

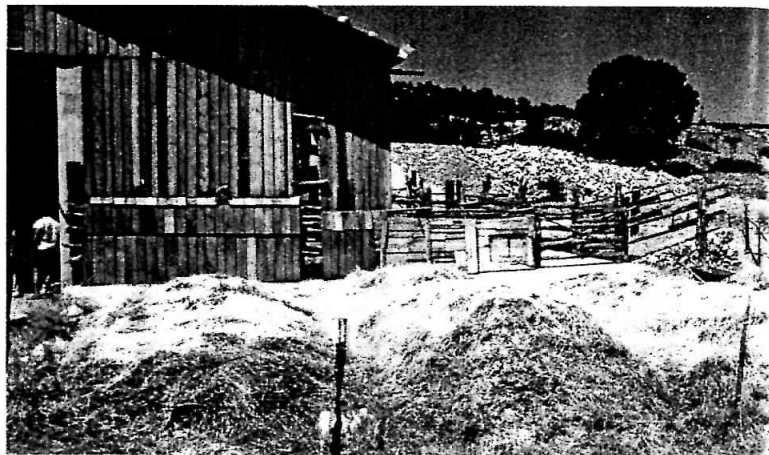
Il processo di compostaggio

di MARIA LUISA CALABRETTA*

Come si possono trasformare materiali organici di scarto in prodotti utili all'agricoltura e all'ambiente

La decomposizione della sostanza organica è un processo biologico che in natura ha luogo spontaneamente, così come la trasformazione della lettiera del bosco o la maturazione del letame; tale processo, però, si esplica in tempi molto lunghi e in modo discontinuo. In epoca recente, si è tentato di sfruttare questo fenomeno naturale per recuperare, in condizioni controllate, la sostanza organica mediante un processo, che si differenzia dal fenomeno naturale, per una maggiore velocità di svolgimento e per un notevole sviluppo di calore. Il prodotto finale così ottenuto prende il nome di *compost* e il processo da cui deriva viene, pertanto, denominato "compostaggio". Chimicamente, il compostaggio è una biossidazione, durante la quale le azioni ossidative a carico della sostanza organica si esplicano attraverso numerose reazioni biologiche e biochimiche, attivate da vari gruppi di microrganismi, che determinano una parziale stabilizzazione della stessa mediante la mineralizzazione delle frazioni più facilmente biodegradabili. Si otterrà, così, un residuo organico umificato che si decomporrà lentamente una volta immesso nel terreno migliorandone le caratteristiche chimiche, fisiche e biologiche.

Le motivazioni che giustificano la produzione di compost sono diverse ma riconducibili, essenzialmente, a motivazioni agronomico-ambientali e socioeconomiche. Le ragioni agronomiche ed ecologiche si riferiscono, rispettivamente, alla restituzione al suolo della sostanza organica, che determina un ritorno, in termini di fertilità, a medio e lungo termine, non altrimenti attuabile e alla riproduzione artificiale del ciclo naturale della stessa, determinandone la chiusura. In riferimento alle ragioni socioeconomiche, appare opportuna una breve considerazione: si calcola che in Italia si producono, annualmente, circa 26 milioni di tonnellate di rifiuti domestici che equivalgono ad una media giornaliera di oltre 1 Kg per abitante. I rifiuti solidi urbani costituiscono, com'è noto, solo una quota minoritaria dei rifiuti prodotti in Italia e, ad oggi, il loro smaltimento avviene prevalentemente attraverso il conferimento in discarica e l'invio agli inceneritori il cui vantaggio è costituito dalla riduzione in volume dei rifiuti che, attraverso la combustione, si trasformano in acqua,



"Batteria" di compost

anidride carbonica e residui solidi con produzione di energia termica ed elettrica. Detti impianti, però, per l'emissione di inquinanti nell'atmosfera (benzopirene) e la produzione di ceneri, che richiedono lo smaltimento, esercitano i conosciuti effetti negativi sull'ambiente.

Se fino al più recente passato la gestione dei rifiuti è stata considerata solo in un'ottica di smaltimento, l'obiettivo oggi perseguito è quello di ridurre la quantità degli stessi e di promuovere, nel contempo, proficue attività di recupero e di riciclaggio. A queste esigenze è rispondente la pratica del compostaggio volta al recupero e alla valorizzazione di quei materiali organici che, diversamente, vedrebbero quale ipotesi di collocazione alternativa il conferimento in discarica.

Qualsiasi materiale organico, vegetale ed animale, capace di subire la trasformazione microbica può essere sottoposto al processo di compostaggio, durante il quale il rapporto superficie/volume delle particelle condiziona direttamente la natura e la velocità di degradazione. In funzione di ciò, risulta necessario tritare il materiale da compostare così da ridurre il volume e aumentare la superficie del prodotto di base. Le reazioni di degradazione, infatti, avvengono, prevalentemente, sulla superficie delle particelle della matrice in trasformazione e i microrganismi aerobi si concentrano nello strato sottile di acqua che le circonda utilizzando l'ossigeno dell'interfaccia tra la fase liquida e quella gassosa. La triturazione agevola, inol-

tre, la manipolazione e riduce il fabbisogno di spazi. Durante il processo notevole importanza assume il controllo del rapporto carbonio/azoto (C/N), che deve avere valori compresi nell'intervallo 15-40. Se tale rapporto scende al di sotto di 15, il processo evolve rilasciando ammoniaca e il rendimento peggiora; se supera il valore di 40, il processo rallenta o si arresta del tutto per carenza di elementi necessari alla crescita microbica.

Altrettanto rilevante risulta la consistenza del materiale; la struttura della massa, infatti, deve essere tale da permettere l'infiltrazione dell'aria, dell'acqua e il rilascio dell'anidride carbonica e del vapore. Una struttura che non favorisce queste condizioni causa la compattazione del materiale, determinando l'avvio di reazioni degradative di tipo anaerobico, con conseguente produzione di odori sgradevoli e percolato.

Pari valore assume l'umidità delle matrici, che può essere modificata con rivoltamenti, nel caso di materiali troppo umidi o, viceversa, con umettamenti per quelli troppo asciutti.

Pertanto, ai fini di un'ottimale evoluzione del processo, il cumulo dovrà essere costituito da materiali facilmente degradabili, che costituiranno il substrato energetico per i microrganismi, e da materiali ad alto contenuto di lignina e cellulosa necessari per l'umificazione.

La biodegradazione

Il processo di compostaggio inizia quando il cumulo viene allestito, consentendo la conservazione del calore, indispensabile per il processo di stabilizzazione. La miscelazione iniziale delle matrici favorisce l'immissione di aria per attivare le reazioni di trasformazione.

La bioossidazione comporta la degradazione della frazione organica più facilmente assimilabile (molecole semplici quali zuccheri, acidi organici, aminoacidi, proteine) associata ad una rapida ed intensa attività microbica con consumo di ossigeno e liberazione di CO₂. Se la quantità di ossigeno diminuisce, la decomposizione aerobica rallenta potendosi, anche, arrestare nel caso in cui non venga ripristinato.

I microrganismi responsabili del processo attingono l'energia, necessaria per la loro crescita e per le attività di sintesi, dalla rottura dei legami chimici delle diverse sostanze. Parte dell'energia chimica è trasformata in calore, che determina l'innalzamento della temperatura del substrato e viene dissipato nell'atmosfera. Notevole risulta l'innalzamento della temperatura nelle 12-48 ore successive all'allestimento del cumulo; per essa si osserva un andamento di rapida crescita fino a 55-60°C. Per evitare ulteriori innalzamenti di temperatura che provocano l'inattivazione della maggior parte dei microrganismi, si effettuano dei rivoltamenti favorendo, in tal modo, il raffreddamento del substrato. La fase termofila, in base alle caratteristiche del substrato e al sistema di compostaggio adottato, può protrarsi anche per alcune settimane.

Durante la prima fase di decomposizione della sostanza organica fresca, si sviluppano delle fitotossine (metaboliti naturali non stabili, che tendono a degradarsi velocemente) tra le quali si annoverano l'azoto ammoniacale e l'acido acetico, oltre alle ammine alifatiche ed aromatiche e gli acidi organici.

Umificazione e maturazione

Esaurita la frazione organica più fermentescibile, gran parte della popolazione microbica muore e la decomposizione continua con processi più lenti a spese di molecole più complesse e delle stesse spoglie microbiche. L'attività respiratoria diminuisce in corrispondenza di una ridotta sintesi microbica; la temperatura si abbassa lentamente in modo continuo, a causa dell'isolamento termico. In seguito al raffreddamento, le popolazioni di batteri e di funghi cominciano a ricolonizzare il cumulo partendo dalle superfici esterne ma, per i bassi livelli di ossigeno e di acqua, il loro sviluppo non è così rapido come durante le fasi di avviamento del processo. A questo punto, poiché la maggior parte della sostanza organica è mineralizzata, a livello microbico si instaura la competizione per l'acquisizione del substrato residuo, in particolar modo della lignina e della cellulosa. La biodiversità comincia a ridursi e il cumulo viene attaccato da organismi caratterizzati da vita breve ed elevata velocità di riproduzione.

Nella fase di maturazione del materiale compostato, le popolazioni mesofile operano in condizioni aerobiche e microaerobiche e il processo biologico subisce un progressivo rallentamento.

Microrganismi specifici portano avanti l'umificazione sintetizzando polimeri più complessi che costituiscono un substrato energetico per le future popolazioni microbiche e che esercitano, altresì, azione agglutinante per le particelle del terreno.

Le sostanze umiche che si formano a seguito del processo di compostaggio, più stabili dei materiali di partenza, prendono origine dalla trasformazione chimica e biologica dei residui animali e vegetali e dalle attività di sintesi dei microrganismi.

La fase più significativa della formazione delle sostanze umiche è rappresentata dalla polimerizzazione ossidativa degli acidi fenolici e dei fenoli, questi ultimi ottenuti dal catabolismo della lignina, dei tannini e dei polifenoli oppure per neosintesi microbica. La quantità e la qualità dell'humus presente è uno dei parametri maggiormente caratterizzante la qualità di un compost.

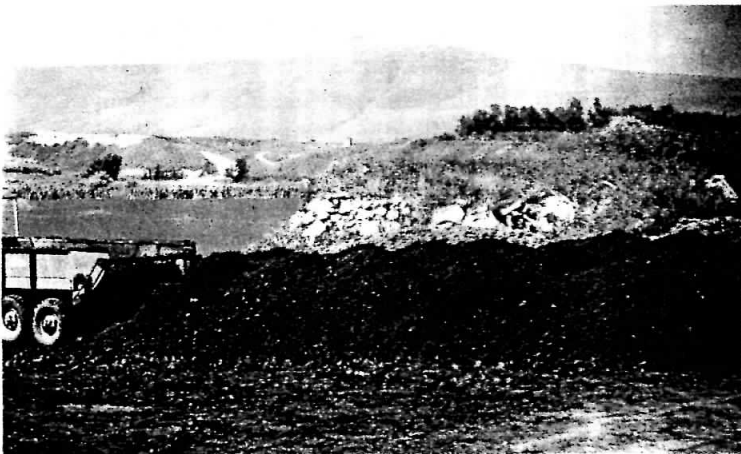
A questo stadio, la temperatura del cumulo si abbassa fino al valore di quella atmosferica; il compost ha assunto una colorazione scura, produce pochi odori e le particelle hanno dimensioni ridotte rispetto a quelle di partenza. Il cumulo presenta una riduzione del volume della biomassa iniziale, variabile da ? a più di ? del volume originario a seconda delle caratteristiche delle matrici di partenza. La riduzione del volume è dovuta all'evaporazione del-

l'acqua e alla perdita di CO_2 a seguito dei processi di mineralizzazione di alcune frazioni organiche. Pur verificandosi, anche, perdite di azoto sotto forma di ammoniaca, la maggior parte dei nutrienti non viene persa dalle matrici sottoposte al processo ma si ritrova nel compost legata, soprattutto, ai composti organici stabili. Ciò, riducendo l'immediata disponibilità dei fattori di fertilità per le piante, fa sì che il compost agisca come ammendante a lento e graduale rilascio.

Con il processo

Durante il compostaggio la decomposizione della sostanza organica avviene ad opera dei microrganismi e il buon esito del processo è funzione sia della loro presenza sia delle condizioni edafiche che ne permettono la proliferazione e l'attività. Tra i fattori che influenzano le condizioni di vita dei microrganismi si elencano:

porosità del substrato: è la misura degli spazi vuoti esistenti nella biomassa in compostaggio che influenzando



Cantiere di compostaggio

l'aerazione condiziona tutto il processo. In presenza di materiale grossolano, la porosità risulta elevata, diminuendo progressivamente in seguito alla decomposizione del substrato;

presenza di ossigeno: è un fattore indispensabile per l'attività dei microrganismi aerobi e va fornito in continuità per assicurare una corretta decomposizione della sostanza organica. Durante la fase bioossidativa, la percentuale di ossigeno presente deve essere compresa tra il 5 e il 15%: ciò garantisce un eccesso di aria rispetto alla domanda stechiometrica, permettendo il mantenimento di alte temperature ed una parziale riduzione del contenuto di umidità. Senza una sufficiente ossigenazione, infatti, la microflora microbica anaerobica prende il sopravvento, portando all'accumulo di composti ridotti (acidi grassi volatili, idrogeno solforato, mercaptani), caratterizzati da emissioni maleodoranti e da elevata fitotossicità. Allo scopo di garantire la presenza di aria si rende necessario eseguire rivoltamenti dei cumuli o utilizzare un sistema di aerazione forzata (aspirazione-insufflazione). L'arieggia-

mento forzato ha la funzione di favorire l'asportazione di acqua e quindi di abbassare l'umidità del cumulo. Durante la fase di maturazione ed umificazione la richiesta di ossigeno è minore, con valori compresi tra l'1 e il 5%. Per creare e mantenere le condizioni di aerobiosi, l'aria libera deve occupare almeno il 25% del volume della biomassa;

umidità: deve essere tale da garantire le condizioni ottimali di vita dei microrganismi. L'acqua rappresenta il mezzo in cui avvengono le reazioni chimiche, si verificano gli scambi nutritivi attraverso le membrane cellulari ed è veicolo per gli enzimi. L'umidità ottimale dipende dalla porosità e dalle caratteristiche della miscela; i valori ottimali sono compresi tra il 40 e il 65%. Al di sotto del 40% l'attività microbica procede molto lentamente e cessa quasi del tutto al di sotto del 20%, valore in corrispondenza del quale il materiale va incontro ad una rapida disidratazione, interrompendo precocemente l'evoluzione microbica del processo; il prodotto così ottenuto risulterà stabilizzato fisicamente ma non biologicamente. Viceversa in condizioni di umidità superiori al 65%, l'acqua espelle l'aria dalla maggior parte degli spazi interstiziali tra le particelle della matrice organica, ostacolando la diffusione dell'ossigeno e favorendo l'insorgenza di condizioni microaerofile o anossiche. Poiché l'umidità del substrato diminuisce con l'avanzare del processo per effetto della temperatura e dell'aerazione, il contenuto in acqua delle matrici deve essere più alto del 45%;

temperatura: la decomposizione microbica determina un rilascio di grandi quantità di energia sotto forma di calore, che diffonde lentamente nella massa, provocando l'innalzamento della temperatura. Le matrici ricche di sostanze biodegradabili raggiungono rapidamente temperature elevate, contrariamente a quanto avviene per le matrici con sostanze poco fermentescibili (scarti lignocellulosici). La temperatura determina la velocità di degradazione del substrato e quindi il flusso di calore emesso per unità di tempo e di massa. Nella fase iniziale i valori della temperatura sono compresi tra 50-60°C; al di sopra di questi valori si ha una selezione tra i microrganismi; oltre i 70°C solo poche specie di batteri termofili espletano attività metabolica e quindi il processo si arresta. In seguito, con la formazione delle sostanze umiche, la temperatura diminuisce raggiungendo valori di 35-45°C per poi lentamente stabilizzarsi, al termine del processo, sui valori della temperatura ambiente;

presenza di nutrienti: sono unità strutturali e sorgenti di energia utilizzate dai microrganismi per costruire e mantenere la loro struttura ed organizzazione. La maggior parte delle matrici organiche contiene in grande quantità i principali nutrienti (C, N, P, K) richiesti dai microrganismi coinvolti nel processo. E' però, soprattutto, la quantità di carbonio e azoto contenuta nel substrato, ed in particolare l'equilibrio esistente tra i due elementi, che ne può influenzare la stabilizzazione. I microrganismi eterotrofi necessitano dei composti del carbonio come fonte

di energia e dell'azoto per sintetizzare le loro proteine. Durante il processo, 1/3 del carbonio consumato viene utilizzato dai microrganismi e si combina con l'azoto per formare il protoplasma delle cellule viventi, i restanti 2/3 vengono ossidati ad anidride carbonica mediante la respirazione. Gli organismi viventi utilizzano mediamente 30 atomi di carbonio per ogni atomo di azoto. Da ciò si deduce che, nella fase iniziale del processo, il rapporto ottimale C/N dovrebbe essere compreso tra 25 e 35. Un eccesso di C determina un rallentamento dell'attività microbica e quindi della decomposizione ed il processo risulta più lungo. Un eccesso di N causa perdite per volatilizzazione dell'ammoniaca, specialmente se il pH e la temperatura hanno valori elevati (è, invece, auspicabile che tali perdite per il sistema siano ridotte al minimo, data l'importanza che l'N assume nelle colture agrarie). Quando tutto l'N disponibile è stato utilizzato, la maggior parte dei microrganismi muore; l'N immagazzinato nelle cellule batteriche viene impiegato da altri microrganismi per formare nuovo materiale ed il C, usato come fonte di energia, viene ossidato a CO₂. Così, la quantità di C si riduce di volta in volta, mentre l'N viene continuamente riciclato. Il processo risulta più lungo, nel caso in cui il C/N iniziale sia molto al di sopra di 30. Quando, al contrario, il C è al di sotto del livello necessario per convertire l'N assimilabile in proteine, i microrganismi utilizzano completamente il C disponibile e liberano l'eccesso di N sotto forma di NH₃. Il rapporto C/N finale dei prodotti di buona qualità si arresta sempre su valori compresi tra 15 e 20;

pH: i valori ottimali per il materiale di partenza sono 5,5-8,0; i batteri preferiscono un pH vicino alla neutralità, mentre i funghi si sviluppano meglio in ambiente acido. All'inizio del processo la formazione di CO₂ e di acidi organici determina dei valori acidi; successivamente, in seguito all'aerazione, che tende ad eliminare la CO₂ e alla decomposizione delle proteine, con produzione di ammoniaca ad opera della microflora ammonizzante, il pH raggiunge valori di 8-9. Al termine del compostaggio, il pH presenta valori prossimi alla neutralità, anche grazie all'azione dei batteri nitrificanti che trasformano l'ammonio in acido nitroso o nitrico.

I microrganismi coinvolti

Il compostaggio è un processo di natura microbica, promosso da una popolazione di microrganismi molto complessa, sia in termini di gruppi fisiologici che di entità tassonomiche nell'ambito dei singoli gruppi. Nessuna specie domina il processo poiché la matrice organica in trasformazione e le condizioni fisico-chimiche all'interno di essa variano e mutano in continuazione, nel tempo e nello spazio.

Fra i maggiori raggruppamenti di microrganismi che partecipano al processo di compostaggio ricordiamo: i batteri, gli attinomiceti e gli eumiceti.

Durante le prime fasi del processo, i composti carboniosi

più semplici (zuccheri solubili, acidi organici) vengono prontamente metabolizzati e mineralizzati dai microrganismi aerobi mesofili, per lo più batteri. Con il procedere del compostaggio, l'elevata attività metabolica e la natura esotermica dei processi producono un innalzamento della temperatura della massa, determinando un'accentuata selezione microbica a vantaggio di specie di batteri termofili sporigeni e non sporigeni, che attaccano le proteine, i carboidrati non cellulose e, probabilmente, i lipidi, e di attinomiceti e funghi termofili. Se la temperatura continua a crescere oltre i 70°C, quasi tutti gli organismi attivi muoiono, lasciando il campo a poche specie e ad alcuni batteri e attinomiceti capaci di formare strutture di resistenza al calore (spore); in questo caso, l'attività diminuisce progressivamente fino ad arrestarsi. Allorché la biomassa in compostaggio torna a raffreddarsi, i microrganismi sporigeni, le specie termofile e, successivamente, quelle mesofile si riattivano e reinvasano il cumulo. Nelle fasi finali del compostaggio, la degradazione della cellulosa è molto intensa e si ha una diminuzione del numero di batteri ed un aumento di attinomiceti e di funghi. Questi ultimi traggono beneficio dalla diminuzione della temperatura e del pH che si verifica man mano che il processo si evolve.

La degradazione della lignina è ristretta ad un gruppo microbico limitato di funghi superiori, che operano ad una temperatura tra i 40-45°C e si sviluppano anche in condizioni di scarsa ossigenazione.

Gli stessi fattori ambientali e, soprattutto la ridotta umidità, influenzano positivamente la crescita degli attinomiceti, presenti prevalentemente nelle ultime fasi di decomposizione. La loro attività metabolica è fondamentale per l'umificazione della materia organica e per la produzione di composti aromatici (come la geosmina) che conferiscono il tipico profumo di terriccio al prodotto finito.

I microrganismi si distribuiscono in modo differente all'interno del cumulo: i batteri si localizzano in tutto il cumulo, i funghi e gli attinomiceti si riscontrano nello strato tra i 5-15 cm dalla superficie.

Negli stadi finali del processo, quando la temperatura del substrato tende a stabilizzarsi rispetto a quella dell'ambiente, si diffondono anche protozoi, elminti, acari ed insetti, che vivono a spese della matrice organica e delle cellule microbiche.

In riferimento agli agenti patogeni, i fanghi di depurazione e, in misura minore, gli altri scarti ne contengono una grande quantità di origine fecale umana o animale potenzialmente pericolosi per la salute.

Il compostaggio se ben condotto, mantenendo la temperatura ad almeno 55°C per alcuni giorni, garantisce l'igienizzazione del prodotto, distruggendo i patogeni presenti nelle matrici utilizzate. ■

**Istituto Sperimentale per l'Agricoltura,
Sezione tecniche colturali, Acireale*