

Alma Mater Studiorum · Università di Bologna

FACOLTA' DI CHIMICA INDUSTRIALE
Sede di RIMINI

Master Universitario di Primo Livello in
Tecnologie e controllo ambientale nel ciclo dei rifiuti

Direttore: Prof. Luciano Morselli

Compostaggio. Aspetti tecnologici, agronomici ed ambientali
(Prof. Claudio Ciavatta)

ANALISI DI PROCESSO DELL'IMPIANTO DI COMPOSTAGGIO HERA S.p.A. Ca' Baldacci (RN)

Tesi di:

Dott. Massimiliano Dall'Ara

Tutor Aziendale:

Dott. ssa Giovanna Sacchini
(HERA S.p.A.)

Anno Accademico 2003-2004

INDICE

1. SCOPO DELLO STUDIO	9
2. INTRODUZIONE	11
3. BIOMASSE COME RISORSA	16
3.1 BIOMASSE: DA RIFIUTO A RISORSA	17
3.2 IL RUOLO DELLA SOSTANZA ORGANICA NEI SUOLI	20
3.2.1 Caratterizzazione dei principali costituenti organici del suolo	20
3.2.2 La sostanza organica del suolo	22
3.2.2.1 <i>Biosintesi della sostanza organica del suolo</i>	24
3.2.2.2 <i>Influenza della sostanza organica sulle proprietà chimico-fisiche del suolo</i>	27
3.2.3 Processo e parametri di umificazione	28
3.2.4 Sostanze umiche e fertilità dei terreni	30
3.2.5 Significato e conseguenze di una progressiva diminuzione di sostanza organica nei suoli	31
3.2.5.1 <i>Salinizzazione</i>	32
3.2.5.2 <i>Erosione</i>	32
3.2.5.3 <i>Diminuzione del contenuto di sostanza organica</i>	32
3.2.5.4 <i>Pratiche per la conservazione ed il miglioramento della dotazione di sostanza organica</i>	33
4. RECUPERO DI SOSTANZA ORGANICA DA BIOMASSE DI RIFIUTO	35
4.1 LA RACCOLTA DIFFERENZIATA COME STRUMENTO DI RECUPERO DI MATRICI ORGANICHE DESTINATE AL COMPOSTAGGIO	36
4.1.1 Sistemi italiani di raccolta differenziata	38
4.1.1.1 <i>Raccolta del verde e compostaggio domestico</i>	40
4.1.1.2 <i>Raccolto dello “scarto umido”</i>	41
4.1.1.3 <i>Raccolta domiciliare o accentramento dei punti di prelievo</i>	42
4.2 IMPIANTI DI COMPOSTAGGIO E SCARTI ORGANICI TRATTATI	43
4.2.1 Evoluzione e trend del settore compostaggio	43
4.3.1 Ricerca per la valorizzazione del compost	45
APPENDICE – Dati Rapporto Rifiuti, Trattamenti biologici (APAT-ONR, 2003)	46

5. TRATTAMENTI BIOLOGICI DELLE FRZIONI ORGANICHE DA RIFIUTO	48
5.1 BIOCONVERSIONE AEROBICA DELLA SOSTANZA ORGANICA	51
5.2 DIGESTIONE ANAEROBICA DI RIFIUTI ORGANICI	53
5.2.1 Condizioni generali di processo	53
5.2.2 Tecniche di digestione anaerobica	54
5.2.3 Trattamenti anaerobici di biomasse da rifiuto	55
5.2.4 La situazione impiantistica attuale	56
5.2.5 Valorizzazione energetica del biogas	56
5.3 SISTEMA INTEGRATO ANAEROBICO/AEROBICO	57
6. IL PROCESSO DI COMPOSTAGGIO	60
6.1 IL CONTESTO NORMATIVO	60
6.1.1 Normativa Comunitaria	60
6.1.2 Normativa italiana	66
6.1.2.1 <i>Procedura ordinaria: definizioni, competenze, realizzazione e gestione di impianti di compostaggio</i>	68
6.1.2.2 <i>Procedura semplificata: regime di comunicazione</i>	71
6.1.2.3 <i>DM 5 febbraio 1998: matrici ammesse al recupero mediante compostaggio in regime di comunicazione</i>	73
6.1.2.4 <i>DM 27 marzo 1998, Modificazione dell'Allegato 1.C della L.19/10/1984</i>	74
6.1.2.5 <i>Requisiti di processo per gli impianti ammessi alla procedura semplificata</i>	75
6.1.2.6 <i>L.748/84, All. 1.C: Parametri per la caratterizzazione del Compost di qualità</i>	75
6.1.3 Norme e provvedimenti locali	77
6.2 IL PROCESSO DI COMPOSTAGGIO	78
6.2.1 Definizione di compostaggio	78
6.2.2 Dinamica del compostaggio	79
6.2.2.1 <i>Fasi di processo</i>	79
6.2.2.2 <i>Ecosistema microbico</i>	81
6.2.3 Fattori che influenzano le reazioni di processo	86
6.2.3.1 <i>[O₂] ed aerazione del sistema</i>	87
6.2.3.2 <i>Temperatura</i>	88
6.2.3.3 <i>Umidità</i>	89
6.2.3.4 <i>Concentrazione e rapporto dei nutrienti</i>	90
6.2.3.5 <i>Proprietà edafiche del substrato</i>	91
6.2.3.6 <i>pH</i>	92
6.2.4 Biochimica ed aspetti metabolici	94

6.2.4.1	<i>Trasformazione dei composti organici</i>	94
6.2.4.2	<i>Trasformazione dei composti azotati</i>	95
6.2.5	Metodi e tecnologie di compostaggio	98
6.2.5.1	<i>Definizione di sistema</i>	98
6.2.5.2	<i>Trattamenti aerobici: principali tecnologie</i>	101
6.3	ASPETTI GESTIONALI IN UN IMPIANTO DI COMPOSTAGGIO	107
6.3.1	Gestione delle materie prime oggetto di trattamento	108
6.3.1.1	<i>Ricezione e stoccaggio</i>	108
6.3.1.2	<i>Pretrattamenti fisico-meccanici</i>	110
6.3.2	Preparazione della miscela e fase di biossidazione	110
6.3.3	Raffinazione, stoccaggio e nobilitazione del compost	111
6.3.3.1	<i>Finissaggio</i>	111
6.3.3.2	<i>Stoccaggio del prodotto finito</i>	113
6.3.3.3	<i>Vagliatura</i>	113
6.3.3.4	<i>Aggiunta di additivi e confezionamento</i>	114
6.4	CONTROLLO DI PROCESSO E PRESIDII AMBIENTALI	115
6.4.1	Controllo del processo su compost di qualità e su biostabilizzato	115
6.4.2	Presidi ambientali	117
6.4.2.1	<i>Controllo e gestione delle acque e dei percolati</i>	117
6.4.2.2	<i>Bioparticolato e bioaerosol</i>	118
6.4.2.3	<i>Sostanze chimiche tossiche</i>	120
6.4.2.4	<i>Inquinamento acustico</i>	121
6.4.2.5	<i>Sicurezza e prevenzione degli infortuni</i>	121
6.4.3	Generazione e controllo delle emissioni gassose	122
6.4.3.1	<i>Percezione e valutazione delle emissioni odorigene</i>	124
6.4.3.2	<i>Misure di prevenzione</i>	126
6.4.3.3	<i>Sistemi tecnologici di abbattimento</i>	127
6.5	PRINCIPALI UTILIZZI DI COMPOST E BIOSTABILIZZATO	131
6.5.1	Caratteristiche tecniche del compost	131
6.5.1.1	<i>Ammendante compostato verde, ACV</i>	131
6.5.1.2	<i>Ammendante compostato misto, ACM</i>	131
6.5.2	Ambiti e tipologie d'impiego	132
6.5.2.1	<i>Compost di qualità (ACV, ACM)</i>	132
6.5.2.2	<i>Biostabilizzato</i>	133
6.6	COSTI ECONOMICI E MERCATO DEL COMPOSTAGGIO	134
6.6.1	Analisi dei costi e dei benefici	134

6.6.1.1 <i>Voci di costo</i>	135
6.6.1.2 <i>Vantaggi</i>	136
6.6.2 Mercato del compost	137
6.6.2.1 <i>Controllo della filiera del compostaggio</i>	139
6.7 CONSORZIO ITALIANO COMPOSTATORI (C.I.C.)	139
6.7.1 Sistema di Assicurazione della Qualità (SAQ)	139
6.7.2 Il Consorzio Italiano Compostatori (C.I.C.)	140
7. CENTRO TRATTAMENTO FRAZIONI ORGANICHE - Impianto di Ca' Baldacci (RN) – HERA S.p.A.	142
7.1 INQUADRAMENTO E DESCRIZIONE GENERALE DEL SITO	142
7.1.1 Storia del sito	142
7.1.2 Inquadramento naturale	143
7.2 DESCRIZIONE DEI PROCESSI	144
7.2.1 Introduzione	144
7.2.1.1 <i>Linea Compost di qualità</i>	145
7.2.1.2 <i>Linea Biostabilizzato</i>	145
7.2.2 Dati progettuali	147
7.2.2.1 <i>Potenzialità dell'impianto</i>	147
7.2.2.2 <i>Matrici in ingresso, Compost di qualità, Biostabilizzato, sottoprodotti di processo, rifiuti</i>	148
7.2.3 Correnti di processo	151
7.2.4 Caratteristiche, dimensionamento e bilancio di massa delle diverse sezioni d'impianto	153
7.2.4.1 <i>Sezione di ricevimento e triturazione della frazione lignocellulosica</i>	153
7.2.4.2 <i>Sezione di ricevimento FOP, frazione organica da selezione, e miscelazione delle matrici</i>	155
7.2.4.3 <i>Area di prima maturazione</i>	159
7.2.4.4 <i>Programma gestionale carico/scarico corsie</i>	164
7.2.4.5 <i>Area di seconda maturazione</i>	167
7.2.4.6 <i>Area di vagliatura/raffinazione finale e stoccaggio</i>	169
7.2.5 Sistema di aerazione forzata	172
7.2.6 Biofiltri	176
8. MATERIALI E METODI	180
8.1 MATERIALI	180
8.1.1 Rifiuti in ingresso	180
8.1.2 Linea Produzione Compost di qualità e Linea Produzione Biostabilizzato	182

8.1.3 Rifiuti in uscita	183
8.2 METODI DI CAMPIONAMENTO	183
8.2.1 Descrizione generale	183
8.2.2 Il Piano di Campionamento	184
8.2.3 Campionamento del compost e del biostabilizzato	186
8.2.4 Metodo della quartatura	187
8.2.5 Campionamento del suolo: biofiltri	188
8.2.5.1 <i>Campionamento e preparazione del campione</i>	188
8.2.5.2 <i>Selezione ed ubicazione dei punti di campionamento</i>	188
8.2.5.3 <i>Punti di campionamento</i>	189
8.2.5.4 <i>Profondità del prelievo</i>	189
8.2.5.5 <i>Preparazione del campione</i>	189
8.2.5.6 <i>Determinazione dell'umidità</i>	189
8.2.5.7 <i>Campionamento biofiltri Ca' Baldacci</i>	189
8.2.6 Supervisione in continuo: biofiltri	190
8.2.6.1 <i>Temperatura</i>	190
8.2.6.2 <i>Umidità superficiale</i>	191
8.2.6.3 <i>Umidità del letto del biofiltro</i>	191
8.2.6.4 <i>Misurazione del pH</i>	193
8.2.6.5 <i>Perdite di carico</i>	194
8.2.7 Monitoraggio emissioni: biofiltri	194
8.2.8 Campionamento di polveri e granulati	196
8.2.8.1 <i>Strumenti in dotazione</i>	196
8.2.8.2 <i>Operazioni preliminari al campionamento</i>	197
8.2.8.3 <i>Indicazioni generali per il campionamento</i>	197
8.2.9 Campionamento di materiali grossolani: organico in ingresso	198
8.2.9.1 <i>Strumenti in dotazione</i>	198
8.2.9.2 <i>Operazioni preliminari al campionamento</i>	198
8.2.9.3 <i>Indicazioni generali per il campionamento</i>	199
8.2.10 Campionamento di rifiuti liquidi e/o fanghi liquidi: percolato impianto	200
8.2.10.1 <i>Strumenti in dotazione</i>	200
8.2.10.2 <i>Operazioni preliminari al campionamento</i>	200
8.2.10.3 <i>Indicazioni generali per il campionamento</i>	200
8.2.11 Campionamento acque sotterranee	202
8.2.11.1 <i>Parametri da determinare</i>	202
8.2.11.2 <i>Conservazione del campione</i>	205
8.2.11.3 <i>Recipienti per la raccolta e il trasporto dei campioni</i>	206

8.3 SPERIMENTAZIONE <i>DIFLUBENZURON</i>	207
APPENDICE – <i>Foto strumentazione campionamenti</i>	209

9. RISULTATI **211**

9.1 PROCESSO	211
9.1.1 Accettazione e controllo materiale in ingresso	211
9.1.2 Maturazione primaria	212
9.1.2.1 <i>Compost di qualità</i>	213
9.1.2.2 <i>Biostabilizzato</i>	218
9.1.3 Maturazione secondaria	221
9.1.4 Ammendante Compostato Misto (ACM)	222
9.1.5 Biostabilizzato	223
9.1.6 Analisi delle temperature in area di bioossidazione	224
9.1.7 Trend di mercato prodotto Compost di qualità (ACM, Ca' Baldacci)	225
9.1.8 Sperimentazione larvicida <i>Diflubenzuron</i>	226
9.2 SCRUBBER	227
9.3 BIOFILTRI	228

10. CONCLUSIONI **231**

APPENDICE- FOTO IMPIANTO

GLOSSARIO

LINK UTILI

RINGRAZIAMENTI

BIBLIOGRAFIA

1. SCOPO DELLO STUDIO

Nella gestione del processo di compostaggio numerose sono le metodologie applicabili alla stabilizzazione dei rifiuti organici. In tal senso, la scelta risulta fortemente influenzata da una serie di fattori tra i quali, in primo luogo, la tipologia delle matrici organiche oggetto di trattamento. Nell'influenzare l'adozione di un sistema di compostaggio piuttosto che di un altro, vengono altresì ad assumere un ruolo prioritario, anche altri elementi quali la quantità di rifiuto da stabilizzare e la disponibilità di spazio per il trattamento, l'entità dell'investimento stanziato per le strutture impiantistiche, l'incidenza della manodopera sull'operatività del sistema, la dislocazione topografica del sito destinato alla stazione di trattamento, oltre ad una serie di considerazioni di carattere ambientale, infrastrutturale, politico e sociale.

Nell'ambito del trattamento operativo, sono poi individuabili talune criticità tecnologiche che possono pesantemente inficiare l'andamento della conduzione del processo sia in termini di bilancio economico, sia in termini di sostenibilità ambientale. Alcuni di questi fattori critici, essendo intrinseci a fasi e/o operazioni che comunque caratterizzano il processo stesso (seppur in maniera variabile a seconda della tipologia di materiale trattato), possono essere individuati con facilità già in fase progettuale, allo scopo di predisporre una serie di opere specifiche per il loro contenimento e controllo (presidi ambientali). Basti menzionare, a tal pro, la produzione di percolato, la potenziale aerodispersione di polveri e microrganismi patogeni, l'emissione di odori molesti.

In virtù di tali considerazioni, l'evoluzione e l'esito finale (in termini di materiali prodotti e successivi impieghi possibili) di un trattamento biologico per via aerobica di rifiuti, quale il processo di compostaggio rappresenta, necessitano di un'analisi alquanto minuziosa, improntata non soltanto sul monitoraggio dei parametri chimico-fisici che regolano i differenti stadi del sistema, ma anche su considerazioni d'ampio respiro volte a valutare la complessità impiantistica nel contesto socio-ambientale d'appartenenza.

Scopo del mio lavoro di Stage è stato quello di valutare le dinamiche processuali cui risultano soggette determinate biomasse-rifiuto sottoposte a degradazione aerobica, durante il periodo settembre-dicembre 2004, presso il Centro Trattamento Frazioni Organiche, di proprietà HERA S.p.A., sito in località Ca'Baldacci presso Rimini.

L'obiettivo si è sviluppato attraverso il monitoraggio analitico ed il campionamento, ai sensi di norma, sulle matrici in entrata, sulle frazioni putrescibili in bioossidazione (Linea Compost di qualità, Linea Biostabilizzato), sui cumuli in maturazione secondaria, e sui prodotti/rifiuti di fine ciclo, al fine di correlare i risultati ottenuti agendo eventualmente sulle scelte processuali di partenza.

Sono stati inoltre considerati aspetti prettamente gestionali volti all'analisi dei principali presidi ambientali (corretto funzionamento dei quattro biofiltri e dello scrubber a quelli associato), del sistema aeraulico (portata dei fumi in entrata alle aree di processo), dei fanghi presenti nelle vasche di prima poggia, del percolato (area bioossidazione, vasca biofiltri), e dei sistemi biologici di deodorizzazione impiantistici (avanfossa, fossa e area di maturazione secondaria).

Uno studio particolare è stato infine rivolto alla sperimentazione di un larvicida antiormonale giovanile (Diflubenzuron) sul materiale in maturazione primaria, allo scopo di inibire la crescita di insetti olometaboli in ambienti caratterizzati da elevata fermentescibilità organica, e quindi valutarne l'eventuale incidenza sul prodotto finale compost.

2. INTRODUZIONE

I rifiuti biodegradabili, per quantità e qualità, rappresentano un importante flusso di materiali che, se correttamente gestito, può concorrere alla drastica riduzione dello smaltimento in discarica (in linea con quanto predisposto dalla Direttiva 99/31/CE) e all'innalzamento delle quote di rifiuti riciclati, con conseguente riduzione degli impatti complessivi generati sull'ambiente.

A tal riguardo la Commissione Europea ha già predisposto e discusso un documento di lavoro sui rifiuti biodegradabili che è stato condiviso dalla maggior parte degli Stati Membri. Il documento in questione introduce disposizioni atte a regolamentare in maniera completa le attività di compostaggio e di digestione anaerobica individuando, tra gli altri, i requisiti generali compatibili con ogni impianto di trattamento biologico (localizzazione, trattamento delle acque reflue e del percolato, controllo degli odori, misure di mitigazione dei disturbi e rischi connessi all'attività). Circa la gestione della frazione organica, il VI Programma d'Azione Comunitario precisa che tale tipologia di rifiuto deve essere riciclata e reimpressa, dopo trattamento biologico, nell'ambiente al fine di garantire un apporto di sostanze utili per i terreni; il medesimo programma individua, inoltre, tra le azioni specifiche volte ad incentivare il riciclaggio, la definizione, a livello europeo, di una specifica regolamentazione sui rifiuti biodegradabili e la revisione della direttiva sui fanghi di depurazione [48].

Nell'ultimo decennio anche in Italia, a mimesi di quanto già da tempo avviene nei Paesi dell'Europa centro-settentrionale ed in coerenza con le disposizioni normative della Commissione UE, il compostaggio e, più in generale, il trattamento biologico di biomasse-rifiuto, hanno registrato un notevole incremento in termini di sviluppo e dinamiche di settore. Con il decreto legislativo 5 febbraio 1997 n.22 (alias Decreto Ronchi), infatti, s'introduce anche in Italia il concetto di *Gestione Integrata dei Rifiuti*

(Integrated Waste Management, IWM), per la quale la priorità d'azione viene assegnata, oltre che alla riduzione all'origine dei rifiuti, alla raccolta differenziata intesa al recupero di materia, incluso il compostaggio degli scarti organici. Tale decreto, nel definire una nuova strategia di gestione dei rifiuti, stabilisce di fatto una sorta di "ordine gerarchico dei principi d'intervento", secondo cui la prevenzione dei rifiuti assume l'assoluta priorità, seguita dal recupero (in termini di materia ed energia), ed infine dallo smaltimento in condizioni di sicurezza. Lo smaltimento viene quindi a costituire una fase residuale della gestione dei rifiuti [50].

Il suddetto decreto fissa inoltre specifici obiettivi di raccolta differenziata a medio-lungo termine volti a consentire la valorizzazione delle componenti merceologiche sin dalla fase di raccolta, la riduzione della quantità e della pericolosità dei rifiuti da avviare allo smaltimento indifferenziato, nonché il recupero di materiali ed energia nella fase di trattamento finale, e la promozione di comportamenti virtuosi (anche da parte dei cittadini) a beneficio delle politiche di prevenzione in atto.

La trasformazione in compost delle frazioni organiche dei rifiuti, ed il loro successivo impiego (in relazione alle caratteristiche dei rifiuti stessi avviati al trattamento) come ammendante o per impieghi paesistici, per il ripristino ambientale delle aree degradate o per altre forme di utilizzo, rappresentano un elemento nodale nella strategia di gestione integrata dei rifiuti, costituendo la forma più adeguata per un efficiente ed effettivo recupero di materia.

La produzione di compost, in particolare di "Compost di qualità" derivante da matrici selezionate alla fonte, ha l'importante valenza di rendere disponibili ammendanti utilizzabili per il ripristino e/o il mantenimento di un adeguato tenore di sostanza organica dei suoli ai fini della conservazione della fertilità e della limitazione dei fenomeni di erosione e desertificazione, fenomeni assai accentuati in alcune aree del Mediterraneo. Anche nel caso di frazioni organiche presenti nel rifiuto indifferenziato, a valle della raccolta differenziata, il sistema di gestione integrata tracciato dal DLgs 22/97, impone la ricerca di ulteriori possibilità di valorizzazione finalizzate al recupero di materia. In questo contesto s'inserisce il trattamento biologico di frazioni organiche derivanti da impianti di selezione meccanica a valle della raccolta (TMB), che dà luogo a materiali che potranno ancora essere avviati a circuiti di valorizzazione [49].

In ogni caso, nonostante il compostaggio rappresenti a tutt'oggi una tecnologia matura, ed il dibattito tecnico-scientifico sul tema già da tempo goda di

aggiornamenti e contributi tecnologici, si possono ancora porre in evidenza numerosi aspetti controversi, rappresentati essenzialmente dall'incertezza normativa circa i parametri da utilizzare sia per il controllo del processo stesso, sia per la qualità del prodotto finale e delle relative concentrazioni limite da adottare in funzione dei possibili utilizzi del compost; vi sono, difatti, molti parametri che possono essere utilizzati per monitorare l'andamento del processo di compostaggio e/o per verificare la qualità del prodotto ottenuto. In particolare, le caratteristiche qualitative del prodotto finale rappresentano un fattore di fondamentale importanza al fine di determinare l'applicabilità del prodotto/compost, qualunque sia il tipo d'impiego previsto. Così, ad esempio, nel caso in cui il compostaggio venga utilizzato solo per ridurre la massa e il volume dei rifiuti e/o per inibire la produzione di CH₄ prima di essere smaltito in discarica, basta verificare unicamente che il prodotto sia inerte, così come è importante valutarne una subdegradazione aerobica nel caso in cui venga utilizzato soltanto come copertura di una discarica (capping). Per quanto riguarda invece l'impiego agronomico del compost, così come nei casi in cui venga venduto al dettaglio, è di primaria importanza il rispetto di alcuni standard di qualità (parametri chimici, fisici, microbiologici) al fine di garantirne l'accettabilità.

Nella maggior parte dei Paesi dell'Europa, il dualismo "ideologico" tra termovalorizzazione e riciclaggio ha fatto perdere di vista, per molti anni, la necessità di concepire un nuovo modello di gestione dei rifiuti basato sull'integrazione dei sistemi di smaltimento. Così, sono sorti grandi impianti di compostaggio pianificati per ricevere il rifiuto indifferenziato, con la convinzione che la complicata e costosa fase preliminare di selezione meccanica, potesse garantire il recupero di sostanza organica compatibile con il processo e l'ottenimento di un compost con caratteristiche tali da renderlo utilizzabile. Come è noto, le discariche hanno continuato per anni a ricevere un compost di pessima qualità, contaminato da un'alta frazione di inerti e da livelli preoccupanti di metalli pesanti, per il quale non poteva crearsi, oggettivamente, alcun mercato. D'altra parte, nei Paesi in via di sviluppo, la realizzazione di strutture impiantistiche a tecnologia complessa per il compostaggio dei rifiuti non sempre ha reso compatibili quei cicli tecnologici con le reali possibilità dei Paesi destinatari degli interventi. Terminata la fase di avviamento degli impianti, il fallimento si è, immancabilmente, verificato sia per i limiti intrinseci al modello di trattamento massivo del rifiuto, allo stesso modo di quanto avvenuto nei Paesi industrializzati, sia per carenza di preparazione specifica da parte dei gestori locali. Alla luce di quanto

sopra riportato, l'insuccesso di numerose iniziative riguardanti il compostaggio è stato quindi chiaramente determinato dalla errata interpretazione della filiera come metodo esaustivo di gestione dei rifiuti, in contrapposizione netta ad altre opzioni.

L'insuccesso tecnologico del compostaggio è stato dunque, in primo luogo, causato dal fallimento dei tentativi di separare le diverse frazioni del rifiuto, a valle della raccolta, mediante sistemi di selezione meccanica, e non tanto dall'insufficiente controllo del processo biologico [8].

A fronte del fallimento degli impianti di compostaggio alimentati con il rifiuto indifferenziato, sempre più lunga è invece la lista dei successi ottenuti dall'applicazione di filiere di compostaggio basate sul trattamento dei residui organici separati alla fonte. più semplice risulta, in questi casi, la gestione del processo ed il prodotto ottenuto presenta caratteristiche che lo rendono appetibile dal mercato. in questo nuovo contesto, al compostaggio vengono avviati soltanto quei materiali compatibili con il trattamento biologico, lasciando aperte altre filiere per la corretta gestione delle frazioni non compostabili dei rifiuti urbani.

La naturale crescita del sistema impiantistico dedicato a compostaggio e trattamento biologico, che deve opportunamente accompagnare la progressiva implementazione delle strategie di gestione integrata dei rifiuti, trova così un importante punto di snodo nella necessità di qualificare la proposta impiantistica sotto un duplice aspetto: (i) il miglioramento delle performances dei processi di bioconversione aerobia, al fine di ottenere una buona stabilizzazione della sostanza organica (perdita di fermentescibilità e fitotossicità) nel tempo di processo dato e con i minori costi gestionali; (ii) il governo dei problemi connessi al potenziale odorigeno di tali iniziative; una buona gestione operativa che assicuri il contenimento delle molestie olfattive rappresenta, da questo punto di vista, la premessa essenziale, se non decisiva, per assicurare il consenso alle singole iniziative ed all'insediamento di ulteriori siti impiantistici. Un processo ottimizzato quindi (a) aumenta la velocità di bioconversione, (b) assicura l'assenza di fitotossicità del prodotto finale e (c) minimizza la genesi e/o la dispersione degli odori [8].

La matrice destinata al compostaggio deve necessariamente essere costituita da materiali compostabili per consentire la produzione di un compost che abbia un mercato. In tutti i casi, allorché il compostaggio rientra nella strategia complessiva di gestione dei rifiuti, è fondamentale che si parta da un'accurata analisi del flusso di rifiuti, predisponendo, laddove richiesto, sistemi di separazione e raccolta

differenziata alla fonte. In relazione alle esperienze di questi ultimi anni, si può affermare che i sistemi di preselezione meccanica dei rifiuti indifferenziati non risultano granché efficienti e, comunque, non consentono di ottenere compost di elevata qualità. Una leggera fase di preselezione può ancora risultare compatibile con flussi omogenei che possiedano già un elevato contenuto di materiali compostabili. La sostenibilità economica del compostaggio dipende da tre fattori tra loro imprescindibili: (i) il costo del compostaggio (che deve essere, nelle diverse situazioni locali, se non competitivo, quantomeno comparabile rispetto ai costi di smaltimento in discarica e di termovalorizzazione), (ii) il flusso di rifiuti in entrata all'impianto (in termini di qualità delle matrici compostabili), e (iii) la presenza di un potenziale bacino di utenza del prodotto finito.

Anche l'affidabilità tecnica di un sistema di compostaggio dipende dall'andamento di tre variabili: (1) schema di trattamento quanto più semplice possibile in relazione alle caratteristiche del flusso di rifiuti in entrata; (2) più complesso è il flusso di rifiuti in entrata, minori dovrebbero essere le dimensioni della stazione di compostaggio al fine di garantire una migliore gestione dell'intero processo; (3) l'intera filiera deve essere progettata per rendere ottimale la dinamica delle reazioni di trasformazione biologica. Concludendo, il compostaggio rappresenta un'importante modalità attraverso la quale è possibile stornare una cospicua quantità di rifiuti altrimenti destinati a discariche ed inceneritori; tal sistema è quindi un indispensabile complemento alle tradizionali forme di riciclaggio. Tuttavia, tale sistema di gestione delle matrici organiche non consiste in una mera riduzione di volume o in un semplice schema di diversione di una parte dei rifiuti; piuttosto, rappresenta una possibile soluzione per “chiudere il cerchio” del riciclaggio dei residui organici, con ricadute ambientali di notevole rilievo. Il recupero di sostanza organica consente in tal modo di reintegrare i terreni prevenendo fenomeni di erosione, incrementando la fertilità biologica dei suoli e contribuendo al ripristino di siti contaminati da sostanze tossiche e nocive [19].

3. BIOMASSE COME RISORSA

Gli obiettivi che la Comunità Europea si è proposta ratificando il protocollo di Kyoto, prevedono una marcia a tappe forzate verso un cospicuo ricorso alle fonti energetiche rinnovabili, tra le quali un posto privilegiato spetta alle biomasse. L'obiettivo da realizzare nel periodo 2008-2012 implica una riduzione del 6,5% delle emissioni nazionali di CO₂, pari a circa una riduzione di 100 tonn/anno. Questo dato necessita una molteplicità di sforzi ed interventi estesi ad un ampio numero di settori e soprattutto non limitati nel tempo, ma permanenti. E' dunque fondamentale sottolineare il ruolo sostanziale che le fonti rinnovabili possono assumere nell'ambito di strategie di intervento, attraverso la razionalizzazione dei consumi energetici [49].

Negli ultimi anni, un importante elemento trainante nella politica ambientale è risultata la necessità di recepire gli obiettivi del protocollo di Kyoto per la lotta all'effetto serra e al cambiamento climatico. Da questo punto di vista, la biomassa è stata troppo a lungo considerata esclusivamente come una potenziale risorsa energetica sostitutiva dei combustibili fossili. Più di recente invece, una valutazione approfondita su tali temi ha portato a riconsiderare il ruolo della sostanza organica nel suolo come un fattore di grande rilievo nello scenario complessivo. Quello che scaturisce da valutazioni più recenti è che la fertilizzazione organica favorisce nel tempo un accumulo di carbonio nel suolo, il che potrebbe fungere da meccanismo per la sottrazione, nel bilancio complessivo, di anidride carbonica all'atmosfera. La sostanza organica del suolo può giocare un ruolo centrale nella mitigazione del cambiamento climatico. Ma veniamo per gradi.

Nella corsa alla valorizzazione delle energie pulite, le biomasse presentano vantaggi sia di tipo economico, sia di tipo ambientale; il progresso e l'evoluzione tecnologica richiedono infatti sempre più energia e d'altro canto risulta estremamente importante

dal punto di vista strategico che vi sia una diversificazione delle fonti energetiche. Questo contribuisce in tal modo a garantire la continuità e la sicurezza di approvvigionamento di materiali combustibili, e allo stesso tempo può considerarsi una risposta alle logiche di recupero energetico di sottoprodotti di origine industriale così come quello dell'utilizzo di fonti rinnovabili. Le conferenze sull'ambiente di Rio de Janeiro (1992) e di Kyoto (1997) hanno portato il problema della qualità dell'aria all'attenzione internazionale. L'UE ha approvato del tutto il piano indicato dalla conferenza ultima, redigendo linee guida atte a valorizzare le energie pulite. E' indubbio che l'E da biomassa rappresenti un'importante risorsa nel quadro di sviluppo di un'industria energetica che si prefigga una tutela in termini di conservazione dell'ambiente. Gli impianti che a tutt'oggi utilizzano sottoprodotti o rifiuti di lavorazione sono impianti che usano come combustibile legno ricavato dal settore ligneo, impianti che utilizzano biomasse da rifiuti urbani (frazione selezionata del rifiuto solido urbano al termine di un processo che prevede la raccolta differenziata, la separazione mediante trattamenti meccanici della frazione organica biodegradabile da quella combustibile, la combustione e la produzione di energia), impianti che utilizzano scarti di lavorazioni agroalimentari [1].

3.1 BIOMASSE: DA RIFIUTO A RISORSA

Tutti i materiali organici, vegetali e animali, nonché i residui e/o i sottoprodotti organici derivanti dalla loro trasformazione ed utilizzazione, possono essere definiti *biomasse* (Levi-Minz et al., 1992). Dunque rientrano nelle biomasse (i) i residui vegetali di origine agricola ed extragricola, (ii) i sottoprodotti di origine zootecnica, (iii) i residui agroindustriali, (iv) i RSU, (v) i fanghi di depurazione di acque reflue civili, ed (vi) i residui organici industriali (fanghi di depurazione e residui di lavorazione). Si tratta quindi di biomasse rientranti tutte nelle procedure semplificate di recupero, ai sensi degli allegati del DM 5 febbraio 1998 e del DLgs 22/97 (artt.31-33). Ma cosa s'intende a norma di legge per biomassa? Secondo il DLgs 387/2003, all'art.2, comma 1, lettera a, "... per biomasse si intende: la parte biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze vegetali

e animali) e dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali e urbani” [24].

Da un punto di vista chimico queste differenti tipologie di biomassa risultano accomunate dal contenere (a) elevate quantità di carbonio di origine biologica (presente per lo più in forme facilmente degradabili), (b) oltre a macro- e microelementi della fertilità in concentrazioni estremamente variabili in relazione all’umidità della matrice (Armuzzi et al., 1995). Tuttavia tali materiali organici possono contenere anche patogeni e sostanze indesiderate (Me pesanti, plastiche, materiali ferrosi e vetrosi, xenobiotici organici ed inorganici) in funzione della specifica tipologia. Per tutti questi motivi risulta fondamentale, ai fini di un reale recupero, che tutte le biomasse subiscano processi di sanitizzazione, purificazione da materiali inerti, e stabilizzazione della sostanza organica.

In generale le biomasse vengono classificate come segue:

- Colture energetiche
- Biomasse residuali
- Residui agroalimentari e zootecnici
- Rifiuti solidi urbani (RSU)

Le colture energetiche sono appositamente coltivate per essere impiegate a fini energetici (colture dedicate) attraverso un impiego come combustibili solidi (ad es. pellets, bricchette), oppure per mezzo di un impiego indiretto dopo un processo intermedio di trasformazione (ad esempio, semi di colza e girasole per la produzione di biodiesel, o barbabietola da zucchero per l’etanolo); in funzione del loro stato di aggregazione li si suddivide in solidi, liquidi e gassosi. Le biomasse residuali sono invece sottoprodotti di processi di natura industriale (eccetto i comparti agroalimentare e zootecnico) grazie ai quali è possibile recuperare energia altrimenti dispersa (rispetto energetico-ambientale, minor produzione di scarti). Poiché tal recupero richiede una spesa energetica, economica ed ambientale necessitante una serie di considerazioni a priori, è fondamentale che il processo venga ad essere attentamente progettato a causa della non ottimale composizione della matrice di partenza, che potrebbe inficiarne le prestazioni e produrre emissioni globali potenzialmente più pericolose del conferimento diretto in discarica. I residui agroalimentari e zootecnici sono sottoprodotti dei processi delle industrie agroalimentari e zootecniche trattati in maniera separata; risulta molto importante valutare le possibilità di reimpiego in chiave energetica dei residui all'interno del

ciclo stesso, trattandosi di processi fortemente energivori. Per quanto riguarda, infine, i rifiuti solidi urbani (RSU), si tratta di scarti derivati dalle attività antropiche, depurati delle parti non biodegradabili ed, auspicabilmente, delle parti destinate alla raccolta differenziata e al riciclaggio. Queste ultime rappresentano il punto su cui si focalizza l'argomento di questa tesi. I vantaggi nell'utilizzo di biomasse sono di carattere sia ambientale, sia economico, ed un aspetto rilevante riguarda le emissioni di gas in atm in quanto, a differenza dei processi legati all'uso di combustibili fossili, in tal caso la produzione di anidride carbonica nelle fasi di combustione risulta compensata dal riassorbimento di questa durante il processo di crescita della biomassa vegetale mediante fotosintesi [24]. Essendo il processo ciclico, l'immissione netta nell'ambiente può essere al limite considerata nulla. Inoltre va tenuto presente che lo smaltimento dei rifiuti si sta rivelando estremamente problematico nella nostra economia quotidiana. Quando non sono utilizzabili vantaggiosamente, infatti, le biomasse rappresentano un rifiuto; quando invece è possibile consentire una qualsiasi forma di utilizzo economico, allora si può legittimamente parlare di risorsa per cercare di recuperarne il valore residuo (Levi-Minz et al., 1992). Ovviamente non va dimenticato che lo stesso materiale può rappresentare un rifiuto oppure una risorsa a seconda del contesto economico in cui si opera, in funzione dei costi necessari di trasformazione, e del valore del prodotto finito. Una pratica importantissima per chiudere i cicli degli elementi e per diminuire al tempo stesso i possibili rischi di inquinamento ambientale, è rappresentata dalla trasformazione di biomasse di rifiuto in prodotti ad utilizzo agronomico (Sequi et al., 1995). Tuttavia occorre che le biomasse siano qualitativamente compatibili con il mantenimento, se non con il miglioramento, delle caratteristiche dei suoli stessi (in termini di produttività e fertilità), caratteristica necessaria per evitare rischi di contaminazione delle catene alimentari, prima e dopo l'impiego delle biomasse [24].

La presenza a livelli spesso elevati di Me pesanti nelle biomasse è ancora un problema oscuro da molti punti di vista, soprattutto se considerato indipendentemente dalla sostanza organica e dalla sua qualità. Se sugli aspetti tecnologici esiste oramai un consolidato patrimonio di conoscenze, gli effetti che alti livelli di assunzione e conseguenti accumuli possono determinare sugli organismi viventi (ed in particolare sull'uomo) in campo agricolo e pedologico non risultano ancora del tutto chiari (Govi et al., 1993). Resta difatti molto incerto e di difficoltoso monitoraggio il passaggio dei metalli pesanti dal terreno alle catene alimentari, direttamente attraverso la

produzione vegetale, o indirettamente attraverso la contaminazione di acque superficiali e profonde.

I processi intensivi legati all'industrializzazione, la progressiva urbanizzazione delle popolazioni, e l'introduzione della concimazione minerale hanno determinato un aumento considerevole della produzione di biomasse di origine industriale, urbana e agroindustriale, a cui ha fatto riscontro peraltro una progressiva riduzione dell'impiego di biomasse di origine agricola ed extragricola nelle fasi di fertilizzazione. Questo ha comportato un incremento esponenziale di biomasse di varia origine e natura destinate allo smaltimento in discarica o all'incenerimento anziché al recupero. Il riciclaggio delle biomasse per la produzione di fertilizzanti rappresenta l'unica tecnologia che risolve il problema dei rifiuti in quanto li trasforma in prodotti commerciabili. Un'adeguata azione politica tesa al recupero delle biomasse deve destinare cospicue risorse professionali ed economiche, ed investire sulla creazione di impianti che abbiano come principale finalità quella di produrre ammendanti di qualità (Ciavatta et al., 1998).

3.2 IL RUOLO DELLA SOSTANZA ORGANICA NEI SUOLI

3.2.1 – Caratterizzazione dei principali costituenti organici del suolo

La sostanza organica del suolo è la componente agraria ed ambientale essenziale per i fenomeni di nutrizione vegetale, protezione della qualità del suolo e controllo del destino dei contaminanti antropogenici nel sistema suolo. E' dunque fondamentale studiare la sua struttura molecolare e la conseguente struttura conformazionale, e come queste variano nei diversi ecosistemi e nel tempo. A tal fine si applicano metodologie chimiche e chimico-fisiche per la sua caratterizzazione (FTIR, NMR) e per l'isolamento di frazioni a minore complessità molecolare. E' importante riuscire ad identificare nel totale e nelle frazioni la presenza di biomarkers naturali quali composti triterpenoidi e lipidici che possano costituire indici innovativi della stabilità della sostanza organica nel suolo. Queste molecole possono essere utilizzate per mettere a punto dei metodi di valutazione dell'umificazione della sostanza organica come nei processi di compostaggio e diventare perciò la base per la determinazione della qualità del composto e della sua stabilità. I suoli agrari contengono la più grande

quantità di C_{org} della superficie terrestre, inferiore solo a quella dei sedimenti profondi. La sostanza organica del suolo viene dunque a rappresentare l'unico serbatoio di carbonio organico che potenzialmente è in grado di fissare a lungo termine il carbonio immesso nell'atmosfera dal continuo aumento della combustione dei carburanti fossili e contribuire a limitare i mutamenti globali relativi all'aumento dei gas serra. In virtù di quest'obiettivo, vengono condotte ricerche chimiche e chimico-fisiche volte ad incrementare il tempo di residenza medio della sostanza organica del suolo, e rendere il suolo stesso un comparto sequestrante nell'ambito del ciclo biogeochimico del carbonio[78].

La sostanza organica nel terreno è costituita principalmente da residui vegetali ed animali, ma anche da prodotti metabolici dei microrganismi, nonché dai loro residui. La frazione vegetale predomina rispetto a quella animale, ma entrambe sono soggette all'attività degli organismi viventi del , attraverso i processi di decomposizione, fermentazione e trasformazione, fino alla formazione dell'humus. Il principale componente della sostanza organica è il carbonio, che forma vari composti con l'ossigeno, l'idrogeno ed anche l'azoto, il fosforo e lo zolfo. Sono inoltre presenti numerosi composti inorganici, quali le ceneri. Le componenti organici più rappresentative sono costituite da lignina, proteine, cellulosa, emicellulosa e tannini. I residui vegetali ed animali immessi nel terreno risultano soggetti, in tempi più o meno brevi, a complessi fenomeni biologici, ma anche di carattere fisico-chimico, che trasformano queste sostanze in humus per arrivare poi alla sua distruzione. Fondamentalmente, nel terreno, partendo da matrici organiche differenti (residui decomposti, biomassa vivente, materiali di neogenesi) si vanno a formare tre tipologie di sostanze diversificate ma in continuo rapporto tra loro; risulta dunque possibile distinguere (i) una sostanza organica "indecomposta" (nella quale i residui vegetali ed animali subiranno l'attacco da parte di microrganismi presenti nel terreno evolvendo in funzione della natura del materiale di partenza e del clima in cui si opera), (ii) una sostanza organica "labile" (costituita da prodotti intermedi della decomposizione, e destinata a subire un processo di mineralizzazione o ad essere utilizzata come substrato di moltiplicazione cellulare dei microrganismi del suolo), ed infine (iii) una sostanza organica "stabile", indicata anche come humus, chimicamente complessa (derivata da composti intermedi formati nella decomposizione dei residui organici) [24].

3.2.2 La sostanza organica del suolo

La sostanza organica costituisce la principale fonte di E per gli organismi viventi del terreno ed una completa e costante riserva di elementi nutritivi per i vegetali. Se un terreno risultasse privo di materiale organico non si potrebbe definire a pieno titolo come tale; solo la presenza, infatti, di carbonio organico di origine biologica è in grado di assicurare uno sviluppo ottimale del suolo con sufficiente livello di fertilità. Uno sviluppo abbondante ed equilibrato di organismi viventi nel terreno (biomassa vivente) è condizione essenziale per poter instaurare condizioni ottimali di “vivibilità” per le radici dei vegetali. I residui organici prodotti e lasciati nel terreno dalle stesse colture possono in certi casi fare insorgere fenomeni di fitotossicità in quelle successive; questo può essere evitato solo dalla presenza di biomassa vivente dotata di enzimi specifici in grado di demolire qualunque composto organico. Il “carburante” necessario al funzionamento di questo indispensabile e complicato sistema è pertanto garantito esclusivamente dalla presenza nel suolo di sostanze organiche. La sostanza organica del suolo (SOM) rappresenta la più grande riserva terrestre di carbonio (C), con 1500 miliardi di tonnellate di C organico, mentre nell'atmosfera sono presenti 720 miliardi di tonnellate di C sotto forma di anidride carbonica e solo 560 si trovano nella biomassa vegetale. Tali forme sono rimaste in un equilibrio stabile fino all'avvento dell'era industriale, quando l'uso di combustibili e la deforestazione hanno determinato una forte diminuzione della biomassa vegetale e della sostanza organica del suolo, con conseguente aumento della CO₂ in atmosfera. La sostanza organica del suolo quindi, oltre all'estrema importanza come fonte di nutrienti per il sistema vegetale, ha anche un enorme ruolo come riserva di carbonio (come indicato da Fischer, "*Soil organic matter is the fuel that runs the soil's engine*"... "la sostanza organica del suolo è il carburante che fa funzionare il motore suolo"). Questo ruolo è balzato all'attenzione solo recentemente, quando il problema dell'emissione di anidride carbonica nell'atmosfera e il conseguente aumento della temperatura hanno raggiunto dimensioni tali da richiamare l'attenzione pubblica e costringere a utilizzare tutti i mezzi a disposizione per ridurre le emissioni di CO₂. Inoltre bisogna sottolineare l'importanza ambientale di preservare la sostanza organica per combattere il disagio socio-economico derivante dal progredire dei fenomeni erosivi e di desertificazione [26].

Nasce dunque la necessità di conoscere a fondo che cos'è la sostanza organica, come arriva al suolo e come si trasforma, quali sono i fattori che influenzano la mineralizzazione e l'accumulo e infine quali sono le sue funzioni nel sistema suolo.

Nel suolo la sostanza organica può essere considerata come una miscela di composti derivati da piante e microrganismi a diversi stadi di degradazione, partendo dai residui biologici freschi fino ad arrivare a composti già quasi trasformati in humus, cioè in materiale organico capace di migliorare la fertilità del suolo [24]. Vi contribuiscono sia i residui vegetali che animali, i resti derivanti dalle fasi avanzate della decomposizione dei componenti delle cellule dei tessuti vegetali ed animali, le sostanze secrete a livello della superficie delle foglie e liscivate dalle piogge, le secrezioni delle radici, le aree di radici morte, l'aliquota di biomassa microbica e pedofauna morta, le escrezioni della pedofauna, le molecole rilasciate dalle cellule microbiche in sede extracellulare il contenuto di sostanza organica varia da meno dell'1% nei suoli desertici, a valori medi tra l'1% e il 15% in suoli forestali soprattutto in ambiente montano, a più del 90% nelle torbe.

Nella sostanza organica del suolo possiamo trovare:

- sostanze semplici come amminoacidi, zuccheri, acidi organici mono- e bicarbossilici;
 - composti ad alto peso molecolare come polisaccaridi, proteine, acidi nucleici, lipidi e lignine;
 - sostanze umiche.
- il primo gruppo costituisce un insieme di composti a piccolo peso molecolare e ad alta solubilità nella soluzione del suolo, prontamente disponibili come fonte di energia e quindi facilmente degradabili dalla flora microbica per cui hanno un tempo di residenza nel suolo breve.
 - il secondo gruppo è costituito da composti a più alto peso molecolare, poco o per niente solubili in acqua. I polisaccaridi, le proteine e gli acidi nucleici possono essere idrolizzati dai microrganismi a composti semplici e utilizzati come fonte di energia, mentre le cere, i grassi, le resine e le lignine sono difficilmente attaccabili dai microrganismi e persistono pertanto per lunghi periodi nel suolo.
 - le sostanze umiche possono costituire tra il 33% e il 65% della sostanza organica del suolo e sono il prodotto di processi di re-sintesi (umificazione) dei prodotti della decomposizione e trasformazione chimica e biologica di molecole provenienti dalle spoglie e dalle emissioni di organismi vegetali ed animali. Le

sostanze umiche sono costituite da una miscela eterogenea di composti amorfi, di colore dal giallo al bruno, non hanno nessuna caratteristica chimica e fisica riconducibile ad uno specifico composto e presentano una elevata resistenza alla degradazione chimica e biologica.

3.2.2.1 - Biosintesi della sostanza organica del suolo

L'evoluzione della sostanza organica del suolo dipende dall'insieme dei processi cui i residui biologici sono sottoposti, quali la mineralizzazione, l'umificazione e l'interazione con la frazione minerale, che controllano l'orientamento e la velocità di trasformazione. La mineralizzazione della sostanza organica, favorita in ambienti ben aerati e con un'intensa attività biologica, porta ad una decomposizione del materiale organico e si verifica in presenza di microrganismi eterotrofi che necessitano di energia e di fonti di azoto per lo svolgimento delle proprie funzioni e la sintesi dei propri composti. La sostanza organica viene degradata ad anidride carbonica e acqua, e l'azoto viene riutilizzato in processi che portano a una complessiva riduzione del rapporto tra carbonio e azoto. L'umificazione prevede una serie complessa di reazioni che portano alla formazione di macromolecole con una struttura sempre più lontana da quella d'origine man mano che l'umificazione procede. Si formano così gli acidi fulvici, gli acidi umici e l'umina. La velocità di degradazione non è influenzata solo dalla resistenza intrinseca delle molecole a seconda del tipo di struttura chimica, ma anche dalla loro interazione con la frazione minerale. L'interazione della sostanza organica con la frazione minerale avviene attraverso la formazione di legami ionici o per scambio di leganti tra la frazione minerale e i composti organici. Si formano dei complessi molto stabili che aumentano in generale lo stato di aggregazione e la stabilità del suolo e rallentano i processi di degradazione microbica della sostanza organica in quanto l'interazione con le argille o l'intrappolamento nei micropori degli aggregati del suolo possono esercitare una protezione fisica contro l'attacco microbico. In altri casi invece la frazione minerale può accelerare certe reazioni biochimiche le trasformazioni cui la sostanza organica del suolo è sottoposta avvengono grazie a un insieme di reazioni chimiche e biologiche dove la fauna del suolo ha un ruolo fondamentale. Inizialmente gli animali (macro e mesofauna) provvedono alla riduzione delle dimensioni dei residui vegetali. Gli enzimi prodotti dai microrganismi sono importanti in questa prima fase di decomposizione, durante la quale si ha una rapida perdita dei composti facilmente degradabili come zuccheri

semplici, amminoacidi, molte proteine ed alcuni polisaccaridi. in uno stadio successivo vengono attaccati i composti più resistenti, come cellulosa e lignina. L'accumulo o la diminuzione di sostanza organica nel suolo dipende anche dalla quantità e qualità dei residui biologici che arrivano al suolo e dal tipo di microflora presente. la velocità di decomposizione della sostanza organica dipende inoltre da altri fattori tra cui le condizioni climatiche, le proprietà del suolo, la necessità di nutrienti da parte della pianta e l'uso del suolo. Le condizioni climatiche influenzano notevolmente il turnover della sostanza organica in quanto la disponibilità di acqua e la temperatura del suolo regolano le reazioni di ossidazione e influenzano in modo diverso la crescita vegetale e l'attività microbica. Ad esempio, la crescita delle piante si ferma al di sotto di una tensione dell'acqua nel suolo di -1.5 mPa, mentre la respirazione microbica continua fino a -9 mPa, favorendo, in suoli aridi, la decomposizione rispetto all'accumulo, mentre in suoli umidi sono le condizioni di scarsa ossigenazione a rallentare la decomposizione più che la produzione di biomassa vegetale. Anche la temperatura ha valori ottimali diversi per la produzione vegetale ($25-30^{\circ}\text{C}$) e per la respirazione del suolo ($35-40^{\circ}\text{C}$). Climi freddi, quali quelli che si registrano in ambiente montano, portano quindi all'accumulo per il prevalere della produzione vegetale su quella microbica, mentre climi caldi ($> 30^{\circ}\text{C}$) determinano bassi contenuti di sostanza organica nel suolo (SOM). Un altro aspetto da prendere in considerazione a proposito della temperatura è che gli apporti di materiale organico al suolo sono influenzati dalla temperatura dell'aria, mentre il tasso di decomposizione è controllato dalla temperatura del suolo. In climi freddi, come nelle alte latitudini o ad alta quota, la temperatura del suolo rimane bassa per tutto l'anno mentre la temperatura dell'aria si alza sufficientemente in estate da permettere una certa produzione di biomassa vegetale. Di conseguenza questi suoli contengono elevate quantità di carbonio [24].

Anche le proprietà del suolo possono influenzare la velocità di decomposizione della sostanza organica. Importante è la tessitura in quanto in suoli con alti contenuti di argilla si formano complessi organo-minerali che proteggono la sostanza organica dalla degradazione, mentre in suoli sabbiosi la degradazione è più veloce. Bisogna tener conto che anche la disponibilità dei nutrienti N (azoto), S (zolfo) e P (fosforo) svolge un importante controllo sulla decomposizione della sostanza organica. Infatti tali elementi sono contenuti in gran parte nella SOM ma possono essere assimilati dalle piante solo in forma inorganica. Di conseguenza il rilascio di questi elementi

attraverso la mineralizzazione della sostanza organica regola il loro assorbimento radicale e la produzione di biomassa vegetale. Quindi la quantità di carbonio in un ecosistema è vincolata dalla disponibilità di altri nutrienti essenziali [10].

Un altro parametro molto importante è l'acidità del suolo che non solo influenza le reazioni chimiche ma orienta l'attività biologica, in quanto il pH ottimale per lo sviluppo di popolazioni batteriche è attorno a 6-7, mentre in suoli acidi e subacidi l'attività biologica è svolta prevalentemente da funghi. L'uso del suolo influenza nel giro di pochi anni le due principali riserve terrestri di C, la sostanza organica del suolo e la biomassa vegetale. Quando un suolo in condizioni naturali viene disturbato per attività agricole o ricreative, usualmente si ha una riduzione nell'arrivo al suolo di materiale organico e si assiste ad un declino del contenuto di C organico. La produzione netta primaria aumenta, specialmente con la fertilizzazione, ma una larga parte delle biomassa è rimossa durante la raccolta. Inoltre le elevate produzioni tipiche dell'agricoltura intensiva sono ottenute grazie al fatto che le piante sono indotte a sviluppare maggiormente la parte aerea rispetto alle radici, riducendo la quantità di materiale organico che rimane nel suolo. Inoltre, le lavorazioni del suolo hanno come effetto quello di distruggere i macroaggregati, rimescolare gli orizzonti superficiali semplificando notevolmente la stratificazione in orizzonti, ridurre la densità apparente e alterare la temperatura del suolo. La frammentazione degli aggregati organo-minerali causa perdite di humus a seguito dei processi di erosione dovuti al vento e di lisciviazione per le precipitazioni piovose. Inoltre l'areazione che investe i suoli a seguito dell'aratura, l'esposizione di particelle di sostanza organica prima schermate dalla presenza della frazione minerale e l'irrigazione sistematica stimolano intensamente l'attività degradativa da parte della biomassa microbica presente nel suolo, portando ad una drastica riduzione dei livelli di sostanza organica. Tutti questi fattori influenzano la velocità di decomposizione della sostanza organica e determinano le quantità di materiale organico che raggiunge il suolo, la parte che viene convertita in CO₂, quella che viene incorporata nella biomassa del suolo e quella che viene convertita in sostanze umiche. Il mantenimento di un livello di equilibrio della sostanza organica richiede che la quantità di C che raggiunge il suolo sia approssimativamente uguale all'emissione di CO₂ nell'atmosfera, per cui in un suolo indisturbato il contenuto di sostanza organica rimane essenzialmente costante anno dopo anno. Al contrario, in un ecosistema soggetto all'azione umana l'equilibrio

tra il C in entrata nel sistema ed il C perso in seguito alla mineralizzazione, è spostato notevolmente verso il secondo termine [24].

3.2.2.2 - Influenza della sostanza organica sulle proprietà chimico-fisiche del suolo

La sostanza organica ha un effetto diretto sulla crescita delle piante grazie alla sua influenza sulle proprietà fisiche, chimiche e biologiche del suolo. Essa infatti favorendo la strutturazione, facilita le coltivazioni e consente la circolazione di gas e soluzioni all'interno del materasso terroso. Ha un'elevata superficie specifica, interagisce con i metalli e con i minerali argillosi, agisce come scambiatore ionico e costituisce una riserva di azoto. La sostanza organica contiene inoltre il 20-80% del fosforo presente nel suolo e in suoli non calcarei, e oltre il 90% dello zolfo totale. Essa costituisce la fonte energetica per i batteri azotofissatori, favorisce lo sviluppo delle radici (quindi le possibilità nutritive della pianta), la fotosintesi e la germinazione dei semi. Stimola processi fisiologici e biochimici del metabolismo cellulare e svolge una funzione di filtro permettendo di diminuire gli effetti tossici di metalli pesanti e pesticidi. Vedendo nel dettaglio le singole funzioni, la sostanza organica può dar luogo allo sviluppo di aggregati, di dimensioni variabili a seconda delle caratteristiche di tessitura del suolo, ovvero della prevalenza tra le componenti minerali di sabbia, limo ed argilla. Queste particelle possono disporsi e organizzarsi spazialmente grazie all'azione di ioni o cementi organici e inorganici e costituire quella che viene chiamata la struttura del suolo determinando la forma e le dimensioni degli spazi vuoti (o pori) all'interno di questo. La presenza di sostanza organica garantisce una buona porosità, che aumenta l'aerazione e il drenaggio del suolo. Ciò favorisce lo sviluppo delle radici, l'attività della biomassa e l'attuarsi dei cicli degli elementi nutritivi da cui dipende la fertilità del suolo [78].

La conservazione di una buona struttura del suolo ha poi delle implicazioni ambientali connesse con l'erosione. Infatti, lo sfaldamento degli aggregati e il ruscellamento in seguito a violente piogge portano alla perdita degli strati superficiali più ricchi in materiale nutritivo causando l'impoverimento del suolo, fenomeni di eutrofizzazione e interrimento di canali e fiumi. L'asportazione della sostanza organica tende ad aggravare il fenomeno provocando un progressivo aumento della predisposizione del suolo all'erosione. La sostanza organica influenza la capacità di ritenzione idrica non solo perché aumenta la porosità e migliora la struttura del suolo ma anche perché è in grado di trattenere grandi quantitativi di H₂O come acqua di

idratazione. L'acqua trattenuta dalla sostanza organica influenza notevolmente il regime di temperatura del suolo a causa della sua capacità termica. Il suolo infatti si raffredda e si riscalda molto più lentamente quando il contenuto di acqua è elevato. Un fattore molto importante nel determinare la temperatura del suolo è anche il suo colore. Anche bassi contenuti di sostanza organica possono modificare intensamente il colore del suolo perché la sostanza organica può essere finemente suddivisa e ricoprire le particelle argillose [25].

La sostanza organica ha inoltre una forte influenza sul pH del suolo, in quanto provoca acidificazione perché stimola la crescita della biomassa microbica che produce biossido di carbonio acidificando il suolo. Inoltre le radici di molte piante rilasciano acidi organici come l'acido ossalico, il citrico, il propionico,... e numerosi microrganismi sono in grado di sintetizzare acidi organici a basso peso molecolare allo scopo di aumentare la solubilità dei silicati e rendere assimilabili gli elementi nutritivi in essi contenuti. Ciò, oltre a portare ad una acidificazione del suolo, accelera i processi di formazione del suolo, come si può osservare spesso sotto le conifere.

La sostanza organica inoltre, favorendo la formazione di una buona struttura e dunque di adeguata porosità, rende ottimali gli scambi gassosi con l'atmosfera e favorisce il drenaggio. La sostanza organica, infine, è in grado di formare complessi con numerosi metalli tra cui ferro, magnesio, rame, zinco.

3.2.3 – Processo e parametri di umificazione

La determinazione della qualità della sostanza organica di qualunque biomassa di rifiuto rappresenta un punto cardine per ottimizzare l'impiego agronomico e minimizzare i rischi di inquinamento ambientale. Dal punto di vista chimico, le ricerche in atto riguardano soprattutto la valutazione della maturità ed il problema dell'inquinamento da metalli pesanti. Una buona maturità delle biomasse è un requisito necessario per garantire l'assenza di effetti fitotossici, ed una sufficiente durata dell'effetto ammendante, nonché per ottenere tutti i vantaggi connessi con l'apporto di elevate quantità di sostanze umiche, che svolgono un ruolo di primaria importanza nel rapporto tra piante e terreno.

Contrariamente a quanto spesso riportato da letteratura, il processo di umificazione non appartiene esclusivamente agli stadi finali del processo di stabilizzazione della sostanza organica. Come risulta da analisi con elettrofocalizzazione l'umificazione

dei prodotti della demolizione dei costituenti originari del substrato inizia sin dalle prime fasi, con la formazione di sostanze a basso peso molecolare, per poi dar luogo via via a sostanze umiche sempre più complesse. Le teorie attualmente accettate concordano nel ritenere l'umificazione come un insieme di trasformazioni che portano ad un progressivo arricchimento in gruppi funzionali fenolici di materiali non polifenolici all'origine, oppure all'inglobamento di tal sostanze (proteine, carboidrati,..) in matrici fenoliche. Al progredire del processo di umificazione quindi devono corrispondere da una parte la formazione e l'accumulo di sostanze organiche (di natura per lo più polifenolica), e dall'altra, a causa di un calo di sostanza organica via via consumata nel processo di mineralizzazione, la diminuzione della frazione estraibile della sostanza organica labile (Sequi e Vianello, 1996).

I metodi sino ad ora proposti per il frazionamento della sostanza organica estratta dal terreno, e recentemente applicati anche ad altre matrici come concimi organici, fanghi, compost e reflui zootecnici, portano alla separazione empirica di composti definiti sulla base della diversa solubilità in acidi o in alcali (Ciavatta et al., 1998). Gli stessi acidi umici (HA) e fulvici (FA), riconosciuti come i principali componenti delle molecole umiche, derivano semplicemente da una precipitazione degli HA in ambiente acido ($pH < 2$) per successiva acidificazione dell'estratto alcalino (Sequi et al., 1975). Sequi et al. (1986) hanno proposto l'adozione di un particolare indice di umificazione (HI) che tenga in considerazione anche il contenuto in carbonio della frazione non umificata (NH) :

$$HI = NH/(HA+FA)$$

L'indice risulta quindi tanto più basso quanto maggiore è la quantità di sostanze umiche presenti nell'estratto, ed assume in genere valori inferiori a 0,6-0,5 per substrati umificati...o valori maggiori di 1 per materiali non umificati (compost, reflui zootecnici e fanghi non maturi, concimi organici). Tale indice però, pur prestandosi assai bene alla valutazione di substrati organici di diversa origine, non fornisce alcuna indicazione di tipo quantitativo sulle sostanze umiche presenti. A tal pro, Ciavatta et al. (1998), hanno proposto l'introduzione di due nuovi parametri dell'umificazione, ossia il grado di umificazione (DH):

$$DH = (HA+FA)/TEC \quad \text{con TEC = carbonio totale estratto}$$

ed il tasso di umificazione (HR):

$$HR = (HA+FA)/TOC \quad \text{con TOC = carbonio organico totale}$$

Mentre il DH è direttamente correlato alla quantità di sostanze umiche estratte, il valore dell'HR correla la quantità di sostanze umiche al totale del carbonio organico presente nel campione [26].

L'applicazione di tali parametri ha così permesso di poter seguire la maturazione di una matrice organica nel tempo per valutare quantitativamente la formazione di sostanze umiche durante la maturazione delle biomasse e stabilire con accuratezza il momento della loro completa stabilizzazione (Ciavatta e Govi, 1993). L'impiego dell'Indice di umificazione è dunque un parametro molto importante per poter ad esempio stabilire qual è il momento opportuno per utilizzare con successo in campo tutti quei materiali che necessitano di un preventivo periodo di stabilizzazione (compost in particolare), onde evitare dannosi effetti fitotossici e di ordine ambientale. Determinare l'aliquota di sostanze umiche presenti in un prodotto organico da utilizzare come fertilizzante, inoltre, ha anche un immediato risvolto nel calcolo della quantità da distribuire per ettaro e per anno. I parametri dell'umificazione forniscono informazioni insostituibili sul grado di stabilizzazione raggiunto dalla sostanza organica e sull'entità dell'umificazione, ma contengono poche informazioni sulla qualità delle sostanze umiche presenti; la caratterizzazione qualitativa viene effettuata mediante elettrofocalizzazione (EF) [24].

3.2.4 – Sostanze umiche e fertilità dei terreni

Uno dei fattori più importanti nel determinare la fertilità di un terreno agrario è la sostanza organica. E' ben noto il ruolo cruciale che questa esercita, per natura strutturale e funzionale del suolo e per la nutrizione delle colture, attraverso meccanismi assai complessi. La frazione che fornisce maggior capacità nutritiva alle piante è rappresentata da una forma particolarmente elaborata di sostanza organica indicata come humus, la cui struttura chimica resta in parte a tutt'oggi sconosciuta, sebbene ampi segmenti delle lunghissime catene molecolari da cui è formata siano già stati caratterizzati. Una buona dotazione di sostanza organica, e quindi di humus, sta alla base di una soddisfacente fertilità del terreno, di una buona struttura dello stesso, e garantisce lo svolgimento delle più importanti attività microbiche. Molti terreni hanno un basso contenuto di humus e solo pochi presentano una idonea dotazione di sostanza organica (4-6%).

Le sostanze biologicamente attive contenute nell'humus sono gli acidi umici e fulvici, i quali favoriscono nel medio e lungo termine un netto miglioramento delle caratteristiche fisiche del terreno oltre ad un'ottimizzazione delle sue caratteristiche chimiche; in altre parole:

- ne migliorano la fertilità;
- ne aumentano la capacità di ritenzione idrica;
- ne regolano la temperatura;
- ne bilanciano il pH e la salinità;
- aumentano l'assorbimento dei nutrienti da parte della pianta grazie alla capacità chelante, ossia di cattura, verso gli elementi nutritivi.

Vengono inoltre ad essere stimolate l'attività radicale, la crescita delle piante, la germinazione e la crescita dei frutti, attraverso un aumento dei parametri di resistenza patogena e climatica: questo contribuisce anche ad una riduzione della liscivazione dei suoli. L'aliquota di sostanza organica in un terreno è indice della presenza ed attività di componenti biologiche. La durata della vita dello stesso è direttamente dipendente dagli aspetti qualitativi e quantitativi della sostanza organica nonché dalla sua permanenza. Quando i livelli di sostanza organica vanno più o meno riducendosi, il suolo può subire delle alterazioni morfofunzionali che ne compromettono irreversibilmente la capacità di fungere da substrato per le colture. L'humus, essendo una sostanza polimerica a carattere colloidale, molto porosa e adsorbente, può legarsi agli aggregati argillosi e, come le argille, fornisce al terreno una capacità di scambio cationico e presenta una spiccata tendenza a trattenere le sostanze minerali nutritive quali micro- e macroelementi, oltre ad essere costituita prevalentemente da carbonio e da azoto in forme organiche. Attraverso il processo di mineralizzazione della sostanza organica vengono rimessi a disposizione delle piante l'azoto, il fosforo, lo zolfo,...che quella conteneva, ma allo stesso tempo viene a mancare la sua influenza sulle proprietà fisiche del terreno e, naturalmente, si esaurisce la sua funzione di "magazzino" di sostanze nutritive per le piante coltivate e per le molteplici forme di vita del terreno[8].

3.2.5 – Significato e conseguenze di una progressiva diminuzione di sostanza organica nei suoli

In questi ultimi decenni il contenuto di sostanza organica nei suoli italiani (ed in generale della parte meridionale dell'Europa) sta diminuendo in modo lento ma progressivo. Il processo di impoverimento graduale della fertilità dei suoli è certamente uno degli effetti più vistosi di un fenomeno più generale e complesso che, soprattutto nel bacino del Mediterraneo, sta assumendo dimensioni preoccupanti: la desertificazione (definita come “riduzione o distruzione del potenziale biologico del terreno che può condurre a condizioni desertiche”). Molteplici sono state le iniziative per comprendere le cause principali del fenomeno, dallo studio dei processi in atto alla predisposizione di mezzi per mitigare gli effetti di questo problema. L'Italia, alla luce dei fattori considerati nella Convenzione sulla desertificazione del '77, rientra tra i paesi colpiti da questa forma di degrado del territorio in quanto, soprattutto nelle regioni del meridione, si hanno zone direttamente colpite dalla siccità, mentre le regioni più a nord iniziano a subire i primi effetti negativi delle piogge acide e del dissesto idrogeologico [78]. I dati a tutt'oggi disponibili sulle condizioni del suolo indicano che circa il 27% del territorio italiano è esposto ad un elevato rischio di erosione, uno dei sintomi più significativi della desertificazione, mentre il 69% è esposto ad un rischio dello stesso tipo in misura da lieve a moderata. Tra i fenomeni di degradazione in atto, alcuni assumono particolare rilevanza:

- la salinizzazione;
- l'erosione del suolo;
- la perdita di sostanza organica.

3.2.5.1 - Salinizzazione

Non di rado, ormai, in diverse zone costiere italiane si riscontra un crescente fenomeno di intrusione di acque marine nei corpi acquiferi continentali. Questa situazione determina una progressiva ma costante distribuzione e concentrazione di sali nei terreni agrari delle aree in questione.

3.2.5.2 - Erosione

Dai dati a disposizione emerge in maniera preoccupante che più di un quarto del territorio italiano è soggetto a fenomeni erosivi, in relazione alla conformazione

orografica-litologica dei contesti territoriali che favoriscono l'asportazione di terreno sotto l'azione dell'acqua (pioggia battente e scorrimento superficiale) e del vento.

3.2.5.3 - Diminuzione del contenuto di sostanza organica

Quest'aspetto è di importanza primaria nel tentativo di determinare il grado di potenziale desertificazione di un suolo. La sostanza organica garantisce la stabilità strutturale del terreno, la ritenzione idrica, la vita microbica, e rappresenta dunque la componente più interessante della fertilità complessiva di un suolo coltivato. Negli ultimi decenni si è potuto riscontrare una progressiva diminuzione del contenuto in sostanza organica dei terreni nel sud dell'Europa. In talune regioni, per cause dovute ad un eccessivo sfruttamento della "risorsa terreno", sono venuti a mancare i "ricarichi" periodici di sostanza organica (in particolare letame) finalizzati al ripristino della dotazione di carbonio organico, il quale, in via del tutto naturale, viene di volta in volta mineralizzato. L'European Soil Bureau, ente europeo per lo studio dello stato dei suoli, ha messo a punto una mappa del territorio europeo discriminando sulla base di un contenuto in carbonio organico dei suoli coltivati (strato 0-30 cm) maggiore o minore del 2%. Da tale mappa risulta molto chiaramente la situazione dei territori dell'Europa del sud (area mediterranea) dove mediamente il 74,6% del territorio ha un contenuto inferiore al 2% in carbonio organico. L'Italia appartiene a questa categoria con l'86,4% circa del territorio nazionale nella condizione detta. Molteplici si presentano le azioni da intraprendere per mitigare l'avanzata di questo fenomeno:

- monitoraggio dello stato dei suoli, per definirne il tenore di sostanza organica, la suscettibilità all'erosione ed il rischio di salinizzazione degli stessi;
- quantificazione delle esigenze dei suoli relativamente al reintegro della dotazione in sostanza organica;
- allestimento di un inventario delle fonti di sostanza organica potenzialmente destinabili ai suoli (es. biomasse agricole, frazioni organiche provenienti da raccolta differenziata alla fonte, biomasse di scarto dell'attività agro-industriale, biomasse da RSU,...), con relativa definizione delle quantità disponibili, delle caratteristiche chimico-fisiche e delle condizioni di valorizzazione per il riutilizzo in agricoltura.

Nel quadro degli interventi individuati dalla citata prima comunicazione nazionale, al fine di contenere i processi di degrado dei suoli, si segnala il ruolo importante assegnato a pratiche finalizzate al mantenimento e all'incremento della fertilità, quali l'adozione di pratiche di ammendamento con compost [1].

3.2.5.4 - Pratiche per la conservazione ed il miglioramento della dotazione di sostanza organica

Il Compost di qualità, derivato dal trattamento di scarti organici selezionati alla fonte (es. da raccolta differenziata in ambito urbano, da matrici agroindustriali, da fanghi di depurazione selezionati, ...), rappresenta una nuova importante fonte di sostanza organica in quanto va ad affiancare, nell'uso, altre matrici (quali ad esempio gli Ammendanti tradizionali tipo letami, concimi organo-minerali,...), rendendosi disponibile per operazioni di mantenimento o ricarica di sostanza organica nei suoli, insieme ai tradizionali sovesci ed alle rotazioni delle colture. Il compost, proprio per il fatto di rappresentare tra i fertilizzanti organici un prodotto innovativo, si colloca sul mercato con caratteristiche tecniche e commerciali assolutamente inedite [1].

4. RECUPERO DI SOSTANZA ORGANICA DA BIOMASSE DI RIFIUTO

Sia il compostaggio, sia il trattamento biologico dei rifiuti hanno recentemente evidenziato, in Italia, un periodo di rapido sviluppo a seguito delle strategie delineate dal Dlgs 22/97; tal decreto, infatti, va ad introdurre anche in Italia – a mimesi di quanto avviene già da anni in numerosi paesi dell'Europa centro-settentrionale, ed in coerenza con le disposizioni delle direttive e dei piani di azione comunitaria sanciti dalla commissione UE – il concetto di “gestione integrata dei rifiuti”, secondo cui la priorità d'azione viene assegnata, oltre che alla riduzione all'origine dei rifiuti, alla raccolta differenziata intesa come recupero di materia, incluso il compostaggio degli scarti organici. Circa la gestione della frazione organica, il VI Programma d'Azione comunitario precisa, infatti, che tale tipologia di rifiuto deve essere riciclata e reimpressa, dopo un adeguato trattamento biologico, nell'ambiente al fine di garantire un apporto di sostanze utili per i terreni; tale programma individua, inoltre, tra le azioni specifiche volte ad incentivare il riciclaggio, la definizione, a livello europeo, di una specifica regolamentazione sui rifiuti biodegradabili e la revisione della direttiva sui fanghi di depurazione [47].

I rifiuti biodegradabili, per quantità e qualità, rappresentano un importante flusso di materiali che, se correttamente gestito, può concorrere alla drastica riduzione dello smaltimento in discarica (in linea con quanto predisposto dalla direttiva 99/31/CE), e all'innalzamento delle quote di rifiuti riciclati, con conseguente riduzione degli impatti complessivi generati sull'ambiente.

Tra le componenti di RSU che sono oggetto di raccolta differenziata ai fini di produrre compost, riveste un ruolo importante la frazione organica. Ogni progetto di raccolta differenziata che abbia tra i suoi obiettivi il recupero della frazione organica a fini agronomici, deve prevedere una indagine conoscitiva finalizzata alla creazione di flussi omogenei di rifiuti, alla riduzione o eliminazione della possibile commistione con materiali indesiderati (vetro, plastica, ferro, metalli pesanti, ...). Tale indagine dovrà appurare :

- a) quantità di scarti ed eventuale disponibilità stagionale degli stessi;
- b) costi attuali di smaltimento e forme di riutilizzo;
- c) numero, tipologia e localizzazione dei produttori di rifiuti comportabili;
- d) caratteristiche analitiche dei rifiuti;
- e) ciclo produttivo da cui derivano le matrici compostabili (verifica della presenza di sostanze tossiche o problematiche, ad esempio fitotossiche);
- f) composizione delle miscele di partenza in previsione della qualità finale del compost;
- g) identificazione delle possibilità di mercato per i compost prodotti.

I materiali idonei al compostaggio, rientrano in genere, in categorie quali:

- scarti vegetali;
- rifiuto ad elevato contenuto di sostanza organica biodegradabile derivabili da attività produttive, commerciali, di servizio;
- frazioni organiche provenienti da utenze domestiche;
- fanghi di depurazione urbani ed agroalimentari;
- deiezioni zootecniche.

Una consistente quota di questi è costituita dall'organico proveniente dalle RD per le quali, però, è ancora a tutt'oggi problematica un'efficiente selezione e gestione post-raccolta [8].

4.1 LA RD COME STRUMENTO DI RECUPERO DI MATRICI ORGANICHE DESTINATE AL COMPOSTAGGIO

Il rifiuto urbano a causa della sua eterogeneità, dovuta per lo più ad un'estrema varietà dei flussi di materiali captati attraverso il sistema delle famiglie e delle imprese, può essere considerato come un materiale ad elevata entropia.

Fino a quando nei servizi di gestione e smaltimento dei rifiuti prevarrà l'aspetto sanitario (ossia il problema del pronto allontanamento del rifiuto dall'ambito domestico), e questo sarà considerato in maniera del tutto indipendente dalle esigenze connesse con i successivi trattamenti di cui il rifiuto necessita, l'eterogeneità dei consumi si trasferirà, inevitabilmente al flusso rifiuti, consegnando alla fase di trattamento un materiale indistinto. Quest'ultimo, assieme ai materiali suscettibili di valorizzazione, comprenderà materiali indesiderati, quali inerti e, talvolta, matrici

potenzialmente inquinanti in quanto in grado di rilasciare elementi xenobiotici, elementi cioè estranei ai cicli biogeochimici naturali [6].

I sistemi di selezione meccanica sono solitamente caratterizzati da un rendimento specifico che pur aspirando alla completa separazione delle singole componenti del rifiuto, denunciano rendimenti piuttosto bassi intermini di efficienza. Una separazione ideale dovrebbe consentire il passaggio nel sottovaglio del solo flusso di materiali organici (100% di passaggio), relegando nel sopravaglio le componenti non compostabili (0% di passaggio), o viceversa. Alcuni sistemi per l'ulteriore incremento del processo di separazione (come ad esempio, l'affinamento dimensionale e/o la separazione densimetrica), pur mirando a migliorare lo stato qualitativo dell'organico recuperato, non riescono tuttavia ad assicurare una separazione assoluta dalle altre frazioni. Si avrà, perciò, da un lato, un organico ancora piuttosto contaminato da materiali non desiderati (macro- e microinquinanti), e dall'altro, un flusso di frazioni non compostabili commiste a quantitativi non trascurabili di organico putrescibile.

Nei sistemi intesi alla produzione di Compost di qualità, è dunque assolutamente necessario consegnare alla filiera di processo un flusso di matrice organica con il minimo di contaminazione da materiali indesiderati. La separazione di parte delle frazioni secche (carta, plastica e vetro) consente una leggera concentrazione dell'organico all'interno del rifiuto residuo. Tuttavia, questo contiene ancora in prevalenza materiali non compostabili [11].

Valutando, in base all'ultimo Rapporto APAT-ONR sui Rifiuti (2003) i contesti più significativi del panorama nazionale, anche nella situazione più favorevole, vale a dire nelle selezioni mirate con vagliatura a 60 mm, è possibile ottenere soltanto il 78,5% di materiale compostabile all'interno del flusso di sottovaglio. Ciò significa che si ha ancora la presenza del 21,5% di materiali indesiderati e/o contaminanti. Di questi, quelli responsabili di una mera contaminazione fisica del prodotto finale (frammenti vari di vetro e plastica, cocci di materiale inerte, ...) potranno essere in buona parte allontanati attraverso un'accurata vagliatura a fine processo; gli altri, quelli cioè in grado di rilasciare sostanze tossiche nell'ambiente (metalli pesanti, microinquinanti organici, ...), finiscono invece per rappresentare una contaminazione permanente del compost. Si tratta di percentuali di materiali estranei ben più elevate di quelle generate da sistemi di raccolta differenziata alla fonte (anche di media efficacia). La raccolta differenziata non può dunque essere trascurata da chi deve pianificare la gestione dei rifiuti finalizzata al recupero di materia, di cui il

compostaggio è un aspetto preminente. Risulta dunque essenziale, al fine di promuovere la qualità dei flussi avviati al sistema di riciclaggio, quanto segue:

- semplificare le operazioni di pre- e post-trattamento, migliorando la gestione complessiva dei materiali presso le stazioni di trattamento;
- diminuire i rischi di contaminazione della matrice organica, influenzando in maniera sostanziale sulla qualità del compost finale;
- contribuire agli obiettivi di raccolta differenziata, secondo le indicazioni apportate dal DLgs 22/97 [47].

In Italia, la recente normativa sopra riportata ha dato un forte impulso alla ridefinizione delle strategie di gestione integrata dei rifiuti. Il DLgs 22/97 stabilisce infatti un obiettivo di raccolta differenziata a medio termine del 35%. Questa disposizione di legge ha fortemente promosso lo sviluppo della raccolta differenziata dei rifiuti organici, i quali, costituendo una frazione importante del rifiuto, contribuiscono in maniera sostanziale (una volta intercettati) al raggiungimento degli obiettivi indicati. L'attivazione di raccolte differenziate "secco-umido", ossia basate sulla separazione alla fonte della frazione "umida" (quella alimentare) del rifiuto urbano, ha introdotto in Italia criteri operativi già da tempo attuati in numerosi Paesi Europei. In particolare, negli Stati centrali dell'Unione Europea, la valorizzazione degli scarti organici mediante compostaggio costituisce la regola, non certo l'eccezione. Questi Paesi hanno da tempo introdotto, progressivamente ma diffusamente, la separazione dei residui organici come priorità nei sistemi integrati di gestione dei rifiuti. La Germania, per esempio, ha introdotto in maniera sistematica la separazione alla fonte del "rifiuto biologico" fin dalla metà degli anni '80, allo scopo di trovare una soluzione al problema della contaminazione della frazione organica a causa dei microinquinanti. Ciò, a seguito del contenuto elevato in elementi potenzialmente pericolosi riscontrato nel flusso di organico ottenuto con i primi tentativi di recupero della frazione putrescibile dei rifiuti urbani mediante processi di selezione meccanica a valle della raccolta [45].

4.1.1 – Sistemi italiani di raccolta differenziata

Le esperienze di raccolta differenziata degli scarti organici compostabili già attive in Italia hanno ampiamente dimostrato la possibilità di applicare efficacemente anche nel nostro Paese strategie e sistemi già sviluppati in altri contesti europei. Anzi, va

addirittura sottolineato che la specificità delle scelte operative adottate nei modelli di raccolta diffusi in Italia ha consentito di intervenire su l'affinamento ed il miglioramento di alcuni aspetti precedentemente affermatasi nelle tradizionali raccolte d'oltralpe. L'attenzione nei confronti di materiali organici fermentescibili, e più precisamente verso i flussi di scarti alimentari (raccolte "secco-umido"), rappresenta un ottimo motivo per l'introduzione di modelli di raccolta differenziata integrata. Ciò finisce per influire sulla gestione complessiva sia delle altre frazioni riciclabili, sia dei RU indifferenziati. In Italia, vengono raccolti a domicilio soltanto "scarti di cucina", spesso definiti semplicemente come "umido". In Germania, Austria ed altre nazioni del Nord-Europa, si raccoglie "bioabfall" (rifiuto biologico); in Olanda "GFT" o "VGF" ("Groen, Fruut, Tuinavfal" o "Vegetable, Garden, Fruit"), ossia una miscela di residui del giardinaggio e della porzione cruda dello scarto alimentare). Dunque, in tutti questi Paesi, accanto allo scarto di cucina, vi è generalmente una larga prevalenza di residui del giardino, di cui viene consentita la consegna al servizio di raccolta, mediante il posizionamento, presso le villette con giardino, di bidoni di volume sufficientemente grande. Quando, da un lato, si considera lo scarto di tipo alimentare (umido in s.s.) e, dall'altro, il materiale ligno-cellulosico di cui sono costituiti prevalentemente i residui del giardinaggio, alla diversità merceologica corrisponde una sostanziale specificità in termini di reattività biologica. Tale diversità si traduce anche in procedure specifiche per l'articolazione del sistema di raccolta.

La densità apparente caratteristica dei materiali dei due flussi di scarti, in quanto assai diversa l'una dall'altra, impone l'impiego di veicoli-compattatori per la raccolta dei residui verdi, mentre consente l'impiego di veicoli normali per lo scarto alimentare.

D'altra parte, la problematicità della gestione dello scarto alimentare deriva dalla spiccata fermentescibilità ed dall'elevato contenuto in acqua. Ciò impone di individuare mezzi, sistemi e frequenze di raccolta che si traducano in condizioni di assoluta praticità e garanzia di igiene per l'utente del servizio, stimolandone così la partecipazione. A questo proposito giova osservare il fatto che nei Paesi del centro-nord Europa è normale riscontrare quote di recupero che si situano, anche in territori estesi, attorno ai 150-200 Kg/ab/anno e persino oltre. Tale situazione, se da una parte è attribuibile alla maggiore incidenza delle superfici private a giardino, dall'altra risente soprattutto della relativa comodità di consegna dello scarto verde ai circuiti pubblici di asporto, mediante gli stessi bidoni adottati per la raccolta dello scarto alimentare, a domicilio. Ciò porta, di contro, a disincentivare il compostaggio

domestico e ad aumentare artificiosamente le percentuali di frazione organica differenziata. In questo modo viene gonfiata la produzione complessiva di RU, della cui gestione e smaltimento si devono far carico le Amministrazioni locali. In tali situazioni non è raro imbattersi in produzioni unitarie di rifiuto dell'ordine di 600-650 kg/ab/anno (situazioni analoghe si possono verificare anche in alcuni contesti italiani) [8].

4.1.1.1 - Raccolta del verde e compostaggio domestico

I residui della manutenzione del verde costituiscono un flusso di materiali compostabili che incide in misura variabile sul totale dei RU, a seconda dell'assetto urbanistico in cui si opera. Questi residui, laddove non vengano predisposti circuiti dedicati per l'intercettazione, tendono inevitabilmente ad incrementare la produzione complessiva di rifiuto urbano, specialmente nei periodi primaverile-estivo ed autunnale. Sulla scorta di tali considerazioni, la Regione Lombardia ha introdotto nel 1994, per la prima volta in Italia, l'obbligo della raccolta differenziata dello scarto verde. Grazie ad una messe di dati storici relativi a questo tipo di raccolta, è oggi possibile affermare che l'intercettazione unitaria dei residui da giardinaggio si colloca tra i 20-30 ed i 70-90 Kg/ab/anno, sempre in relazione alla tipologia abitativa prevalente nell'insediamento urbano considerato. Anche il Piemonte ha introdotto, nel 1997, il divieto di conferimento dei residui verdi in discarica, accompagnato dall'obbligo di raccolta differenziata a partire dal gennaio 1998.

Bisogna tuttavia considerare che le rese possono essere sensibilmente influenzate da una serie di fattori:

- in senso positivo, dalla graduale introduzione ed affermazione del compostaggio domestico, il quale tende ad intercettare soprattutto gli scarti delle utenze con giardino;
- in senso negativo, dalla bruciatura o da altre attività improprie di smaltimento, gestite spesso (e soprattutto per i residui di potatura) direttamente presso le utenze o fuori dal contesto urbano.

Va ricordato che allo scopo di “governare” il sistema evitando un conferimento eccessivo di scarti di giardino al servizio di raccolta, il modello di asporto italiano prevede, in generale, che la domiciliarizzazione del servizio venga accompagnata dalla separazione dei circuiti di raccolta del verde e dell' “umido”. Ciò è possibile ricorrendo ad un sistema di conferimento dei residui verdi centralizzato ovvero alla

raccolta domiciliare degli stessi con frequenza differita rispetto all'asporto degli scarti alimentari (sistema "intensivo" con raccolta a domicilio ad elevata frequenza) [8].

Una simile strategia consente un corretto dimensionamento dei contenitori per la raccolta dell' "umido", adeguato alle necessità reali di intercettazione degli scarti di cucina, proprio grazie alla eliminazione del fattore di stagionalità del flusso dei residui verdi. Altri ricadute importanti derivanti dalla separazione dei flussi "umido"/"verde" sono:

- l'individuazione di criteri specifici di raccolta per l'"umido" in considerazione della fermentescibilità e della densità apparente elevate (adozione di sacchetti a perdere, impiego di automezzi privi di compattatore);
- l'ottimizzazione dei costi di gestione dei due circuiti di intercettazione, attraverso l'adozione di economie tarate specificatamente sullo scarto "verde" (semplificazione dei sistemi di raccolta, diminuzione delle frequenze nella raccolta domiciliare, impiego di automezzi-compattatori, minori tariffe praticate dagli impianti di compostaggio per il conferimento);
- l'incentivazione, se sostenuta da un programma di promozione, del compostaggio domestico nelle abitazioni con giardino.

4.1.1.2 - Raccolta dello "scarto umido"

L'organizzazione di un circuito di raccolta differenziata degli scarti alimentari domestici deve partire dalla fondamentale considerazione di due elementi nodali, la putrescibilità e l'elevato contenuto d'umidità di questa frazione.

Nel panorama italiano, la risposta che è stata data a questi elementi di problematicità prevede:

- l'adozione di elevate frequenze di raccolta (generalmente una o due volte/settimana, a differenza di quelle settimanali o quindicinali preferite in Centro-Europa);
- la domiciliarizzazione della raccolta, per rendere il servizio comodo all'utente, stimolare la partecipazione ed incrementare così le rese di intercettazione;
- l'adozione di contenitori trasparenti, per l'ispezione visiva della qualità del materiale conferito, ed a tenuta (sacchetti in materiale plastico, in genere, biodegradabile).

L'uso dei sacchetti, combinato alla distribuzione di secchielli di piccola capienza per il posizionamento del sacchetto, efficacissimi al fine di obbligare una prima selezione dimensionale del materiale introdotto nel circuito, si è rivelato un importante fattore

di successo ed efficacia sulla resa quali-quantitativa dei sistemi di raccolta differenziata. La cura dei bidoni, invece, viene infatti assegnata direttamente agli utenti. Il sistema dei sacchetti consente di raccogliere anche le frazioni del rifiuto ad elevata fermentescibilità, quali scarti cotti e di origine animale (carne, pesce, pasta, ...). Spesso tali frazioni costituiscono, in molti Paesi del Centro-Europa, un vero e proprio problema operativo, per le difficoltà connaturate proprio alla loro putrescibilità. Così, ad esempio, in Olanda, la raccolta separata delle frazioni organiche si riduce generalmente alla separazione di scarti di frutta, verdura e di giardino (raccolte “GFT” o “VGF”) e tale modello è diffusamente presente anche in Germania (raccolte “vor dem Teller” o “prima del piatto”). I risultati sono riassumibili in un 30-40 %, con punte del 50%, di scarto organico nel “rifiuto Residuo” (“Restabfall”) delle raccolte, a fronte del 10-25% tipico per i sistemi adottati in Italia. Proprio nei climi mediterranei questo dato distintivo è importante in quanto la riduzione della porzione fermentescibile consente una sostanziale riduzione delle frequenze di raccolta del “rifiuto residuo”.

4.1.1.3 – Raccolta domiciliare o accentramento dei punti di prelievo

In generale, sulla base delle esperienze maturate, è possibile affermare che il servizio di raccolta a domicilio presso le famiglie consente una razionalizzazione ed una ottimizzazione del sistema di intercettazione, grazie soprattutto a:

- una migliore qualità del materiale raccolto (quindi, minori tariffe per il conferimento agli impianti);
- diversione più spinta delle frazioni organiche e dunque possibilità di gestire un rifiuto residuo “secco” a basso contenuto di materiali fermentescibili, con conseguente riduzione delle cadenze di raccolta;
- trasferimento all’utente di alcune delle funzioni operative maggiormente costose connesse con il sistema, quali la cura ed il lavaggio dei contenitori.

In alcuni comprensori la raccolta “secco-umido” è stata invece organizzata mediante la predisposizione di “punti di accentramento”, rappresentati da contenitori stradali di dimensioni da medio-grandi a molto grandi, allo scopo di diminuire i punti di prelievo e così ridurre, almeno nelle intenzioni, i costi del circuito. La collocazione stradale e la volumetria dei contenitori, che non sono in grado di costringere ad una selezione dimensionale del materiale introdotto, avevano inizialmente comportato un palese insuccesso rispetto alla qualità del materiale raccolto. La messa a punto del

sistema ha portato alla successiva adozione di cassonetti dotati di chiusura con apposito chiavistello in dotazione ai cittadini. In sintesi, questo modello organizzativo di raccolta, basato sul conferimento dei rifiuti organici in luoghi deputati, presuppone un notevole grado di partecipazione “volontaria” da parte di chi è interessato, a fronte di una “esclusione” di fatto degli utenti non sensibili. Ciò si traduce in evidenti ricadute positive sulla qualità del materiale conferito. Una campagna capillare di informazione e sensibilizzazione della popolazione può produrre interessanti risultati anche sul fronte della quantità dei materiali recuperati; questa risulta tuttavia, come è facile intuire, sensibilmente inferiore rispetto ai sistemi “a partecipazione obbligatoria”, cioè quelli a domicilio. Inoltre, la raccolta basata sui centri di accumulo risulta fortemente sbilanciata a favore dello “scarto verde” [8].

Sulla base di quanto sopra detto, è importante richiamare l’attenzione su due potenziali effetti negativi associati a questo tipo di raccolta:

- la minore intercettazione di scarto alimentare determina una non trascurabile fermentescibilità del rifiuto “secco” residuo: ciò non consente di diminuire la cadenza di raccolta. Si avrà, di conseguenza, un costo “aggiuntivo” determinato dalla raccolta differenziata dell’“umido”, senza peraltro poter eliminare del tutto quello relativo al rifiuto indifferenziato. È utile qui ricordare che con un sistema “integrato”, l’introduzione della raccolta dell’umido dovrebbe almeno comportare una diminuzione dei turni di asporto del “secco residuo”, tale da garantire una sostanziale invarianza dei costi complessivi del servizio.
- la forte prevalenza di scarti vegetali a bassa densità apparente costringe ad impiegare automezzi dotati di compattatore. Anche su questo fronte, non possono perciò essere perseguiti quei sensibili abbattimenti dei costi derivanti, nelle raccolte a domicilio, dall’impiego di macchine operatrici per il trasporto meno complesse [56].

4.2 IMPIANTI DI COMPOSTAGGIO E SCARTI ORGANICI TRATTATI

4.2.1 – Evoluzione e trend del settore compostaggio

Dall’ultimo Rapporto Rifiuti APAT-ONR (2003), è possibile desumere statisticamente i numeri del Sistema Compostaggio in Italia. Il numero di impianti di compostaggio da alcuni anni ha superato le 200 unità operative (237 impianti per la produzione di ammendante compostato ai sensi della L 748/84 nel 2002): a partire dai primi anni ’90 si è potuto registrare un costante incremento sia di tali impianti,

sia di centri per il trattamento meccanico-biologico (TMB) volti alla produzione di biostabilizzato. Allo stesso tempo, anche i quantitativi di materiali trattati hanno subito una rapida ascesa tanto è che a tutt'oggi la potenzialità media di trattamento degli impianti di compostaggio si attesta su oltre 12.000 tonn/anno, una quota raddoppiata nell'ultimo decennio di attività. In realtà, d'altro canto, la distribuzione di tale impianti sul territorio nazionale non appare per nulla omogenea, in quanto si denota una maggior concentrazione di tali postazioni di trattamento rifiuti nell'Italia settentrionale (oltre 1.500.000 tonn/anno di scarti organici trattati in impianti di compostaggio risultano esclusivamente da Lombardia, Emilia-Romagna e Veneto), seppure si riscontrino anche nel Meridione situazioni recenti particolarmente interessanti (Puglia, Campania). In Italia il totale delle biomasse di scarto sottoposte a trattamento in impianti di compostaggio ammonta a circa 2.900.000 tonn/anno (2003): tra queste, si evidenzia l'importanza delle frazioni organiche raccolte in ambito urbano (frazione vegetale, e scarto alimentare da utenze domestiche e collettive), frazioni in rapido incremento di anno in anno. Grazie alla raccolta differenziata, infatti, tesa al raggiungimento degli obiettivi fissati dal DLgs 22/97, nei RSU la matrice organica ha assunto un ruolo primario con percentuali comprese tra il 30% ed il 40% in generale. Tale frazione rappresenta quindi una quota fondamentale nei processi per la produzione di compost che, se derivante dal trattamento di scarti organici selezionati alla fonte, può essere commercializzato come ammendante per arricchire di sostanza organica i suoli. Circa il 60% degli scarti compostati in Italia (2002) deriva da biomasse provenienti da raccolta differenziata in ambito urbano [1].

► Dal Rapporto Rifiuti APAT-ONR 2003 inerente il sistema compostaggio:

- produzione annua totale RSU	→ 29.787.587 tonn
- produzione annua RSU/abitante	→ 522,6 Kg/ab/anno
- raccolta differenziata	→ 19,1% (Italia)
	→ 30,6% (nord); 14,5% (centro); 6% (sud)
- “umido” conferito da RD	→ 854.361 tonn (30% tot)
- verde conferito da RD	→ 841.560 tonn (30% tot)
- RSU a discarica	→ 67,1%
- RSU per compost + CDR	→ 12,7%
- potenzialità trattamento imp. comp.	→ 5.237.866 tonn
- quantitativi trattati imp. comp.	→ 2.824.000 tonn

- stima compost prodotto → 850.000 – 950.000 tonn
- potenzialità media impiantist. (hyp) → 22.101 tonn
- potenzialità media impiantist. (reale) → 11.916 tonn

4.2.2 – Ricerca per la valorizzazione del compost

Considerando il compost di qualità quale prodotto vero e proprio che, grazie alle sue molteplici proprietà, può trovare utilizzi diversificati più o meno specialistici (divenendo in tal modo non più un materiale di risulta della trasformazione di rifiuti ma, al contrario, un prodotto di processo produttivo a carico dei rifiuti per l'ottenimento di un materiale ad uso agricolo):

▪ compost ed effetto serra

l'utilizzo del compost in agricoltura permette il sequestro del C dal suolo, riducendo di fatto la CO₂ che si viene a formare in atmosfera (l'IPCC, International Panel on Climate Change, indica l'agricoltura come responsabile per il 20% dell'incremento annuale di anidride carbonica nell'atmosfera, soprattutto in seguito al cambio d'uso dei suoli e ad un non corretto reintegro del carbonio perso; questo comporta anche un continuo depauperamento in C dei suoli);

▪ compost e recupero dei suoli degradati

il cambiamento di utilizzo di un suolo, da naturale ad agricolo, può comportare perdite di C sino a 60-80 mg/ha, con tassi del 2-12% annuo, e perdite cumulate pari al 50-70% del contenuto originario. Il GLASOD, Global Assessment of Soil Degradation, raccomanda l'utilizzo di diverse pratiche per reincrementare il contenuto in C nei suoli, tra cui l'apporto di ammendanti organici quali quelli derivati da trattamenti biologici di scarti compostabili e fanghi;

▪ compost e fitodepurazione/bioremediation

la fitodepurazione è una recente biotecnologia che usa piante e microrganismi associati alle piante attivi nell'assorbimento e/o degradazione di molecole tossiche. L'uso di compost in un terreno sembra porsi in antagonismo con l'assorbimento di metalli in seguito alla loro immobilizzazione: tale aspetto suggerisce di utilizzare il compost per il recupero e non per la decontaminazione di suoli contaminati da metalli avendo la possibilità, in seguito al processo immobilizzante, di eliminare l'effetto fitotossico;

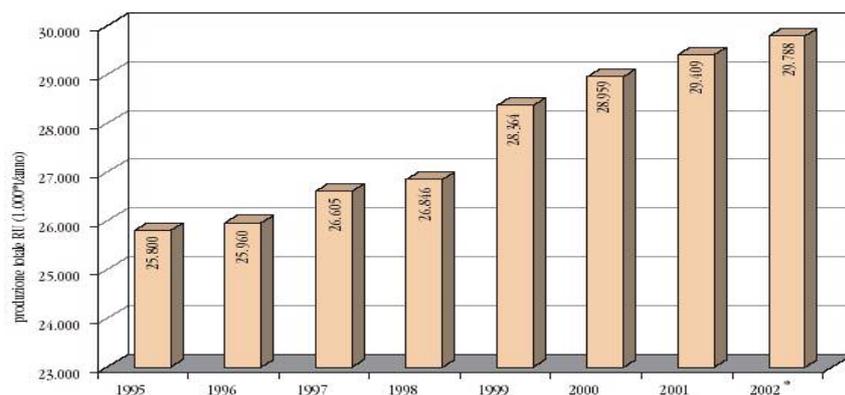
▪ compost e potere repressivo

riguarda la possibilità di controllare patogeni vegetali, per via naturale, per mezzo dell'utilizzo del compost, cui sono ascrivibili effetti repressivi, ossia legati alla minore insorgenza di marciumi radicali per l'instaurarsi di meccanismi competitivi e antibiotici da parte dei microrganismi saprotrofi presenti entro i materiali compostati;

▪ compost e “fertilizzanti pronti all'uso”

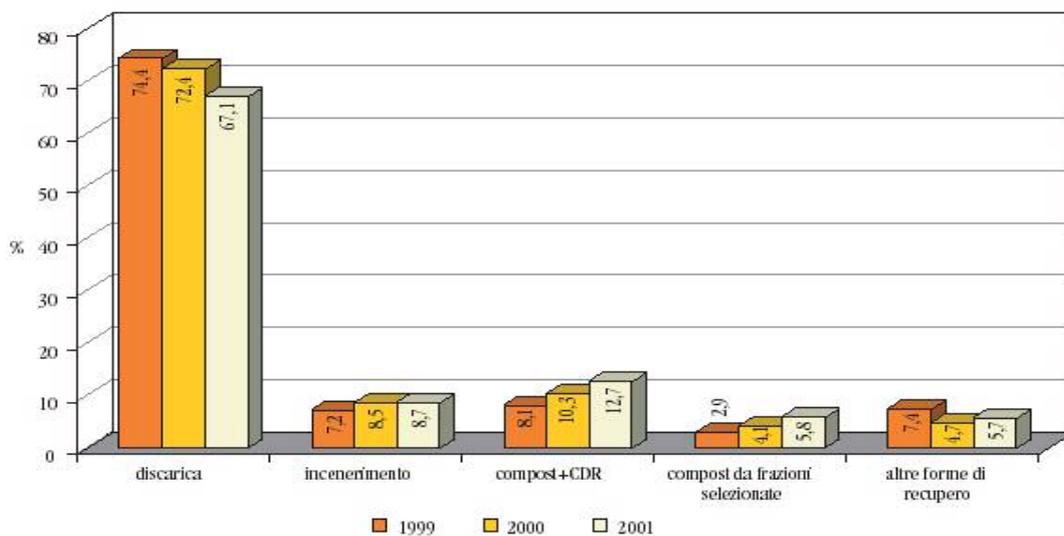
il bisogno di produrre prodotti ad hoc per i differenti ambiti d'impiego (viticoltura, florovivaismo, orticoltura,...) impongono la ricerca di materiali che, aggiunti al compost, possano rappresentare fertilizzanti “pronti all'uso” ad elevato valore aggiunto. Diverse ricerche sono così indirizzate alla produzione di compost “fatti su misura” per utilizzi mirati (compost Fe-P, compost solfonati) [1] [6].

APPENDICE - Dati Rapporto Rifiuti, Trattamenti biologici (APAT-ONR, 2003)

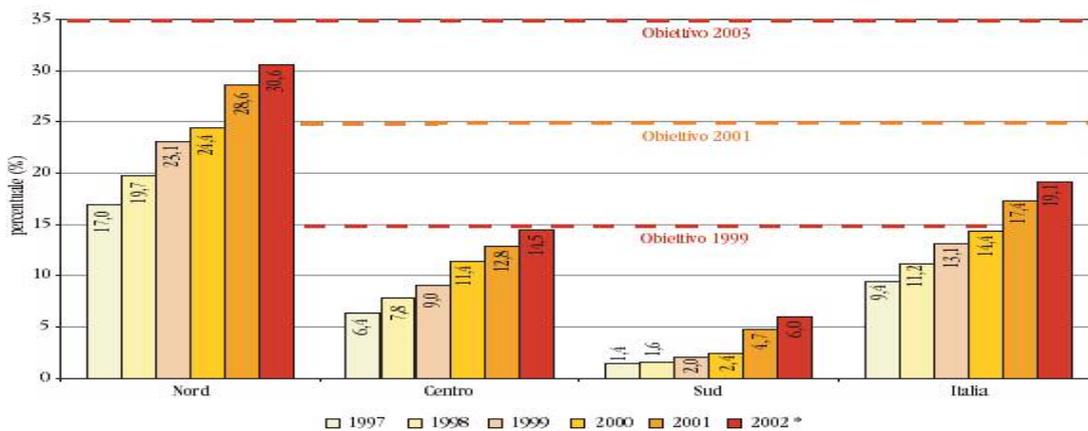


Tipologie di trattamento/smaltimento dei RSU in Italia (trend 1999-

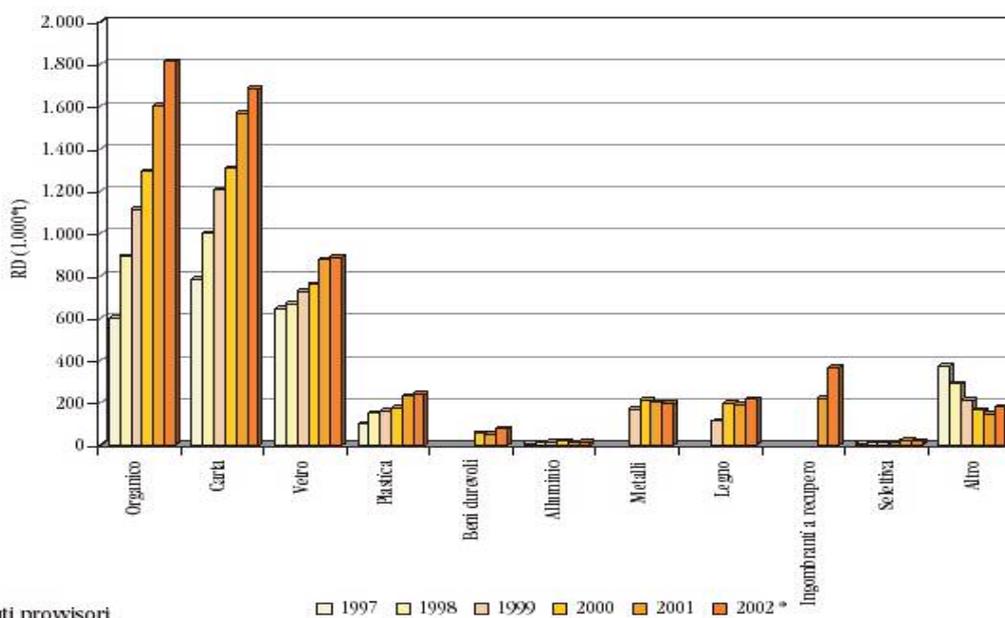
2001)



Raccolta Differenziata RSU in Italia (trend 1997-2002)

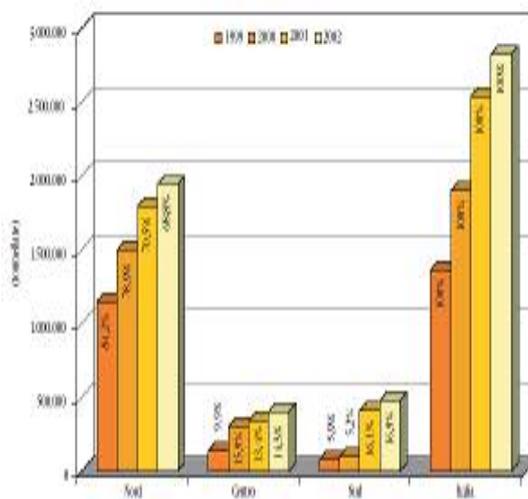


* dati provvisori

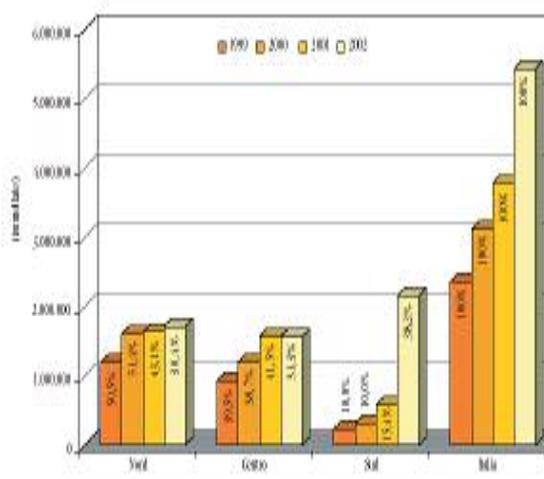


* dati provvisori

Compostaggio da RD dei RSU in Italia (trend 1999-2001)



TMB da rifiuto indifferenziato (trend 1999-2001)



5. TRATTAMENTI BIOLOGICI DELLE FRAZIONI ORGANICHE DA RIFIUTO

Con il termine *trattamento biologico*, s'intendono tutte le operazioni, i processi e le attività a carico di materiali biodegradabili putrescibili di differente natura per i quali, sfruttando le potenzialità degradative e di trasformazione da parte di sistemi biologici (essenzialmente legati all'attività di microrganismi decompositori), è consentita una mineralizzazione delle componenti organiche maggiormente degradabili (processo di stabilizzazione della sostanza organica) ed una igienizzazione (processo di pastorizzazione) della biomassa rifiuto [50].

Scopo di un trattamento biologico è quello di:

► stabilizzare la sostanza organica (minimizzandone la fermentescibilità) mediante un processo di mineralizzazione delle componenti organiche più instabili, processo che porta ad una produzione finale di acqua ed anidride carbonica, e ad un loro necessario allontanamento dal sistema biochimico considerato; grazie a tale processo è possibile garantire la compatibilità tra i prodotti finali e le ipotesi di impiego agronomico o la loro collocazione in ambito confinato (discarica); un prodotto organico definito a norma di legge "prodotto stabile", non produce più, qualora immesso in suolo agricolo, metaboliti (intermedi di degradazione) ad effetto fitotossico, né implica ulteriori consumi di ossigeno (elemento necessario per la degradazione microbica delle componenti organiche "fresche") sottraendolo alle piante e alla microflora presenti nel substrato; in discarica, inoltre, il materiale organico biostabilizzato non comporta massicci processi di degradazione anaerobica a carico delle componenti organiche facilmente degradabili di cui la sostanza organica "fresca" è invece ricca (con conseguente produzione di biogas e percolato ad elevata aggressività);

- ▶ consentire un'igienizzazione pressoché completa della biomassa considerata; questo permette di debellare la maggior parte degli organismi fitopatogeni presenti nei residui vegetali, impedendo che il compost ne diventi vettore, nonché tutta una serie di patogeni umani veicolati normalmente diffusi entro comuni materiali di scarto (es. fanghi civili);
- ▶ ridurre il volume e la massa dei materiali trattati al fine di renderne più agevole ed economico il trasporto e, nel caso di materiale da destinare a smaltimento in discarica, di ridurre il volume occupato rispetto ai rifiuti non trattati [24].

In relazione alle differenti tecnologie considerate e alle modalità di processo assunte, risulta possibile identificare quattro tipologie di trattamento biologico delle frazioni organiche da rifiuto:

1. Compostaggio di qualità, a carico di biomasse selezionate alla fonte, finalizzato alla produzione, in presenza di ossigeno, di materiali utilizzabili in attività agronomiche e commerciabili in coerenza con quanto disposto dalla L 748/84 sui fertilizzanti.
2. Trattamento biologico aerobico di biostabilizzazione e/o bioessiccazione, su matrici organiche di qualità inferiore (frazioni organiche da separazione meccanica del rifiuto indifferenziato (FOS), fanghi biologici con presenza relativamente elevata di metalli pesanti, fanghi di depurazione,...). L'obiettivo di questo processo può risultare come:
 - Stabilizzazione pre-discarica, intesa come “trattamento” in coerenza con la Direttiva 99/31/CE sulle discariche e con l'art.5 c.6 del DLgs 22/97.
 - Produzione di materiali stabilizzati (spesso definibili come “frazioni organiche stabilizzate” o “compost da rifiuti” o “compost grigio”) per applicazioni controllate in attività paesaggistico-ambientali (ripristini ambientali, barriere antirumore,...).
 - Bioessiccazione, ossia asportazione relativamente veloce (15-20 giorni) di gran parte dell'umidità originariamente presente, in modo tale da innalzare il potere calorifico della massa trattata in previsione di eventuali utilizzi energetici; l'obiettivo viene perseguito mediante lo sfruttamento delle capacità di asportazione di umidità da parte delle arie di processo insufflate nella massa, e si avvale comunque del concorso di ulteriori processi di degradazione parziale della sostanza organica, grazie all'aumento delle

capacità evaporative del sistema per il calore biogeno generato dagli stessi processi degradanti.

3. Digestione anaerobica, ossia un trattamento biologico delle biomasse in cui la fase di degradazione intensiva viene gestita in ambiente anossico allo scopo di conservare l'energia biochimica della sostanza organica sotto forma di biogas. Tale processo viene ad attuarsi tanto a carico di matrici organiche di alta qualità, selezionate alla fonte tramite raccolte mirate (nell'ambito di una filiera volta alla valorizzazione agronomica del prodotto), quanto su materiali di qualità inferiore (derivanti da selezione meccanica, o caratterizzati da metalli pesanti contaminanti); in quest'ultimo caso, il digestato (ossia il materiale palabile residuo che risulta dalla fase di digestione finale) può essere utilizzato per un'efficace stabilizzazione pre-discarda, per processi di bioessiccazione, oppure per produrre materiali usati in applicazioni controllate paesaggistico-ambientali. Per il pieno conseguimento di tali obiettivi la digestione anaerobica richiede generalmente l'integrazione con una fase di finissaggio aerobico (ossia una sezione di post-compostaggio del digestato, che altrimenti va gestito come un fango ai sensi e per gli effetti di quanto previsto dal DLgs 99/92 sull'applicazione dei fanghi in agricoltura).
4. Trattamento integrato anaerobico/aerobico, a carico di matrici organiche di differenti qualità, allo scopo di massimizzare le rese del processo di stabilizzazione in funzione dei vantaggi offerti dall'integrazione delle due modalità considerate [1].

La stabilizzazione biologica delle biomasse di scarto è un processo naturale che può essere coadiuvato da una molteplicità di opzioni tecnologiche (fattori di scelta); il settore del compostaggio, e dei trattamenti biologici in generale, risulta oramai fortemente sviluppato a livello nazionale e mondiale, ed questo implica una molteplicità di approcci in relazione a differenti situazioni territoriali, condizioni gestionali, biomasse sottoposte a trattamento specifico, così come all'attenzione volta al contenimento degli impatti ambientali nell'intorno territoriale impiantistico (con particolare riferimento alle molestie olfattive). Molte aziende fornitrici propongono dunque sistemi operativi completi, ossia comprensivi sia delle sezioni ed attrezzature per la bioconversione s.s., sia di sistemi e di strumentazioni specifiche per il pretrattamento (condizionamento della biomassa, selezioni preliminari,...) e/o per il

postrattamento (rimozione di corpi estranei mediante raffinazione dimensionale e/o densimetrica). In altri casi, gli impianti vengono realizzati per composizione di più sistemi operativi, usufruendo, ad esempio, di una determinata tecnologia di processo e inserendo nello schema operativo un pretrattamento atto a massimizzare da un punto di vista funzionale la tipologia di materiale da compostare nell'ambito dei processi di bioconversione tramite quella tecnologia [6].

Tra i differenti approcci possibili, è comunque fondamentale che le scelte progettuali e gestionali vengano operate in considerazione delle varie condizioni poste dal quadro operativo al contorno (localizzazione impianto, capacità operative, tipologia di materiali trattati,...): tutto questo permette di massimizzare l'efficacia di processo e minimizzare i disturbi ambientali. E' dunque opportuno rendere il più possibile coerenti elementi quali:

- tipologia delle matrici da avviare a compostaggio (valutando le caratteristiche della miscela di partenza);
- aspetti del territorio;
- peculiarità di processo (connotati tecnologici del progetto adottato);
- aspetti gestionali (strategie di processo) [8].

5.1 BIOCONVERSIONE AEROBICA DELLA SOSTANZA ORGANICA

Il compostaggio è una tecnica attraverso la quale viene controllato, accelerato e migliorato il processo naturale a cui va incontro qualsiasi sostanza organica per effetto della flora microbica naturalmente presente in ambiente. Si tratta di un processo aerobico di decomposizione biologica della sostanza organica che avviene in condizioni controllate (Keener et al., 1993), grazie a cui si ottiene un prodotto biologicamente stabile in cui la componente organica presenta un elevato grado di evoluzione; la ricchezza in humus, in componente microbica attiva, ed in microelementi del suolo fa del compost (qualora ottenuto da matrici di alta qualità) un ottimo prodotto, che ben si adatta ai più svariati utilizzi in campo agronomico (dal florovivaismo alle colture praticate in pieno campo).

Il processo di compostaggio si compone essenzialmente di due fasi:

- **Bioossidazione**, durante la quale si ha l'igienizzazione della biomassa trattata: è questa la fase attiva (nota anche come high rate phase, o active composting time (ACT)) in quanto caratterizzata da intensi processi di degradazione microbica delle componenti organiche putrescibili più facilmente degradabili.
- **Maturazione**, durante la quale il prodotto si stabilizza arricchendosi di molecole umiche: si tratta della fase di cura (nota anche come curing phase), caratterizzata da processi di trasformazione della sostanza organica la cui massima espressione è la formazione di sostanze umiche [50].

Il processo di compostaggio può riguardare matrici organiche di rifiuti preselezionati (quali la frazione organica raccolta dei rifiuti urbani raccolta in maniera differenziata o i residui organici delle attività agro-industriali) per la produzione di un ammendante compostato da impiegare in agricoltura e/o nelle attività di florovivaismo, ed indicato come “Compost di qualità”. Nel caso in cui il trattamento biologico riguardi rifiuti indifferenziati tal quali per il recupero della frazione organica tramite compostaggio, questi vengono avviati a sistemi di trattamento meccanico-biologico per la produzione della frazione organica stabilizzata (FOS) da impiegare secondo svariate modalità d'utilizzo ma non in ambito agricolo (esce comunque sempre un rifiuto, e non un prodotto qual è l'ammendante Compost di qualità ai sensi della L 748/84) , quali l'impiego per attività paesaggistiche e di ripristino ambientale (recupero di ex cave, barriere anti-rumore), o per la copertura giornaliera delle discariche (capping). Con il compostaggio è quindi possibile stornare una cospicua quantità di rifiuti, altrimenti destinati ad altre forme di smaltimento (discariche e termovalorizzatori), operandone un fondamentale recupero in termini di materia e di energia. Questo sistema risulta perciò un indispensabile complemento alle tradizionali forme di riciclaggio e recupero considerate fin d'ora. Tuttavia, il compostaggio non rappresenta unicamente una mera riduzione di volume di una parte di rifiuti: esso definisce, piuttosto, un'ulteriore soluzione concreta ed efficace (affiancata a quelle già praticate) per chiudere il cerchio del recupero dei residui organici, con notevoli vantaggi per l'ambiente e per gli organismi che in quello vivono. Attraverso il compostaggio viene ad essere recuperata sostanza organica da reintegrare nei terreni, prevenendo in tal modo fenomeni di erosione, incrementando la fertilità biologica dei suoli, e contribuendo al ripristino dei siti contaminati da composti nocivi. Se ai piani di riciclaggio differenziato di materiali da rifiuti urbani, oltre ai tradizionali flussi

della carta, del vetro, dei metalli e delle plastiche, viene aggiunto il recupero della frazione organica putrescibile del rifiuto, non è utopia pensare di poter finalmente raggiungere quei livelli del 60-70% sull'intero quantitativo di partenza, obiettivo di tendenza per migliorare la qualità del vivere sul territorio considerato. L'aspetto più importante di quanto detto, è che al fine di tutto al processo di compostaggio vengono avviati soltanto quelle matrici che risultano compatibili con il trattamento biologico, lasciando aperte tutte le altre filiere per una corretta gestione delle frazioni di rifiuto urbano non compostabile [8].

5.2 DIGESTIONE ANAEROBICA DI RIFIUTI ORGANICI

5.2.1 - Condizioni generali di processo

La digestione anaerobica è un processo biologico complesso grazie a cui, in assenza di ossigeno, si effettua la trasformazione di sostanza organica in biogas (per lo più formato da metano ed anidride carbonica). Il tipo di sostanza organica digerita, così come le peculiari condizioni di processo adottate, determinano le percentuali di biogas che si viene a produrre (50-80%). Il vantaggio che apporta tale processo al sistema è che l'E biochimica contenuta nella sostanza organica, anziché essere liberata sotto forma di calore da allontanare dal sistema, si conserva grazie alla parziale conversione in metano ed è quindi utilizzabile a scopo energetico. Affinché il processo si attui è necessaria, anche in tal caso, la presenza di diversi gruppi di microrganismi in grado di trasformare la sostanza organica in composti intermedi (per lo più acido acetico, anidride carbonica e idrogeno) utilizzabili dalle forme metanogeniche che concludono il processo producendo metano. E' fondamentale mantenere ottimali le condizioni dell'ambiente di reazione in quanto i microrganismi anaerobi presentano basse velocità di crescita e basse velocità di reazione: nonostante questi accorgimenti, la digestione anaerobica presenta tempi di processo relativamente lunghi se confrontati con quelli di altri processi biologici. Tuttavia il vantaggio di questo processo è che la materia organica complessa viene convertita in metano e CO₂ e quindi porta alla produzione finale di una fonte rinnovabile di energia sotto forma di un gas combustibile ad elevato potere calorifico. L'ambiente di reazione, detto reattore anaerobico, per consentire la crescita di tutti i microrganismi

coinvolti, dovrà risultare dalle esigenze mediate dei vari gruppi microbici: pH attorno a 7-7,5; temperatura sui 35°C per batteri mesofili, 55°C per batteri termofili [1].

In uscita dal sistema vi è anche un materiale semitrasformato palabile o pompabile rappresentato dal residuo della biomassa digerita, ed indicato come digestato; al fine di conseguire lo status merceologico ed amministrativo per tale matrice in uscita dal processo, status fondamentale per la commercializzazione e la libera applicazione in coerenza con il dettato della L 748/84, occorre prevedere un successiva fase di finissaggio con maturazione aerobica (post-compostaggio) che garantisca il completamento della fase di stabilizzazione della componente organica. Il digestato, in uscita dalla digestione anaerobica, è infatti meno versatile del compost in quanto a possibili applicazioni in ragione del potenziale fitotossico ancora relativamente elevato (per la presenza di ammoniaca, e per la natura ancora relativamente fermentescibile della sostanza organica residua), per cui va generalmente inteso e gestito come un fango ai sensi e per gli effetti del DLgs 99/92 sull'applicazione dei fanghi in agricoltura. Le applicazioni di elezione del digestato sono dunque in pieno campo secondo le modalità indicate nello "spandimento controllato" come previsto dal DLgs 99/92 stesso (autorizzazione al sito d'impiego, analisi del suolo pre- e post-applicazione, contingentamento delle dosi applicabili,...), mentre il compost può trovare spazi di utilizzo anche in giardinaggio, vivaistica in vaso ed in terra, semine di prati,..., e può essere liberamente impiegato e commercializzato in coerenza con la L 748/84 sui fertilizzanti [49].

5.2.2 - Tecniche di digestione anaerobica

Ne risultano due gruppi principali:

- digestione a secco (dry digestion), quando il substrato avviato a digestione presenta un contenuto di solidi totali (ST) $\geq 20\%$;
- digestione ad umido (wet digestion), quando il substrato avviato a digestione presenta un contenuto di solidi totali (ST) $\leq 10\%$.

Processi con valori intermedi di sostanza secca non risultano comuni, ed in ogni caso possono essere definiti "processi a semisecco".

Il trattamento anaerobico può anche essere suddiviso in:

- a) processo monostadio, quando le fasi di idrolisi, fermentazione acida e metanigena si attuano contemporaneamente in un unico reattore;

b) processo bistadio, quando il substrato organico viene idrolizzato separatamente in un primo stadio, dove avviene anche la fase acida, mentre la fase metanigena avviene in un secondo stadio.

Altre suddivisioni dei processi anaerobici possono risultare in base al tipo di alimentazione del reattore (continua o discontinua), in base al fatto che il substrato all'interno del reattore venga miscelato oppure scorra sequenzialmente attraversando via via fasi diverse (pug flow); la digestione anaerobica può inoltre essere condotta o in condizioni mesofile (circa 35°C), o in condizioni termofile (circa 55°C): la scelta tra queste due condizioni determina solitamente anche la durata (tempo di residenza) del processo (14-30gg nel primo caso, 14-16gg nel secondo).

Il rendimento in biogas, e dunque in E, dell'intero processo risulta molto variabile, ed è in funzione della biodegradabilità della sostanza organica trattata. Circa il trattamento dei RSU a seguito di raccolta differenziata e/o selezionata alla fonte, vengono ad aversi, da letteratura, valori di biogas oscillanti tra 0,40-0,50m³/kg (fase mesofila) e 0,60-0,85m³/kg (fase termofila). In genere, durante la digestione anaerobica, si ottiene una riduzione di almeno il 50% dei solidi volatili alimentati [1].

5.2.3 – Trattamento anaerobico di biomasse da rifiuto

Circa la digestione anaerobica delle frazioni organiche dei rifiuti urbani, sia derivanti da raccolte differenziate, sia da selezione meccanica, si ha che la realizzazione di tali concezioni impiantistiche non è solo finalizzata allo scopo di recuperare energia rinnovabile come biogas, ma anche di controllare le emissioni maleodoranti e di stabilizzare le biomasse prima del loro utilizzo agronomico. In Italia, la normativa in via di definizione sugli incentivi all'autoproduzione di E elettrica da fonti rinnovabili ("Certificati verdi") potrebbe tradursi in un rinnovato interesse verso gli impianti di biogas. Anche il processo di evoluzione nella politica ambientale inerente il settore della valorizzazione energetica delle biomasse, attivatosi in seguito alla Conferenza di Kyoto sulla riduzione dell'inquinamento atmosferico da gas serra (di cui il metano è uno dei principali), può accentuare l'attenzione sul recupero di biogas. Ne deriva quindi la necessità di potenziare e di razionalizzare i sistemi che sfruttano processi di co-digestione anaerobica di biomasse di differente natura (fanghi di depurazione, biomasse di origine zootecnica e agroindustriale, e frazioni organiche derivanti da raccolte differenziate secco/umido dei rifiuti urbani) [47].

5.2.4 – La situazione impiantistica attuale

A livello europeo, la diffusione della digestione anaerobica ha preso piede a partire dal settore della stabilizzazione dei fanghi di depurazione (allo stato attuale sono operativi a livello comunitario circa 600 digestori). Ad oggi tale tipologia di trattamento viene considerata una delle migliori soprattutto per quanto concerne il recupero delle acque reflue industriali ad alto carico organico. Numerosi sono anche i digestori anaerobici operanti su liquami zootecnici, oltre agli impianti di recupero di biogas dalle discariche per rifiuti urbani (la più importante fonte energetica alternativa da biomasse). Negli ultimi anni sta crescendo fortemente anche l'utilizzo della digestione anaerobica nel trattamento della frazione organica raccolta in modo differenziato dai rifiuti urbani (FORSU), in miscela con altri scarti organici industriali e con liquami zootecnici (co-digestione). In Europa, da recenti pubblicazioni, risultano circa 130 impianti di digestione anaerobica che trattano più di 2500 t/anno di frazione organica di rifiuti urbani (sia da raccolta differenziata, sia da selezione meccanica a valle) e/o residui organici industriali, con produzioni annue di circa 1.000 MWh/anno di energia elettrica. In base alle potenzialità di processo degli impianti per il trattamento anaerobico della frazione organica di rifiuti, si stima che l'E potenzialmente recuperabile annualmente dalla biomassa avviabile a digestione anaerobica a livello comunitario è di circa 209 Ma di MWh.

Per valutare le potenzialità e le condizioni d'integrazione dei processi di digestione anaerobica nel sistema integrato dei trattamenti biologici, la digestione anaerobica nel sistema va quindi intesa come sostitutiva delle prime fasi (intensive)

di trasformazione in un complesso aerobico, mentre permane la necessità (al fine di eguagliare i risultati) di dotare l'impianto di una sezione di maturazione finale aerobia, a carico del digestato, con tecnologie estensive.

5.2.5 – Valorizzazione energetica del biogas

Il biogas è una fonte alternativa rinnovabile per la produzione di energia elettrica e calorica. Si ottiene dal trattamento anaerobico dei rifiuti agroalimentari e viene utilizzata per l'alimentazione di potenti generatori che rappresentano l'elemento finale del processo. Il biogas deriva dalla fermentazione anaerobica di sostanze organiche e l'intero procedimento può considerarsi neutrale all'anidride carbonica, con un bilancio di emissione e consumo di CO₂ praticamente nullo. In concomitanza

alla produzione di un valido prodotto finale destinato a valorizzazione agronomica, il biogas prodottosi entro il fermenter per la digestione anaerobica, viene usato in cogenerazione grazie all'ausilio i motori a gas con generatori di corrente e scambiatori di calore. Come fonte rinnovabile non fossile, il biogas permette non soltanto un autonomia energetica all'impianto stesso, ma anche una graduale riduzione dell'attuale inquinamento ambientale e dell'effetto serra. Nel corso della digestione anaerobica la miscela organica si decompone producendo acqua, fanghi stabilizzati e biogas. Il biogas viene utilizzato dall'impianto di cogenerazione che lo trasforma in energia elettrica e termica, mentre il materiale digerato (acqua e fango stabilizzato) transita nei serbatoi di rottura e nei rotostacci per la separazione dei frammenti più grossolani per poi essere disidratato in nastropresse. Da queste fuoriescono: (i) fanghi stabilizzati derivanti dalla digestione della frazione umida "pulita", per la produzione di compost di qualità; (ii) fanghi stabilizzati derivanti dalla frazione umida "sporca", per la produzione di biostabilizzato destinato a coperture e bonifiche; (iii) acqua riutilizzata nel processo di lavorazione.

I vantaggi di un simile progetto d'impianto risultano dunque relativi ad un ottima valorizzazione energetica e di materiale dei rifiuti organici; all'adempimento delle prescrizioni di igiene grazie ad un processo termofilo e alla continuità del processo stesso; alla drastica riduzione delle emissioni odorigene; alla produzione di energia verde e di compost di qualità eccellente. Dati significativi sperimentati su processi anaerobici per materiale in ingresso (umido e verde) pari a circa 10.000 t/anno, hanno portato a risultati con produzione di biogas fino a 3.200 m³/gg, produzione di E fino a 7.000 kWh/gg, e produzione di compost ad uso agricolo fino a 12 m³/gg [8].

5.3 SISTEMI INTEGRATI ANAEROBICO/AEROBICO

A fronte del consolidamento del ruolo del compostaggio aerobico, anche la digestione anaerobica sta ottenendo sempre maggiore attenzione tra le tecnologie qualificate nei processi di trattamento dei rifiuti solidi urbani. Inoltre, in questi ultimi anni, numerosi progetti risultano improntati sulla possibilità di integrare entrambe le fasi precedentemente analizzate (aerobica ed anaerobica), al fine di ottimizzarne i

rispettivi pregi e, allo stesso tempo, minimizzarne gli svantaggi complessivi. Circa gli aspetti favorevoli e sfavorevoli, i due processi possono essere sintetizzati come segue:

- la digestione anaerobica produce energia rinnovabile (biogas) rispetto del compostaggio aerobico che implica un consumo di energia da parte dei microrganismi coinvolti nel processo;
- gli impianti anaerobici sono in grado di trattare tutte le tipologie di rifiuti organici indipendentemente dalla loro umidità, a differenza del compostaggio che invece richiede un certo tenore di sostanza secca nella miscela di partenza;
- gli impianti anaerobici sono reattori chiusi e quindi non vi è rilascio di emissioni gassose maleodoranti in atmosfera, come può avvenire durante la prima fase termofila del compostaggio;
- nella digestione anaerobica si ha acqua di processo in eccesso che necessita di uno specifico trattamento, mentre nel processo aerobico di compostaggio le eventuali acque di percolazione possono essere riciclate come agente umidificante sui cumuli in fase termofila;
- gli impianti di digestione anaerobica richiedono investimenti iniziali maggiori rispetto a quelli di compostaggio;
- la qualità del digestato, in uscita dalla digestione anaerobica, comporta un uso agronomico diverso rispetto al compost aerobico.

Un sistema integrato anaerobico/aerobico può quindi portare notevoli vantaggi al processo in toto, in particolare:

- si migliora nettamente il bilancio energetico dell'impianto poiché si viene ad avere, in genere, un surplus di E prodotta durante la fase anaerobica nettamente maggiore rispetto al fabbisogno impiantistico;
- si ha un migliore controllo qualitativo/quantitativo delle emissioni gassose odorigene (che si riflette sui costi di bilancio): le fasi più maleodoranti vengono gestite entro un reattore chiuso, mentre le arie esauste risultanti sono solo quelle rappresentate dal biogas (utilizzato e non immesso in atmosfera). Il digestato rappresenta già di per se un materiale semi-stabilizzato per cui anche il controllo degli impatti olfattivi durante il post-processo ne risulta agevolato;
- a parità di rifiuto trattato, risulta un minor impiego di superficie utilizzata (considerando sempre gli spazi necessari per il post-compostaggio aerobico) grazie alla compattezza impiantistica delle fasi in anaerobiosi;

- le emissioni in atmosfera di CO₂ vengono notevolmente ridotte, e questo è un aspetto fondamentale considerando che l'attenzione verso trattamenti di rifiuti a bassa emissione di gas serra assumerà sempre maggiore importanza in futuro.

L'inserimento di una fase di digestione anaerobica secondo un ciclo risultante di natura integrata anaerobica/aerobica per i rifiuti organici, risulta quindi molto interessante soprattutto per quegli impianti di compostaggio che, a seguito dell'incremento delle raccolte differenziate secco/umido, vengono a trovarsi nella necessità di aumentare la capacità di trattamento della frazione umida, così come per tutti quegli impianti di compostaggio che si trovano vicino a siti di produzione degli scarti organici agroindustriali e degli effluenti zootecnici (ottimi substrati per produrre sia biogas, sia ammendanti e concimi organici di qualità).

L'integrazione dei processi anaerobici e aerobici nel trattamento dei rifiuti organici rappresenta una soluzione importante sia nella costruzione di nuovi impianti, sia nel potenziamento di quelli già esistenti. In tal senso si indirizza anche l'evoluzione della normativa comunitaria e nazionale che prevede l'emanazione in tempi ragionevolmente brevi, di una norma specifica sui trattamenti biologici [1].

6. IL PROCESSO DI COMPOSTAGGIO

La trasformazione delle frazioni organiche dei rifiuti in un prodotto quale il compost per l'impiego in agricoltura come ammendante, rappresenta una forma di recupero espressamente prevista dalla Direttiva 91/156/CEE sui rifiuti; in tale provvedimento comunitario infatti, viene riportata l'importanza del "...riciclaggio/recupero delle sostanze organiche ...comprese le operazioni di compostaggio e altre trasformazioni biologiche". Il compostaggio, che consiste nel processo controllato di trasformazione microbica di matrici organiche putrescibili in un materiale finale ricco di humus, rientra a pieno titolo tra gli strumenti disponibili in sede di pianificazione della gestione dei rifiuti di una determinata comunità. Attraverso tale processo è quindi possibile stornare una cospicua quantità di rifiuti altrimenti destinati allo smaltimento in discarica ed alla termovalorizzazione: il compostaggio rappresenta dunque un indispensabile complemento alle tradizionali forme di riciclaggio. Un sistema territoriale di gestione dei rifiuti basato sull'integrazione dei sistemi diversificati dei differenti flussi di materiale, non solo consente di ottimizzare i singoli processi abbattendone i costi, ma permette soprattutto di risparmiare sugli oneri aggiuntivi altrimenti derivati, nel medio-lungo termine, dagli interventi di contenimento dei danni ambientali (es. bonifica delle discariche) [48].

6.1 IL CONTESTO NORMATIVO

6.1.1 – Normativa Comunitaria

La normativa in materia di produzione ed impiego del compost è affidata, a tutt'oggi, ai diversi Stati membri non essendo stata emanata alcuna direttiva in materia di

qualità di compost atta ad armonizzare le normative nazionali. Diversi paesi hanno evidenziato il problema della mancanza di una disposizione in materia, soprattutto nel caso del Compost di qualità che può essere considerato prodotto e quindi incluso tra i fertilizzanti ammessi alla commercializzazione. In tal caso, un paese che preveda limiti meno restrittivi di un altro paese può esportare verso quest'ultimo un compost che non rispetti i limiti di commercializzazione se prodotto in loco; come è facile intuire tale problema è ben evidente in sede di Commissione Europea. A livello europeo sono in vigore strumenti normativi inerenti aspetti specifici.

In merito al marchio di qualità ecologica (Ecolabel) per i diversi prodotti, il sistema di assegnazione è individuato dal Regolamento 1980/2000/CE che ha sostituito il Regolamento del Consiglio 880/92/CEE istitutivo del sistema volontario di certificazione di qualità ecologica dei prodotti. Tale atto normativo stabilisce che il marchio di qualità possa essere assegnato a prodotti che contribuiscono in maniera significativa a risolvere problemi ambientali di primaria importanza (art.3), e prevede che i criteri per la sua assegnazione siano individuati per gruppi di prodotti (art.4).

Ai sensi delle procedure per la definizione dei criteri relativi a ciascun gruppo di prodotti, previste dall'articolo 6 del suddetto regolamento, sono state elaborate ed adottate, per gli ammendanti del suolo ed i substrati di coltivazione, una serie di misure individuate dalla Decisione della Commissione 2001/688/CE. Con questa decisione vengono rispettivamente definiti come ammendanti del suolo e substrati di coltivazione i materiali da aggiungere al suolo in situ principalmente per conservarne o migliorarne le caratteristiche fisiche, e che possono migliorarne le caratteristiche o le attività chimiche e/o biologiche ed i materiali diversi dai suoli in situ, dove vengono coltivati vegetali (art.1). Tale decisione individua inoltre, all'All.1, i criteri a cui deve conformarsi un prodotto, ricadente nel gruppo di prodotti definiti all'art.1, per ottenere il marchio di qualità ecologica. L'etichetta ecologica europea certifica che il prodotto a cui è applicata garantisce un ridotto impatto ambientale e consente al consumatore di verificare immediatamente se il prodotto è conforme o meno ai requisiti prestabiliti. Va comunque ribadito che l'adesione al sistema Ecolabel è del tutto volontaria, e che i prodotti privi di etichetta ecologica non sono soggetti ad alcuna penalizzazione nell'ambito del mercato comunitario.

Di estrema importanza risulta anche la Direttiva 31/99/CE relativa alle discariche: tale provvedimento giuridico ha come scopo quello di prevedere, mediante

l'applicazione di rigidi requisiti tecnico-operativi, procedure atte a prevenire e/o ridurre il più possibile le ripercussioni negative sull'ambiente di tali sistemi di smaltimento rifiuti, richiedendo ai diversi Paesi Membri di delineare strategie volte a conseguire i seguenti obiettivi:

- 1- diminuire sostanzialmente fino al 65% il quantitativo totale di rifiuti biodegradabili da avviare a discarica (con obiettivi di riduzione al 75% del totale in peso, al 50%, al 35% su base nazionale entro 5, 8, 15 anni dall'entrata in vigore della suddetta direttiva); per "rifiuti biodegradabili", la direttiva va ad intendere qualsiasi rifiuto soggetto a decomposizione aerobica o anaerobica, quali alimenti, rifiuti da giardino, carta e cartone;
- 2- garantire che i rifiuti da collocare in discarica siano stati adeguatamente pretrattati allo scopo di ridurre l'attitudine ad innescare processi di fermentazione, e a produrre anidride carbonica, biogas e percolati;

Ma come evolverà in futuro la gestione del rifiuto biodegradabile urbano? Ricordato che la parte biodegradabile del rifiuto include essenzialmente lo scarto compostabile e i materiali cellulocici (compresi parte dei poliaccoppiati), spesso viene segnalata l'opportunità di uno sviluppo parallelo di incenerimento e riciclaggio/compostaggio che sortisce lo stesso effetto di sottrazione di materiali biodegradabili dallo smaltimento finale in discarica. Tale equilibrio dovrebbe essere tuttavia ben valutato alla luce di alcune considerazioni quali: (a) gli elementi chiave del flusso di rifiuto urbano biodegradabile sono umido, carta e cartone; (b) tali flussi possono essere raccolti per via differenziata con alte percentuali di intercettazione e con bassi costi ottimizzando i sistemi di raccolta; (c) la raccolta dell'umido potrebbe divenire un obbligo in conseguenza dell'attesa entrata in auge della Direttiva sul Compostaggio; (d) nei Paesi del Mediterraneo è necessario applicare al più presto sostanza organica ai suoli, prevenendo preferibilmente i problemi di contaminazione da metalli pesanti ed elementi tossici, e questo implica l'attivazione delle RD; (e) la Direttiva sulla Termovalorizzazione e la Direttiva IPPC implicheranno un aumento prevedibile dei costi di smaltimento; (f) l'attenzione crescente sulla RD rende più agevole l'applicazione del sistema tariffario rendendolo di più facile comprensione agli utenti sulla base della riduzione del rifiuto, che resta obiettivo primario. La Direttiva Discariche prevede quindi una drastica riduzione del rifiuto biodegradabile conferito a smaltimento finale; tali previsioni perseguono lo scopo di diminuire anche la produzione di biogas (uno dei più alti contributi alla componente di effetto serra

dovuto ai rifiuti) e percolato, al fine di migliorare le condizioni operative generali. Il trattamento biologico ed il compostaggio giocano un ruolo chiave nel raggiungimento di tale obiettivo (fino al 65% nei prossimi 15 anni). In particolare, il compostaggio rappresenta la via più “naturale” per la gestione del rifiuto biodegradabile, ed il suo costo è generalmente inferiore rispetto alla termovalorizzazione.

In Italia, tale direttiva è stata recepita attraverso il DLgs 36/2003 recante Attuazione della Direttiva 99/31/CE, e dal DM 13 marzo 2003 che stabilisce i Criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica [1] [47].

I requisiti del prodotto destinato all'agricoltura biologica, inerenti in particolare ai rifiuti domestici trasformati in compost ai fini dell'utilizzo come prodotto per la concimazione e l'ammendamento nel settore dell'agricoltura biologica, vengono stabiliti dal Regolamento 1488/97/CEE: tale atto normativo si riferisce al metodo di produzione biologico dei prodotti agricoli e all'indicazione di tale metodo sui prodotti agricoli e sulle derrate alimentari. L'utilizzo di compost in agricoltura biologica è limitato a quei compost che derivano da rifiuti domestici “separati selettivamente all'origine, di natura vegetale e animale”. I limiti previsti per l'uso in agricoltura biologica risultano inferiori rispetto a quelli previsti dalla normativa nazionale per gli ammendanti compostati verde e misto. E' opportuno però mettere in evidenza che si tratta di limiti previsti per usi specifici, e che si applicano su base volontaria al fine di conseguire (i) condizioni di mercato più favorevoli, ed (ii) impieghi in un settore di elezione quale è quello dell'agricoltura biologica in grado di offrire maggiori possibilità remunerative.

Il 1° novembre 2003 è entrato in vigore il Regolamento 1774/02/CE (in applicazione già dal 1° maggio 2003) recante norme sanitarie relative ai sottoprodotti di origine animale non destinati al consumo umano. Il suddetto regolamento, applicabile a ciascuno degli Stati membri, abroga e sostituisce la precedente Direttiva 90/667/CE che istituiva il principio in base al quale tutti i rifiuti di origine animale, indipendentemente dalla provenienza, potevano essere utilizzati per la produzione di mangimi dopo essere stati sottoposti ad un trattamento adeguato. L'esigenza di adottare misure precauzionali a livello comunitario si è resa urgente a seguito del diffondersi di malattie quali la BSE e l'afta epizootica. Pareri scientifici rilevavano in particolare la necessità di bandire la pratica di alimentare una specie animale con proteine derivate da corpi o parti del corpo della stessa specie. Il

Regolamento 1774/02/CE è stato dunque adottato con lo scopo di fornire un quadro giuridico unitario che permettesse di superare le numerose norme in materia e di garantire una maggior protezione della salute umana e animale. In base a ciò, la suddetta norma regola l'avviamento degli scarti animali verso le differenti forme di smaltimento o recupero, a seconda della loro provenienza e pericolosità. In particolare, per quanto concerne il trattamento biologico, vengono stabilite delle regole per il compostaggio e la digestione anaerobica delle biomasse di origine animale. Nelle premesse si sottolinea, infatti, che tal regolamento "non pregiudica l'applicazione della normativa esistente in materia ambientale né ostacola l'elaborazione di ulteriori norme sulla protezione dell'ambiente, segnatamente per quanto concerne i rifiuti biodegradabili". La raccolta differenziata della frazione organica ed il suo riciclaggio tramite compostaggio e digestione anaerobica sono riconosciuti dunque come un metodo di recupero desiderabile. Tale atto normativo riconosce quindi un ruolo importante al compostaggio dei sottoprodotti di origine animale cercando di bilanciare al meglio le esigenze di tutela della salute umana e dell'ambiente. In materia di compostaggio, considerando la rigidità della disciplina introdotta dal regolamento detto e considerando la difficoltà delle imprese di adeguarsi in tempi nei tempi previsti, la Commissione UE ha deciso circa la possibilità per gli Stati membri di adottare delle misure transitorie fino al 30 dicembre 2004. Queste riguardano l'applicazione delle vecchie norme nazionali sulla trasformazione dei materiali di Categoria III e dello stallatico utilizzati negli impianti di compostaggio [8].

Negli ultimi anni la Commissione UE ha predisposto due bozze di Direttiva Europea sul Trattamento Biologico dei Rifiuti Biodegradabili (UE Commission Working Paper), ed un Documento di Lavoro propedeutico ad una terza bozza. In particolare, la seconda bozza (2nd Draft) si proponeva di:

- A. promuovere il trattamento biologico dei rifiuti organici biodegradabili derivanti dal sistema delle raccolte differenziate al fine di eliminarne o ridurre gli effetti negativi sull'ambiente, garantendo elevati livelli di protezione del suolo e delle acque sotterranee, e riducendo le emissioni di gas serra;
- B. migliorare la qualità dei suoli attraverso l'apporto di sostanza organica, garantendo l'incremento della disponibilità di acqua ed un maggiore utilizzo dei nutrienti;

C. spingere verso un trattamento meccanico/biologico del rifiuto residuo allo scopo di abbatte la fermentescibilità delle componenti organiche ancora presenti.

Il trattamento e l'utilizzo dei rifiuti organici biodegradabili deve essere in primo luogo finalizzato al recupero di materia ed energia, e solo in subordine costituire una via di smaltimento dei rifiuti. In riferimento ai sistemi di raccolta differenziata, essi avranno lo scopo prioritario di raccogliere separatamente la frazione umida favorendo il recupero agronomico del prodotto. L'allegato III della direttiva che si sta andando a delineare, contiene i limiti che caratterizzano le classi di qualità ambientale per il prodotto Compost (da intendersi come prodotto fertilizzante liberamente impiegabile e commercializzabile in tutta Europa) e per il rifiuto Biostabilizzato.

Per ciò che concerne invece il rifiuto indifferenziato o residuo, se lo stesso verrà sottoposto a trattamento meccanico/biologico prima del conferimento in discarica, potrà concorrere al raggiungimento degli obiettivi di riduzione dei materiali biodegradabili in discarica, definiti dalla Direttiva 1999/31/CE sulle discariche; in tale caso si intenderà che il materiale non è più "biodegradabile" se la fermentescibilità residua determinata attraverso l'Indice respirometrico dinamico (IRD), sarà minore di $800-900 \text{ mg O}_2 \text{ kg SV}^{-1}\text{h}^{-1}$ per il Compost di qualità, o minore di $1100-1200 \text{ mg O}_2 \text{ kg SV}^{-1}\text{h}^{-1}$ per il Biostabilizzato, secondo quanto riportato dalla Decisione 2001/688/CE sull'Ecolabel [50].

L'indicazione di quest'ultimo parametro all'interno della bozza di Direttiva, consente di affermare che viene attribuito al trattamento meccanico/biologico un ruolo fondamentale per la definizione del criterio dell'accettabilità del rifiuto in discarica. Tra l'altro, la determinazione della fermentescibilità residua e dei relativi valori limite, trova riscontro con quanto attualmente risulta in via di definizione in Italia nelle disposizioni normative di alcune regioni particolarmente sensibili a questa problematica di settore.

La Commissione Europea ha recentemente diffuso una terza bozza di documento (Biological Treatment of Biowaste, 3rd Draft) che sintetizza lo stato di avanzamento dei lavori sui fronti "fanghi" e "rifiuti biodegradabili" da integrare nella "Soil Thematic Strategy", la cui adozione è prevista per la fine del 2004. Tale strategia prevede l'emanazione di due direttive (Direttiva Fanghi e Direttiva Rifiuti Biodegradabili), per cui gran parte della bozza è occupata da temi relativi ai benefici della sostanza organica ed ai potenziali rischi, mentre la restante parte si occupa degli approcci strategici.

6.1.2 – Normativa italiana

La trasformazione in compost delle frazioni organiche dei rifiuti e il loro successivo impiego, in relazione alle caratteristiche dei rifiuti avviati al trattamento, come ammendante o per impieghi paesaggistici, per il ripristino ambientale delle aree degradate o per altre forme di utilizzo, rappresentano per l'Italia un elemento nodale nella strategia di gestione integrata dei rifiuti, costituendo la forma più adeguata per il recupero di materia. La produzione di compost, in particolare di *Compost di qualità* derivante da matrici selezionate alla raccolta, ha l'importante valenza di rendere disponibili ammendanti utilizzabili per il ripristino e/o il mantenimento di un adeguato tenore di sostanza organica dei suoli ai fini della conservazione della fertilità e la limitazione dei fenomeni di erosione e desertificazione, assai accentuati in alcune aree del paese [49].

I principali riferimenti normativi in materia di compost di qualità (intendendo con ciò il compost ottenuto da matrici selezionate alla raccolta) sono rappresentati da:

- DLgs 5 febbraio 1997 n.22 (alias Decreto Ronchi) e successive modifiche ed integrazioni, recante Attuazione delle Direttive 91/156/CEE sui rifiuti, 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi, e 94/61/CEE sugli imballaggi e su rifiuti da imballaggio.
- DM 5 febbraio 1998 recante Individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti alle procedure semplificate di recupero ai sensi degli artt.31 e 33 del DLgs 22/97.
- Legge 19 ottobre 1984 n.48 e successive modifiche ed integrazioni, recante Nuove norme per la disciplina dei fertilizzanti.
- DM 27 marzo 1998 recante Modifica dell'All.1C della L. 748/84.

In relazione alla definizione e alla identificazione di diversi gradi di qualità del compost, risultano attualmente individuate dalla normativa italiana, due tipologie di compost:

a) Compost di qualità elevata, ottenuto esclusivamente da matrici organiche selezionate alla raccolta ed incluso nella categoria degli ammendanti commerciali in base alla Legge 748/84, con la denominazione di “Ammendante compostato verde” o di “Ammendante compostato misto”, in relazione alla miscela di partenza (rispettivamente, solo verde oppure verde+umido); questa tipologia di compost si configura come prodotto ed è pertanto utilizzabile senza ulteriori vincoli, se non quelli che risultano da una buona pratica agricola.

b) Compost di qualità inferiore, utilizzabile per un'attività agricola, ma vincolato al rispetto di diversi standard qualitativi, di quantità massime utilizzabili, oltre che all'analisi preliminare dei terreni sui quali verrà utilizzato.

In generale, per la produzione di fertilizzanti non sono necessarie altre specifiche autorizzazioni, ma nel caso del compostaggio, anche se dà luogo ad ammendanti disciplinati dalla Legge 748/84 sui fertilizzanti, trattandosi di attività di gestione per il recupero di frazioni organiche dai rifiuti, è comunque necessario ottenere una specifica autorizzazione o, qualora ne ricorrano le condizioni, accedere alla procedura semplificata di cui al Capo V del DLgs 22/97 [1].

Anche nel caso delle frazioni organiche presenti nel rifiuto indifferenziato, a valle del circuito della raccolta differenziata, il sistema di gestione integrata tracciato dal DLgs 22/97, impone la ricerca di ulteriori possibilità di valorizzazione finalizzate al recupero di materia. In questo contesto si inserisce il trattamento biologico, mediante compostaggio di frazioni organiche derivanti da impianti di selezione meccanica a valle della raccolta, che dà luogo a materiali che potranno ancora essere avviati a circuiti di valorizzazione che prevedano specifiche prescrizioni e limitazioni in base alla tipologia di utilizzo. Per il materiale biostabilizzato da rifiuti indifferenziati un impiego di elezione potrà essere rappresentato dalla destinazione ad attività di recupero ambientale e paesaggistiche, che possono richiedere anche impieghi massivi, per i quali viene richiesta la disponibilità di sostanza organica stabilizzata al fine di migliorare le caratteristiche dei materiali inerti impiegati. Lo strumento normativo può dunque giocare un ruolo molto importante riguardo alla necessità di valorizzare la frazione organica dei rifiuti urbani soprattutto per quanto attiene ai materiali di non elevata qualità; si tratta di completare ed integrare il quadro legislativo già vigente per quanto attiene ai prodotti di qualità (L 748/84 e DM 27 marzo 1998), introducendo regole certe ed adeguate all'esigenza di garantire opportunità di utilizzo di tali materiali, fermo restando il rispetto di elevati livelli di tutela ambientale

La raccolta differenziata delle frazioni organiche dei rifiuti e la loro valorizzazione mediante compostaggio consentono di raggiungere numerosi obiettivi: dalla produzione di ammendanti organici atti al miglioramento della qualità agronomico-ambientale dei suoli, alla riduzione della pericolosità dei rifiuti da avviare a discarica grazie alla sottrazione della quota di organico che implica la formazione di biogas e

percolato. Dalla raccolta differenziata delle frazioni umide non è possibile prescindere per il raggiungimento degli obiettivi indicati all'art.24 del decreto stesso:

- 15% di RD entro 2 anni dall'entrata in vigore del decreto (1999);
- 25% di RD entro 4 anni dall'entrata in vigore del decreto (2001);
- 35% di RD entro 6 anni dall'entrata in vigore del decreto (2003) [48].

La raccolta differenziata è definita all'art.6 come “la raccolta idonea a raggruppare i rifiuti in frazioni merceologiche omogenee”. Attraverso la RD ed il trattamento di matrici organiche selezionate, si è reso quindi disponibile un Compost di qualità, la cui produzione ed il cui utilizzo vengono normate da una normativa specifica che, tenuto conto dei minori rischi ambientali rispetto a quanto ottenuto dai rifiuti indifferenziati, prevede semplificazioni nella realizzazione e nella gestione degli impianti: grazie a questo il Compost di qualità rientra nel circuito dei “prodotti commerciali”. I dati relativi al mercato del Compost di qualità dimostrano che questo viene interamente assorbito dal mercato e che la disponibilità risponde solo marginalmente alla domanda che si esprime nel nostro paese. Infatti, anche in caso di intercettazione massima di scarto organico compostabile (100 kg/ab/anno) e valorizzazione dello stesso mediante compostaggio, non risulterebbe alcun problema di eccesso di offerta rispetto alla possibile richiesta: la produzione potenziale di compost a livello nazionale risponderebbe in tal modo ai fabbisogni di non oltre l'1,2% della superficie agricola utilizzabile dell'intero paese.

Allo stato attuale, è possibile realizzare ed attuare le operazioni di recupero mediante compostaggio secondo due differenti tipologie procedurali:

- a) la procedura autorizzativa ordinaria;
- b) la procedura autorizzativa semplificata.

6.1.2.1 – Procedura ordinaria: definizioni, competenze, realizzazione e gestione di impianti di compostaggio

Il DLgs 22/97 (Decreto Ronchi), che costituisce la norma nazionale di riferimento per la gestione integrata dei rifiuti, definisce all'art.6 com.1 lett.q il *compost da rifiuti* come “prodotto ottenuto dal compostaggio della frazione organica dei rifiuti urbani nel rispetto di apposite norme tecniche finalizzate a definire contenuti e usi compatibili con la tutela ambientale e sanitaria, e in particolare a definirne i gradi di qualità”. Il compostaggio rientra pertanto tra le operazioni di recupero previste nell'Allegato C dello stesso decreto e, in particolare, in quelle indicate dal codice R3

come “riciclo/recupero delle sostanze organiche non utilizzate come solventi (comprese le operazioni di compostaggio e altre trasformazioni biologiche)”. Questa operazione, così come la realizzazione di qualsiasi impianto di recupero, è sottoposta ad autorizzazione. Di conseguenza, il compostaggio è una forma di gestione dei rifiuti cui si applicano anche “gli obblighi di comunicazione annuali delle quantità e delle caratteristiche qualitative dei rifiuti oggetto delle predette attività” (art.11), nonché quella di tenuta dei registri di carico e scarico di cui all’art.12 (cfr. anche i DDMM 5 febbraio 1998 n.145 e n.148).

L’art.18, com.2 lett.p, precisa inoltre che è competenza dello stato “l’adozione delle norme tecniche, delle modalità e delle condizioni di utilizzo del prodotto ottenuto mediante compostaggio, con particolare riferimento all’utilizzo agronomico come fertilizzante, ai sensi della legge del 19 ottobre 1984, n. 748 e successive modifiche e integrazioni, del prodotto di qualità ottenuto mediante compostaggio da rifiuti organici selezionati alla fonte con raccolta differenziata”. mentre all’art.19, nell’ambito delle Competenze delle Regioni circa la regolamentazione delle attività di gestione dei rifiuti, è definito come obiettivo prioritario “la separazione dei rifiuti di provenienza alimentare, degli scarti di prodotti vegetali e animali, o comunque ad alto tasso di umidità, dai restanti rifiuti”. Alle Province (art.20, così come modificato successivamente dal DLgs 389/97) è invece demandato “il controllo periodico di tutte le attività di gestione, di intermediazione e di commercio dei rifiuti, ivi compreso l’accertamento delle violazioni del presente decreto”.

In base all’art.51 del medesimo decreto, l’effettuazione delle attività di compostaggio “in mancanza della prescritta autorizzazione, iscrizione o comunicazione [...] è punita:

- a) con la pena dell’arresto da tre mesi a un anno o con l’ammenda da € 2500 a € 25000 se si tratta di rifiuti non pericolosi;
- b) con la pena dell’arresto da sei mesi a due anni e con l’ammenda da € 2500 a € 25000 se si tratta di rifiuti pericolosi ” [50].

Circa la realizzazione e la gestione di un impianto progettato per il trattamento di matrici organiche attraverso compostaggio, l’articolo 27 com.1 del DLgs 22/97, prevede che “i soggetti che intendono realizzare nuovi impianti di smaltimento o di recupero di rifiuti, anche pericolosi, devono presentare apposita domanda alla Regione competente per territorio, allegando il progetto definitivo dell’impianto e la documentazione tecnica prevista per la realizzazione del progetto stesso, dalle

disposizioni in materia di urbanistica, di tutela ambientale, di salute e sicurezza sul lavoro e di igiene pubblica”. Tali disposizioni, secondo quanto stabilito al comma successivo del sopracitato art.27, si applicano anche per la realizzazione di varianti sostanziali in corso di esercizio, che comportano modifiche a seguito delle quali gli impianti non sono più conformi all’autorizzazione rilasciata.

L’autorizzazione all’esercizio delle operazioni di smaltimento e recupero è disciplinata dalle disposizioni dell’articolo 28 com.1 che stabilisce che “l’esercizio delle operazioni di smaltimento e recupero dei rifiuti è autorizzato dalla regione competente per territorio entro novanta giorni dalla presentazione della relativa istanza da parte dell’interessato”. Tale autorizzazione individua, inoltre, le condizioni operative e le prescrizioni tecniche necessarie per garantire l’attuazione dei principi di cui all’articolo 2 del medesimo decreto legislativo, ed in particolare:

- i tipi ed i quantitativi di rifiuti da smaltire o da recuperare;
- i requisiti tecnici, con particolare riferimento alla compatibilità del sito, alle attrezzature utilizzate, ai tipi ed ai quantitativi massimi di rifiuti, ed alla conformità dell’impianto al progetto approvato;
- le precauzioni da prendere in materia di sicurezza ed igiene ambientale;
- il luogo di smaltimento;
- il metodo di trattamento e di recupero;
- i limiti di emissione in atmosfera per i processi termici di trattamento dei rifiuti;
- le garanzie finanziarie;
- l’idoneità del soggetto richiedente l’autorizzazione.

L’autorizzazione risulta valida per un periodo di cinque anni ed è rinnovabile, previa presentazione, entro 180 giorni dalla scadenza della stessa, di un’apposita domanda alla Regione competente.

I soggetti sottoposti al regime autorizzativo ordinario ai sensi degli artt.27 e 28 sono altresì tenuti ai seguenti adempimenti:

- ai sensi dell’art.15, la copia di propria pertinenza del formulario di identificazione dei rifiuti deve essere datata e controfirmata, anche ai fini dello scarico delle responsabilità a carico del produttore;
- ai sensi dell’art.12, tenuta del Registro di carico e scarico dei rifiuti con le modalità previste dal DM 1/4/1998 n.148 e dalla Circolare Ministeriale 4/8/1998 n.812; al suddetto registro deve essere allegata la copia del formulario;

- secondo quanto previsto dal DPCM 31 marzo 1999, entro il 30 aprile di ogni anno il gestore dell'impianto di recupero è tenuto alla presentazione del MUD (Modello Unico di Dichiarazione) presso la CCIAA del capoluogo di Regione dove ha sede l'unità operativa.

6.1.2.2 – Procedura semplificata: regime di comunicazione

Le attività di compostaggio, rientrando tra le operazioni di recupero elencate nell'All.1C del DLgs 22/97, possono essere effettuate anche in regime di procedura semplificata, ai sensi degli artt.31 e 33 del suddetto decreto, essendo state emanate le norme tecniche relative e le specifiche prescrizioni relative al recupero di "Rifiuti compostabili" nel DM 5 febbraio 1998. Le procedure semplificate devono comunque garantire un elevato livello di protezione dell'ambiente; a tal fine, le norme tecniche fissate in base a tali disposizioni, devono garantire che i tipi, le quantità e i metodi di recupero siano tali da non costituire un pericolo per l'uomo e per l'ambiente.

L'articolo 33 prevede, altresì, procedure amministrative semplificate per l'esercizio delle operazioni di recupero e di messa in riserva, nel caso in cui siano rispettate le norme tecniche e le prescrizioni adottate ai sensi del citato art.33 comm.1, 2 e 3. In base a quanto detto, le operazioni di recupero possono essere intraprese, decorsi novanta giorni dalla comunicazione di inizio attività, alla Provincia territorialmente competente. Alla comunicazione deve essere allegata una relazione dalla quale devono risultare:

- il rispetto delle norme tecniche e delle condizioni di cui al comma 1;
- il possesso dei requisiti soggettivi richiesti;
- le attività di recupero che si intendono svolgere;
- lo stabilimento, la capacità di recupero e il ciclo di trattamento o di combustione;
- le caratteristiche dei prodotti derivanti dai cicli di recupero.

La Provincia, decorsi novanta giorni dalla presentazione della domanda, iscrive l'impresa in un apposito Registro. Per la tenuta di tale registro e per l'effettuazione dei controlli periodici, l'interessato è tenuto a versare alla Provincia un diritto di iscrizione annuale, determinato in base alle modalità previste dal DM 21/7/98 n.350.

Il gestore dell'impianto è inoltre tenuto ai seguenti obblighi:

- ai sensi dell'art.15, la copia di propria pertinenza del formulario di identificazione dei rifiuti, deve essere datata e controfirmata, anche ai fini dello scarico delle responsabilità a carico del produttore;

- ai sensi dell'art.12, tenuta del Registro di carico e scarico dei rifiuti, con le modalità previste dal DM 1/4/1998 n.148 e dalla Circolare Ministeriale 4/8/1998 n.812. Al Registro deve essere allegata la copia del formulario;
- secondo quanto previsto dal DPCM 31 marzo 1999, entro il 30 aprile di ogni anno il gestore dell'impianto di recupero è tenuto alla presentazione del MUD (Modello Unico di Dichiarazione) presso la CCIAA del capoluogo di Regione dove ha sede l'unità operativa.

Per quanto concerne le operazioni di recupero di rifiuti non pericolosi, le norme tecniche devono indicare, ai sensi dell'art.33 DLgs 22/97:

- le quantità massime impiegabili di rifiuti;
- la provenienza, i tipi, le caratteristiche dei rifiuti utilizzabili;
- le condizioni specifiche;
- le prescrizioni necessarie per garantire la corretta effettuazione delle operazioni di recupero.

Il DM 5 febbraio 1998, recante “Individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti alle procedure semplificate di recupero ai sensi degli articoli 31 e 33 del Decreto legislativo 5 febbraio 1997, n.22”, alla voce 16.1 individua le tipologie di rifiuti ammesse al recupero mediante compostaggio, la loro provenienza e le loro caratteristiche, identificando il “compostaggio come attività di recupero che, effettuata conformemente a quanto indicato nelle norme tecniche, dà luogo alla produzione di ammendanti commerciali indicati dalla L.784/48 recante Nuove norme in materia di fertilizzanti”. Con la modifica della sopradetta legge attraverso il DM 27 marzo 1998 (Modificazione all'Allegato 1.C della L.19 ottobre 1984, recante Nuove norme per la disciplina dei fertilizzanti) è stato possibile completare il quadro normativo per gli ammendanti di qualità ottenuti dal trattamento di rifiuti selezionati. Tal modifica riaggiorna l'elenco e le caratteristiche della tipologia “ammendanti organici naturali” includendo, per quanto riguarda quelli basati sui rifiuti, oltre ai parametri agronomici, anche i requisiti di qualità ambientale, quali i metalli pesanti. Questo ha contribuito senza dubbio a sbrogliare alcune ambiguità normative che rendevano complicato lo sviluppo del compostaggio di qualità.

Si hanno dunque due precisi circuiti che identificano tale processo: l'uno è rappresentato dal compostaggio di rifiuti di elevata qualità ottenuti da selezione alla fonte (in accordo con specifici requisiti di processo e ammissibile all'applicazione di

procedure semplificate); tal circuito da luogo ad ammendanti che possono essere commercializzati secondo uno schema normativo così semplificabile:

→ rifiuto (rifiuti compostabili ai sensi del DM 5 febbraio 1998, voce 16.1.1 e 16.1.2);

→ trattamento biologico di compostaggio (ai sensi del DM 5 febbraio 1998, voce 16.1.3);

→ ammendante organico naturale, ossia prodotto con proprie specifiche, nessuna prescrizione sull'utilizzo (che non sia quella delle buone pratiche agricole), liberamente commercializzato (come da All.1.C di L.748/84, ai sensi del DM 27 marzo 1998).

Il secondo circuito riguarda il trattamento di matrici selezionate meccanicamente a valle della raccolta: tal circuito da luogo a materiali che, seppur avviabili al recupero, vengono gestiti come rifiuti, e quindi sono soggetti a limitazioni d'utilizzo (limiti della quantità utilizzabile; caratterizzazione analitica dei siti recettori; procedure autorizzative per l'impiego,...) [1] [50].

6.1.2.3 - DM 5 febbraio 1998: matrici ammesse al recupero mediante compostaggio in regime di comunicazione

Tali matrici vengono elencate nel DM 5 febbraio 1998 alla voce 16.1 (tipologie di rifiuti compostabili per la produzione di compost di qualità) e relativa provenienza (voce 16.1.1) e caratteristiche (voce 16.1.2), ricordando comunque che la Decisione 2000/532/CE ha modificato il Catalogo Europeo dei Rifiuti (CER):

- frazione organica dei rifiuti solidi urbani raccolta separatamente [200108] [200302];
- rifiuti vegetali di coltivazioni agricole [020103];
- segatura, trucioli, frammenti di legno, di sughero [030102] [030101] [030103] [030301];
- rifiuti vegetali derivanti da attività agroindustriali [020304] [020501] [020701] [020702] [020704];
- rifiuti tessili di origine vegetale: cascami e scarti di cotone, cascami e scarti di lino, cascami e scarti di iuta, cascami e scarti di canapa [040201];
- rifiuti tessili di origine animale: cascami e scarti di lana, cascami e scarti di seta [040202];
- deiezioni animali da sole o in miscela con materiale di lettiera o frazioni della stessa ottenute attraverso processi di separazione [020106];

- scarti di legno non impregnato [150103][200107][030101][030199];
- carta e cartone nelle forme usualmente commercializzate, non trattati per usi speciali o spalmati con prodotti chimici da ugelli diversi per l'impasto cartaceo, come carte autocopianti, termocopianti, poliaccoppiati, carte catramate, ecc. [200101][150101];
- fibra e fanghi di carta [030306];
- contenuto dei prestomaci [020102];
- rifiuti lignocellulosici derivanti dalla manutenzione del verde ornamentale, escluso spazzamento stradale [200201];
- fanghi di depurazione, fanghi di depurazione delle industrie agroalimentari [190804][190805][020201][020204][020301][020305][020403][020502][020603][020705][030302][040107][190602];
- ceneri di combustione di sanse esauste e di scarti vegetali con le caratteristiche di cui al punto 18.1 [100101][100102][100103].

Per quanto concerne i fanghi utilizzati in questo tipo di trattamento biologico, questi devono presentare caratteristiche conformi a quelle previste nell'Allegato 1.B del DLgs 99/92; possono dunque esser utilizzati in misura non superiore al 35% s.s. nella preparazione della miscela di partenza. Tale percentuale può essere elevata al 50% per i fanghi derivanti da impianti di depurazione delle industrie alimentari [8].

6.1.2.4 – DM 27 marzo 1998, Modificazione dell'Allegato 1.C della L.19/10/1984

Un riferimento per le matrici utilizzabili per la produzione di ammendanti compostati ammessi alla commercializzazione è dato dal DM 27 marzo 1998. In tale allegato vengono previsti quali prodotti derivanti da compostaggio, le seguenti tipologie:

⊕ AMMENDANTE COMPOSTATO VERDE: prodotto ottenuto attraverso un processo controllato di trasformazione e stabilizzazione 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.

⊕ AMMENDANTE COMPOSTATO MISTO: prodotto ottenuto attraverso un processo controllato di trasformazione e stabilizzazione di residui organici costituiti dalla frazione organica dei rifiuti urbani provenienti da raccolta differenziata, da scarti di origine animale compresi liquami zootecnici, da residui di attività agroindustriali e da lavorazione del legno e del tessile naturale non trattato, da reflui e

fanghi (DLgs 99/92), nonché dalle matrici previste per l'ammendante compostato verde.

⊖ AMMENDANTE COMPOSTATO TORBOSO: prodotto ottenuto per miscela di torbe (in quantità maggiori del 50%) con ammendante compostato verde e/o misto.

6.1.2.5 – Requisiti di processo per gli impianti ammessi alla procedura semplificata

Le norme tecniche, ai sensi del DM 5 febbraio 1998 voce 16.1.3, definiscono il processo di compostaggio come “ un processo di trasformazione biologica aerobica delle matrici che evolve attraverso uno stadio termofilo e porta alla stabilizzazione e umificazione della sostanza organica”. I requisiti di processo sono:

- controllo dei rapporti di miscelazione e delle caratteristiche chimico-fisiche delle matrici di partenza;
- controllo della temperatura di processo;
- apporto di O₂ sufficiente a mantenere le condizioni aerobiche della massa;
- durata del processo non inferiore a 90gg;
- temperatura oltre i 55°c per almeno 3gg.

6.1.2.6 – L.748/84, All.1.C: Parametri per la caratterizzazione del Compost di qualità

Tali caratteristiche sono previste all'allegato 1.c della l.748/84 (così come modificato dal dm 27 marzo 1998).

Ai fini dell'applicazione del suddetto decreto si intende per:

- *Trattamento biologico*: trattamento del rifiuto inteso alla promozione dei processi spontanei di mineralizzazione, parziale o totale, a carico delle componenti organiche fermentescibili, in fase aerobica od anaerobica. Il termine indica l'insieme delle operazioni relative a tale trattamento, comprensive delle operazioni preliminari e finali sia di condizionamento della massa per promuovere i processi biologici, che di separazione di materiali estranei o di flussi di materiali refrattari alla bioconversione.
- *Bioconversione*: l'insieme dei processi strettamente biologici aerobici od anaerobici di trasformazione del materiale sottoposto al trattamento biologico.
- *Compostaggio*: processo di bioossidazione di matrici organiche biodegradabili in fase solida in condizioni controllate che evolve attraverso una fase termofila e porta alla stabilizzazione e maturazione della sostanza organica.
- *Frazione umida*: frazione alimentare dei rifiuti urbani (di origine domestica, mercatale, o da utenze di ristorazione collettiva) selezionata alla fonte mediante circuiti specifici di raccolta differenziata.

- *Frazione verde o scarti verdi o frazione lignocellulosica*: materiali vegetali provenienti da manutenzione degli spazi verdi pubblici e privati (parchi e giardini), nonché da potature delle coltivazioni arboree ed arbustive ed eventualmente integrati da altri materiali lignocellulosici quali trucioli, segatura, cassette, ..., non trattati con collanti, impregnanti, ed altre sostanze potenzialmente inquinanti, ad esclusione di corpi fruttiferi se non derivanti dalle normali operazioni di potatura di branche, rami, tralci; materiali, anche se prevalentemente fogliosi, provenienti da operazioni di spazzamento stradale [1].

~ ~ ~ ~

I riferimenti normativi in materia di **Biostabilizzato** (con ciò s'intende il materiale ottenuto da matrici organiche per selezione meccanica, o comunque da matrici le cui caratteristiche non consentono di ottenere compost con i requisiti di ammendante commerciale) sono rappresentati da:

- DLgs 5 febbraio 1997 n.22 (alias Decreto Ronchi) e successive modifiche ed integrazioni, recante Attuazione delle Direttive 91/156/CEE sui rifiuti, 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi, e 94/61/CEE sugli imballaggi e su rifiuti da imballaggio.
- Deliberazione 27 luglio 1984 del Comitato Interministeriale, recante Disposizioni per la prima applicazione dell'art.4 del DPR 915/82, concernente lo smaltimento dei rifiuti.

Per tale materiale è consentito di nuovo il recupero mediante utilizzo sul suolo, ma è previsto che venga ad essere gestito come rifiuto e sia, quindi, soggetto a limitazioni all'uso (limiti delle quantità utilizzabili, caratterizzazione analitica dei siti recettori,...). Lo schema normativo che in tal caso si applica risulta essere il seguente:

- rifiuto (ai sensi del DLgs 22/97);
- trattamento biologico di compostaggio (ai sensi degli artt.27 e 28 in Procedura ordinaria autorizzativa, DLgs 22/97);
- biostabilizzato, ossia rifiuto avente le caratteristiche ai sensi della Deliberazione 27 luglio 1984, soggetto ad autorizzazione all'impiego.

La realizzazione e la gestione dell'impianto risultano pertanto soggette a disciplina autorizzativa di cui agli artt.27 e 28 del DLgs 22/97.

Circa i requisiti del biostabilizzato, e le condizioni di utilizzo, ad oggi, il riferimento normativo è ancora dato dalla Del. Inter. 27 luglio 1984 (che richiede senza dubbio futuri interventi di aggiornamento e di armonizzazione normativi). L'impiego di elezione per tale materiale può essere rappresentato dalla destinazione ad attività paesistico ambientali, esigenti in termini quantitativi, per le quali è richiesta la disponibilità di sostanza organica stabilizzata al fine di migliorare le caratteristiche dei materiali inerti usati:

- sistemazione di aree di rispetto di autostrade e ferrovie;
- aree verdi di grandi dimensioni (es. parchi pubblici, campi da golf, campi da calcio,..)
- recupero ambientale di cave esaurite;
- ripristino ambientale di aree inquinate, conformemente a quanto previsto dall'art.22 del DLgs 22/97;
- sistemazione post-chiusura di discariche esaurite (capping) [50] .

6.1.3 - Norme e provvedimenti locali

- Regione LOMBARDIA: DGR 16 aprile 2003 n.7/12764 "Linee guida relative alla costruzione e all'esercizio degli impianti di produzione di compost".
- Regione EMILIA-ROMAGNA: L.Reg. 7 aprile 2000, n.25 "Incentivazione dell'uso della fertilizzazione organica ai fini della tutela della qualità dei suoli agricoli".
- Regione EMILIA ROMAGNA: Contratto di programma per l'utilizzazione del compost (2000).
- Regione PIEMONTE: L.Reg. 24 ottobre 2002, n.24 "Norme per la gestione dei rifiuti".
- Regione PIEMONTE: Incentivi nel Piano di Sviluppo Rurale 2000-2006, Misura F - Azione F3 "Mantenimento e incremento della sostanza organica del suolo".
- Regione SICILIA, Commissario Delegato per l'emergenza rifiuti e la tutela delle acque: OPCM n.2983 del 31 maggio 1999 "Linee guida per la progettazione, la costruzione e la gestione degli impianti di compostaggio".

- Regione UMBRIA: L.Reg. n.24 del 4 settembre 2001 - BUR Umbria n.45 del 14 settembre 2001 "incentivazione degli ammendanti ai fini della tutela della qualità dei suoli agricoli".
- Regione VENETO: DGRV n.766 del 10 marzo 2000 "Norme tecniche ed indirizzi operativi per la realizzazione e la conduzione degli impianti di recupero e di trattamento delle frazioni organiche dei rifiuti urbani ed altre matrici organiche mediante compostaggio, iostabilizzazione e digestione anaerobica".
- Regione VENETO: Accordo di programma con i gestori degli impianti di compostaggio del Veneto (2002).

6.2 IL PROCESSO DI COMPOSTAGGIO

6.2.1 – Definizione di compostaggio

Il compostaggio è una tecnica attraverso la quale viene controllato, accelerato e migliorato il processo naturale a cui va incontro qualsiasi sostanza organica per effetto della flora microbica naturalmente presente nell'ambiente. Si tratta di un "processo aerobico di decomposizione biologica della sostanza organica che avviene in condizioni controllate e che permette di ottenere un prodotto biologicamente stabile in cui la componente organica presenta un elevato grado di evoluzione" (Keener et al., 1993). Si tratta dunque di un processo di mineralizzazione ed umificazione della materia organica, attraverso decomposizione microbica e bioossidazione del substrato. In natura esistono processi spontanei di compostaggio, come ad esempio le trasformazioni della lettiera di bosco e/o la maturazione del letame; tali processi però implicano tempi di realizzazione molto lunghi e stadi discontinui ed eterogenei [50].

A livello industriale, poi, il compostaggio permette di far avvenire le trasformazioni in tempi brevi ed in condizioni controllate, così da permettere l'ottenimento, con consumi energetici relativamente bassi, di un prodotto finale che non abbia controindicazioni per l'impiego agricolo ed anzi abbia un soddisfacente potere ammendante, e che non crei problemi d'ordine igienico-sanitario.

Riassumendo quanto detto in un'unica definizione complessiva del processo detto, si potrà quindi asserire che il compostaggio, che consiste nel processo controllato di trasformazione microbica di matrici organiche putrescibili in un materiale finale, ricco di humus, utilizzabile come ammendante, rientra a pieno titolo tra gli strumenti disponibili in sede di pianificazione della gestione dei rifiuti di una determinata comunità. E quanto asserito non significa che il compostaggio va a sostituirsi in termini esclusivi alle altre forme di trattamento, ma che si pone in atto con la finalità di implementarne sinergicamente l'efficienza. Attraverso tale processo risulta dunque possibile stornare una cospicua quantità di rifiuti altrimenti destinati alle discariche e/o ai termovalorizzatori: questo sistema è in tutto e per tutto un indispensabile complemento alle tradizionali forme di riciclaggio considerate. Tuttavia, il compostaggio non consiste in una mera riduzione di volume ovvero in un semplice schema di diversione di una parte dei rifiuti; esso rappresenta piuttosto una via per chiudere il cerchio del riciclaggio dei residui organici, con ricadute ambientali di notevole rilievo. Il compostaggio infatti consente di recuperare sostanza organica per reintegrarla nei terreni, prevenendo i fenomeni di erosione, incrementando la fertilità biologica dei suoli e contribuendo al ripristino dei siti contaminati da composti tossici. Se ai piani di riciclaggio differenziato di materiali da rifiuti urbani, oltre ai tradizionali flussi della carta, del vetro, dei metalli e delle plastiche, viene aggiunto il riciclaggio della frazione putrescibile non è irrealistico arrivare a livelli di recupero del 60-70% sull'intero quantitativo di partenza. Al compostaggio vengono avviati soltanto quei materiali compatibili con il trattamento biologico, lasciando aperte altre filiere per la corretta gestione delle frazioni non compostabili dei rifiuti urbani [8].

Nell'ambito delle biotecnologie ambientali, il compostaggio sta quindi ad indicare "il processo bioossidativo aerobico, esotermico (in quanto basato su reazioni generanti calore), promosso da microrganismi (biomassa attiva) di norma naturalmente associati alle matrici sottoposte a trattamento, in conseguenza del quale il substrato organico eterogeneo (biomassa substrato) subisce, in tempi ragionevolmente brevi (alcune settimane), profonde trasformazioni nelle caratteristiche chimico-fisiche e biologiche (maturazione), con perdita della putrescibilità (stabilizzazione), parallelamente ad una parziale mineralizzazione ed umificazione" (Vallini, 1995).

6.2.2 – Dinamica del compostaggio

6.2.2.1 – Fasi di processo

Durante il processo di compostaggio, la biomassa attiva costituita da microrganismi, tende a degradare, in maniera più o meno spinta, il substrato organico di partenza, producendo in tal modo CO₂, acqua, calore e sostanza organica humificata, ossia nel complesso una matrice finale metastabile (non suscettibile cioè di ulteriori repentine trasformazioni biologiche). In condizioni ottimali, questo processo biologico viene ad attuarsi attraverso tre stadi principali:

(1) *fase mesofila di latenza* - da poche ore ad alcuni giorni - durante cui la matrice iniziale viene invasa dai microrganismi il cui metabolismo finisce per causare il progressivo riscaldamento del substrato;

(2) *fase termofila o di stabilizzazione* - da alcuni giorni a diverse settimane - nel corso della quale si ha un'intensa attività bioossidativa;

(3) *fase di raffreddamento o maturazione* - da poche settimane ad alcuni mesi - nella quale intervengono le reazioni di umificazione [8].

Da un punto di vista gestionale, l'intero processo di biostabilizzazione risulta più chiaramente suddivisibile in due archi temporali ben distinti:

(a) il periodo di attiva trasformazione (*active composting*), comprendente, in sostanza sia la fase mesofila di latenza (1), sia la fase termofila di stabilizzazione (2);

(b) il periodo di finissaggio (*curing*), corrispondente alla fase di raffreddamento o maturazione mesofila (3).

In relazione alle differenti fasi di processo mediante cui procede il compostaggio, vanno ad affermarsi in condizioni predominanti diverse popolazioni di microrganismi: l'iniziale decomposizione del substrato è dovuta all'intervento di specie microbiche mesofile che utilizzano rapidamente i composti solubili e facilmente degradabili. Il calore prodotto dalle reazioni esoergoniche di questi microrganismi rimane intrappolato nella matrice in trasformazione a causa della scarsa conducibilità di quest'ultima. A seguito del progressivo accumulo di calore, la temperatura del substrato comincia ad elevarsi, superando ben presto la soglia della termofilia. Non appena la temperatura si porta al di sopra dei 40°C, i microrganismi mesofili divengono meno competitivi, e di conseguenza vengono ad essere progressivamente sostituiti da specie microbiche termofile, alcune delle quali risultano capaci non solo di resistere ma anche di svolgere le normali attività metaboliche a temperature superiori dei 70°C (vedi forme batteriche *Thermus* gen.). Raggiunta o superata la soglia dei 55°C, buona parte della componente microrganica,

ivi comprese le specie patogene per l'uomo e per le piante, risulta completamente disattivata. Poiché per temperature al di sopra dei 65°C la maggior parte dei microbi muore (riducendo in tal modo il tasso di decomposizione del substrato), nelle applicazioni biotecnologiche del compostaggio è opportuno governare il processo affinché non venga superata questa soglia, ovvero la deriva termica sia ristretta ad un lasso di tempo il più possibilmente limitato [50].

Durante lo stadio termofilo, le elevate temperature tendono ad accelerare la degradazione di molecole quali proteine, grassi e carboidrati complessi: tra questi, cellulosa ed emicellulosa, rappresentano due tra i più importanti polimeri strutturali delle piante. Man mano che la disponibilità dei composti molecolari fortemente energetici viene ad esaurirsi, la temperatura della materia organica in trasformazione va gradualmente a decrescere, consentendo alle popolazioni microbiche mesofile responsabili dei processi di humificazione di colonizzare il substrato per quella che è stata precedentemente definita la fase di maturazione o finissaggio. Quando lo stadio di affinamento giunge a compimento, il prodotto ormai maturo può essere definito compost [8].

6.2.2.2 – Ecosistema microbico

Un'ampia gamma di gruppi microbici rende attivo il processo di compostaggio. I vari gruppi di microrganismi, difatti, si sviluppano via via in risposta ai differenti livelli di umidità, temperatura, ossigeno e pH che caratterizzano la matrice in trasformazione. Quindi, è proprio grazie a questa diversità di ecosistema microbico che il processo di compostaggio può procedere nonostante il mutare continuo delle condizioni ambientali e trofiche del substrato.

I microorganismi responsabili del compostaggio degradano una vasta gamma di composti molecolari, da sostanze a struttura semplice quali zuccheri ed aminoacidi, a polimeri complessi come proteine, polisaccaridi e lignina. Ciò porta ad una profonda disgregazione e trasformazione della matrice di partenza. Gli intervalli di temperatura e la disponibilità di sostanze nutritive giocano il ruolo principale nel determinare il gruppo o, addirittura, le specie di microrganismi che caratterizzano la popolazione microbica in ogni particolare momento del processo [8].

Come già detto, le reazioni degradative procedono rapidamente durante le fasi iniziali del processo grazie ad una massiccia disponibilità di composti facilmente assimilabili.

Questi composti sono caratterizzati da basso peso molecolare e semplice struttura chimica; risultano solubili in acqua, e sono in grado quindi di passare senza difficoltà attraverso le pareti e le membrane cellulari microbiche. Ciò comporta che tali sostanze possano essere utilizzate da un ampio spettro di popolazioni microbiche non specializzate. Via via che tali composti molecolari facilmente metabolizzabili vanno incontro a progressivo esaurimento, divenendo in tal modo meno disponibili, altre sostanze più complesse, meno degradabili, cominciano ad essere oggetto di attacco da parte dei microorganismi. Si tratta di sostanze che presentano un elevato peso molecolare ed una struttura polimerica (come la cellulosa) oppure polidispersa (come la lignina), e non possono essere traslocate direttamente all'interno delle cellule microbiche. Risulta pertanto necessario che tali sostanze vengano ad essere scomposte nei costituenti elementari monomerici, o comunque in strutture dalle dimensioni minori rispetto alle molecole iniziali: a tal scopo risulta essenziale l'azione di enzimi esocellulari. Non tutti i microorganismi associati alle matrici in compostaggio sono però dotati di adeguato bagaglio enzimatico per la degradazione delle sostanze polimeriche complesse. Di solito, questa capacità è più diffusa nell'ambito delle specie fungine rispetto alle specie batteriche. Dopo che, ad opera dei microorganismi specializzati, i polimeri sono stati idrolizzati nei costituenti più piccoli, questi stessi frammenti si rendono disponibili anche per specie microbiche non specializzate.

I microorganismi che colonizzano le matrici sottoposte a compostaggio sono riconducibili, in termini tipologici e non sistematici, a tre principali gruppi sistematici:

- batteri;
- attinomiceti;
- funghi.

Mentre le popolazioni di batteri ed attinomiceti sono microrganismi procarioti (in realtà gli attinomiceti rappresentano una particolare suddivisione di batteri, seppure caratterizzati spesso da crescita di tipo filamentoso dovuta alla formazione di pseudo-micelio), i funghi risultano invece tipiche forme eucariote, e comprendono, oltre alle cosiddette muffe (eumiceti filamentosi), anche i lieviti.

Con l'eccezione dei funghi filamentosi che sono sostanzialmente aerobi, i microorganismi che intervengono nel compostaggio, nonostante il prevalente carattere ossidativo del processo, possono essere aerobi, anaerobi facoltativi o

anaerobi stretti. Questi ultimi crescono solo in totale assenza di ossigeno molecolare, il quale risulta per essi estremamente tossico. I microorganismi aerobi, per vivere, necessitano invece di una adeguata tensione di ossigeno. Gli anaerobi facoltativi, infine, usano l'ossigeno qualora disponibile ma possono vivere anche in assenza di questo gas.

Le specie microbiche presenti nei substrati in corso di compostaggio possono essere ulteriormente distinte a seconda dell'intervallo di temperatura entro il quale possono svilupparsi, ovvero trovare le condizioni ottimali di crescita, in:

- (i) psicotrofi o psicrofili facoltativi;
- (ii) mesofili;
- (iii) termofili.

In particolare, le specie psicotrofe sono in grado di crescere con una certa efficienza anche al di sotto dei 10°C; l'intervallo di crescita dei mesofili è invece compreso tra 15 e 45°C, mentre infine i termofili prosperano intorno ai 55-65°C (con alcune specie capaci di vivere ben oltre i 70°C) [8].

→ batteri

rappresentano i più piccoli organismi degradatori, oltre a costituire la comunità microbica più numerosa entro una matrice in compostaggio. Quantitativamente, l'80-90 % dei miliardi di cellule microbiche associate ad un grammo di substrato in trasformazione o di compost maturo è costituito da tali forme.

I batteri sono quindi i principali responsabili della generazione di calore durante il tutto il processo, e denotano, da un punto di vista trofico, il più ampio spettro di profili nutrizionali rispetto a qualsiasi altro gruppo microbico coinvolto nel processo di stabilizzazione aerobica della sostanza organica, in quanto dispongono di una variegata dotazione di enzimi necessari per la degradazione di molti composti molecolari. Si tratta, generalmente, di decompositori veloci, in grado di utilizzare rapidamente tutte le sostanze più facilmente degradabili nonché i prodotti intermedi del metabolismo fungino. Alcune specie batteriche, inoltre, riescono a degradare molecole strutturalmente complesse come la cellulosa (vedi alcune forme di batteri striscianti appartenenti dell'ord. *Cytophagales*). È possibile riscontrare la crescita di gruppi specializzati di batteri a qualsiasi valore di pH, anche se l'intervallo ottimale per la maggior parte di questi microorganismi si colloca su valori compresi tra 6,5 ed

8. Per contro, però, si tratta di forme estremamente poco tolleranti (al contrario di attinomiceti e funghi) circa condizioni di scarsa umidità.

Dopo una massiva colonizzazione del substrato organico da parte di specie batteriche mesofile in concomitanza degli stadi iniziali del processo, entrando nella fase termofila, la popolazione batterica tende ad essere dominata da rappresentanti del genere *Bacillus*. La diversità morfologica di tale genere è piuttosto ampia fino a temperature intorno ai 50-55°C, ma crolla drasticamente a picco non appena sono superati i 60°C. In simili condizioni ormai sfavorevoli, i bacilli sopravvivono formando endospore, le quali, oltre che resistere al calore, sono in grado di superare lunghi periodi di mancanza di nutrienti e di disidratazione del substrato. Una volta ripristinate le condizioni compatibili con la crescita, questi batteri riprendono a svilupparsi. La capacità a formare strutture di resistenza, propria di un certo numero di specie batteriche, consente a queste ultime di partecipare, senza evidente soluzione di continuità, alla prosecuzione del processo di compostaggio una volta che la fase di raffreddamento della matrice segua lo stadio di termofilia.

→ attinomiceti

rappresentano i microorganismi maggiormente responsabili del caratteristico “odore di terra” che emette un cumulo di compost maturo. A prima vista possono sembrare funghi a causa della formazione di pseudo-ife, lunghe fino a 10-15 mm, con una larghezza compresa tra 0,5-2 mm. Ciò nonostante, sia per la tipologia delle strutture cellulari esterne (parete), sia per l'organizzazione intracellulare (mancanza di un nucleo definito) sono da considerarsi a tutti gli effetti batteri. Gli attinomiceti hanno un ruolo molto importante durante le fasi del compostaggio, soprattutto per ciò che concerne la degradazione delle sostanze organiche complesse quali le proteine, le emicellulose, la cellulosa, la chitina e la lignina. Alcune specie compaiono durante la fase termofila, mentre altre si sviluppano massivamente nello stadio di progressivo raffreddamento, contribuendo così alla formazione di sostanze umiche, ed alla completa maturazione del substrato. Spesso gli attinomiceti formano un' inconfondibile trama di filamenti che si diffonde come ragnatela di colore grigio pallido attraverso il substrato in compostaggio [8].

→ funghi

ad esclusione dei lieviti (che prosperano su composti molecolari di facile assimilazione, quali ad esempio zuccheri semplici, e quindi nell'ambito del

compostaggio rivestono un ruolo del tutto marginale), in generale le specie fungine risultano responsabili della degradazione di molti tra i più noti polimeri complessi di origine vegetale quali cere, emicellulose, cellulosa, pectina e lignina. Nell'economia complessiva del processo di compostaggio, i funghi operano quindi un'azione fondamentale decomponendo sostanze altrimenti resistenti all'attacco microbico, in modo tale da rendere disponibili metaboliti intermedi ai batteri che provvedono così all'ulteriore trasformazione degli stessi.

Le muffe, o funghi filamentosi, invadono il substrato in compostaggio mediante una capillare diffusione di vigorosi filamenti solitamente sinciziali (ife multinucleate) del diametro variabile tra 2-10 mm. Prediligono un ambiente tendenzialmente acido, sono meno sensibili alla disidratazione rispetto ai batteri, ed attaccano residui organici che per basso contenuto di azoto non sono utilizzati da quest'ultimi. Mentre i funghi sono per la maggior parte aerobi obbligati, le muffe presentano in genere una più limitata tolleranza alle condizioni di scarsa ossigenazione rispetto ai batteri. Inoltre, i funghi attivi durante il compostaggio sono per lo più saprofiti in quanto tendono a svilupparsi su materiali organici morti da cui traggono E e fonte di nutrimento. Numerose sono le specie fungine che ricorrono sia nelle fasi mesofile, sia nello stadio termofilo del processo [8].

→ protozoi e macrofauna

raggiunta la biostabilizzazione della matrice di partenza (attuatosi il compostaggio attivo), protozoi ed una variegata macrofauna iniziano a colonizzare il substrato organico. I primi sono organismi unicellulari che insieme ad altri organismi strutturalmente più complessi, quali rotiferi, acari, insetti, molluschi ed altri invertebrati, si accrescono a spese della "microflora" vivente (batteri e funghi) sui materiali organici in decomposizione. Questa microcomunità contribuisce al processo di definitiva maturazione ed umificazione del substrato sottoposto a trattamento biologico, incrementando le caratteristiche finali del compost ottenuto (ivi comprese le qualità soppressive nei confronti di determinati funghi fitopatogeni radicicoli).

Circa la macrofauna, i vermi terricoli quali *Eisenia foetida*, *Lumbricus rubellus* e *Lumbricus terrestris*, sono gli organismi che probabilmente esercitano il ruolo positivo più importante. Se non introdotti deliberatamente nella matrice in compostaggio, questi organismi non compaiono fintantoché il processo di stabilizzazione non sia in stadio avanzato; tuttavia, alcune specie di vermi possono

essere immesse nel substrato organico non ancora stabilizzato: questo deliberato apporto (e conseguente allevamento di vermi) nella matrice da trattare al fine di ottenerne la stabilizzazione, è noto con il termine di *vermicompostaggio*. È importante comunque sottolineare che le condizioni compatibili con la vermicoltura, quale forma di trattamento di rifiuti organici in scala industriale, sono ristrette a casi particolari (vedi stabilizzazione di talune deiezioni animali e/o di particolari fanghi biologici) nei quali, a parte la possibilità di mantenere i vermi in attiva crescita all'interno della massa organica in trasformazione, il fattore tempo e la disponibilità di spazio non costituiscano elementi limitanti [8].

6.2.3 – Fattori che influenzano le reazioni di processo

In sintesi, dunque, il processo di compostaggio è un processo:

- *aerobico* (in quanto necessita di O₂ per la mineralizzazione delle componenti a maggiore fermentescibilità, con conseguente stabilizzazione della biomassa);
- *esotermico* (si ha produzione di calore che in parte va allontanato dal sistema, onde evitare il surriscaldamento in eccesso della biomassa rispetto ai valori ottimali di range delle temperature) [50].

Il processo di compostaggio può essere descritto e suddiviso in due fasi:

a) *fase attiva* (anche definita di “biossidazione accelerata” o “ACT, active composting time”), in cui sono più intensi e rapidi i processi degradativi a carico delle componenti organiche maggiormente fermentescibili; in questa fase, che si svolge tipicamente in condizioni termofile, si raggiungono elevate temperature, si palesa la necessità di drenaggio dell'eccesso di calore dal sistema e si ha una elevata richiesta di ossigeno necessario alle reazioni biochimiche;

b) *fase di maturazione* (o fase di curing) in cui si completano i fenomeni degradativi a carico delle molecole meno reattive ed in cui intervengono reazioni di trasformazione e polimerizzazione a carico delle stesse (con particolare riferimento alla lignina) che portano alla “sintesi” delle sostanze humiche. Sia le esigenze di drenaggio di calore che quelle di adduzione di ossigeno al sistema sono minori rispetto alla fase attiva.

Ai fini di una corretta evoluzione dinamica delle differenti fasi di processo risulta fondamentale poter monitorare attentamente tutta una serie di parametri di vario tipo.

Un complesso di fattori fisico-chimici ed edafici (cioè attinenti alle specifiche caratteristiche del substrato) condiziona difatti l'andamento delle reazioni biologiche che realizzano il compostaggio. Dal grado più o meno spinto con il quale vengono

governati questi fattori dipenderà quindi la corretta evoluzione verso la definitiva stabilizzazione del substrato sottoposto a trattamento, sia in termini di durata del processo, sia come qualità del prodotto finale [7].

I più importanti fattori che risulta opportuno considerare per una rigorosa gestione del processo sono:

- $[O_2]$ ed aerazione del sistema;
- temperatura;
- umidità;
- proprietà edafiche del substrato (porosità, struttura, tessitura, dimensione delle particelle o pezzatura della matrice in trasformazione);
- concentrazione e rapporto dei nutrienti nella biomassa substrato;
- pH.

6.2.3.1 – $[O_2]$ ed aerazione del sistema

Durante il compostaggio si ha un consumo notevole di ossigeno. In particolare, durante le prime fasi del processo, le componenti più facilmente degradabili della biomassa substrato vengono rapidamente metabolizzate. Il bisogno di ossigeno e, di conseguenza, la produzione di calore, risultano quindi decisamente maggiori nei primi stadi della trattamento, mentre decrescono a mano a mano che il processo evolve. Nel caso in cui l'apporto di ossigeno sia quantitativamente limitato, il processo di compostaggio tende a rallentare. Anche se una concentrazione minima di ossigeno del 5% nell'atmosfera circolante tra le particelle della biomassa substrato può consentire il compostaggio, in una gestione ottimale di processo, dovrebbero essere garantite, entro la matrice, $[O_2]$ mai inferiori al 10%. Senza una sufficiente ossigenazione, la biomassa substrato assume caratteristiche di anossia, e la microflora microbica anaerobica prende il sopravvento implicando un accumulo di composti ridotti (come acidi grassi volatili, idrogeno solforato, mercaptani,...) responsabili di emissioni odorigene decisamente aggressive, oltre che da elevata fitotossicità. Sebbene alcuni di questi composti intermedi, quali ad esempio gli acidi organici, si formino anche in condizioni aerobiche, in quest'ultima condizione risultano rapidamente degradati (quando l'ossigeno è disponibile). Il mantenimento di un ambiente ossidativo all'interno della matrice organica in corso di stabilizzazione è

quindi importante anche per impedire il formarsi di emissioni maleodoranti associate per lo più alle reazioni di decomposizione anaerobica.

L'aerazione del materiale in via di stabilizzazione, allo scopo di garantire l'apporto di ossigeno necessario al processo, rende inoltre possibili alcuni fondamentali aspetti metabolici legati alle reazioni in corso: (i) la dissipazione del calore, (ii) l'eliminazione del vapor d'acqua, e (iii) l'allontanamento di altri gas intrappolati nell'ambiente intero del substrato. In effetti, il tasso di aerazione richiesto per la rimozione del calore può essere anche dieci volte maggiore rispetto a quello necessario per l'apporto di ossigeno: è la temperatura che normalmente determina l'estensione e la frequenza degli interventi di aerazione [8].

6.2.3.2 – Temperatura

Tendenzialmente, qualora le matrici di partenza siano fortemente putrescibili, la fase di compostaggio attivo si attua intorno a temperature comprese tra 45-70°C. In speciali applicazioni del compostaggio, non finalizzate alla produzione di ammendante organico, bensì alla detossificazione di rifiuti organici tossici di origine industriale (melme di raffineria), il processo si svolge invece, data la natura del substrato, tutto nell'ambito della mesofilia (10-45°C), e per questo lo si indica anche come "compostaggio mesofilo o freddo". Le temperature termofile sono importanti per la distruzione di eventuali organismi patogeni presenti nella matrice organica di partenza. Il limite largamente fissato per la disattivazione dei patogeni umani è sui 55°C. Questa temperatura è in grado di abbattere anche la maggior parte degli organismi fitopatogeni, mentre per quanto concerne le sementi delle erbe infestanti, sono necessarie temperature non inferiori a 60°C.

Si è già detto che la decomposizione microbica durante il compostaggio rilascia una grande quantità di E sotto forma di calore. Le proprietà autocomburenti dei materiali avviati al compostaggio favoriscono dunque l'accumulo di calore, il quale, a sua volta, provoca un innalzamento termico dell'ambiente. Allo stesso tempo, la biomassa in trasformazione perde continuamente calore grazie all'evaporazione d'acqua ed ai movimenti d'aria che rimuovono il vapore acqueo ed i gas caldi (CO₂) dal substrato. Tutti i sistemi di aerazione accelerano la perdita del calore e quindi sono usati per mantenere la temperatura nell'intervallo compatibile con l'attività metabolica dei microrganismi. È importante ribadire che, nei casi di scarsa dissipazione dell'eccesso di calore generato dalle reazioni ossidative esotermiche, la

temperatura può raggiungere e oltrepassare i 70°C: in tali condizioni la quasi totalità dei microrganismi soccombe e/o diventa dormiente, per cui il processo si arresta, per riprendere solo quando una nuova popolazione microbica avrà invaso di nuovo il substrato. Risulta determinante quindi un puntuale monitoraggio di tale fattore fisico, oltre a considerare l'attivazione, in condizioni termiche prossime ai 60°C, di sistemi ausiliari quali il rivoltamento della biomassa, o la ventilazione forzata, sistemi cioè in grado di accelerare la rimozione del calore. Nel caso in cui si verifichi una pressoché totale autosterilizzazione della matrice in compostaggio, il rapido recupero del processo può ottenersi miscelando al substrato materiale microbiologicamente attivo analogo al precedente, anche proveniente da altri cumuli e/o reattori [8].

6.2.3.3 – Umidità

Tal parametro necessita di un puntuale monitoraggio affinché i processi metabolici microbici possano rendersi attivi. La fase acquosa rappresenta il mezzo nel quale si attuano tutte le reazioni chimiche, così come è fondamentale per le fasi di diffusione, e per il trasporto di nutrienti, per i movimenti e per la migrazione dei microrganismi coinvolti. Da un punto di vista teorico l'attività biologica trova condizioni ottimali in un ambiente saturo; al contrario, essa cessa completamente al di sotto del 15% di umidità. In pratica, però, i materiali avviati al compostaggio, secondo buona pratica, implicano un contenuto di umidità in un intervallo compreso tra il 55% e 65%. Numerose esperienze hanno dimostrato che, approssimandosi l'umidità della matrice organica al 40%, il processo di compostaggio comincia ad essere inibito. Al di sotto del 30-35%, poi, l'attività microbica procede a stento, ed è fortemente rallentata. In condizioni di umidità superiori al 65%, invece, l'acqua favorisce l'espulsione dell'aria dalla maggior parte degli spazi interstiziali tra le particelle della matrice organica. Questo però ostacola la diffusione dell'ossigeno e può favorire l'insorgenza di condizioni microaerofile o, addirittura, anossiche.

Poiché l'umidità del substrato diminuisce con l'evoluzione dinamica del processo, il contenuto in acqua del materiale di partenza dovrebbe essere ben più alto del 55%. E' dunque fondamentale che matrici organiche troppo secche per poter essere avviate direttamente a compostaggio, vengano bagnate con acqua e/o mescolate con substrati più umidi, in modo da raggiungere, nelle miscele di partenza, condizioni di umidità tra il 60% e 63%. Materiali molto porosi possono essere avviati al compostaggio anche in eccesso di umidità, contrariamente ai substrati con struttura compatta e

particelle di piccole dimensioni. Per tutto il corso del trattamento biologico, ivi compresa la fase di finissaggio, l'umidità deve mantenersi al di sopra dei limiti compatibili con l'evoluzione delle reazioni biologiche. L'eccessiva disidratazione del substrato nel corso del processo può portare, erroneamente, ad interpretare il declino dell'attività microbica come segno di avvenuta stabilizzazione del substrato; in realtà, il materiale ottenuto sarà stabile solo da un punto di vista fisico (in quanto disidratato disidratato). Nel caso si proceda ad un'ulteriore fase di umidificazione, questo materiale tenderà a riattivarsi biologicamente, con grave danno per le colture cui, eventualmente, risultava in precedenza essere stato somministrato [8].

6.2.3.4 – Concentrazione e rapporto dei nutrienti

Gli elementi nutritivi principali richiesti dai microrganismi coinvolti nel processo di compostaggio risultano essere carbonio (C), azoto (N), fosforo (P) e potassio (K). Azoto, fosforo e potassio sono anche i nutrienti più importanti per le piante e, per tal motivo, la loro concentrazione finisce per influenzare anche il valore agronomico del compost ottenuto. La maggior parte delle matrici organiche compostabili, inclusi i residui delle colture e gli scarti verdi dei mercati ortofrutticoli, contiene in larga misura nutrienti detti. Ma in tale trattamento biologico la componente elementare determinante risulta fondamentalmente la quantità di C e N della biomassa substrato, quantità in grado di influenzare i processi di biostabilizzazione in atto. In generale, durante le reazioni energetiche e per la crescita, i microrganismi utilizzano una quantità di C circa venti volte superiore a quella di N di cui necessitano: ne consegue che è importante considerarne quindi la disponibilità in appropriate proporzioni. La quantità di carbonio, presente in un substrato, riferita a quella di azoto si indica comunemente come rapporto C/N. Una buona pratica di processo prevede che le matrici organiche da avviare al compostaggio risultino avere un rapporto C/N compreso tra 20:1 e 30:1, questo per garantire un andamento ottimale del processo. In taluni casi, tuttavia, risultati accettabili possono ottenersi con materiali di partenza aventi rapporto C/N fino a 40:1; con rapporti C/N inferiori a 20:1, invece, il carbonio disponibile viene ad essere completamente utilizzato senza che, allo stesso tempo, risulti stabilizzato tutto l'azoto presente: l'eccesso di N potrà allora essere perso in atmosfera sotto forma di NH_3 (oppure come ossido nitroso) e dunque causare fastidiose emissioni maleodoranti, punto di notevole criticità nella corretta gestione di processo. D'altra parte, miscele di partenza caratterizzate da rapporti C/N superiori a

40:1 necessiterebbero di tempi di compostaggio troppo lunghi, in quanto attivano una più lenta crescita microbica (dovuta ad eccessi carboniosi).

Sebbene il rapporto C/N rappresenti un'utile guida per la preparazione di miscele di residui organici da avviare al compostaggio, anche il grado di suscettibilità dei composti carboniosi all'attacco microbico deve essere tenuto in debito conto. Così, ad esempio, la paglia, a prevalente composizione cellulosa, si degrada in fretta e rende disponibile subito il carbonio per i microrganismi, il tutto in tempi più rapidi rispetto ad esempio ai sarmenti di potatura, nei quali, invece, la cellulosa è diffusamente incrostata da lignina e comunque legata ad altri composti organici (resine, tannini, ...) recalcitranti alla degradazione biologica. Se il carbonio del substrato è in forma scarsamente degradabile, il processo di compostaggio risulta necessariamente rallentato. Poiché, inoltre, la decomposizione procede in modo centripeto dalla superficie delle particelle del substrato (riducendo in tal modo la dimensione delle stesse, seppur aumentandone l'area superficiale), il tasso di degradazione può eventualmente essere incrementato. Nel caso di matrici carboniose scarsamente degradabili, il rapporto C/N di partenza potrà essere "aggiustato" su valori più alti rispetto a quelli ottimali, tenendo comunque conto dell'inevitabile allungamento dei tempi necessari all'esaurimento del processo [8].

6.2.3.5 – Proprietà edafiche del substrato

La porosità, la struttura e la tessitura di un substrato risultano correlate alle proprietà fisiche dei materiali quali la pezzatura, la forma e la resistenza meccanica, e per questo condizionano il processo di compostaggio attraverso l'influenza esercitata sull'aerazione. Tali proprietà possono essere "favorite" attraverso operazioni di triturazione e di sminuzzamento dei substrati di partenza, oppure mediante fasi successive di miscelazione di questi substrati con matrici definite "agenti di supporto" (bulking agents).

La porosità indica la misura degli spazi vuoti entro la biomassa in compostaggio, ed è un utile parametro per poter determinare la resistenza alla circolazione dell'aria. Un substrato è più o meno poroso in funzione delle dimensioni delle particelle che lo costituiscono, della distribuzione granulometrica dei materiali, e della continuità degli interstizi tra le particelle. Ovviamente, particelle dimensionalmente più grandi, e distribuite in modo più uniforme, tendono ad incrementare la porosità della biomassa. La struttura, invece, indica la rigidità delle particelle, vale a dire la resistenza delle

stesse a collassare e compattarsi; pertanto, un buon grado di struttura previene la perdita di porosità del substrato umido, sistemato in quantità critica (in cumulo o in reattore) nell'ambito del processo.

La tessitura descrive l'area superficiale del substrato disponibile all'attività microbica aerobica durante il processo. Nel corso del compostaggio, le reazioni di degradazione avvengono prevalentemente alla superficie delle particelle della matrice in trasformazione. Questo è principalmente dovuto al fatto che l'ossigeno diffonde facilmente attraverso gli spazi vuoti delimitati dalle particelle, ma molto più lentamente attraverso la fase liquida o i materiali solidi. In tal senso, i microrganismi aerobi tendono a concentrarsi nel sottile strato acquoso che contorna le particelle del substrato, utilizzando l'ossigeno all'interfaccia tra la fase liquida e la fase gassosa degli interstizi. Poiché l'estensione dell'area superficiale aumenta con la riduzione della pezzatura, il tasso di decomposizione aerobica si innalza in una matrice organica quanto più piccole sono le dimensioni delle particelle che la costituiscono. Particelle troppo piccole, però, rischiano di compromettere la porosità ed è quindi necessario trovare una ottimale situazione di compromesso. Risultati soddisfacenti si ottengono normalmente quando il diametro medio delle particelle della matrice sottoposta a compostaggio oscilla tra 0,5-5 cm. Per la maggior parte dei substrati e dei sistemi di compostaggio, possono aversi buoni livelli di porosità e struttura in condizioni di umidità della matrice non superiore al 65%. Tuttavia alcune situazioni richiedono una particolare attenzione. Ad esempio, metodi di compostaggio che non prevedano il rivoltamento della biomassa in trasformazione richiedono maggior struttura per resistere ai fenomeni di compattamento. In questi casi, sono maggiormente indicate particelle di più grandi dimensioni. Allo stesso modo, matrici che presentano problemi di odori dovrebbero essere mescolate con materiali di supporto rigidi in modo da ottenere miscele di partenza con elevata porosità che garantisca un continuo ricambio d'aria negli interstizi, evitando così la formazione di sacche di anaerobiosi nelle quali si ha sviluppo di prodotti volatili maleodoranti [8].

6.2.3.6 – pH

Questo fattore rappresenta il parametro di cui un substrato avviato a compostaggio risente in maniera minore: ciò in ragione dell'ampio spettro di microrganismi comunque associati ai substrati stessi ed ampiamente coinvolti nelle reazioni di processo. I valori ottimali del pH cadono nell'intervallo tra 6,5 e 8; tuttavia la naturale

capacità tampone del processo rende possibile l'impiego di substrati con pH compresi in un ben più ampio spettro di valori. Il compostaggio, in effetti, può innescarsi anche in matrici tendenzialmente acide, con pH fino a 5,5, così come in biomasse alcaline caratterizzate da pH fino a 9. Tal fattore inizia a risultare determinante in substrati che presentano un elevato contenuto di N (deiezioni e liquami zootecnici): in questi casi, caratteristiche alcaline del materiale favoriscono la conversione dei composti azotati in NH_3 (in presenza di microrganismi ammonizzanti), con conseguenti sensibili perdite di N per volatilizzazione sotto forma di ammoniaca. Quest'ultima, come detto, contribuisce ad un impatto olfattivo alquanto sgradevole nelle emissioni gassose, e determina, inoltre, nella matrice, un ulteriore aumento dell'alcalinità. In queste circostanze si rende necessaria la miscelazione con matrici acidificanti quali possono risultare i residui vegetali freschi.

Nel materiale in corso di compostaggio i valori del pH mutano all'evolversi del processo, così come il rilascio di acidi organici può temporaneamente abbassare il pH nei primi stadi della biostabilizzazione. Durante la fase termofila, con l'intensificarsi del rilascio di ammonio (NH_4OH) nel substrato ad opera della microflora ammonizzante, il pH subisce un sensibile aumento. Poi, torna nuovamente a decrescere durante la fase di finissaggio, anche grazie al contributo offerto dai batteri nitrificanti che trasformano, in sequenza, l'ammonio in acido nitroso e nitrico [8].

In generale, quindi, il tempo necessario per trasformare in compost i substrati avviati a trattamento biologico aerobico, dipende da molti fattori quali le caratteristiche della matrice organica di partenza, la temperatura, l'umidità e il tipo di aerazione. Un adeguato contenuto di umidità (60-65%), un corretto rapporto C/N (~ 25), ed una efficace aerazione della massa consentono di realizzare un buon compostaggio in tempi decisamente contenuti. I motivi che rallentano il processo di stabilizzazione sono imputabili principalmente a condizioni di scarsa umidità del substrato, ad elevati rapporti C/N della biomassa di partenza, a basse temperature, ad una insufficiente aerazione, a caratteristiche edafiche sfavorevoli (pezzatura troppo grossolana delle particelle della matrice organica e la presenza significativa, in quest'ultima, di materiali refrattari all'attacco microbico) [40].

L'evoluzione della sostanza organica durante il compostaggio procede sia quantitativamente, con una evidente riduzione volumetrica e ponderale, che qualitativamente, con una modificazione anche consistente delle caratteristiche

chimiche della sostanza organica contenuta nel compost rispetto a quella originaria delle biomasse ad inizio trattamento. Dal punto di vista qualitativo la sostanza organica, una volta terminato il processo di compostaggio, si presenta:

1. Stabile, cioè con processi degradativi di natura biologica alquanto rallentati; la misura della stabilità di una biomassa si può concretizzare attraverso la determinazione analitica di:
 - a) contenuto residuo in sostanza organica (o in solidi volatili);
 - b) indici di respirazione statico e/o dinamico (legati alla attività metabolica residua);
 - c) concentrazione di ammoniaca (legata alla persistenza di attività di degradazione e proteolisi in misura superiore a quelle di nitrificazione dell'ammoniaca);
2. Matura, ossia non presenta fenomeni di fitotossicità (misurabili con l'omonimo test);
3. Umificata, in quanto dotata di molecole umiche (humus) originatesi da reazioni di umificazione a carico delle componenti della sostanza organica più recalcitranti alla mineralizzazione [7].

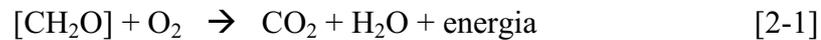
6.2.4 – Biochimica ed aspetti metabolici

Nell'evolversi del processo di compostaggio, i microrganismi coinvolti degradano i differenti composti molecolari che caratterizzano la matrice organica di partenza, allo scopo di ricavarne (i) energia che favorisca le reazioni cataboliche, oltre a (ii) materiale utile per i processi di sintesi cellulare. Allo stesso tempo, nel corso del processo, avvengono anche importanti biotrasformazioni, attraverso le quali alcuni composti intermedi derivanti dalla degradazione di materiali a struttura polimerica (cellulosa e lignina) risultano di facile utilizzo per la formazione di nuove sostanze complesse, seppur profondamente diverse da quelle iniziali (acidi humici).

6.2.4.1 – Trasformazione dei composti organici

Affinché i microrganismi possano sintetizzare nuovo materiale cellulare, deve rendersi disponibile sufficiente energia per i processi biosintetici. Le due possibili vie metaboliche per la produzione di energia, di cui i microrganismi eterotrofi risultano capaci, sono rappresentati dalla respirazione e dalla fermentazione.

La respirazione è un processo che può attuarsi sia in fase aerobica, sia in fase anaerobica. Nella respirazione aerobica i microrganismi consumano O₂ molecolare per liberare la maggior parte dell'energia dal substrato carbonioso, e questo implica la formazione di anidride carbonica (CO₂) ed acqua:

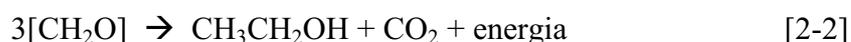


Questa conversione non si attua in un singolo momento reattivo, bensì attraverso una serie di reazioni che servono non solo a liberare significative quantità di energia, ma anche a formare un vasto numero di prodotti organici intermedi che fungono da punto di partenza per numerose reazioni biosintetiche [25].

- Nell'ambito del compostaggio, la respirazione aerobica è più funzionale al processo stesso, rispetto alla respirazione anaerobica ed alla fermentazione, in quanto risulta più efficiente, capace cioè di generare una maggiore quantità in termini di E. La respirazione, inoltre, può procedere attraverso temperature più elevate e non produrre quantità rilevanti di composti odorigeni indesiderati. Le specie microbiche aerobie coinvolte risultano in grado di utilizzare una maggiore varietà di composti organici come fonte di energia, così da operare una spinta degradativa verso la stabilizzazione dei substrati [8].

- Nella respirazione anaerobica i microrganismi, per produrre energia, usano accettori finali di elettroni diversi dall'O₂, quali nitrati (NO₃⁻), solfati (SO₄²⁻), carbonati (CO₃²⁻) e, in taluni casi, anche composti ossidati di alcuni metalli (Mn⁴⁺, Fe³⁺) così come composti organici (fumarato, glicina). L'uso, da parte dei microrganismi, di taluni dei suddetti accettori di elettroni alternativi, ha come conseguenza la produzione di sostanze odorigene, quali idrogeno solforato (H₂S), acidi grassi ed ammoniaca, causa di potenziali impatti olfattivi negativi [7].

- La fermentazione, invece, rappresenta la via più semplice per la produzione di energia (non richiedendo ossigeno), ma è scarsamente efficiente da un punto di vista energetico. La maggior parte del carbonio organico che fluisce attraverso le reazioni fermentative viene in tal modo convertito in prodotti finali che contengono ancora una notevole quantità di energia (alcoli, acidi organici):



A livello operativo rimane difficile evitare che tali reazioni vengano ad innescarsi durante alcune fasi del compostaggio. Tuttavia, in una efficiente gestione di processo,

le reazioni fermentative devono essere ridotte quanto più possibile al fine di minimizzare i rischi di maleodoranze, oltre all'accumulo, nel prodotto finale, di metaboliti ridotti, e dunque tossici, per le piante.

6.2.4.2 – Trasformazione dei composti azotati

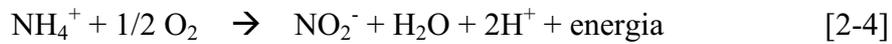
Una serie di considerazioni del tutto particolari riguardano quelle reazioni metaboliche che, nelle condizioni tipiche del compostaggio, avvengono a carico delle frazioni organiche contenenti azoto. Alcuni microrganismi sono difatti in grado di idrolizzare sostanze azotate complesse come le proteine, ottenendo così composti più semplici quali peptoni, peptidi ed aminoacidi che possono essere più facilmente metabolizzati, da un maggior numero di specie microbiche. L'incorporazione dell'azoto in nuovo materiale cellulare avviene soltanto se è disponibile una sufficiente quantità di carbonio. In condizioni di scarsa disponibilità di substrato carbonioso, quando cioè risulta in presenza di matrici organiche con rapporto C/N eccessivamente basso (<15), la mineralizzazione dei composti organici contenenti azoto (indicata come "ammonificazione") porta invece al rilascio finale di ammoniaca (NH₃) a seguito di deaminazione ossidativa degli aminoacidi:



L'ammoniaca prodotta può convertirsi in ioni ammonio (NH₄⁺) a seconda del pH presente all'interno del substrato in trasformazione. Condizioni acide (pH<7) promuovono la formazione di NH₄⁺, mentre valori più elevati (pH>9) favoriscono la presenza di ammoniaca. Anche temperature elevate contribuiscono alla formazione di NH₃ estremamente volatile. Poiché la fase termofila del compostaggio è caratterizzata da innalzamento della temperatura e da valori di pH nell'ambito dell'alcalinità, essa rappresenta uno stadio critico sia per l'eventuale perdita di azoto attraverso la volatilizzazione dell'ammoniaca, sia per il rilascio di emissioni problematiche dal punto di vista olfattivo [41].

Un'altra trasformazione chimica che gioca un ruolo chiave nell'ambito del compostaggio è la nitrificazione autotrofa, processo attraverso il quale l'ammoniaca o gli ioni ammonio sono ossidati fino a nitrato. La nitrificazione è una reazione che comporta due stadi: nel primo, l'azoto ammoniacale (N-NH₄⁺) viene trasformato in nitrito (NO₂⁻) grazie all'azione di un gruppo molto speciale di batteri chemolitotrofi, indicati come batteri nitrosanti (gen. *Nitrosomonas*), che si procurano energia

attraverso la reazione [2-4]. Il nitrito così prodotto viene quindi rapidamente convertito in nitrato (NO_3^-), a mezzo della reazione [2-5], per intervento di un altro gruppo di microrganismi autotrofi, indicati come batteri nitrificanti (gen. *Nitrobacter*):



Esistono inoltre certe specie fungine ed alcune forme batteriche eterotrofe che sono in grado di catalizzare la nitrificazione partendo direttamente dall'azoto ridotto dei composti organici, evitando il passaggio intermedio con l'ammonio. Si tratta di un meccanismo di nitrificazione molto simile a quello riscontrato nei suoli forestali, caratterizzati da pH acido. Risulta comunque ancora controverso il reale contributo di questa nitrificazione eterotrofa nel bilancio complessivo dell'azoto durante il compostaggio [26].

Le reazioni di nitrificazione si manifestano nei substrati sottoposti alla biostabilizzazione aerobica a partire dall'esaurimento della fase termofila; quando la sostanza organica, prontamente disponibile, risulta pressoché esaurita, la temperatura comincia infatti a scendere sensibilmente e, con essa, anche i valori del pH: si instaurano, pertanto, le condizioni compatibili con l'attività dei batteri nitrificanti (nitrosanti + nitrificanti). È dunque possibile affermare che la nitrificazione è una reazione tipicamente associata alla fase finale del processo di compostaggio, già definita come finissaggio mesofilo. Poiché il nitrito è tossico nei confronti delle piante, un adeguato periodo di post-maturazione del compost ottenuto serve anche a prevenire eventuali effetti negativi dovuti alla presenza di NO_2^- nella matrice stabilizzata. Nelle condizioni operative compatibili con le esigenze di un corretto processo di compostaggio, il rifornimento di ossigeno al substrato organico in trasformazione dovrebbe essere senz'altro assicurato. Tuttavia, in talune condizioni particolari, quali il trattamento di matrici eccessivamente umide o di substrati scarsamente strutturati, con la tendenza, quindi, a compattarsi, possono crearsi all'interno del materiale organico in trasformazione nicchie scarsamente ossigenate, quando non, addirittura, completamente anossiche. In questi ambienti, il nitrato rimpiazza l'ossigeno molecolare come accettore finale di elettroni nelle reazioni di respirazione microbica. Si attua così la denitrificazione, definita anche riduzione dissimilativa dei nitrati:



Complessivamente, le maggiori perdite di azoto per denitrificazione sono dovute alla emissione di ossido nitroso (N_2O) ed azoto molecolare (N_2). È evidente che la denitrificazione non è una reazione utile nel compostaggio, e soltanto una appropriata aerazione della matrice in trasformazione può contrastare le perdite di nitrati dovute ai fenomeni di riduzione dissimilativa [8].

6.2.5 – Metodi e tecnologie di compostaggio

6.2.5.1 – Definizione di sistema

I metodi di compostaggio applicabili alla stabilizzazione dei rifiuti organici possono essere differenti. La scelta di un metodo, piuttosto che di un altro, dipende da una serie di fattori tra i quali assume un ruolo primario la tipologia delle matrici organiche da trattare. Ad influenzare l'adozione di un sistema di compostaggio sono però anche altri elementi quali la quantità di rifiuto da stabilizzare e la disponibilità di spazio per il trattamento, l'entità dell'investimento stanziato per le strutture impiantistiche, l'incidenza della manodopera sull'operatività del sistema, la dislocazione topografica del sito destinato alla stazione di trattamento, oltre ad una molteplicità di considerazioni di carattere ambientale, infrastrutturale e sociale. Sulla base di queste necessità, non è possibile stabilire a priori quale filiera di compostaggio sia più confacente alle esigenze di un determinato contesto. Tuttavia, anche se l'obiettivo di una corretta stabilizzazione aerobica dei rifiuti organici può essere raggiunto attraverso strategie impiantistiche diverse, è opportuno tenere ben presenti i limiti associati alle specifiche soluzioni, evitando l'adozione di sistemi non appropriati di trattamento, sulla base della mera economicità dell'intervento, o delle mode tecnologiche di volta in volta ricorrenti sul mercato come soluzioni rivoluzionarie [1]. Come è stato già ampiamente evidenziato, le matrici organiche destinabili alla stabilizzazione attraverso il processo di compostaggio ospitano, in generale, sia microrganismi in grado di condurre reazioni di decomposizione anaerobica, sia specie microbiche con metabolismo ossidativo. Poiché il fine del compostaggio è la biostabilizzazione aerobica della sostanza organica, il requisito fondamentale per garantire un decorso rapido ed efficiente del processo consiste nel mantenere la presenza di ossigeno nelle matrici in trasformazione, ai livelli compatibili con il metabolismo microbico aerobico. Ne consegue che, nelle diverse situazioni operative,

il metodo di compostaggio adottato, determina il modo attraverso il quale la suddetta esigenza è soddisfatta, e finisce per condizionare altri aspetti del processo come il controllo della temperatura, la movimentazione del materiale in trasformazione, il controllo delle emissioni maleodoranti ed il tempo di stabilizzazione.

Nel panorama tecnologico attuale si riconoscono essenzialmente tre tipologie generali di metodi di compostaggio:

- a) compostaggio in cumuli periodicamente rivoltati;
- b) compostaggio in cumuli statici aerati;
- c) compostaggio in bioreattori.

Ciascuna tipologia si articola in una vasta gamma di sistemi applicativi.

Esiste poi anche il cosiddetto d) compostaggio passivo, il quale non ha però rilevanza in termini tecnologici. Questo infatti presuppone il semplice ammasso della matrice organica putrescibile, la quale viene poi lasciata indisturbata per lunghi periodi di tempo (molti mesi), senza condizionamento alcuno delle reazioni di degradazione e trasformazione. Rientra in questa categoria il trattamento delle deiezioni animali presso la maggior parte delle aziende agricole [66].

Con il termine “sistema” s’intende l’insieme di strutture, macchinari ed attrezzature che permette lo svolgimento dell’intero ciclo di stabilizzazione mediante compostaggio di matrici organiche di scarto. Qualsiasi sia il metodo di processo adottato, le operazioni che si susseguono, e dunque le tecnologie che risultano necessarie in tali fasi, possono essere raggruppate in quattro fasi distinte:

- 1) preselezione e preparazione della miscela di partenza:

s’intendono tutte le operazioni necessarie per predisporre una miscela di scarti organici che presenti caratteristiche chimico-fisiche ottimali ai fini dell’avvio al compostaggio; quando si opera con matrici selezionate alla fonte i trattamenti preliminari sono essenzialmente tre:

1a - triturazione degli scarti lignocellulosici al fine di ridurre la pezzatura, e di aumentarne la superficie esposta all’attacco della flora microbica; questa operazione prevede l’utilizzo di macchine trituratrici essenzialmente riconducibili a due tipologie: (i) trituratoria a martelli, (ii) trituratoria a coclee.

1b - miscelazione tra scarti ad elevato tenore di umidità (organico, fanghi,..), e scarti a basso tenore di umidità (ligneo); macchine che operano per la rottura dei sacchetti, e per l’intimizzazione della matrice umida con quella lignea

appartengono in generale alla categoria indicata come miscelatori e trituratori-miscelatori (ne esistono differenti tipologie).

1c – eventuale vagliatura, nel caso in cui sia necessario separare corpi estranei di dimensioni macroscopiche presenti in quantità ritenute eccessive [77].

2) fase di degradazione biologica o biossidativa o attiva:

rappresenta la fase più importante del processo di compostaggio, e pertanto può attuarsi in sistemi di compostaggio a differenti gradi di complessità (in seguito trattati per esteso). In tale fase è determinante l'utilizzo di macchine operatrici indicate come macchine rivoltatrici, fondamentali nel condurre la fase attiva (soprattutto nei sistemi a cumuli rivoltati) in quanto vanno a rappresentare il solo mezzo per garantire l'apporto di ossigeno necessario al corretto andamento di processo. Gli scopi del rivoltamento vengono dunque a risultare sia quello di favorire il contatto della massa in compostaggio con l'aria, allontanando vapor acqueo e calore in eccesso, sia quello di disaggregare, rimescolare ed omogeneizzare la massa portando verso l'interno gli strati più superficiali del cumulo. Sulla base del principio di funzionamento possono individuarsi due tipologie di rivoltatrici: (i) rivoltatrici operanti per trasferimento, (ii) rivoltatrici operanti per movimentazione.

3) fase di maturazione:

consiste nel completamento della fase di trasformazione e stabilizzazione del prodotto ed è di norma attuata con sistemi semplici quali possono essere i cumuli. In tal caso si adotta esclusivamente pala meccanica per effettuare movimentazioni.

4) fase di raffinazione e nobilitazione del prodotto:

sono comprese tutte le operazioni necessarie per ottenere un prodotto finito con caratteristiche qualitative costanti nel tempo e con requisiti commerciali richiesti dal settore di destinazione. Tra tali operazioni la più importante e senza dubbio rappresentata dalla vagliatura o raffinazione, per cui dal prodotto grezzo si ottengono una frazione fine (compost raffinato e pulito) di granulometria omogenea, ed una o due frazioni grossolane costituite da eventuali elementi indesiderati (plastiche, inerti, sopravaglio di pezzatura maggiore) e da materiali legnosi non degradati (frazione intermedia). Le attrezzature che operano la raffinazione possono separare le differenti parti costituenti il compost grezzo, in funzione della loro dimensione, e/o del loro peso (separazione aerea e

densimetrica). Per l'operazione di separazione dimensionale, o più comunemente vagliatura, possono essere utilizzati vagli differenti, tra cui (i) vagli a cilindro rotante o retrovagli (formati da tramoggia di carico, cilindro rotante ad asse leggermente inclinato, e nastri di scarico delle due frazioni – fine e sovrvallo -, il tutto montato su rimorchio), (ii) vagli vibranti o vibrovagli (il passaggio della frazione fine avviene attraverso una griglia forata inclinata vibrante, anziché un tamburo rotante), (iii) vagli a “letto di stelle”, e (iv) separatori idraulici [1].

Esistono poi sistemi a tecnologia complessa tendenti a confinare la fase di bioossidazione entro sistemi chiusi quali biocelle, biocontainer, biotunnel, bacini, ...ossia in spazi coperti e tamponati, oppure in veri e propri reattori chiusi a tenuta: tali sistemi consentono non solo un più adeguato controllo del processo, ma soprattutto il contenimento dell'impatto sull'ambiente circostante, in particolare in termini di emissioni maedoranti. I sistemi di compostaggio chiusi che negli ultimi tempi stanno suscitando il maggior interesse (e che dunque hanno migliorato l'accettazione da parte delle popolazioni residenti nei dintorni dell'impianto) possono risultare nel complesso le seguenti:

- reattori orizzontali a trincea;
- reattori orizzontali a bacino;
- reattori chiusi a tenuta stagna;
- cumulo statico coperto con telo traspirante;
- biocontainer scarrabili;
- biocontainer a sistema dinamico;
- biocella statica a ciclo continuo.

6.2.5.2 - Trattamenti aerobici: principali tecnologie

Compostaggio e biostabilizzazione possono sfruttare generalmente le medesime tecnologie, le quali si differenziano pertanto solo per le matrici di partenza impiegate e per il destino finale dei prodotti. In linea generale possiamo identificare:

- sistemi aperti / sistemi chiusi;
- sistemi areati / sistemi non areati;
- sistemi statici / sistemi dinamici.

→ sistemi aperti

- *cumulo statico areato*: il materiale viene collocato in cumulo sottoposto ad aerazione forzata in aspirazione, con invio delle aree esauste ad un biofiltro. Il materiale in questo caso deve essere miscelato con una percentuale di bulking lignocellulosico tale per cui la densità finale sia inferiore a $0,55 \text{ t}\cdot\text{m}^{-3}$. Diffuso negli USA per il compostaggio di fanghi o di biomasse agricole, il sistema del cumulo statico consente ottime performances di processo se abbinato a speciali pretrattamenti di condizionamento della biomassa.

- *cumulo rivoltato*: come nel precedente sistema, il materiale viene disposto in cumuli di grandi dimensioni (3-4 m di altezza, 3-30 m di larghezza), sebbene l'areazione della massa viene comunque ben garantita mediante rivoltamenti con pala meccanica a frequenza anche mensile. È un sistema indicato per matrici ad alta prevalenza di materiale lignocellulosico (residui verdi) o per biomasse già in avanzato stato di biostabilizzazione (curing dopo ACT) [50].

→ sistemi chiusi

Qualora la biossidazione del materiale avvenga in sistemi semiaperti o del tutto chiusi (reattori), come nel caso della fase ACT del compostaggio e/o nella bioessiccazione/biostabilizzazione di RSU, vengono per lo più utilizzate le seguenti tecnologie:

- *reattori orizzontali a trincea*: questa tecnologia viene generalmente impiegata in ambienti chiusi nella fase ACT, con biomasse ad elevata fermentescibilità (fanghi agroalimentari, frazione umida dei RSU). Grazie alla versatilità del sistema, tale reattore può essere impiegato anche per matrici con bassa percentuale di bulking lignocellulosico, con miscele finali di densità inferiore a $0,7 \text{ t}\cdot\text{m}^{-3}$. Nel caso di trincee a ciclo continuo il materiale viene caricato ad un estremo e procede lungo la trincea grazie all'azione di rivoltamento e avanzamento esercitata dalla macchina rivoltatrice, che può servire anche due trincee affiancate, scorrevole su binari posti sulle pareti. Lo scarico avviene all'estremo opposto dopo un certo numero di rivoltamenti. La lunghezza delle trincee è stabilita in base al tempo di permanenza previsto per il materiale. Vengono proposte anche trincee a ciclo continuo con traslazione laterale, qualora il materiale, in fase di rivoltamento, venga alternativamente spostato tra due trincee adiacenti. In ogni caso, in abbinamento al rivoltamento, può essere collocato in trincea un sistema di areazione forzata mediante canalette grigliate poste sul pavimento. In alternativa alle trincee a ciclo continuo

possono essere impiegate trincee a ciclo discontinuo, in cui il materiale, posto lungo l'intera lunghezza della trincea, vi rimane per un tempo prefissato in condizioni di rivoltamento e areazione forzata, prima di essere asportato e avviato alla maturazione.

- *reattori orizzontali a bacino*: sfruttando il principio delle trincee a ciclo continuo o discontinuo, e con le medesime varianti impiantistiche, nel caso dei reattori a bacino il materiale viene altresì collocato in un'unica corsia a notevole sviluppo dimensionale (fino a 33m·3m), e rivoltato mediante un apparato traslatore costituito da rivoltatrici scorrevoli trasversalmente su carroponte. In luogo dell'apparato traslatore sul carroponte possono essere montate coclee ad asse verticale, ed il bacino può essere di forma circolare oltreché rettangolare [1].

- *reattori chiusi a tenuta stagna*: nei reattori di tipo statico (biocelle e biocontainers) il materiale viene sottoposto per un periodo prefissato ad una fase di fermentazione accelerata mediante areazione forzata della massa. È sempre previsto un sistema di raccolta dei percolati ed un trattamento dell'aria esausta prima dell'immissione in atmosfera.

Oltre ai reattori descritti esistono alcune varianti tipologiche quali:

- *biocontainers a sistema dinamico*, in cui la massa, oltre che sottoposta ad areazione forzata, viene periodicamente rivoltata secondo un programma che assicura la totale automazione del processo.

- *biotunnel a ciclo continuo*, costituiti da moduli dotati di areazione forzata, controllo dei parametri di processo e particolari sistemi per l'avanzamento del materiale da una estremità di alimentazione ad una di scarico.

- *biotunnel a ciclo discontinuo*, in cui il materiale viene disposto nel tunnel, e lì permane in condizioni di areazione forzata e, a volte, di rivoltamento, prima di essere scaricato.

- *biotamburi*, reattori a sviluppo orizzontale in cui il materiale viene disposto in condizioni di adduzione di aria e canalizzazione e raccolta delle arie esauste. Il rivoltamento della massa avviene ad opera della rotazione del reattore stesso. Carico e scarico possono essere in continuo o in batch. Il sistema è particolarmente indicato per la fase ACT in trattamenti intensivi di compostaggio, o come pretrattamento dinamico di omogenizzazione e pre-fermentazione accelerata, prima del passaggio ad altre tecnologie di stabilizzazione.

- *sili*, reattori a sviluppo verticale con areazione forzata in cui il materiale viene collocato, in modo continuo o discontinuo. I reattori consistono in torri mono o pluristadio (con setti divisori orizzontali), con carico dall'alto e insufflazione generalmente dal basso. Il sistema è generalmente statico o semidinamico. Tecnologia poco diffusa, presenta un limite operativo nei frequenti compattamenti e nelle difficoltà di diffusione dell'ossigeno all'interno della massa [66].

→ sistemi aerati e non aerati

L'aerazione forzata della biomassa è un importante fattore di ottimizzazione delle condizioni di processo nei sistemi intesi al trattamento di materiali a bassa consistenza (scarsa conduttività ai processi di diffusione spontanea) e ad elevata fermentescibilità. Non mancano tra l'altro casi, per quanto sporadici, di applicazione dell'aerazione forzata anche al compostaggio di soli scarti verdi (che generalmente si basano invece sulla sola esaltazione dei processi diffusivi e convettivi per l'ingresso spontaneo di aria all'interno della biomassa) nei quali ci si avvale fondamentalmente della possibilità di governo termoigrometrico del processo che l'aerazione forzata consente. Il processo di bioconversione ha effettivamente dei range di temperatura e di umidità ottimali, seppur differenti nelle diverse fasi del processo. L'aerazione forzata consente di intervenire, oltre che sull'ossigenazione della biomassa, anche su tali caratteristiche.

E' dunque opportuno poter definire, e descrivere brevemente, la natura e il ruolo delle grandezze fondamentali che regolano l'ottimizzazione della aerazione forzata, evidenziando allo stesso tempo alcuni tra i principali "difetti" operativi che più di frequente si riscontrano a livello progettuale e/o gestionale:

◇ *Portata d'aria specifica (PAS)*

Generalmente espressa in normal metri cubi per ora e per unità di peso della biomassa ($\text{Nm}^3/\text{h}\cdot\text{ton}$). Va sottolineato che generalmente le necessità di aerazione relative al drenaggio del calore in eccesso sono superiori (anche di un intero ordine dimensionale) rispetto a quelle relative alla fornitura dell'ossigeno stechiometricamente necessario; nel caso di biomasse di origine alimentare, si tratta rispettivamente di decine ed unità di $\text{nm}^3/\text{h}\cdot\text{ton}$. Ciò equivale a dire che i sistemi di aerazione vanno dimensionati ed utilizzati essenzialmente sulle necessità di controllo termometrico, mentre come effetto derivato si ottiene anche

l'ossigenazione della biomassa. Quello che spesso viene sottovalutato è che contestualmente tale dimensionamento comporta una forte evaporazione dalla biomassa – con l'eccezione di sistemi confinati dal punto di vista igrometrico quali quelli a container con ricircolo delle arie – con intensi ed estesi processi di disseccamento. Spesso l'interruzione precoce dei processi di biostabilizzazione per l'abbassamento dell'umidità al di sotto dei contenuti minimi coerenti con la dinamica del processo nelle diverse fasi porta a collocare in maturazione esterna matrici con un potenziale metabolico elevato, che in caso di reumidimento (anche per le semplici precipitazioni meteoriche) danno luogo ad una massiccia riattivazione di processi metabolici, in una fase non presidiata né dotata di strumenti per la conduzione di processi intensivi di stabilizzazione. Buona norma è dunque la predisposizione di sistemi di reumidimento della biomassa ed il controllo periodico delle necessità di ristoro; questo soprattutto nei sistemi “dispersivi” da un punto di vista igrometrico, quali sono anche i sistemi confinati in capannone ma in cui l'aspirazione finale delle arie cariche di umidità ed il loro invio a trattamento/dispersione determina un massiccio drenaggio di umidità al sistema.

◇ *Proporzione tra tempi di accensione e spegnimento*

E' una abitudine operativa diffusa negli impianti – al pari dell'aerazione in continuo – quella della ventilazione intermittente della biomassa, allo scopo di consentire durante i periodi di spegnimento l'equalizzazione di umidità e temperatura nelle diverse zone della biomassa (l'aerazione in continuo può comportare invece stratificazioni più o meno estese). La proporzione tra tempi di accensione e spegnimento viene guidata essenzialmente dal livello termometrico che si vuole mantenere nella biomassa; a parità di portata d'aria specifica e di “potere calorigeno” della biomassa (dipendente a sua volta dalla sua umidità e dalla sua ricchezza in sostanze facilmente aggredibili) una maggiore incidenza dei tempi di accensione porta a livelli termometrici medi inferiori; temperature di processo ottimizzate consentono di velocizzare al massimo le dinamiche processuali dello stesso, oltre ad un sostanziale abbattimento della fermentescibilità della biomassa prima del suo recapito alle fasi di processo meno intensive e non presidiate (maturazione, deposito finale).

◇ *Durata assoluta dei tempi di spegnimento delle soffianti*

Spesso si rilevano, in sede di gestione dell'impianto, durate eccessive dei tempi di spegnimento, con abbassamento temporaneo delle concentrazioni di O_2 al di sotto (prima) dei limiti di velocità massima del processo (15-17%), e (dopo) di quelli di sostenibilità del processo aerobico stesso (10-12%). Tale effetto si può produrre, per biomasse ancora "giovani" e metabolicamente attive, in un tempo relativamente breve, dell'ordine dei 20'-30'. Il sottostante *Grafico A/S* evidenzia quanto appena asserito:

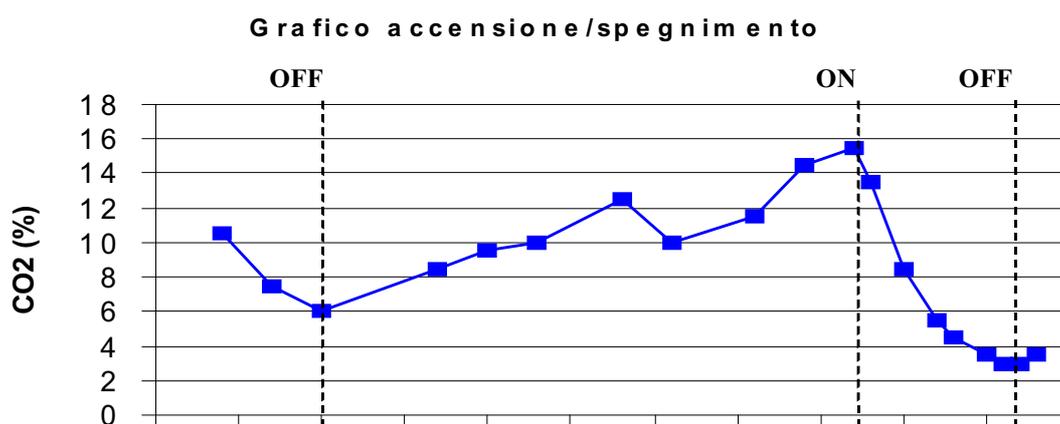


Grafico A/S - Andamento del tenore in CO_2 all'interno della biomassa in un ciclo di accensione e spegnimento.

Tale grafico è stato ottenuto per rilevamento diretto on-site, durante un intero ciclo di accensione e spegnimento, del tenore CO_2 prodotta dal metabolismo microbico, il cui rapporto stechiometrico con l'abbassamento del tenore in O_2 rispetto al contenuto ideale del 21%, è pari a 1,375; la rilevazione è stata condotta in una fase di stabilizzazione avanzata (dopo circa 20 giorni in trincea aerata).

Ci si rende subito conto che per biomasse ancora relativamente "giovani" ed il cui metabolismo aerobico è ancora attivo, tempi di spegnimento tendenzialmente maggiori di 30' possono comportare scostamenti dalla condizione di buona aerobiosi per buona parte del processo [8]. Due gli effetti negativi ai fini della minimizzazione degli odori:

1. Un rallentamento del metabolismo aerobico e del processo di biostabilizzazione per proporzioni anche rilevanti dell'intero tempo di processo; dunque si può determinare il recapito alla sezione di maturazione di una biomassa ancora fermentescibile e non coerente con i sistemi di processo generalmente non presidiati, né insufflati, predisposti in tale fase;

2. Una produzione diretta di composti ridotti ed odorigeni nel caso di tempi di spegnimento particolarmente lunghi, per l'attivazione di meccanismi metabolici putrefattivi; questo determina un aumento del carico odorigeno complessivo, fino a poter mettere in crisi il sistema di presidio predisposto [50].

→ sistemi versatili

- *Andane*: il materiale viene disposto in piccoli cumuli (altezza max 2,5 m), con o senza aerazione, e con rivoltamenti frequenti (anche quotidiani) tramite apposite movimentatrici. Il sistema, condotto all'aperto o al chiuso, è indicato per la fase ACT di matrici ad alta fermentescibilità (preferibilmente al chiuso), o per la fase di curing all'aperto di materiale con bassa fermentescibilità residua (dopo ACT in sistema controllato).

→ bioessiccazione

- *processo in celle chiuse (box o biocontainers)*: la massa, omogeneizzata e tritata dopo una eventuale miscelazione con fanghi o soluzioni acquose, viene essiccata in contenitori chiusi per 7–10 giorni. Al termine del trattamento, mediante vagliatura viene separata la frazione combustibile a medio–alto potere calorifico.

- *processo in reattori a vasche*: il materiale, dopo un pretrattamento meccanico composto da una fase di triturazione grossolana, viene bioessiccato in vasche dotate di areazione forzata mediante aspirazione per un periodo di circa 15 giorni. Al termine della fase aerobica il materiale, caratterizzato da una umidità inferiore al 20%, viene vagliato, demetallizzato e tritato in maniera fine ottenendo così un prodotto finale, il CDR, dalle caratteristiche conformi agli standard previsti dalle normative vigenti [8].

6.3 ASPETTI GESTIONALI IN UN IMPIANTO DI COMPOSTAGGIO

Una volta adottate le misure per garantire il corretto andamento del processo di trasformazione biologica, produrre compost si riduce essenzialmente ad una serie di operazioni per la razionale gestione dei materiali. Una porzione cospicua degli investimenti per attrezzature e manodopera in un impianto di compostaggio riguarda,

in molti casi, la movimentazione, il condizionamento fisico-meccanico, la miscelazione e la vagliatura, sia delle matrici di partenza sia del prodotto finale.

Una filiera di trattamento e/o produzione presuppone che vi sia una successione di operazioni, di alcune delle quali è necessaria la ripetizione ad intervalli più o meno cadenzati. In aggiunta alla movimentazione, stoccaggio e selezione dei materiali organici conferiti alla stazione di compostaggio, sono spesso necessarie operazioni secondarie finalizzate al condizionamento dei substrati destinati alla biostabilizzazione, al recupero di materiali indecomposti dal compost finito o alla nobilitazione del compost ottenuto per incrementarne le possibilità di vendita e d'impiego. Operazioni secondarie sono la separazione delle componenti non desiderate dai substrati di partenza e dal compost (vagliatura), la riduzione di pezzatura delle matrici organiche grossolane (triturazione e/o sminuzzamento), l'imballaggio del compost finito. Non tutte le operazioni secondarie rivestono, ovviamente, carattere di irrinunciabile necessità e devono essere comunque compatibili con i costi economici complessivi (Rynk, 1992; Richard, 1996).

6.3.1 – Gestione delle materie prime oggetto di trattamento

6.3.1.1 – Ricezione e stoccaggio

Il compostaggio inizia con la raccolta ed il conferimento all'impianto della matrice organica che rappresenta il substrato principale oggetto del trattamento. Data l'elevata fermentescibilità, il substrato principale non può essere di norma stoccato, se non per il tempo necessario alla sistemazione dello stesso nella sezione di compostaggio. Ciò significa che le matrici organiche putrescibili devono essere avviate al trattamento man mano che giungono all'impianto. Così facendo, si impedisce da una parte l'insorgenza di maleodoranze dovuta a fenomeni fermentativi e putrefattivi, dall'altra viene limitata la proliferazione di insetti e la presenza di roditori. Inoltre, al fine di evitare la dispersione di percolato, il substrato principale deve essere lavorato su apposito piazzale dotato di pavimentazione impermeabile e sistema di raccolta dei colaticci.

→ Matrici a bassa putrescibilità: il conferimento della matrice organica a base lignocellulosica deve avvenire su adeguata pavimentazione e con facilità di pulizia e recupero del refluo, adottando idonei accorgimenti/modalità operative per il contenimento dei fenomeni di dispersione eolica. La ricezione e lo stoccaggio di questo tipo di rifiuto può avvenire in un'area esterna. L'area deve essere di

dimensioni sufficienti a gestire la stagionalità dei conferimenti. È opportuno prevedere la possibilità di stoccare un volume pari ad almeno il 10% del flusso complessivo annuo, con una densità apparente indicativa di 0,2 t/m³ (per materiale non tritato) e 0,4 t/m³ (per materiale già tritato). Al fine di evitare fenomeni di anaerobiosi, il materiale stoccato dovrà comunque avere una densità apparente < 0.65 ton/m³.

→ Matrici ad alta putrescibilità: (scarti alimentari, fanghi, residui agroindustriali, frazione organica dei RU da separazione meccanica, ..) la ricezione e lo stoccaggio del rifiuto deve avvenire in ambiente tamponato tenuto costantemente in depressione al fine di evitare la dispersione di emissioni maleodoranti e/o polveri. L'edificio deve prevedere almeno due ricambi d'aria/ora. L'aria aspirata dagli edifici deve essere possibilmente riutilizzata per l'ossigenazione della biomassa e, comunque, prima della immissione finale in atmosfera, deve essere inviata ad idoneo presidio ambientale (scrubber ad umido, biofiltro, ...). I rifiuti ricevuti giornalmente devono essere in quantità compatibile con le capacità di lavorazione dell'azienda, e comunque non devono essere stoccati per più di 48 ore prima di essere avviati al compostaggio, salvo casi eccezionali (fermo-macchine). La capacità di stoccaggio va comunque dimensionata considerando tempi di ritenzione superiori a due giorni. I luoghi preposti alle operazioni di cui sopra devono essere dotati di pavimentazione adeguata che faciliti la pulizia e il recupero dei reflui liquidi [8].

Lo stoccaggio della matrice organica principale diventa possibile, anche se per periodi di tempo limitati (alcune settimane), quando quest'ultima è costituita da un refluo acquoso caratterizzato da fermentescibilità modesta, per il quale si prevede un trattamento mediante co-compostaggio con un substrato organico solido (vedi residui pagliosi), previo assorbimento sullo stesso. Lo stoccaggio, in questo caso, può essere realizzato in vasche e depositi, concepiti per il contenimento degli odori e degli aerosol. Gli agenti di supporto quali paglia, cippato di ramaglie, trucioli di legno, segatura ed altri substrati lignocellulosici, in ragione della lenta reattività all'attacco microbico, dovuta ad un elevato contenuto in carbonio ed a modesti contenuti di umidità, possono essere invece stoccati presso la stazione di compostaggio anche per lunghi periodi di tempo. Poiché, una volta bagnati, questi materiali cominciano a compostare, ancorché lentamente data la scarsità di azoto, è preferibile che siano accumulati sotto tettoie, o, se all'aperto, sotto teli impermeabili. Questi ultimi, tuttavia, rappresentano un impedimento alle normali operazioni di impiego degli

agenti ligno-cellulosici. È inoltre importante sottolineare che la presenza presso l'impianto di matrici secche aumenta notevolmente il rischio di incendi. In condizioni di distanza contenuta dai luoghi di approvvigionamento delle matrici strutturanti, la situazione ottimale potrebbe dunque essere quella di mantenere, presso la stazione di compostaggio, una scorta di scarti lignocellulosici sufficiente per alcuni giorni, contando poi su rifornimenti programmati ripetuti, che evitino eccessivi accumuli.

Per quanto riguarda l'eventuale stoccaggio dei substrati con funzione di correttivo e/o additivo, valgono le stesse considerazioni fatte per l'ingrediente primario, qualora queste matrici siano esse stesse putrescibili (fanghi di depurazione). Nel caso in cui gli ingredienti correttivi siano costituiti da materiali inorganici (concimi o scorie minerali), lo stoccaggio non costituisce un problema, sempre che si usi l'accortezza di sistemare questi materiali al riparo dell'azione dilavante della pioggia .

6.3.1.2 – Pretrattamenti fisico-meccanici

Qualora i materiali di supporto lignocellulosici vengano conferiti all'impianto in forma grossolana, risulta indispensabile procedere ad una preliminare riduzione della pezzatura in modo da rendere tali matrici compatibili con la corretta preparazione delle miscele di partenza. D'altra parte, può risultare necessario sminuzzare anche il substrato principale, solitamente umido e di scarsa consistenza (rifiuti dei mercati ortofrutticoli), qualora si presenti particolarmente disomogeneo. Per pretrattamenti si intendono tutte quelle operazioni destinate alla preparazione del rifiuto per il corretto svolgimento del processo biologico. Comportando queste operazioni la movimentazione di elevati quantitativi di materiale, qualora si trattino rifiuti ad elevata putrescibilità, tali trattamenti devono essere realizzati all'interno di edifici chiusi per i quali siano previsti almeno due ricambi di aria/ora da inviare direttamente al presidio ambientale ovvero, all'aerazione della biomassa qualora prevista nella successiva fase di bioossidazione. La pavimentazione delle superfici impegnate deve essere costruita in materiale adeguato per essere pulita facilmente e consentire il recupero dei reflui [50] [8].

6.3.2 – Preparazione della miscela e fase di bioossidazione

Una volta stabiliti i rapporti di miscela tra i diversi componenti della matrice da avviarsi a compostaggio, è necessario disporre di attrezzature che consentano la omogenea miscelazione degli ingredienti e, successivamente, una corretta

disposizione in cumulo o una razionale alimentazione nell'area di bioossidazione primaria. La miscelazione e la costituzione dei cumuli sulle aie di compostaggio sono due operazioni necessariamente distinte. In particolare, nel caso dei cumuli statici aerati, la miscelazione rappresenta un punto nodale per garantire l'efficace trasformazione biologica della miscela di partenza. La miscelazione infatti avviene una sola volta e le caratteristiche che la matrice iniziale assume sono fondamentali perciò che avverrà nell'intero corso del processo. Quando si opera invece con andane rivoltate, i successivi cicli di movimentazione del substrato hanno il pregio di ripristinare, di volta in volta, la porosità della matrice in trasformazione.

Se gli ingredienti da miscelare sono soltanto due ed entrambi costituiti da materiali solidi, il rimescolamento mediante pala meccanica può risultare sufficiente. Per l'ottenimento di una omogenea miscela a più ingredienti, dei quali almeno uno in fase liquida, sono, invece, indicate macchine, a stazione fissa, del tipo trituratori a coclee controrotanti. Dispositivi miscelatori a coclee possono anche essere allestiti su appositi carri spanditori sia semoventi che azionati da trattore. In questo caso, miscelazione e formazione dei cumuli avvengono in rapida successione, man mano che la macchina operatrice si muove sulla platea di compostaggio, grazie ad una bocca di scarico posteriore o laterale [14].

La fase di bioossidazione si caratterizza per la degradazione spinta delle frazioni organiche putrescibili. Il processo può essere condotto con l'ausilio di sistemi di aerazione forzata e/o di metodi di rivoltamento della biomassa, finalizzati ad incrementare lo scambio d'ossigeno tra la matrice organica e l'atmosfera. Per il corretto svolgimento di tale fase, i principali parametri di processo devono essere mantenuti su valori ottimali adottando soluzioni impiantistiche idonee.

Esistono svariati sistemi tecnologici adottabili per lo svolgimento della fase di bioossidazione, tuttavia è possibile eseguire una classificazione in funzione:

- del grado di confinamento della biomassa, distinguendo tra sistemi chiusi ed aperti;
- delle modalità di gestione del processo, distinguendo tra sistemi dinamici (con rivoltamento della biomassa) e statici;
- della modalità di aerazione della biomassa, che può essere naturale o forzata.

Gli edifici preposti alla fase di bioossidazione devono essere mantenuti in depressione. La depressione si intende garantita con un minimo di due ricambi/ora. Per le strutture dedicate alla bioossidazione, laddove si prevedano sistemi di processo dinamico e la presenza non episodica di addetti, vanno previsti quattro ricambi/ora.

6.3.3 – Raffinazione, stoccaggio e nobilitazione del compost

Consiste nel completamento dell'evoluzione della sostanza organica attraverso i processi di umificazione che conferiscono al prodotto spiccate caratteristiche ammendanti.

6.3.3.1 – Finissaggio

Esauritasi la fase di compostaggio attivo, il prodotto stabilizzato richiede una fase di finissaggio della durata variabile da 2-3 settimane ad 1-2 mesi, a seconda del metodo di trattamento adottato. In questo arco di tempo la matrice stabilizzata subisce ancora importanti trasformazioni biologiche (umificazione e nitrificazione) e sviluppa le caratteristiche di un compost perfettamente maturo. Dal momento che nei cumuli destinati al finissaggio devono essere ancora garantite condizioni aerobiche al fine di consentire le reazioni necessarie all'ottenimento di un prodotto finale compatibile con l'impiego agricolo, grande attenzione deve essere rivolta alla dimensione dei cumuli stessi. Condizioni anaerobiche o fermentative portano infatti alla formazione di composti maleodoranti ed eventualmente tossici per le colture. Sebbene sia possibile prevedere per i cumuli di finissaggio sia il rivoltamento periodico, sia l'insufflazione forzata di aria, in molti casi si cerca di rendere meno onerosa questa fase operando in cumuli statici ad aerazione passiva, cioè basata sui soli moti convettivi dell'aria dall'esterno all'interno della matrice. In tali condizioni, l'altezza dei cumuli di finissaggio non dovrebbe mai superare i 2,5 m di altezza, con materiali sufficientemente porosi, e 1,8 m con matrici più fini e compatte ovvero quando il compost sia destinato ad impieghi intensivi in ambito orto-floro-vivaistico. La larghezza dei cumuli dovrebbe invece essere compresa tra 4,5 e 6 m. Il ristagno di umidità alla base dei cumuli costituisce una delle cause principali dell'insorgenza delle condizioni di anaerobiosi non desiderate. Poiché i cumuli di materiale stabilizzato in finissaggio non hanno la capacità di produrre calore sufficiente per consentire l'evaporazione dell'acqua in eccesso derivante dalle precipitazioni atmosferiche ovvero dalla corrivazione superficiale delle acque meteoriche, è buona norma sistemare la matrice su piazzali pavimentati, dotati di sistema di drenaggio. Le acque piovane devono essere allontanate dai cumuli che, per altro, devono essere allestiti con andamento parallelo alla pendenza della platea di stoccaggio. Il finissaggio in piazzali all'aperto richiede, a seconda delle condizioni climatiche in cui

opera la stazione di compostaggio, tempi medio-lunghi di stazionamento (1-2 mesi), mentre seppur con costi di investimento maggiori, la fase di finissaggio condotta in piazzali coperti da tettoie, evita gli inconvenienti derivanti da un andamento meteorologico eccessivamente piovoso. È infine possibile gestire la fase di finissaggio in maniera ottimale se, alla sistemazione dei cumuli in platea coperta, si abbina anche la ventilazione della matrice stabilizzata, mediante flusso continuo di bassi volumi d'aria, per mezzo di appositi sistemi di diffusione realizzati sul pavimento della platea stessa. Operando in tali condizioni, nonostante un incremento degli oneri di gestione specifici per questa sezione dell'intera filiera produttiva, è possibile ottenere un compost perfettamente maturo in 2-3 settimane [8].

6.3.3.2 - Stoccaggio del prodotto finito

Una volta giunto a completa maturazione, a seguito della fase di finissaggio, il compost è pronto per essere avviato all'utilizzazione finale. Tuttavia l'uso e, quindi, la vendita del compost avvengono solitamente su base stagionale, con picchi in corrispondenza dei mesi primaverili e di quelli autunnali, e pertanto la stazione di compostaggio dovrà dotarsi di aree e strutture sufficienti per stoccaggi del prodotto finito derivante da almeno sei mesi di produzione.

Lo stoccaggio del prodotto finito può essere realizzato sia all'aperto che in strutture coperte, ed anche in questo caso le condizioni climatiche del sito influenzeranno la scelta. La dimensione dei cumuli di stoccaggio del compost maturo non risente più dei limiti imposti sia in fase di compostaggio attivo sia in fase di finissaggio. Tuttavia, tenendo conto dei rischi derivanti dai fenomeni di autocombustione, specialmente durante i mesi estivi, i cumuli non dovrebbero mai superare l'altezza di 3-4 m.

6.3.3.3 - Vagliatura

Prima della commercializzazione, il compost può, talvolta, richiedere alcune manipolazioni necessarie per aumentarne la qualità e/o facilitarne la vendita e l'utilizzo da parte di uno spettro diversificato di potenziali utilizzatori. Qualora la matrice di partenza sia stata approntata con il ricorso ad agenti strutturanti con dimensione delle particelle grossolana, una volta raggiunta la piena maturazione, il compost viene di solito sottoposto a vagliatura. Questa operazione consente, da una parte, di ottenere un prodotto finito più omogeneo e di granulometria idonea alle applicazioni più specialistiche (floricoltura, orticoltura, vivaismo), dall'altra, di

recuperare il substrato lignocellulosico solo parzialmente decomposto per nuove miscele con l'ingrediente primario. La vagliatura ha infine il compito di eliminare dal prodotto finito eventuali frazioni contaminanti (frammenti di materiale Plastico, inerti di varia natura), nei casi in cui queste siano presenti nel substrato umido di partenza. Per la vagliatura finale del compost si opera, solitamente, con fori di 0,8-1,5 cm od anche più grandi a seconda del materiale da raffinare e della destinazione del prodotto finito. Fori di diametro più ridotto consentono una più spinta separazione tra porzione fine della matrice oggetto di vagliatura e le componenti più grossolane. Ciò diminuisce però la capacità di trattamento (m^3/h) del vaglio ed aumenta i rischi di occlusione. L'efficacia di un vaglio è invece correlata alla sua capacità di separare le particelle della matrice nelle frazioni granulometriche desiderate [41].

Quindi essa diminuisce quando particelle più grandi di quelle desiderate passano attraverso il vaglio ovvero quando particelle con dimensioni corrispondenti alla frazione voluta rimangono al di sopra della superficie di vagliatura.

Sia la capacità sia l'efficacia dipendono dal tasso di alimentazione del vaglio rispetto alla superficie vagliante utile ($m^3/m^2/h$) e dalla dimensione dei fori. Le condizioni ottimali si raggiungono nel giusto compromesso tra qualità del materiale affinato e quantità dello stesso ottenuta nell'unità di tempo. È da notare inoltre che i vagli funzionano meglio se alimentati con materiale più secco e pertanto, come già accennato, è preferibile condurre l'operazione di vagliatura dopo la fase di finissaggio. Per evitare problemi ricorrenti di impaccamento della matrice trattata e di ostruzione delle aperture dei vagli, il compost sottoposto a vagliatura dovrebbe avere un'umidità non superiore al 45 %. Al fine di ovviare ai fenomeni di impaccamento, alcune tipologie di vaglio presentano apparati per la preventiva rottura e miscelazione dei grumi di compost prima che questo passi alla vagliatura vera e propria.

6.3.3.4 - Aggiunta di additivi e confezionamento

Le proprietà di un compost raffinato, a seconda delle esigenze di impiego, possono essere migliorate mediante l'integrazione di elementi fertilizzanti o di correttivi del pH. Questa ulteriore operazione di nobilitazione viene attuata soltanto in presenza di un mercato particolarmente esigente e disposto a farsi carico dei costi aggiuntivi inevitabili per l'ottenimento di un prodotto che risulta essere necessariamente disegnato per settori produttivi ad elevato reddito. Per l'omogenea incorporazione

degli additivi, possono essere impiegati macchinari simili a quelli adottati per la preparazione delle mescole iniziali destinate alla stabilizzazione.

Altra operazione che può rivelarsi vantaggiosa in vista della commercializzazione del compost è rappresentata dal confezionamento del prodotto. In effetti, il compost venduto in sacchetti o in altra tipologia di contenitori spunta sul mercato prezzi decisamente più alti rispetto al materiale venduto sfuso, in grandi quantità. A ciò deve aggiungersi il fatto che un compost insacchettato è più facilmente gestibile in fase di stoccaggio e di manipolazione prima dell'utilizzo. Dal momento che una stazione di compostaggio deve mirare prima di tutto a distribuire, nel minor tempo possibile, il prodotto ottenuto dalla continua trasformazione dei rifiuti organici trattati, la vendita di partite consistenti di compost sfuso rimane la via principale per evitare eccessivi stoccaggi.

Di solito, per applicazioni in pieno campo ovvero per gli impieghi nelle aziende florovivaistiche o di produzione orticola in coltura protetta, sono gli utilizzatori stessi che si approvvigionano di partite di materiale non confezionato direttamente presso l'impianto di produzione. Il compost sfuso può essere stoccato senza eccessivi problemi nell'ambito dell'azienda agricola e gestito facilmente, in sede di distribuzione, con il macchinario aziendale. Il compost confezionato è invece normalmente destinato al mercato del giardinaggio, della floricoltura hobbistica e dell'agricoltura a carattere familiare. Questi settori richiedono prodotti disponibili nelle tipologie compatibili con una diffusa esigenza di quantitativi medio-piccoli. La commercializzazione del compost confezionato deve perciò avvalersi giocoforza di un collaudato sistema di distribuzione che, in generale, la stazione di compostaggio non è in grado di gestire in maniera diretta. Si ricorre, in questi casi, a convenzioni con grandi catene di distribuzione, alle quali il gestore dell'impianto di compostaggio trasferisce tutti gli oneri della commercializzazione capillare, contando, al tempo stesso, su acquisti programmati certi. In conclusione, è bene ricordare che il confezionamento in sacchi di film plastico può applicarsi a Compost con tenore di umidità non superiore al 35 % [1].

6.4 CONTROLLO DI PROCESSO E PRESIDIO AMBIENTALI

6.4.1 – Controllo del processo su compost di qualità e su biostabilizzato

Il corretto svolgimento dei trattamenti biologici durante il processo di compostaggio viene garantito monitorando con opportuna tempistica i rifiuti, sia al momento del conferimento, sia durante tutto il processo, e i prodotti finali [50]:

COMPOST DI QUALITÀ

Rifiuto in ingresso

- Tipo di controllo:
 - visivo (mat. non compostabile; stato del rifiuto) → ad ogni conferimento
 - determinazione C/N, umidità, densità rifiuto → mensile
 - caratterizzazione merceologica → semestrale
 - determinazione parametri ai sensi di legge → trimestrale

Rifiuto in via di trattamento

- Tipo di controllo:
 - determinazione °t, umidità, O₂, CO₂ → settimanale-mensile
 - determinazione IR dinamico (in miscela) → 4v/anno dopo biossidazione

Prodotto in uscita

- Tipo di controllo:
 - determinazione umidità → bisettimanale-mensile
 - determinazione parametri ai sensi di legge → a lotti rappresentativi

BIOSTABILIZZATO

Rifiuto in ingresso

- Tipo di controllo:
 - visivo (mat. non compostabile; stato del rifiuto) → ad ogni conferimento
 - determinazione C/N, umidità, densità rifiuto → mensile
 - caratterizzazione merceologica → semestrale

Pretrattamenti

- Tipo di controllo:
 - visivo (dimensionale) → in continuo

Rifiuto in via di trattamento

- Tipo di controllo:
 - determinazione °t, tenore di O₂ o CO₂ → giornaliero
 - determinazione IR dinamico → 4v/anno dopo biossidazione

Prodotto in uscita

- Tipo di controllo:
 - caratterizzazione dimensionale → semestrale
 - determinazione umidità → semestrale
 - determinazione IR dinamico → 4v/anno sul prodotto

- determinazione parametri ai sensi di legge → 4v/anno sul prodotto

6.4.2 – Presidi ambientali

Attuare il compostaggio senza un accurato controllo delle operazioni, può portare all'insorgenza di problemi di carattere ambientale ed igienico-sanitario, nonché a rischi legati alla sicurezza degli operatori. I responsabili della progettazione della stazione di compostaggio ed i gestori della stessa devono essere consapevoli di queste possibili complicazioni prima di prendere qualsiasi tipo di decisione, in modo da evitare i suddetti inconvenienti. In verità, in anni recenti, la chiusura di un numero non trascurabile di impianti di compostaggio è stata causata proprio dall'insorgenza di problemi della stessa natura di quelli sopra ricordati, primo fra tutti, il rilascio di emissioni maleodoranti [15].

6.4.2.1 – Controllo e gestione delle acque e dei percolati

Il controllo delle acque deve essere effettuato almeno con cadenza annuale per ciascuna tipologia, mediante analisi chimica che ne verifichi le caratteristiche in base allo specifico destino. Nella conduzione di un impianto di trattamento aerobico si deve prevedere la gestione delle seguenti acque di scarico:

- acque meteoriche (acque chiare):
 - tetti,
 - strade e piazzali;
- acque di risulta dal ciclo produttivo (acque grigie):
 - processo,
 - impianto lavaruote;
- acque da uso civile (acque nere).

Le acque chiare provenienti da tetti e convogliate mediante pluviali in apposita ed indipendente rete di raccolta non costituiscono uno scarico e quindi non sono soggette

a DLgs 152/99, qualora di fatto non siano oggettivamente inquinanti. Le acque piovane di strade e piazzali ove avvengano lavorazioni, lavaggi di materiali, attrezzature o automezzi, o vi siano depositi di materiali, materie prime, prodotti,... devono essere raccolte e convogliate mediante apposita rete fognaria in vasche a tenuta dedicate al loro stoccaggio. Le acque di prima pioggia devono essere riutilizzate nel processo (compostaggio e biostabilizzazione) o inviate a depurazione; le acque di seconda pioggia devono essere scaricate nel rispetto delle norme vigenti o riutilizzate sulla biomassa.

Sono definite come acque di processo: l'acqua prodotta dalla percolazione del rifiuto, dal processo di degradazione-trasformazione della sostanza organica della biomassa, dall'inumidimento artificiale dei cumuli e, nel caso di trattamenti in ambienti non coperti, le acque di percolazione delle acque meteoriche. Tali acque dovranno essere raccolte da una rete di drenaggio afferente a bacini o vasche di stoccaggio a tenuta. Diversamente dai processi di bioessiccazione, nella gestione dei processi di compostaggio e di biostabilizzazione è generalmente prevista una totale reimmissione di tali acque nel ciclo produttivo. Le acque non reimmesse in ciclo dovranno essere inviate ad impianto di depurazione autorizzato. Le acque di lavaggio degli automezzi possono essere conferite ad impianto di depurazione, scaricate come le acque di seconda pioggia nel rispetto delle norme vigenti, oppure possono essere riutilizzate sulla biomasse (compostaggio e biostabilizzazione); in questo ultimo caso è opportuno prevedere un trattamento di disoleazione prima dell'utilizzo.

Le acque provenienti dai servizi igienici devono essere inviate al sistema fognario e/o trattate nel rispetto della normativa vigente [8].

6.4.2.2 – Bioparticolato e bioaerosol

Durante le operazioni di compostaggio possono originarsi polveri dotate di reattività biologica (bioparticolato) ossia sospensioni in aria di solidi finemente dispersi, costituite da cellule microbiche o da microrganismi associati a piccolissime particelle di materiali organici o inorganici. I microrganismi sono in grado di rimanere sospesi nell'aria per periodi di tempo anche lunghi, mantenendo la vitalità e l'eventuale infettività. Nelle polveri disperse si ritrovano cellule di batteri e attinomiceti, propaguli di muffe e spore fungine, nonché particelle virali (Clark et al., 1983).

Un problema specifico correlato con le stazioni di compostaggio è rappresentato dalla presenza del fungo *Aspergillus fumigatus*: questo deuteromicete è normalmente

associato alla sostanza organica in corso di decadimento, quale, ad esempio, la lettiera dei boschi di latifoglie e, per questo, finisce per colonizzare anche le matrici trattate presso gli impianti di produzione di compost. Le spore (conidi) di questo fungo sono facilmente disperse nell'aria a seguito del rivoltamento dei cumuli di matrice organica in trasformazione e, soprattutto, durante l'agitazione meccanica del compost finito. Ciò si verifica, con particolare intensità, quando i materiali movimentati sono secchi e polverosi. Le spore di possono essere inalate o entrare nel corpo umano attraverso ferite ed abrasioni dell'epidermide. Il fungo non è considerato un pericolo per gli individui sani. Tuttavia, in soggetti sensibili, può causare affezioni polmonari (aspergillosi) ed infezioni di vario genere. Le condizioni che predispongono gli individui alle infezioni da parte di tale fungo, ma anche di altre specie fungine, comprendono l'indebolimento delle difese immunitarie, le allergie, l'asma, il diabete, la tubercolosi, le lesioni della membrana timpanica, l'uso di antibiotici e di ormoni adrenocorticotropi, le terapie post-trapianto, la leucemia ed i limfomi (Usda e Usepa, 1980; Wirth, 1989).

Altro elemento di potenziale rischio igienico-sanitario presso le strutture impiantistiche adibite al compostaggio è rappresentato dall'esposizione alle endotossine. Quest'ultime sono tossine prodotte all'interno delle cellule di alcuni microorganismi e rilasciate a seguito della rottura degli involucri cellulari. È stato accertato che i livelli di endotossine nell'aria delle stazioni di compostaggio possono variare da 0,001 a 0,014 mg/m³ (Roderique, 1990). Poiché sia il bioparticolato, sia le endotossine sono essenzialmente associati alle polveri, il controllo della dispersione di queste ultime dovrebbe essere pianificato già a livello di progettazione delle strutture impiantistiche e di organizzazione delle operazioni previste nell'ambito della stazione di compostaggio. Queste misure consentono di ridurre i rischi a carico del personale addetto agli impianti e possono riassumersi nei seguenti punti:

- impedire l'eccessiva disidratazione delle matrici organiche in corso di trattamento e del compost finito.
- umidificare il prodotto finale stoccato, a maggior ragione se da lungo tempo, prima di qualsiasi movimentazione.
- pavimentare le superfici di lavoro e la viabilità interna della stazione di compostaggio.
- confinare, dove possibile, le operazioni di vagliatura e confezionamento del compost in strutture chiuse, dotate di sistema di aspirazione e filtrazione dell'aria.

- proteggere i lavoratori dall'esposizione alle polveri in coincidenza delle operazioni maggiormente responsabili della formazione di bioparticolato (rivoltamento dei cumuli), usando macchine operatrici a cabina chiusa e climatizzata.

- Applicare, preferibilmente, sistemi di compostaggio ad aerazione forzata della matrice in trasformazione piuttosto che basati sul rivoltamento periodico dei cumuli.

In aggiunta ai suddetti accorgimenti, gli addetti all'impianto dovrebbero essere ben informati circa i potenziali rischi biologici presenti presso la stazione di compostaggio. Questi ultimi, anche se estremamente bassi in individui sani, dovrebbero spingere alla osservanza di precauzioni ed al ricorso ad accorgimenti di protezione personale quali:

- l'uso di mascherine protettive capaci di filtrare particelle di dimensioni inferiori ad 1 micron;
- l'impiego di tute da lavoro da sostituire, in apposito spogliatoio dotato di docce, con gli abiti civili, all'uscita dall'impianto a fine turno lavorativo;
- l'accurato lavaggio delle mani ogni volta vi sia contatto con cibi o bevande;
- il pronto ricorso alla disinfezione a seguito di eventuali piccole ferite.

In definitiva, presso la stazione di compostaggio, i rischi di carattere biologico riguardanti la salute umana sono strettamente connessi sia con la suscettibilità degli individui, sia con la natura dei materiali trattati. Mentre i rifiuti organici di origine vegetale presentano una modesta carica di microrganismi potenzialmente patogeni per l'uomo, il quadro cambia drasticamente, ad esempio, nel caso di trattamento dei fanghi di depurazione. Questi ultimi infatti contengono un'elevatissima concentrazione di organismi patogeni.

6.4.2.3 - Sostanze chimiche tossiche

Quantunque questa evenienza sia da ritenersi remota nel caso del compostaggio di matrici organiche da raccolta differenziata, è tuttavia possibile che presso gli impianti di biostabilizzazione dei RSU possano liberarsi Composti organici volatili (VOCs), potenzialmente pericolosi per gli operatori (Gillet, 1992). Si tratta di composti, quali benzene, cloroformio e tricloroetilene (trielina), normalmente contenuti in taluni solventi, vernici e smacchiatori di uso domestico. La combinazione della ventilazione forzata o del rivoltamento periodico dei cumuli e delle elevate temperature raggiunte in fase termofila può facilitare il rilascio in atmosfera di VOCs dal materiale in trasformazione. La maggior parte dei VOCs viene liberata dal substrato nelle prime

24-48 ore di processo (Kissel et al., 1992). Quando la fase attiva del compostaggio è confinata in ambienti chiusi, un appropriato ricambio d'aria è importante anche per evitare l'esposizione degli addetti a concentrazioni non trascurabili di questi composti. Le tecnologie di abbattimento messe a punto per il controllo degli odori possono risultare utili anche per la rimozione dei VOCs dall'aria di processo. Il miglior metodo per limitare l'emissione di VOCs consiste tuttavia nel prevenire la presenza di queste sostanze nelle matrici organiche oggetto di trattamento. Ciò è ottenibile, ancora una volta, mediante programmi di asporto differenziato del rifiuto organico presso le famiglie e di raccolta mirata dei prodotti pericolosi.

L'esposizione degli operatori a composti tossici come policlorobifenili (PCBs), diossine, pesticidi e idrocarburi policiclici aromatici (PAHs), eventualmente presenti nelle matrici di partenza, sebbene ritenuta verosimile in taluni casi, non è stata fin qui quantificata con precisione (Gillet, 1992). Allo stesso modo, non sono mai stati accertati effetti negativi sui lavoratori derivanti dall'esposizione a metalli eventualmente presenti nell'aria degli impianti di compostaggio. In uno studio condotto sulle concentrazioni di piombo e cadmio nell'atmosfera circolante presso stazioni per la stabilizzazione della frazione organica dei rifiuti solidi urbani (Mozzon et al., 1987), sono stati rilevati valori ($<0,003 \text{ mg/m}^3$) ben al di sotto dei livelli di attenzione. Ciò suggerisce che, nella filiera di produzione di compost da matrici selezionate, l'esposizione degli operatori ai metalli può considerarsi un fenomeno affatto trascurabile.

6.4.2.4 - Inquinamento acustico

La via più sicura per prevenire gli effetti negativi sulla salute degli operatori derivanti dall'eccessivo rumore consiste nell'adottare macchine ed attrezzature ad emissione acustica contenuta. È importante ricordare che disturbi uditivi importanti si verificano per esposizioni prolungate ad intensità di rumore eccedenti gli 85 db. Purtroppo molti tra i macchinari impiegati presso le stazioni di compostaggio (tritinatori, mulini, vagli, ...) superano di gran lunga il limite sopra riportato. Misure di contenimento delle emissioni acustiche, sia mediante accorgimenti tecnologici di insonorizzazione, sia attraverso una distribuzione temporale delle operazioni più rumorose, possono senz'altro giovare a mitigare questo inconveniente. La protezione del personale con cuffie antirumore rimane comunque un accorgimento necessario, specialmente per gli addetti al rivoltamento dei cumuli mediante macchine operatrici.

6.4.2.5 - Sicurezza e prevenzione degli infortuni

I principali problemi legati alla prevenzione degli infortuni nell'ambito degli impianti di compostaggio riguardano i macchinari in uso. Sia le macchine operatrici, sia le attrezzature fisse, devono essere dotate dei requisiti di sicurezza stabiliti dalle norme vigenti. Gli operatori dovranno poi avere a disposizione i sistemi di protezione standard (occhiali, guanti, mascherine, calzature rinforzate), di volta in volta previsti per lo svolgimento in sicurezza delle mansioni cui sono destinati.

Anche il fuoco può rappresentare, in talune circostanze, un problema da tenere in considerazione nella gestione della stazione di compostaggio. Se il materiale in trasformazione è mantenuto entro i livelli di umidità appropriata per il processo, i rischi di combustione spontanea sono limitati, specialmente presso gli impianti in cui il trattamento dei materiali avviene all'aperto. Tuttavia, se le matrici organiche in corso di stabilizzazione vanno incontro ad una eccessiva disidratazione, peraltro in cumuli di grandi dimensioni, l'autocombustione può diventare un rischio serio. Questo fenomeno avviene solitamente quando lo stadio termofilo del processo provoca la rapida diminuzione dell'umidità del substrato entro valori compresi tra il 25 ed il 45 %. A questo punto, nella parte interna dei cumuli con altezza largamente eccedente i 3,5 m, il calore può innescare reazioni chimiche che portano alla combustione spontanea del substrato. Insieme, il controllo del contenuto di umidità e della temperatura entro i limiti ottimali per il compostaggio e l'allestimento di cumuli di dimensioni compatibili con il corretto svolgimento delle reazioni di trasformazione costituiscono il sistema di prevenzione più efficace nei confronti dei fenomeni di autocombustione. La presenza di un adeguato sistema antincendio è comunque obbligatoria per ogni stazione di compostaggio [8].

6.4.3 – Generazione e controllo delle emissioni gassose

La formazione ed il rilascio di odori costituisce uno dei punti più critici di una qualsiasi stazione di compostaggio. A questo proposito è importante conoscere le diverse situazioni che possono portare alla generazione di emissioni maleodoranti in modo da rendere possibili interventi di prevenzione e/o mitigazione sia a livello delle condizioni di processo, sia sulle caratteristiche delle strutture impiantistiche.

Il rilascio di emissioni maleodoranti costituisce, senz'altro, uno dei punti più critici per una stazione di compostaggio e rappresenta uno degli elementi di maggior rilevanza nelle fasi di realizzazione e gestione della stessa. La normativa italiana, pur

stabilendo alcuni principi fondamentali finalizzati alla prevenzione delle molestie olfattive (localizzazione di determinate tipologie di impianti, indicazioni inerenti all'utilizzo delle migliori tecniche disponibili), non prevede limiti alle emissioni di sostanze osmogene, né metodi e parametri di misurazione. Il diffondersi degli impianti di compostaggio e la sempre maggiore sensibilità verso il problema degli odori, ha determinato da parte di alcune Regioni l'emanazione di atti normativi volti ad identificare i presidi ambientali e i sistemi di trattamento dell'aria per limitare al minimo l'impatto delle emissioni.

Occorre sottolineare innanzitutto che il problema è strettamente legato alla gestione corretta degli impianti e dei processi; buona parte dell'impatto olfattivo delle emissioni è infatti dovuta alla presenza nelle arie esauste di cataboliti ridotti (composti non completamente ossidati dello zolfo, dell'azoto, del carbonio), e tale presenza è sostanzialmente in contraddizione con le caratteristiche aerobiche del processo di compostaggio, processo che dovrebbe portare essenzialmente alla produzione ed al rilascio nelle arie esauste di cataboliti ossidati ed inodori (anidride carbonica, ossidi di azoto, anidride solforosa, ...). Le cause dei fenomeni odorosi particolarmente intensi possono essere dunque ricondotte soprattutto alla presenza di situazioni critiche di processo e/o impiantistiche quali:

- A) presenza di "sacche anaerobiche" nei cumuli;
- B) scarso o intempestivo utilizzo dell'aerazione forzata della biomassa;
- C) rivoltamenti inopportuni e/o intempestivi;
- D) mancata canalizzazione e trattamento arie esauste;
- E) efficienza dei sistemi di abbattimento;
- F) mancata tenuta in depressione dei capannoni di bioconversione;
- G) fuoriuscita di arie odorose dai portali (fosse di scarico);
- H) messa a parco in maturazione all'aperto di materiale ancora fortemente odorigeno;
- I) stazionamento all'aperto di sovvalli ad elevata componente fermentescibile;
- L) interruzione precoce dei processi aerobi a carico di biomasse non ancora mature;
- M) presenza di estese pozze di percolato.

Particolare attenzione deve inoltre essere posta nei confronti delle altre potenziali sorgenti odorigene di un impianto di compostaggio, poiché non solo gli intermedi volatili di degradazione legati a condizioni processistiche non ottimali (anaerobiosi) generano odore, ma anche, in parte, quelli generati da rifiuti freschi e/o dalla miscela

in compostaggio ad uno stadio di maturazione già avanzato. La prevenzione richiede dunque una buona attenzione ai connotati operativi dell'impianto ed un piano integrale di monitoraggio. La maturità delle esperienze in corso dà d'altronde punti di riferimento sufficienti per "porre mano" a tali problemi, prevenendoli. Oltre alla prevenzione, è bene d'altronde che gli impianti che trattano grosse quantità (con capacità operative >10 ton/gg) di matrici fortemente fermentescibili (fanghi, scarti alimentari, ...) e/o siano collocati in vicinanza di insediamenti abitativi (<1000 metri), siano dotati di minimi presidi contro la potenziale diffusione di odori all'esterno; la "condizione di sicurezza" in tali situazioni si ottiene mediante:

- la chiusura delle aree operative destinate alle prime fasi di processo (quelle in cui la miscela è ancora potenzialmente odorigena);
- la canalizzazione delle arie esauste provenienti da tali aree verso una linea di trattamento degli odori;
- il dimensionamento adeguato dei biofiltri e/o degli scrubbers e/o di qualunque altro sistema utilizzato per la deodorizzazione delle arie esauste;
- la corretta gestione dei sistemi di deodorizzazione (conservazione dello stato strutturale e delle condizioni di umidità ideali per la massima efficacia dei biofiltri).

6.4.3.1 – Percezione e valutazione delle emissioni odorigene

La presenza di odori sgradevoli va considerata come un fattore di alterazione del benessere psicofisico, o comunque causa di sgradevoli sensazioni di disagio. Una caratteristica fondamentale in questo senso è il fatto che certe molecole (sia dall'odore piacevole che molesto) hanno la proprietà di essere avvertite all'olfatto a bassissime concentrazioni; a volte il nostro naso è un «detector» più sensibile della più raffinata strumentazione analitica, e questa considerazione condiziona fortemente anche le metodiche di indagine sugli odori. Le molestie olfattive quindi sono spesso causate da sostanze presenti in minime quantità. Occorre sottolineare che alla molestia olfattiva, nel settore del compostaggio, in genere non corrisponde un impatto tossicologico; soprattutto nel caso degli impianti di compostaggio di biomasse da raccolta differenziata, che sono costituite da materiali di origine "naturale" (quali scarti di cibo, risulite di potatura, ...) Le emissioni odorose sono caratterizzate semplicemente da intermedi volatili della degradazione microbica di questi substrati, ovvero molecole naturalmente presenti in natura, con scarso impatto sulla salute umana. L'odore quindi è una sensazione soggettiva, recepita cioè in modo

diverso da ogni soggetto, sia per quanto riguarda l'intensità che la qualità dello stimolo olfattivo [8].

I tentativi finora effettuati per arrivare ad una oggettivazione della misura correlando la proprietà "odore" con qualche parametro chimicamente determinabile non ha portato in generale a risultati soddisfacenti, se non nel caso di odori originati in modo prevalente da pochi specifici composti. L'analisi è quindi in grado di fornire utili dati, con la misura della concentrazione delle varie specie chimiche presenti, ma non può indicare se ogni singolo costituente o l'intera miscela possiede un certo livello di intensità di odore. Può verificarsi ad esempio che in miscele di due componenti vi sia addizione della sensazione olfattiva, o che i composti siano totalmente indipendenti, o che vi sia azione sinergica o che vi sia reazione di cancellazione. Inoltre, un composto volatile che emana odore sgradevole ad alta concentrazione può essere invece accettato o addirittura gradito a concentrazioni inferiori.

Tutti gli approcci volti alla misurazione dell'odore riguardano principalmente le emissioni puntuali, ad esempio all'uscita del biofiltro; nel caso di problemi di odori effettivamente rilevati un'accurata strategia di monitoraggio non dovrebbe tuttavia prescindere dall'analisi complessiva dell'impianto dal punto di vista logistico (fase di conferimento del materiale, pretrattamento, eventuali stoccaggi all'aperto di prodotto fresco o in maturazione, perdite dal capannone...). La necessità di misurare l'intensità degli odori, rendendo oggettiva una grandezza tipicamente correlata a percezioni soggettive, ha portato a sviluppare una serie di approcci diversi al problema.

▪ I *metodi analitici* (Gascromatografia - Spettrometria di massa o GC-MS, soluzioni specifiche di assorbimento e titolazione, ...) permettono uno screening preliminare delle sostanze presenti, con una caratterizzazione quali-quantitativa. Da un'analisi GC-MS si ricavano indicazioni sulle numerose sostanze (tipicamente diverse decine) che compongono la miscela odorosa. E' possibile così valutare la presenza o meno di sostanze indicatrici di un cattivo andamento del processo, oppure valutare l'efficienza dei sistemi di abbattimento come scrubbers e biofiltri. I metodi analitici sono applicabili nei casi in cui può essere stabilita una correlazione tra la concentrazione dell'odorante e la percezione dell'odore, soprattutto nei casi in cui l'odore è riconducibile a una o poche sostanze, come per odori derivanti da taluni cicli di lavorazione. Per alcuni composti come mercaptani e acido solfidrico si presentano però dei problemi di sensibilità dello strumento, dal momento che le concentrazioni in

grado di fare percepire odori sono al limite od al di sotto della sensibilità analitica: in questo caso il naso risulta essere molto più sensibile di uno spettrometro di massa.

▪ I *metodi sensoriali* (olfattometrico) sono stati sviluppati con lo scopo di oggettivare e quantificare numericamente – tramite elaborazione statistica - l'intensità dell'odore percepito dal naso umano (utilizzato come sensore) di un set di testatori (pannellisti) a cui viene sottoposta a diluizioni successivamente concentrate l'aria campionata. Le unità odorimetriche, per unità di volume (OU/m^3), sono il numero di diluizioni che fanno sì che il 50% della giuria non percepisca nessun odore: tale numero esprime la “concentrazione di odore”, per cui, intuitivamente, maggiore è questo numero, più intenso è l'odore. Per impianti di grandi dimensioni (in cui si trattano diverse centinaia di migliaia di m^3/h di arie esauste), può altresì assumere importanza la valutazione della “massa di odore”, data dal prodotto della concentrazione di odore per il flusso d'aria in m^3/sec in uscita dall'impianto (ad esempio, da un biofiltro e/o da uno scrubber). La determinazione olfattometrica si può riferire a tre aspetti: concentrazione, intensità, e tono edonico (gradevolezza / sgradevolezza). Intensità e tono edonico vengono valutate sulla base di scale di giudizio (ad esempio con punteggi che vanno da 0 a 6, associando ad ogni punteggio un livello di valutazione. La concentrazione viene valutata mediante determinazione del fattore di diluizione alla soglia di percezione: si ricorre a progressive diluizioni del campione odoroso con aria esente da odore (aria “neutra”), fino a rendere l'odore non più percettibile dall'olfatto umano. Si opera con un apposito apparato strumentale, l'olfattometro, che consente la diluizione del campione con aria “neutra”, secondo rapporti definiti e a livelli che possono raggiungere diverse decine di migliaia di volte, e la presentazione alla commissione di giudizio, registrandone le risposte (senso/non senso) ed elaborandole statisticamente. La misura viene eseguita secondo indicazioni metodologiche già ben definite in raccomandazioni concordate a livello di esperti CEE, e normate in alcuni Paesi Europei. La soglia di percezione dell'odore viene valutata in riferimento alla concentrazione di sostanze odorose che porta alla percezione dell'odore con una probabilità del 50%, ossia per la quale la commissione di giudizio dà una risposta positiva nel 50% dei casi. Su questa base la concentrazione di odore viene misurata come numero di diluizioni necessarie per far raggiungere al campione il livello di soglia. Per definizione risulta così che la concentrazione di sostanze odorose a livello soglia risulta pari a $1OU_e/m^3$ (OU_e =odour unit). Per fare un esempio, se la concentrazione risulta pari a $2000 OU_e/m^3$, significa

che occorrerà diluire 2000 volte il campione di aria odorosa con aria pulita per renderlo non più percettibile dal 50% dei giudicatori [50].

6.4.3.2 – Misure di prevenzione

Presso le stazioni di compostaggio, dove vengono trattati rifiuti organici da raccolta differenziata oppure altre tipologie di residui ad elevata fermentescibilità, è importante ridurre quanto più possibile i tempi di stazionamento delle matrici in questione sui piazzali di scarico e di stoccaggio transitorio. I responsabili della raccolta devono perciò provvedere affinché il materiale sia conferito all'impianto senza creare accumuli di matrice fresca che non sia immediatamente preparata per la fase di compostaggio attivo. A meno che l'impianto non funzioni anche su turni festivi, è quindi buona norma sospendere la ricezione dei rifiuti durante la pausa di fine settimana. Per il resto, gli altri accorgimenti che consentono di prevenire la possibile formazione di odori sono:

- un pronto allestimento dei cumuli, oppure il rapido trasferimento della biomassa substrato nell'eventuale bioreattore;
- la verifica che la matrice in fase di compostaggio attivo sia nelle condizioni ottimali di aerazione, tali da evitare il formarsi di zone anaerobiche;
- l'attuazione degli eventuali turni di rivoltamento della biomassa substrato in coincidenza con venti favorevoli la rapida diluizione e dispersione delle emissioni odorogene in direzione opposta a quella degli insediamenti civili;
- assicurare, laddove il compostaggio avvenga in cumuli statici, la copertura degli stessi con uno strato superficiale (5-10 cm) di compost maturo;
- evitare la formazione di ristagni di percolato alla base dei cumuli;
- confinare la fase attiva di compostaggio in strutture chiuse, la cui aria possa essere captata e convogliata in speciali apparati di trattamento dei composti odorogeni.

6.4.3.3 – Sistemi tecnologici di abbattimento

Se in condizioni di corretta gestione del processo le misure di prevenzione non risultano ancora adeguate ad un sufficiente controllo degli odori, è possibile ricorrere a sistemi tecnologici più o meno sofisticati: presupposto affinché questi sistemi possano essere applicati è che le emissioni rilasciate dai materiali in compostaggio siano intercettate. Ciò significa che le operazioni potenzialmente a rischio per la formazione di odori dovranno essere condotte in ambiente confinato, dal quale sia possibile evacuare l'aria arricchitasi di composti maleodoranti.

Le principali tipologie di apparati per l'abbattimento delle emissioni odorigene, oggi adottate presso le stazioni di compostaggio a più elevato contenuto tecnologico, sono rappresentate essenzialmente da:

- torri di lavaggio (scrubbers ad umido);
- biofiltri.

Per il trattamento delle emissioni maleodoranti sono stati proposti anche l'assorbimento su carbone attivo od altri materiali ad elevata capacità di trattenimento, o la combustione dei composti odorigeni. Questi ultimi sistemi, benché risultati molto efficaci (con rese di abbattimento intorno al 99%), non hanno tuttavia trovato pratica applicazione a causa degli eccessivi costi complessivi di trattamento.

→ Torri di lavaggio (Scrubbers ad umido)

Tali sistemi si basano sull'impiego di soluzioni di lavaggio per rimuovere i composti odorigeni presenti nel flusso gassoso, mediante assorbimento e successiva ossidazione di queste sostanze. Esiste una vasta gamma di scrubbers: (i) scrubber a torri impaccate, (ii) scrubber a nebbia, (iii) scrubber a stadi multipli.

Nei sistemi costituiti dalle cosiddette "torri impaccate", il liquido di lavaggio viene ripartito in film sottile che si muove lentamente sulla superficie del mezzo di riempimento. L'aria da trattare è, di solito, introdotta dal fondo della torre e fluisce verso l'alto attraverso il materiale di riempimento, in controcorrente rispetto alla soluzione di lavaggio. Quest'ultima viene normalmente ricircolata per minimizzarne il consumo [66].

Negli scrubbers cosiddetti "a nebbia", invece, la soluzione di lavaggio è atomizzata in goccioline finissime le quali sono disperse, all'interno di una camera di contatto, attraverso il flusso d'aria oggetto di trattamento. Le goccioline caricate dei composti odorigeni precipitano al fondo della camera, dalla quale il liquido di lavaggio accumulatosi viene continuamente rimosso.

In taluni casi, sono stati proposti i cosiddetti scrubbers "a stadi multipli", nei quali il flusso gassoso da trattare viene sottoposto a lavaggi con soluzioni diverse, mirate all'abbattimento differenziato dei vari composti odorigeni.

Il ricorso agli scrubbers richiede un accurato piano di conduzione e mantenimento degli apparati al fine di garantirne l'efficienza operativa. È quindi importante, in via preventiva, considerare il peso economico che questi sistemi rappresentano rispetto agli altri interventi di mitigazione e controllo degli odori [77].

→ Biofiltri

La biofiltrazione è una tecnologia mediante la quale le emissioni gassose da trattare vengono fatte passare uniformemente attraverso un mezzo poroso biologicamente attivo, ovvero in un apposito letto riempito con materiali quali cortecce, legno tritato, compost maturo, torba, ... mantenuti a condizioni di temperatura e umidità costanti, e che vengono colonizzati da microrganismi aerobi in grado di degradare i composti da trattare presenti nelle emissioni. È importante sottolineare che la colonizzazione e le attività metaboliche avvengono all'interno del biofilm, che è la pellicola d'acqua che si crea attorno alle particelle della matrice solida di cui il biofiltro è costituito. Prima dell'uscita dal letto filtrante, il gas assorbe CO₂, gli altri composti volatili generati, ed il calore dovuto alle reazioni biochimiche. È dunque fondamentale e necessaria (spesso) l'umidificazione del letto ed in alcuni casi l'aggiunta di soluzioni tamponanti per mantenere il pH a livelli ottimali.

In pratica, i microrganismi di un biofiltro non fanno altro che completare la degradazione della sostanza organica di partenza, di cui i composti odorosi sono composti intermedi di degradazione. Il processo consta di tre stadi:

1. il composto gassoso attraversa l'interfaccia tra il gas che scorre nello spazio poroso e il biofilm acquoso che circonda il mezzo solido;
2. il composto diffonde attraverso il biofilm in un consorzio di microrganismi acclimatati;
3. i microrganismi traggono energia dall'ossidazione del composto utilizzato come substrato primario, oppure lo metabolizzano con vie enzimatiche non specifiche. Simultaneamente nel biofilm vi è una diffusione e un consumo di nutrienti (come le forme prontamente disponibili del fosforo e dell'azoto) e di ossigeno [50].

Con la biofiltrazione si rimuovono i composti organici volatili e i composti ridotti dello zolfo e dell'azoto, che vengono degradati sia come substrati primari che come metaboliti. Le sostanze da rimuovere devono avere due caratteristiche fondamentali:

- facile biodegradabilità;
- non tossicità per i microrganismi.

Le caratteristiche ottimali per una corretta operatività di un mezzo biofiltrante sono:

- ambiente microbico ottimale;
- ampia area superficiale specifica;
- integrità strutturale;
- elevata umidità;
- elevata porosità;
- bassa densità volumetrica.

Il compost, le torbe e le cortecce possiedono molte delle caratteristiche sopra dette. Il compost, se utilizzato, deve essere di grossa pezzatura e privo di componente polverosa ed eccessivamente leggera: per tale motivo si utilizza normalmente compost ottenuto da potature triturate. Esso ha il vantaggio di fornire minori resistenze al passaggio del gas e quindi denota perdite di carico inferiori.

Le condizioni operative ottimali risultano essere:

- contenuto di *umidità* nel mezzo filtrante del 40-60% (peso umido). Il livello di umidità nel biofiltro è il più importante parametro gestionale, poiché i microrganismi sono in grado di assorbire le sostanze alimentari solo nella fase acquosa. Livelli di umidità bassa provocano la disattivazione dei microrganismi, la contrazione ed il collasso del mezzo di riempimento; un livello di umidità eccessivo provoca invece elevate contro pressioni e bassi tempi di ritenzione del gas dovuto al riempimento da parte dell'acqua degli interstizi porosi, problemi di trasporto di massa (soprattutto ossigeno) dovuti alla ridotta interfaccia gas-liquido per unità di volume del biofilm, creazione di zone anaerobiche, produzione di percolato a basso pH ed alto carico che richiede smaltimento;
- valori di *pH* intorno a 7-8. I biofiltri che trattano arie contenenti composti la cui degradazione produce acidi (in questo impianto si hanno normalmente (a) solfuri e acido solfidrico, che portano alla formazione di acido solforico, (b) oltre ad ammoniaca e composti azotati che portano ad acido nitrico), devono avere una adeguata capacità tamponante;
- *temperatura* compresa tra i 25-35°C (temperatura ideale per i microrganismi aerobi sui 35°C). Temperature non ottimali rallentano le reazioni di degradazione;
- assenza di composti tossici per i microrganismi.

In relazione alla natura delle arie esauste negli impianti di trattamento biologico, i biofiltri si stanno rivelando come il sistema più versatile ed efficace in tale tipologia

di impianti; la natura relativamente “diluita” dei composti odorigene da trattare pone infatti dei limiti strutturali all’efficienza dei sistemi chimico-fisici di abbattimento, mentre i sistemi biologici hanno mostrato buone capacità di rimozione e soprattutto caratteristiche spiccatamente adattative al variare della natura delle sostanze da trattare, il che garantisce l’efficienza di rimozione anche nel corso delle attendibili fluttuazioni nella composizione delle sostanze odorigene (per stagionalità dei conferimenti, variazioni nel flusso delle matrici da compostare, ...) [50].

6.5 PRINCIPALI UTILIZZI DI COMPOST E BIOSTABILIZZATO

Il compost ed il biostabilizzato possono essere impiegati in diversi ambiti (in relazione a specifiche esigenze) quali agricoltura, giardinaggio, orticoltura, viticoltura, paesaggistica, recupero di siti degradati. Per questo motivo, è importante conoscere le caratteristiche medie dei materiali che si vanno ad utilizzare.

E’ dunque molto importante poter operare un confronto analitico tra i differenti prodotti compostati, ed i materiali organici di tradizionale impiego. In tal senso, è opportuno i principali parametri di valutazione agronomica per le applicazioni come ammendante e come substrato florovivaistico. I compost sono qui indicati con la denominazione commerciale, così come prevista dalla norma vigente, che li classifica in Ammendanti compostati verdi (ACV) ed in Ammendanti compostati misti (ACM, quest’ultimo prodotto dall’impianto di compostaggio in questione) [21].

6.5.1 – Caratteristiche tecniche del compost

6.5.1.1 – Ammendante compostato verde, ACV

Il compost da scarti verdi, ovvero prodotto dal compostaggio degli scarti della manutenzione del verde, presenta delle caratteristiche fisico-chimiche apprezzabili oltre ad una limitata salinità rispetto al letame. Ciò corrisponde ad una maggior compatibilità tra la matrice organica e la pianta: impiego idoneo per applicazioni in buca di piantagione e in tutte le pratiche agronomiche che prevedono un diretto contatto con la radice. Proprio il basso livello di salinità (espressa dalla conducibilità specifica) dell’ACV presuppone l’idoneità all’impiego di compost verde nella

costituzione di terricci per il florovivaismo. Un compost da scarti verdi, soprattutto se prodotto da matrici ad elevata componente legnosa, presenta valori in elementi nutritivi (per lo più N, P, K) inferiori rispetto ai letami. Per questo, i principali benefici derivati dall'apporto di ACV sul suolo, sono legati al miglioramento delle proprietà fisico-strutturali e biologiche del terreno agrario in caso di siti insteriliti o poveri di sostanza organica.

6.5.1.2 – Ammendante compostato misto, ACM

Il compost da scarti alimentari e matrici fangose (ACM) è in grado di garantire, oltre all'apporto di sostanza organica umificata (funzione ammendante) anche un buon apporto concimante (N-P-K e microelementi) e un rapporto equilibrato tra N, P e K. Da valorizzare anche la ricchezza in ferro e magnesio dell'ACM. Ciò garantisce alte prestazioni nel caso della concimazione organica. In particolare, le attività specializzate, forti consumatrici di sostanza organica, quale l'orticoltura, ma anche le colture da rinnovo e i reimpianti in viticoltura e frutticoltura, si avvalgono fortemente del potere fitonutritivo di questi prodotti compostati. Tali prodotti trovano un altro settore di applicazione fortemente vocato: l'agricoltura organica e biologica. Le pratiche biologiche prevedono il ricorso alla concimazione organica, la cui ricchezza fitonutritiva diventa dunque in tal caso fattore essenziale della gestione agroecologica equilibrata dell'ordinamento culturale aziendale.

Altri settori in grado di valorizzare molto bene il compost come vettore di sostanza organica e di elementi della fertilità, sono il giardinaggio e la paesaggistica, in specifico all'atto della costruzione del paesaggio vegetale in aree di neoinnesamento.

6.5.2 – Ambiti e tipologie d'impiego

6.5.2.1 – Compost di qualità (ACV, ACM)

Colture erbacee

- Colture da rinnovo
 - Foraggiere avvicendate
 - Orticole
 - Cereali autunno-vernini

Frutticoltura, viticoltura e colture arboree

- Fertilizzazione in preimpianto
- Fertilizzazione in copertura
- Pacciamatura
- Applicazione in buca di piantagione

Vivaismo

- Fertilizzazione in preimpianto di un vivaio
- Florovivaismo in contenitore

Giardinaggio, floricoltura, orticoltura, hobbistica

- Allestimento di giardini
- Manutenzione giardini
- Orticoltura
- Pacciamatura
- Rinvasi in contenitore

6.5.2.2 – Biostabilizzato

Paesaggistica

- Costruzione del verde urbano, ricreativo, sportivo
- Ricarico su tappeti erbosi (top dressing)
- Buca di piantagione
- Pacciamatura

Risanamento ambientale di siti degradati: bioremediation

- Bonifica di suoli contaminati con componenti organiche tossiche
- Trattamento dell'aria e delle acque contaminate
- Bonifica di cave e miniere
- Potere repressivo nei confronti di alcune patologie di piante coltivate

Alcune avvertenze d'impiego sono comunque d'interesse primario:

- Colture erbacee:

l'impiego di compost come ammendante organico determina un apporto diretto di elementi minerali della fertilità (principalmente N, P, K, Mn, Mg, Fe) liberati durante il processo di mineralizzazione della sostanza organica. In virtù del tipo di forma dell'azoto presente nella sostanza organica è di fondamentale importanza, per impostare un corretto piano di fertilizzazione, comprendere la quota di azoto disponibile almeno per la prima stagione vegetativa. A questo proposito il compost contiene mediamente il 15-20% di azoto che viene reso disponibile al primo anno.

- Vivaismo:

per quanto riguarda il vivaismo in contenitore è di fondamentale importanza valutare il pH e la salinità del compost. Infatti dal confronto con torbe e terricci per impieghi florovivaistici, i compost considerati presentano valori di pH più elevati: per l'impiego in contenitore è pertanto necessaria un'azione correttiva o una limitazione di impiego, soprattutto per evitare problemi di clorosi ferrica. La salinità (espressa dalla conducibilità elettrica specifica, CES), nel caso delle coltivazioni in contenitore, è un fattore tecnico ostativo se superiore a certi limiti (1,5-2 ms/cm).

- Giardinaggio, floricoltura, orticoltura, hobbistica:

il compost deve essere impiegato in miscela con torbe, perlite, pomice, sabbia, ... in quote che possono arrivare fino al 50% in volume.

- Paesaggistica

per gli impieghi del compost a diretto contatto con semi o radici, come letto di semina per l'insediamento e la rigenerazione di tappeti erbosi, o come materiale per il riempimento di buche di piantagione viene richiesto materiale con un grado di maturità elevato. Per gli impieghi a carattere "estensivo" (per esempio, nelle

concimazioni di fondo) non è invece richiesta una maturazione spinta del compost, mentre assume importanza primaria il contenuto e il rapporto tra elementi della fertilità [1].

6.6 COSTI ECONOMICI E MERCATO DEL COMPOSTAGGIO

6.6.1 – Analisi dei costi e dei benefici

I costi da imputare al compostaggio variano in misura considerevole a seconda dei materiali trattati, del metodo di stabilizzazione adottato, delle attrezzature impiegate e dell'uso finale del prodotto ottenuto. Per una valutazione corretta ed affidabile devono comunque essere considerati altri elementi, seppur non strettamente legati agli aspetti tecnologici del processo in questione (condizioni ambientali e situazione logistica). Gli oneri per l'attuazione di una filiera di compostaggio, alla maniera di una qualsiasi altra attività industriale, comprendono, da un lato, (a) i costi di investimento, dall'altro, (b) quelli di gestione e manutenzione. A queste voci, vanno aggiunti, laddove previsti, (c) i costi per le attività di raccolta dei materiali organici e di trasporto degli stessi presso la stazione di compostaggio, (d) i costi derivanti dagli eventuali enti pubblici gestori dalla amministrazione del programma ed, infine, (e) i costi di commercializzazione del prodotto finito. In effetti, il compostaggio, se correttamente interpretato nell'ambito della gestione complessiva dei rifiuti, può offrire reali vantaggi economici alle comunità coinvolte, come segue:

- risparmio sui costi di smaltimento in discarica o per incenerimento;
- minore impatto ambientale derivante dal più contenuto ricorso a sistemi di smaltimento;
- estensione dei tempi di vita delle discariche a servizio del territorio interessato;
- eliminazione ovvero riduzione dei costi derivanti dall'acquisto di ammendanti per la cura del verde pubblico;
- introiti derivanti dalla vendita del prodotto finito;
- incentivazione alla raccolta di materiali riciclabili da reimmettere sul mercato [19].

Il costo netto di un programma di compostaggio può essere stabilito attraverso la stima complessiva sia degli oneri di investimento che dei costi di gestione e manutenzione, al netto degli eventuali introiti e/o dei costi non sostenuti grazie all'attuazione del programma stesso: questo tipo di valutazione economica, indicata

come “analisi costi/benefici”, è largamente impiegata per determinare l’efficacia dell’investimento. Le amministrazioni pubbliche, per sviluppare i propri programmi di compostaggio, possono scegliere tra una moltitudine di sistemi di raccolta, di soluzioni progettuali di allestimento delle stazioni di trattamento e di tecnologie impiantistiche. D’altra parte, un progetto che preveda il compostaggio dell’organico proveniente dal flusso complessivo dei rifiuti solidi urbani impone importanti impegni finanziari, sia per la realizzazione che per la conduzione della stazione tecnologica, la quale, in questi casi, viene posta solitamente a servizio di un’area più vasta.

6.6.1.1 - Voci di costo

(a) Costi di investimento

Vi rientrano tutte quelle voci che concorrono alla realizzazione delle strutture impiantistiche ed alla acquisizione delle attrezzature necessarie per la trasformazione in compost dei materiali organici di interesse. Al tempo stesso, data la particolare sensibilità delle popolazioni nei confronti degli insediamenti industriali legati alle filiere di trattamento dei rifiuti, è opportuno prevedere anche un’adeguata copertura economica circa una serie di azioni di informazione e di promozione dell’iniziativa.

Tali costi sono dunque ripartibili come segue:

- costi di progettazione;
- costi di acquisizione del sito;
- costi di allestimento e sviluppo infrastrutturale;
- costi di acquisto delle forniture elettro-meccaniche e delle macchine operatrici;
- costi di formazione del personale.

(b) Costi di gestione e di manutenzione

Ne fanno parte tutte le spese necessarie al funzionamento ed al mantenimento dell’attività produttiva presso l’impianto di compostaggio. Tipiche voci che concorrono a questi costi sono la manodopera, i consumi energetici sia in termini di elettricità che di carburanti, l’acqua per il processo ed i servizi, le polizze assicurative, gli interventi di riparazione dei macchinari e la manutenzione dei veicoli. Ai suddetti oneri dovranno aggiungersi i costi di approvvigionamento di alcuni residui organici, laddove la stazione di compostaggio, per l’attuazione dei cicli di stabilizzazione, necessita di materiali (matrici lignocellulosiche) reperibili a solo titolo oneroso.

Tali costi sono dunque ripartibili come segue:

- costi di raccolta;
- costi per manodopera;
- costi energetici;
- costi per carburanti, pezzi di ricambio ed altri materiali di consumo;
- costi di campionamento, di laboratorio, di monitoraggio del processo [8].

6.6.1.2 - Vantaggi

(1) Costi mancati

Nell'analisi costi/benefici alla base del progetto per una stazione di compostaggio, si dovrà tenere debito conto dei costi evitati grazie al mancato ricorso ad altre forme di trattamento. Tra i costi mancati, al primo posto si collocano gli oneri non sostenuti per smaltimento in discarica o per incenerimento delle matrici organiche, dirottate invece verso la biostabilizzazione. Il conferimento in discarica o all'incenerimento delle sole componenti del rifiuto compatibili con queste forme di trattamento, consente, di riflesso, una maggiore durata dei suddetti impianti di smaltimento massivo e, quindi, sostanziali risparmi sui costi di investimento per nuove strutture. Il mancato interrimento della componente putrescibile del rifiuto urbano, riduce inoltre drasticamente i costi di esercizio delle discariche, legati soprattutto al trattamento del percolato ed alla gestione del biogas.

(2) Proventi

Se il ricorso al compostaggio rappresenta per una comunità la scelta finalizzata non solo al mero smaltimento di parte del rifiuto urbano ma, al tempo stesso, anche la possibilità di recuperare la frazione organica a fini economici, ciò si dovrà tradurre nella produzione e nella commercializzazione di un prodotto finito di elevate caratteristiche qualitative. I proventi derivanti dalla vendita del compost andranno a bilanciare parte dei costi associati all'attuazione dell'intero programma di compostaggio. È peraltro impensabile che gli impianti di compostaggio inseriti nei piani complessivi di gestione pubblica dei rifiuti dei comprensori di riferimento possano pareggiare i costi di investimento ed esercizio con la sola commercializzazione del prodotto finito. Per trovare uno sbocco commerciale, il compost ottenuto dovrà rispondere a precisi parametri qualitativi, il cui raggiungimento rimane fortemente legato alle caratteristiche delle matrici in entrata all'impianto. Ciò fa della raccolta differenziata un presupposto irrinunciabile per le prospettive di apprezzamento del prodotto da parte del mercato.

6.6.2 – Mercato del compost

La produzione di compost a livello europeo ha subito negli ultimi anni un costante incremento. Ciò è riconducibile all'estendersi della separazione dello scarto organico, come priorità operativa, nei sistemi integrati di gestione dei rifiuti. Il caso più emblematico è costituito dalla Germania che, estendendo la separazione alla fonte del "rifiuto biologico" a partire dalla metà degli anni '80, rappresenta il paese che conta il maggior numero di impianti di compostaggio, una situazione di mercato consolidata e una certificazione del compost che sta spingendo gli operatori ad adeguarsi ai criteri di qualità imposti al processo e al prodotto.

La tendenza attuale ad incrementare il numero di impianti di compostaggio e, quindi, la possibile disponibilità di compost, pone l'interrogativo se ci sia spazio per collocare tutto il compost potenzialmente ottenibile. Anche per l'Italia, la possibilità di impiegare compost in pieno campo su una porzione della superficie arabile disponibile riguarda una quota di territorio in linea con quanto verificato negli altri paesi europei. La superficie potenzialmente interessata rappresenta l'1,15 % della superficie arabile nazionale. Se si considerano altri risvolti agronomici quali le dosi di impiego normalmente in uso per quel che riguarda gli ammendanti organici, il bilancio annuale della sostanza organica nei terreni italiani ed il carico massimo ammissibile di compost sul suolo, le quantità di compost ipotizzate come assorbibili in questo ambito subiscono un lieve incremento rispetto ai calcoli precedentemente fatti. In effetti, da una stima della potenzialità di impiego del compost nei diversi settori dell'agricoltura italiana, si desume come l'ambito con le maggiori possibilità di sviluppo sia rappresentato dall'agricoltura di pieno campo (orticoltura, foraggicoltura, frutticoltura, ...), dove l'impiego di compost "copre" solo il 6,2% delle potenzialità effettive, mentre per il florovivaismo hobbistico la quota di mercato "coperta" è già sensibile (45% delle potenzialità).

Sulla scorta delle considerazioni sopra riportate, è possibile affermare che, allo stato delle cose, molte stazioni di compostaggio, ai fini di collocare più facilmente il prodotto, stanno guardando con sempre maggiore interesse alla diversificazione dell'offerta. Questo significa la proposta di materiali con caratteristiche diverse, mirate per i differenti ambiti d'impiego. È ormai noto, ad esempio, come la produzione di compost fresco (frishkompost) in Germania e nei paesi bassi sia una opzione interessante per l'impiego di questo materiale nell'agricoltura estensiva di pieno campo. Tale tecnica produttiva prevede l'impiego di compost stabilizzato, ma

con un basso grado di maturazione, in grandi quantità, fornite agli agricoltori senza particolari investimenti sulla promozione commerciale, anche se con minori ritorni economici derivanti dalla vendita del prodotto.

L'evoluzione delle conoscenze sul prodotto e le risposte degli utilizzatori sembrano confermare la necessità di diversificare sempre più il fronte di collocazione del compost sul mercato. Mentre il compost da residui verdi è universalmente accettato come condizionante del suolo e come valido ingrediente dei terricci per il florovivaismo hobbistico, d'altra parte, il compost da scarti alimentari ha grandi potenzialità su due linee di sviluppo principali:

- da un lato esistono produttori di compost da scarti alimentari che, al fine di minimizzare i costi di trattamento e gli impegni per la promozione commerciale, optano per la produzione di compost fresco, di basso prezzo, per destinazioni estensive;
- dall'altra, alcune aziende produttrici di compost da scarti alimentari avviano invece programmi di valorizzazione agronomica di questo materiale, intervenendo sia nella fase di produzione (sul processo), sia in quella di promozione, al fine di proporre un prodotto di qualità, appetibile per i diversi settori agricoli.

Questi scenari si ritrovano un po' in tutti i Paesi Europei, compresa l'Italia, dove il compost sempre più assume lo status di mezzo tecnico per l'agricoltura, a fronte di quantitativi prodotti in rapida crescita.

6.6.2.1 - Controllo della filiera del compostaggio

Diverse indagini di mercato condotte a livello europeo tra i produttori e gli utilizzatori di compost hanno permesso di mettere a fuoco alcune esigenze:

- la qualità ed il mercato del compost sono tra loro strettamente legate;
- per il recupero dei rifiuti organici sono necessarie regole che individuino il tipo di materiali realmente utilizzabili;
- l'origine e la qualità delle matrici comportabili, nonché il processo di trasformazione, devono essere rigorosamente controllati;
- sono auspicabili programmi seri di certificazione della qualità del compost, i quali, peraltro, contribuirebbero ad incrementare il recupero degli scarti organici.

Le analisi di mercato degli ultimi anni, condotte in diversi paesi europei hanno mostrato che tutti gli utilizzatori di compost richiedono un prodotto di qualità standardizzato e supervisionato da organizzazioni esterne agli impianti di

compostaggio. L'assicurazione della qualità del "sistema compost" (impianti, processi e prodotti) ha un valore di gran lunga superiore rispetto alla presenza di leggi più o meno restrittive. La presenza di un controllo della qualità del "sistema compost" garantisce infatti la presenza di verifiche in tutti gli stadi del trattamento dei rifiuti organici, dalla raccolta differenziata alla vendita del compost [1] [8] [19].

6.7 CONSORZIO ITALIANO COMPOSTATORI (C.I.C.)

6.7.1 - Sistema di Assicurazione della Qualità (SAQ)

Lo sviluppo di strategie di valorizzazione del compost sta avendo un discreto successo nei Paesi del centro Europa laddove si sono sviluppati sistemi di assicurazione della qualità (SAQ). Questi ultimi sono basati su criteri di controllo (interno ed esterno all'impianto di compostaggio), in grado di garantire il fornitore di scarti compostabili sull'effettiva trasformazione, e l'utilizzatore finale sul tipo di trattamento effettuato per la produzione del compost (Centemero et al., 1999).

Il ruolo centrale che riveste il sistema di controllo per la garanzia della qualità è evidente in quei paesi dove il compostaggio è molto sviluppato, quali Austria, Germania, Danimarca, Paesi bassi e Belgio. I suddetti paesi hanno promosso su vasta scala la gestione della qualità presso gli impianti di compostaggio. Molti altri come la Svezia, la Norvegia, la Gran Bretagna e la Francia sono invece ancora nella fase di attivazione delle iniziative legate alla gestione della qualità (marchi, leggi, ...). Anche in Italia, di recente, il Consorzio Italiano Compostatori (C.I.C.) ha iniziato un percorso che dovrebbe portare, nel medio-lungo periodo, alla istituzione di un SAQ.

In sintesi, è possibile indicare alcuni punti di forza dei Sistemi di Qualità:

- l'assicurazione della qualità è un buon mezzo per la promozione commerciale e per l'acquisizione della necessaria fiducia e confidenza con il compost da parte dell'acquirente;
- la definizione di metodiche di campionamento, analisi e controllo standardizzate costituisce un pre-requisito per la creazione di un marchio affidabile;
- la fornitura di compost dotato di marchio di qualità costituisce una garanzia di prodotto sicuro dal punto di vista igienico-sanitario e tecnico-agronomico.

6.7.2 – Il Consorzio Italiano Compostatori (C.I.C.)

Il Consorzio Italiano Compostatori (C.I.C.) è una struttura senza fini di lucro che collabora con gli Enti pubblici preposti per legge a promuovere e perseguire la politica di riduzione dei rifiuti, l'attuazione della raccolta differenziata per la separazione, lavorazione, riciclaggio e valorizzazione delle biomasse ed in genere delle frazioni organiche compostabili. Il Consorzio inoltre coordina e promuove le attività delle imprese e degli enti consorziati per diverse attività collegate alle tematiche del settore [1].

Il Consorzio Italiano Compostatori riunisce le imprese e gli enti pubblici e privati produttori di compost e le altre organizzazioni che, pur non essendo produttori di compost, sono comunque interessate alle attività di compostaggio (produttori di macchine e attrezzature, di fertilizzanti, enti di ricerca, ...). Il Consorzio non ha fini di lucro, ha una rilevanza nazionale e conta attualmente di oltre cento Soci. E' l'unica organizzazione che in Italia promuove e persegue, attraverso la collaborazione con gli Enti Pubblici preposti per legge, la politica di riduzione dei rifiuti, l'attuazione della raccolta differenziata per la separazione, lavorazione, riciclaggio e valorizzazione delle biomasse ed in genere delle frazioni organiche compostabili. L'impegno dei Compostatori del C.I.C. non solo è operare nel rispetto scrupoloso delle norme, ma anche essere alla costante ricerca di soluzioni improntate verso la minimizzazione dell'impatto ambientale degli impianti e un elevato standard qualitativo dei prodotti ottenuti. A tal fine i Compostatori del C.I.C. garantiscono l'utilizzo di matrici organiche di qualità ed il controllo rigoroso dei processi produttivi. Gli obiettivi del C.I.C. risultano quelli di: - promuovere la produzione di materiali compostati, con particolare riferimento a quelli di alta qualità e di qualità controllata; - promuovere il corretto utilizzo dei prodotti di alta qualità e di qualità controllata nelle attività agricole, nei recuperi e nei ripristini ambientali, e in altri impieghi alternativi; - tutelare e controllare le corrette metodologie e procedure di produzione dei materiali compostati; - promuovere le iniziative per la commercializzazione e la corretta destinazione dei prodotti ottenuti dal compostaggio; - svolgere attività di ricerca, studio e divulgazione uniforme di informazioni relative a metodologie e tecniche relativi alla produzione e utilizzazione dei prodotti compostati; - organizzare e gestire corsi di formazione e di aggiornamento sul compostaggio e sull'impiego dei prodotti [1].

7. CENTRO TRATTAMENTO FRAZIONI ORGANICHE – Impianto Ca’Baldacci (RN) - HERA S.p.A.

7.1 INQUADRAMENTO E DESCRIZIONE GENERALE DEL SITO

7.1.1 – Storia del sito

Aperta nel 1962, la discarica costituisce la prima attività svolta nel sito di Ca’ Baldacci (RN); realizzata su una superficie di circa un ettaro, durante il suo funzionamento ha ricevuto oltre un milione di tonnellate di rifiuti provenienti dalla raccolta urbana dei comuni di Rimini e limitrofi. Esaurite le sue potenzialità nel 1992, è stata successivamente messa in sicurezza; attualmente, terminata la produzione di biogas, produce ancora percolato il quale viene inviato per mezzo di un sistema di raccolta alle vasche situate in quello che ad oggi rappresenta il nuovo impianto di compostaggio. Il programma di recupero definitivo prevede interventi di rivegetazione dell’intera area.

Nel 1989 è stato realizzato il primo impianto per il trattamento della frazione organica proveniente dai rifiuti (oggi indicato come “vecchio impianto”) su un’area di maturazione di circa 600m². Nello stesso anno fu anche avviata la raccolta differenziata dell’organico su un complesso di più alberghi della riviera riminese, per un totale di oltre 54 tonnellate di rifiuto organico trattato in quel periodo (con circa 8,5tonn di compost ottenuto). Terminata la fase di sperimentazione nel 1993 con risultati significativi, per far fronte ai sempre maggiori quantitativi di materiale in ingresso, l’impianto è stato strutturalmente adeguato alle nuove esigenze con il conseguente ampliamento dell’area di maturazione esistente su una superficie totale di 1400 m². Inoltre, nel tempo, oltre ad aumentare il quantitativo di rifiuto trattato, si

è allargato il bacino di raccolta differenziata della FOP (Frazione Organica Putrescibile) che confluisce sull'impianto detto: attualmente l'impianto può trattare 44tonn/gg di materiale precedentemente miscelato.

Nel 2001 è iniziata la realizzazione del nuovo impianto che permette di soddisfare la necessità di trattare 35.000tonn/anno di FOP.

7.1.2 – Inquadramento naturale

L'impianto di Ca' Baldacci (RN) sorge su un'area facente parte della bassa collina riminese, zona caratterizzata da deboli declivi interessati da attività di tipo agricolo con terreni adibiti a colture cerealicole. Lo stabilimento copre un'area complessiva di circa 27.000m² di cui 1.800m² coperti: la zona viene classificata dal vigente PRG come zona F4.2 (“Aree per attrezzature pubbliche di interesse generale prevalentemente inedificate”).

Da un punto di vista meteorologico le caratteristiche più significative dell'area detta sono rappresentate da:

- correnti ventose spiranti per lo più in direzione W;
- piovosità media annua di ~750mm (con fluttuazioni notevoli);
- temperatura media annua di ~17°C.

Il sito dell'impianto è compreso entro il bacino idrografico del Fosso Budriale, affluente di sinistra del torrente Ausa. All'interno del bacino non sono presenti acque sotterranee di rilievo, e la circolazione idrica sotterranea è di tipo ipodermale. Circa la qualità dell'acqua superficiale non si hanno dati di rilievo sull'affluente detto, ma unicamente sul torrente Ausa che risulta in generale di qualità scadente lungo tutto il tratto fluviale. L'impianto non influisce sulla circolazione idrica, ad eccezione delle acque meteoriche di dilavamento dei piazzali; gli scarichi idrici (civili e di processo) confluiscono in apposite vasche di raccolta senza poi essere recapitate nei corpi idrici locali. L'intero sito poggia su un substrato limoso-argilloso.

Il contesto urbanistico territoriale entro cui viene a ricadere l'impianto di compostaggio di Ca' Baldacci è caratterizzato dalla presenza di campagna su terreno prevalentemente collinare con insediamenti sparsi. Il Comune di Rimini ha previsto una zonizzazione provvisoria per la quale l'area dove insiste l'impianto viene classificata come “Classe III – Area di tipo misto” cui si applicano i limiti di 60 e 50dB, rispettivamente diurno e notturno.

7.2 DESCRIZIONE DEI PROCESSI

7.2.1 - Introduzione

In generale, i processi gestiti nel sito sono:

- Accettazione e uscita rifiuti
- Trattamento frazione organica
- Stoccaggio pile e farmaci
- Raccolta percolato vecchia discarica

Il compostaggio è un processo di mineralizzazione ed umificazione della materia organica, attraverso decomposizione microbica e bio-ossidazione del substrato. In natura esistono processi spontanei di compostaggio, come ad esempio le trasformazioni della lettiera di bosco e la maturazione del letame; tali processi, però, implicano tempi di realizzazione molto lunghi e stadi discontinui ed eterogenei. Il processo industriale permette di far avvenire le trasformazioni in tempi brevi ed in condizioni controllate, in modo che si possa ottenere, con relativamente bassi consumi energetici, un prodotto finale che non abbia controindicazioni per l'impiego agricolo ed anzi abbia un soddisfacente potere ammendante senza creare problemi di ordine igienico-sanitario [50].

L'impianto di Ca' Baldacci (RN) è suddiviso nelle 5 seguenti aree:

- sezione per il *trattamento dei materiali in ingresso* che vengono movimentati tramite pala gommata ed escavatore, ed opportunamente miscelati tramite miscelatore;
- *area di prima maturazione o di bioossidazione* in capannone tamponato, tenuto in depressione con aspirazione e convogliamento delle arie a scrubber e biofiltri;
- *area di maturazione secondaria* del materiale sotto tettoia;
- *area di stoccaggio finale* sotto tettoia del compost maturo;
- presidi ambientali per il *trattamento delle arie esauste*.

Il processo produttivo in uso presso l'impianto deve essere distinto in due Linee di produzione corrispondenti ai due prodotti finali ottenuti: l'impianto di compostaggio in oggetto è difatti destinato alla produzione di *Compost di qualità*, partendo da FOP (Frazione Organica Putrescibile, CER 200108, 200302) e materiale lignocellulosico (CER 200201, CER 170201), e di *Biostabilizzato* partendo dalla frazione organica dei

rifiuti urbani tal quali ottenuta da separazione meccanica degli stessi (CER 191212). I due processi di conversione della biomassa richiedono dunque interventi diversificati in relazione alle differenti caratteristiche chimico-fisiche del materiale da compostare e degli obiettivi preposti per l'ottenimento del prodotto finito (caratteristiche chimico-fisiche, presenza di inerti, utilizzo, ...).

7.2.1.1 - Linea Compost di qualità

Sebbene la FOP presenti un basso grado di strutturazione, addizionandola e la miscelandola con agenti strutturanti quali gli scarti lignocellulosici, si ottiene una miscela le cui caratteristiche permettono una ottimale diffusione passiva; inoltre, le opere proposte permettono di garantire alla biomassa, tramite un opportuno numero di rivoltamenti ed un sistema di aerazione forzata e ricambi di aria, le condizioni funzionali di aerobicità.

Il processo di trattamento della biomassa, viene distinto in due distinguibili fasi di processo in relazione alla intensità dell'attività microbica, alla conseguente velocità di consumo di ossigeno e necessità di apporto d'aria, allo sviluppo di calore ed umidità delle reazioni metaboliche innescate e alla conseguente necessità di controllo termodinamico, ed infine alla produzione di effluenti potenzialmente odorigeni con eventuali necessità di gestione degli stessi in siti adeguatamente confinati. Una prima fase in cui la biomassa si presenta ancora come fortemente putrescibile, e durante la quale si ha forte consumo di ossigeno, viene definita *Fase di bioossidazione accelerata* o, sinteticamente, fase *ACT* (Active Composting Time). Successivamente, poi, s'innesci una fase di rallentamento dei processi metabolici, del conseguente consumo di ossigeno e della necessità di controllo del processo: tale fase viene comunemente indicata come *Fase di maturazione*.

Nel processo di compostaggio sono inoltre previsti determinati "Processi di pretrattamento" finalizzati a condizionare la natura fisica dei materiali da sottoporre al processo di bioconversione (sfibratura, miscelazione, ...). Analogamente, a prodotto ottenuto, sono altresì contemplate significative operazioni di "Raffinazione finale del compost" allo scopo di ottenere una completa separazione dei corpi estranei e/o indecomposti eventualmente presenti [50].

7.2.1.2 - Linea Biostabilizzato

Il processo di trattamento della biomassa destinato alla produzione di Biostabilizzato risulta semplificato rispetto a quello sopra indicato circa la produzione di Compost di

qualità (ammendante agricolo). La frazione organica ottenuta dalla selezione meccanica dei rifiuti urbani indifferenziati, possiede adeguate caratteristiche strutturanti e non necessita quindi di preliminare miscelazione con matrici di tipo lignocellulosico; inoltre, considerata la forma di impiego finale, il processo di bioconversione consiste essenzialmente nella *Fase di bioossidazione accelerata (ACT)*, in quanto il fine ultimo del trattamento meccanico-biologico del rifiuto residuo tal quale, è quello di abbattere la fermentescibilità delle componenti organiche, tramite processo di mineralizzazione delle stesse. L'attuazione sul rifiuto indifferenziato di un simile trattamento meccanico-biologico, prima del conferimento in discarica, ha come scopo quello finalizzato al raggiungimento degli obiettivi di riduzione dei materiali biodegradabili in discarica, come indicati dalla Direttiva 1999/31 CE sulle discariche: in tal caso si intenderà che il materiale non è più "biodegradabile" se la fermentescibilità residua, determinabile attraverso l'Indice Respirimetrico Statico e/o Dinamico, risulterà inferiore ad un valore attualmente in via di definizione. L'indicazione di quest'ultimo parametro all'interno della bozza di Direttiva sui materiali organici compostabili, consente di affermare che viene attribuito al trattamento meccanico-biologico un ruolo fondamentale nella definizione dei Criteri di Accettabilità per lo smaltimento dei rifiuti in discarica.

~

La produzione di Compost di qualità da matrici organiche selezionate, così come quella di Biostabilizzato da rifiuto indifferenziato, risulta inevitabilmente accompagnata da:

- Consumo e produzione di aeriformi (utilizzo di ossigeno atmosferico e produzione di vapore d'acqua, anidride carbonica, ed altri cataboliti gassosi carboniosi e/o azotati e/o solforati).
- Evaporazione e rilascio di reflui liquidi, la cui produzione può essere dovuta sia ai processi spontanei di rilascio dell'acqua costituzionale da parte della biomassa, che alla quota di acque usate per l'inumidimento artificiale dei cumuli.

Il processo di bioconversione è dunque accompagnato dalla produzione di cataboliti odorigeni (acidi grassi volatili, ammine, ammoniaca, composti organici ed inorganici ridotti dello zolfo) in quantità ponderalmente minime, ma comunque potenzialmente moleste dal punto di vista olfattivo. Tale produzione si attua in quantità considerevole

solo nelle prime fasi del trattamento biologico, nonché durante lo stoccaggio iniziale e la conseguente miscelazione delle matrici ad elevata putrescibilità [50].

7.2.2 – Dati progettuali

7.2.2.1 - Potenzialità dell’impianto

L’impianto di compostaggio in oggetto tratterà 35.000 tonn/anno di materiale in ingresso: di queste, 15.000 tonn/anno saranno destinate alla produzione di Compost di qualità, mentre le restanti 20.000 tonn/anno saranno convogliate alla produzione di Biostabilizzato.

Gli elementi progettuali che vengono tenuti in considerazione sono essenzialmente:

- la produzione di rifiuti, attuale e tendenziale, nel bacino di utenza;
- gli obiettivi della Raccolta Differenziata “secco/umido”;
- la stagionalità del conferimento della frazione ligno-cellulosica;
- la maggior produzione di FOP durante il periodo estivo;
- la miscela di FOP proveniente da RD, con gli scarti lignocellulosici, destinata alla produzione di compost di qualità;
- la frazione organica dei RSU, selezionata meccanicamente, destinata alla produzione di biostabilizzato;
- l’obbligo di pretrattamento del rifiuto prima del conferimento in discarica.

L’impianto in oggetto prevede l’utilizzo di *corsie dinamiche* per il processo di biossificazione accelerata, per poter garantire la movimentazione del materiale in maturazione secondo i tempi prestabiliti, mantenendo una semplice e funzionale gestione del processo in toto. A tal pro, risultano necessarie 19 corsie teoriche (per “corsia teorica” si intende la larghezza di un cumulo, posta pari alla larghezza del nastro rivoltatore) per poter soddisfare appieno la potenzialità dell’impianto (10 corsie teoriche per la Linea Compost di Qualità, e 9 corsie teoriche per la Linea Biostabilizzato). E’ stata progettata anche un’ulteriore corsia teorica per far fronte alle punte estive di maggior ingresso di materiale: durante il periodo estivo, infatti, cresce notevolmente la produzione di rifiuto organico del comprensorio, a seguito di una più ingente presenza di turisti nel bacino di utenza. La corsia in più garantirà quindi una notevole flessibilità dell’impianto, oltre ad un più ampio margine di sicurezza, in quanto sarà possibile, mantenendo vuota una corsia a rotazione, effettuare le

operazioni di manutenzione e di pulizia (in particolare delle canalette di insufflazione dell'aria sotto ai cumuli), e di operare un'efficiente raccolta del percolato.

7.2.2.2 - Matrici in ingresso, Compost di qualità, Biostabilizzato, sottoprodotti di processo, rifiuti

I materiali in ingresso per i quali è stato progettato il trattamento d'impianto sono i seguenti:

- Frazione Organica Putrescibile (FOP), proveniente da Raccolta Differenziata.
- Frazione lignocellulosica, proveniente dalla attività di manutenzione del verde pubblico e/o privato, e/o dagli scarti vegetali naturali.
- Frazione organica dei Rifiuti Solidi Urbani (RSU), ottenuta dalla separazione meccanica degli stessi presso appositi impianti di selezione.

Le frazioni, FOP e lignocellulosica, sono le matrici di partenza che daranno origine al Compost di qualità (Ammendante Compostato Misto): questo dovrà possedere almeno i requisiti minimi previsti dalla L. 748/84, e dal DM 27/03/98 che ne modifica l'allegato 1C, con successive modifiche ed integrazioni.

Per quanto riguarda la produzione di Biostabilizzato, ad oggi non sono ancora state individuate precise norme tecniche di limitazione. La bozza della Direttiva UE sul Compostaggio e sul Trattamento meccanico-biologico attualmente all'esame degli Organi competenti in materia, individua le seguenti linee guida:

- promuovere il trattamento biologico dei rifiuti organici biodegradabili derivanti dal sistema delle raccolte differenziate al fine di eliminarne o ridurne gli effetti negativi sull'ambiente, garantendo elevati livelli di protezione del suolo e delle acque sotterranee, e riducendo le emissioni di gas serra;

- migliorare la qualità dei suoli attraverso l'apporto di sostanza organica, garantendo l'incremento della disponibilità di acqua ed un maggiore utilizzo dei nutrienti;

- utilizzare il trattamento meccanico-biologico del rifiuto residuo allo scopo di abbattere la fermentescibilità delle componenti organiche ancora presenti in quello.

Per il momento si fa quindi ancora riferimento alla DGR 647/2000, concernente l'Accordo del Contratto di Programma per l'utilizzazione del compost come ammendante agricolo e del biostabilizzato, ed alla Delibera del Comitato Interministeriale 27 Luglio 1984.

Durante la progettazione, sono state individuate determinate miscele di rifiuti in modo da:

1. garantire un adeguato grado di strutturazione della miscela per poter contare su di una buona diffusione dell'aria all'interno degli interstizi della biomassa;
2. limitare la presenza di inquinanti tramite la formulazione di miscele con adeguate percentuali delle varie tipologie di componenti.

Per ciascuna tipologia di rifiuto, sono ipotizzabili, in relazione alla disponibilità di materie prime in entrata, le seguenti miscele di rifiuto da compostare:

LIGNOCELLULOSICO	6.000 tonn/anno
FOP	9.000 tonn/anno
<u>COMPOST DI QUALITÀ</u>	<u>15.000 tonn/anno</u>
ORGANICO DA SELEZIONE MECCANICA	20.000 tonn/anno
<u>BIOSTABILIZZATO</u>	<u>20.000 tonn/anno</u>
TRATTAMENTO COMPLESSIVO	35.000 tonn/anno

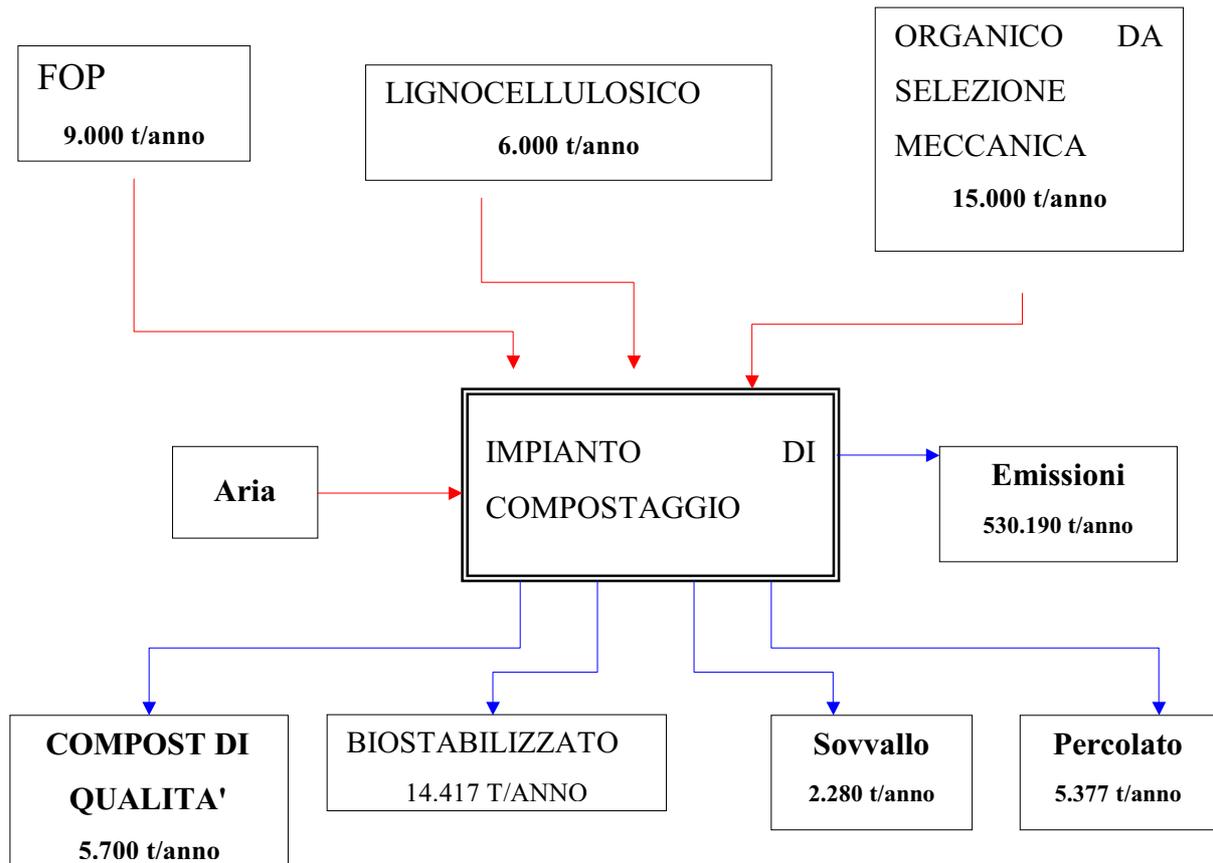
Parte dei sovralli di lavorazione, costituiti principalmente da materiale lignocellulosico grossolano, verranno poi ricircolati nei flussi di processo, e dunque immessi nuovamente in testa all'impianto. Il ricircolo di questa importante frazione ha un duplice scopo:

1. limitare la percentuale dei rifiuti prodotti durante il processo e, quindi, la frazione di rifiuti da smaltire in discarica;
2. eliminare le problematiche relative alla non disponibilità della frazione lignocellulosica, presente in difetto in alcuni periodi dell'anno.

Ipotizzando il carico e lo scarico di materiale unicamente durante i giorni lavorativi (su una base di calcolo sono stati previsti circa 300 giorni lavorativi/anno), si desume il seguente Bilancio Globale d'Impianto, come segue :

BILANCIO GLOBALE D'IMPIANTO

(Principali portate ponderali annue)



Tali valori attestano condizioni ottimali per il funzionamento dell'impianto, e garantiscono un rapido avvio delle funzioni di processo (questo implica quindi una fase di latenza di poche ore); non risulta altresì compromesso il livello di porosità necessaria per un'omogenea circolazione dell'ossigeno entro le biomasse. Se il risultato non determinasse condizioni ottimali (o quanto meno accettabili) per la diffusione e lo sviluppo delle popolazioni microbiche, sarebbe opportuno variare la composizione della miscela iniziale, incrementando e/o diminuendo le differenti tipologie di rifiuto in ingresso.

7.2.3 – Correnti di processo

Il ciclo operativo dell'impianto viene suddiviso in due serie di unità processuali distinte e fondamentali, in relazione alla linea di produzione considerata:

A - Linea di produzione Compost di qualità':

- Area pesatura mezzi trasportanti materiale lignocellulosico e FOP (*Edificio G*).
- Area stoccaggio materiale lignocellulosico:
 - a. stoccaggio frazione lignea;
 - b. triturazione e sfibratura lignocellulosico.
- Area di conferimento, stoccaggio e miscelazione FOP - lignocellulosico (*Edificio A*):
 - a. conferimento FOP e lignocellulosico;
 - b. sgrigliatura preliminare;
 - c. stoccaggio in fossa;
 - d. pretrattamento e miscelazione delle matrici;
 - e. avvio alla fase di bioossidazione successiva.
- Area di maturazione primaria (o di bioossidazione) (*Edificio B*):
 - a. carico delle corsie;
 - b. fase termofila di bioossidazione;
 - c. rivoltamento della biomassa;
 - d. carico della corsia;
 - e. tempo di permanenza: 35 giorni;
 - f. avvio alla fase di maturazione successiva.
- Area di seconda maturazione (*Edificio E*):
 - a. formazione di cumuli trapezoidali;

- b. rivoltamento periodico;
- c. tempo di permanenza: 55 giorni.
- Area di stoccaggio finale del compost (*Edificio F*):
 - a. raffinazione finale;
 - b. stoccaggio prodotto finito;
 - c. caricamento su mezzo di trasporto.

B – Linea di produzione Biostabilizzato:

- Area pesatura mezzi trasportanti organico da selezione meccanica (CER 191212) (*Edificio G*).
- Area conferimento e stoccaggio frazione organica da RSU da selezione meccanica (*Edificio A*):
 - a. conferimento frazione organica da selezione meccanica;
 - b. stoccaggio in fossa;
 - c. avvio alla fase di biossidazione successiva.
- Area di maturazione primaria (o di biossidazione) (*Edificio B*):
 - a. carico delle corsie;
 - b. fase termofila di biossidazione;
 - c. rivoltamento della biomassa;
 - d. carico della corsia;
 - e. tempo di permanenza: 21 giorni.
- Area di eventuale stoccaggio temporaneo (*Edificio E*):
 - a. stoccaggio prodotto finito;
 - b. caricamento su mezzo di trasporto.

Gli schemi di flusso sopra riportati, individuano alcune aree fondamentali per le quali può essere sintetizzato il ciclo operativo complessivo dell'impianto. Tali aree verranno analizzate focalizzando l'attenzione sia sulle masse in gioco, sia sulla composizione delle Correnti di processo più significative (che saranno indicate, nel capitolo in oggetto, con numerazione progressiva da 1 a 14).

Come detto in precedenza, l'impianto è stato progettato per 35.000 tonn/anno di materiale in ingresso, ipotizzando tale dato come sovradimensionato per far fronte agli eccessi previsti durante il periodo estivo quando la presenza di turisti determina un incremento notevole della frazione organica da RSU che viene conferita

all'impianto. La quantità annuale trattata non è quindi uniformemente suddivisa nei differenti periodi dell'anno. La presenza di una corsia teorica in più, prevista nel sovradimensionamento dell'impianto consentirà, nei periodi di minor entrata di materiale, di effettuare i necessari interventi di manutenzione ordinaria.

Le matrici che entrano nel ciclo di bioconversione possono essere identificate in funzione di quattro tipologie di rifiuto: il lignocellulosico, la frazione organica putrescibile (FOP) ed eventualmente i fanghi di depurazione, tutte destinate alla produzione di Compost di qualità, e la frazione organica da RSU selezionata meccanicamente, destinata invece alla produzione di Biostabilizzato.

7.2.4 – Caratteristiche, dimensionamento e bilancio di massa delle diverse sezioni d'impianto

7.2.4.1 - Sezione di ricevimento e triturazione della frazione lignocellulosica

Il conferimento all'impianto di tale frazione è soggetto a forte stagionalità. Per tale motivo si è deciso di dedicare a questa frazione il maggiore spazio possibile a disposizione. L'area destinata al ricevimento e stoccaggio della matrice lignocellulosica prevede una superficie di circa 4.000 m². Si tratta di un'area scoperta, la cui pavimentazione a schiena d'asino è stata realizzata in asfalto e bynder, dotata di una rete di captazione e convogliamento dell'eluato prodotto. Tutto attorno, poi, l'area è circondata da un terrapieno, che si allarga verso la base, di circa 10 m, ed alto 2,5 m: tale struttura ha la duplice funzione di frangi fiamma (ottenuta attraverso il rivestimento interno del rilevato formato da uno strato sabbioso), e di limitare l'impatto visivo dei cumuli presenti. La matrice lignea viene sottoposta ad un pretrattamento finalizzato alla triturazione/sfibratura attraverso l'utilizzo di una macchina operatrice per la cippatura del legno, e successivamente è trasportato alla zona di conferimento e miscelazione.

CORRENTE N.1	u.d.m.	LIGNOCELLULOSICO
Composizione ponderale	%	100%
Portata ponderale annua	tonn/anno	6.000
Portata volumetrica annua	m ³ /anno	13.333
Portata ponderale giornaliera	tonn/giorno	20
Portata volumetrica giornaliera	m ³ /giorno	44,4
Umidità	%	50
Densità apparente	tonn/m ³	0,45

Per quanto riguarda la gestione dell'impianto, nei periodi dell'anno in cui i conferimenti del materiale lignocellulosico si attuano in modo intenso e continuativo, risulta necessario procedere in modo altrettanto continuo nelle fasi di triturazione. Quando, altresì, i conferimenti risultano minori (o minimi), è necessario invece aver accumulato una sufficiente scorta di matrice triturata.

Lignocellulosico conferito alla rinfusa *	tonn	m ³
Input max anno **	6.000	33.3
Input max giorno **		111,

* Si suppone che il materiale conferito alla rinfusa abbia una densità 2,5 volte inferiore rispetto a quello triturato.

** La quantità di input massimo è relativa alla situazione in cui non vengono utilizzati fanghi, e quindi aumenta la frazione di lignocellulosico utilizzato (ipotizzati 300gg lavorativi).

Lignocellulosico triturato	tonn	m ³
Input max anno **		13.33
Input max giorno **		44,4

Come si può vedere, l'area destinata allo stoccaggio e triturazione legno, è in grado di garantire lo stoccaggio della matrice per 48 giorni di materiale alla rinfusa e per 35 giorni di materiale triturato.

E' evidente che se si aumenta la frazione di superficie utile disponibile per la frazione triturata, aumenta di conseguenza anche il tempo complessivo di stoccaggio del lignocellulosico nel suo insieme.

Di conseguenza si potranno eventualmente calcolare, rispettivamente, i giorni di stoccaggio sia per la frazione alla rinfusa, sia per quella triturata, supponendo di dedicare al legno triturato il 25% della superficie utile.

7.2.4.2 - Sezione ricevimento FOP, Frazione organica da selezione, e miscelazione delle matrici

Le frazioni organica putrescibile (FOP), lignocellulosica triturata, ed organica da RSU ottenuta da selezione meccanica, vengono conferite direttamente entro un'area chiusa, tamponata e mantenuta in depressione. Il mezzo trasportante materiale entra nell'avanfossa, attende che si chiuda la serranda automatica alle sue spalle, dopodiché può iniziare le operazioni di scarico evitando in tal modo la diffusione di odori all'esterno grazie al fatto che l'ambiente è confinato e mantenuto in depressione da un sistema di ventilatori che aspirano in continuo l'aria entrante da una griglia posta sopra i portoni d'ingresso alla zona di scarico. In tal contesto vengono garantite anche le condizioni di igiene per gli operatori addetti alle operazioni di scarico, tramite un numero di ricambi d'aria all'ora che può variare dai 13 ai 26 ric/h in relazione alle condizioni di esercizio. Gli automezzi accedono all'avanfossa tramite 5 aperture dotate di portoni a scorrimento rapido, che vengono chiusi subito dopo l'ingresso degli stessi. L'avanfossa è suddivisa in cinque zone di scarico, corrispondenti ognuna a ciascun portone di ingresso: questa presenta una superficie complessiva di 384m², per un'altezza variabile tra 6,50 ÷ 10,20 m (il valore max si ha in prossimità della fossa di scarico del materiale e permette all'automezzo di alzare il cassone e di effettuare lo scarico in fossa); la volumetria della sezione è di circa 3.200m³. L'avanfossa è posizionata ad una quota di +4m rispetto al piano della sezione di miscelazione dei materiali ad essa adiacente: tale differenza di quota è ottenuta sfruttando adeguatamente la naturale pendenza del terreno. L'avanfossa è separata dal locale adibito allo stoccaggio e miscelazione delle matrici da un sistema "a bandelle flessibili" che si aprono solo al momento dello scarico. In questa zona, dove è prevista la permanenza del personale solo per le operazioni di manutenzione, sono garantiti dai 5 ai 10 ricambi d'aria ogni ora; inoltre, un sistema di ventilazione supplementare che aspira direttamente aria fresca dall'esterno, entra in azione ogni qualvolta il personale addetto alla manutenzione si porta all'interno dell'area sopra detta [50].

Il materiale scaricato dagli automezzi confluisce per gravità entro 6 fosse per lo stoccaggio temporaneo dei materiali. Una di queste è dotata di una griglia su cui il materiale rotola, e al di sotto della quale viene raccolto il percolato; questa zona è riservata allo scarico di materiali particolarmente umidi e che necessitano di una preliminare sgrigliatura, allo scopo di non trascinare liquami maleodoranti attraverso

tutta la sezione di miscelazione. Una delle fosse è accessibile direttamente dall'esterno (senza passaggio in avanfossa) nel caso di conferimento con bilici le cui dimensioni non siano compatibili con le zone di accesso previste per l'avanfossa. La sezione di ricevimento, come anticipato, è caratterizzata da 6 fosse uguali aventi dimensioni superficiali di 5,7 x 7,9 metri, ed una profondità variabile tra 4,54 e 5 metri (con una volumetria pari a circa 220m³ ciascuna). Di queste fosse, 3 sono dedicate allo stoccaggio della frazione organica ottenuta da selezione meccanica dei rifiuti urbani, mentre le 3 rimanenti sono adibite allo stoccaggio delle frazioni lignocellulosica e FOP.

Di seguito vengono riportati i criteri di dimensionamento della sezione di ricevimento:

INPUT SEZIONE	Portata ponderale annua (tonn/anno)	Portata volumetrica annua (m ³ /anno)	Portata ponderale giornaliera (tonn/gg)	Portata volumetrica giornaliera (m ³ /gg)
FOP	9.000	10.588	30	35,3
LIGNOCELLULOSICO	6.000	13.333	20	44,4
ORGANICO da RSU	15.000	20.000	50	66,6

Di conseguenza le fosse permetteranno i seguenti stoccaggi:

	Volume lordo a disposizione (m ³)	Coefficiente di riempimento	Volume netto (m ³)	Input gg (m ³)	Giorni di stoccaggio
FOP	440	100% ca.	440	35,3	12,4
LIGNOCELLULOSICO	220	100%	220	44,4	5
ORGANICO da RSU	660	80% ca.	528	66,6	7,9

La potenzialità di stoccaggio della FOP risulta essere pari a 12gg circa, quella relativa alla frazione organica selezionata meccanicamente a poco meno di 8gg, mentre per la componente lignocellulosica è pari a 5 giorni.

La sezione dedicata alla miscelazione delle diverse frazioni in ingresso ha dimensioni di 36,8 m x 19,65 m su superficie, di 11,35 m in altezza (a questi vanno aggiunti altri 29 m² occupati dallo spazio sotto la cabina gruista), per un volume complessivo di circa 8.536 m³. L'aspirazione dell'aria da questa sezione, aria che poi verrà mandata

verso quella di biossidazione, determina di fatto un numero di ric/h tra 5 e 10 a seconda delle condizioni di esercizio. Dunque, la superficie utile per le operazioni di pretrattamento dei materiali in entrata si riduce, escludendo l'ingombro delle fosse, a circa 476 m². In essa sono collocate le seguenti apparecchiature:

- 4 tramogge di carico, di cui una deputata al ricevimento della sola frazione organica proveniente dalla selezione dei rifiuti solidi urbani tal quali, due al ricevimento della FOP, e l'altra al ricevimento della frazione lignocellulosica;
- 2 miscelatori;
- un set di nastri trasportatori.

Le operazioni che si svolgono in questa sezione dell'impianto sono le seguenti:

- la FOP, dalla fossa di stoccaggio, viene prelevata tramite benna a polipo (collegata ad un carro ponte azionato e controllato da una cabina posta sul lato opposto a quello di ingresso degli automezzi) e caricata in due delle quattro tramogge di carico, una a servizio di ciascun miscelatore (94,8 m³/giorno);
- la frazione lignocellulosica viene prelevata tramite benna a polipo dalle fosse di stoccaggio dedicate, e caricata nell'apposita tramoggia di carico (102,8 m³/giorno);
- i materiali vengono trasportati dal fondo della tramoggia, mediante trasportatori a vite, ai due miscelatori (98,8 m³/giorno ciascuno);
- i due miscelatori sono collegati fra loro tramite due nastri reversibili di modo che, in caso se ne rompa uno, il materiale possa essere trasportato nell'altro miscelatore;
- i miscelatori pesano il materiale in ingresso ed effettuano la miscela da avviare a compostaggio;
- la miscela ottenuta viene convogliata mediante un nastro (197,6 m³/giorno) al sistema di carico delle corsie nella sezione di maturazione I, in biossidazione accelerata;
- la frazione organica proveniente dalla selezione dei rifiuti solidi urbani tal quali effettuata presso impianti appositi, viene prelevata tramite benna a polipo dalle fosse di stoccaggio e caricata nell'apposita tramoggia di carico, dalla quale il materiale verrà trasportato attraverso un sistema di nastri, all'interno della sezione deputata alla maturazione I, in biossidazione accelerata. Come già detto, questa frazione non necessita di miscelazione preliminare con la matrice legnosa,

per cui dalla tramoggia viene avviata direttamente all'area di maturazione I, in bioossidazione accelerata, senza interessare i miscelatori.

CORRENTE N.2	u.d.m.	FOP
Composizione ponderale	%	100
Portata ponderale annua	tonn/anno	9.000
Portata volumetrica annua	m ³ /anno	10.588
Portata ponderale giornaliera	tonn/giorno	30
Portata volumetrica giornaliera	m ³ /giorno	35,3
Umidità	%	80
Densità apparente	tonn/m ³	0,85

CORRENTE N.3	u.d.m.	ORGANICO DA SELEZIONE MECCANICA
Composizione ponderale	%	100
Portata ponderale annua	tonn/anno	15.000
Portata volumetrica annua	m ³ /anno	20.000
Portata ponderale giornaliera	tonn/giorno	50
Portata volumetrica giornaliera	m ³ /giorno	66,6
Umidità	%	65
Densità apparente	tonn/m ³	0,75

CORRENTE N°4	u.d.m.	PERCOLATO
Composizione ponderale	%	100
Portata ponderale annua	tonn/anno	1.356
Portata volumetrica annua	m ³ /anno	1.356
Portata ponderale giornaliera	tonn/giorno	3,7
Portata volumetrica giornaliera	m ³ /giorno	3,7
Umidità	%	100
Densità apparente	tonn/m ³	1

La FOP e il materiale lignocellulosico vengono quindi miscelati; successivamente, all'uscita dal miscelatore, il mix viene caricato su di un nastro che lo trasporta nell'area di prima maturazione.

Il rifiuto organico proveniente da selezione meccanica di RSU viene invece direttamente avviato alla fase di bioossidazione accelerata senza subire miscelazione alcuna.

CORRENTE N.5	u.d.m.	MIX (COMPOST DI QUALITÀ)
Composizione ponderale	%	100
Portata ponderale annua	tonn/anno	15.000
Portata volumetrica annua	m ³ /anno	23.364,5
Portata ponderale giornaliera	tonn/giorno	50
Portata volumetrica giornaliera	m ³ /giorno	77,9
Umidità	%	62
Densità apparente	tonn/m ³	0,642
	u.d.m.	ORGANICO DA SELEZIONE MECCANICA
Composizione ponderale	%	100
Portata ponderale annua	tonn/anno	15.000
Portata volumetrica annua	m ³ /anno	23.734,2
Portata ponderale giornaliera	tonn/giorno	50
Portata volumetrica giornaliera	m ³ /giorno	79,11
Umidità	%	62
Densità apparente	tonn/m ³	0,632

7.2.4.3 - Area di prima maturazione

L'area di prima maturazione è destinata alla fase di bioossidazione accelerata (ACT); in questa sezione il materiale proveniente dall'area di ricezione e miscelazione vi giunge tramite un sistema di nastri trasportatori, che provvede anche a riempire la testa delle corsie dinamiche.

Il capannone è suddiviso in 4 campate ed è completamente chiuso, tamponato ed in depressione per impedire qualsiasi fuoriuscita di emissioni maleodoranti. Ciascuna delle 4 campate in cui è suddiviso il capannone, è divisa a sua volta in due corsie di lunghezza 35,7 m e larghe rispettivamente 7,0 m e 10,5 m, con muretti alti 2,5 m. Poiché il nastro che opera il rivoltamento è largo 3,5 m, si possono individuare due corsie teoriche per la corsia larga 7m, e tre corsie teoriche per la corsia larga 10,5 m. Il capannone entro cui si attua la bioossidazione prevede la permanenza del materiale in fase ACT per 35gg (linea Compost di qualità) o per 21gg (linea Biostabilizzato). Il materiale da bioconvertire alterna una fase statica ad una di rivoltamento, con traslazione complessiva verso l'uscita dal capannone tramite un sistema di rivoltamento e di nastri telescopici solidali ad un carroponete che corre nel senso della lunghezza della corsia. Tale sistema opera contemporaneamente il rivoltamento e la traslazione della massa.

Il numero dei rivoltamenti della biomassa in maturazione primaria è legato a:

- quantità di materiale caricata giornalmente in testa alle corsie;

- lunghezza delle corsie;
- tempo di permanenza in fase ACT del materiale in maturazione I;
- lunghezza della corsia;
- traslazione del materiale per singolo rivoltamento.

Tali variabili rendono necessari 5 rivoltamenti affinché la biomassa complessiva raggiunga la coda della corsia: questi rivoltamenti rappresentano un compromesso ottimale tra le esigenze di ossigenazione della biomassa in maturazione, e la necessità di turbare il meno possibile i delicati equilibri chimico-fisici ed i microecosistemi per i quali i microrganismi operano la biossidazione. Verranno a determinarsi in tal modo tempi di permanenza in fase statica di 7 giorni per la linea Compost di qualità e di 4-5 giorni per la linea Biostabilizzato. Il processo di bioconversione aerobica prevede inoltre una fase molto attiva nella parte iniziale della biomassa (primi 10 metri), con elevate temperature (60-65°C, fase termofila) che garantiscono ottimali condizioni di igienizzazione, elevata attività dei microrganismi, alto indice di respirazione (elevato consumo di ossigeno) e conseguente formazione di odori sgradevoli; in seguito, l'attività dei microrganismi rallenta e la temperatura tende a stabilizzarsi attorno ai 40-45°C (fase mesofila): il materiale in uscita dall'area di maturazione I risulta già di per se stabilizzato. La totale automazione nella fase di biossidazione accelerata determina l'assenza di personale in un ambiente altrimenti ostile alle condizioni di igiene del lavoro. In quest'area la presenza umana è prevista esclusivamente per le operazioni di manutenzione e/o in condizioni di emergenza, e comunque si svolge in condizioni di ventilazione con 6 ric/h. L'aerazione dei cumuli e di tutto il capannone di prima maturazione è direttamente connessa con quella che caratterizza la zona di conferimento e di miscelazione: l'aria aspirata da quest'ultima viene difatti convogliata e distribuita al capannone di bioconversione, dove sono garantiti 6 ric/h nella zona in cui opera la rivoltatrice (durante il rivoltamento della massa si liberano notevoli quantità di vapore e composti volatili che vengono aspirati), e 2 ric/h nelle zone in cui il materiale è in situazione di cumulo statico (come previsto dalla normativa vigente sulle emissioni odorigene, e dalle Linee guida in materia della Regione Lombardia). L'aerazione avviene per una quota, definita dalle necessità di processo, tramite insufflazione d'aria sotto ai cumuli, mentre per la rimanente viene immessa sopra i cumuli. Tale sistema, assieme agli accorgimenti e ai presidi ambientali adottati, è atto a minimizzare gli effetti negativi sia a livello di igiene del lavoro, sia di impatto ambientale nelle aree limitrofe l'impianto. Il percolato che ne

risulta viene raccolto tramite una rete di canalette che decorre sotto i cumuli, sistema deputato anche alla distribuzione dell'aria. Durante la fase di ossidazione accelerata il materiale subisce una perdita in peso di circa il 40% (processo di produzione di Compost di qualità) e 26,2% (processo di produzione di Biostabilizzato), per perdita di acqua (2/3 per evaporazione, 1/3 come percolato), e di C e N organico che vengono ossidati a composti inorganico-volatili. Durante tale fase, l'eccessiva perdita d'acqua verrà controbilanciata da un inumidimento della massa (che avverrà circa a 15-20 m dalla fine della corsia) grazie all'ausilio di percolato ricircolato (come indicato anche nella normativa e nelle Linee guida della Regione Lombardia) e di acqua bianca, allo scopo di impedire la formazione di depositi ed intasamenti nel sistema di erogazione. Circa la quota di percolato, questa operazione non incide, con l'impianto a regime, sul bilancio totale di massa, ma evita di dover trattare un quantitativo maggiore di reflui (come accadrebbe se si umidificasse la biomassa con sola acqua bianca) [50].

-- Linea Compost di qualità

Si riportano i dati di input e output relativi alla sezione utilizzata per la produzione di Compost di qualità, oltre alle specifiche di ciascuna corsia teorica, dalle quali poi ci si può ricondurre alle corsie reali, moltiplicando rispettivamente per 2 o per 3 tutti i parametri ad eccezione delle lunghezze delle corsie che ovviamente rimangono invariate. Poiché dal punto di vista gestionale si opera per 6 giorni alla settimana, per un totale di circa 300 giorni all'anno (in realtà sono 312 giorni lavorativi all'anno, ma si tiene conto di una decina di giorni per operare la manutenzione straordinaria), per ciascuna settimana saranno riempite 10 corsie. Di conseguenza, con 5 rivoltamenti a cadenza settimanale, si riuscirà a percorrere i 35,7 m di lunghezza della corsia e a raggiungere, in 35 giorni, la zona di scarico.

LINEA COMPOST DI QUALITA' PARAMETRI	u.d.m.	SEZIONE DI BIODISSIDAZIONE
Portata ponderale in ingresso	tonn/anno	15.000
Densità apparente in ingresso	tonn/m ³	0,642
Portata volumetrica in ingresso	m ³ /anno	23.364,5
Portata ponderale in uscita	tonn/anno	6.482
Densità apparente in uscita	t/m ³	0,565
Portata volumetrica in uscita	m ³ /anno	12,109,7
Giorni lavorativi/anno	giorni	300
Portata ponderale giornaliera in ingresso	tonn/giorno	50
Portata volumetrica giornaliera in ingresso	m ³ /giorno	77,9
Portata ponderale giornaliera in uscita	tonn/giorno	21,6
Portata volumetrica giornaliera in uscita	m ³ /giorno	40,4
DIMENSIONI CORSIA TEORICA	u.d.m.	SEZIONE DI BIODISSIDAZIONE
Numero corsie teoriche	-	10
Larghezza corsie teoriche	m	3,5
Lunghezza corsie teoriche	m	35,7
Altezza del cumulo in ingresso	m	2,5
Sezione cumulo in ingresso	m ²	8,75
Lunghezza zona di carico	m	8
Volume zona di carico	m ³	70,0
Massa in zona di carico	tonn	44,9
Altezza del cumulo in uscita	m	2,1
Sezione cumulo in uscita	m ²	7,35
Lunghezza zona di scarico	m	6,5
Volume zona di scarico	m ³	47,7
Massa in zona di scarico	tonn	26,95
Numero cicli/anno	-	10,42
Numero rivoltamenti per scarico corsia	-	5
Frequenza rivoltamenti	giorni	7
Tempo di permanenza	giorni	35

Durante il percorso lungo la corsia esaminata il materiale in fase ACT subisce notevoli perdite di processo (perdita di V, perdita di P). La perdita di volume, che si realizza in pratica con un abbassamento del cumulo, viene compensata, in parte, dal restringimento, nel senso della lunghezza, della zona di avanzamento del cumulo. Si ha quindi che, dopo il quarto rivoltamento, quando la biomassa si trova nella zona di scarico, essa verrà ad occupare 6,5 m in lunghezza della corsia, contro gli 8 m della zona di carico. La compressione nel senso della lunghezza del materiale in fase di rivoltamento si attua tramite un nastro telescopico a lunghezza variabile: quando la rivoltatrice rivolta il cumulo presente in una corsia, inizia dalla coda della stessa, ed il

nastro telescopico preposto alla traslazione del materiale determina una traslazione effettiva di 6,5 m. Man mano che la rivoltatrice, poi, procede e si avvicina alla testa della corsia, il nastro telescopico si allunga fino a raggiungere la massima lunghezza in prossimità della zona di carico. Questo accorgimento permette di ridurre la lunghezza della corsia di qualche metro (2-3 m) ma, soprattutto, garantisce una maggiore flessibilità a tutto il processo, in quanto l'altezza di progetto dell'ultima sezione di corsia pari a 2,1 m, può essere ulteriormente aumentata (fino ai 2,5 m iniziali) determinando, di fatto, anche un aumento di potenzialità operativa d'impianto.

-- Linea Biostabilizzato

Un discorso analogo può essere fatto per le corsie utilizzate durante il processo di produzione del Biostabilizzato. Dai dati riportati in seguito, si può notare come in quattro giorni si riescano a riempire 9 corsie. Poiché dal punto di vista gestionale si opererà per 6 giorni alla settimana, le operazioni di carico e scarico delle corsie previste nei giorni festivi, verranno di volta in volta posticipate al giorno successivo. Di conseguenza con 5 rivoltamenti, uno ogni 4-5 giorni, si riuscirà a percorrere i 35,7 m di lunghezza della corsia e a raggiungere, in 20 giorni, la zona di scarico. Lo scarico della corsia avverrà il 21° giorno.

PARAMETRI	u.d.m.	SEZIONE DI BIODIDAZIONE
Portata ponderale in ingresso	t/anno	15.000
Densità apparente in ingresso	t/m ³	0,632
Portata volumetrica in ingresso	mc/anno	23.734,2
Portata ponderale in uscita	t/anno	12.817
Densità apparente in uscita	t/m ³	0,58
Portata volumetrica in uscita	m ³ /anno	22.098,3
Giorni lavorativi/anno	giorni	300
Portata ponderale giornaliera in ingresso	t/giorno	50
<i>DIMENSIONI CORSIA TEORICA</i>	u.d.m. m ³ /giorno	SEZIONE DI BIODIDAZIONE
Portata volumetrica giornaliera in ingresso		
Portata ponderale giornaliera in uscita	t/giorno	42,7
Portata volumetrica giornaliera in uscita	m ³ /giorno	73,6

Numero corsie teoriche	-	9
Larghezza corsie teoriche	m	3,5
Lunghezza corsie teoriche	m	35,7
Altezza del cumulo in ingresso	m	2,5
Sezione cumulo in ingresso	m ²	8,75
Lunghezza zona di carico	m	8
Volume zona di carico	m ³	70,0
Massa in zona di carico	t	44,2
Altezza del cumulo in uscita	m	2,34
Sezione cumulo in uscita	m ²	8,19
Lunghezza zona di scarico	m	6,8
Volume zona di scarico	m ³	55,7
Massa in zona di scarico	t	32,3
Numero cicli/anno	-	17,38
Numero rivoltamenti per scarico corsia	-	5
Frequenza rivoltamenti	giorni	4 - 5
Tempo di permanenza	giorni	35
LINEA BIOSTABILIZZATO		

7.2.4.4 - Programma gestionale carico/scarico corsie

Si riporta anche il programma di carico e scarico delle corsie, evidenziando le operazioni da svolgere giornalmente affinché il processo proceda nelle migliori condizioni possibili e la gestione dell'impianto risulti ottimale. Poiché la durata della fase di biossidazione è differente per i processi di produzione di Compost di qualità (35 giorni) e di Biostabilizzato (21 giorni), la compilazione dello schema gestionale è stata effettuata considerando 105 giorni. Tale periodo determina un numero di tre cicli di lavorazione per la produzione di Compost di Qualità ($35 \times 3 = 105$) e cinque cicli di lavorazione per la produzione di biostabilizzato ($21 \times 5 = 105$), trascorsi i quali lo schema gestionale viene ripetuto.

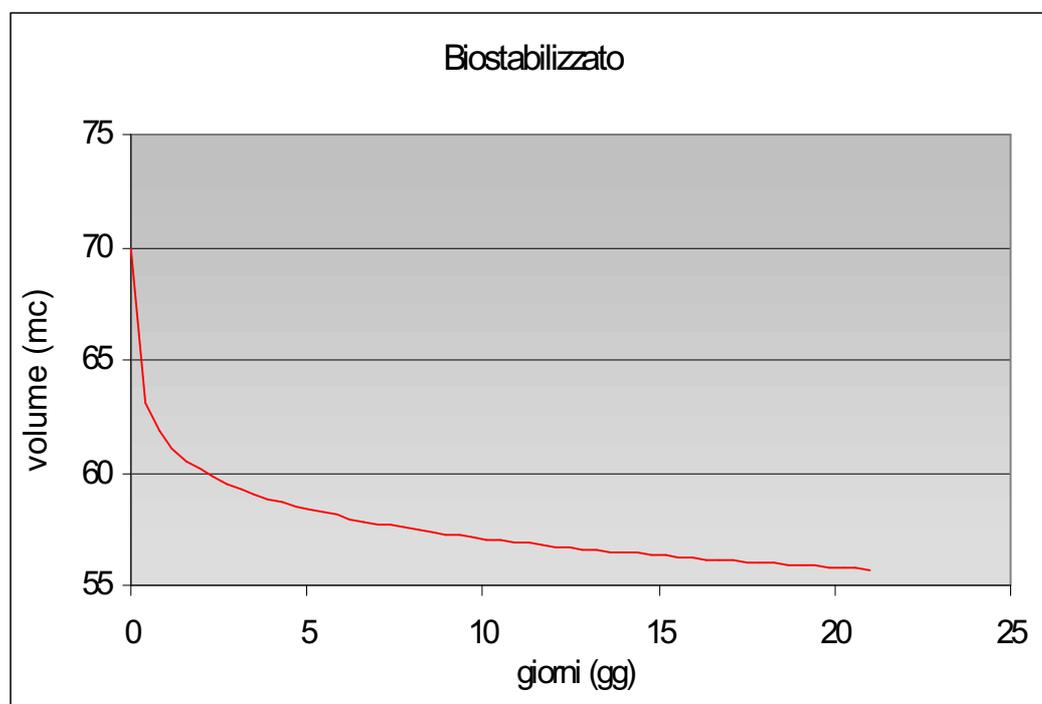
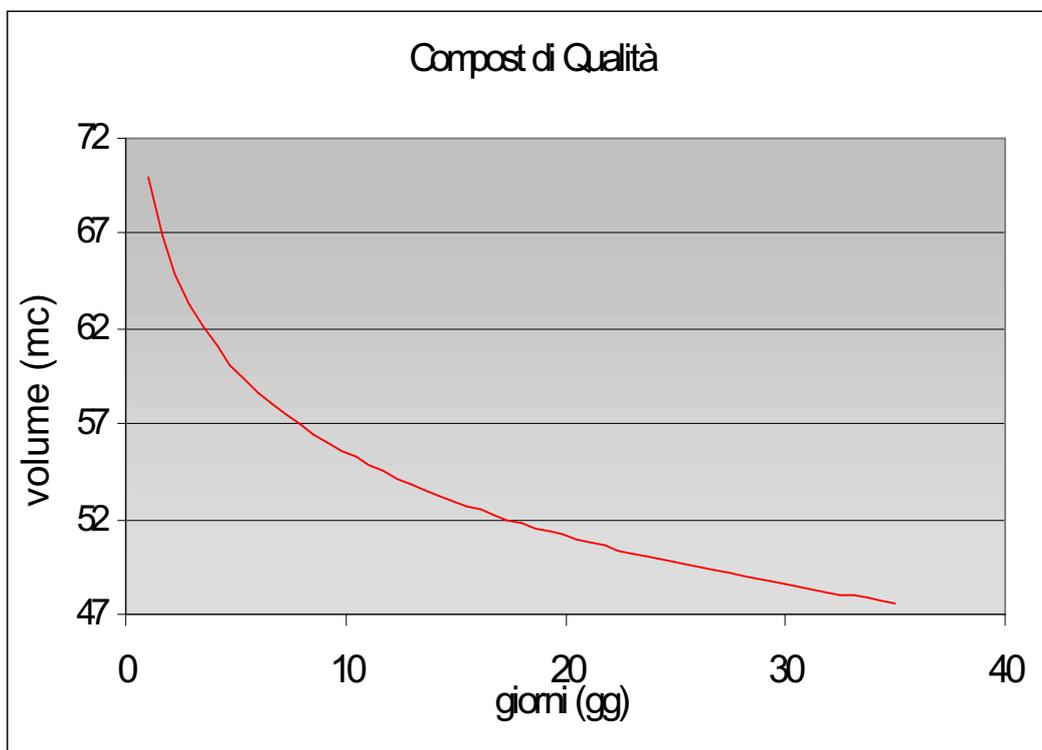
La scelta di programmare uno schema gestionale considerando 105 giorni, si è resa necessaria per analizzare tutte le possibili situazioni che si possono presentare con l'impianto in attività ed evitare quindi problematiche, principalmente legate al sovraccarico di lavoro per la macchina rivoltatrice, che, inevitabilmente, causerebbero una revisione della gestione del processo in fase di avviamento dell'impianto. Nelle tabelle che seguono viene riportata la suddivisione della lunghezza della corsia, l'altezza, la larghezza e il volume del cumulo in funzione dell'avanzamento del processo di biossidazione, relativamente alla linea di produzione del compost di

qualità e di biostabilizzato. I calcoli sono stati effettuati considerando una diminuzione di volume del cumulo di tipo logaritmico, che, come si può notare dai grafici sotto riportati, tiene conto della maggiore perdita di acqua nelle prime fasi del processo [50].

LINEA COMPOST DI QUALITA'					
	Lunghezza cumulo (m)	Giorni	Larghezza cumulo (m)	Volume cumulo (m ³)	Altezza cumulo (h)
Carico Corsia	8	0	3,5	70,0	2,5
dopo 1° rivoltamento	7,3	7	3,5	61,0	2,4
dopo 2° rivoltamento	7,1	14	3,5	57,8	2,3
dopo 3° rivoltamento	6,8	21	3,5	55,9	2,3
dopo 4° rivoltamento	6,5	28	3,5	47,7	2,1
Scarico Corsia		35			
IN USCITA	35,7	35			

LINEA BIOSTABILIZZATO					
	Lunghezza cumulo (m)	Giorni	Larghezza cumulo (m)	Volume cumulo (m ³)	Altezza cumulo (h)
Carico Corsia	8	0	3,5	70,0	2,5
dopo 1° rivoltamento	7,1	4	3,5	58,8	2,4
dopo 2° rivoltamento	6,9	8	3,5	57,5	2,4
dopo 3° rivoltamento	6,9	12	3,5	56,7	2,3
dopo 4° rivoltamento	6,8	16	3,5	55,7	2,3
Scarico Corsia		21			
IN USCITA	35,7	21			

PERDITE VOLUMETRICHE DI PROCESSO



Le correnti in uscita dall'area di prima maturazione sono schematizzabili come segue:

CORRENTE N.7	u.d.m.	MIX (COMPOST DI QUALITÀ)
Composizione ponderale	%	100
Portata ponderale annua	tonn/anno	6.482
Portata volumetrica annua	m ³ /anno	12.109,7
Portata ponderale giornaliera	tonn/giorno	21,6
Portata volumetrica giornaliera	m ³ /giorno	40,4
Umidità	%	-
Densità apparente	tonn/m ³	0,565

CORRENTE N.8	u.d.m.	PERCOLATO
Composizione ponderale	%	100%
Portata ponderale annua	tonn/anno	3.617
Portata volumetrica annua	m ³ /anno	3.617
Portata ponderale giornaliera	tonn/giorno	9,9
Portata volumetrica giornaliera	m ³ /giorno	9,9
Umidità	%	100%
Densità apparente	tonn/m ³	1

CORRENTE N.9	u.d.m.	BIOSTABILIZZATO
Composizione ponderale	%	100%
Portata ponderale annua	tonn/anno	12.817
Portata volumetrica annua	m ³ /anno	22.098,3
Portata ponderale giornaliera	tonn/giorno	42,7
Portata volumetrica giornaliera	m ³ /giorno	73,6
Umidità	%	-
Densità apparente	tonn/m ³	0,58

7.2.4.5 - Area di seconda maturazione

Il materiale in uscita dall'area di prima maturazione viene portato, tramite nastro trasportatore, all'area di maturazione finale. La sezione detta è posizionata sotto una tettoia coperta avente dimensioni di 90,4 m x 50 m, per una superficie coperta di 4.520 m², ed un'altezza di 5,5 m, per un volume complessivo di 24.860 m³. In questa

zona il Biostabilizzato verrà caricato sui mezzi per il trasporto, e conferito agli utilizzatori.

A differenza del Biostabilizzato, il materiale destinato alla produzione di Compost di qualità subisce in tale area la stabilizzazione finale (per un periodo complessivo di 55 giorni) in forma di cumuli trapezoidali alti 2,2 m , con una superficie di base di 6 metri in larghezza e di 37 metri in lunghezza. La tettoia presenta 4 aree di 45 m circa in lunghezza e 25 m circa in larghezza, aree entro le quali il materiale in uscita dalla bioossidazione viene sistemato a mo' di cumuli che si sviluppano nel senso della lunghezza di tali settori. Più precisamente, tre settori saranno destinati al processo di seconda maturazione indispensabile per la produzione di Compost di Qualità, mentre un settore sarà utilizzato per le operazioni di carico ed, eventualmente, di stoccaggio del Biostabilizzato prima che questo venga poi ad essere avviato agli utilizzatori finali. Ogni settore ospita 4 cumuli, per un totale di 12 cumuli max destinati alla seconda maturazione del Compost di qualità. Ogni cumulo raggiunge un volume di 310,3 m³ e, poiché vi permane per un periodo di 55 giorni, si prevedono 6,6 cicli all'anno. In questa area il materiale subisce la fase di maturazione finale, quella cioè caratterizzata da una ridotta attività microbica, e da un limitato consumo di ossigeno; di conseguenza ne risulterà una minima presenza di odori molesti, oltre che una limitata formazione di percolato [50].

I rivoltamenti delle biomasse accumulate vengono effettuati tramite rivoltatrice semovente, mezzo che opera una traslazione alternata (una volta in un senso e la successiva in senso opposto) annullando in tal modo l'effetto di ogni operazione di traslazione precedente effettuata. Questa rivoltatrice non è però automatica ma prevede l'impiego di personale addetto e, nonostante non vi siano condizioni di rischio per gli operatori, la cabina di comando è stata pressurizzata ed aerata artificialmente.

In corrispondenza dei due lati lunghi, la tettoia è stata dotata di un sistema di teli avvolgibili in PVC srotolabili fino all'altezza del muretto di contenimento: in questo modo viene a crearsi un "effetto tunnel", che tramite aspirazione centralizzata, permette di non disperdere polveri ed odori durante il periodo del rivoltamento. Di seguito vengono riportati i parametri di dimensionamento della tettoia:

PARAMETRI	u.d.m..	MATURAZIONE II
Input/anno	m ³	12.109,7
Input/giorno	m ³	40,4
Input/anno	tonn	6.482
Input/giorno	tonn	21,6
Output/anno	m ³	7.509
Output/giorno	m ³	25,3
Output/anno	tonn	3.680
Output/giorno	tonn	12,3
Tempo di residenza	giorni	55
Numero cicli/anno	-	6,6
Massimo volume/ciclo	m ³	1.834
Massima quantità/ciclo	tonn	982
CUMULI		
Numero cumuli	-	12
Lunghezza cumulo	m	37
Larghezza cumulo alla base	m	6
Altezza cumulo	m	2,2
Pendenza lato obliquo	Gradi	44
Volume cumulo	m ³	152,8
Volume totale cumuli	m ³	1.834

7.2.4.6 - Area di vagliatura/raffinazione finale e di stoccaggio

Dopo 55 giorni di maturazione secondaria, il materiale viene movimentato tramite pala gommata dalla sezione di maturazione alla tettoia di raffinazione finale e stoccaggio del Compost di qualità. Tale tettoia presenta dimensioni di base di 38 x 40,9 metri, ed un'altezza pari a 4,5m; la superficie complessiva risulta dunque essere di 1555 m², e la volumetria di 6.994 m³: nello schema d'impianto tale sezione viene ad essere indicato come "Edificio F". La tettoia risulta parzialmente tamponata sulla parte laterale al fine di evitare la dispersione di eventuali polveri nell'ambiente. Il materiale viene successivamente avviato alla vagliatura tramite *Vaglio rotante* munito di doppia rete, l'una con maglie da 60 mm deputata al recupero e successivo ricircolo

degli scarti legnosi più grossolani, la seconda con maglie da 10 mm e deputata alla raffinazione finale; a valle di queste, è posto un deplastificatore avente la funzione di eliminare gli eventuali residui di materiale plastico, in modo da ottenere una tipologia di prodotto da commercializzare conforme a quanto dettato dalla vigente normativa. Il Compost di qualità in uscita dal deplastificatore viene stoccato in cumuli all'interno della sezione di tettoia non coinvolta dalle operazioni di raffinazione sopra descritte:

Superficie disponibile	m ²	550
Altezza media cumuli	m	3
Volume disponibile	m ³	1.650
Input/giorno	m ³	34,5
Stoccaggio	giorni	48

tale superficie utile è di circa 550 m².

Gli input e gli output di questa sezione risultano essere i seguenti:

INPUT RAFFINAZIONE	m ³ /anno	tonn/anno	m ³ /giorno	tonn/giorno
Compost grezzo	12.109,7	6.482	40,4	21,6

OUTPUT RAFFINAZIONE	m ³ /anno	tonn/anno	m ³ /giorno	tonn/giorno
Compost di qualità	8.364	4.700	27,9	15,7
Legno da ricircolare	2.547	1.296	8,4	4,32
Sovvallo (materie plastiche)	2.107	484	7	1,6

Una prima evidenza da questi dati permette di notare che, per quanto riguarda le portate volumetriche, la somma degli output espressi è superiore rispetto a quella degli input. Questo è dovuto al fatto che fino a che i pezzi di legno ingombranti sono frammisti al compost, quest'ultimo tende ad inserirsi negli interstizi che quelli formano. Tal fenomeno andrà a determinare quindi un apparente aumento di volume delle masse in uscita dalla raffinazione (senza che ovviamente vadano a variare le quantità in gioco). Le operazioni di vagliatura e raffinazione finale riducono complessivamente la corrente entrante di compost di circa il 28% in peso dell'entrato.

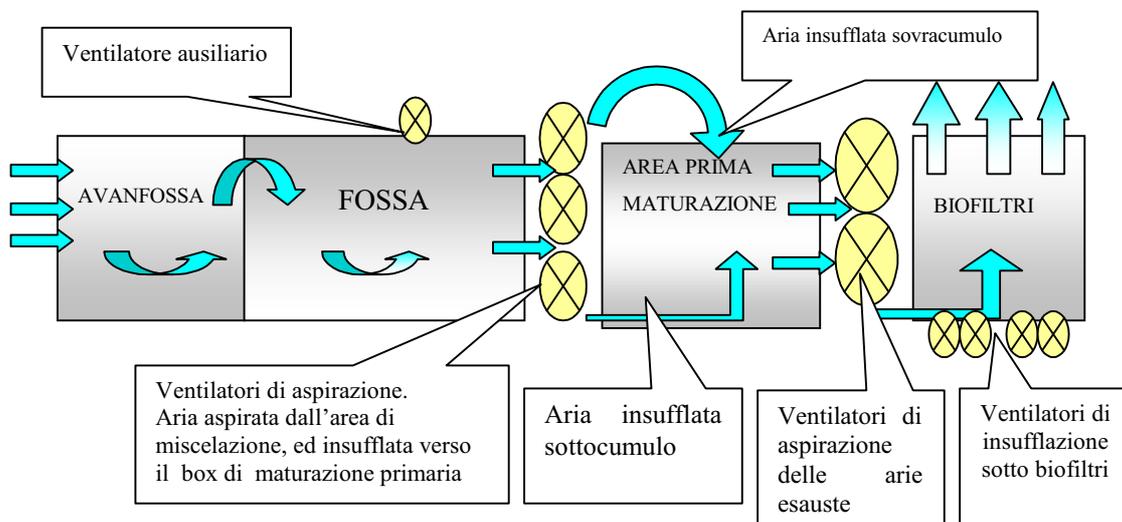
INPUT STOCCAGGIO	m ³ /anno	tonn/anno	m ³ /giorno	tonn/giorno
Compost di qualità	8.364	4.700	27,9	15,7

CORRENTE N.10	u.d.m.	PERCOLATO
composizione ponderale	%	100
portata ponderale annua	tonn/anno	454
portata volumetrica annua	m ³ /anno	454
portata ponderale giornaliera	tonn/giorno	1,2
portata volumetrica giornaliera	m ³ /giorno	1,2
umidità	%	100
densità apparente	tonn/ m ³	1
CORRENTE N.11	u.d.m.	COMPOST GREZZO
composizione ponderale	%	100
portata ponderale annua	tonn/anno	6.482
portata volumetrica annua	m ³ /anno	11.785,5
portata ponderale giornaliera	tonn/giorno	21,6
portata volumetrica giornaliera	m ³ /giorno	39,3
umidità	%	-
densità apparente	tonn/ m ³	0,55
CORRENTE N.12	u.d.m.	COMPOST DI QUALITÀ'
composizione ponderale	%	100
portata ponderale annua	tonn/anno	4.700
portata volumetrica annua	m ³ /anno	8.545,5
portata ponderale giornaliera	tonn/giorno	15,7
portata volumetrica giornaliera	m ³ /giorno	28,5
umidità	%	-
densità apparente	tonn/ m ³	0,55
CORRENTE N.13	u.d.m.	SOVVALLO (riciclo)
composizione ponderale	%	100
portata ponderale annua	tonn/anno	1.296
portata volumetrica annua	m ³ /anno	3.240
portata ponderale giornaliera	tonn/giorno	4,3
portata volumetrica giornaliera	m ³ /giorno	10,8
umidità	%	-
densità apparente	tonn/ m ³	0,4
CORRENTE N.14	u.d.m.	SOVVALLO (mat. plastiche)
composizione ponderale	%	100
portata ponderale annua	tonn/anno	484
portata volumetrica annua	m ³ /anno	2.420
portata ponderale giornaliera	tonn/giorno	1,6
portata volumetrica giornaliera	m ³ /giorno	8,1
umidità	%	-
densità apparente	tonn/ m ³	0,2

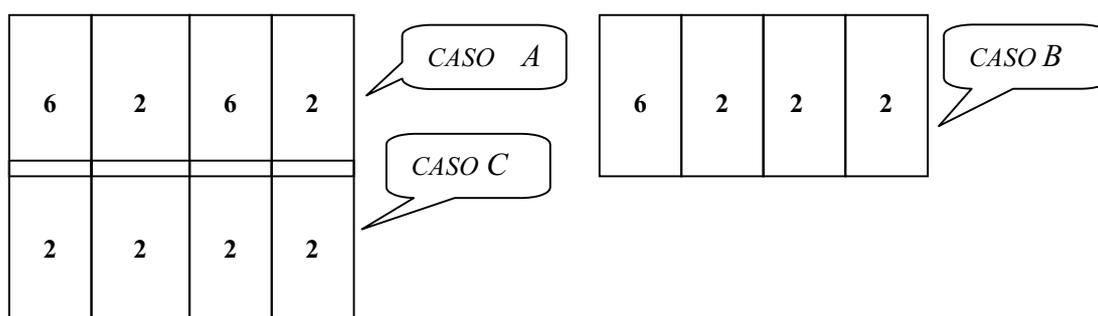
La produzione annuale di compost raffinato (su base di calcolo di 15.000 tonn/anno) è di 4.700 tonn, pari a circa il 31% in peso della massa iniziale, e di 8.545,5 m³ pari a circa 37% del volume iniziale: il Compost di qualità raffinato, ottenuto a seguito dei processi sopra descritti, viene stoccato in apposita sezione in attesa di essere conferito all'utilizzatore che ne farà richiesta.

7.2.5 - Sistema di aerazione forzata

Il progetto d'impianto prevede un sistema di ventilazione forzata finalizzato (i) al mantenimento in depressione delle aree soggette alla presenza di sostanze odorogene in emissioni gassose, (ii) ed al ricambio delle arie esauste come previsto da normativa (sia per una buona conduzione del processo, che per la salute del personale). Come già anticipato esso riguarderà principalmente l'avanfossa di scarico dei camion, la zona di miscelazione, e l'area di prima maturazione. Tal sistema si compone di tre differenti regimi di aerazione in relazione alle fasi di processo coinvolte, ed a seconda delle necessità di intervento indicate per una corretta manutenzione ordinaria e/o straordinaria [50]. Il sistema è schematizzabile come segue:



Circa il trattamento delle emissioni gassose odorogene, l'area di prima maturazione può essere suddivisa in quattro zone (ciascuna corrispondente ad una campata e comprendente 5 corsie) nelle quali il sistema assume differente andamento a seconda delle operazioni di processo in atto.



La rappresentazione sopra riportata indica ognuna delle quattro campate in cui è suddiviso il sistema di aerazione, ed il numero di ricambi/ora previsti nei vari scenari di esercizio (casi A, B, e C):

- *CASO A*: corrisponde alla situazione in cui si hanno 6 ricambi/h in due zone del capannone, poiché in una è previsto il funzionamento della rivoltatrice, mentre nell'altra c'è una squadra che opera la manutenzione. Questa situazione è senza dubbio un evento straordinario, e corrisponde ad una media di 4 ricambi/ora, con un volume di aria aspirata ed inviata ai biofiltri di ben 85.000 Nm³/h. Con una specifica di questo genere si raggiungono 28 ricambi/h nell'avanfossa, e 12 ricambi/h nella zona di conferimento e miscelazione.
- *CASO B*: corrisponde alla situazione in cui si hanno 6 ricambi/h nella zona di lavoro della rivoltatrice, e 2 ricambi/h nelle altre tre campate. In questo modo si hanno mediamente in tutta l'area di prima maturazione 3 ricambi/h. Questa situazione viene a verificarsi in tutti i giorni lavorativi, per una durata di 3-4 h/gg. Con questa specifica i ventilatori raccolgono ed inviano ai biofiltri un volume d'aria pari a 63.750 Nm³/h. Con questa aspirazione si hanno 21 ricambi/h nell'avanfossa, e 9 ricambi/h nella zona di conferimento e miscelazione.
- *CASO C*: corrisponde alla situazione in cui non c'è alcun tipo d'intervento (rivoltatrice, manutenzione) all'interno dell'Area di prima maturazione, per cui si hanno 2 ricambi/h in tutte e quattro le sezioni del capannone. Con questa specifica i ventilatori convogliano ai biofiltri un volume d'aria pari a 42.500 Nm³/h, corrispondente a 14 ricambi/h nell'avanfossa, e a 6 ricambi/h nella zona di conferimento e miscelazione. Questa è la situazione più frequente in quanto si verifica per circa 20 h/giorno.

Il sistema di aerazione forzata permette quindi di poter disporre di un alto numero di ricambi/h nella zona di conferimento e miscelazione, anche nelle situazioni meno

favorevoli. I 28 ricambi/h previsti nella situazione di massimo regime previsto, potrebbero anche risultare eccessivi ed eventualmente generare una serie di depressioni e turbolenze con sollevamento di polveri: per evitare questa spiacevole situazione, si è presa in considerazione la possibilità di insufflare nell'edificio di prima maturazione aria proveniente dall'esterno, riducendo in tal modo i ricambi/h nell'avanfossa, con un miglioramento della qualità d'aria immessa. I ricambi d'aria hanno infatti una duplice funzione: (a) mantenere una situazione sostenibile per il personale addetto, e (b) favorire l'ossigenazione della biomassa. A questo proposito, il sistema di aerazione forzata è progettato in modo tale da modulare la quantità d'aria insufflata nella biomassa in relazione alle esigenze della reazione bioossidativa. L'aria insufflata in tale zona viene così ripartita in due fondamentali porzioni: una frazione, costante, direttamente insufflata sotto cumulo, ed una frazione variabile che viene modulata in relazione ai tre casi sopra indicati, fino a raggiungere il numero di ricambi orari prestabiliti [50].

Durante il percorso nella corsia, infatti, la biomassa necessita di una quantità d'aria differente a seconda del grado di attività dei microrganismi coinvolti, con un maggior apporto nella fase iniziale, ed uno minore in quella finale. In particolare, ogni corsia di 40 m viene ad essere suddivisa in tre componenti :

- una prima di 10m, in cui è prevista un'insufflazione pari a $30 \text{ Nm}^3/\text{t S}\cdot\text{V}\cdot\text{h}$ (con un volume d'aria totale immesso nei primi 10m delle 20 corsie complessive d'area di $10.000 \text{ Nm}^3/\text{h}$);
- una seconda di 15m, in cui è prevista un'insufflazione pari a $25 \text{ Nm}^3/\text{t S}\cdot\text{V}\cdot\text{h}$, (corrispondente ad un volume d'aria totale da immettere nella biomassa pari a circa $8.000 \text{ Nm}^3/\text{h}$);
- una terza di 15m, in cui è prevista un'insufflazione pari a $20 \text{ Nm}^3/\text{t S}\cdot\text{V}\cdot\text{h}$, (con un volume d'aria totale immesso in biomassa pari a circa $6.000 \text{ Nm}^3/\text{h}$).

La frazione totale d'aria da immettere sotto cumulo risulta quindi di circa 24.000-25.000 Nm^3/h , e non varia nel tempo. La suddivisione delle portate alle tre componenti di corsia viene ad essere regolata da un sistema di valvole.

La rimanente frazione che permette di raggiungere i valori volumetrici corrispondenti ai tre casi sopra descritti, sarà immessa sopra cumulo.

Per realizzare questo sistema di aerazione sono previsti tre set di ventilatori:

1. Un set di ventilatori è adibito sia all'aspirazione dell'aria dalla zona di

conferimento e miscelazione, sia alla fase d'insufflazione nell'area di prima maturazione. Tale set è suddiviso in due gruppi di ventilatori, ciascuno dei quali è adibito a servire rispettivamente l'aria sovracumulo e l'aria sottocumulo: quest'ultima (portata complessiva di 24.000-25.000 m³/h) viene insufflata in continuo attraverso l'ausilio di tre ventilatori (più uno di riserva) da 8500 m³/h. Il frazionamento è reso indispensabile per motivi di distribuzione dei flussi. Il secondo gruppo, adibito a servire aria sovracumulo, è composto da due ventilatori (portata complessiva massima di 60.000 m³/h) in grado di lavorare a diverse velocità per realizzare alternativamente le tre condizioni di esercizio esplicate nei casi sopra descritti (A, B, C).

2. Un secondo set di quattro ventilatori (portata complessiva massima di 85.000 m³/h), ciascuno in aspirazione da una delle quattro subzone in cui è stato suddiviso il capannone di prima maturazione, permette di gestire il numero di ricambi/h desiderati nelle differenti sezioni, in concomitanza con la gestione del flusso d'aria introdotta.
3. Un terzo set è composto da quattro ventilatori (portata massima di 85.000 m³/h) che insufflano l'aria sotto al letto dei biofiltri.

Il sistema di aerazione forzata, come appena descritto, permette di gestire tutte le situazioni possibili previste in impianto, ed anche in situazioni di emergenza, considerato che il sistema è dimensionato per condizioni di esercizio massime (4 ricambi/h nell'area di prima maturazione), il processo risulta coperto dalle condizioni dette. Persino in caso di rottura e/o d'inefficienza di un numero minimo di ventilatori, il sistema garantisce comunque un'aerazione paragonabile a quella dello stesso in condizioni normali minime (2 ricambi/h nell'area di prima maturazione).

Risulta infine previsto un ulteriore apparato di ventilazione il cui scopo è quello di aspirare l'aria dall'ambiente esterno per poi inviarla nell'adiacente zona di conferimento e miscelazione: tal processo s'innesca però solo quando il personale deve accedere in quest'area per effettuare operazioni di manutenzione, e quindi necessita una migliore qualità dell'ambiente (aumentando notevolmente il numero di ricambi/h).

Nel progetto di ventilazione si considera anche un ulteriore aspetto, in relazione alla possibilità di effettuare una miscelazione, attraverso ricircolo, tra aria proveniente dalla bioossidazione ed aria proveniente dai locali di conferimento, stoccaggio e

miscelazione, in modo tale che quando la temperatura esterna scende a valori molto bassi (come in inverno) risulti comunque possibile insufflare, al di sotto dei cumuli in corsia, aria preriscaldata evitando, così, fenomeni (anche solo locali) di “quencing” degli strati inferiori delle masse in fase attiva. In estate poi, quando al contrario servono masse d’aria per lo più fresca, si evita la miscelazione delle due correnti sopradette, usufruendo invece di ulteriore aria proveniente direttamente dall’esterno, grazie a una serie di prese posizionate sui due collettori da cui aspirano i ventilatori a servizio delle corsie di bioossidazione.

7.2.6 - Biofiltri

Nell’impianto sono a servizio 4 biofiltri, ciascuno di dimensioni di 10 x 21 metri per una superficie totale di circa 210 m², ed una superficie complessiva di 850 m². La struttura, realizzata in muratura, è coperta grazie ad una tettoia molto leggera il cui unico scopo risulta quello di impedire che l’acqua piovana bagni eccessivamente il letto filtrante durante gli eventi meteorici. Le arie esauste prima di giungere ai biofiltri, attraversano un sistema di umidificazione, indicato come scrubber, avente la duplice funzione di abbattere le polveri ed il materiale sospeso eventualmente presente, così come di saturare l’aria di umidità in modo tale realizzare le migliori condizioni possibili di efficienza del biofiltro. In impianto è previsto il ricircolo delle acque utilizzate per l’umidificazione, con il ripristino delle quote consumate tramite acque di acquedotto presenti in un pozzo apposito adiacente lo scrubber. La quota parte di fanghi che si verranno a formare sul fondo dello scrubber verrà rimossa manualmente a seconda delle necessità [50].

L’emissione, sia per la geometria della copertura, sia per la vicinanza dei biofiltri, è assimilabile a quella di un’area estesa, piuttosto che a quella di una sorgente puntiforme. Il riempimento del letto biofiltrante sarà costituito per l’80% da cortecce finemente triturate, e per il 20% da compost e/o torbe, così da ottenere in toto un adeguato tenore di carbonio organico (>60%), ed un’adeguata porosità del materiale al fine di limitare le perdite di carico dei flussi gassosi da trattare.

Il letto ha un’altezza di circa 1,2 m, ed un volume totale di circa 1020 m³. Le portate dei flussi da trattare variano da un minimo di 42.500 Nm³/h, ad un massimo di 85.000 Nm³/h. Il dimensionamento è stato calcolato ovviamente sulla portata massima, peraltro prevista solo in occasione di contemporanea presenza di rivoltatrice in azione e squadra di manutenzione all’interno dell’area di prima maturazione, portando ad un

netto sovradimensionamento dei biofiltri in tutte le altre situazioni lavorative.

Assumendo le condizioni standard di temperatura e pressione per il gas in ingresso ai biofiltri (questa assunzione oltre ad essere realistica, semplifica i calcoli), si può calcolare la portata specifica sia per unità di volume, sia per unità di superficie:

- Portata specifica per unità di volume: $85.000 / 1.020 = 83,33 \text{ Nmc/h}\cdot\text{m}^3$
- Portata specifica per unità di superficie: $85.000 / 850 = 100 \text{ Nmc/h}\cdot\text{m}^2$

In condizioni standard, la portata specifica ha le dimensioni di una velocità, cioè la velocità media con cui il gas attraversa il letto filtrante. La velocità di 100 m/h , corrisponde, fatte le dovute equivalenze, ad una velocità di $0,027 \text{ m/sec}$, e poiché il letto filtrante ha un'altezza di $1,2 \text{ m}$, ne risulterà un tempo di contatto di $1,2/0,027 = 43,2 \text{ sec}$. Tale tempo, anche nella situazione peggiore, risulta nettamente superiore a quello previsto dalla normativa, grazie ad un sovradimensionamento del 24%.

In condizioni di regime, invece, allorché sono previsti mediamente 2 ricambi/h ($42500 \text{ Nm}^3/\text{h}$) o 3 ricambi /h ($63.750 \text{ nm}^3/\text{h}$) nell'edificio in cui avviene la bioossidazione, i tempi di contatto aumentano notevolmente arrivando a $86,4 \text{ sec}$ nel primo caso, e a $57,6 \text{ sec}$ nel secondo. Tale considerevole sovradimensionamento, al fine di combinare le esigenze di processo con quelle essenziali all'ambiente, testimonia una mnuziosa attenzione verso la minimizzazione dei possibili impatti ambientali per emissione di odori ed altri inquinanti.

Le condizioni operative ottimali risultano dunque le seguenti:

- umidità del mezzo filtrante: 50-65% (peso umido)

il livello di umidità nel biofiltro è il più importante parametro gestionale in quanto i microrganismi sono in grado di assorbire le sostanze alimentari solamente in fase acquosa. Bassi livelli di umidità provocano la deattivazione dei microrganismi, oltre alla contrazione ed al collasso del mezzo di riempimento; un livello di umidità eccessivo provoca, invece, elevate contropressioni e bassi tempi di ritenzione del gas dovuto al riempimento da parte dell'acqua degli interstizi porosi, problemi di trasporto di massa (soprattutto ossigeno) dovuti alla ridotta interfaccia gas-liquido per unità di volume del biofilm, creazione di zone anaerobiche, produzione di percolato a basso pH ed alto carico che richiede smaltimento;

- pH: 6-8

i biofiltri che trattano arie contenenti composti la cui degradazione produce acidi (nel nostro caso abbiamo solfuri e acido solfidrico che portano alla formazione di

acido solforico, inoltre ammoniaca e composti azotati che portano ad acido nitrico), devono avere una adeguata capacità tamponante;

- Temperatura: 15-35°C

la temperatura ideale per i microrganismi aerobi è sui 35°C; temperature non ottimali rallentano infatti le reazioni di degradazione delle sostanze contenute nelle arie esauste;

- Assenza di composti tossici per i microrganismi.

I biofiltri progettati a servizio dell'impianto di compostaggio in oggetto rispondono a tutti i requisiti sopra menzionati, e sono in linea con quanto riportato dai criteri generali elaborati dal Comitato Regionale Inquinamento Atmosferico Emilia-Romagna (CRIAER).

Per quanto riguarda il mantenimento dei valori ottimali di umidità del letto filtrante, è previsto un doppio sistema di umidificazione:

- 1) il primo, lo scrubber (umidificatore a pioggia), agente sull'effluente gassoso in arrivo ai biofiltri: al suo interno si persegue il duplice fine di abbattere le polveri sospese, e di aumentare l'umidità relativa dell'effluente gassoso fino a valori prossimi alla saturazione, in modo da evitare che tali arie, attraversandolo, essicchino il letto. Inoltre poiché il letto si trova ad una temperatura leggermente inferiore rispetto all'effluente gassoso in ingresso, quest'ultimo, attraversandolo, si raffredda rilasciando gradualmente acqua che permette di ripristinare e contrastare il fenomeno di evaporazione sulla superficie del letto.
- 2) il secondo, agisce invece sulla superficie del biofiltro tramite un sistema di spruzzatori posizionati agli angoli del biofiltro ed in grado di coprire col proprio getto l'intera superficie, garantendo quindi anche l'umidificazione della superficie, e, qualora non fosse sufficiente il sistema di umidificazione sulle arie in ingresso, di mantenere comunque una adeguata umidità del letto filtrante [50].

Per rendere operativi ed efficienti i biofiltri bisogna mantenere costanti i parametri per i quali è previsto un monitoraggio in continuo (umidità, temperatura, pH e perdite di carico del letto biofiltrante). Inoltre, è importante rilevare anche altri importanti parametri legati al funzionamento e all'efficacia di abbattimento dei biofiltri, quali Unità Odorimetriche (UO_e), polveri, NH₃, H₂S, ...in modo da valutare costantemente il rispetto dei limiti normativi in tema di emissioni. Infatti viene prescritto il rispetto

del flusso di massa, con una portata massima di 85000 nm³/h, delle seguenti concentrazioni in emissione dai biofiltri:

PARAMETRO	PORTATA	CONCENTRAZIONE
NH ₃	85.000 Nm ³ /h	9 Mg/Nm ³
H ₂ S	85.000 Nm ³ /h	0,5 Mg/Nm ³
POLVERI	85.000 Nm ³ /h	5 Mg/Nm ³
T.O.C.	85.000 Nm ³ /h	30 Mg/Nm ³

La normativa prescrive anche il rispetto del limite per le Unità Odorimetriche pari a 200 OU/Nm³. Sono inoltre previsti, ai sensi di legge, autocontrolli periodici che il responsabile d'impianto è tenuto ad effettuare, secondo le Metodiche UNICHIM, circa i seguenti inquinanti e con cadenze temporali come di seguito riportate:

PARAMETRO	CADENZA	METODICA
NH ₃	quindicinale – mensile	UNICHIM 632
H ₂ S	quindicinale – mensile	UNICHIM 634
POLVERI	quindicinale – mensile	UNICHIM 494
T.O.C.	quindicinale – mensile	UNICHIM 631
UNITÀ ODORIMETRICHE	quindicinale – mensile	CEN EN 13725

Scopo di tale monitoraggio è quello di poter mettere a regime i biofiltri, per poi mantenerne la funzionalità in termini di efficienza di rimozione delle sostanze odorogene, al fine di garantire condizioni operative di processo alquanto ottimali.

8. MATERIALI E METODI

8.1 MATERIALI

8.1.1 - Rifiuti in ingresso

Trattandosi di un'attività di recupero, le materie prime in ingresso al processo di compostaggio sono principalmente rifiuti che possono essere suddivisi nelle seguenti classi generali:

- Matrici a bassa putrescibilità: residui verdi e lignocellulosici costituiti da sfalci e potature, segatura, trucioli, frammenti di legno, sughero, rifiuti tessili di origine vegetale, rifiuti tessili di origine animale, scarti di legno non impregnato, carta e cartone, fibra e fanghi di carta.
- Matrici ad alta putrescibilità: materiale organico umido quale rifiuti solidi urbani da raccolta differenziata, rifiuti vegetali da attività agro-industriali, deiezioni animali singole o mischiate con materiale di lettiera, contenuto di prestomaci, fanghi di depurazione civili e delle industrie agro-alimentari.

Il quantitativo massimo di rifiuti in ingresso all'impianto ammessi a trattamento biologico è pari a 35.000 t/anno ripartite nelle seguenti tipologie:

A) Materiali a bassa putrescibilità → 12.250 t/anno

B) Materiali ad alta putrescibilità → 26.780 t/anno

C) Fanghi di depurazione → 4.000 t/anno

E' altresì opportuno sottolineare che il massimo quantitativo di materiale lignocellulosico (matrice a bassa putrescibilità) per la messa in riserva (da sottoporre dunque a successivo trattamento) risulta pari a 5.000 tonnellate.

Tipologie di rifiuto in ingresso all'impianto:

Cod.02 – rifiuti provenienti da produzioni, trattamento e preparazione di alimenti in agricoltura, orticoltura, caccia, pesca ed acquicoltura.

Cod.03 – rifiuti della lavorazione del legno e della produzione di carta, polpa, cartone, pannelli e mobili.

Cod.04 – rifiuti della produzione conciaria e tessile.

Cod.15 – imballaggi, assorbenti, stracci, materiali filtranti e indumenti protettivi (non specificati altrimenti).

Cod.19 – rifiuti da impianti di trattamento rifiuti, impianti di trattamento di acque reflue fuori sito e industrie dell'acqua.

Cod.20 – rifiuti solidi urbani ed assimilabili da commercio, industria ed istituzioni inclusi i rifiuti della raccolta differenziata.

In generale, s'intendono per matrici compostabili tutte le matrici riportate nell'art.16 del dm 05/02/98, nonché tutte le matrici previste dalla l. 748/84 e successive modifiche ed integrazioni, ed il cui trattamento risulti autorizzato dalla provincia competente per il territorio, ai sensi dell'art.28 comma 1 del dlgs 22/97.

In particolare, l'impianto di ca' baldacci è stato autorizzato attraverso la dgr n.716 del 28/03/00 della provincia di rimini al trattamento di 35.000 t/anno dei rifiuti appartenenti alle classi tipologiche della tabella di cui all'art.39 della delibera regionale detta (all.5). In conformità a quanto previsto dal dlgs 22/97 (artt.11 e 12) e dal dgr n.716/00 (art.52), è previsto un controllo da parte dell'azienda dei materiali in ingresso all'impianto attraverso registrazione dei flussi nell'apposito registro di carico e scarico, e provvedendo a comunicazione annuale relativa a quantità e caratteristiche qualitative dei rifiuti recuperati e/o smaltiti.

Le matrici compostabili ad alta putrescibilità vengono stoccate nelle 6 fosse di ricezione collocate nell'edificio a (conferimento e miscelazione), mentre la componente lignocellulosica è posta a massa in riserva nell'apposita area di stoccaggio i (stoccaggio lignocellulosico) autorizzato per un massimo complessivo di 5.000t .

Sono previste procedure di pianificazione della produzione e accettazione/controllo dei materiali in ingresso finalizzate a regolamentare: a) la quantità di materiale da conferire presso l'impianto a garanzia di un corretto funzionamento dello stesso e di un'adeguata attività di stoccaggio; b) i rapporti con i clienti in relazione ai contratti di conferimento e vendita; c) l'aggiornamento dell'archivio conferitori; d) l'accettazione

di rifiuti presso l'impianto; e) il controllo dei materiali in ingresso; f) l'espletamento delle verifiche sui documenti di accompagnamento in ottemperanza a quanto previsto dal dlgs 22/97 [30].

8.1.2 - linea produzione compost di qualità e linea produzione biostabilizzato

Le linee d'impianto per il trattamento biologico della frazione organica presso cà baldacci, permettono la conversione, in condizioni controllate, delle matrici in ingresso (rifiuti) in un prodotto finale privo di controindicazioni per l'impiego agricolo (compost di qualità) con un soddisfacente potere ammendante e che non crea problemi di ordine igienico-sanitario, e in un prodotto finale utilizzabile per altri impieghi quali coperture in discarica, ripristini paesaggistici,...(biostabilizzato). In tal senso, quest'aspetto ambientale determina un impatto positivo sull'ecosistema in quanto corrisponde alla conversione di materiali inutilizzabili e dannosi per l'ambiente (rifiuti), in materie prime utili per differenti attività antropiche (agricoltura, capping, ripristini,...).

Per ciò che concerne la linea per il compost di qualità, le analisi di processo possono essere suddivise nelle seguenti 5 fasi:

- 1 – miscelazione delle matrici organiche (frazione lignocellulosica, precedentemente sottoposta a cippatura, e frazione umida di varia provenienza).
- 2 – bioossidazione accelerata (la sostanza miscelata subisce 5 rivoltamenti successivi corrispondenti ad un periodo totale di 5 settimane).
- 3 – maturazione stabilizzazione della sostanza organica (fino alla vagliatura finale successiva ai 90gg di durata totale del processo).
- 4 – stoccaggio del compost di qualità prodotto.
- 5 – trattamento delle arie esauste (le esalazioni maleodoranti provenienti dall'area di stoccaggio e miscelazione e dai cumuli di materiale organico posti sull'area di bioossidazione, vengono captate dal sistema di ventilazione ed immesse prima in uno scrubber e successivamente nei 4 biofiltri).

Per quanto riguarda la linea per il biostabilizzato, invece, i processi analitici si attuano sulle fasi di bioossidazione accelerata e trattamento delle arie esauste. Tale linea di produzione può essere alimentata con tre differenti tipologie: miscelazione di matrice organica umida e matrice organica secca; caricamento diretto di rifiuto proveniente da

operazioni da selezione meccanica di rsu; miscelazione della matrice organica umida con rifiuto proveniente da operazioni di selezione meccanica di rsu.

8.1.3 - rifiuti in uscita

Sovvalli e percolati rappresentano la componente più rilevante dei rifiuti prodotti dalle attività svolte in sito. Presso l'impianto sono state identificate apposite aree destinate al deposito temporaneo dei rifiuti; i rifiuti prodotti e allontanati vengono pesati in uscita e quindi registrati sugli appositi registri di carico e scarico dell'impianto [8].

A livello gestionale, i rifiuti assimilati agli urbani e quelli prodotti dal reparto di manutenzione interno, vengono raccolti in appositi cassonetti e quindi ritirati periodicamente dal servizio di igiene urbana di hera spa . La gestione dei rifiuti di manutenzione delle ditte appaltatrici è a carico delle stesse che operano all'interno dell'impianto di compostaggio. Tali ditte hanno l'obbligo di occuparsi del trasporto e smaltimento dei rifiuti generati dalle proprie attività. Il percolato, collettato in apposita vasca di raccolta, viene trasportato per mezzo di autobotti al depuratore.

In generale, i rifiuti in uscita sono suddivisibili in tali tipologie:

- Sovvallo (190501) → discarica.
- Scarti di tessuti vegetali (020103) → discarica.
- Percolato impianto (190703) → impianti di trattamento, ricircolo bagnatura cumuli.
- Percolato "vecchia discarica" (190703) → impianti di trattamento.
- Tute, stracci → termovalorizzatore.
- Rifiuti da manutenzione → impianti di trattamento.

Risultano significative per quantità le produzioni di percolato (sia dalla discarica esaurita, sia dalle aree del vecchio e nuovo impianto) e di sovvalli [30].

8.2 METODI DI CAMPIONAMENTO

8.2.1 – Descrizione generale

Il campionamento può definirsi come l'operazione di prelevamento della parte di una sostanza di dimensione tale che la proprietà misurata nel campione prelevato rappresenti, entro un limite accettabile noto, la stessa proprietà nella massa di origine. In altre parole, il fine ultimo del campionamento ambientale è sempre quello di consentire la raccolta di porzioni rappresentative della matrice che si vuole sottoporre ad analisi. Il campionamento costituisce quindi la prima fase di ogni processo analitico che porterà a risultati la cui qualità è strettamente correlata a quella del campione prelevato. Per tale motivo, il campionamento è una fase estremamente complessa e delicata che condiziona i risultati di tutte le operazioni successive e che di conseguenza incide in misura non trascurabile sull'incertezza totale del risultato dell'analisi.

8.2.2 - Il Piano di campionamento

La predisposizione del Piano di campionamento, finalizzato alla raccolta di una serie di campioni rappresentativi, risulta fondamentale per una corretta descrizione del fenomeno indagato.

La definizione degli obiettivi del campionamento (ricerca, monitoraggio, controllo, ecc.) è una fase cruciale di tutto il processo analitico, in quanto rappresenta un fattore condizionante l'intero approccio sperimentale che comprende la scelta del numero e della localizzazione dei punti di campionamento, la determinazione della frequenza, della durata e delle procedure di prelievo, nonché il successivo trattamento dei campioni e la scelta delle più adeguate metodiche analitiche da utilizzare. Affinché un adeguato Piano di campionamento porti ad una serie di campioni rappresentativi del fenomeno da descrivere, risulta basilare, oltre ad una conoscenza preliminare del sistema da analizzare, anche una chiara definizione degli obiettivi da perseguire.

L'analisi può essere finalizzata alla verifica del rispetto di limiti, alla definizione della variabilità spaziale e/o temporale di uno o più parametri, alla determinazione di parametri di processo, oppure alla caratterizzazione fisica, chimica o biologica di un ambiente [30].

Dal punto di vista analitico, la rappresentatività del risultato dipende dal numero di campioni prelevati. Tale numero può essere definito statisticamente in base a criteri dipendenti dagli obiettivi di qualità, e dalla ripetibilità del metodo utilizzato. Generalmente, però, il numero di campioni ricavati in base a considerazioni

statistiche è poco realistico, perché porta spesso ad un numero di prelievi non sostenibile rispetto alle risorse economiche, umane e di laboratorio disponibili. Il calcolo statistico è basato, inoltre, su alcune assunzioni che non sempre possono essere accettate a priori (in particolare in campo ambientale), quale ad es. quella della normalità della distribuzione dei valori misurati. Dal punto di vista pratico, il numero di repliche può rappresentare un giusto compromesso tra le esigenze della rappresentatività analitica e le risorse disponibili.

Il campione dovrà inoltre essere:

- prelevato in maniera tale che mantenga inalterate le proprie caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche fino al momento dell'analisi;
- conservato in modo tale da evitare modificazioni dei suoi componenti e delle caratteristiche da valutare.

Fissati gli obiettivi del prelievo, le operazioni di campionamento devono essere effettuate sulla base di uno specifico "Piano di campionamento", che deve programmare nel dettaglio le operazioni di campionamento secondo criteri e disposizioni che in alcuni casi sono stabilite da normative tecniche di riferimento. Il campionamento, essendo parte integrante dell'intero procedimento analitico, deve essere effettuato da personale qualificato e nel rispetto della normativa in materia di sicurezza del lavoro. Un Piano di campionamento deve quindi prevedere:

- la definizione dell'obiettivo;
- la descrizione del sito di campionamento;
- la strategia di campionamento;
- l'indicazione delle matrici da campionare;
- le metodiche di campionamento;
- la numerosità dei campioni;
- la durata del campionamento;
- la frequenza del campionamento;
- il numero di addetti e delle loro competenze necessarie per la conduzione del campionamento;
- la pianificazione logistica del campionamento (mezzi di trasporto, luoghi di accesso, ecc.);
- le modalità di trasporto dei campioni;
- la conservazione dei campioni;
- il controllo di qualità;

- la pianificazione della sicurezza sul lavoro;
- la definizione del tipo di documentazione che deve essere utilizzato durante tutto il programma di campionamento.

La documentazione del campione prelevato dovrà altresì includere lo scopo del campionamento, la descrizione del luogo del prelievo, l'ora ed il giorno del prelievo, le caratteristiche del campione, le precauzioni necessarie alla conservazione, l'identificazione del campione, l'identificazione degli operatori e delle analisi che devono essere fatte. La quantità da prelevare dal campione per le analisi dipende dalla tecnica analitica e dai limiti di sensibilità richiesti [30].

8.2.3 - Campionamento del Compost e del Biostabilizzato

Per *Campionamento del Compost e del Biostabilizzato* si intende il prelievo di una o più aliquote di rifiuto o altro materiale, condotto in modo tale che i risultati analitici ottenuti dalle analisi su di esso eseguite siano rappresentativi dell'intera massa da caratterizzare.

In funzione delle caratteristiche delle differenti corsie costituenti l'area di prima maturazione, e delle condizioni interne alla stessa, si è deciso di utilizzare come metodica di campionamento la CNR-IRSA(1984), secondo la quale il peso del campione da inviare al laboratorio di analisi deve essere pari a 4 kg, ed il prelievo effettuato in più punti su piani orizzontali e a quote diverse.

In funzione delle tecnologie di trattamento biologico adottate per la produzione di Compost di qualità, si possono riconoscere 3 tipologie principali di Campionamento:

- ✓ Campionamento da cumuli a diverso stadio di maturazione.
- ✓ Campionamento da impianti a scarico continuo e da reattori chiusi.
- ✓ Campionamento di compost in contenitori.

In linea generale, per tutte le casistiche esaminate, valgono le seguenti indicazioni:

- i punti di campionamento dovranno essere tanto più numerosi quanto maggiore è la eterogeneità del materiale;
- il prelievo dovrà interessare tutta la massa (zone interne, intermedie ed esterne), con l'esclusione dello strato superficiale (circa 10 cm), soprattutto in caso di cumuli non movimentati da tempo [8].

Nell'impianto di compostaggio Ca'Baldacci (Rimini), in funzione della tecnologia di trattamento in uso (Biossidazione primaria in corsie dinamiche con insufflazione di aria dal basso), la tipologia di campionamento utilizzata per l'analisi dei cumuli in maturazione primaria è la prima sopra riportata, ossia Campionamento da cumuli a diverso stadio di maturazione.

Ogni corsia (8 in totale, 2 per ogni settore) viene suddivisa in 4 parti (cumuli) corrispondenti ai 4 steps di lavoro della rivoltatrice: quindi studiamo l'andamento del processo suddiviso in 4 periodi (mediamente a 4, 20, 33, 60 giorni per il compost; 4, 17, 31, 41 giorni per il biostabilizzato).

Per il campionamento del cumulo individuato, o comunque di un generico cumulo, è necessario procedere nel modo seguente:

- individuare almeno 3 porzioni (sezioni) equidistanti lungo l'andana o il perimetro del cumulo;
- in corrispondenza di ogni posizione prelevare almeno 4 campioni a 2 altezze (un terzo e due terzi dell'altezza del cumulo) e due profondità verso il cuore del cumulo (30-50 cm e oltre 1m), tenendo presente che ogni campione elementare (quello proveniente da ogni singolo prelevamento) deve essere di almeno 1,5 kg.

Il numero minimo di campioni elementari sarà pertanto pari a 12. In relazione al volume del lotto in esame è consigliato il prelievo di almeno 12 campioni elementari ogni 200-300m³.

Il campione composito, costituito da almeno 18 kg di materiale, deve essere ripetutamente miscelato; da questo si preleva il campione finale di almeno 3 kg (4 kg secondo la metodica CNR-IRSA (1984)). Tale quantità di campione risulta sufficiente per l'esecuzione delle analisi chimiche, microbiologiche e parassitologiche.

Qualora debbano essere eseguite analisi quali Indice di respirazione e/o Test di tossicità, può risultare necessario incrementare la dimensione del campione.

Il campione viene chiuso in sacchetti di plastica e quindi trasportato subito al laboratorio di analisi (si raccomanda durante il trasporto lo stoccaggio del campione a temperature di 1-5°C).

Il campione deve essere contrassegnato con etichetta o scheda di accompagnamento (Foglio richiesta analisi) che riporti le seguenti indicazioni: (i) descrizione del materiale, (ii) data e luogo di campionamento, (iii) identificazione del campione, (iv) identificazione dell'operatore che ha effettuato il campionamento.

8.2.4 - Metodo della quartatura

- Norma UNI ISO n.5667-13 “Qualità delle acque. Guida al campionamento dei fanghi provenienti da attività di trattamento delle acque di scarico” (2000).

La suddetta normativa descrive la procedura di quartatura per la riduzione di campioni di fanghi disidratati (campioni solidi, sfusi).

La procedura indicata prevede di rimescolare accuratamente il campione su una superficie dura e pulita, a formare un cono. Si procede al rivoltamento per formare un nuovo cono e si ripete 3 volte l'operazione. Per la formazione di ciascun cumulo conico si dovrebbe procedere scaricando ogni palata di materiale sulla sommità del cono, in modo che le porzioni che scivolano lungo la superficie laterale del cono siano distribuite nel modo più uniformemente possibile e che il centro del cono non sia spostato. Il cumulo viene poi suddiviso, il più omogeneamente possibile, in quarti. I quarti diametralmente opposti vengono conservati riuniti; si ripete l'operazione fino a quando gli ultimi due quarti producono la massa di campione richiesta.

- DiVaPra Università di Torino, IPLA, ARPA, Piemonte (1998) “Metodi di analisi dei compost” Regione Piemonte – Assessorato all'Ambiente, Torino.

Questo metodo di quartatura si applica solo quando si hanno cumuli costituiti da 3-4 tonnellate di rifiuti [30].

8.2.5 - Campionamento del suolo: biofiltri

8.2.5.1 - Campionamento e preparazione del campione

I criteri generali proposti fanno riferimento al DM 471/99 recante criteri, procedure e modalità per la messa in sicurezza, la bonifica e il ripristino ambientale dei siti inquinati, ai sensi dell'art.17 del DLgs 22/97, con successive modifiche e integrazioni.

Il campione di suolo deve essere rappresentativo, e deve essere in grado di contenere tutta l'informazione sul suolo di origine: deve dunque essere la parte di un tutto. Questo presuppone che vi sia omogeneità all'interno del suolo detto. In presenza di disomogeneità o di eterogeneità, il numero di campioni deve essere tale da rappresentare tutte le parti che compongono il suolo stesso.

8.2.5.2 - Selezione ed ubicazione dei punti di campionamento

L'ubicazione dei punti di campionamento deve essere stabilita in modo da corrispondere agli obiettivi indicati nei criteri generali. In particolare, si possono presentare due principali strategie per selezionare l'ubicazione dei punti di sondaggio e prelievo:

- 1) La scelta è basata sulla caratterizzazione del sito e può essere mirata a verificare le ipotesi formulate sulla presenza di contaminanti o sulle caratteristiche ambientali del sito.
- 2) La scelta della localizzazione dei punti è effettuata sulla base di un criterio di tipo casuale o statistico, quale ad esempio un campionamento sulla base di una griglia predefinita o casuale.

Nel caso si proceda con una disposizione a griglia il lato di ogni maglia potrà variare da 25 a 100 m, secondo il tipo e le dimensioni del sito oggetto di indagine. I punti di indagine possono essere localizzati in corrispondenza dei nodi della griglia (ubicazione sistematica) oppure all'interno di ogni maglia in posizione opportuna (ubicazione sistematica casuale), oppure posizionati casualmente all'interno delle maglie della griglia a seconda dei dati conoscitivi ottenuti dalla fase di indagine preliminare.

8.2.5.3 - Punti di campionamento

Per siti di dimensione inferiore a 10.000 m² sono necessari all'incirca 5 punti di campionamento.

8.2.5.4 - Profondità del prelievo

La profondità del prelievo varia a seconda del tipo di analisi da effettuare. In linea di massima si consiglia di eliminare la cotica erbosa (quando presente) ed i primi 2-4 cm di terreno, oltre che di prelevare il terreno sottostante fino ad una profondità di 30-40 cm. La tipologia di prelievi potrà essere modificata e integrata sulla base delle osservazioni effettuate in sede di campionamento.

8.2.5.5 - Preparazione del campione

Mescolare accuratamente il campione per ottenere una buona omogeneizzazione.

8.2.5.6 - Determinazione dell'umidità

Un'aliquota di campione corrispondente ad una frazione granulometrica inferiore o uguale a 2 mm è destinata alla determinazione dell'umidità. La determinazione gravimetrica del contenuto di umidità si ottiene pesando circa 20 g di suolo setacciato.

8.2.5.7 - Campionamento biofiltri Ca'Baldacci

Nell'Impianto di compostaggio in questione, viene effettuato un campionamento di tipo non sistematico a X. Una volta scelti 5 punti di prelevamento, lungo un percorso immaginario ad X sulla superficie da investigare, si preleva un campione elementare in ogni punto. Ciò può comportare una copertura non completa della superficie da investigare e fornire, di conseguenza, dati esclusivamente orientativi. Tale problema è ridotto, in tale caso specifico, visto che ciascun biofiltro ha una superficie di 210 m² e che il parametro che si determina è quasi sempre l'umidità del letto biofiltrante [15].

8.2.6 – Supervisione in continuo: biofiltri

Tutti i parametri per cui è prevista la misurazione in continuo nei biofiltri (temperatura, umidità, pH, perdite di carico) vengono registrati ed archiviati in un personal computer, presente nell'edificio di supervisione da cui si controlla l'andamento di tutto l'impianto, che riporta anche i valori e gli andamenti dei parametri degli altri edifici. In tal modo è possibile avere una registrazione dei dati analitici misurati ogni 2 minuti, oltre alle medie effettuate ogni 6 e 24 ore.

Per quel che riguarda gli altri parametri da determinare sui biofiltri, come le unità odorimetriche (UO), polveri, TOC, NH₃, H₂S, velocità dei fumi ecc., le determinazioni verranno invece effettuate mensilmente da un laboratorio specializzato [50].

8.2.6.1 - Temperatura

Per il rilievo in continuo della temperatura dei biofiltri si utilizza una sonda di tipo FlexTop 2201, ossia un trasmettitore a microprocessore 4.20 mA (completamente digitale) per termoresistenze Pt 100 a 2 fili, alimentato dal loop di uscita.

Le caratteristiche meccaniche ne consentono l'installazione direttamente nella testa formato "DIN B" dei sensori tramite 2 viti con molla di supporto (Sistema Bring Loaded) tali da permetterne l'impiego anche in ambiente soggetto a forti vibrazioni. Il convertitore è costruito in un materiale a base siliconica, che unito al range di temperatura di funzionamento particolarmente ampio (-40...+85°C), rende possibile l'installazione anche in condizioni non standard, dove non è garantita la completa separazione termica tra il trasmettitore ed il processo. Per quanto concerne i biofiltri, la sonda lavora in ogni caso a temperatura ambiente, esclusivamente in funzione delle condizioni climatiche. Il range di temperatura che bisogna rispettare per un buon funzionamento del letto biofiltrante è compreso tra 15 e 35°C, dal momento che questi valori sono ottimali per l'attività degradatoria dei microrganismi aerobi presenti nello stesso. Temperature non ottimali rallentano infatti le normali reazioni di decomposizione della materia organica.

8.2.6.2 - Umidità superficiale

La misura in continuo dell'umidità superficiale del biofiltro viene effettuata tramite un trasduttore di umidità. La sonda TS UMD 00 è un trasduttore di umidità con uscita 4-20 mA (corrispondenti allo 0 e al 100% di umidità relativa) per rilevare il valore dell'umidità dell'ambiente in cui è posta.

La sonda, resa solidale con quella per la misura della temperatura, è posta a circa 5 cm di profondità nel letto del biofiltro. La sonda per il rilievo dell'umidità impiega un sensore polimerico-capacitivo. Il segnale generato dallo stesso viene convertito in una corrente proporzionale al valore di umidità ed inviato allo strumento connesso (ad un PLC prima, e poi al PC in supervisione).

Il range di misura della sonda varia dal 5 al 95% di umidità relativa. In caso di utilizzo della sonda in ambienti con elevata concentrazione di polvere, bisogna effettuare periodicamente la pulizia del sensore, attraverso aria compressa a bassa pressione o con acqua distillata. Si è scelto di mantenere il valore di umidità relativa del letto del biofiltro al di sopra del 95%: se l'operatore che lavora in supervisione registra un valore inferiore al 95%, procede con la bagnatura del biofiltro per circa 30-60 minuti.

8.2.6.3 - Umidità del letto del biofiltro

Il letto del biofiltro è mantenuto umido sia grazie all'apporto idrico degli spruzzatori, attivati direttamente dalla supervisione, sia per mezzo dell'aria satura di umidità

proveniente dallo scrubber e che giunge al biofiltro tramite canalette grigliate poste sul fondo dello stesso.

Il livello di umidità del letto non può essere monitorato in continuo, in quanto non esistono sistemi adatti al rilevamento di tale parametro all'interno di un mezzo eterogeneo, qual'è il sistema del letto filtrante. Tali sonde infatti misurerebbero semplicemente l'umidità dell'atmosfera presente negli interstizi, senza fornire valori attendibili dell'umidità effettiva del letto. Per questo motivo si cercherà di trovare una correlazione tra l'umidità relativa in superficie del letto, la cui lettura è immediata dalla supervisione, e l'umidità dello stesso, controllata periodicamente, tramite un programma di campionamenti puntuali. Il campionamento viene effettuato, per ognuno dei 4 biofiltri, prelevando una quota di materiale a 20 e 50 cm di profondità in 5 punti distinti del letto. Tutte le quote, per ogni biofiltro, vengono mescolate insieme e poi si procede alla suddivisione manuale, tramite quartatura, allo scopo di ottenere un campione rappresentativo da inviare in un laboratorio per la determinazione dell'umidità. Questo parametro viene determinato ponendo in forno a 105°C, e per 45 minuti, una quota del nostro campione. Una volta estratto il campione dal forno, lo si inserisce all'interno di un essiccatore con gel di silice per 30 minuti, in modo da raffreddarlo senza che questo riassorba umidità dall'esterno. Si esegue quindi la pesata nel minor tempo possibile ripetendo l'operazione fino a peso costante. Il valore ottimale di umidità del letto del biofiltro da rispettare è compreso tra 50-65%.

8.2.6.4 - Misurazione del pH

Per la misurazione in continuo del pH si è deciso di operare con un pHmetro posizionato direttamente nei pozzetti di raccolta del percolato dei biofiltri, essendo questo una matrice liquida, al contrario del letto del biofiltro che è una matrice solida, in cui risulterebbe più difficile la determinazione del suddetto parametro. Lo strumento utilizzato è un misuratore e regolatore a microprocessore pH-Redox, modello PR 75 P-C, adatto per applicazioni industriali. Il contenitore in formato DIN 96*96, con il collegamento del BNC, occupa uno spazio interno al quadro di 12 cm. Questo ingombro permette la sua installazione in quadri di piccole dimensioni. Il frontale in policarbonato (LEXAN) è a totale tenuta stagna IP 65, in modo che l'elettronica sia protetta dall'umidità, dai vapori e dalle polveri, soprattutto in applicazioni senza porta di protezione. La calibrazione del sensore di misura (elettrodo) è gestita automaticamente dallo strumento PR 75 P il quale fornisce

all'utilizzatore i parametri di qualità dell'elettrodo indicandone lo stato di deterioramento. Gli elettrodi sono di tipo a vetro con gel a ponte salino.

Per evitare deterioramenti precoci degli elettrodi è opportuno effettuare la pulizia, con H₂O distillata possibilmente, ogni 2-3 giorni, a causa della natura del percolato presente, ricco in sostanza organica (soprattutto acidi umici e fulvici), oltre che in specie fungine, che può determinare incrostazioni intorno all'elettrodo. La temperatura di lavoro dello strumento varia da 0 a 50°C, dal momento che lavora in ambiente controllato, e può essere utilizzata per effettuare la correzione della misura del pH, impostando manualmente un valore tipico di temperatura. La misura del pH viene fatta sull'intera scala tra 0-14 con una risoluzione di 0,01 pH, ricordando sempre che, da limiti di legge, bisogna rientrare in un range compreso di pH 6-8,5 (condizioni peraltro agevoli al mantenimento dell'ambiente microbico nel letto biofiltrante).

L'elettrodo di pH va periodicamente ricalibrato fino a quando, per eccessivo esaurimento, è necessaria la sua sostituzione. L'operazione di calibrazione viene guidata automaticamente dal PR 75 P che riconosce il valore dello standard di soluzione campione nel quale è immerso l'elettrodo e visualizza un parametro di qualità della sonda (in percentuale). Per la calibrazione sono necessarie:

- Soluzione tampone a 7 pH ben conservata.
- Soluzione tampone a 4 o 9,22 pH ben conservata.
- H₂O pulita per lavare l'elettrodo.

Una soluzione a pH 4 è sempre da preferire ad una da 9,22 pH: si tratta di un valore di pH molto più stabile nel tempo e meno influenzato dalla temperatura. La procedura di calibrazione è riportata all'interno del manuale istruzioni dello strumento.

Inoltre i biofiltri che trattano arie contenenti composti la cui degradazione produce acidi (nel nostro caso abbiamo solfuri e acido solfidrico che portano alla formazione di acido solforico, oltre ad ammoniaca e composti azotati che portano alla formazione di acido nitrico), devono avere una adeguata capacità tamponante, oppure è necessario l'utilizzo di soluzioni tampone a pH basico. Nel caso specifico, l'acqua (di acquedotto) utilizzata per bagnare i biofiltri ha un pH pari a 8,3-8,4 e dunque la si può considerare come soluzione tampone.

8.2.6.5 - Perdite di carico

Per la misura in continuo delle perdite di carico si utilizza un trasmettitore di pressione di tipo DMP 343, utile ed adatto per la misurazione delle basse pressioni (con valori spesso nel campo dei 3-10 mbar). È adatto per le misurazioni di pressione dei gas, aria secca e di fluidi puliti e non aggressivi.

Il DMP 343 converte la pressione in un segnale elettrico proporzionale inviandolo ad un PLC che riceve e registra tale valore che viene poi visualizzato sulla schermata del PC presente in supervisione. Gli elementi basilari del trasmettitore di pressione sono i sensori di pressione DSP 201: si tratta di sensori al silicone montati su un supporto di ceramica. A monte e all'interno di questo, c'è un filtro che deve essere costantemente pulito e/o sostituito per evitare intasamenti, altrimenti lo strumento non effettua correttamente le misure. La misura della perdita di carico dovrebbe essere effettuata direttamente sul letto del biofiltro, ma in mancanza di una strumentazione idonea a tale ambiente e a tali misurazioni, si è scelto di determinare le perdite di carico tramite le condotte poste subito a monte dei biofiltri, quelle cioè che trasportano le arie esauste e sature di umidità in uscita dallo scrubber. A tale scopo, si è praticato un foro circolare a circa 1 m di altezza, per ciascuna delle 4 condotte, entro il quale è stato inserito un tubo in ferro, a forma di L, con un'apertura rivolta verso l'alto e l'altra, che si trova subito dopo una piccola curva dello stesso, collegata al sensore, in corrispondenza del filtro.

La misurazione in continuo delle perdite di carico ha lo scopo di monitorare la funzionalità del letto filtrante, rispettando la normativa a riguardo che consente un range di tollerabilità comunque abbastanza ampio (0.1-10 Kpa oppure 1-100 mbar). Questi valori sono utili per intuire la reale struttura del letto filtrante, e per controllare se, dopo l'assestamento dello stesso, vi siano o meno problemi di "effetto muro" (letto del biofiltro che si allontana dal muro, a causa degli assestamenti intervenuti dopo un certo periodo di attività degradativa da parte dei microrganismi, e di imbibizione del letto stesso); il monitoraggio di questo effetto risulta molto significativo in quanto responsabile del fatto che vengono a crearsi vie preferenziali di uscita per le arie in arrivo dallo scrubber (provenienti dal box di biossificazione).

8.2.7 - Monitoraggio emissioni: biofiltri

I metodi utilizzati per la misura dei parametri monitorati durante il controllo delle emissioni, sono metodi UNICHIM. Per la scelta dei punti di prelievo, le strategie di

campionamento e la presentazione e valutazione dei risultati ci si riferirà al manuale M158.

Il campionamento ha previsto l'uso di sistemi di convogliamento e prelievo dell'aria osmogena per aspirazione diretta del campione in un bag. Tutte le fasi di prelievo sono state effettuate con procedure che rispondono ai requisiti richiesti dalle specifiche comunitarie, EN 13725. Per ottenere un campione che rappresenti l'emissione dell'intera superficie (biofiltro), occorrerebbe ricoprirlo interamente con un telo costituito da materiale inerte all'odore, assicurandosi della mancanza di perdite, ed effettuare il prelievo da un punto del telo, lasciato come unico punto emissivo dell'intera area. Vista l'impossibilità logistica di effettuare un campionamento di questo tipo, può essere usata per il campionamento, ed il convogliamento dei flussi gassosi, una cappa in acciaio Inox, appoggiata direttamente sul letto del biofiltro, a base quadrata e con una superficie di $0,5 \text{ m}^2$, che convoglia i gas in un tubo circolare del diametro di 0,20m. Durante la fase di campionamento sono vengono effettuate misure accessorie che utili per una migliore comprensione dei dati ottenuti. Tale misure sono effettuate grazie ad un'opportuna strumentazione che prevede:

- anemometro a filo caldo per la misura della velocità dei fumi e della portata totale della cappa di captazione (metodo UNICHIM M467).
- psicrometro con bulbo umido e secco per la misura di temperatura, umidità relativa e pressione dei fumi (metodo UNICHIM M467).
- un prelievo non in isocinetismo ma a flusso costante, a causa delle basse velocità, per la misura del materiale particellare (polveri) (metodo UNICHIM M494).
- un back per analisi in continuo (in metano e non metanici) per la misura del TOC (metodo UNICHIM M631).
- set di 3 gorgogliatori (2 di analisi e 1 di controllo) con H_2SO_4 0,005 n salificato con NH_4^+ , per la misura della concentrazione di NH_3 (metodo UNICHIM M632).
- set di 3 gorgogliatori (2 di analisi e 1 di controllo) con CdSO_4 5 g/l, per la misura della concentrazione di H_2S (metodo UNICHIM M634).

In entrambi i casi l'aria prelevata dalla cappa viene fatta confluire nelle burette per circa 50 minuti.

L'aria osmogena prelevata è stata intrappolata in sacchetti di Nalophan, aventi capacità di 8 litri: ad ogni sacchetto è collegato un tubo in Teflon, del diametro di 8

mm, grazie al quale è possibile effettuare il prelievo ed il successivo collegamento all'olfattometro per l'analisi.

Per evitare errori durante il campionamento, occorre che l'attrezzatura e le modalità di prelievo abbiano determinate caratteristiche, così come indicato dalla norma EN 13725:

- il bag di campionamento sia inodore;
- il bag di campionamento sia inerte nei confronti del gas da campionare;
- il materiale del bag di campionamento non si adsorbente;
- il bag di campionamento non sia permeabile dando luogo a perdite diffusive;
- siano evitati fenomeni di condensazione; se il gas possiede umidità superiore al 90% e/o temperatura superiore a 50°C occorre prediluire il campione in ingresso;
- il tempo di stoccaggio del campione nel bag prima dell'analisi con olfattometro non sia superiore alle 30 ore.
- sia evitata l'esposizione del campione alla luce, soprattutto solare, conservandolo in cardboard box per minimizzare le reazioni fitochimiche di degradazione.

L'analisi dei campioni si effettua attraverso un olfattometro Mannebeck Mod. TO7, ed un panel costituito da 8 persone adeguatamente testate e certificate secondo normativa europea. I campioni prelevati vengono analizzati in un laboratorio olfattometrico, all'interno di una camera termostatica appositamente attrezzata allo scopo, che risponde ai requisiti richiesti dalle specifiche EN 13725.

L'apparecchiatura utilizzata è un olfattometro Mannebeck Mod. TO7 munito di 4 postazioni di saggio contemporaneo degli odori. Il metodo si basa sull'identificazione (da parte di questo panel) della cosiddetta "soglia dell'odore", ossia del confine al quale un odore tende ad essere percepito dal 50% dei soggetti che sono stati sottoposti alla prova. L'olfattometro è lo strumento che permette di diluire il campione di aria odorosa con aria neutra, ossia aria priva di odore. Il numero di diluizioni necessarie a far giungere l'odore alla cosiddetta "soglia dell'odore" è preso come indice della concentrazione dell'odore ed espresso in unità odorimetriche per metro cubo (UO_E/m^3) [13][15].

A seguito dell'indagine olfattometrica si ha l'elaborazione dei risultati, processo per il quale si mediano tutti i valori di UO_E/m^3 per singolo panelist allo scopo di ottenere un valore medio che rappresenta la concentrazione di odore del campione in esame.

Il campionamento delle emissioni sui biofiltri viene attualmente effettuato grazie all'ausilio del CSA – Centro Studi Ambientali di Rimini.

8.2.8 - Campionamento di polveri e granulati

Sono compresi in questa categoria i solidi per i quali la dimensione dei grani non ha alcuna influenza, da un punto di vista pratico, sulla dimensione dell'incremento necessario al fine di ottenere un campione rappresentativo (la pezzatura di solito è minore di 5 mm). Per questo motivo, la quantità da prelevare viene dettata solo dalle esigenze delle determinazioni da eseguire (in linea di principio non deve comunque essere minore di 1 kg) [12] [30].

8.2.8.1 - Strumenti in dotazione

Al fine di effettuare tale campionamento risulta necessario poter disporre di: pennarello ad inchiostro indelebile, palette o sessola di dimensioni adeguate, sonda campionatrice o succhiello, imbuto o tramoggia, barattolo a bocca larga.

8.2.8.2 - Operazioni preliminari al campionamento

Localizzare un punto di accesso dal quale sia possibile procedere al campionamento secondo quanto previsto dal Piano di campionamento. Annotare ogni circostanza anomala o significativa rispetto al Piano di campionamento.

8.2.8.3 - Indicazioni generali per il campionamento

L'ottenimento di un campione rappresentativo da grandi quantità di materiale richiede, almeno teoricamente, che il materiale venga movimentato e suddiviso in una serie di ammassi più piccoli (sublotti), da ognuno dei quali si dovrà prelevare un incremento. In caso contrario si otterrebbe un campione costituito solo da un piccolo strato del materiale nelle immediate vicinanze del punto di accesso. Il campionamento di materiale particellato da grandi ammassi richiede perciò una qualche forma di movimentazione e preparazione.

Qualora siano disponibili numerosi punti di accesso (per esempio lungo il perimetro di un ammasso), potrà essere accettabile il prelievo di un campione composito costituito da più incrementi selettivi, prelevati dal bordo dell'ammasso, mediante una comune paletta, e/o dal centro dell'ammasso, per mezzo di una paletta fissata su di un'asta sufficientemente lunga o di una sonda campionatrice. In tal caso, per l'ottenimento di un campione rappresentativo, riveste una importanza fondamentale

il processo di riduzione dimensionale e di omogeneizzazione dei diversi incrementi prelevati. A tal pro si fa riferimento alle seguenti schede di campionamento:

-- Scheda di campionamento n° 25

stato fisico: polveri o granulati

giacitura: ammassi

tipo di campione: selettivo

strumenti: paletta o succhiello, asta telescopica di prolunga, imbuto o tramoggia, contenitore a bocca larga

- Procedura di campionamento

Prelevare il campione utilizzando una paletta o un succhiello, immergendoli nella massa del materiale nel punto previsto dal piano di campionamento, eventualmente fissandoli ad un'asta telescopica di prolunga. estrarre la paletta o il succhiello e livellare il materiale, eliminando quello in eccesso, in modo che non superi l'altezza dei bordi. Trasferire il campione in un contenitore di materiale e di capacità opportuni, eventualmente servendosi di un imbuto o tramoggia. ripetere le operazioni sopra riportate fino alla raccolta della quantità richiesta del campione. Siglare ed etichettare il contenitore e compilare la documentazione di prelievo.

-- Scheda di campionamento n° 26

stato fisico: polveri e granulati

giacitura: ammassi

tipo di campione: direzionale

strumenti: sonda campionatrice di sezione adeguata alle dimensioni delle particelle del materiale da campionare, imbuto o tramoggia, contenitore a bocca larga.

- Procedura di campionamento

Prelevare il campione utilizzando una sonda campionatrice o un succhiello immergendoli attraverso la massa nella direzione specificata dal piano di campionamento. Estrarre tutto il materiale prelevato dalla sonda e trasferirlo per intero in un contenitore di materiale e capacità opportuni eventualmente servendosi di un imbuto o di una tramoggia. man mano che il dispositivo attraversa la massa del materiale, e prelevare una serie di incrementi fino a che si è attraversata tutta la massa

(eventualmente utilizzare aste di prolunga). Unire gli incrementi a formare un unico campione composito. Siglare ed etichettare il contenitore, ed infine compilare la documentazione di prelievo.

8.2.9 - Campionamento di materiali grossolani: organico in ingresso

La pezzatura influenza significativamente la qualità e la rappresentatività del campionamento, perciò la quantità da prelevare viene dettata non solo dalle esigenze delle determinazioni da seguire, ma anche dalla pezzatura del materiale [30].

8.2.9.1 - Strumenti in dotazione

Al fine di effettuare tale campionamento risulta necessario poter disporre di: paletta, pala o altro attrezzo per il campionamento di dimensioni adeguate, imbuto tramoggia, barattolo a bocca larga.

8.2.9.2 - Operazioni preliminari al campionamento

Localizzare un punto di accesso dal quale sia possibile procedere al campionamento secondo quanto previsto dal piano di campionamento. Annotare ogni circostanza anomala o significativa rispetto al Piano di campionamento.

8.2.9.3 - Indicazioni generali per il campionamento

In genere, per questo tipo di giacitura, è accessibile per il prelievo solo lo strato alla superficie del materiale in vicinanza del punto di accesso. Per limite di ordine pratico, quindi, il campione deve venire prelevato da questo strato e può non essere rappresentativo di tutto il materiale. Qualora siano disponibili numerosi punti di accesso (per esempio lungo il perimetro di un ammasso), potrà essere accettabile il prelievo di un campione composito costituito da più incrementi selettivi, prelevati dal bordo dell'ammasso. La quantità da prelevare deve essere funzione della pezzatura del materiale e della sua omogeneità. In alcune situazioni, le normali pale o palette possono non essere adeguate allo scopo o non pratiche da usare; in tali casi potrà essere possibile impiegare benne, trivelle, carotatori o altri utensili. A tal pro si fa riferimento alle seguenti schede di campionamento:

-- Scheda di campionamento n° 34

stato fisico: materiali grossolani

Giacitura: ammassi

tipo di campione: selettiva

strumenti: pala o paletta, imbuto o tramoggia, contenitore a bocca larga

- Procedura di campionamento

Prelevare il campione utilizzando un dispositivo adeguato e di dimensioni proporzionali alla pezzatura del materiale, secondo le indicazioni e nel punto previsto dal piano di campionamento, immergendolo nella massa del materiale. Estrarre l'attrezzo di prelievo e trasferire il campione in un contenitore di materiale e di capacità opportuni, eventualmente servendosi di un imbuto o di una tramoggia. Ripetere le operazioni sopra riportate fino alla raccolta della quantità richiesta del campione. Siglare ed etichettare il contenitore e compilare la documentazione di prelievo.

-- Scheda di campionamento n° 35

stato fisico materiali: grossolani

giacitura: ammassi

Tipo di campione: direzionale

strumenti: pala o paletta, imbuto o tramoggia, contenitore a bocca larga

- Procedura di campionamento

Seguendo la procedura indicata nella scheda n° 34, prelevare una serie di campioni selettivi, nella direzione e tra le posizioni indicate dal piano di campionamento. Unire i diversi campioni selettivi a formare un unico campione direzionale. Trasferire il campione in un contenitore di materiale e di capacità opportuni, eventualmente servendosi di un imbuto o tramoggia. Siglare ed etichettare il contenitore ed infine compilare la documentazione di prelievo.

8.2.10 - Campionamento di rifiuti liquidi e/o fanghi liquidi: percolato impianto

Si tratta di rifiuti normalmente liquidi a temperatura ambiente e comprendenti liquidi volatili, viscosi ed emulsioni. Nel caso di liquidi viscosi, se il prelievo viene

eseguito per mezzo di un campionatore a tubo, questo dovrà essere munito di valvola di fondo. I tempi necessari per scolare il liquido che aderisce all'esterno del dispositivo di prelievo e per trasferire il liquido alla bottiglia di raccolta aumentano in proporzione alla viscosità del liquido stesso [2] [30] [42].

8.2.10.1 - Strumenti in dotazione

Al fine di effettuare tale campionamento risulta necessario poter disporre di: bottiglia zavorrata e/o campionatore a bicchiere con asta telescopica di lunghezza sufficiente, imbuto, bottiglia trasparente a bocca larga.

8.2.10.2 - Operazioni preliminari al campionamento

Localizzare un punto di accesso dal quale sia possibile procedere al campionamento. Annotare ogni circostanza anomala o significativa rispetto al piano di campionamento.

8.2.10.3 - Indirizzi generali per il campionamento

Nel caso di vasche o fosse di grandi dimensioni, l'ottenimento di un campione rappresentativo è a volte ostacolato a causa di problemi di accessibilità e sicurezza. In ogni caso, durante le eventuali operazioni di svuotamento è possibile prelevare un campione primario operando come per le tubazioni di flusso ad estremità libera. In tutte le altre situazioni si ricorrerà al prelievo di un certo numero di campioni selettivi dal bordo della vasca mediante bottiglia zavorrata oppure dal centro della vasca, per mezzo di un campionatore a bicchiere munito di asta telescopica. A tal pro si fa riferimento alle seguenti schede di campionamento:

-- Scheda di campionamento n° 16

stato fisico: rifiuti liquidi, fanghi liquidi

giacitura: vasche o fosse

tipo di campione: selettivo sul perimetro

strumenti: bottiglia zavorrata o simile, imbuto, bottiglia di vetro chiaro a

bocca larga

- Procedimento di campionamento

Prelevare gli incrementi specificati dal piano di campionamento, procedendo dall'alto verso il basso, come di seguito indicato. Calare la bottiglia di campionamento chiusa fino alla profondità specificata. Fare aprire la bottiglia e lasciare che il liquido fluisca al suo interno. Quando è cessata la risalita di bolle d'aria, recuperare la bottiglia, lasciando scolare il liquido che vi aderisce esternamente. Estrarre la bottiglia di campionamento ed asciugarla, oppure trasferire il contenuto in una seconda bottiglia di campionamento di capacità e materiali opportuni. Ripetere le operazioni sopra riportate fino alla raccolta della quantità richiesta di campione per ogni singolo strato. Se sono presenti sostanze volatili, utilizzare un primo incremento per risciacquare la bottiglia di raccolta. In quest'ultimo caso svuotare completamente la bottiglia di raccolta prima di procedere al campionamento, scartando il liquido risultante. Siglare ed etichettare la bottiglia ed infine compilare la documentazione di prelievo.

-- Scheda di campionamento n° 17

stato fisico rifiuti: liquidi, fanghi liquidi

giacitura: vasche o fosse

tipo di campione: selettivo dal centro

strumenti: campionatore a bicchiere, imbuto, bottiglia di vetro chiaro a bocca

larga

- Procedimento di campionamento

Fissare il bicchiere in cima all'asta telescopica. Immergere l'asta col bicchiere capovolto fino alla profondità specificata dal piano di campionamento e quindi rovesciarlo riportando l'imboccatura verso l'alto. Estrarre il becker e trasferire il contenuto in una bottiglia di raccolta di capacità e materiale opportuno. Ripetere le operazioni sopra riportate fino alla raccolta della quantità richiesta di campione per ogni singolo strato. Se sono presenti sostanze volatili, utilizzare un primo incremento per risciacquare la bottiglia di raccolta. In quest'ultimo caso svuotare completamente la bottiglia di raccolta prima di procedere al campionamento, scartando il liquido risultante. Siglare ed etichettare la bottiglia ed infine compilare la documentazione di prelievo [42].

8.2.11 - Campionamento acque sotterranee

8.2.11.1 - Parametri da determinare

I parametri da determinare sono:

- pH;
- Cloruri;
- NO₂;
- NO₃;
- NH₄;
- TOC;
- P;
- Cd;
- Cr;
- Pb;
- N tot.

Nel campionamento di acque sotterranee, è indispensabile registrare su carte geografiche di scala appropriata (1:10.000 o 1:25.000) le coordinate del luogo di prelievo. Questa operazione viene oggi effettuata in modo semplice mediante strumenti di posizionamento satellitare (Global Position System, GPS) alla portata di chiunque. Anche la corretta misura della profondità del punto di prelievo rappresenta una variabile di campo significativa per interpretazioni successive della validità e/o rappresentatività del campionamento [3] [9].

Le strategie di campionamento possono essere:

- casuali;
- stratificate;
- sistematiche;
- preferenziali o ragionate;
- istantanee.

Per campionamento “istantaneo” si intende il prelievo di un singolo campione in un'unica soluzione in un punto determinato ed in un tempo molto breve. il campionamento istantaneo è da considerarsi rappresentativo delle condizioni presenti all'atto del prelievo ed è consigliabile per controllare scarichi accidentali e/o

occasionali di brevissima durata. Si può utilizzare tale tipo di campionamento anche per altri tipi di scarico e per le seguenti finalità:

- controlli estemporanei derivanti da necessità contingenti o per determinare effetti istantanei sull'ambiente ricettore;
- controllo delle escursioni dei valori di parametri in esame nel caso di scarichi a composizione variabile;
- controllo di parametri particolari, quali temperatura, ossigeno disciolto, pH, solfuri, cianuri liberi e altri, i valori dei quali possono essere modificati nel corso di un campionamento prolungato.

Il campionamento istantaneo è quello effettuato regolarmente presso l'impianto di Ca'Baldacci: come sistema di campionamento si preleva una certa aliquota d'acqua a 2 differenti profondità, tramite secchio raccoglitore in plastica e, attraverso un imbuto, si riempie una bottiglia in PET per pozzetto.

Un altro sistema di campionamento, non utilizzato nel nostro impianto di compostaggio, è quello previsto per piccoli volumi di acqua. Questo sistema permette di raccogliere diverse aliquote di campioni in uno o più contenitori da sottoporre successivamente a filtrazioni ed analisi. Si tratta di un sistema di semplice utilizzo e manutenzione anche da parte di operatori non specializzati.

Il prelievo del campione di acqua può essere effettuato con sistemi di campionamento costituiti da bottiglie verticali (bottiglia di Niskin) o orizzontali (van Dorn) o tramite un campionatore automatico: le bottiglie Niskin e van Dorn sono costituite da cilindri di materiale plastico le cui estremità sono aperte nella fase iniziale del campionamento e che possono essere chiuse alla profondità prestabilita del corpo idrico in esame, tramite l'invio di un messaggero. Il messaggero attiva un meccanismo che permette la chiusura di entrambe le estremità delle bottiglie. La capacità delle bottiglie è molto variabile: in genere i volumi prelevabili variano da 1 dm³ fino a 30 dm³. Questi sistemi forniscono un campione istantaneo e non prelievi integrati nel tempo e sono quindi rappresentativi solo della qualità dell'acqua al momento e nel sito puntuale in cui il campione di acqua è prelevato. Generalmente utilizzando questi sistemi di campionamento intercorre un certo periodo tra il campionamento e la successiva filtrazione del campione in laboratorio. Durante questo periodo la frazione più pesante del particolato in sospensione (particelle di dimensioni maggiori) può depositarsi sul fondo della bottiglia. al fine di assicurare un campione omogeneo e rappresentativo delle acque in esame, particolari cautele

dovranno essere prese in questo caso per non perdere la frazione più pesante del particolato in sospensione, sia durante l'apertura delle estremità delle bottiglie, sia nel caso in cui si voglia filtrare solo un'aliquota del campione raccolto con la bottiglia. nel caso in cui la componente solida sospesa non sia distribuita uniformemente nella colonna d'acqua, il campione raccolto con questi sistemi va riferito allo strato di colonna interessato dal campionamento e non a tutta la massa d'acqua. Campionatori del tipo a "bottiglia orizzontale" sono da preferire a campionatori verticali, nel caso in cui si vogliano caratterizzare forti gradienti verticali di variabili ambientali nella colonna d'acqua. Il campionatore automatico permette il prelievo contemporaneo di più campioni di acqua e particolato a diverse profondità e/o in diverse posizioni. questo sistema, a differenza di quanto avviene per le bottiglie Niskin o van Dorn, permette di effettuare anche prelievi integrati in un periodo temporale abbastanza lungo. Esistono due tipi principali di campionatori automatici, uno dipendente dal tempo e l'altro dal volume: quelli dipendenti dal tempo prelevano campioni discreti, compositi e continui, ma ignorano le variazioni di flusso del corpo idrico in esame, mentre quelli dipendenti dal volume prelevano campioni discreti, compositi o continui, ma in modo dipendente dalle variazioni di flusso. La scelta degli uni rispetto agli altri dipende dall'obiettivo dell'indagine. I campionatori automatici richiedono un'alimentazione elettrica che può essere fornita da batterie ricaricabili o da un motogeneratore. Se l'indagine richiede la separazione della frazione solida sospesa dalla componente liquida, i campioni di acqua raccolti con tutti i sistemi sopra descritti devono essere filtrati il più presto possibile dopo il campionamento. La filtrazione di un volume noto del campione di acqua è normalmente effettuata a temperatura ambiente, utilizzando filtri compatibili con il campione di acqua in esame. In questi sistemi di campionamento, in genere si opera con prelievi sistematici di tipo istantaneo (grab samples), mentre, nel caso siano evidenti forti variazioni nel tempo o comunque sia necessario definire con maggiore certezza un valore medio che caratterizzi una variabile dell'ambiente acquatico in esame, si possono utilizzare campioni ottenuti per miscelazione di aliquote raccolte ad intervalli di tempo prestabiliti (composite samples). In casi particolari, come ad esempio gli ambienti lacustri, l'integrazione temporale viene sostituita da quella spaziale (integrated samples), raccogliendo aliquote di campione rappresentative di un'intera colonna o di una superficie acquatica. Tale operazione, che può essere effettuata sia in modo manuale discontinuo che in modo automatico continuo, permette di rappresentare una

variabile con un valore integrato non dipendente direttamente dall'operatore. L'uso di campioni integrati, sebbene consenta solo valutazioni complessive, basate su medie temporali giornaliere, settimanali o mensili, sui meccanismi che governano il trasporto e la diffusione degli inquinanti, ha comunque il grande vantaggio di produrre un numero ridotto di campioni [30].

8.2.11.2 - Conservazione del campione

Conservare un campione significa garantire la stabilità e la inalterabilità di tutti i suoi costituenti nell'intervallo di tempo che intercorre tra il prelievo e l'analisi. questi aspetti non sono realizzabili al cento per cento; è però possibile ricorrere ad accorgimenti al fine di ridurre al minimo le alterazioni, salvaguardando la rappresentatività del campione. Un campione ambientale, nel momento stesso in cui viene separato e confinato in un recipiente non rappresenta più, a stretto rigore, il sistema di origine. da quel momento il campione inizia a modificarsi fisicamente (evaporazione, sedimentazione, adsorbimento alle pareti del contenitore ecc.), chimicamente (reazioni di neutralizzazione, trasformazioni ossidative ecc.) e biologicamente (attacco batterico, fotosintesi ecc.). Vari fattori di tipo meccanico concorrono inoltre all'alterazione della composizione del campione. Tra questi si ricordano l'imperfetta chiusura del contenitore ed il deposito o rilascio di sostanze sulle o dalle pareti del contenitore. Per ovviare a questi inconvenienti e per ridurre entro limiti accettabili le variazioni delle caratteristiche del campione è necessario utilizzare contenitori costituiti da materiali scelti di volta in volta, in funzione del parametro da determinare. La precipitazione dei metalli come idrossidi, l'adsorbimento dei metalli sulle superfici del contenitore, la formazione di complessi, la variazione dello stato di valenza di alcuni elementi, possono essere ritardati mediante l'aggiunta di stabilizzanti chimici e/o una idonea conservazione.

L'attività microbica, a cui è imputabile l'alterazione di alcuni parametri analitici (ad esempio COD, fosforo e azoto organici), può essere convenientemente ritardata mediante l'aggiunta di battericidi e/o ricorrendo alla refrigerazione. Le tabelle 2 e 3 in "Metodi analitici delle acque" – Manuali e Linee Guida (29/2003), riportano alcune raccomandazioni per quanto riguarda i contenitori, i principali conservanti e i procedimenti più adatti per la migliore conservazione del campione dal momento del prelievo a quello dell'analisi. Le suddette tabelle fanno riferimento alle acque di scarico.

Per quanto attiene i tempi massimi intercorrenti tra il prelievo e l'analisi, indipendentemente dalle indicazioni riportate nelle suddette tabelle, è raccomandabile eseguire sempre le analisi sui campioni, il più presto possibile dopo la raccolta. Al fine di avere maggiori garanzie di stabilità del campione è opportuno, in tutti quei casi in cui l'analisi andrà effettuata sul campione filtrato, eseguire la filtrazione entro le 24 ore e conservare il campione filtrato secondo le modalità indicate nelle suddette tabelle. Per attività non finalizzate al controllo si può ricorrere, dopo filtrazione del campione, ad una stabilizzazione per congelamento. Questo tipo di stabilizzazione consente l'effettuazione delle analisi anche dopo diverse settimane dal campionamento per la stragrande maggioranza degli analiti.

8.2.11.3 - Recipienti per la raccolta e il trasporto dei campioni

I contenitori utilizzati per la raccolta e il trasporto dei campioni non devono alterare il valore di quei parametri di cui deve essere effettuata la determinazione, in particolare:

- non devono cedere o adsorbire sostanze, alterando la composizione del campione;
- devono essere resistenti ai vari costituenti presenti nel campione;
- devono garantire la perfetta tenuta, anche per i gas disciolti e per i composti volatili, ove questi siano oggetto di determinazioni analitiche.

I materiali più usati per i contenitori sono generalmente il vetro, la plastica e altri materiali. Riguardo al vetro, che rimane il materiale da preferire, esistono in commercio diverse qualità che si differenziano per la composizione e per la resistenza agli agenti fisici e chimici. Tra questi i più indicati sono il vetro pyrex (boro-silicato) e il vycor (ad alto contenuto di silicio) che è di qualità migliore ma ha costi più elevati. Nel caso in cui non sia richiesta una particolare impermeabilità ai gas o nel caso in cui non vi siano interferenze dovute agli additivi organici (per esempio, plastificanti), si può ricorrere all'uso di materiale plastico che presenta il vantaggio di essere leggero, resistente all'urto ed economico. In questi casi, il polietilene presenta il vantaggio di essere più resistente agli agenti chimici ed alle variazioni termiche e presenta inoltre una buona resistenza all'urto. Sono anche segnalati contenitori costituiti da altro materiale polimerico come il policarbonato (soprattutto per campioni contenenti metalli), il teflon, il cloruro di polivinile e il polimetilpentene (Tpx). Esistono infine contenitori in metallo, per esempio acciaio Inox, usati per alcuni campionamenti particolari, ma il loro impiego non è molto diffuso.

In linea generale il volume del campione dipende dalle determinazioni da eseguire e dal metodo di analisi impiegato. Si consiglia di prelevare in ogni caso quantità di campione in eccesso e di distribuirlo in più contenitori, in modo da premunirsi dalla possibilità di perdita del campione per eventuali incidenti ed avere la possibilità di compiere ulteriori accertamenti, se ritenuti in seguito necessari. Tale aspetto è fondamentale, ad esempio, nel settore delle analisi forensi. qualora si renda necessario evitare il contatto del campione con l'aria o si debbano analizzare sostanze volatili, si consiglia di riempire il contenitore fino all'orlo. in quest'ultimo caso tale accortezza impedisce il trasferimento degli analiti nello spazio di testa e la loro perdita all'atto dell'apertura dei contenitori [2].

8.3 – Sperimentazione *Diflubenzuron*

Diflubenzuron: insetticida antiormonale giovanile, sintetico.

- Proprietà fisico-chimiche:

nome comune: diflubenzuron

nome chimico: 1-(4-chlorophenyl)3-(2,6 difluorobenzoyl)CO(NH₂)₂

formula bruta: C₁₄H₉ClF₂O₂

peso molecolare: 310,7

stato fisico: solido cristallino

colore: bianco

volatilità: non volatile

pt ebollizione: 210-230 °C

solubilità in acqua: 0,2 mg/l

decomposizione: 0,1 mg/l soluzione acquosa dopo 3 settimane a 20°C

- Meccanismo d'azione:

il diflubenzuron è un antiormone giovanile sintetico, inibitore di crescita di molti insetti (soprattutto ord. Ditteri). Lo sviluppo degli insetti olometaboli è molto complesso ed articolato, in quanto passa attraverso profonde modificazioni anatomico-strutturali ed è regolato da una serie di ormoni che ne cadenzano le tappe. Negli insetti è stato trovato un ormone cerebrale, attivante in senso lato, un ormone della muta e della metamorfosi (Ecdisone) a struttura fenantrenica; si tratta di un ormone giovanile (Neotenina), secreto dai corpi alati, che inibisce o ritarda la differenziazione della larva in adulto, ed interferisce nella produzione della membrana peritrofica,

bloccando la produzione degli ecdisteroidi cuticulari. La produzione e l'attività della Neotenina è diretta sull'Ecdisone che sviluppa i tessuti della larva: la larva muta quando viene a mancare l'apporto di Neotenina. Fornendo ormoni giovanili naturali o sintetici (competizione positiva) l'insetto resta larva e non diventa mai adulto. Il diflubenzuron inibisce l'enzima chitina-sintetasi impedendo la deposizione della chitina durante la muta: la larva s'ingrossa ma non metamorfosa. Tale antiormone è larvicida per ingestione, ed ovicida per penetrazione attraverso il corion delle uova. In taluni casi alcune forme riescono a sfarfallare, ma si tratta comunque di forme sterili. In relazione a tal meccanismo d'azione si tratta di un prodotto non tossicologico, ma enzimo-metabolico.

Il principio attivo grazie a cui agisce tale larvicida è rappresentato dal *Bacillus Thuringiensis*, uno stipite bacillare gram+, sporigeno, aerobio facoltativo, la cui importanza come antilarvale è in relazione con la produzione, al momento della sporulazione, di un corpo parasporale cristallino, di natura proteica, che viene identificato con una delta-endotossina particolarmente attiva sulle larve di Lepidotteri e/o Ditteri. La maggior attività si manifesta nei primi stadi larvali allorché le larve risultano più impegnate nell'assorbimento di cibo piuttosto che nei processi metamorfici.

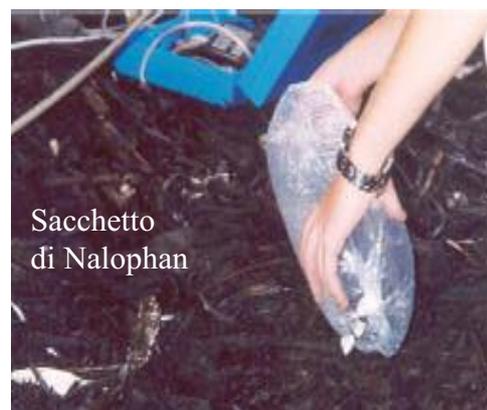
APPENDICE – FOTO STRUMENTAZIONE

RILIEVI IN CONTINUO



CAMPIONAMENTI





9. RISULTATI

9.1 PROCESSO

9.1.1 – Accettazione e controllo materiale in ingresso

Il Centro Trattamento Frazioni Organiche HERA S.p.A. di Ca' Baldacci (RN) riceve, in ingresso, sia matrici organiche derivanti da raccolta differenziata dei RSU (FOP e lignocellulosico) destinate alla Linea di Produzione Compost di qualità, sia materiale derivante da selezione meccanica di RSU indifferenziato (CER 191212) destinato alla Linea di Produzione Biostabilizzato. Gli accertamenti analitici sulle biomasse in entrata risultano, nel primo caso, a carico dell'impianto ricevente, mentre nel secondo sono effettuate direttamente dal conferitore (salvo specifica richiesta).

MATERIALE IN INGRESSO				
FRAZIONE ORGANICA UMIDA DA RACCOLTA DIFFERENZIATA RSU *				
ai sensi dell'Allegato 1.C della L 748/84 (DM 27 marzo 1998)				
PARAMETRI	u.d.m.	limiti	2003	2004
Odore			<i>putrido</i>	<i>putrido</i>
pH	<i>unità pH</i>	5-8,5	6,16	5,60
Umidità a 105 °c	<i>% t.q.</i>	≤ 80	83,36	83,52
Materiali inerti	<i>% s.s.</i>	≤ 3	2,73	0,41
Materiali ferrosi	<i>% s.s.</i>	≤ 0,5	0,04	0,08
Materie plastiche	<i>% s.s.</i>	≤ 1	1,71	0,28
Vetri (vaglio 3mm)	<i>% s.s.</i>	≤ 3	< 0,01	< 0,07
Sovvallo	<i>% s.s.</i>	≤ 5	4,49	0,84
Sostanza organica	<i>% s.s.</i>	≥ 50	78,89	81,31
Cadmio (Cd)	<i>mg/Kg s.s.</i>	1,5	0,23	0,50
Cromo esavalente (Cr VI)	<i>mg/Kg s.s.</i>	0,5	< 0,1	1,00
Mercurio (Hg)	<i>mg/Kg s.s.</i>	1,5	#	0,16
Nichel (Ni)	<i>mg/Kg s.s.</i>	50	2,33	9,92
Piombo (Pb)	<i>mg/Kg s.s.</i>	140	1,95	2,58
Rame (Cu)	<i>mg/Kg s.s.</i>	150	39,62	35,35
Zinco (Zn)	<i>mg/Kg s.s.</i>	500	33,45	54,17

*accertamenti analitici a carico dell'impianto

MATERIALE IN INGRESSO			
FRAZIONE ORGANICA UMIDA DA SELEZIONE MECCANICA RSU **			
ai sensi della Delib. Com. Int. 27 luglio 1984			
Parametri	u.d.m.	limiti	2004
Odore			<i>putrido</i>
pH	<i>unità pH</i>	5-8,5	6,20
Umidità a 105 °C	<i>% t.q.</i>	≤ 80	52,00
Materiali Inerti	<i>% s.s.</i>	≤ 3	44,00
Materiali Ferrosi	<i>% s.s.</i>	≤ 0,5	6,60
Materie Plastiche	<i>% s.s.</i>	≤ 1	17,60
Vetri (Vaglio 3mm)	<i>% s.s.</i>	≤ 3	0,60
Sovvallo	<i>% s.s.</i>	≤ 8	68,80
Sostanza Organica	<i>% s.s.</i>	≥ 40	61
Cadmio (Cd)	<i>mg/Kg s.s.</i>	10	0,5
Cromo Esavalente (Cr VI)	<i>mg/Kg s.s.</i>	10	< 0,5
Arsenico	<i>mg/Kg s.s.</i>	10	#
Mercurio (Hg)	<i>mg/Kg s.s.</i>	10	0,48
Nichel (Ni)	<i>mg/Kg s.s.</i>	200	34
Piombo (Pb)	<i>mg/Kg s.s.</i>	500	109
Rame (Cu)	<i>mg/Kg s.s.</i>	600	76
Zinco (Zn)	<i>mg/Kg s.s.</i>	2500	283

**accertamenti analitici a carico del conferitore

9.1.2 – Maturazione primaria

Vengono effettuati dei controlli di routine su determinati parametri che possono essere letti direttamente in campo (ad es. temperatura dei cumuli), oppure ottenuti tramite analisi di laboratorio (come nel caso di IR (valutato per determinare la stabilità biologica del materiale), C/N, umidità e pH). Per la determinazione di questi ultimi parametri si effettua una serie di campionamenti a cadenza settimanale, in modo che in un anno si siano effettuate all'incirca 26 analisi sul Biostabilizzato, ed altrettante sul Compost di qualità.

In questa prima fase i parametri indagati sono:

- Indice di respirazione, IR (mg/Kg O₂ SV s.s.*h);
- Umidità (%);
- Rapporto C/N;
- pH (unità di pH).

Metodica di campionamento (CNR–IRSA, 1984): il peso del campione da inviare al laboratorio di analisi deve essere pari a 4 kg, ed il prelievo effettuato in più punti su

piani orizzontali e a quote diverse. Tipologia di campionamento: campionamento da cumuli a diverso stadio di maturazione.

Ogni corsia (complessivamente l'area di biossidazione ne presenta 8, 2 per ognuno dei 4 settori) viene suddivisa in 4 parti (cumuli) corrispondenti ai 4 steps di lavoro della rivoltatrice; in tal senso, si studia l'andamento del processo in 4 periodi successivi (mediamente corrispondenti a 4, 20, 33, 60 gg per il compost; 4, 12, 19, 23 gg per il biostabilizzato). Per il campionamento del cumulo d'interesse specifico ho dunque operato nel modo seguente:

- individuo 4 porzioni (sezioni) equidistanti lungo l'andana o il perimetro del cumulo;
- in corrispondenza di ogni posizione prelevo almeno 4 campioni a 2 altezze (un terzo e due terzi dell'altezza del cumulo) e due profondità verso il cuore del cumulo (30 e 50 cm), tenendo presente che ogni campione elementare (quello proveniente da ogni singolo prelevamento) deve essere di almeno 1,5 kg;

- il campione composito, costituito da almeno 18 kg di materiale, deve essere ripetutamente miscelato; da questo si preleva il campione finale di almeno 3 kg (4 kg secondo la metodica CNR-IRSA, 1984);

- chiudo il campione in sacchetti di plastica e lo trasporto subito al laboratorio di analisi (si raccomanda, durante il trasporto, lo stoccaggio del campione a 1-5°C).

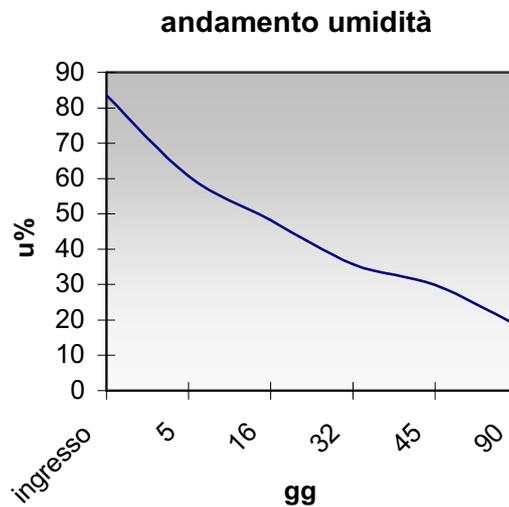
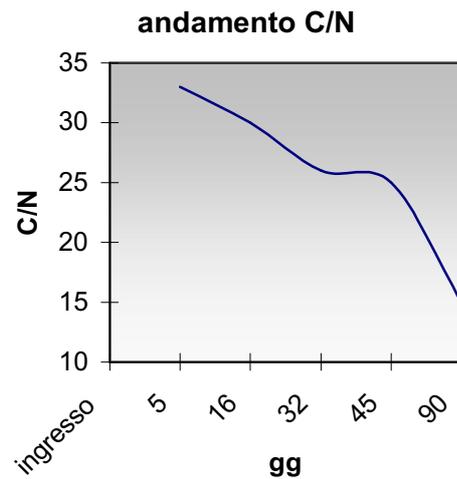
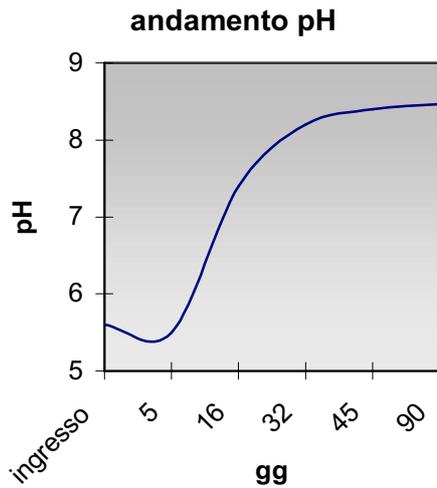
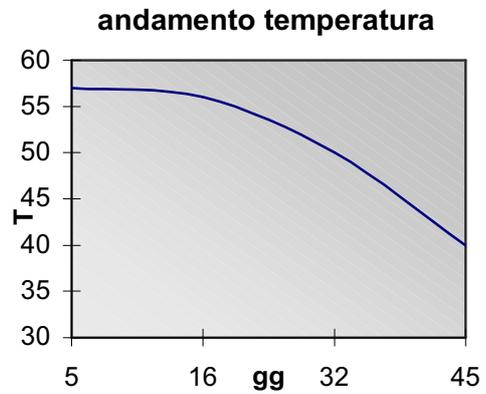
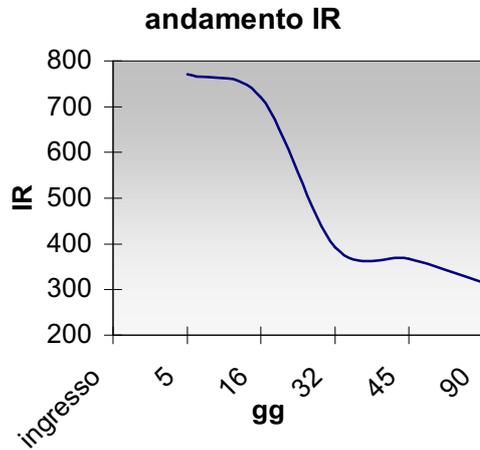
Il campione deve essere sempre contrassegnato con un'etichetta e provvisto di scheda di accompagnamento (Foglio richiesta analisi) che riporti le seguenti indicazioni: descrizione del materiale, data e luogo di campionamento, identificazione del campione, identificazione dell'operatore che ha effettuato il campionamento.

9.1.2.1 – Compost di qualità

Valori medi parametri di processo:

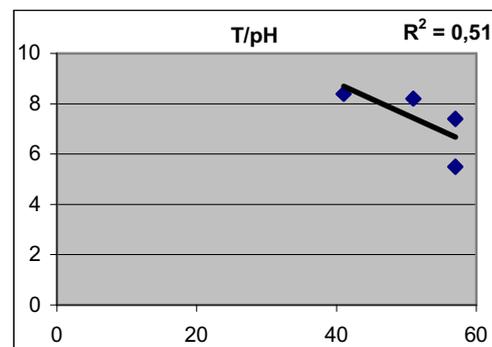
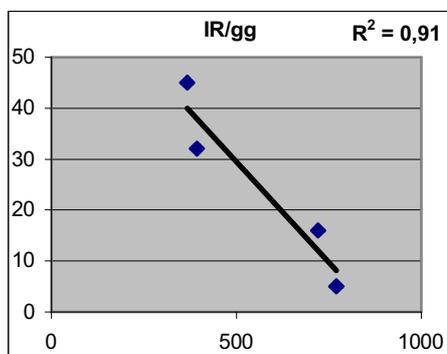
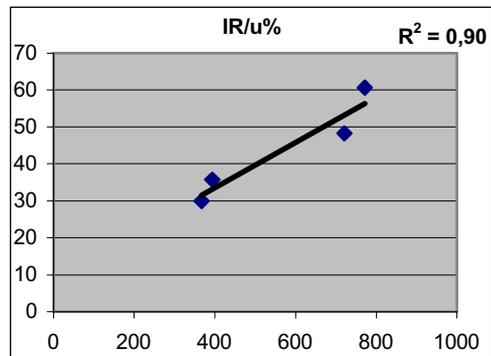
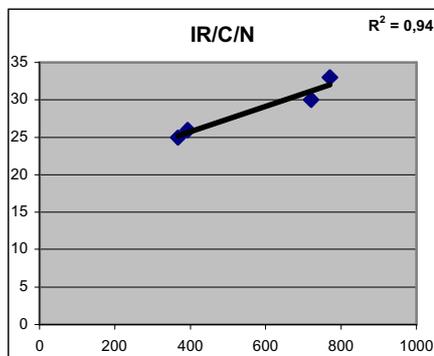
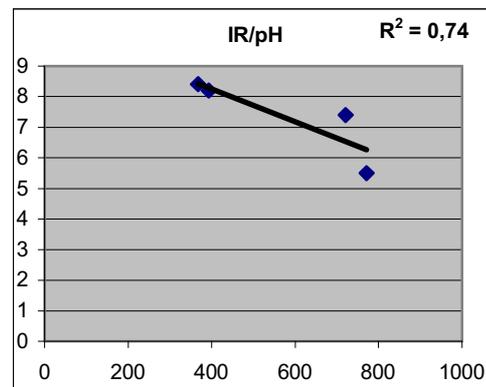
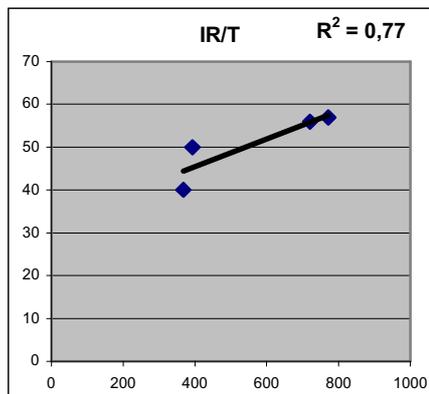
PUNTO	IR	T	pH	C/N	umidità	gg
1	771	57	5,5	33	60,7	5
2	721	56	7,4	30	48,2	16
3	393	50	8,2	26	35,7	32
4	367	40	8,4	25	29,9	45

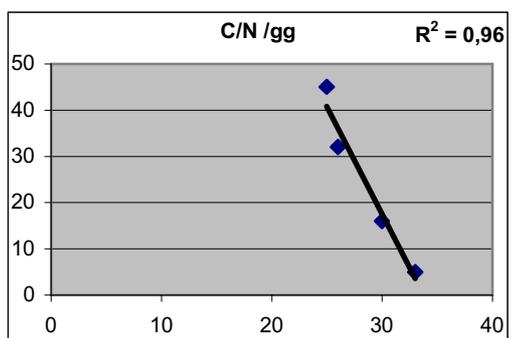
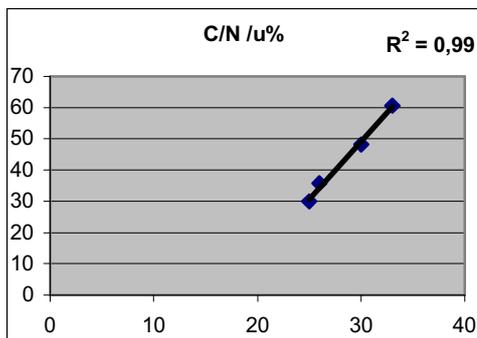
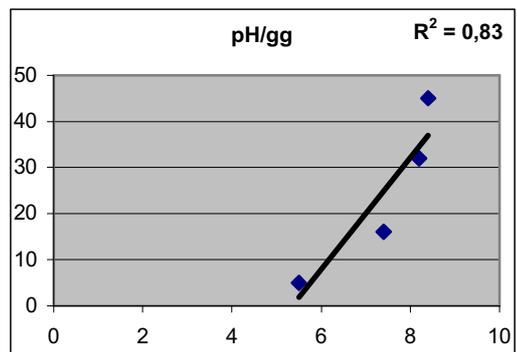
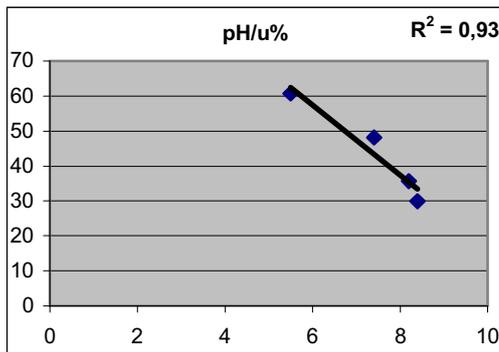
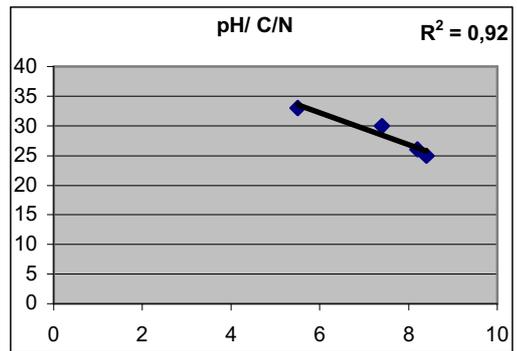
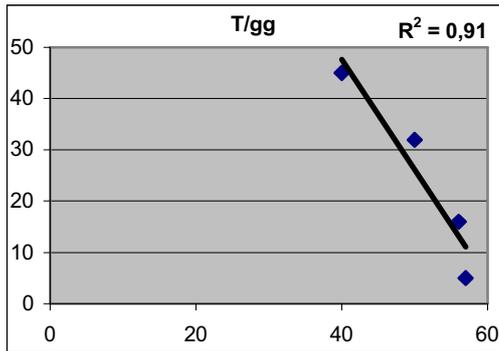
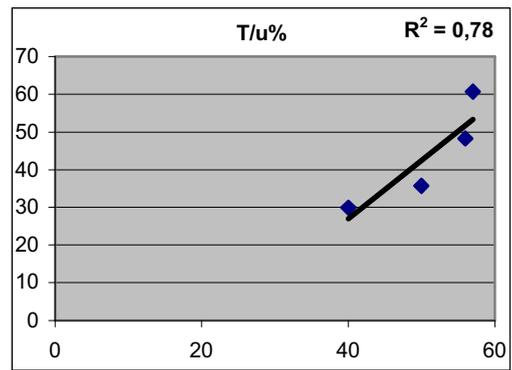
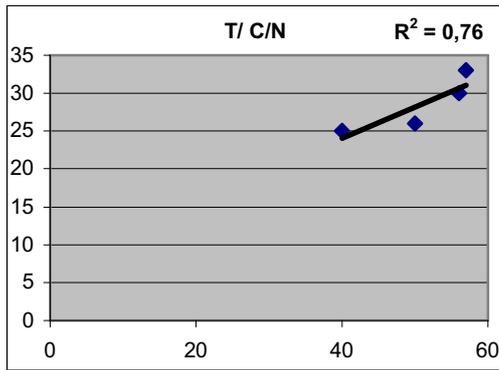
Di seguito sono riportati gli andamenti dei sopradetti parametri in relazione alla durata del processo bioossidativo:



Le correlazioni di Pearson “r²” del processo, che ho elaborato, risultano le seguenti:

	T	pH	C/N	u%	gg
IR	0,77	0,74	0,94	0,9	0,91
T	1	0,51	0,76	0,78	0,91
pH		1	0,92	0,93	0,83
C/N			1	0,99	0,96
u%				1	0,97
gg					1





Per capire se le correlazioni ottenute siano significativamente positive, ne ho calcolato il grado di confidenza, o significatività “r” (ossia la probabilità di non sbagliare qualora abbia considerato positiva la correlazione detta):

	T	pH	C/N	u%	gg
IR	0,86	-0,86	0,97	0,95	-0,95
T	1	-0,71	0,85	0,86	-0,94
pH		1	-0,96	-0,97	0,91
C/N			1	1	-0,98
u%				1	-0,98
gg					1

con significatività pari al 99,9% ($r_{0.01}$).

→ Calcolo del tempo di bagnatura nei cumuli in bioossidazione (zone 4a e 4b)

- Dimensioni cumuli: lunghezza: 6,5m; larghezza: 18m; altezza: 2m
- Volume cumuli: circa 240m³
- Densità apparente: 0,55 tonn/m³
- Peso cumulo: 132 tonn corrispondenti al peso di un cumulo con contenuto di umidità intorno al 40% (in funzione dello stato di maturazione)

Dunque, ad un contenuto di umidità del 20%, corrisponde un peso del cumulo di circa (132x0,8) tonn = 105 tonn

- Q_{pompe} : 100 l/min che è come dire 100 kg/min di acqua

In base a questi assunti è possibile calcolare un tempo bagnatura nei cumuli in bioossidazione (esclusivamente nelle zone di uscita dei settori, e senza ricircolo di percolato ai fini di evitare problemi dal punto di vista microbiologico) pari a:

$$(132-105) \times 1000 = 27000 \text{ kg}$$

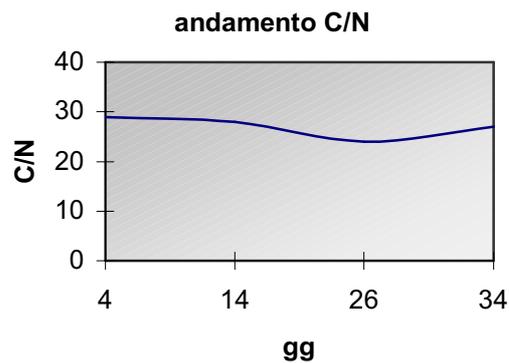
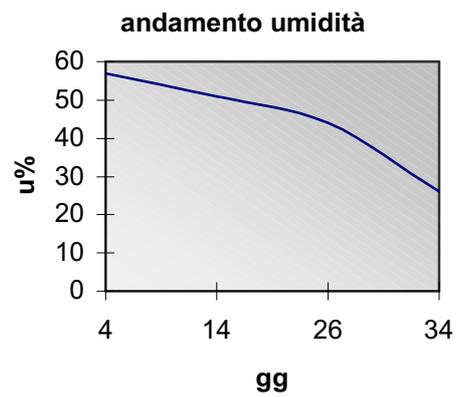
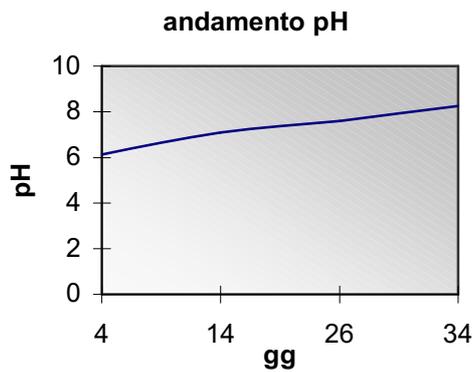
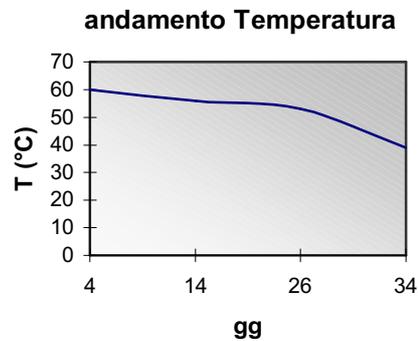
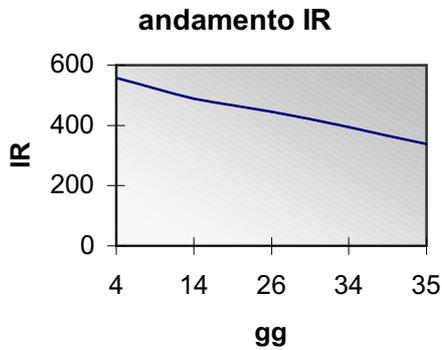
$$27000/100 = 270 \text{ min} / 60 = 4,5 \text{ h (totale settimana)} / 7 = \text{circa } 45' \text{ giorno}$$

9.1.2.2 – Biostabilizzato

Valori medi parametri di processo:

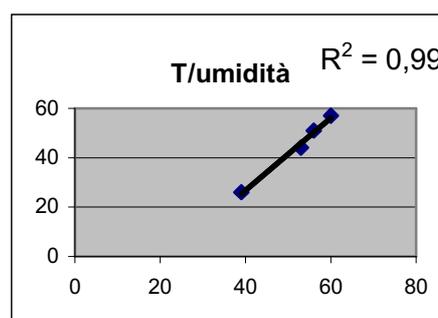
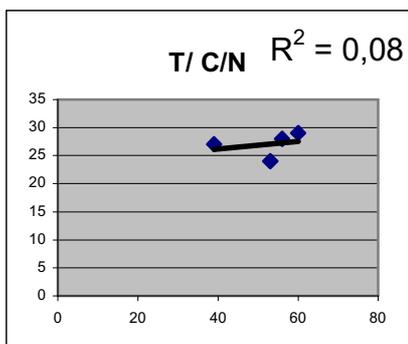
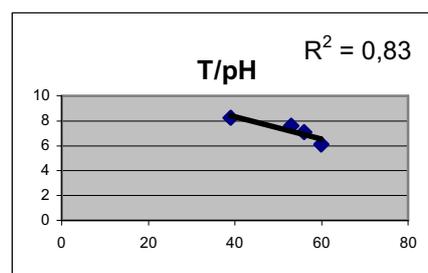
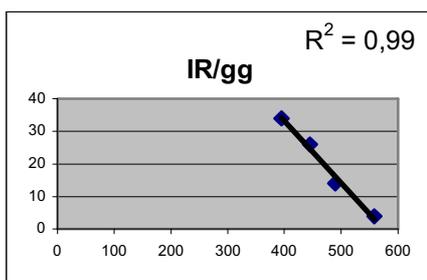
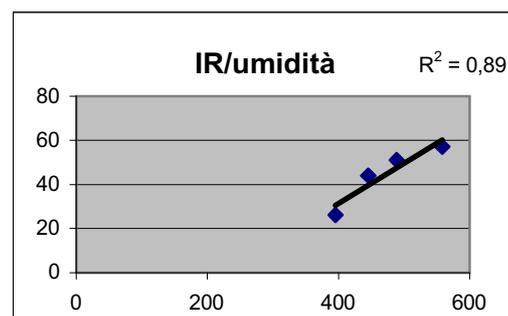
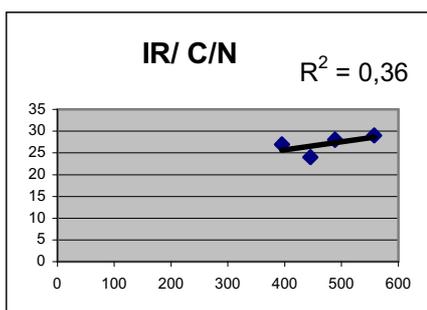
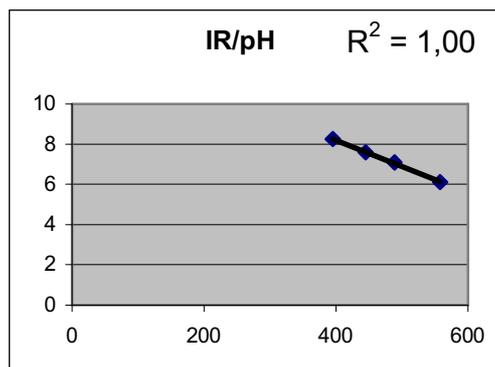
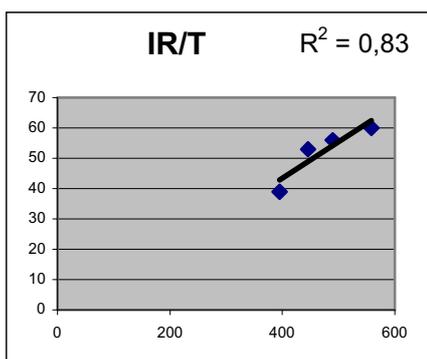
	IR	T	pH	C/N	u%	gg
1	558	60	6,12	29	57	4
2	489	56	7,08	28	51	14
3	445	53	7,6	24	44	26
4	395	39	8,26	27	26	34

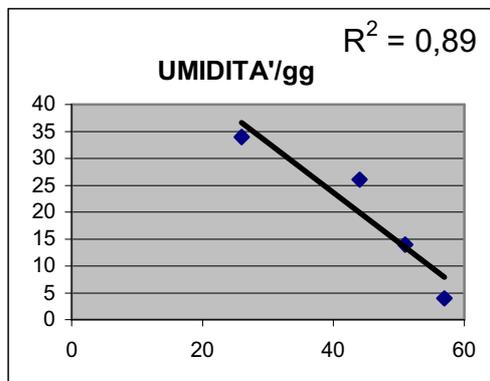
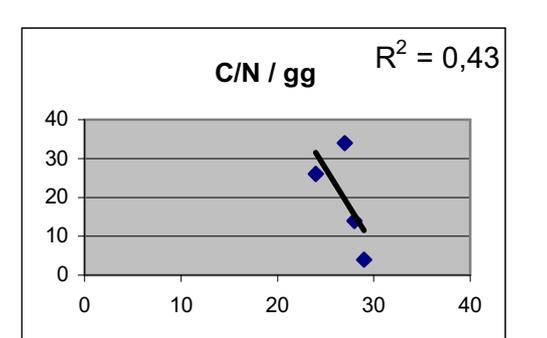
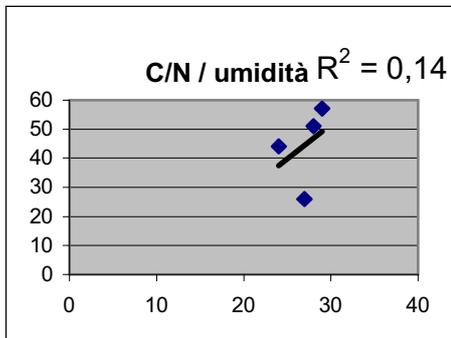
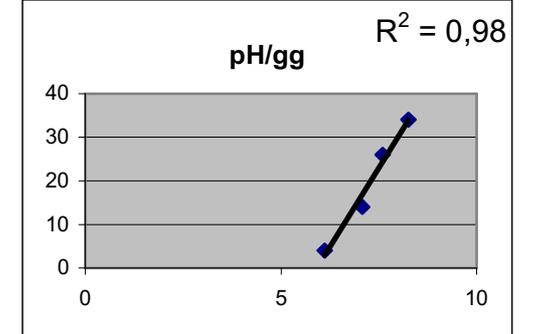
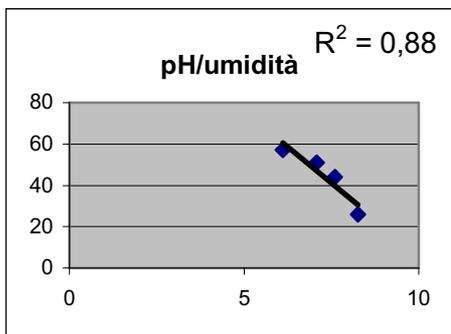
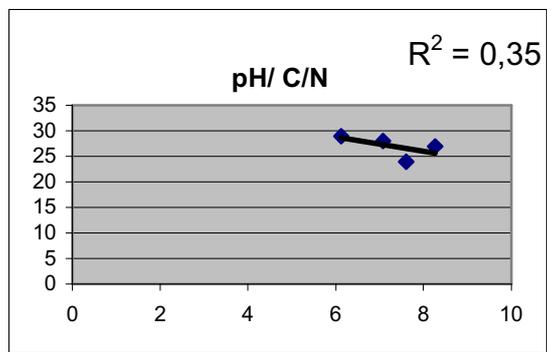
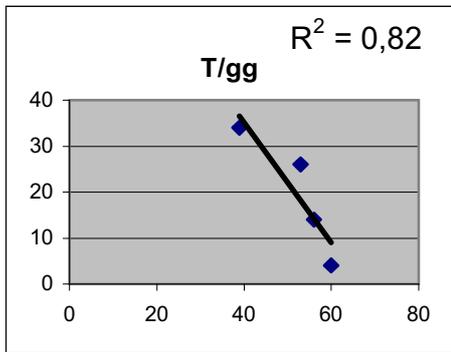
Di seguito sono riportati gli andamenti dei sopradetti parametri in relazione alla durata del processo bioossidativo:



Le correlazioni di Pearson “r²” del processo che ho ottenuto sono le seguenti:

	T	pH	C/N	u%	gg
IR	0,83	1	0,36	0,89	0,99
T	1	0,83	0,08	0,99	0,82
pH		1	0,35	0,88	0,98
C/N			1	0,14	0,43
u%				1	0,89
gg					1





Per capire se le correlazioni ottenute siano significativamente positive, ne ho calcolato il grado di confidenza, o significatività “r” (ossia la probabilità di non sbagliare qualora abbia considerato positiva la correlazione detta):

	T	pH	C/N	u%	gg
IR	0,91	-1	0,6	0,94	-0,99
T	1	-0,91	0,29	1	-0,91
pH		1	-0,59	-0,94	0,99
C/N			1	0,38	-0,65
u%				1	-0,94
gg					1

con significatività pari al 99,9% ($r_{0.01}$).

9.1.3 – Maturazione secondaria

Il materiale, una volta entrato nel box di maturazione secondaria, vi staziona per circa 2 mesi allo scopo di evolvere a Compost di qualità; una volta maturo, dopo vagliatura e finissaggio, viene portato al piazzale di stoccaggio per essere caricato su appositi mezzi in relazione a chi ne richiede l'utilizzo. Nell'arco di questi due mesi il compost subisce dei rivoltamenti allo scopo di favorirne l'ulteriore maturazione e stabilizzazione finale. Il Biostabilizzato invece, dopo vagliatura, viene immediatamente inviato al piazzale di stoccaggio per essere caricato su appositi mezzi e portato in discarica come materiale stabile da un punto di vista biologico.

Tipologia di campionamento: è la stessa descritta nel precedente paragrafo.

9.1.4 – Ammendante Compostato Misto (ACM)

I valori medi dei parametri ottenuti sul prodotto finito/compost, sono i seguenti:

pH		6-8,5	8,47
umidità	%	<50%	18,48
materiale plastico <3mm	% s.s.	<0,45%	0,07
materiale plastico 3<d<10mm	% s.s.	<0,05%	0,04
materiale inerti <3mm	% s.s.	<0,9%	1,65
materiale inerti 3<d<10mm	% s.s.	<0,1%	0,9
materiale plastico >10mm	% s.s.	assenti	0,03
materiale inerti >10mm	% s.s.	assenti	0,03
C org	% s.s.	>25%	29,07
acidi umici+fulvici	% s.s.	>7%	8,2
N org	% s.s.	>80%	1,89
C/N		<25	14,33
Cu	mg/Kg s.s.	150	76,13
Zn	mg/Kg s.s.	500	118,53
Pb	mg/Kg s.s.	140	35,98
Cd	mg/Kg s.s.	1,5	0,75
Ni	mg/Kg s.s.	50	15,93
Hg	mg/Kg s.s.	1,5	0,59
Cr VI	mg/Kg s.s.	0,5	0,2
Salmonelle	in 50g t.q.	assenti	assenti
Streptococchi fecali	MPN/g s.s.	1000	723
Nematodi	in 50g t.q.	assenti	assenti
Trematodi	in 50g t.q.	assenti	assenti
Cestodi	in 50g t.q.	assenti	assenti
IR	mg/KgO2S.V.s.s.h		314,67

Tali valori permettono di asserire che il suddetto compost di qualità rappresenta un buon Ammendante Compostato Misto (ACM) ad utilizzo agronomico. Si notino in particolare i valori ottimali di C_{org}, N_{org}, C/N, Acidi umici ed acidi fulvici, ed IR; gli elevati (seppur entro parametro di norma) valori relativi agli Streptococchi fecali sono dovuti presumibilmente alle movimentazioni del materiale con gli stessi mezzi operativi utilizzati per il biostabilizzato, così come ai campionamenti effettuati senza alcuna sterilizzazione degli strumenti in dotazione.

9.1.5 – Biostabilizzato

I valori medi dei parametri ottenuti sul rifiuto/biostabilizzato sono i seguenti:

pH		6-8,5	8,33
materiali inerti	% s.s.	<3%	13,7
vetri	% s.s.	<3%	8,5
materie plastiche	% s.s.	<1%	1,4
materiali ferrosi	% s.s.	<0,5%	0,3
As	mg/Kg s.s.	10	1,9
Cd	mg/Kg s.s.	10	5,4
Cr III	mg/Kg s.s.	500	46,3
Cr VI	mg/Kg s.s.	10	1,4
Hg	mg/Kg s.s.	10	1,7
Ni	mg/Kg s.s.	200	46,7
Pb	mg/Kg s.s.	500	198,3
Cu	mg/Kg s.s.	600	219,9
Zn	mg/Kg s.s.	2500	342,8
IR	mg/KgS.V.s.s.h	<400	338

Tali valori permettono di asserire che si tratta di un buon materiale per la ricopertura giornaliera e per il capping in discarica (si notino i valori ottimali dell'IR).

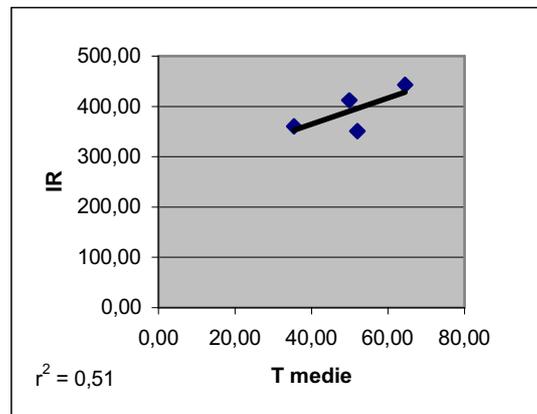
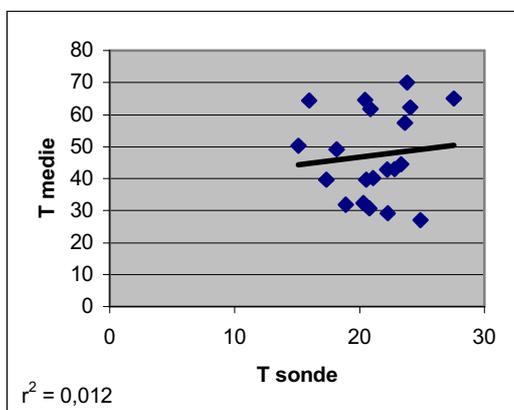
Talora, in estate, può verificarsi qualche problema legato alle polveri (materiale troppo asciutto) durante il carico del materiale sui mezzi in uscita, problema peraltro risolto con un idoneo programma di bagnatura.

9.1.6 – Analisi delle temperature in area di bioossidazione primaria

L'analisi delle temperature durante i campionamenti, nell'area di bioossidazione primaria, rappresenta un importante compendio nella valutazione complessiva dell'andamento di processo. In tal senso, per ogni campionamento settimanale, viene letta sia la temperatura di analisi sulla sonda di rilevamento (in entrata materiale (vomere), ed in uscita cumulo o zona 4 (rivoltatrice)), sia gli andamenti termici orizzontali su 8 punti di campionamento (comprese 2 punti a ridosso delle pareti per valutare il distacco per "effetto muro" del cumulo in compattazione) in zona intermedia 1-2 ed in zona intermedia 3-4. Segue un esempio sul cumulo 1.1:

ES. CUMULO 1.1 (21/09/04)										
	t sonda	parete sx							parete dx	media
LATO VOMERE	28,81	56	44	65	55	59	66	60	59	58,00
LATO RIVOLTATRICE	27,18	59	68	74	68	67	67	50	51	63,00

In tal senso è risultato interessante studiare il grado di correlazione di questi parametri termici, utile a capire se e in che modo eventualmente incide la temperatura durante particolari fasi del processo (stagionalità; fermo-impianto; stop insufflazione).



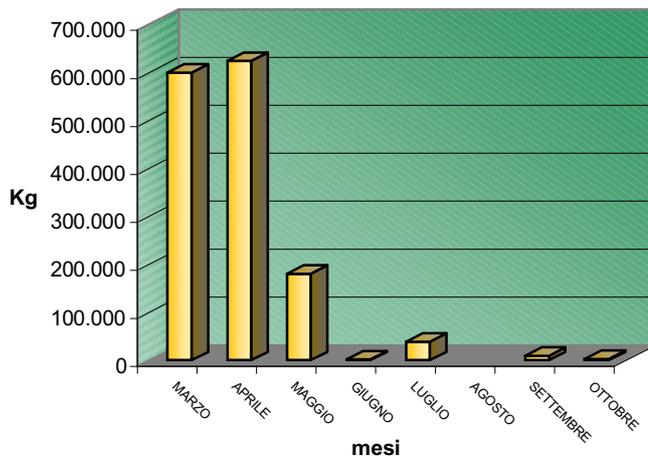
9.1.7- Trend di mercato prodotto Compost di qualità (ACM, Ca' Baldacci)

Le analisi effettuate dimostrano che il prodotto Compost di qualità (Ammendante Compostato Misto) rispetta i limiti previsti dalla legge 748/84 sui fertilizzanti, così come disposto all'All.2, modificato dal DM 27 marzo 1998.

Dai responsi analitici non si denotano problemi relativi ai vari macro- e micronutrienti, ai valori dell'Indice respirometrico, al contenuto di sostanza organica del prodotto, al quantitativo di acidi umici e fulvici (molto importanti dal momento che garantiscono una buona CSC del terriccio), così come ai valori dell'umidità.

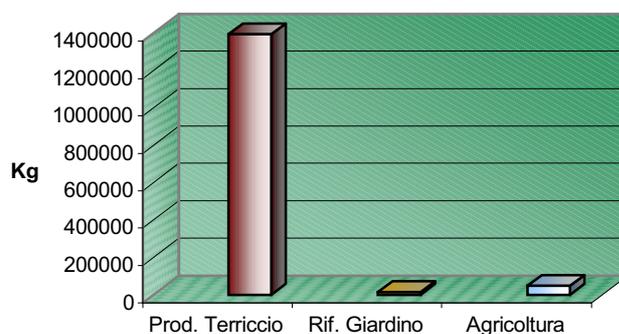
Diverse sperimentazioni, come da letteratura, dimostrano che l'impiego di compost, presentante caratteristiche simili a quello prodotto nell'impianto di Ca'Baldacci, se utilizzato in miscela con percentuali di torba e materiali inerti, consente di ottenere substrati di coltivazione con ottime caratteristiche agronomiche.

Vendite mensili compost



MESE	KG
marzo	598.280
aprile	622.520
maggio	180.280
giugno	1.440
luglio	38.700
agosto	
settembre	9.060
ottobre	2.620

Distribuzione compost settori d'utilizzo



SETTORE	Kg
prod. terriccio	1.393.220
rif. giardino	13.820
agricoltura	45.860

9.1.8 - Sperimentazione larvicida *Diflubenzuron*

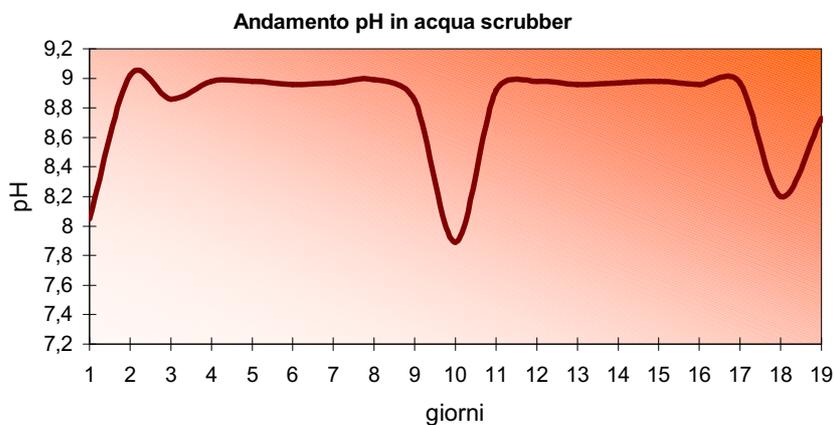
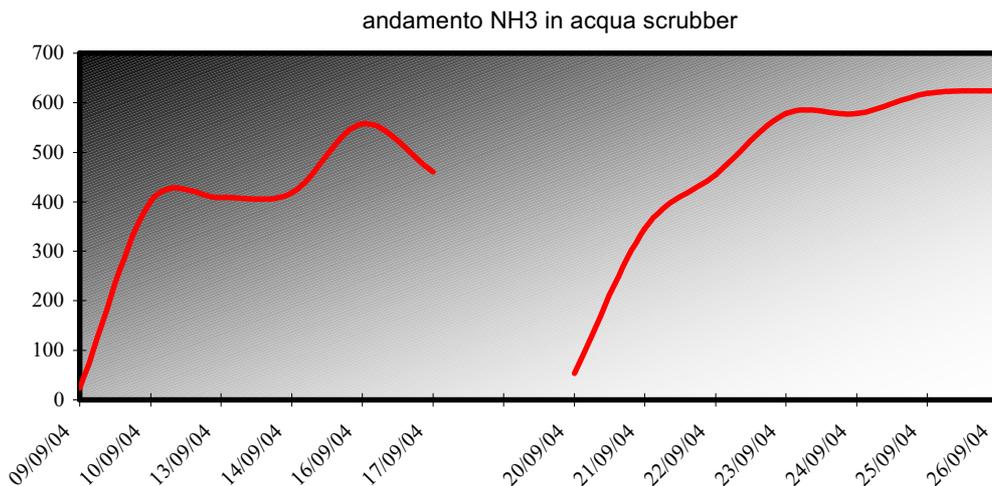
- Cumulo campione settore 1.2, posizionato in area II:
 - dimensioni cumulo (50x50x15)cm³
- Prodotto in soluzione acquosa: circa 10ml / 1_{H2O}
- Fasi di sperimentazione:
 - un campione come testimone;
 - un'analisi a settimana per determinare lo stato di degrado del prodotto nel cumulo.
- Tempi di sperimentazione previsti: 15-20gg
- Parametri analizzati:

parametri	u.d.m.	ANALISI 1	ANALISI 2
Rapporto C/N	mg/kg s.s.	11	13
Cadmio (Cd)	mg/kg s.s.	0,171	0,199
Cromo III	mg/kg s.s.	41	
Cromo VI	mg/kg s.s.	0,1	0,1
Mercurio (Hg)	mg/kg s.s.	0,5	0,5
Nichel (Ni)	mg/kg s.s.	20	
Piombo (Pb)	mg/kg s.s.	23,6	
Rame (Cu)	mg/kg s.s.	31	
Zinco (Zn)	mg/kg s.s.	72	75
Azoto (N) tot.	% s.s.	2,81	2,74
Carbonio org.	% s.s.	30,9	35,3
Cloruri	mg/kg s.s.	4079	4381
Fluoruri	mg/kg s.s.	1	
Fenoli	mg/kg s.s.	9,48	6,21
Benzene	mg/kg s.s.	0,005	0,005

9.2 SCRUBBER

Lo scrubber è molto utile per abbattere sia le polveri (bioparticolato e bioaerosol), sia l' NH_3 che si sviluppa dalle reazioni di processo. La fase più importante è nel capire quando è il momento di cambiare l'acqua nel pozzetto di lavaggio dello scrubber: tale considerazione è legata non soltanto alla $[\text{NH}_3]$ ($K_{ps} = 51,8 \text{ g/l}$), ma anche alla quantità di fango (polveri in poltiglia acquosa) presente in griglia allo scopo di evitare intasamenti e problemi alla pompa di aspirazione del pozzetto. Per tale motivo, settimanalmente, si effettuano almeno due ricambi d'acqua nel pozzetto, oltre ad una verifica (ed eventuale pulizia) delle griglia interna allo scrubber.

I valori dell' NH_3 aumentano fortemente già dopo un solo giorno di permanenza dell'acqua nel pozzetto dello scrubber, e restano, nel tempo successivo che precede il ricambio, più o meno costanti, così come confermato anche dall'andamento dei valori del pH dell'acqua dello scrubber (ogni ricambio di H_2O è evidenziato da un picco ↓).



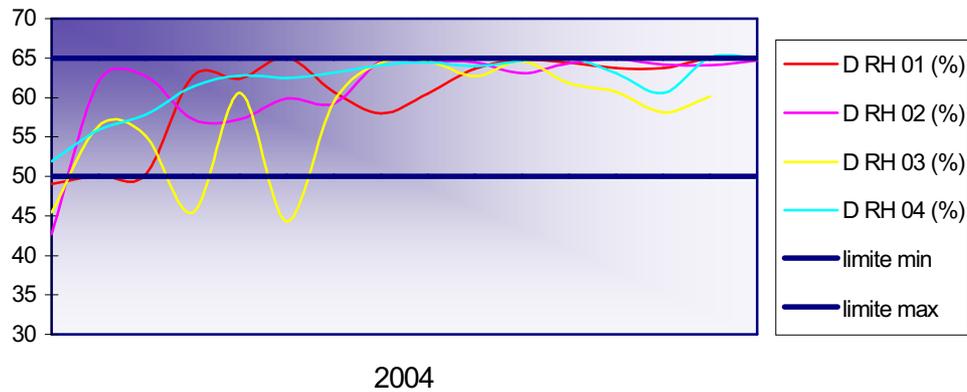
9.3 BIOFILTRI

Le condizioni operative ottimali per una corretta gestione dei biofiltri risultano:

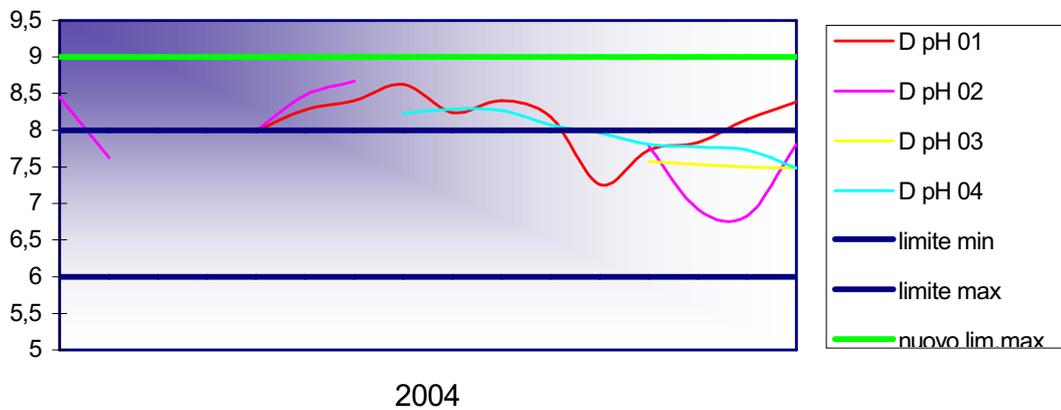
- umidità del letto biofiltrante: 50-65% (attraverso scrubber e sistema di spruzzatori)
- pH: 6-8, adeguata capacità tamponante (acqua)
- temperatura: 15-35°C (condizioni ottimali per i microrganismi aerobi)
- perdite di carico: 0,1-10 KPa (buona struttura del mezzo).
- $C_{org} > 60\%$
- assenza di composti tossici per i microrganismi.

Rilievi in continuo:

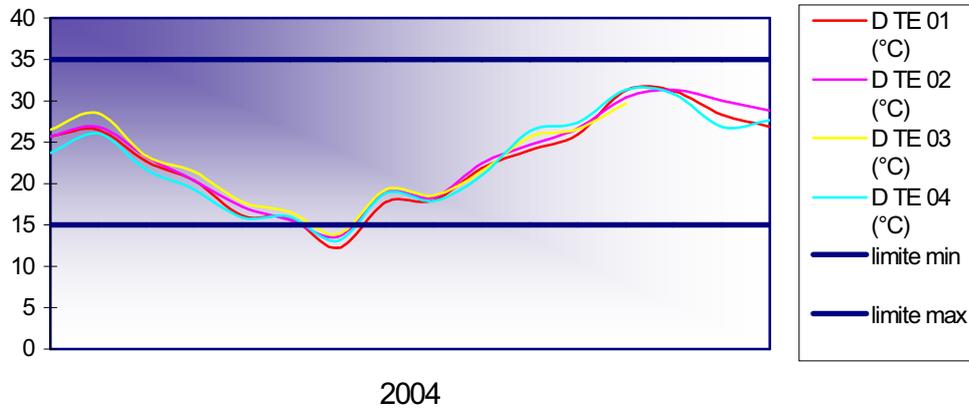
Andamento umidità (%) 2004



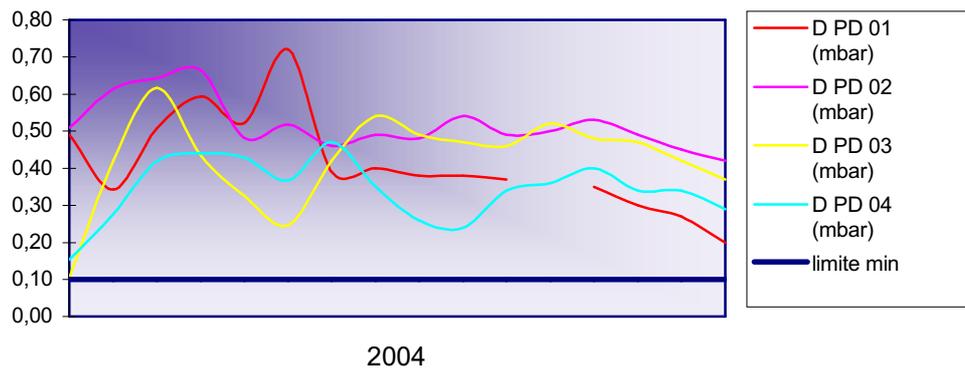
Andamento pH 2004



Andamento temperatura (°C) 2004



Andamento perdite di carico (PD) 2004

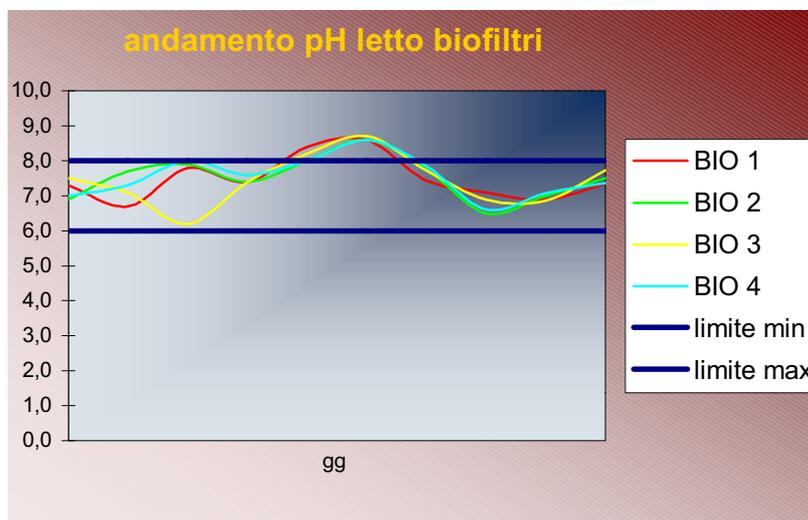


pH del letto biofiltrante:

Ai sensi di norma il pH deve essere compreso in un range tra 6-8. Il Centro Trattamento Frazioni Organiche di Ca' Baldacci ha formulato all'Ente di controllo ARPA una richiesta ufficiale per aumentare tale range a 6-9 (c'è già stato parere favorevole da parte di ARPA; manca solo l'autorizzazione provinciale).

Tale valore viene rilevato tramite apposita sonda posta sul mezzo, ed è riferito alla matrice solida di cui il biofiltro è costituito. Diversamente, il rilievo in continuo (come sopra riportato in grafico) avviene su una matrice liquida (percolato del biofiltro). Il percolato è convogliato entro pozzetti in cemento, nei quali raccoglie anche la condensa che risale dal fondo dentro la matrice (carica di NH_3 e quindi alcalina). Quando si effettua la bagnatura del letto biofiltrante si utilizza acqua di acquedotto mista all'acqua dei servizi (raccolta dai tetti), acqua con pH mediamente intorno a valori di 7-7,4; inoltre, i microrganismi, durante la loro azione degradativa, rilasciano cataboliti acidi ($\text{NH}_3 \rightarrow \text{NO}^{2-}, \text{NO}^{3-}, \dots$), azione che va a determinare una conseguente diminuzione del pH del letto biofiltrante.

Analisi hanno confermato tale andamento:



Altre correlazioni (in studio attualmente):

risultano particolarmente interessanti, circa una corretta messa a regime di tali presidi ambientali, studi statistici relativi al rapporto tra (i) umidità relativa / umidità del letto biofiltrante, (ii) temperatura atmosferica / temperatura letto (sonda), e (iii) temperatura rilevata in continuo / temperatura letto (sonda).

10. CONCLUSIONI

I dati acquisiti dalle analisi di processo, ed elaborati presso il Centro Trattamento Frazioni Organiche HERA S.p.A. in Ca' Baldacci (RN), inducono alle seguenti considerazioni conclusive:

■ PROCESSO

Condizioni del substrato raccomandate per una buona gestione del trattamento biologico e, di conseguenza, per la stabilizzazione della matrice organica di partenza in tempi rapidi (Fonte ANPA-ONR, 2002):

parametro	Intervallo	di	intervallo ottimale
Rapporto C/N	20:1 - 40:1		25:1- 30:1
Umidità (%)	40 - 65		57 - 63
Concentrazione ossigeno (%)	≥ 5		$\geq 10\%$
Dimensione particella (cm)	0,5 - 5,0		variabile
pH	5,5 - 9,0		6,5 - 8,5
Temperatura (°C)	25 - 70		35 - 60
Densità apparente (Kg/m ³)	≤ 750		≤ 650

Compost di qualità

- *Indice di respirazione (IR)*

Si osservano buone correlazioni con gli altri parametri in esame, a sentore di un corretto andamento generale del processo in toto. In particolare, IR denota correlazioni molto interessanti (confermate da elevati gradi di confidenza a

significatività $r_{0,01}$) con C/N (r^2 0,94), umidità (r^2 0,9) e tempo di permanenza (r^2 0,91), parametri chiave strettamente connessi per i quali risulta fondamentale un accurato controllo durante tutte le fasi di processo. L'andamento in maturazione primaria è piuttosto irregolare, seppur decrescente, e si stabilizza su valori di 367 mgO₂/Kg S.V.s.s. h⁻¹ in uscita dal settore 4: i dati in possesso sono poco rappresentativi a livello statistico, ma l'andamento di IR risente fortemente di microcondizioni di cumulo spesso legate a fattori extra-processo (problemi di manutenzione in area I con apertura porte per lunghi tempi; problemi tecnici d'insufflazione; problemi rivoltamento cumulo). Il valore finale sull'ammendante (ACM) è di 314,67 mgO₂/Kg S.V.s.s. h⁻¹ , a conferma di una buona stabilità biologica raggiunta dal prodotto dopo maturazione secondaria (valore che rientra peraltro nei range ottimali di processo, e nei limiti normativi). Talora l'IR del prodotto in uscita può subire un incremento di valore (e superare i valori max di legge consentiti) probabilmente dovuto alle fasi di vagliatura e raffinazione con conseguenti rivoltamenti, fasi responsabili di un arricchimento di ossigeno (ed umidità) di cui l'atmosfera è ricca: in tal caso si parlerà di ammendante fuori specifica. Il materiale staziona nel box di prima maturazione per un tempo ottimale, considerazione deducibile dalla buona correlazione con il tempo di permanenza.

- *Umidità*

Normalmente il materiale in entrata denota elevata umidità percentuale su valori superiori all'80% prevista da norma. Durante il processo in maturazione primaria si osserva comunque un buon decremento regolare, con valori in uscita dal settore 4 intorno al 30% (anche in tal caso possono crearsi microcondizioni sia di processo (passaggi d'aria, non ostacolati dalla struttura del materiale, che portano a maggiori perdite d'acqua nei cumuli), sia di gestione (come sopra rilevato), che influenzano il rilievo di tale parametro...per tale motivo ci si cautela operando un doppio campionamento su 2 punti differenti, 4a e 4b). A seguito del periodo intercorso in maturazione secondaria i valori si riassistono entro range ottimali di processo (u% 18,48 a conferma dell'avvenuta stabilità biologica), e l'umidità appare ben correlata con gli altri parametri, specialmente con C/N (r^2 0,99), IR (r^2 0,9) e pH (r^2 0,93), a significare il fatto che se si riesce a mantenere un livello di umidità maggiore del 40% in fase ACT, il processo di compostaggio avviene in maniera alquanto efficiente. L'umidità è controllata tramite bagnatura dei cumuli: da calcoli (in fx di portata delle

pompe e di quantità di acqua desiderata) ne scaturisce un tempo di bagnatura di circa 45'/ giorno (solo con acqua, nell'ultima parte delle corsie, senza l'ausilio di percolato allo scopo di evitare problemi da un punto di vista microbiologico). Talora, nel box di prima maturazione, si è notato (nei punti campionati) una riduzione del valore di umidità su valori ben al di sotto del 45%: questo potrebbe essere dovuto ad un eccesso di aria insufflata (inefficace dimensionamento delle portate d'insufflazione).

- pH

Mediamente il valore in entrata risulta acido (matrici in ingresso all'impianto 5,60; fasi iniziali ACT 5,50) con tendenza all'aumento negli stadi successivi del processo sino ad arrivare ad un valore medio di 8,4 in zona 4, così come atteso. A conferma di un buon andamento delle dinamiche evolutive coinvolte in questa fase, le buone correlazioni del pH con gli altri parametri in esame, in particolare con u% (r^2 0,93) e con C/N (r^2 0,92), e comunque anche con il tempo di residenza. Il prodotto in uscita evidenzia un pH subalcalino (8,47) che rispetta i valori indicati ai dell'All. 1.C del DM 27 marzo 1998, a modifica della L748/84 sui fertilizzanti.

- Temperatura

Nelle prime fasi del processo si osserva una temperatura media superiore a 57°C, ma sono stati registrati valori maggiori ai 60°C che garantiscono il processo di pastorizzazione del materiale. Nelle fasi finali, prima dell'invio del materiale all'edificio di seconda maturazione, la temperatura è spesso maggiore ai 40°C, forse dovuto al tenore di umidità media presente (circa 37%) che permette ai microrganismi di svolgere la loro attività degradativi ed esotermica. Un dato un po' anomalo osservato è il valore quasi costante della temperatura nei primi stadi del processo di maturazione, situazione che invece non si verifica nel biostabilizzato. Ciò potrebbe essere dovuto al fatto che, a causa di una peggior struttura di cumulo (minore porosità rispetto al biostabilizzato), si ha maggior difficoltà di passaggio dell'aria che quindi diminuisce il suo potere di raffreddamento sulla massa in degradazione; inoltre il compost di qualità presenta un contenuto di sostanza organica maggiore rispetto a quella del biostabilizzato, il quale è più ricco di inerti, per cui si ha un substrato sempre disponibile ai microrganismi che possono continuare più agilmente le reazioni di stabilizzazione con produzione di E e calore. In generale la temperatura appare ben correlata con gli altri parametri di processo, e a conferma di un buon andamento

generale di quest'ultimo si nota un correlazione T/gg pari a r^2 0,88, con significatività al 99,9% pari a $r_{0,01}$ -0,94.

- Rapporto C/N

Salvo in entrata alla fase ACT (appena alto, 33), il valore osservato rientra nei range ottimali di processo, come denotano le ottime correlazioni ad elevato grado di significatività con u% (r^2 0,99), tempo di residenza (r^2 0,96), IR (r^2 0,94) e pH (r^2 0,92): in particolare la relazione con IR testimonia una buona stabilità biologica, a conferma che il processo procede bene. IN maturazione secondaria il rapporto C/N decresce come atteso fino a valori medi di 14,33. Talvolta può verificarsi che C/N risulti basso (20-22) già nel materiale in entrata: questo può essere imputabile al lungo stoccaggio del materiale prima di entrare in fase ACT, stoccaggio che innesca fasi riduttive con aumento del contenuto di azoto in forma ammoniacale. Valori di rapporto estremamente bassi (fino a 12) possono essere dovuti alla presenza nella miscela iniziale di sfalcio da giardino (erbetta): a tal pro si provvede aumentando la concentrazione di azoto che stimola la crescita di microrganismi causando un'intensa attività di degradazione con conseguente rapido esaurimento di ossigeno, instaurando così condizioni anaerobiche e conseguente rilascio di ammoniaca che determina perdita di azoto per volatilizzazione nel compost finale.

- Tempo di permanenza

Mediamente il materiale staziona nel box di bioossidazione circa 45gg: le buone correlazioni ottenute confermano i corretti tempi di processo. La fase di maturazione secondaria può implicare anche altri due mesi di processo. Il materiale può permanere più tempo nelle corsie di bioossidazione in concomitanza con problemi alla rivoltatrice e ai nastri di carico.

- Sistema di insufflazione dell'aria

In generale risulta efficiente, così come confermato dall'andamento della temperatura (pastorizzazione garantita ($3\text{gg} > 55^\circ\text{C}$)); la portata ($12000\text{ Nm}^3/\text{h}$ per $15'/\text{h}$ per ogni settore) deve essere sufficiente affinché sia favorito l'abbassamento della temperatura dei cumuli (al 90%), oltre all'ossigenazione degli stessi (al 10%), evitando però di asciugarli troppo (altrimenti bisognerà intervenire più spesso con la bagnatura).

- Analisi finali

Il prodotto ottenuto risulta senza dubbio un buon ammendante compostato misto ad uso agronomico (sebbene per lo più venduto per miscele in terricci) ai sensi della L 748/84. I valori rientrano pressoché tutti entro i limiti di legge (qualche problema è causato dai materiali inerti. La buona stabilità biologica è confermata dagli ottimi valori di C_{org} , N_{org} , C/N ed il complesso Acidi umici e fulvici. Circa l'elevata presenza di Streptococchi fecali (723MPN/g s.s.), comunque entro i limiti di legge, questa può essere legata alle movimentazioni del materiale in maturazione secondaria: sono difatti utilizzati i medesimi mezzi operativi con i quali si muove il biostabilizzato, così come nei campionamenti, normalmente, non viene effettuata nessuna sterilizzazione degli strumenti in dotazione.

Biostabilizzato

- Indice di respirazione (IR)

Si osserva un andamento decrescente in modo regolare, per il quale il materiale, in uscita dal box di prima ossidazione, presenta valori ottimali di 395 mgO₂/Kg S.V.s.s. h⁻¹ (l'andamento complessivo risulta sempre inferiore ai 600 mgO₂/Kg S.V.s.s. h⁻¹. In generale evidenzia buone correlazioni con gli altri parametri, ottime nel caso di pH (r^2 1) e di tempo di permanenza (r^2 0,99) con grado di confidenza al 99,9% pari rispettivamente a -1 e -0,99: tutto questo conferma l'avvenuto buon andamento di processo. Si può inoltre notare come sia IR, sia T denotino valori di correlazione simili: questo indica che si tratta di due parametri strettamente connessi, per i quali si rende necessario un accurato controllo durante tutto il processo. L'IR del materiale in uscita mostra un ottimale 338 mgO₂/Kg S.V.s.s. h⁻¹, ai sensi di norma previsti, rendendo sotto questo profilo il biostabilizzato adatto allo smaltimento in discarica.

- Umidità

Mediamente il valore rientra nei range ottimali di processo (45-65%) nonostante in zona 4 il campionamento abbia evidenziato una notevole riduzione del parametro, decrescendo ad un valore medio di 26%: tal evidenza può essere spiegata da un presunto passaggio d'aria in fase di campionamento, passaggio non ostacolato dalla struttura del materiale, con conseguenti maggiori perdite d'acqua dai cumuli.

L'u% mostra importanti correlazioni con gli altri parametri, specialmente con temperatura (r^2 0,99), tempo di permanenza (r^2 0,89), IR (r^2 0,89) e pH (r^2 0,88), ad evidenziare che se si riesce a mantenere un livello di umidità > 40% il processo di compostaggio evolve in maniera efficiente. L'umidità dei cumuli è controllata tramite bagnatura: da calcoli (in f di portata delle pompe e della quantità di acqua desiderata) è necessario un tempo di bagnatura di circa 45'/giorno (solo con acqua, in zona 4, e senza il ricircolo di percolato al fine di evitare problemi da un punto di vista microbiologico).

- pH

Inizialmente si osserva una subacidità dovuta probabilmente a qualche valore anomalo forse legato all'eterogeneità del materiale in ingresso. Poi, nel corso della maturazione primaria, si riscontra un andamento crescente fino a valori di 8,26 in zona 4. A conferma che il processo ha un buon andamento si hanno correlazioni piuttosto buone, ottime nel caso di IR (r^2 0,99) e del tempo di permanenza (r^2 0,99). Il rifiuto in uscita presenta valori medi sui 8,33 rispettando quanto raccomandato dalle Del. Com. Int. 27 luglio 1984 e Del. Giunta Reg. 1 marzo 2000 n.647.

- Temperatura

Inizialmente la temperatura supera i 60°C (con punte rilevate superiori ai 75°C a garantire i processi degradativi di pastorizzazione), poi si osserva un progressivo decremento fino a valori in uscita dalla zona 4 di 39°C. Tale andamento è dovuto alla struttura abbastanza porosa del materiale che permette una buona aerazione dei cumuli, garantendone così il raffreddamento. In generale, ad eccezione di C/N, T presenta buone correlazioni con tutti gli altri fattori di processo (r^2 0,99 con u%).

- Rapporto C/N

In tutte e quattro le zone campionate l'andamento medio di tale valore rientra nei range ottimali di processo (talora microcondizioni riduttive possono condizionare il valore, come si nota nel passaggio zone 3-4: per tale ragioni potrebbe essere spiegato il perché C/N è l'unico parametro che non presenta buone correlazioni). In ogni caso i valori riscontrati lasciano emergere una buona stabilità biologica raggiunta.

- Tempo di permanenza

Mediamente il materiale staziona nel box di prima ossidazione 34 giorni. Subisce poi vagliatura, e non necessità di maturazione secondaria. Il tempo di permanenza presenta correlazioni molto buone, a conferma che il valore sopra riportato (forse sovradimensionato da problemi di aspetto “tecnologico”...manutenzione nastri, rivoltatrice, fermi-impianto) rappresenta un buon periodo per i processi di degradazione in atto.

- Sistema di insufflazione dell'aria

In generale risulta efficiente, così come confermato dall'andamento della temperatura (pastorizzazione garantita ($3\text{gg} > 55^{\circ}\text{C}$)); la portata ($12000\text{ Nm}^3/\text{h}$ per $15'/\text{h}$ per ogni settore) deve essere sufficiente affinché sia favorito l'abbassamento della temperatura dei cumuli (al 90%), oltre all'ossigenazione degli stessi (al 10%), evitando però di asciugarli troppo (altrimenti bisognerà intervenire più spesso con la bagnatura).

- Analisi finali

In generale il materiale ottenuto presenta buoni valori di stabilizzazione (si noti l'IR), con un buon pH entro i limiti previsti dalle Delibere di riferimento, ed in tal senso rappresenta un buon matrice per la ricopertura giornaliera delle discariche. Pur non presentando problemi di metalli pesanti, si evidenziano problemi per ciò che concerne i materiali inerti e plastici, oltre a valori fuori limite max circa la presenza di vetri. Per ciò che concerne il PCI si hanno valori medi che si aggirano intorno a 2.500 Kcal/Kg (pari a circa 10.500 Kj/Kg) nel rispetto delle attese di norma (DLgs 36/2003) indicanti che il materiale da avviare in discarica deve presentare valori del PCI inferiori a 13.000 Kj/Kg . Talora possono crearsi problemi di aerodiffusione di polveri (bioparticolato e bioaerosol) durante il carico di materiale in uscita, qualora questo si presenti troppo asciutto: tal problema si risolve con un adeguato ed idoneo programma di bagnatura.

■ **SCRUBBER**

Lo scrubber rappresenta un sistema tecnologico di abbattimento adottato sia per le polveri, sia per le concentrazioni di ammoniaca, presenti nelle arie esauste provenienti dall'area I. Un aspetto critico è rappresentato dalla percezione dell'esatto momento in cui cambiare l'acqua nel pozzetto di scrubber: questa è legata non solo alla concentrazione dell'ammoniaca nella soluzione acquosa ($K_{ps} = 51,8 \text{ g/l}$), ma anche alla quantità di fango (polveri abbattute in soluzione) riscontrata, il cui monitoraggio è utile per evitare intasamenti alla griglia di scrubber e problemi alla pompa del pozzetto. I valori dell'ammoniaca aumentano in maniera rilevante già dopo un solo giorno di permanenza dell'acqua nel pozzetto di scrubber, e restano più o meno costanti così come confermato anche dall'andamento del pH nella stessa.

■ **BIOFILTRI**

- Rilievi in continuo

Valori ottimali per una corretta messa a regime dei biofiltri:

- Umidità del letto biofiltrante: 50-65% (attraverso scrubber e sistema di spruzzatori).
- pH: 6-8 (su matrice liquida), adeguata capacità tamponante (acqua).
- Temperatura: 15-35°C (condizioni ottimali azione microrganismi aerobi).
- Perdite di carico: 0,1-10 KPa (buona struttura).
- $C_{org} > 60\%$ (valore limite sovradimensionato, come riscontrato da letteratura).
- Assenza composti tossici per i microrganismi.

I valori in continuo, monitorati ed elaborati presso l'impianto, sono in linea con quanto riportato dai criteri generali suggeriti dal Comitato Regionale Inquinamento Atmosferico Emilia-Romagna (CRIAER). Possono talora crearsi problemi dovuti ad accumulo di condensa all'interno delle sonde di rilievo dell'umidità (con evidenza di valori di fondo scala): a tal pro si rendono necessarie manutenzioni giornaliere, soprattutto in inverno, durante i periodi in cui si nota un'elevata umidità, allo scopo di evitare di bruciare le schede Plc di sonda. Altri problemi di manutenzione sono inerenti la pulizia dei tubi che portano l'aria verso la sonda, da acqua, fango, e colonie fungine.

- Considerazioni sulla fase di studio

Inizialmente si sono riscontrati elevati valori delle UO_e dovuti presumibilmente all'intenso odore di fondo del biofiltro stesso, così come alte concentrazioni di TOC forse legate alle molecole aromatiche (acidi organici volatili) presenti nel materiale legnoso (e comunque anche nelle arie esauste in arrivo dall'area di bioossidazione).

Solamente un'analisi ha denotato valori elevati nella concentrazione di polveri, dovuti quasi sicuramente ai processi di vagliatura del materiale (evidentemente molto secco e, quindi, polveroso) nell'edificio di seconda maturazione adiacente i biofiltri.

Pressoché tutti i campionamenti evidenziano elevati valori di NH_3 ($>1 \text{ mg/Nm}^3$): si suppone che la presenza di tale inquinante sia da correlare ai trasporti dei flussi d'aria in arrivo dal box di bioossidazione, dato che nei cumuli si riscontrano comunque sacche anaerobiche entro le quali s'innescano fenomeni riduttivi. I valori più elevati di ammoniaca si sono registrati contemporaneamente sia al mal funzionamento dello scrubber, sia all'eccessiva bagnatura della matrice biologica in area I.

Quest'ultima condizione, in particolare, è responsabile della formazione di microambienti anaerobiotici all'interno del letto biofiltrante entro cui i microrganismi aerobici vengono sostituiti da quelli anaerobiotici; a supporto di questa evidenza ipotetica, anche lo stato del percolato dei biofiltri, per il quale ci si rende subito conto se il biofiltro è o meno in aerobiosi analizzando 4 parametri (grazie ai quali si denota lo stato di degrado e funzionamento dei biofiltri):

- pH;
- Potenziale redox;
- Acidità volatile;
- COD.

■ ALTRE CONSIDERAZIONI

- *Sovvallo*

A seguito di ricircolo (sovvallo reimmesso in entrata), il sovvallo rimanente viene smaltito in discarica. Analisi sul materiale in oggetto denotano elevati valori del PCI (ad es. sovvallo del 06/09/'04 ha PCI = 19.905 Kj/Kg): in base a quest'evidenza, risulterebbe forse più conveniente inviare tal materiale a termovalorizzazione (Impianto di termovalorizzazione HERA S.p.A. di Coriano (RN)), sia per caratteristiche intrinseche al materiale stesso, sia per evitare gli ingenti costi di smaltimento (trattandosi comunque di un impianto di proprietà HERA), costi che si limiterebbero unicamente a quelli di trasporto.

- *Insacchettamento Compost di qualità*

Il prodotto/Compost di qualità Ammendante Compostato Misto risulterebbe senz'altro nobilitato, in fase di mercato, qualora fosse predisposta una zona (ad esempio, l'area del limitrofo vecchio impianto) per l'insacchettamento pre-vendita del prodotto ACM. Tale fase potrebbe scongiurare gran parte dei pregiudizi che i potenziali acquirenti di fertilizzanti avanzano nei confronti di un prodotto che, seppur per via naturale, deriva dal trattamento di biomasse di rifiuto.

- *Area II*

La chiusura totale dell'area di seconda maturazione contribuirebbe in modo notevole ad un rilevante decremento dell'aerodiffusione delle polveri sviluppate durante i processi di vagliatura dei cumuli.

Inoltre, circa la periodica bagnatura di tali cumuli al fine di garantire i residui processi degradativi, sarebbe necessario predisporre un diffusore acquoso molecolare per evitare di bagnare disomogeneamente la massa, come tuttora avviene attraverso bagnatura a gomma (puntiforme, e di scarsa portata).

APPENDICE – *FOTO IMPIANTO*

CENTRO TRATTAMENTO FRAZIONI ORGANICHE– Impianto di Ca' Baldacci (RN) – HERA S.p.A.



Area pesatura mezzi trasportanti matrici organiche all'impianto (*Edificio G*)



Area di conferimento, stoccaggio e miscelazione matrici organiche (*Edificio A*)





Area di maturazione primaria (o di biossidazione) (Edificio B)



Area di seconda maturazione (Edificio E)





Area di stoccaggio finale (Edificio F)



Sezione ricevimento/triturazione frazione lignocellulosica



Scrubber



Biofiltro



Campionamenti



Il "Capo-impianto"



GLOSSARIO

Acidi grassi volatili: acidi organici caratterizzati da un basso peso molecolare.

Aerobico: si dice di processo attuato dall'azione di microrganismi che necessitano di condizioni ambientali caratterizzate dalla diffusa presenza di ossigeno libero.

Acidi umici: frazione dell'humus costituita da sostanze di colore bruno scuro che precipitano per acidificazione dell'estratto in alcali di un terreno o di un compost. Il loro contenuto nel compost aumenta col progredire del processo.

Aerazione: operazione finalizzata a portare in contatto l'aria con la matrice organica sottoposta a compostaggio, mediante movimentazione, rivoltamento o ventilazione, in modo da garantire un metabolismo microbico a carattere prevalentemente aerobico.

Aerobico: organismo/processo che richiede O_2 per vivere/attuarsi.

Agenti patogeni: batteri, virus o piccoli organismi pluricellulari (protozoi, funghi) che causano malattie all'uomo o alle piante coltivate. L'insorgere della malattia (o infezione) dipende dal numero di patogeni, dalla loro virulenza, e dalla recettività degli individui.

Aia: platea pavimentata destinata alla preparazione dei materiali in entrata alla stazione di compostaggio (aia di ricezione), alla fase di compostaggio attivo nei sistemi in cumulo (aia di stabilizzazione) ovvero alla fase di finissaggio del compost (aia di maturazione).

Ammendante o correttivo: qualsiasi sostanza, naturale o sintetica, minerale o organica, capace di modificare e migliorare le proprietà e le caratteristiche chimiche, fisiche, biologiche e meccaniche di un terreno, ai sensi della l 748/84. Materiale da aggiungere al suolo in situ, principalmente per conservarne o migliorarne le caratteristiche fisiche, che può migliorarne le caratteristiche le caratteristiche o l'attività chimica e /o biologica, ai sensi della decisione 2001/688/ce.

Ammendante compostato misto (acm): prodotto ottenuto attraverso un processo di trasformazione e stabilizzazione controllato di rifiuti organici che possono essere costituiti dalla frazione organica degli rsu proveniente da rd, da rifiuti di origine animale compresi liquami zootecnici, da rifiuti di attività agroindustriale e da lavorazione del legno e del tessile naturale non trattati, da reflui e fanghi, nonché dalle matrici previste per l'ammendante compostato verde, ai sensi della l 748/84.

ammendante compostato verde (acv): prodotto ottenuto attraverso un processo di trasformazione e stabilizzazione controllato di rifiuti organici costituiti da scarti della manutenzione del verde ornamentale, residui delle colture, altri rifiuti di origine vegetale con esclusione di alghe e altre piante marine, ai sensi della l. 748/84.

Ammoniaca, nh_3 : composto gassoso che si forma durante il compostaggio, in condizioni alcaline ed elevate °t, dalla degradazione di materiali organici contenenti azoto, soprattutto in fase termofila.

Ammonio, NH_4^+ : forma ionica dell'ammoniaca; esiste un equilibrio tra questo e l'ammoniaca (condizioni acide portano alla formazione di NH_4^+)

Anaerobico: processo attuato da microrganismi anaerobi, che vivono cioè in assenza di ossigeno. Tali microrganismi possono essere anaerobi facoltativi o obbligati a seconda che siano in grado o meno di utilizzare, quando è disponibile, anche l'ossigeno libero. Aggettivo che descrive un organismo o un processo inibito dalla presenza di ossigeno molecolare (o_2). Sono anaerobi(ci), tutti i microrganismi che attuano il loro metabolismo energetico per via fermentativa o tramite respirazione di nitrati, solfati, ed altri accettori finali di elettroni. Tipico processo anaerobico è la digestione metanogenica, talvolta, impropriamente definita come compostaggio anaerobico.

Andana (windrow): cumulo di materiale organico, particolarmente esteso in lunghezza, allestito per il compostaggio mediante rivoltamento con apposita macchina rivoltatrice, semovente o trainata.

Anione: atomo o molecola dotato di carica negativa (es. NO_3^- , so_4^{2-}).

Aria esausta: aria che residua da un trattamento biologico in grado di modificarne la composizione originaria; durante il compostaggio normalmente viene aspirata e inviata a un sistema di depurazione (biofiltro e/o scrubber) per la sua deodorizzazione.

Aspergillus fumigatos: fungo filamentoso (muffa) tipicamente associato alla materia organica in decomposizione.

Aspirazione: metodo di ventilazione forzata mediante richiamo per depressione dell'aria interna alla matrice in compostaggio.

Attinomiceti: raggruppamento di batteri (organismi procarioti), tipico per la crescita in forma ramificata, con produzione di filamenti (pseudoife) simili al micelio dei funghi (organismi eucarioti). Nell'ambito del compostaggio, svolgono un'azione fondamentale nella degradazione di sostanze complesse come cellulosa e lignina.

Attività paesaggistiche: attività volte all'insediamento di popolazioni vegetali a scopo paesistico, ornamentale, ricreativo.

Attività di recupero/ripristino: restituzione di aree degradate ad usi produttivi o sociali attraverso rimodellamenti morfologici, ricostruzione dello stato superficiale di discariche esaurite, sistemazione di cave e di aree di rispetto di autostrade e ferrovie e attività simili.

Batteri: gruppo di microrganismi procarioti tipicamente unicellulari, principali agenti del processo di compostaggio.

Bioaerosol: sospensione nell'aria di particolato solido rappresentato da propaguli di agenti biologici (cellule di batteri, attinomiceti, funghi e particelle virali), liberi o associati a polveri, vitali o morti (endotossine). Presso una stazione di compostaggio, può costituire un potenziale rischio per la salute degli operatori, specialmente nelle operazioni di rivoltamento e vagliatura di materiali a basso contenuto di umidità.

Biodegradabilità: attitudine delle sostanze organiche presenti nei rifiuti a subire una degradazione biologica operata da microrganismi.

Biofiltro: sistema biotecnologico atto ad abbattere gli odori presenti in un flusso di aria esausta. E' costituito da un letto di materiale organico filtrante (torba, compost, cortecce, ..) Attraverso il quale viene fatta passare l'aria da trattare. Sul letto filtrante si seleziona progressivamente una flora microbica in grado di mineralizzare, attraverso il proprio metabolismo, le molecole odorose.

Biogas: miscela gassosa costituita in prevalenza da CO_2 (30-40%) e CH_4 (60-70%), prodotta nel corso del processo di digestione anaerobica.

Biomassa attiva: popolazione microbica responsabile dei fenomeni di stabilizzazione della matrice organica in compostaggio.

Biomassa substrato: matrice organica fermentescibile sottoposta a compostaggio.

Bioossidazione: rappresenta la prima fase del processo di compostaggio; in tale fase si sviluppa una consistente quantità di calore, si registra un notevole consumo di O_2 , si assiste ad un rapido abbattimento della fermentescibilità, e si raggiungono alte temperature che permettono l'igienizzazione dei materiali.

Biostabilizzato: materiale derivante dal trattamento biologico di rifiuti organici biodegradabili che non ha le caratteristiche del compost di qualità così come definito dalla l. 748/84, ma che risulta stabile biologicamente e può dunque essere usato in applicazioni vincolate.

Bod (biochemical oxygen demand): quantità di ossigeno (mg O₂/l) utilizzata per l'ossidazione biologica di materia organica disciolta. Questo parametro, utilizzato soprattutto per le acque, può essere impiegato per stabilire il grado di putrescibilità della matrice organica sottoposta a compostaggio.

Capacità di scambio cationico (CEC): misura della tendenza di un suolo a legare cationi metallici. Questa proprietà è fortemente influenzata dalla quantità di argilla e di sostanza organica presente in un determinato terreno.

Catione: atomo o molecola dotato di carica positiva (es. NH₄⁺).

Cellulosa: costituente principale dei tessuti vegetali, soprattutto di quelli delle piante arbustive ed arboree. È un polisaccaride le cui catene sono formate da unità di glucosio unite con legame β-(1-4). Può essere degradato soltanto da microrganismi cellulolitici, rappresentati, principalmente, da attinomiceti e funghi.

Co-compostaggio: compostaggio combinato di due matrici organiche incompatibili, da sole, con il processo, l'una, di solito, secca e ricca in carbonio (scarti lignocellulosici), l'altra molto umida, o addirittura liquida (fanghi di depurazione), e ricca in azoto.

Cod (chemical oxygen demand): misura della capacità di composti organici ed inorganici a consumare ossigeno a seguito di trattamento con reagenti a forte potere ossidante (K₂Cr₂O₇), specialmente in ambiente acquoso. Questa misura non discrimina tra sostanza organica fresca o stabilizzata e non è perciò facilmente correlabile al bod.

Compostabile: qualsiasi materiale organico che può andare incontro a degradazione microbica in condizioni aerobiche, dando luogo ad un prodotto finale metastabile, ricco di sostanze umiche.

Compost di qualità: termine utilizzato comunemente per indicare l'ammendante compostato verde e/o misto.

Compostaggio: trattamento biologico di scarti organici biodegradabili, condotto in presenza di ossigeno e in condizioni controllate, che evolve attraverso due fasi (biossidazione/stabilizzazione, e maturazione) e porta alla produzione di compost.

Concime: qualsiasi sostanza naturale o sintetica, minerale o organica, idonea a fornire alle colture l'elemento o gli elementi chimici della fertilità a queste necessarie per lo svolgimento del loro ciclo vegetativo e produttivo, ai sensi della l. 748/84.

Condizionamento fisico-meccanico: insieme delle operazioni (triturazione, dilacerazione,...) finalizzate alla riduzione della pezzatura delle particelle del substrato, per incrementarne l'attacco microbico.

Conducibilità elettrica: è definita come la capacità di una sostanza di condurre corrente elettrica. Nel caso di substrati nutritivi (compost), il valore della conducibilità dipenderà, in modo direttamente proporzionale, dal contenuto di sali solubili: più sali sono presenti, più alta risulterà la conducibilità. La conducibilità è quindi una misura indiretta della salinità di un substrato.

Contaminante: qualsiasi elemento o composto chimico tossico associato alle matrici potenzialmente adatte per la produzione di compost (metalli pesanti).

Cumulo (pile): ammasso ordinato di matrice organica in corso di compostaggio, aerato mediante ventilazione forzata (cumuli statici) ovvero mediante movimentazione con pala meccanica (cumuli rivoltati).

Decompositori: microrganismi e invertebrati responsabili dei normali processi di degradazione dei materiali organici naturali.

Deiezioni zootecniche: complesso delle escrezioni fecali ed urinarie degli animali in allevamento. Spesso si presentano in forma fluida, con contenuto di solidi fortemente influenzato dal sistema adottato per la pulizia delle aree di stabulazione. Ne costituiscono un tipico esempio i liquami provenienti dagli insediamenti suinicoli.

Denitrificazione: processo anaerobico promosso da taluni batteri che trasformano i nitrati in azoto molecolare, riducendo così il potere fertilizzante del compost.

Desertificazione: fenomeno di erosione spinta dei terreni a seguito di intenso sfruttamento e progressivo depauperamento del contenuto in sostanza organica.

Densità apparente: rapporto tra la massa di un materiale ed il suo volume. Circa le matrici organiche ed i materiali in fase di compostaggio, di solito la densità apparente viene espressa sul tal quale (tonn/m^3); in riferimento ai substrati colturali e al compost invece viene solitamente espressa sul secco.

Digestato: materiale derivante da digestione anaerobica.

Digestione anaerobica: processo microbico di degradazione dei residui organici in completa assenza di ossigeno, con produzione di una miscela gassosa (biogas) ricca di metano (CH_4) ed anidride carbonica (CO_2). È talvolta indicata, con termine improprio, compostaggio anaerobico.

Digestore: reattore nel quale avviene la digestione anaerobica.

Discarica: sito adibito allo smaltimento dei rifiuti mediante interrimento controllato. Funziona come un gigantesco reattore anaerobico, producendo biogas (digestione

anaerobica) come conseguenza della degradazione dei materiali organici putrescibili in assenza di ossigeno.

Disidratazione: riduzione del contenuto di umidità dei reflui o delle frazioni derivanti dai trattamenti di questi ultimi. Può essere effettuata per via meccanica e/o per via termica.

Endotossine: sostanze, derivanti dal metabolismo di batteri gram-negativi, che sono associate alla parete cellulare e rimangono attive anche in seguito alla morte dei microrganismi produttori. Nell'uomo possono provocare una varietà di effetti fisiologici negativi.

Enzimi: proteine prodotte da organismi viventi in grado di catalizzare specifiche reazioni biochimiche. Quando le proteine enzimatiche agiscono all'esterno della cellula microbica, si parla di esoenzimi. Tipici esoenzimi sono quelli coinvolti nella degradazione di substrati complessi, come le cellulasi e gli enzimi ligninolitici.

Esotermico: processo che si attua con sviluppo di calore.

Fanghi di depurazione (fanghi attivi da sedimentazione secondaria): matrice organica, costituita essenzialmente da cellule microbiche o residui delle stesse, separabile da un refluo a seguito del processo di depurazione biologica. Sono ricchi in azoto e possono essere stabilizzati mediante co-compostaggio in miscela con un agente di supporto. Il contenuto in metalli pesanti ne può, talvolta, limitare l'uso.

Fanghi di depurazione civile: fanghi residui provenienti da impianti di depurazione di acque reflue domestiche o urbane e da altri impianti di depurazione delle acque reflue che presentano una composizione analoga a quella delle acque reflue domestiche o urbane, ai sensi della direttiva 1986/278/ce.

Fase termofila: fase del processo di compostaggio caratterizzata da temperature superiori ai 45°C che conducono ad un'elevata attività dei microrganismi termofili.

Fermentazione: forma di metabolismo microbico ricorrente in assenza di ossigeno molecolare, a carico di composti organici solubili (zuccheri), con produzione prevalente di alcoli ed acidi grassi.

Fermentescibilità (o putrescibilità): attitudine di una matrice a subire reazioni biologiche di degradazione a carico della componente carboniosa con liberazione di energia (calore) e di metaboliti vari.

Fertilità del suolo: attitudine di un terreno ad ospitare la vita delle piante coltivate in modo da massimizzare le caratteristiche quanti-qualitative delle produzioni agronomiche.

Fertilizzante: qualsiasi sostanze che, per il suo contenuto in elementi nutritivi oppure per le sue caratteristiche chimiche, fisiche, e biologiche contribuisce al miglioramento della fertilità del terreno agrario, oppure al nutrimento delle specie vegetali coltivate, o comunque ad un loro migliore sviluppo, ai sensi della l 748/84.

Fitotossicità: effetto negativo sullo sviluppo e sulle attività vitali degli organismi vegetali, che riduce e/o compromette il loro metabolismo. Di solito è dovuta alla presenza di tossine (ammoniaca, solfuri) e/o all'azione di elementi chimici (eccesso di me, eccesso di sali solubili).

Flora microbica: insieme di batteri, funghi ed altri microrganismi deputati alla trasformazione biologica delle matrici organiche.

Forsu: frazione organica dei rifiuti solidi urbani proveniente da raccolta differenziata.

Funghi: microorganismi eucarioti (ossia con cellule dotate di nucleo avvolto da membrana), a crescita saprofitica (su materia organica in disfacimento) o parassitica (a spese di organismi vivi). Formano filamenti ramificati, detti ife, che si uniscono a formare una trama più o meno complessa, detta micelio. Sono importanti nel compostaggio per la capacità che molti di essi hanno di degradare polimeri complessi come cellulosa e lignina. Preferiscono ambienti tendenzialmente acidi.

Germinazione, test di : saggio biologico condotto con semi di crescione (*lepidium sativum*), per determinare l'eventuale fitotossicità dell'estratto acquoso di una matrice organica in fase di stabilizzazione o di un compost, mediante stima della riduzione della germinabilità.

Grado di pulizia: valore che considera la presenza nel compost e nelle matrici organiche di scarto di materiali indesiderati quali vetro, plastiche, inerti,...

Humus: prodotto finale della trasformazione a carico della sostanza organica fresca presente nelle matrici durante il compostaggio. E' caratterizzato da elevata complessità molecolare ed elevata resistenza alla demolizione, e svolge un ruolo di fondamentale importanza circa la stabilità strutturale e la fertilità di un terreno.

Idrogeno solforato (acido solfidrico), h_2s : sostanza gassosa, dal tipico odore di uova marce, derivante dal metabolismo microbico a carico di composti contenenti zolfo, in condizioni anaerobiche. È sostanza ad elevata tossicità. Nei materiali sottoposti a compostaggio, si forma in assenza di adeguata aerazione.

Igienizzazione: disattivazione degli agenti patogeni per l'uomo e per le colture, e dei semi vitali nelle matrici organiche in via di trasformazione. Si attua per autoriscaldamento naturale dovuto all'attività microbica durante il compostaggio.

Indice di respirazione (respiration rate): misura del consumo di ossigeno nell'unità di tempo da parte di 1 kg di substrato organico ($\text{mgo}_2/\text{kg/h}$). Fornisce un'indicazione del grado di stabilità di una matrice organica (es. Compost). Un compost è da ritenersi completamente maturo se presenta un indice respirometrico <200 . Alla fine della fase di compostaggio attivo (stabilizzazione), molti substrati presentano ancora un tasso respirometrico intorno a 400-500.

Inerti: frazione merceologica di un compost o di una matrice organica non soggetta ad attacco microbiologico (pietre, materiali terrosi, vetro, plastica...).

Inoculo: microrganismi o attivatori (enzimi, proteine,...) che possono essere aggiunti alle matrici organiche avviate a compostaggio con lo scopo di accelerare e/o favorire il processo.

Insufflazione: metodo di aerazione forzata mediante adduzione di aria nella matrice organica in trasformazione, per mezzo di apposite soffianti.

Letame: escrezioni di carattere prevalentemente fecale, derivanti dagli animali in allevamento. Il letame contiene spesso una quantità variabile della lettiera di stabulazione (paglia) e si presenta, di solito, come palabile.

Lieviti: gruppo di funghi unicellulari, caratterizzati da tipica duplicazione per gemmazione. Sono largamente coinvolti nelle reazioni fermentative a carico degli zuccheri semplici (fermentazione). Rivestono un ruolo modesto nell'ambito del processo di compostaggio.

Lignina: è il costituente dei tessuti vegetali, secondo per quantità soltanto alla cellulosa. Si tratta di un polimero complesso, a prevalente struttura aromatica ed assai recalcitrante alla biodegradazione.

Lotto di produzione: quantità definita di ammendante prodotta, lavorata e confezionata nella medesima azienda, con la stessa tecnologia di processo e miscela e in un determinato lasso di tempo.

Matrice organica: materiale formato in max parte da sostanza organica di origine naturale, la cui tipologia sia ben identificabile e riconoscibile.

Maturazione: fase del compostaggio che segue quella di stabilizzazione (o bioossidazione) e che consiste in una lenta trasformazione della sostanza organica, in breve esotermia, con incremento dell'umificazione e scomparsa della fitotossicità.

Mesofilo: fase di processo con temperature tra 30 e 45°C.

Metalli pesanti: elementi chimici il cui $p_{spec} \geq 5$, e cui elevate concentrazioni possono avere effetti tossici sugli organismi (pb, cu, zn, ni, hg, cd, as, cr, mb, fe...).

Micelio: trama di ife fungine, spesso percepibile ad occhio nudo.

Microfauna: in una matrice organica sottoposta a compostaggio, sta a indicare l'insieme di protozoi, rotiferi e nematodi che vivono a spese di batteri e funghi e partecipano ai processi di degradazione del substrato.

Microflora: in pratica, l'insieme delle popolazioni di batteri, attinomiceti e funghi che colonizzano un determinato substrato sottoposto a compostaggio.

Microorganismo: organismo di dimensioni microscopiche, solitamente visibile per mezzo di adeguato ingrandimento. Sono da considerarsi microorganismi, a tutti gli effetti, i batteri, gli attinomiceti, i funghi, le alghe unicellulari ed i protozoi, anche se, nel compostaggio, il riferimento è soprattutto ai primi tre gruppi.

Mineralizzazione: completa degradazione di un composto organico, con produzione di acqua, anidride carbonica ed elementi minerali.

Nitrificazione: ossidazione biochimica dell'ammoniaca a nitrato ad opera di batteri nitrosanti (es. Nitrosomonas) e nitrificanti (es. Nitrobacter) chemolitotrofi (autotrofi).

Nutrienti: elementi nutritivi presenti nel substrato in compostaggio e indispensabili per la crescita microbica. Si fa una distinzione tra macronutrienti, rappresentati da carbonio, azoto, fosforo, potassio e zolfo, richiesti in quantità relativamente elevate, e micronutrienti, sufficienti in piccola concentrazione o, addirittura, in tracce.

Odori, abbattimento degli : processo di captazione e trattamento delle sostanze maleodoranti volatili che si sviluppano, in prevalenza, durante la fase di compostaggio attivo. Può essere attuato mediante biofiltrazione (biofiltro) ovvero col ricorso a torri di lavaggio (scrubbers) e successivo trattamento delle acque. È applicabile soltanto presso stazioni di compostaggio che operano il processo in strutture chiuse.

Pacciamatura: applicazione del compost in strato sottile (4-8cm) allo scopo di garantire il contenimento delle malerbe ed il controllo termoisolante delle condizioni del suolo.

Patogeno umano: qualsiasi organismo (batterio, fungo, virus, parassita) capace di provocare una malattia, un'infezione o uno stato transitorio di alterazione fisiologica nell'uomo. Spesso associati alle matrici organiche destinate al compostaggio (es. Frazione organica dei rifiuti urbani, fanghi di depurazione), gli organismi patogeni

sono in massima parte disattivati dalle alte temperature raggiunti durante lo stadio termofilo del processo.

Percolato: frazione di acqua costituita da acqua metabolica (di processo) e da acqua eccedente la capacità di assorbimento di un materiale (cumulo) o di una superficie (piazzale); possiede un contenuto in componenti organiche (acidi organici, n-composti,..) Ed inorganiche (me pesanti) assai alto. Può essere ricircolato per umidificare i cumuli.

Ph: grandezza che esprime l'acidità di una soluzione, ed è legata alla concentrazione di h^+ dalla relazione: $ph = -\log_{10}[h^+]$; la scala del ph si estende da zero a 14: valori inferiori a 7 indicano una soluzione acida, valori superiori a 7 una soluzione alcalina.

Porosità: misura degli spazi vuoti presenti tra la fase solida di un materiale; è importante sia per le matrici in fase di compostaggio (resistenza alla circolazione dell'aria), sia per i compost (capacità di trattenere acqua e aria). Si esprime in % di volume.

Psicrofilo: fase di processo con temperature inferiori a 25°C (10-20°C).

Raccolta differenziata: asporto selettivo della componente organica dei rifiuti urbani mediante intercettazione alla fonte ovvero a mezzo di contenitori stradali dedicati.

raffinazione: operazione di nobilitazione del compost prima del suo impiego agronomico. consente di raggiungere un grado di pulizia prefissato e può avvenire per vagliatura, riduzione granulometrica, deferrizzazione, classificazione aerea,...

rendimento elettrico e meccanico: e_{elett} ed e_{mecc} prodotta per unità di e introdotta come combustibile.

rendimento termico: e_{term} recuperata per unità di e introdotta come combustibile.

Scarti verdi: scarti di origine vegetale derivanti dalla manutenzione del verde pubblico e privato, e scarti legnosi non trattati chimicamente.

Scrubber: sistema in grado di adsorbire, ossidare o salificare molecole odorogene presenti nelle arie esauste. Può essere di tipo chimico (flusso d'aria è lavato con soluzioni acquose arricchite di reagenti chimici specifici per i microinquinanti presenti), o di tipo biologico (l'acqua è continuamente ricircolata ed utilizzata per il lavaggio in controcorrente dell'aria inquinata, e si forma una flora microbica capace di mineralizzare le sostanze organiche).

Sistema aperto: sistema di compostaggio in cui le matrici sono disposte in cumuli all'aperto, in aie coperte da semplici tettoie oppure scoperte.

Sistema chiuso: sistema di compostaggio in reattori chiusi o in reattori aperti, entro capannoni.

Solidi volatili: frazione della sostanza secca costituita in prevalenza da sostanza organica; determinati analiticamente come perdita all'incenerimento, ossia come differenza tra sostanza secca e ceneri residue.

Solidi totali o sostanza secca: sostanza residua dopo essiccamento in stufa a 105°C fino a p costante.

Sovvallo: frazione originata dall'operazione di raffinazione/vagliatura. È costituita da materiali lignocellulosici di elevata pezzatura e da quote di materiali indesiderati. Può essere reimpressa in testa al processo con funzione strutturante o destinata allo smaltimento.

Stabilizzazione biologica: riduzione della biodegradabilità delle matrici organiche, attraverso processi aerobici e anaerobici finalizzati a limitare l'attività biologica e le emissioni gassose e odorigene.

Stabilità: stato del processo di biotrasformazione caratterizzato da modesta attività biologica, misurabile attraverso il consumo di ossigeno/h o la produzione di CO₂/unità di massa.

Struttura: in un materiale sottoposto a compostaggio, la struttura descrive la rigidità delle particelle, vale a dire la tendenza delle stesse a non compattarsi.

Tempo di ritenzione: tempo di permanenza del materiale, sottoposto a trattamento, entro un determinato contenitore.

termofilo: fase di processo con temperature superiori a 45°C, in genere in un intervallo tra 50 e 65°C.

tessitura: caratteristica che descrive l'estensione dell'area superficiale delle particelle di una matrice in compostaggio. substrati con particelle di piccole dimensioni presentano una più estesa superficie disponibile per l'attacco microbico, a fronte però di scarsa porosità. d'altra parte, al crescere della dimensione delle particelle, il rapporto area superficiale/volume diminuisce, mentre la porosità aumenta.

trattamento meccanico-biologico, tmb: processo in cui, oltre alla fase biologica, sono previsti trattamenti meccanici atti a favorire la separazione delle componenti non biodegradabili.

triturazione: operazione meccanica a carico delle matrici organiche di scarto al fine di ottenere una riduzione di v, e di rendere la biomassa sminuzzata maggiormente aggredibile da parte dei microrganismi.

umidità: frazione o percentuale di una matrice rappresentata dall'acqua. viene solitamente espressa sulla base del peso fresco.

umificazione: processo attuato da microrganismi che comporta la sintesi di composti ad elevato peso molecolare e di lenta degradazione.

vagliatura (o finissaggio): operazione che consente di separare le particelle di un compost in classi granulometriche differenti. serve a raffinare il compost e può avvenire con vagli differenti per caratteristiche tecnologiche. da tale operazione derivano due frazioni: il compost, ed il sovrvallo (frazione più grossolana).

virus: entità biologica a struttura non cellulare, dotata di specificità d'ospite, all'interno del quale avviene la replicazione con conseguente lisi delle cellule infettate. i virus sono gli agenti causali di numerose malattie e possono essere associati alle matrici fresche destinate al compostaggio. decadono durante il progredire del processo.

volatilizzazione: rilascio in atmosfera di sostanze allo stato gassoso.

LINK UTILI

□ Compostaggio in Italia

<http://www.rifiutinforma.it>

<http://www.compost.it>

<http://www.asetservizi.it/impianti>

<http://www.sangiorgioinsieme.it>

<http://www.lympa.it>

<http://www.amiat.it>

<http://www.compost.fareverde.it>

<http://www.distintirifiuti.it>

<http://www.amiarimini.it>

<http://www.comunitamontanagransasso.it>

<http://www.monzaflora.it>

<http://www.biopuglia.it>

<http://www.sirtecambiente.it>

<http://www.compostaggio.com>

<http://www.geofor.it>

<http://www.arpat.toscana.it>

<http://www.tecnologieappropriate.it>

<http://www.venetoagricoltura.it>

<http://www.geoverde.ch>

<http://www.rifiutilab.it>

<http://www.coldiretti.it>

<http://www.confagricoltura.it>

<http://www.contrasto.it>

□ Compostaggio nel mondo

<http://www.compostingcouncil.org> (usa)

<http://www.compost.org> (canada)

<http://www.vlaco.be> (belgio)

<http://www.bgkev.de> (germania)

<http://www.vvav.nl> (olanda)

<http://www.compost.org.uk> (gran bretagna)

<http://www.kompost.at> (austria)

<http://www.compost.it> (italia)

<http://www.compostnetwork.info> (europa)

□ Centri di ricerca

<http://www.cordis.lu/en/home.html>

<http://www.crupa.it>

<http://www.ismaa.it>

<http://www.monzaflora.it/html/home.php3>

<http://www.isnp.it/default.htm>

<http://www.agraria.it/osservatorio/ita/frame.htm>

<http://www.federchimica.it>

<http://www.icram.it>

<http://www.issds.it>

□ Istituzioni

<http://www.parlamento.it>

<http://www.governo.it>

<http://www.minambiente.it/sito/home.asp>

<http://www.dstn.it>

<http://www.politicheagricole.it>

<http://www.ministerosalute.it>

<http://www.sinanet.anpa.it>

<http://www.enea.it>

<http://www.inea.it>

<http://www.arsia.toscana.it>
<http://www.iamb.it/homeit.html>
<http://www.regioni.it>
<http://www.upinet.it>
<http://www.anci.it>
<http://www.anci.it/conf1.cfm>
<http://www.cnr.it>
<http://www.istat.it>
<http://www.europarl.eu.int>
<http://europa.eu.int>
<http://ue.eu.int/it/summ.htm>
http://europa.eu.int/comm/environment/index_en.htm
<http://www.eea.eu.int>
<http://www.curia.eu.int>
<http://europa.eu.int/eurostat.html>
<http://www.eionet.eu.int>
<http://www.unep.org>
<http://www.oecd.org>
<http://www.whitehouse.gov/ceq>
<http://www.epa.gov>
<http://www.usda.gov>
<http://www.provincia.bz.it>
<http://www.regione.campania.it>
<http://www.regione.emilia-romagna.it>
<http://www.regione.veneto.it>
<http://www.regione.lombardia.it>
<http://www.arpab.it>

□ *Ministeri dell'ambiente nell'unione europea*

<http://www.bmlf.gv.at/en> (austria)
<http://www.irceline.be> (belgio)
<http://www.mem.dk/ukindex.htm> (danimarca)
<http://www.vyh.fi/eng> (finlandia)
<http://www.environnement.gouv.fr> (francia)

<http://www.bmu.de/fset1024.php> (germania)
<http://www.minenv.gr> (grezia)
<http://www.viron.ie> (irlanda)
<http://www.minvrom.nl/minvrom/pagina.html?id=1306> (paesi bassi)
<http://www.ipamb.pt> (portogallo)
<http://www.mma.es> (spagna)
<http://www.viron.se> (svezia)
<http://www.detr.gov.uk> (gran bretagna)

□ Associazioni

<http://www.iswa.org>
<http://www.iswa.it>
<http://www.legambiente.com>
<http://www.wwf.it/>
<http://www.ecoistituto.veneto.it/>
<http://www.compostingcouncil.org>

□ Riviste ambientali

<http://www.clorofilla.it>
<http://www.e-gazette.it/index.htm>
<http://www.legambiente.org/attivita/ecosportello/primapagina.php>
<http://www.riciclare.net>
<http://www.rifiutilab.it>
<http://www.rifiutinforma.it>
<http://www.reteambiente.it>
<http://www.edie.net/index2.html>
<http://www.enn.com/news/index.asp>
<http://www.envirolink.org>
<http://www.worldenvironment.com>
<http://www.informatoreagrario.it/>
<http://www.ilverdeeditoriale.com>
<http://www.arvan.it>
<http://www.aiab.it>

<http://www.amab.it>

<http://www.labuonaterza.it>

RINGRAZIAMENTI

Desidero sinceramente ringraziare Giuseppe (un grande!!), Andrea, Betty, la Dott.ssa Sacchini, l'Ing. Dradi, il Prof. Morselli, Tal Quale, e tutti i ragazzi del Centro Trattamento Frazioni Organiche - HERA S.p.A. di Ca' Baldacci (RN), per ogni fondamentale consiglio, per ogni utile suggerimento, ma soprattutto per l'estrema cordialità e disponibilità che hanno reso unica questa esperienza di Stage.

Un sentito abbraccio dal cuore a Jonathan, Contrasto, Roberto, Ornella, Katia, Paolo, Andrea, Marco e a tutti i colleghi del Master, per l'amicizia, la collaborazione, la forza e l'appoggio che in questi mesi mi hanno sempre dimostrato.

Infine, un ringraziamento particolare ai miei genitori, a mia sorella Claudia ed ai miei nonni...siete la mia vita.

BIBLIOGRAFIA

[1] AA.VV. (2004) – *Compost di qualità. Annuario 2004-2005*. Consorzio Italiano Compostatori, con la collaborazione di C.R.P.A. - Centro Ricerche Produzione Animali, e di Scuola Agraria del Parco di Monza. Il Verde editore, pp.127

[2] AA.VV. (2002) – *Rifiuti liquidi, granulari, pastosi e fanghi. Campionamento manuale e preparazione ed analisi degli eluati*. Norma italiana, UNI 10802.

[3] AA.VV. (2000) – *Qualità delle acque. Guida al campionamento dei fanghi provenienti da attività di trattamento delle acque di scarico*. Norma italiana, UNI 5667-13.

[4] AA.VV. (1991) – *Chimica del Suolo*. Coordinatore Paolo Sequi. Patròn editore, pp. 627

[5] ACCOTTO E. (1999) – *Iter amministrativo per la realizzazione e la gestione degli impianti di compostaggio*. Consorzio Nazionale Compostatori, atti del 3° Corso Nazionale di Perfezionamento, “Progettazione e gestione di impianti di compostaggio”, Centro Ricerche Produzioni Animali C.R.P.A. S.p.A., Reggio Emilia: 5-10.

[6] ADANI F., CENTEMERO M. (2002) – *Nuove frontiere nella ricerca per la valorizzazione del compost*. Atti di Ricicla 2002, Rimini: 197-203.

[7] ADANI F. (1999) – *Il processo di compostaggio: definizioni e principi biodinamici*. Consorzio Nazionale Compostatori, atti del 4° Corso Nazionale di Base,

“Produzione ed impiego del compost di qualità”, Istituto Agronomico Mediterraneo, Valenzano (Bari): 1-20.

[8] ANPA (Agenzia Nazionale per la Protezione dell’Ambiente) e ONR (Osservatorio Nazionale sui Rifiuti) (2002) – *Il recupero di sostanza organica dai rifiuti per la produzione di ammendanti di qualità*. Manuali e Linee Guida 7/2002, ANPA – Unità Normativa Tecnica.

[9] APAT, IRSA-CNR (2003) – *Metodi analitici delle acque*. Manuali e Linee Guida, 29/2003, APAT – Unità Normativa Tecnica.

[10] BECCALONI E., MUSMECI L., STACUL E. (2003) – *Presenza di microinquinanti metallici in campioni di compost prodotto con matrici differenti*. Atti di Ricicla 2001, Rimini: 796-803.

[11] BECCALONI E., MUSMECI L., STACUL E. (2003) – *Monitoraggio di inquinanti tradizionali ed emergenti nel campo del trattamento delle biomasse*. Atti di Ecomondo 2003, Rimini: 20-28.

[12] BELLINO M., BORRELLO P., COCCIA A.M., GUCCI P.M.B. (2001) – *Indagine preliminare sui livelli di esposizione ai bioaerosol emessi in un impianto di trattamento dei rifiuti*. Atti di Ricicla 2001, Rimini: 125-130.

[13] BERRI A., CASTIGLIONI A. (2003) – *Metodologia di indagine nella valutazione degli effetti di molestia olfattiva in presenza di un impianto di compostaggio nell’area*. Atti di Ecomondo 2003, Rimini: 103-106.

[14] CALCATERRA E. (1999) – *Aspetti tecnologici critici della gestione*. Consorzio Nazionale Compostatori, atti del 3° Corso Nazionale di Perfezionamento,

“Progettazione e gestione di impianti di compostaggio”, Centro Ricerche Produzioni Animali C.R.P.A. S.p.a., Reggio Emilia: 107-130.

[15] CALCATERRA E. (1999) – *Le opere di presidio ambientale*. Consorzio Nazionale Compostatori, atti del 4° Corso Nazionale di Base, “Produzione ed impiego del compost di qualità”, Istituto Agronomico Mediterraneo, Valenzano (Bari): 167-176.

[16] CALZAVARA R. (2002) – *Residui animali: e i fertilizzanti? Il nuovo regolamento europeo sui residui animali trascura i fertilizzanti*. Fertilizzanti: 6/02, <http://www.arvan.it>

[17] CAVALLO R., ROSIO E. (2002) – *La progettazione integrata dei sistemi di raccolta rifiuti: l'importanza della comunicazione*. Atti Convegno Regione Piemonte, Torino Incontra, febbraio 2002.

[18] CENTEMERO M. (2004) – *Il compostaggio: tendenze e prospettive in Italia ed in Europa*. Atti della Scuola Nazionale di Aggiornamento - I Rifiuti. Università di Bologna, Polo Scientifico Didattico di Rimini.

[19] CENTEMERO M. (2004) – *Compostaggio e compost: importanza della stabilità, settori di maggior rilevanza, modalità d'uso, scenari attuali di mercato*. Appunti delle lezioni di Master Universitario in “Tecnologie e controllo ambientale nel ciclo dei rifiuti”, FSE 2000-2006 P.O.R. Regione Emilia Romagna ob.3 Misura C3 – “Formazione Superiore” Rif. 2003/0077/SC3, Università di Bologna – Polo Scientifico di Rimini.

[20] CENTEMERO M. (2004) – *Valorizzazione agronomica della sostanza organica: esperienze applicative di impiego del compost*. Appunti delle lezioni di Master

Universitario in “Tecnologie e controllo ambientale nel ciclo dei rifiuti”, FSE 2000-2006 P.O.R. Regione Emilia Romagna ob.3 Misura C3 – “Formazione Superiore” Rif. 2003/0077/SC3, Università di Bologna – Polo Scientifico di Rimini.

[21] CENTEMERO M. (2001) – *Il compost nei terricci per il florovivaismo*. Fertilizzanti, 3(1): 24-29.

[22] CENTEMERO M., CORTI C. (2000) – *Caratteristiche tecniche del compost per l'agricoltura sostenibile*. L'Informatore Agrario, 6: 31-42.

[23] CENTEMERO M. (1999) – *Le matrici organiche compostabili e i settori produttivi di provenienza*. Consorzio Nazionale Compostatori, atti del 4° Corso Nazionale di Base, “Produzione ed impiego del compost di qualità”, Istituto Agronomico Mediterraneo, Valenzano (Bari): 21-32.

[24] CIAVATTA C. (2003) – *Biomasse trasformabili in fertilizzanti*. Appunti delle lezioni di Master Universitario in “Tecnologie e controllo ambientale nel ciclo dei rifiuti”, FSE 2000-2006 P.O.R. Regione Emilia Romagna ob.3 Misura C3 – “Formazione Superiore” Rif. 2003/0077/SC3, Università di Bologna – Polo Scientifico di Rimini.

[25] CIAVATTA C. (2003) – *L'apporto di metalli pesanti al suolo con i fertilizzanti*. Appunti delle lezioni di Master Universitario in “Tecnologie e controllo ambientale nel ciclo dei rifiuti”, FSE 2000-2006 P.O.R. Regione Emilia Romagna ob.3 Misura C3 – “Formazione Superiore” Rif. 2003/0077/SC3, Università di Bologna – Polo Scientifico di Rimini.

[26] CIAVATTA C. (2003) – *Survey of waste spread on land*. Appunti delle lezioni di Master Universitario in “Tecnologie e controllo ambientale nel ciclo dei rifiuti”,

FSE 2000-2006 P.O.R. Regione Emilia Romagna ob.3 Misura C3 – “Formazione Superiore” Rif. 2003/0077/SC3, Università di Bologna – Polo Scientifico di Rimini.

[27] CORTELLINI L., LARAIA R. (2002) – *Misura di emissioni di odori da impianti di compostaggio: risultati preliminari*. Atti di Ricicla 2002, Rimini: 707-716.

[28] CORTELLINI L., LARAIA R. (2001) – *La normativa nazionale e internazionale sugli odori*. Atti di Ricicla 2001, Rimini: 86-93.

[29] DE SIMONE C., ANGELUCCI R., ERICHETTI M.F., MARCONI S., ROSSI M., SELVI S. (2003) – *Genotossicità: un nuovo parametro nella valutazione della qualità dei composts?* Atti di Ecomondo 2003, Rimini: 29-35.

[30] DIVAPRA-IPLA-ARPA (1998) – *Metodi di analisi del compost*. Collana Ambiente n.6 – Regione Piemonte.

[31] DLgs 13 gennaio 2003 n.36, recante “*Attuazione della Direttiva 99/31/CEE relativa alle discariche di rifiuti*”. Supplemento Ordinario alla G.U. del 12 marzo 2003, Serie generale n.59.

[32] DLgs 5 febbraio 1997 n.22, recante “*Attuazione delle Direttive 91/156/CEE sui rifiuti, 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi, e 94/62/CEE sugli imballaggi e sui rifiuti da imballaggio*”. Supplemento Ordinario alla G.U. del 15 febbraio 1997, Serie generale n.38.

[33] DM 25 ottobre 1999 n.471, recante “*Criteri, procedure e modalità per la messa in sicurezza, la bonifica e il ripristino dei siti inquinati, ai sensi dell’art.17 del DLgs 5/2 /97 n.22 e successive modifiche e integrazioni*”.

[34] DPR 24 maggio 1998 n. 203, con modifiche apportate dal DLgs 4 agosto 1999 n.351, e dal DM 2 aprile 2002 n.60, recante “*Attuazione delle Direttive 80/779/CEE, 82/884/CEE e 85/203/CEE concernenti norme in materia di qualità dell’aria, relativamente a specifici agenti inquinanti, e di inquinamento prodotto dagli impianti industriali, ai sensi dell’articolo 15 della Legge 16 aprile 1987 n.183*”. Supplemento Ordinario alla G.U. del 16 giugno 1988, Serie generale n.140.

[35] FAVOINO E. (2003) – *Impianti, processi e attività di compostaggio e trattamento biologico: quadro strategico, criteri di progetto e di processo, minimizzazione degli odori*. Appunti delle lezioni di Master Universitario in “Tecnologie e controllo ambientale nel ciclo dei rifiuti”, FSE 2000-2006 P.O.R. Regione Emilia Romagna ob.3 Misura C3 – “Formazione Superiore” Rif. 2003/0077/SC3, Università di Bologna – Polo Scientifico di Rimini.

[36] FAVOINO E. (2003) – *Il trattamento biologico nei sistemi integrati di gestione dei rifiuti. Novità e prospettive*. Atti di Ecomondo2003, Rimini: 61-67.

[37] FAVOINO E. (2003) – *Le caratteristiche operative degli impianti di compostaggio: coerenze di progetto e di processo per l’ottimizzazione dei cicli produttivi e la minimizzazione dei problemi*. Appunti delle lezioni di Master Universitario in “Tecnologie per la gestione dei rifiuti”, FSE 2000-2006 P.O.R. Regione Emilia Romagna ob.3 Misura C3 – “Formazione Superiore” Rif. O.I. 2002/0066/SC3, Università di Bologna – Polo Scientifico di Rimini.

[38] FAVOINO E. (2002) – *Gli odori negli impianti di compostaggio: valutazioni strategiche e note tecniche su prevenzione e gestione del problema*. Atti di Ricicla 2002, Rimini: 732-741.

[39] FAVOINO E., RICCI M., TORNAVACCA A., CENTEMERO M., MORABITO S. (2000) – *Le raccolte differenziate degli scarti compostabili in Italia*

in confronto all'Europa: specificità, risultati, costi dei sistemi. "I rifiuti" – Morselli L., Marassi M. (2001): 151-168.

[40] FAVOINO E., RICCI M., TORNAVACCA A., CENTEMERO M., MORABITO S. (2000) – *Ottimizzazione del processo e performance ambientali negli impianti di compostaggio.* "I rifiuti" – Morselli L., Marassi M. (2001): 169- 182.

[41] FAVOINO E. (1999) – *Tecnologie di processo e coerenza con gli scenari operativi.* Consorzio Nazionale Compostatori, atti del 3° Corso Nazionale di Perfezionamento, "Progettazione e gestione di impianti di compostaggio", Centro Ricerche Produzioni Animali C.R.P.A. S.p.a. – Reggio Emilia: 77-106.

[42] FINESSI L. (2003) – *Liquami zootecnici. Manuale per l'utilizzazione agronomica.* Servizio Sviluppo Sostenibile Agroalimentare, Regione Emilia-Romagna.

[43] GARAVAGLIA V., GUARINO M., NAVAROTTO P., ADANI F. (2003) – *L'impatto delle nuove norme europee sulla filiera del compostaggio italiana.* Atti di Ecomondo 2003, Rimini: 68-73.

[44] GHERMANDI L. (2004) – *La produzione e la gestione del compost in Italia.* Atti della Scuola Nazionale di Aggiornamento - I Rifiuti. Università di Bologna, Polo Scientifico Didattico di Rimini.

[45] GRUENEKLEE E. (1997) – *Produzione, qualità e marketing del compost in Germania.* Atti Convegno "Manifesto del Compostaggio in Italia", Milano.

[46] LARAIA R., ADELLA L., FRITTELLONI V. (2003) – *Le nuove norme sulla gestione dei rifiuti di origine animale*. Atti di Ecomondo 2003, Rimini: 36-42.

[47] LARAIA R., ADELLA L., FRITTELLONI V., LUCIGNANO F. (2003) – *Il recupero di sostanza organica dai rifiuti. I numeri del sistema*. Atti di Ecomondo 2003, Rimini: 13-19.

[48] LARAIA R. (2002) – *Stato di attuazione della legislazione in materia di rifiuti e nuovi orientamenti in materia*. Atti di Ricicla 2001, Rimini.

[49] LARAIA R. (2001) – *Il ruolo della gestione dei rifiuti organici biodegradabili nella gestione integrata dei rifiuti: orientamenti europei e nazionali*. Atti di Ricicla 2001, Rimini: 707-716.

[50] LAZZAZZARA G. (2003) – *Messa a regime dei sistemi di abbattimento delle emissioni odorigene in un impianto di compostaggio della provincia di Rimini*. Tesi di Master in “Tecnologie per la gestione dei rifiuti”, Facoltà di Chimica Industriale, Università di Bologna – Polo Scientifico Didattico di Rimini.

[51] LAZZARI L. (1998) – *La raccolta differenziata della frazione organica: il progetto FORSU*. Consorzio Azienda Intercomunale Treviso3.

[52] MANETTI E., MONTANARO I., ZAGAROLI M., CARUSON P., SICILIA F., LUNGHI P. (2002) – *Sperimentazione di un sistema di pretrattamento dell'aria aspirata dai bacini di compostaggio mediante bioscrubber*. Atti di Ricicla 2002, Rimini: 748-752.

[53] MANETTI E., MONTANARO I., ZAGAROLI M. (2001) – *Sviluppo ed ottimizzazione del sistema di biofiltrazione applicato ad un impianto di selezione meccanica e stabilizzazione dei RSU*. Atti di Ricicla 2001, Rimini: 161-165.

[54] MANTOVI P., PICCININI S. (2003) – *Effetti dell'utilizzo di frazione organica stabilizzata (FOS) nel recupero ambientale di cave e di argilla*. Atti di Ecomondo 2003, Rimini: 74-83.

[55] MANTOVI P., ROSSI L. (2003) – *Effetti positivi del compostaggio nell'uso agronomico dei fanghi di depurazione. Risultati di 12 anni di sperimentazione*. Atti di Ecomondo 2003, Rimini: 43-50.

[56] MORSELLI L., MARASSI M. (2001) – *I rifiuti. La chimica, il ciclo di vita, la valorizzazione, lo smaltimento, il controllo ambientale*. FrancoAngeli editore, pp. 520.

[57] PERELLI M. (1999) – *Normativa comunitaria e nazionale di riferimento sulla produzione e l'impiego del compost*. Consorzio Nazionale Compostatori, atti del 4° Corso Nazionale di Base, "Produzione ed impiego del compost di qualità", Istituto Agronomico Mediterraneo, Valenzano (Bari): 51-86.

[58] PICCININI S. (2001) – *Stato dell'arte del compostaggio di qualità in Italia*. Atti di Ricicla 2001, Rimini: 31-45.

[59] PICCININI S. (1999) – *La situazione del compostaggio in Italia: panoramica sugli impianti*. Consorzio Nazionale Compostatori, atti del 4° Corso Nazionale di Base, "Produzione ed impiego del compost di qualità", Istituto Agronomico Mediterraneo, Valenzano (Bari): 177-198.

[60] PINAMONTI F. (1998) – *L'impiego del compost sui terreni agricoli*. L'Informatore Agrario, 44: 45-48.

[61] Regione Basilicata, Dipartimento Ambiente e Territorio. *Linee Guida per la gestione degli impianti di compostaggio e stabilizzazione*. (http://www.regione.basilicata.it/dipartimento_ambienteterritorio/modulistica/lineeimpianti.doc).

[62] Regione Lombardia, Bollettino Ufficiale – Milano 13 maggio 2003, 1° Supplemento Straordinario. Delibera Giunta Regionale 16 aprile 2003 n.7/12764 – *Linee Guida relative alla costruzione e all'esercizio degli impianti di produzione di compost*. Revoca della D.G.R. 16 luglio 1999 n.44263.

[63] Regione Sicilia, Commissario Delegato per l'emergenza rifiuti e la tutela delle acque – O.P.C.M. n.2983 del 31 maggio 1999. *Linee Guida per la gestione degli impianti di compostaggio e stabilizzazione*. (www.regione.sicilia.it)

[64] ROSSI L., PICCININI S., VALLI L. (2003) – *Verifica dell'efficienza di additivi commerciali per l'ottimizzazione del processo di compostaggio*. Atti di Ecomondo 2003, Rimini: 94-102.

[65] ROSSI L., PICCININI S. (2003) – *Verifica di sistemi semplificati di compostaggio applicati a scarti di trasformazione delle produzioni agro-alimentari*. Atti di Ecomondo 2003, Rimini: 84-93.

[66] ROSSI L., PICCININI S. (2002) – *Le soluzioni tecnologiche per il compostaggio in ambiente confinato: confronto tecnico-economico*. Atti del Corso di Specializzazione sul compostaggio di qualità, "Il compost di qualità", C.I.C. – Fiera di Rimini, Rimini 2002.

[67] ROSSI L. (1999) – *I possibili sistemi operativi: macchine ed attrezzature utilizzabili*. Consorzio Nazionale Compostatori, atti del 4° Corso Nazionale di Base, “Produzione ed impiego del compost di qualità”, Istituto Agronomico Mediterraneo, Valenzano (Bari): 87-166.

[68] ROSSI L., PICCININI S. (1999) – *La progettazione dell’impianto di compostaggio a tecnologia semplificata*. Consorzio Nazionale Compostatori, atti del 3° Corso Nazionale di Perfezionamento, “Progettazione e gestione di impianti di compostaggio”, Centro Ricerche Produzioni Animali C.R.P.A. S.p.a. – Reggio Emilia: 11-34.

[69] ROSSI L., PICCININI S., VALLI L., CORTELLINI L. (1996) – *Il compostaggio dei residui zootecnici, dei fanghi di depurazione e della frazione organica da raccolta differenziata: le esperienze condotte dal CRPA in Emilia Romagna. Parte seconda: il compostaggio dei fanghi di depurazione e della frazione organica da raccolta differenziata*. RS Rifiuti Solidi,1: 14-20.

[70] SIRONI S., GRANDE M., GRONCHI P., DEL ROSSO R., CENTOLA P. (2002) – *La gestione delle emissioni di odori negli impianti di compostaggio*. Atti di Ricicla 2002, Rimini: 812-821.

[71] SETTI L., MORSELLI L., ZANICHELLI D. (2003) – *Studi preliminari sulla stabilizzazione anaerobica controllata della frazione umida dei rifiuti solidi urbani (FORSU)*. Atti di Ecomondo 2003, Rimini: 51-59.

[72] SQUITERI G. (2001) – *La doppia valenza della strategia del compostaggio alla luce del Decreto legislativo 22/97 e degli obiettivi di lotta alla desertificazione*. Atti di Ricicla 2001, Rimini: 15-20.

[73] TITTARELLI F., TRINCHERA A.,INTRIGLIOLO F., CALAMBRETTA M.L., BENEDETTI A. (2000) – *L'impiego dei residui dell'industria agrumaria nella produzione di compost per agricoltura biologica e convenzionale*. Atti XVIII Convegno Nazionale SICA: 429-434.

[74] VALLI L., PICCININI S. (2003) – *Il problema degli odori negli impianti di compostaggio: descrizione, genesi, tecniche di misura*. In “Il compost di qualità”, a cura del C.I.C. – Arvan editore.

[75] VALLI L., PICCININI S. (2001) – *La misura degli odori negli impianti di compostaggio*. Atti di Ricicla 2001, Rimini: 145-149.

[76] VOLLONO C. (2003) – *L'analisi delle motivazioni del “non consenso” ai fini della gestione dei rischi connessi allo smaltimento dei rifiuti sul territorio*. Atti di Ecomondo 2003, Rimini: 354-360.

[77] ZAGAROLI M., CANOVAI A., MAZZONI G. (1999) – *La progettazione dell'impianto di compostaggio a tecnologia complessa*. Consorzio Nazionale Compostatori, atti del 3° Corso Nazionale di Perfezionamento, “Progettazione e gestione di impianti di compostaggio”, Centro Ricerche Produzioni Animali C.R.P.A. S.p.a. – Reggio Emilia: 35-76.

[78] ZDRULI P., JONES R., MONTANARELLA L. (2000) – *Organic matter in the soils of southern Europe*. European Soil Bureau, Expert Report, IRC ISPRA, Italy.

