



CAPITOLO 10 - IMPIANTI DI VALORIZZAZIONE DELLE BIOMASSE SELEZIONATE DA RACCOLTA DIFFERENZIATA (compost di qualità)

10.1 FINALITÀ'

Il fine dichiarato del presente capitolo è quello di fornire alle Amministrazioni locali un valido strumento operativo atto a:

- definire le procedure amministrative;
- fornire ai progettisti il contorno tecnico-ambientale all'interno del quale poter liberamente sviluppare le specificità progettuali (ubicazione, vincoli, sistemazione delle aree, composizione planovolumetrica dell'intervento in relazione anche al suo inserimento paesistico-ambientale, caratteristiche qualitative delle soluzioni architettoniche, tecnologie adottate, criteri di dimensionamento, presidi ambientali, ecc.) delle singole iniziative;
- favorire la costruzione e la gestione di impianti caratterizzati da standard tecnologici, processistici, gestionali ed ambientali semplici ed efficaci;
- coadiuvare la valutazione (es. in sede di istruttoria tecnica dei progetti) dell'efficienza, dell'efficacia e della sostenibilità dell'intervento, in relazione anche alla programmazione del presente Piano ed agli obiettivi strategici generali in esso contenuti.
- assicurare uno sviluppo consolidato ed omogeneo delle strategie relative al trattamento ed alla valorizzazione delle frazioni organiche del RU e delle biomasse in genere;
- completare un sistema impiantistico consolidato e proporzionato alle esigenze del territorio, essenzialmente legate al:
 - conseguimento degli obiettivi operativi (stabilizzazione agronomica delle biomasse trattate);
 - contenimento dei potenziali impatti o molestie nei confronti dei cittadini;
- fornire approcci diversi alla medesima problematica, attraverso differenti soluzioni tecnico-progettuali;



- costruire il consenso dell'opinione pubblica attraverso l'informazione degli obiettivi preposti, dei risultati raggiunti e delle garanzie di sicurezza adottate.

Poiché è del tutto evidente che non esiste un sistema tecnologico ottimale, di seguito vengono fornite le indicazioni (non esaustive) di base sui "processi unitari", ossia sugli elementi che compongono, per obiettivi e specificità, un sistema tecnologico-operativo, quali:

- sistemi di pre-e post-trattamento;
- sistemi di presidio ambientale;
- fondamenti di processo;
- strumenti per la regolazione dello stesso, ecc.;

Vengono inoltre indicate – ove opportuno - le necessità di dotazione e di dimensionamento in relazione alle differenti condizioni operative.

Le indicazioni di seguito riportate mantengono un carattere indicativo, pur segnalando specificità, problemi e condizioni applicative delle diverse situazioni operative e delle diverse soluzioni tecnologiche sviluppate per darvi soluzione.

Inoltre, al fine di salvaguardare le garanzie di affidabilità tecnico-operativa e la propensione all'innovazione tecnologica, non vengono segnalate indicazioni prescrittive sui singoli sistemi di processo (ossia le proposte tecnologiche che compongono i diversi elementi tecnologici per dare risposta in forma compiuta alla domanda di impianti) pur segnalandone comunque alcune condizioni di impiego e vocazioni d'uso.

10.2 RASSEGNA SINTETICA DEI MATERIALI TRATTABILI

Per quanto riguarda i rifiuti organici in purezza, separati alla fonte tramite raccolta differenziata, si individuano, con riferimento al punto 16 dell'ALLEGATO1 - Suballegato 1 - del D.M. 05/02/1998, e seguendo una classificazione merceologica dei rifiuti di derivazione esclusivamente urbana, le seguenti categorie di materiali che possono essere sottoposti a trattamenti biologici:



- rifiuti di provenienza alimentare collettiva, domestica e mercatale (da raccolte "secco-umido" in ambito urbano);
- rifiuti vegetali provenienti da attività di manutenzione del verde pubblico e privato e scarti lignocellulosici naturali (trucioli e segature non contaminati, cassette e bancali non trattati);
- materiale cartaceo.

A queste possono poi essere assimilate per omogeneità dei flussi e costanza delle caratteristiche chimiche e merceologiche, anche le seguenti categorie di rifiuti agricoli e speciali:

- fanghi di depurazione civile;
- altre biomasse agricole ed agroindustriali (paglie, lolla, graspi e vinacce, fanghi agroindustriali, ecc.).

Si riportano di seguito alcuni specifici approfondimenti sulle condizioni di trattamento relative alle principali frazioni elencate in precedenza.

10.2.1 Rifiuti organici di provenienza alimentare

Spesso definiti anche come Frazione Organica dei Rifiuti Solidi Urbani (FORSU) ottenuta da raccolta differenziata "secco-umido". Si tratta di una frazione omogenea costituita dagli scarti organici derivanti dalla preparazione dei cibi e dai resti dei pasti, sia domestici che da utenze collettive (ristorazione o mense). A questi si aggiungono gli eventuali scarti mercatali raccolti sia nei mercati generali che in quelli locali. Le esperienze pilota sviluppate in ambito nazionale hanno dimostrato ottimi risultati quali-quantitativi, sia per la capacità di intercettazione che per il grado di purezza merceologica (tabella 1).

Sistema	Intercettazione complessiva di scarto di cucina (min-max)	Purezza merceologica (tipico)
Domiciliarizzato classico	170-350 g ab ⁻¹ giorno ⁻¹	96-98%
Doppio contenitore stradale	50-150 g ab ⁻¹ giorno ⁻¹	90-97%

Tabella 1: prestazioni tipiche dei sistemi di raccolta secco-umido



Dal punto di vista tecnico-gestionale questa frazione organica presenta un'elevata fermentescibilità unita ad una ridotta capacità strutturante. Caratteristiche queste che ne richiedono un veloce avvio a trattamento per evitare problemi riconducibili alle emissioni odorigene dovute all'innescarsi di fenomeni putrefattivi. Lo stoccaggio temporaneo, il pre-trattamento e le prime fasi di trasformazione devono essere preferibilmente collocati in un ambiente chiuso e dotato di opportuni presidi ambientali, a meno di localizzazioni particolarmente favorevoli (distanze dagli insediamenti prossimi dell'ordine dei chilometri) e di dimensioni operative particolarmente contenute (es. sotto le 1.000 tonn/anno).

10.2.2 Scarti "verdi" ed altri materiali legnosi

Si tratta dei materiali di risulta delle attività di manutenzione e cura del verde pubblico e privato, raccolti in purezza e separati dagli altri flussi di rifiuti alla fonte. In questa tipologia di scarti organici ricadono poi, per coerenza compositiva, anche le biomasse di risulta delle attività agricole e boschive, i resti legnosi delle attività industriali ed artigianali che impiegano legno o fibre vegetali non trattate. I materiali compresi in questa frazione si distinguono per avere una più ridotta reattività biochimica e per essere dotati di un'elevata capacità strutturante, risultando quindi complementari rispetto alla frazione organica di provenienza alimentare.

Gli scarti di manutenzione del verde costituiscono un flusso di materiali compostabili che incide in percentuale variabile - a seconda dei contesti urbanistici - sul totale dei RSU ma tende comunque (e con particolare evidenza nelle situazioni con elevata incidenza di abitazioni monoutenza con giardino) a manifestarsi con marcati incrementi della produzione mensile di RSU nei periodi primaverili ed estivi, laddove non vengono predisposti circuiti dedicati alla sua intercettazione. In condizioni colturali mediamente intensive, quali quelle adottate per la cura e la manutenzione dei giardini privati e dei parchi pubblici, si registra una produzione annua di alcuni chilogrammi (3-5) di sfalcio erboso; tali quantitativi sono all'incirca raddoppiati da potature e fogliame. Risulta insomma il notevole contributo di questa frazione alla produzione complessiva di RSU domestici già in abitazioni con piccoli giardini.



A consuntivo di una serie storica di dati di raccolta nelle situazioni in cui i circuiti si stanno consolidando (Regioni in cui la raccolta differenziata dello scarto verde è stata resa obbligatoria, come Lombardia, Piemonte, Veneto), si può notare che l'intercettazione unitaria si colloca generalmente tra i 20-30 ed i 70-90 kg ab⁻¹anno⁻¹, con una ovvia influenza, tra l'altro, della situazione urbanistica.

In alcuni Comuni in realtà, soprattutto laddove i circuiti non sono ancora consolidati, le rese di raccolta registrate risultano inferiori (15/20 kg ab⁻¹anno⁻¹); va infatti considerato che le rese vengono influenzate:

- *in senso positivo*, dalla graduale introduzione e sviluppo del compostaggio familiare, che tende ad intercettare soprattutto gli scarti delle utenze con giardino;
- *in senso negativo*, da attività improprie di smaltimento, gestite spesso - e soprattutto per i residui di potatura - direttamente dalle utenze professionali (giardinieri): abbandono ai margini di campi e boschi, bruciatura.

In altri casi, invece, l'adozione di modelli *intensivi* di raccolta dello scarto verde (in particolare, con l'implementazione di circuiti di raccolta a domicilio a frequenza settimanale o quindicinale) ha determinato una eccessiva propensione delle famiglie al conferimento degli scarti verdi, rispetto all'adozione od al mantenimento della pratica del compostaggio domestico; in tali casi, si sono frequentemente registrati dati unitari di raccolta compresi tra 100 e 200 kg ab⁻¹anno⁻¹, con punte superiori a 400 kg ab⁻¹anno⁻¹ (es. Forte dei Marmi, 1998); il che comporta ovviamente un aumento delle percentuali di raccolta differenziata, ma contestualmente un incremento sensibile della quantità complessiva di rifiuti da gestire; ciò comporta un peggioramento complessivo delle prestazioni del sistema di raccolta sia in relazione agli obiettivi strategici del presente Piano (che prevede la priorità della prevenzione) che ai costi complessivi di gestione.

Allo scopo di tenere sotto controllo il sistema evitando un conferimento eccessivo di scarti di giardino al servizio di raccolta, è opportuno dunque prevedere la separazione dei circuiti di raccolta del verde (*sistema a consegna generalmente centralizzata*, od a *raccolta domiciliare a frequenza differita*) da quelli dell' "umido" (*sistema "intensivo" con raccolta a domicilio ad elevata frequenza*); ciò consente a sua volta:



- un *dimensionamento dei manufatti di raccolta dell' "umido" congruo con le necessità*, in quanto viene sottratto ad essi il forte fattore di stagionalità dei flussi rappresentato dagli scarti verdi;
- l'individuazione di *criteri specifici di raccolta per l'umido* in considerazione della elevata fermentescibilità e peso specifico (adozione di sacchetti a perdere, impiego di mezzi "leggeri" non a compattazione);
- l'*ottimizzazione dei costi di gestione* dei due flussi, mediante l'individuazione delle economie specifiche relative allo scarto "verde" (semplificazione dei sistemi di raccolta, diminuzione delle frequenze nella raccolta domiciliare, impiego di mezzi a compattazione, minori tariffe praticate dagli impianti di compostaggio per il conferimento di tale flusso);
- l'*incentivazione, se sostenuta da un programma di promozione, del compostaggio domestico nelle abitazioni con giardino*, mentre la raccolta domiciliare costituisce, intuitivamente, un fattore di "eccessiva" comodità per la consegna dello scarto verde all'Amministrazione Pubblica.

Ulteriori indicazioni, con la specificazione dei dettagli operativi, possono essere desunte nel capitolo relativo alla raccolta differenziata.

10.2.3 Fanghi civili ed agro-industriali

I fanghi derivanti da impianti di depurazione delle acque reflue civili e dagli impianti agro-industriali presentano un elevato contenuto di sostanza organica che li rende idonei a subire trattamenti biologici. Generalmente presentano delle caratteristiche compositive e quantitative costanti nel tempo. Occorre però monitorarne gli elementi di disturbo (microinquinanti organici ed inorganici, quali i metalli pesanti) al fine di valutarne l'ipotesi di una loro efficace valorizzazione agronomica. I ristretti limiti di qualità introdotti da Decreto MiPAF 27/3/98 "*Modificazione all'allegato 1C della L. 19 ottobre 1984 n. 748 recante nuove norme per la disciplina dei fertilizzanti*" che definisce quali compost vanno intesi come prodotti fertilizzanti liberamente ammissibili alla vendita, risultano difficilmente rispettabili da molti fanghi civili, in quanto i relativi impianti di depurazione ricevono, oltre alle acque da caditoie stradali, anche molti flussi di reflui industriali. Il controllo analitico è dunque sempre opportuno.



10.2.4 Carta e cartone

Da un punto di vista processistico ed agronomico, il materiale cartaceo, in relazione alle sue caratteristiche chimico-fisiche, è un ottimo costituente delle miscele di materiale organico inviate al compostaggio. La valorizzazione agronomica mediante compostaggio è:

- senz'altro possibile per la carta bianca e da cucina;
- ormai assodata per la carta di giornale, grazie a nuove tecniche di stampa che permettono di contenere gli apporti degli elementi di disturbo;
- ritenuta possibile anche per la carta patinata (riviste/periodici) generalmente commercializzata in Europa;
- esclusa per i poliaccoppiati parzialmente cartacei, a meno di sistemi di pre-trattamento che consentano la separazione delle diverse componenti.

Nel complesso del materiale cartaceo da raccolte differenziate, le analisi disponibili attestano livelli di contaminazione molto bassi per quanto concerne i parametri di valutazione relativi agli elementi potenzialmente inquinanti (con particolare riferimento ai metalli pesanti).

Va evidenziato che in fondo questi materiali, per i quali localmente possono crearsi condizioni economiche sfavorevoli al recapito ai sistemi industriali di recupero della carta, costituiscono un ottimo *supporto cellulosico alternativo*, in grado di condizionare positivamente umidità e C/N delle miscele da compostare (scenari locali con deficit di biomasse lignocellulosiche); inoltre, se raccolti congiuntamente all'umido domestico (es. utilizzo di carta di giornale per il primo contenimento dello scarto di cucina) consentono una gestione più ordinata dei manufatti per il primo contenimento (bidoni, secchi) assorbendo l'umidità in eccesso e contenendo fortemente gli odori. Queste indicazioni operative e comportamentali sono da tempo in adozione in diversi comprensori esteri.

10.3 I TRATTAMENTI BIOLOGICI DELLE FRAZIONI ORGANICHE

La componente organica dei rifiuti urbani rappresenta la frazione omogenea prevalente in peso, nonché la più problematica da gestire con i sistemi tradizionali di smaltimento, per



gli impatti ambientali che genera. Gli impianti di trattamento biologico in genere consentono di trattare la componente organica dei rifiuti al fine di riciclarla sotto forma di fertilizzanti organici oppure di stabilizzarla allo scopo di ridurre gli impatti ambientali che si possono originare dal suo smaltimento definitivo in discarica.

Si delineano quindi due linee operative strategiche complementari che originano due distinti flussi di materiale organico:

- compostaggio di frazioni organiche “di qualità” e biomasse separate a monte tramite raccolta differenziata, o rifiuti organici originati da specifiche attività produttive o di recupero che consentono di ottenere un flusso omogeneo e ben caratterizzabile analiticamente e merceologicamente;
- trattamento biologico di rifiuti indifferenziati con contenuto variabile di sostanze organiche, o frazioni organiche non di qualità derivanti dal trattamento meccanico di rifiuti indifferenziati (vagliatura) o di frazioni organiche selezionate ma con carico di elementi pericolosi relativamente elevato (es. alcuni fanghi di depurazione civile).

Nella gestione integrata dei rifiuti urbani occorre dare priorità all'avvio ed al consolidamento della raccolta differenziata, al fine di intercettare in purezza ed alla fonte la maggiore quantità possibile di frazione organica presente. Occorre però tenere presente che la raccolta dell'organico non può raggiungere un'efficienza prossima all'unità, e ciò significa che una parte dell'organico non viene intercettato e separato, rimanendo quindi all'interno dei rifiuti indifferenziati da avviare allo smaltimento. E' necessario quindi prevedere opportuni sistemi di separazione e trattamento di questa componente organica non differenziata al fine di ridurre il carico inquinante dei rifiuti da smaltire.

Ora, con la definizione di “trattamenti biologici”, si intende il complesso delle operazioni, processi ed attività a carico di materiali biodegradabili di varia natura, che sfruttando le potenzialità degradative e di trasformazione da parte di sistemi biologici (essenzialmente legati all'attività di microrganismi decompositori), consentono una mineralizzazione delle componenti organiche maggiormente degradabili (processo definito anche come “stabilizzazione” della sostanza organica) e l'igienizzazione per pastorizzazione della massa di rifiuti.



Scopo dei trattamenti biologici è quindi:

- raggiungere la stabilizzazione della sostanza organica (ossia la perdita di fermentescibilità) mediante la mineralizzazione delle componenti organiche più aggredibili, con produzione finale di acqua ed anidride carbonica ed il loro allontanamento dal sistema biochimico; tale processo è inteso a garantire la compatibilità tra i prodotti finali e le ipotesi di impiego agronomico). Infatti, un prodotto organico "stabile", nel suolo agricolo non produce più metaboliti (intermedi di degradazione) ad effetto fitotossico, né consuma ossigeno (necessario per la trasformazione delle componenti organiche "fresche"), sottraendolo alle piante ed alla microflora del terreno;
- conseguire l'igienizzazione della massa. Ciò consente di debellare i fitopatogeni presenti nei residui vegetali, impedendo che il compost ne diventi il vettore, nonché i patogeni umani veicolati presenti nei 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.

Il trattamento biologico delle frazioni organiche di rifiuto può essere realizzato con differenti tecnologie e processi, riconducibili a tre tipologie fondamentali, che è opportuno mantenere terminologicamente distinte:

- **Compostaggio di qualità**, a carico di biomasse di buona qualità selezionate alla fonte, indirizzato alla produzione di materiali valorizzabili nelle attività agronomiche e commerciabili in coerenza con il disposto della Legge 748/84 e successive modifiche ed integrazioni sui fertilizzanti;
- **Trattamento biologico** di biostabilizzazione o bioessiccazione, a carico di matrici organiche di qualità inferiore (quali frazioni organiche da separazione meccanica del rifiuto indifferenziato, fanghi biologici con presenza relativamente elevata di metalli pesanti, ecc.). L'obiettivo di tali processi (qui non esaminati allo scopo di massimizzare l'efficacia espositiva ed evitare equivoci sull'impostazione strategica del presente Piano può essere variamente inteso come:
 - **stabilizzazione pre-discarica**, intesa come "trattamento" in coerenza con la Direttiva 99/31 CE sulle discariche e con l'art. 5 comma 6 del D.lgs. 22/97;



- **produzione di materiali stabilizzati** (spesso definite come “Frazioni Organiche Stabilizzate” o “compost da rifiuti” o “compost grigio”) per applicazioni controllate in attività paesistico-ambientali;
- **bioessiccazione**, ossia asportazione relativamente veloce (nell’arco di 15-20 giorni) di gran parte dell’umidità originariamente presente, in modo da aumentare il potere calorifico della massa in previsione di utilizzi energetici. L’obiettivo viene perseguito mediante lo sfruttamento delle capacità di asportazione d’umidità da parte dell’aria di processo insufflata nella massa, e si avvale comunque del concorso dei processi di degradazione parziale della sostanza organica, grazie all’aumento delle capacità evaporative del sistema per il calore biogeno generato appunto da tali processi di degradazione;
- **Digestione anaerobica** in cui la fase di degradazione intensiva viene gestita in ambiente anaerobico allo scopo di conservare l’energia biochimica della sostanza organica sotto forma di biogas; la digestione anaerobica può avvenire a carico di matrici organiche di elevata qualità selezionate alla fonte (e dunque essere inserita in una filiera di valorizzazione agronomica) o di materiali di qualità inferiore (da selezione meccanica o con contaminazioni relativamente elevate in metalli pesanti); in quest’ultimo caso il digestato (ossia il materiale palabile residuo dalla fase di digestione) può essere poi indirizzato alla stabilizzazione pre-discarica, alla bioessiccazione od alla produzione di materiali per applicazioni controllate paesistico-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 D. lgs. 99/92 sulla applicazione dei fanghi in agricoltura). Alla digestione anaerobica ed alle condizioni per la sua integrazione nel sistema dei trattamenti biologici è dedicata un’apposita sezione del presente capitolo, mettendone in risalto le specificità rispetto al trattamento aerobico.

Nel resto del capitolo verrà adottata anche la seguente terminologia con i relativi significati:



- **Biotrasformazione = bioconversione:** ossia la trasformazione a carico della biomassa compiuta da agenti di tipo biologico (essenzialmente microrganismi);
- **Bioconversione aerobica o Stabilizzazione biologica aerobica:** il processo di bioconversione che avviene in condizioni aerobiche, ovvero in presenza di ossigeno; comprende dunque il compostaggio e la biostabilizzazione aerobica dei rifiuti indifferenziati, ma non la digestione anaerobica.

10.4 LE TECNOLOGIE PER LA BIOCONVERSIONE AEROBICA

10.4.1 Generalità sul compostaggio di qualità

Il compostaggio di qualità può interessare come matrici in ingresso sia i soli scarti lignocellulosici raccolti in purezza, sia gli scarti organici da raccolta differenziata secco-umido (scarti alimentari da utenze domestiche, commerciali, di servizio) in miscela con gli scarti lignocellulosici (materiale strutturante o di "bulking") ed eventualmente anche con fanghi che abbiano adeguate caratteristiche qualitative ed altre matrici compostabili ad elevata fermentescibilità, umidità e basso grado di strutturazione (es. scarti agroindustriali, liquami zootecnici, ecc.).

A seconda della tipologia delle matrici trattate devono essere predisposti adeguati sistemi tecnologici di processo e di presidio; il *compostaggio di soli scarti lignocellulosici*, quali le risulterà da manutenzione del verde, può avvalersi delle condizioni favorevoli di aerazione naturale per processi diffusivi e convettivi nella massa, favoriti dalla buona porosità della stessa, mentre il basso potenziale odorigeno di tali materiali facilita la prevenzione di fenomeni odorosi mediante alcuni accorgimenti gestionali relativamente semplici.

Invece, la fermentescibilità tipica di scarti quali le *matrici alimentari* richiede di considerare la disposizione di adeguati sistemi di controllo del processo mediante l'adduzione di flussi d'aria alla massa (per drenare il calore in eccesso ed apportare ossigeno) e generalmente – a meno di localizzazioni favorevoli e basse capacità operative - l'allestimento di tecnologie di presidio ambientale per il controllo e l'abbattimento degli odori.



Come già sottolineato, l'obiettivo ultimo del compostaggio di qualità è la produzione di materiali stabilizzati ed igienizzati, con basso contenuto di sostanze potenzialmente inquinanti, manipolabili, commerciabili ed utilizzabili in agricoltura in coerenza con il disposto della Legge 748/84 e successive modifiche ed integrazioni il tutto garantendo al contempo la minimizzazione dei disturbi ambientali indotti, con particolare riferimento all'abbattimento delle potenziali molestie olfattive.

10.4.2 I fattori di scelta delle tecnologie e la coerenza operativa degli impianti

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 è ampiamente sviluppato, a livello nazionale e mondiale, ed ha generato una molteplicità di approcci in relazione alle differenti situazioni territoriali, alle diverse condizioni gestionali, alle diverse biomasse trattate, all'attenzione prestata al contenimento degli impatti ambientali verso il territorio circostante (con particolare riferimento alle molestie olfattive) ecc.

Nella molteplicità degli approcci possibili, è importante che le scelte progettuali e gestionali tengano conto delle condizioni al contorno (localizzazione, capacità operative, tipologia di materiali trattati, ecc.) al fine di massimizzare l'efficacia di processo e minimizzare i disturbi ambientali, fermo restando che potrà essere valutata l'opportunità di sperimentare iniziative pilota a forte valenza ambientale, sociale ed economica.

Va dunque ricercata la coerenza tra:

- A. *Tipologia delle matrici da compostare* (caratteristiche della miscela di partenza);
- B. *Situazione territoriale* (che influisce ad es. sul grado necessario di attenzione al contenimento degli impatti olfattivi);
- C. *Sistema di processo* (connotati tecnologici del progetto);
- D. *Criteri gestionali* (strategie di processo).

Di seguito si riporta una rassegna (non esaustiva) delle tecnologie adottabili per la gestione dei processi di bioconversione aerobica, specificando le rispettive vocazioni specifiche e le condizioni d'adozione.

Nello sviluppo della rassegna, verrà adottato il seguente schema logico:



- 1) iniziale riferimento al “cuore” del sistema, cioè i fondamenti del processo biologico aerobico, in quanto alla loro ottimizzazione sono tese, in gran parte, le scelte progettuali;
 - disamina delle diverse tecnologie di processo, raggruppate per categorie, in relazione alle esigenze ed alle condizioni unitarie;
 - accenno ai pre-trattamenti ed ai trattamenti finali necessari, rispettivamente, per predisporre le matrici all'aggressione biologica e per ottenere un prodotto finale idoneo all'impiego ed alla commercializzazione;
- 2) indicazioni sui presidi ambientali al contorno dell'iniziativa, con specifico riferimento a genesi e natura degli odori e criteri per la minimizzazione e l'abbattimento.

10.4.3 I fondamenti processistici: i fattori di controllo del processo biologico

Il compostaggio è un processo:

- *aerobico* (necessità di ossigeno per la mineralizzazione delle componenti a maggiore fermentescibilità, con conseguente stabilizzazione della biomassa);
- *esotermico* (viene prodotto calore che va in certa misura allontanato dal sistema, onde evitare il surriscaldamento della biomassa in eccesso rispetto ai valori ottimali di *range* delle temperature).

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

- *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 e si palesa quindi la necessità di drenaggio dell'eccesso di calore dal sistema e di una elevata richiesta di ossigeno necessario alle reazioni biochimiche;
- *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 umiche. Sia le esigenze di drenaggio di calore che quelle di adduzione di ossigeno al sistema sono minori rispetto alla fase attiva.



I fattori principali di controllo del processo, che garantiscono le condizioni ottimali di sviluppo della microflora e che consentono di accelerare le reazioni di decomposizione-trasformazione, sono rappresentati da:

- *Concentrazione di ossigeno* (ed il rapporto ossigeno/anidride carbonica). La permanenza della concentrazione di ossigeno a livelli superiori al 15% garantisce il perdurare delle condizioni di perfetta aerobiosi indispensabile per l'accelerazione del metabolismo batterico aerobico. Ciò a sua volta consente di ridurre od annullare i fenomeni putrefattivi (causa primaria di genesi di odori molesti). Il flusso d'aria deputato all'adduzione di ossigeno all'interno della massa di rifiuti in compostaggio, garantisce contestualmente l'asportazione del calore in eccesso e (se necessario) l'allontanamento dell'eccesso di umidità sotto forma di vapore acqueo.
- *Temperatura*. La temperatura si innalza come conseguenza del calore biogeno sviluppato dai processi degradativi. Il suo accumulo nella massa dipende dall'equilibrio tra:
 - *sviluppo di calore* (legato alla fermentescibilità degli scarti)
 - *dispersione di calore* (legato alla dimensione della massa ed alla sua umidità, dal momento che l'evaporazione di acqua assorbe calore sia per l'innalzamento della temperatura dell'acqua stessa che per il suo passaggio allo stato di vapore).

Nella fase attiva, con biomasse non eccessivamente umide e cumuli di dimensioni adeguate, la temperatura può anche superare agevolmente i 70 °C, garantendo in tal modo le condizioni per l'igienizzazione del materiale (3 giorni a 55 °C per la legislazione italiana). Per i processi di stabilizzazione le condizioni termometriche ottimali sono invece quelle tendenzialmente mesofile (attorno a 40-45 °C). Per tale motivo è opportuno adottare sistemi di rimozione del calore in eccesso, utilizzando efficacemente i flussi d'aria naturali (per diffusione e convezione) od indotti (sistemi di aerazione forzata della biomassa). In molti sistemi di processo la temperatura viene in realtà mantenuta attorno ai 50°C, per ricercare un compromesso tra le esigenze di asportazione del calore in eccesso (che richiederebbero flussi d'aria anche superiori), quelle di risparmio energetico e quelle di



prevenzione dei disseccamenti precoci (che richiedono invece un abbassamento delle dimensioni dei flussi d'aria).

Umidità. E' indispensabile per lo sviluppo microbico. Esso risente fortemente sia di eccessi d'umidità (con rischio di occupazione totale della porosità della biomassa da parte dell'acqua, e dunque di anaerobiosi del sistema) che di deficit (che comporta la stasi dei processi degradativi). I valori ottimali dell'umidità della massa tendono a decrescere con il procedere dei processi di stabilizzazione e conseguentemente con il decremento delle attività biologiche a carico della massa in trasformazione. Il materiale iniziale deve invece avere un'umidità relativamente elevata per esaltare le funzioni di termoregolazione collegate all'evaporazione della stessa ed evitare al contempo disseccamenti precoci. In tabella 2 vengono riportati – a puro titolo indicativo, e segnalando comunque la natura relativamente *adattativa* dei processi biologici – i *range* ottimali d'umidità nelle diverse fasi del compostaggio per un processo mediamente veloce.

Settimana	Range ottimale di umidità
1	55-65
2	53-60
3	50-57
4	46-51
5	42-47
6	38-43
7	35-40
successive	35-40 ¹

Tabella 2: range ottimali di umidità

Nutrienti. Sotto tale profilo è importante il ruolo giocato dal rapporto C/N, che esprime il rapporto tra le sostanze che forniscono ai microrganismi energia per le loro reazioni metaboliche (composti carboniosi) e di materiali plastici per la loro moltiplicazione (composti azotati); il C/N ideale è compreso tra 25 e 30 unità, tenendo presente che ogni scostamento medio da questi valori porta a carenze o eccessi che condizionano fortemente le attività biologiche, determinando:

- una massiccia perdita di azoto (nel caso di valori bassi di C/N);



oppure

- un rallentamento delle reazioni metaboliche (nel caso di valori alti di C/N).

In realtà gli impianti nascono ed operano per garantire il trattamento delle diverse biomasse generate sul territorio e di cui viene programmata la selezione e l'avvio a compostaggio. Il controllo su questo parametro non rientra dunque in genere nella consuetudine operativa, pur aiutando l'interpretazione di certi fenomeni (es. difficoltà di avvio della fase termofila per alto C/N) laddove questi si presentino.

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:
 - contenuto residuo in Sostanza Organica (od in Solidi Volatili);
 - indici di respirazione statico o dinamico (legati all'attività metabolica residua);
 - concentrazione d'ammoniaca (legata alla persistenza di attività di degradazione e proteolisi in misura superiore a quelle di nitrificazione dell'ammoniaca);
2. *Matura*, cioè non presenta fenomeni di fitotossicità, misurabili con l'omonimo test;
3. *Umificata*, cioè dotata opportunamente di molecole umiche (humus) originatesi da reazioni di umificazione a carico delle componenti della sostanza organica più recalcitranti alla mineralizzazione.

10.4.4 Definizione delle necessità di processo

Gran parte del successo delle iniziative di compostaggio si basa sulla corretta definizione progettuale del processo stesso di biostabilizzazione aerobica. In uno scenario



in cui le raccolte differenziate spinte sono in grado di consegnare all'impianto flussi di biomassa ad un eccellente livello di purezza merceologica, la preselezione e la raffinazione finale tendono infatti a diventare fasi accessorie volte al solo perfezionamento delle condizioni di processo e della qualità del prodotto. Mantengono invero una certa importanza quei pre-trattamenti di condizionamento della biomassa (frantumazione/sfibratura, miscelazione ed omogeneizzazione) strettamente connessi alla ricerca delle condizioni fisico-meccaniche ottimali per l'innescò e l'accelerazione dei processi biologici a carico della massa.

In base a quanto specificato, vanno aggiunti gli obiettivi di fondo costituiti:

- a) dalla necessità di *garantire l'aerobiosi del processo*. Sotto tale profilo, laddove i flussi spontanei d'aria indotti per diffusione e convezione non sono in grado di bilanciare la velocità di consumo di ossigeno (correlata alla fermentescibilità della biomassa, e dunque massima nelle prime fasi di processo), bisogna intervenire con l'aerazione forzata della biomassa;
- b) dal *mantenimento della struttura del materiale*, grazie:
 - all'opportuna miscelazione con matrici di buona consistenza e pezzatura (in particolare, materiali lignocellulosici);
 - all'eventuale rivoltamento periodico della massa (in particolare a prevenzione di fenomeni di compattazione per biomasse poco strutturate);
 - alla sua collocazione in cumuli opportunamente dimensionati (le dimensioni eccessive determinano una più spiccata tendenza alla compattazione precoce).

Va qui specificato che il significato precipuo del rivoltamento è quello della ricostituzione dello stato strutturale e delle condizioni di conduttività all'aria, mentre la sua adozione esclusiva non consente di garantire i flussi d'aria necessari a mantenere l'aerobiosi e il drenaggio del calore in eccesso. In altri termini, *l'effetto di ossigenazione e di dispersione del calore garantito dal rivoltamento è solo temporaneo*. Il mantenimento di condizioni opportune di aerobiosi e di temperatura richiede l'intervento dei processi diffusivi e convettivi, ed in caso di loro insufficienza (per bassa porosità della massa o per alta velocità delle reazioni ossidative) l'adozione della aerazione forzata.



- c) dalla *ricerca di condizioni termometriche ottimali*, necessarie alla massima velocizzazione delle attività microbiche (40-50 °C) ed al conseguimento della pastorizzazione (3 gg. a 55 °C per la legislazione italiana);
- d) dalla *gestione, controllo ed abbattimento dei potenziali impatti delle fasi critiche*, individuabili soprattutto in quelle iniziali.

Risulta intuitivo, in base alle definizioni date, che la fase attiva si configura come "fortemente sensibile alle condizioni di processo", laddove quella di maturazione risulta a "basso livello di sensibilità tecnologica". In effetti ciò si evince anche dai diversi sistemi tecnologici presenti sul mercato, essenzialmente tesi al controllo della fase "intensiva", proponendo in diversa combinazione gli strumenti di verifica del processo (aerazione forzata, sistemi d'inumidimento, sistemi d'abbattimento degli odori, ecc.) in relazione alle condizioni critiche ivi presenti.

In sede di maturazione, aumentano invece i gradi di libertà della scelta tecnologica, in quanto le condizioni meno intensive consentono l'adozione di sistemi di processo estensivi basati sul criterio del "minor costo".

La differenziazione tra fase "intensiva" (fase attiva) ed "estensiva" (maturazione), tende a perdere di significato nel caso del compostaggio di soli materiali a matrice lignocellulosica ed a degradabilità bassa e/o lenta. In questo caso, la bassa degradabilità dei materiali indirizza i processi biochimici verso una dinamica prolungata e rallentata, con una relativa uniformità tra le prime fasi di trasformazione e quelle successive. Non sono dunque necessari approntamenti tecnologici specifici per la fase "intensiva" di trasformazione, ed il compostaggio può realizzarsi sin dall'inizio attraverso dinamiche che replicano i processi degradativi naturali, con ventilazione per diffusione spontanea (coadiuvata dall'elevata porosità di tali materiali), rivoltamenti a frequenza rada e tempi prolungati di processo.

10.4.5 Classificazione dei sistemi per la stabilizzazione biologica aerobica

Per quanto riguarda le necessità di processo, i sistemi di processo possono venire classificati in:



- sistemi *intensivi* ed *estensivi*, a seconda del grado di articolazione tecnologica, dell'importanza data ai processi naturali ed a quelli indotti, e degli input energetici unitari;
- sistemi *chiusi* ed *aperti* a seconda del confinamento o meno degli stessi rispetto all'ambiente circostante;
- sistemi *statici* e *dinamici* a seconda della presenza e frequenza degli interventi di movimentazione per la ricostituzione periodica dello stato strutturale;
- sistemi *areati* e *non aerati* a seconda dell'adozione dell'aerazione forzata o, di converso, dell'affidamento esclusivo ai processi spontanei di diffusione e convezione.

Altri tipi di distinzione, quale ad es. quella tra sistemi *in continuo* ed *in batch*, perdono significato ai fini dell'ottimizzazione del processo ed assumono significato solo sotto il profilo ergonomico e dell'organizzazione operativa complessiva.

10.4.5.1 a) Sistemi intensivi ed estensivi

Il compostaggio e la biostabilizzazione sono per definizione processi di tipo aerobico in cui le tecnologie di processo sono tese a fornire al sistema principalmente:

- l'ossigeno necessario a sostenere il metabolismo microbico;
- l'aria utile ad asportare il calore in eccesso dal sistema.

In relazione ai criteri adottati per perseguire tali obiettivi esiste il distinguo tra "sistemi intensivi" ed "estensivi" di bioconversione aerobica. Tale distinzione fa essenzialmente riferimento al grado di complessità tecnologica, alle condizioni gestionali, alla durata del processo ed ai parametri unitari di consumo d'aria e d'energia:

a1) Sistemi intensivi

Per biomasse ad alta fermentescibilità (frazioni "umide" domestiche, scarti mercatali e della ristorazione collettiva, fanghi civili ed agro-industriali, ecc.) in miscelazione con percentuali più o meno elevate di materiali strutturali, quali gli scarti di manutenzione del verde.

Tendono a presentare la differenziazione processistica tra una fase attiva (con condizioni di trasformazione intensive e critiche, estremamente sensibili alle scelte tecnologiche ed alla loro ottimizzazione) e una di maturazione o "curing" (a basso livello di



complessità tecnologica, simile ai sistemi "estensivi"). Compatibilmente con le esigenze tecnologiche, si tende ovviamente a contrarre al massimo la durata della fase attiva, in quanto comporta necessità di materiali, attrezzature, energia e conseguentemente dei maggiori costi a ciò conseguenti;

- Tempi di processo: 25/30 - 120 giorni (in relazione all'ottimizzazione del processo ed agli obiettivi agronomici finali); dimensionamento su 90 giorni almeno per garantire piena versatilità alle strategie commerciali collegate all'impianto;
- Consumi energetici specifici relativamente elevati (generalmente nell'ordine dei 40-60 kwh/tonn) per l'alimentazione delle dotazioni elettromeccaniche e delle attrezzature con motori endotermici (rivoltatrici, sistemi di ventilazione, trituratori, vagli, ecc.);
- Necessità specifica di superficie: 0.7-1.5 mq/tonn di capacità operativa annua (tutto incluso).

a2) Sistemi estensivi

Per biomasse a basso coefficiente di degradabilità e di buona consistenza (residui ligno cellulosici: scarti della manutenzione del verde, cassette, pallets, ecc.) compostate senza aggiunta di matrici fermentescibili quali scarti alimentari, agroindustriali e fanghi.

Non presentano la differenziazione funzionale tra fase attiva e fase di maturazione, ma generalmente adottano un unico approccio processistico a basso grado di articolazione tecnologica. La tipologia più frequente è quella a macrocumulo su piazzale, aerato per diffusione e convezione naturale, con rivoltamenti radi per la ricostituzione dello stato poroso. Raramente questi sistemi sconfinano in forme di transizione verso i sistemi intensivi, con aumento della frequenza dei rivoltamenti o l'adozione dell'aerazione forzata.

Le ridotte caratteristiche odorigene dei materiali e le caratteristiche stesse del processo (che lasciando i materiali in gran parte indisturbati evita la massiccia liberazione dei composti odorigeni verso l'esterno), determinano la possibilità di condurre l'intero processo all'aperto.

La relativa semplicità della gestione processistica determina la possibilità di disaggregare le iniziative, decentrandole, con condivisione delle attrezzature specifiche (trituratori, vagli) tra più centri di compostaggio grazie a forme di associazione cooperativa od alla fornitura di servizi operativi specifici conto terzi.



- Tempi di processo: 6 mesi - 1 anno ed oltre;
- Consumi energetici specifici modesti (10-20 kwh/tonn), fondamentale per la frantumazione, il rivoltamento saltuario con attrezzature generiche (pale meccaniche) e la vagliatura;
- Necessità di superficie: ca. 1,5-2 mq/tonn di capacità operativa annua (tutto incluso).

10.4.5.2 b) Sistemi "aperti" e "chiusi"

Nei sistemi chiusi il processo viene condotto in spazi confinati (container, bioreattori) o in aree coperte e tamponate, (capannoni) con il duplice scopo di un migliore controllo delle condizioni processistiche (relativa indipendenza dalle condizioni meteoriche) ma soprattutto di una maggiore efficacia dei presidi ambientali (controllo, gestione, abbattimento degli effluenti odorigeni).

In realtà tutti i sistemi tecnologici possono essere gestiti in ambiente chiuso, tuttavia per alcuni sistemi processistici (biocontainer, sili, biotamburi) il confinamento della biomassa e la definizione dei limiti fisici del processo sono connaturati alla natura stessa della tecnologia, mentre per altre (cumuli, andane, trincee dinamiche) la chiusura delle aree per la fase attiva è opzionale ed è generalmente legata alla necessità di controllare, gestire, annullare i potenziali impatti olfattivi.

L'affidabilità e l'efficacia dei sistemi aperti per la conduzione del processo ed il contenimento degli impatti dipende dalla sussistenza (meglio se in sinergia) di alcune condizioni di fondo:

- bassa fermentescibilità delle matrici; elevata percentuale (es. maggiore del 70% p/p) di "bulking" lignocellulosico, che consente d'altronde l'adozione di sistemi "statici" di compostaggio evitando i rilasci massicci di effluenti odorigeni collegati alle movimentazioni;
- inserimento delle iniziative in situazioni tipicamente "rurali" o "semi-rurali", con distanze dagli insediamenti abitativi dell'ordine dei 1.000 metri o superiori;
- dimensioni operative limitate, nell'ordine delle centinaia o poche migliaia di tonn/anno .

L'adozione dei sistemi aperti può in realtà essere ipotizzata e prevista (consentendo il contenimento dei costi d'investimento e di gestione) nelle fasi successive a quella attiva



del processo (fase di maturazione), in cui alla diminuzione della putrescibilità ed alla dinamica metabolica tipica dei processi di umificazione conseguono una diminuzione del potenziale odorigeno ed un minore consumo di ossigeno.

10.4.5.3 c) Sistemi "statici" e "dinamici"

Una ulteriore classificazione rilevante ai fini della individuazione dei criteri di processo è quella tra i sistemi che propongono meccanismi periodici o continui di movimentazione della biomassa ("dinamici") e quelli che ne prevedono invece la immobilità ("statici"). Essendo la movimentazione tesa, ai fini della valutazione processistica, al rimescolamento della massa ed alla ricreazione delle condizioni di porosità e strutturazione, vanno considerati tendenzialmente "statici" (dal punto di vista processistico) quei sistemi che pur traslando la massa non ne provocano rimescolamento e ristrutturazione (es. per traslazione a pistone).

Una delle idee generatrici dei sistemi statici è quella di non disturbare i rapporti tra biomassa, ife fungine che con essa hanno preso contatto, popolazione microbica locale (che tende a creare con il tempo una "nicchia microecologica" in ogni punto della biomassa); viene al contempo evitato lo "shock termico" temporaneo dovuto alla perdita del calore per diffusione massiva durante l'operazione di movimentazione. Dal punto di vista ambientale, l'assenza di rivoltamenti impedisce inoltre la diffusione massiva di polveri ed odori verso l'esterno.

L'attenzione ad alcune condizioni di ottimizzazione della fisiologia microbica, può effettivamente contribuire, nel caso dei sistemi statici, ad ulteriori accelerazioni del processo di stabilizzazione: va comunque considerato che tali sistemi richiedono generalmente come presupposto gestionale, degli scenari piuttosto "rigidi" di composizione della miscela di partenza, che deve possedere un grado di strutturazione sufficiente ad evitare l'autocompattazione della massa stessa; le umidità di partenza delle miscele da trattare non devono generalmente superare il 65%.

I sistemi dinamici possono al contrario comportare i disturbi sopra descritti per la fisiologia microbica ma presentano un maggiore elasticità di condizioni di applicazione in relazione alla composizione ponderale delle diverse matrici (in quanto adottabili anche a percentuali di materiali lignocellulosici anche relativamente basse ed umidità superiori).



A titolo indicativo, e tenuto conto anche delle condizioni medie di stagionalità della natura stessa dei materiali lignocellulosici, si possono fornire i seguenti riferimenti operativi:

- impianti con tecnologia di tipo statico richiedono una miscela con almeno il 40 (meglio 50%) in peso di bulking ligneo-cellulosico;
- impianti con tecnologia dinamica richiedono una miscela con almeno il 25-30% (meglio 40%) in peso di bulking ligneo-cellulosico.

Particolari criteri gestionali, ad es. con ottimizzazione del ricircolo degli scarti lignocellulosici (il che non può comunque prescindere da una triturazione grossolana onde comportare un basso grado di mineralizzazione di tali materiali) possono giustificare percentuali più basse di materiali lignocellulosici *in ingresso all'impianto* (da dimostrare comunque in base ad una valutazione dei flussi di massa).

I sistemi statici si avvalgono tipicamente di operazioni di pre-trattamento volte alla miscelazione ed omogeneizzazione spinta della biomassa, dal momento che l'assenza di rivoltamenti per un periodo relativamente lungo comporta la necessità di creare da subito le condizioni di composizione e strutturazione omogenea nei diversi punti della biomassa.

E' importante segnalare anche la maggiore vocazione specifica dei sistemi statici o semi-statici (ossia a bassa frequenza di rivoltamento), per le sezioni di maturazione non presidiate da sistemi di abbattimento odori, proprio in relazione all'assenza di momenti di liberazione massiva di odori; in tali sezioni, la minore fermentescibilità ed umidità della biomassa rende in genere facilmente adottabili i sistemi statici, purché si abbia attenzione a conservare condizioni di porosità proporzionate alle dimensioni dei cumuli.

10.4.5.4 d) Sistemi aerati e non aerati

L'aerazione forzata della biomassa è un importante fattore di ottimizzazione delle condizioni di processo nei sistemi tesi al trattamento di materiali a bassa consistenza (scarsa conduttività ai processi di diffusione spontanea) ed 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); in questo caso ci si avvale soprattutto della possibilità di controllo termoisometrico del processo che l'aerazione forzata consente.

La capacità di intervenire, tramite adeguati sistemi di aerazione, anche sul controllo delle temperature di processo e sull'evoluzione dello stato isometrico della biomassa è in effetti una caratteristica importante – anche se spesso trascurata – dei sistemi di processo che applicano l'aerazione forzata della biomassa. Il processo di bioconversione ha effettivamente dei range di temperatura e di umidità ottimali, ancorché differenti nelle diverse fasi del processo. L'aerazione forzata consente di intervenire, oltre che sulla ossigenazione della biomassa, anche su queste caratteristiche.

Ecco perché è importante definire e descrivere brevemente natura e ruolo delle grandezze fondamentali che regolano l'ottimizzazione dell'aerazione forzata, assieme ad alcuni dei difetti operativi che più di frequente si riscontrano a livello progettuale o gestionale:

- **La portata d'aria specifica (p.a.s.)** generalmente espressa in *Normal metri cubi per ora e per unità di peso della biomassa (Nmc/h.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 Nmc/h.ton. Ciò equivale a dire che *i sistemi di aerazione vanno dimensionati ed utilizzati essenzialmente sulle necessità di controllo termoisometrico*, 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 isometrico 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 reinumidimento (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 d'umidità ed il loro invio a trattamento/dispersione determina un massiccio drenaggio d'umidità al sistema.

- **La 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 la massima velocizzazione dello stesso processo e un sostanziale abbattimento della fermentescibilità della biomassa prima del suo recapito alle fasi di processo meno intensive e non presidiate (maturazione, deposito finale).
- **La 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 massima velocizzazione del processo (15-17%) e – poi – 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'. Si esamini ad esempio il grafico di figura 1:

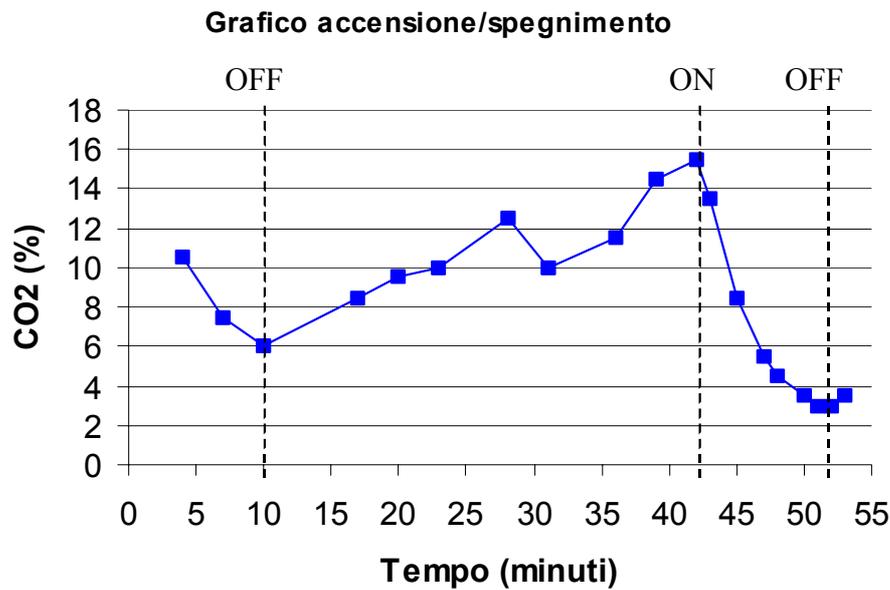


Figura 1: andamento del tenore in anidride carbonica all'interno della biomassa in un ciclo di accensione e spegnimento

Il grafico è stato ottenuto per rilevamento diretto *on-site*, durante un intero ciclo di accensione e spegnimento, del tenore di CO₂ prodotta dal metabolismo microbico, il cui rapporto stechiometrico, con l'abbassamento del tenore in O₂ rispetto al contenuto ideale del 21%, è pari a 1,375; la rilevazione è stata condotta in una fase di stabilizzazione già relativamente avanzata (dopo circa 20 giorni in trincea aerate).

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. Due gli effetti negativi ai fini della minimizzazione degli odori:

- 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;*
- una *produzione diretta di composti ridotti ed odorigeni nel caso di tempi di spegnimento particolarmente lunghi, per l'attivazione di meccanismi metabolici*



putrefattivi; il che determina un aumento del carico odorigeno complessivo, fino a poter mettere in crisi il sistema di presidio predisposto.

10.4.6 Il problema delle dimensioni operative: approcci semplificati per i sistemi decentrati di compostaggio

Il compostaggio è sostanzialmente un processo naturale basato sul controllo dei processi spontanei a carico della sostanza organica; può dunque consentire – accanto ai sistemi ad alta complessità tecnologica – anche approcci *low-tech*. Alcuni accorgimenti processistici (come ad es. l'allestimento di cumuli di dimensioni limitate e forme adeguate a promuovere il ricambio dell'aria interna per diffusione passiva e moti convettivi) possono consentire anche una estrema semplificazione operativa. In questi casi si potrebbe anche ipotizzare – a fronte di una estensivizzazione del processo, con conseguente aumento della superficie specifica necessaria – di escludere l'aerazione forzata (scelta che tuttavia comporta generalmente un minore grado di controllo e gestione del processo) e/o il rivoltamento periodico della biomassa; il compostaggio pertanto va ad assomigliare ai processi naturali di decadimento della sostanza organica quali avvengono nei sistemi naturali o nelle letamaie degli insediamenti zootecnici.

Vanno invece considerate con attenzione le opportunità, le condizioni e le conseguenze delle semplificazioni tecnologiche ed operative per quanto concerne *i sistemi di gestione e trattamento degli odori*; anche i processi naturali di mineralizzazione tendono infatti a produrre ed, in certe condizioni, a liberare odori. Sotto questo punto di vista, il “potenziale odorigeno” di una iniziativa può essere concettualmente valutato come il prodotto di alcuni fattori, secondo la seguente equazione concettuale:

$$O = \frac{F \times Q}{D}$$

in cui O (il rischio di determinare disturbi olfattivi presso gli insediamenti abitativi) è direttamente proporzionale a F (fermentescibilità dei materiali, più alta per scarti alimentari e fanghi che per gli scarti di giardino) e a Q (quantità di materiali trattati) ed inversamente proporzionale alla distanza D dagli abitati.



Le condizioni per l'adozione di approcci operativi semplificati – con specifico riferimento alla semplificazione delle dotazioni di presidio ambientale - si possono dunque determinare essenzialmente per:

- natura dei materiali trattati, grazie alla bassa fermentescibilità delle matrici; è questo ad es. il caso delle piazzole per il compostaggio di soli scarti “verdi”;
- dimensioni operative limitate, in eventuale combinazione con localizzazioni favorevoli (contesti rurali o comunque ad elevata distanza dalle abitazioni)

In territori collinari e montani - con forte decentramento abitativo - è oggettivamente difficile pensare di concentrare le capacità impiantistiche che giustifichino gli allestimenti “hi-tech”, in quanto tale concentrazione sarebbe discordante, prima ancora che con il “principio di prossimità” attestato dalle Direttive europee sulla gestione dei rifiuti, con il buon senso che porta a minimizzare i percorsi di trasporto (soprattutto in situazioni con viabilità generalmente difficile).

Per tale motivo, ad es., da tempo in Austria si è sviluppata una vasta tipologia di siti decentrati per il compostaggio, sino all'introduzione dei centri operativi all'interno di strutture rurali preesistenti (*Bäuerliche Kompostierung*, ossia compostaggio “rurale”); e questo, in verità, non solo in realtà tipicamente montane: ad es. la città di Graz, seconda per popolazione in Austria, da tempo conferisce il suo scarto di cucina e quello “verde” ad una rete cooperativa di aziende agricole (ARGE Kompost) che mettono a disposizione piazzali, attrezzature e macchinari specifici (tritinatori, vagli) gestiti in forma itinerante per ammortizzarne il costo su più siti. Per motivi analoghi, la Provincia di Bolzano ha inteso promuovere un forte decentramento, in una ipotesi di distribuzione territoriale delle attività di compostaggio che prevedono sostanzialmente una rete di piazzole di piccole dimensioni (da 200 a 2000 ton/anno) in ogni comprensorio montano.

Sulla base di quanto sopra il presente Piano riconosce la particolarità delle situazioni operative decentrate, consentendo la semplificazione dei sistemi di presidio ambientale in siti decentrati a bassa capacità operativa, onde assicurare le condizioni per lo sviluppo del compostaggio, ad esempio, anche in molti dei Comprensori collinari e montani dell'interno della Regione.



10.4.7 Configurazioni operative e vocazioni

L'attivazione di siti impiantistici dedicati al compostaggio in situazioni decentrate si deve generalmente confrontare con l'esigenza di rendere operative le iniziative in mancanza di edifici per la gestione confinata di parte delle operazioni (in particolare, le fasi di ricezione, pretrattamento e/o stabilizzazione accelerata) e in assenza dunque di sistemi per la canalizzazione delle arie esauste ai sistemi di trattamento degli odori. La scelta è duplice: o si contengono fortemente le capacità operative (es. fino a 1000 ton/anno), ricadendo nella tipologia degli impianti di piccolissime dimensioni, oppure vanno privilegiati quei sistemi operativi che consentono una gestione poco odorigena dei processi anche a dimensioni superiori, per quanto ancora relativamente limitate.

In questo secondo caso vanno dunque rispettate contestualmente le seguenti condizioni:

- la preferenza per sistemi *statici* o *semi-statici* di compostaggio, in ragione della loro attitudine a liberare odori in misura sensibilmente inferiore rispetto ai sistemi con movimentazione frequente della biomassa;
- la predilezione per sistemi – ancorché decentrabili - “chiusi” o “semi-coibentati” mediante strutture o materiali di contenimento (es. container, teli semi-traspiranti), in ragione delle loro capacità di consentire un migliore controllo delle arie esauste e degli odori da essi veicolati;
- la necessità di predisporre iniziative *modulari* e facilmente *amovibili*, onde consentire una possibile evoluzione operativa del sito (od una sua dismissione una volta attrezzato un sito per la gestione centralizzata del flusso di scarto compostabile a servizio di un'ambito più ampio);
- il contenimento delle capacità operative comunque entro determinati limiti dimensionali, nell'ordine di poche migliaia di tonn/anno, allo scopo di governare al meglio il potenziale odorigeno connesso alle fasi di ricezione e pretrattamento, nel caso che fattori costringenti di natura economica o topografica rendano difficile l'allestimento degli edifici chiusi deputati a tali operazioni. Ovviamente, a potenzialità relativamente più elevate – ed anche in considerazione della maggiore o minore criticità per la distanza degli insediamenti abitativi – è opportuno comunque predisporre edifici chiusi atti a svolgere le operazioni di ricezione, pretrattamento,



cernita; operazioni che richiedono movimentazioni e dunque sono connotate da una spiccata tendenza alla liberazione di odori.

Particolarmente idonee, in questi casi, anche per la tempestività di allestimento, sono le tecnologie a biocontainer (in particolare quelli in carpenteria metallica, grazie alla loro amovibilità) ed a cumuli statici aerati, es. con teli coibenti semi-traspiranti.

10.4.8 Modularità delle tecnologie di processo

La modularità (cioè la possibilità di frazionare le capacità operative allo scopo di conseguire una dimensione minima impiantistica, il che può essere interessante nel caso di esperienze di compostaggio a servizio di piccoli bacini, ma anche al fine di conseguire una modulazione fine delle potenzialità delle linee a servizio di diversi flussi di matrici compostabili) è una caratteristica intrinseca di alcune delle tipologie impiantistiche, così come specificato nel paragrafo seguente, in sede di descrizione delle diverse tecnologie di processo.

La modularità degli impianti è ovviamente particolarmente interessante nel caso di piccole iniziative di compostaggio. In queste situazioni sono generalmente da preferire quelle tecnologie che richiedono ridotti investimenti in opere civili ed infrastrutturali.

In realtà non esistono tecnologie modulari o meno in senso assoluto (anche una tecnologia adatta a capacità operative medio-grandi può essere replicata più volte – ovvero su più linee - in un impianto la cui potenzialità è multipla del modulo-base), ma si può in ogni modo valutare ed evidenziare una maggiore o minore modularità in relazione alla dimensione minima operativa, necessaria a mantenere comunque una relativa efficienza tecnico-economica in relazione agli ammortamenti delle opere e dei macchinari. A potenzialità operative crescenti, aumenta progressivamente la competitività economica (una volta considerate le necessità di superficie, gli investimenti e gli ammortamenti specifici) di tecnologie a bassa modularità; il contrario può essere affermato – a parità dei fattori al contorno – per le tecnologie a spiccata modularità.

Nella tabella seguente si riportano indicazioni di “range” sulle caratteristiche dimensionali minime (per una gestione economicamente efficace) delle principali tipologie di impianti a spiccata modularità. Ulteriori indicazioni ed informazioni vengono fornite in sede di descrizione delle singole tecnologie di processo.



Tipologia di impianto	Dimensione operativa indicativa dei singoli moduli (tonn/anno)	Note
Cumulo statico aerato	1.000	Vanno valutate le dimensioni minime delle dotazioni accessorie (es. aree ed attrezzature per la ricezione)
Biocontainer	1.000-3.000 (a 14 gg. di tempo di ritenzione)	Le dimensioni minime dipendono dalle combinazioni dei moduli unitari. Le diverse Ditte fornitrici propongono combinazioni base di container (generalmente di volumetria unitaria standard) con 4-6-8 container

Le tipologie impiantistiche basate sul contenimento delle fasi di processo più odorose in capannoni (con compostaggio in trincea, su pavimentazione aerata, ecc.) in ragione degli ammortamenti necessari trovano la loro vocazione specifica in iniziative di compostaggio di dimensioni operative dell'ordine delle 10.000 tonn/anno o superiori. In questi casi riescono generalmente a sfruttare meglio le aree disponibili, coadiuvando l'ottimizzazione del progetto nel caso che la superficie rappresenti un fattore limitante (il che oggettivamente è raro nelle iniziative di piccola dimensione).

E' importante in ogni modo sottolineare che le condizioni di scelta tra le diverse tecnologie devono comunque tenere conto di tutti gli altri fattori legati alla specificità locale, quali (a titolo esemplificativo e non esclusivo):

- il grado di meccanizzazione desiderato;
- la prevista disponibilità (in percentuale sulla miscela in ingresso) di materiale strutturale;
- le sinergie con iniziative operative di altro tipo (aziende zootecniche, piattaforme ecologiche, ecc.); il grado di presidio ambientale necessario, ecc.

E' infine evidente che vanno contestualmente valutati altri risvolti operativi ed economici delle iniziative decentrate, quali anzitutto la necessità di trovare economie di gestione al parco-attrezzature. In ragione dei costi di acquisto delle principali macchine operatrici specifiche (tritinatori, vagli, movimentatrici, ecc.) è opportuno considerare quanto segue:

- per tritinatori e vagli: noleggio periodico presso la rete dei contoterzisti (già consolidata in altri contesti regionali e di cui è verosimile ipotizzare uno sviluppo a seguito della implementazione delle strategie di settore sul territorio regionale) o presso altri impianti, per le capacità eccedenti le loro necessità. In caso di finanziamento pubblico



è necessario individuare già in sede di programmazione una gestione coordinata di questi circuiti di nolo o prestito, con valutazione dei costi di nolo al netto dell'ammortamento nel caso di contributo integrale ed a fondo perduto. In caso di ricorso periodico a macchinari esterni va considerato il dimensionamento di piazzali di stoccaggio – rispettivamente dei materiali lignocellulosici in ingresso per i trituratori, e del prodotto finale per i vagli – di capacità adeguata ad accumulare volumi sufficienti a sfruttare bene l'intervento del macchinario a nolo;

- per il rivoltamento: adottare le pale meccaniche (per le capacità in esubero rispetto alle altre operazioni richieste) oppure prevedere sistemi di processo di tipo “statico”

10.4.9 Descrizione dei sistemi tecnologici

Sulla scorta dei concetti precedentemente esposti, di seguito vengono elencati i sistemi di processo, descrivendone le caratteristiche precipue, le vocazioni d'uso e le condizioni di adozione.

Si evidenzia che tutti i sistemi di processo possono essere confinati in spazi presidiati e che alcuni di essi (es. sili, biocontainer) sono chiusi per caratteristiche intrinseche. In generale possono essere comunque individuate le seguenti condizioni normali di adozione:

SISTEMI APERTI (eventualmente confinabili):

- Cumuli statici aerati;
- Cumuli rivoltati;

SISTEMI CHIUSI:

- Sili;
- Biocontainer;
- Biotamburi;
- Trincee dinamiche (nelle condizioni generali di allestimento);
- Bacini dinamici (nelle condizioni generali di allestimento);

SISTEMI VERSATILI:

- Andane rivoltate;



10.4.9.1 Cumuli statici aerati

Sistema di relativa semplicità tecnologica. Sviluppato anzitutto in America con il nome di "*sistema Beltsville*", al fine di fornire agli agricoltori un sistema semplice di bioconversione, stabilizzazione ed umificazione delle biomasse di scarto a scopo agronomico. Nelle diverse varianti si configura come un sistema *statico* ed *aerato*, tipicamente *aperto*: prevede la disposizione della biomassa in cumulo, con aerazione forzata in aspirazione al di sotto dei cumuli stessi ed invio delle arie esauste ad un biofiltro a compost; sulla superficie del cumulo viene disposto uno strato di compost maturo, inteso a fornire un leggero effetto di coibentazione ed a garantire la biofiltrazione degli effluenti gassosi sfuggiti dalla superficie del cumulo.

La filosofia ispiratrice, come in tutti i sistemi statici, è la semplificazione operativa, e - dal punto di vista processistico - la mancanza di rivoltamenti del cumulo che non disturba la biomassa microbica ed impedisce la diffusione massiva degli odori molesti. Necessita, come sistema tipicamente statico, di un'alta percentuale di materiale strutturale di natura lignocellulosica; l'umidità della miscela di partenza è un parametro fondamentale per la sua applicabilità, ed il sistema si avvale efficacemente di pre-trattamenti di omogeneizzazione spinta.

In alcune interessanti varianti innovative, in corso di forte diffusione sul territorio nazionale ed estero, l'aerazione avviene per insufflazione e per la copertura dei cumuli vengono adottati appositi teli o membrane semi-permeabili, con adeguate caratteristiche di traspirabilità per la perdita controllata di umidità dal sistema. La creazione di un velo liquido nella faccia inferiore dei teli aumenta la ritenzione complessiva delle molecole odorigene all'interno del sistema, determinandone le condizioni di metabolizzazione per ossidazione fino a molecole non odorigene; la CO₂ prodotta viene invece rilasciata verso l'esterno, così come il vapore d'acqua, con cinetiche di traspirazione determinate appunto dalla traspirabilità dei teli. Esistono sul mercato teli a diversa traspirabilità per:

- compostaggio/stabilizzazione (a traspirabilità relativamente bassa, per impedire il disseccamento precoce della biomassa e l'arresto del metabolismo a carico delle sostanze fermentescibili ancora presenti);
- bioessiccazione (a traspirabilità superiore per favorire l'allontanamento sollecito dell'umidità dal sistema).



Nel caso di elevate capacità operative e/o localizzazioni critiche, è comunque opportuno istituire un ulteriore livello di presidio onde gestire i potenziali problemi di odori – resi avvertibili in conseguenza delle masse movimentate - che possono svilupparsi per le operazioni di miscelazione, costruzione e asportazione dei cumuli.

10.4.9.2 Cumuli rivoltati

Prevedono la disposizione della biomassa in cumuli di grandi dimensioni (3-4 mt. di altezza; larghezza da 3 ad oltre 20 mt.), tipicamente *senza aerazione*; adottano frequenze di rivoltamento generalmente rade (intervalli di settimane o mesi), con pala meccanica; altre volte semi-intensivizzato con rivoltatrici apposite (nel caso di sistemi in continuo, descritti di seguito).

Questo sistema è adottato generalmente per matrici ad alta prevalenza di materiale lignocellulosico (residui verdi) o per biomasse già in stato avanzato di biostabilizzazione (maturazione di biomasse già ben stabilizzate dopo fase attiva). In relazione alle condizioni di adozione tipiche (scenari non critici di gestione del processo) il sistema è generalmente *aperto*.

I cumuli possono essere gestiti in *batch*, su postazioni per partite coetanee di biomassa, o *in continuo*, con formazione del cumulo su una sezione di carico e traslazione progressiva, mediante meccanismi di rivoltamento con traslazione laterale, verso la sezione di scarico. Questa seconda soluzione elimina gli spazi inutilizzati fra cumulo e cumulo, mentre costringe ad adottare rivoltamenti a periodicità fissa e scollegata dalle effettive esigenze di processo (il che può risultare operativamente ed economicamente più impegnativo) per le esigenze geometriche di predisposizione di nuovo spazio nella sezione di carico. Ovviamente in base a quanto detto la disponibilità di spazio diventa un fattore determinante nella scelta.

10.4.9.3 Biocontainer e Biocelle

Sono reattori *chiusi* a sviluppo orizzontale, tipicamente *statici* (ma alcuni tipi prevedono sistemi di movimentazione interna) e con aerazione forzata. La biomassa viene disposta in letti dell'altezza massima di circa 3 metri, altezza che tende a prevenire il



compattamento e favorisce la diffusione dell'aria all'interno. A livello terminologico si distingue generalmente tra *biocontainer* (nel caso di strutture in carpenteria metallica) e *biocelle* (nel caso di strutture in calcestruzzo). I tratti comuni dei due sistemi sono l'adozione della aerazione forzata e la canalizzazione delle arie esauste verso sistemi di trattamento (generalmente, nel caso dei biocontainer, biofiltri anch'essi predisposti su container dedicati). I caratteri distintivi dal punto di vista processistico sono invece descrivibili come di seguito:

- biocontainer: amovibili, non coibentati; volumi unitari dell'ordine dei 20-30 mc (la tipologia più diffusa prevede volumi utili di 25 mc/container); arie esauste generalmente non riciclate;
- biocelle: non amovibili, coibentate; volumi unitari dell'ordine di diverse decine di metri cubi; generalmente prevedono la possibilità del ricircolo dell'aria, ed a volte sono dotate di scambiatore di calore; spesso dotate di sistemi di rilevazione dei principali parametri di stato (umidità, percentuale di ossigeno nell'atmosfera interna, temperatura) e regolazione in *feed-back* dei flussi d'aria e delle percentuali di ricircolo.

La disponibilità di un sistema di ricircolo dell'aria dotato di scambiatore di calore consente di dividere le necessità di drenaggio del calore in eccesso del sistema, da quelle di ossigenazione della massa; dal momento che le esigenze specifiche di aerazione, come esaminato in precedenza, sono sensibilmente maggiori e per il controllo termometrico del sistema, e per l'apporto dell'ossigeno stechiometricamente necessario, le arie "esauste" dopo un passaggio singolo attraverso la biomassa sono ancora relativamente ricche di ossigeno, mentre devono rilasciare il calore all'esterno; il ricircolo di arie passate dallo scambiatore di calore consente tale operazione evitando al contempo:

- di aumentare il flusso di arie da inviare al trattamento finale di abbattimento odori;
- di asportare in misura eccessiva l'umidità drenata dalla biomassa, riciclandola invece (almeno parzialmente) con le arie riutilizzate e mantenendo il sistema nello stato termoigrometrico ottimale per la prosecuzione del processo.

Tutto ciò consente un eccellente controllo integrato delle condizioni di processo, utilizzando di volta in volta l'aria insufflata come sistema di drenaggio di calore e/o vettore



di ossigeno. La quota di aria esausta progressivamente sostituita da aria nuova prelevata all'esterno può venire determinata in continuo dai *feed-back* del sistema di controllo (in caso di abbassamento del tenore in ossigeno, aumenta la percentuale di aria immessa nel sistema dall'esterno, e di conseguenza quella di aria esausta espulsa dal sistema ed avviata a trattamento degli odori).

Le biocelle ed biocontainer vengono efficacemente usati come tecnologia per la gestione della fase attiva del compostaggio della frazione organica da raccolta differenziata ed altre matrici fermentescibili; il fattore condizionante, come generalmente avviene nei sistemi statici, può essere rappresentato dal grado richiesto di strutturazione della biomassa, che prevede buone percentuali di supporto lignocellulosico.

Altra peculiarità, grazie alle capacità operative unitarie generalmente basse (qualche tonn/giorno per unità di processo), è l'adattabilità del sistema a iniziative modulari di trattamento con linee differenziate per compostaggio di qualità e trattamento biologico di frazioni da selezione post-raccolta (disposizione in parallelo di più reattori).

Rispetto alle biocelle, i biocontainer attestano una maggiore flessibilità operativa (per le capacità ancora inferiori del singolo container rispetto a quelle di una biocella) e le condizioni di facile amovibilità (potenzialmente importanti in uno scenario impiantistico in evoluzione). Dal punto di vista economico, i costi di investimento specifici tendono ad essere favorevoli per i biocontainer a dimensioni operative medio-piccole e piccole (es. sotto le 10.000 tonn/anno) mentre ad elevate capacità operative possono diventare competitive le biocelle, a causa della maggiore incidenza unitaria del costo della carpenteria metallica necessaria per la realizzazione di più moduli di capacità equivalente ad una singola biocella in calcestruzzo.

10.4.9.4 Trincee dinamiche

Si tratta di reattori *dinamici* a sviluppo orizzontale, a capacità modulare suddivisa in più trincee servite da una o più linee di *aerazione forzata* (parzializzate in senso longitudinale o - meglio - trasversale, con modulazione delle portate d'aria specifiche nelle diverse sezioni corrispondenti alle diverse età di processo); sui montanti delle trincee corrono binari per la traslazione di movimentatrici della biomassa. Le movimentatrici generalmente comportano anche il trasferimento progressivo della biomassa dalla testa alla coda della



singola trincea o da una trincea a quella adiacente (nel caso di traslazione laterale). Il sistema è dunque tipicamente in continuo.

Le trincee sono tipicamente impiegate per la gestione delle fasi attive di biomasse ad elevata fermentescibilità (fanghi, agroalimentari, "umido" domestico) in ambienti chiusi (capannoni). Come sistema dinamico, hanno il vantaggio di potere controllare attivamente, garantendo un buono svolgimento del processo, qualunque scenario di composizione delle matrici, anche nelle condizioni più sfavorevoli di umidità di partenza, grazie alla ricostituzione periodica dello stato strutturale e poroso della biomassa ed alla prevenzione della formazione di strati saturi e compattati per il rimescolamento periodico. Sono tecnologie notevolmente diffuse in impianti di dimensioni medie e grandi, basate generalmente su abbinamenti di movimentatrice e trincea, nelle specifiche dimensioni e disposizioni presenti sul mercato.

Le trincee, grazie alle capacità operative unitarie generalmente basse (qualche tonn/giorno per unità di processo), sono facilmente adattabili ad eventuali iniziative modulari di trattamento biologico con linee differenziate per compostaggio di qualità e trattamento biologico di frazioni organiche da selezione post-raccolta (grazie alla disposizione in parallelo di più reattori).

10.4.9.5 Bacini dinamici

Con questa tipologia impiantistica, tipicamente *dinamica* ed *aerata* il materiale viene disposto in un tappeto di biomassa, rivoltato con rivoltatrici apposite (a coclee, a ruote dentate, a tazze, ecc. generalmente montate su carri ponte) ed aerato.

Viene generalmente gestito al chiuso ed impiegato per la fase attiva di biomasse ad elevata fermentescibilità o in alternativa per entrambe le fasi (fase attiva e di maturazione nello stesso edificio senza discontinuità; a volte in tale caso, la parte finale del processo non è aerata).

I costi di allestimento relativi alle strutture di sostegno e guida delle rivoltatrici determinano generalmente passività economiche per piccole capacità operative, mentre tali sistemi possono rivelarsi economicamente competitivi ad elevate capacità (es. superiori a 100 tonn/giorno)



Valgono le considerazioni già sviluppate sulle trincee dinamiche per quanto concerne le prerogative di sistemi con rivoltamento della biomassa.

10.4.9.6 Biotamburi

Sono reattori a sviluppo orizzontale, generalmente dotati di *adduzione forzata di aria* e canalizzazione e raccolta delle arie esauste (sistemi *chiusi*, a loro volta confinabili in capannoni). Il sistema è *dinamico* e la movimentazione della biomassa viene qui garantita dalla rotazione delle stesse strutture di contenimento; il carico e lo scarico possono essere in continuo od in *batch*.

Vengono usati per la fase attiva in sistemi intensivi di compostaggio, ma più spesso con bassi tempi di ritenzione (48-72 h) e come pretrattamento dinamico di omogeneizzazione e pre-fermentazione accelerata, prima del passaggio ad altre tecnologie di stabilizzazione in fase attiva.

10.4.9.7 Sili

Si tratta di reattori *chiusi* a sviluppo verticale con carico (e scarico) continuo o discontinuo della biomassa e adozione della *aerazione forzata*. La tecnologia appartiene al gruppo dei sistemi chiusi, e prevede grossi contenitori a torre, mono o pluristadio (con setti divisorie orizzontali), con carico dall'alto e insufflazione generalmente dal basso. Il sistema è generalmente *statico* (tecnologie in *batch*) o *semi-dinamico* (es.: sili a scarico progressivo da settori superiori a quelli inferiori).

La tecnologia a silo è relativamente poco diffusa in Italia. Questi sistemi – in particolare, quelli monostadio - tendono a presentare un limite operativo nei frequenti ed attendibili compattamenti della massa e nelle difficoltà di diffusione dell'ossigeno all'interno della intera massa contenuta, laddove le altezze della biomassa ammassata nel singolo stadio tendono a superare i 4 metri.

10.4.9.8 Andane

Le andane hanno generalmente dimensioni inferiori ai cumuli (altezza max 2,5 mt.) e possono usufruire o meno dell'aerazione forzata; il rivoltamento è generalmente frequente (tipicamente, a intervalli di qualche giorno o quotidiani) ed avviene con movimentatrici



appropriate. Vi è una grande varietà di rivoltatrici disponibili sul mercato, differenziabili essenzialmente in base al sistema di movimentazione (per agitazione, nel caso delle scavallatrici; per traslazione, nel caso di macchine tipo desilatrici modificate o di rulli a fresa laterale con scarico laterale o sul retro) oltre che in base alle capacità operative (da poche decine a migliaia di mc/h).

Usate *all'aperto* od *al chiuso*, vengono adottate:

- per la fase attiva di matrici a fermentescibilità elevata, preferibilmente al chiuso, od all'aperto in situazioni ove (per capacità operative limitate o per localizzazioni distanti da insediamenti abitativi) gli impatti olfattivi non costituiscono oggetto di preoccupazione;
- per fasi di maturazione all'aperto (più raramente al chiuso) di materiale con fermentescibilità solo residua (dopo fase attiva in sistema controllato e presidiato).

10.4.10 Pre-trattamenti e trattamenti finali

I pre-trattamenti ed i trattamenti finali (o post-trattamenti) vengono così definiti in relazione alla collocazione di questi interventi rispetto al processo di trasformazione biologica.

In generale si può affermare che i pre-trattamenti comprendono tutte quelle operazioni tecnologiche volte ad allontanare i corpi indesiderati dalle biomasse prima di avviarle al trattamento biologico, oppure a condizionarne la natura fisico-chimica delle matrici (es. pezzatura, umidità) al fine di ottimizzare il processo, oppure ad ottenere una miscela "ottimale" e quanto più possibile omogenea con lo stesso scopo.

I trattamenti finali possono invece essere finalizzati a condizionare il materiale finale prima di trasportarlo all'esterno dell'impianto per collocarlo a destinazione finale o commercializzarlo, con l'obiettivo specifico di uniformarne la granulometria ed allontanare i corpi indesiderati eventualmente sfuggiti ai pre-trattamenti, oppure condizionarne la natura fisica (es. umidità) o merceologica (es. granulometria, consistenza).

I pre e post-trattamenti sono spesso fondamentali per un buon trattamento dei rifiuti fermentescibili anche se non lo sono in ogni caso e per ogni situazione impiantistica specifica.



Riassumendo e schematizzando, i pre e post-trattamenti possono dunque essere classificati in ordine all'obiettivo di:

a) "condizionare" la natura fisica dei materiali da sottoporre al processo biologico (pretrattamenti) o quella merceologica dei prodotti finali (post-trattamenti):

- pre-trattamenti:
 - triturazione/sfibratura
 - miscelazione/omogeneizzazione
 - inumidimento od asportazione dell'umidità in eccesso
- post-trattamenti:
 - essiccamento
 - pellettizzazione

b) separare i corpi estranei od indecomposti eventualmente presenti:

- pre-trattamenti:
 - vagliatura/separazione (dimensionale, idrodinamica, ecc.)
 - separazione di corpi metallici
- post-trattamenti:
 - raffinazione dimensionale, densimetrica o aeraulica

Quanto sopra, fornisce un quadro delle opzioni operative normalmente utilizzate in iniziative di compostaggio di qualità con recapito all'impianto di scarti a buon grado di purezza merceologica, come generalmente è nel caso di iniziative collegate a circuiti dedicati di raccolta differenziata alla fonte. Le stesse tecnologie trovano, applicate in modo differente, collocazione anche in impianti di trattamento biologico per rifiuti indifferenziati contenenti sostanza organica putrescibile.

Va inoltre rilevato che in alcune situazioni pre e post-trattamenti vengono inseriti tra le fasi principali del processo biologico (es. tra la fase attiva e la fase di maturazione) per avvalersi di particolari condizioni fisiche della biomassa in tale fase e/o impedire un contatto prolungato tra certi corpi estranei e la biomassa e/o una usura accentuata dei macchinari. E' tuttavia sconsigliabile adottare raffinazioni dimensionali intermedie spinte, per evitare di impoverire di materiali di buona consistenza e capacità strutturale la biomassa, che ancora deve essere sottoposto alla fase di maturazione in cui i processi diffusivi e la conduttività all'aria devono soddisfare la richiesta d'ossigeno residuale.



Per ciascuna tipologia di trattamento elencata sono possibili differenti ed innumerevoli soluzioni impiantistiche. Di seguito si riportano le principali considerazioni a riguardo della scelta di adozione e delle coerenze operative connesse a ciascuna opzione.

10.4.10.1 Triturazione, lacerazione e sfibratura

Queste operazioni devono consentire una adeguata lacerazione dei tessuti organici e/o dei sistemi di contenimento (sacchi) in modo da aumentare la superficie di contatto ed attiva per il metabolismo microbico. Ciò può essere ottenuto da sistemi tecnologici che prevedono generalmente gruppi operativi a martelli, a coltelli, oppure a coclee.

Per gli agenti di supporto lignocellulosici vengono generalmente adottati trituratori a martelli in quanto in grado di garantire una buona apertura delle fibre ligniniche e cellulosiche mantenendo un buon grado di consistenza dimensionale e strutturale.

Diverse esperienze hanno invece fatto rilevare l'incongruità dell'impiego di tali trituratori per la sfibratura delle biomasse alimentari da raccolte selezionate dell'"umido" in ambito urbano; la presenza eventuale – ancorché saltuaria - di corpi estranei vetrosi e di altro tipo in tali flussi di biomassa determina infatti l'inconveniente della loro frammentazione, rendendo più complicata la loro separazione in sede di raffinazione finale ed andando dunque ad aumentare la quota di inerti nel prodotto. Per le linee di triturazione di biomasse da raccolta selezionata dell'umido si ritengono dunque più funzionali i sistemi di triturazione a basso numero di giri con apparati laceranti a coclee od uncini/ramponi/coltelli, per i quali si può, in modo più congruo, parlare di "lacerazione" dei tessuti organici.

Ovviamente le capacità operative del/dei sistema/i di triturazione, rapportate al totale previsto di ore di impiego annue, vanno correlate al quantitativo della sola biomassa di origine alimentare e rispettivamente di quella lignocellulosica, nel caso vengano previste linee indipendenti di sfibratura, piuttosto che alla somma delle due nel caso di convogliamento di entrambe al sistema di triturazione a coclee o coltelli.

Occorre ricordare che in molti casi i flussi di scarti alimentari, se raccolti e conferiti in purezza, non necessitano di un vero e proprio processo di sfibratura, ma solo di blandi trattamenti in grado di assicurare la lacerazione dei manufatti di contenimento, come i sistemi lacerasacchi (es. mediante carri miscelatori a coclee).



10.4.10.2 Miscelazione ed omogeneizzazione

La perfetta omogeneizzazione della miscela-substrato è essenziale sempre, e soprattutto nei sistemi statici di compostaggio, in quanto:

- devono essere garantite in ogni punto le condizioni di strutturazione della biomassa necessarie alla diffusione gassosa;
- non vi sono effetti di miscelazione progressiva dei materiali garantiti invece dall'adozione di sistemi di movimentazione (come invece è nei sistemi dinamici, in cui la miscelazione iniziale può essere grossolanamente affrontata mediante la disposizione stessa in cumulo o trincea o tamburo con le attrezzature caricatrici).

Per la miscelazione vengono generalmente adottati tamburi di miscelazione, carri miscelatori a coclee, ecc.

10.4.10.3 Asportazione dell'umidità in eccesso

La gestione delle biomasse fortemente fermentescibili (residui alimentari quali frazione organica dei RU, mercatali, scarti dei servizi di ristorazione; biomasse agroindustriali ad alta putrescibilità quali cascami di macellazione, della lavorazione delle carni e della trasformazione dell'ortofrutta; fanghi di depurazione di origine urbana ed agroindustriale) richiede considerazioni processistiche articolate.

Anzitutto è sempre opportuno il condizionamento delle miscele tramite l'aggiunta di un agente di "bulking" ("strutturante": in genere materiali lignocellulosici quali cascami di potatura, trucioli, cortecce, paglie, lolle e pule, ecc.). L'obiettivo è quello di conferire alla massa porosità sufficiente e di contenerne l'umidità entro il limite del 70% per i sistemi "dinamici", ossia che prevedono il rivoltamento, e del 55/65 % per i sistemi statici o debolmente dinamici (basse frequenze di rivoltamento). Tali limiti sono compatibili con la gestione aerobica del processo in ogni punto della massa e con il mantenimento delle condizioni di permeabilità all'aria.

Ciò implica la destinazione di una quota rilevante del flusso di materiali lignocellulosici verso gli impianti di compostaggio delle biomasse putrescibili. Grossolanamente, in relazione all'esigenza di rispettare i contenuti di umidità sopra indicati, il materiale lignocellulosico deve rappresentare:



- il 40/50 % in peso della miscela iniziale avviata a compostaggio nel caso di sistemi statici o non aerati;
- almeno il 20/30 % in peso nel caso di tecnologie dinamiche e con aerazione forzata della biomassa.

In alternativa, va considerato l'approvvigionamento di materiali alternativi di "bulking" dal settore agricolo e dall'agroindustria (trucioli, cortecce, lolle, paglie, ecc.), che però in diversi casi può comportare oneri non trascurabili di acquisto e/o trasporto.

In definitiva, in particolare in aree dove non vengono generati forti flussi di materiali lignocellulosici dalla gestione del verde pubblico e privato, sono da considerare con estremo interesse tutte le iniziative di pre-trattamento della frazione umida da raccolta differenziata volte a diminuire il fabbisogno di materiale strutturante in fase di compostaggio.

Alcuni sistemi di pre-trattamento sono proprio finalizzati a separare dai rifiuti organici una frazione solida-palabile, avviabile a compostaggio con minore fabbisogno di materiale lignocellulosico, ed una liquida, avviabile a digestione anaerobica, a depurazione, o - più efficacemente - riutilizzabile in fasi successive del processo per la reintegrazione dell'umidità (progressivamente evaporata per l'effetto congiunto dell'aerazione forzata e del calore biogeno) nei *range* ottimali.

Lo stesso effetto si può ottenere mediante pre-compostaggio degli scarti lignocellulosici, il che ne può abbassare l'umidità e dunque l'apporto complessivo di acqua al sistema una volta che vengono miscelati con le matrici fermentescibili.

10.4.10.4 Vagliatura e raffinazione

Per la pre-separazione dei corpi estranei di dimensioni macroscopiche vengono generalmente adottati vagli primari a separazione dimensionale, con maglie da 40 a 100 mm. di apertura. Tali sistemi consentono di abbassare la quota di corpi estranei (plastiche, vetri, materiale cartaceo, ecc.) nell'"umido" da raccolta differenziata dal 5-10% (valori tipici per l'"umido" da raccolte con cassonetto stradale) al 2-3% e meno, impedendo una eccessiva usura dei macchinari e garantendo, con il concorso della raffinazione finale, la purezza merceologica del prodotto. In realtà, per flussi di raccolte differenziate ad alta efficacia di separazione (tipicamente, sistemi di raccolta domiciliarizzati), laddove i corpi



estranei sono attorno o sotto il 2-3%, sovente non viene adottata la vagliatura primaria; in tale caso la biomassa, dopo un eventuale lacerasacchi-miscelatore, viene portata direttamente al sistema di stabilizzazione biologica.

E' ovvio che la separazione dimensionale comporta comunque la perdita, nel sovrall, di quote anche importanti di materiali organici grossolani. Si dimostra più efficace, dal punto di vista del rendimento di separazione, la separazione con sistemi idraulici (es. idropolpatori), che prevedono la dispersione del materiale in acqua e la separazione su basi densimetriche dei flussi di materiale leggero (plastiche, materiale cartaceo, poliaccoppiati ecc.) e pesante (vetri, cocci, lattine, ecc.); il materiale organico, che rimane in sospensione, viene successivamente separato per centrifugazione. L'operazione garantisce anche una pre-macerazione del materiale organico, che risulta in seguito più facilmente miscelabile con gli altri materiali. L'efficacia del concetto idrodinamico di separazione è attestata dalla purezza pressoché totale dell'organico separato, mentre nel 3-5 % di scarti sono contenute quote trascurabili di organico; inoltre la separazione in flusso acqueo consente un "lavaggio" di gran parte dei sali liberi dagli scarti alimentari, eliminando uno dei fattori di condizionamento del marketing dei prodotti del loro compostaggio. I costi di investimento di tali attrezzature non ne rendono tuttavia sempre possibile l'adozione.

Per quanto riguarda la raffinazione finale, questa può essere dimensionale e/o densimetrica (quest'ultima viene generalmente adottata in combinazione con l'altra).

La separazione densimetrico-aeraulica (tavola densimetrica, ciclone) consente la separazione di corpi di piccole dimensioni plastici o vetrosi e di sassi dal prodotto finale. Tale tipo di operazione può essere utilmente adottata nel caso di impianti per il compostaggio di qualità a servizio di circuiti a bassa purezza merceologica, quali quelli a cassonetto stradale. Negli impianti a servizio di contesti più vocati e circuiti più efficaci l'eccellente grado di purezza conseguibile in sede di raccolta (1-3 % di corpi estranei) rende generalmente superflua la separazione densimetrica finale.

Tenendo conto della eventuale presenza di materiali plastici da *shoppers* o sacchi, soprattutto nel flusso di residui alimentari, può essere comunque valutata opportuna l'adozione di un sistema dedicato di separazione aeraulica degli inerti plastici stessi, eventualmente solo per "pulire" sistematicamente o periodicamente i sovralli della



raffinazione dimensionale, che altrimenti concentrerebbero progressivamente (se riciclati in testa al processo) i materiali non decomponibili; il separatore divide tali materiali dagli scarti legnosi indecomposti, riutilizzabili come agente di struttura o pacciamante.

Per quanto concerne la raffinazione granulometrica (separazione dei materiali legnosi indecomposti), vengono adottati vagli dimensionali (rotanti, vibranti o di altro tipo) a maglia stretta. In relazione all'articolazione delle richieste del mercato (essenzialmente: terriccio per coltivazioni in contenitore; ammendante in pieno campo; eventualmente pacciamante), può essere in certe situazioni opportuno prevedere una diversificazione dei passanti del sistema di vagliatura: 8/10 mm. - 20/25 mm. - eventualmente 40/45 mm. Ciò può essere ottenuto tramite l'adozione di vagli a maglia intercambiabile, piuttosto che tramite linee multiple di vagliatura, ecc.

10.5 LA DIGESTIONE ANAEROBICA E LE CONDIZIONI DELLA SUA INTEGRAZIONE NEL SISTEMA

10.5.1 Generalità

La digestione anaerobica è un processo biologico complesso per mezzo del quale, in assenza di ossigeno, la sostanza organica viene trasformata in biogas o gas biologico, costituito principalmente da metano e anidride carbonica. La percentuale di metano nel biogas varia a seconda del tipo di sostanza organica digerita e delle condizioni di processo, da un minimo del 50% fino all'80% circa.

Il vantaggio del processo è che l'energia 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 utilizzabile a scopo energetico.

Affinché il processo abbia luogo è necessaria l'azione di diversi gruppi di microrganismi in grado di trasformare la sostanza organica in composti intermedi, principalmente acido acetico, anidride carbonica ed idrogeno, utilizzabili dai microrganismi metanigeni che concludono il processo producendo il metano.

I microrganismi anaerobi presentano basse velocità di crescita e basse velocità di reazione e quindi occorre mantenere, per quanto possibile, le condizioni ottimali



dell'ambiente di reazione. Nonostante questi accorgimenti, i tempi di processo rimangono relativamente lunghi se confrontati con quelli di altri processi biologici.

Il rendimento in biogas e quindi energetico del processo è molto variabile e dipende dalla biodegradabilità del substrato trattato. Relativamente al trattamento della frazione organica dei rifiuti urbani derivante da raccolta differenziata e/o alla fonte, in letteratura si riportano valori di conversione in biogas compresi tra un minimo di 0,40-0,50 m³/kgSValimentati, per la digestione in mesofilia, ed un massimo di 0,60-0,85 m³/kgSValimentati, per la digestione in termofilia. In genere durante la digestione anaerobica si ottiene una riduzione di almeno il 50% dei Solidi Volatili (SV) alimentati.

Le tecniche di digestione anaerobica possono essere suddivise in due gruppi principali:

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

Processi con valori di secco intermedi sono meno comuni e vengono in genere definiti processi a semisecco.

Il processo di digestione anaerobica è anche suddiviso in:

- processo **monostadio**; le fasi di idrolisi, fermentazione acida e metanigena avvengono contemporaneamente in un unico reattore;
- processo **bistadio**; il substrato organico viene idrolizzato separatamente in un primo stadio, ove avviene anche la fase acida, mentre la fase metanigena viene condotta in un secondo stadio.

La digestione anaerobica può, inoltre, essere condotta, come già ricordato, o in condizione mesofila (circa 35°C) o termofila (circa 55°C); la scelta tra queste due condizioni determina in genere anche la durata (il tempo di residenza) del processo. Mediamente in mesofilia si hanno tempi di residenza compresi nel range 14-30 giorni, mentre in termofilia il tempo di residenza è in genere inferiore ai 14-16 giorni.

Tra le uscite dal sistema vi è anche un materiale semitrasformato palabile o pompabile rappresentato dal residuo della biomassa digerita – chiamato anche *digestato* - per il quale, allo scopo di conseguire lo *status* merceologico ed amministrativo necessario alla commercializzazione e libera applicazione in coerenza con il dettato della Legge 748/84,



occorre prevedere una fase di finissaggio con maturazione aerobica (*post-compostaggio*) che garantisca il completamento della fase di stabilizzazione della componente organica.

In quanto a possibili applicazioni, il digestato in uscita dalla digestione anaerobica è meno versatile del compost, in ragione del potenziale fitotossico ancora relativamente elevato (per la presenza di ammoniaca e la natura ancora relativamente fermentescibile della sostanza organica residua) e va dunque generalmente inteso e gestito come un fango ai sensi e per gli effetti del D.lgs. 99/92 sulla applicazione dei fanghi in agricoltura. Le applicazioni di elezione del digestato sono dunque in pieno campo secondo i meccanismi dello *spandimento controllato* previsti dal D.lgs. 99/92 stesso (autorizzazione al sito di impiego, analisi del suolo pre- e post- applicazione, contingentamento delle dosi applicabili, ecc.), mentre il compost può trovare spazi di applicazione anche in giardinaggio, vivaistica in vaso ed in terra, semine di prati, ecc. e può essere liberamente impiegato e commercializzato in coerenza con la Legge 748/84 (sui fertilizzanti).

Per valutare le potenzialità e le condizioni di integrazione dei processi di digestione anaerobica nel sistema integrato dei trattamenti biologici, la digestione anaerobica va dunque intesa come sostitutiva delle prime fasi di trasformazione in un sistema di trattamento aerobico (quelle intensive), mentre permane la necessità – per una sostituzione con equivalenza di effetti - di dotare l'impianto di una sezione di maturazione finale aerobia, a carico del digestato, con tecnologie estensive.

10.5.2 Opportunità e condizioni di integrazione tra sistemi anaerobici ed aerobici

L'integrazione dei processi di digestione anaerobica nei sistemi di trattamento biologico va valutata alla luce delle seguenti opportunità e condizioni:

- si ha l'opportunità di migliorare il bilancio energetico dell'impianto, in quanto nella fase anaerobica si ha in genere la produzione di un surplus di energia rispetto al fabbisogno dell'intero impianto;
- si ha un minor impegno di superficie a parità di rifiuto trattato, pur tenendo conto delle superfici necessarie per il post-compostaggio aerobico, grazie soprattutto alla maggiore compattezza architettonica delle strutture dedicate (digestori) ed al loro sviluppo verticale;



- gli impianti anaerobici trovano la loro migliore vocazione per il trattamento di tipologie di rifiuti ad umidità elevata, mentre il compostaggio richiede un tenore di sostanza secca nella miscela di partenza dell'ordine – generalmente - del 30-35%; in ambiti a bassa disponibilità di materiali strutturali (quali gli scarti vegetali da manutenzione del verde), la digestione anaerobica consente dunque una efficace gestione delle prime fasi di bioconversione delle matrici ad elevata umidità (tipicamente, scarti alimentari, fanghi, deiezioni zootecniche); il digestato successivamente presenta un quantitativo totale di solidi volatili fermentescibili inferiore e può convenientemente essere compostato con i limitati quantitativi di scarto lignocellulosico disponibile;
- nella digestione anaerobica si ha acqua di processo in eccesso che necessita di uno specifico trattamento, mentre nel compostaggio le eventuali acque di percolazione possono essere riciclate come agente umidificante sui cumuli praticamente fino alla fine del processo; da un punto di vista strategico, la necessità di trattamento delle acque di supero richiederebbe una buona integrazione tra sistemi di trattamento delle acque e dei rifiuti. Le situazioni più favorevoli sono quelle in cui gli impianti di depurazione dei reflui civili e/o industriali e quelli di trattamento degli scarti organici fanno parte di una unica gestione di impresa o di una strategia integrata pubblica di gestione ambientale (situazione abbastanza diffusa in Europa Centrale). In tale caso infatti non si hanno costi sensibili di avvio delle acque di supero della digestione anaerobica al trattamento di depurazione, fattore che invece comporta costi aggiuntivi a forte incidenza unitaria nel caso di avvio a depurazione in impianti gestiti da terzi. A livello indicativo, si può generalmente valutare la consistenza dell'eccesso di acque rispetto alle capacità di ricircolo nella fase di maturazione aerobica nel 20-50% rispetto alla massa in ingresso all'impianto;
- gli impianti di digestione anaerobica richiedono investimenti iniziali maggiori rispetto a quelli di compostaggio. Gli investimenti specifici si collocano mediamente attorno a:
 - 155-260 Euro/tonn.anno per il compostaggio (dimensionato su 90 gg. di processo, e con sistemi di trattamento delle arie esauste almeno per la fase di pretrattamento e di biossidazione accelerata);
 - 415-520 Euro/tonn.anno per la digestione anaerobica (con un post-trattamento di finissaggio aerobico mediante compostaggio allo scopo di dare versatilità di



applicazione e commercializzazione al prodotto); gli oneri unitari tendono ad "impennarsi" particolarmente al di sotto di alcune capacità operative minime (10.000/20.000 tonnellate) per la scarsa modularità delle opere ed attrezzature, mentre il compostaggio è caratterizzato da una discreta linearità di rapporto tra capacità operative, necessità logistiche e costi di investimento.

Alcune condizioni favorevoli per il superamento del problema relativo ai maggiori oneri di investimento unitari – e dunque ai maggiori costi di ammortamento incidenti sul costo complessivo unitario di esercizio – possono essere le seguenti:

- disponibilità di finanziamenti a fondo perduto (es. sui progetti relativi all'innovazione tecnologica, od alle risorse energetiche alternative); questo sembra essere ad oggi il maggiore *driver* per l'espansione della digestione anaerobica, sia in Italia che in altri Paesi. Non a caso si prevede che la Spagna a breve diventi il Paese con la maggiore capacità complessiva di digestione anaerobica, grazie ai fondi strutturali della CE che hanno consentito l'adozione di massicci programmi di allestimento di logistica dedicata. Il finanziamento a fondo perduto, abbattendo il costo di ammortamento relativo, elimina dal confronto con il compostaggio *tout-court* il fattore di maggiore differenziale sui costi di esercizio;
- sovvenzioni alla produzione di energia elettrica, quali i provvedimenti relativi al Decreto "CIP 6" ed ai "Certificati verdi"; va tuttavia segnalato che l'entità di tali sovvenzioni, ai livelli di produzione elettrica unitaria tipici per la digestione anaerobica, non sembrano in grado di bilanciare i maggiori oneri di investimento e costi di ammortamento unitario (né con i livelli di integrazione finanziaria garantita dal "CIP 6", né tanto meno con quelli – inferiori - previsti dai "Certificati verdi" e dalla Direttiva europea sulle fonti energetiche rinnovabili di prossima emanazione).

10.6 PROCEDURE AUTORIZZATIVE

10.6.1 Tipo di procedura

Gli impianti di recupero per la produzione di compost di qualità possono avvalersi:



- delle procedure semplificate di cui agli artt. 31 e 33 del D.Lgs. 22/97 e successive modifiche ed integrazioni qualora gli impianti, le materie prime ed i prodotti finali siano del tutto conformi alle prescrizioni del D.M. 5/2/1998, all. 1, suball. 1, punto 16. In particolare, i prodotti finali devono rispettare le caratteristiche indicate nell'allegato 1C della Legge 748/84, così come modificato dal D.M. 27/3/98. La suddetta procedura non esonera dal rispetto della disciplina contenuta nel DPR 203/88, per le emissioni in atmosfera, e nel D.Lgs. 152/99, per gli scarichi liquidi. A parte vanno conseguiti tutti i visti, pareri e concessioni necessari per la realizzazione dell'impianto (in particolare, la concessione edilizia eventualmente necessaria);
- delle autorizzazioni di cui agli artt. 27 e 28 del D.Lgs. 22/97 e successive modificazioni. Tale procedura è obbligatoria nel caso in cui le matrici in ingresso o il tipo di trattamento non rientrino o rientrino solo parzialmente nelle fattispecie di cui al D.M. 5/2/98, all. 1, suball. 1, punto 16 o il prodotto commercializzato non rientri o rientri solo in parte nelle caratteristiche indicate nell'allegato 1C della Legge 748/84 e modifiche. *Al trattamento biologico di rifiuti indifferenziati va dunque applicata sempre questa procedura.*

Ai sensi del comma 5 art. 27 del D.lgs. 22/97, l'autorizzazione è in questo caso sostitutiva di ogni altro visto, parere, autorizzazione o concessione da parte di altri organi regionali, provinciali o comunali.

10.6.2 Documentazione

10.6.2.1 Documentazione generale

Il progetto degli impianti, oltre a quanto previsto all'art. 27 del D.Lgs. 22/97, deve contenere la seguente documentazione:

- Certificato di destinazione urbanistica del sito;
- Attestazione di possesso o disponibilità del sito;
- Documentazione relativa ad eventuali pozzi ad uso idropotabile nelle zone contigue;
- inquadramento corografico del sito, aggiornato ai più recenti insediamenti abitativi o produttivi, in modo da valutare la coerenza dei sistemi di presidio ambientale previsti;
- Informazioni relative alla profondità della falda ed alle relative escursioni;



- Elenco delle matrici in ingresso, con riferimento sia alle classi merceologiche di cui al punto 16. del DMA 72 del 5/2/98 che all'elenco dei codici CER, con relativi quantitativi;
- Studio di impatto ambientale: alla luce del DPCM 3 settembre 1999, la procedura di "V.I.A. regionale" (allegato A, D.P.R. 12/04/1996) è necessaria solo se l'impianto ha una potenzialità maggiore di 100 tonn/giorno. Nel caso di potenzialità minore, per impianti di recupero come il compostaggio (lettera R3, allegato C del D.Lgs. 22/97) anche se ricadenti in aree naturali protette, non è necessaria nemmeno la procedura di *screening* regionale (verifica della necessità o meno della V.I.A. regionale) secondo i criteri dell'allegato D, del DPR 12/04/96 citato.

10.6.2.2 Documentazione tecnica

- Cartografia in scala 1:5000 o 1:10000 con l'indicazione dell'ubicazione dell'impianto, la viabilità, i centri abitati, altri elementi significativi.
- Relazione tecnica, corredata da calcoli dimensionali, cartografia e disegni tecnici; in particolare, vanno indicati:
 - Dati catastali e limiti di proprietà dell'area interessata;
 - Superfici dell'impianto: complessiva, impermeabilizzata, coperta, piantumata;
 - Indicazione dell'obiettivo finale del trattamento, in particolare:
 - produzione di ammendanti compostati di qualità ex Legge 748/84 come modificata dal DM 27/3/98;
 - trattamento di stabilizzazione pre-discarica;
 - produzione di biostabilizzato per applicazioni vincolate in operazioni di recupero ambientale;
 - esecuzione di una bioessiccazione del materiale, per aumentarne il potere calorifico ed impiegarlo per la termovalorizzazione;
 - Criteri di dimensionamento che portano al calcolo del tempo di processo e della potenzialità annua di cui si richiede l'autorizzazione, in particolare: peso specifico delle varie matrici, sezione e lunghezza ed altezze dei cumuli/trincee, calo volumetrico stimato etc;



- Modalità di stoccaggio provvisorio (messa in riserva) del materiale in ingresso: dimensionamento e capacità in giorni di stoccaggio;
- Rete di raccolta delle acque meteoriche, di percolazione e relativo punto di scarico e/o modalità di stoccaggio e ricircolo;
- Dimensionamento delle portate d'aria predisposte per l'insufflazione della biomassa e relativo criterio di calcolo;
- Descrizione, in una sezione a parte all'interno della Relazione Tecnica di progetto, dei flussi delle arie esauste aspirate dalle singole sezioni, ed il loro destino finale (riutilizzo in altre sezioni, od avvio a trattamento finale) È' importante che gli elaborati tecnici (sia la Relazione Tecnica che gli elaborati planivolumetrici) mettano in risalto le opere di presidio ambientale per l'abbattimento degli odori. Vanno specificati inoltre:
 - I criteri di dimensionamento dei sistemi di presidio;
 - I particolari costruttivi, con particolare riferimento ai sistemi di distribuzione delle arie da trattare;
 - Le caratteristiche di modularità dei sistemi di presidio stesso, e la capacità di disattivare i singoli moduli in fase di manutenzione, in modo da garantire sempre una certa potenzialità di trattamento (almeno il 66% del normale, ossia 2 moduli su 3);

10.6.3 Valutazione di Impatto Ambientale

Per quanto attiene le procedure di impatto ambientale, valgono le disposizioni contenute nel DPR 14 novembre 2000.

L'emanazione della Deliberazione della Giunta regionale n. 255 del 13 ottobre 2000, relativa a: "Recepimento D.P.R. 12 aprile 1996 - Valutazione impatto ambientale - Atto di indirizzo e coordinamento. Modifiche ed integrazioni alle deliberazioni n. 4 del 20 gennaio 1999 e n. 115 dell'11 maggio 1999", sostanzialmente mantiene le prescrizioni dettate dalla normativa nazionale.



10.7 CRITERI GUIDA

10.7.1 Criteri di ubicazione

10.7.1.1 Vincoli escludenti

Costituiscono vincoli escludenti all'ubicazione degli impianti di recupero mediante trattamento biologico (compostaggio e stabilizzazione pre-discarica):

- Le aree individuate dagli artt. 2 e 3 del DPR 8/9/97 n. 357;
- Le aree collocate nelle zone di rispetto (art. 6, DPR 236/88) per un raggio non inferiore a 200 metri dal punto di approvvigionamento idrico a scopo potabile pubblico, salvo eventuali deroghe da parte delle autorità competenti supportate da analisi di rischio;
- Le aree a distanze dai centri abitati < 200 m (distanza dal nucleo abitato così come definito dal Codice della Strada), derogabile per il compostaggio di scarti verdi;
- Le aree soggette a esondazione. Per la verifica relativa ad aree in fregio ad aste fluviali deve, al riguardo, essere presa come riferimento la piena con tempo di ritorno pari a 50 anni. (20 anni nel caso di compostaggio di scarti verdi) salvo diverse indicazioni dell'Autorità di bacino;
- Le aree ricadenti nelle fasce di rispetto previste dalla L.R. n° 78/76;
- Le disposizioni previste nella L.R. n° 71/78 e successive modifiche ed integrazioni.

Le distanze fanno riferimento al limite dell'area di impianto, intendendo con tale termine *l'area strettamente connessa al ciclo di lavorazione dei rifiuti*, ivi compreso lo stoccaggio dei prodotti recuperati e degli scarti.

10.7.1.2 Vincoli da considerare

Per ciascun sito devono essere esaminate le condizioni locali di accettabilità dell'impianto in relazione a:

- aree collocate entro le fasce di rispetto delle diverse infrastrutture (strade, autostrade, gasdotti, oleodotti, ferrovie, cimiteri, beni militari, aeroporti, ospedali, case di cura e simili, etc.);
- beni storici, artistici, archeologici, paleontologici ex Legge 1089/1939;



- vincoli paesistici e paesaggistici ex Legge 1497/1939, 431/1985 e successive modifiche ed integrazioni (art.151 D.lgs 29/11/1999 n° 490);
 - aree sottoposte a vincolo idrogeologico ex RD 3267/1923;
 - aree individuate a parco o riserva naturale a livello Regionale, Provinciale e Comunale.
- Per tali tipologie di aree va conseguito specifico nulla-osta, in base ai meccanismi di legge previsti, dalle autorità competenti.

Costituisce inoltre un vincolo da considerare con particolare attenzione, verificando la coerenza dei sistemi di processo e dei presidi adottati, la presenza di insediamenti abitativi anche singoli nel raggio di 1000 metri; la presenza di insediamenti singoli entro i 200 metri può costituire, dopo verifica delle condizioni topografiche ed operative locali, specifico motivo di esclusione delle possibilità di autorizzazione.

10.7.1.3 Inserimento paesistico-architettonico

In sede progettuale, deve essere previsto un documento di valutazione preliminare che individui tutti gli elementi principali da considerare e proposti per l'inserimento paesistico ed architettonico dell'impianto di compostaggio al fine di ridurre l'impatto visivo del nuovo sito, e fare in modo che questo risulti il più possibile in armonia col paesaggio preesistente.

In particolare:

- devono essere previste barriere a verde realizzate con specie autoctone di diversa dimensione, al fine di mascherare le componenti di impianto più impattanti;
- devono essere individuati materiali, colori e forme costruttive che armonizzino l'impianto con il paesaggio circostante; tale criterio va rigorosamente rispettato e vanno comunque prodotte valutazioni in merito.

Con particolare riferimento alla localizzazione dei siti prescelti in contesto rurale, è obbligatorio fare riferimento parzialmente o totalmente a strutture edilizie ed a materiali che richiamino quelli della tradizione rurale.

10.7.1.4 Criteri di dimensionamento

Il progetto deve essere corredato da una stima del materiale compostabile intercettabile, adottando dei parametri di intercettazione unitari in $\text{kg ab}^{-1} \text{anno}^{-1}$, in relazione al bacino di utenza ed al sistema di raccolta;



Nella fattispecie:

- per quanto concerne le *utenze domestiche* e più in generale le *raccolte di frazioni organiche del rifiuto urbano* (scarti verdi e scarti alimentari, comprese le utenze commerciali piccole e medie ed i servizi di ristorazione) possono essere adottati i parametri previsionali precedentemente descritti; come parametro di riferimento, si possono considerare 100 kg ab⁻¹ anno⁻¹, derivanti da circa 60-70 kg ab⁻¹ anno⁻¹ di scarto alimentare e 30-40 kg ab⁻¹ anno⁻¹ di scarto verde;
- per quanto riguarda le *grandi utenze* (ortomercati, utenze agroindustriali, impianti di depurazione, ecc.) vanno considerati dati (o stime) recenti ed affidabili relativi alla produzione di ogni singola utenza servita;

10.7.1.5 Dotazioni tecnologiche, dimensionamento e presidi ambientali

Si forniscono gli elementi tecnici omogenei relativi ad impianti di compostaggio di biomasse selezionate ad elevata fermentescibilità (scarti "umidi" domestici e da servizi di ristorazione; scarti agroindustriali; fanghi biologici civili ed agroindustriali; reflui zootecnici, ecc.) in miscelazione con biomasse lignocellulosiche (scarti di manutenzione del verde ornamentale, materiali legnosi, cortecce, ecc.).

Per il compostaggio delle sole matrici lignocellulosiche, quali gli scarti di manutenzione del verde, si faccia riferimento all'apposito capitolo.

Di seguito vengono quindi riportati gli schemi operativi tipici cui conformare i lay-out progettuali degli impianti. Successivamente, vengono specificati in dettaglio i criteri progettuali, suddivisi nelle seguenti due categorie:

- *Elementi tecnologici e processistici tendenzialmente prescrittivi*, quelli necessari cioè (anche se non sufficienti) a garantire l'efficacia del processo, la qualità del prodotto, il contenimento degli impatti; trattasi dunque dell'impostazione di base e delle relative dotazioni tecnologiche, rispetto alle quali le mancanze o difformità d'impostazione progettuale e gestionale vanno valutate attentamente sulla base di giustificazioni tecnico-processistiche e referenze operative già in atto (da presentarsi a cura del soggetto proponente);
- *Ulteriori elementi di qualificazione delle ipotesi progettuali*, atti a determinare condizioni di maggiori livelli di protezione ambientale e/o una maggior efficacia del processo;



questi elementi vengono qui forniti solo per coadiuvare l'impostazione progettuale, pur rimanendo ai soggetti titolari proponenti la responsabilità della scelta definitiva. L'adozione o meno di questi criteri, va dunque valutata in sede di elaborazione progettuale - e di istruttoria tecnica successiva - nel quadro delle coerenze complessive di progetto.

10.7.1.6 Schemi operativi

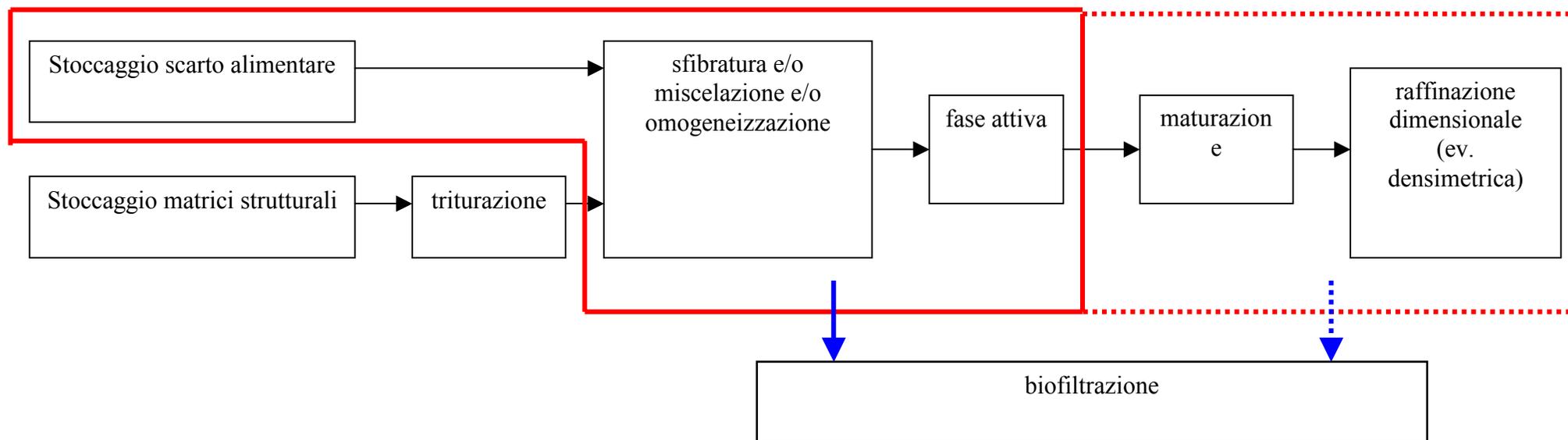
Gli impianti – coerentemente agli obiettivi operativi di ciascuna fattispecie di trattamento biologico – devono presentare la configurazione operativa di seguito riportata:



————— = chiusura e presidio dell'area (con eccezioni specificate nel testo)

..... = chiusura e presidio opzionale

Compostaggio di qualità per matrici ad elevata fermentescibilità (scarti alimentari) + matrici strutturali





10.7.2 Elementi prescrittivi (dotazioni ed allestimenti di base)

10.7.2.1 Strutture e logistica

- predisposizione di strutture confinate per lo stoccaggio in ingresso dei materiali ad elevata fermentescibilità (fanghi, residui alimentari, biomasse mercatali, ecc.); tali strutture (sili, trincee coperte, vasche, ecc.) vanno diversificate per tipologia di biomassa e dimensionate su un minimo di 2 giorni ed un massimo di 5 (onde evitare estesi fenomeni putrefattivi); le strutture di ricezione e stoccaggio vanno rese accessibili mediante portali ad apertura e chiusura rapida;
- gestione delle fasi di pre-trattamento (lacerazione sacchi, triturazione, miscelazione, vagliatura primaria, ecc.) e trasformazione attiva (ACT) in strutture chiuse; vengono considerate strutture chiuse i tunnel, le biocelle/biocontainer, i capannoni tamponati integralmente, i sili, i bioreattori dinamici a cilindro.

Da tali prescrizioni sono esentate le iniziative che ricadono nella seguente casistica:

- impianti di compostaggio del solo scarto verde in eventuale miscelazione con altri materiali di esclusiva natura lignocellulosica (matrici di cui ai punti b), c), h) ed l) , punto 16 del DM 5/2/98, All. 1, suball. 1);
- impianti con capacità operative inferiori a 1000 ton/anno se posti a distanze superiori a 500 metri da abitazioni singole;
- impianti con capacità operative inferiori a 3000 ton/anno se posti a distanze superiori a 1000 metri da abitazioni singole;
- impianti con tecnologia di tipo statico per almeno 14 gg. – vincolati ad almeno il 40% di materiale lignocellulosico con funzione strutturale - e potenzialità compresa tra 3000 e 6000 ton/anno, se posti a distanze superiori a 1000 metri da abitazioni singole; l'esenzione dalle necessità di confinamento delle aree operative si applica limitatamente alla fase attiva, mentre le fasi di ricezione e pre-trattamento vanno confinate e dotate di un sistema di abbattimento degli odori.



10.7.2.2 Durata del processo

- La fase attiva presidiata, se distinta da quella di maturazione, deve avere una durata tale da garantire un prodotto in uscita con una sufficiente stabilità biologica, ovvero rispettare in alternativa uno dei due valori seguenti:
 - Indice respirometrico (I.R.) statico $< 500 \text{ mg O}_2 / \text{kg s.v.} \cdot \text{h}^2$
 - Indice respirometrico (I.R.) dinamico $< 1.000 \text{ mg O}_2 / \text{kg s.v.} \cdot \text{h}^3$Tali obiettivi sono conseguibili con tempi di ritenzione indicativamente attorno ai 14 gg. in biocella/biocontainer *con ricircolo d'aria* e 21/28 gg. in sistemi a trincea/cumulo;
- La fase di maturazione (curing) deve avere durata tale da garantire un tempo di processo totale non inferiore a 90 giorni e garantire il rispetto in alternativa di uno dei due valori seguenti:
 - Indice respirometrico (I.R.) statico $< 250 \text{ mg O}_2 / \text{kg s.v.} \cdot \text{h}^1$
 - Indice respirometrico (I.R.) dinamico $< 500 \text{ mg O}_2 / \text{kg s.v.} \cdot \text{h}^2$

10.7.2.3 Strumenti di controllo del processo e dimensionamento

- previsione, in fase attiva, della aerazione forzata della biomassa, per aspirazione e/o insufflazione;
- dimensionamento del sistema di ventilazione nella prima fase di trasformazione non inferiore ad una portata specifica media continuativa (ossia tenendo conto dei tempi eventuali di spegnimento) di $15 \text{ Nmc/h} \cdot \text{ton.}$ di biomassa (tal quale);
- previsione di tempi di spegnimento non superiori a 30' ;
- predisposizione di strumenti di controllo del processo, con dotazione almeno di sonde termometriche;
- predisposizione di sistemi per l'inumidimento periodico della biomassa, in particolare nella fase attiva;
- altezza del letto di biomassa in fase attiva non superiore a 3 metri (con tolleranza del 10%) per sistemi statici; non superiore a 3,5 metri (con tolleranza del 10%) per sistemi dinamici.

² Metodica IPLA, Regione Piemonte, "Metodi di analisi del compost", 1998

³ Metodica DIFCA, Adani *et al.* – Milano, 1999



10.7.2.4 Gestione delle acque reflue

Deve essere prevista l'impermeabilizzazione di tutte le zone operative (stoccaggio matrici, pretrattamenti, fase attiva, maturazione, post-trattamenti e stoccaggio del prodotto finito e degli scarti di lavorazione).

La gestione delle acque deve essere differenziata a seconda della provenienza delle stesse, come di seguito elencato.

Vengono forniti anche i criteri per il dimensionamento parametrico delle vasche di stoccaggio, se previste o necessarie. In caso di presenza di falda affiorante nell'area prescelta per l'intervento, va predisposta una doppia camera per la/e vasca/e di raccolta delle acque reflue. In alternativa, possono essere realizzate vasche fuori terra (es. in elementi prefabbricati), soluzione da preferire nel caso in cui lo spazio disponibile non costituisca fattore limitante.

10.7.2.5 Acque di processo

Le acque derivanti dai processi spontanei di rilascio da parte delle biomasse in fase di stoccaggio iniziale o durante il processo (acqua di rilascio), devono essere prioritariamente riutilizzate per i processi di reumidimento delle biomasse stesse. Qualora non vengano riutilizzate, tali acque devono essere trattate nel rispetto della normativa vigente in materia di scarichi (Decreto Legislativo 11 maggio 1999, n.152) prima del loro recapito al sistema fognario o ad acque superficiali. Per le acque provenienti dalle prime fasi di gestione al chiuso di biomasse ad elevata fermentescibilità va previsto un riutilizzo esclusivamente nella fase attiva (in strutture chiuse) a causa del carattere fortemente odorigeno delle stesse.

Nel caso si provveda al riutilizzo delle acque di stoccaggio e di processo per l'inumidimento delle biomasse è richiesta la predisposizione di un sistema di contenimento avente una capacità minima tale da assicurare lo stoccaggio per un periodo compreso fra due successivi prelievi.

La capacità dell'invaso dedicato allo stoccaggio dei reflui - nel caso di riutilizzo nel processo - deve dunque avere dimensioni minime determinate secondo il seguente procedimento di calcolo:

$$C = R \times Q \times T : 1000$$



ove:

C = capacità dell'invaso in metri cubi

R = coefficiente di rilascio in litri/tonnellata*giorno; R deve assumere valori minimi compresi fra 2 e 5, ove il valore minimo si applica ai processi con aerazione della biomassa per insufflazione, il valore massimo a quelli con aerazione per aspirazione. Per gli stoccaggi iniziali di biomasse a elevata umidità quali i fanghi di depurazione, le frazioni umide da raccolte differenziate o da selezione meccanica, prima della loro miscelazione con materiali di struttura, si applica il coefficiente 5.

Q = quantità (in tonnellate) di biomasse in fase ACT al coperto a cui si applica il calcolo

T = tempo massimo (in giorni) di stoccaggio delle acque tra due interventi successivi di prelievo per l'inumidimento

10.7.2.6 Acque di percolazione su piazzali di maturazione all'aperto

Tali acque devono essere inviate a depurazione o riutilizzate per l'umidificazione della biomassa.

La capacità dell'invaso dedicato allo stoccaggio - nel caso di riutilizzo nel processo - deve essere dimensionato in relazione alla superficie dedicata allo stazionamento dei cumuli all'aperto e alla piovosità media annua della zona .

La capacità dell'invaso dedicato allo stoccaggio dei reflui, espressa in metri cubi - nel caso di riutilizzo nel processo - deve avere dimensioni minime determinate secondo il seguente procedimento di calcolo:

$$Q = S * (P:1000) / 30,$$

ove:

S = superficie della zona di maturazione in mq,

P = piovosità media annua espressa in millimetri.

10.7.2.7 Acque meteoriche

Le acque meteoriche delle aree esterne di transito e manovra (escluse le aree di maturazione), nel caso di scarico in acque superficiali o su suolo, devono avere una separazione delle acque di prima pioggia. Le acque di prima pioggia dei piazzali di solo transito e manovra possono essere inviate a depurazione o riutilizzate sulla biomassa. In questo caso è opportuno predisporre un sistema di disoleazione delle stesse previamente al riutilizzo.



La capacità dell'invaso dedicato allo stoccaggio - nel caso di riutilizzo nel processo - deve avere dimensioni minime determinate in relazione all'altezza delle precipitazioni di "prima pioggia".

Le acque meteoriche da gronde pluviali e le acque di seconda pioggia possono essere destinate allo scarico, nel rispetto delle norme vigenti, o al riutilizzo per l'umidificazione della biomassa.

10.7.2.8 Acque nere

Tali acque devono essere inviate al sistema fognario e/o trattate nel rispetto della normativa vigente.

10.7.2.9 Acque di lavaggio degli automezzi

Tali acque possono essere destinate allo scarico nel rispetto delle norme vigenti.

10.7.2.10 Gestione delle arie esauste

Al fine di garantire l'annullamento delle molestie olfattive connesse all'immissione nell'ambiente delle arie aspirate dalle diverse sezioni, laddove viene previsto l'allestimento di edifici od ambienti chiusi, vanno previsti:

- aspirazione e canalizzazione delle arie esauste per l'invio al sistema di abbattimento degli odori;
- numero di ricambi d'aria/ora uguale o superiore rispettivamente a 2 (zone di stoccaggio e pretrattamento, capannoni di contenimento di reattori chiusi) e 3 (capannoni per la biostabilizzazione accelerata in cumulo/andana liberi). Per gli edifici deputati a processi dinamici e con presenza non episodica di addetti devono essere previsti almeno 4 ricambi/ora. Per le sezioni di maturazione finale, laddove allestite al chiuso, il numero minimo di ricambi/ora è pari a 2;
- costituzione di biofiltro, adeguatamente dimensionato, per l'abbattimento del carico odorigeno delle arie da recapitare all'esterno; allo scopo di garantire un tempo di contatto di almeno 36" (meglio 45"), il biofiltro va dimensionato sulla base di un rapporto con il flusso orario di effluenti gassosi da trattare pari ad almeno 1 mc (di letto di biofiltrazione) : 100 Nmc/h di effluenti gassosi da trattare (meglio 1 mc : 80 Nmc/h);



- altezza del letto di biofiltrazione compreso tra 100 e 200 cm;
- costituzione modulare del biofiltro, con almeno 3 moduli singolarmente disattivabili per le manutenzioni ordinarie e straordinarie.

L'efficienza dei sistemi di trattamento degli odori deve essere determinata secondo i principi della Olfattometria Dinamica riportati nel *Draft* CEN 064/e TC 264 WG2 «Odours».

Il valore limite da rispettare per tutti i punti campionati è pari a 300 Unità Odorimetriche / Nm³ (U.O./Nm³), tenendo conto degli intervalli di confidenza statistica previsti dalla metodica citata.

10.7.2.11 Igiene e sicurezza

Allo scopo di prevenire il rischio biologico di inalazione, da parte degli operatori, di polveri sospese e di aerosoli contenenti patogeni, gli addetti al processo devono eseguire o presiedere alle operazioni di movimentazione, di rivoltamento, di triturazione e di raffinazione in mezzi cabinati e dotati di appositi filtri o devono indossare mascherine anti-polvere.

Il processo di bioconversione, deve garantire la igienizzazione della biomassa, allo scopo di inattivare i patogeni eventualmente presenti nel materiale trattato. A tale scopo, la igienizzazione si intende conseguita quando ogni parte del materiale è stata soggetta per almeno 3 giorni ad una temperatura minima di 55°C.

10.7.2.12 Ulteriori elementi di qualificazione delle ipotesi progettuali

- realizzazione di una capacità aggiuntiva di stoccaggio in ingresso per la "quarantena" di biomasse su cui vanno saltuariamente eseguiti accertamenti analitici per l'accettazione o i programmi di miscelazione (es. fanghi biologici);
- per la parte di scarto alimentare l'adozione di sistema di pre-trattamento (macchinario di trito-miscelazione o lacerasacchi) che eviti la frammentazione di eventuali inerti vetrosi (sfibratori a basso numero di giri/minuto, quali macchinari a coclee, a denti, a coltelli, ecc.);
- collegamento automatico della ventilazione e/o della movimentazione della massa al sistema di monitoraggio delle condizioni di processo; possibilità di monitoraggio a distanza (es. con rete GSM o internet);



- possibilità, in fase attiva, di modulazione delle portate d'aria specifiche in relazione ai riscontri di processo, o almeno nelle diverse sezioni (corrispondenti a biomassa a diversi stadi di maturazione);
- adozione di un sistema di aerazione forzata della biomassa anche in fase di maturazione;
- riutilizzo preferenziale delle arie aspirate dalle sezioni di ricezione e pre-trattamento per l'ambientalizzazione delle sezioni di compostaggio attivo e/o per l'insufflazione della biomassa; il bilancio complessivo tra arie immesse ed estratte dalle sezioni di compostaggio attivo deve comunque essere negativo, con saldo netto pari ad almeno 2 ricambi/ora;
- previsione, a monte del sistema di biofiltrazione degli odori, di un sistema di lavaggio ad acqua delle arie esauste;
- per impianti di dimensione medio-grande e grande (superiori a 50-100 tonnellate/die in ingresso alla sezione di bioconversione) ed in siti a forte sensibilità (topograficamente contigui ad abitazioni sparse od aggregate, indicativamente entro i 500 metri) tunnel, biocelle, biocontainer e altri sistemi a bioreattore confinato vanno preferibilmente dislocati all'interno di edifici chiusi onde captare le emissioni in fase di carico/scarico; alternativamente, si può prevedere l'allestimento di una apposita area di carico dei biocontainer (se mobili) all'interno degli edifici adibiti alla ricezione e pre-trattamento;
- chiusura delle aree di processo anche per la fase di maturazione, od adozione di sistemi statici semiconfinati (es. mediante teli); tale indicazione diventa tendenzialmente prescrittiva nel caso di localizzazioni critiche (indicativamente, entro i 500 metri) e/o ad alte capacità operative (indicativamente superiori alle 50-100 ton/die in ingresso alla sezione di bioconversione);
- svolgimento al chiuso delle operazioni di vagliatura, per il contenimento delle emissioni acustiche e la dispersione eolica; in questo caso non è necessaria l'aspirazione ed il trattamento odori delle arie esauste, mentre può essere valutata la predisposizione di sistemi di aspirazione localizzata con abbattimento delle polveri (es. tramite filtro a maniche).



10.8 CRITERI DI REALIZZAZIONE E GESTIONE PER IL COMPOSTAGGIO DELLO SCARTO VERDE

10.8.1 Fonti normative

Il compostaggio di scarti ligno-cellulosici su strutture semplificate - aree all'aperto, eventualmente su terreno drenante non pavimentato - è da tempo esplicitamente ammesso e promosso in:

- Lombardia: in base al disposto congiunto delle D.G.R. V/40516 e V/51028; tali disposizioni prevedono la conduzione all'aperto; inoltre, è ammesso il compostaggio su terreno non pavimentato per strutture pubbliche con capacità operative sino a 400 ton/anno e/o al servizio di meno di 10.000 abitanti.
- Veneto: in base al disposto della D.G.R. 766; terreno non pavimentato sino a 500 ton/anno.
- Piemonte: in base al disposto della D.G.R. 63-8317; terreno non pavimentato sino a 1000 ton/anno .

Le norme nazionali - che fanno sostanzialmente riferimento alla D.C.I. 27/7/84, ove sono incluse solo prescrizioni generiche sulle temperature per l'igienizzazione e la durata delle stesse - non attestano attualmente una esplicita legittimazione o divieto per tale approccio operativo. Va però notato che *le norme tecniche per l'ammissione delle attività di compostaggio a procedure semplificate ex artt. 31 e 33 del D. l.vo 22/97, ne prevedono l'ammissibilità, con conduzione all'aperto a qualunque dimensione e possibilità di operare su terreno non pavimentato per iniziative sotto le 1000 ton/anno.*

Le bozze della normativa tecnica ex art. 18 D.lgs. 22/97 riprendono coerentemente tali concetti, confermandoli integralmente.

Vale dunque la pena di dedicare una sezione alla valutazione del ruolo strategico di iniziative di questo tipo nel quadro della gestione integrata dei RU, definendone al contempo alcune condizioni operative qualificanti.



10.8.2 Significato operativo

In uno scenario evolutivo in cui le raccolte differenziate delle frazioni organiche si allargano progressivamente ad intercettare altri scarti compostabili (es. di origine alimentare) che richiedono anche la miscelazione con materiali lignocellulosici, l'attivazione di iniziative di compostaggio del solo scarto ligno-cellulosico su strutture semplificate ed eventualmente provvisorie – es. nel caso di conduzione su terreno non pavimentato - può rispondere a due ruoli ed obiettivi:

- ruolo **"tattico"**: inteso a dare risposta immediata a necessità di conferimento e valorizzazione di materiali provenienti dalle raccolte differenziate degli scarti del verde ornamentale; la semplicità e la eventuale provvisorietà dei siti attrezzati in questo caso è intesa a rendere agevole la loro attivazione, nonché, sul medio periodo, la eventuale dismissione alla attivazione dei centri comprensoriali per il co-compostaggio con gli scarti di origine alimentare ed altre biomasse (es. fanghi biologici); questi possono infatti avvalersi, parzialmente o totalmente, del flusso di scarti ligno-cellulosici per l'ottenimento delle condizioni ideali di processo all'interno della biomassa.
- ruolo **"strategico"**: inteso a promuovere, consolidare e preservare, eventualmente anche sul lungo termine, una rete operativa che si avvale di sistemi "naturaliformi" in strutture frequentabili; con ciò *viene generato consenso per il compostaggio in generale* e in particolare per la separazione degli scarti "verdi" e l'acquisto in impianto dei prodotti compostati da parte di cittadini ed operatori professionali.

Una rete territorialmente coordinata di strutture semplificate può costituire dunque un sistema operativo *modulare, flessibile*, parzialmente o totalmente dismissibile e dunque *adattabile* alle evoluzioni dello scenario operativo.

10.8.3 Linee-guida e standard operativi

10.8.3.1 Superficie necessaria

In prima istanza 1,5-2 mq/ton.anno di capacità operativa, con un minimo di 1000 mq e forma delle aree - nel caso di piccoli impianti - tendenzialmente allungata (es. 50x25; 40x30).



10.8.3.2 Presidi ambientali

Nel caso di **iniziative con terreno pavimentato**, allestimento di una rete di drenaggio con canaline e/o cunette e/o caditoie collegate a vasca/vasche di accumulo; il destino normale dei reflui è il recupero a scopo di inumidimento dei cumuli; per gestire agevolmente il ricircolo anche in periodi a forte piovosità, i bacini di stoccaggio devono essere dimensionati su un rapporto di almeno 1 mc/30 mq di superficie drenata. Le eccedenze vanno avviate a depurazione.

Può essere prevista, *per le sole acque reflue dai piazzali di solo transito e manovra*, la separazione delle acque di prima pioggia, da avviare a recupero o depurazione, da quelle di seconda pioggia che possono essere recapitate a suolo o in corpi idrici superficiali.

10.8.3.3 Caratteristiche del sito

Servito da viabilità adeguata. Avuto riguardo del peso specifico medio annuale delle biomasse vegetali da manutenzione del verde (0.2-0.25 circa), il tonnellaggio annuo va moltiplicato per 4-5 allo scopo di desumere la volumetria annualmente conferita. Il numero di viaggi annuali e dunque medi giornalieri può essere valutato considerando il trasporto con cassoni scarrabili da 20 mc (da Piattaforme Ecologiche comunali), e con automezzi da 2-3 a 20 mc. (per utenze professionali del settore della paesaggistica).

Nel caso di *piccole iniziative condotte su terreno non pavimentato* (con fruizione diretta da parte della popolazione comunale), questo non deve essere soggetto a ristagni; la viabilità di accesso deve essere di tipo vicinale ma agevolmente transitabile anche da autoveicoli dei privati cittadini. Non essendo previste strutture edificate o pavimentazioni permanenti, è possibile ipotizzare l'inserimento anche in aree agricole. La localizzazione ideale è accanto a Piattaforme Ecologiche (Stazioni per la Raccolta Differenziata) esistenti od in progetto per le evidenti sinergie operative ed organizzative.

10.8.3.4 Distanze

- 200 m. da pozzi ad uso idropotabile (DPR 236/88) salvo deroghe da parte dell'Autorità Sanitaria Locale (il percorso di valutazione per la deroga è invero relativamente lungo e prevede di norma una indagine idrogeologica in situ);



- almeno 200 m. da abitazioni (100-200 per piccole iniziative su terreno nudo), essenzialmente per l'impatto acustico generato dalle operazioni di triturazione (sino a 85-90 dB A); va considerato che tali operazioni hanno carattere episodico per le iniziative fino a 1000 ton/anno (per un massimo di circa 50 ore/anno.sito).

10.8.3.5 Sistemi di sorveglianza

- Recinzione anche leggera su tutto il contorno o analoghi sistemi di interdizione e controllo degli accessi..
- Presidio di sorveglianza durante gli orari di apertura.

10.8.3.6 Orari di apertura

Nel caso di piccole iniziative comunali con consegna diretta da parte dei cittadini, almeno 2 mezze giornate/settimana. Prioritariamente il Sabato, apertura almeno pomeridiana, con preferibile estensione a tutta la giornata.

10.8.3.7 Altri allestimenti

Nel caso di iniziative su terreno non pavimentato, eventuale consolidamento della zona longitudinale centrale, più soggetta a transito, con mista o ghiaia o legno triturato (10-20 cm).

10.8.3.8. Dotazione operativa standard

E' preferibile la disponibilità di allacciamenti idrici per l'inumidimento periodico dei cumuli.

Opportuna la disponibilità in zona di pale meccaniche o muletti agricoli per il rivoltamento periodico dei cumuli.

Le dotazioni specifiche (tritratore, vaglio), fanno generalmente parte del parco-macchine nelle iniziative di media e grande dimensione (dalle 3000-5000 ton/anno); nelle piccole iniziative vengono invece normalmente procurate tramite noleggi o messe in dotazione dalle Istituzioni di livello superiore (es. Consorzi, Province), e condivise dunque tra più siti. In occasione degli interventi specifici i noleggiatori possono anche provvedere ai rivoltamenti dei cumuli.



10.9 IL PROBLEMA DEGLI ODORI NEGLI IMPIANTI DI COMPOSTAGGIO: NATURA, SISTEMI DI TRATTAMENTO, METODI DI VALUTAZIONE

10.9.1 Cosa è l'odore, come si misura

Il problema delle emissioni odorose va assumendo un ruolo di primaria importanza nelle valutazioni sulla localizzazione degli impianti di compostaggio.

Occorre sottolineare innanzitutto che il problema è strettamente legato alla gestione corretta degli impianti e dei processi; la 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, che dovrebbe portare essenzialmente alla produzione ed al rilascio nelle arie esauste di cataboliti ossidati ed inodori (anidride carbonica, ossidi di azoto, anidride solforosa, ecc.).

Le cause dei fenomeni odorosi particolarmente intensi possono essere dunque ricondotte soprattutto alla presenza di situazioni critiche processistiche o impiantistiche come:

- presenza di sacche "anaerobiche" nei cumuli,
- scarso o intempestivo utilizzo dell'aerazione forzata della biomassa,
- rivoltamenti inopportuni e/o intempestivi.

Particolare attenzione deve inoltre essere posta nei confronti delle altre potenziali sorgenti di odore di un impianto, 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 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 (es. con capacità operative > 10 ton/die) di matrici fortemente fermentescibili (fanghi, scarti alimentari, ecc.) e/o siano collocati in vicinanza di insediamenti abitativi (es. < 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 scrubber e di qualunque altro sistema utilizzato per la deodorizzazione delle arie esauste
- la corretta gestione dei sistemi di deodorizzazione (es. conservazione dello stato strutturale e delle condizioni di umidità ideali per la massima efficacia dei biofiltri).

10.9.2 L'odore tra percezione soggettiva e sistemi oggettivi di valutazione.

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, come vedremo più oltre.

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, risulse di potatura, ecc.) 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.



In Tab. 1 vengono elencate le sostanze odorigene maggiori responsabili degli odori avvertibili negli impianti di compostaggio di qualità; abbiamo riportato il confronto tra le soglie di percettibilità da parte del 100% di un gruppo di testatori – 100 % ORC (odour recognition concentration; le soglie di percettibilità da parte del 50% dei testatori sono invece conosciute nella letteratura internazionale come OT, odor threshold) e i livelli ammissibili di esposizione negli ambienti di lavoro (TLV, threshold limit value)

Tab. 1 - Principali composti odorigeni riscontrabili in impianti di compostaggio. Soglie di percettibilità olfattiva (100 % ORC) e livelli ammissibili di esposizione negli ambienti di lavoro (TLV), in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Sostanza	100 % ORC	TLV
Idrogeno solforato	1.4	14000
Metilmercaptano	70	1000
Dimetildisolfuro	16	-
Trimetilammina	9.8	24000
Acido butirrico	73	-
Acido esanoico	29	-
Acetaldeide	549	180000

Da tale confronto si evince come le soglie di percettibilità, ossia le concentrazioni a cui gli odori vengono percepiti negli impianti ed attorno ad essi, sono nella generalità dei casi ben inferiori alle concentrazioni alle quali possono ingenerarsi rischi sanitari.

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, ecc.) 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. 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, come già accennato, *il naso risulta essere molto più sensibile di uno spettrometro di massa.*

Il *metodo olfattometrico* è stato dunque sviluppato proprio con lo scopo di oggettivare e quantificare numericamente – tramite elaborazione statistica - l'intensità dell'odore percepito da un set di testatori (pannellisti) a cui viene sottoposta a diluizioni successivamente concentrate l'aria campionata. Le *unità odorimetriche* od *olfattometriche* (u.o.) sono il numero di diluizioni che fanno sì che il 50% della giuria non percepisca nessun odore; tale numero esprime la “concentrazione di odore”; intuitivamente, maggiore è questo numero, più intenso è l'odore. Per impianti di grandi dimensioni (in cui si trattano diverse centinaia di migliaia di mc/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 m³/sec in uscita dall'impianto (es. da un biofiltro o da uno scrubber)

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...); a tal proposito, ed a titolo esemplificativo, in tab. 2 sono indicate le concentrazioni di odore rilevate nelle diverse aree di un impianto di compostaggio.

Tab. 2 - Emissioni odorose espresse in unità olfattometriche in diverse zone di impianti di compostaggio (Da W. Bidlingmaier et al.)

Area dell'impianto	U.O. / m ³
Ricezione	470 (media)
Pretrattamento	142 (media)
Superficie dei cumuli (fase ACT, di bioossidazione accelerata)	2.000 - 70.000
Superficie dei cumuli (maturazione)	100 – 500
Vagliatura	118 (media)
Aria in uscita da biofiltro (correttamente funzionante)	< 300



Si evince l'importanza di garantire canalizzazione e trattamento delle arie esauste provenienti da *tutte* le fasi potenzialmente odorigene, ed in specifico, oltre alla bioossidazione accelerata (ossia la prima fase di compostaggio) anche la ricezione ed il pretrattamento, in cui le caratteristiche biochimiche delle biomasse ancora "fresche" conferiscono loro caratteri potenzialmente odorigeni. La fase di maturazione finale può invece essere condotta in sistemi non tamponati né olfattivamente presidiati, eventualmente una volta verificato il livello di fermentescibilità residua mediante misura della stabilità del materiale (ad es. con l'indice respirometrico)..

In relazione all'importanza del tema "odori" nella localizzazione e nella valutazione operativa degli impianti di compostaggio e trattamento biologico, in Italia ed in Europa si stanno facendo notevoli passi avanti sia per la definizione di standard di emissione espressi in unità odorimetriche (le bozze delle nuove norme tecniche nazionali fanno esplicito riferimento a tali standard di valutazione, come da tempo in diversi Paesi Europei), sia per quanto riguarda la ricerca chimico analitica in questo campo. Infatti, riuscendo ad identificare quei pochi composti che caratterizzano principalmente l'odore, è possibile concentrarsi su di essi ad es. nella progettazione di uno scrubber più efficiente, per diagnosticare la presenza di zone anaerobiche, per poter realizzare analisi mirate in tempo reale, ecc...

Nel campo della ricerca l'interesse si sta spostando verso due direzioni: una è la messa a punto di metodiche che permettano una maggiore sensibilità analitica ed eventualmente la possibilità di effettuare misurazioni automatizzate in continuo o mediate nel tempo, nei punti di *immissione* (ovvero nei dintorni dell'impianto, dove viene percepito l'evento odorigeno). Un'altra strategia è la ricerca di una correlazione tra i parametri riscontrati nei punti di *immissione* e quelli sulle *emissioni* dalle potenziali "sorgenti di odore" dell'impianto. Questo approccio assume valore eminentemente diagnostico, e mediante l'ausilio di analisi statistiche avanzate (PCA, analisi in componenti principali) permette l'identificazione in impianto dei "punti critici" dando la possibilità di intervenire in modo mirato.

10.9.3 Le tecnologie di controllo ed abbattimento

Intendiamo qui analizzare i due più comuni sistemi di abbattimento degli odori (biofiltri e scrubber) e gli aspetti normativi riguardanti le emissioni odorose.



Biofiltri e scrubber sono sistemi con cui è possibile *rimuovere* o *trasformare chimicamente* o biologicamente gli odori; non parleremo qui dei sistemi di “mascheramento” degli odori che si basano sul *sovrapporre* un odore gradevole a uno sgradevole.

In ogni caso negli impianti di compostaggio, per la varietà di composti che contribuiscono all'odore complessivo, i sistemi di abbattimento devono cercare di essere versatili e mai troppo selettivi.

10.9.4 I Biofiltri

L'utilizzo dei microrganismi per l'eliminazione di inquinanti biodegradabili dalle acque è da tempo diffuso; in analogia, più recentemente hanno avuto un grosso sviluppo i biofiltri, per il trattamento delle emissioni gassose odorogene.

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, ecc. 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. E' importante sapere 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.

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 intermedi di degradazione.

Alcuni aspetti gestionali sono importanti per il corretto funzionamento di un biofiltro. I sistemi di pretrattamento, possono includere i seguenti stadi:

- rimozione del particolato;
- equalizzazione del carico;
- **regolazione della temperatura**: potrebbe essere necessario per raggiungere il *range* ottimale per l'attività batterica (optimum dei batteri mesofili = 37°C). Come in tutti i sistemi biologici, non occorre un controllo preciso, in quanto il sistema nel suo



complesso è *versatile* ed *adattativo*; il range ottimale di temperatura si ha comunque tra i 20 e i 40°C;

- **umidificazione:** l'umidità è il parametro che in genere condiziona maggiormente l'efficienza di un biofiltro. I microrganismi richiedono adeguate condizioni di umidità per il loro metabolismo; condizioni di scarsa umidità possono portare alla cessazione dell'attività biologica, nonché al formarsi di zone secche e fessurate in cui l'aria scorre in vie preferenziali, non trattata. Un biofiltro troppo umido provoca, invece, elevate contropressioni, problemi di trasferimento di ossigeno al biofilm, creazione di zone anaerobiche, lavaggio di nutrienti dal mezzo filtrante, formazione di percolato. Va considerato che il metabolismo microbico genera esso stesso calore che tende sovente a determinare una essiccazione del materiale filtrante. Per questo, in alcuni casi il flusso gassoso in ingresso viene pretrattato per mantenerlo sempre totalmente saturo di umidità; sulla superficie del biofiltro vanno comunque installati degli irrigatori che coprano in modo possibilmente omogeneo la superficie del biofiltro. Il contenuto di umidità ottimale del mezzo filtrante è nell'ordine del 50-70%;
- **distribuzione del gas:** la rete di distribuzione del gas nel letto del biofiltro deve essere dimensionata in modo da rendere uniforme l'alimentazione su tutta l'area del biofiltro.

I materiali filtranti devono poter fornire un ambiente microbico ottimale (pH, abbondanza di carbonio, nutrienti inorganici), un'ampia superficie specifica, integrità strutturale nel tempo, elevata umidità e porosità, bassa densità volumetrica, odore proprio non eccessivo.

I mezzi di riempimento più utilizzati sono torba, compost, corteccia, erica e loro miscele, sovalli legnosi da impianti di compostaggio; tutti questi supporti, di origine naturale, vengono ovviamente lentamente mineralizzati, subendo una progressiva compattazione; perciò, un periodico rivoltamento del mezzo per aumentarne la porosità può migliorare il funzionamento. Dopo un certo periodo è comunque richiesto un ricambio del materiale di riempimento. Le acquisizioni più recenti delle osservazioni sugli impianti di biofiltrazione esistenti hanno richiamato l'attenzione sull'importanza di privilegiare le *caratteristiche strutturali* della biomassa utilizzata; supporti anche grossolani, quali biomasse vegetali attivate (es. sovalli legnosi da impianti di compostaggio) hanno una ottima capacità di mantenere stato strutturale, porosità, uniformità di distribuzione dei



carichi nel tempo; inoltre tali supporti – al pari di altri più “fini” e dunque meno resistenti alla compattazione progressiva - riescono a garantire una efficace colonizzazione da parte dei microrganismi eterotrofi aerobi preposti alla demolizione dei cataboliti odorigeni.

In sede di progettazione, si rileva l'importanza di garantire il dimensionamento efficace dei letti di biofiltrazione. Sotto tale punto di vista, i parametri senz'altro fondamentali per l'impostazione del dimensionamento sono il *Tempo di ritenzione* (secondi impiegati dal flusso d'aria da trattare per l'attraversamento del letto) e conseguentemente il *carico specifico* (flusso d'aria nell'ora attraverso l'unità di superficie, o meglio, di volume del letto di biofiltrazione). Sulla base delle esperienze accumulate, si ritiene generalmente soddisfacente un tempo di ritenzione uguale o superiore a 30"-36", corrispondente ad un carico specifico di 100-120 m³h⁻¹m⁻³

Tab. 3: Parametri di dimensionamento e gestione dei biofiltri
(da: Swanson W.J., Loehr R.C. *Fundamentals, design and operating principles, and application*. J. Envir. Eng., 538-546, 1997, modificato)

Parametro	Unità di misura	Range
Tempo di ritenzione	Secondi	15-30 almeno
Carico specifico	m ³ h ⁻¹ m ⁻² o m ³ h ⁻¹ m ⁻³	50 –200
Carico volumetrico	gm ⁻³ h ¹	10 – 160
Capacità di rimozione	gm ⁻³ h ⁻¹	10 – 160
Efficienza di rimozione	%	95 – 99

In relazione alla natura delle arie esauste negli impianti di trattamento biologico, i biofiltri si stanno rivelando come il sistema più versatile ed efficace; la natura relativamente “diluita” dei composti odorigeni da trattare pone infatti 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, garantendo 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, ecc.). A livello mondiale, sono dunque crescenti i casi di applicazione dei biofiltri, nella maggior parte dei casi come



unico sistema di abbattimento. In alcune situazioni – soprattutto nel caso di localizzazioni estremamente “critiche” per immediata vicinanza delle abitazioni vengono accoppiati a scrubber mono- o pluristadio.

Ai fini del mantenimento dell'operatività del biofiltro anche durante le periodiche manutenzioni (sostituzione del letto filtrante etc.) è opportuno che esso sia costruito con struttura modulare, con almeno 3 moduli singolarmente disattivabili per le manutenzioni ordinarie e straordinarie.

10.9.5 Gli Scrubbers

Gli scrubbers sono torri di lavaggio che si basano sul principio dell'assorbimento; esso comporta il trasferimento dalla fase gas alla fase liquida delle componenti inquinanti presenti in una miscela, mediante la loro dissoluzione in un opportuno solvente. Il liquido assorbente base è l'acqua. L'impiego di sola acqua, però, pone dei limiti all'efficienza dei sistemi perché diversi composti fonte di odore sono scarsamente idrosolubili.

Il lavaggio ad acqua può essere utilizzato quindi per composti quali ammoniaca, alcoli, acidi grassi volatili; altri composti sono scarsamente solubili in acqua come composti clorurati, ammine, acido solfidrico, chetoni e aldeidi. Composti solforati fortemente odoriferi come il dimetildisolfuro, oltre a terpeni e idrocarburi aromatici sono insolubili in acqua.

Per i composti insolubili in acqua si rende necessario l'utilizzo di reagenti chimici, che possono operare una neutralizzazione o una idrolisi acida o basica, oppure una ossidazione in fase gas o liquida. L'ossidazione chimica è una delle tecniche più utilizzate per l'abbattimento degli odori, poiché la maggior parte dei composti che causano odori molesti hanno origine dalla decomposizione solo parziale di materiale organico e possono essere facilmente ossidati a composti innocui o comunque meno fastidiosi.

E' comunque consolidato il fatto che, qualora lo scrubber sia accoppiato ad un biofiltro posto a valle, il semplice lavaggio ad acqua è sufficiente ad abbattere il carico odorifero in maniera sufficiente, consentendo una gestione impiantistica più semplice ed evitando il rischio di alterare le caratteristiche del letto biofiltrante (pH etc.) qualora i dosaggi delle soluzioni acide e basiche non siano ben bilanciati. Viene quindi lasciato al biofiltro il compito di completare la degradazione dei composti insolubili in acqua.



Il processo di assorbimento avviene ponendo a contatto il flusso gassoso da trattare con lo specifico liquido assorbente; gli scrubbers devono essere dimensionati in modo da garantire tempi di permanenza e superfici di contatto adeguate per la rimozione richiesta. E' possibile inoltre migliorare l'assorbimento mediante la nebulizzazione del liquido o la creazione di film sottili con grande superficie di contatto riempiendo la torre di lavaggio con corpi di riempimento di varie forme e dimensioni.

10.9.6 Gli aspetti normativi

L'attenzione delle norme per il problema degli odori è relativamente recente. In effetti le *norme sull'inquinamento atmosferico* non hanno mai messo in risalto la necessità di un controllo sia in sede progettuale che gestionale sugli odori: probabilmente su questo ha influito il fatto che quando parliamo di odore parliamo di qualcosa che non configura nella stragrande maggioranza dei casi un rischio igienico-sanitario, ma prefigura solo (senza volere tuttavia dare un significato riduttivo al termine) un problema di molestia, di disturbo sensoriale.

Per tale motivo, tradizionalmente, gli interventi - in sede di esame dei progetti - delle Autorità Sanitarie e di quelle preposte alle autorizzazioni agli impianti (Province, Regioni) si sono limitate all'inserimento della generica prescrizione che *"l'impianto non deve determinare disturbo olfattivo"*; tale disposizione veniva poi applicata in relazione alle disposizioni del Codice Civile. La valutazione conseguente era ovviamente complicata dalla soggettività dell'effetto avvertito, il che ha generato spesso discussioni pretestuose (da tutti i lati) ed inconcludenti.

L'attenzione alla qualità della vita ha opportunamente sviluppato – più di recente – una certa attenzione anche in sede regolamentare od amministrativa per individuare strumenti adatti a descrivere, valutare e governare il problema degli odori. La "filosofia" è dunque che, se gli impianti di compostaggio, alla stregua di qualunque altro insediamento industriale che tratti materia organica, sono un elemento essenziale nella gestione eco-compatibile del territorio, tali impianti (quelli di compostaggio, ma anche quelli di trasformazione agroindustriale, di depurazione, ecc.) devono essere in grado di annullare gli effetti indesiderati sul territorio e le popolazioni circostanti; e tra gli effetti indesiderati quello relativo agli odori è senz'altro il più temuto.



In realtà, il tentativo di corrispondere all'esigenza di governare il problema è stato dapprincipio gestito dalle Autorità competenti in maniera confusa e non coordinata. Spesso le ASL, le ARPA, i PMIP hanno impostato in passato le valutazioni sulle concentrazioni di alcuni composti tra quelli tradizionalmente indagati nel caso delle emissioni da impianti ad es. chimici o di combustione (es. ammoniacca, acido solfidrico). Il fatto che tali composti negli impianti di trattamento biologico – soprattutto laddove dotati di sistema di trattamento delle arie esauste - fossero ampiamente al di sotto del limite di pericolosità ed a volte degli stessi limiti di rilevabilità ne ha presto messo in luce la non significatività ai fini della descrizione dell'effetto odorigeno temuto.

Più recentemente, alcune Istituzioni hanno cercato di superare il problema individuando nuove classi di composti aerodispersi che potessero essere messi in relazione con gli effetti odorigeni. In relazione alla natura chimica degli odori (in gran parte attribuibili, negli impianti di compostaggio, a composti organici non completamente ossidati) si è concentrata l'attenzione ad es. sui COV (composti organici volatili); tale impostazione, e soprattutto la definizione dei relativi limiti analitici, ha tuttavia determinato una forte *impasse* per tutti quegli impianti che, affidandosi per il trattamento delle arie ai sistemi biologici (ossia i biofiltri, i più efficaci, tra l'altro, per questo tipo di impianti), tendevano a rilasciare nell'aria composti organici volatili a basso o nullo potenziale odorigeno od addirittura con connotazione gradevole dell'odore (es. diversi composti aromatici provenienti dalla degradazione dello stesso biofiltro, con odore di legno o di fungaia); ogni biofiltro attivo ed efficace, ad es. contribuisce *per se* al tenore di COV nelle emissioni in misura superiore ai limiti individuati; ma la situazione prefigurata dai limiti adottati (5 mg/Nmc di COV in Lombardia nel triennio 1996/1999) sarebbe in realtà risultata problematica anche per sistemi ecologici naturali quali la lettiera di bosco.

Insomma, la determinazione *analitica* dei potenziali composti odorigeni non può tenere conto degli effetti coprenti e sinergici (laddove si individuano composti specifici da determinare) o rischia di coinvolgere nella valutazione anche composti a basso o nullo potenziale odorigeno (laddove vengono sottoposte a valutazione intere classi di molecole, come nel caso dei composti organici volatili).

Ultimamente le norme stanno dunque opportunamente convergendo anche in Italia – come da tempo all'estero - verso la necessità di adottare sistemi di misurazione coerenti



con l'effetto temuto (quello odorigeno) ed in grado di descriverlo, ossia verso l'applicazione delle determinazioni *olfattometriche*. Da tempo ad es. in Germania sono in vigore diverse disposizioni locali (in genere a livello di *Laender*) applicative della TA-Luft (norme tecniche sull'aria); tali disposizioni prevedono limiti olfattometrici nell'ordine delle 300 UO/mc. Le disposizioni austriache ed una recente *Gruendruck* (Documento provvisorio) elaborata da una apposita Commissione in Germania parlano invece di 300 UO/mc, determinate secondo i principi dell'olfattometria dinamica definiti, a livello europeo, dal metodo CEN (*"Odour concentration measurement by dynamic olfactometry"* Document 064/e, CEN TC 264 / WG2 "Odours").

La prima legittimazione ufficiale in sede normativa dei principi dell'olfattometria viene dalla Regione Lombardia, che nell'ambito delle Linee-Guida per gli impianti di trattamento biologico (Giugno 1999, in corso di revisione) fa riferimento alle metodiche CEN per le determinazioni olfattometriche, individuando un valore-limite in UO/mc. Accessoriamente, queste linee-guida prevedono dei criteri di dimensionamento dei sistemi di trattamento delle arie (es. durata delle fasi al chiuso; numero di ricambi d'aria/ora nelle aree chiuse; carichi specifici e tempi di ritenzione dei letti di biofiltrazione, cfr. tab. 4). Il passo in avanti è notevole rispetto, ad es., a quanto ancora nel febbraio 1998 diceva il DMA 5/2/98 sulle attività di recupero rifiuti ammessi a procedura semplificata (ex artt. 31 e 33 del D.lgs. 22/97); in tale sede infatti venivano prefigurati solo la chiusura delle aree destinate ai primi *step* di processo (per durate non definite), la aspirazione delle arie esauste ed il loro trattamento secondo sistemi non definiti né dimensionati; né veniva definito un limite alcuno alle concentrazioni odorose delle emissioni.

Tabella 4. Prescrizioni delle "Linee Guida per impianti di compostaggio" della Regione Lombardia sul dimensionamento dei biofiltri (in corso di revisione).

Parametro	Valore di riferimento
Altezza	80 – 200 cm
Tempo di contatto	> 36"
Portata specifica	Max 100 Nm ³ /m ³ .h



Si moltiplicano, d'altronde, gli episodi di adozione a livello locale dell'olfattometria da parte di ASL, ARPA, ecc. per la valutazione di situazioni "critiche" o contestate. Sono dunque maturati i tempi per una introduzione univoca dei principi di rilevamento olfattometrico come metodica di riferimento a livello nazionale per la valutazione del disturbo olfattivo e dell'efficacia delle opere di presidio (sistemi di trattamento delle arie). Per tale motivo le bozze delle norme tecniche sui rifiuti in applicazione dell'art. 18 ("Competenze dello stato") del D.lgs. 22/97, in preparazione presso il Min. Ambiente, citano espressamente i criteri olfattometrici come *ratio* per la valutazione delle emissioni dagli impianti di trattamento biologico.