

ALLEGATO O: LA MINERALIZZAZIONE DI RIFIUTI, LA FORMAZIONE DI BIOGAS E PERCOLATO IN DISCARICHE CONTENENTI RSU

All'interno del corpo delle discariche di rifiuti non pericolosi contenenti frazioni biodegradabili dei rifiuti, in particolare di rifiuti solidi urbani (d'ora in avanti chiamate per semplicità anche "discariche di RSU", anche se dal punto di vista normativo la definizione è impropria), avvengono diversi processi biochimici di degradazione in condizioni anaerobiche che portano alla mineralizzazione della sostanza organica.

Il processo di biodegradazione dei rifiuti è ampiamente descritto nella letteratura del settore e non verrà ripetuto qui. (Boni e Musumeci, 1998, Anon, 1995)

Si ricorda soltanto che:

- il processo di degradazione e mineralizzazione avviene, a parte un breve periodo iniziale, in condizioni anaerobiche;
- la degradazione è opera di colonie di diversi tipi di microrganismi anaerobi obbligati o facoltativi, tra i quali si instaurano sia meccanismi di competizione (per gli stessi nutrienti) sia meccanismi di "sintrofia" (reazioni metaboliche che avvengono una in dipendenza delle reazioni successive nella catena metabolica);
- i tempi di degradazione sono lunghi (diversi anni) e variano in funzione delle condizioni ambientali (temperatura, grado di umidità); in particolare il contenuto di umidità è il fattore più importante e che può essere tenuto più facilmente sotto controllo (Rees (1980); Anon (1995); Reinhart e Townsend (1998));
- la degradazione produce biogas e percolato;
- il biogas maturo contiene principalmente CO_2 e CH_4 , in proporzione circa 1:1, che sono i principali prodotti del metabolismo anaerobio, ma anche tracce di altri composti, come H_2 , H_2S , sostanze organiche volatili;
- il percolato contiene tutte le sostanze solubili (sali e sostanze organiche) che vengono liscivate dai rifiuti;

la trasformazione biochimica anaerobica avviene principalmente in quattro fasi:

1. idrolisi delle molecole complesse in aminoacidi, acidi grassi, monosaccaridi (fase temporalmente breve);
2. fase acida: formazione di acidi volatili da parte di batteri acido - riduttori, a pH leggermente acido (fase temporalmente breve);
3. Acetogenesi, con formazione di acido acetico, idrogeno molecolare (H_2) e anidride carbonica (CO_2);
4. metanogenesi, con formazione di metano (CH_4), CO_2 , acqua, utilizzando gli acidi volatili, l'acido acetico, la CO_2 come substrati e H_2 come donatore di elettroni.

Nella fase 3 (acetogenesi) vengono formati acido acetico, anidride carbonica e piccole quantità di idrogeno. Il pH scende a 5, BOD e COD del percolato salgono velocemente a

causa della solubilizzazione degli acidi organici. Vengono solubilizzati anche i metalli e altri componenti inorganici.

Nella fase 4 (metanogenesi) i microrganismi metanogeni convertono l'acido acetico e l'idrogeno in metano e anidride carbonica. Il pH sale a 8, BOD, COD e conducibilità del percolato diminuiscono. A valori di pH basici i metalli formano idrossidi insolubili e la loro concentrazione nel percolato diminuisce. Progressivamente anche BOD e COD diminuiscono, e la produzione di biogas inizia a diminuire mano a mano che il substrato organico viene consumato dalla biomassa o lisciviato dal percolato.

La biodegradazione della componente organica dei rifiuti coinvolge un numero elevato di specie batteriche, ciascuna addetta a una particolare reazione di degradazione. Diversi meccanismi e percorsi di degradazione possono utilizzare, in competizione tra loro, gli stessi composti chimici come substrati o come donatori di elettroni; lo stesso composto può essere formato attraverso reazioni diverse e da microrganismi diversi. Anche la CO_2 stessa può essere utilizzata insieme ad H_2 da batteri autotrofi che producono metano.

Ad esempio l'acetato, substrato utilizzato nella metanogenesi, può essere prodotto per via eterotrofa dall'ossidazione dell'alcool etilico o per via autotrofa da CO_2 e H_2 . Lo stesso acetato può poi essere utilizzato da batteri diversi, come i metanogeni o i batteri solfato-riduttori; lo stesso dicasi per l'idrogeno molecolare. I batteri eterotrofi possono nutrirsi di acetato o anche di altri acidi volatili.

Le singole specie batteriche conducono però reazioni biochimiche altamente specifiche, ognuna utilizzando un particolare substrato, un particolare donatore e accettore di elettroni. La varietà delle reazioni biochimiche viene quindi assicurata dalla varietà delle specie batteriche presenti.

Una particolare attenzione merita il concetto di "*sintrofia*". La sintrofia è la capacità di una specie batterica di portare avanti una reazione biochimica grazie al fatto che uno dei prodotti di reazione viene utilizzato da un'altra specie per una reazione successiva nella catena metabolica, senza la quale però la prima reazione non può avvenire. Le due reazioni della catena metabolica quindi non possono avvenire una senza l'altra: la seconda perché utilizza un prodotto della prima, e la prima perché è la sottrazione del prodotto che manda avanti la reazione stessa.

Questo è il caso della produzione di idrogeno molecolare. La produzione di idrogeno molecolare è sfavorita dal punto di vista energetico, perché il ΔG° della reazione è positivo. Questo significa che appena è presente una piccola quantità di idrogeno molecolare la reazione non procede, essendo raggiunto subito l'equilibrio chimico. Solo la sottrazione di H_2 da parte delle specie metanogene che lo utilizzano come fonte di elettroni permette alla reazione che produce idrogeno di andare avanti.

Parallelamente alla reazione di metanogenesi avvengono altre reazioni da parte di altre specie batteriche, la più importante delle quali è la riduzione dei solfati da parte dei batteri solfato-riduttori (SRB). Esistono diverse specie di SRB, sia autotrofe che eterotrofe; le eterotrofe possono utilizzare acetato o altri acidi volatili; come donatore di elettroni viene preferito H_2 ma possono utilizzare anche metalli nella forma ridotta. A seconda delle condizioni ambientali quindi questi batteri possono entrare in competizione con i batteri metanogeni sia per il substrato che per l'idrogeno.

La predominanza di alcune specie sulle altre dipende quindi strettamente dalle condizioni ambientali, in particolare dalla presenza o assenza di nutrienti e donatori di elettroni.

Uno schema delle fasi della biodegradazione dei rifiuti in discarica è riportato in Figura 0-A. Nel percolato si ritrovano, oltre alle sostanze organiche, anche sali inorganici, e in particolare metalli pesanti, che vengono lisciviati dai rifiuti.

I fattori che influenzano il rilascio dei metalli sono molti. Tra i più importanti vi è il pH del percolato, la presenza di complessanti, sia organici che inorganici, e il potenziale redox, che determina lo stato di ossidazione in cui si trovano i metalli.

Durante la fase anaerobica metanogena, l'ambiente della discarica è riducente con un pH intorno a 8. In queste condizioni la maggior parte dei metalli può essere intrappolata nella discarica come solfuro o come idrossido, e non essere portata in soluzione. E' vero però che la presenza di acidi organici e dei cloruri può favorire la complessazione e quindi la dissoluzione dei metalli in acqua. Questi fenomeni dovrebbero tendere a diminuire di importanza mano a mano che avanza l'età della discarica e il percolato diventa meno carico di sali e di sostanza organica.

Con l'avanzare dell'età della discarica, però, altri fenomeni possono portare alla solubilizzazione dei metalli precedentemente intrappolati nel corpo rifiuti. Al momento in cui si raggiunge l'ultima fase della maturazione della discarica, e cessa la produzione di biogas, solo una quota parte dei metalli pesanti è stata solubilizzata e lisciviata con il percolato. A questo punto però le condizioni all'interno della discarica possono cambiare. L'ossigeno può penetrare all'interno, rendendo le condizioni aerobiche. I solfuri possono ossidarsi a solfati, solubili, e liberare metalli. La CO_2 che si solubilizza in acqua forma carbonati acidi e quindi il pH può abbassarsi, solubilizzando gli idrossidi metallici. La mancata manutenzione delle barriere di protezione, dopo decenni, può portare a infiltrazioni di acqua all'interno della discarica. E' possibile quindi che i metalli pesanti vengano rilasciati anche dopo diversi decenni dalla chiusura della discarica.

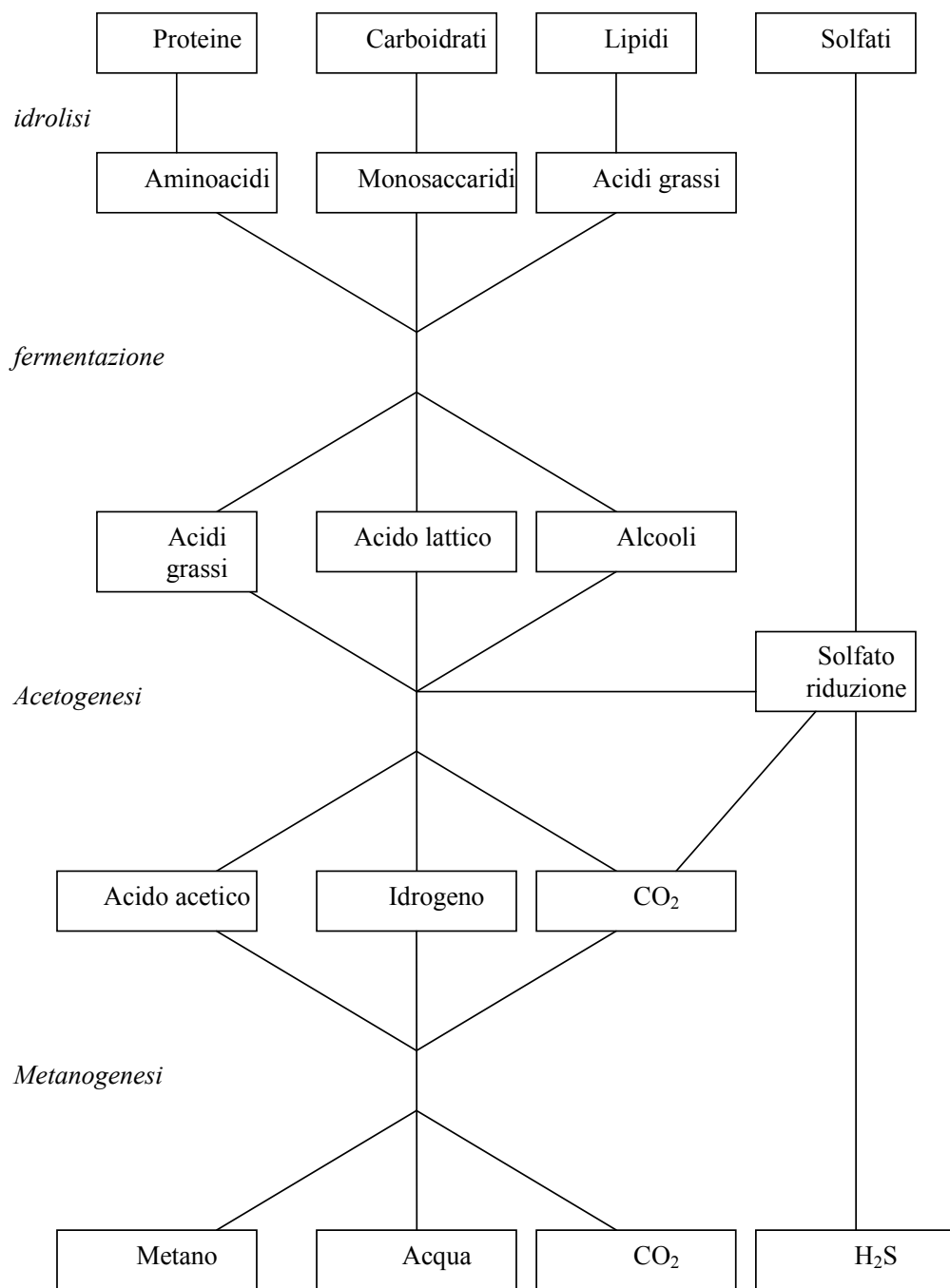


Figura 0-A: I prodotti della biodegradazione della sostanza organica contenuta nei rifiuti in discarica