

ZANICHELLI

Fabio Fanti

Biologia, microbiologia e tecnologie di controllo ambientale

I rifiuti solidi urbani e lo smaltimento

Il compost

I rifiuti

I rifiuti vengono classificati in base all'origine in **rifiuti urbani** e **rifiuti speciali**.

Si distinguono in **pericolosi** e **non pericolosi**.



Raccolta differenziata e riciclo dei materiali /1

La **raccolta differenziata** è orientata al recupero e riciclaggio dei materiali.

Riciclaggio del vetro: il rottame viene tritato e fuso in vetreria a 1500 ° C.

Riciclaggio degli pneumatici: avviene per triturazione oppure pirolisi (degradazione termica in assenza di ossigeno) con separazione delle varie componenti per il riutilizzo.

Riciclaggio della carta: dispersione in acqua delle fibre di cellulosa; eliminazione delle tracce di inchiostro con NaOH e detersivi; lavaggio e azione di candeggianti per rendere più bianco il materiale.

Raccolta differenziata e riciclo dei materiali /2

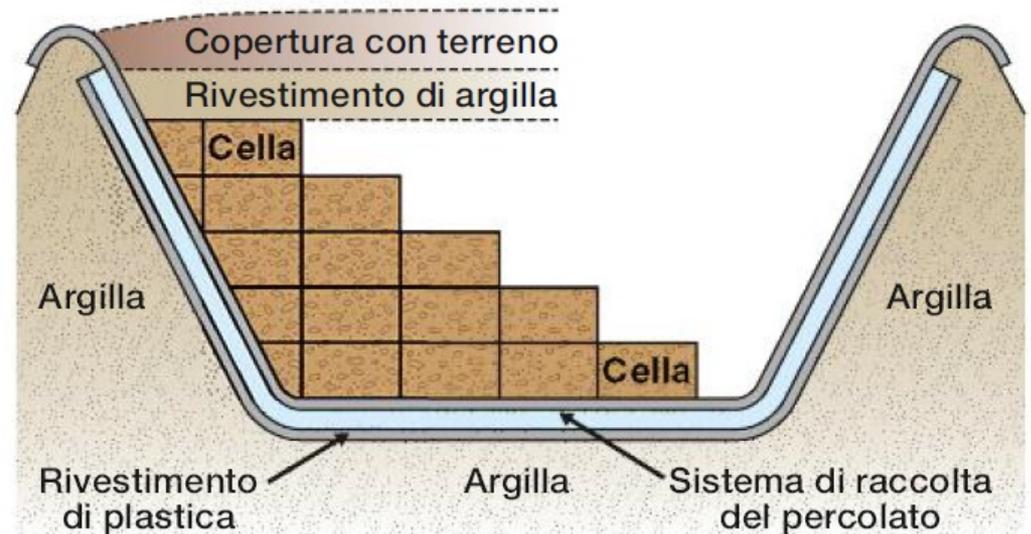
Riciclaggio dei metalli: l'alluminio viene frantumato e trattato per eliminare sostanze estranee e poi rifuso.

Riciclaggio della plastica:

- **riprocessazione:** processo fisico che prevede il lavaggio della plastica, la sua riduzione in frammenti di piccole dimensioni e il rimodellamento
- **depolimerizzazione:** reazioni con catalizzatori a caldo per ottenere i singoli componenti
- **trasformazione chimica:** per ottenere composti di bassa qualità con cui produrre materiali diversi
- **combustione:** libera diossine, furani e acido cloridrico gas

Smaltimento dei rifiuti in discarica controllata

In una **discarica controllata** vengono depositati tutti i rifiuti provenienti dalle attività umane che non è possibile riciclare o utilizzare come combustibile negli inceneritori.



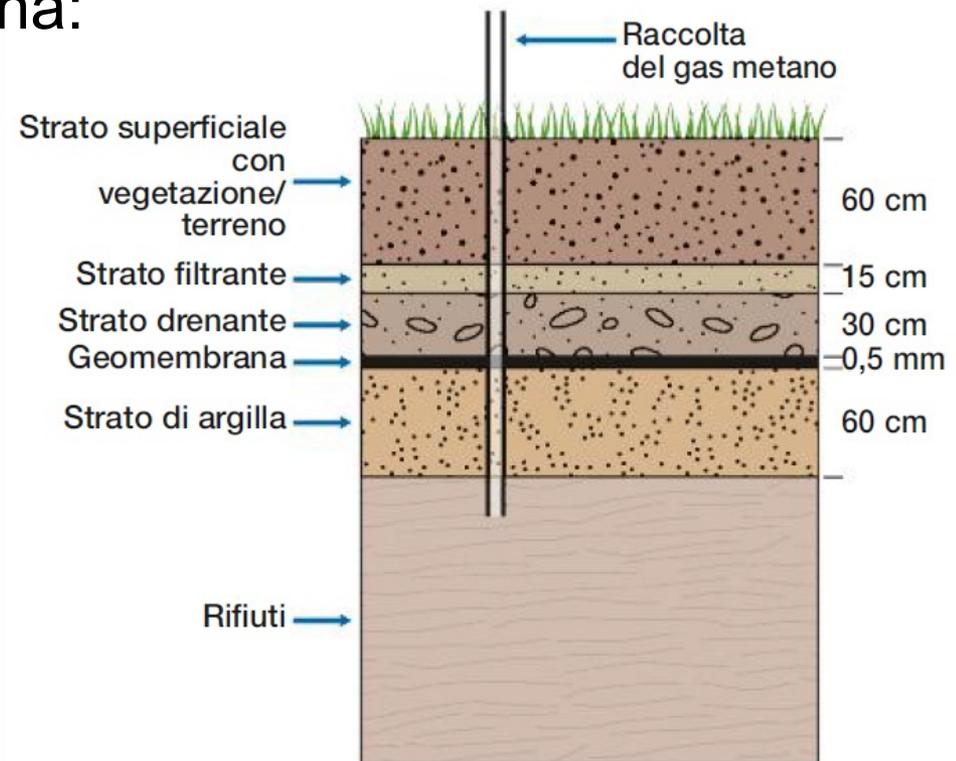
Processi di decomposizione dei rifiuti /1

La degradazione dei rifiuti solidi urbani prevede 3 fasi:

1. Fase aerobia: **ossidazione** del materiale organico con produzione di CO_2 ed energia sotto forma di calore (anche aldeidi, chetoni e alcoli che conferiscono il caratteristico odore)
2. Fase acida anaerobia: **reazioni di fermentazione acida** che sviluppano ammoniaca, idrogeno, CO_2 e composti organici acidi parzialmente degradati

Processi di decomposizione dei rifiuti /2

3. Fase anaerobia metanogena: **biodegradazione** batterica che produce principalmente metano e anidride carbonica. Il metano viene fatto uscire dalla massa dei rifiuti in decomposizione tramite sfiatatoi e immediatamente bruciato



Sezione verticale di una discarica con sistema di copertura con sfiatatoio per il gas metano.

Smaltimento dei rifiuti tramite incenerimento /1

L'**incenerimento** consiste nell'ossidazione dei rifiuti solidi urbani per mezzo di un processo di combustione controllata.

Rischio: disperdere in atmosfera **composti tossici e cancerogeni**, fra cui diossine.

Gli inceneritori sono a due fasi:

1. in una prima camera o forno avviene la **combustione** vera e propria dei rifiuti
2. in una seconda camera avviene la **postcombustione** dei gas e delle microparticelle aerodisperse

Smaltimento dei rifiuti tramite incenerimento /2

Tutti i gas prodotti dalla combustione si considerano inquinanti, compresa la CO₂ (effetto serra).

Oltre ai gas, un inceneritore di rifiuti produce anche residui solidi:

- **Scorie e ceneri di fondo**
- **Polveri e ceneri volatili**

Tramite il processo di **termovalorizzazione** l'energia termica sviluppata viene convertita in vapore per ottenere elettricità o per produrre acqua calda.



Impianto di termovalorizzazione

Smaltimento dei rifiuti tramite incenerimento /3

Reazioni chimiche nei processi di incenerimento:

- **Combustione:** reazione di ossidazione rapida con liberazione di energia termica e radiante

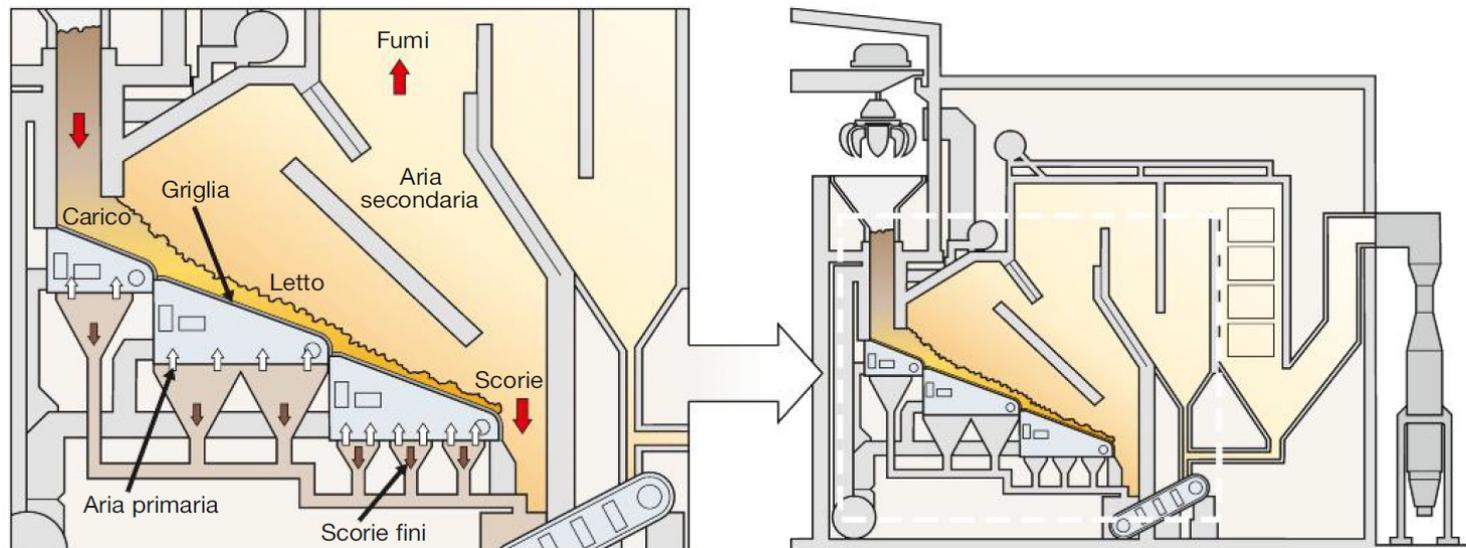


- **Pirolisi:** degradazione termica che porta alla distruzione o alla modificazione chimica di materiali carboniosi in assenza completa o parziale di ossigeno
- **Attacco radicalico:** si sviluppa un flusso di gas carichi di radicali liberi altamente reattivi che agiscono sui composti chimici dei rifiuti e ne facilitano la decomposizione

Tecnologie di incenerimento dei rifiuti /1

Inceneritori a griglia:

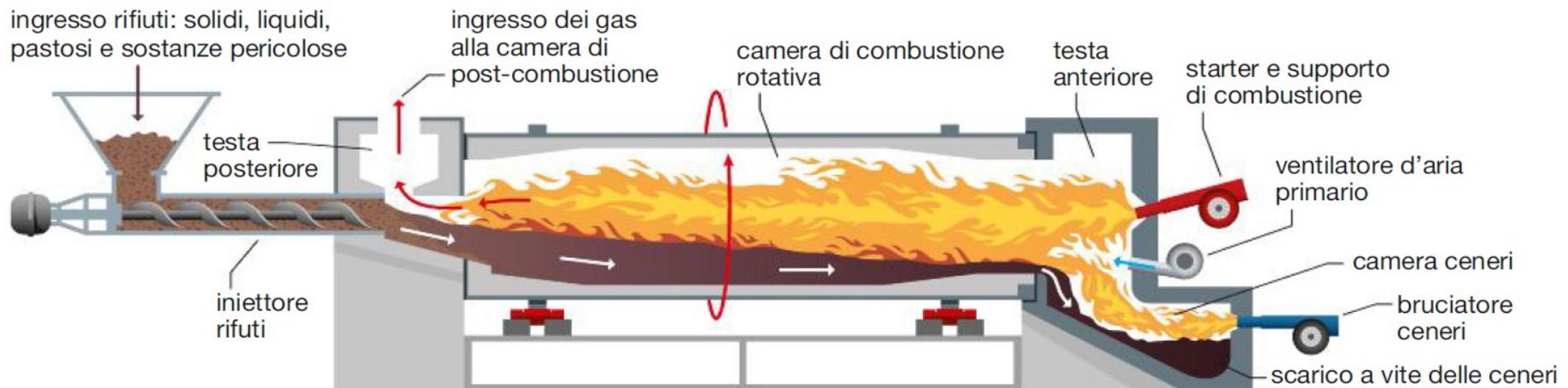
utilizzati nella combustione dei rifiuti solidi. Le griglie possono essere mobili per mantenere i rifiuti in movimento continuo così da avere un miglior rimescolamento e un più diffuso contatto con l'aria.



Tecnologie di incenerimento dei rifiuti /2

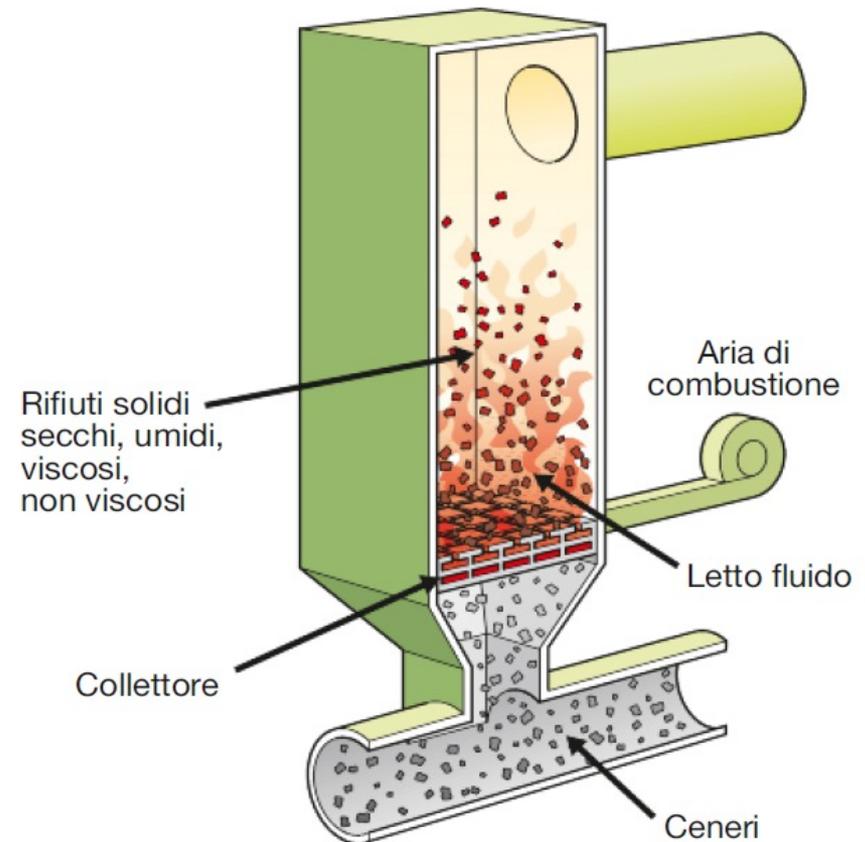
Inceneritori a tamburo rotante:

forno cilindrico di materiale refrattario inclinato, rivestito esternamente in acciaio, che ruota lentamente per favorire la miscelazione dei rifiuti.



Tecnologie di incenerimento dei rifiuti /3

Inceneritori a letto fluido: camera di combustione con al fondo un letto di sabbia le cui particelle sono mantenute in sospensione da una corrente ascendente di aria calda. La turbolenza mantiene in forte agitazione tutti i componenti del sistema (rifiuti, aria, sabbia) che vengono così miscelati in modo uniforme.



Tecnologie di incenerimento dei rifiuti /4

Tecnologie utilizzate per limitare al massimo le emissioni inquinanti residue dal trattamento di rifiuti particolarmente pericolosi o tossici:

- **Termodistruzione ad arco di plasma**
- **Termodistruzione in vetro fuso**
- **Termodistruzione in bagno di sali fusi**
- **Bruciatori in fibra ceramica**

Abbattimento delle emissioni inquinanti /1

1. Abbattimento a secco degli ossidi di azoto **NO_x** con l'iniezione di ammoniaca
2. Iniezione di calce idrata e carboni attivi che completa le reazioni precedenti. **Filtro a maniche** in tessuto che cattura il particolato
3. Iniezione di sodio bicarbonato e carboni attivi che abbatte i gas acidi (**SO_x**) mentre un secondo filtro a maniche esegue un'ulteriore rimozione delle polveri
4. Il trattamento finale prima dell'emissione in atmosfera è affidato a un **sistema catalitico DeNO_x SCR** che utilizza ammoniaca in presenza di catalizzatore

Abbattimento delle emissioni inquinanti /2

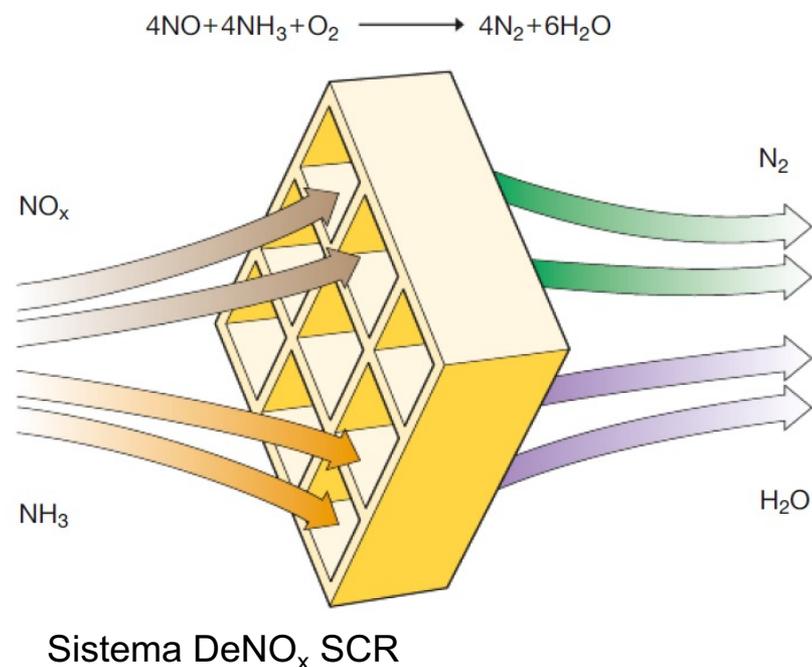
Rimozione degli ossidi di zolfo (SO_x):

- **Tecniche primarie:** iniezione in camera di combustione di reagenti, detti anche sorbenti (principalmente CaCO_3 e $\text{Ca}(\text{OH})_2$) con produzione di CaSO_4 sotto forma di fango o polvere poi avviato alla discarica controllata
- **Tecniche secondarie: *scrubber*** = condotto al cui interno fluisce la corrente gassosa da depurare che interagisce con una sostanza che ha il compito di catturare l'inquinante (*wet scrubber* o *dry scrubber* a seconda che la sostanza assorbente sia liquida o solida)

Abbattimento delle emissioni inquinanti /3

Rimozione degli ossidi di azoto (NO_x):

- **Azioni primarie:** riduzione della temperatura di combustione e del rapporto aria/combustibile
- **Azioni secondarie:** iniezione di ammoniaca, urea o altri composti riducenti che reagiscono con i fumi:
 - *non selective catalytic reduction* (NSCR)
 - *selective catalytic reduction* (SCR)



Produzione e utilizzi del compost

Viene definito **compost** il prodotto della decomposizione dei rifiuti di natura organica svolta da batteri e altri microrganismi tipicamente aerobi (muffe, lieviti) oltre a protozoi.

- può rappresentare un substrato nutritivo per impieghi agricoli
- può innescare un processo naturale di biorisanamento dei suoli contaminati
- può rappresentare una soluzione al problema dello smaltimento dei fanghi attivi che si producono negli impianti di depurazione delle acque reflue



Schema del processo di compostaggio /1

Il processo di compostaggio si compie in tre fasi principali:

- 1. Mesofila:** abbondante sviluppo microbico per l'ampia disponibilità di nutrienti e le condizioni di aerobiosi
- 2. Termofila o di stabilizzazione:** alta temperatura; vengono eliminati i batteri patogeni e i semi delle piante infestanti.

Si sviluppano batteri sporigeni aerobi e forme fungine che degradano la cellulosa. Sono presenti attinomiceti e streptomiceti termofili, in grado di degradare polimeri naturali come cellulose.



Muffa *Mucor*

Schema del processo di compostaggio /2

3. Raffreddamento e maturazione: la temperatura raggiunge i valori ambientali grazie ai microrganismi mesofili.

Si avvia il processo di nitrificazione.

Calo della componente batterica proteolitica, cellulolitica e pectinolitica e aumento di quella fungina e degli attinomiceti.

La cellulosa viene degradata da basidiomiceti e deuteromiceti; enterobatteri agiscono per la fissazione dell'azoto.



Pleurotus ostreatus

I microrganismi responsabili della degradazione

Batteri: rappresentano la maggior parte dei microrganismi presenti nel materiale in decomposizione. Di particolare importanza gli **attinomiceti**.

Funghi: muffe e forme filamentose appartenenti prevalentemente ai deuteromiceti (ma anche ascomiceti e basidiomiceti)

Protozoi e microfauna: colonizzano il compost quando è raggiunta la fase di stabilizzazione (sia microrganismi che forme superiori es. vermi e insetti)

Fattori condizionanti nel processo di compostaggio

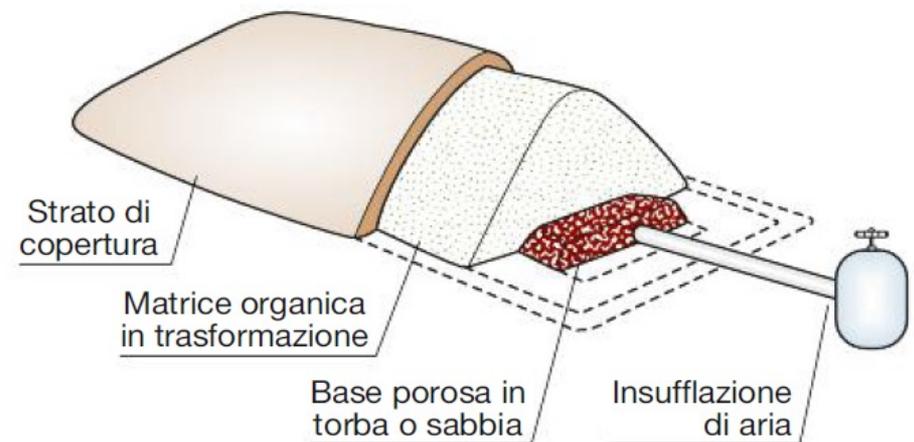
- **Umidità:** ottimale fra il 50 e il 70%
- **Temperatura:** l'attività metabolica dei microrganismi genera calore, arrivando ai 70-80 ° C
- **pH:** basso nelle prime fasi per la produzione di acidi organici; alto nella fase di ammonificazione; neutro a stabilizzazione
- **Ossigeno:** fondamentale per garantire che i processi si svolgano in aerobiosi
- **Rapporto C/N:** ottimale fra i valori di 25 e 35
- **Carica microbica di partenza:** una carica microbica elevata favorisce l'avviamento e il mantenimento ottimale del processo di compostaggio

Tecnologie utilizzate per il compostaggio /1

Per il compostaggio possono essere utilizzati **sistemi aperti** o **sistemi chiusi**.

Nei **sistemi aperti** il materiale può essere:

- rivoltato periodicamente a mano o con apposite macchine (**cumuli rivoltati**)
- sistemato in cumuli con aerazione forzata dalla base o aspirazione/ventilazione dalla superficie (**cumuli statici aerati**)



Cumuli statici aerati

Tecnologie utilizzate per il compostaggio /2

Nei **sistemi chiusi** si utilizzano **bioreattori** per il compostaggio (chiusi o aperti) che prevedono la combinazione di tecniche di aerazione e movimentazione della massa.

Si tende a utilizzare questi sistemi per le prime fasi del processo, per poi trasferire il materiale in cumuli aperti.

I sistemi più utilizzati sono:

- **sili**
- **biocelle**
- **trincee dinamiche**

