



**APAT**

Agenzia per la protezione  
dell'ambiente  
e per i servizi tecnici

# **Digestione anaerobica della frazione organica dei rifiuti solidi**

*Aspetti fondamentali, progettuali, gestionali,  
di impatto ambientale ed integrazione  
con la depurazione delle acque reflue*

---

Informazioni legali

*L'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici o le persone che agiscono per conto dell'Agenzia stessa non sono responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in questo rapporto.*

APAT - Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici  
Via Vitaliano Brancati, 48 - 00144 Roma  
[www.apat.it](http://www.apat.it)

APAT, Manuali e linee guida

Riproduzione autorizzata citando la fonte

Grafica di copertina: Franco Iozzoli  
Foto di copertina: Paolo Orlandi

## **AUTORI**

*Prof. Franco Cecchi - Università degli Studi di Verona, Dipartimento Scientifico e Tecnologico.*

*Strada Le Grazie 15, 37134 Verona.*

*Responsabile Scientifico e coordinatore*

*Prof. Paolo Battistoni - Università Politecnica delle Marche di Ancona, Istituto di Idraulica ed Infrastrutture Varie.*

*Via Brece Bianche s/n, 60131 Ancona.*

*Co-autore*

*Prof Paolo Pavan - Università Cà Foscari di Venezia, Dipartimento di Scienze Ambientali.*

*2137 Dorsoduro, 30123 Venezia*

*Co-autore*

*Dr. David Bolzonella - Università degli Studi di Verona, Dipartimento Scientifico e Tecnologico.*

*Strada Le Grazie 15, 37134 Verona.*

*Co-autore*

*D.ssa Laura Innocenti - Università Cà Foscari di Venezia, Dipartimento di Scienze Ambientali.*

*2137 Dorsoduro, 30123 Venezia*

*Co-autore*

## Premessa

La direzione strategica verso cui si muove il sistema di gestione dei rifiuti è il miglioramento alla fonte della qualità delle matrici riutilizzabili e la riduzione della quantità dei rifiuti prodotti. Ciò al fine di contenere l'impatto sulla salute umana e l'ambiente e permettere di sviluppare le più appropriate tecnologie di trattamento.

Questo approccio comporta inevitabilmente considerazioni sulle fonti di energia utilizzabili ed il loro riflesso sull'ambiente attraverso un'ampia visione che non si limiti al bilancio locale o addirittura dell'impianto specifico, ma che consideri l'analisi dell'intero ciclo di vita dei materiali utilizzati, con particolare attenzione alle sostanze nocive presenti nelle materie prime e nei rifiuti. Irrinunciabilmente, quindi, la strategia passa per quella che è ormai prassi dovuta per legge: la raccolta differenziata, il riciclaggio e la valorizzazione delle risorse seconde. In questo contesto potrà assumere una funzione sempre più importante il trattamento della frazione organica dei rifiuti mediante digestione anaerobica, che consente di abbinare il recupero di materia al recupero di energia.

L'APAT, nell'ambito delle attività di supporto all'Osservatorio Nazionale sui Rifiuti (ONR), si è, pertanto, impegnata all'elaborazione del presente Manuale che si configura come un valido supporto agli Enti locali preposti per il rilascio delle autorizzazioni e al controllo degli impianti nonché ai progettisti e gestori degli stessi, fornendo delle linee guida utili per la scelta progettuale e la gestione degli impianti del processo di digestione anaerobica.

In particolare sono stati ampiamente descritti e sviluppati gli argomenti relativi alla descrizione del processo, affrontando gli aspetti chimico – fisici, biochimici, microbiologici e cinetici che caratterizzano le diverse fasi della digestione anaerobica: l'idrolisi l'acidogenesi e la metanogenesi. E' stato, inoltre, approfondito il trattamento dei rifiuti urbani valutando sia i parametri di esercizio del reattore che i parametri di stabilità del processo di digestione anaerobica della frazione organica selezionata da rifiuti, nonché il dimensionamento dei reattori di digestione sulla base dei parametri operativi e dei fattori di carico.

I processi anaerobici possono essere suddivisi in base al numero di fasi (una o due), al regime termico (mesofilia o termofilia), al tipo di rifiuto trattato ed al tenore di solidi contenuti nel rifiuto. Nella descrizione dei differenti processi di digestione anaerobica, si è scelto inizialmente di distinguere tra processi ad una ed a due fasi, nell'ambito di queste classi si sono individuati i differenti processi applicati su scala industriale distinguendoli sulla base delle concentrazioni di solidi che caratterizza il rifiuto organico trattato distinguendo i processi in:

wet                   ⇒ *con contenuto in solidi fino al 10%*

semi – dry       ⇒ *solidi compresi tra 15-20%*

dry                   ⇒ *solidi > del 20%*

E' stata inoltre, a completamento del lavoro, condotta una analisi degli elementi di impatto ambientale e delle misure compensative.

L'applicazione della digestione anaerobica al trattamento dei rifiuti consente sia di conseguire un notevole recupero energetico, attraverso l'utilizzo del biogas prodotto, sia di produrre, attraverso il trattamento aerobico del fango digerito, un residuo stabilizzato impiegabile come ammendante organico in agricoltura o per ripristini ambientali.

L'aspetto del recupero energetico è senza dubbio quello più interessante, in quanto il biogas prodotto, costituito per la maggior parte da metano (circa il 50-60%), ha un elevato potere calorifico (4000-5000 kcal/Nm<sup>3</sup>) e pertanto può essere convenientemente convertito in quasi tutte le forme di energia utili: calore, elettricità e cogenerazione (produzione congiunta di elettricità e calore). Le applicazioni più frequenti prevedono la sua combustione in motori endotermici, che consente la produzione di energia elettrica e termica in quantità sensibilmente superiore agli autoconsumi dell'impianto, utilizzando apparecchiature dotate di elevata semplicità impiantistica e gestionale.

Un altro aspetto di importanza non trascurabile consiste nella possibilità di recuperare materiali riutilizzabili dalle operazioni preliminari di selezione o da quelle successive di raffinazione, ed in particolare metalli (ferrosi e non ferrosi) e frazione combustibile.

Il rinnovato interesse verso questa tecnologia è in parte dovuto allo sviluppo di alcuni brevetti che consentono di operare con concentrazioni di solidi in alimentazione ai digestori, variabili tra il 15 ed il 35%, valori questi decisamente superiori a quelli comunemente utilizzati nei tradizionali reattori impiegati per il trattamento dei fanghi prodotti dagli impianti di depurazione, valutabili nell'ordine del 5-8%. Tali concentrazioni permettono di conseguire rendimenti elevati sia in termini di quantità di rifiuti trattabili e contrazione dei tempi di permanenza, che di produzione di biogas, con conseguente riduzione dei costi di investimento e dei fabbisogni energetici per il riscaldamento dei digestori e per la disidratazione dei fanghi digeriti.

Nei paragrafi successivi verranno illustrati i principali reparti di un impianto di digestione anaerobica dei rifiuti, sia indifferenziati sia provenienti da raccolta selezionata dell'organico, anche eventualmente in codigestione con fanghi da depurazione civile.

Verranno descritte, negli aspetti progettuali e gestionali, le principali operazioni unitarie che costituiscono il processo e le apparecchiature utilizzate. Si illustreranno le possibilità di utilizzo o di smaltimento dei prodotti e dei residui originati dal ciclo di trattamento e le modalità con cui può essere utilizzato, all'interno o all'esterno dell'impianto, il biogas prodotto dalla metanizzazione dei rifiuti. Verranno, inoltre, fornite indicazioni sul dimensionamento di una linea di trattamento e presentati bilanci di massa ed energia.

I parametri di progetto vengono forniti al progettista dai piani provinciali di gestione dei rifiuti, nei quali vengono definiti:

- tipologia e numero di impianti;
- localizzazione;
- potenzialità;
- caratteristiche dei rifiuti da trattare.

Il punto di partenza fondamentale è l'analisi di tutti quei fattori che caratterizzano il bacino d'utenza. In particolare si dovranno valutare:

- le caratteristiche del territorio;
- la situazione demografica;
- la quantità e qualità dei rifiuti prodotti;
- lo stato della raccolta e le preesistenze impiantistiche.

Solo da un'analisi approfondita e dettagliata di tali fattori potrà scaturire una corretta pianificazione del sistema di gestione dei rifiuti, finalizzata alla definizione del sistema di raccolta da adottare nel bacino e delle strutture che dovranno essere realizzate per far fronte ai fabbisogni impiantistici di trattamento e smaltimento.

Il Direttore generale dell'APAT  
Ing. Giorgio Cesari

Il Presidente dell'ONR  
Dott. Massimo Ferlini

# I N D I C E   G E N E R A L E

## **1. IL PROCESSO DI DIGESTIONE ANAEROBICA: ELEMENTI DI BASE**

### *1.1 Generalità sul processo*

#### 1.1.2 Fasi del processo di digestione anaerobica

### *1.2 Biochimica e chimica-fisica del processo di digestione anaerobica*

#### 1.2.1 Biochimica del processo

#### 1.2.2 Chimica-fisica del processo: deassorbimento del biogas

### *1.3 Cinetiche microbiologiche di reazione*

#### 1.3.1 Effetto della temperatura sulle cinetiche di reazione

#### 1.3.2 Coefficienti cinetici per le diverse fasi dei processi di digestione anaerobica

### *1.4 Tossicità dell'ambiente di crescita*

#### 1.4.1 Tossicità da substrato

#### 1.4.2 Tossicità derivante da elementi inibenti

### *1.5 Schemi di processo di digestione anaerobica*

#### 1.5.1 Parametri di gestione del processo nei reattori di digestione anaerobica

##### 1.5.1.1 Parametri di gestione del reattore

##### 1.5.1.2 Parametri di stabilità del processo

#### 1.5.2 Processi continui

##### 1.5.2.1 Processo in reattore continuo completamente miscelato senza ricircolo (CSTR)

##### 1.5.2.2 Processo in reattore continuo con ricircolo

##### 1.5.2.3 Processo continuo in reattore con flusso a pistone

##### 1.5.2.4 Processo continuo con ricircolo in reattore con flusso a pistone

##### 1.5.2.5 Processo continuo a fasi separate

#### 1.5.3 Processo discontinuo

## **2. LA FRAZIONE ORGANICA DEI RIFIUTI URBANI**

### **2.1 Il rifiuto urbano**

#### 2.1.1 La frazione organica da selezione meccanica

#### 2.1.2 La frazione organica da raccolta differenziata

### **3. APPLICAZIONE INDUSTRIALE DELLA DIGESTIONE ANAEROBICA DEI RIFIUTI URBANI**

#### *3.1 Stato dell'applicazione industriale della digestione anaerobica in Europa*

#### *3.2 Processi di digestione a fase unica*

##### *3.2.1 Digestione wet*

###### *3.2.1.1 Prestazioni del processo wet*

###### *3.2.1.2 Applicazioni industriali del processo wet*

##### *3.2.2 Digestione semi-dry*

###### *3.2.2.1 Prestazioni del processo semi-dry*

###### *3.2.2.2 Applicazioni industriali del processo semi-dry*

##### *3.2.3 Digestione dry*

###### *3.2.3.1 Prestazioni del processo dry*

###### *3.2.3.2 Applicazioni industriali del processo dry*

#### *3.3 Processi di digestione a due fasi*

##### *3.3.1 Processi con schema senza ritenzione della biomassa*

##### *3.3.2 Prestazioni del processo*

##### *3.3.3 Applicazioni industriali*

##### *3.3.4 Sistemi con schema a ritenzione della biomassa*

##### *3.3.5 Prestazioni del processo*

##### *3.3.6 Applicazioni industriali*

#### *3.4 I processi batch*

##### *3.4.1 Rese del processo*

##### *3.4.2 Applicazioni industriali*

### **4. LA PROGETTAZIONE DEGLI IMPIANTI DI DIGESTIONE ANAEROBICA DEI RIFIUTI**

#### *4.1 Generalità*

#### *4.2 Aspetti progettuali*

##### *4.2.1 Individuazione dei dati di progetto*

##### *4.2.2 Dimensioni del bacino*

##### *4.2.3 Fattori caratteristici del bacino*

##### *4.2.5 Indicazioni sui livelli di progettazione degli impianti di trattamento rifiuti*

#### *4.3 Descrizione dei reparti dell'impianto*

##### *4.3.1 Ricezione dei rifiuti*

##### *4.3.2 Pretrattamento dei rifiuti*

##### *4.3.3 Preparazione del substrato*

#### *4.4 Dimensionamento dei reattori per la digestione anaerobica della frazione organica selezionata*

##### *4.4.1 Modelli e costanti cinetiche*

##### *4.4.2 Dimensionamento di un digestore anaerobico per il trattamento della frazione organica selezionata sulla base dei parametri operativi e dei fattori di carico*

##### *4.4.3 Sistemi di agitazione per l'omogeneizzazione del substrato*

#### *4.5 Produzione, depurazione ed utilizzo del biogas*

#### *4.6 Disidratazione dei fanghi*

#### *4.7 Stabilizzazione e raffinazione del fango digerito*

#### *4.8 Stoccaggio finale dei prodotti*

#### *4.9 Dimensionamento della linea*

#### *4.10 Bilancio di massa dell'impianto*

#### *4.11 Bilancio energetico dell'impianto*

## **5. TRATTAMENTO INTEGRATO DELLE ACQUE REFLUE E DELLA FRAZIONE ORGANICA DEI RIFIUTI SOLIDI URBANI**

### *5.1 Introduzione*

### *5.2 Le caratteristiche chimico - fisiche delle acque reflue civili*

### *5.3 Processi di rimozione biologica dei nutrienti*

5.3.1 Il bilancio di massa per un impianto di rimozione biologica del solo carbonio

5.3.2 I processi per la rimozione biologica dei nutrienti

5.3.3 La rimozione biologica dell'azoto e la precipitazione chimica del fosforo

5.3.4 Strategie progettuali per dare elasticità di esercizio all'impianto

### *5.4 Uso di carbonio interno ed esterno*

5.4.1 Il carbonio interno

5.4.2 Il carbonio esterno

5.4.2.1 La frazione organica dei rifiuti solidi urbani come sorgente di carbonio esterno

### *5.5 Impatto dell'uso di fermentato di FORSU nel processo di trattamento delle acque reflue civili*

5.5.1 La base di calcolo

5.5.2 Il processo DN

5.5.3 Il processo BNR

### *5.6 Il processo integrato*

5.6.1 Lo schema di processo

5.6.2 I bilanci di massa del processo AF – BNR - SCP

5.6.3 Valutazione economica del processo integrato

5.6.4 La codigestione

5.6.5 Elementi per la progettazione

### *5.7 L'impianto di trattamento acque reflue di Treviso*

5.7.1 L'area dimostrativa FORSU

5.7.2 L'area SCP

### *5.8 Bibliografia*

## **6. ANALISI DEGLI ELEMENTI D'IMPATTO AMBIENTALE E MISURE COMPENSATIVE**

### *6.1 Generalità*

### *6.2 Polveri*

### *6.3 Emissioni odorose*

### *6.4 Rumore*

### *6.5 Trattamento reflui*