debba essere resa obbligatoria tramite la stesura di norme tecniche specifiche per l'analisi di campioni di questa tipologia.

## Modalità di campionamento e trasporto dei campioni

È importante che il campione raccolto sia quanto più possibile rappresentativo al fine di fornire dati affidabili e utili alla individuazione delle caratteristiche di qualità del prodotto da esaminare.

Per procedere al prelievo, al trasporto e alle analisi di campioni di compost per l'esame microbiologico è richiesta l'adozione di alcune precauzioni relative sia alla raccolta del campione che alla protezione di coloro che manipolano il campione stesso.

È primariamente necessario condurre i prelievi osservando condizioni che garantiscano che i campioni non vengano contaminati e non ne venga quindi alterata la qualità originaria, fermo restando l'adozione di adeguate norme di sicurezza da parte del personale addetto allo svolgimento di tali operazioni.

È pertanto di rilievo che durante le procedure di campionamento per l'analisi microbiologica vengano utilizzati recipienti o sacchi puliti, chiusi accuratamente per l'invio del materiale al laboratorio per l'analisi.

Il campione prelevato deve essere accompagnato da tutte le indicazioni necessarie alla sua identificazione e deve essere trasmessa, con il campione, qualunque altra osservazione possa risultare utile nella interpretazione dei risultati di laboratorio.

Prima di procedere al prelievo dei campioni, è utile effettuare un'ispezione preliminare allo scopo di verificare lo stato della massa da campionare e le modalità di esecuzione dell'operazione.

Al fine di ottenere un campione il più statisticamente rappresentativo, oltre che raccogliere dati sulla tipologia dei rifiuti trattati e sulle caratteristiche operative dell'impianto di compostaggio dove si effettua il prelievo, occorre ridurre il più possibile l'effetto della eterogeneità della matrice sulla variabilità del dato analitico.

Pertanto è opportuno effettuare un prelievo composito nella massa del compost (almeno al di sotto dei primi 10 cm dalla superficie), che comprenda almeno 7 sottocampioni per ogni 200 m<sup>3</sup> di compost, fissando i 7 punti di prelievo secondo uno schema di campionamento casuale su un reticolo bi- o tridimensionale a maglie, la cui estensione sia in funzione delle dimensioni della massa da campionare.

I sottocampioni, ciascuno del peso di circa 1 kg, dovranno essere aggregati. Dalla massa derivata, accuratamente mescolata con idonea strumentazione pulita, onde evitare contaminazioni secondarie, si otterrà il campione da analizzare in laboratorio che, per l'analisi microbiologica, potrà essere rappresentato, anche in funzione del numero di parametri da analizzare, da una quantità pari a 500 g.

Inoltre, poiché l'inosservanza dei tempi e/o delle modalità di trasporto può comportare alterazioni della composizione del campione, è necessario procedere al trasporto in modo che nel campione da analizzare la flora batterica presente non subisca riduzioni o incrementi o che si verifichi il fenomeno di *regrowth* (23, 29).

Pertanto, durante il trasporto, che deve essere effettuato nel più breve tempo possibile, è necessario mantenere i campioni al riparo dalla luce e ad una temperatura compresa fra +4° e +10 °C.

Al fine di consentire il mantenimento della temperatura richiesta usare frigoriferi portatili o altrimenti contenitori termoisolanti (borse termiche) utilizzando apposite piastre frigorifere del commercio.

È da ricordare che, per i campioni da analizzare dal punto di vista microbiologico, è assolutamente da evitare il congelamento.

È preferibile effettuare l'analisi entro 24 ore dal momento del prelievo, mantenendo fino al momento dell'esame microbiologico i campioni a circa +4 °C, effettuando comunque l'analisi su campioni a temperatura ambiente.

## Procedure analitiche

Non esistendo attualmente norme tecniche specifiche per l'analisi di questi campioni, bensì metodiche che si riferiscono a generici campioni ambientali, l'uso di procedure appropriate che permettono di ottenere risultati attendibili e precisi, costituisce invece un fattore fondamentale quando da un controllo dipende una decisione di intervento ambientale, soprattutto se di interesse sanitario.

Nel corso dell'intero studio è stata svolta la comparazione tra metodi analitici di diversa concezione:

- per i *parametri batteriologici*: tecnica della filtrazione su membrana (Membrane Filtration, MF) e quella dei tubi multipli (noto come Most Probabile Number, MPN);
- per le *spore*: tecniche diverse per la produzione di condizioni anaerobiche;
- per i *patogeni*: tecniche diverse di concentrazione.

È stato quindi possibile determinare la procedura analitica migliore per l'analisi di campioni di questa tipologia, sulla base della rapidità di applicazione di: metodo, rese ottenute, tempi di risposta, ripetibilità del dato, selettività e semplicità di lettura. Inoltre, è stata considerata la necessità di individuare il metodo che, oltre a fornire le migliori prestazioni in termini di selettività e specificità, fosse quanto meno possibile influenzato, nella propria capacità di rilevamento, dalla concentrazione microbica del campione esaminato, adattandosi in tal modo sia all'analisi di campioni poco contaminati che a situazioni di elevato apporto inquinante.

La caratteristica natura dei campioni di compost, o comunque di campioni da destinare a trattamento per la sua produzione, obbliga necessariamente ad effettuare un pretrattamento del campione prima dell'analisi microbiologica che consente di disgregare le particelle di materiale solido con conseguente rilascio dei microrganismi in esse aggregati e separazione dei cluster microbici. Ciò comporta l'esecuzione di una procedura operativa specifica in mancanza della quale, è stato verificato da prove di laboratorio (21), i dati ottenuti risulterebbero poco attendibili e comunque con caratteristiche di scarsa ripetibilità.

La procedura analitica è stata sviluppata secondo lo schema seguente:

- omogeneizzazione del campione;
- determinazione dei parametri microbiologici.

### Omogeneizzazione del campione

È stata pesata una quantità di compost di almeno 20 g ed è stata effettuata una diluizione. La sospensione è stata sottoposta per alcuni minuti ad agitazione magnetica su piastra o tramite Stomacher al fine di renderla omogenea.

Il campione è stato sottoposto quindi, per circa 15 s, a omogeneizzazione meccanica con omogeneizzatore elettrico, del tipo "per coltura di tessuti" con regolatore di velocità da 1000 a 10000 g/min e pestello in teflon, mantenendo la sospensione in un bagno di ghiaccio.

### Determinazione dei parametri microbiologici

Per l'analisi dei parametri selezionati sono stati adottati metodi diversi, per individuare il più idoneo in funzione della produttività, della qualità della risposta e della più semplice esecuzione e lettura dei risultati. Di seguito sono riportate le procedure di esecuzione delle analisi svolte.

Opportune diluizioni del campione sono state analizzate per la determinazione dei seguenti parametri microbiologici:

- Coliformi totali
- Coliformi fecali
- *E. coli*
- Streptococchi fecali
- *Salmonella*
- Batteriofagi anti-*E. coli*



- Clostridi solfitoreducitori
- Protozoi patogeni
- Uova di elminti

### **Coliformi totali**

Per l'esame di questo parametro sono state adottate due diverse procedure analitiche.

Il primo metodo descritto è risultato più idoneo per produttività, qualità della risposta, esecuzione e lettura in funzione dei campioni esaminati.

- *Metodo dei tubi multipli (MPN)*

Aliquote del campione omogenato sono state inoculate, in prova presuntiva, in tubi (provvisti di campanelle di Durham) di Brodo Lattosato incubati a  $36 \pm 1$  °C per 24 + 24 ore.

Gli inoculi risultati positivi sono stati sottoposti alla prova di conferma in Brodo Lattosato Bile Verde Brillante e incubati a  $36 \pm 1$  °C per 24 + 24 ore. Alla fine del periodo di incubazione, la formazione di gas nelle campanelle costituiva una reazione positiva per i coliformi totali. Per l'espressione dei risultati è stato annotato il numero dei tubi positivi e negativi e, sulla base delle combinazioni ottenute, si è calcolato, in base alla relativa tabella, il valore dell'indice MPN per 100 ml di campione, riportandolo infine a UFC/g<sub>ss</sub>.

- *Metodo della Filtrazione su Membrana (MF)*

Diluizioni appropriate del campione omogenato sono state filtrate attraverso membrane di esteri di cellulosa a porosità nominale 0,45 µm di diametro, poste su substrato agarizzato C-EC (Biolife) e incubate a  $36 \pm 1$  °C per 24 ore. Sono state contate come colonie di coliformi totali, quelle tipiche di colore verde-blu. Il risultato finale è stato espresso in UFC/g<sub>ss</sub>.

### **Coliformi fecali**

Per l'esame di questo parametro sono state adottate due diverse procedure analitiche.

Il primo metodo descritto è risultato più idoneo per produttività, qualità della risposta, esecuzione e lettura in funzione dei campioni esaminati.

- *Metodo dei tubi multipli (MPN)*

Aliquote del campione omogenato sono state inoculate, in prova presuntiva, in tubi (provvisti di campanelle di Durham) di Brodo Lattosato incubate a  $36 \pm 1$  °C per 24 + 24 ore.

Gli inoculi risultati positivi sono stati sottoposti alla prova di conferma in Brodo Lattosato Bile Verde Brillante e incubati a  $44 \pm 1$  °C per 24 + 24 ore. Alla fine del periodo di incubazione, la formazione di gas nelle campanelle costituiva una reazione positiva per i coliformi fecali. Per l'espressione dei risultati è stato annotato il numero dei tubi positivi e negativi e, sulla base delle combinazioni ottenute, si è calcolato il valore dell'indice MPN per 100 ml di campione, riportandolo infine a UFC/g<sub>ss</sub>, in base alla relativa tabella.

- *Metodo della filtrazione su membrana (MF)*

Diluizioni appropriate del campione omogenato sono state filtrate attraverso membrane di esteri di cellulosa a porosità nominale 0,45 µm di diametro, poste su substrato agarizzato C-EC (Biolife) e incubate a  $44 \pm 1$  °C per 24 ore. Sono state contate come colonie di coliformi fecali quelle tipiche di colore verde-blu. Il risultato finale è stato espresso in UFC/g<sub>ss</sub>.

### ***E. coli***

Le procedure analitiche (MPN e MF) da seguire per la ricerca di questa specie, sono le stesse adottate per il rilevamento dei coliformi fecali, con l'aggiunta di una prova di conferma dopo le prove eseguite con la tecnica MPN e di modalità specifiche di conteggio per le prove eseguite con la tecnica MF.

Per l'esame di questo parametro sono state adottate due diverse procedure analitiche.

Il primo metodo descritto è risultato più idoneo per produttività, qualità della risposta, esecuzione e lettura in funzione dei campioni esaminati.

– *Metodo dei tubi multipli (MPN)*

Aliquote prelevate dai tubi di Brodo Lattosato Bile Verde Brillante risultati positivi per la presenza di gas sono state inoculate in Acqua Tryptonata e incubate a  $44 \pm 0,5$  °C per 24 + 24 ore. La presenza di *E. coli* è stata individuata mediante reazione positiva immediata al reattivo di Kovac's (formazione di un anello rosso ciliegia sulla superficie del brodo). Per l'espressione dei risultati è stato annotato il numero dei tubi positivi e negativi e, dalle combinazioni ottenute, si è calcolato, in base alla relativa tabella, il valore dell'indice MPN per 100 ml di campione, riportandolo infine a UFC/g<sub>ss</sub>.

– *Metodo della filtrazione su membrana (MF)*

Dopo filtrazione per membrana e incubazione a  $44 \pm 1$  °C, le colonie verde-blu tipiche, venivano esposte alla luce di Wood (254 nm) e le colonie verde-blu risultate fluorescenti venivano contate come *E. coli*. Il risultato finale è stato espresso in UFC/g<sub>ss</sub>.

### **Streptococchi fecali**

Per l'esame di questo parametro sono state adottate due diverse procedure analitiche.

Il primo metodo descritto è risultato più idoneo per produttività, qualità della risposta, esecuzione e lettura in funzione dei campioni esaminati.

– *Metodo dei tubi multipli (MPN)*

Aliquote del campione omogenato sono state inoculate, in prova presuntiva, in tubi, contenenti Brodo all'azide e destrosio (ADB) incubati a  $36 \pm 1$  °C per 24 + 24 ore.

I tubi risultati positivi sono stati sottoposti alla prova di conferma mediante successivo inoculo in Brodo al violetto di etile con azide e destrosio (EVA) e incubati a  $36 \pm 1$  °C per 24 + 24 ore. Per l'espressione dei risultati è stato annotato il numero dei tubi positivi e negativi. Sulla base dell'intorbidimento del brodo di coltura e, dalle combinazioni ottenute, si è calcolato, in base alla relativa tabella, il valore dell'indice MPN per 100 ml di campione, riportandolo infine a UFC/g<sub>ss</sub>.

– *Metodo della filtrazione su membrana (MF)*

Diluizioni appropriate del campione omogenato sono state filtrate attraverso membrane di esteri di cellulosa a porosità nominale 0,45 µm, poste su substrato agarizzato M-Enterococcus Agar (MEA) (Difco), e incubate a  $36 \pm 1$  °C per 48 ore. Sono state enumerate le colonie tipiche di colore dal rosa al rosso scuro. Il risultato finale è stato espresso in UFC/g<sub>ss</sub>.

### **Salmonella sp.**

Per la determinazione di questo parametro è stato applicato il metodo che prevede le fasi di seguito descritte.

– *Prearricchimento*

Il campione omogenato è stato inoculato, in rapporto 1:10 v/v, in Acqua Peptonata tamponata, e incubato a  $36 \pm 1$  °C per 24 ore.

– *Arricchimento e isolamento*

In base alla procedura MPN, diluizioni seriali del campione sono state inoculate in Brodo Rappaport Vassiliadis, e incubate a  $42 \pm 1$  °C per 24 + 24 ore; successivamente si è proceduto alla semina da tutti i tubi, sia positivi che negativi, di aliquote del campione arricchito su

terreno colturale selettivo Hektoen Enteric Agar e alla successiva incubazione a  $36 \pm 1$  °C per 24 ore.

Per il calcolo della concentrazione di *Salmonella* sp. sono state registrate le piastre positive e negative, in base alla presenza o meno, di colonie tipiche di colore verde con margini netti con o senza centro nero; i risultati, espressi come MPN/g<sub>ss</sub>, sono stati ricavati, dalla relativa tabella.

### **Batteriofagi anti-*E. coli***

Aliquote del campione omogenato sono state inoculate in tubi contenenti Trypticase Yeast extract Glucose agar (TYG- agar 0,9%) precedentemente disciolto e mantenuto alla temperatura di 48 °C; si è proceduto quindi all'aggiunta di CaCl<sub>2</sub> x 2H<sub>2</sub>O 0,3% e di una aliquota di una brodocoltura overnight del ceppo marcatore anti-*E. coli* 8113 e alla successiva stratificazione su TYG (agar all'1,5%). Le piastre sono state incubate a  $36 \pm 1$  °C per 7 ore; il numero di batteriofagi è stato riportato come UFP/g<sub>ss</sub>.

### **Clostridi solfitoriduttori**

Il parametro è stato determinato nelle sue due forme: forma vegetativa e spore. Di seguito sono descritti i due diversi metodi adottati per la loro ricerca.

– *Forme vegetative*

Appropriate diluizioni del campione omogenato sono state inoculate in tubi contenenti Agar al Solfito Polimixina Solfadiazina (SPS) (metodo 1), e Perfringens Agar (OPSP) (metodo 2), e incubate in giara, con apposito kit per anaerobiosi, a  $36 \pm 1$  °C, per  $24 \pm 2$  ore. Sono state enumerate tutte le colonie nere. I risultati sono stati riportati come UFC/g<sub>ss</sub>.

– *Spore*

Il campione omogenato è stato mantenuto in bagno termostato a  $75 \pm 5$  °C, per 15 minuti, per l'inattivazione delle forme vegetative e l'attivazione delle forme sporali. Appropriate diluizioni sono state quindi inoculate in tubi contenenti SPS (metodo 1), e OPSP (metodo 2), e incubate in giara, con apposito kit per anaerobiosi, a  $36 \pm 1$  °C, per  $24 \pm 2$  ore. Sono state enumerate tutte le colonie nere. I risultati sono stati riportati come UFC/g<sub>ss</sub>.

### **Protozoi patogeni**

Sono stati utilizzati due metodi in funzione della tipologia del compost in esame:

– *Metodo A*

Il metodo è adatto all'analisi di compost particolarmente umidi, ricchi di fanghi di depurazione e comunque di consistenza simil-fecale.

Appropriate aliquote di una sospensione di almeno 5 g di compost in 30 ml di formaldeide al 10% (o di Phosphatase Buffer Saline – PBS – qualora il campione venga analizzato entro pochi giorni), alle quali è addizionato etere dietilico (v/v), sono state rapidamente vortexate e portate a 15 ml con formaldeide al 10% (o PBS).

Il campione è stato quindi filtrato attraverso un setaccio di porosità nominale 400 µm e centrifugato a  $450 \times g$  per 1 minuto. La fase fluida (tra il pellet e il menisco di etere) è stata prelevata con le opportune precauzioni, centrifugata a  $1050 \times g$  per 10 minuti. Il pellet, risospeso in PBS, è stato analizzato per la presenza di cisti e oocisti di *Giardia* e *Cryptosporidium* mediante immunofluorescenza diretta.

– *Metodo B*

Il metodo è adatto all'analisi di prodotti di compostaggio di finitura grossolana, scarsamente umidi, di consistenza terrosa e/o con elevata componente vegetale.

Una quantità pari ad almeno 5 g di compost, è stata risospesa in 30 ml di una soluzione di Tween 80 all'1%, Sodio Dodecil Solfato (SDS) all'1%, antischiuma A 0,001 %, mantenuta in agitazione per 1 ora e successivamente filtrata attraverso un setaccio di porosità nominale 400  $\mu$ m. Successivamente il campione è stato centrifugato a 1050 x g per 10 minuti. Il soprannatante è stato rimosso fino a 2 ml dal fondo della provetta, il pellet risospeso e opportune quantità della soluzione (in repliche di 10-60  $\mu$ l) sono state infine esaminate su vetrino a pozzetto per immunofluorescenza diretta. Nei casi in cui l'eccessiva torbidità non ha consentito l'esame diretto del campione si è proceduto alla chiarificazione dello stesso mediante flottazione su cuscino di saccarosio (d=1,18).

La procedura di seguito descritta è comune ad entrambi i metodi e rappresenta la fase finale dell'analisi:

– *Conteggio delle cisti e oocisti per immunofluorescenza diretta (entrambi i metodi)*

Anticorpi monoclonali anti-cisti di *Giardia* e anti-oocisti di *Cryptosporidium*, coniugati con FITC (Isotiocianato di Fluoresceina) sono stati utilizzati con la tecnica del vetrino a pozzetto. I campioni sono stati, infine, esaminati mediante microscopio ad epifluorescenza con filtri di eccitazione 450-490 nm e filtro barriera 515-520 nm, agli ingrandimenti 400 e 1000 e sono state registrate le strutture fluorescenti verde mela con forma e dimensioni caratteristiche delle cisti di *Giardia* (lunghezza 8-12  $\mu$ m e larghezza 7-10  $\mu$ m) e delle oocisti di *Cryptosporidium* (4-6  $\mu$ m). I risultati sono stati espressi come Presenza o Assenza/g<sub>ss</sub>.

## Uova di elminti

Sono stati utilizzati due metodi in funzione della tipologia del compost in esame:

– *Metodo A*

Il metodo è adatto all'analisi di compost particolarmente umidi, ricchi di fanghi di depurazione e comunque di consistenza simil-fecale.

– *Metodo B*

Il metodo è adatto all'analisi di prodotti di compostaggio di finitura grossolana, scarsamente umidi, di consistenza terrosa e/o con elevata componente vegetale.

Per l'esecuzione di entrambi i metodi si rimanda ai punti descritti per la determinazione dei protozoi.

La procedura di seguito descritta è comune ad entrambi i metodi e rappresenta la fase finale dell'analisi:

– *Conteggio delle Uova di elminti mediante esame microscopico (entrambi i metodi)*

Si è proceduto alla conta di repliche del campione mediante osservazione al microscopio invertito a contrasto di fase, agli ingrandimenti 200 e 400.

I risultati sono stati espressi come Presenza o Assenza/g<sub>ss</sub>.

**APPENDICE C**  
**Valori ottenuti dalle analisi microbiologiche**  
**di compost proveniente dagli impianti considerati**



**Tabella C1. Risultati delle analisi microbiologiche relative all'impianto 1**

Parametro	Metodi	C <sub>1</sub> t <sub>0</sub>	C <sub>2</sub> t <sub>30</sub>	C <sub>3</sub> t <sub>90</sub>	
Coliformi totali	MPN/g <sub>ss</sub>	1,6x10 <sup>7</sup>	4,1x10 <sup>4</sup>	<5	
	MF UFC/g <sub>ss</sub>	2x10 <sup>6</sup>	1,1x10 <sup>4</sup>	<2	
Coliformi fecali	MPN/g <sub>ss</sub>	1,3x10 <sup>5</sup>	1,3x10 <sup>2</sup>	<5	
	MF UFC/g <sub>ss</sub>	5,3x10 <sup>6</sup>	1,2x10 <sup>2</sup>	<5	
Streptococchi fecali	MPN/g <sub>ss</sub>	4,8x10 <sup>6</sup>	7,4x10 <sup>2</sup>	<5	
	MF UFC/g <sub>ss</sub>	2,4x10 <sup>7</sup>	2,1x10 <sup>2</sup>	<2	
<i>Escherichia coli</i>	MPN/g <sub>ss</sub>	1,3x10 <sup>5</sup>	1,3x10 <sup>2</sup>	<5	
	MF UFC/g <sub>ss</sub>	4,8x10 <sup>5</sup>	8,5x10 <sup>1</sup>	<5	
Clostridi solfitoriduttori					
Forme vegetative	Metodo 1	UFC/g <sub>ss</sub>	1,2x10 <sup>4</sup>	2x10 <sup>3</sup>	1x10 <sup>2</sup>
	Metodo 2	UFC/g <sub>ss</sub>	5x10 <sup>4</sup>	4x10 <sup>3</sup>	8,3x10 <sup>1</sup>
Spore	Metodo 1	UFC/g <sub>ss</sub>	2x10 <sup>3</sup>	1x10 <sup>3</sup>	1,5x10 <sup>2</sup>
	Metodo 2	UFC/g <sub>ss</sub>	1,4x10 <sup>3</sup>	2,5x10 <sup>2</sup>	1x10 <sup>2</sup>
<i>Salmonella</i> spp.	MPN/g <sub>ss</sub>	<13	<5,2	<5	
Batteriofagi anti- <i>E.coli</i>	UFP/g <sub>ss</sub>	7,5x10 <sup>4</sup>	<1,7	<1,7	
Protozoi patogeni					
<i>Giardia</i>	Metodo 1		assente	assente	assente
	Metodo 2		assente	assente	assente
<i>Cryptosporidium</i>	Metodo 1		assente	assente	assente
	Metodo 2		assente	assente	assente
Uova di elminti	Metodo 1		assente	assente	assente
	Metodo 2		assente	assente	assente

C<sub>1</sub> = Miscela di materie prime

C<sub>2</sub> = Prodotto intermedio

C<sub>3</sub> = Compost maturo

t<sub>0</sub> = tempo a 0 giorni

t<sub>30</sub> = tempo di maturazione a 30 giorni

t<sub>90</sub> = tempo di maturazione a 90 giorni

g<sub>ss</sub> = grammi su peso secco

**Tabella C2. Risultati delle analisi microbiologiche relative all'impianto 2**

Parametro	Metodi		C <sub>1</sub> t <sub>0</sub>	C <sub>2</sub> t <sub>30</sub>	C <sub>3</sub> t <sub>90</sub>
Coliformi totali	MPN/g <sub>ss</sub> MF UFC/g <sub>ss</sub>		5x10 <sup>6</sup> 1x10 <sup>6</sup>	7,2x10 <sup>3</sup> 5x10 <sup>3</sup>	1,8x10 <sup>2</sup> 8,3x10 <sup>1</sup>
Coliformi fecali	MPN/g <sub>ss</sub> MF UFC/g <sub>ss</sub>		2x10 <sup>4</sup> 5,5x10 <sup>4</sup>	1,9x10 <sup>3</sup> 7,5x10 <sup>2</sup>	14 <5
Streptococchi fecali	MPN/g <sub>ss</sub> MF UFC/g <sub>ss</sub>		5x10 <sup>5</sup> 5,5x10 <sup>5</sup>	1,9x10 <sup>3</sup> 1x10 <sup>3</sup>	2x10 <sup>2</sup> 1,2x10 <sup>2</sup>
<i>Escherichia coli</i>	MPN/g <sub>ss</sub> MF UFC/g <sub>ss</sub>		2x10 <sup>4</sup> 5,5x10 <sup>4</sup>	<6 <3	<5 <5
Clostridi solfitoriduttori					
Forme vegetative	Metodo 1	UFC/g <sub>ss</sub>	1x10 <sup>6</sup>	8x10 <sup>4</sup>	2x10 <sup>3</sup>
	Metodo 2	UFC/g <sub>ss</sub>	2x10 <sup>6</sup>	7,4x10 <sup>3</sup>	3x10 <sup>2</sup>
Spore	Metodo 1	UFC/g <sub>ss</sub>	3x10 <sup>5</sup>	4,5x10 <sup>3</sup>	2x10 <sup>1</sup>
	Metodo 2	UFC/g <sub>ss</sub>	2x10 <sup>4</sup>	4x10 <sup>2</sup>	1x10 <sup>1</sup>
<i>Salmonella</i> spp.	MPN/g <sub>ss</sub>		5x10 <sup>2</sup>	<6	<5
Batteriofagi anti- <i>E.coli</i>	UFP/g <sub>ss</sub>		5,5x10 <sup>4</sup>	<2	<2
Protozoi patogeni					
<i>Giardia</i>	Metodo 1		presente	assente	assente
	Metodo 2		presente	assente	assente
<i>Cryptosporidium</i>	Metodo 1		assente	assente	assente
	Metodo 2		assente	assente	assente
Uova di elminti	Metodo 1		presente	assente	assente
	Metodo 2		presente	assente	assente

C<sub>1</sub> = Miscela di materie prime

C<sub>2</sub> = Prodotto intermedio

C<sub>3</sub> = Compost maturo

t<sub>0</sub> = tempo a 0 giorni

t<sub>30</sub> = tempo di maturazione a 30 giorni

t<sub>90</sub> = tempo di maturazione a 90 giorni

g<sub>ss</sub> = grammi su peso secco



**Tabella C3. Risultati delle analisi microbiologiche relative all'impianto 3**

Parametro	Metodi	C <sub>1</sub> t <sub>0</sub>	C <sub>2</sub> t <sub>30</sub>	C <sub>3</sub> t <sub>90</sub>
Coliformi totali	MPN/g <sub>ss</sub>	5,6x10 <sup>5</sup>	>2x10 <sup>3</sup>	>2x10 <sup>3</sup>
	MF UFC/g <sub>ss</sub>	1x10 <sup>5</sup>	5x10 <sup>3</sup>	2x10 <sup>2</sup>
Coliformi fecali	MPN/g <sub>ss</sub>	>2,3x10 <sup>5</sup>	17	>2x10 <sup>3</sup>
	MF UFC/g <sub>ss</sub>	3x10 <sup>4</sup>	<5	<5
Streptococchi fecali	MPN/g <sub>ss</sub>	4,8x10 <sup>4</sup>	3,7x10 <sup>2</sup>	4x10 <sup>2</sup>
	MF UFC/g <sub>ss</sub>	2x10 <sup>4</sup>	3x10 <sup>2</sup>	8,3x10 <sup>1</sup>
<i>Escherichia coli</i>	MPN/g <sub>ss</sub>	4,8x10 <sup>4</sup>	17	<5
	MF UFC/g <sub>ss</sub>	1,5x10 <sup>4</sup>	<5	<5
Clostridi solfitoriduttori				
Forme vegetative	Metodo 1 UFC/g <sub>ss</sub>	2,9x10 <sup>4</sup>	1x10 <sup>4</sup>	6,2x10 <sup>4</sup>
	Metodo 2 UFC/g <sub>ss</sub>	1x10 <sup>2</sup>	1x10 <sup>2</sup>	2x10 <sup>2</sup>
Spore	Metodo 1 UFC/g <sub>ss</sub>	6x10 <sup>3</sup>	4,2x10 <sup>3</sup>	2x10 <sup>2</sup>
	Metodo 2 UFC/g <sub>ss</sub>	4x10 <sup>2</sup>	1,5x10 <sup>2</sup>	8,2x10 <sup>1</sup>
<i>Salmonella</i> spp.	MPN/g <sub>ss</sub>	2,5x10 <sup>2</sup>	<5,2	<5
Batteriofagi anti- <i>E.coli</i>	UFP/g <sub>ss</sub>	<2	<2	<2
Protozoi patogeni				
<i>Giardia</i>	Metodo 1	assente	assente	assente
	Metodo 2	assente	assente	assente
<i>Cryptosporidium</i>	Metodo 1	assente	assente	assente
	Metodo 2	assente	assente	assente
Uova di elminti	Metodo 1	assente	assente	assente
	Metodo 2	assente	assente	assente

C<sub>1</sub> = Miscela di materie prime

C<sub>2</sub> = Prodotto intermedio

C<sub>3</sub> = Compost maturo

t<sub>0</sub> = tempo a 0 giorni

t<sub>30</sub> = tempo di maturazione a 30 giorni

t<sub>90</sub> = tempo di maturazione a 90 giorni

g<sub>ss</sub> = grammi su peso secco

**Tabella C4. Risultati delle analisi microbiologiche relative all'impianto 4**

Parametro	Metodi		C <sub>1</sub> t <sub>0</sub>	C <sub>2</sub> t <sub>30</sub>	C <sub>3</sub> t <sub>90</sub>
Coliformi totali	MPN/g <sub>ss</sub>		9,5x10 <sup>7</sup>	>1,5x10 <sup>5</sup>	13
	MF UFC/g <sub>ss</sub>		7x10 <sup>7</sup>	3x10 <sup>5</sup>	18
Coliformi fecali	MPN/g <sub>ss</sub>		>4x10 <sup>6</sup>	>1,5x10 <sup>4</sup>	13
	MF UFC/g <sub>ss</sub>		9x10 <sup>6</sup>	4x10 <sup>4</sup>	<5
Streptococchi fecali	MPN/g <sub>ss</sub>		<4x10 <sup>7</sup>	1,5x10 <sup>4</sup>	5
	MF UFC/g <sub>ss</sub>		1x10 <sup>8</sup>	7,5x10 <sup>6</sup>	<2
<i>Escherichia coli</i>	MPN/g <sub>ss</sub>		1,4x10 <sup>5</sup>	7x10 <sup>3</sup>	<0,4
	MF UFC/g <sub>ss</sub>		4x10 <sup>6</sup>	5x10 <sup>3</sup>	<2
Clostridi solfitoriduttori					
Forme vegetative	Metodo 1	UFC/g <sub>ss</sub>	1,7x10 <sup>4</sup>	2,1x10 <sup>3</sup>	1,7x10 <sup>2</sup>
	Metodo 2	UFC/g <sub>ss</sub>	3,5x10 <sup>4</sup>	1,5x10 <sup>3</sup>	2x10 <sup>2</sup>
Spore	Metodo 1	UFC/g <sub>ss</sub>	8x10 <sup>3</sup>	4x10 <sup>3</sup>	1,5x10 <sup>2</sup>
	Metodo 2	UFC/g <sub>ss</sub>	2x10 <sup>3</sup>	5x10 <sup>2</sup>	1x10 <sup>2</sup>
<i>Salmonella</i> spp.	MPN/g <sub>ss</sub>		3x10 <sup>4</sup>	2x10 <sup>2</sup>	17
Batteriofagi anti- <i>E.coli</i>	UFP/g <sub>ss</sub>		<2	<2	<2
Protozoi patogeni					
<i>Giardia</i>	Metodo 1		presente	assente	assente
	Metodo 2		presente	assente	assente
<i>Cryptosporidium</i>	Metodo 1		assente	assente	assente
	Metodo 2		assente	assente	assente
Uova di elminti	Metodo 1		presente	assente	assente
	Metodo 2		presente	assente	assente

C<sub>1</sub> = Miscela di materie prime

C<sub>2</sub> = Prodotto intermedio

C<sub>3</sub> = Compost maturo

t<sub>0</sub> = tempo a 0 giorni

t<sub>30</sub> = tempo di maturazione a 30 giorni

t<sub>90</sub> = tempo di maturazione a 90 giorni

g<sub>ss</sub> = grammi su peso secco

**Tabella C5. Risultati delle analisi microbiologiche relative all'impianto 5**

Parametro	Metodi	C <sub>1</sub> t <sub>0</sub>	C <sub>2</sub> t <sub>30</sub>	C <sub>3</sub> t <sub>90</sub>	
Coliformi totali	MPN/g <sub>ss</sub>	1x10 <sup>8</sup>	>2,6x10 <sup>5</sup>	4,6x10 <sup>2</sup>	
	MF UFC/g <sub>ss</sub>	7,3x10 <sup>7</sup>	2,8x10 <sup>4</sup>	3x10 <sup>2</sup>	
Coliformi fecali	MPN/g <sub>ss</sub>	6x10 <sup>5</sup>	9x10 <sup>2</sup>	1,2x10 <sup>2</sup>	
	MF UFC/g <sub>ss</sub>	1x10 <sup>7</sup>	4,5x10 <sup>3</sup>	1x10 <sup>2</sup>	
Streptococchi fecali	MPN/g <sub>ss</sub>	6x10 <sup>6</sup>	2,6x10 <sup>4</sup>	1,7x10 <sup>2</sup>	
	MF UFC/g <sub>ss</sub>	3x10 <sup>6</sup>	2x10 <sup>4</sup>	1x10 <sup>2</sup>	
<i>Escherichia coli</i>	MPN/g <sub>ss</sub>	2,3x10 <sup>5</sup>	3,4x10 <sup>2</sup>	1,2x10 <sup>2</sup>	
	MF UFC/g <sub>ss</sub>	1x10 <sup>6</sup>	1,5x10 <sup>3</sup>	1x10 <sup>2</sup>	
Clostridi solfitoriduttori					
Forme vegetative	Metodo 1	UFC/g <sub>ss</sub>	7,5x10 <sup>4</sup>	<2,4x10 <sup>3</sup>	1,4x10 <sup>4</sup>
	Metodo 2	UFC/g <sub>ss</sub>	1,5x10 <sup>4</sup>	1,5x10 <sup>3</sup>	4,2x10 <sup>2</sup>
Spore	Metodo 1	UFC/g <sub>ss</sub>	2,5x10 <sup>3</sup>	<2,4x10 <sup>3</sup>	1,4x10 <sup>3</sup>
	Metodo 2	UFC/g <sub>ss</sub>	2x10 <sup>3</sup>	1x10 <sup>2</sup>	12
<i>Salmonella</i> spp.	MPN/g <sub>ss</sub>	37	4,8	0,8	
Batteriofagi anti- <i>E.coli</i>	UFP/g <sub>ss</sub>	6,5x10 <sup>3</sup>	1,8x10 <sup>2</sup>	13	
Protozoi patogeni					
<i>Giardia</i>	Metodo 1	assente	assente	assente	
	Metodo 2	assente	assente	assente	
<i>Cryptosporidium</i>	Metodo 1	presente	presente	assente	
	Metodo 2	presente	presente	assente	
Uova di elminti	Metodo 1	presente	presente	assente	
	Metodo 2	presente	assente	assente	

C<sub>1</sub> = Miscela di materie prime

C<sub>2</sub> = Prodotto intermedio

C<sub>3</sub> = Compost maturo

t<sub>0</sub> = tempo a 0 giorni

t<sub>30</sub> = tempo di maturazione a 30 giorni

t<sub>90</sub> = tempo di maturazione a 90 giorni

g<sub>ss</sub> = grammi su peso secco

**Tabella C6. Risultati delle analisi microbiologiche relative all'impianto**

Parametro	Metodi		C <sub>1</sub> t <sub>0</sub>	C <sub>2</sub> t <sub>30</sub>	C <sub>3</sub> t <sub>90</sub>
Coliformi totali	MPN/g <sub>ss</sub>		3,7x10 <sup>6</sup>	1x10 <sup>5</sup>	22
	MF UFC/g <sub>ss</sub>		5x10 <sup>5</sup>	1,3x10 <sup>3</sup>	17
Coliformi fecali	MPN/g <sub>ss</sub>		8,9x10 <sup>3</sup>	2,3x10 <sup>3</sup>	6
	MF UFC/g <sub>ss</sub>		3,2x10 <sup>5</sup>	3,1x10 <sup>3</sup>	<2
Streptococchi fecali	MPN/g <sub>ss</sub>		7,2x10 <sup>6</sup>	7,2x10 <sup>3</sup>	5
	MF UFC/g <sub>ss</sub>		4,7x10 <sup>6</sup>	2,5x10 <sup>3</sup>	<1,5
<i>Escherichia coli</i>	MPN/g <sub>ss</sub>		8,9x10 <sup>3</sup>	2,3x10 <sup>3</sup>	4
	MF UFC/g <sub>ss</sub>		6x10 <sup>3</sup>	3x10 <sup>3</sup>	0,5
Clostridi solfitoriduttori					
Forme vegetative	Metodo 1	UFC/g <sub>ss</sub>	2,5x10 <sup>5</sup>	5x10 <sup>4</sup>	1,5x10 <sup>4</sup>
	Metodo 2	UFC/g <sub>ss</sub>	3x10 <sup>4</sup>	5x10 <sup>3</sup>	2,2x10 <sup>2</sup>
Spore	Metodo 1	UFC/g <sub>ss</sub>	5x10 <sup>4</sup>	2,5x10 <sup>3</sup>	<1,5
	Metodo 2	UFC/g <sub>ss</sub>	7,5x10 <sup>3</sup>	1x10 <sup>3</sup>	7
<i>Salmonella</i> spp.	MPN/g <sub>ss</sub>		9	10	<0,5
Batteriofagi anti- <i>E.coli</i>	UFP/g <sub>ss</sub>		3x10 <sup>2</sup>	12	<7
Protozoi patogeni					
<i>Giardia</i>	Metodo 1		assente	assente	assente
	Metodo 2		assente	assente	assente
<i>Cryptosporidium</i>	Metodo 1		presente	assente	assente
	Metodo 2		presente	assente	assente
Uova di elminti	Metodo 1		presente	assente	assente
	Metodo 2		presente	assente	assente

C<sub>1</sub> = Miscela di materie prime

C<sub>2</sub> = Prodotto intermedio

C<sub>3</sub> = Compost maturo

t<sub>0</sub> = tempo a 0 giorni

t<sub>30</sub> = tempo di maturazione a 30 giorni

t<sub>90</sub> = tempo di maturazione a 90 giorni

g<sub>ss</sub> = grammi su peso secco

**Tabella C7. Risultati delle analisi microbiologiche relative all'impianto 7**

Parametro	Metodi		C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>
			t <sub>0</sub>	t <sub>30</sub>	t <sub>90</sub>
Coliformi totali	MPN/g <sub>ss</sub>		1,8x10 <sup>8</sup>	6,6x10 <sup>5</sup>	>1,8x10 <sup>2</sup>
	MF UFC/g <sub>ss</sub>		3,8x10 <sup>7</sup>	5x10 <sup>5</sup>	1,5x10 <sup>2</sup>
Coliformi fecali	MPN/g <sub>ss</sub>		3,8x10 <sup>5</sup>	2,5x10 <sup>2</sup>	12
	MF UFC/g <sub>ss</sub>		2,8x10 <sup>5</sup>	2x10 <sup>2</sup>	10
Streptococchi fecali	MPN/g <sub>ss</sub>		9,7x10 <sup>6</sup>	>3x10 <sup>4</sup>	>1,8x10 <sup>2</sup>
	MF UFC/g <sub>ss</sub>		8x10 <sup>6</sup>	5x10 <sup>4</sup>	1x10 <sup>2</sup>
<i>Escherichia coli</i>	MPN/g <sub>ss</sub>		2,6x10 <sup>4</sup>	1x10 <sup>2</sup>	5
	MF UFC/g <sub>ss</sub>		2,4x10 <sup>5</sup>	1x10 <sup>2</sup>	9
Clostridi solfitoriduttori					
Forme vegetative	Metodo 1	UFC/g <sub>ss</sub>	3x10 <sup>5</sup>	4x10 <sup>4</sup>	1,7x10 <sup>2</sup>
	Metodo 2	UFC/g <sub>ss</sub>	6,5x10 <sup>4</sup>	2,7x10 <sup>4</sup>	3,4x10 <sup>2</sup>
Spore	Metodo 1	UFC/g <sub>ss</sub>	5,3x10 <sup>4</sup>	1,4x10 <sup>4</sup>	5x10 <sup>2</sup>
	Metodo 2	UFC/g <sub>ss</sub>	1,6x10 <sup>4</sup>	2,2x10 <sup>3</sup>	1,7x10 <sup>2</sup>
<i>Salmonella</i> spp.	MPN/g <sub>ss</sub>		30	<0,8	<0,5
Batteriofagi anti- <i>E.coli</i>	UFP/g <sub>ss</sub>		2,8x10 <sup>4</sup>	<13	<8
Protozoi patogeni					
<i>Giardia</i>	Metodo 1		presente	presente	assente
	Metodo 2		presente	presente	assente
<i>Cryptosporidium</i>	Metodo 1		presente	assente	assente
	Metodo 2		presente	assente	assente
Uova di elminti	Metodo 1		presente	presente	presente
	Metodo 2		presente	presente	presente

C<sub>1</sub> = Miscela di materie prime

C<sub>2</sub> = Prodotto intermedio

C<sub>3</sub> = Compost maturo

t<sub>0</sub> = tempo a 0 giorni

t<sub>30</sub> = tempo di maturazione a 30 giorni

t<sub>90</sub> = tempo di maturazione a 90 giorni

g<sub>ss</sub> = grammi su peso secco

**Tabella C8. Risultati delle analisi microbiologiche relative all'impianto 8**

Parametro	Metodi	C <sub>1</sub> t <sub>0</sub>	C <sub>2</sub> t <sub>30</sub>
Coliformi totali	MPN/g <sub>ss</sub>	3,6x10 <sup>5</sup>	3x10 <sup>5</sup>
	MF UFC/g <sub>ss</sub>	8,4x10 <sup>4</sup>	2,5x10 <sup>3</sup>
Coliformi fecali	MPN/g <sub>ss</sub>	2,3x10 <sup>5</sup>	3x10 <sup>4</sup>
	MF UFC/g <sub>ss</sub>	3x10 <sup>5</sup>	2x10 <sup>3</sup>
Streptococchi fecali	MPN/g <sub>ss</sub>	6,9x10 <sup>5</sup>	3x10 <sup>4</sup>
	MF UFC/g <sub>ss</sub>	6x10 <sup>5</sup>	1,8x10 <sup>4</sup>
<i>Escherichia coli</i>	MPN/g <sub>ss</sub>	3,5x10 <sup>4</sup>	3x10 <sup>4</sup>
	MF UFC/g <sub>ss</sub>	2,4x10 <sup>5</sup>	3x10 <sup>3</sup>
Clostridi solfitoriduttori			
Forme vegetative	Metodo 1 UFC/g <sub>ss</sub>	<1,4x10 <sup>4</sup>	<5x10 <sup>3</sup>
	Metodo 2 UFC/g <sub>ss</sub>	>1,5x10 <sup>4</sup>	8,2x10 <sup>2</sup>
Spore	Metodo 1 UFC/g <sub>ss</sub>	<1,5x10 <sup>2</sup>	1,4x10 <sup>3</sup>
	Metodo 2 UFC/g <sub>ss</sub>	1,5x10 <sup>2</sup>	2,7x10 <sup>2</sup>
<i>Salmonella</i> spp.	MPN/g <sub>ss</sub>	44	6
Batteriofagi anti- <i>E.coli</i>	UFP/g <sub>ss</sub>	1x10 <sup>2</sup>	<2
Protozoi patogeni			
<i>Giardia</i>	Metodo 1	assente	assente
	Metodo 2	assente	assente
<i>Cryptosporidium</i>	Metodo 1	assente	assente
	Metodo 2	assente	assente
Uova di elminti	Metodo 1	assente	assente
	Metodo 2	assente	assente

C<sub>1</sub> = Miscela di materie prime  
 C<sub>2</sub> = Prodotto intermedio  
 t<sub>0</sub> = tempo a 0 giorni  
 t<sub>30</sub> = tempo di maturazione a 30 giorni  
 g<sub>ss</sub> = grammi su peso secco

**Tabella C9. Risultati delle analisi microbiologiche relative all'impianto 9**

Parametro	Metodi	C <sub>1</sub> t <sub>0</sub>	C <sub>2</sub> t <sub>30</sub>	C <sub>3</sub> t <sub>90</sub>	
Coliformi totali	MPN/g <sub>ss</sub>	6,8x10 <sup>7</sup>	3x10 <sup>4</sup>	3,5x10 <sup>2</sup>	
	MF UFC/g <sub>ss</sub>	1,5x10 <sup>7</sup>	4,5x10 <sup>4</sup>	2x10 <sup>2</sup>	
Coliformi fecali	MPN/g <sub>ss</sub>	6,8x10 <sup>5</sup>	3x10 <sup>3</sup>	1x10 <sup>2</sup>	
	MF UFC/g <sub>ss</sub>	1,9x10 <sup>6</sup>	5x10 <sup>3</sup>	1x10 <sup>2</sup>	
Streptococchi fecali	MPN/g <sub>ss</sub>	1,6x10 <sup>7</sup>	2,2x10 <sup>4</sup>	2,6x10 <sup>3</sup>	
	MF UFC/g <sub>ss</sub>	1,8x10 <sup>7</sup>	3,5x10 <sup>4</sup>	8x10 <sup>2</sup>	
<i>Escherichia coli</i>	MPN/g <sub>ss</sub>	6,8x10 <sup>5</sup>	3x10 <sup>3</sup>	1x10 <sup>2</sup>	
	MF UFC/g <sub>ss</sub>	1,9x10 <sup>6</sup>	4x10 <sup>4</sup>	1x10 <sup>2</sup>	
Clostridi solfitoriduttori	Forme vegetative	Metodo 1 UFC/g <sub>ss</sub>	8,8x10 <sup>4</sup>	5x10 <sup>4</sup>	1,2x10 <sup>4</sup>
		Metodo 2 UFC/g <sub>ss</sub>	3x10 <sup>5</sup>	8x10 <sup>4</sup>	1,2x10 <sup>4</sup>
	Spore	Metodo 1 UFC/g <sub>ss</sub>	9,4x10 <sup>4</sup>	1x10 <sup>4</sup>	7x10 <sup>3</sup>
		Metodo 2 UFC/g <sub>ss</sub>	1,5x10 <sup>5</sup>	8x10 <sup>3</sup>	8,4x10 <sup>3</sup>
<i>Salmonella</i> spp.	MPN/g <sub>ss</sub>	1,6x10 <sup>3</sup>	2	<2	
Batteriofagi anti- <i>E.coli</i>	UFP/g <sub>ss</sub>	1x10 <sup>5</sup>	<2	<2	
Protozoi patogeni					
<i>Giardia</i>	Metodo 1	presente	assente	assente	
	Metodo 2	presente	assente	assente	
<i>Cryptosporidium</i>	Metodo 1	presente	assente	assente	
	Metodo 2	presente	assente	assente	
Uova di elminti	Metodo 1	presente	presente	assente	
	Metodo 2	presente	assente	assente	

C<sub>1</sub> = Miscela di materie prime

C<sub>2</sub> = Prodotto intermedio

C<sub>3</sub> = Compost maturo

t<sub>0</sub> = tempo a 0 giorni

t<sub>30</sub> = tempo di maturazione a 30 giorni

t<sub>90</sub> = tempo di maturazione a 90 giorni

g<sub>ss</sub> = grammi su peso secco

**Tabella C10. Risultati delle analisi microbiologiche relative all'impianto 10**

Parametro	Metodi	C <sub>1</sub> t <sub>0</sub>	C <sub>2</sub> t <sub>20</sub>	C <sub>3</sub> t <sub>40</sub>	C <sub>4</sub> t <sub>60</sub>
Coliformi totali	MPN/g <sub>ss</sub>	8,5x10 <sup>4</sup>	6,4x10 <sup>3</sup>	2,6x10 <sup>3</sup>	4,6x10 <sup>2</sup>
	MF UFC/g <sub>ss</sub>	7x10 <sup>4</sup>	1,5x10 <sup>3</sup>	2,5x10 <sup>3</sup>	2x10 <sup>2</sup>
Coliformi fecali	MPN/g <sub>ss</sub>	4x10 <sup>4</sup>	<4,5x10 <sup>2</sup>	9x10 <sup>2</sup>	1,2x10 <sup>2</sup>
	MF UFC/g <sub>ss</sub>	5x10 <sup>4</sup>	1,5x10 <sup>3</sup>	5x10 <sup>2</sup>	1x10 <sup>2</sup>
Streptococchi fecali	MPN/g <sub>ss</sub>	6x10 <sup>5</sup>	1,8x10 <sup>4</sup>	2,6x10 <sup>4</sup>	1,7x10 <sup>2</sup>
	MF UFC/g <sub>ss</sub>	7x10 <sup>5</sup>	1,2x10 <sup>3</sup>	1x10 <sup>3</sup>	1x10 <sup>2</sup>
<i>Escherichia coli</i>	MPN/g <sub>ss</sub>	5x10 <sup>3</sup>	4,5x10 <sup>2</sup>	3,4x10 <sup>2</sup>	1,2x10 <sup>2</sup>
	MF UFC/g <sub>ss</sub>	3x10 <sup>4</sup>	1,2x10 <sup>3</sup>	2,5x10 <sup>2</sup>	1x10 <sup>2</sup>
Clostridi solfitoriduttori					
Forme vegetative	Metodo 1 UFC/g <sub>ss</sub>	8x10 <sup>5</sup>	2x10 <sup>5</sup>	<1,8x10 <sup>2</sup>	1,7x10 <sup>2</sup>
	Metodo 2 UFC/g <sub>ss</sub>	1x10 <sup>4</sup>	1x10 <sup>3</sup>	1,8x10 <sup>2</sup>	<1,7x10 <sup>2</sup>
Spore	Metodo 1 UFC/g <sub>ss</sub>	6x10 <sup>5</sup>	1,1x10 <sup>5</sup>	<1,8x10 <sup>2</sup>	1,7x10 <sup>2</sup>
	Metodo 2 UFC/g <sub>ss</sub>	5x10 <sup>4</sup>	1x10 <sup>3</sup>	<1,8x10 <sup>2</sup>	<1,7x10 <sup>2</sup>
<i>Salmonella</i> spp.	MPN/g <sub>ss</sub>	2x10 <sup>2</sup>	22	<10	<10
Batteriofagi anti- <i>E.coli</i>	UFP/g <sub>ss</sub>	30	<15	<1	<1
Protozoi patogeni					
<i>Giardia</i>	Metodo 1	assente	assente	assente	assente
	Metodo 2	assente	assente	assente	assente
<i>Cryptosporidium</i>	Metodo 1	assente	assente	assente	assente
	Metodo 2	assente	assente	assente	assente
Uova di elminti	Metodo 1	presente	presente	assente	assente
	Metodo 2	presente	presente	assente	assente

C<sub>1</sub> = Miscela di materie prime

C<sub>2</sub> = Prodotto intermedio

C<sub>3</sub> = Compost maturo

C<sub>4</sub> = Compost maturo

t<sub>0</sub> = tempo a 0 giorni

t<sub>20</sub> = tempo di maturazione a 20 giorni

t<sub>40</sub> = tempo di maturazione a 40 giorni

t<sub>60</sub> = tempo di maturazione a 60 giorni

g<sub>ss</sub> = grammi su peso secco



**Tabella C11. Risultati delle analisi microbiologiche relative all'impianto 11**

Parametro	Metodi	C <sub>1</sub> t <sub>0</sub>	C <sub>2</sub> t <sub>15</sub>	C <sub>3</sub> t <sub>30</sub>
Coliformi totali	MPN/g <sub>ss</sub> MF UFC/g <sub>ss</sub>	>1,9x10 <sup>5</sup> >5,2x10 <sup>4</sup>	>2x10 <sup>5</sup> 8,5x10 <sup>4</sup>	>1,4x10 <sup>3</sup> 1x10 <sup>3</sup>
Coliformi fecali	MPN/g <sub>ss</sub> MF UFC/g <sub>ss</sub>	8x10 <sup>3</sup> >5,2x10 <sup>3</sup>	1x10 <sup>3</sup> 3,5x10 <sup>3</sup>	>1,4x10 <sup>2</sup> 4x10 <sup>2</sup>
Streptococchi fecali	MPN/g <sub>ss</sub> MF UFC/g <sub>ss</sub>	>1,9x10 <sup>5</sup> 2x10 <sup>5</sup>	>2x10 <sup>4</sup> 4x10 <sup>4</sup>	>1,4x10 <sup>2</sup> 3,5x10 <sup>2</sup>
<i>Escherichia coli</i>	MPN/g <sub>ss</sub> MF UFC/g <sub>ss</sub>	62 15	40 10	27 7
Clostridi solfitoriduttori				
Forme vegetative	Metodo 1    UFC/g <sub>ss</sub> Metodo 2    UFC/g <sub>ss</sub>	1,2x10 <sup>5</sup> 2,7x10 <sup>5</sup>	2x10 <sup>4</sup> 2,7x10 <sup>3</sup>	1,3x10 <sup>4</sup> 2,1x10 <sup>2</sup>
Spore	Metodo 1    UFC/g <sub>ss</sub> Metodo 2    UFC/g <sub>ss</sub>	4x10 <sup>4</sup> 1x10 <sup>4</sup>	9x10 <sup>2</sup> 9,5x10 <sup>3</sup>	5,1x10 <sup>2</sup> 9,5x10 <sup>2</sup>
<i>Salmonella</i> spp.	MPN/g <sub>ss</sub>	4x10 <sup>2</sup>	3x10 <sup>2</sup>	1,6x10 <sup>2</sup>
Batteriofagi anti- <i>E.coli</i>	UFP/g <sub>ss</sub>	8,6x10 <sup>4</sup>	3x10 <sup>4</sup>	1,3x10 <sup>3</sup>
Protozoi patogeni				
<i>Giardia</i>	Metodo 1 Metodo 2	assente assente	assente assente	assente assente
<i>Cryptosporidium</i>	Metodo 1 Metodo 2	assente assente	assente assente	assente assente
Uova di elminti	Metodo 1 Metodo 2	presente presente	assente assente	assente assente

C<sub>1</sub> = Miscela di materie prime

C<sub>2</sub> = Prodotto intermedio

C<sub>3</sub> = Compost maturo

t<sub>0</sub> = tempo a 0 giorni

t<sub>15</sub> = tempo di maturazione a 15 giorni

t<sub>30</sub> = tempo di maturazione a 30 giorni

g<sub>ss</sub> = grammi su peso secco

**Tabella C12. RiSultati delle analisi microbiologiche relative all'impianto 12**

Parametro	Metodi	C <sub>1</sub> t <sub>0</sub>	C <sub>3</sub> t <sub>45</sub>	C <sub>3</sub> t <sub>90</sub>
Coliformi totali	MPN/g <sub>ss</sub>	>1,9x10 <sup>5</sup>	>1,5x10 <sup>3</sup>	1,4x10 <sup>3</sup>
	MF UFC/g <sub>ss</sub>	>5,2x10 <sup>4</sup>	1,5x10 <sup>3</sup>	1,5x10 <sup>3</sup>
Coliformi fecali	MPN/g <sub>ss</sub>	8x10 <sup>3</sup>	1x10 <sup>2</sup>	>1,4x10 <sup>2</sup>
	MF UFC/g <sub>ss</sub>	>5,2x10 <sup>3</sup>	1x10 <sup>2</sup>	1x10 <sup>2</sup>
Streptococchi fecali	MPN/g <sub>ss</sub>	>1,9x10 <sup>5</sup>	>1,5x10 <sup>2</sup>	>1,4x10 <sup>2</sup>
	MF UFC/g <sub>ss</sub>	2x10 <sup>5</sup>	5x10 <sup>2</sup>	2x10 <sup>2</sup>
<i>Escherichia coli</i>	MPN/g <sub>ss</sub>	62	<1	17
	MF UFC/g <sub>ss</sub>	15	2	5
Clostridi solfitoriduttori				
	Forme vegetative	Metodo 1 UFC/g <sub>ss</sub> Metodo 2 UFC/g <sub>ss</sub>	1,2x10 <sup>5</sup> 2,7x10 <sup>5</sup>	2x10 <sup>3</sup> 2,1x10 <sup>3</sup>
Spore	Metodo 1 UFC/g <sub>ss</sub> Metodo 2 UFC/g <sub>ss</sub>	4x10 <sup>4</sup> 1x10 <sup>4</sup>	8,1x10 <sup>2</sup> 3,8x10 <sup>2</sup>	4x10 <sup>2</sup> 3x10 <sup>2</sup>
	<i>Salmonella</i> spp.	MPN/g <sub>ss</sub>	4x10 <sup>2</sup>	30
Batteriofagi anti- <i>E.coli</i>	UFP/g <sub>ss</sub>	8,6x10 <sup>4</sup>	1,4x10 <sup>3</sup>	1,3x10 <sup>2</sup>
Protozoi patogeni				
<i>Giardia</i>	Metodo 1 Metodo 2	assente assente	assente assente	assente assente
	<i>Cryptosporidium</i>	Metodo 1 Metodo 2	assente assente	assente assente
Uova di elminti		Metodo 1 Metodo 2	presente presente	presente presente

C<sub>1</sub> = Miscela di materie prime

C<sub>2</sub> = Prodotto intermedio

C<sub>3</sub> = Compost maturo

t<sub>0</sub> = tempo a 0 giorni

t<sub>45</sub> = tempo di maturazione a 45 giorni

t<sub>90</sub> = tempo di maturazione a 90 giorni

g<sub>ss</sub> = grammi su peso secco

**Tabella C13. Risultati delle analisi microbiologiche relative all'impianto 13**

Parametro	Metodi		C <sub>1</sub> t <sub>30</sub>	C <sub>2</sub> t <sub>90</sub>	C <sub>3</sub> t <sub>150</sub>
Coliformi totali	MPN/g <sub>ss</sub> MF UFC/g <sub>ss</sub>		>2,3x10 <sup>5</sup> nc	>2,2x10 <sup>5</sup> nc	>2,1x10 <sup>4</sup> nc
Coliformi fecali	MPN/g <sub>ss</sub> MF UFC/g <sub>ss</sub>		>2,3x10 <sup>5</sup> nc	>2,2x10 <sup>5</sup> nc	>2,1x10 <sup>4</sup> nc
Streptococchi fecali	MPN/g <sub>ss</sub> MF UFC/g <sub>ss</sub>		>2,3x10 <sup>4</sup> nc	2,2x10 <sup>4</sup> nc	>2,1x10 <sup>4</sup> nc
<i>Escherichia coli</i>	MPN/g <sub>ss</sub> MF UFC/g <sub>ss</sub>		>2,3x10 <sup>4</sup> nc	9,3x10 <sup>4</sup> nc	>2,1x10 <sup>4</sup> nc
Clostridi solfitoriduttori					
Forme vegetative	Metodo 1 Metodo 2	UFC/g <sub>ss</sub> UFC/g <sub>ss</sub>	1,7x10 <sup>4</sup> nc	1,2x10 <sup>3</sup> nc	1,9x10 <sup>2</sup> nc
Spore	Metodo 1 Metodo 2	UFC/g <sub>ss</sub> UFC/g <sub>ss</sub>	1,2x10 <sup>3</sup> 8,4x10 <sup>4</sup>	1x10 <sup>3</sup> <2x10 <sup>2</sup>	1,9x10 <sup>2</sup> <1,9x10 <sup>2</sup>
<i>Salmonella</i> spp.	MPN/g <sub>ss</sub>		2,3x10 <sup>4</sup>	60	6
Batteriofagi anti- <i>E.coli</i>	UFP/g <sub>ss</sub>		<2x10 <sup>2</sup>	<20	<1
Protozoi patogeni					
<i>Giardia</i>	Metodo 1 Metodo 2		assente assente	assente assente	assente assente
<i>Cryptosporidium</i>	Metodo 1 Metodo 2		assente assente	assente assente	assente assente
Uova di elminti	Metodo 1 Metodo 2		assente presente	assente assente	assente assente

C<sub>1</sub> = Miscela di materie prime

C<sub>2</sub> = Prodotto intermedio

C<sub>3</sub> = Compost maturo

t<sub>30</sub> = tempo a 30 giorni

t<sub>90</sub> = tempo di maturazione a 90 giorni

t<sub>150</sub> = tempo di maturazione a 150 giorni

g<sub>ss</sub> = grammi su peso secco

nc = non contabile

**Tabella C14. Risultati delle analisi microbiologiche relative all'impianto 14**

Parametro	Metodi	C <sub>1</sub> t <sub>0</sub>	C <sub>2</sub> t <sub>30</sub>	C <sub>3</sub> t <sub>90</sub>	
Coliformi totali	MPN/g <sub>ss</sub>	5,6x10 <sup>5</sup>	>2x10 <sup>3</sup>	>2x10 <sup>3</sup>	
	MF UFC/g <sub>ss</sub>	1x10 <sup>5</sup>	5x10 <sup>3</sup>	2x10 <sup>2</sup>	
Coliformi fecali	MPN/g <sub>ss</sub>	>2,3x10 <sup>5</sup>	17	>2x10 <sup>3</sup>	
	MF UFC/g <sub>ss</sub>	3x10 <sup>4</sup>	<5	<5	
Streptococchi fecali	MPN/g <sub>ss</sub>	4,8x10 <sup>4</sup>	3,7x10 <sup>2</sup>	4x10 <sup>2</sup>	
	MF UFC/g <sub>ss</sub>	2x10 <sup>4</sup>	3x10 <sup>2</sup>	8,3x10 <sup>1</sup>	
<i>Escherichia coli</i>	MPN/g <sub>ss</sub>	4,8x10 <sup>4</sup>	17	<5	
	MF UFC/g <sub>ss</sub>	1,5x10 <sup>4</sup>	<5	<5	
Clostridi solfitoriduttori					
Forme vegetative	Metodo 1	UFC/g <sub>ss</sub>	5x10 <sup>4</sup>	3x10 <sup>4</sup>	7x10 <sup>1</sup>
	Metodo 2	UFC/g <sub>ss</sub>	4x10 <sup>2</sup>	1x10 <sup>2</sup>	45
Spore	Metodo 1	UFC/g <sub>ss</sub>	6x10 <sup>3</sup>	4,2x10 <sup>3</sup>	2x10 <sup>2</sup>
	Metodo 2	UFC/g <sub>ss</sub>	4x10 <sup>2</sup>	1,5x10 <sup>2</sup>	8,2x10 <sup>1</sup>
<i>Salmonella</i> spp.	MPN/g <sub>ss</sub>	2,5x10 <sup>2</sup>	<5,2	<5	
Batteriofagi anti- <i>E.coli</i>	UFP/g <sub>ss</sub>	<2	<2	<2	
Protozoi patogeni					
<i>Giardia</i>	Metodo 1	assente	assente	assente	
	Metodo 2	assente	assente	assente	
<i>Cryptosporidium</i>	Metodo 1	assente	assente	assente	
	Metodo 2	assente	assente	assente	
Uova di elminti	Metodo 1	assente	assente	assente	
	Metodo 2	assente	assente	assente	

C<sub>1</sub> = Miscela di materie prime

C<sub>2</sub> = Prodotto intermedio

C<sub>3</sub> = Compost maturo

t<sub>0</sub> = tempo a 0 giorni

t<sub>30</sub> = tempo di maturazione a 30 giorni

t<sub>90</sub> = tempo di maturazione a 90 giorni

g<sub>ss</sub> = grammi su peso secco

**Tabella C15. Risultati delle analisi microbiologiche relative all'impianto 15**

Parametro	Metodi	C <sub>1</sub> t <sub>0</sub>	C <sub>2</sub> t <sub>30</sub>	C <sub>3</sub> t <sub>90</sub>
Coliformi totali	MPN/g <sub>ss</sub> MF UFC/g <sub>ss</sub>	>2,3x10 <sup>5</sup> 3x10 <sup>4</sup>	>2,2x10 <sup>5</sup> 1x10 <sup>5</sup>	>2,1x10 <sup>4</sup> 1x10 <sup>3</sup>
Coliformi fecali	MPN/g <sub>ss</sub> MF UFC/g <sub>ss</sub>	>2,3x10 <sup>5</sup> 3x10 <sup>4</sup>	>2,2x10 <sup>5</sup> 2x10 <sup>5</sup>	>2,1x10 <sup>4</sup> 2x10 <sup>4</sup>
Streptococchi fecali	MPN/g <sub>ss</sub> MF UFC/g <sub>ss</sub>	>2,3x10 <sup>4</sup> nc	2,2x10 <sup>4</sup> 1,8x10 <sup>4</sup>	>2,1x10 <sup>4</sup> 3x10 <sup>4</sup>
<i>Escherichia coli</i>	MPN/g <sub>ss</sub> MF UFC/g <sub>ss</sub>	>2,3x10 <sup>4</sup> nc	9,3x10 <sup>4</sup> 3x10 <sup>4</sup>	>2,1x10 <sup>4</sup> 1x10 <sup>4</sup>
Clostridi solfitoriduttori				
Forme vegetative	Metodo 1    UFC/g <sub>ss</sub> Metodo 2    UFC/g <sub>ss</sub>	1,5x10 <sup>5</sup> 7x10 <sup>4</sup>	3,1x10 <sup>4</sup> 1x10 <sup>4</sup>	4,5x10 <sup>3</sup> 2x10 <sup>2</sup>
Spore	Metodo 1    UFC/g <sub>ss</sub> Metodo 2    UFC/g <sub>ss</sub>	1,7x10 <sup>4</sup> nc	1,2x10 <sup>3</sup> nc	1,9x10 <sup>2</sup> nc
<i>Salmonella</i> spp.	MPN/g <sub>ss</sub>	<2x10 <sup>2</sup>	<20	<1
Batteriofagi anti- <i>E.coli</i>	UFP/g <sub>ss</sub>	2x10 <sup>2</sup>	1x10 <sup>1</sup>	<3
Protozoi patogeni				
<i>Giardia</i>	Metodo 1 Metodo 2	assente assente	assente assente	assente assente
<i>Cryptosporidium</i>	Metodo 1 Metodo 2	assente assente	assente assente	assente assente
Uova di elminti	Metodo 1 Metodo 2	assente assente	assente assente	assente assente

C<sub>1</sub> = Miscela di materie prime  
 C<sub>2</sub> = Prodotto intermedio  
 C<sub>3</sub> = Compost maturo  
 t<sub>0</sub> = tempo a 0 giorni  
 t<sub>30</sub> = tempo di maturazione a 30 giorni  
 t<sub>90</sub> = tempo di maturazione a 90 giorni  
 g<sub>ss</sub> = grammi su peso secco  
 nc = non contabile

**Tabella C16. Risultati delle analisi microbiologiche relative all'impianto 16**

Parametro	Metodi	C <sub>1</sub> t <sub>0</sub>	C <sub>2</sub> t <sub>30</sub>	C <sub>3</sub> t <sub>90</sub>
Coliformi totali	MPN/g <sub>ss</sub> MF UFC/g <sub>ss</sub>	9,5x10 <sup>7</sup> 7x10 <sup>7</sup>	>1,5x10 <sup>5</sup> 3x10 <sup>5</sup>	3x10 <sup>1</sup> 2x10 <sup>1</sup>
Coliformi fecali	MPN/g <sub>ss</sub> MF UFC/g <sub>ss</sub>	>4x10 <sup>6</sup> 9x10 <sup>6</sup>	>1,5x10 <sup>4</sup> 4x10 <sup>4</sup>	1,8x10 <sup>1</sup> 2x10 <sup>1</sup>
Streptococchi fecali	MPN/g <sub>ss</sub> MF UFC/g <sub>ss</sub>	>4x10 <sup>7</sup> 1x10 <sup>8</sup>	1,5x10 <sup>4</sup> 7,5x10 <sup>6</sup>	5 <2
<i>Escherichia coli</i>	MPN/g <sub>ss</sub> MF UFC/g <sub>ss</sub>	1,4x10 <sup>5</sup> 4x10 <sup>6</sup>	7x10 <sup>3</sup> 5x10 <sup>3</sup>	<0,4 <2
Clostridi solfitoriduttori				
Forme vegetative	Metodo 1    UFC/g <sub>ss</sub> Metodo 2    UFC/g <sub>ss</sub>	2,3x10 <sup>5</sup> 3,2x10 <sup>5</sup>	4x10 <sup>3</sup> 1x10 <sup>3</sup>	1,3x10 <sup>2</sup> 1x10 <sup>2</sup>
Spore	Metodo 1    UFC/g <sub>ss</sub> Metodo 2    UFC/g <sub>ss</sub>	1,7x10 <sup>4</sup> 3,5x10 <sup>4</sup>	2,1x10 <sup>3</sup> 1,5x10 <sup>3</sup>	1,8x10 <sup>2</sup> 2x10 <sup>2</sup>
<i>Salmonella</i> spp.	MPN/g <sub>ss</sub>	1,8x10 <sup>3</sup>	<0,5	<0,4
Batteriofagi anti- <i>E.coli</i>	UFP/g <sub>ss</sub>	3x10 <sup>4</sup>	2x10 <sup>2</sup>	17
Protozoi patogeni				
<i>Giardia</i>	Metodo 1 Metodo 2	presente presente	assente assente	assente assente
<i>Cryptosporidium</i>	Metodo 1 Metodo 2	assente assente	assente assente	assente assente
Uova di elminti	Metodo 1 Metodo 2	presente presente	assente assente	assente assente

C<sub>1</sub> = Miscela di materie prime  
 C<sub>2</sub> = Prodotto intermedio  
 C<sub>3</sub> = Compost maturo  
 t<sub>0</sub> = tempo a 0 giorni  
 t<sub>30</sub> = tempo di maturazione a 30 giorni  
 t<sub>90</sub> = tempo di maturazione a 90 giorni  
 g<sub>ss</sub> = grammi su peso secco

**Tabella C17. Risultati delle analisi microbiologiche relative all'impianto 17**

Parametro	Metodi		C <sub>1</sub> t <sub>0</sub>	C <sub>2</sub> t <sub>30</sub>	C <sub>3</sub> t <sub>90</sub>
Coliformi totali	MPN/g <sub>ss</sub>		3,6x10 <sup>5</sup>	3x10 <sup>5</sup>	13
	MF UFC/g <sub>ss</sub>		8,4x10 <sup>4</sup>	2,5x10 <sup>3</sup>	18
Coliformi fecali	MPN/g <sub>ss</sub>		2,3x10 <sup>5</sup>	3x10 <sup>4</sup>	13
	MF UFC/g <sub>ss</sub>		3x10 <sup>5</sup>	2x10 <sup>3</sup>	<5
Streptococchi fecali	MPN/g <sub>ss</sub>		6,9x10 <sup>5</sup>	3x10 <sup>4</sup>	5
	MF UFC/g <sub>ss</sub>		6x10 <sup>5</sup>	1,8x10 <sup>4</sup>	<2
<i>Escherichia coli</i>	MPN/g <sub>ss</sub>		3,5x10 <sup>4</sup>	3x10 <sup>4</sup>	<0,4
	MF UFC/g <sub>ss</sub>		2,4x10 <sup>5</sup>	3x10 <sup>3</sup>	<2
Clostridi solfitoriduttori					
Forme vegetative	Metodo 1	UFC/g <sub>ss</sub>	2x10 <sup>5</sup>	7x10 <sup>4</sup>	3x10 <sup>3</sup>
	Metodo 2	UFC/g <sub>ss</sub>	1,1x10 <sup>5</sup>	2,5x10 <sup>3</sup>	8x10 <sup>2</sup>
Spore	Metodo 1	UFC/g <sub>ss</sub>	1,4x10 <sup>4</sup>	5x10 <sup>3</sup>	1,7x10 <sup>2</sup>
	Metodo 2	UFC/g <sub>ss</sub>	<1,5x10 <sup>4</sup>	1,4x10 <sup>3</sup>	2x10 <sup>2</sup>
<i>Salmonella</i> spp.	MPN/g <sub>ss</sub>		44	6	<0,4
Batteriofagi anti- <i>E.coli</i>	UFP/g <sub>ss</sub>		1x10 <sup>2</sup>	<2	<1
Protozoi patogeni					
<i>Giardia</i>	Metodo 1		presente	assente	assente
	Metodo 2		presente	assente	assente
<i>Cryptosporidium</i>	Metodo 1		assente	assente	assente
	Metodo 2		assente	assente	assente
Uova di elminti	Metodo 1		presente	assente	assente
	Metodo 2		presente	assente	assente

C<sub>1</sub> = Miscela di materie prime

C<sub>2</sub> = Prodotto intermedio

C<sub>3</sub> = Compost maturo

t<sub>0</sub> = tempo a 0 giorni

t<sub>30</sub> = tempo di maturazione a 30 giorni

t<sub>90</sub> = tempo di maturazione a 90 giorni

g<sub>ss</sub> = grammi su peso secco

**Tabella C18. Risultati delle analisi microbiologiche relative all'impianto 18**

Parametro	Metodi	C <sub>1</sub> t <sub>0</sub>	C <sub>2</sub> t <sub>30</sub>	C <sub>3</sub> t <sub>90</sub>	
Coliformi totali	MPN/g <sub>ss</sub>	9x10 <sup>3</sup>	4,8x10 <sup>2</sup>	<4,2	
	MF UFC/g <sub>ss</sub>	2,7x10 <sup>4</sup>	1,5x10 <sup>2</sup>	<1,5	
Coliformi fecali	MPN/g <sub>ss</sub>	8x10 <sup>2</sup>	1x10 <sup>2</sup>	<1,4	
	MF UFC/g <sub>ss</sub>	2,7x10 <sup>2</sup>	1x10 <sup>2</sup>	<1,2	
Streptococchi fecali	MPN/g <sub>ss</sub>	>3x10 <sup>5</sup>	1,5x10 <sup>2</sup>	<1,5	
	MF UFC/g <sub>ss</sub>	1,4x10 <sup>5</sup>	5x10 <sup>2</sup>	<2	
<i>Escherichia coli</i>	MPN/g <sub>ss</sub>	6x10 <sup>2</sup>	1x10 <sup>2</sup>	<1,4	
	MF UFC/g <sub>ss</sub>	1x10 <sup>2</sup>	1x10 <sup>2</sup>	<1	
Clostridi solfitoriduttori					
Forme vegetative	Metodo 1	UFC/g <sub>ss</sub>	5x10 <sup>5</sup>	6x10 <sup>3</sup>	9x10 <sup>2</sup>
	Metodo 2	UFC/g <sub>ss</sub>	1x10 <sup>5</sup>	1,9x10 <sup>3</sup>	6,8x10 <sup>1</sup>
Spore	Metodo 1	UFC/g <sub>ss</sub>	7x10 <sup>4</sup>	8,1x10 <sup>2</sup>	1x10 <sup>2</sup>
	Metodo 2	UFC/g <sub>ss</sub>	1x10 <sup>4</sup>	3,8x10 <sup>2</sup>	3x10 <sup>1</sup>
<i>Salmonella</i> spp.	MPN/g <sub>ss</sub>	8	<1	<1	
Batteriofagi anti- <i>E.coli</i>	UFP/g <sub>ss</sub>	2,6x10 <sup>1</sup>	<8	<2,8	
Protozoi patogeni					
<i>Giardia</i>	Metodo 1	assente	assente	assente	
	Metodo 2	assente	assente	assente	
<i>Cryptosporidium</i>	Metodo 1	assente	assente	assente	
	Metodo 2	assente	assente	assente	
Uova di elminti	Metodo 1	assente	assente	assente	
	Metodo 2	assente	assente	assente	

C<sub>1</sub> = Miscela di materie prime

C<sub>2</sub> = Prodotto intermedio

C<sub>3</sub> = Compost maturo

t<sub>0</sub> = tempo a 0 giorni

t<sub>30</sub> = tempo di maturazione a 30 giorni

t<sub>90</sub> = tempo di maturazione a 90 giorni

g<sub>ss</sub> = grammi su peso secco



**Tabella C19. Risultati delle analisi microbiologiche relative all'impianto 19**

Parametro	Metodi		C <sub>1</sub> t <sub>0</sub>	C <sub>2</sub> t <sub>15</sub>	C <sub>3</sub> t <sub>30</sub>
Coliformi totali	MPN/g <sub>ss</sub> MF UFC/g <sub>ss</sub>		>3,3x10 <sup>4</sup> 9x10 <sup>3</sup>	>2,8x10 <sup>3</sup> 8,5x10 <sup>3</sup>	>1,4x10 <sup>3</sup> 1x10 <sup>3</sup>
Coliformi fecali	MPN/g <sub>ss</sub> MF UFC/g <sub>ss</sub>		8x10 <sup>2</sup> 2x10 <sup>3</sup>	3x10 <sup>2</sup> 1x10 <sup>3</sup>	4,7x10 <sup>1</sup> 4x10 <sup>1</sup>
Streptococchi fecali	MPN/g <sub>ss</sub> MF UFC/g <sub>ss</sub>		4x10 <sup>4</sup> 2x10 <sup>4</sup>	>2,8x10 <sup>3</sup> 4x10 <sup>2</sup>	>1,4x10 <sup>3</sup> 3,5x10 <sup>2</sup>
<i>Escherichia coli</i>	MPN/g <sub>ss</sub> MF UFC/g <sub>ss</sub>		5x10 <sup>2</sup> 2x10 <sup>2</sup>	2x10 <sup>2</sup> 8x10 <sup>1</sup>	2x10 <sup>1</sup> 1x10 <sup>1</sup>
Clostridi solfitoriduttori					
Forme vegetative	Metodo 1 Metodo 2	UFC/g <sub>ss</sub> UFC/g <sub>ss</sub>	4,4x10 <sup>5</sup> 1x10 <sup>5</sup>	9,8x10 <sup>4</sup> 6x10 <sup>4</sup>	9,2x10 <sup>3</sup> 8,3x10 <sup>2</sup>
Spore	Metodo 1 Metodo 2	UFC/g <sub>ss</sub> UFC/g <sub>ss</sub>	3,3x10 <sup>4</sup> 2,7x10 <sup>4</sup>	5x10 <sup>4</sup> 2,7x10 <sup>3</sup>	1,7x10 <sup>4</sup> 2,1x10 <sup>2</sup>
<i>Salmonella</i> spp.	MPN/g <sub>ss</sub>		1,6x10 <sup>2</sup>	5x10 <sup>1</sup>	<1,3
Batteriofagi anti- <i>E.coli</i>	UFP/g <sub>ss</sub>		4,1x10 <sup>3</sup>	<1	<1
Protozoi patogeni					
<i>Giardia</i>	Metodo 1 Metodo 2		presente presente	presente presente	assente assente
<i>Cryptosporidium</i>	Metodo 1 Metodo 2		assente assente	assente assente	assente assente
Uova di elminti	Metodo 1 Metodo 2		assente assente	assente assente	assente assente

C<sub>1</sub> = Miscela di materie prime

C<sub>2</sub> = Prodotto intermedio

C<sub>3</sub> = Compost maturo

t<sub>0</sub> = tempo a 0 giorni

t<sub>15</sub> = tempo di maturazione a 15 giorni

t<sub>30</sub> = tempo di maturazione a 30 giorni

g<sub>ss</sub> = grammi su peso secco

**Tabella C20. Risultati delle analisi microbiologiche relative all'impianto 20**

Parametro	Metodi	C <sub>1</sub> t <sub>0</sub>	C <sub>2</sub> t <sub>90</sub>	C <sub>3</sub> t <sub>120</sub>	
Coliformi totali	MPN/g <sub>ss</sub>	7,3x10 <sup>3</sup>	5,2x10 <sup>2</sup>	11	
	MF UFC/g <sub>ss</sub>	3,6x10 <sup>3</sup>	7x10 <sup>2</sup>	<2	
Coliformi fecali	MPN/g <sub>ss</sub>	1,7x10 <sup>4</sup>	1,6x10 <sup>3</sup>	2x10 <sup>1</sup>	
	MF UFC/g <sub>ss</sub>	3x10 <sup>3</sup>	25	<8	
Streptococchi fecali	MPN/g <sub>ss</sub>	6,4x10 <sup>5</sup>	3,1x10 <sup>3</sup>	2,7x10 <sup>1</sup>	
	MF UFC/g <sub>ss</sub>	3,5x10 <sup>4</sup>	2,5x10 <sup>3</sup>	1,5x10 <sup>1</sup>	
<i>Escherichia coli</i>	MPN/g <sub>ss</sub>	1,7x10 <sup>4</sup>	1,6x10 <sup>3</sup>	2x10 <sup>2</sup>	
	MF UFC/g <sub>ss</sub>	2x10 <sup>4</sup>	1x10 <sup>3</sup>	5x10 <sup>2</sup>	
Clostridi solfitoriduttori					
Forme vegetative	Metodo 1	UFC/g <sub>ss</sub>	5x10 <sup>5</sup>	2,3x10 <sup>3</sup>	2,6x10 <sup>2</sup>
	Metodo 2	UFC/g <sub>ss</sub>	3,1x10 <sup>4</sup>	1x10 <sup>3</sup>	1,2x10 <sup>2</sup>
Spore	Metodo 1	UFC/g <sub>ss</sub>	4,2x10 <sup>4</sup>	1,8x10 <sup>2</sup>	<1,8x10 <sup>2</sup>
	Metodo 2	UFC/g <sub>ss</sub>	1,6x10 <sup>3</sup>	1,4x10 <sup>2</sup>	<1,1x10 <sup>2</sup>
<i>Salmonella</i> spp.	MPN/g <sub>ss</sub>	2x10 <sup>3</sup>	1,6x10 <sup>2</sup>	2x10 <sup>1</sup>	
Batteriofagi anti- <i>E.coli</i>	UFP/g <sub>ss</sub>	<1,8x10 <sup>1</sup>	<1,5x10 <sup>1</sup>	<1,5x10 <sup>1</sup>	
Protozoi patogeni					
<i>Giardia</i>	Metodo 1	assente	assente	assente	
	Metodo 2	assente	assente	assente	
<i>Cryptosporidium</i>	Metodo 1	assente	assente	assente	
	Metodo 2	assente	assente	assente	
Uova di elminti	Metodo 1	presente	assente	assente	
	Metodo 2	assente	assente	assente	

C<sub>1</sub> = Miscela di materie prime

C<sub>2</sub> = Prodotto intermedio

C<sub>3</sub> = Compost maturo

t<sub>0</sub> = tempo a 0 giorni

t<sub>90</sub> = tempo di maturazione a 90 giorni

t<sub>120</sub> = tempo di maturazione a 120 giorni

g<sub>ss</sub> = grammi su peso secco

*Presidente dell'Istituto Superiore di Sanità  
e Direttore responsabile: Enrico Garaci*

*Coordinamento redazionale:  
Paola De Castro e Sandra Salinetti*

*Stampato dal Servizio per le attività editoriali  
dell'Istituto Superiore di Sanità, Viale Regina Elena, 299 - 00161 ROMA*

*La riproduzione parziale o totale dei Rapporti e Congressi ISTISAN  
deve essere preventivamente autorizzata.*

*Reg. Stampa - Tribunale di Roma n. 131/88 del 1° marzo 1988*

*Roma, marzo 2002 (n. 1) 2° Suppl.*

*La responsabilità dei dati scientifici e tecnici  
pubblicati nei Rapporti e Congressi ISTISAN è dei singoli autori*