

Applicazione industriale del processo di digestione anaerobica

Ing. Isabella Pecorini

WVG-DIEF, Waste Valorization Group - Dipartimento di Ingegneria Industriale
Università degli Studi di Firenze



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

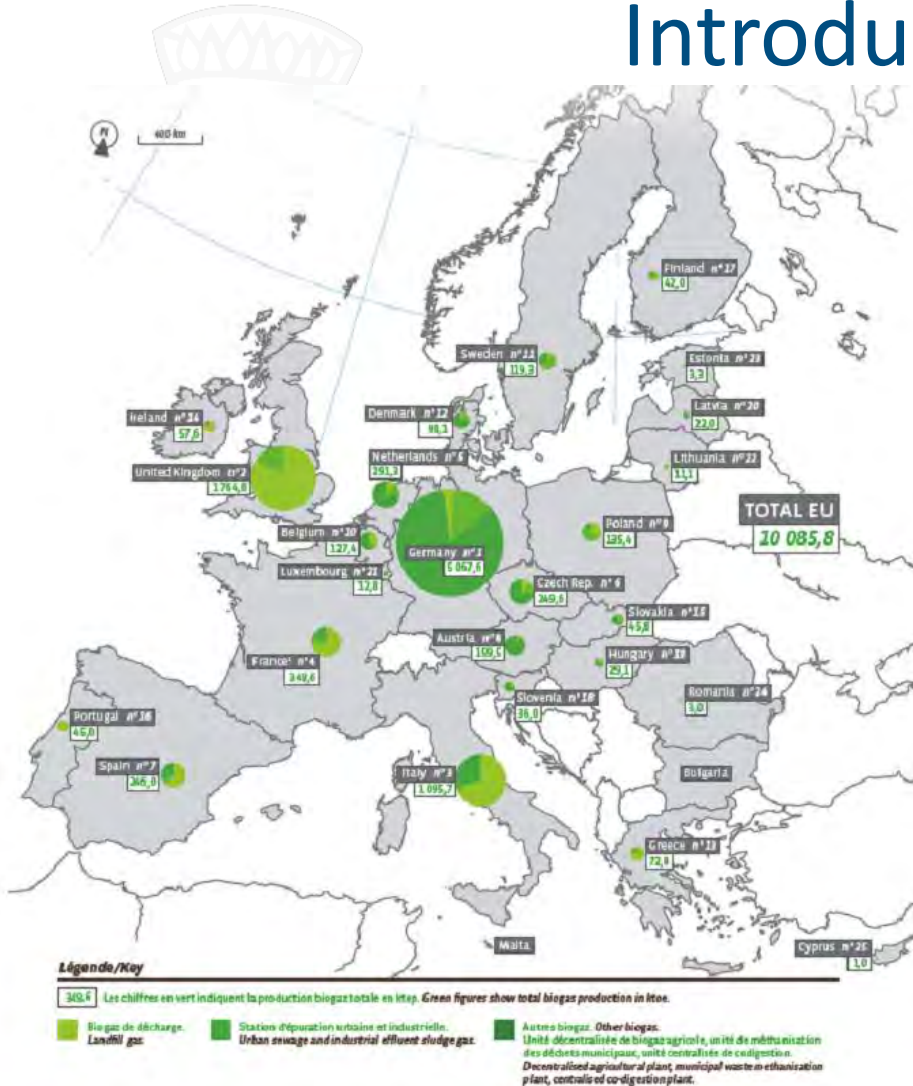
DIEF

DIPARTIMENTO
DI INGEGNERIA
INDUSTRIALE

Obiettivi

- ☐ Analizzare il processo industriale: input, output e parametri di controllo e gestione
- ☐ Descrivere lo stato dell'arte delle tecnologie utilizzate
- ☐ Confrontare le differenti tecnologie
- ☐ Approfondire alcuni “temi caldi”:
 - ☐ Utilizzo del digestato
 - ☐ Incentivi
 - ☐ Biometano

Introduzione

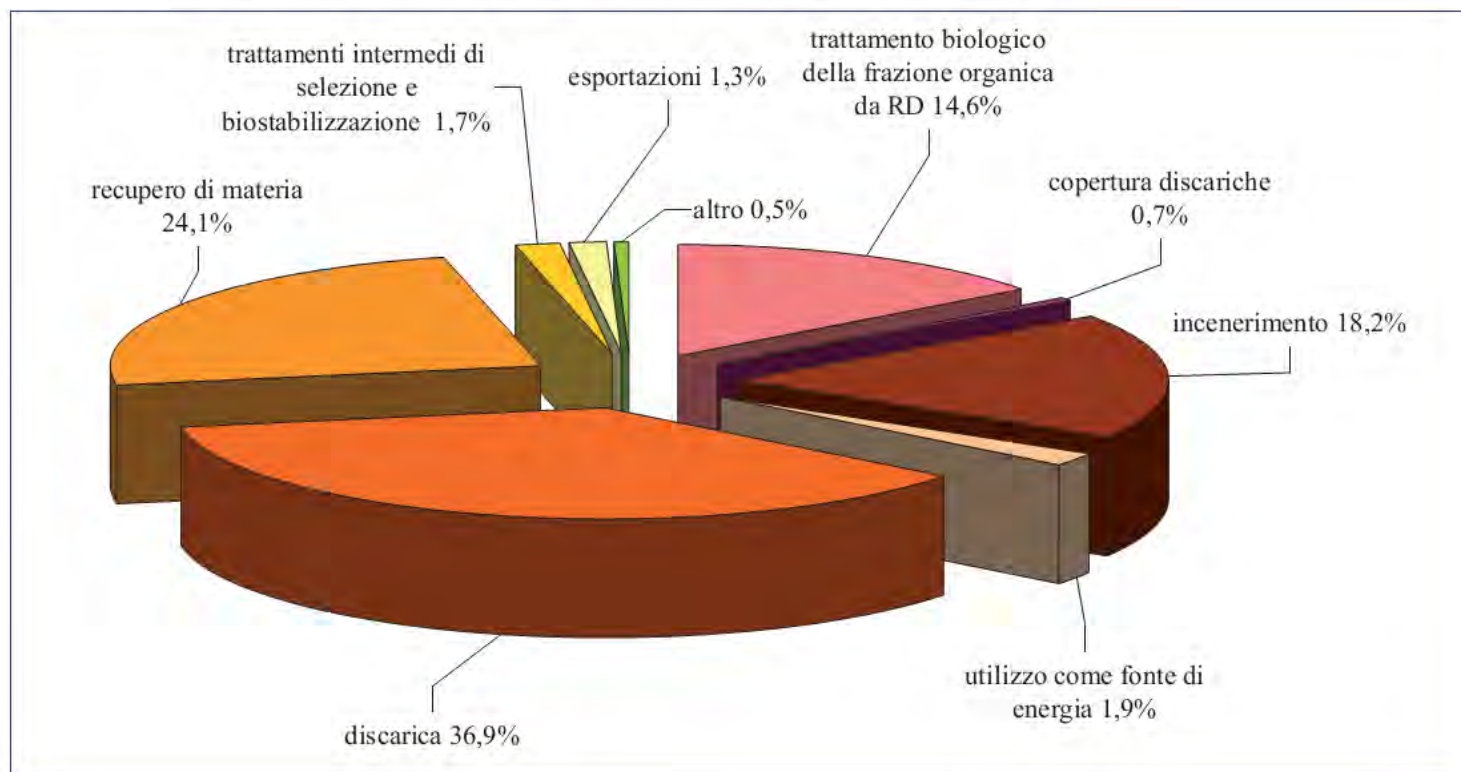


Dal Rapporto Rifiuti Urbani 2014 di ISPRA, circa **3,8 milioni di tonnellate di rifiuti urbani sono recuperate in impianti di compostaggio** (+0,7% rispetto al 2012); la digestione anaerobica, con quasi **527 mila tonnellate di rifiuti urbani trattati**, fa, invece, registrare una flessione del 7,9% rispetto al 2012.

Relativamente alla Toscana, nell'ambito della quadro conoscitivo sulle modalità di gestione dei rifiuti urbani, ISPRA non riporta la presenza di impianti di digestione anaerobica operativi nel 2013.

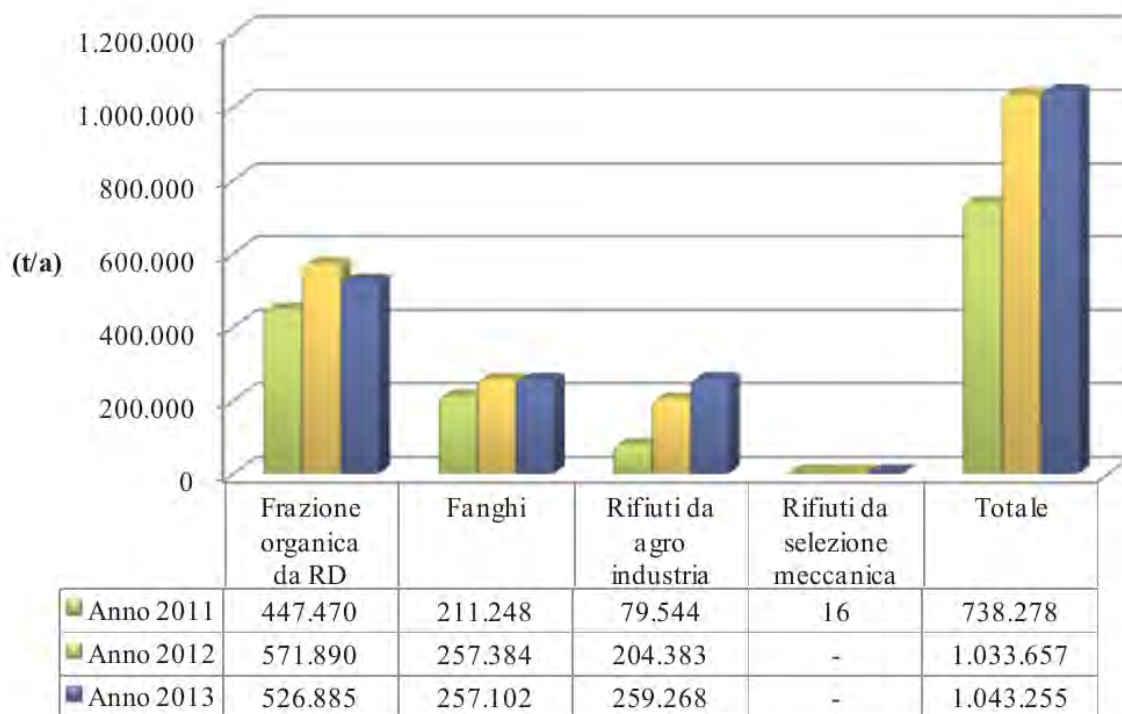
Introduzione

Ripartizione percentuale della gestione dei rifiuti urbani, anno 2013



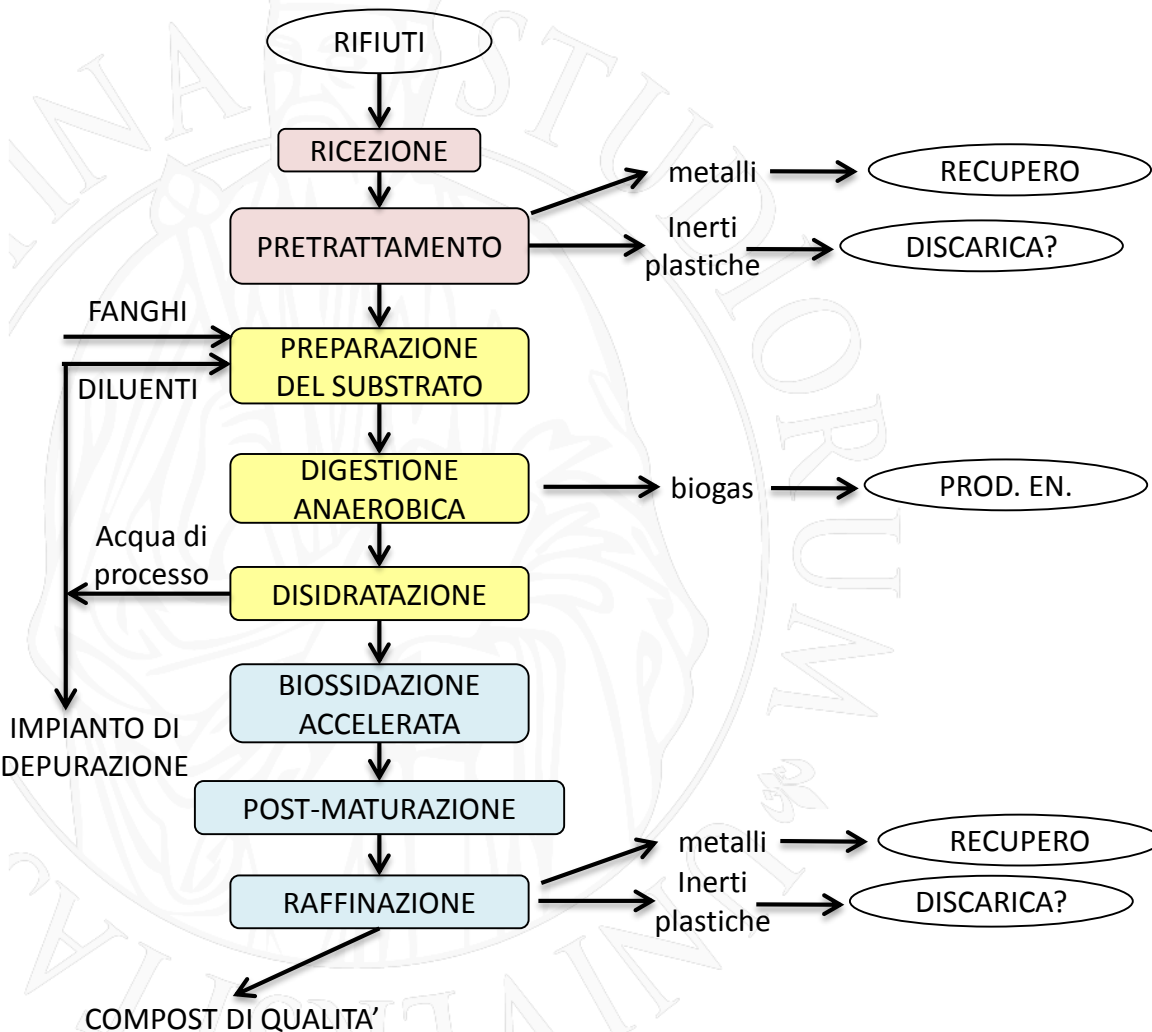
Nel 2013, circa **3,8 milioni** di tonnellate di rifiuti urbani sono recuperate in impianti di compostaggio (+0,7% rispetto al 2012); la digestione anaerobica, con quasi **527 mila tonnellate** di rifiuti urbani trattati, fa, invece, registrare una flessione del 7,9% rispetto al 2012.

Introduzione



La crescente attenzione verso tale tipologia di gestione dei rifiuti, anche in **connessione al trattamento aerobico (compostaggio)** è dimostrata dallo sviluppo, nel corso degli anni, della dotazione impiantistica; nell'anno 2013, su un totale di 50 impianti censiti (45 impianti nel 2012 e 35 nel 2011), sono **43 gli impianti operativi, localizzati per l'86% nelle regioni del Nord, per il 2,3% nel Centro e per l'11,6% nel Sud**

Digestione anaerobica + Compostaggio



TRATTAMENTO
COMBINATO:

➡ **ANAEROBICO**
➡ **AEROBICO**

Substrati in ingresso



I **substrati** utilizzabili per la trasformazione in biogas sono vari:

- **Liquame suino.** Il contenuto di sostanza secca di questo effluente zootecnico varia dall'1 al 6%, a seconda della tipologia di allevamento di origine; dal liquame prodotto da un suino da ingrasso del peso vivo medio di 85 kg si possono ottenere mediamente 0,100 m³ di biogas al giorno.
- **Liquame bovino.** Il contenuto di solidi totali oscilla tra l'8 e il 15% e varia oltre che in funzione del tipo di allevamento anche in base alla quantità di paglia aggiunta nelle stalle. L'effetto di diluizione è minimo rispetto alle deiezioni suine sia per il metodo di rimozione generalmente usato (raschiatori), sia perché normalmente le zone calpestate dal bestiame vengono pulite e risciacquate con basse quantità di acqua; dal liquame prodotto da una vacca da latte del peso vivo medio di 500 kg si possono ottenere mediamente 0,750 m³ di biogas al giorno.
- **Deiezioni avicole.** Tra le varie deiezioni avicole, la pollina di galline ovaiole è quella che più si presta alla digestione anaerobica, perché l'allevamento in gabbie non prevede l'uso di lettiera. Le deiezioni asportate fresche presentano un contenuto in solidi totali del 18-20% e alto contenuto di azoto. L'ammoniaca, che si libera in presenza di acqua per idrolisi enzimatica, può raggiungere alte concentrazioni e inibire il processo di digestione e dare luogo a forti emissioni nella fase di stoccaggio del digestato. Inoltre, frequentemente la pollina contiene inerti che sedimentando possono causare problemi operativi e ridurre il volume utile dei reattori.

Substrati in ingresso



- **Residui colturali.** Si tratta di residui provenienti dai raccolti agricoli quali foraggi, frutta e vegetali di scarsa qualità, percolati da silos e paglia che possono essere addizionati come co-substrati alle deiezioni animali.
- **Culture non alimentari ad uso energetico.** La coltivazione di piante specifiche da avviare alla digestione anaerobica per la produzione di biogas può essere, in Europa, una soluzione per ridurre la sovrapproduzione agricola, ma anche una alternativa per l'utilizzo di aree incolte e a riposo o di aree irrigate con acque recuperate dai depuratori urbani. Nel corso degli ultimi anni molti studi sono stati effettuati su mais, sorgo, foraggi (ma anche altre colture hanno dimostrato di possedere un buon potenziale di produzione di biogas) per valutarne le caratteristiche ai fini del loro utilizzo energetico e la resa in biogas. Anche le tecnologie impiantistiche attualmente in via di sviluppo sono orientate all'introduzione di tali substrati, sia liquidi che solidi, nel digestore. L'uso delle colture energetiche come co-substrato, infatti, permette di ottimizzare la produzione di biogas e il riciclo dei nutrienti. Questo perché possono essere prodotte in azienda ed essere addizionate come co-substrati agli effluenti zootecnici direttamente o dopo insilamento e il digestato ottenuto a seguito del trattamento anaerobico può essere utilizzato per fertilizzare le aree agricole in cui le stesse vengono coltivate.

Substrati in ingresso



- **Scarti organici e acque reflue dell'agro-industria.** Le ingenti quantità di prodotti agricoli lavorati dall'industria alimentare producono reflui spesso avviabili alla digestione anaerobica. Si tratta, ad esempio, del siero di latte proveniente dall'industria casearia, di reflui liquidi dell'industria che processa succhi di frutta o che distilla alcool, ma anche degli scarti organici liquidi e/o semisolidi dell'industria della carne (macellazione e lavorazione della carne), quali grassi, sangue, contenuto stomacale, budella (vedi regolamento CE 1774/2002 "Norme sanitarie relative ai sottoprodotti di origine animale non destinati al consumo umano"). Questi ultimi possono essere addizionati come co-substrati nella digestione di liquami zootecnici e/o fanghi di depurazione. Il digestato risultante può essere utilizzato come ammendante sui terreni agricoli.

- **Fanghi di depurazione.** Costituiti da biomassa batterica e da sostanza inerte organica ed inorganica, sono il residuo del processo di depurazione delle acque reflue urbane e industriali. In questo caso la digestione anaerobica permette la stabilizzazione della sostanza organica e la distruzione di eventuali microorganismi patogeni, facilitando lo smaltimento finale.

Viste le problematiche insite nelle attuali normative di riferimento, non è consigliabile l'utilizzo dei fanghi di depurazione negli impianti di biogas aziendali per liquami zootecnici e/o biomasse agricole

Substrati in ingresso

- **Frazioni organiche di rifiuti urbani** La composizione media di questa frazione se derivante da raccolta differenziata secco-umido non differisce in modo sostanziale dall'organico raccoglibile da utenze selezionate, quali mercati all'ingrosso dell'ortofrutta e dei fiori, mercati ittici e rionali, esercizi commerciali di generi alimentari, punti di ristoro (pizzerie, ristoranti, ristorazione collettiva); la presenza di piccole quantità di plastica e vetro è in genere inferiore al 5% sul totale. Queste frazioni organiche presentano un elevato grado di putrescibilità ed umidità ($> 65\%$) che le rendono adatte alla digestione anaerobica. Il loro uso non è però consigliabile negli impianti di biogas aziendali per liquami zootecnici e/o biomasse agricole, a causa delle problematiche connesse alle normative di riferimento.



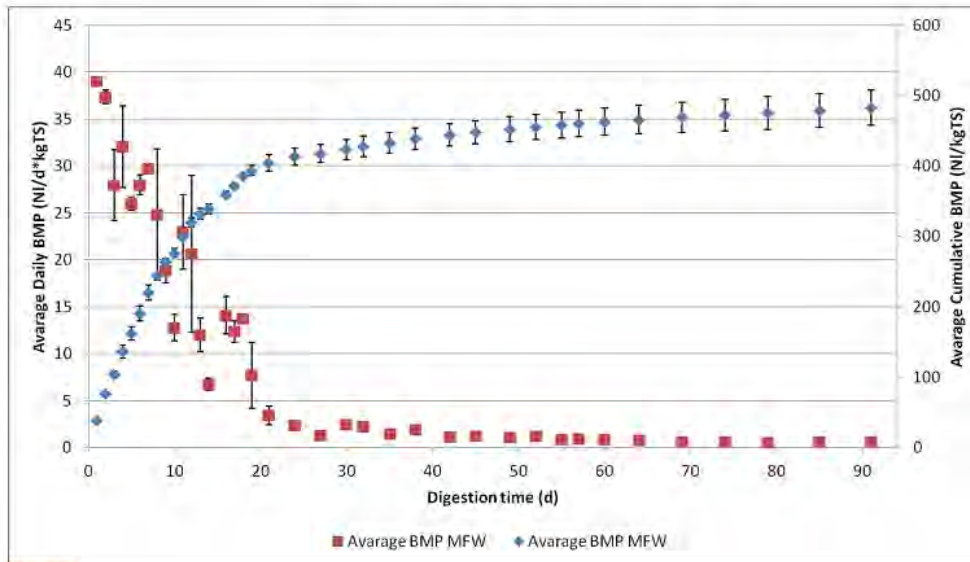
Biochemical Methane Potential (BMP)

BMP₂₁

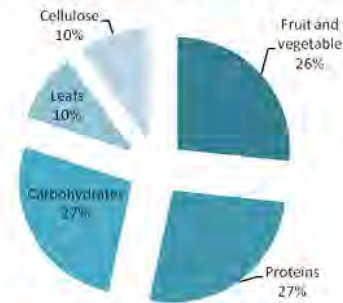
Biochemical Methane Potential a 21 giorni; è la produzione cumulata di biogas/metano calcolata come la somma delle produzioni giornaliere diviso per il quantitativo di TS/TVS alimentati al reattore (dopo 21 giorni la maggior parte di biogas è stata già prodotta)
Nm³/kg - Nm³/kgTS - Nm³/kgTVS

BMP_f

Biochemical Methane Potential finale;
Esistono diversi criteri per stabilire il momento finale.
Ad esempio quando la la produzione di biogas/metano è inferiore a quella del bianco (>90 giorni)
Oppure quando l'incremento giornaliero della cumulata è inferiore ad un limite scelto
Nm³/kg - Nm³/kgTS - Nm³/kgTVS



Substrato: Mixed Food Waste (MFW)



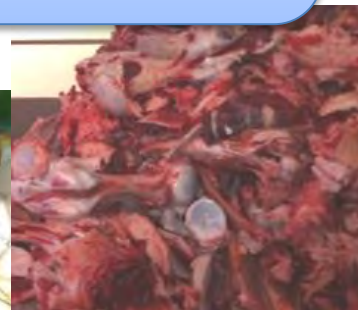
Substrati in ingresso

Biochemical Methane Potential (BMP)



Orto Frutta (OF)
Forneria
Generi vari (GV)
Sego e ossa

Identificativo	NL/kgTS	NL/kgVS
OF-MSW (MFW)	466	611
Proteins	452	617
Carbohydrates	477	632
Fruit and Veget	327	462
Yard and Garden waste	205	312
Dirty paper	377	504
Septic tank sludge	253	392
Waste activated sludge	128	198
Inoculum	65	108



Substrati in ingresso – alcuni CER



- ✓ frazione organica dei rifiuti solidi urbani raccolta separatamente [20 01 08] [20 03 02]
- ✓ rifiuti vegetali e animali da coltivazioni agricole [02 01 02] [02 01 03] [02 01 06]
- ✓ segatura, trucioli, frammenti di legno di sughero [03 01 01] [03 01 05] [03 03 01]
- ✓ rifiuti derivanti da attività agro-industriali [02 03 04] [02 05 01] [02 06 01] [02 07 01] [02 07 02] [02 07 04]
- ✓ fibra e fanghi di carta [03 03 09] [03 03 10] [03 03 11]
- ✓ fanghi di depurazione, [19 08 12] [19 08 14] [19 08 05] [02 02 01] [02 02 04] [02 03 05] [02 04 03] [02 05 02] [02 06 03] [02 07 05] [03 03 02] [04 01 07] [04 02 20]
- ✓ rifiuti da trattamento anaerobico [19 06 06]

Parametri di controllo DA

- ❑ I principali parametri che permettono di dimensionare, valutare e gestire il processo di digestione anaerobica si possono suddividere in due categorie:
 - ▶ **parametri di operazione del reattore:**
definiscono l'esercizio in termini di tempi di permanenza della massa alimentata nel reattore, di concentrazione dei microrganismi, di rese di produzione di biogas in relazione al volume del reattore ed alle caratteristiche del substrato trattato.
 - ▶ **parametri di stabilità dei processi biologici:**
obiettivo è il mantenimento di condizioni operative ottimali e stabili.
- ❑ Per la digestione anaerobica la fase controllante l'intero processo, cioè la metanogenesi, risulta particolarmente sensibile alle variazioni ambientali del mezzo di reazione. Di particolare importanza risultano parametri quali il pH, la concentrazione di acidi grassi volatili (VFA), l'alcalinità, il rapporto tra acidi grassi volatili ed alcalinità, la produzione e composizione percentuale del biogas, la temperatura ;

Gestione del processo DA

☐ GESTIONE REATTORE

- ▶ **tempo medio di residenza idraulico (HRT)**, [giorni]: rappresenta il tempo di permanenza di ogni elemento di fluido all'interno di un reattore. Ciò è vero in senso stretto per i soli reattori ideali, mentre nel caso dei reattori reali assumerà il senso di tempo di permanenza medio per i vari elementi di fluido. (compreso tra 10 e 30 giorni)
- ▶ **tempo medio di residenza dei solidi**, in prima approssimazione, o dei microrganismi (SRT) [giorni];
- ▶ **carico organico riferito al volume del reattore (OLR)** [kg substrato/m³ reattore giorno]: Il carico organico volumetrico di substrato applicato al reattore è definito come la quantità di substrato entrante nel reattore riferita all'unità di volume del reattore stesso ed al tempo.
- ▶ **produzione specifica di gas (SGP)** [m³ biogas/kg substrato VS alimentato]: Questo parametro rappresenta la quantità di biogas che viene prodotta per quantità di sostanza volatile alimentata al reattore ed è strettamente correlato alla biodegradabilità del substrato trattato (valori tipici 0.2 – 0.6).
- ▶ **velocità di produzione del biogas (GPR)** [m³ biogas/m³ reattore giorno]: definita come la portata di biogas prodotto rispetto al volume del reattore
- ▶ **efficienza di rimozione del substrato** [%] (40-70%).
- ▶ **Miscelazione**: favorire il contatto tra batteri e substrato, omogeneizzare le temperature, ottimizzare il rilascio di biogas, evitare la decantazione delle frazioni più pesanti.

☐ CARATTERIZZAZIONE DEL SUBSTRATO

Il substrato è generalmente definito, nell'ambito dei processi di digestione anaerobica, in termini di solidi totali (TS), di solidi totali volatili (TVS), di carbonio organico totale (TOC), di domanda chimica di ossigeno (COD) o, in alternativa a quest'ultima, di domanda biologica di ossigeno a 5 giorni (BOD5)

Stabilità dei processi biologici

□ STABILITA' DEL REATTORE:

- ▶ *pH*: fornisce un'indicazione sulla stabilità della reazione. In processi di DA stabili in genere il pH si attesta su valori compresi tra 6,5-7,5
- ▶ *Alcalinità*: rappresenta la capacità di un sistema di neutralizzare cambiamenti indotti nel suo pH
- ▶ *Produzione e composizione del biogas*: il monitoraggio di questi due parametri è di fondamentale importanza per il controllo della stabilità del processo di digestione anaerobica. Se il reattore sta operando in condizioni di stabilità la produzione e la composizione del biogas risultano costanti.
- ▶ *Temperatura*: dato che i processi di degradazione anaerobica sono determinati dall'attività di popolazioni microbiche eterogenee l'effetto delle variazioni di temperatura è particolarmente importante.

Il processo: le tecnologie

REGIME TERMICO

MESOFILIA (35-40 °C)

TERMOFILIA (50-60 °C)

TENORE DI SOLIDI

PROCESSO A UMIDO O WET
(TS < 10%)

SEMI-SECCO

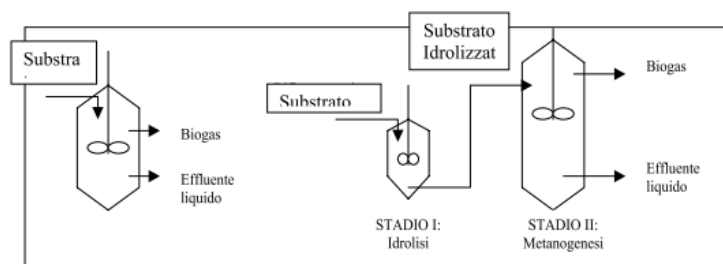
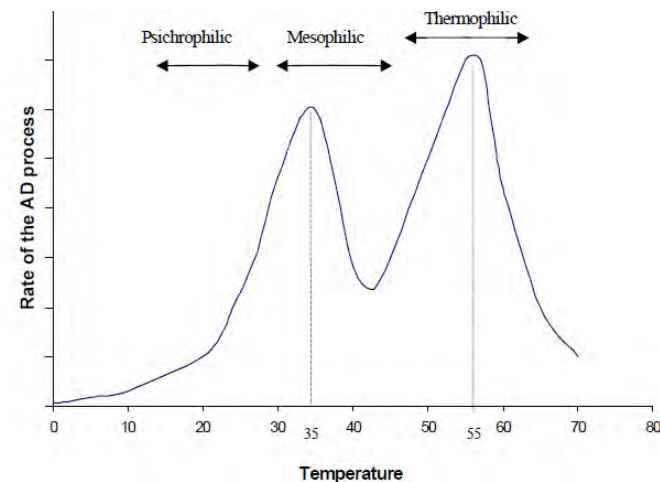
PROCESSO A SECCO O DRY
(TS < 25%)

NUMERO DI FASI

FASE UNICA (90%)

FASI SEPARATE (10%)

Primo stadio durante il quale il substrato organico viene idrolizzato e contemporaneamente avviene la fase acida, mentre la fase metanigena avviene in un secondo stadio. Disaccoppia le diverse velocità di degradazione



Il processo: le tecnologie

Parametro di processo	WET	SEMI-DRY	DRY
Solidi nel rifiuto trattato [%TS]	Fino al 15	15-20, fino a 25	25-40
Carico organico [kgVS/m ³ d]	2-4, fino a 6	8-12, fino a 18 in termofila	8-10
Tempo di ritenzione idraulica [d]	15-25	15-25	25-30
Rese di processo			
Produzione biogas [m ³ /t rifiuto]	100-150	100-150	90-50
Produzione specifica biogas [m ³ /kgVS]	0.4-0.5	0.3-0.5	0.2-0.3
Velocità produzione biogas [m ³ /m ³ d]	5-6	3-6	2-3
Contenuto di metano [%CH ₄]	50-70	55-60	50-60
Riduzione sostanza volatile [%]	50-60, fino a 70	40-50, fino a 60	50-70

Il processo: le tecnologie

Conferimento e
stoccaggio della
FORSU

Pre-trattamento
della FORSU

Recupero
energetico

Digestione
anaerobica

Stabilizzazione
aerobica del
digestato -
Compostaggio

Separazione solido-
liquido digestato

Spandimento in
agricoltura

Trattamento
dell'aria esausta

Trattamento delle
acque di processo

Il processo: le tecnologie

1 Tecnologia a Umido

**Pre-trattamento
della FORSU**

**Digestione
anaerobica**

**Separazione solido-
liquido digestato**

- Pulper
- Sistema di rimozione
inerti e sabbie

- Reattore a completa
miscelazione
monostadio (CSTR)
- Mesofilo

Centrifuga

2 Tecnologia a Semi-Secco

- Vagliatura
- Spremitura

- Reattore a flusso a
pistone (PFR)
- Termofilo

Pressatura

3 Tecnologia a Secco

- Triturazione
- Vagliatura

- Reattore batch
monostadio
- Mesofilo

-

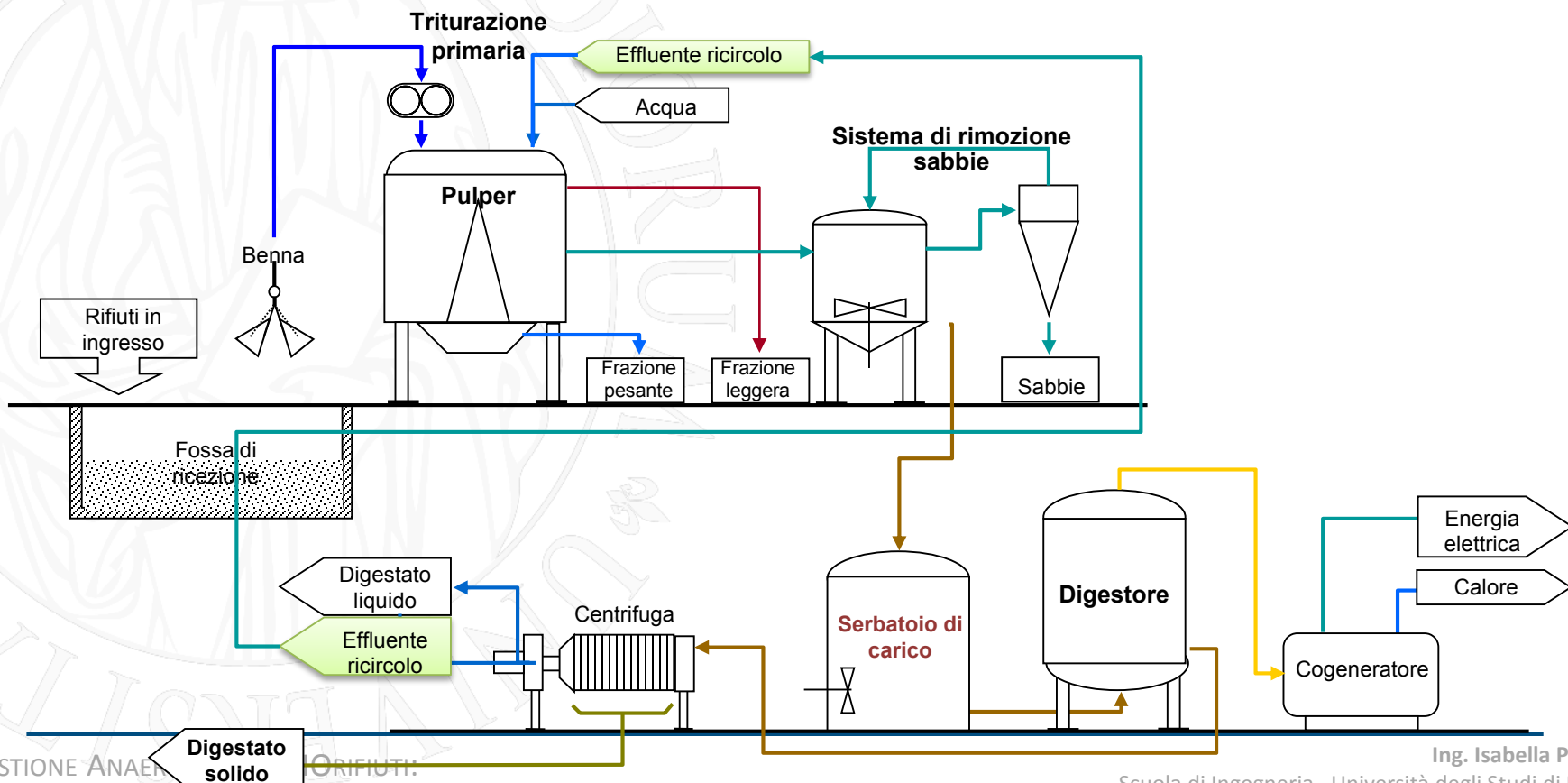
Il processo: le tecnologie

1 Tecnologia a Umido

-Pulper
- Sistema di rimozione
inerti e sabbie

**-Reattore a completa
miscelazione
monostadio (CSTR)**
-Mesofilo

Centrifuga



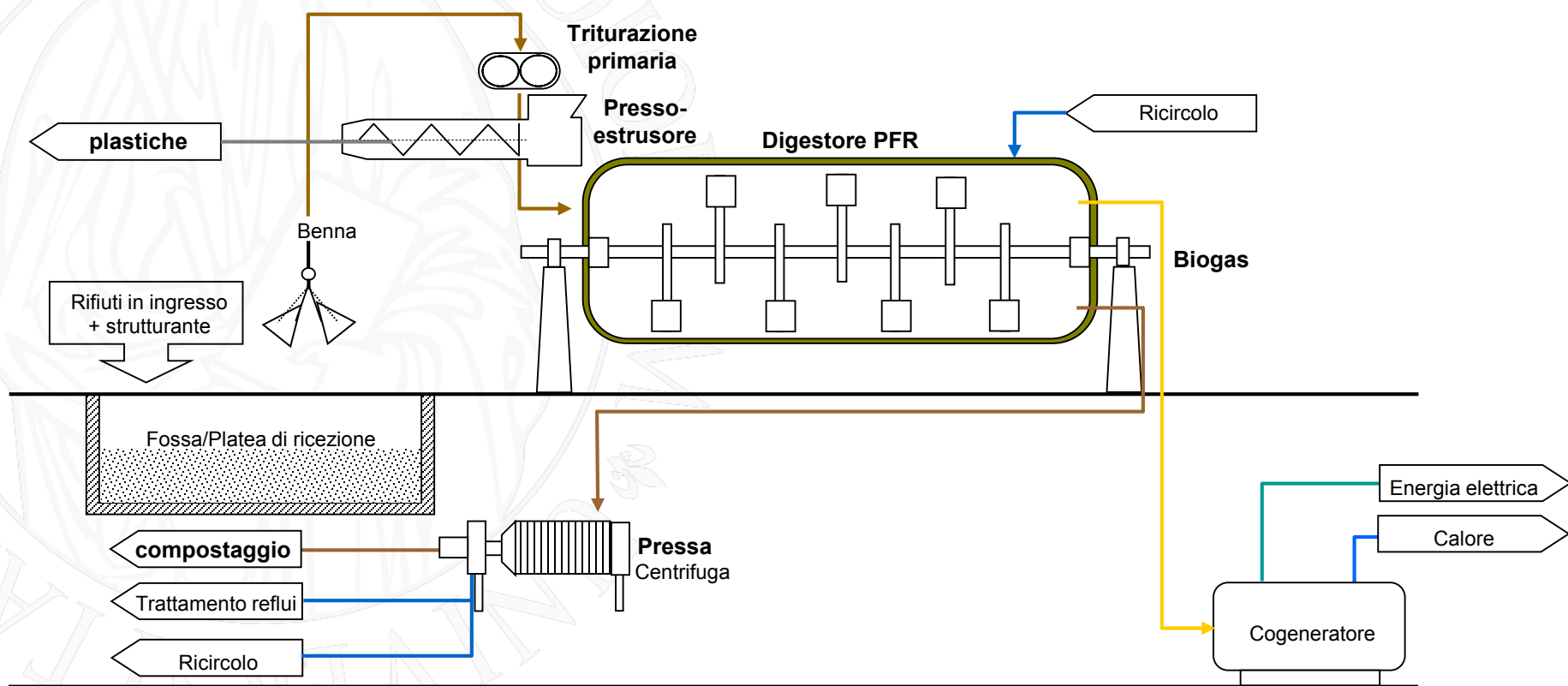
Il processo: le tecnologie

**2 Tecnologia a
Semi-Secco**

-Triturazione
-Vagliatura
-Spremitura

-Reattore a flusso
continuo (PFR)
-Termofilo

Pressatura



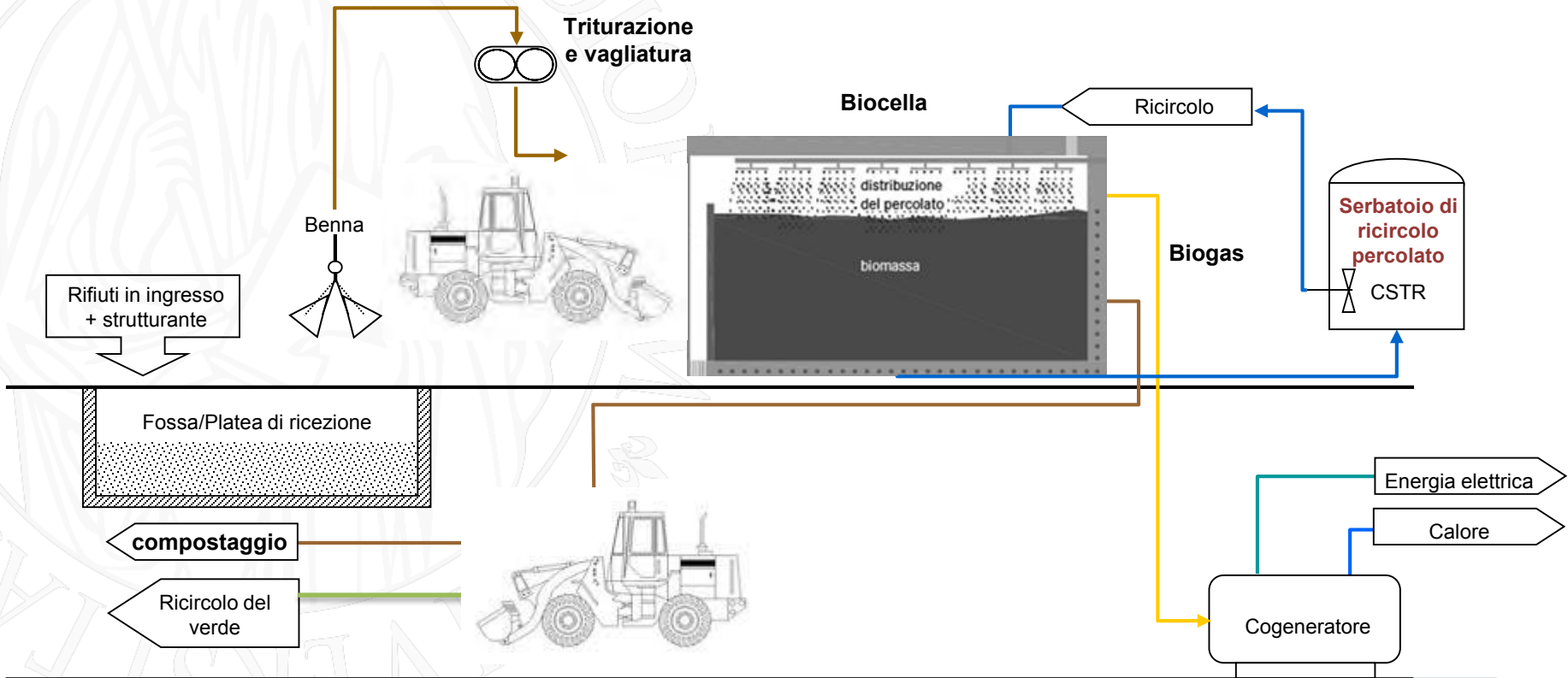
Il processo: le tecnologie

3 Tecnologia a Secco

-Triturazione
-Vagliatura

-Reattore batch
monostadio
-Mesofilo

-



Il processo: bilanci di massa

Tecnologia	Umido, CSTR	Secco, Batch	Semi-Secco, PFR
INPUT-DA			
FORSU [kg]	1000	1000	1000
Acqua Industriale [kg]	5	0	16
Acqua di ricircolo [kg]	2203	11	64
INPUT-SA			
Digestato disidratato [kg]	262	511	127
Materiale strutturante [kg]	148	0	91
Materiale strutturante ricircolo [kg]	43	246	44
OUTPUT-Sovvalli			
Scarti a smaltimento (DA) [kg]	176 FL=126 FP=12 I=38	164	550
Scarti a smaltimento (SA) [kg]	0	104	Plastiche 1.5
Reflui [kg]	444	11	259
OUTPUT-Prodotti			
Produzione Specifica Biogas [Nm ³]	105	75	130
Biogas prodotto [Nm ³]	110	44	58
CH ₄	62%	45%-65%	58%
Compost [kg]	171	414	105
ENERGIA - produzione			
EE [kW _{hel}]	268	79	131
ET [kW _{hel}]	168	83	146
ENERGIA - consumo			
EE [kW _{hel}]	72	65	40
ET [kW _{hel}]	70	np	30

Il processo: la codigestione

Visti sia la grande quantità di **fanghi prodotti negli impianti di depurazione** delle acque reflue che il grande numero di digestori anaerobici, presenti nel territorio italiano, atti alla stabilizzazione del fango, è stato osservato come la **co-digestione del rifiuto solido urbano** e dei fanghi potrebbe essere una via molto vantaggiosa in termini di produzione di energia. E' stato osservato comunque che l'aggiunta di **OFMSW, con un alto contenuto in TS, ad un digestore operante con un substrato a bassa concentrazione di solidi totali ha effetti stabilizzanti sul processo.**

Effetti di questo tipo sono stati ottenuti introducendo dosi di fango in percentuale tra **l'8% e il 20% dei TVS** del substrato.

Uno dei principali problemi analizzati da molti studiosi è stato quello di riuscire a trovare la **proporzione ottimale tra i due substrati** per ottimizzare la produzione di biogas e la sua composizione.

Company	Energy Crops	Sewage Sludge	Manure	Agri- Waste	Industrial Food waste	Source Seg. Waste	MSW as part of MBT
Arrowbio							✓
BEKON	✓					✓	
Biogas Nord	✓		✓			✓	
Bioscan			✓			✓	
BTA			✓		✓		
BWSC		✓	✓		✓		
Citec		✓			✓	✓	✓
Greenfinch	(✓) ¹⁾	✓ ²⁾	✓	✓		✓	
Haase			✓			✓	✓
Heise	✓		✓		✓	✓	✓
Kompogas					✓	✓	
Linde		✓		✓	✓	✓	✓
MT Energie	✓		✓		✓		
Organic Power	✓		✓		✓		
OWS	✓	✓	✓		✓	✓	✓
RCM			✓	✓			
Ros Roca	✓	✓	✓		✓		✓
Schmack	✓		✓	✓			
Valorga			✓	✓	✓	✓	✓
Weda-GB	✓		✓		✓	✓	
Xergi	✓	✓	✓	✓	✓	✓	

Energy Crops - crops grown specifically for the generation of biogas, including silages, grass, maize etc., but not woody materials, because of incompatibility with AD.

Sewage sludge - refers to sludge from sewage and waste water treatment

Manure - refers to all types of manure including pig and cow manure as well as chicken litter

Agricultural waste - refers to organic waste from agricultural activities other than livestock manure and effluent, including crop residues and animal bedding.

Industrial Food Waste - refers to source segregated organic wastes from industrial sources, such as supermarkets, restaurants, slaughterhouses, food production plants etc.

Source Segregated Waste - refers to source segregated household waste including kitchen and garden waste

MSW - refers to the organic fraction of non-source segregated MSW. This technology is usually offered as part of an MBT system.

1) The company told us that they have carried out trials with various types of energy crops for a significant period further details of these trials were provided.

2) The company told us that they have worked with Welsh Water on the treatment of sewage sludge for the last 7

Fonte: Juniper, 2007

Brevetti e tecnologie

Biotec



**BTA® GRIT
REMOVAL SYSTEM**

**DIGESTIONE
ANAEROBICA**



FRAZIONE
PESANTE

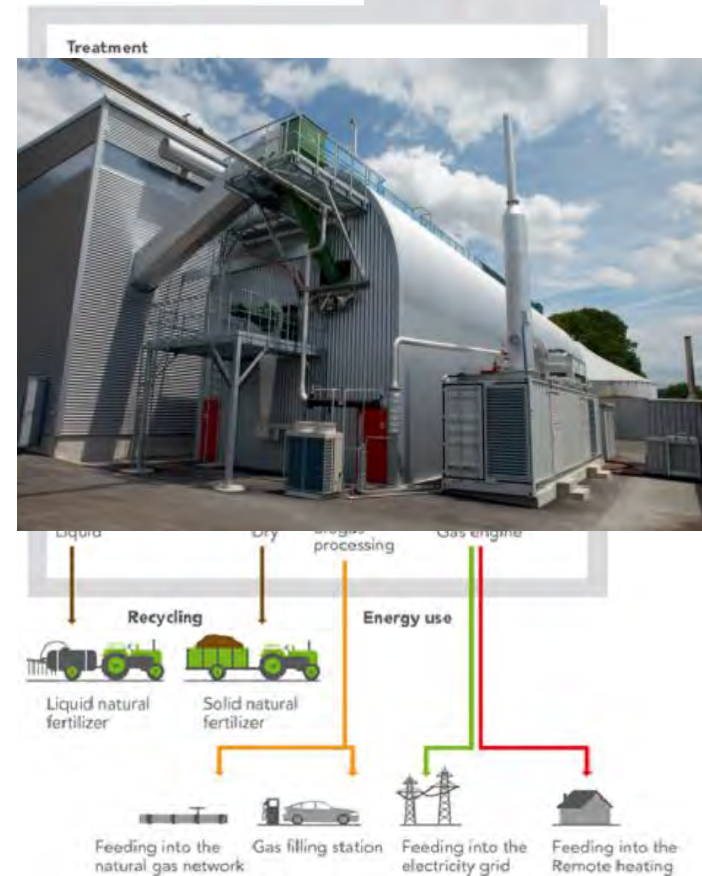
FRAZIONE
LEGGERA

INERTI

BEKON



KOMPOGAS



Ing. Isabella Pecorini

Scuola di Ingegneria, Università degli Studi di Firenze

Venerdì 20 marzo 2015

Il biogas

- ❑ Il principale prodotto della digestione anaerobica è il biogas: un combustibile gassoso composto da metano, da anidride carbonica, tracce di idrogeno solforato e umidità elevata, derivante dalla degradazione in ambiente anaerobico della sostanza organica.
- ❑ La percentuale di metano nel biogas varia a seconda del tipo di sostanza organica digerita e dalle condizioni di processo, da un minimo del 50 fino ad un massimo del 75%.

Il biogas ha una composizione media del tipo:

- ▶ **Metano: 60-70%**
- ▶ **Anidride carbonica: 30-23%**
- ▶ **Azoto: 2-5%**
- ▶ **Idrogeno solforato, idrogeno ecc.**

- ❑ Di seguito vengono riportate le principali possibilità di utilizzo.

- Produzione di calore sotto forma d'acqua calda, di vapore o d'aria calda, per il riscaldamento, l'essiccazione e processi industriali (disidratazione di percolati di discariche). Rendimento medio: 80-85%. Questa scelta comporta l'esistenza di un impiego locale (condomini per abitazione collettiva o terziaria, rete di teleriscaldamento, industrie).
- Produzione di elettricità, generalmente con motori alternativi (motori a combustione interna MCI). Rendimento medio: 40 % (elevata efficienza). Compattezza, semplicità. EE beneficia tariffa omnicomprensiva.
- Produzione combinata di calore e di elettricità con motori alternativi (cogenerazione). Rendimento medio: 80-85%, 50% per calore e 35% per elettricità.
- Distribuzione in reti dedicate
- Upgrading a biometano (iniezione in rete o veicoli)

PCI CH ₄	34.325	[kJ/Nm ³]
PCI BIOGAS 60% CH ₄	20.595	[kJ/Nm ³]
PCI BIOGAS 70% CH ₄	24.028	[kJ/Nm ³]

Utilizzo del biogas

La produzione di biogas avviene alla pressione del digestore, generalmente **vicina alla pressione atmosferica**.

Dal momento che lo stoccaggio ed il trasporto richiedono una compressione importante e quindi costi non trascurabili, si cerca in genere di utilizzarlo per la produzione di una forma di energia direttamente utilizzabile sul sito di produzione o con costi di trasporto ridotti.

Parte del biogas prodotto viene utilizzato per gli autoconsumi dell'impianto, mentre la restante parte può essere utilizzata per la produzione di energia da cedere all'esterno.

In particolare, per quanto riguarda gli usi interni, una parte (dal 15 al 25% dell'energia prodotta), può essere **utilizzata per il riscaldamento dei digestori** ed, eventualmente, per coprire il fabbisogno di **energia elettrica dell'impianto** (cogenerazione di calore ed elettricità).

L'utilizzo del biogas per il riscaldamento è variabile in funzione della stagione e del momento nella giornata; il riscaldamento è in genere attivo quando è in corso il caricamento del digestore.

- ❑ Nuovi incentivi 2013 - **D.M. 6 Luglio 2012**
- ❑ **PROCEDURE APPLICATIVE DEL D.M. 6 luglio 2012 CONTENENTI I REGOLAMENTI OPERATIVI PER LE PROCEDURE D'ASTA E PER LE PROCEDURE DI ISCRIZIONE AI REGISTRI (Ai sensi dell'art. 24, comma 1 del D.M. 6 luglio 2012) del Gestore dei Servizi Energetici GSE**

Nuovi impianti (< 5 MW)

Tariffa onnicomprensiva → $To = Tb + Pr$

Tariffa base

Premi

Sistemi incentivanti

Fonte rinnovabile	Tipologia	Potenza	VITA UTILE degli IMPIANTI	TARIFFA INCENTIVANTE BASE (per il 2013) (Tb)	PREMI (P)											
					Biomasse da filiera	Riduzione gas serra	Requisiti di emissione in atmosfera	Cogenerazione ad alto rendimento	Cogenerazione ad alto rendimento + teleriscaldamento	Cogenerazione ad alto rendimento + recupero aceto per produrre le rifilzanti	Cogenerazione + alto rendimento + recupero 30% aceto per produrre le rifilzanti	Recupero 40% aceto per produrre le rifilzanti	Totale retribuzione fluidogotermico con emissioni nulle	Primi 10 MW su aree nuove	Abolimento 95% gas incoerente nullo nel fluido in ingresso	Opere di connessione alla rete e a proprie spese
					art. 8, c. 6, l.b), Tab.1-B €/MWh	art. 8, c. 6, l.a) €/MWh	art. 8, c. 7, all.5 €/MWh	art. 8, c. 8, l.a) e c) €/MWh	art. 8, c. 8, l.b) €/MWh	art. 26, c.1 e 2 €/MWh	art. 26, c. 3 €/MWh	art. 26, c. 3 €/MWh	art. 27, c. 1, l.a) €/MWh	art. 27, c. 1, l.b) €/MWh	art. 27, c. 1, l.c) €/MWh	art. 1, tab. 1.1 €/MWh
Eolica	On-shore	1<P≤20	20	291												
		20<P≤200	20	268												
		200<P≤1000	20	149												
		1000<P≤5000	20	135												
		P>5000	20	127												
Eolica	Off-shore	1<P≤5000	25	176												
		P>5000														40
		1<P≤20	20	291												
		20<P≤500	20	268												
		500<P≤1000	20	149												
Idraulica	ad acqua fluente (compresi gli impianti su acquedotto)	1000<P≤10000														
		P>10000														
		1<P≤10000														
		P>10000														
		1<P≤5000														
Idraulica	a bacino o a serbatoio	P>5000														
		1<P≤5000														
		P>5000														
		1<P≤5000														
		P>5000														
Geotermica	(compresi maree e non coibentati)	1<P≤1000														
		1000<P≤20000														
		P>20000														
		1<P≤5000														
		P>5000														
Geotermica	tecnologie avanzate (art.12.3, comma 2)	1<P≤1000														
		1000<P≤5000														
		P>5000														
		1<P≤1000														
		1000<P≤5000														
Gas di coccia		P>5000														
		1<P≤1000														
		1000<P≤5000														
		P>5000														
		1<P≤1000														
Gas residui dai processi di depurazione		1000<P≤5000														
		P>5000														
		1<P≤5000														
		P>5000														
		1<P≤5000														
Biogas	a) prodotti di origine biologica	1<P≤300														
		300<P≤600														
		600<P≤1000														
		1000<P≤5000														
		P>5000	20	204				40		30						
	b) sottoprodotti di origine biologica di cui alla Tabella 1-A; d) rifiuti non provenienti da raccolta differenziata diversi da quelli di cui alla lettera c)	1<P≤300	20	236				10		30		15				
		300<P≤600	20	206				10		30		20	15			
		600<P≤1000	20	178				10		30						
		1000<P≤5000	20	125				10		30						
		P>5000	20	101				10		30						
	c) rifiuti per i quali la frazione biodegradabile è determinata forfaitariamente con le modalità di cui all'Allegato 2	1<P≤600	20	216				10		30		20	15			
		600<P≤1000	20	216				10		30						
		1000<P≤5000	20	109				10		30						
		P>5000	20	85				10		30						
		1<P≤300	20	229			30	40								
a) prodotti di origine biologica	300<P≤1000	20	180			30	40									
	1000<P≤5000	20	133	20 ⁽²⁾	10 ⁽²⁾	30	40									
	P>5000	20	122	20 ⁽²⁾	10 ⁽²⁾	30	40									
	1<P≤300	20	257			30 ⁽²⁾	10		40 ⁽²⁾							
	300<P≤1000	20	209			30 ⁽²⁾	10		40 ⁽²⁾							
Biomasse	b) sottoprodotti di origine biologica di cui alla Tabella 1-A; d) rifiuti non provenienti da raccolta differenziata diversi da quelli di cui alla lettera c)	1000<P≤5000	20	161			30 ⁽²⁾	10		40 ⁽²⁾						
		P>5000	20	145			10 ⁽²⁾⁽³⁾	30 ⁽²⁾	10	40 ⁽²⁾						
		1<P≤5000	20	174				10								
		P>5000	20	125				10								
		1<P≤5000	20	121				40								
Bioliquidi sostenibili		P>5000	20	110			40									

(1) Sempre Tariffa Onnicomprensiva con valore massimo pari a 200, nel caso la temperatura (T) del fluido geotermico sia maggiore di 151°C, la tariffa è pari a: $200 - (T - 151) \cdot 0,75$.

(2) Per tutte le categorie di intervento, esclusi i rifacimenti, anche per impianti di potenza pari a 1000 kW.

(3) Solo per interventi di rifacimento.

(4) Solo per per bi sottoprodotti di origine biologica di cui alla Tabella 1 -A

☐ Prezzi non cumulabili tra di loro

Biometano e Up grading

Up-grading del biogas: trattamento del **biogas finalizzato a ridurre il contenuto di anidride carbonica (CO₂)**, e di altri composti indesiderati, per ottenere un gas simile al gas naturale (detto BIOMETANO) e da utilizzare come sostituto di questo.

- ☐ iniezione nella rete del gas naturale
- ☐ trasporti

La **rimozione della CO₂** dal biogas è richiesta per il suo utilizzo nei veicoli (... si potrebbe usare così come è, ma la rimozione della CO₂ incrementa il PCI e quindi l'autonomia) e per l'iniezione nella rete del gas naturale.

In momento non esistono standard internazionali per la qualità del biogas da iniettare in rete, ma alcuni paesi hanno sviluppato standard propri e procedure per l'introduzione in rete.

D.Lgs 3 marzo 2011, n. 28 recepisce nell'ordinamento nazionale la **direttiva 2009/28/CE** del Parlamento Europeo e del Consiglio sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili

L'articolo 20, comma 1, del d.lgs. 28/11 dispone che **l'Autorità per l'Energia Elettrica il Gas e il Servizio Idrico emani specifiche direttive in merito alle condizioni tecniche ed economiche per l'erogazione del servizio di connessione di impianti di produzione di biometano alle reti del gas naturale i cui gestori hanno obbligo di connessione di terzi**

Biometano e Up grading

L'articolo 20, comma 1, del d.lgs. 28/11 dispone che **l'Autorità per l'Energia Elettrica il Gas e il Servizio Idrico emani specifiche in modo da:**

- ❑ stabilire le caratteristiche chimiche e fisiche minime del biometano, con particolare riguardo alla qualità, all'odorizzazione e alla pressione del gas, necessarie per l'immissione nella rete del gas naturale
- ❑ prevedere la pubblicazione, da parte dei gestori di rete, degli standard tecnici per il collegamento alla rete del gas naturale degli impianti di produzione di biometano

La normativa tecnica è in corso di evoluzione a livello comunitario. Ai fini della definizione delle caratteristiche chimiche e fisiche minime del biometano, la Commissione Europea ha assegnato un mandato (mandato M/475 EN) al Comitato Europeo di Normazione (CEN) che prevede l'elaborazione di:

- ❑ norma europea per le specifiche di qualità del biometano per uso autotrazione;
- ❑ norme europee o specifiche tecniche europee riguardanti l'immissione del biometano nelle reti del gas naturale.

Il Decreto del Ministero dello sviluppo economico, d'intesa con il Ministro dell'ambiente **del 5 dicembre 2013 recante "Incentivazione del biometano immesso nella rete del gas naturale"** (di seguito: decreto 5 dicembre 2013) dà attuazione a quanto previsto dall'articolo 21, comma 2 del d.lgs. 28/11, definendo gli incentivi per il biometano.

Il decreto prevede che, in attesa della definizione di norme europee per le specifiche di qualità del biometano per uso autotrazione e delle specifiche tecniche europee per l'immissione del biometano nelle reti del gas naturale, da emanarsi da parte del CEN in attuazione del mandato M/475/CE, le immissioni di biometano nelle reti del gas naturale siano consentite solo al biometano ottenuto dal biogas derivante da digestione anaerobica di prodotti biologici e sottoprodotti

Prospettive degli standard europei (1/2)

		France		Germany (1)		Switzerland		Sweden	Austria	Netherlands
		Unit	H gas	L gas	H gas	L gas	Unlimited Injection	Limited Injection		
Wobbe Index	kWh/Nm ³		13.64-15.7	12.01-13.06	12.8-15.7	10.5-13.0	13.3-15.7	-	13.3-15.7	-
	MJ/Nm ³		48.24-56.52 (higher)	42.48-46.80 (higher)	46.1-56.5 (higher)	37.8-46.8 (higher)	47.9-56.5	-	Type A (2): 44.7-46.4 (lower) Type B (2): 43.9-47.3 (lower)	43.46-44.41 (higher)
Gross calorific value	kWh/Nm ³		10.7-12.8	9.5-10.5	8.4-13.1		10.6-13.1	-	10.7-12.8	8.8-10.8
	MJ/Nm ³		38.52-46.08 (higher)	34.2-37.8 (higher)	30.2-47.2		38.5-47.2	-	38.5-46.0	31.6-38.7
Methane	vol %		-	-	-	-	> 96	> 50	> 97 (2)	96
CO ₂			< 2.5 mol % (flexibilities exist for specific conditions e.g. in Lille: <11%)		< 6 vol %		< 6 vol %		< 4 vol % (3)	< 3 vol %
CO	mol %		< 2		-		< 0.5	-	-	< 1
O ₂	vol %		< 100 ppmv (flexibilities exist for specific conditions e.g. in Lille: <3%)		< 0.5 (<3 if dry gas)		< 0.5	< 1	< 0.5	< 0.5
H ₂	vol %		< 6		< 5		< 4	-	< 4	< 12
H ₂ S	mg/Nm ³		< 5 (H ₂ S + COS)		< 5		< 5	< 10 ppm (4)	< 5	< 5
Mercaptans (RSH)	mg/Nm ³		< 6		< 16		< 5 ppmv	-	< 6	< 10
Total sulphur	mgS/Nm ³		< 30		< 30		< 30	< 23	< 10	< 45

(Persson et al. 2006)

$$\text{Wobbe index} = \frac{\text{Calorific value}}{\sqrt{\text{density}}}$$

Prospettive degli standard europei (2/2)

	Unit	France		Germany (1)		Switzerland		Sweden	Austria	Netherlands
		H gas	L gas	H gas	L gas	Unlimited Injection	Limited Injection			
NH ₃	mg/Nm ³	< 3		-		< 20		< 20	-	< 3
H ₂ O		dew point < -5°C at MOP (5)		Dew point at ground temperature (related to corresponding grid pressure)		φ < 60% (6) or < -8 °C at MOP		dew point < -9°C 200bar (< 32 mg/m ³)	dew point < -8°C at 40 bar	< 32 mg/m ³ or < -10 °C at 8 bar
Hydrocarbon dew point		< -2°C (1-70 bar)		Condensation point at ground temperature (related to corresponding grid pressure)		-		-	< 0°C at OP (7)	-
Relative density	-	0.555-0.70		-		0.55-0.70		-	0.55-0.65	-
THT	mg/Nm ³	15-40		The gas has to be odorized		15-25		-	-	> 10 mg/Nm ³ Average 18 mg/Nm ³
Mercury (Hg)	μg/Nm ³	< 1		-		-		-	-	-
Siloxanes (as Si)		-		-		-		-	< 10 mgSi/Nm ³	< 5 ppmv
F	mg/Nm ³	< 10		-		-		-	-	< 25
Cl	mg/Nm ³	< 1		-		-		-	-	< 50
Dust	mg/Nm ³	-		technically free		-		< 1 μm	technically free	technically free
HCl	ppmv	-		-		-		-	none	< 1
HCN	ppmv	-		-		-		-	none	< 10
BTX (Benzene, Toluene, Xylene)	ppmv	-		-		-		-	-	< 500
Aromatic hydrocarbons	mol %	-		-		-		-	-	< 1

(1) For grid injection due to DVGW G 260 and G 262

(2) 97% ± 1 (type A*) and ± 2 (type B*)

(3) The sum of CO₂, O₂ and N₂ is max 4% (type A) or 5% (type B)

(4) 10ppm = 15.2 mg/Nm³

(5) MOP: Maximal Operating Pressure, downstream from injection point (ISO 18 453 « Natural gas – Correlation between water content and water dew point. » (Correlation of Gergwater).)

(6) φ: Relative humidity

(7) OP: Operating Temperature

* Type A: biogas as vehicle fuel – Engines **without** lambda control

Type B: biogas as vehicle fuel – Engines **with** lambda control

Il digestato

☐ Il digestato è un rifiuto?

NO

- Se proviene da biomasse “non rifiuti” è un **sottoprodotto dalle attività di produzione di biogas mediante DA** e ha caratteristiche agronomiche e ambientali migliori rispetto ad esempio agli effluenti zootecnici tal quali;

SI

- Se proviene da rifiuti è un rifiuto **CER 190604 (rifiuti urbani) o CER 190606 (rifiuti di origine animale e vegetale)**.

☐ Impiego agronomico del digesto classificato come rifiuto?

SI

- Autorizzazione ai sensi dell’art. 208 del DLgs 152/06 allo “spandimento sul suolo a beneficio dell’agricoltura” (R10), è una forma di **recupero per la quale non esistono criteri tecnici nazionali ufficiali**,

NO

- Autorizzazione ai sensi e secondo i criteri dettati dal DLgs 99/92 ed eventuali norme regionali che regolano l’impiego agronomico dei fanghi di depurazione **MA IL DIGESTATO NON è FANGO DI DEPURAZIONE**

☐ Prodotto fertilizzante ai sensi del D.Lgs 75/10?

☐ Oppure non più rifiuto ai sensi dell’art. 184 ter D.Lgs 152/10 (End-Of-Waste)? A livello comunitario si sta lavorando alla definizione dei relativi criteri

Digestato in agricoltura

❑ Allegato 2 – D.Lgs 75/10

❑ Il digestato palabile è un ACM?

- Umidità minore o uguale al 50%
- Azoto organico maggiore o uguale del 80% TKN
- Patogeni
- **Attualmente SERVE UN TRATTAMENTO DI COMPOSTAGGIO**

N.	Denominazione del tipo	Modo di preparazione e componenti essenziali	Titolo minimo in elementi e/o sostanze utili. Criteri concernenti la valutazione. Altri requisiti richiesti	Altre indicazioni concernenti la denominazione del tipo	Elementi oppure sostanze utili il cui titolo deve essere dichiarato. Caratteristiche diverse da dichiarare. Altri requisiti richiesti	Note
1	2	3	4	5	6	7
5.	Ammendante compostato misto	Prodotto ottenuto attraverso un processo controllato di trasformazione e stabilizzazione di rifiuti organici che possono essere costituiti dalla frazione organica degli RSU proveniente da raccolta differenziata,	Umidità: massimo 50% pH compreso tra 6 e 8,5 C organico sul secco: minimo 20% C unico e fulvico sul secco: minimo 7% Azoto organico sul secco: almeno 80% dell'azoto totale	---	Umidità pH C organico sul secco C unico e fulvico sul secco Azoto organico sul secco C/N Salinità	Per "fanghi" di cui alla presente colonna e alla colonna n. 3 si intendono quelli definiti dal decreto legislativo 27 gennaio 1992, n. 99, di attuazione della direttiva 86/278/CEE concernente la protezione dell'ambiente, in particolare del suolo, nell'utilizzazione dei fanghi di depurazione in agricoltura. I fanghi, tranne quelli agroindustriali, non possono superare il 35% (P/P) della miscela iniziale. È consentito dichiarare i titoli in altre forme di azoto, fosforo totale e potassio totale.
	(segue) Ammendante compostato misto	da rifiuti di origine animale compresi liquami zootecnici, da rifiuti di attività agroindustriali e da lavorazione del legno e del tessile naturale non trattati, da reflui e fanghi, nonché dalle matrici previste per l'ammendante compostato verde	C/N massimo 25.			Il tenore dei materiali plastici vetro e metalli (frazione di diametro ≥ 2 mm) non può superare lo 0,5% s.s. Inerti litoidi (frazione di diametro ≥ 5 mm) non può superare il 5% s.s. Sono inoltre fissati i seguenti parametri di natura biologica: - Salmonella: assenza in 25 g di campione t.q.; $n^{(1)}=5$; $c^{(2)}=0$; $m^{(3)}=0$; $M^{(4)}=0$; - Escherichia coli in 1 g di campione t.q.; $n^{(1)}=5$; $c^{(2)}=1$; $m^{(3)}=1000$ CFU/g; $M^{(4)}=5000$ CFU/g; Indice di germinazione (diluizione al 30%) deve essere $\geq 60\%$ -Tallio: meno di 2 mg kg^{-1} sul secco (solo per Ammendanti con alghe).

BIOWASTE: End-of-Waste

Regolamento che nasce dall'applicazione **dell'articolo 6 della Direttiva Rifiuti 2008/98/EC** che stabilisce i principi per la **cessazione della qualifica di rifiuto**. Un rifiuto cessa di essere tale quando è stato sottoposto a un'operazione di **recupero, incluso il riciclaggio e la preparazione per il riutilizzo** e soddisfa criteri specifici nel rispetto delle seguenti condizioni:

- ☐ La sostanza o l'oggetto è comunemente utilizzato per **scopi specifici**;
- ☐ Esiste un **mercato o una domanda** per tale sostanza od oggetto;
- ☐ La sostanza o l'oggetto soddisfa i **requisiti tecnici** per gli scopi specifici e rispetta la normativa e gli standard esistenti;
- ☐ L'utilizzo della sostanza o dell'oggetto **non porterà a impatti complessivi negativi sull'ambiente o sulla salute umana**.

Per soddisfare tali condizioni i criteri per **l'uso agronomico** diretto del **digestato** risultano:

Parametro	limite
Contenuto materia organica [%TS]	> 15% on dry matter weight
Salmonella	0 g su 25 g di campione
E. Coli	1000 CFU/g
Impurità (plastiche, metalli, vetro)	0.5% on dry matter weight
Zn	400 mg/kgTS
Cu	400 mg/kgTS
Ni	50 mg/kgTS

Parametro	Limite
Cd	1.5 mg/kgTS
Pb	120 mg/kgTS
Hg	1 mg/kgTS
Cr	100 mg/kgTS
PCB7	0.2 mg/kgTS
PAH16	6 mg/kgTS
PCDD/F	30 mg/kgTS
PFC	0.1 mg/kgTS

Grazie per l'attenzione!

Ing. Isabella Pecorini

Isabella.pecorini@unifi.it

WVG-DIEF, Waste Valorization Group - Dipartimento di Ingegneria Industriale di Firenze



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DIEF

DIPARTIMENTO
DI INGEGNERIA
INDUSTRIALE