



scienza attiva®

EDIZIONE 2015/2016

AGRICOLTURA, ALIMENTAZIONE E SOSTENIBILITA'

Valorizzazione Rifiuti Solidi Urbani

Bianco Prevot Alessandra

***Università degli Studi di Torino,
Dipartimento di Chimica***



Documento di livello: C

Un progetto di



agorà scienza
centro interuniversitario



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO



scienza attiva®

Premessa

Il tema della produzione e gestione dei rifiuti organici urbani, oltre ad essere di estrema attualità e rilevanza, contiene al suo interno una molteplicità di aspetti che vanno dalle modalità con cui tali rifiuti vengono prodotti, a come possono essere raccolti e successivamente trattati, alla normativa che ne regola la gestione e lo smaltimento. Trattare anche solo per sommi capi tutti questi aspetti richiederebbe spazi, tempi e competenze interdisciplinari che vanno aldilà di quelle a disposizione dell'autore di questo dossier.

Verranno quindi privilegiati gli aspetti più innovativi dal punto di vista scientifico-tecnologico che riguardano la ricerca in atto presso il Dipartimento di Chimica dell'Università di Torino per valorizzare i rifiuti organici urbani come fonte di sostanze chimiche a potenziale valore aggiunto ed applicabili in settori di interesse tecnologico ed ambientale.

Perché tale valorizzazione abbia luogo è necessario però che il rifiuto organico urbano venga opportunamente raccolto, selezionato e pre-trattato, come già avviene attualmente sul territorio regionale.

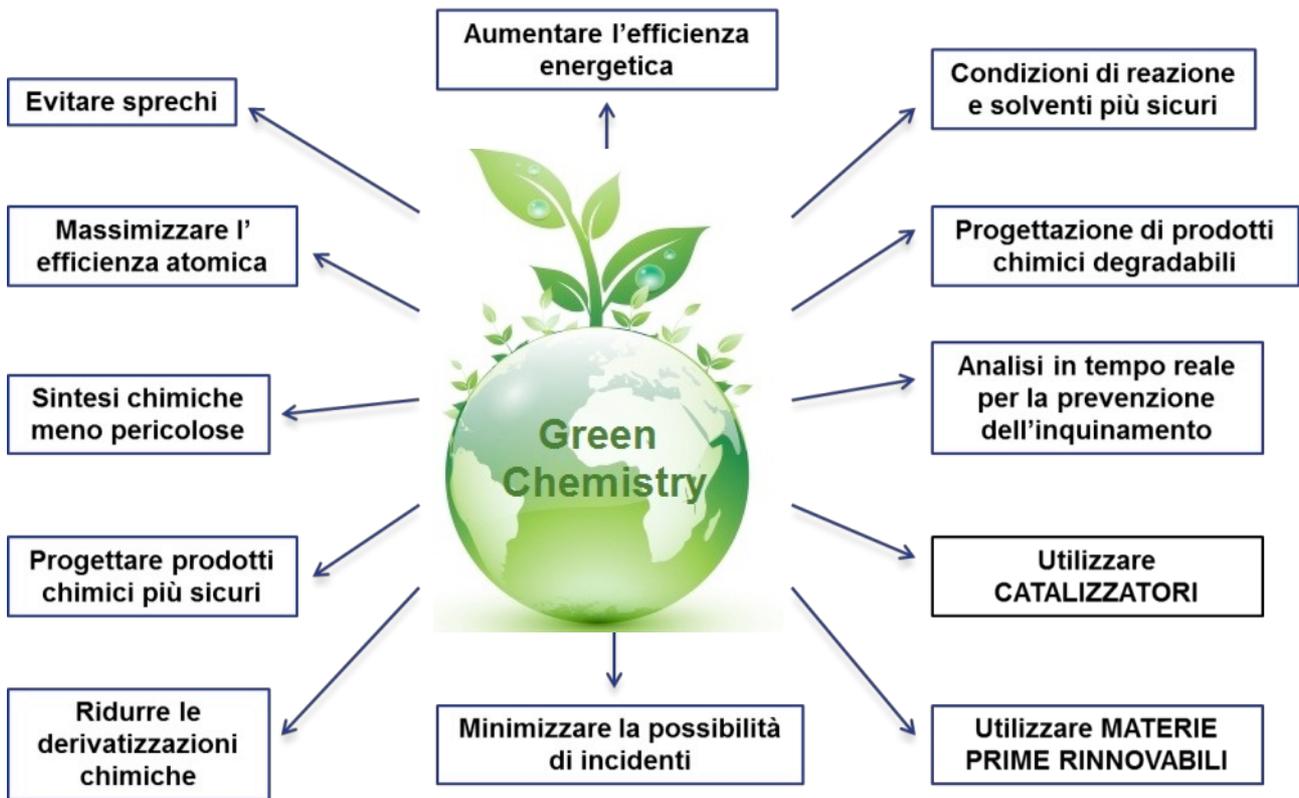
Per tale ragione, nel dossier verrà dato ampio spazio alla descrizione dei trattamenti di valorizzazione dei rifiuti urbani già sviluppati a livello industriale e successivamente all'esperienza maturata sul territorio piemontese grazie alla fruttuosa collaborazione nata tra Università di Torino ed imprese, con il sostegno della Regione Piemonte e concretizzatasi negli anni passati nel progetto Biochemenergy. Tale esperienza si integra perfettamente nel concetto di "bioraffineria", intesa come piattaforma tecnico-scientifica grazie alla quale biomasse non utilizzate, come i rifiuti organici urbani, vengono trasformati in diversi altri componenti che possono essere: biocombustibili, biogas, prodotti chimici, biomolecole, mediante una serie di tecnologie e processi a basso costo con limitate, quasi nulle, ricadute sull'ambiente.

Introduzione

Le problematiche connesse alla produzione di rifiuti hanno assunto negli ultimi decenni proporzioni sempre maggiori in relazione al miglioramento delle condizioni economiche, al veloce progredire dello sviluppo industriale, all'incremento della popolazione e delle aree urbane. Di fatto, fino ad oggi, l'aumento di benessere di una nazione, è stato messo in stretta relazione con un aumento della produzione di rifiuti e la gestione dei rifiuti urbani è diventata necessaria proprio alla luce della sempre maggiore urbanizzazione della popolazione ed al cambiamento nelle abitudini dei consumatori che ha comportato anche spreco di materiali e di energia, danni all'ambiente ed effetti negativi sulla salute e sulla qualità della vita. La stessa diversificazione dei processi produttivi ha moltiplicato le tipologie dei rifiuti, con impatti sempre più pesanti sull'ambiente e sulla salute. Ridurre questi impatti negativi è un obiettivo strategico che deve essere perseguito per diventare una società capace di utilizzar le proprie risorse in modo sostenibile per ogni eco-sistema.

In quest'ottica una "economia verde" deve promuovere la riduzione delle quantità di rifiuti generate, dei volumi ad esse associate, della loro pericolosità e deve sviluppare sistemi per il loro trattamento in grado di soddisfare bisogni sociali, ambientali ed economici e poter garantire la protezione delle risorse naturali.

La cosiddetta Chimica Verde (Green Chemistry) riassume nei suoi 12 enunciati i punti cardine per poter garantire uno sviluppo socio-economico sostenibile dal punto di vista ambientale.

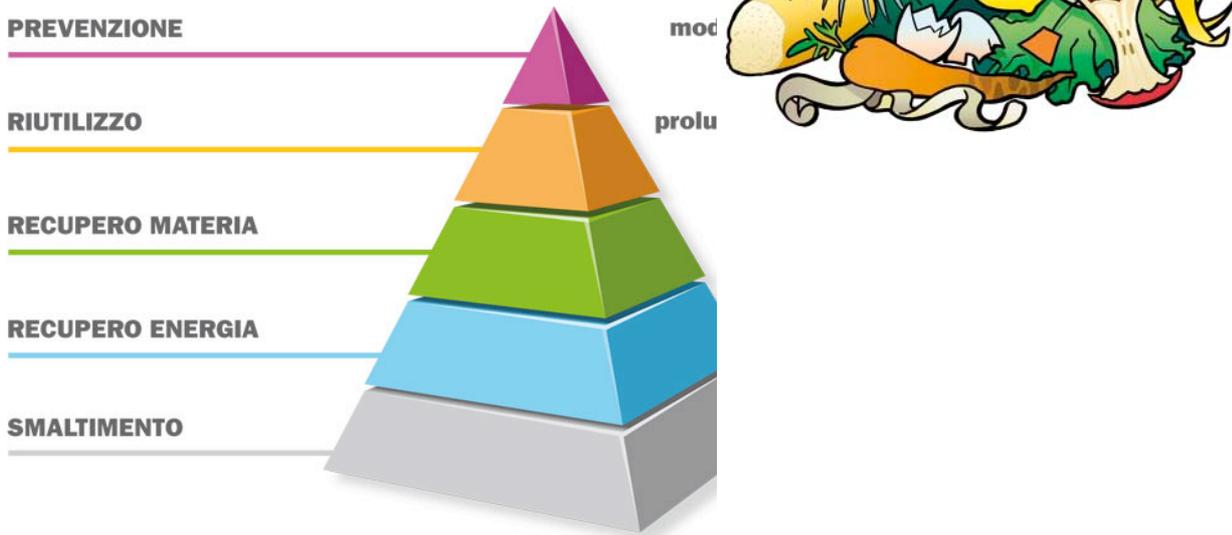


Nell'ambito della gestione dei rifiuti, i **rifiuti organici biodegradabili** rappresentano una categoria rilevante quantitativamente e decisamente problematica per la loro natura putrescibile. Per rifiuti organici biodegradabili si intendono infatti non solo i rifiuti organici biodegradabili di giardini e parchi, ma anche i rifiuti alimentari e di cucina prodotti da nuclei domestici, ristoranti, servizi di ristorazione e punti vendita al dettaglio e i rifiuti simili prodotti dagli impianti dell'industria alimentare. Non rientrano nella definizione i residui agricoli o silvicoli, il letame, i fanghi di depurazione o altri rifiuti organici biodegradabili come tessuti naturali, carta o legno trattato. Sono esclusi dalla definizione anche i sottoprodotti dell'industria alimentare che non vengono mai considerati rifiuti.

La quantità totale di rifiuti organici biodegradabili prodotta annualmente nell'UE è stimata in 76,5-102 Mt di rifiuti alimentari e di giardino inclusi nei rifiuti solidi urbani indifferenziati e fino a 37 Mt di rifiuti prodotti dall'industria alimentare e delle bevande.

Attualmente, in Europa, la cosiddetta direttiva sulle discariche (99/31/CE) ha creato la spinta fondamentale per vietare il conferimento della frazione organica in discarica. Con il recepimento di tale direttiva attraverso il Dlgs 36/2003 in Italia è consentito smaltire in discarica solo i rifiuti inerti, i rifiuti individuati da specifiche norme tecniche ed i rifiuti che residuano dalle operazioni di riciclaggio, recupero e di smaltimento. Con questo provvedimento si fissano gli obiettivi per giungere all'eliminazione dello smaltimento in discarica dei rifiuti organici urbani.

Le modifiche introdotte negli ultimi anni nei principali atti strategici e regolamentari adottati in sede europea per disciplinare il settore dei rifiuti sono state finalizzate, in particolare, a rafforzare il principio della responsabilità del produttore e a favorire una gerarchia di azioni volta a favorire un uso razionale e sostenibile delle risorse. L'ordine di questa gerarchia mette al primo posto la prevenzione dei rifiuti, cioè l'esigenza di contenerne la produzione; colloca al secondo posto il recupero dei rifiuti nelle sue diverse forme (reimpiego, riciclaggio e recupero energetico); pone all'ultimo gradino lo smaltimento sicuro dei soli rifiuti che non presentano altra possibilità di trattamento.



Possibili trattamenti per recuperare energia e/o materia dai rifiuti organici

I residui organici urbani non possono essere facilmente sfruttati o riciclati perché contengono elevate quantità di acqua e sono variabili e non omogenei in termini di composizione. Anche se al giorno d'oggi questo aspetto comporta un onere economico significativo per la loro gestione e/o smaltimento, la concentrazione dei rifiuti nelle aree urbane ha però permesso la concentrazione di materia bio-organica naturale in spazi ristretti, consentendo di intravedere prospettive sostenibili per il loro trattamento.

La frazione organica dei rifiuti urbani è una miscela complessa costituita da carboidrati (mono, oligo- e polisaccaridi), lignina, proteine, grassi e altre biomolecole naturali. Questi costituiscono l'energia chimica, che può in linea di principio essere recuperata e riciclata per un ulteriore uso distruggendo o “destrutturando” le molecole organiche di scarto.

Infatti, la produzione di energia termica ed elettrica sfruttando la materia organica delle biomasse è una delle strategie possibili per ridurre la dipendenza dai combustibili fossili. Le attuali tecnologie hanno un importante punto critico che consiste nella bassa resa di conversione dell'energia chimica della biomassa; per la sua conversione in calore e/o energia elettrica, un possibile approccio è rappresentato da:

Incenerimento. L'energia può essere recuperata dalla combustione dei rifiuti in forma di calore, che può essere utilizzato per generare elettricità. Tuttavia, l'elevato contenuto di acqua dei rifiuti

biodegradabili organici è un fattore critico per la loro utilizzazione come combustibile. Per questo motivo i rifiuti organici raccolti separatamente non sono comunemente usati da soli come alimentazione per gli impianti di incenerimento ma sono utilizzati in combinazione con altri rifiuti, o, in alternativa vengono utilizzati dopo trattamenti di bio-essiccazione; in questo caso però gli utili derivanti dalla vendita dell'energia solitamente non compensano i costi complessivi del processo. A seconda dell'efficienza energetica, l'incenerimento può essere considerato un recupero di energia o uno smaltimento. D'altro lato, i rifiuti organici biodegradabili inceneriti possono essere considerati combustibile "rinnovabile" a zero emissioni di CO₂ (carbon neutral) nel senso previsto dalla direttiva sull'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili e dalla proposta di direttiva sulla promozione dell'uso di energia prodotta da fonti rinnovabili. Bisogna però tenere in considerazione il fatto che gli impianti di incenerimento generano preoccupazione sociale a causa del rischio di rilascio di gas di scarico tossici e polveri sottili; inoltre i processi di trattamento dei fumi e delle attrezzature sono molto costosi.

In alternativa sono stati sviluppati **processi biologici** per il trattamento delle frazioni organiche di rifiuto che possono essere realizzati con differenti tecnologie e processi, riconducibili a tre tipologie fondamentali:

A) Trattamento biologico di biostabilizzazione o bioessiccamento, 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.).

Tali processi hanno lo scopo di raggiungere i seguenti obiettivi: i) stabilizzazione del rifiuto pre-discarda; ii) produzione di materiali stabilizzati per applicazioni controllate in attività paesistico ambientali; iii) 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.

a1) Biostabilizzazione. E' un trattamento noto anche come MBE (Mechanical Biological end Composting) ed è molto diffuso in Europa. E' sostanzialmente volto al trattamento dei rifiuti indifferenziati (o residuati da raccolte differenziate) che presentano comunque un carico organico relativamente elevato e creerebbero problemi di produzione di biogas e percolato se conferiti in discarica. Gli impianti di trattamento meccanico-biologico consentono di trattare la frazione organica biodegradabile al fine di riciclarla sotto forma di fertilizzanti organici oppure di stabilizzarla allo scopo di ridurre gli impatti che si possono generare dal suo conferimento definitivo in discarica. E' possibile infatti abbattere la fermentescibilità (fino al 90%), dei rifiuti indifferenziati e si possono ottenere materiali diversi (diversificati per la pezzatura a seguito di una vagliatura più o meno spinta) che assumono nominativi diversi: Frazione Organica Stabilizzata, Compost Grigio, Compost da rifiuti. Tale materiale può essere definito Biostabilizzato da impiegarsi come materiale tecnico per coperture giornaliere di discarica, per recuperi paesaggistici di aree degradate e ripristino ambientale in genere.

Mediante il trattamento meccanico biologico dei rifiuti è possibile separare in due frazioni il flusso entrante: una con un alto potere calorifico con la quale produrre direttamente energia, mentre l'altra, biodegradabile, adatta ad un trattamento biologico, con possibile recupero energetico dal biogas.

In alternativa è possibile pensare ad un trattamento "unico" dove tutto il rifiuto in ingresso all'impianto subisce un trattamento biologico, mentre il trattamento meccanico si limita ad una semplice frantumazione del rifiuto.

a2) Bioessiccamento

Il processo di bioessiccamento è noto in letteratura con la definizione di Mechanical-Biological and Stabilate Method (MBS), ed ha lo scopo primario di ridurre l'umidità dal rifiuto in seguito ad una fase di bioossidazione della sostanza organica. Questo processo ha due obiettivi fondamentali: i) assicurare la stabilità biologica dei rifiuti per lo stoccaggio a lungo termine, in modo tale da ridurre od eventualmente annullare maleodoranti emissioni di gas e polveri, ed igienizzare il rifiuto; ii) produrre un buon substrato per la termoutilizzazione (elevato potere calorifico). La stabilizzazione del rifiuto avviene tramite la riduzione del contenuto percentuale di umidità fino a valori del 7-15 % (in funzione dell'umidità iniziale); in tali condizioni ogni attività biologica è soppressa e non si ha degradazione. Il bioessiccamento viene raggiunto attraverso due stadi principali:

- triturazione meccanica blanda del rifiuto tal quale per aumentarne la superficie di evaporazione e di scambio della massa, ottenendo così un'accelerazione dei processi di bioessiccamento;
- trattamento biologico della matrice precedentemente triturata. Questo stadio avviene a mezzo di aerazione forzata della biomassa, sfruttando il calore sviluppato dalle reazioni biologiche aerobiche.

Il prodotto finale, bioessiccato, dotato di buon potere calorifico, può essere utilizzato come combustibile da rifiuto (CDR) in impianti di termoutilizzazione dove si sfrutta il calore prodotto dalla combustione per il riscaldamento delle abitazioni o lo si converte in altre forme di energia.

B) Biodegradazione aerobica.

Questo processo (comunemente più noto come **COMPOSTAGGIO**) è l'opzione di trattamento biologico più comune (pari a circa il 95% delle operazioni di trattamento biologico svolte attualmente). È un trattamento più adatto ai rifiuti verdi e al materiale legnoso e può essere realizzato con diversi metodi.

Si tratta di un processo di fermentazione aerobica controllata, o meglio un processo di degradazione biologica aerobica, durante il quale molte sostanze vengono trasformate in anidride carbonica e acqua e in cui vengono sintetizzati prodotti stabilizzati e sostanze umiche. In questo processo di bioossidazione termofila molti microorganismi, in presenza di ossigeno, ossidano la sostanza organica attraverso la mineralizzazione della frazione più facilmente fermentescibile.

Durante il compostaggio si libera una notevole quantità di energia sotto forma di calore; infatti la massa di materiale in fermentazione può raggiungere temperature superiori ai 70°C, condizioni in cui sopravvivono solo i microorganismi termofili mentre dovrebbero essere distrutti sia i patogeni sia semi infestanti eventualmente presenti. La biodegradazione aerobica può essere ottimizzata per far evaporare la più alta quantità di umidità (bio-essiccazione). Per tempi di trattamento mediante biodegradazione aerobica superiori a due settimane (maturazione), la temperatura diminuisce e la perdita di peso della biomassa diventa trascurabile. Avvengono reazioni complesse, che coinvolgono anche la lignina, producendo sostanze acide, simili agli acidi umici; il processo è mediato dall'azione di un insieme di microorganismi (batteri, actinomiceti, funghi) che si alternano nell'operazione di ossidazione del materiale organico biodegradabile.

Il processo di compostaggio viene suddiviso in due fasi:

-una fase attiva (high rate) caratterizzata da intensi processi di degradazione delle componenti organiche più facilmente degradabili; la mineralizzazione comporta la degradazione della sostanza organica più fermentescibile (sostanze a struttura semplice quali zuccheri, acidi, amino-acidi, ecc.) associata ad una intensa attività microbica con conseguente produzione di calore, anidride carbonica, acqua nonché di un residuo organico parzialmente trasformato e stabilizzato;

-una fase di “maturazione” (curing fase), caratterizzata da processi di trasformazione della sostanza organica. In questa fase si completa il processo di trasformazione della sostanza organica in condizioni meno ossidative (anche se sempre aerobiche o microaerobiche) in modo da permettere la formazione delle sostanze umiche ed eliminare eventuali composti fitotossici formati nella prima fase. Questa fase di umificazione è condotta da microorganismi specifici che sintetizzano polimeri tridimensionali complessi che a loro volta costituiscono il substrato energetico per future attività microbiche e sono responsabili della fertilità del suolo.

I fattori che vanno presi in considerazione per una rigorosa gestione del processo sono:

- la concentrazione di ossigeno e l'aerazione;
- la ricerca delle condizioni termometriche ottimali nelle diverse fasi del processo,;
- l'umidità, che deve essere sufficiente alle attività microbiche, ma non eccessiva in quanto occupando gli spazi vuoti ostacolerebbe il rifornimento di ossigeno;
- il pH; il valore ottimale per lo sviluppo dei batteri risulta compreso tra 6 e 7,5 mentre quello per i funghi tra 5,5 e 8. Vari autori concordano nel ritenere accettabili valori finali vicini alla neutralità o leggermente basici.
- gestione, controllo ed abbattimento dei potenziali impatti odorigeni delle fasi critiche, individuabili soprattutto in quelle iniziali. Lo strumento principale di gestione del processo è rappresentato dalla areazione della biomassa, che può essere naturale (per diffusione) o forzata.

L'aria fa da vettore di ossigeno, garantendo l'aerobiosi del processo; contemporaneamente assicura il drenaggio di calore e consente, dunque, il controllo termico delle condizioni di processo, evitando il sovrariscaldamento della biomassa; infine diventa inevitabilmente il vettore degli effluenti aeriformi potenzialmente odorigeni: senza una sufficiente ossigenazione, la biomassa substrato diventa anossica e la microflora microbica anaerobica prende il sopravvento, portando all'accumulo di composti ridotti caratterizzati da odore aggressivo ed elevata fitotossicità; la canalizzazione delle arie esauste ne consente il trattamento con le tecnologie specifiche di abbattimento e/o dispersione degli odori. Il mantenimento di un ambiente ossidativo all'interno della biomassa, in corso di stabilizzazione, è quindi importante anche per impedire le reazioni di decomposizione anaerobica. Il sistema di areazione, naturale o forzata, deve poi essere coordinato con la eventuale movimentazione/rivoltamento della biomassa a seconda delle principali caratteristiche della biomassa stessa, quali la sua altezza, porosità e fermentescibilità.

Il prodotto risultante di questo processo è il **compost**, una miscela di sostanze organiche derivate da rifiuti solidi, generalmente urbani ed agricoli, privata di materiali metallici, vetrosi, plastici e talvolta cellulocici, biodegradabile, con pH intorno a 8 e sottoposto a parziale fermentazione microbica. Il compostaggio facilita lo smaltimento di prodotti degradabili, permette una umificazione rapida (5-9 settimane) e garantisce l'igienizzazione della massa organica.



Tenendo conto della necessità di rispettare precisi requisiti di legge, il compost è il prodotto finale della biodegradazione aerobica dopo maturazione che può essere venduto come ammendante e fertilizzante. Gli impieghi del compost sono diversificati: si va dall'utilizzo in tutte le operazioni di giardinaggio all'impiego per le colture intensive ed estensive di pieno campo. Ad oggi gran parte

della produzione, viene venduta per applicazioni in giardinaggio, floricoltura e vivaistica. Spesso il compost viene poi miscelato con materiali torbosi allo scopo di migliorare le qualità dei “suoli artificiali” per le coltivazioni in vaso o fioriera.

Il successo del compostaggio e del mercato del compost è fortemente legato alla qualità del prodotto finale. Sicuramente il compostaggio dei rifiuti organici, soprattutto di quelli raccolti o conferiti in modo differenziato, è un sistema competitivo a livello economico ed ambientale, rispetto ad altre forme di smaltimento (discarica, incenerimento). La validità della scelta del “sistema compostaggio” è però legata alla capacità di collocare sul mercato il prodotto finale; a sua volta questa capacità è correlata alla qualità del compost finale, cioè alla quantità e qualità della sostanza organica contenuta nel compost, al suo grado di maturità e stabilità e ad un basso contenuto di sostanze inquinanti. Una buona qualità del compost è, infatti, una condizione fondamentale per la sua accettazione nella categoria degli ammendanti organici e, quindi, per un effettivo completamento del ciclo di recupero della sostanza organica.

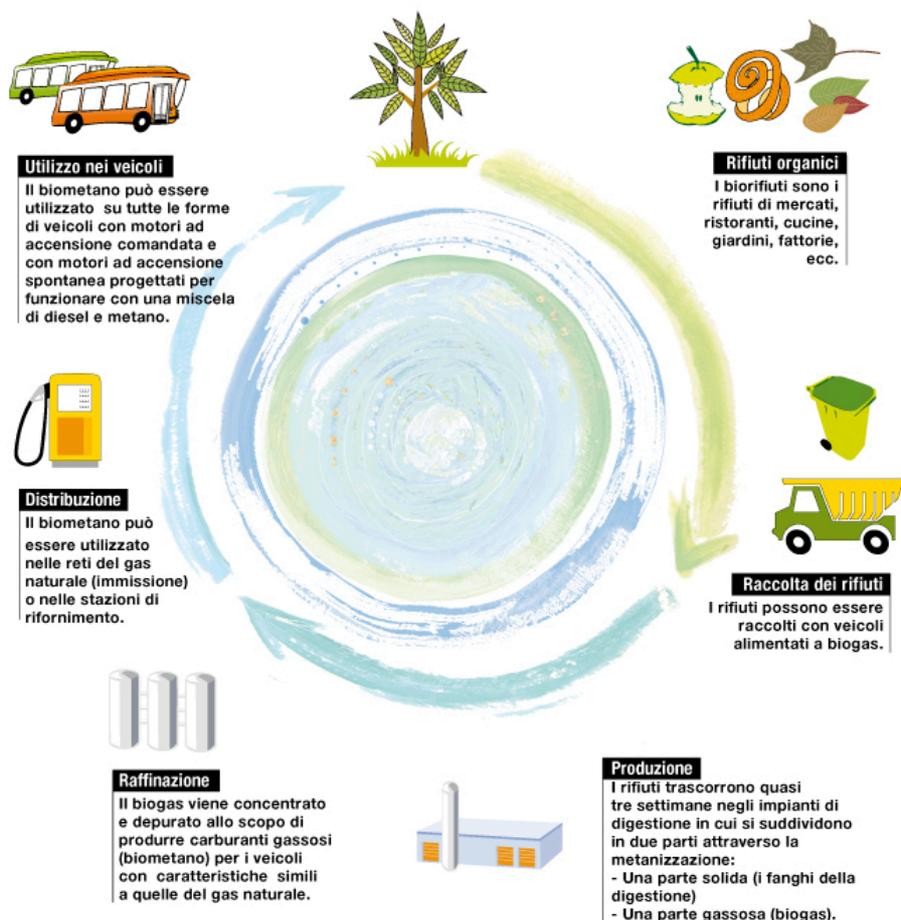
In particolare, i requisiti di un buon compost sono: a) alto tenore di sostanza organica umificata; b) assenza o bassissimi contenuti di sostanze inquinanti (metalli pesanti, organici di sintesi, vetri e materiali plastici); c) stabilità biologica; d) assenza di sostanze fitotossiche, microrganismi patogeni, semi infestanti; e) buona dotazione di elementi nutritivi in forme facilmente disponibili per i vegetali; f) idonee caratteristiche chimiche e fisiche generali: g) pH intorno alla neutralità, bassa concentrazione salina, adeguata porosità e potere di trattenimento dell’acqua.

Il Consorzio Italiano Compostatori (CIC) riunisce aziende ed enti pubblici e privati allo scopo di coordinare e promuovere la produzione di compost di qualità controllata promuove programmi di ricerca per la sperimentazione di nuove modalità di compostaggio, la messa a punto di nuove metodologie di laboratorio e la verifica di nuovi prodotti; si avvale del supporto di un Comitato Tecnico Scientifico per restare al passo con lo sviluppo tecnologico e con le eventuali variazioni legislative. I compost di qualità con riconoscimento CIC, sono legalmente classificati come ammendanti o fertilizzanti biorganici e pertanto in grado di sostituire torba, letame e concimi.

C) Digestione anaerobica.

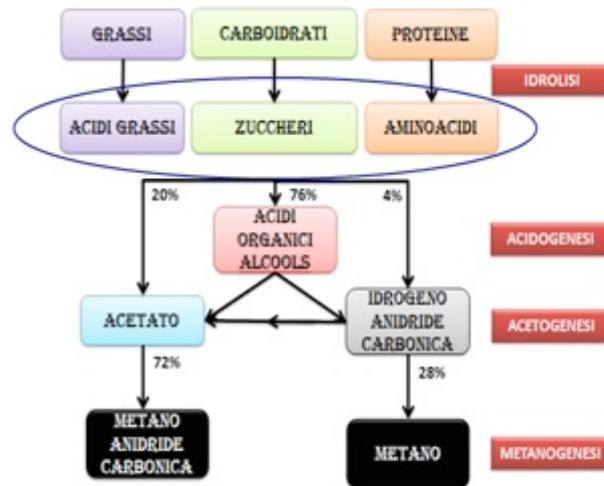
La degradazione dei rifiuti organici biodegradabili avviene in ambiente anaerobico allo scopo di conservare l’energia biochimica della sostanza organica sotto forma di biogas; la digestione anaerobica può avvenire a carico di matrici organiche di elevata qualità selezionate alla fonte (e dunque essere inserita in una filiera di valorizzazione del rifiuto) 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).

Durante la digestione anaerobica parte dei rifiuti organici viene trasformata in biogas da microrganismi anaerobi. Il biogas che si ottiene è una miscela costituita da metano (44-61%), CO₂ (25-50%) e, in minore concentrazione, vapore, acido solfidrico (H₂S), H₂ e altri gas. Il biogas può dare luogo a significative riduzioni delle emissioni di gas serra soprattutto se utilizzato come biocarburante per i mezzi di trasporto o se immesso direttamente nella rete di distribuzione del gas.



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. E' adatta in particolare al trattamento dei rifiuti organici biodegradabili umidi, compresi i grassi, come i rifiuti di cucina.

Una rappresentazione schematica delle reazioni chimiche coinvolte nella produzione di biogas da rifiuti organici è riportata nello schema



Fasi della digestione anaerobica, reazioni chimiche, intermedi e prodotti finali della trasformazione dei rifiuti organici in biogas

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 $\leq 10\%$.

Il processo di digestione anaerobica è 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 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 nell'intervallo 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 occorre prevedere una fase di finissaggio con maturazione aerobica (post-compostaggio) che garantisca il completamento della fase di stabilizzazione della componente organica. Il digestato in uscita dalla digestione anaerobica è infatti meno versatile del compost, in ragione del potenziale fitotossico ancora relativamente elevato (per la presenza di ammoniaca e la natura ancora relativamente fermentescibile della sostanza organica residua).

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.

Questa tecnologia è infatti limitata dalla bassa conversione dei rifiuti in biogas. Ad esempio, un tipico processo di digestione anaerobica portato alla biodegradazione di circa il 60% di cellulosa ed emicellulosa e ad una conversione trascurabile di lignina. Non più del 50% della sostanza organica di partenza viene convertito nel prodotto combustibile desiderato e la ragione principale per la bassa resa dei processi di fermentazione è che i microrganismi disponibili metabolizzano principalmente la frazione di carboidrati delle biomasse, mentre non sono in grado e/o sono inibiti dalla lignina. Un possibile miglioramento del processo potrebbe realizzarsi selezionando consorzi di microrganismi più resistenti o creando mediante biotecnologia dei nuovi enzimi in grado di metabolizzare la lignina o sviluppando nuovi sistemi di pretrattamento delle biomasse per separare i derivati cellulosici dalla lignina.

Al momento attuale, la pratica più diffusa a livello industriale per trattare il residuo della digestione anaerobica ("digestato") è di sottoporlo a compostaggio e utilizzarlo a fini analoghi come compost, migliorando così il recupero complessivo di risorse dai rifiuti.

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.
- gli impianti di digestione anaerobica richiedono investimenti iniziali maggiori rispetto a quelli di compostaggio.

La raccolta differenziata

La gestione dei rifiuti urbani organici biodegradabili si presenta come la più critica rispetto a quella delle altre frazioni dei rifiuti solidi urbani, per motivi di carattere sociale (partecipazione motivata e consapevole dei cittadini), per ragioni ambientali (fermentazioni, odori, percolati, attrazioni di animali), per ragioni economiche legate sia all'organizzazione del servizio di raccolta (modalità e frequenza di raccolta) sia alla gestione diretta ed indiretta della frazione raccolta.

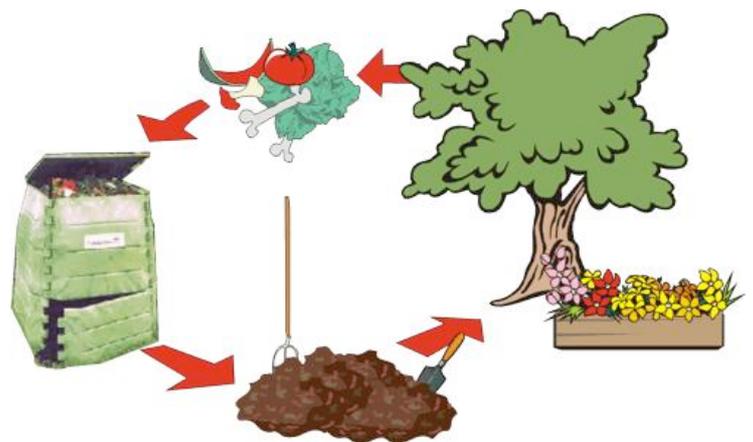
Benché i rifiuti biodegradabili possano essere estratti dai rifiuti solidi urbani, questo processo è laborioso e fornisce un prodotto contaminato e pertanto il successo nella diminuzione delle quantità di rifiuti biodegradabili messi a discarica è strettamente dipendente dal successo della raccolta differenziata.

La raccolta differenziata offre l'opportunità di una materia prima più pura e di alta qualità per i trattamenti biologici (aerobici o anaerobici) e la prospettiva di ottenere prodotti non contaminati. Nel caso del compostaggio, ad esempio, un rifiuto «pulito» ottenuto tramite la raccolta differenziata è più probabile che produca un compost che soddisfa gli standard di qualità e la cui vendita ed utilizzo siano appropriati per apportare benefici ambientali.

La raccolta differenziata permette inoltre la promozione del **compostaggio domestico** o all'interno di piccole comunità locali. Quest'ultima modalità di gestire i rifiuti biodegradabili ha due sostanziali vantaggi:

- 1) gli impatti ambientali del trasporto e del trattamento dei rifiuti vengono evitati.
- 2) c'è generalmente un uso diretto del compost prodotto da parte del cittadino.

Il coinvolgimento del cittadino nella raccolta differenziata genera una maggiore consapevolezza riguardo la produzione dei rifiuti e aiuta lo sviluppo di un accresciuto senso di responsabilità per i rifiuti prodotti.

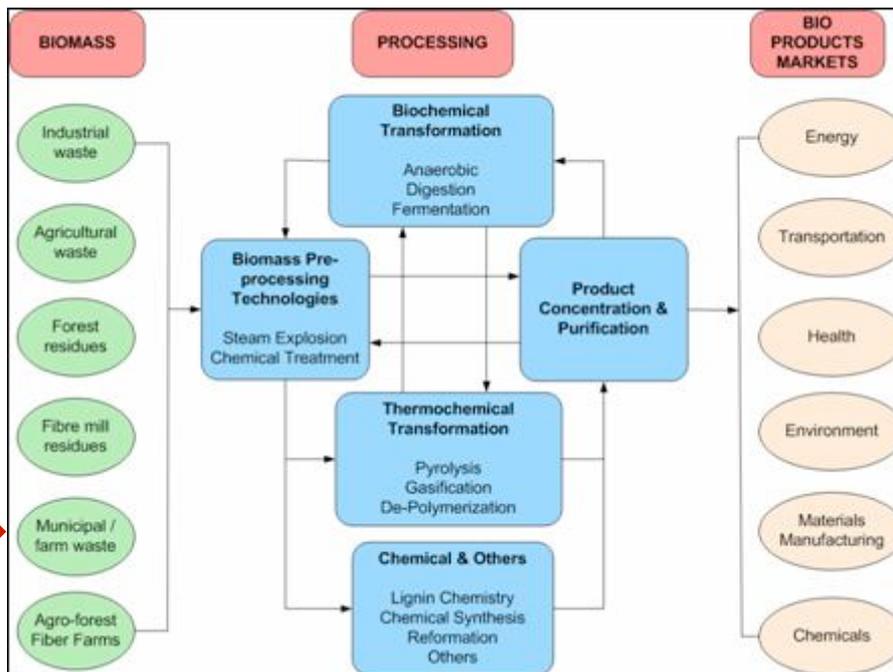


Bilancio e possibili scenari futuri

Alla luce di quanto visto fino ad ora quindi, incenerimento, digestione anaerobica e biodegradazione aerobica (compostaggio), sono tutti processi che permettono di recuperare parte dell'energia chimica presente nelle biomasse organiche residuali (e quindi anche rifiuti organici urbani), come calore, combustibile o fertilizzante, riducendo allo stesso tempo la parte di rifiuti smaltiti in discarica. Tuttavia, questi processi non sono sufficientemente remunerativi rispetto al loro costo. La differenza costi-ricavi è compensata dalle quote versate alle aziende di trattamento rifiuti direttamente dai comuni e, indirettamente, dai contribuenti. Inoltre, non tutti i rifiuti sono adatti ad essere trattati con le tecniche di cui sopra, e devono quindi essere smaltiti in discarica. Pertanto è auspicabile l'individuazione di possibili tecnologie alternative che consentono

trattamenti differenti dei rifiuti organici urbani per la produzione di prodotti a maggiore valore aggiunto.

Impianti di produzione di biocarburanti potrebbero diventare economicamente interessanti se si sviluppasse il progetto decisamente più ambizioso di trasformarli in **bioraffinerie** alimentate con rifiuti organici, accoppiando il processo di produzione di combustibile con il trattamento della frazione lignocellulosica residua al fine di ottenere prodotti chimici commerciabili a valore aggiunto.



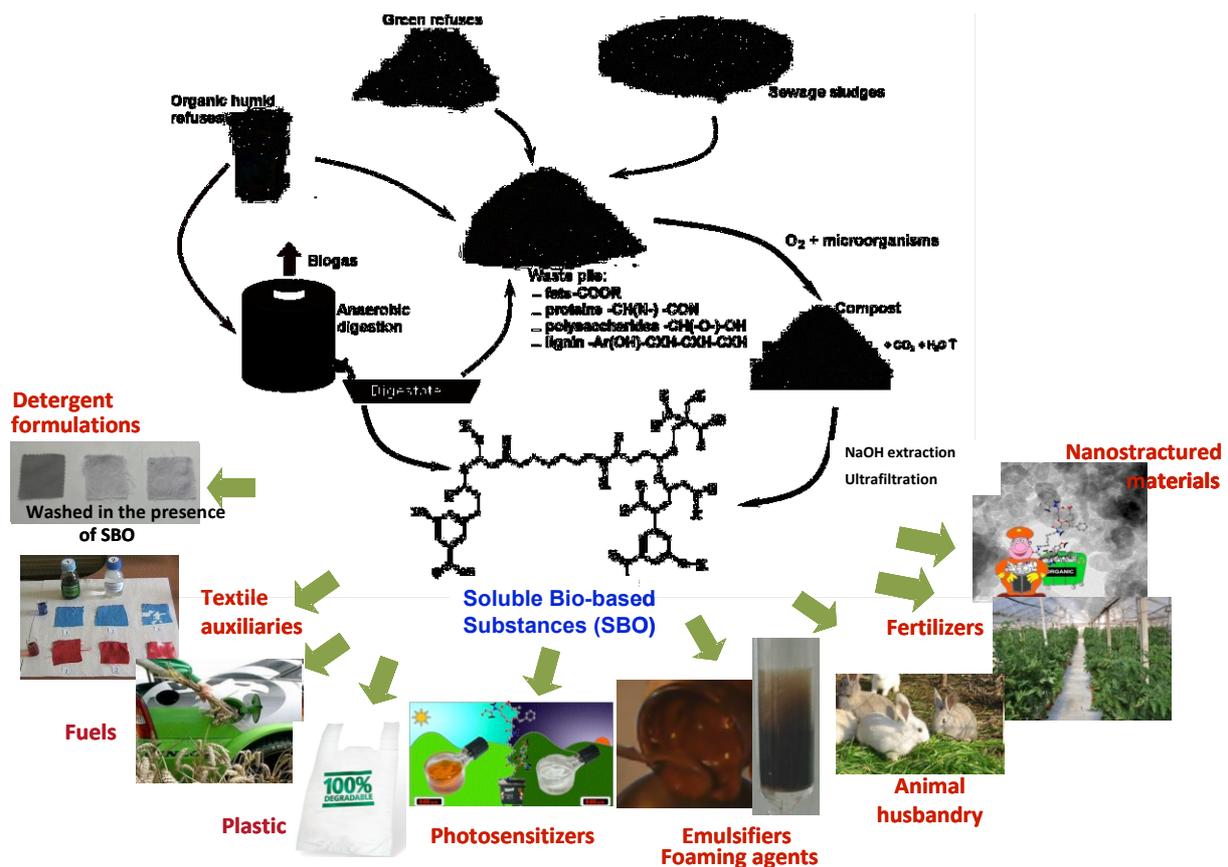
Un secondo aspetto rilevante nella produzione di energie rinnovabili da rifiuti organici è poi quello di utilizzare scarti alimentari invece di colture dedicate. Mentre l'utilizzo di queste ultime può generare problemi etici, sfruttare rifiuti organici urbani ha il doppio risvolto di contribuire alla produzione di energia da risorse rinnovabili ed alla gestione dei rifiuti. Un adeguato sfruttamento dell'energia delle corrispondenti biomasse automaticamente risolverebbe il problema della gestione dei rifiuti organici.

La conversione di un'economia fondata sui combustibili fossili (non-rinnovabili) ad una basata sulle risorse rinnovabili, economicamente sostenibile, non dipende tanto dallo sviluppo di nuove tecnologie quanto dal livello di entropia delle fonti alternative. La tecnologia disponibile, sviluppata per lo sfruttamento dei combustibili fossili, è probabilmente già adeguata anche per sfruttare per la produzione di energia fonti rinnovabili. Queste però sono spesso disperse su ampi spazi e comportano ingenti costi per la loro raccolta; in un quadro di questo tipo i rifiuti organici urbani, che devono necessariamente essere raccolti, rappresentano un'eccezione perché sono disponibili in spazi confinati.

I rifiuti organici urbani come fonte per la produzione di sostanze per l'industria chimica, l'ambiente e l'agricoltura

Presso il Dipartimento di Chimica dell'Università di Torino, a partire dal progetto regionale Biochemenergy (e quindi attraverso successivi progetti sia nazionali che internazionali) è stato dimostrato che la frazione più recalcitrante dei rifiuti organici urbani (quella tipo lignina) è una fonte economicamente vantaggiosa per produrre ausiliari chimici utilizzabili nella formulazione di detergenti, nei bagni di tintura dell'industria tessile, come emulsionanti, come sistemi di "lavaggio" per suoli inquinati, per la preparazione di materiali ceramici e di catalizzatori utilizzabili per la depurazione di acque inquinate, come integratori nell'alimentazione animale ed in agricoltura.

Sia il progetto che i prodotti sono stati oggetto di brevetto ed è stato studiato un campione di diverse possibili biomasse derivanti dal trattamento dei rifiuti organici urbani. Le diverse biomasse sono state sottoposte a processi di idrolisi basica, fornendo una miscela solido/liquido lasciata poi decantare per separare la frazione solubile dal residuo solido. Dalla frazione solubile sono stati ottenuti per acidificazione o per ultrafiltrazione ed essiccamento i prodotti finali, chiamati Sostanze Bio-organiche solubili (SBO).

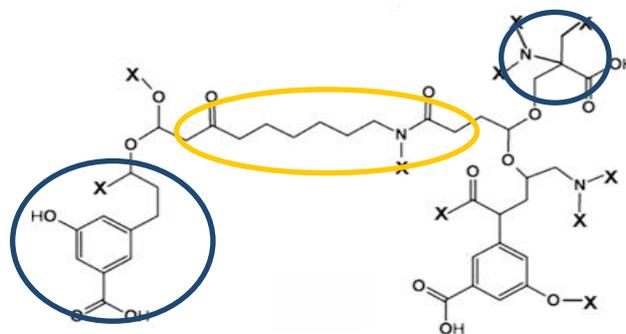


Il processo è stato condotto prima su scala di laboratorio (poche centinaia di grammi di biomassa trattata e pochi grammi di prodotti finali) e successivamente a livello di impianto pilota (circa 10 Kg di prodotti finali/settimana), grazie alla partecipazione al progetto Biochemenergy di ACEA PINEROLESE S.p.A., che ha fornito i campioni delle diverse tipologie di biomasse derivate dai rifiuti

organici urbani, e dello Studio Chiono & Associati che ha partecipato alla progettazione e costruzione dell'impianto pilota per la produzione di SBO.



Gli studi di caratterizzazione delle SBO hanno mostrato che queste sostanze sono molto simili, per struttura e proprietà, alla sostanza umica naturalmente presente nei suoli. A seconda della biomassa di partenza si è visto che le SBO sono miscela di grosse molecole con pesi molecolari nell'intervallo $67-463 \text{ kg mol}^{-1}$, che si differenziano tra loro per il contenuto in carbonio e per i gruppi funzionali presenti nella struttura. Si possono descrivere come delle miscele di sostanze formate da lunghe catene di carbonio alifatico, sostituite da gruppi aromatici e da altri gruppi funzionali chimici, quali i gruppi carbossilici, aminici, fenolici, chetonici, ..., come riportato nel frammento molecolare virtuale della figura sottostante, costruito tenendo conto dei rapporti tra i vari gruppi funzionali ottenuti dalle analisi di caratterizzazione. Tutti questi gruppi conferiscono alle SBO caratteristiche anfifiliche, ovvero di presentare dei gruppi funzionali idrofobici, poco affini all'acqua (cerchiati in giallo nella figura) ed idrofilici, affini all'acqua (cerchiati in blu) e rappresentano la "memoria" di acidi, proteine, polisaccaridi e lignina contenuti nella materia organica di partenza, non completamente mineralizzata nei trattamenti biologici precedenti.

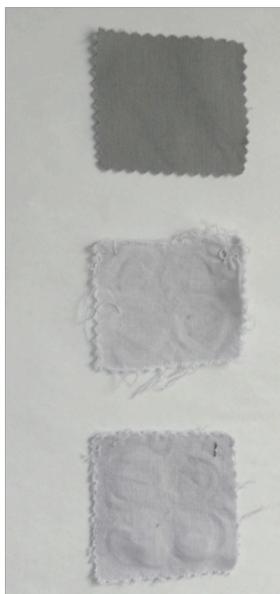


In aggiunta alla componente organica le SBO hanno anche un contenuto non trascurabile di specie inorganiche, aspetto però non necessariamente negativo perchè, ad esempio, la presenza di ferro può indurre attività fotochimica, la presenza di silicio può essere utile per la preparazione di materiali a memoria di forma e di ossidi o materiali ibridi, sodio e potassio possono agire come fondenti. In ogni caso il contenuto di specie inorganiche (metalli in particolare) non supera i valori di legge identificati per l'utilizzo del compost in agricoltura e quindi permette che anche le SBO vengano studiate per applicazioni in questo settore.

Una volta sciolte in acqua le SBO mostrano di avere proprietà tensioattive e questa caratteristica può essere sfruttata nel settore della detergenza o come ausiliari per l'industria tintoriale in campo tessile.

Le SBO infatti, riducendo la tensione superficiale facilitano la bagnabilità dei tessuti e, formando aggregati più idrofobici all'interno e più idrofilici all'esterno, favoriscono la solubilizzazione in acqua di sostanze idrofobiche (come lo sporco grasso). In questo modo possono favorire il trasferimento della sostanza idrofobica dall'oggetto da lavare alla fase acquosa.

La figura riporta i risultati ottenuti lavando una pezza di cotone "sporca standard" con una soluzione contenente un tensioattivo utilizzato nei formulati dei prodotti commerciali confrontati con i risultati del lavaggio in una soluzione di SBO. In entrambi i casi i risultati sono molto simili (i formulati commerciali prevedono poi l'aggiunta di agenti sbiancanti per l'eliminazione della residua tonalità grigia).



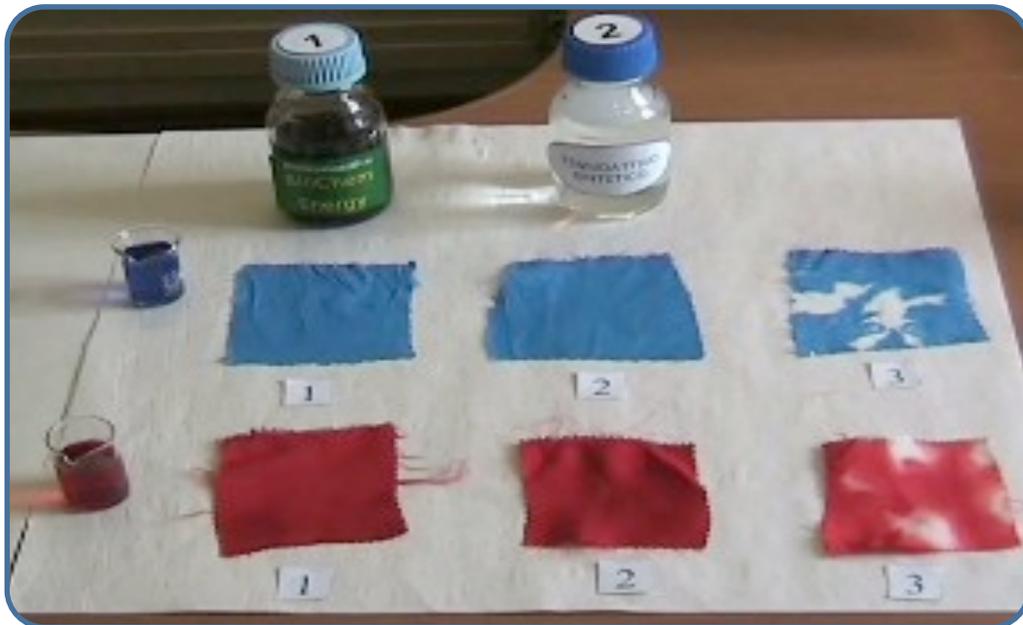
Pezza sporca "standard"

Pezza lavata con una soluzione di SBO

Pezza lavata con un tensioattivo di sintesi derivato dal petrolio

Un processo di questo tipo., oltre che nel campo della detergenza "tradizionale" dei tessuti, può essere sfruttato in campo ambientale per la rimozione di inquinanti idrofobici presenti in suoli inquinati ("soil washing").

In ambito tessile, il comportamento tensioattivo delle SBO permette di solubilizzare coloranti tessili insolubili in acqua (in alternativa all'uso di tensioattivi di sintesi derivati dal petrolio) e di controllare il loro trasferimento sul tessuto da tingere, in modo da ottenere tessuti tinti in modo uniforme e con il grado di colorazione desiderato, come è ben evidenziato nelle figura sottostante.



- 1) campione tinto in presenza di un tensioattivo di sintesi derivato dal petrolio**
- 2) campione tinto in presenza di SBO**
- 3) campione tinto in assenza di tensioattivi**

In campo agricolo le SBO sono state utilizzate come fertilizzanti e studiate nella coltivazione dei pomodori e dei peperoni ed i risultati sono stati confrontati con quelli ottenuti utilizzando il compost da cui erano state ricavate le SBO e con un compost commerciale.

La figura riporta alcune immagini relative alla coltivazione dei pomodori in serra; le piante coltivate in presenza di SBO hanno mostrato una maggiore velocità di maturazione dei frutti (circa una settimana di anticipo rispetto alle altre), un maggior numero di frutti per pianta ed una maggiore dimensione dei frutti stessi.



Tutti questi studi verranno sicuramente proseguiti per acquisire un maggior numero di dati ed approfondire i meccanismi che possono spiegare i fenomeni osservati ma è indubbio che se i prodotti del trattamento dei rifiuti organici urbani potessero essere sfruttati per preparare sostanze chimiche utilizzabili come fertilizzanti in agricoltura o come tensioattivi in diverse applicazioni, questo porterebbe ad ottenere prodotti a valore aggiunto maggiore di quello che può essere il valore del compost tal quale e, di conseguenza, permetterebbe una **nuova visione del rifiuto organico urbano, da “peso” dal punto di vista socio-economico a risorsa anche in termini di sostenibilità economica del suo recupero e trattamento.**

Bibliografia

European directives: 91/156/CEE, 91/689/CEE, 94/62/CE.

Fantozzi F, Buratti C (2009) Biogas production from different substrates in an experimental continuously stirred tank reactor anaerobic digester. *Bioresour Technol*, 100: 5783-5789.

Kraft E, Bidlingmaier W, De Bertoldi M, Diaz LF, Barth J (2006) Biological waste management from local to global. Proceedings of the International Conference ORBIT 2006, Weimar, 1201-1210, ISBN 3-935974-09-4.

Montoneri E, Mainero D, Boffa V, Perrone DG, Montoneri C (2011) Biochemenergy: a project to turn an urban wastes treatment plant into biorefinery for the production of energy, chemicals and consumer's products with friendly environmental impact. *Int. J Global Environ Issues*, 11: 170-196.

Vargas AKN, Bianco Prevot A, Montoneri E, Le Roux GC, Savarino P, Cavalli R, Guardani R, Tabasso S (2014) Use of biowaste-derived biosurfactants in production of emulsions for industrial use. *Ind Eng Chem Res*, 53: 8621-8629.

Montoneri E, Tomasso L, Colajanni N, Zelano I, Alberi F, Cossa G, Barberis R (2014) Urban wastes to remediate industrial sites: a case of polycyclic aromatic hydrocarbons contamination and a new process. *Int J Environ Sci Technol*, 11: 251-262.

Baxter MD, Acosta E, Montoneri E, Tabasso S (2014) Waste Biomass-Extracted Surfactants for Heavy Oil Removal. *Ind Eng Chem Res*, 53: 3612-3621.

Sortino O., Montoneri E, Patanè C, Rosato R, Tabasso S, Ginepro M (2014) Benefits for agriculture and the environment from urban waste. *Sci Total Environ*, 487C: 443-451.

Baglieri A, Cadili V, Mozzetti Monterumici C, Gennari M, Tabasso S, Montoneri E, Nardi S, Negre M (2014) Fertilization of bean plants with tomato plants hydrolysates. Effect on biomass production, chlorophyll content and N assimilation. *Sci Hortic*, 176: 194-199.

Sortino O., Dipasquale M., Montoneri E., Tomasso L., Avetta P., Bianco Prevot A., 90% yield increase of red pepper with unexpectedly low doses of compost soluble substances. *Agronomy for Sustainable Development* 33 (2013) 433-441.

Sitografia

www.biochemenergy.it ultimo accesso Settembre 2014

http://ambiente.aceapinerolese.it/Articoli_tecnici.html ultimo accesso Settembre 2014

www.compost.it ultimo accesso Settembre 2014

UNESCAP green growth path, 2014. www.greengrowth.org ultimo accesso Giugno 2014

Kaminsky J (2004) Development of strategies for deployment of biomass resources in the production of biomass power. NREL/SR-510-33524, disponibile all'indirizzo

<http://www.nrel.gov/docs/fy04osti/33524.pdf>

www.clarke-energy.com/gas-type/biogas/ ultimo accesso Luglio 2014.

EPA/625/R-92/013, disponibile all'indirizzo:

www2.epa.gov/sites/production/files/documents/625R92013ALL.EPA/625/R-92/013